

Kugyela Lóránd<sup>1</sup>

## ÜREGES TÖLTETEK TERVEZÉSI SAJÁTOSSÁGAI, FŐBB PARAMÉTEREI

### THE DESIGN CHARACTERISTICS, AND MAJOR PARAMETERS OF SHAPED CHARGES

#### **Absztrakt:**

*A robbantástechnikáról megannyi magyar és nemzetközi szakirodalom ír, azonban a kumulatív (üreges) töltetekről már sokkal kevesebb. Ugyanakkor, bár egy speciális területről van szó, mégis kiemelt figyelmet kap a civil és a katonai területen egyaránt. A polgári szerepkör esetén a modern szénhidrogén kitermelésekben rendelkezik kulcs szereppel, ahol a növekvő nyersanyag igények kielégítésére a perforátorok nélkülözhetetlenné váltak. Katonai feladatok közt pedig még kimagaslóbb a szerepük. Egy hadszíntéren mindenhol megtalálhatóak a robbanás irányított hatását felhasználó töltetek: az egyes katonától, a légierőig. Azonban méretétől felhasználási területétől függetlenül egy tervezési cél szerint kerülnek kialakításra, mégpedig, hogy minél jobb legyen a felhasznált robbanóanyaggal, annak mennyiségével és kialakításával elért átütőképesség. A következőkben az üreges töltetek történetéről, működésükről, és gyártói hibáiról írok.*

**Kulcsszavak:** üreges töltetek, kumuláció, méretezés, gyártástechnológia, hiba

*Although the explosives have vast history, within this the shaped charges are quite newborn. Since it's inventing it become critical part of any system which uses this special device. It has unique role also in the military, and in the civilian field. Nowadays their science much more focusing in the precision engineering, to increase their performance with the lowest possible explosive usage. I summarize their history together with their relevant definitions, and characteristics*

**Keywords:** focal charges, hollow charges, design, production characteristics, failures during manufacturing

## KUMULATÍV TÖLTETEK TÖRTÉNELMI ÁTTEKINTÉSE

A robbantástechnikáról megannyi magyar és nemzetközi szakirodalom ír, azonban a kumulatív (üreges) töltetekről már sokkal kevesebb. Ugyanakkor, bár egy speciális területről van szó, mégis kiemelt figyelmet kap a civil és a katonai területen egyaránt. A polgári szerepkör esetén a modern szénhidrogén kitermelésekben rendelkezik kulcs szereppel, ahol a növekvő nyersanyag igények kielégítésére a perforátorok nélkülözhetetlenné váltak. Katonai feladatok közt pedig még kimagaslóbb a szerepük. Egy hadszíntéren mindenhol megtalálhatóak a robbanás irányított hatását felhasználó töltetek: az egyes katonától, a légierőig. Azonban méretüktől és felhasználási területüktől függetlenül egy tervezési cél

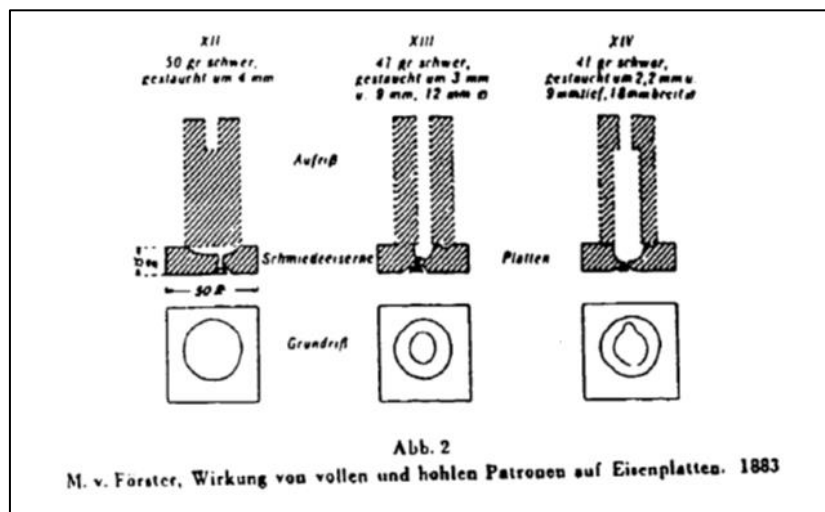
---

<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.

szerint kerülnek kialakításra, mégpedig, hogy minél jobb legyen a felhasznált robbanóanyaggal, annak mennyiségével és kialakításával elért átütőképesség. A következőkben az üreges töltetek történetéről, működésükről, és gyártói hibáiról írok

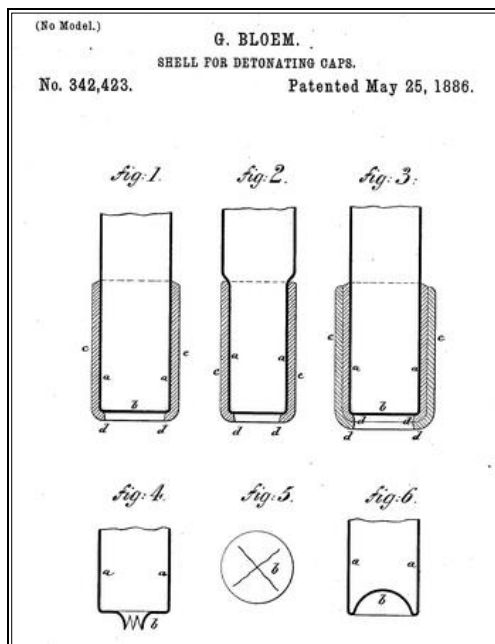
A kumulatív töltetet, mint robbantástechnikai eszközt *Charles E. Munroe* nevéhez kapcsolják. Azonban az első tudományos megfigyelése, és a teória közlése nem az ő nevéhez köthető. Kronológiailag egészen az 1790-es évekig kell visszamenni, amikor is egy német filozófus és bányamérnök: *Franz Xaver von Baader* megfigyelte, hogy a bányászathoz felhasznált robbanó töltények végének kúpszerű kiképzése növelte a robbantás hatékonyságát. Ezt az eljárást a Harz-hegységben történő bányászat során ki is használták. Azonban fontos tudni, hogy ez idő tájt robbanóanyagban még csak a feketelőport értették, és ezen lőpor esetén nem tudunk még detonációról beszélni, ami a kumulatív sugár kialakulásához szükséges. Emiatt ez a hatás feltételezésem szerint egy félreértelmezés volt, a lőportöltet végénél lévő kis légrés csupán egyenletesebb repesztést tett lehetővé, és nem maradt úgynevezett lőzsák a fűrőlyukak helyén. Azt szükséges megjegyezni, hogy „kvázi” összpontosított égés, szűrő láng ezáltal létrejöhet, ami végeredményként nagyobb roncsolást tud a kőzetben létrehozni. Tehát a megfigyelése részben helyes volt. A lőpor korlátai azonban nem minden kőzetben hozták ezt a megnövekedett hatást és feledésbe merült ez a technika.

A következő jelentős lépésig közel 100 évnek kellett eltelnie. Ekkor már elterjedten használták Európa szerte a *Schönbein* által felfedezett nitrocellulóz és az abból gyártott robbanóanyagokat. 1883-ban *Max von Foerster* a walsordei Wolf & Co nitrocellulóz gyár vezetője kísérleteket végzett préselt töltetekkel, és megfigyelte, hogy a töltényeken lévő üregek alakja és kiképzése más roncsolást visz véghez fémlemezen.



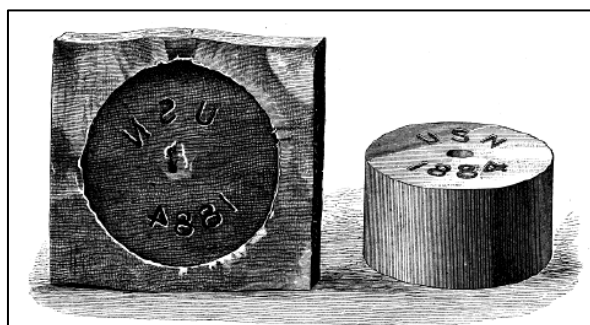
1. ábra: Max von Foerster vizsgálatai [1]

A következő fontos személyiség a szintén német *Gustav Bloem*, aki 1886-ban szabadalmaztatta a higany-fulminátot tartalmazó gyutacsot, amelynek talpa félgömb kiképzésű. Ezzel a kialakítással biztosabb indíthatóságot ért el azért, hogy „összpontosítsa a robbanás erejét tengely irányban”.



2. ábra: Max von Foerster vizsgálatai [2]

A sokak által ismert Munroe-hoz csak 1888-ban érkezünk el, aki az USA Haditengerészeti Torpedó Intézetében (Newport, Rhode Island) torpedók harci tölteteinek fejlesztése során észrevette, hogy a lögyapotból gyártott robbanóanyag testeken lévő préselt feliratok lenyomatai megfigyelhetőek voltak robbantás után a fémlemezen.



3. ábra: Munroe kísérlete [3, p. 179]

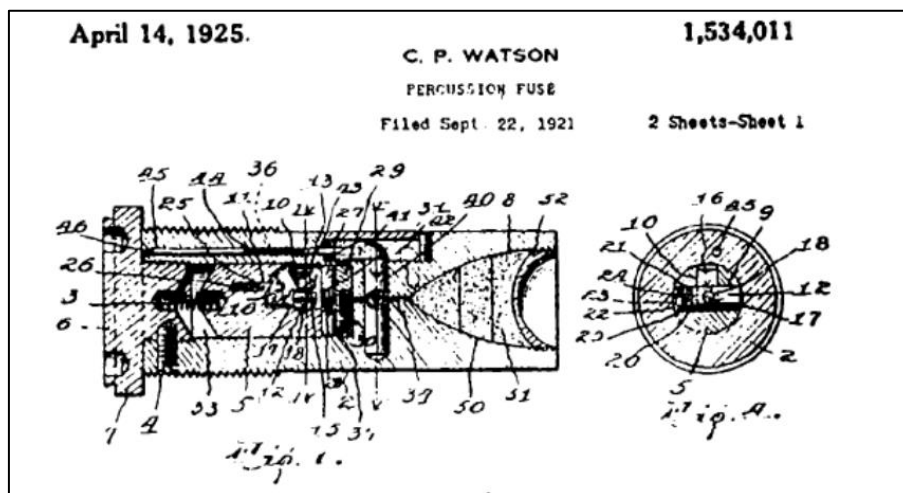
1900-ra *Munroe* további, a kumulatív hatással kapcsolatos fejlesztési eredményei széleskörűen publikálásra kerültek.

1911-ben *Egon Neumann* leírta, hogy a kúposan kiképzett robbanóanyag testeket védeni kell a víz és a pára ellen, és ehhez horganyzott acél vagy torpedó esetén például bronz betétet javasolt beépíteni, úgy hogy ekkor még mindig nem voltak tisztában a béléstest és a robbanás hatásainak összefüggésével.

1921-ban *Charles Watson* egy perkussziós gyújtót<sup>3</sup> szabadalmaztatott fém béléssel. Az alkalmazása során megfigyelte, hogy ugyan azon a hatás eléréséhez így csak 1/5-1/6-od robbanóanyag töltet szükséges. Érdeemes ezen a ponton megjegyezni, hogy *Munroe* első

<sup>3</sup> Az elsütő szerkezet ütése, mechanikus indításra működő gyújtó szerkezet

publikációihoz képest 21 év telt el és még mindig teljesen tisztázatlan volt a kumulatív hatás működésének elve. Azonban itt már felgyorsultak az események.



3. ábra: Watson perkussziós gyújtója [1]

1935-től kezdődtek az igazán jelentős lépések. *Franz Rudolf Thomanek*, *Carl Cranz* és *Hubert Schardin* mach hullám kísérleteit alapul véve kezdte el vizsgálni az üreges robbanótölteteket [1]. Elsőként üveg betéteket használt, rájött a betét vastagságának, kiképzésének fontosságára, az árnyékoló betét jelenőségére. Tőle származik a tüzérségi vagy rakéta hajtású lövedékeknél a forgáskompenzálás tudományos leírására. Thomanektól függetlenül *Henry Hans Mohaupt* svájci mérnök 1935-ben szabadalmat nyújtott be, melyben a gyalogos katonák számára készítenő, páncélvédett járművek elleni kumulatív hatású fegyver felfedezéséről számolt be. A többi országban történt felfedezésektől függetlenül végzett sikeres kísérleteinek eredményeit brit, francia, és amerikai tudósoknak is bemutatta.

Egészen a második világháború kezdetéig nem volt különösebb gyakorlati jelentősége az üreges robbanótölteteknek. Viszont – érthető módon – a háborús igények felgyorsították a fejlesztéseket. Ennek eredményeiről bővebben lásd az felhasznált irodalom [3]. anyagában.

## KUMULATÍV TÖLTETEK FELHASZNÁLÁSI TERÜLETEI

Az üreges töltetek legfőbb felhasználási területe sokáig vitathatatlanul a hadászat volt. Az első elterjedésükkor még nagyobb lövedékeket készítettek belőlük. A jelenség tudományos hátterének a felderítése és a robbanásfizika fejlődése azonban egyre inkább lehetővé tette a kisebb precízebb termékek gyártását. Ebben kétségtelenül nagy jelentőséggel szerepel a robbanóanyagok fejlődése illetve a robbanóanyag ipar fejlesztése is. Megjelentek a korszerű, ipari méretekben előállítható préstestek és a különböző öntési eljárással készült termékek.

## A LEGFŐBB FELHASZNÁLÁSI TERÜLETEK AZ ÜREGES TÖLTETEK FELFEDEZÉSE UTÁN.

Hadi alkalmazások során, illetve a hidegháború okán bekövetkezett ballisztikus rakétafejlesztés elindította az űrprogramot, ahol a robbanási hatás irányíthatóságát felhasználó több érdekes civil alkalmazást fejlesztettek ki. A Földről kilőtt, ballisztikus pályára állt majd

onnan visszafordított rakétáról indítottak nagyméretű kumulatív tölteteket. Az ezekből keletkező jetek<sup>4</sup> a Föld légkörébe érve tovább izzottak és a béléstestre jellemző spektrumban sugároztak fényt. Ezekkel a kísérletekkel gyűjtöttek adatokat a különböző égítetek, üstökösök, meteorok lefilmezett, vagy lefotózott színeképeinek elemzéséhez. Felmerült annak a gondolata is, hogy valamely égítést felszínét is el kellene találni egy ilyen jettel, hogy tudományos adatokat kapjanak üstökösök, meteorok becsapódásához. [4] Erre, talán mondhatjuk azt is, hogy szerencsére nem került sor.

Az '50-es évek második felétől elindultak a nagyobb átmérőjű tarackból, ágyúból löhető speciális kumulatív betéttel ellátott lövedékek fejlesztésére (a II. világháború során is alkalmazott, vállról indítható kumulatív páncéltörő fegyverek – akár pl. a német Panzerfaust, vagy az amerikai Bazooka – sima csőből került kilövésre). Az alap problémát, a lövedék forgó mozgásából keletkező centrifugális erő miatti jet-széthullás kompenzálása jelentette. A megoldást a béléstest, forgással ellentétes irányú formázása, megmunkálása jelentette. Ez tette lehetővé a továbblépést, a kumulatív töltetek huzagolással ellátott fegyverekben történő használatához.

A katonai célú kumulatív töltetek fejlesztési eredményei – ha lassan is – de kezdtek megjelenni az ipari robbantási gyakorlatban is. Első körben az épület, építményrobbantás, az alagúthajtás, valamint a jégrobbantás területén kezdtek irányított hatású tölteteket alkalmazni. A 1960-as években kezdődött el a szénhidrogén bányászatban a kumulatív töltetek használata a hozamnövelésre, a termelékenység növelésre és egyéb speciális feladatokra annak ellenére, hogy pl. 1946-ban *McLemore* már publikált róla.[5] A kohászatban a kokillában feltapadt salakot, fémbugákat, medvéket bontottak meg üreges robbanóanyag töltettel.

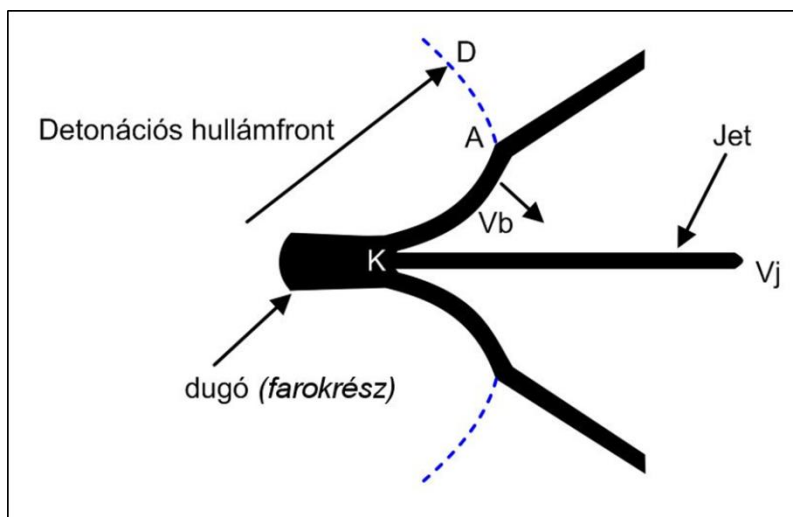
A fejlődés újabb eredményeként jelentek meg az ún. lineáris vágótöltetek, amelyek a fémszerkezetek bontását tették lehetővé nagy biztonsággal [6] [7].

## ÜREGES TÖLTETEK MŰKÖDÉSE, A KUMULÁCIÓ KIALAKULÁSA

Az üreges töltetekről általánosságban elég sok információ létezik, ezek egy része sajnos a modernkori információáramlás és a média okozta eltérések miatt tudománytalan. Emellett ennek a területnek a fejlődése a korábbi fejezetben is látszóan csak a 20. század első negyedében indult meg, és sokáig még akkor sem tudták tisztázni a pontos részleteit. Napjaink tudományos vizsgálatait viszont teljesen feltárták már a mögöttes fizikai tényezőket (lásd még pl. a felhasznált irodalom [8]. és [9] [10] [20] [21] anyagait). A kumuláció folyamatának magyarázata jobban átlátható a következő ábrák segítségével.

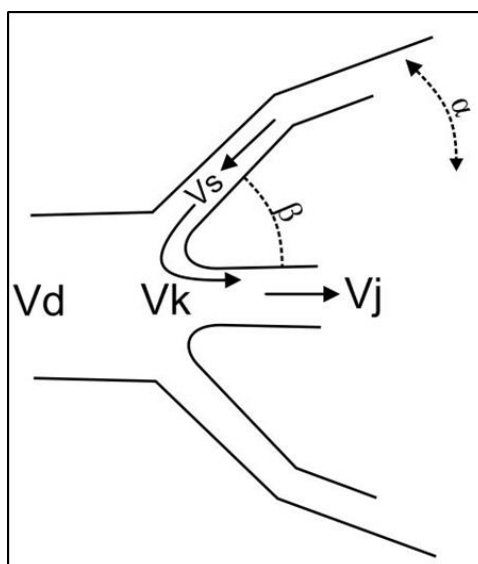
---

<sup>4</sup> Nagysebességű, fémből, gázból álló, a kumuláció hatására létrejövő sugár.



4. ábra: A bélés kúp átalakulása a detonációs front hatására [11]

A 4. ábrán látható  $T$  időpillanatban a gömbfelületen  $D$  detonációs sebességgel tovaterjedő detonációs hullámfront a béléstest kúpjának csúcspontját már elhagyta és az  $A$  átalakulási pontban robbanóanyagra jellemző sebességhez közelítően gyorsítja a béléstest anyagát, amely  $V_b$  sebességgel halad tengelyirányban. A  $V_b$  sebességet több tényező befolyásolja, például: a kúp anyagának vastagsága, sűrűsége, felülete, robbanási sebessége. A béléstest anyagának egy részét már a  $K$  kollíziós pontban<sup>5</sup> összepréselte. A tengelyirányú áramlás hátsó részében a dugó, első részében pedig a nagyobb sebességű jet képződése indult meg, amely  $V_j$  sebességgel halad a céltárgy felé.



5. ábra: A kollíziós pontban végbemenő anyagáramlások [12]

Az 5. ábrán látható, hogy a  $K$  kollíziós pont a jet irányába mozog  $V_k$  sebességgel, a nyomás hatására összepréselődő béléstest anyaga  $V_b$  sebességgel halad tengelyirányba ahol felveszi majd a  $V_s$  megfolyási sebességet. A  $\beta$  szög az a kollíziós szög, amely a béléstest tömegének, a robbanóanyag tömegének és detonációsebességének függvényében alakul ki,

<sup>5</sup> Összeütközési pont

összefüggésben az  $\alpha$  kúpszöggel. A kollíziós (átalakulási) pontban a nyomásértékek elegendőek ahhoz hogy a béléstest plasztikus állapotba kerüljön, és meginduljon a tengelyirányú áramlás, azaz a jet kialakuljon. A jet sebessége  $V_j = V_k + V_s$  lesz. A jet farokrészében kialakuló, ellentétes irányú dugó sebessége szintén  $V_j = V_k + V_s$  azonban ezt lassítja a robbanási gázok vele ellentétes irányú áramlása. A  $\beta$  szögre vonatkozóan létezik néhány ökölszabály, melyek a bélés anyagával vannak összefüggésben, miszerint annak legalább  $5^\circ$ - $10^\circ$  között kell lennie. Annak ellenére, hogy a jet ezekben a szögtartományokban is kialakul, a sugár még jelentősen szóródhat és nem képes komolyabb átütésre. Azonban  $25^\circ$ - $50^\circ$  között már összetartó jó átütési képességű sugár érhető el. Ennél nagyobb szögtartományokban nem alakul ki kumuláció. A robbanás eredményeként a béléstest egy kb. 2000 m/s sebességgel mozgó nagy tömegű, egységes fémtárgyként halad tovább. Azonban ennek is van hadipari alkalmazása: ez a Misnay-Schardin effektus elvén működő robbanással formált lövedék, vagy EFP (*explosive formed projectile*<sup>6</sup>) amely harcjármű elleni aknában kerül leginkább alkalmazásra (lásd még az felhasznált irodalom [13]. anyagát). A  $V_j$  jetsebesség nem koherens, mivel az egységnyi béléstest felületre nem azonos mennyiségű robbanóanyag jut. Ezt hívják változó M/C aránynak, azaz a kúp alapjához közeledve növekszik az M/C arány. A jet szétszakadása egyrészt sugár inhomogenitása miatti eltérő sebességárnyok miatt következik be, másrészt a nyúlás miatt már nem képez egységes sugártestet, harmadrészből pedig a rugalmas anyagban terjedő oszcilláló mozgás is hozzájárul a jet szétszakadásához. A fentiekből látható, hogy a sugár kialakulása komoly hidrodinamikai törvények szerint történik melyek matematikai és fizikai paramétereit csak felszínesen, nagy vonalakban érintettem. Azonban az így létrejött gázsugár, munkára fogható része csak a bélés súlyának 15-20%. A többi része a dugóban marad és 1 km/s vagy az alatti sebességgel halad, míg az orr része a 8-10 km/s sebességgel mozgó  $500$ - $700^\circ\text{C}$  felületi hőmérsékletű jet. Ez a céltárgynak ütközve az érintkezési felületen elkezd mélyedést formálni. A 20-200 Gpa közötti nyomásértékeken a céltárgy folyékonyvá válik és tengelyirány mentén, a jet haladásával ellentétes irányban kiáramlik, ezáltal létrehozva az úgynevezett átütést. Ahogy azt korábban is megjegyeztem, elég sok téves információ létezik az üreges töltetekről. A fentiek alapján már érthető például a sok esetben – tévesen – használt „plazma” kifejezés, vagy az, hogy több tízezer fokos hőmérsékletű sugárrá alakulva, keresztülszeli magát a céltárgyon az erősen túlzó.[14]

## ÜREGES TÖLTETEK MÉRETEZÉSE

A töltet elkészítésénél azért nagy fontosságú a méretezés figyelemmel kísérése, mert szignifikáns hatással van a kumulatív sugár formájára, átütőképességére és a jet élettartalmára. A robbantástechnikával foglalkozó szakirodalom különböző mélységekben tárgyalja ezt a témakört

---

6 Egyes szakirodalmakban „penetrator” kifejezés szerepel

**Rövidítések, jelölések:**

$T_d$ : Töltet átmérő

$\hat{A}_v$ : Árnycoló vastagság

$L_k$ : Kúp magasság

$\beta_1$ : Béléskúp szöge

$\beta_2$ : Eltartó ellenkúpjának szöge

$E_d$ : Eltartó kilépő lyuk átmérője

$E_t$ : Eltartási távolság

$\hat{A}_d$ : Árnycoló átmérő

$\hat{A}_t$ : Árnycoló távolság

$L$ : Töltet hosszúsága

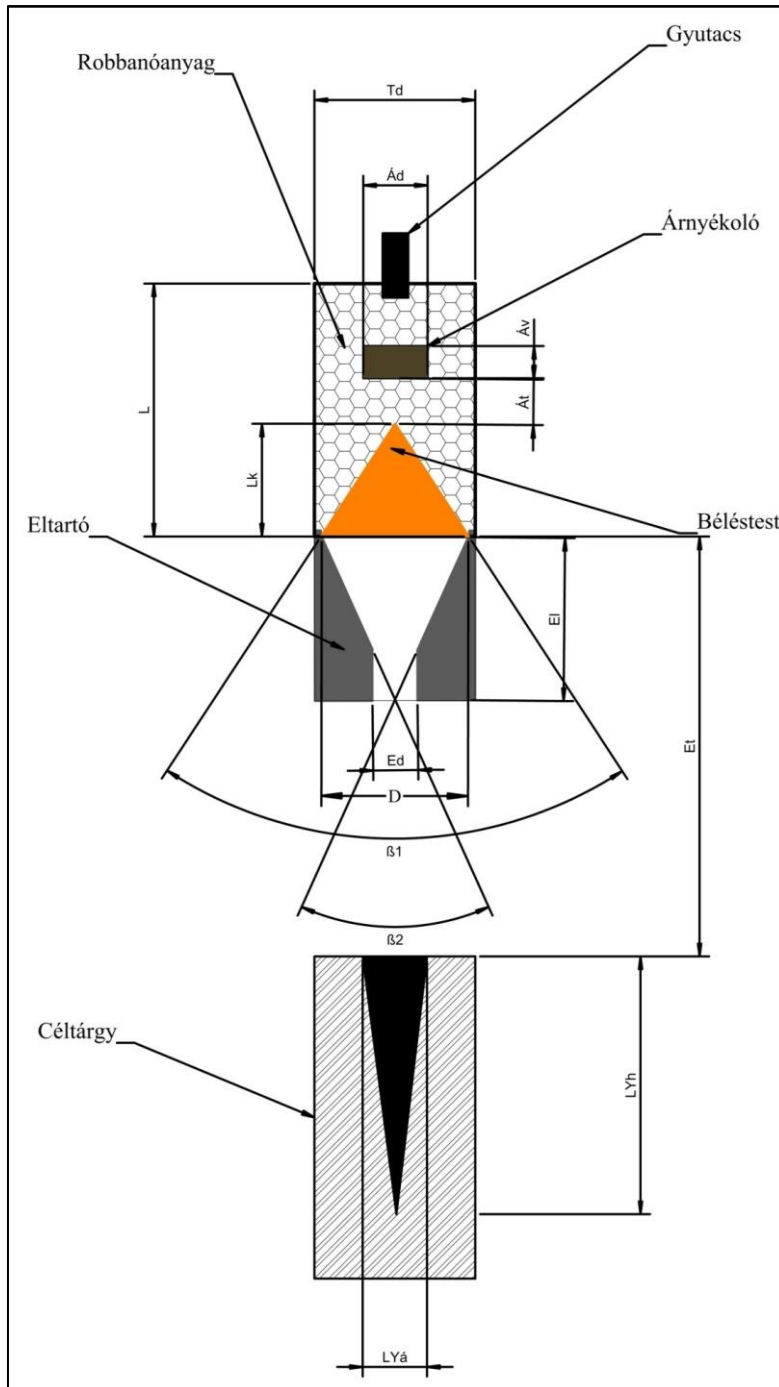
$D$ : Béléskúp átmérője

$E_l$ : Eltartó ellenkúpjának magassága

$D_k$ : Béléskúp átmérője

$LY_h$ : Lyukhossz

$LY_{\hat{a}}$ : Lyuk átmérő



1. ábra: A kumulatív töltet jellemzői [15]

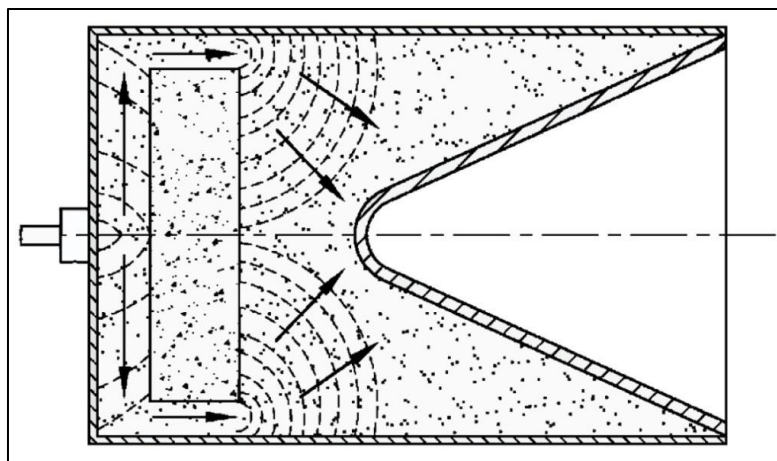


### **T<sub>d</sub>: Töltet átmérő**

Bár az ábrán az átmérő alatt a teljes test átmérőjét értem, meg lehet különböztetni a robbanóanyag töltet átmérőjét és a teljes átmérőt is. (A burkolat anyagával és a detonációsebességgel kapcsolatos összefüggésekkel kapcsolatban lásd még az felhasznált irodalom [16] anyagát). A burkolatnak komoly szerepe van abban, hogy a robbanóanyag az integritását megőrizze a béléstest körül. Jelentőséggel bír abban is, hogy a bélést mennyire fedí a robbanóanyag, azaz mennyi robbanóanyag van egységnyi levetített béléstesten. A szélei felé egyre kevesebb robbanóanyag van így annak kevesebb szerep is jut, szinte csak az, hogy a képződött jet-et minimálisan stabilizálja. Általánosságban  $1,0-1,1D$ -vel szoktak számolni tervezéskor, attól függően, hogy öntött vagy préselt a robbanóanyag.

### **Á<sub>d</sub>: Árnyékoló átmérő**

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



2. ábra: Az árnyékoló betét hatásmechanizmusa [17]

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

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

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

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

### **L<sub>k</sub>: Kúp magasság**

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

### **L: Töltet hosszúsága**

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

### **β<sub>1</sub>: Bélés kúp szöge**

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

### **β<sub>2</sub>: Eltartó ellenkúpjának szöge**

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

### **E<sub>1</sub>: Eltartó ellenkúpjának magassága**

Ez tulajdonképpen tekinthető az eltartási távolság biztos meglétének is, hiszen legalább akkorának szükséges lennie, mint az optimális eltartási távolságnak. Méretezés szerint: 1,5D-2,0D, azonban lehet nulla is attól függően, hogy milyen felhasználású eszközről beszélünk. Például kézi páncéltörő gránátvetők esetében az iniciálást legtöbb esetben az orrészben

elhelyezkedő piezo gyújtó végzi, mely a céltárgyba csapódásakor indítja a harci részt. Ekkor értelemszerűen nulla az  $E_1$ .

### **$E_d$ : Eltartó kilépő lyuk átmérője**

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

### **$D$ : Béléskúp átmérője**

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

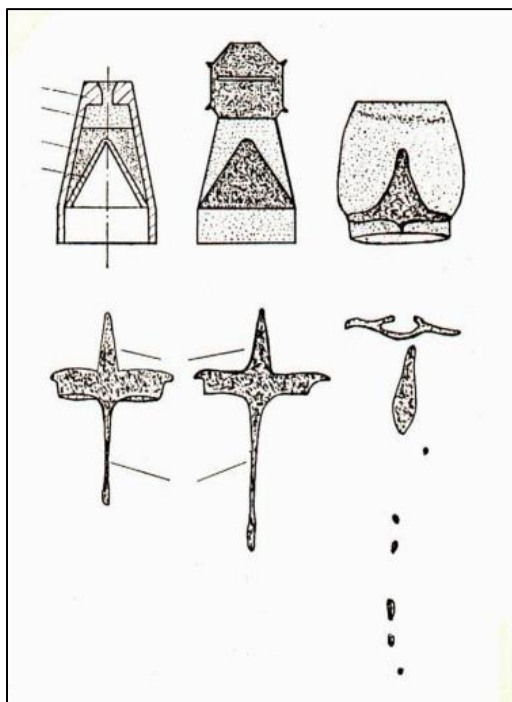
### **$D_v$ : Béléskúp anyagának vastagsága:**

A béléskúp vastagsága optimális esetben a  $D$  3-4%-a. Abban az esetben, ha más anyagot kívánnak felhasználni, akkor a tervezésnél először egy rézkúppal számolnak, illetve kiszámolják a rézkúp súlyát. Ebből kiindulva pedig visszaszámolható a másik sűrűségű anyagból készített kúp. A felhasznált anyagok a teljesség igénye nélkül: Molibdén, szegényített urán, ólom, alumínium, kerámia, bronz, üveg, nikkelötvözetek, titán stb. (Lásd még a felhasznált irodalom [13] anyagát)

### **$E_t$ : Eltartási távolság**

Ez a távolság tulajdonképpen a béléskúp alapjának távolsága a céltárgytól. A jelentősége abban van, hogy a nagyságrendileg  $10^{-4}$ s alatt formálódó, 8-12km/s sebességgel haladó jet, ki tudjon alakulni. Ha a távolság túl kicsi, nem jön létre a kúp teljes átalakulása és átütés helyett egy krátert robbant a céltárgyba. Ha azonban túl nagy az eltartási távolság akkor a jet kisebb tömegű vékonyabb, ámbragyagy sebességű orrsze, különválk a lassabb, nagyobb tömegű fark résztl, és elkezdődik a jet szétszakadása (lásd a 4. ábrát). A folyamatos sugárból cseppekre szakadó robbanási termék keletkezik, amely teljesítménye rohamosan lecsökken, illetve csak felületi roncsolást végez.

Az eltartási távolság összefüggésben van a béléstest kúpszögével is. Kis szögek esetén ( $30^\circ$ -ig) 0,5-1D a javasolt.  $80^\circ$  körüli kúpszögnél 6-8D távolság is szükséges lehet az optimális átütéshez.  $40^\circ$ - $50^\circ$  körül 2-3D a javasolt. Azonban ezek mind teoretikus adatok, mivel ha minden esetben törekednénk az optimális méretezésre, akkor a méretezés könnyen a felhasználhatóság rovására fordulna. Ugyanis olajipari perforátorok esetén vagy egy kumulatív lövedék esetén sincs akkora mozgástér a tervezésnél, mivel mindkét esetben limitált a méret. Éppen emiatt a legtöbb esetben úgy választják meg a kúpszöget és a bélést anyagát – vastagságát, hogy 1D eltartási távolság elegendő legyen.



**3. ábra: Kúpos üregű kumulatív töltet robbanásának fázisai [8. p. 13]**  
*a felső sor ábrái balról jobbra: a töltet; a töltet Röntgen képe; a robbanás után 6  $\mu$ s-mal*  
*az alsó sor ábrái balról jobbra, a robbanás után eltelt idő szerint: 12,5  $\mu$ s; 17  $\mu$ s; 120  $\mu$ s*

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

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

#### **LY<sub>4</sub>: Lyuk átmérő**

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

## ÜREGES TÖLTETEK HIBÁI

Eltekintve attól, hogy préssel, vagy öntéssel készítették a robbanó testet, mindkét esetben lehetnek olyan hibák, amelyek kisebb nagyobb mértékben befolyásolják a működőképességét vagy teljesítményét. Vázlatszerűen pontokba szedtem a könnyebb rendszerezés miatt.

### **ROBBANÓANYAGRA VISSZAVEZETHETŐ HIBÁK**

Abban az esetben, ha nem gyártáshibás termékről beszélünk, még előfordulhatnak hibák.

- **Régi gyártás, lejárt szavatosság**

Ennek előfordulási esélye nem sok, de olyan üzemekben ahol a sok éves gyártás létezik, vagy nagy raktárkészlettel dolgoznak, akkor előfordulhat, hogy szavatossági időn túli termékek

keletkeznek. Ezek vizsgálatát vagy elkülönítését fontos elvégezni. A lejárt szavatosságú termék hibái jelentkezhetnek elsősorban a robbanóanyagnál. Ez lehet a savasság megemelkedése, kiporlódás, vagy helytelen tárolásból adódó bomlás, amely eredményezhet indítási nehézségeket illetve detonáció helyett robbanást vagy deflagrációt.

- **Mechanikai sérülés**

Ezek előfordulása egy meglévő, használt minőségirányítási rendszerrel minimális. Ahol történik végátvétel illetve termékellenőrzés ott nem igazán fordul elő. Mechanikai sérülés adódhat: raktározási, szállítási, és csomagolási rendellenességekből.

## **BÉLÉSTESTRE VISSZAVEZETHETŐ HIBÁK**

Azért fontos erről külön írni, mert a béléstest szemmel nem látható eltérései is okozhatják a nem megfelelő működést.

- **Nem homogén szerkezet:**

A béléstestek legtöbb esetben vörösrézről készülnek, mélyhúzással vagy görgőzéssel. Mindkét eljárás során bekövetkezhet kristályszerkezet menti elválás és emiatt mikro repedés. A robbanás által összepréselt rézkúp az ilyen anyagfáradási pontokon nem kiszámíthatóan viselkedik, és gyakran a jet teljes kialakulása sem valósul meg. A vörösréz ekkor formájában deformálódott EFP<sup>7</sup>-t alkot mely átütőképessége elmarad a kumulatív sugárétól (a Munroe effektus helyett Misnay-Schardin effektus lép fel), iránya pedig kiszámíthatatlanná válik.

- **Aszimmetria:**

Szintén gyártási fegyelmezetlenségből adódik. A kúp nem lesz szimmetrikus, ezért a kumulatív sugár nem tengely szimmetrikusan távozik, hanem egy oldalra tartással. Annak ellenére, hogy az átütés megvalósulhat, a jet hamarabb széthullhat, illetve az átütés nem lesz szabályos

## **ÖNTÉSSEL KÉSZÜLT ROBBANÓANYAG TEST HIBÁI**

Az öntési eljárás során bekövetkező hülési fázisok, illetve gyártási rendellenességek különböző hibákat eredményezhetnek.

- **Zárvány**

Az öntött robbanóanyagok fő olvadék-képző robbanóanyaga a TNT, amely olvadékból történő szilárdulása során a kristályok rendeződése miatt zsugorodik. Amennyiben a technológia nem gondoskodik ennek elkerüléséről akkor zárványok keletkezhetnek, amelyek teljesen kiszámíthatatlanná teszik a robbanóanyag test viselkedését.

---

<sup>7</sup> Explosively formed penetrator /projectile



4. ábra: A pirossal jelzett rész a szilárdulás során létrejött fel nyíl zárvány [18]

- **A robbanóanyag és a test kontaktzónáinak problémái**

Nagyobb térfogatú öntéssel készülő testek gyártásánál fontos, hogy a zsugorodás miatt fellépő térfogatcsökkenést kompenzálják, ún. felülöntéssel. Mivel a teljes hűlési folyamat hosszú ideig tart ezért szükséges lehet, hogy egészen a végéig biztosítva legyen az öntvény robbanóanyag utánpótlása. Azonban ha ez nem megfelelő módon valósult meg akkor előfordulhat, hogy a robbanóanyag test elválik a belső faltól és légrés keletkezik. Ez több veszélyt is magában hordoz. A részbe a hosszabb tárolás során összegyűlhetnek a kiizzadt TNT-ből összegyűlő trotilátok, illetve hosszú kristályok nőhetnek bele e terekbe, és ott mechanikai hatásokra érzékenyebb terület alakulhat ki. Emellett a fém nem megfelelő felülete, szennyeződése okozhatja ezen elválásokat. A gyártás során hozzáadott kalcium-szilikát csökkenti e hatásokat.



5. ábra: Robbanóanyag test elválása a burkolattól [19]

- **Repedés**

Szintén öntési hiba, amely létrejöhet a robbanóanyag testben, vagy a test és a robbanóanyag között. Jelentősége nem csak a kiszámíthatatlan robbanási viselkedésben van, hanem abban, hogy a TNT-ből keletkező trotilátok a fém burkolattal reakcióba léphetnek és mechanikai hatásokra sokkal érzékenyebb robbanóanyag komplexeket hozhatnak létre.

- **Szennyeződés**

Gyártási fegyelem be nem tartásából, hibás gépészetből, illetve gyártási környezetből is adódhat. Veszélyességét az rejti, hogy a legtöbb esetben ismeretlen eredetű, illetve nem

feltétlen látható kívülről, csak nem destruktív szerkezetvizsgálattal (NDT)<sup>8</sup>. Amennyiben fém, fémforgács kerül a robbanóanyagba, akkor szintén számolni kell a reakcióképes komplexek keletkezésével, illetve az kezelésbiztonság csökkenésével.

- **Légrés**

Az olvadék túl gyors vagy aszimmetrikus hűtésével magyarázható. A korábban említett trotilátok mellett, e légrések hosszútűs kristályok keletkezésének adhatnak helyet. Ez a tényező szintén biztonsági kockázatot rejtő hibajelenség.

Annak ellenére, hogy az irányított töltetek szerkezetüket tekintve egyszerűnek mondhatóak, mégis számtalan részlet van alkalmazásukban és gyártásukban, amelyek befolyásolják végeredményként a működésüket. Cikkem folytatásaként különböző eljárással készült, kisméretű kumulatív robbanótetek vizsgálatának tapasztalatait írom le.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Kennedy, Donald R.: History Of The Shaped Charge Effect – The First 100 Years, Originally prepared for presentation at the 100th Anniversary of the Discovery of the Shaped Charge Effect By Max Von Foerster, observed at MBRR Schrobenhausen, West Germany, 20-22 September 1983. Research Library, Los Alamos, 1982
- [2] U.S. Patent 342,423
- [3] Lukács László: A kumulatív töltetek és gyakorlati alkalmazásuk, Műszaki Katonai Közlöny 2010/1-4. összevont szám, pp. 175-196.
- [4] Walters, William P.: The Shaped Charge Concept. Part 3. Applications of Shaped Charges; Ballistic Research Laboratory 1990
- [5] McLemore, R. H.: Casing Perforating with Shaped Explosive Charges; Oil and Gas Journal, 1946.
- [6] Lukács László: A kumulatív vágótöltetek és alkalmazásuk lehetőségei az ipari gyakorlatban, Robbantástechnika 16. szám, 1996. június (az OMBKE Robbantástechnikai szakbizottság periodikája) pp. 8-17.
- [7] Lukács László: Lineáris vágótöltetek a katonai és az ipari gyakorlatban, előadás a “New Challenges in the Field of Military Sciences 2010” 7th International Scientific Conference, Military Engineering and Constructions szekciójában, Budapest, 2010. September 18-19. (Proceedings of New Challenges in the Field of Military Sciences 2010 7th International Scientific Conference Budapest, Hungary, September 18-19, CD-ROM, p. 14.)

---

<sup>8</sup> Nondestructive testing, olyan vizsgálati-elemzési módszerek, amelyek egy eszközt vagy annak elemeit oly módon vizsgálja, hogy annak szerkezetét nem rontsolja. Pl: röntgen, ultrahang, mágneses rezonancia, nagy sebességű kamera stb.

- [8] Lukács László: A kumulatív hatás és a kumulatív töltetek méretezése – akadémiai jegyzet, Zrínyi Miklós Katonai Akadémia, Műszaki tanszék, Budapest, 1992. p. 44.
- [9] Lukács László: Kumulatív töltetek készítésének lehetőségei, méretezésük néhány módszere, Műszaki Katonai Közlöny, 1997/3. szám, pp. 22-35.
- [10] Lukács László: História, súčasnosť, budúcnosť kumulatívnych náloží (A kumulatív töltetek múltja, jelene és jövője), Conference Proceedings from the International Conference Blasting Techniques 2003. pp. 37-43, ISBN 80-968748-1 (Slovakian Society for Blasting and Drilling Works, Stará Lesná, 2003. 05. 21-23.)
- [11] Átrajzolva a következő alapján: Shaped charge liner early collapse experiment execution and validation; Eric Scheid et al; Propellants Explosives Pyrotechnic. 2014.
- [12] Átrajzolva az Introduction to Shaped Charges by William Walters. Army Research Laboratory 2007. p. 22. alapján
- [13] Lukács László: A robbanás irányított hatása: a Munroe-effektus és Misnai-Schardin effektus a katonai gyakorlatban, előadás a Haditechnika 2004. Nemzetközi Szimpózium, Műszaki szekciójában, ZMNE BJKMFK, 2004. 04. 19-20. (megjelent a konferencia kiadványában CD-n, p. 13.) – resume Bolyai Szemle 2004. Különszám, p. 49.
- [14] Walters, William P.: Introduction to Shaped Charges, Army Research Laboratory 2007.
- [15] Saját rajz
- [16] Andrejev, K. K. – Beljajev, A. F.: A robbanó anyagok elmélete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965, pp. 277-280
- [17] U.S. Patent 7752972 B1
- [18] Saját fotó
- [19] Lamy-Bracq, Peggy, - Coulouarn, Christophe: Modelling Of Melt Cast Cooling And Solidification Processes For Explosives, Nexter Munitions, 2009.
- [20] Bassa R. – dr. Kun L.: Robbantástechnikai kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965.
- [21] Dr. Bohus G. – Horváth L. – Papp J. Ipari robbantástechnika, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.