

Prof. Dr. Lukács László¹

BOMBAFENYEGETÉS – A ROBBANÓANYAGOK TÖRTÉNETE²

A robbanóanyag fogalma, általános jellemzői. A robbanóanyagok felosztása felhasználásuk szerint. Az egyes kategóriák jellemzői. Robbanóanyagok iniciálása. A robbanóanyagok történeti fejlődése, az egyes robbanóanyagok alkalmazása a katonai és az ipari robbantástechnikában.

BOMB ATTACKS – HISTORY OF EXPLOSIVES

Definition of explosive and their general characteristics. Explosive materials and their applications. Characteristics of these categories. Initiation of explosives. Historical development of explosives. Requirements on military and the civilian explosives.

A robbanóanyagok szerepe az emberiség történelmének, fejlődésének alakításában megkérdőjelezhetetlen. Ezek a hatások egyrészt pozitívak, amennyiben a közlekedés, az ipari fejlődés, összességében mindennapi életünk jobbá tételét szolgálták, szolgálják. Ugyanakkor történelmünk lapjait véres háborúk, rengeteg szenvedés, kioltott életek tíz és százmilliói szennyezik, és ebben szintén kiemelkedő szerep jut, ha úgy tetszik „felelősség” hárul a robbanóanyagokra. Ítéljük el tehát a robbanóanyagot? Egy korábbi cikkemben, az aknák kapcsán fogalmaztam meg a következő gondolatot, melyet ebben a helyzetben is igaznak, iránymutatónak tartok: „soha nem a tárgyak a bűnösök, hanem az a kéz mely megfogja őket és az az ész, mely ezt a kezet vezérelte...”³

Napjaink új kihívása, a robbanóanyagok terrorista bombamerényletekre történő alkalmazása. Olyan háború ez, melyet számunkra ismeretlen ellenség, ártatlan emberek ellen folytat vélt vagy valós, vallási vagy politikai sérelmei orvoslására, céljai elérésére, kikényszerítésére. A repülés az egyik kiemelten fenyegetett célpont, legyen az maga az eszköz (lásd pl. a PanAm légitársaság 103-as, London-New York járatának felrobbantását 1988. december 21-én, a skóciai Lockerbie felett), vagy a kiszolgáló létesítmény, az utasok sokaságával (2011. január 26. - egy öngyilkos merénylet, mintegy 7 kg robbanóanyagot robbantott fel a moszkvai Domogyedovó repülőtér, nemzetközi utas-fogadó termináljában). Egy évvel ezelőtti tanulmányunkban⁴ elemeztük a polgári repülést fenyegető merényleteket. Ebben a cikkben ismerkedjünk meg magával a fenyegetést jelentő robbanóanyaggal, jellemzőivel, történeti fejlődésével.

¹ ny. mk. alezredes, egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, lukacs.laszlo@uni-nke.hu

² Lektorálta: Dr. Kovács Zoltán okl. mk. őrnagy, egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, kovacs.zoltan@uni-nke.hu

³³ Dr. Lukács László: Aknahelyzet Horvátországban és Bosznia-Hercegovinában, Új Honvédségi Szemle 1999/1., 37-49. o.

⁴ Dr. Lukács László: A polgári repülés robbantásos fenyegetettsége - előadás a „Repüléstudományi Konferencia 2011” konferencián – megjelent a Repüléstudományi Közlemények (HU ISSN 1789-770X) Konferencia Különszám 2011. <http://www.szrfk.hu/rtk/index.html>

ROBBANÓANYAGOKKAL KAPCSOLATOS ALAPISMERETEK

A robbanóanyag fogalma, az egyes korok katonai szabályzatai tükrében

Az első katonai szabályzatokban⁵ nem találkozunk a robbanás, a robbanóanyagok definiálásával. Arday Géza m. kir. honvédszázados 1910-ben megjelent könyvében arról ír, hogy „a magyar szakirodalomban a robbanóanyagok technológiája – sajnos – úgyszólván teljesen ismeretlen”⁶. Ennek okát abban látja, hogy „Magyarország-Austriában...a lőpor és a robbanóanyagoknak a gyártása nem képez szabad iparágat, hanem azt az állam katonai felügyelet alatt monopolizálja, amiért is ezen ismeretterjesztésnek gyakorlati része a gyártelep khinai falain túl nem terjedhet”⁷.

Arday ezek után részletesen bemutatja művében a robbanás jellemzőit. Szerinte „robbanó anyag elnevezése alatt bármely halmazállapotú test érthető, amely bizonyos körülmények között u. m.: mechanikai hatás, hőmérsékleti különbség vagy a testeknek egymásra gyakorolt kémiai hatása alatt stb. nagy mennyiségű gázt hirtelen képes fejleszteni és ezáltal nagy munkát végrehajtani”⁸.

A robbanóanyagokat a „robbanó hatás szerint” három csoportra bontja, úgymint „1. az impulzív robbanó anyagok, 2. a brizáns (lobbanó) robbanó anyagok, és a 3. fulmináns robbanó anyagok”.

Az **1903-ban** civil szakkönyvként megjelent, Schaffer Antal féle **Kézikönyv**⁹ szerint: „Robbantó anyagnak¹⁰ neveznek ... minden oly anyagot, mely meggyújtás, felhevítés vagy bármilyen hatás következtében igen rövid, de rendszeren alig mérhető időn belül nagy mennyiségű gázokat fejleszt, melyek ezen vegyfolyamatnál felszabaduló meleg következtében hirtelenül nagy mértékben kitágulva, *feszültségek* folytán munkát fejtenek ki ... Minél rövidebb az időtartam, melyen belül bizonyos tömeg felrobban, minél nagyobb a robbanásnál fejlődő gázok mennyisége és mentől jelentékenyebb azok hevítése, annál hatásosabb a robbanó anyag, azaz: annál nagyobb erőt fejtenek ki a nagy feszültségű gázok”¹¹. A Kézikönyv a robbanóanyagokat két csoportra osztja, úgymint igen erős hatásfokúak¹² (igen brizánsak) és kevésbé erős hatásfokúak (kevesbé brizánsak).

Az **1926-ban** kiadott **E-32. Műszaki oktatás a nem műszaki csapatok számára**¹³ az alábbi robbanóanyag meghatározást adja: „Oly szilárd vagy cseppfolyós anyagokat, melyek kívülről jövő behatás (hő vagy mechanikai hatás) következtében igen gyorsan nagy tömegű és magas

⁵ Vezérfonal az utászszolgálat oktatásához – 1899., E-23 Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság utászszakaszai és század-utászai számára – 1902.

⁶ Arday Géza m. kir. honvédszázados: A lőpor és robbanó anyagok technológiája és történeti fejlődése, Szent Erzsébet Nyomda Részvénytársaság, Kassa, 1910. 1. o.

⁷ Uo. 2. o.

⁸ Uo. 3. o.

⁹ Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903.

¹⁰ A mai ipari robbantástechnikai terminológia szerint robbantóanyag fogalma alatt, a robbanóanyagokat és a robbantószerkezeteket összefoglalóan értjük. Ezen belül robbantószerkezet a töltet közvetlen iniciálására szolgáló anyag, vagy szerkezet (a katonai robbantástechnika ez utóbbit gyújtószerkezetnek nevezi).

¹¹ Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903., 17. o.

¹² „A robbanékony anyagok hatásfoka, a tömegegységnek valamely meghatározott időegységben kifejtett munkája.” uo. 18.o.

¹³ E-32 (Műsz. okt.): Műszaki oktatás a nem műszaki csapatok számára + Ábrafüzet, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1926. – bevezetve a 17530/eln. rendelet, 1926. 12. 01. Honvédségi Közlöny 29. szám. 232. o. (5000/eln 1924 körrendelet folyamánként)

hőmérsékletnél nagy feszültségű gázzá alakulnak át, robbantó anyagoknak, és ha már külön robbantási célokra csomagolva is vannak, robbantószereknek hívjuk”¹⁴.

A „robbantószeret” a robbanás gyorsasága szerint osztotta fel lassan robbanókra (fekete és füst nélküli lőpor) és hirtelen robbanókra vagy másképpen brizánsakra.

Az **E-34. Műszaki oktatás (1928)**¹⁵ már összetettebben fogalmaz, mint a nem műszakiak számára íródott társa: „A robbanás olyan vegyi folyamat, melynél nagy hőfejlődés mellett, igen rövid idő alatt, nagymennyiségű gáz képződik. Azokat az anyagokat melyeknél ez a vegyi folyamat létrehozható, robbantó anyagoknak nevezzük”¹⁶.

A „robbantó anyagokat” hatásuk és felhasználásuk szerint szintén két csoportra osztja, úgy mint lassú (ballisztikus) és heves (brizáns¹⁷) hatásúakra. Az egyes kategóriákon belül a fent ismertetett robbanóanyagok kerültek bemutatásra.

Az **1950-ben kiadott Robbantási segédlet (a továbbiakban Segédlet)**¹⁸ a következőket írja: „Robbanóanyagoknak nevezzük azokat az anyagokat, vagy elegyeket, amelyek bizonyos külső hatásra egy pillanat alatt felbomlanak és belőlük nagymennyiségű erősen felhevített gáz képződik. ... A robbanás romboló hatása annál nagyobb, minél gyorsabban zajlik le, továbbá minél több és minél magasabb hőfokú gáz keletkezik.”¹⁹.

A robbanóanyagokat a rombolandó közegre kifejtett hatásuk szempontjából iniciáló (indító), brizáns (heves) és ballisztikus (toló hatású) kategóriákba sorolta.

Az ugyancsak **1950-es, E.-mű. 1. Ideiglenes robbantási utasítás**²⁰, a Segédletnél pontosabb robbanóanyag meghatározást ad: „Robbanóanyagoknak nevezzük azokat a vegyi anyagokat, vagy anyagok keverékét, amelyek külső behatásra igen gyors kémiai változáson mennek át, miközben magas hőfok és nagymennyiségű, erősen felhevített gáz fejlődik, ami munka végzésére képes”²¹.

A **Robbantások** c. (eredetileg titkos) minisztériumi kiadvány (1953)²² megint más formáját adja a robbanóanyag meghatározásnak: „Robbanóanyagoknak olyan vegyületeket vagy keverékeket nevezünk, amelyek nagy kémiai energiakészletet rejtnek magukban és nagy hőkiválás, illetve nagymennyiségű gázképződés kíséretében rendkívül gyorsan fel tudnak bomlani.”²³.

¹⁴ uo. 131. o.

¹⁵ E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I-II. rész + Mellékletek, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928-1929. – bevezetve a 5281. eln. rendelet, 1928. 04. 30. Honvédségi Közlöny 10. szám, 73. o.

¹⁶ uo. 31. o.

¹⁷ „A robbanásnál keletkező nyomás bizonyos (rövid) idő alatt éri el legnagyobb értékét. A legnagyobb érték elérésének gyorsaságát a robbanóanyag hevésségének (brizánságának) nevezzük.” uo. 31. old. 3. pont

¹⁸ Robbantási segédlet, Honvédelmi minisztérium, Budapest, 1950. – bevezetve 577/Elnökség-1950. rendelet, 1950. 05. 19., Honvédségi Közlöny 14. szám, 289.o

¹⁹ uo. 4. o.

²⁰ E-mű. 1. Ideiglenes robbantási utasítás, Honvédelmi minisztérium, Budapest, 1950. – bevezetve 2.278/Elnökség-1950. rendelet, 1950. 12. 13., Honvédségi Közlöny 1. szám, 1. o.

²¹ uo. 5. oldal, 5. pont

²² Robbantások, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1953.

²³ uo. 8. o.

Az **1965-ös Mű-2. Robbantási utasításban**²⁴ jelent meg az a robbanóanyag meghatározás, melyet aztán **1971-es** társa, a **Mű/213. Utasítás**²⁵ is átvett: „Robbanóanyagoknak azokat a vegyületeket vagy keverékeket nevezzük, melyek meghatározott külső behatásokra gyors kémiai átalakulásra képesek, miközben nagymennyiségű és nagy nyomású gázok képződnek, mely gázok kiterjedésük közben mechanikai munkát fejtenek ki.”²⁶

Mint látható, a katonai robbantástechnikában megjelenő robbanóanyag fogalom koronként változott, bár sok azonosság található az egyes meghatározásokban.

Az **ipari robbantástechnikában elfogadott** megfogalmazás szerint a „robbanóanyag: szilárd vagy folyékony halmazállapotú anyag vagy ezek keveréke, amely kémiai reakció révén képes arra, hogy olyan sebességgel fejlesszen gázt, ami elegendő hőmérsékletű és akkora nyomáshullámot hoz létre, hogy a környezetben károsodást idéz elő”²⁷.

Egy általam pontosított robbanóanyag fogalomban, a kémiai robbanás során végbemenő folyamatban meghatározó jelentőségű feltételek összegződnek:

Robbanóanyagnak az olyan GYAKORLATILAG HASZNOSÍTHATÓ vegyületeket (elegyet, olvadékokat) nevezzük, amelyek a megfelelő KEZDŐGYÚJTÁS (aktiválási energia) hatására bekövetkező ÖNFENNTARTÓ (exoterm) KÉMIAI ÁTALAKULÁS (reakció) során, HIRTELEN (százezred másodperc alatt), MAGAS HŐMÉRSÉKLETŰ és IGEN NAGY NYOMÁSÚ, főleg GÁZTERMÉKEKKÉ alakulnak át, melyek kiterjedésük közben rendkívül nagyteljesítményű MUNKÁT végeznek, és KÖRNYEZETI HATÁST váltanak ki.

A robbanóanyag, mint „energiahordozó”

A kémiai reakció rendszerint égési (oxidációs) folyamat. Az oxidációhoz pedig, éghető anyag (szén és hidrogén), valamint kellő mennyiségű (!) oxigén kell. A nagy reakciósebesség miatt az égés kívülről nem táplálható, ezért a robbanóanyagok az égés összes elemét (az oxigént is) önmagukban tartalmazzák (az oxigén rendszerint a nitrogénhez kapcsolódik, amely „foglalatot” képez számára). Ez a tulajdonságuk különbözteti meg a robbanóanyagokat a tüzelő- és motorhajtó anyagok – egyébként jelentősen nagyobb kalóriájú – csoportjától.

A kondenzált fázisú kémiai robbanás hatalmas romboló hatásának valóságos oka az, hogy az energia a robbanáskor rendkívül gyorsan szabadul fel. Míg 1 kg benzin az autó motorjában 5-6 perc alatt ég el, addig 1 kg robbanóanyag robbanása 1-2 százezred másodperc alatt játszódik le. Az energia a robbanáskor több tízmilliószor gyorsabban szabadul fel, mint égéskor. Ez a reakció kívülről nem táplálható oxigénnel, ezért kell a kondenzált fázisú robbanóanyagoknak önmagukban hordozniuk az átalakulásukhoz szükséges oxigént.

Ez egyben cáfolata annak a gyakori véleménynek is, mely szerint a robbanás romboló hatásának fő oka a robbanóanyagokban rejlő hatalmas energiatartalék. Ezt rögtön be is bizonyíthat-

²⁴ Mű/2. Robbantási utasítás, Honvédelmi minisztérium, Budapest, 1965. – bevezetve az MNVK 7. Önálló Osztály közleményével, 1965. 10. 30., Honvédségi Közlöny 5. szám, 48-49. o.

²⁵ Mű/213. Robbantási utasítás, Honvédelmi minisztérium, Budapest, 1971. – bevezetve az MNVK 7. Önálló Osztály közleménye (HK.2.), 1972. 03. 20., 21-22. o.

²⁶ uo. 7. oldal, 14. pont

²⁷ 13/2010. (III.4.) KHEM rendelet az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatról. I. fejezet, Értelmező rendelkezések, 2. §. 28. pont

juk, ha összehasonlítjuk 1 kg fűtőanyag égéshőjét, 1 kg robbanóanyag robbanáshőjével:

Fűtőanyagok égéshője		Robbanóanyagok robbanáshője	
fa	18.9 MJ	fekete lőpor	2.9 MJ
benzin	42.0 MJ	nitroglicerín	6.3 MJ
antracit	33.5 MJ	trotil	4.2 MJ

1. táblázat 1 kg fűtőanyag égéshője és 1 kg robbanóanyag robbanáshője²⁸

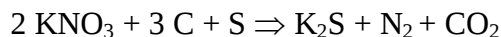
Vagyis 1 kg nitroglicerín robbanásakor, a szén elégésekor keletkező energia ötöde, míg 1 kg trotil robbanásakor csak a nyolcada szabadul fel.

Az összehasonlítás akkor sem javul sokat, ha a fűtőanyagoknál az égéshőt az égéshez szükséges oxigénnel vett keverék 1 kg-jára állapítjuk meg (tekintve, hogy a robbanóanyagoknál is a reakcióhoz szükséges oxigénnel együtt vett értéket vettük figyelembe):

Fűtőanyagok égéshője az égéshez szükséges oxigénnel vett keverék 1 kg-jára ²⁹	
fa	8.0 MJ
antracit	9.2 MJ
benzin	9.6 MJ

2. táblázat

A robbanás jelenségét még egy példával érzékeltetve, vizsgáljuk meg a fekete lőpor robbanása során végbemenő folyamatot:



A robbanás során (tulajdonképpen csak explózió, mivel a lőpor átalakulási sebessége „csak 500 m/s”, a robbanóanyagok pedig minimum 1000 m/s-os sebességgel detonálnak) kb. 2000 °C hőmérséklet keletkezik. A kísérleti 270 g lőpor, melynek eredeti térfogata 0.18 liter, a másodperc 4150-ed része alatt végbemenő átalakulás során 746 liter térfogatra tágul...

A robbanóanyagok csoportosítása

A különböző tulajdonságú **robbanóanyagok csoportosítása** többféleképpen történhet, az éppen szükséges prioritások figyelembevételével (pl. felhasználási terület, gyakorlati alkalmazás, vegyi összetétel, érzékenység stb. alapján).

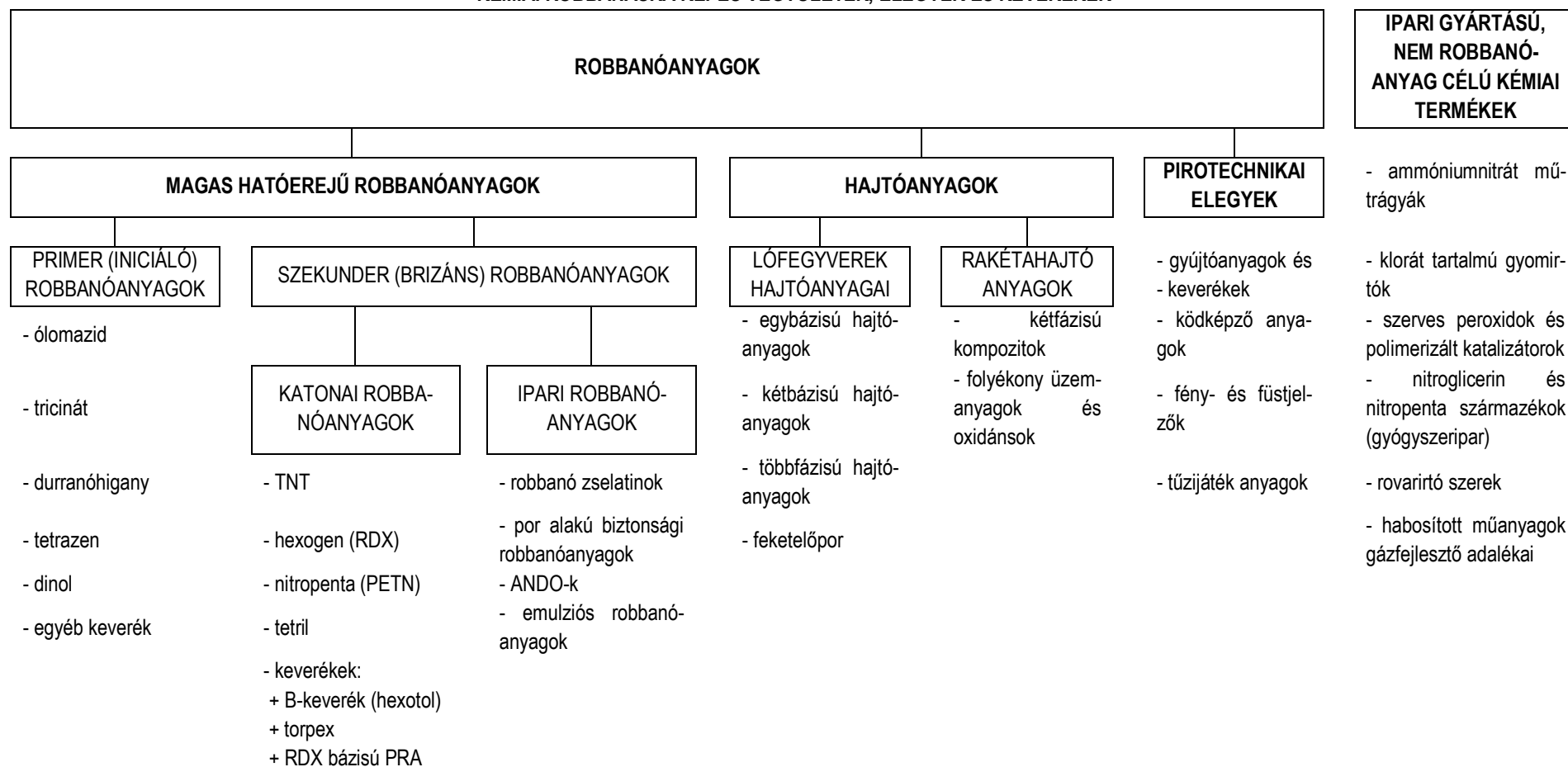
A számunkra leginkább fontos, **felhasználási terület szerinti felosztást** az 1. számú ábra szemlélteti. **Az ipari és a katonai robbanóanyagokkal szemben eltérő követelményeket támasztanak**, ezeket a 2. számú ábrán mutatom be

²⁸ Andrejev K. K.- Beljajev A. F.: A robbanó anyagok elmélete, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1965. 20. o., 01. táblázat alapján

²⁹ uo. 21. o., 02. táblázat lapján

ROBBANÓANYAGOK ÉS FELHASZNÁLÁSUK
KÉMIAI ROBBANÁSRA KÉPES VEGYÜLETEK, ELEGYEK ÉS KEVERÉKEK

1. ábra



J. Köhler – R. Meyer: Explosives – Fourth, revised and extended edition (VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, 1993.) 11. táblázat, 141. oldal alapján

AZ IPARI ÉS A KATONAI ROBBANÓANYAGOKKAL SZEMBEN TÁMASZTOTT KÖVETELMÉNYEK

2. ábra

Követelmény megnevezése	Ipari robbanóanyag	Katonai robbanóanyag
teljesítmény	- nagy gázfejlődés és magas robbanáshő = nagy robbanóerő (munkavégző képesség); - a magas detonációsebesség nem követelmény (kivétel a szeizmikus kutatásokhoz gyártott speciális robbanó zselatinokat).	függ az alkalmazástól: aknák, bombák, tüzérségi löszerek, rakéták a./ harci fejek töltetei: - magas gáznyomás; - nagy gázfejlődés; - magas robbanáshő (magas detonációsebesség nem követelmény). b./ gránátok töltetei: - nagy repeszképző hatás; - nagy töltési sűrűség; - nagy detonációsebesség; - közepes munkavégző képesség elegendő. c./ kumulatív töltetek: - extrém magas sűrűség és detonációsebesség (HMX- a legjobb); - magas hatóerő (brizancia) és munkavégző képesség.
érzékenység	- kezelésbiztonság; - gyutacsérzékenység (kivéve a slurry-ke és az ammóniumnitrát- tüzelőanyag keveréket).	- amennyire csak lehetséges, érzéketlen; - tűzbiztos; - ütésbiztos; - lövésbiztos
stabilitás és tárolhatóság	- kb. hat hónap tárolási idő, vagy több; - semleges (nincs az alkotók között nitric-azid)	- 10 év vagy több a tárolási idő; - semleges; - fémekkel nem reagál; - alakítható.
vízállóság	- töltényezve 2 órát el kell viselnie állóvízben (szeizmikus robbanóanyagoknak többet).	- tökéletes vízállóság, legalább a fegyverbe való betöltésig.
adagolhatóság	- zselatinált, vagy por.	- öntött vagy préselt.
Hő-tűrő képesség	- -25 °C -ig (-13 °F) nem fagyhat meg; - +60 °C -ig (140 °F) néhány órát ki kell bírnia.	- teljes működésképeség meg kell őriznie -40 °C (-40 °F) és + 60 °C (+140 °F) között, sőt különleges esetekben e fölött is.

J. Köhler – R. Meyer: Explosives – Fourth, revised and extended edition (VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, 1993.) 12. táblázat, 142. old. alapján

A katonai robbantástechnikában is a gyakorlati alkalmazás szerinti felosztást tekintjük a legfontosabbnak, mely szerint megkülönböztetünk iniciálót (primer), brizáns (szekunder) és ballisztikus (toló hatású) robbanóanyagokat. A brizáns robbanóanyagok tovább bonthatók magas, közepes és alacsony hatóerejűekre.

Az iniciáló (primer) robbanóanyagok olyan érzékeny robbanóanyagok, amelyekben nem csak a lökeshullám, hanem egyéb energiaforrás (szűrőláng, sűrűlódás, gyenge ütés, felmelegedés stb.) is kiválthatja a detonációt. Robbanásukkor viszonylag kevés nagytérfogatú gáz keletkezik, ezért önmagukban robbantási tevékenységre nem használják őket. Elsősorban a brizáns robbanóanyagok detonációjának előidézésében van fontos szerepük.

A brizáns (szekunder) robbanóanyagok robbanása normál körülmények között, csak megfelelő erősségű lökeshullámmal (aktiválási energiával) – pl. gyutacs vagy másik robbanóanyag töltet robbanásának hatására – idézhető elő. Viszonylag nagy detonációsebességük és a robbanásuk során keletkező jelentős mennyiségű (térfogatú) gázképződés miatt, az ipari és a katonai gyakorlatban kiemelt jelentőséggel bírnak.

A ballisztikus robbanóanyagok (lőporok) olyan toló hatású robbanóanyagok, amelyeknek stabil és gyors az égése, de ez az égés általában nem megy át detonációba (az anyag csak explodál). Elsősorban lőfegyverek, lőpor-hajtóművek céljára, valamint speciális bányászati tevékenységre (pl. márványbánya) használatosak.

A primer és a szekunder robbanóanyagok, egymástól eltérő tulajdonságait a 3. táblázatban mutatjuk meg.

ROBBANÓANYAG/ JELLEMZŐ	Iniciáló			Brizáns	
	Durránó-higany	Ólomazid	TNRSZ (tricinát)	TNT	Tetril
Sűrűség [g/cm ³]	4,42	4,8	3,0	1,47-1,64	1,73
Detonációsebesség [m/s]	5400	5300	5200	6700	7570
Robbanáshő ³⁰ [kJ/kg]	1486	2866	1549	5066	5527
Gáztérfogat ³¹ [l/kg]	-	308	470	620	672
Ütésérzékenység ³² [J]	1,0	1,2	2,5-5,0	15,0	3,0
Trauzl-próba ³³ [cm ³]	130	110	130	300	410

3. táblázat Iniciáló és brizáns robbanóanyagok jellemzőinek összehasonlítása

A robbanóanyagok iniciálása

A ma alkalmazott ipari és katonai (szekunder) robbanóanyagok stabil képződmények, melyek detonációjának előidézéséhez meghatározott nagyságú kezdő, azaz iniciáló impulzus szükséges-

³⁰ 1 kg robbanóanyag tökéletes robbanási átalakulása során állandó térfogat mellett felszabaduló elméletileg meghatározott hőmennyiség

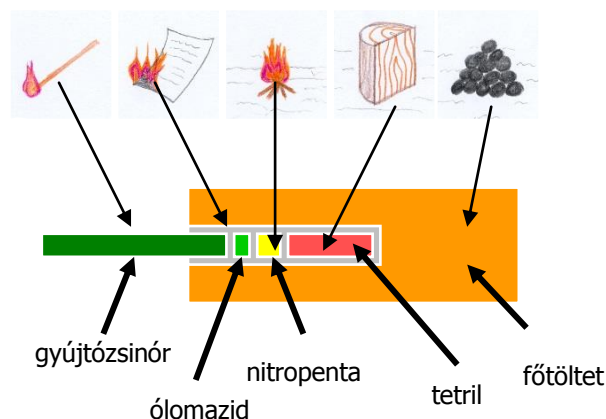
³¹ 1 kg robbanóanyag gáztermékeinek a térfogata 1 bar nyomáson és 0°C hőmérsékleten

³² A robbanóanyag mechanikai hatásokkal szembeni érzékenysége (a robbanóanyagra ejtett tömeg és azon ejtési magasság megadásával jellemzik, mely még nem idézi elő a robbanást).

³³ A robbanóanyag munkavégző képességének vizsgálati módszere. Előírt méretű ólomhengerben lévő furatba helyezett, fojtott töltet robbanása után, a robbantás előtti és utáni furat-térfogat különbségét (öblösödés) adják meg cm³-ben.

ges. A primer robbanóanyagokat nem tekintve, a fekete lőpor az egyedüli olyan robbanóanyag, mely valóban láng hatására közvetlenül felrobbantható.

A brizáns (szekunder) robbanóanyagok detonációja (pont a megfelelő kezelésbiztonság miatt) hőimpulzussal nem hozható létre. Mechanikai behatásokkal (ütés, dörzsölés) szembeni érzékenységük szintén nem jellemző. Detonációjának kiváltásához (az önfenntartó kémiai átalakulás elindításához) kellő erősségű lökéshullámra van szükség. Vagyis, ahogy a kályhában a szén sem gyújtható meg egy szál gyufával, úgy a mai kor biztonsági követelményeinek megfelelő robbanóanyagok sem robbanthatók fel az említett „szúrólánggal”. Ehhez, egy úgynevezett **gyújtási láncot** kell létrehozni, melyben egy kis, rendszerint hőenergiával elindított impulzus kerül több közvetítő anyag által addig fokozásra, míg a szekunder robbanóanyag (mint főtöltet) stabil detonációját nem lesz képes kiváltani. Ezt a folyamatot nevezzük másként, a töltetek iniciálásának.



3. ábra Gyújtási lánc egy változata

A ROBBANÓANYAGOK KIALAKULÁSÁNAK RÖVID TÖRTÉNETE

A következőkben röviden áttekintjük a robbanóanyagok kialakulását. Tesszük ezt azért, mert mint látni fogjuk, a jelenleg is alkalmazott robbanóanyagok döntő többségét már elég régóta ismeri az ember, és a későbbiekben azt tapasztaljuk, hogy a mai napig, döntően e robbanóanyagokat használjuk akár önállóan, akár egy „új” robbanóanyag alkotórészeként, a katonai és az ipari gyakorlatban egyaránt³⁴. A tárgyalt robbanóanyagok jellemzőit nem a szövegben, hanem a tanulmány végén lévő táblázatban, összefoglalva mutatjuk be.

A lőpor története

A salétromból, kénből és faszénből előállított **fekete lőport**, **i.sz. 700 körül** Kínában fedezték fel, de a „barbár” Keleten, ennek ellenére évszázadokig csak tűzijáték céljára használták ezt a stratégiai fontosságú találmányt. **1000 körül került először katonai alkalmazásra a Távol-Keleten**, **1200 körül** pedig már az **arabok** is harcoltak vele. **Európában a XIV. század elején** kezdték először **lőfegyverekben** használni. A különböző szakirodalmi utalások szerint, a

³⁴ Természetesen, speciális feladatokhoz új robbanóanyagokat is fejlesztenek, de ezek – főleg magas árak miatt – nem kerülnek széleskörű felhasználásra. Bővebben lásd, dr. Kovács Zoltán: Robbanóanyagok a katonai gyakorlatban - előadás a Magyar Robbantástechnikai Egyesület, „Fűrés-robantástechnika 2008” Nemzetközi Konferenciáján, Vác, 2008. szeptember 16-18. (megjelent a konferencia kiadványában, 43-47. o.)

kétes dicsőségen többen is osztoznának.

Állítólag **1249-ben, Roger Bacon** (1214-1292) angol szerzetes „találta fel” Európa számára a lőport, és felismerve annak stratégiai jelentőségét, erről egy titkos levélben tájékoztatta a pápát is (7 rész salétrom, 4-4 rész faszén és kén keveréke). Ugyanakkor téves az az elterjedt vélemény, hogy **Schwartz Berthold** német ferences-rendi szerzetes lenne az európai lőpor atyja, hiszen ő a XIV. század második felében élt (1310-1384). Neve inkább a lőpor lőfegyverekben való elterjesztésével hozható összefüggésbe. **1275 körül Graecus Marcus, 1300-ban pedig Magnus Albertus**, Bacon-nal szemben a salétrom, faszén és kén keverését már 6:2:1 arányban javasolja. **1326-ban, Angliában** alkalmazták először kontinensünkön **ágyúba a puskaport**, 1346-ból írásos feljegyzések maradtak a Cressy-i csatában való szintén ágyús használatról. Németországban és Franciaországban csak 1380 után kezdték a „lövőfegyvereket” használni, minthogy a „lovagias érzék és vallásos buzgóság” ebben az időben nem tudott velük megbarátkozni.

A korábbi földalatti aknaharc, lőporral kombinált alkalmazására először **1403-ban** került sor, mikor a Pisa és Firenze közötti háborúban, **Pisa várának** falait, az alájuk ásott alagútban elhelyezett lőpor töltettel röptették a levegőbe. A tervezésnél közreműködött az ostromló Ludovico Sforza herceg katonai-műszaki szakértője is, **Leonardo da Vinci**. 1441-ben Belgrád várát szintén a falak lőporral történő felrobbantása után tudták elfoglalni, és 1597-ben Pálffy Miklós és Prestyánszky Tata várát, 1598-ban pedig Pálffy és Schwarzenberg Győr várát úgy vették be, hogy a kapukat petárdákkal szétrombolták, és a meglepett őrséget levertek³⁵.

Még egy utolsó adalék európai „kultúrtörténelmünkhöz”: **1605. november 5-én, Londonban** pokolgépes merénylet előkészületét leplezték le: a katolikus lázadók **Guy Fawkes** vezetésével, 1632 kg fekete lőport akartak becsempészni a Parlament pincéjébe, így akarván felrobbantani a protestáns I. Jakab királyt. A terv, árulás miatt meghiúsult, a bűnösöket a kor törvényei szerint elítélték és kivégezték.

A fekete lőpor első ipari felhasználására viszont csak **1627-ben** került sor **Selmechbányán** (Szelakna, Felső Bíber táró), **Weindl Gáspár** tirolai bányamester híres robbantásánál. Az ötlet egyébként a bánya egyik résztulajdonosától, Montecuccoli bárótól származott, aki a nagy hadvezér rokonaként, a fenti várfalak aláaknázásának tapasztalatait javasolta átültetni a bányászati gyakorlatba. A sikeren felbuzdulva, a módszer gyorsan terjedt Európában. 1679-ben, a franciaországi Canal Du Midi, Malpas alagútját robbantással alakították ki, Angliában pedig ón- és rézbányában kezdett 1689-ben lőporral robbantani id. Thomas Esply.

A fekete lőpor gyártását természetesen folyamatosan fejlesztették az idők során. **1777-1778 között Lavoisier** folytatott kísérleteket, majd megjelent a **Berthollet keverék**, mely 16 rész salétromot, 1 rész kén és 3 rész faszenet tartalmazott. Az **1882-es Rottweil puskaporban** 77 rész salétrom és 3 rész kén mellett, 20 rész rozsszalma-szén volt.

Az iniciáló robbanóanyagok fejlődése

A **durranóhigany** felfedezését **1630 körüli** időpontban határolják be, és a holland **van Drobbelnek** tulajdonítják. Érdekesség, hogy csak a brit **Edward Howard, 1799-es** „újra fel-

³⁵ Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903. 3. o.

találása” (mely egy tévedésen alapuló véletlen műve volt) után került tényleges hasznosításra. **Primer robbanóanyagként** való hasznosítását a skót **Alexander J Forsyth** szabadalmaztatta **1807-ben**.³⁶

Hasonló sors jutott a **trizinátnak (TNRSZ)** is: az alapjául szolgáló **sztifninsavat** először **1808-ban** állította elő **Chevreuil**, de csak a **trinitro-rezorcin 1871-es előállítás** (és a sztifninsavval való azonosságának bizonyítása) után kerülhetett sor ezek ólom-sójaként, a ma is nagy mennyiségben gyártott robbanóanyag létrehozására.

Az **ólomazidot Curtius** állította elő először, szintén **1891-ben**. **Gyutacsban** való használatát, **1906-ban A. A. Solonina** orosz ezredes javasolta, a durranóhigany helyett. A **tényleges ipari gyártás 1908-ban** kezdődik.

A brizáns robbanóanyagok fejlődése

A XIX. században, az ipar más területeihez hasonlóan, a robbanóanyagok feltalálása terén is hatalmas ugrást figyelhetünk meg. A német Christian Friedrich **Schönbein 1846-ban** felfedezi a **nitrocellulózt** (kezdetben gyógyászati segédeszközként, sebek fertőtlenítésre használták), Ascanio **Sobrero**, olasz fizikus és gyógyszerész pedig a **nitroglicerint**. Utóbbi szívgyógyszer kutatása során jutott a felfedezésre, egy robbanástól maga is megsebesült az arcán. Ezt követően mindenkit óvott találmánya alkalmazásától, az „ördög művének” nevezve azt.

1853-ban egy orosz katonatiszt, **V. F. Petrushevski** a nitroglicerint magnéziummal abszorbeálta, és az így nyert robbanóanyagot, mint a dinamit előfutárát, a szibériai aranybányákban alkalmazták.

Alfred **Nobel** – többek között a nitroglicerint gyáraiban bekövetkezett robbanások miatt, melyeknek testvére is áldozatul esett – kísérletezni kezdett e veszélyes anyag kezelés biztossá tételén. A véletlen is a kezére játszott, mivel a nitroglicerint üveg ballonokban szállították, melyeket faládba csomagoltak, és a rázkódást elkerülendő, a ládákat egy jó nedvszívó tulajdonságú semleges anyaggal, kovafölddel (szilícium dioxid) töltötték ki. Egy alkalommal, az egyik ballon dugójánál szivárgás történt, és a kiszabaduló nitroglicerint, a kovaföld elnyelte, olyan rugalmas, gyurmaszerű anyagot képezve vele, mely megőrizte a nitroglicerint robbanó erejét, ugyanakkor jelentősen csökkentette, annak mechanikai hatásokkal szembeni érzékenységét. **Nobel 1867-ben szabadalmaztatta**³⁷ a **világ első kezelés biztos robbanóanyagát**, a kovafölddel felitatott nitroglicerint. Az így nyert ún. **gurdinamitot**³⁸, a dinamitféleségek egész sora követte.

A nitroglicerint ipari méretű alkalmazása még egy problémát vetett fel: ez a biztonságos iniciálás volt. A robbantástechnika ugyancsak fontos mérföldköve volt, mikor többéves kísérletezés eredményeként, **1846-ban Alfred Nobel bevezette az első fémhüvelyes, durranóhigany töltetű gyutacsot** (felváltva a korábbi fekete lőpor töltetű detonátorokat), a nitroglicerint töltetek iniciálására. Mivel az akkor már ismert fekete lőporos (Bickford-féle) gyújtózsínor helyett továbbra sem talált más eszközt, mellyel a pontosan időzíthető robbantást el lehetett vol-

³⁶ Schaffer Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903., 2-4. o.

³⁷ Egyes irodalmakban a feltalálás dátumaként 1866 szerepel.

³⁸ A kovaföld Kieselgur nevéből

na végezni, olyan robbanóanyagokkal kezdett kísérletezni, melyek lángérzékenysége biztosítja a gyújtószinór által történő robbantást, ugyanakkor a detonációja által előidézett energia elég nagy, a nitroglicerinnel töltet tökéletes robbantásához. Nobel a durranóhiganyban vélte felfedezni a megfelelő tulajdonságokat, melyet felül nyitott rézhüvelybe sajtolt, megalkotva ez által, az első gyutacsot³⁹.

Mikor 1867-ben Alfred Nobel elkészítette az első kezelésbiztos, ugyanakkor mégis nagyhatóerejű robbanóanyagot, a gurdinamitot, új problémával szembesült: az új anyag annyira „biztonságos” volt, hogy a nitroglicerinnél addig alkalmazott és jól bevált gyutacsával nem lehetett iniciálni.

Nobel tehát újból munkához látott, és még abban az évben egy teljes **gyutacssorozat**ot készített **1-től 10-ig terjedő erősséggel**. Ezekben a gyutacsokban, eltérő tömegű durranóhigany töltetet alkalmazott: a legkisebb mennyiség 0.3 g, a legnagyobb 3.0 g volt. A sorozat 8. tagja, mely 2.0 g töltetet tartalmazott, már elégségesnek bizonyult a dinamit töltet iniciálásához is. A mai napig, az ennek megfelelő robbanó erejű gyutacsokat alkalmazzák a legelterjedtebben a világon⁴⁰, az ún. gyutacsérzékeny robbanóanyagok indításához.

A **robbanó zselatint** szintén **Nobel** állította elő először **1875-ben**, nitroglicerinnel és nitrocellulóz alkalmazásával. Zsenialitásából mit sem von le az a tény, hogy ezt a felfedezést egy laboratóriumi baleset előzte meg, mikor is Nobel elvágta a kezét, és a sebet nitrocellulóz vattával kezelve, kocsonyás gél keletkezett a bőrén. Mivel a kísérlet során nitroglicerinnel dolgozott, ezt az eredményt csak e két anyag keveredése okozhatta.

A **füstnélküli lőpor** feltalálója, a francia **Paul Vieille**, **1884-ben** állítja elő az első tiszta, katonai lőfegyverekben alkalmazható nitrocellulóz lőport (a francia hadsereg 1866-ban rendszeresíti), míg **Nobel 1888-ban** szabadalmaztatja az első kétbázisú nitroglicerines lőpor, a **ballistit** előállítását. Az angolok sem akartak lemaradni, és **dr. W Kellner** 1888-1889-ben előállította a második kétbázisú füstnélküli lőport, melyet **F. Abel** és **Sir James Dewar** szabadalmaztatott **cordit** néven⁴¹.

A **pikrinsavat Pierre Woulfe** francia vegyész állította elő először **1771-ben**, de sokáig csak selyem és gyapjú festésére használták (néha kissé zajos sikerrel). Mint robbanóanyagot, **1867-ben Borlinetto** ajánlotta, majd **1871-ben Herman Sprengel** német vegyész ismerteti a felhasználás konkrét lehetőségeit. Ezzel megteremtődnek a lehetőségek, hogy **1887-ben** a francia **Eugen Turpin** bemutassa a pikrinsav-collodium bázisú **melinitet** (a francia hadsereg rendszeresítette a Turpin-féle, pikrinsavas robbanóanyag töltetű tüzérségi lőszereket). Ezt követően sorban jelentek meg az egyes országokban a **pikrinsavas katonai robbanóanyagok** úgy, mint az angol **lyddite**, az orosz **silotwor**, az Osztrák Magyar Monarchiában az **ekrazit**, a japán **simoze** és a német **sprengkorper**. Ugyancsak Franciaországban kezdték gyártani **1917-ben** a **melinit-TNT** keverék robbanóanyagot.

³⁹ A rézre nem esztétikai megfontolások, hanem a durranóhigany azon „kellemetlen tulajdonsága” miatt volt szükség, hogy más fémekkel érintkezve (főleg ha még nedvességet is kap) cserebomlásba megy és elveszíti érzékenységét.

⁴⁰ Minden 8-as erősségű gyutacs robbanási energiájának, egyenértékűnek kell lennie 2 g durranóhigany robbanási energiájával.

⁴¹ A brit hadsereg Cordite Mark I, másként CSP (cordite smokeless powder) néven rendszeresítette

A **trinitrotoluolt (trotil, TNT)**⁴², mint robbanóanyagot a német **C. Haussermann** vezette be **1891-ben** (első előállítás **1863-ban** történt és a német kémikus, **J. Wilbrand** nevéhez fűződik, de ezt az anyagot is hosszú éveken keresztül csak a festőipar használta). A német hadiipar 1902-ben kezdte alkalmazni nagyhatóerejű aknagránátok töltésére, az 1905-ös orosz-japán háborúban használták először katonai célra, az USA 1912-ben kezdte meg katonai felhasználását. Az I. világháborúban már mindegyik hadviselő fél rendszeresített robbanóanyaga volt. Az egyre növekvő igényeket a gyártás nem tudta követni, ezért a lőszerekben ammónium nitráttal kevert változatát, az **amatolt** használták, melyet **1915-ben** fejlesztettek ki Angliában.

Ehhez természetesen **Favier-nek** fel kellett találnia az **ammónium-nitrátos robbanóanyagokat 1884-ben**. Magát az **ammónium nitrátot J. R. Glauber** német kémikus szintetizálta először, még **1654-ben**.

Az **alumínium porral érzékenyített robbanóanyag** alkalmazását, a német **R. Escales** javasolta **1899-ben**, **G. Roth** szabadalma nyomán. Az első ilyen robbanóanyag az **ammonal** volt, mely az ammóniumnitrát mellett faszenet és alumínium port tartalmazott. Ausztriában, **1917-ben** fejlesztette ki **R. Forg** az **ammonal T** robbanóanyagot (TNT, alumínium-por és ammónium nitrát keverék), melyet elsősorban víz alatti robbantásokhoz és torpedófejek tölteteként alkalmaztak⁴³.

Tollens 1891-ben fedezte fel a **nitropentát (PETN)**⁴⁴.

A **folyékony oxigén robbanóanyagot (LOX)**⁴⁵ a német **Karl. P. G. von Linde** vezette be **1895-ben**. Rendszeresítve volt az I. világháború alatt a német, valamint az Osztrák-Magyar Monarchia hadseregében, de az USA-ban a Közép-Nyugat külszíni bányáiban egészen az 1950-es évekig használták.⁴⁶

A **tetrilt Michler és Meyer** már **1879-ben** ismerték Németországban, de csak az I. világháborúban nyert széleskörű alkalmazást (Németországban 1906-ban, Oroszországban 1910-ben kezdték meg folyamatos gyártását).

A német Hans **Henning 1899-ben**, gyógyszer kutatás során fedezi fel a **hexogént**, de **robbanóanyagként** csak **1920-ban szabadalmaztatja**, az ugyancsak német **E. von Herz**. Tömeges felhasználására csak a II. világháborúban került sor.

Az **RDX-ként** is ismert hexogént Angliában **Royal Demolition eXplosive**, az USA-ban és Kanadában **Research Department eXplosive**, Olaszországban **T4** néven ismerik, de **Cyclonit**-ként is forgalmazzák. Bár előállítási költsége igen magas (az egyébként sem olcsó TNT árának 2-4-szerese), ma mégis az egyik legfontosabb katonai robbanóanyag a világon.

Alapanyaga a préselt **Composition A, A-2, A-3, A-4** robbanóanyag családnak, a bombák,

⁴² ismert még trinitrotoluene megnevezése is

⁴³ TM 9-1300-214 Military explosives technical Manual, Headquarters, Department of the Army, Washington DC, USA, 1984., 2-10. o.

⁴⁴ Pentaeritritol-tetranitrát; ismert még Pertitrit, ten és corpent néven is

⁴⁵ Liquid Oxigene eXplosive

⁴⁶ TM 9-1300-214. Military explosives technical Manual, Headquarters, Department of the Army, Washington DC, USA, 1984. 2-7. o.

aknák és lőszer töltésére szolgáló, általában trotilal elegyített **Composition B**⁴⁷, **B-2**, **B-3**, **B-4** sorozatnak, és (ugyancsak trotilal keverve) a plasztikus robbanóanyag családnak, a **Composition C**, **C-2**, **C-3** és **C-4**⁴⁸-nek.

Ugyancsak RDX-TNT keverék a repeszbombák töltésére használt **Ciklotol**, a mélyvízi bombák robbanóanyaga a **DBX** (**Depth Bomb eXplosive**), Mélyvízi bombák, torpedók, rakéták harci részét töltik a **HBX-1** (**Hight Brissance eXplosive**), robbanóanyaggal (40% RDX, 38 % TNT). Gyújtószerkezetek, víz alatti robbantások harci töltete a **HBX-3**, másként **TORPEX** (31% RDX, 29 % TNT). Harckocsi aknában alkalmazzák és az egyik legjobb légi robbantásokhoz alkalmazandó robbanóanyagként ismert, a **HBX-6**, másként **H-6** (45 % RDX, 30 % TNT) keveréket. Nagy hatóerejű töltetekbe használják a **HTA-3**⁴⁹ robbanóanyagot (49 % RDX, 29 % TNT).

A főleg terrorista robbantások révén elhíresült, egyébként kiváló robbanási tulajdonságokkal rendelkező **SEMTEX plasztikus robbanóanyagot**, a cseh **Stanislav Brebera** fejlesztette ki Pardubiceben, **1966-ban**. A cég kezdetben Sementin Glassworks, majd VCHZ Synthesia, jelenleg pedig Explosia néven állít elő különböző katonai és ipari robbanóanyagokat. A nitropenta és hexogén alap robbanóanyagokból álló SEMTEX-et nagy mennyiségben exportálták, így pl. 1975-1981 között OMNIPOL néven, kb. 700 tonnát Líbiába is. Az ipari **SEMTEX 1A** és **SEMTEX 10** robbanóanyagok 94 %-ban nitropentát és csak 5 % hexogént tartalmaznak, a katonai **SEMTEX 1H** esetén ez az arány közel 50-50%. Legújabb, alumínium porral érzékenyített katonai plasztikus robbanóanyaguk a **Semtex® PI-Hx-30**, 30/50 % nitropenta/hexogén tartalommal.

Amerikában, **1941-ben** hexogén gyártás melléktermékeként állította elő **Bachmann**, a **HMX**⁵⁰ néven is ismert **oktogént**⁵¹, mely kémiai összetételében hasonló az RDX-hez, de robbanási tulajdonságaiban felülmúlja azt.

1952-ben fejlesztették ki Amerikában⁵² a 70/30, illetve 75/25 százalékban HMX-et, illetve TNT-t tartalmazó **oktol**-t. **1952-ben** fejlesztette ki a Los Alamos Scientific Laboratories (USA) az első polimer kötésű robbanóanyagot (**PBX**⁵³).

Charles A. Wurtz 1859-ben fedezte fel az **etilén oxidot** és az **etilén glykolt**. Egy évszázaddal később az etilén oxidot az USA alkalmazta a levegő-tüzelőanyag keverék (aerosol robbanóanyagok), másként **FAE-lőszer**ek (Fuel-Air Explosives)⁵⁴ kifejlesztésénél.

Az USA-ban az 1920-as évektől folyt fejlesztő munka egy közel hexogén hatóerejű, de a fizikai hatásokkal szemben annál érzékeltlenebb katonai robbanóanyag kifejlesztésére. A siker

⁴⁷ A II. világháború alatt, 1943-tól az amerikai légierőnél a légibombák mintegy 40 %-át ezzel a robbanóanyaggal töltötték. - TM 9-1300-214., 2-14 – 2-16. o.

⁴⁸ A C-4 plasztikus robbanóanyagot K. G. Ottoson (Picatinny Arsenal) fejlesztette ki 1946-1949 között

⁴⁹ High Temperature Explosive - 1958-ban fejlesztik ki a Picatinny Arsenal-nál

⁵⁰ High Melting point eXplosive (magas olvadáspontú robbanóanyag), de ismert még Her Majesty's eXplosive néven is

⁵¹ ciklotetrametilén-tetranitramin (C₄H₈N₈O₈)

⁵² Northern Corporation

⁵³ Polimer Bonded eXplosive

⁵⁴ Használják a FAX (fuelair explosives) kifejezést is

1935-ben született meg, amikor **dr. George C. Hale** felfedezte az **EDNA**⁵⁵ (másként **haleite**) nevű robbanóanyagot. Egyben ez volt az első önálló amerikai fejlesztésű robbanóanyag.

1937-ben, Angliában fejlesztették ki a **baratolt**, bárium nitrát és TNT összetevőkkel. Tömeges felhasználására a II. világháborúban került sor.

1945-ben mutatták be Amerikában, az **L. H. Eriksen** és **J. W. Rowan** által kifejlesztett, első-sorban aknamentesítésre javasolt folyékony robbanóanyagot, a **PLX**⁵⁶-et. Hasonló robbanóanyagot **Myrol** néven már használt aknamentesítésre a német hadsereg, a II. világháború alatt.

A **hőálló robbanóanyagok** kifejlesztésének úttörője az amerikai **Shipp** volt, aki **1966-ban** fedezte fel a **hexanitrostilben-t** (**HNS**). **1978-ban** fejlesztette ki **Atkins** és **Norris** a **triamino-trinitrobenzen-t** (**TATB**).

Az alacsony hatóerejű ipari robbanóanyagok

Az ipari robbanóanyagok első, és talán máig legismertebb fajtájának, az **ammóniumnitrát-dízel olaj keverék robbanóanyagának** a felfedezése, az Amerikai Egyesült Államok (Texas-City)⁵⁷, illetve Franciaország (Brest)⁵⁸ tengeri kikötőiben, **1947-ben** bekövetkezett hatalmas robbanásokhoz kapcsolódik. Mindkét helyen az európai újjáépítéshez szállítandó ammónium-nitrát műtrágya robbant fel, a tároló papírszakok meggyulladására következett.

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 kevertek. Az összesen több mint 6000 t „műtrágya” illetően való felrobbanása igencsak felkeltette a robbanóanyag-ipari szakemberek figyelmét, és ennek eredményeként született meg az Európában **ANDO**⁵⁹, Amerikában pedig **ANFO**⁶⁰ néven ismert – elsősorban ipari felhasználású – robbanóanyag, mely alapváltozatában 94 % ammóniumnitrátból és 6% gázolajból készül, akár a robbantás helyszínén történő összekeveréssel.⁶¹

Az ipari robbanóanyagok fejlődésének második szakasza, a **robbanózag** **1958-as** felfedezésével kezdődött (**Melvin A. Cook** és **H. E. Farnham**)⁶². A robbanózagok elsősorban ammóniumnitrát és más nitrátok vizes oldatai, égő anyagokkal (alumíniumpor, glikol, stb.) és érzékenyítő anyagokkal (TNT, nitropenta, hexogén) keverve. Töltényezhetők és a helyszínen bekeverhetők, tartálykocsiból a fűrólyukba szivattyúzhatók. Hatóerejük 3-6-szorosa az ANDO/ANFO-énak. További nagy előnyük az ANDO-val szemben, hogy vizes fűrólyukakba is tölthetők, de csak + 4 °C-ig működnek megbízhatóan, az alatt megdermednek és bizonytalanul detonálnak.⁶³

⁵⁵ Etilén-dinitramin

⁵⁶ Picatinny Liquid Explosive – 95 % nitrometán és 5 % etilén-dinitramin keveréke

⁵⁷ Az 1947. április 16-án és 17-én, az SS Grandchamp és az SS Highflyer fedélzetein bekövetkezett robbanások 567 ember életét követelték

⁵⁸ 1947 július 28-án, az SS Ocean Liberty robbant fel

⁵⁹ Ammóniumnitrát + „diesel oil”

⁶⁰ Ammóniumnitrát + „fuel oil” – a gázolaj elnevezése az USA-ban

⁶¹ Baron V. L.- Kantor B. H.: Tyehnyika i tyehnológija vzrívnih rabot v SzSA (A robbantási munkák technikája és technológiája az USA-ban), Nyedra, Moszkva, 1989., 49-50. o.

⁶² TM 9-1300-214. Military explosives technical Manual, Headquarters, Department of the Army, Washington DC, USA, 1984. 2-22. o.

⁶³ Baron V. L.- Kantor B. H.: Tyehnyika i tyehnológija vzrívnih rabot v SzSA (A robbantási munkák technikája

Az ipari robbanóanyagok fejlődésének harmadik szakaszát, az emulziós robbanóanyagok megjelenése jelentette. Az USA-ban, **1964-ben** mutatták be az első **emulziós robbanóanyagot**, de az igazi fellendülést az 1980-as évek elején lehetett megfigyelni. Ezt bizonyítja az a tény, hogy az emulziós robbanóanyagokkal kapcsolatban 1969-1983 között benyújtott több, mint 70 szabadalomtól 40-nél többet 1981 és 1983 között jegyezték be⁶⁴. Ebben az új robbanóanyagban, nagyon kis átmérőjű ammónium-nitrát oldat csöppek ($\varnothing$ 10-4 mm) kerültek vékony olajréteggel bevonásra, a speciális gyártási technológia során. Ennek következtében a robbanóanyag vízálló, ugyanakkor a speciális emulgeáló szer tulajdonságai következtében robbanási tulajdonságait akár $-25-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on sem veszíti el. Mivel az emulzió önmagában nem tartalmaz robbanóanyagnak minősülő összetevőt, így csak érzékenyítő adalék hozzáadása után válik tényleges robbanóanyaggá (addig csak dízelolaj kategóriájú tűzveszélyes anyag!). Ez az érzékenyítő adalék üvegből vagy műanyagból készült, néhány mikron átmérőjű üres gömböcske. Az üveggyöngy szerepe az emulzióban az, hogy az indítótöltet robbanásakor képződő lökőhullám által létrehozott nagy és gyorsan terjedő nyomás hatására, a bennük lévő üregecskék energia koncentrációt (ún. „forró pontot”) generálnak, amely elegendő a vele szomszédos robbanóanyag-rész detonációjához, és ilyen módon a láncreakció végig viteléhez. Az emulzióba kevert üveggyöngy mennyiségével, egyben szabályozható a gyártott robbanóanyag iniciálhatósága, továbbá a külső hőmérséklethez való illesztése. Az emulziós robbanóanyagok az elmúlt 15-20 évben hatalmas változásokon mentek keresztül és még ma is a fejlődés stádiumában vannak. Az üveggyöngyön kívül, létezik a robbanóanyagnak gázosított buborékokat tartalmazó változata is, melynél a gyártás során az anyaghoz kevert gázfejlesztő anyag segítségével hozzák létre a „forró pontokat” képező üregecskéket.

Befejezésként a csatolt mellékletekben, a fent tárgyalt robbanóanyagok legfontosabb adatait foglaljuk össze⁶⁵.

TÁMOP-4.2.1.B-11/2/KMR-2011-0001 Kritikus infrastruktúra védelmi kutatások „A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

„The project was realised through the assistance of the European Union, with the co-financing of the European Social Fund.”

és technológiája az USA-ban), Nyedra, Moszkva, 1989., 76. o. - Dr. Földesi János: Robbanó emulziók és emulziókkal végzett külszíni robbantások tapasztalatai (MH SZCSP Műszaki Főnöksége továbbképzésére készített előadás, Baja, 1993.)

⁶⁴ Baron V. L.- Kantor B. H.: Tyehnyika i tyehnológija vzrivnih rabot v SzSA (A robbantási munkák technikája és technológiája az USA-ban), Nyedra, Moszkva, 1989., 82. o.

⁶⁵ Az irodalomjegyzék [5] [10] [12] és [29] folyószámú anyagainak felhasználásával

INICIÁLÓ ROBBANÓANYAGOK

Köznapi megnevezés (kémiai név)	Vegyi összetétel	Detonáció sebesség [m/s] (sűrűség g/cm ³)	Felhasználás
Ólom-azid (ólom [II] azid)	Pb (N ₃) ₂	Préselt $\rho = 4 \text{ g/cm}^3 = 5180$ $\rho = 3 \text{ g/cm}^3 = 4630$ $\rho = 2 \text{ g/cm}^3 = 4070$	gyutacsokba (lángérzékeny)
Durranóhigany (higany fulminát)	Hg (ONC) ₂	Ömlesztett: 1200 Préselt: $\rho = 4 \text{ g/cm}^3 = 5000$ $\rho = 3 \text{ g/cm}^3 = 4250$ $\rho = 2 \text{ g/cm}^3 = 3500$	gyutacsokba (lángérzékeny)
TNRSZ, tricinát (trinitro-rezorcinát)	PbO ₂ C ₆ H (NO ₂) ₃ H ₂ O	Préselt: $\rho = 2.9 \text{ g/cm}^3 = 5200$ $\rho = 2.6 \text{ g/cm}^3 = 4900$	gyutacsokba (közvetítő töltet) csappantyúkba

MAGAS ÉS KÖZEPES HATÓEREJŰ BRIZÁNS ROBBANÓANYAGOK

Köznapi megnevezés (kémiai név)	Vegyi összetétel	Detonáció sebesség [m/s] (sűrűség g/cm ³)	Felhasználás
Nitropenta, PETN, ten (pentaeritrit tetranitrát)	C ₅ H ₈ N ₄ O ₁₂	$\rho = 1.7 \text{ g/cm}^3 = 8300$	robbanózsínór gyutacsok főtöltete pentolit gyártás
Hexogén, RDX (ciklo-trimetilén-trinitramin)	C ₃ H ₆ N ₆ O ₆	$\rho = 1.65 \text{ g/cm}^3 = 8180$	gyutacsok főtöltete robbanózsínórok kumulatív töltetek keverék robbanóanyagok
Tetril (trinitrofenil-metil-nitramin)	C ₇ H ₅ N ₅ O ₈	$\rho = 1.71 \text{ g/cm}^3 = 7850$	gyutacsok főtöltete booster robbanóanyag perforátorok keverék robbanóanyagok
Oktogén, HMX (ciklotetrametilén-tetranitramin)	C ₄ H ₈ N ₈ O ₈	$\rho = 1.67 \text{ g/cm}^3 = 8900$ $\rho = 1.84 \text{ g/cm}^3 = 9124$	keverék robbanóanyagok NONEL csövek mélyfúrási robbanózsínór, booster, perforátor
Amatol sorozat 50/50 60/40 80/20	Ammónium nitrát/TNT arány	$\rho = 1.55 \text{ g/cm}^3 = 6435$ $\rho = 1.55 \text{ g/cm}^3 = 5500$ $\rho = 1.55 \text{ g/cm}^3 = 5300$	bombák töltete, repszttó töltet
A-3 keverék	Hexogén)91%, wax 9 %	$\rho = 1.59 \text{ g/cm}^3 = 8100$	repszttó töltet

Köznapi megnevezés (kémiai név)	Vegyi összetétel	Detonáció sebesség [m/s] (sűrűség g/cm ³)	Felhasználás
B-keverék (hexotol)	Hexogén 60%, TNT 39 %, wax 1%	$\rho = 1.65 \text{ g/cm}^3 = 7800$	kumulatív töltetek, tűzérési lö- szerek, aknák, gránátok
C-3 keverék	hexogén 77%, plasztifikátor 23%	$\rho = 1.60 \text{ g/cm}^3 = 7625$	plasztikus robbanóanyag
C-4 keverék	hexogén 91%, polizobutilén 2.1%, motorolaj 1.6%, sebacate 5.3%	$\rho = 1.59 \text{ g/cm}^3 = 8040$	plasztikus robbanóanyag
TNT, trotil (trinitrotoluol)	$\text{C}_7\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_6$	Ömlesztett: 5200 Préselt: $\rho = 1.56 \text{ g/cm}^3 = 6700$ $\rho = 1.56 \text{ g/cm}^3 = 6900$	robbantó töltetek lőszerek keverék robbanóanyagok booster
SEMTEX	nitropenta és/vagy az RDX	$\rho = 1.50 \text{ g/cm}^3 = 6100$	plasztikus robbanóanyag
SEMTEX 1A, SEMTEX 10	94.3 % PETN; 5.7 % RDX	$\rho = 1.40 \text{ g/cm}^3 = 7200$	plasztikus robbanóanyag
SEMTEX 1H	49.8 % PETN; 50.2 % RDX	$\rho = 1.40 \text{ g/cm}^3 = 7800$	plasztikus katonai robbanóanyag
Semtex [®] Pl-Hx-30	30 % PETN; 50 % RDX, 8 % Al-	$\rho = 1.40 \text{ g/cm}^3 = 7800$	plasztikus katonai robbanóanyag



	por, 8-11% stabilizátor		
Pikrinsav, (trinitrofenol) picric-azid	$C_6H_3N_3O_7$	$\rho = 1.71 \text{ g/cm}^3 = 7350$	robbanóanyagokban alkotórész
Nitroglicerín	$C_3H_5N_3O_9$	$\rho = 1.60 \text{ g/cm}^3 = 7700$	robbanóanyagokban alkotórész
Nitrocellulóz		lőgyapot - 7350	hajtótöltetek alapvető robbanó- anyaga
Baratol	67%TNT+33% bárium nitrát	$\rho = 2.55 \text{ g/cm}^3 = 5900$	repsző töltet, bombák
Edna (Haleite) etilén-dinitramin	$C_2H_6N_4O_4$	$\rho = 1.49 \text{ g/cm}^3 = 7570$	ednatol alapanyaga boosterek

ALACSONY HATÓEREJŰ BRIZÁNS ROBBANÓANYAGOK

Köznapi megnevezés (kémiai név)	Vegyí összetétel	Detonáció sebesség [m/s] (sűrűség g/cm ³)	Felhasználás
Ammónium nitrát	NH ₄ NO ₃	1100-2700	keverék RAG alkotórész
ANDO-V-100	NH ₄ NO ₃ + olaj + emulgátor	$\rho = 1.28 \text{ g/cm}^3 = 5000$	gyújtacsérzékeny, üveggyöngy érzékenyítésű emulziós RAG
ANDO-ÉV	NH ₄ NO ₃ + olaj + emulgátor	$\rho = 1.15 \text{ g/cm}^3 = 5000$	gyújtacsérzékeny, üveggyöngy érzékenyítésű emulziós RAG
Emulgit 82GP	NH ₄ NO ₃ + olaj + emulgátor	$\rho = 1.20 \text{ g/cm}^3 = 3700$	gyújtacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG
Emulgit LWC	NH ₄ NO ₃ + olaj + emulgátor	$\rho = 1.15 \text{ g/cm}^3 = 4300$	gyújtacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG
EMSIT 1	NH ₄ NO ₃ + olaj + emulgátor	$\rho = 1.05 \text{ g/cm}^3 = 5200$	gyújtacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG
EMSIT M	NH ₄ NO ₃ + olaj + emulgátor	$\rho = 1.09 \text{ g/cm}^3 = 5100$	gyújtacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG
LAMBREX 1	NH ₄ NO ₃ + olaj + emulgátor	$\rho = 1.20 \text{ g/cm}^3 = 5500$	gyújtacsérzékeny, gázbuborék érzékenyítésű emulziós RAG

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ANDREJEV, K. K.- BELJAJEV, A. F.: A robbanó anyagok elmélete, Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1965.
- [2] ARDAY Géza m. kir. honvédszázados: A lőpor és robbanó anyagok technológiája és történeti fejlődése, Szent Erzsébet Nyomda Részvénytársaság, Kassa, 1910.
- [3] BARON, V. L.- KANTOR, B. H.: Tyehnyika i tyehnológija vzrивnih rabot v SzSA (A robbantási munkák technikája és technológiája az USA-ban). Nyedra, Moszkva, 1989.
- [4] BASSA, R.- KUN, L.: Robbantástechnikai kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [5] BOHUS G. – HORVÁTH Z.– PAPP J.: Ipari robbantástechnika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- [6] FÖLDESI János: Bányászati robbantástechnika I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1988.
- [7] HARASZTI J. - JUHÁSZ NAGY B. - KOMPOLTHY T. - MARÓTHY G. - SIPOS Z. - SZÜCS T.: Robbantóanyagok és robbantástechnika, Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1966.
- [8] KÖHLER, J. – MEYER, R.: Explosives – Fourth, revised and extended edition, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany, 1993.
- [9] SCHAFFER Antal: A gyakorlati robbantó technika kézikönyve, Pallas Rt., Budapest, 1903.
- [10] FM 5-250 Explosives and Demolitions, Headquarters, Department of the Army, Washington, DC, 15 June 1992.
- [11] LUKÁCS László: A katonai robbantástechnika és a környezetvédelem - egyetemi jegyzet, ZMNE Hadtudományi kar, Műszaki harcászati-hadműveleti tanszék, Budapest, 1997.
- [12] TM 9-1300-214 Military explosives technical Manual, Headquarters, Department of the Army, Washington DC, USA, 1984.
- [13] FÖLDESI János: Robbanó emulziók és emulziókkal végzett külszíni robbantások tapasztalatai (MH SZCSP Műszaki Főnöksége továbbképzésére készített előadás), Baja, 1993.
- [14] KOVÁCS Zoltán: Špeciálne vojenské výbušny – Special military explosives, - előadás a Szlovák Robbantástechnikai Egyesület nemzetközi konferenciáján, Stará Lesná, 2008. 05. 29-30. (megjelent a konferencia kiadványában, pp. 179-184.) ISBN 978-80-968748-8-0
- [15] KOVÁCS Zoltán: Robbantóanyagok a katonai gyakorlatban - előadás a Magyar Robbantástechnikai Egyesület, „Fűrés-robbantástechnika 2008” Nemzetközi Konferenciáján, Vác, 2008. szeptember 16-18., megjelent a konferencia kiadványában, (HU ISSN 1788-5671)
- [16] LUKÁCS László: A robbanóanyagok történetéről, Új Honvédségi Szemle, 1996/11. szám, pp. 139-143.
- [17] LUKÁCS László: A robbanóanyagok kialakulásának rövid története, Műszaki Katonai Közlöny 2008/1-4. összevont szám, pp. 15-24.
- [18] Vezérfonal az utászszolgálat oktatásához – fordítás, Pallas Irodalmi és Nyomdai Rt., Budapest, 1899.
- [19] E-23. Műszaki oktatás a m. kir. honvéd lovasság utász-szakaszai és század-utásai számára, Pallas Irodalmi és Nyomdai Részvénytársaság, Budapest, 1902.
- [20] E-32 (Műsz. okt.): Műszaki oktatás a nem műszaki csapatok számára + Ábrafüzet, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1926.
- [21] E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások I. rész, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928.
- [22] E-34 (Műsz. okt. műsz.): Műszaki oktatás a műszaki csapatok számára, 2. Füzet - Robbantások II. rész + Mellékletek, M. kir. honvédelmi minisztérium, Budapest, 1928-1929.
- [23] Robbantási segédlet, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1950.
- [24] E-mű.1. Ideiglenes robbantási utasítás, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1950.
- [25] Robbantások, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1953.
- [26] Mű/2. Robbantási utasítás, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1965.
- [27] Mű/213. Robbantási utasítás, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1971.
- [28] Mű/243. Műszaki szakutastítás a nem műszaki alegységek számára, Honvédelmi Minisztérium, Budapest, 1978.
- [29] Military explosives and propellants study guide (Katonai robbanóanyagok és hajtóanyagok jegyzéke), Dover Piscatinny Arsenal, AMCAS 1966.