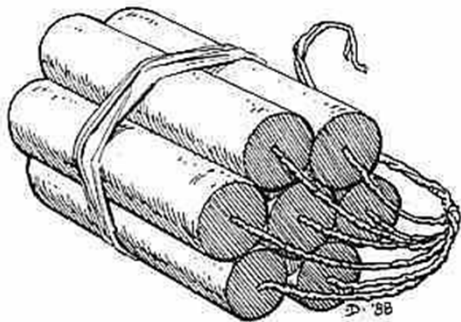


3. cvičení

Chemismus výbušnin



Trhací práce na lomech



Požadavky na průmyslové trhavinny:

- 1, dostatečně vysoký obsah energie v objemové jednotce výbušniny
- 2, přiměřená citlivost k vnějším podmínkám
- 3, dlouhodobá chemická a fyzikální stabilita
- 4, dostupnost výchozích surovin

- Kyslíková bilance
- Objem povýbuchových zplodin
- Výbuchové teplo
- Výbuchová teplota
- Síla výbušniny
- Tlak povýbuchových zplodin

Průmyslové trhavinny:

Základní složky tvořící trhavinny:

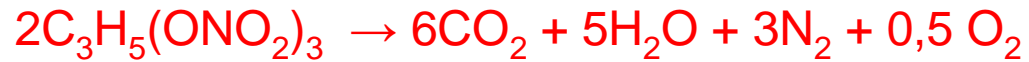
- **Výbušné směsi** (nitroestery, nitrolátky, nitraminy)
- **Okysličovadla** (dusičnany, chlorečnany,... - dusičnan amonný)
- **Paliva**
- **Pomocné směsi** (upravují směs podle potřeby – hasicí přísady, plastifikátory,..)

Nitroestery – O-NO₂: nitroglycerín, nitroglykol, nitrocelulóza, trhací želatiny, pentrit

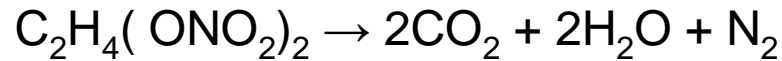
Nitrolátky – NO₂: tritol, dinitroloulen

Nitraminy: hexogen, oktogen

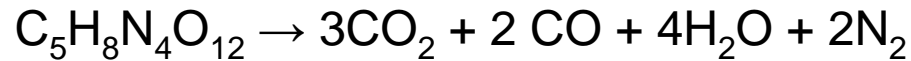
NITROGLYCERIN



NITROGLYKOL



PENTRIT



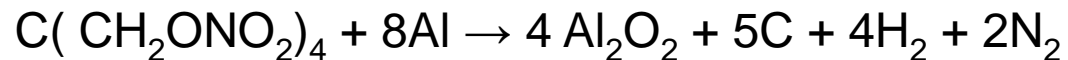
HEXOGEN RDX



TRINITROTOLUEN (TRITOL, TROTYL, TNT)



PENTRIT + Al prášek



1. KYSLÍKOVÁ BILANCE (K.B.)

„Je to vztah mezi palivem a kyslíkem ve výbušnině“. KB se rozumí přebytek nebo nedostatek kyslíku ve výbušnině při normální oxidaci. Udává se v %.

$$K.B. = \frac{O_0 - O_P}{O_P} \cdot 100(\%)$$

O_0 = počet atomů kyslíku ve výbušnině

O_p = počet atomů kyslíku který potřebujeme k dokonalé oxidaci uhlíku a vodíku na stabilní oxidy tj. CO_2 a H_2O

KLADNÁ (AKTIVNÍ) **K.B.** = vznik toxických NO_x

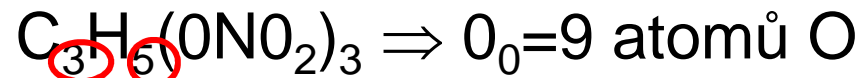
ZÁPORNÁ (NEGATIVNÍ) **K.B.** = tvorba toxických a výbušných plynů (CO , H_2)

NULOVÁ K.B. = množství kyslíku ve výbušnině je rovno množství spotřebovaného kyslíku pro dokonalou oxidaci

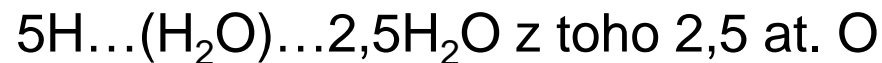
1. KYSLÍKOVÁ BILANCE (K.B.)

PŘÍKLAD:

Kyslíková bilance nitroglycerínu: $C_3H_5(ON_2)_3$



k dokonalé oxidaci C a H na stabilní oxidy tj. CO_2 a H_2O potřebujeme:



$$O_p = 6 + 2,5 = 8,5 \text{ atomů O}$$

$$K.B. = \frac{O_0 - O_p}{O_p} = \frac{9 - 8,5}{8,5} \cdot 100 = +5,88\%$$

2. SPECIFICKÝ OBJEM PLYNNÝCH ZPLODIN

„Objem plynů, které vzniknou výbuchem **1kg** výbušniny za normálních podmínek (0°C, 0,1 MPa)“

V_0 [dm³/kg]

$$V_0' = 22,412 \cdot n$$

Avogardův zákon

1 mol = 22,4 dm³

Spec. obj. z množství výbušniny v rovnici

n = počet molekul plynů, které vzniknou [mol]

- stanovíme podle rozkladné rovnice výbušniny

M = molekulová hmotnost výbušniny [g]

$$\frac{M \dots \dots \dots V_0'}{1000g \text{ (**1kg**)} \dots \dots \dots V_0}$$

$$V_0 = \frac{1000}{M} \cdot V_0'$$

Obecný vztah z trojčlenky

2. SPECIFICKÝ OBJEM PLYNNÝCH ZPLODIN

Obecný tvar rozkladné rovnice:

$$m.M = n_1.M_1 + n_2.M_2 + n_3.M_3 + \dots + n_n.M_n$$

M = molekulová hmotnosť výbušniny

M_i = molekulová hmotnosť povýbuchových zplodin

m = počet molů výbušniny

n_i = počet molů povýbuchových zplodin

Avogardův zákon

$$1 \text{ mol} = 22,4 \text{ dm}^3$$

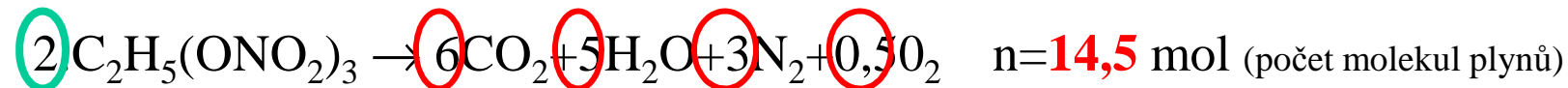
$$V_0 = \frac{(n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_n)}{m.M} \cdot 1 \text{ mol} \cdot 1000$$

[dm³.kg⁻¹]

$$V_0 = \frac{1000}{M} \cdot V'_0$$

2. SPECIFICKÝ OBJEM PLYNNÝCH ZPLODIN

PŘÍKLAD: NITROGLYCERÍN



$$V_0' = 14,5 \cdot 22,412 = 325 \text{ dm}^3/2 \text{ mol}$$

$$V_0 = \frac{1000}{227} \cdot 162,5 = 715,86 \text{ dm}^3 / \text{kg výbušniny}$$

PŘÍKLAD: PENTRIT



$$n = 11 \text{ mol}$$

$$V_0' = 11 \cdot 22,412 = 246 \text{ dm}^3/\text{mol}$$

$$V_0 = \frac{1000}{316} \cdot 246,532 = 780 \text{ dm}^3 / \text{kg výbušniny}$$

Molekulová hmotnost M



C_3 12,0 g $3 \times 12 =$ 36g

H_5 1,0 g $5 \times 1,0 =$ 5g

$3 \times O$ 15,999 g $3 \times 15,999 =$ 47,997g

$3 \times N$ 14,0 g $3 \times 14,0 =$ 42 g

$3 \times O_2$ 15,999 g $6 \times 15,999 =$ 95,994 g

M = 227,91g

Periodická tabulka prvků

elektronové konfigurace

oxidační číslo

hmotnostní číslo

hustota kg/m³

značka prvku

protonové číslo

elektronegativita

český název

latinský název

3	III
8	26,98
2	2 700
13	Al
1,5	
Hliník	
Aluminium	

3. VÝBUCHOVÉ (SPALNÉ) TEPLA

„Množství tepla, které se vyvine výbuchem 1 kg výbušniny“

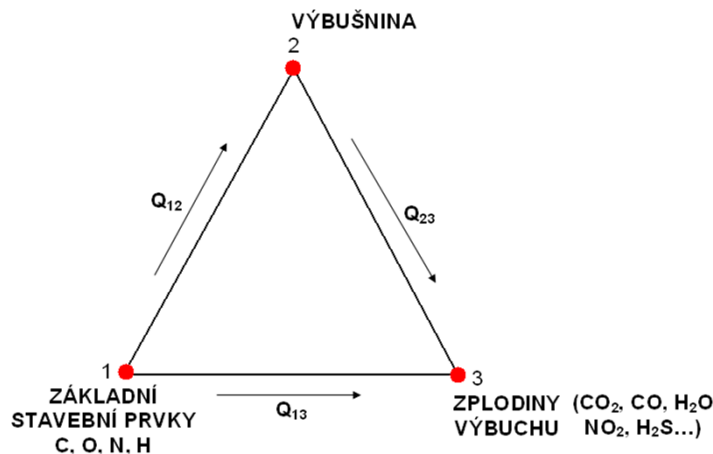
$$Q_v \text{ [J.Kg}^{-1}\text{]} \quad Q_v' = \Sigma \text{sluč. teplo zplodin} - \Sigma \text{sluč. teplo výbušniny}$$

Výbuch. teplo z množství výbušniny v rovnici

VÝPOČET NA ZÁKLADĚ TEORIÍ:

KRAUS: „teplo vzniklé rozkladem soustavy = teplo při vzniku soustavy“

HESS: „teplo vzniklé při rozpadu soustavy není závislé na cestě reakce, ale jen na počátečním a konečném stavu“



$$Q_{12} + Q_{23} = Q_{13}$$

$$Q_{23} = Q_{13} - Q_{12}$$

$$Q_v' = \Sigma q_z - \Sigma q_v$$

$$Q_v = \frac{1000}{M} \cdot Q_v'$$

$$M \dots \dots \dots Q_v'$$

$$\underline{1000g \dots \dots \dots Q_v}$$

3. VÝBUCHOVÉ (SPALNÉ) TEPLO

Tabulka 1. Slučovací tepla některých látek pro V=konst.

výbušina	q /kJ mol ⁻¹ /	zplodiny výbuchu	q /kJ mol ⁻¹ /
nitroglycerín	350,44	kysličník uhelnatý	113,76
nitroglykol	233,46	kysličník uhličitý	395,69
pentrit	512,25	voda /g/	240,70
trinitrotoluen	56,52	čpavek	43,54
hexogen RDX	87,42	kysličník hlinitý	1666,77



$$Q_v' = \Sigma q_z - \Sigma q_v = (6 \cdot 395,69 + 5 \cdot 240,7) - 2 \cdot 350,44 = 2876,76 \text{ kJ} / 2 \text{ mol}$$

$$Q_v = \frac{1000}{227} \cdot 1438,38 = 6336,47 \text{ kJ} / 1 \text{ kg výbušniny}$$

Pozn. Q_v' ...u nitroglycerínu opět počítáno na 2mol

4. VÝBUCHOVÁ TEPLOTA

„Je to nejvyšší teplota na kterou se zahřejí zplodiny výbuchu při izochorické výbušné přeměně ($V = \text{konst.}$)“

$$t_v \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Výpočet z hodnoty specifického tepla \underline{c} :

$$t_v = \frac{Q'_v}{c}$$

$$c = a + b \cdot t_v$$

$$b t_v^2 + a t_v - Q'_v = 0$$

$$t_{v1,2} = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 + 4b \cdot Q'_v}}{2b}$$

t_v = výbušná teplota [$^\circ\text{C}$]

a, b = Kastovy plynné konstanty

Q'_v = výbušné teplo dané rozkladnou rovnicí [cal] (1cal=4,187J)

c = specifické teplo [cal/ $^\circ\text{C}$]

Pozn. Předpokládá se, že se jedná o adiabatický jev (bez ohřevu okolí) za konstantního objemu.

4. VÝBUCHOVÁ TEPLOTA

plyn	a	b
pětiatomický (CH ₄)	12	0,00045
čtyřatomický (NH ₃)	10	0,00045
triatomický (CO ₂)	9	0,00058
diatomický (CO, H ₂ , O ₂ , N ₂)	4,8	0,00045
H ₂ O (g)	4	0,00215



$$Q_v' = 2876,76 \text{ kJ/2mol} = 687110 \text{ cal/2mol}$$

$$a = 6.9(CO_2) + 5.4(H_2O) + 3.4,8(N_2) + 0,5.4,8(O_2) = 90,8$$

$$b = 6.0,0058 + 5.0,00215 + 3.0,00045 + 0,5.0,00045 = 0,015805$$

$$t_v = \frac{-90,8 \pm \sqrt{90,8^2 + 4.0,015805.687110}}{2.0,015805} = 4319,5^\circ\text{C}$$

5. TECHNICKÝ (SKUTEČNÝ) OBJEM ZPLODIN

„Skutečný objem plynů, které se vyvinou výbuchem 1kg výbušniny při působení výbuchové teploty“

$$V_t \text{ [dm}^3\text{/kg]}$$

Výpočet podle Gay-Lussacova zákona:

$$V_t \cdot T_0 = V_0 \cdot T_v$$

$$V_t = T_v / T_0 \cdot V_0$$

(Gay-Lussacův zákon - termodynamický vztah pro izobarický děj probíhající v ideálním plynu)

$$V_t = \frac{V_0 (t_v + 273)}{273}$$

cca 10x větší než specifický objem, nutno znát výbuchovou teplotu t_v

5. TECHNICKÝ (SKUTEČNÝ) OBJEM ZPLODIN

PŘÍKLAD: NITROGLYCERÍN

Výbuchová teplota: $t_v = 4319,5^\circ\text{C}$.

$$V_t = \frac{V_o(t_v + 273)}{273} = \frac{715,86(4319 + 273)}{273} = 12041 \text{ dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$$

6. DETONAČNÍ RYCHLOST [m.s⁻¹]

dle Dauterichea (vychází z laboratorní zkoušky)

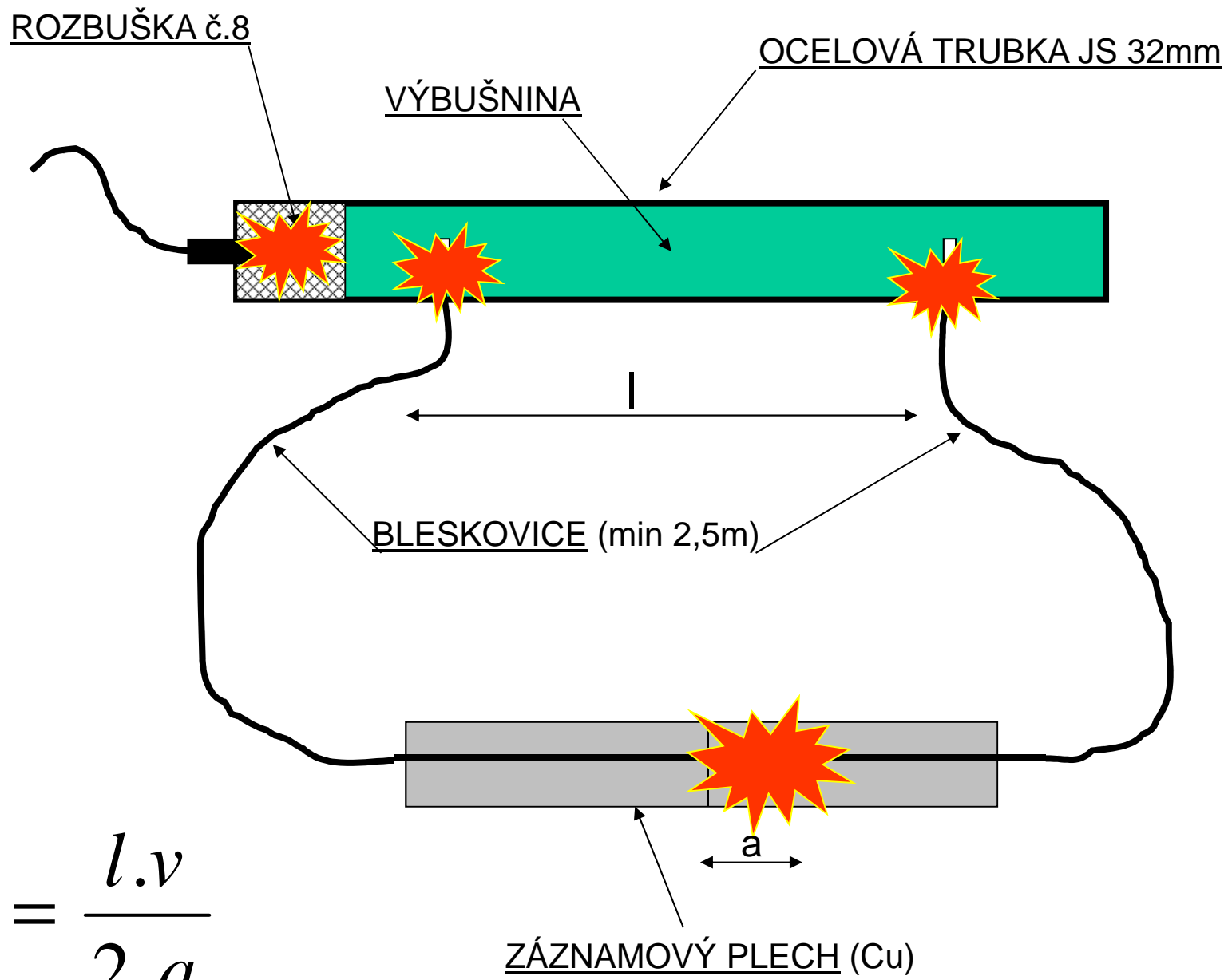
$$D = \frac{l \cdot v}{2 \cdot a}$$

D – rychlost výbuchu [m.s⁻¹]

l – vzdálenost konců bleskovice v náloži [m]

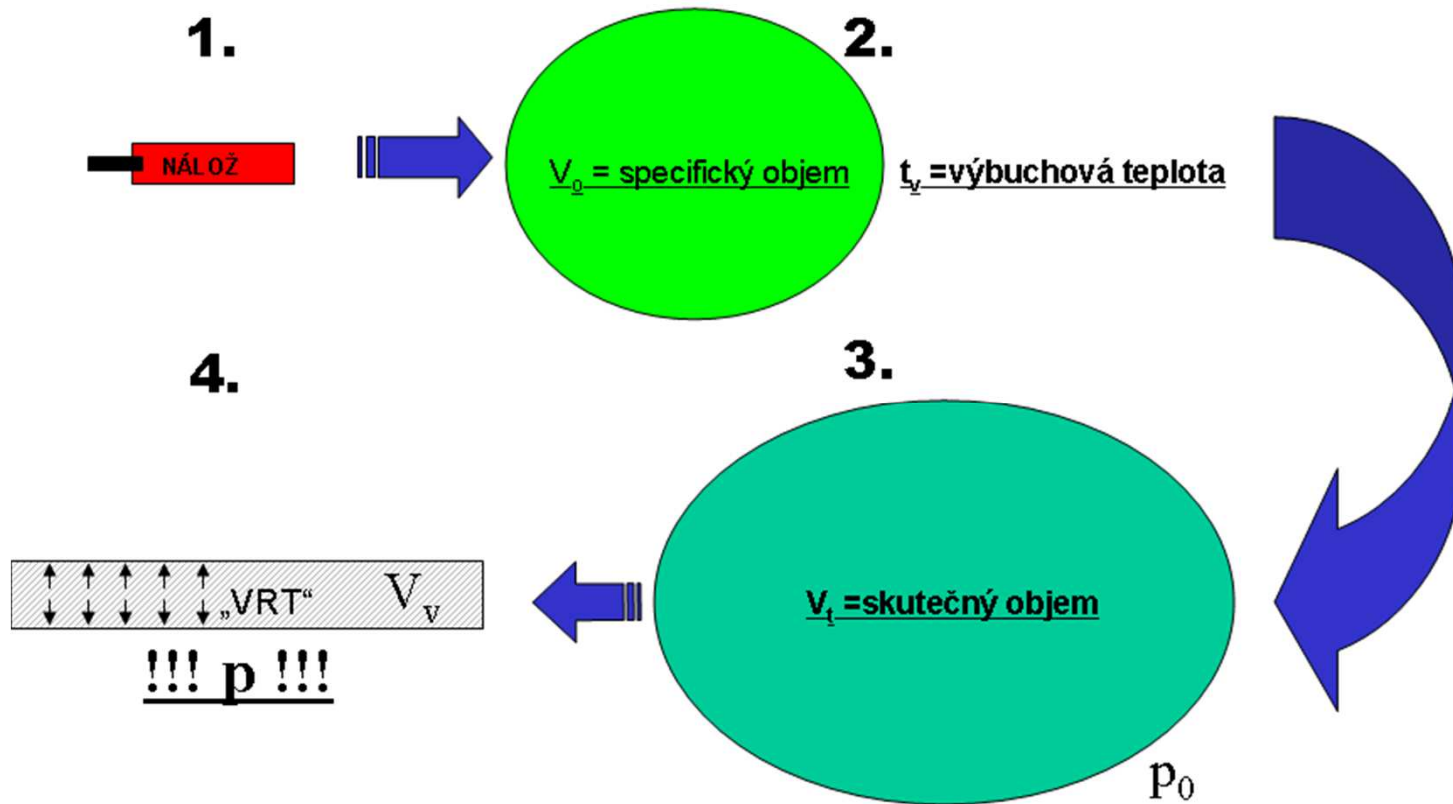
v – rychlost standardní bleskovice (6000 m.s⁻¹)

a – vzdálenost od středu desky ke střetu vln [m]



$$D = \frac{l \cdot v}{2 \cdot a}$$

7. TLAK POVÝBUCHOVÝCH ZPLODIN [MPa]



Podle BOYLE-MARIOTOVA zákona platí $p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$

Proto pro fáze 3. a 4. platí:

$$p_0 \cdot V_t = p \cdot V_v$$

$p_0 = \text{atmosférický tlak (0,1 MPa)}$

$V_0 = \text{specifický objem zplodin [m}^3/\text{kg]}$

$t_v = \text{výbuchová teplota [}^\circ\text{C]}$

$V_v = \text{objem výbuchového prostoru (vývrt) [m}^3]$

$V_t = \text{skutečný objem zplodin [m}^3/\text{kg]}$

Pozn. PLATÍ PRO 1KG VYBUŠNINY!!

7. TLAK POVÝBUCHOVÝCH ZPLODIN [MPa]

Pro odpálenou nálož o hmotnosti G platí:

$$p_0 \cdot V_t = p \cdot V_v$$

$$p = \frac{p_0 \cdot V_t}{V_v} = \frac{p_0 \cdot V_0 (t_v + 273)}{273} \cdot \frac{1}{V_v}$$

→ síla f

$$p = f \cdot \frac{G}{V_v} = f \cdot \delta$$

$$p = p_0 \cdot V_t \cdot \delta$$

p_0 = atmosférický tlak (0,1 MPa)

V_0 = specifický objem zplodin [m^3/kg]

t_v = výbuchová teplota [$^{\circ}\text{C}$]

V_v = objem výbuchového prostoru (vývrt) [m^3]

V_t = skutečný objem zplodin

δ = náložová hustota [kg/m^3]

f = síla (force)

Výbušnina	Hustota nálože [g.cm-3]
NITROGLYCERÍN	1,6
NITROGLYKOL	1,496
NITROCELULÓZA	1,2
PENTRIT	1,1
TRITOL	1,1
HEXOGEN	1,1

8. VÝKON VÝBUŠNINY [MW]

„Výkon výbušniny je definován jako energie vztažená na časovou jednotku“

N [MW]

$$N = \frac{L}{t} = \frac{G \cdot Q_v}{D}$$

$$G = \frac{\pi \cdot d_n^2}{4} \cdot s \cdot \delta$$

L = energie výbuchu [kJ]

t = doba výbuchu nálože [s]

Q_v = výbuchové teplo [kJ/kg]

G = hmotnost nálože [kg]

s = délka nálože [m]

D = rychlost výbuchu [m/s] dle Dauterichea

d_n = průměr nálože

δ = náložová hustota [kg/m³]

