

# A ROBBANÓANYAGOK KIVÁLASZTÁSÁNAK ÉS FELDOLGOZÁSI LEHETŐSÉGEINEK NÉHÁNY KÉRDÉSE

*Tóth József mk. alezredes<sup>1</sup>*

*A szerző a katonai felhasználásra tervezett robbanóanyagok kiválasztásának néhány szempontját ismerteti az írásműben. Megfogalmazásra kerülnek azok az általánosan elfogadott, és alkalmazott elvek, amelyek az egyes, főleg új fejlesztési feladatok megoldásához, az alkalmazható robbanóanyagok típusának meghatározásához segítséget jelenthetnek. Foglalkozik a robbanóanyag kiválasztásának gyártástechnológiai oldalával, és ajánlásokat tesz a hazai viszonyok között megvalósítható gyártástechnológiákra. Külön tárgyalja a robbanóanyagokkal kapcsolatos egyes egészség- és környezetvédelmi kérdéseket, mint az alapanyagok mérgező hatásai, illetve a robbanáskor keletkezett gáztermékek környezetkárosító hatásait.*

Talán a bányászati célú felhasználást kivéve a robbanóanyagok legnagyobb „fogyasztói” világszerte a hadseregek. A nukleáris fegyvereket kivéve, nincs még egy olyan anyag, amely felhasználásával rövid idő alatt olyan hatalmas energiát lenne képes felszabadítani, mint a robbanóanyagok. Mivel a robbanóanyagok esetén az egységnyi térfogatban a felhasználás helyére biztonságosan elszállítható energiamennyiség igen nagy, külön indoklás nélkül is belátható, hogy a robbanóanyagok még nagyon sokáig az alapvető fegyvertár részei lesznek. Ezért is tartom fontosnak, hogy az egyes felhasználási területeknek megfelelő robbanóanyag kiválasztáshoz néhány olyan szempontot ismertessek, amelyeket mindenképpen indokoltnak tartok.

---

<sup>1</sup> HM Technológiai Hivatal

E szempontok figyelmen kívül hagyásának számos, nemkívánatos következménye lehet. A nemkívánt következmények közé sorolható az indokolatlanul nagy teljesítményű robbanóanyag alkalmazása, ami a feladat költséghatékony végrehajtását kérdőjelezi meg, vagy olyan – a robbantási körülményeknek nem megfelelő – robbanóanyag választása, amely a környezetre gyakorolt hatásai szempontjából hátrányos, robbanástermékeivel a környezetet indokolatlanul, nagymértékben szennyezi. Az elégtelen teljesítményű robbanóanyag alkalmazása viszont a robbantási feladat biztonságos, és megfelelő minőségű végrehajtását kérdőjelezi meg. Az olcsó, de kisebb hatóerejű robbanóanyagból nagyobb mennyiséget kell felhasználni egy adott feladat végrehajtásához, ami végső soron a költséghatékonyságot csökkenti. A szituációnak paraméterszinten nem megfelelő robbanóanyag választása egy adott feladathoz a robbantást végző személyi állomány sérüléséhez, halálához vezethet.

Az előbbiekből is világosan látható, hogy a különböző feladatokra az alkalmazni kívánt robbanóanyagot sok szempont figyelembe vételével, és kisebb-nagyobb kompromisszumok elfogadásával lehet kiválasztani. Ezt a kompromisszumra törekvést az 1950-ben kiadott „Robbanóanyagok” című jegyzet<sup>2</sup> is ismerteti:

*„Sajnos, olyan robbanóanyagot, amelyik a felsorolt követelmények midegyikét maradéktalanul kielégítené, nem ismerünk, mégis több olyan, gyakorlatilag is jól használható robbanóanyag, ill. robbanóanyag keverék áll rendelkezésünkre, amelyek a fenti követelményeket, ha nem is teljesen, de többé-kevésbé kielégítik.”*

---

<sup>2</sup> Maróthy G.-Bárány I.-Falkai B.: Robbanóanyagok I. – 1950 – Kézirat gyanánt – p.8.

Jelen írásművemmel ehhez a kompromisszum kialakításához kívánok néhány gondolatot ismertetni, illetve segítséget nyújtani. Természetesen, az alábbiakban részletezett elvek korántsem fedik valamennyi figyelembe veendő peremfeltételt, csak az általam a legfontosabbaknak vélteket tartalmazzák.

## **Általános elvek**

A nemzetvédelmi célú fejlesztések céljára igénybevett robbanóanyaggal, vagy robbanóanyagokkal szemben gazdasági-környezetvédelmi-biztonságtechnikai szempontokból az alábbi főbb követelmények támaszthatók:

### *1. Szilárd halmazállapot,*

Az ismert, és általánosan alkalmazott robbanóanyagok túlnyomó többsége – ide nem értve az aeroszolos harceszközök esetén alkalmazott anyagokat<sup>3</sup> - szilárd halmazállapotú, tehát ebben az aspektusban a jelenleg ismert több száz féle robbanóanyag bármelyike számításba vehető. A szilárd robbanóanyagok viszonylag könnyen feldolgozhatók, a robbanótestek hermetikussági követelményei is nagyságrendekkel kisebbek, mint a folyékony, vagy gáznemű robbanóanyagok csomagolásával szemben támasztott hermetikussági követelmények.

### *2. Az alapanyag viszonylag könnyen előállítható, vagy beszerezhető legyen*

Mivel hazánkban jelenleg ipari méretekben robbanó alapanyag-gyártás nem folyik, e szempontból a robbanó alapanyag fajtájának kiválasztásához ez a szempont látszólag nem lényeges, az alkalmazni kívánt robbanóanyag fajtája

---

<sup>3</sup> Dr. Molnár László: Implóziós robbantás (kandidátusi értekezés) – 1992 – p. 25-26.

(típusa) elvileg nem jelent korlátot. A világpiacon valamennyi robbanóanyag beszerezhető (legalábbis békeidőben), de ebből a szempontból előnyben kell részesíteni azokat az anyagokat, amelyek:

- több forrásból is beszerezhetőek,
- alkalmazásuk széleskörű,
- a szállításuk nem ütközik az ADR előírásaival.
- feldolgozásuk a jelenlegi technológiák valamelyikével biztonságosan elvégezhető,
- ár/teljesítményviszonyuk kedvező,
- a robbanási termékek minél kisebb mértékben szennyezik a természetes környezetet.

*3. Flegmatizátorral vegyítve, vagy önmagukban biztonságosan feldolgozható legyen*

Nem célszerű olyan robbanóanyag, vagy robbanóanyag-keverék felhasználása, amely a jelenleg ismert technológiák valamelyikével tömeges méretben nem dolgozható fel. Különös figyelmet érdemel itt a „tömeges méretben” kifejezés, mivel a hadsereg robbanóanyaggal való ellátása - különösen a harc megvívásának időszakában - valóban tömeges méreteket ölt(het). Erre jellemző példát találhatunk J. J. Orlova: Brizáns robbanóanyagok kémiaiája és technológiája című könyvében<sup>4</sup>, ahol Németország 1944. évi robbanóanyag-termelését 495000 tonnában adja meg. Ennek a hatalmas mennyiségű robbanóanyagnak a feldolgozása bonyolult műveletekkel megvalósíthatatlan lett volna.

---

<sup>4</sup> J. J. Orlova: Brizáns robbanóanyagok kémiaiája és technológiája – 1986. – ISBN 963 10 6466 2 – p.15.

*4. A bőrrel való érintkezés alkalmával számottevő mérgező hatást nem mutathat*

A robbanóanyagok feldolgozásakor-felhasználásakor kerülendőek azok a robbanóanyagok, amelyek a bőrrel való kontakt érintkezés alkalmával az emberi szervezetre egészségkárosító hatást mutatnak. Így - különösen burkolat nélküli formában - más egyéb szempontok mellett nem ajánlatos a pikrinsav, vagy a tetril alkalmazása sem.

*5. Kézifegyverekből kilőtt lövedékek találatának hatására nem robbanhat fel*

A katonai alkalmazásra szánt robbanótestekkel kapcsolatos alapvető követelmény. A követelmény szigorú alkalmazása a biztonságos kezelhetőség és működés alapvető feltétele. E követelmény alapján nem célszerű pl. az alumíniumporral kevert robbanóanyagok alkalmazása ( pl. tengeri keverék ). A brizancia (és a teljesítmény) megnövekedésének ára a szenzibilizált robbanóanyag alkalmazása esetén az érzékenység növekedése.

*6. 8-as erősségű gyutaccsal (Nobel szerint ) biztonságosan elműködtethetől legyen*

A 8-as erősségű gyutaccsal való elműködtethetőség a töltet szerkezetének egyszerűsödését (és ezzel együtt az egy töltetre eső költség csökkenését) eredményezi. A gyutaccsal nem indítható robbanóanyagok, mint pl. az öntött trotil, gyújtási lánc egy plusz elemet, a detonátort kell, hogy tartalmazza.

*7. A katonai alkalmazás hőmérsékleti határai között biztonságosan kezelhető legyen*

A katonai alkalmazás hőmérséklet-határai között az alkalmazott robbanóanyag halmazállapotát nem változtathatja, tömegében átkristályosodás nem engedhető meg (ammonitok), nem lehet fagyveszélyes (dinamitok). A nem eutektikus arányban kevert robbanóanyagok ciklikus hőmérsékleti igénybevétel hatására szétválhatnak, így azok alkalmazása meggondolandó. Az utászcsapatok alapvető robbanóanyaga a világban - ismereteim szerint - mindenhol homogén.

*8. Legalább 10 évig veszélytelenül tárolhatók legyenek.*

Az alkalmazott robbanóanyag kémiai jellemzőinek biztosítani kell, hogy a robbantástechnikai jellemzők a megkívánt tárolási idő alatt alapvető mértékben ne változhassanak meg. Különösen igaz ez a követelmény a kezelésbiztonságra nézve. Kívánatos továbbá, hogy a robbanóanyag az előírt rendszerbentartási idő letelte után gyári felülvizsgálattal(!) további ( de csökkent idejű ) ciklusokban alkalmazható legyen.

### Gyártástechnológiai kérdések

Alapvető kérdés a robbanóanyag feldolgozásának módja is. Cooper-Kurowsky<sup>5</sup> szerint a robbanóanyagok általánosan ismert, és iparszerűen megvalósított feldolgozási módjai a következők:

Préselés: a szilárd halmazállapotú robbanóanyagok feldolgozási módja. A robbanóanyagot a kívánt sűrűsége - és korlátozásokkal - a megkívánt alakra

---

<sup>5</sup> Paul W. Cooper – Stanley R. Kurowsky: Introduction to the Technology of Explosives – 1996. – ISBN 1-56081-926X – p. 20-276.

préselik. Bonyolult alakú testek elkészítésére költséghatékonyan nem alkalmazható.

Néhány robbanóanyag (mint a 2,4,6-trinitro-toluol) más anyag hozzáadása nélkül jól préselhető, más robbanóanyagok préseléséhez viszont különböző segédanyagok (mint pl. a viasz) szükségesek.

A kristályos robbanóanyagok nagy része viszont különböző okok miatt önmagában préselve nem hozható a megkívánt alakra. A gyakoribb okok:

- a robbanóanyag szemcséinek kohéziós képessége csekély, a préselés után mechanikailag a préstest nem kellően szilárd ( hexogén ).
- a robbanóanyag érzékenysége a préselés során elkerülhetetlenül fellépő elektrosztatikus feltöltődésre, vagy súrlódásra nagy ( nitropenta ).
- a préselés során a robbanóanyag nem folyik meg, így nem tölti ki a szerszámot, vagy a formát.

Azoknál a robbanóanyagoknál, amelyek önállóan alkalmazva préseléssel valamely ok miatt nem hozható a kívánt alakra, adalékok alkalmazásával lehet a feldolgozást megvalósítani. Így pl. hexogén esetén a hozzáadott viasz nemcsak a préseléssel való feldolgozást segíti elő, hanem a préstest vízállóságát is fokozza.

A robbanóanyagok préseléssel való feldolgozása viszonylag egyszerű technológiát, de bonyolult (és esetenként nagyméretű) gyártóberendezést igényel.

Öntés: a robbanóanyagok egy részének fizikai tulajdonságai lehetővé teszik azok felolvasztását, és az olvadék kívánt formába öntését.

Az öntéssel feldolgozandó robbanóanyaggal szemben támasztott főbb követelmények:

- olvadáspontja minél alacsonyabb legyen, de lehetőleg ne haladja meg a 403 K ( 130 °C ) hőmérsékletet,
- az olvadás hőmérsékletén, vagy ahhoz közel nem indulhat meg a robbanóanyag dekompenzációja ( bomlása ), még 2-3 óra alatt sem,
- a robbanóanyag elpuffanási pontja az olvadási hőmérsékletnél jelentősen magasabb kell legyen,
- robbanóanyagkeverékek öntése esetén a keverék bármely alkotórészének kémiaiilag összeférhetőnek kell lennie a többi alkotórésszel,
- gőzei ne legyenek mérgezőek<sup>6</sup>.

Hazánkban a trotil és a trotil-hexogén keverékek öntéssel való feldolgozása járatos, nagyobb beruházás nélkül megvalósítható. Ugyanígy csekély beruházással megvalósítható az oktogén-TNT keverékek öntése is. A nitropenta-trotil keverékek előállítására a keverék oldódásakor keletkező nagymennyiségű hő elvezetése miatt bonyolult, külön gyártómű megléte szükséges az eljáráshoz.

Formázás: a por alakú robbanóanyagok feldolgozása plasztikus, vagy polimer inert kötőanyagok alkalmazásával. A kötőanyag az oldatképződésben nem vesz részt, a robbanóanyag szemcsék felületére kicsapódva, azokat mintegy beburkolja. A burkolt szemcséket szerszámban, vagy izosztatikusan préselik 393 K ( 120 °C ) körüli hőmérsékleten. Az alkalmazott nyomás 10000-20000 psi ( ~ 700-1400 bar ) lehet.

A formázással az elméleti sűrűség 99 %-a is elérhető.

---

<sup>6</sup> N. A. Silling: Robbanóanyagok és lőszerszerelés – 1955 – p. 324.



Jelenleg hazánkban a technológia nem alkalmazott, de a viszonylag csekély bevezetési költségek, és a tömeggyárthatósági szempontok miatt a feldolgozási mód alkalmazása megfontolható.

Plasztifizálás: a robbanóanyagot ( amely általában hexogén, vagy nitropenta ) plasztifizáló anyaggal ( vagy anyagokkal ) elegyítik. Az ilyen eljárással nyert robbanóanyag képlékeny, kézzel könnyen a megkívánt alakra hozható. A plasztifizáláshoz használt anyagtól ( anyagoktól ) függően a plasztifizált robbanóanyag széles hőmérsékleti határok között formatartó lehet. Plasztifizálással csak nem, vagy nem jelentősen mérgező hatású robbanóanyag feldolgozása javasolható, tekintve, hogy a felhasználás előtt kézzel kell a szükséges formára hozni.

A plasztifizálás útján előállított robbanóanyagok jellegzetes képviselői közé tartoznak pl. a Composition C-4, vagy a Magyar Honvédségnél is rendszeresített Semtex-H.

Vulkanizálás: a robbanóanyagok olyan feldolgozása, amikor a hexogént, vagy a nitropentát gumyszerű polimerekkel és plasztifizáló anyagokkal keverik. A nyert robbanóanyag-massza hengerelhető, és a feldolgozás utáni formáját és méreteit jól megtartja. A hengerlés során nyert lemezek ( szalagok ) vághatók. Katonai célokra a North American Explosives cég gyárt Deta Flex néven ilyen robbanóanyagot. Ez kb. 70 % nitropentát, nitrocellulózt, és acetyl-tributil-citrátot tartalmaz, és 1/4 inch ( 6,35 mm ) vastagságú.

Az eljárás hazánkban nem használatos, bevezetésének anyagi korlátai vannak.

Extrudálás: a hexogént, vagy a nitropentát vulkanizálatlan szilikonumi gyantával keverik. 80 % nitropenta és 20 % gyanta sűrű viszkózus anyagot képez, amely mérsékelt nyomáson extrudálható. Az extrudálás után a

hőmérséklet emelésével a gyanta polimerizációja végbevihető és szívós gumyszerű robbanóanyag nyerhető. A jelenleg ismert, extrudálással gyártott robbanóanyagok:

LX-13, XTX-8003	80 % nitropenta tartalommal,
XTX-8004	80 % hexogén tartalommal.

#### Zagy-, vagy emulzióképzés:

A világon valószínűleg a legnagyobb mennyiségben gyártott és felhasznált robbanóanyag-forma a zagy, vagy emulzió. A zagyok és emulziók az ammónium-nitrátnak, mint erősen pozitív oxigénegyenlegű robbanóanyag vizes oldatának és egy, vagy több éghető anyag ( gázolaj, alumíniumpor, stb. ) felhasználásával készült igen érzéketlen robbanóanyagok. Érzéketlenségük, és a csekély előállítási költségük miatt a külszíni bányászat előszeretettel használja az e kategóriába eső anyagokat. Katonai célra történő emulzió-, vagy zagyfelhasználás a robbanóképes anyag egyéb – a nemzetvédelmi alkalmazási területen hátrányos – tulajdonságaik miatt a kiképzési célú robbantásokat kivéve nem javasolható.

#### Biner, vagy kétkomponensű robbanóanyagok:

Ebben az eljárásban két, egyenként nem robbanóképes vegyi anyag összekeverése után nyerhető gyutacsérzékeny robbanóanyag. Az anyagok legalább egyike folyékony halmazállapotú kell legyen, a megbízható és homogén keveredés biztosítására. Katonai felhasználásuk valószínűsíthető, de megbízható adat nem áll rendelkezésre.

Főbb típusok:

Astrolite

Komponensek: ammónium-nitrát,  
hidrazin.

Marine Pac

Komponensek: nitro-paraffin,  
alifás és aliciklikus poliaminok.

Kine-Pak és Kine-Stick

Komponensek: ammónium-nitrát,  
nitro-metán.

Dinamitok, robbanó zselatinok:

A dinamitok és a robbanó zselatinok glicerín-trinitrát (nitro-glicerín) alapú, gyutacsérzékeny nagy hatásfokú robbanóanyagok. A legfontosabb alkalmazást gátló tényező a glicerín-trinitrát fizikai sajátosságaiban keresendők. Kezdeti széles körű elterjedésük a nitro-glicerín és a dinamitok gyártásakor és felhasználásakor előfordult tömeges balesetek miatt leszűkült. Robbantástechnikai tulajdonságaikat továbbfejlesztették, de a heterociklusos robbanóanyagok megjelenésével és azok tömeges előállításával a katonai területen történő alkalmazásuk gyakorlatilag megszűnt.

**Környezet- és egészségvédelmi szempontok**

A kérdéskört célszerűen két részre választhatjuk:

- a robbanóanyag sajátos mérgező hatására;
- és a robbanóanyagok elműködtetése után a környezetre gyakorolt hatásra.

A cikk első részében, az általános elvek 4. pontjában már érintettem a robbanóanyagok sajátos mérgező hatását, mint az egyik legfontosabb követelményt, azonban itt egy kissé bővebb magyarázatot adnék erre a követelményre.

Ebből a szempontból kedvezőbbnek ítéltetők meg azok a robbanóanyagok, amelyek vízben, és gyenge savakban nem, vagy csak kevésbé oldódnak, mint például a heterociklusos aminok csoportjában tartozó ciklotrimetilén-trinitramin (hexogén), vagy a ciklotetrametilén-tetranitramin (oktogén). Az említett két robbanóanyag egészségre gyakorolt hatása jelentéktelen, mivel sem vízben, sem pedig gyomorsavban sem oldhatók<sup>7</sup>. Ezzel szemben kedvezőtlenek azok a robbanóanyagok, amelyek vízben, esetleg gyenge savakban oldódva, az élő szervezetekre káros hatást gyakorolnak, mint például a pikrinsav, amelyet Orlova idézett művében mérgezőnek jelöl meg<sup>8</sup>. Külön elővigyázattal kell kezelni továbbá az alkohol-nitrátok csoportjába tartozó pentaeritrit-tetranitrátot (nitropentát), mivel az emberi szervezetre toxikus, a gyógyászatban értágító szerként is alkalmazzák<sup>9</sup>.

Amennyiben az egészségre önmagában káros robbanóanyag alkalmazása más szempontok alapján elengedhetetlen, nyilvánvaló, hogy a gyártás és alkalmazás során fokozott figyelmet kell fordítani erre a nemkívánatos hatásra.

A környezetszennyezés nemcsak a robbanóanyag véletlen kihullásával, hanem azok tökéletes elműködése során egyes mérgező gázok képződésével is óhatatlanul megvalósul. Az oxigént és éghető anyagot tartalmazó

---

<sup>7</sup> J. J. Orlova: Brizáns robbanóanyagok kémiája és technológiája – 1986. – ISBN 963 10 6466 2 – p.219, 228.

<sup>8</sup> J. J. Orlova: Brizáns robbanóanyagok kémiája és technológiája – 1986. – ISBN 963 10 6466 2 – p. 146.

<sup>9</sup> J. J. Orlova: Brizáns robbanóanyagok kémiája és technológiája – 1986. – ISBN 963 10 6466 2 – p. 260.

robbanóanyagok tökéletes felrobbanásakor az alábbi, környezetet és egészséget veszélyeztető gázok felszabadulásával kell mindenféleképpen számolni:

- szén-monoxid;
- nitrogén-oxidok.

K.K. Andrejev-A.F. Beljajev „A robbanó anyagok elmélete” című könyvében például a  $0,5 \text{ kg dm}^{-3}$  sűrűségű pikrinsav felrobbanása után az alábbi égéstermék összetételt adja meg<sup>10</sup>:

CO<sub>2</sub>: 20,55 térfogatszázalék;  
CO: 48,80 térfogatszázalék;  
CH<sub>4</sub>: 7,83 térfogatszázalék;  
H<sub>2</sub>: 3,06 térfogatszázalék;  
N<sub>2</sub>: 19,76 térfogatszázalék.

Ha figyelembe vesszük, hogy 1 kg tömegű pikrinsav töltet felrobbanásakor 750-780 liter normál állapotú gáz szabadul fel<sup>11</sup>, könnyen belátható, hogy 366-380 liter szén-monoxid képződésével kell számolnunk.

A szén-monoxid, mint a vér hemoglobinjához az oxigénnél jobban kötődő anyag, 70% HbCO tartalom felett néhány perc alatt fulladásos halált okozhat<sup>12</sup>

Más robbanóanyagokkal összehasonlítva, K.K. Andrejev-A.F. Beljajev idézett műve a következő adatokat adja meg szén-monoxidra<sup>13</sup>:

---

<sup>10</sup> K. K. Andrejev – A. F. Beljajev: A robbanó anyagok elmélete – 1965 – p. 548

<sup>11</sup> K. K. Andrejev – A. F. Beljajev: A robbanó anyagok elmélete – 1965 – p. 564.

<sup>12</sup> Dr. Lukács László: Katonai robbantástechnika és a környezetvédelem – 1997 – ZMNE jegyzet – p. 40.

<sup>13</sup> K. K. Andrejev – A. F. Beljajev: A robbanó anyagok elmélete – 1965 – p. 554-555.

- nitropenta: 6,44 g molkg<sup>-1</sup>
- tetritil: 10,85 g molkg<sup>-1</sup>
- pikrinsav: 10,18 g molkg<sup>-1</sup>
- trotil: 8,79 g molkg<sup>-1</sup>

A fenti adatokból is látható, hogy a robbanóanyag célszerű megválasztásával a keletkezett mérgező hatású robbanástermékek közül pl. a szén-monoxid mennyisége jelentősen csökkenthető.

A szén-monoxid leginkább a negatív oxigénégyenlegű robbanóanyagok felrobbanásával keletkezhet. Célszerűnek tűnik ez alapján, hogy pozitív oxigénégyenlegű robbanóanyagokat használjunk, azonban figyelembe kell venni azt a tényt, hogy Dr. Lukács László idézett műve alapján a pozitív oxigénégyenlegű robbanóanyagok felrobbanásakor viszont nitrozus gázok megjelenésére is kell számítanunk<sup>14</sup>.

A nitrozus gázok azon kívül, hogy a savas esők kialakulásáért felelősek, közvetlen módon is igen veszélyesek az emberi és állati szervezetekre. Itt elsősorban arra kell gondolnunk, hogy a belélegzett nitrogén-oxid a tüdőben lévő vízzel akár salétromsavat is képezhet, aminek káros hatása nyilvánvaló.

Összefoglalva az eddig gondolatszinten felvetett problémákat, egyértelműen látható, hogy egy adott robbanóanyag használatra-fejlesztésre történő kiválasztása nem is túl egyszerű, azonban a követelmények megfelelő súlyozású figyelembe vételével mind műszakilag, mind pedig környezetvédelmi szempontból optimális eredmény érhető el.

---

<sup>14</sup> Dr. Lukács László: Katonai robbantástechnika és a környezetvédelem – 1997 – ZMNE jegyzet – p. 39.