

NÉHÁNY PERSPEKTIVIKUS LEHETŐSÉG A HAGYOMÁNYOS ROBBANÓ HARCANYAGOK/HARCIRÉSZEK HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSÉRE, A JELEN KOR TUDOMÁNYOS ISMERETEINEK ALAPJÁN

Dr. Molnár László

hadtudomány (haditechnika) kandidátusa

4. Rész

IMPLÓZIÓS DETONÁCIÓ

A jelen közlemény, a NÉHÁNY PERSPEKTIVIKUS LEHETŐSÉG A HAGYOMÁNYOS ROBBANÓ HARCANYAGOK/HARCIRÉSZEK HATÉKONYSÁGÁNAK NÖVELÉSÉRE, A JELEN KOR TUDOMÁNYOS ISMERETEINEK ALAPJÁN c. publikáció befejező része¹ és a valamely brizáns robbanóanyag implóziós detonációs hullámfrontjának, és/vagy ez utóbbi által generált ütőhullámfrontjának és a valamely harcanyag-főtöltet robbanóanyagának kölcsönhatásaira vonatkozó azon kutatási eredményeket foglalja össze,

- amelyek alkalmasak lehetnek a harcanyagok egy részének² – 1. Rész TÁRGY, A TÉMA INDOKLÁSA. szerinti – lényeges hatékonyságnövelésére³, és*
- amelyek alapján megállapíthatók a haditechnikai célú hatékonyságnövelési eljárás alkalmazásának optimális katonai, műszaki-technikai területei.⁴*

A Szerző jelen – egyúttal az előző Rész-ek szerinti – munkáját alapvetően a harcanyag-ellátmányokat tervezők és megvalósítók figyelmébe ajánlja és reményét fejezi ki, hogy a publikációban foglaltak szerény mértékben hozzájárulhatnak védelmi képességeink gyarapításához.

¹ A korábbi Rész-ek fogalmi rendszere, jelölései a jelen közleményben változatlanul érvényesek. Forráshelyeik megjelölésére lábjegyzetben kerül sor – magyarázatuk szükségessége esetén.

² 1.) Harcanyag(-fogalom) Lásd; **1. Rész** 1/1.) lábjegyzet.

2.) A harcanyagok egy részére vonatkozó kitétel szükségességét lásd; **1. Rész** 6. lábjegyzet.

³ Lényeges hatékonyságnövelés/növekedés – (fogalom) Lásd; **1. Rész** 4. lábjegyzet.

⁴ A gazdasági vonatkozások nem részei a jelen publikáció TÁRGY-ában (**1. Rész** 1. pont) foglaltaknak.

1. ELŐZETES MEGJEGYZÉSEK

1.) A jelen közlemény – amely 6 fő pontból, ezeken belül alpontokból áll – a **harcanyagok** (egy részének) hatékonyságnövelési lehetőségeit vázolja, a **brizáns robbanóanyag-töltetekkel megvalósítható implózió felhasználásával**, a következő részletezések szerint.

Az első pont, a jelen közlemény tartalmát ismerteti, a második pontban kerül sor az implózió értelmezésére és fizikai, kémiai tartalmának meghatározására.

Mindezek kifejtése szükségszerű, ugyanis a termo-, a gáz- és a hidrodinamikai szakirodalomban az egységes értelmezés hiányzik és ennek következményeként a fogalom eltérő értelmezése a különböző szakterületeken – esetenként – eltérő tartalmakat jelenít meg.

A harmadik pont, az implózió modellezésének (rövid) leírását tartalmazza, a negyedik pont az implóziós detonációs hullámfrontjellemző függvényeket ismerteti.

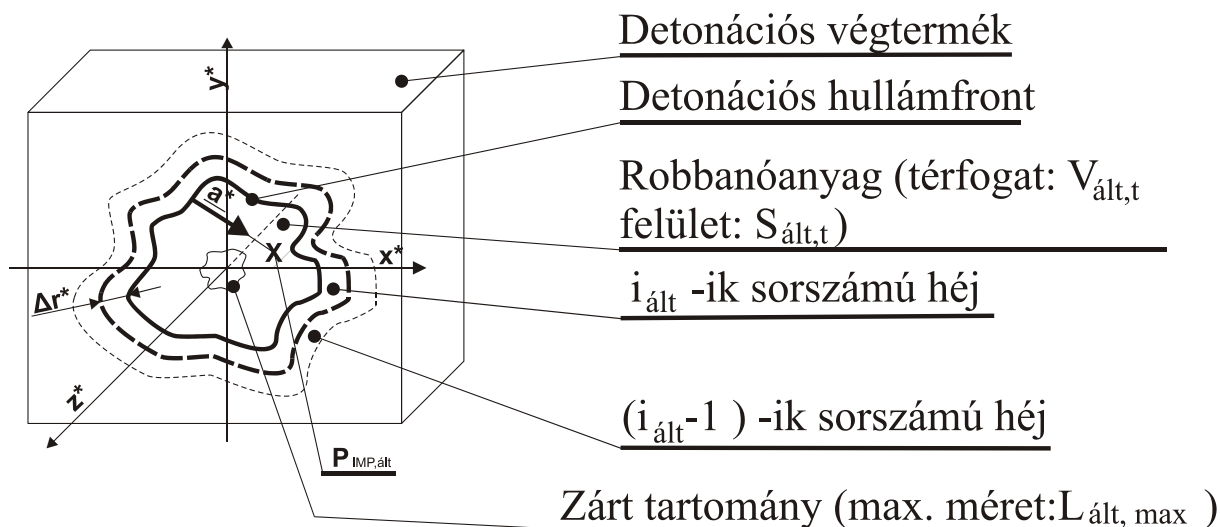
Az ötödik pont, az implózió haditechnikai célú alkalmazhatóságának bemutatását tartalmazza⁵ azon harcanyag-féleségek megjelölésével, amelyeknél a hatékonyságnövelés – katonai és műszaki-technikai szempontok szerint egyaránt – várhatóan maximális eredményességű lehet.

A fentieket követően – a 6. pontban – kerül sor néhány – a jövőre (talán) vonatkoztatható – összegzés és javaslat megfogalmazására.

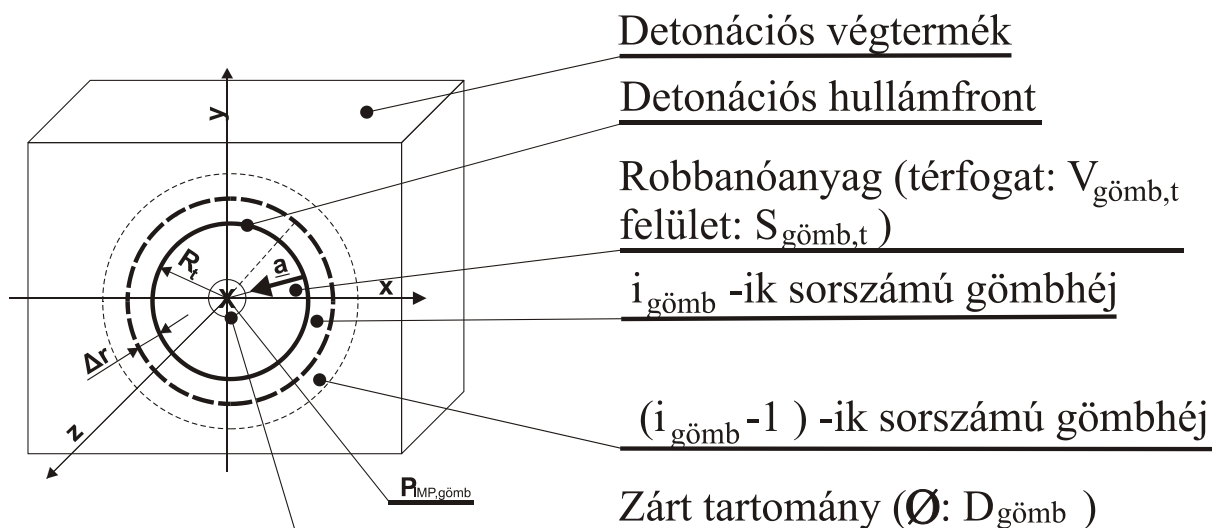
2.) A jelen közleményben foglaltak alapját és kereteit, nagyobb részben elméleti kutatási eredmények, kisebb mennyiségben kísérletekkel igazolt megállapítások (mindkét esetben ide vonatkoztatható) összessége képezi, amelyek döntő többsége elsősorban, a XX. – kisebb mértékben a XXI. – század kutatóinak munkái.⁶

⁵ Kizárólag a hagyományos harcanyagok vonatkozásaiban.

⁶ Közöttük – elenyésző mértékben – a szerző publikált, (döntően) elméleti hozzájárulásai.



2./1.-1. ábra
Az implózió általános esete



2./1.-2. ábra
Az implózió közönséges esete

- a^*, a : detonációs hullámfront felületi vektor
 $P_{\text{IMP,ált}}, P_{\text{IMP,gömb}}$: kitüntetett térbeli pont
 $\Delta r^*, \Delta r$: héj, gömbhéj vastagsága
 R_t : a gömb sugara

2./1. ábra
Detonációképes robbanóanyagok implóziója

2. AZ IMPLÓZIÓ ÉRTEMEZÉSE

(Itt) implózió alatt értendő az a valamely nem egyensúlyi, nem stacionárius detonációs folyamat, amelynek során megvalósul az alábbi – soros felépítésű – fizikai, kémiai részfolyamat valamelyike.

- A valamely robbanóanyag-töltetben haladó háromdimenziós detonációs hullámfront-felület folyamatos kompressziója, majd önmagával való ütközése a töltetben lévő (valamely) kitüntetett pontot tartalmazó tartományban.
- A fenti hullámfront-felület által generált ütőhullámfront-felület (fenti) kompressziója, majd ütközése a valamely ütőhullám-hordozó közegben lévő (szintén fenti) tartományban. [1.] (2./1. ábra.)

Az értelmezés – szabatos, a következők miatt.

- 1.) Az implózió – az irreverzibilis detonációs folyamatok egyike, amelyre a fentiekben felsorolt jelzők és jellemzők szerinti fizikai összefüggések vonatkoznak és vonatkoztathatók, egyebek nem.⁷
- 2.) A hullámfront-felületek folyamatos kompressziója abban az esetben valósul meg, amennyiben a detonációs hullámfront-felület valamennyi normálvektora a P_{IMP} -pont irányába mutat az implózió Δt_{IMP} -időtartományában, vagyis

$$\Delta t_{IMP} = t_{IMP} - t_0 \quad (2.-1.)$$

ahol,

t_0 ,

t_{IMP} : sorrendben, az implózió kezdetének és befejezésének időpontja.

⁷ Vagyis, a fogalom vonatkozik és a megállapítások érvényesíthetők bármely detonációképes robbanóanyagra, de nem vonatkozik és nem érvényesíthetők az alábbi fizikai állapotokra, rendszerekre vagy folyamatokra.

- Egyedi – nem reprodukálható – jelenségek.
- Reverzibilis detonációs folyamatok.
- Detonációs hullámfronttal nem jellemezhető robbanási, égési folyamatok.
- Nem detonációs folyamat által generált ütőhullámfront(ok).

Ennek magyarázata az, hogy az implózió (maximális) hatása kizárólag azokban az esetekben nyilvánul meg – a fizikai alapjai tekintve, eltérő hullámjelenségeknél – amelyeknél mind a detonációs, mind az ütőhullámfrontok ütközési hely- és időkoordinátái azonosak.

Az azonosság szükséges feltétele az, hogy az ütőhullámot a robbanóanyagban haladó detonációs hullámfront generálja. A szerző vizsgálatai szerint az azonosság egyéb módon – reprodukálhatóan – nem valósítható meg. [1.]

A kompresszió egyenértékű a hullámfront-felületek folyamatos csökkenésével és ennek következményeként a haladó implóziós detonációs hullámfront fajlagos⁸ energiatartalma folyamatosan nő.

3.) Az ütközési tartomány megjelölésének szükségessége (az ütközési pont helyett) az alábbi – egymástól független – okok következménye.

- Bármely véges kiterjedésű hullámfront-felületnél **az ütközési hely kizárólag tér-tartomány lehet, a hullámelhajlás miatt.**⁹
- **Mindkét fenti hullámfront-felület** vastagsága véges, amelynek **maximális kompressziója** (szintén) **véges nagyságú térfogatot** (ütközési tartományt) **eredményez** azon szélső esetekben is, amikor a hullámfront-tartományok tartalma tökéletes gázelegy.¹⁰

4.) Az implózió kettő lehetséges részfolyamatának egyesítése ugyanazon (detonációképes) robbanóanyagban – **elvi akadályba nem ütközik.**

Az értelmezés az implózió legáltalánosabb, egyúttal – elégséges mértékben – konkrét megfogalmazása, amelynek keretei között a detonációs folyamat fizikai és kémiai jellemzői (is) meghatározhatók.

3. AZ IMPLÓZIÓS DETONÁCIÓS FOLYAMAT MODELLEZÉSE

A fenti folyamatra érvényes¹¹ modell(ek) nem található meg a szakirodalomban. Ez azt jelenti, hogy a brizáns robbanóanyagok implóziójára vonatkozó szabatos kifejtés(ek) – vagyis a folyamatmodell(ek), a matematikai módszerek és az ellenőrizhető számítási eredmények összessége – hiányzik/hiányoznak.¹²

⁸ Felület-, vagy térfogat-egységre vonatkoztatott.

⁹ **A tér-tartomány mérete meghatározható az implóziós töltet szerkezeti felépítésének ismeretében,**

- a 2./1.-1. ábra szerinti – tetszőleges felületi geometriájú-töltet felépítésnél,

$$L_{\text{ált,max}} = 2,44 \Delta l_{\text{det/üh}}$$

(2.-2.)

- a 2./1.-2. ábra szerinti – gömbalakú – implóziós töltet felépítésnél,

$$D_{\text{gömb}} = 2,44 \Delta l_{\text{det/üh}}$$

ahol,

$\Delta l_{\text{det/üh}}$: A valamely detonációs-/ütő-hullámfront vastagsága, amely mérhető (számítható).

det/üh -indexek: A valamely detonációs-/ütő-hullámfrontot jelölik.

¹⁰ A kitétel, az implózió (fizikai) feltételei mellett – a valóságot leginkább közelíti.

A gázelegy – jelen esetben – a detonációs végtermék komponenseinek elegye.

¹¹ **Szabatosan:** az érvényes modellek a (nyilvános) szakirodalomban nem található meg.

¹² 1.) Lásd 11. lábjegyzet.

2.) A kifejtések – rendelkezésre állható – részleteire, a szerző a vonatkozó publikáció megjelölésével hivatkozik, és szükség szerint ismerteti az idevonatkozó (vég)eredményt.

A hiányt a rendelkezésre álló tudományos részinformációk és közelítések sem pótolják, ezért az implóziós detonációs folyamat (szabatos, vagy közelítő pontosságú) megismerése, ezek felhasználásával sem lehetséges.

3.1. Lehetőségek az alap- és a keretfeltételek egysége

A fentieket figyelembe véve, a jelen közlemény szerinti **modell-leírás alapját és kereteit, továbbra is a korábbiakban – a publikáció 1. Rész-ében – hivatkozott reverzibilis gáz- és hidrodinamika összefüggései és ezeken belül, ZELDOVICS, Ja. B. egyensúlyi és stacionárius detonációs folyamatokra kidolgozott hidrodinamikai modellje [4.] jelenti¹³ – szükségszerűen kiegészítve a kvantummechanika (ide vonatkozó) megállapításaival.¹⁴**

Az ismertett **kitételek** – természetszerűleg – **magyarázatot igényelnek** egyrészt azért, mert a detonációra képes robbanóanyagok implóziója irreverzibilis, nem egyensúlyi és nem stacionárius folyamat, másrészt azért, mert a kvantummechanikai eszköztár (részleges) felhasználásának szükségessége – közvetlenül – nem nyilvánul meg.

A vonatkozó magyarázatok az alábbiak.

1.) Ismeretes, hogy **bármely nem egyensúlyi és nem stacionárius termodinamikai rendszer/folyamat állapothatározói (ezek függvényei) – elvileg – szabatosan meghatározhatók.**

- **vagy, az irreverzibilis termo- (gáz-, hidro-) dinamika matematikai apparátusának alkalmazásával, a rendszer-folyamatok (matematikai) operátorjellemzőihez tartozó mátrix-elemek fizikai és kémiai tartalmainak ismeretében [5., 6.],**
- **vagy, ONSAGER mikroszkopikus reverzibilitási elvének megfelelő matematikai módszer szerint [7., 8.], nevezetesen a rendszer/folyamat infinitezimálisan kicsiny mikrorendszereire alkalmazandó azon matematikai összefüggésekkel, amelyek a reverzibilis egyensúlyi és stacionárius rendszerekre/folyamatokra érvényesek.¹⁵**

¹³ Amely, a valamely termodinamikai rendszerre vonatkozik.

¹⁴ **A fenti alapra épülő és ennek keretei között érvényes – jelen közleményben ismertetésre kerülő – szintézisek, kizárólag elméleti jellegűek és ezek a szerző munkái.**

Mindezek érvényességének (elméleti) bizonyítását és kísérleti ellenőrzésének néhány (reprodukálható) módszerét a jelen közlemény tartalmazza, vagy hivatkozik azokra.

¹⁵ **Ugyanis – az elvnek megfelelően – bármely fenti mikrorendszerben/-folyamaton belül, bármely állapothatározó függvényértéke állandó, amelyek mérőszámai kizárólag a határ-(perem-)feltételek függvényei.**

Ez azt jelenti, hogy bármely állandó meghatározható a reverzibilis egyensúlyi és stacionárius rendszerekre/folyamatokra érvényes összefüggésekkel – a határ-(perem-)feltételek ismeretében – amelyekből az irreverzibilis nem egyensúlyi, nem stacionárius rendszer/folyamat egészére vonatkozó állapothatározó függvények, integrálásokkal képezhetők.

Kiemelendő, hogy **a fenti – különböző – megközelítési matematikai módszerek, egyenértékűek.**

Tekintettel arra, hogy az irreverzibilis rendszerek/folyamatok állapotainak általánosan érvényes, szabatos leírásához szükséges eszköztár (általánosan érvényes matematikai módszerek, mátrix-elemek – többségének – tartalmára vonatkoztatható fizikai ismeretek összessége) – jelenleg – elégséges mértékben nem áll rendelkezésre¹⁶ [9.], az irreverzibilis termodinamika fenti módszere az implózióra nem alkalmazható (a szerző kutatási lehetőségeinek keretei között).

A szerző eljárásának megfelelően, az implózió tartalmának szabatos kifejtéséhez, az ONSAGER-elv szerinti számítási metodika alkalmazására került sor [10.].¹⁷

2.) A kvantummechanikai kiegészítések szükségessége az előző pontban foglaltak alapján (is) nyilvánvaló. Ugyanis,

- **a mikro-, és a makro-rendszerek – amelyek tartalma; tökéletes gáz, vagy NEWTON-i folyadék – fenti állapothatározóinak szabatos leírására (a jelenlegi ismeretek szerint) kizárólag a statisztikus mechanika – MAXWELL és BOLTZMANN által kidolgozott – matematikai összefüggései (és erre az alapra továbbépített) kvantummechanikai egyenletek alkalmazhatók [6., 11.]. Továbbá,**
- **elsősorban a detonációs hullámfrontban bekövetkező fizikai, kémiai folyamatok (szükség szerinti mélységű) nyomon követése, a fentiekén kívül indokolja a plazmafizikai hatások szabatos figyelembevételét [12.] is, amelyek – szintén a jelenlegi ismereteink szerint – legalkalmasabban a kvantummechanika, molekulákra és molekula-töredékekre¹⁸ vonatkozó megállapításainak alkalmazását teszi szükségessé [13.].**

Kutatásai során a szerző kidolgozta az implózió általános – ugyanakkor szükségszerűen egyszerűsítéseket tartalmazó – egyik fizikai modell és matematikai módszer-együttesét és bizonyította ennek érvényességét, külön elméleti (fizikai, matematikai) ellenőrzésekkel és külön kísérleti vizsgálatok eredményeivel [1., 10., 14.].

¹⁶ Ezért **a szerző által alkalmazott matematikai apparátusnak csupán csekély része a fent hivatkozott operátorszámítás** – értelemszerűen, a lehetőségek szerint [1.].

¹⁷ Az ezen módszer szerinti – szakirodalomban megtalálható, szabatos – irreverzibilis állapotleírások, egyedi fizikai-matematikai módszerekkel kifejezhető esetekre vonatkoznak, amelyek között az implózió általános egzakta leírásai nem találhatók meg.

Ez utóbbi nem jelenti azt, hogy ezek – általában – nincsenek, csupán azt bizonyítják, hogy a hozzáférhető szakirodalomból hiányoznak.

¹⁸ Ionok, szabad gyökök, szabad elektronok.

A modell tartalmazza az implóziós brizáns robbanóanyag-töltet felépítéseinek, detonációs folyamatainak szabatos (fizikai, matematikai) leírását. A matematikai kifejtések, az analitikus megoldások szerinti explicit függvények értelmezési tartománya megegyezik **ZELDOVICS, Ja. B.** hivatkozott elméletének értelmezési tartományával.¹⁹ Az alábbiakban mindezek – hivatkozások szerinti – rövid ismertetéseire kerül sor.²⁰

3.1.1. Az implóziós töltet felépítése²¹

A felépítés az alábbi alapesetek valamelyikének megfelelő.

1.) Általános (alap-) esetben (2./1.-1. ábra) t_0 -időpontban az implóziós töltet, vagy

- minden pontjában detonációképes brizáns robbanóanyagból álló test, vagy
- a fenti robbanóanyag és valamely ütőhullámvezető közeg együtteséből álló test, amelyek mindegyikének,
 - kiterjedése véges, és
 - homogenitás, valamint izotrópia-függvényei (külön-külön) tetszőlegesen.

A testek mindegyikének belsejében, t_0 -időpontban van egy matematikai zárt felület ($S_{ált,t_0}$), amely a $V_{ált,t_0}$ -tér fogatot határolja.

A $V_{ált,t_0}$ -tér fogaton belül, vagy azon kívül van $t_{IMP,ált}$ -időpontban a 2. pont szerinti zárt tartomány, amelynek maximális mérete, $L_{ált,max}$ és amelyben a kitüntetett $P_{IMP,ált}$ -pont van. A pont helykoordinátái az $S_{ált,t_0}$ -felület topológiai jellemzőitől függenek.

2.) Nem általános (alap-) – fizikai értelemben, közönséges – esetben (2./1.-2. ábra), t_0 -időpontban az implóziós töltet homogén és izotróp (fenti 1. pont szerinti minőségű anyagok valamelyikéből álló) test, amelynek kiterjedése (szintén) véges.

t_0 -időpontban a test belsejében van a matematikai zárt (gömb-) felület ($S_{gömb,t_0}$), amelynek térfogata $V_{gömb,t_0}$.

A gömb középpontja $t_{IMP,gömb}$ -időpontban a kitüntetett $P_{IMP,gömb}$ -pont, amely egyúttal a $D_{gömb}$ átmérőjű gömbalakú – 2. pont szerinti – zárt tartomány középpontja is.

¹⁹ Ugyanis, ez az érvényesség alap-kritériuma.

²⁰ A részletezéseket a hivatkozások tartalmazzák.

²¹ A műszaki-technikai megoldások ismertetése nélkül.

3.) A fenti általános és közönséges esetekben,

- a $V_{\text{ált},t_0} / V_{\text{gömb},t_0}$ -térfogatok $n_{\text{ált}} / n_{\text{gömb}}$ -számú Δr -vastagságú – matematikai – héjból/gömbhéjből állnak²² és
- az $S_{\text{ált},t_0} / S_{\text{gömb},t_0}$ -felületek környezetében elektromágneses (energia-) sugárforrások helyezkedhetnek²³ el, amelyekből sugárzási energia halad a $P_{\text{IMP,ált}} / P_{\text{IMP,gömb}}$ -pontok irányába és éri el az $S_{\text{ált},t} / S_{\text{gömb},t}$ -felületeket, a Δt_{IMP} -időtartam során.

Az $S_{\text{ált},t} / S_{\text{gömb},t}$ felületeket érő sugárzás fajlagos (felületegységre vonatkoztatott) teljesítménye, t növekedésével – nő.²⁴

A sugárforrások alkalmazhatóságának lényegi feltétele az, hogy az emittált energia abszorpciója,

- a detonációs végtermékben – a Δl -vastagságú tartományon kívül, minimális mértékű legyen, és
- a detonációs végtermékben – a Δl -vastagságú tartományban és/vagy az $S_{\text{ált},t} / S_{\text{gömb},t}$ -felületek anyagában maximális mértékű legyen.²⁵

3.1.2. Az irreverzibilis detonáció folyamata

A folyamatot szabatosan jellemzik az implózió valamely időpontjára megállapítható keretfeltételek, és a Δr -vastagságú héj/gömbhéj tartományban érvényes fizikai, kémiai összefüggések.

Mindezek szabatos meghatározása, a 3.1./1.) pontban (16. lábjegyzet) foglaltak szerinti matematikai eljárás alkalmazásával lehetséges. Ennek megfelelően, az O_{X^*,Y^*}^* -operátorok jelölik az implózió részfolyamataira vonatkozó valamely azon X_i^* -függvénypárokat és ezek Y_i^* -függvényérték-párjait, amelyek kizárólag egyetlen P_{IMP} -pont (létezése) esetén értelmezhetők.²⁶ Vagyis,

²² Az i -edik héj/gömbhéj nagyobbik, illetve kisebbik határoló felületei,

$$S_{\text{ált},(i-1)} / S_{\text{gömb},(i-1)}, \text{ illetve}$$

$$S_{\text{ált},i} / S_{\text{gömb},i}$$

²³ Vagyis nem szükségszerűen.

²⁴ 1.) Amennyiben Δt -időtartam során a sugárzási teljesítmény – esetleges – csökkenésének mértéke nagyobb az $S_{\text{ált},t_i} / S_{\text{gömb},t_i}$ -felületek csökkenéseinek mértékénél.

2.) A gyakorlatban Δt -időtartam során a sugárzási teljesítmény (gyakorlatilag) állandó, ezért a fenti fajlagos teljesítménynövekedés – reális. (Lásd továbbá; 21. lábjegyzet.)

²⁵ A feltétel teljesül, a sugárzás emissziós spektrumának és a fenti közegek abszorpciós spektrumainak – értelemszerű – megfelelőségei esetén. [15.]

²⁶ 1.) Operátoron műveleti utasítás értendő, amely a valamely függvényekhez már függvényeket rendel [16.].

$$P_{IMP} \equiv P_{IMP, (x_{t_{IMP}}, y_{t_{IMP}}, z_{t_{IMP}})} \quad (3.1.2.-1.)$$

ahol,

$x_{t_{IMP}}, y_{t_{IMP}}, z_{t_{IMP}}$ -indexek: A P_{IMP} -pont koordinátáit jelölik t_{IMP} -időpontban.

És

$$O_{X^*, Y^*}^* = f_{O_{X^*, Y^*}^*} \left[K_i^*, \text{ vagy } X_i^* \text{ és } Y_i^* \right]_{P_{IMP}} \quad (3.1.2.-2.)$$

ahol,

f : Az index szerinti függvénykapcsolatot jelöli.

X_i^* : Összetett függvény – a valamely X, i-edik függvénypárja.

Y_i^* : Paraméteres előállítású függvény – a valamely Y, i-edik függvényérték párja.

és

$$X_i^* = f_{X_i^*} \left(K_{i, \text{ált}}, X_{i, \text{gömb}} \right) \quad (3.1.2.-2.-1.)$$

$$Y_i^* = f_{Y_i^*} \left(K_{i, \text{ált}}, Y_{i, \text{gömb}} \right) \quad (3.1.2.-2.-2.)$$

ahol,

$X_{i, \text{ált}}, X_{i, \text{gömb}}$: A 3.1.1./1.)-2.) pontok szerinti általános, illetve közönséges felépítésű implóziós töltetek valamely i-edik függvényei – egyúttal az X_i^* összetett függvény közbenső argumentumai.

$Y_{i, \text{ált}}, Y_{i, \text{gömb}}$: A fenti implóziós töltetek valamely i-edik függvényértékei – egyúttal az Y_i^* paraméteres előállítású függvény paraméterei.

A fenti összefüggések alapján a valamely közbenső argumentumok, illetve paraméterek ismeretében **a valamely O_{X^*, Y^*}^* -operátorok és a valamely Y_i^* -függvények – meghatározhatók [17.].**

A fentiek figyelembevételével, a detonációs folyamat jellemző időpontjai, és a hozzájuk tartozó (hivatkozott) keretfeltételek és specifikus összefüggések, az alábbiak.

2.) Az operátorokat vastagított álló, dőlt betűk jelölik.

1.) t_0 -időpont

1.1.) Az implóziós töltetek iniciálása. Az iniciálás helye a valamely $S_{t_0}^*$ -felület.²⁷

Az iniciálást egyetlen (detonációs-, vagy ütőhullám-, vagy együttes detonációs-, és ütőhullám-) frontfelülettel kell megvalósítani úgy, hogy az iniciáló hullámfront,

- fajlagos (felületegységre vonatkoztatott) energiája, azonos legyen az $S_{t_0}^*$ -felület bármely pontján, és
- valamely sebességvektorának irányegyenese az $S_{t_0}^*$ -felület bármely pontjában, egyezzen meg az ugyanezen ponthoz tartozó azon felületi normálvektor irányával, amely a $V_{t_0}^*$ -térfogat²⁸ belseje felé mutat.

A fenti feltételek következményei az alábbiak.

- Az iniciálás időtartama alatt, kettő gerjesztett hullámfront²⁹ indul az $S_{t_0}^*$ -felületről.

A hullámok egyike a $V_{t_0}^*$ -térfogat belseje felé irányul, másika ezzel ellentétesen halad.

Ez utóbbi – az implózió szempontjából – a továbbiakban nincsen figyelembe véve.³⁰

- A gerjesztő a valamely gerjesztett és az $S_{t_0}^*$ -felületek – azonosak.
- A gerjesztő és a valamely gerjesztett hullámfrontok fenti 1.1.) pont szerinti értelmezésű,
 - fajlagos energiái és
 - sebességvektorainak irányegyenesei – azonosak.

1.2.) Az elektromágneses sugárforrás(ok) működésének/működéseinek kezdete.

2.) Valamely t_i -időpont

2.1.) Meghatározás.

²⁷ Ahol a (3.1.2.-2.-2.) összefüggés alapján írható, hogy

$$Y_i^* \equiv S_{t_0}^* \quad (3.1.2.-3.)$$

és

$$Y_{i,ált} = S_{t_0,ált} \quad (3.1.2.-4.)$$

$$Y_{i,gömb} = S_{t_0,gömb} \quad (3.1.2.-5.)$$

és

$$i \equiv i_{t_0} \quad (3.1.2.-6.)$$

²⁸ $V_{t_0}^*$ értelmezése; Lásd, 27. lábjegyzet (értelemszerűen).

²⁹ Detonációs- és/vagy ütő-hullám.

³⁰ A gerjesztett hullámfront detonációs- vagy ütő-hullámfront attól függően, hogy $V_{t_0}^*$ tartalma robbanóanyag-e vagy ütő-hullám hordozására képes közeg.

Időpont, amelynél a valamely implóziós hullámfront felülete az i^* -edik³¹ héj/gömbhéj kisebbik határolófelületénél van, és amelynek értelmezési tartománya az alábbi,

$$t_0 < t_{i^*} \leq t_{IMP} - \Delta t_{\frac{1}{2}L_{IMP}^*} \quad (3.1.2.-7.)$$

ahol,

$\Delta t_{\frac{1}{2}L_{IMP}^*}$: Időtartam, amely alatt a detonációs-, és/vagy ütőhullámfront, a zárt tartomány maximális méretének felét megteszi.³²

L_{IMP}^* -index: A zárt tartomány maximális méretparamétere.

Továbbá,

$$t_{(i^*-1)} - t_0 > \dots > t_{(i^*-1)} - t_{(i^*-2)} > t_{(i^*+1)} - t_{i^*} \dots t_{i_{\max}^*} - t_{(i_{\max}^*-1)} \quad (3.1.2.-8.)$$

ahol,

i_{\max}^* : A $(t_{IMP} - \Delta t_{\frac{1}{2}L_{IMP}^*})$ -időponthoz tartozó héj/gömbhéj sorszáma.

2.2.) Az implóziós töltetek $Y_{t_{i^*}^*}$ -térfogatú, $S_{t_{i^*}^*}$ -felületű testek.

2.2.1.) A térfogatok és a felületek értelmezései³³ a valamely t_{i^*} -időpontban a következők.

$$Y_{t_{i^*}^*} = Y_{V_{t_{i^*}^*}}^* \quad (3.1.2.-9.)$$

ahol,

$$Y_{V_{t_{i^*}^*}}^* = f_{y_{V_{t_{i^*}^*}}^*} \left(Y_{V_{t_{i^*}^*}, \text{ált}}^*, Y_{V_{t_{i^*}^*}, \text{gömb}}^* \right) \quad (3.1.2.-9.-1.)$$

és

$$Y_{V_{t_{i^*}^*}, \text{ált}}^* / Y_{V_{t_{i^*}^*}, \text{gömb}}^* = V_{t_{i^*}^*}, \text{ált} / V_{t_{i^*}^*}, \text{gömb} \quad (3.1.2.-9.-2.)$$

És

$$S_{t_{i^*}^*} = S_{S_{t_{i^*}^*}}^* \quad (3.1.2.-10.)$$

ahol,

$$S_{S_{t_{i^*}^*}}^* = f_{y_{S_{t_{i^*}^*}}^*} \left(Y_{S_{t_{i^*}^*}, \text{ált}}^*, Y_{S_{t_{i^*}^*}, \text{gömb}}^* \right) \quad (3.1.2.-10.-1.)$$

és

³¹ A paraméter fizikai tartalmának kifejtését lásd az **1. melléklet** 1. pontjában.

³² Lásd az **1. melléklet** 2. pontjában foglaltakat.

³³ Lásd (3.1.2.-2.-2.) összefüggés. Jelölések magyarázata az ezen összefüggés szerint – értelemszerűen.

$$Y_{S_{t_i^*}, \text{ált}} / Y_{S_{t_i^*}, \text{gömb}} = S_{t_i^*}, \text{ált} / S_{t_i^*}, \text{gömb} \quad (3.1.2.-10.-2.)$$

2.2.2.) A $V_{t_i^*}^*$ -térfogatok az alábbiak³⁴

$$V_{t_i^*}^* = \frac{4\pi}{3} \left[R_{(i^*-1)}^* \right]^3 \quad (3.1.2.-11.)$$

ahol,

$R_{(i^*-1)}^*$: A valamely implóziós töltet, $t_{(i^*-1)}$ -edik időpontjához tartozó sugarának, paraméteres előállítású függvénye.

2.2.3.) Az $S_{t_i^*}^*$ -felületek,

- a valamely i^* -edik számú Δr vastagságú héj/gömbhéj egyik (kisebbik) határoló felületei, és egyúttal
- a valamely $(i^* + 1)$ -edik számú (szintén) Δr vastagságú héj/gömbhéj szintén egyik (ugyanakkor nagyobbik) határoló felületei, és
- szürke testként sugároznak.

2.3.) Az implóziós töltetek bármelyikénél (külön-külön) azok a fizikai jellemzők, amelyek a valamely töltethez tartozó $S_{t_i^*}^*$ -felületre vonatkoznak és az i^* -edik, valamint az $(i^* + 1)$ -edik héjban/gömbhéjban egyaránt érvényesek – azonosan egyenlők.

2.4.) A Δr vastagságú héjak/gömbhéjak tartalma, külön-külön eltérő összetételű detonációs végtermék,

- amelyben végbemennek a fizikai – ezen belül, a plazma-fizikai – és a kémiai átalakulások és
- amelyek mozgására, az **EULER**-egyenlet [18., 19.] érvényes.³⁵

3.) Valamely t_{j^*} -időpont

3.1.) Értelmezés, a következő összefüggés szerint,

$$t_{i^*} < t_{j^*} \leq t_{IMP} \quad (3.1.2.-12.)$$

3.2.) Az implóziós töltetek állandó $V_{t_{j^*}}^*$ -térfogatú és állandó $S_{t_{j^*}}^*$ -felületű testek.

³⁴ Lásd (2./1.) ábra

³⁵ A hivatkozott hidrodinamikai modell [4.] alkalmazásának következményeként.

A térfogatok és a felületek értelmezései, a fenti 2.2.1.) pont szerintiék (értelemszerűen) és szabatos explicit kifejtései az alábbiak,

$$V_{t_{j^*}}^* = \frac{\pi}{6} \left(L_{IMP}^* \right)^3 \quad (3.1.2.-13.)$$

$$S_{t_{j^*}}^* = \pi \left(L_{IMP}^* \right)^2 \quad (3.1.2.-14.)$$

A térfogatok tartalmi – a fenti 2.4.) pontban foglalt analógiájára – detonációs végtermékek.

Bármely t_{j^*} -időpontban, a felületek szürke testként sugároznak.

3.3.) A fenti térfogatokban érvényes állapothatározók³⁶ mindegyikének konkrét és egyidejű (függvény-) értékei nem határozhatók meg a HEISENBERG-féle határozatlansági relációk [20., 21.] – idevonatkozó – alkalmazásai szerint. Ennek következményeként, az $\frac{1}{2} L_{IMP}^*$ szakaszokon lévő héjak/gömbhéjak tartalmának jellemzői, külön-külön nem értelmezhetők.

4. A MODELLEZÉS EREDMÉNYEI

A 3. pont szerinti modell matematikai kifejtésének eredményeként meghatározhatók az implóziós detonációs folyamatra jellemző abszolút és relatív hullámfrontjellemző függvények explicit formái és ezek bármely (konkrét feltételeknek megfelelő) függvényértékei.³⁷ Meghatározhatók továbbá az implóziós folyamat időtartamának egészét jellemző függvények és függvényértékek is.³⁸

Mindezek ismeretében szabatosan felvázolhatók az implózió haditechnikai célú alkalmazási lehetőségei is.

A fentiek rövid összefoglalása a következő.

³⁶ Fizikai, kémiai és fizikai-kémiai (állapothatározók). [8.]

³⁷ 1.) Az abszolút függvények/függvényértékek összessége az ugyanazon implóziós töltetre vonatkozik.

2.) A relatív függvények/függvényértékek vonatkoztatási alapja

- préselt TNT-robbanóanyag, amelynek felülete $S_{t_0}^*$
- továbbá, lásd 3. Rész 17. lábjegyzet.

³⁸ Az ezeknek megfelelő vonatkoztatási alapként felhasználható függvényeket/függvényértékeket a jelen publikáció nem tartalmazza, mivel ezek az egyensúlyi és stacionárius detonációs folyamatoknál lineárisak, így a robbanóanyag-töltet tömeg-, méret-, detonációsebesség-paramétereinek ismeretében, elemi módszerekkel meghatározhatók.

Az implóziós folyamatoknál a detonációs időtartam ismerete szükséges, elsősorban a brizáns és az ezzel összefüggő hatások megállapításaihoz.

Bővebben lásd [1.].

4.1. Függvények és függvényértékek

A 2. Rész 1.1.1. pontja szerinti tartalomnak megfelelő, abszolút detonációs- és ütőhullámfrontjellemző, valamint a (szintén abszolút) detonációs időtartam függvényeket az **1. melléklet** 3. pontja tartalmazza.

A fenti függvényekből képezhető relatív függvények a (hivatkozott) melléklet 4. pontjában találhatók.

A függvények összességének – itt nem részletezett – diszkussziójával a következők állapíthatók meg.

1.) Valamennyi függvény szabatosan értelmezhető, formája explicit. Ugyanezek vonatkoznak a függvények tagjaira és tényezőire is, amelyek azt jelentik, hogy ezek mindegyikének fizikai/kémiai, fizikai-kémiai tartalma vagy egzakt módon ismeretes, vagy kísérleti vizsgálatokkal meghatározható.³⁹

2.) A valamely implóziós töltet detonációs folyamata során mind az abszolút, mind a relatív függvények függvényértékei olyan módon változnak⁴⁰ (a független változók növekedésének következményeként), hogy azok a felsorolt hullámfrontjellemzők függvényértékeinek egyidejű növelésének és a töltet detonációs időtartam-csökkenésének felelnek meg.

3.) A továbbiakban elégséges a relatív függvények elemzése az 1. Rész CÉLKITŰZÉS szempontjainak megfelelően – mivel a relatív függvényértékek definíciószerűen azonosak a 3. Rész (1.2.-4.) összefüggése szerinti n_i mérőszámaival.

3.1.) A függvényértékek – elsősorban – az implóziós töltet méretjellemzőinek függvényei⁴¹, a következők szerint.

- **Mintegy 100 mm űrméretű lövedékeknél és az ezeknek megfelelő méretű harcireszекnél – vagyis a max. 90 mm átmérőjű robbanóanyag-töltettel szerelt harcanyagoknál – n_i értékei 1 körül vannak (a hibahatáron belül).**

Ez azt jelenti, hogy a fenti űrméretű/méretű harcanyagoknál az implóziós detonáció hatása – gyakorlatilag – nem érvényesül.⁴²

³⁹ Vagyis a meghatározásoknak elméleti akadálya nincs.

⁴⁰ A 2. pont szerinti értelmezési tartományban.

⁴¹ Ezt a tényt $R_{0,max}^*$ és i^* független változó operátorfüggvények fejezik ki.

- **A 100÷150 mm űrméretű (és az ezeknek megfelelő méretű) harcanyagoknál, n_i mérőszámai valamennyi relatív jellemzőnél nagyobbak 1-nél⁴³, ugyanakkor kisebbek a – hivatkozott – kívánt mértéknél.**

Ez azt jelenti, hogy az ismertett hullámelhajlás csökkentő hatása továbbra is jelentős.

- **150 mm feletti űrméretes (és az ezeknek megfelelő fenti méretek esetén,**
 - **valamennyi relatív hullámfrontjellemző mérőszáma a hivatkozott 3. Rész (1.2.-4.) összefüggése szerinti határértékek között – vagyis 3÷11 – van.**
 - **megállapítható, hogy az űrméretes/méretek növekedésével valamennyi n_i aszimptotikusan tart valamely $n_{i,max}$ határértékhez.**

A határértékek az L_{IMP}^* véges nagyságú tartomány – értelemszerű – következményei.

3.2.) Megállapítható továbbá, hogy valamely űrméret/méret ismerete az n_i mérőszámok meghatározásához szükségesek, ugyanakkor nem elégségesek.

A meghatározáshoz az implóziós töltet felépítésének – végső soron az implóziós harcanyag konkrét és tervezési szintű szerkezeti – ismerete szükséges, amely a harcanyag K+F-tevékenységének részeként ismerhető meg.⁴⁴

4.) A fenti 1.)-3.) pontokban foglaltak alapján biztosan állítható, hogy a konstrukciótól függően, a valamely implóziós töltettel szerelt harcanyag detonációs folyamata során, az 1. Rész TÁRGY, A TÉMA INDOKLÁSA pont szerinti hatékonyság-növekedési feltétel – valamennyi hullámfrontjellemző, valamint a detonációs időtartam vonatkozásaiban – teljesíthető.

4.2. Az implózió haditechnikai alkalmazhatóságával összefüggő egyéb megállapítások.

Az előző pontban foglaltak tartalmával összefüggésben megállapítható, hogy **az implóziós detonáció folyamata önmagában is alkalmas lehet a harcanyagok hatékonyságának növelésére** és mind a lehetőség megvalósítása, mind a növelés mértéke, a konstrukció függvénye.

Ennek magyarázata – az implózió ismertett meghatározásának felhasználásával – nyilvánvaló, **nevezetesen a valamely $V_{t_0}^*$ térfogatú robbanóanyag energiájának egy része,**

⁴² Ennek magyarázata – végsősoron – a 2./1.) pontban kifejtett hullámelhajlás.

⁴³ Detonációs időtartam esetén az idevonatkozó relatív jellemző – értelemszerűen – n^{-1} .

⁴⁴ Amely nem képezi a jelen közlemény tárgyát.

az implóziós detonációs folyamat során a $V_{t_i}^*$ (tetszőleges) térfogatba koncentrálható, vagyis az ezen térfogat fajlagos energiatartalma növelhető.

Vagyis, a fenti hatékonyság növelése azért lehetséges, mert a valamely implóziós töltet-részt tartalmazó harcanyag működésénél **az implóziós detonáció során felszabaduló energia** – amely (a veszteségeket leszámítva) az implóziós detonációs hullámfrontban koncentrálódik – **közvetlenül bevezethető a harcanyagban lévő másik (másodlagos) brizáns robbanóanyagból álló töltet anyagába, annak méret- és tömegváltozása nélkül.**

A fentiek következményeként,

- **az implóziós töltet-rész, a harcanyag hatékonyságának növelésében – elsődlegesen és közvetlenül – gyakorlatilag nem vesz részt,**
és
- **az implóziós, valamint a másodlagos töltet-részek tömegeinek arányára vonatkozóan – elméleti – korlátozás nincs.**

Vagyis **a másodlagos töltet fajlagos detonációs energiája sokszorozható** – a konstrukciótól függően **olyan mértékben, hogy mind az ezen töltetet tartalmazó harcanyag-rész, mind a teljes harcanyag hatékonysága lényegesen növekedjen.**⁴⁵

Kiemelendő továbbá, hogy **a valamely másodlagos töltetbe irányuló detonációs és elektromágneses energia-abszorpció megvalósíthatóságára, majd ezt követően az ezen, valamint a töltet detonációs energiájának egyidejű emittálására, az implózióon kívül – jelenleg – egyéb módszer nem ismeretes.**⁴⁶

⁴⁵ A hatékonyság növelésének/növekedésének mértéke – a konstrukció alapján – szabatosan meghatározható, számításokkal is és kísérleti vizsgálatok eredményeinek kiértékelésével egyaránt.

Az itt (is) felhasználható – egyik – számítási módszer kifejtését a [22.] szakirodalom tartalmazza, a kísérleti vizsgálati eljárások alapjai a [23.] munkában találhatók.

⁴⁶ Lásd – értelemszerűen – 11. lábjegyzet.

5. AZ IMPLÓZIÓ HADITECHNIKAI HASZNOSÍTÁSÁNAK LEHETSÉGES TERÜLETEI

A fenti 4. pontban foglaltak alapján – és a jelen ismeretek birtokában – **az implózió hasznosításának várhatóan leginkább eredményes területei a következők.**

Harcanyagok – egy részének – lényeges hatékonyság-növelése [3.], amelyek rendeltetése

- **élőerők leküzdése és**
- **objektumok rombolása.**

Mindezekben belül a következők kidolgozása és rendszerbe állítása.

- **Minimum közepes űrméretű – vagyis 100 mm-nél nagyobb – tüzérségi repesz, vagy romboló (és repesz-romboló) lőszer(ek)/(esetleg) lövedék(ek).**
- **A fenti méreteknek megfelelő egyéb harcanyagok – reaktív lőszer(ek), bombák harcírészei.**

Az implóziós harcanyagok létrehozása K+F-tevékenységet igényel,

- amelynek módszere részben alap-, és alkalmazott-kutatás, részben mérnöki eljárások komplex együttese, és
- amelynek ráfordítási szükségletei – a szerző véleménye szerint – közel azonosak, humán és tárgyi (műszaki-technikai, katonai) vonatkozásokban egyaránt.

6. ÖSSZEGZÉS

A publikáció 4. Rész-ében ismertetésre került a brizáns robbanóanyagok implóziójára kidolgozott, nem egyensúlyi és nem stacionárius detonációs modell és matematikai számítási módszer együttes, amelynek alapját Ja. B., ZELDOVICS – (hivatkozott) egyensúlyi és stacionárius hidrodinamikai detonációs modellje képezi.

Az együttes alkalmas az implóziós detonációs folyamat szabatos leírására, ezen belül a detonációs hullámfrontjellemzők abszolút és relatív – explicit – függvényeinek meghatározására.

Az elméleti ellenőrzések – döntően a hidro-, gáz- és plazma-fizikai, részben kvantummechanikai jellemzőkre alapozott matematikai operátorszámítások – eredményeinek, valamint a (hivatkozott) szakirodalmak szerinti kísérleti adatok és megállapítások felhasználásával biztosan állítható, hogy az ismertetett fenti együttes, az implóziós

detonációs folyamat általános érvényű szabatos leírásának egyik lehetséges egzakt megfogalmazása.

A kutatási eredmények részét képező explicit függvények lehetőséget nyújtanak mindazon implóziós folyamat-jellemző időbeli nyomonkövetésére, amelyek a továbbiakban a haditechnikai célú felhasználás tervezése alapjait képezhetik.

Az ismertetésre került fenti – ezen belül az implózió kezdeti és végállapotára vonatkozó – függvények alapján megállapítható, hogy a detonációs folyamat során valamennyi relatív hullámfrontjellemző egyidejű és lényeges növelése megvalósítható, ezért az implózió (megfelelő mérnöki eljárások alkalmazásával a robbanó harcanyagok egy részénél, a rendeltetésszerű hatékonyság lényeges növelésére – potenciálisan – felhasználható.

A fentiek összegzéseként, felvázolásra kerültek a haditechnikai felhasználás azon főbb területei és azok a harcanyag-féleségek, amelyeknél a brizáns robbanóanyagok implóziójának – K+F-tevékenységet igénylő – alkalmazása (műszaki-technikai és katonai vonatkozásokban egyaránt) leginkább eredményes lehet.

1. melléklet

SZÁMÍTÁSOK

1. AZ i^* -FÜGGVÉNYEK FIZIKAI TARTALMA a (3.1.2.-7.) ÖSSZEFÜGGÉS SZERINTI ÉRTELMEZÉSI TARTOMÁNYBAN

A (2./1.). ábra alapján nyilvánvaló az alábbi összefüggés,

$$\frac{R_{\max 0}^*}{n^* \Delta r^*} = \frac{1}{i_{\max}^* \Delta r^*} \left(R_{\max 0}^* \frac{1}{2} L_{t_{IMP}}^* \right) \quad (\text{M-1.-1.})$$

ahol,

$R_{\max 0}^*$: A valamely implóziós töltetek S_0^* felületei és a P_{IMP}^* pontok közötti maximális távolság-függvények t_0^* időpontokban⁴⁷, és

$$R_{\max 0}^* = f_{R_{\max 0}^*} \left(R_{\max 0, \text{ált}}^*, R_{\max 0, \text{gömb}}^* \right) \quad (\text{M-1.-1.-1.})$$

ahol,

⁴⁷ n^* -, Δr^* -, L_{\max}^* -paraméterek értelmezését lásd; jelen közlemény 2-3. pontok.

$R_{\max 0, \text{ált}}, R_{\max 0, \text{gömb}}$: A hivatkozott általános, illetve közönséges felépítésű implóziós töltetek $S_{0, \text{ált}}$ -, illetve $S_{0, \text{gömb}}$ -felületei, valamint a $P_{IMP, \text{ált}}$ -, illetve a $P_{IMP, \text{gömb}}$ -pontok közötti maximális távolságok (paraméterek) a $t_{0, \text{ált}}$ -, illetve $t_{0, \text{gömb}}$ -időpontban.

i_{\max}^* : A maximális sorszámú i^* -függvények, a hivatkozott értelmezési tartományban.

Legyen továbbá,

$$i_{\max}^* = i^* + j^* \quad (\text{M-1.-1.-2.})$$

ahol,

j^* : sorszám-függvények⁴⁸.

$$j^* = f_{j^*} \left(\begin{matrix} \text{ált} \\ \text{gömb} \end{matrix} \right) \quad (\text{M-1.-1.-2.-1.})$$

ahol,

$j_{\text{ált}}, j_{\text{gömb}}$: A hivatkozott általános, illetve közönséges felépítésű implóziós töltetek héjainak/gömbhéjainak valamely sorszámai, a (hivatkozott) értelmezési tartományban.

Vagyis, a fenti összefüggésekből kapjuk,

$$i^* = n^* \left(1 - \frac{1}{2} L_{IMP}^* \right) - j^* \quad (\text{M-1.-2.})$$

Ezen összefüggés az i^* -függvények tartalmának szabatos kifejtése.

2. A ZÁRT TARTOMÁNYBAN HALADÓ DETONÁCIÓS-, és/vagy ÜTŐHULLÁMFROT IDŐTARTAMÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A meghatározás tárgya a (3.1.2.-7.) összefüggés szerinti $\Delta t_{\frac{1}{2} L_{IMP}^*}$ -időtartam.

A meghatározás lépései és ezek eredményei a következők.

1.) A (3.1.2.-2.-2.) összefüggés alapján írható, hogy

$$L_{IMP}^* = f_{L_{IMP}^*} \left(\begin{matrix} \text{ált, max} \\ \text{D gömb} \end{matrix} \right) \quad (\text{M-2.-1.})$$

ahol,

⁴⁸ i^* értelmezése szerint.

L_{IMP}^* : A valamely zárt tartomány paraméteres előállítású – maximális méret – függvénye,
 t_{IMP} időpontban. Vagyis a (3.1.2.-2.-2.) összefüggése alapján,

$$Y_{L_{IMP}^*}^* = L_{IMP}^* \quad (M-2.-1.-1.)$$

[És⁴⁹]

2.) Jelölje a detonáció-, és az ütőhullám frontsebességeket a zárt tartományban az alábbi összefüggés

$$\mathcal{O}_{D_{rg}^*, v_{üh}^*, L_{IMP}^*}^* = f_{D_{rg}^*, v_{üh}^*, L_{IMP}^*}(\mathcal{P}_{rg}^*, v_{üh}^* |_{IMP}) \quad (M-2.-2.)$$

ahol,

$\mathcal{O}_{D_{rg}^*, v_{üh}^*, L_{IMP}^*}^*$: A D_{rg}^* detonációsebesség és az ütőhullámsebesség összetett függvényeinek operátorfüggvénye a zárt tartományban, vagyis a (3.1.2.-2.) összefüggés alapján, írható

$$D_{rg}^* = X_{D_{rg}^*}^* \quad (M-2.-2.-1.)$$

$$v_{üh}^* = X_{v_{üh}^*}^* \quad (M-2.-2.-2.)$$

Továbbá, a (3.1.2.-2.-1.) összefüggés figyelembevételével kapjuk,

$$D_{rg}^* = f_{D_{rg}^*}(\mathcal{P}_{rg,ált}^*, D_{rg,gömb}) \quad (M-2.-2.-3.)$$

$$v_{üh}^* = f_{v_{üh}^*}(\mathcal{P}_{üh,ált}^*, v_{üh,gömb}) \quad (M-2.-2.-4.)$$

Vagyis

$$D_{rg,ált} / D_{rg,gömb} = X_{rg,ált} / X_{rg,gömb} \quad (M-2.-2.-3.-1.)$$

és

$$v_{üh,ált} / v_{üh,gömb} = X_{üh,ált} / X_{üh,gömb} \quad (M-2.-2.-4.-1.)$$

3.) Az (M-2.-1.) és az (M-2.-2.) összefüggések felhasználásával kapjuk, hogy a keresett időtartam az alábbi,

$$\Delta t_{\frac{1}{2}L_{IMP}^*} = \frac{1}{2} \frac{L_{IMP}^*}{\mathcal{O}_{D_{rg}^*, v_{üh}^*, L_{IMP}^*}^*} \quad (M-2.-3.)$$

Behelyettesítve a fenti 1.) –2.) pont szerinti (vonatkozó) összefüggéseket a (fenti) egyenletbe, az általános és a közönséges felépítésű implóziós töltetek időtartam-függvényértékei szabatosan meghatározhatók.

⁴⁹ 1.) f -, y *-értelmezését lásd; a (3.1.2.-2.-2.) összefüggés szerint.

2.) $L_{ált,max}$, $D_{gömb}$ értelmezését lásd; a jelen közlemény 9. lbjegyzete szerint.

3. IMPLÓZIÓS TÖLTETEK. ABSZOLÚT-, HULLÁMFRONTJELLEMZŐ ÉS -DETONÁCIÓS IDŐTARTAM OPERÁTORFÜGGVÉNYEI

3.1. Hullámfrontjellemző függvények

1.) A D_{rg}^* detonációsebesség és a $v_{üh}^*$ ütőhullámsebesség összetett függvényeinek operátorfüggvényei az, i^* -edik héjban/gömbhéjban

$$\mathcal{O}_{D_{rg}^*, v_{üh}^*, i^*}^* = f_{\mathcal{O}_{D_{rg}^*, v_{üh}^*, i^*}^*} \left(\mathcal{P}_{rg, v_{üh}^*, i^*}^* \right) \quad (M-3.1.-1.)$$

ahol,

$\mathcal{P}_{rg, v_{üh}^*, i^*}^*$: Az [M-2.-2.-(1.-4.)], (M-2.-2.-3.-1.) és az (M-2.-2.-4.-1.) összefüggések analógiájára értelmezhető, vagyis

$$D_{rg}^* = X_{D_{rg}^*}^* \quad (M-3.1.-1.-1.)$$

$$v_{üh}^* = X_{v_{üh}^*}^* \quad (M-3.1.-1.-2.)$$

És

$$\mathcal{O}_{D_{rg}^*, v_{üh}^*, i^*}^* = \left(\mathcal{O}_{T_i^*}^* \right)^{\frac{1}{2}} \quad (M-3.1.-2.)$$

ahol,

$\mathcal{O}_{T_i^*}^*$: A hőmérsékletek valamely operátorfüggvényei a valamely implóziós töltet valamely i^* -edik héjában/gömbhéjában.

És

$$\mathcal{O}_{T_i^*}^* = \mathcal{O}_{T_{i=1}^*}^* f_{\mathcal{O}_{T_i^*}^*} \quad (M-3.1.-2.-1.)$$

ahol,

$f_{\mathcal{O}_{T_i^*}^*}$: Az alábbi operátorfüggvény

$$f_{\mathcal{O}_{T_i^*}^*} = \left\{ \frac{\rho_{rg}}{\sigma K_{SZ}} \left(\mathcal{P}_{rg, v_{üh}^*, i^*}^* \right) \cdot \left[\left(\mathcal{P}_{rg, v_{üh}^*, i^*}^* \right) K - \Delta U_{g, i^*}^* + \frac{\phi^*}{\rho_{rg}} \left[\left(\mathcal{O}_{\sum_i^* D_{rg}^*, v_{üh}^*}^* \right) e^{-K_1} + \frac{e^{-K_2}}{\left(\mathcal{P}_{rg, v_{üh}^*, i^*}^* \right)} \right] \right] \right\}^{\frac{1}{4}} \quad (M-3.1.-2.-1.-1.)$$

ahol,

ρ_{rg} : A robbanóanyag sűrűsége.

σ : Az $S_{i^*}^*$ fekete felület által kibocsátott fajlagos (egységnyi-, felületre, -társzögre, -időtartamra vonatkoztatott) elektromágneses sugárzási energia.
[M1.]

K_{SZ} : Az $S_{i^*}^*$ -felület relatív feketedésének mértékére jellemző állandó, amely

$$0 < K_{SZ} < 1 \quad (\text{M-3.1.-2.-1.-1.-1.})$$

K, K_1, K_2 : Állandók.⁵⁰

$\Delta U_{g,i^*}^*$: A robbanóanyag és a g -index jelű detonációs végtermék közötti fajlagos (tömegegységre vonatkoztatott) belsőenergia-változás paraméteres előállítási függvényei, a valamely implóziós töltet valamely i^* -edik héjában/gömbhéjában.⁵¹

ϕ^* : A P_{IMP} -pont irányába haladható⁵² energiaáramlás fajlagos (felületegységre vonatkoztatott) teljesítményének paraméteres előállítási függvénye.

$\mathcal{O}_{\sum_i^*}^*, D_{rg}^*, v_{ih}^*$: A D_{rg}^* detonációsebesség és a v_{ih}^* ütőhullámsebesség egyik összetett függvényeinek (egyik) operátorfüggvénye, az i^* -edik héjban/gömbhéjban, amely

$$\mathcal{O}_{\sum_i^*}^*, D_{rg}^*, v_{ih}^* = \sum_i^* \frac{1}{\mathcal{O}_{rg, v_{ih}^*}^*} \quad (\text{M-3.1.-2.-1.-1.-3.})$$

2.) A $v_{i^*}^*$ áramlási sebesség [fenti 1.) pont szerinti] operátorfüggvényei

$$\mathcal{O}_{v_{i^*}^*}^* = f_{\mathcal{O}_{v_{i^*}^*}^*} \left(\mathcal{O}_{i^*}^* \right) \quad (\text{M-3.1.-3.})$$

ahol,

$$v_{i^*}^* = X_{v_{i^*}^*}^* \quad (\text{M-3.1.-3.-1.})$$

⁵⁰ 1.) $K = f_K \left(\mathcal{O}_{i^*}^* \right)$ (M-3.1.-2.-1.-1.-2.)

ahol,

$\mathcal{O}_{i^*}^*$: A detonációs végtermék izentropikus kitevőjének átlagos mérőszáma az i^* héjban/gömbhéjban.

Továbbá lásd; 2. Rész 1.1.1. pont.

2.) $K_1 K_2$ - lásd; [1.]

⁵¹ Lásd; 2. Rész 1.1.1. pont.

⁵² Lásd; jelen közlemény 23. lábjegyzet.

És

$$\mathcal{O}_{v_i^*}^* = \mathcal{O}_{D_{rg}^*, v_{üh}, i^*}^* \quad [\text{Itt}^{(4/2.)}] \quad (\text{M-3.1.-4.})$$

3.) A p_i^* nyomás [fenti 1.) pont szerinti] operátorfüggvényei

$$\mathcal{O}_{p_i^*}^* = f_{\sigma_{p_i^*}^*} \left(\mathcal{O}_{i^*}^* \right) \quad (\text{M-3.1.-5.})$$

ahol,

$$p_i^* = X_{p_i^*}^* \quad (\text{M-3.1.-5.-1.})$$

És

$$\mathcal{O}_{p_i^*}^* = \left(\mathcal{O}_{D_{rg}^*, v_{üh}, i^*}^* \right)^2 \quad (\text{M-3.1.-6.})$$

4.) A ρ_i^* sűrűség [fenti 1.) pont szerinti] operátorfüggvényei

$$\mathcal{O}_{\rho_i^*}^* = f_{\sigma_{\rho_i^*}^*} \left(\mathcal{O}_{i^*}^* \right) \quad (\text{M-3.1.-7.})$$

ahol,

$$\rho_i^* = X_{\rho_i^*}^* \quad (\text{M-3.1.-7.-1.})$$

És

$$\mathcal{O}_{\rho_i^*}^* = \rho_{i^*=1}^* \quad (\text{M-3.1.-8.})$$

5.) A I_i^* fajlagos impulzus [fenti 1.) pont szerinti] operátorfüggvényei

$$\mathcal{O}_{I_i^*}^* = f_{\sigma_{I_i^*}^*} \left(\mathcal{O}_{i^*}^* \right) \quad (\text{M-3.1.-9.})$$

ahol,

$$I_i^* = X_{I_i^*}^* \quad (\text{M-3.1.-9.-1.})$$

És

$$\mathcal{O}_{I_i^*}^* = I_{i^*, \text{stac., egy.}}^* \frac{\Delta r^*}{R_{\max 0}^* \left(\mathcal{O}_{T_{i^*=1}^*}^* \right)^{\frac{1}{2}} \sum_{j^*}^* \left(\mathcal{O}_{T_{i^*}^*}^* \right)^{\frac{1}{2}}} \mathcal{O}^* \quad (\text{M-3.1.-10.})$$

ahol,

$$\mathcal{O}_{\sum_{j^*}^* \left(\mathcal{O}_{T_{i^*}^*}^* \right)^{\frac{1}{2}}} : \text{Az } \mathcal{O}_{T_{i^*}^*}^* \text{ operátorfüggvények (egyik) operátorfüggvénye az } i^* \text{-edik}$$

héjban/gömbhéjban, amely

$$\mathcal{O}^*_{\sum_i^* \left(\mathcal{O}^*_{T_i^*}\right)^{\frac{1}{2}}} = \sum_i^* \left(\mathcal{O}^*_{T_i^*}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{M-3.1.-10.-1.})$$

stac., egy.-index : A (valamely) stacionárius és egyensúlyi detonációs folyamatot jelöli.

3.2. Detonációs időtartam függvények

$$\mathcal{O}^*_{\Delta t^*_{R_{\max\Delta}}, IMP} = \mathcal{O}^*_{\Delta t^*_{R_{\max\Delta}, stac., egy.}} \frac{\Delta r^*}{R_{\max\Delta}^*} \mathcal{O}^*_{T_i^*=1} \mathcal{O}^*_{\sum_i^* \left(\mathcal{O}^*_{T_i^*}\right)^{-\frac{1}{2}}} \quad (\text{M-3.2.-1.})$$

ahol,

$$\mathcal{O}^*_{\Delta t^*_{R_{\max\Delta}}, IMP},$$

$\mathcal{O}^*_{\Delta t^*_{R_{\max\Delta}, stac., egy.}}$: A valamely (ugyanazon) robbanóanyag töltet detonációs időtartama – sorrendben – az implóziós, valamint a stacionárius és egyensúlyi detonációs folyamat során.

$\mathcal{O}^*_{\sum_i^* \left(\mathcal{O}^*_{T_i^*}\right)^{\frac{1}{2}}}$: Az $\mathcal{O}^*_{T_i^*}$ operátorfüggvények (egyik) operátorfüggvénye az i^* -edik

héjban/gömbhéjban, amely

$$\mathcal{O}^*_{\sum_i^* \left(\mathcal{O}^*_{T_i^*}\right)^{\frac{1}{2}}} = \sum_i^* \left(\frac{1}{\mathcal{O}^*_{T_i^*}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{M-3.2.-1.-1.})$$

4. IMPLÓZIÓS TÖLTETEK RELATÍV, HULLÁMFRONTJELLEMZŐ ÉS – DETONÁCIÓS IDŐTARTAM OPERÁTORFÜGGVÉNYEK

Keresendők a fenti függvények explicit formái.

4.1. Hullámfrontjellemző függvények

1.) A D_{rg}^* detonációsebesség és a $v_{üh}^*$ ütőhullámsebesség relatív függvényei⁵³

Az (M-3.1.-2.) összefüggés alapján a relatívfüggvény a következő,

⁵³ Itt és a továbbiakban; **a valamely implóziós töltet valamely i^* -edik héjában/gömbhéjában.**

$$\frac{\sigma_{D_{rg}, v_{\ddot{u}h}, i}^*}{\sigma_{D_{rg=TNT}, v_{\ddot{u}h, TNT}^*}^{i^*=1}} = \frac{f_{\sigma_{D_{rg}, v_{\ddot{u}h}, i}^*} \left(\Phi_{rg, v_{\ddot{u}h}, i}^* \right)}{f_{\sigma_{D_{rg=TNT}, v_{\ddot{u}h, TNT}^*}^{i^*=1}} \left(\Phi_{rg=TNT, v_{\ddot{u}h, TNT}^*}^{i^*=1} \right)} \quad (\text{M-4.1.-1.})$$

ahol,

$(\ddot{u}h, TNT)$ -index : A TNT detonációs hullámfrontja által generált valamely ütőhullámfront sebességét jelöli.

A fenti összefüggés baloldalának nevezője a baloldali számláló függvényéből képezhető, vagyis

$$\sigma_{D_{rg=TNT}, v_{\ddot{u}h, TNT}^*}^{i^*=1} = \left(\sigma_{T_{(rg=TNT), i^*=1}}^* \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{M-4.1.-1.-1.})$$

Behelyettesítve a fenti, az (M-3.1.-2.) és az (M-3.1.-2.-1.) összefüggéseket az (M-4.1.-1.-1.) egyenletbe, a keresett függvényre kapjuk,

$$\frac{\sigma_{D_{rg}, v_{\ddot{u}h}, i}^*}{\sigma_{D_{rg=TNT}, v_{\ddot{u}h, TNT}^*}^{i^*=1}} = \left(\frac{\sigma_{T_{i^*=1}}^*}{\sigma_{T_{\ddot{u}h=TNT}^*}^{i^*=1}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(f_{\sigma_{i^*=1}}^* \right)^{\frac{1}{2}} \quad [\text{Itt}^{54}] \quad (\text{M-4.1.-2.})$$

2.) A v_i^* áramlási sebesség relatív függvényei

Az (M-3.1.-3.) összefüggés alapján a relatív függvény az alábbi,

$$\frac{\sigma_{v_i^*}^*}{\sigma_{v_{rg=TNT}, g, i^*=1}^*} = \frac{f_{\sigma_{v_i^*}^*} \left(\Phi_{i^*}^* \right)}{f_{\sigma_{v_{rg=TNT}, g, i^*=1}^*} \left(\Phi_{rg=TNT, g, i^*=1}^* \right)} \quad (\text{M-4.1.-3.})$$

amely az (M-3.1.-4.) összefüggés felhasználásával, a következő alakra hozható

$$\frac{\sigma_{v_i^*}^*}{\sigma_{v_{rg=TNT}, g, i^*=1}^*} \equiv \frac{\sigma_{D_{rg}, v_{\ddot{u}h}, i}^*}{\sigma_{D_{rg=TNT}, v_{\ddot{u}h, TNT}^*}^{i^*=1}} \quad (\text{M-4.1.-4.})$$

Vagyis, az (M-4.1.-2.) összefüggés alapján, a keresett függvény a következő,

$$\frac{\sigma_{v_i^*}^*}{\sigma_{v_{rg=TNT}, g, i^*=1}^*} = \left(\frac{\sigma_{T_{i^*=1}}^*}{\sigma_{T_{\ddot{u}h=TNT}^*}^{i^*=1}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(f_{\sigma_{i^*=1}}^* \right)^{\frac{1}{2}} \quad [\text{Itt}^8] \quad (\text{M-4.1.-5.})$$

3.) A p_i^* nyomás relatív függvényei

Az (M-3.1.-5.) összefüggés alapján a relatív függvény a következő,

⁵⁴ Szükség szerint tovább kifejezhető, az (M-3.1.-2.-1.-1.) összefüggés behelyettesítésével.

$$\frac{O_{p_i^*}^*}{O_{p_{rg=TNT, g, i^*=1}^*}^*} = \frac{f_{O_{p_i^*}^*}^*}{f_{O_{p_{rg=TNT, g, i^*=1}^*}^*}^*} \quad (\text{M-4.1.-6.})$$

amely az (M-3.1.-6.) összefüggés alapján,

$$\frac{O_{p_i^*}^*}{O_{p_{rg=TNT, g, i^*=1}^*}^*} = \frac{\left(O_{D_{rg, v_{ih}, i^*}^*}^*\right)^2}{\left(O_{D_{rg=TNT, v_{ih}, TNT, i^*=1}^*}^*\right)^2} \quad (\text{M-4.1.-7.})$$

Vagyis, a keresett függvény – az (M-4.1.-2.) összefüggés felhasználásával,

$$\frac{O_{p_i^*}^*}{O_{p_{rg=TNT, g, i^*=1}^*}^*} = \frac{O_{T_{i^*=1}^*}^*}{O_{T_{rg=TNT}^*}^*} f_{O_{T_{i^*=1}^*}^*}^* \quad [\text{Itt}^8] \quad (\text{M-4.1.-8.})$$

4.) A ρ_i^* sűrűség relatív függvényei

Az (M-3.1.-7.) összefüggés alapján a relatív függvény az alábbi,

$$\frac{O_{\rho_i^*}^*}{O_{\rho_{rg=TNT}^*}^*} = \frac{f_{O_{\rho_i^*}^*}^*}{f_{O_{\rho_{rg=TNT}^*}^*}^*} \quad (\text{M-4.1.-9.})$$

Vagyis, a keresett függvény – az (M-3.1.-8.) összefüggés felhasználásával,

$$\frac{O_{\rho_i^*}^*}{O_{\rho_{rg=TNT}^*}^*} = \frac{\rho_{i^*=1}^*}{\rho_{rg=TNT}^*} \quad (\text{M-4.1.-10.})$$

5.) Az I_i^* fajlagos impulzus relatív függvényei

Az (M-3.1.-9.) összefüggés alapján a relatív függvény a következő,

$$\frac{O_{I_i^*}^*}{O_{I_{i^*, stac., egy., rg=TNT}^*}^*} = \frac{f_{O_{I_i^*}^*}^*}{f_{O_{I_{i^*, stac., egy., rg=TNT}^*}^*}^*} \quad (\text{M-4.1.-11.})$$

Vagyis, az (M-3.1.-10.) összefüggés felhasználásával a keresett függvény az alábbi,

$$\frac{O_{I_i^*}^*}{O_{I_{i^*, stac., egy., rg=TNT}^*}^*} = \frac{I_{i^*, stac., egy.}^*}{I_{i^*, stac., egy., rg=TNT}^*} \cdot \frac{\Delta r^*}{R_{\max, \rho}^*} \cdot \frac{O^*}{\sum_i^* \left(O_{T_i^*}^*\right)^{\frac{1}{2}}} \quad [\text{Itt}^{55}] \quad (\text{M-4.1.-12.})$$

⁵⁵ Szükség szerint tovább kifejtethető, az alábbi összefüggések behelyettesítésével.

- $I_{i^*, stac., egy.}^*$ -függvények, amelyek az implóziós töltettel egyező felépítésű, TNT robbanóanyagból álló robbanótöltetre vonatkoznak, és az

4.2. A detonációs időtartam relatív függvényei

Az (M-3.2.-1.) összefüggés felhasználásával a relatív függvény az alábbi,

$$\frac{O_{\Delta t_{R_{\max D, IMP}^*}}^*}{O_{\Delta t_{R_{\max D, \text{stac. egy. (g=TNT)}}^*}}^*} = \frac{O_{\Delta t_{R_{\max D, \text{stac. egy. (g=TNT)}}^*}}^*}{O_{\Delta t_{R_{\max D, \text{stac. egy. (g=TNT)}}^*}}^*} \frac{\Delta r^*}{R_{\max D}^*} O_{T_{i=1}^*}^* O_{\sum_i^*}^* \left(\frac{O_{T_i^*}}{O_{T_i^*}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{M-4.2.-1.})$$

ahol,

$O_{\Delta t_{R_{\max D, \text{stac. egy. (g=TNT)}}^*}}^*$: Az implóziós töltettel azonos felépítésű – TNT robbanóanyagból álló – töltet detonációs időtartama, a stacionárius és egyensúlyi detonációs folyamat során.

A fenti összefüggés – tovább – kifejthető, az (M-3.2.-1.-1.) összefüggés felhasználásával.

• (M-3.1.-10.-1.) függvények.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] **MOLNÁR L.:** Implóziós robbantás, Kandidátusi értekezés, Budapest, 1992.
- [2.] **TEIPEL, J.:** Imploding detonation waves. Mech. Res. Commun. 3, 1, pp. 21-26, 1976.
- [3.] **KJELLANDER, M., TILLMARK, N., APAZIDIS, N.:** Temperature measurements of light emission of an imploding polygonal shock. 27th International Symposium on Shock Waves, St. Petersburg, Russia, 2009.
- [4.] **ZELDOVICS, Ja. B.:** Teorija udarnüh voln i vvedjenie v gazodinamiku, Moszkva, Izd. AN SZSZSZR, 1946.
- [5.] **LANDAU, L. D.-LIFSIC, E. M.:** STATISZTIKUS FIZIKA, I-II., Budapest, 1981.
- [6.] **ERDEY-GRÚZ T.-SCHAY G.:** Elméleti fizikai kémia, 1-3., Budapest, 1964.
- [7.] **ONSAGER, L.:** NOBEL LECTURE, December 11., 1968.
- [8.] **ERDEY-GRÚZ T.:** A fizikai kémia alapjai, Budapest, 1961.
- [9.] **GÖDEL, K.:** The Consistency of the Axiom of Choice and of the Generalized Continuum Hypothesis with the Axioms of Set Theory. Princeton, Princeton University Press, 1940.
- [10.] **MOLNÁR L.:** Implóziós robbantás IV., Magyar Kémikusok Lapja 8, pp. 354-358. 1984.
- [11.] **PRIGOGINE, J.:** Introduction to Thermodynamics of Irreversible Processes. New York, 1968.
- [12.] **MARX GY.:** KVANTUMMECHANIKA, Budapest, 1964.
- [13.] **ORBÁN L.:** A hullámok világa, Bukarest, Tudományos és Enciklopédiai Könyvkiadó, 1985.
- [14.] **MOLNÁR L.:** A detonációs- és a lökeshullám frontok irányításának néhány módszere. Fúrás- Robbantástechnika Nemzetközi Konferencia, Miskolc, 1995.
- [15.] **LADIK J.:** KVANTUMKÉMIA, Budapest, 1969.
- [16.] **FAZEKAS F., FREY T.:** MŰSZAKI MATEMATIKAI GYAKORLATOK C. J. Operátorszámítás. Speciális függvények, Budapest, 1958.
- [17.] **KOLMOGOROV, A.N., FOMIN. S.V.:** Elements of the theory of functions and functional analysis, 1-2, Graylock (1957-1961.)
- [18.] **DR. GRUBER J.-IFJ. SZENTMÁRTONY T.:** GÁZDINAMIKA, Budapest, 1954.

- [19.] SZTANJUKOVICS, K. P.: Nyeusztanovivsieszja dvizsenyija szplosnoj szredü, Moszkva, Nauka, 1971.
- [20.] LANDAU, L. D.-LIFSIC, E. M.: KVANTUMMECHANIKA, Budapest, 1978.
- [21.] HEISENBERG, W.: Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. Z. für Phys. 43, pp. 172-198, 1927
- [22.] MOLNÁR L.: REPESZLÖVEDÉKEK/HARCIRÉSZEK HATÉKONYSÁGA ÉS A REPESZTÖLTETEK FAJLAGOS ENERGIATARTALMAI KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK, III. Rész, Műszaki Katonai Közlöny, 1-4, pp. 39-69., Budapest, 2009.
- [23.] MOLNÁR L.: REPESZLÖVEDÉKEK/HARCIRÉSZEK HATÉKONYSÁGA ÉS A REPESZTÖLTETEK FAJLAGOS ENERGIATARTALMAI KÖZÖTTI ÖSSZEFÜGGÉSEK, IV. Rész, Műszaki Katonai Közlöny, 1-4, pp. 71-90., Budapest, 2009.
- [M1] PROHOV, A. M.: Fiziceszkij enciklopediceszkij szlovar, Moszkva, 1984.