

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta bezpečnostního inženýrství**

**Katedra požární ochrany**

**Zkoumání vlivu příměsi metanu na maximální  
výbuchové parametry vybraných průmyslových  
prachů**

**Student: Miloslava Jánská**

**Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaroslav Damec**

**Studijní obor: Technika požární ochrany a bezpečnosti průmyslu**

**Datum zadání diplomové práce: 30. 11. 2010**

**Termín odevzdání diplomové práce: 15. 4. 2011**

## **Anotace**

JÁNSKÁ, Miloslava. *Zkoumání vlivu příměsi metanu na maximální výbuchové parametry vybraných průmyslových prachů*. Ostrava, 2011. Bakalářská práce (Bc.). Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.

Klíčová slova: maximální výbuchové parametry, hybridní směs, uhelný prach, mouka, metan, VA 250l.

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem příměsi metanu na maximální výbuchové parametry dvou vybraných prachů, mouky a hnědého uhlí. Práce se v teoretické části zabývá pojmem výbuch, teorií ovlivňování výbuchových parametrů a tvorbou hybridních směsí. V další části pak popisuje přístroj VA 250l a postup měření vlivu přídatku různého množství metanu na maximální výbuchový tlak a maximální rychlost nárůstu výbuchového tlaku vybraných prachů.

## **Anotation**

JÁNSKÁ, Miloslava. *Examination of the Influence of Methane Admixture on Maximum Explosion Parameters of Selected Industrial Dusts*. Ostrava, 2011. Thesis (Bc.). VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering.

Key words: maximum explosion parameters, hybrid mix, coal dust, flour, methane, VA 250l.

This thesis focus on the admixtures of methane blast at a maximum of two selected parameters of the dust, flour and brown coal. Thesis in the theoretical part with notion of an explosion, explosion theory influencing parameters and creation of hybrid mixtures. The next section describes the instrument VA 250 liters and the method of measuring the impact of different amounts of methane added to the maximum explosion pressure and maximum rate of pressure rise of selected powders.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracovala samostatně.

V Ostravě 13. dubna 2011

Miloslava Jánská

.....

## Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jaroslavu Damcovi, CSc. za odborné vedení mé práce. Dále panu Ing. Alešovi Bebčákovi za cenné rady a připomínky. V neposlední řadě tímto děkuji pracovníkům VVUÚ, a.s. v Ostravě – Radvancích za umožnění provedení laboratorních měření.

<b>1. Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Úvod do problematiky.....</b>	<b>2</b>
2.1. Pojmy potřebné k řešení problematiky .....	2
2.2. Výbuch. ....	4
2.2.1. Výbuchová křivka.....	5
2.2.2. Výbuchová charakteristika .....	6
2.2.3. Meze výbušnosti.....	7
2.2.4. Ovlivnění průběhu výbuchu.....	8
<b>3. Měřící zařízení VA 250I .....</b>	<b>16</b>
3.1. Popis přístroje .....	16
<b>4. Postup měření.....</b>	<b>24</b>
4.1. Princip metody .....	24
4.2. Výběr vzorků .....	24
4.3. Vlastní měření .....	28
4.3.1. Postup .....	28
4.3.2. Zpracování výsledků .....	29
4.3.3. Tabulky a grafy výsledků měření .....	30
4.3.4. Nejistota měření.....	33
<b>5. Závěr.....</b>	<b>34</b>
<b>6. Literatura .....</b>	<b>35</b>
<b>7. Přílohy.....</b>	<b>36</b>
7.1. Seznam obrázků .....	36
7.2. Seznam tabulek.....	37

## Rešerše literatury

**DAMEC, Jaroslav. *Protivýbuchová prevence*. 1. vydání. Ostrava : SPBI, 2005. 188 s. ISBN 80-86111-21-0.**

Tato kniha je určena především pro výuku předmětu protivýbuchové prevence a bezpečnost průmyslu pro obor požární technika požární bezpečnosti a bezpečnosti průmyslu. Publikace se zabývá základními poznatky o výbuchu, vlivy, které výbuch ovlivňují, dále se zabývá charakteristikami výbušných směsí, vlivy na ně působící a možnosti vzniku nebezpečných koncentrací výbušných směsí. V další části kniha předkládá možnosti prevence technologických zařízení.

**DAMEC, Jaroslav; CHOLEVA, Ladislav. *Laboratorní praktikum protivýbuchové prevence technologických procesů*. Praha : IX. správa FMV, 1980. 73 s.**

Tato publikace slouží studentům Vysoké školy báňské – Technické univerzity v Ostravě studujícím na Fakultě bezpečnostního inženýrství k pochopení problematiky laboratorních cvičení. Kniha je sbírkou pracovních návodů k jednotlivým laboratorním cvičením. Součástí těchto je také návod k úkolu: Měření maximálních výbuchových parametrů, kde je popsán postup měření, zařízení na kterém se měření provádí a popis vhodného zpracování výsledků.

**KONDERLA, Ivo. *Stanovení vlivu příměsi malého množství hořlavého plynu na výbuchové parametry uhelných prachů*. Ostrava, 2010. 63 s. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.**

Tato diplomová práce se zabývá stanovováním vlivu příměsi metanu na výbuchové parametry černého uhlí. V práci jsou popsány základní principy problematiky protivýbuchové ochrany. Dále se práce zabývá problematikou a tvorbou hybridních směsí. V praktické části pak jsou zveřejněny výsledky měření na autoklávu VA201.

**ADAMEC, Jan. *Optimalizace procesu rozvířování průmyslových prachů VA 250 Student*. Ostrava, 2010. 69 s. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.**

Tato diplomová práce přesněji popisuje výbuchový autokláv VA 250l. Publikace je odezvou na nově sestavený výbuchový autokláv VA250l, kdy bylo potřeba přesně stanovit optimální proces rozvířování prachů ve výbuchové komoře.

# 1. Úvod

Výbuchy prachů představují veliké nebezpečí pro osoby, zařízení, stavební konstrukce a provoz. Dnes jsou již hořlavé a výbušné vlastnosti většiny prachů známé, přesto nejsme vždy schopni zajistit dostatečnou ochranu.

Moje práce se zabývá případem kdy se do směsi prachu a vzduchu v určitém procentuálním podílu přimíchá výbušný plyn. Pro svou práci jsem zvolila dva obvykle se vyskytující prachy. A to mouku a hnědé uhlí. Jako výbušný plyn jsem používala metan. Myslím, že zdůrazňovat nebezpečí výskytu hybridní směsi uhelný prach – vzduch - metan není třeba. Mouka je další velmi obvyklý prach, nebezpečí jeho výbuchu pak má jistě velký dopad například na zemědělské objekty jako jsou sila.

Zaznamenané a naměřené hodnoty výbušnosti prachů jsou pro společnost a především pro technologie důležité z pohledu zajištění zařízení protivýbuchovými ochranami. Z tohoto pohledu se sledují maximální výbuchové parametry. Ty nám kvalitativně i kvantitativně charakterizují výbušné vlastnosti dané disperzní směsí. Díky nim jsme schopni zjistit, jak musí být zařízení a jeho jistící části dimenzovány. Jak musí být zařízení pevné a jak rychle musí jistící zařízení odvádět zplodiny a snižovat tlak v zařízení, tak aby se snížilo nebezpečí vzniku výbuchu na minimum.

V mé práci se budu v teoretické části zabývat výbuchem a podmínkami, které ovlivňují jeho průběh. Dále součástí této práce bude popis zařízení VA250I. Přiblížím důvody výběru vhodných vzorků a postupu měření. Následovat bude prezentace naměřených hodnot, které budu provádět na zařízení VA 250 I.



## 2. Úvod do problematiky

### 2.1. Pojmy potřebné k řešení problematiky

#### **Výbuch**

- Náhlá oxidace nebo rozkladná reakce vyznačující se vzrůstem teploty, tlaku nebo vzrůstem obou těchto veličin současně.

#### **Prach**

- Částice tuhé látky, menší než 0,5 mm, schopné vytvořit disperzní soustavu (pro vláknité materiály znamená rozměr 0,5 mm maximální průměr částice).

#### **Hořlavá látka**

- Látka ve formě plynu, kapaliny, pevné látky nebo jejich směsi, která, pokud dojde k iniciaci, může vyvolat exotermickou reakci s oxidačním prostředkem (nejčastěji se vzduchem).

#### **Oxidační prostředek**

- Je látka, která při chemické reakci odevzdává kyslík a umožňuje tak reakci.

#### **Hybridní směs**

- Směs vzduchu a hořlavých látek rozdílných fyzikálních stavů. (např. směs metanu, uhelného prachu a vzduchu, nebo směs benzinových par a benzinových kapiček se vzduchem)

#### **Iniciace**

- Počáteční energetický podnět dodaný výbušné směsi.

#### **Maximální výbuchové parametry**

- Maximální výbuchový tlak  $p_{\max}$ , maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku  $(dp/dt)_{\max}$  a kubická konstanta  $K_g$  resp.  $K_s$  jsou měřítkem energie resp. výkonu dané výbušné směsi.

### **Maximální výbuchový tlak $p_{\max}$**

– Maximální tlak vznikající v uzavřené nádobě při výbuchu výbušné atmosféry za stanovených podmínek zkoušky (při optimální koncentraci směsi).

### **Maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku $(dp/dt)_{\max}$**

– Maximální hodnota nárůstu tlaku za jednotku času při výbuchu všech výbušných atmosfér v rozsahu výbušnosti hořlavé látky v uzavřené nádobě za stanovených podmínek.

### **Disperzní soustava**

- Rozvířený prach v plynném médiu, obvykle se vzduchem.

### **Rozsah výbušnosti:**

- Rozsah koncentrace hořlavé látky a oxidačního prostředí (nejčastěji vzdušný kyslík), při kterém může nastat výbuch.

### **Meze výbušnosti**

- Meze rozsahu výbušnosti.

### **Dolní mez výbušnosti LEL**

- Dolní mez rozsahu výbušnosti.

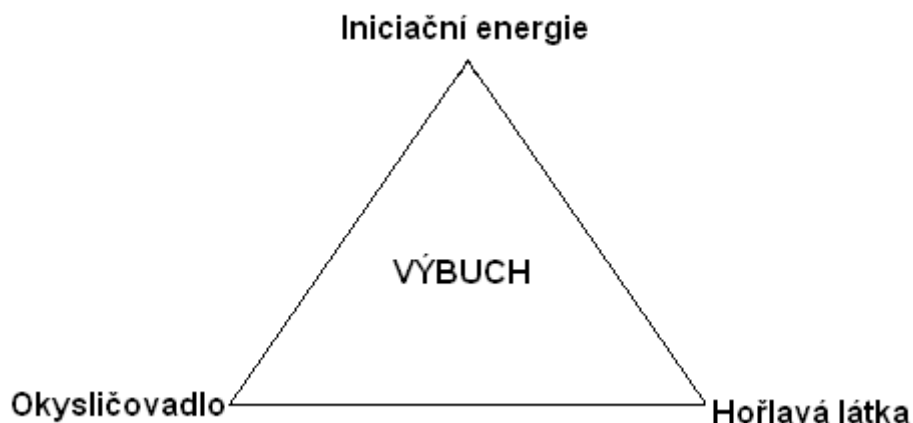
### **Horní mez výbušnosti UEL**

- Horní mez rozsahu výbušnosti.

## 2.2. Výbuch.

Obecně bychom slovo výbuch (nebo také exploze) mohli popsat jako jev, při kterém dochází k náhlému velmi prudkému uvolnění energie a prudkému zvýšení tlaku a teploty. Takové navýšení tlaku ve velmi krátkém čase může zapříčinit vzniku rázové vlny, která se pak šíří do okolí. Výbuch je v požární praxi považovaný za nežádoucí jev, při němž často dochází k velikým ztrátám. Následkem exploze mohou být poničeny stavební konstrukce, výrobní zařízení, stroje. Tedy vše co je v jeho dosahu. Lidské životy v tomto bohužel nejsou výjimkou. Výbuch tedy může zapříčinit ztráty finanční, materiálové, provozní a v neposlední řadě ztráty na životech a zdraví.

Výbuch je chemická, fyzikální nebo fyzikálně- chemická reakce. Jedná se o děj, který byl již popsán a do jisté míry pochopen vědeckou obcí. A jako pro každou vznikající reakci musí i pro výbuch být splněny určité podmínky vzniku. Ty jsou v případě chemického výbuchu podobné podmínkám vzniku procesu hoření. Tedy přítomnost hořlavé látky, oksličovadla a iniciačního zdroje. Hořlavou látkou může být plyn, pára, mlha hořlavé kapaliny, rozvířený prach nebo hybridní směs. Další podmínkou, kterou výbuch ke svému vzniku potřebuje je prostor ve kterém k němu může dojít. [6]



Obr. 2.1 – Základní podmínky vzniku výbuchu [4]

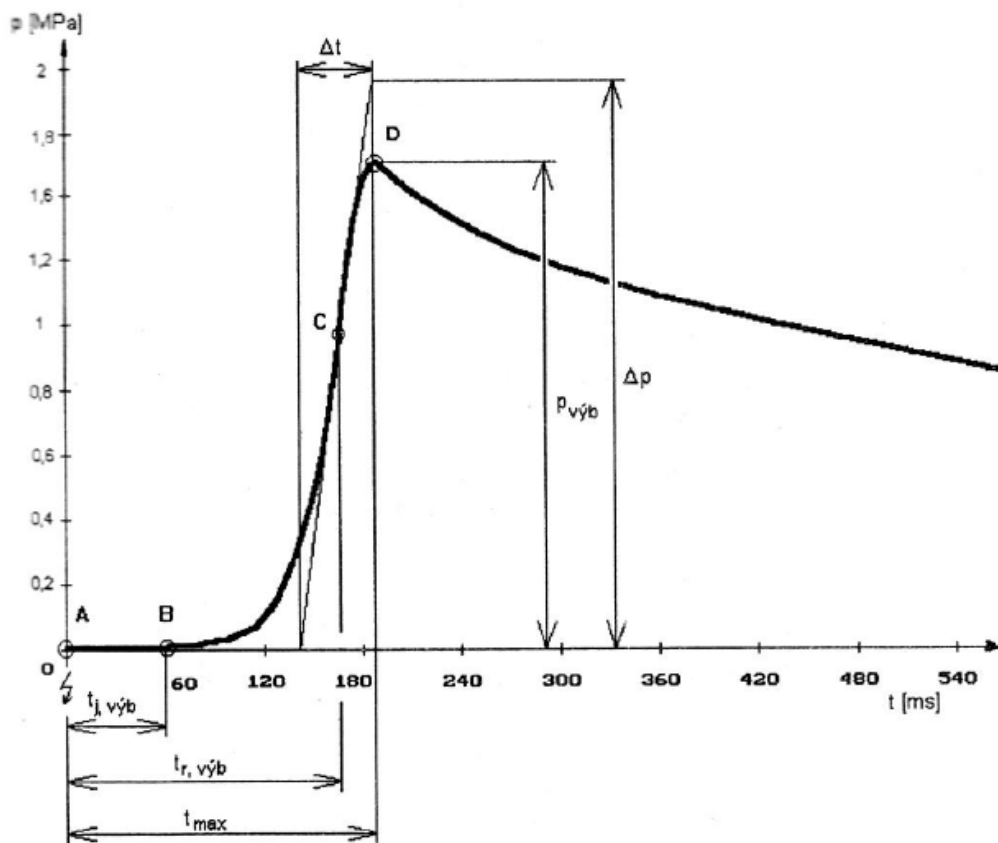
Výbuch se dále podle rychlosti šíření dělí na detonaci a deflagraci.

Detonace je děj při kterém se objevuje rázová vlna na jejímž čele dosahují hodnoty tlaku až několika GPa. Detonace se šíří nadzvukovou rychlostí.

Deflagrace se týká asi 90% výbuchů prachů. Šíří se podzvukovou rychlostí. Tento děj nedosahuje tak vysokých tlakových rázů jako detonace. [4]

### 2.2.1. Výbuchová křivka

Graf výbuchové křivky podle [1] ukazuje průběh narůstání tlaku při výbuchu v závislosti na čase. Po iniciaci výbušné směsi se dochází k exotermické reakci hoření a tedy je vyvíjeno větší množství tepla než je odváděno. V uzavřeném prostoru se nárůst teploty projeví zvýšením tlaku.



Obr. 2.2 – výbuchová křivka [1]

Bod A znamená iniciaci soustavy. Mezi body A a B dochází k přípravě výbušné směsi. Tato doba  $t_{j, \text{výb}}$  uplyne předtím, než se projeví narůstání tlaku. V bodě B pak začne tlak narůstat. Začíná se zvyšovat teplota s ní i reakční rychlost. Rychlost narůstání výbuchového tlaku se zvyšuje až do bodu C, kdy dosahuje svých maximálních hodnot. Mezi body C a D se

v důsledku ubývání reakčních složek rychlost narůstání výbuchového tlaku zmenšuje. V bodě D je nulová. Od bodu D pak klesá tlak a snižuje se teplota spalin a kondenzace par.

Podle tohoto je jasné, že nejdůležitějšími body na křivce jsou body C a D. Tlak v bodě D se nazývá výbuchový tlak a značíme ho  $p_{výb}$ . Bod D je bod maxima křivky.

V bodě C je narůstání výbuchového tlaku nejvyšší. Bod C je inflexním bodem křivky.

Velikost nárůstu výbuchového tlaku vyjadřuje směrnice tečny v inflexním bodě C:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \left( \frac{dp}{dt} \right)_{výb} \cong \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (1)$$

Výraz  $(dp/dt)_{výb}$  vyjadřuje rychlost narůstání výbuchového tlaku při výbuchu směsi o koncentraci  $c_x$  v uzavřeném objemu velikosti  $V$ .

### 2.2.2. Výbuchová charakteristika

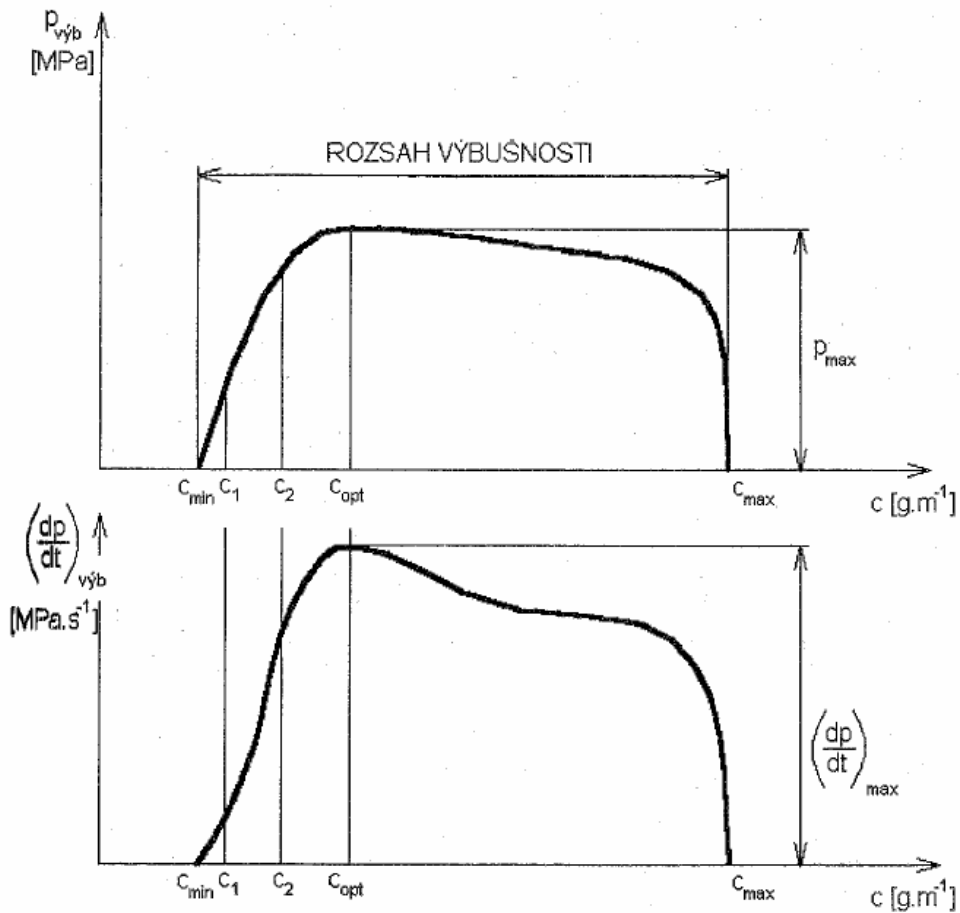
Výbuchová křivka nám tedy popisuje závislost tlaku na čase při výbuchu v uzavřeném objemu. Ovšem tvar výbuchové křivky a tím i hodnoty  $P_{výb}$  a  $(dp/dt)_{výb}$  se výrazně mění s koncentrací výbušné směsi. Nejvyšších hodnot výbuchového tlaku a rychlosti narůstání výbuchového tlaku je dosaženo při optimální koncentraci  $c_{opt}$ . Tyto hodnoty pak nazýváme maximální výbuchový tlak  $P_{max}$  a maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku  $(dp/dt)_{max}$ .

Výbuchový tlak i rychlost narůstání výbuchového tlaku se zvyšováním nebo snižováním koncentrace od  $c_{opt}$  snižují až k mezím výbušnosti LEL a UEL. [1]

Optimální koncentrace u prachů je:

$$c_{opt} = (2 \text{ až } 3) \cdot C_{stech} \quad (2)$$

Na obrázku je znázorněna výbuchová charakteristika směsi hořlavého prachu se vzduchem. Bod  $C_{min}$  vyjadřuje LEL a bod  $C_{max}$  UEL.



Obr. 2.3 – výbušová charakteristika směsi hořlavého prachu se vzduchem [1]

### 2.2.3. Meze výbušnosti

Meze výbušnosti určují rozsah výbušnosti. Mimo tyto meze není možné šíření výbuchu ve směsi. Meze výbušnosti nám tedy jsou schopné napovědět, zda látka či směs je schopna výbuchu. Rozlišujeme horní a dolní mez výbušnosti. [1]

#### ***Dolní koncentrační hranice výbušnosti LEL:***

Uvádí, nejnižší koncentraci hořlavé látky ve směsi s oxidačním prostředkem, která je ještě výbušná. Je vyjádřena v obj. % nebo v  $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Homogenní směsi, s koncentrací pod LEL jsou nevýbušné a nehořlavé.

### ***Horní koncentrační hranice výbušnosti UEL :***

Uvádí nejvyšší koncentraci hořlaviny ve směsi s oxidačním prostředkem, kdy je ještě možné iniciovat výbuch. Směsi s koncentrací nad UEL označujeme jako přesycené směsi, které nelze bez dalšího přívodu vzduchu, jenž by směs zředil, iniciovat.

Tedy, Pokud ve směsi hořlaviny a oksylichovadla je koncentrace hořlaviny pod hranicí LEL je k výbuchu dost oksylichovadla, ale schází dostatečné množství paliva. Je –li koncentrace hořlaviny nad hranicí UEL je k výbuchu dost paliva, ale schází dostatečné množství oksylichovadla.

Podle mezí výbušnosti jsme schopni určit, zda se prostředí ve kterém se nachází zkoumané látky dá považovat za prostředí s nebezpečím výbuchu. Podle tohoto určení můžeme reagovat na možné nebezpečí preventivními zařízeními protivýbuchové ochrany.

Meze výbušnosti ovlivňuje mnoho vlivů. Jsou to: Velikost iniciační energie  $E_i$ , počáteční tlak v okamžiku iniciace  $p_{poč}$ , počáteční teplota, vlhkost, obsah kyslíku, vytváření hybridní směsi a další. Meze výbušnosti obvykle stanovujeme při pokojové teplotě, atmosférickém tlaku a standardní iniciační energií, která je u plynů a par  $E_i = 10 \text{ J}$  a u prachů  $E_i = 10 \text{ kJ}$ .

#### **2.2.4. Ovlivnění průběhu výbuchu**

Průběh výbuchu a maximální výbuchové parametry jsou ovlivňovány řadou věcí. Kromě počátečních hodnot jako je teplota, tlak, iniciační energie atd. má na průběh výbuchu a maximální výbuchové parametry vliv také například vlastnosti materiálu jako je velikost částic, vlhkost apod. Také je zřejmé, že průběh výbuchu bude jiný ve volném prostoru a jiný v budově. Proto závisí i na prostoru ve kterém k výbuchu dochází. Důležité tedy také jsou faktory jako velikost a tvar nádoby, spojené nádoby, přítomnost potrubí. Dále průběh výbuchu ovlivňuje také turbulence směsi nebo obsah kyslíku v oxidační atmosféře. [1]

#### **Velikost a tvar nádoby**

Nádoby můžeme dělit na kubické, podlouhlé a na potrubí. Podle [1] potrubím označujeme takové nádoby, kdy jejich délka mnohonásobně přesahuje průměr. Kubická nádoba je definována tak, že její délka  $l$  je menší, nebo rovna dvěma průměrům. Tedy:

$$\frac{d}{l} \leq 2d \quad (3)$$

U kubických nádob s rostoucím objemem nádoby se Maximální výbuchový tvar nemění. Mění se však rychlost narůstání výbuchového tlaku. Ta s rostoucím objemem nádoby klesá. Tuto závislost popisuje u kubických nádob kubický zákon [1]:

$$\left( \frac{dp}{dt} \right)_{\max} \cdot V^{\frac{1}{3}} = konst = K \quad (4)$$

$(dp/dt)_{\max}$  - maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku v MPa.s<sup>-1</sup> nebo v bar.s<sup>-1</sup>.

V – objem nádoby v m<sup>3</sup>

K – kubická konstanta pro plyny resp. Pro prachy v MPa.m.s<sup>-1</sup> nebo v bar.s<sup>-1</sup>.

Kubická konstanta může být považována za technicko bezpečnostní parametr. Musí však být splněny určité podmínky. A to:

- optimální koncentrace výbušné směsi,
- stejný tvar nádoby,
- stejný stupeň turbulence směsi,
- stejný druh a stejná energie iniciačního zdroje.
- Pro směsi plynů a par hořlavých kapalin se kubická konstanta označuje K<sub>G</sub> a má rozměr MPa.m.s<sup>-1</sup>. Kubická konstanta prachovzduchových směsí se pak označuje K<sub>st</sub>. Podle ní pak prachy zařazujeme do tří tříd – viz tabulka



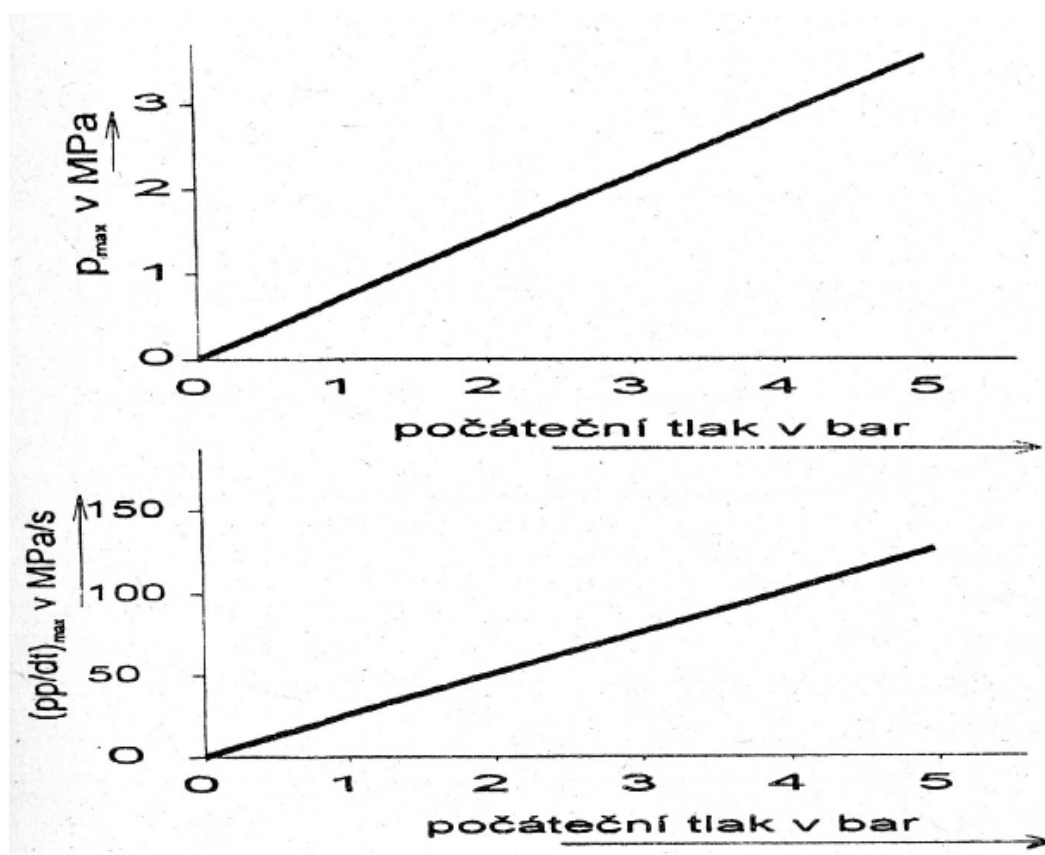
Tab. 2.1 – rozdělení prachů do tříd dle kubické konstanty [4]

Třída	$K_{st}$ [MPa.m.s <sup>-1</sup> ]
St 1	0-20
St 2	20-30
St 3	> 30

Kubický zákon je však aplikovatelný pouze v případě kubických nádob. U nádob podlouhlých a u potrubí tento zákon neplatí. S jejich rostoucí délkou se maximální výbuchové parametry zvyšují. [1]

### Počáteční tlak v okamžiku iniciace

Maximální výbuchové parametry se s rostoucím počátečním tlakem rovnoměrně zvyšují. Snížení tlaku naopak tyto parametry snižuje. Proto jak bylo řečeno dříve může být snížení tlaku považováno za preventivní opatření. [1]



Obr. 2.4 znázornění vlivu počátečního tlaku na výbuchové parametry metanu se vzduchem [1]

## **Počáteční teplota**

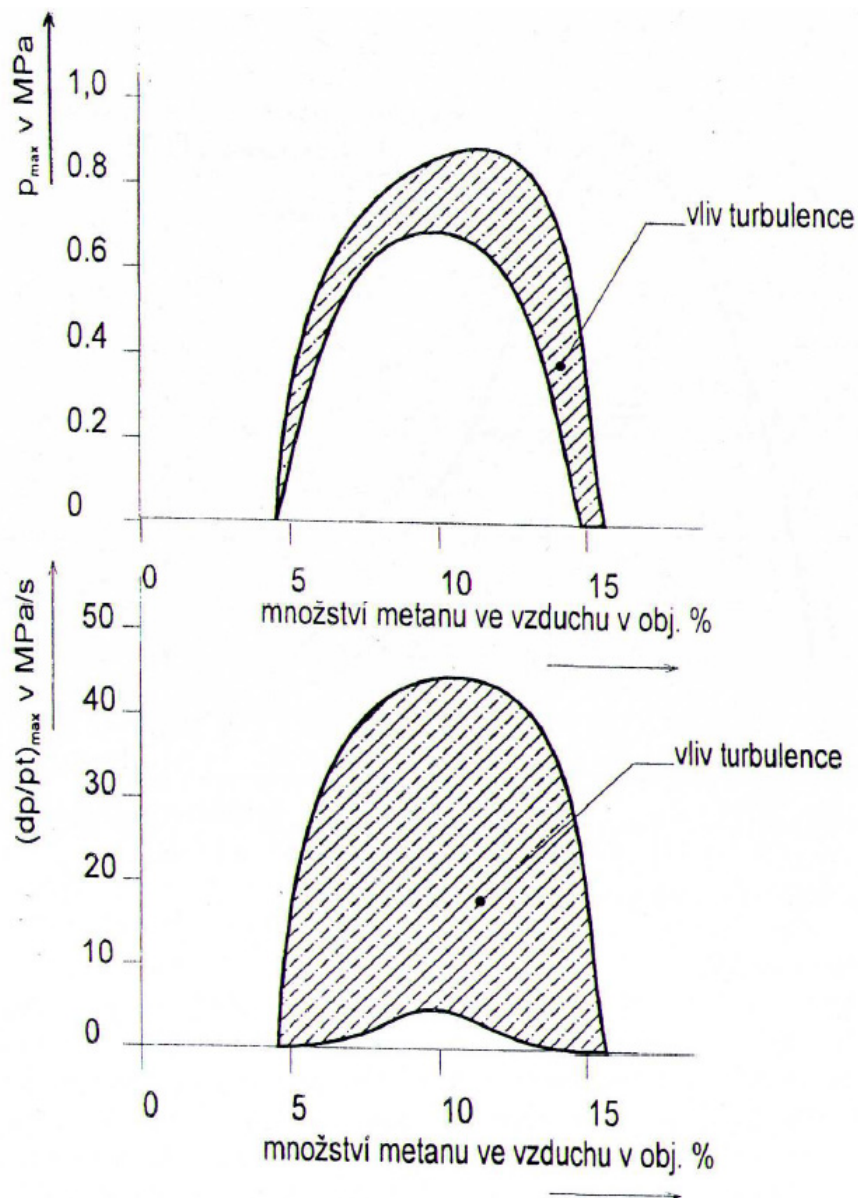
Počáteční teplota má vliv na maximální výbuchové parametry. Její zvýšení na začátku iniciace způsobí zvýšení maximální rychlosti narůstání výbuchového tlaku. (reakční rychlost s teplotou roste.) [1]

## **Iniciační energie**

Iniciační energie má na průběh výbuchu důležitý vliv. S nedostatečnou iniciační energií totiž k výbuchu vůbec nemusí dojít. Nízkou iniciační energií se některé směsi nedají iniciovat. V laboratorních podmínkách při zkoušení vlastností směsí se jako standardní energie používá pro plyn a páry energie 10 J, pro prachy pak 10 KJ. Některé látky však nelze iniciovat ani touto energií a proto je nutné tuto energii zvýšit. V případě, kdy při zkoušení standardní iniciační energie neinicuje směs, je potřeba iniciační energii zkušebně zvýšit. Pokud bychom ji totiž nezvýšili a prohlásili směs za nevýbušnou, mohli bychom se dopustit velkého omylu. Například páry neratenu C16 jsou při iniciační energii 10 J i 100 J nevýbušné. Avšak při iniciační energii 500 J tyto páry vybuchují. [1]

## **Turbulence směsi**

S rostoucí turbulencí směsi v okamžiku iniciace se zvyšují maximální výbuchové parametry, zejména maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku. Nárůst parametrů je větší u plynů a par s nízkou hodnotou kubické konstanty v klidovém stavu. [1]



Obr. 2.5 – Znárodnění vlivu turbulence na výbuchovou charakteristiku metanu [1]

## Spojené nádoby

V případě, kdy jsou nádoby spojené potrubím se může výbuch přenést potrubím z jedné nádoby do druhé. [1]

## Vliv kyslíku v oxidační atmosféře

Zvýšený obsah kyslíku způsobí zvýšení maximálních výbuchových parametrů. Jak bylo již dříve řečeno kyslík neovlivňuje spodní hranici výbušnosti. Má však vliv na teplotu plamene a proto ovlivňuje maximální výbuchové parametry. V případě sníženého množství

obsahu kyslíku je však vliv opačný. Maximální výbuchové parametry se snižují a to až k tzv. limitnímu obsahu kyslíku. Pokud budeme obsah kyslíku snižovat pod tuto limitní mez, k výbuchu nemůže dojít. Limitní mez je závislá na druhu hořlaviny a také na druhu inertního plynu, kterým kyslík nahradíme. V případě prachů se rozlišuje limitní mez pro výbuch a pro hoření. Abychom dosáhli nehořlavosti prachu je potřeba koncentraci kyslíku snížit více než k tomu, abychom dosáhli nevýbušnosti prachu. [1]

### **Vliv velikosti částic u prachu**

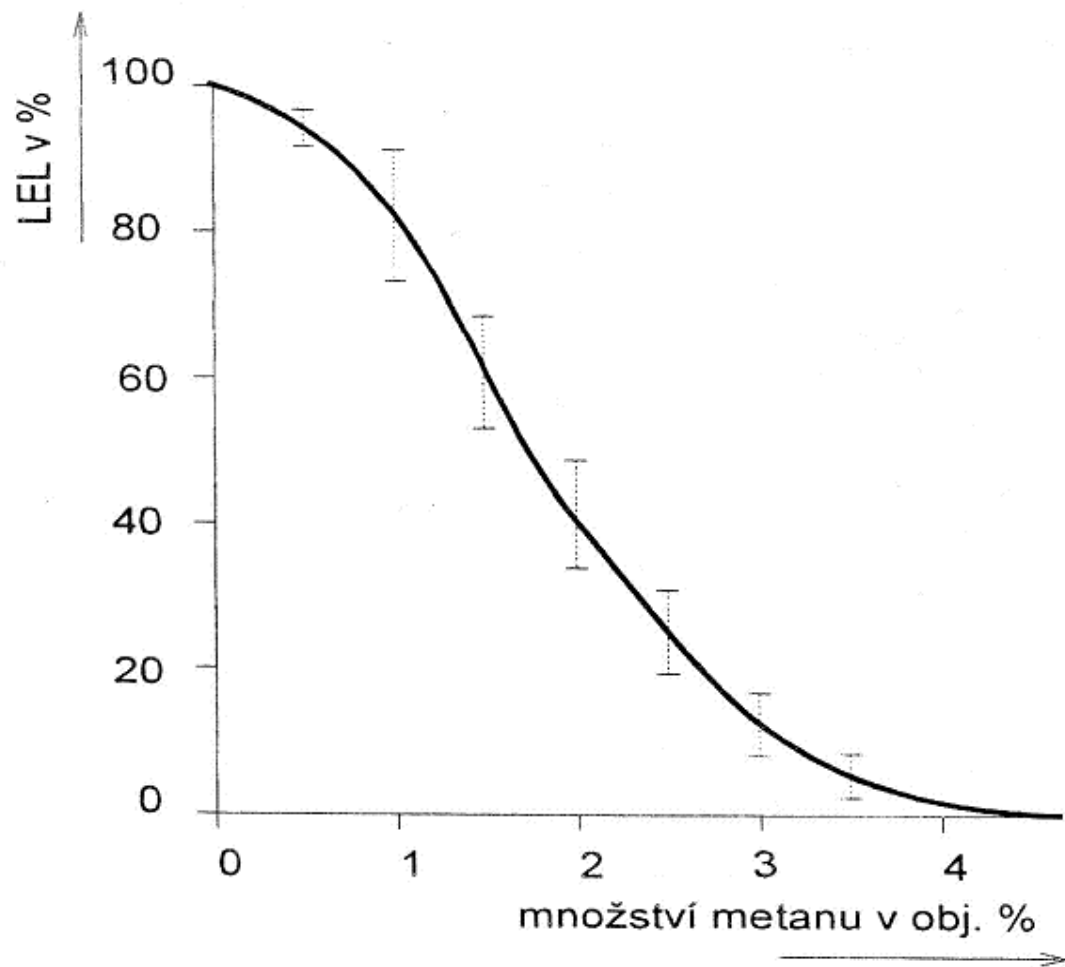
Maximální výbuchové parametry lze ovlivnit také velikostí částic. Čím menší bude velikost měrného povrchu – tedy čím větší budou částice, tím budou maximální výbuchové parametry nižší. Většinu prachů s velikostí částic větší než 0,4 mm již nelze standardním postupem iniciovat. Je však třeba si uvědomit, že při manipulaci s prachem dochází mezi částicemi k otěru a tím se z větších částic stávají částice menší. Pak stačí, aby se mezi většími částicemi vytvořilo 5 až 10 hmot% jemných podílů prachu a směs je opět výbušná. [1]

### **Vytváření hybridních směsí**

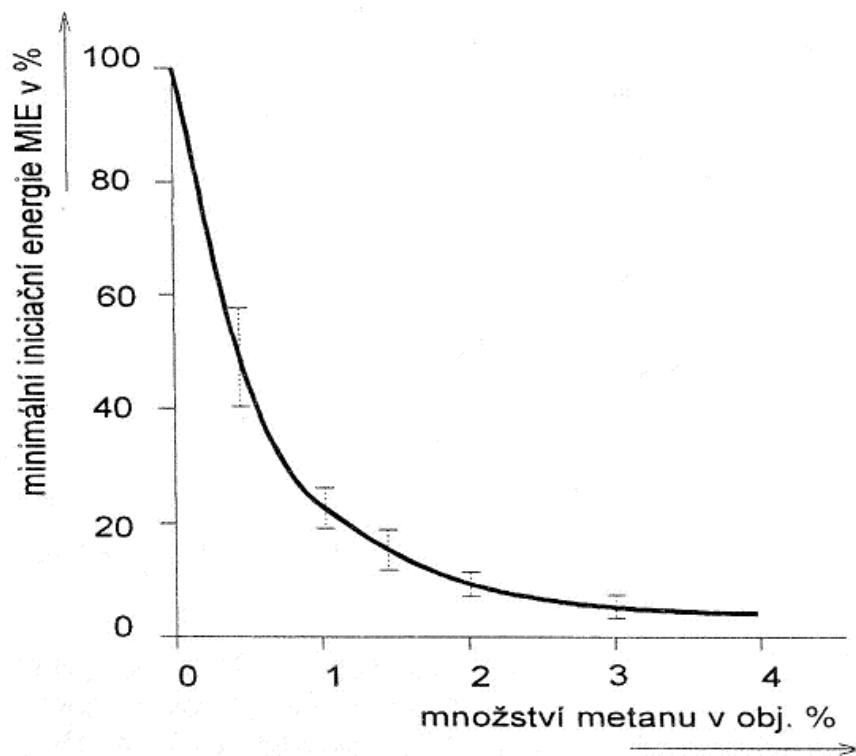
Jak bylo dříve řečeno, i při malém množství hořlavého plynu nebo páry hořlavé kapaliny dochází k významným změnám mezi výbušnosti. Toto ovlivňuje také výbuchové parametry. Maximální výbuchové parametry se zvyšují. Minimální iniciační energie se snižuje a optimální koncentrace také.

Hybridní směsi jsou tedy považované za velmi nebezpečné, protože k jejich iniciaci může dojít už při velmi malém množství hořlavého prachu a při podstatně nižších iniciačních energiích než původní prachovzduchové směsi. [6]

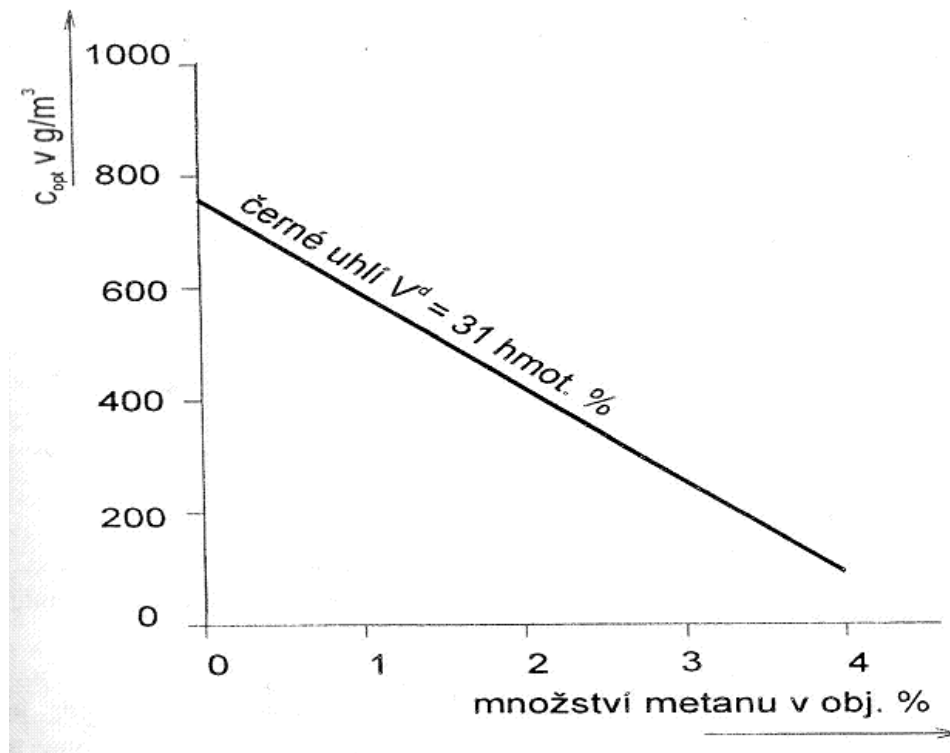
Jak množství hořlavého plynu v prachovzduchové směsi ovlivňuje dolní mez výbušnosti je uvedeno na obr. 2.4. Vliv příměsi hořlavého plynu na pokles minimální iniciační energie je uvedeno na obrázku 2.5 Vliv příměsi hořlavého plynu na hodnotu optimální koncentrace je uveden na obr. 2.6 [1]



Obr. 2.6 – vliv příměsí hořlavého plynu k prochovzduchové směsi na spodní mez výbušnosti [1]



Obr. 2.7 – Vliv příměsí hořlavého plynu na pokles minimální iniciační energie [1]

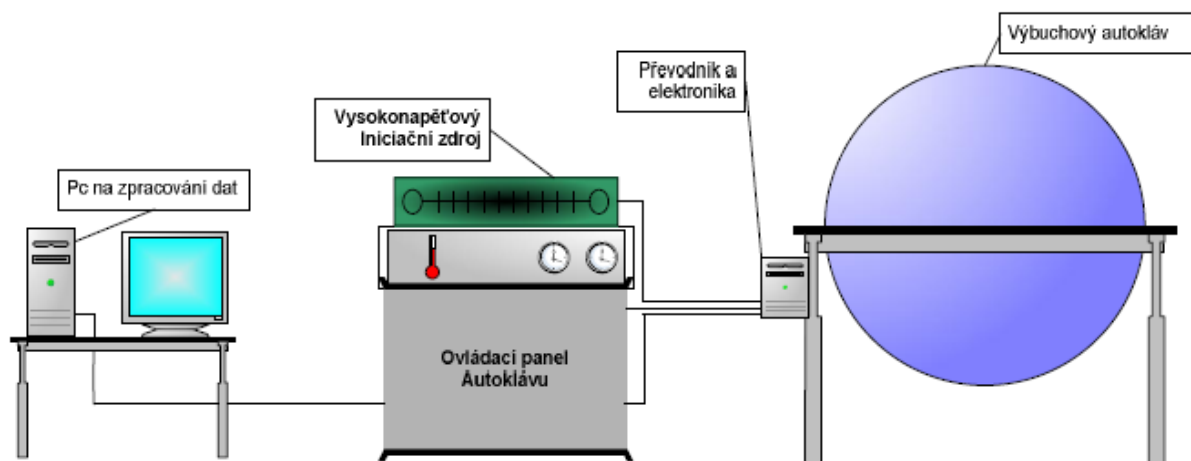


Obr. 2.8 - Vliv příměsí hořlavého plynu na hodnotu optimální koncentrace [1]

### 3. Měřicí zařízení VA 250l

#### 3.1. Popis přístroje

Fakulta bezpečnostního inženýrství vlastní výbuchový autokláv VA 250, který je umístěn v prostorách VVUÚ, a.s. v Ostravě Radvancích. Na tomto zařízení bylo provedeno veškeré mé měření. Výbuchový autokláv slouží ke stanovování maximálních výbuchových parametrů hořlavých plynů, par hořlavých kapalin, hořlavých prachů a jejich kombinací. Systém zařízení sestává z výbuchové komory, ovládacích zařízení a dalších elektrických zařízení, které dohromady zajišťují bezpečné naměření hodnot. Schéma zařízení je znázorněno na obrázku



Obr. 3.1 – schéma zařízení VA 250l [5]

#### **Počítač na zpracování dat:**

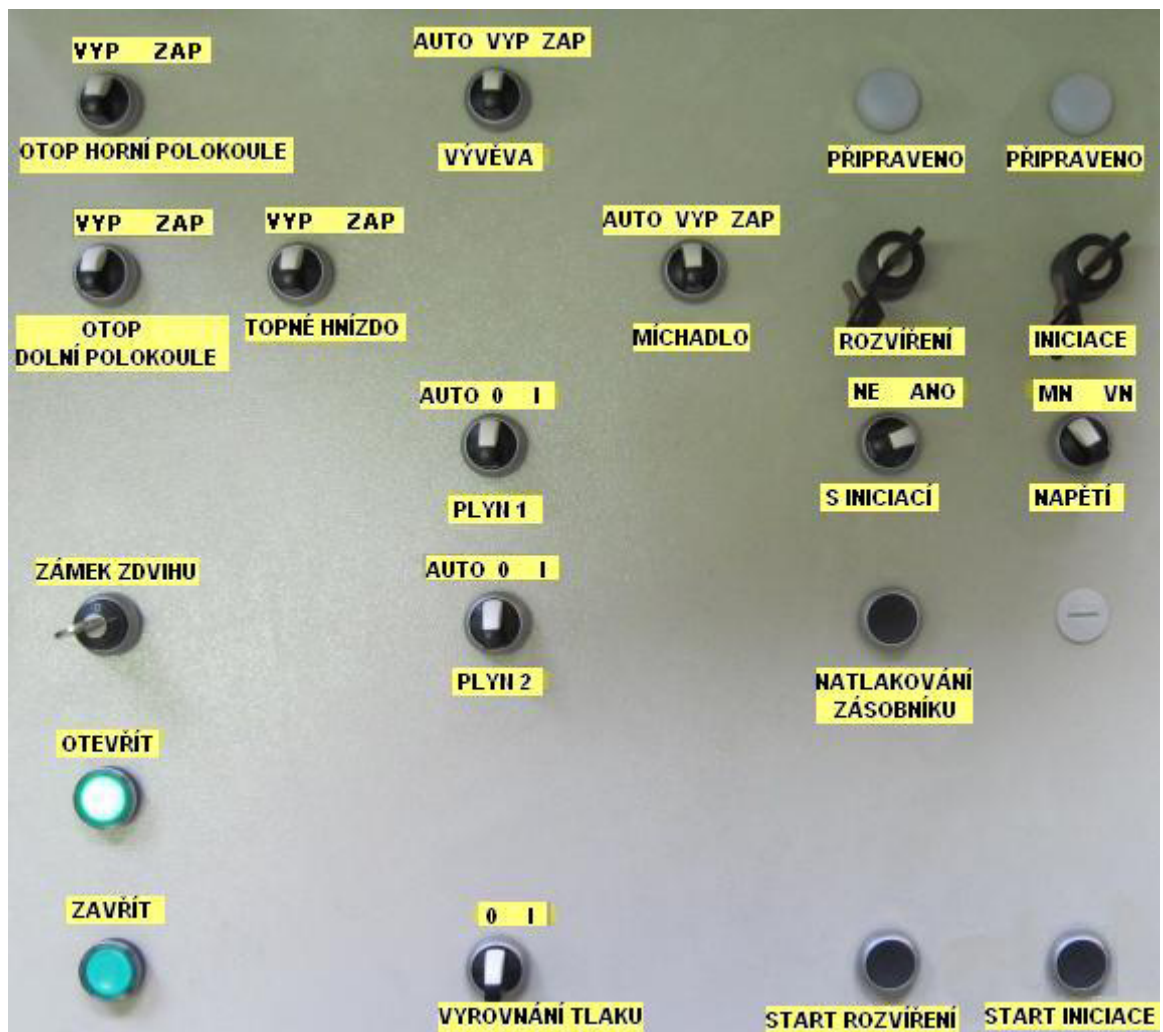
Počítač vybavený vhodným programem, který zajišťuje ukládání a zapisování hodnot.

#### **Převodník a elektronika:**

Tyto zajišťují převádění naměřených hodnot ze snímačů a čidel na digitální signál, se kterým pracuje počítač.

### ***Ovládací panel autoklávu:***

Ovládá výbuchový autokláv a jeho součásti. Pomocí tohoto panelu se otevírá a uzavírá autokláv, nastavují se další podmínky jako je přidání plynu, rozvířování apod. Na tomto panelu se také dává příkaz k iniciaci. Součástí ovládacího panelu je také čelní kontrolní panel na kterém jsou umístěny informativní měřící přístroje.



Obr. 3.2 – Ovládací panel zařízení VA 250I [5]





Obr. 3.3 – čelní kontrolní panel [5]

Na čelním kontrolním panelu je možné pozorovat změny probíhající ve výbuchové komoře. Jsou zde 4 digitální teploměry, zařízení pro měření tlaku, otáčkoměr a zařízení pro řízení doby měření a zpoždění iniciace.

#### ***Výbuchový autokláv:***

Výbuchový autokláv je ocelová nádoba kulového tvaru o objemu 250 l. Zařízení je tvořeno dvěma symetrickými polokoulemi. Dolní polokoule autoklávu je stabilní a je usazena ve speciálním rámu. Horní polokoule je vertikálně pohyblivá. Je napojena na pohyblivý rám, který zajišťuje její pohyb. Těsnost mezi polokoulemi ve stavu uzavření autoklávu je zajištěna těsněním umístěným v drážce horní polokoule. Čepy rozmístěné na spodní polokouli, které zapadají do děr v horní polokouli zajišťují správné sesazení obou polokoulí. [5]

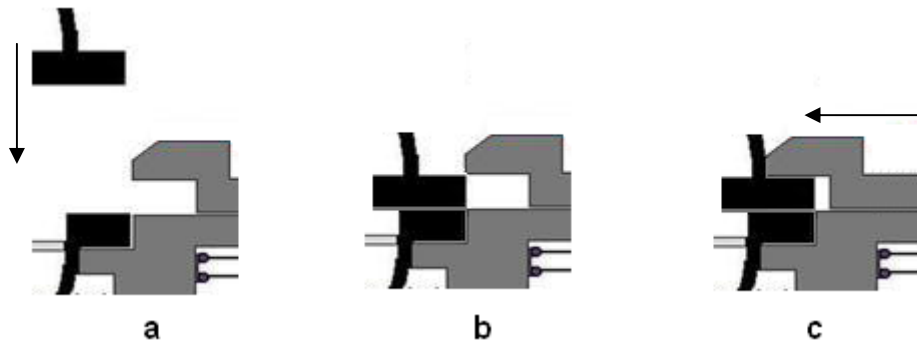


Obr. 3.4 Výbuchový autokláv 250 l

Klasické autoklávy jsou k uzavírání polokoulí vybaveny šrouby, které musejí být před zkouškou vždy pevně utáhnuty obsluhou. Tímto je zajištěna jejich těsnost. Práce se tím značně protahuje a je namáhavější. Navíc může dojít k nepatrné netěsnosti při špatném utažení šroubů. V případě autoklávu, který vlastní FBI je tento faktor odstraněn. Uzavírání zajišťuje hydraulika. Ta sestává z hydraulického čerpadla, elektrického ovládání hydrauliky, dále z 13 hydraulických pístů a propojovacích hadic.

## Hydraulické uzavírání

Při uzavírání je horní polokoule pomocí pohyblivého rámu, který ovládá samočinný hydraulický válec, usazena na dolní polokouli. Polokoule jsou tedy v uzavřeném stavu. Po té začne pracovat 12 hydraulických pístů, ty pohybují samosvornými kameny. Tyto čelisti tak těsně uzavírají autokláv. Na obrázku 3.2 je znázorněn tento proces.



Obr. 3.5 – Proces uzavírání a jištění autoklávu

Obr. a – autokláv v otevřeném stavu. Horní polokoule klesá. Obr. b -Horní polokoule dosedla na dolní polokouli. Autokláv je uzavřen, ale zatím není jištěn hydraulickými čelistmi. Obr. c – hydraulický píst pomalu vysunuje čelisti. Ty stlačí polokoule k sobě a zajistí tak těsnost. Autokláv je uzavřen a jištěn.

Hydraulické  
čelisti



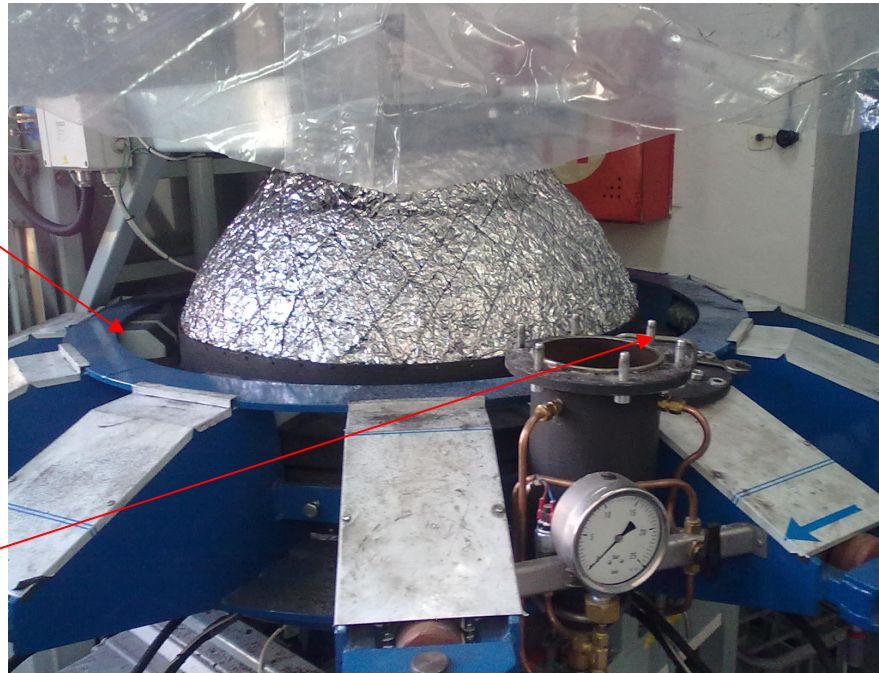
Obr. 3.6 Pohled na hydraulické čelisti zajišťující těsnost autoklávu.



Vysunuté  
hydraulické  
čelisti.

Hydraulické  
čelisti se  
vysunují  
postupně.

Na druhé  
straně  
autoklávu  
zatím čelisti  
vysunutě  
nejsou.

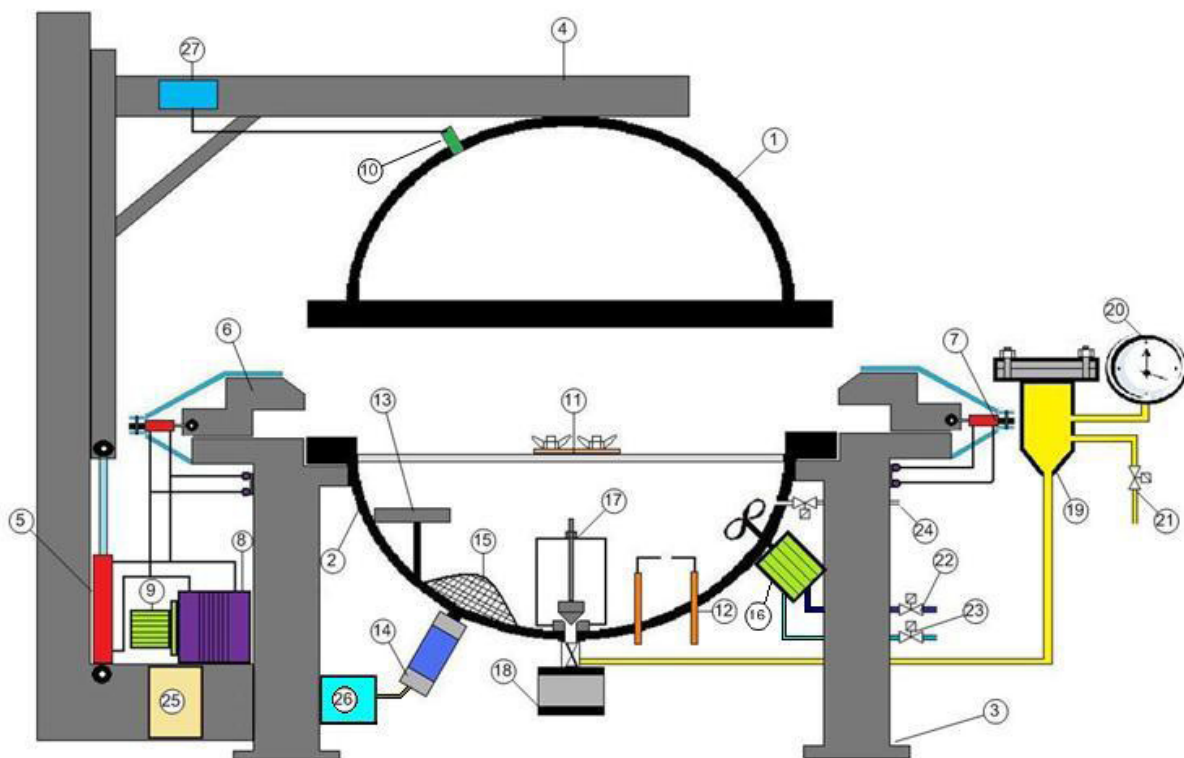


Obr.3.7 – Zavřený autokláv v procesu zajišťování

### ***Výbuchová komora***



Obr. 3.8 - Pohled do spodní polokoule autoklávu [5]



Obr. 3.8 – náčrt výbuchové komory VA 2501 [5]

### Popis zařízení:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Horní polokoule                       | 15. Krycí síto                           |
| 2. Dolní polokoule                       | 16. Míchadlo                             |
| 3. Spodní rámová konstrukce              | 17. Nastavitelný rozvířovací kužel       |
| 4. Pohyblivá rámová konstrukce           | 18. Pneumatický ventil rozvířování       |
| 5. Hydraulický píst na otvírání komory   | 19. Zásobník rozvířovaného vzorku        |
| 6. Uzavírací kameny – 12Ks. (zámky)      | 20. Manometr                             |
| 7. Hydraulický píst pro uzavírací kameny | 21. Elektromagnetický ventil             |
| 8. Hydraulická jednotka                  | 22. Elektromagnetický ventil PLYN 1      |
| 9. Motor hydraulické jednotky            | 23. Elektromagnetický ventil PLYN 2      |
| 10. Tlakové čidlo                        | 24. Elektromagnetický ventil odtlakování |
| 11. Kontakty pro iniciaci palníku        | 25. Elektronika autoklávy                |
| 12. Elektrody vysokého napětí            | 26. Motor vývěvy                         |
| 13. Vydíratelná topná plotýnka           | 27. Převodník elektrického signálu       |
| 14. Pneumatický ventil vývěvy            |  |

## *Rozvířování*

Zásobník rozšiřovacího  
zařízení

Manometr



Obr. 3.9 - Pohled na zásobník rozvířovaného vzorku

U stěny autoklávu je upevněno rozvířovací zařízení. To sestává z válcového zásobníku prachu, z dávkovače a z rozvířovací hlavice kulového tvaru, kterou je přiváděn prach do dolní polokoule. Válcový zásobník je těsně uzavíratelný, opatřen přívodem tlakového rozšiřovacího vzduchu ze zásobníku vzduchu na 10 l. obsahující vzduch o přetlaku 0,3 MPa. [5]



Obr.3.10 – Rozvířovací kužel [5]

## 4. Postup měření

### 4.1. Princip metody

Metoda stanovení maximálních výbuchových parametrů je založená na schopnosti disperzní směsi zkoumaného hořlavého prachu se vzduchem podlehnout prudké výbuchové reakci v uzavřeném konstantním objemu po zapálení iniciačním zdrojem. Měří se výbuchový tlak a rychlost nárůstu výbuchového tlaku (brizance) v závislosti na čase. [2]

### 4.2. Výběr vzorků

Pro svoje měření jsem dle zadání bakalářské práce vybrala dva prachy. Hladkou mouku a hnědé uhlí. K těmto prachům jsem přidávala metan jako zástupce výbušných plynů. K měření jsem používala obyčejnou hladkou mouku, která se dá koupit v každém obchodě. Zajímalo mě totiž jaké budou skutečné výbuchové charakteristiky obvykle používané mouky. Laboratorní měření a zkoumání maximálních výbuchových charakteristik podle daných norem totiž vyžaduje přesnou velikost zrn prachu, který se zkoumá. V normálních podmínkách se ovšem s moukou o velikosti zrn pod 0,6 mm nesetkáme. Chtěla jsem tedy zjistit jaké nebezpečí představuje obyčejná hladká mouka. Prevence by se totiž podle mě měla zajímat především o případy ke kterým může skutečně dojít. V mé práci jsem přidávala metan v rozsahu 7- 11 obj%.

Hnědé uhlí pro mne byl opět zajímavý prach, neboť pocházím z kraje, kde se ve velkém těží. Výbušnost hnědouhelného prachu je obecně známá. Již mnohokrát bylo prováděno měření vlivu příměsí metanu na výbušnost hnědouhelného prachu. Tato měření však byla prováděna především pro příměsí metanu v rozsahu 0 – 6 obj %. V mé práci jsem přidávala metan v rozsahu 7-11 obj %. Především proto, abych zjistila, jaké vlivy bude mít tento rozsah, kdy budou maximální výbuchové parametry nejvyšší a kdy začnou klesat.

Vzhledem k tomu, že moje bakalářská práce je z části prováděna v rámci grandu „**Zjišťování parametrů tlakových vln a odezva jejich účinků na stavební konstrukce**“ jsem byla nucena výběr vzorků tomuto přizpůsobit.

## Mouka

Mouka je v podstatě rozmělněná vnitřní část obilného zrna s menším podílem otrubnatých částic. Ze sacharidů zaujímá hlavní místo škrob (70-80 % hmotnosti) a z bílkovin ty, které po spojení s vodou vytvářejí tzv. lepek. Pšeničná mouka obsahuje 10-12 % bílkovin, žitná 8-10 %. Obsah vody v mouce je asi 14,5 % (nesmí překročit 15%). Kromě uvedených složek obsahuje mouka také malé množství tuku (1-2 %) a vlákniny (1-2%), kterou tvoří celulóza a další polysacharidy.

Mouka je jeden z nejdostupnějších prachů. Bohužel jak jsem se sama ujistila, mnoho lidí vůbec nemá ponětí o tom, že tento prach představuje nebezpečí výbuchu. Ve skutečnosti to ale byla právě mouka, u které bylo zjištěno, že prachy mohou vybuchovat. Již před 200 lety mlynáři zjistili, že rozvířit mouku a pak se do takového oblaku bílého prachu přiblížit se zapálenou dýmkou může přinést nepříjemné následky. Mnoho mlynářů a lidí pracujících s moukou dnes již o výbušnosti mouky vědí. Není tomu tak, ale u ostatních lidí.

Důvodem proč jsem si vybrala mouku, byl můj zájem o to zjistit, jaké budou maximální výbuchové parametry obyčejné, hladké pšeničné mouky, která se dá koupit v obchodě. Vzhledem k zadání mé bakalářské práce jsem musela vytvořit hybridní směs. Proto jsem zvolila jako zástupce hořlavých plynů metan, neboť pro mne byl nejdostupnější.

Mouka byla před měřením podrobena síťovému rozboru. Síťová analýza námi měřené mouky je znázorněna v tabulce.

Tab 4.1 – síťová analýza mouky

<b>síto</b>	<b>nadsítné množství</b>
[mm]	[hm. %]
0.063	8.6
0.075	28
0.106	26.8
0.125	25.3
0.15	7.3
0.212	2.2

Střední velikost zrna tedy je 0,075 mm.

Vlhkost mouky: 45,6 %



## Hnědé uhlí

Hnědé uhlí je ve střední Evropě stále velmi důležitou energetickou surovinou. Co se týče těžby je Česká republika jedním ze světových rekordmanů.

Vlastnosti hnědého uhlí jsou velmi individuální. Záleží na lokalitě, stáří a geologických podmínkách. Rozmezí hodnot ve kterém se mohou vlastnosti hnědého uhlí pohybovat:

Výhřevnost – 7MJ/ kg – 22MJ/ kg

Obsah prchavých hořlavin (uhlovodíků) z hořlavých látek – 50 – 60%

Spalné teplo – 28MJ/ kg – 35 MJ/ kg

Obsah vody – 5% – 40%

Obsah síry – 0,5% – 2%

V případě mého měření se jedná o vzorek mosteckého hnědého uhlí z Litvínovské uhelné a.s. druh o2 o zrnitosti 10 - 20 mm. Bylo pomleté na zrnitost 0,063 mm.

Vlastnosti: (hodnoty jsou průměrné)

Výhřevnost – 19MJ/ kg

Obsah prchavých hořlavin (uhlovodíků) z hořlavých látek – 54%

Spalné teplo – 21,3MJ/ kg

Obsah vody – 26,3 %

Obsah síry – 1,7%

## Methan

Methan je za normálních podmínek plynného skupenství. Jeho chemický vzorec je  $\text{CH}_4$ . Je to bezbarvý, netoxický plyn bez zápachu. Je lehčí než vzduch. Je to nejjednodušší uhlovodík s chemickým vzorcem  $\text{CH}_4$ . Jedná se o extrémně hořlavý plyn označený výstražným symbolem nebezpečnosti F+.

CAS : 74-82-8

Číslo ES/EINECS: 200-812-7

Meze výbušnosti methanu jsou:

- Horní mez (%obj.) = 15
- Dolní mez (%obj.) = 5

Maximální výbuchový tlak  $p_{\text{max}} = 7,4 \text{ bar}$

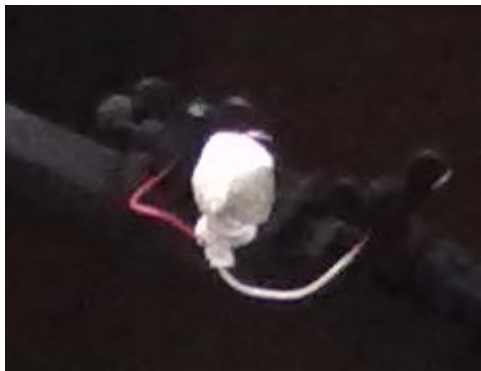
Maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku  $(dt/dp)_{\text{max}} = 203 \text{ bar} \cdot \text{s}^{-1}$

## Navážka

V mém měření jsem používala 200 g hladké mouky a 130 g hnědého uhlí. Navážku jsem prováděla na digitálních vahách.

## Iničiační zdroj

Pro moje měření jsem používala jako iničiační zdroj 0,8g nitrocelulózy, kterou jsem zabalila do cigaretového papíru. Nitrocelulóza byla zapalována elektrickým mžikovým palníkem.



Obr. 4.1 - Iničiaťor

### 4.3. Vlastní měření

Pro měření vlivu příměsi metanu na maximální výbuchové parametry jsem si nejprve musela vybrat koncentraci při které budu měření provádět. Zvolila jsem si koncentraci  $800 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Po přepočtu mi hodnota navážky vyšla 200g. Při mém měření se koncentrace neměnila, neboť nebyla předmětem zkoumání.

Měřila jsem hladkou mouku a hnědé uhlí s příměsí metanu o obj% 7-11.

#### 4.3.1. Postup

Nejprve bylo potřeba připravit si iniciační zdroj a navážku. Na digitálních vahách jsme provedli měření. Pro iniciační zdroj jsem navázila 0,8 g nitrocelulózy, tu jsem vložila do cigaretového papíru a vytvořila kuličku, tuto kuličku i se zápalníkem jsme umístili do středu autoklávu na připravené elektrody.

Po té jsem provedla navážku zkoumaného prachu. Navážený prach jsem vsypala do zásobníku rozšiřovacího zařízení. Ten jsem po té zavřela a víko utáhla šrouby.

Na ovládacím panelu autoklávu jsem zadala pokyn pro spuštění horní polokoule a tedy k uzavření a zajištění autoklávu. Automatické uzavírání a jištění trvá asi minutu. Po uzavření a zajištění autoklávu jsem pomocí vzduchu zvyšovala tlak v zásobníku rozšiřovacího zařízení na 5 bar.

Po natlakování zásobníku rozšiřovacího zařízení bylo potřeba odsát vzduch z výbuchové komory a nahradit ho plynem. Po odsátí vzduchu jsem otevřela tlakovou láhev s metanem, a připouštěla plyn do výbuchové komory. Hodnotu jsem kontrolovala na čelním panelu ovládacího pultu, kde se nachází měřidlo HT 60M pro měření absolutního (parciálního) tlaku ve výbuchové komoře. Po dosažení hodnoty, která v kouli byla před odsátím vzduchu jsem tlakovou láhev uzavřela.

Po přípravě koule, vzorku a metanu jsem na ovládacím panelu spustila start rozvířování. Tím byl do koule vtačen prach z rozšiřovacího zásobníku. Směs v kouli jsem nechala rozvířit, aby se vytvořila hybridní směs, tedy aby se metan promísil s prachem. Po 10

vteřinách jsem rozvířování vypnula a odstartovala iniciaci. Tím byl vpuštěn elektrický proud do elektrod na které byl připojen iniciační zdroj, který se zapálil a odstartoval tak výbuch. Po výbuchu jsem kontrolovala tlak a teplotu na kontrolním panelu. Čekala jsem dokud se hodnoty neustálili. Před otevřením bylo potřeba zapnout odsávání, které se nachází nad výbuchovou komorou. Autokláv jsem otevřela a počkala, než byly odsáty zplodiny výbuchu. Po té bylo potřeba výbuchovou komoru zbavit nespáleného prachu. K tomu jsem používala klasický domácí vysavač s filtrem.

Naměřené hodnoty ke kterým v průběhu výbuchu došlo, byly automaticky ukládány do souboru v počítači.

#### **4.3.2. Zpracování výsledků**

Počítač v průběhu výbuchu zaznamenával a ukládal naměřené hodnoty tlaku během každé 4 tisícin vteřiny. Tyto hodnoty jsem po měření zkopírovala do tabulek se kterými jsem následně pracovala. Z naměřených tlaků jsem vybrala maximální naměřenou hodnotu. Tedy maximální výbuchový tlak. Dále jsem derivací tlakového průběhu výbuchu v závislosti na čase vypočítala maximální rychlost narůstání tlaku. Takto vypočítané hodnoty jsem zanesla do tabulky výsledků ze které jsem po vypočítání všech hodnot vytvořila příslušné grafy vlivu příměsi metanu na maximální tlak a na maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku.

Existuje sice mnoho publikací ve kterých jsou prezentovány zkoumání vlivu příměsi metanu na hybridní směsi, avšak tato měření jsou prováděna pouze v rozmezí 0 – 6obj % metanu. Doufám tedy, že mé výsledky pomohou přiblížit problematiku vlivu příměsi metanu za optimem. Optimální koncentrace výbušnosti metanu je 9,5obj %. Na grafech je zřejmé, že hybridní směs metan- prach-vzduch má nejvyšší hodnoty s přidáním 9obj % metanu. To je zapříčiněno tím, že do reakce výbuchu se přidal ještě kyslík, který také z části reagoval s prachem. Proto se maximální výbuchové parametry posunuli o 0,5%. Tedy k hodnotě 9obj %. Z toho vyplývá, že hybridní směs má nejvyšší výbuchové parametry v případě, kdy je do směsi přimíchám metan o 9obj %.

Problém, který nastal při zpracovávání mé práce byl nedostatek financí a času. Zařízení na kterém jsem měřila se v průběhu měření poškodilo. Objevila se závada

na hydraulice a ta musela být opravena. Dalším faktorem byl fakt, že jsme na jednom zařízení pracovali dohromady s dalšími kolegy. A to v jednu chvíli. Museli jsme se vzájemně dělit o krátký čas, který nám byl pro měření vyhrazen. Z toho důvodu jsem nebyla schopná provést ověřovací měření. Měření s rozdílnou hodnotou obj % metanu bylo pro každou hodnotu provedeno pouze jednou.

### 4.3.3. Tabulky a grafy výsledků měření

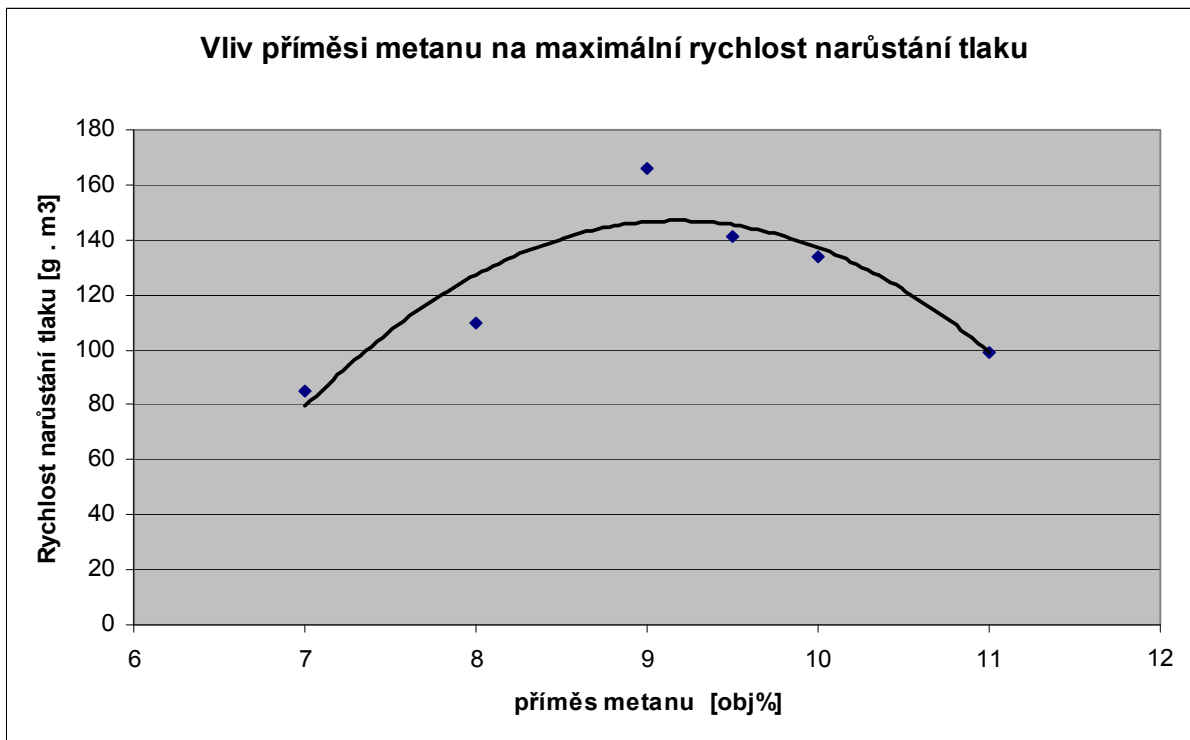
Tab. 4.2 – výsledky měření - mouka

Mouka	Navážka [g]	Methan [obj.%]	Pmax [bar]	(dp/dt)max [bar . s-1]	K [bar . m. s-1]
	200	7	5.064	85	53.55
	200	8	5.332	110	69.30
	200	9	<b>5.623</b>	<b>166</b>	<b>104.57</b>
	200	9.5	5.456	141	88.82
	200	10	5.343	134	84.41
	200	11	4.969	99	62.37
MAX			5.623	166	104.573447

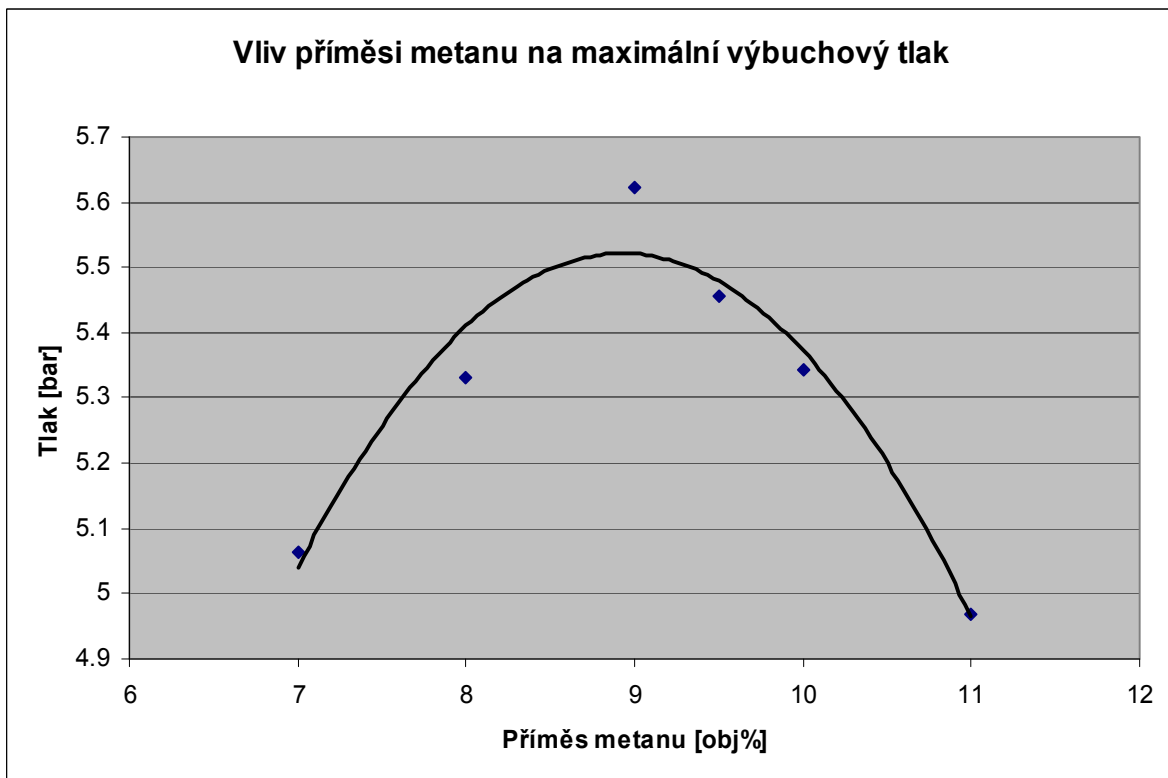
Tab. 4.3 – výsledky měření – hnědé uhlí

Uhlí	Navážka [g]	Methan [obj.%]	Pmax [bar]	(dp/dt)max [bar . s-1]	K [bar . m. s-1]
	130	7	5.516	142	89.45
	130	8	5.653	239	150.56
	130	9	<b>5.851</b>	<b>300</b>	<b>188.99</b>
	130	9.5	5.681	243	153.08
	130	10	5.565	244	153.71
	130	11	5.391	208	131.03
MAX			5.851	300	188.9881575

## Mouka

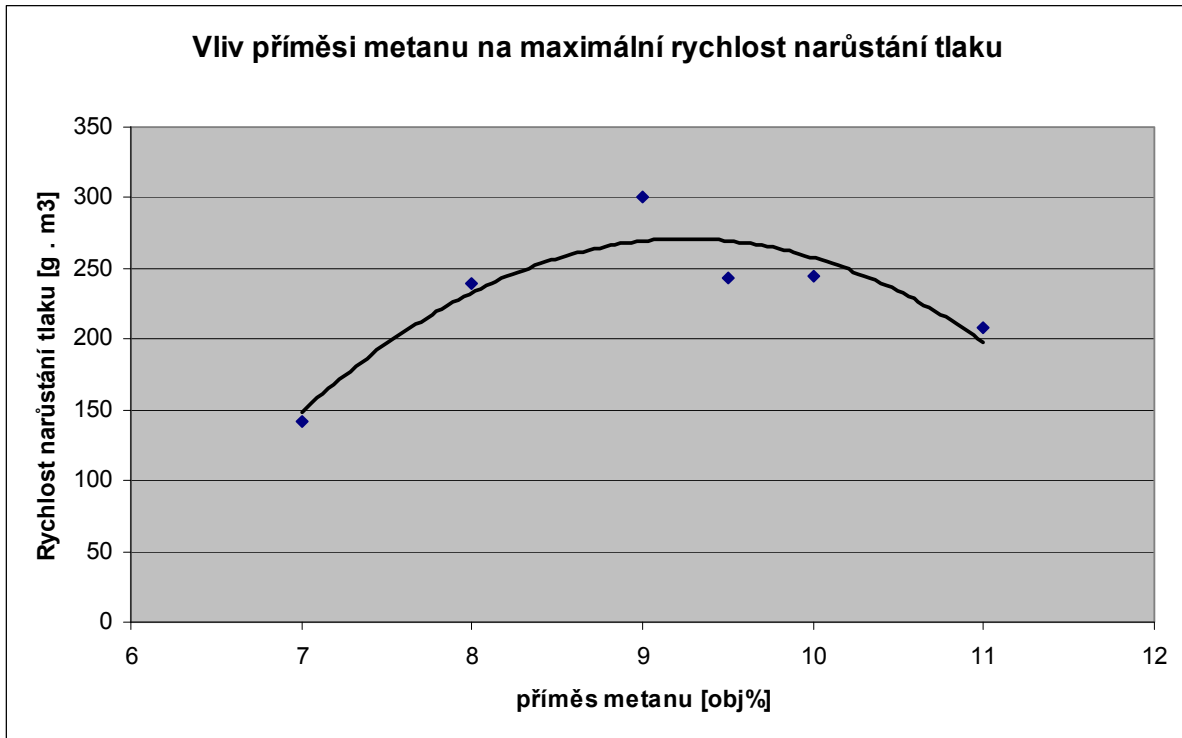


Obr. 4.2 – Graf vlivu příměsi metanu na maximální rychlost narůstání tlaku při výbuchu mouky

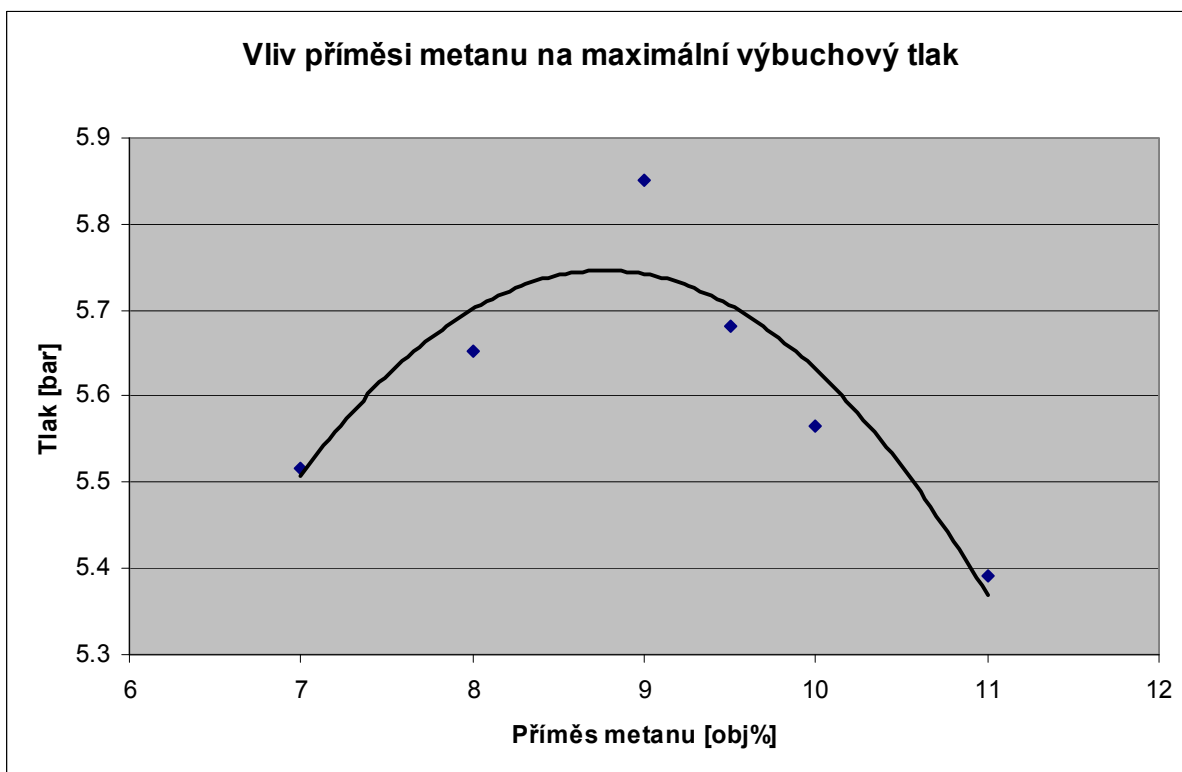


Obr. 4.3 – Graf vlivu příměsi metanu na maximální tlak při výbuchu mouky

## Hnědé uhlí



Obr. 4.3 – Graf vlivu příměsi metanu na maximální rychlost narůstání tlaku při výbuchu h. uhlí



Obr. 4.4 – Graf vlivu příměsi metanu na maximální tlak při výbuchu hnědého uhlí

Jak je vidět na obrázcích 4.1 – 4.4 hodnoty maximálního tlaku a maximální rychlosti nárůstu tlaku lineárně stoupají až do bodu, kde se nachází optimum pro hořlavý plyn. Optimum pro metan je hodnota 9 obj%. Hodnoty, které jsou za optimem začnou klesat. Tyto výsledky jsou v souladu s teorií.

Metan má ve směsi se vzduchem dolní hranici výbušnosti v hodnotě 5obj %. Do této koncentrace tedy nevybuchuje, ale pouze shoří. Maximální intenzita výbuchu je při koncentraci 9,5obj %. Stoupá-li dále jeho koncentrace, dochází ke snižování maximálních výbuchových parametrů. A to až do koncentrace 15obj %, kdy se opět stává metan ve směsi se vzduchem nevybušný.

#### **4.3.4. Nejistota měření**

Výbuchy hybridních směsí jsou ovlivnitelné mnoha vlivy. Bohužel ne všechny pro mne bylo možné eliminovat. Polokoule autoklávu se po prvním pokusu zahřály a teplota by tak nebyla pro všechna měření stejná. Musela jsem čekat, než výbuchová komora vychladne, aby bylo měření dále možné. Dalším problémem mohlo být připouštění plynu. Plyn se připouštěl ručně a kontrola tak byla složitější.

Jistým nedostatkem také byla různá doba rozvířování. Rozvířování jsem totiž před začátkem iniciace zastavila. Pokud prach nebyl pořádně rozvířen, usadil se a do výbuchu se již nezapojil. I tento vliv by mohl mít roli v nejistotách měření. Nejistoty měření jsou zřejmé z velkého rozptylu naměřených hodnot.



## 5. Závěr

Cílem mé práce bylo zjistit, jaký vliv má příměs hořlavého plynu na maximální výbuchové parametry vybraných prachů. Má práce byla z části prováděna jako součást grantu s názvem „Zjišťování parametrů tlakových vln a odezva jejich účinků na stavební konstrukce“. Doufám, že výsledky mého měření budou pro ostatní přínosem.

V této práci jsem v teoretické části popsala co je to výbuch a které okolnosti ho ovlivňují. V další části jsem přesněji popsala zařízení na kterém jsem pracovala. Tedy Výbuchový autokláv o vnitřním objemu 250l. Následně jsem objasnila výběr prachů a hořlavého prachu, které jsem ke zkoumání používala.

Dále popisuji postup, kterým jsem prováděla měření. Po té prezentuji výsledky mého měření v přehledných tabulkách a grafech. Měřila jsem jaký vliv má příměs metanu na výbuchové charakteristiky mouky a hnědého uhlí. Právě z důvodů využití mých výsledků v rámci grantu jsem měřila příměsi metanu v rozsahu 6-11 obj.%, které v minulosti nebyly tak často popisovány. Jedná se totiž také o hodnoty, které jsou za hranicí optima.

Výsledky jsou ovšem velmi uspokojivé. Podle grafů je vidět, že po překročení optima výbušnosti metanu hodnoty maximálních výbuchových parametrů začnou pozvolna klesat. V mém případě se optimální výbušná koncentrace metanu posouvá k nižším hodnotám.

Výsledkem mého měření je tedy potvrzení teorie, že po dovršení optimální výbušné koncentrace metanu začnou maximální výbuchové parametry směsi metan-prach-vzduch klesat. Optimální výbušná koncentrace této směsi je tedy 9obj % metanu, ačkoliv optimální výbušná koncentrace metanu je 9,5obj %. Je to zapříčiněno tím, že do reakce vstupuje také kyslík obsažený ve vzduchu.

Závěrem je tedy patrné, že hybridní směs metan-prach-vzduch je nebezpečnější než samotný metan. Neboť je k dosažení optimálních maximálních výbuchových parametrů zapotřebí méně metanu.

## 6. Literatura

- [1] DAMEC, Jaroslav. *Protivýbuchová prevence*. 1. vydání. Ostrava : SPBI, 2005. 188 s. ISBN 80-86111-21-0
- [2] DAMEC, Jaroslav; CHOLEVA, Ladislav. *Laboratorní praktikum protivýbuchové prevence technologických procesů*. Praha : IX. správa FMV, 1980. 73 s.
- [3] DAMEC, Jaroslav; ŠIMANDL, Ladislav. *Laboratorní praktikum protivýbuchové prevence technologických procesů*. 1. vydání. Ostrava : SPBI, 2005. 37 s. ISBN 80-86634-57-4
- [4] KONDERLA, Ivo. *Stanovení vlivu příměsi malého množství hořlavého plynu na výbuchové parametry uhelných prachů*. Ostrava, 2010. 63 s. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.
- [5] ADAMEC, Jan. *Optimalizace procesu rozviřování průmyslových prachů VA 250 Student*. Ostrava, 2010. 69 s. Diplomová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství.
- [6] DAMEC, Jaroslav ; FONIOK, Rudolf; HANUŠ, Antonín. *Protivýbuchová prevence : návody na cvičení*. 1. vydání. Ostrava : Vysoká škola báňská , 1993. 54 s. ISBN 80-7078-191-2.
- [7] BARTLOVÁ, Ivana; DAMEC, Jaroslav. *Prevence technologických zařízení*. 1. vydání. Ostrava : SPBI, 2002. 243 s. ISBN 80-86634-10-8.
- [8] *Czechcoal* [online]. 1.6.2009 [cit. 2011-04-14]. Katalog mosteckého uhlí. Dostupné z WWW: <[http://www.czechcoal.cz/cs/produkty/uhli/sluzby/Katalog\\_uhli\\_2009.pdf](http://www.czechcoal.cz/cs/produkty/uhli/sluzby/Katalog_uhli_2009.pdf)>.

## 7. Přílohy

### 7.1. Seznam obrázků

Obr. 2.1 – Základní podmínky vzniku výbuchu [4] .....	4
Obr. 2.2 – výbuchová křivka [1].....	5
Obr. 2.3 – výbuchová charakteristika směsi hořlavého prachu se vzduchem [1] .....	7
Obr. 2.4 znázornění vlivu počátečního tlaku na výbuchové parametry metanu se vzduchem [1] .....	10
Obr. 2.5 – Znázornění vlivu turbulence na výbuchovou charakteristiku metanu [1].....	12
Obr. 2.6 – vliv příměsí hořlavého plynu k prochovzduchové směsi na spodní mez výbušnosti [1] .....	14
Obr. 2.7 – Vliv příměsí hořlavého plynu na pokles minimální iniciační energie [1] .....	15
Obr. 2.8 - Vliv příměsí hořlavého plynu na hodnotu optimální koncentrace [1] .....	15
Obr. 3.1 – schéma zařízení VA 250I [5].....	16
Obr. 3.2 – Ovládací panel zařízení VA 250I [5] .....	17
Obr. 3.3 – čelní kontrolní panel [5] .....	18
Obr. 3.4 Výbuchový autokláv 250 l.....	19
Obr. 3.5 – Proces uzavírání a jištění autoklávu .....	20
Obr. 3.6 Pohled na hydraulické čelisti zajišťující těsnost autoklávu. ....	20
Obr.3.7 – Zavřený autokláv v procesu zajišťování.....	21
Obr. 3.8 - Pohled do spodní polokoule autoklávu [5] .....	21
Obr. 3.8 – náčrt výbuchové komory VA 250I [5].....	22
Obr. 3.9 - Pohled na zásobník rozvířovaného vzorku.....	1
Obr.3.10 – Rozvířovací kužel [5].....	23
Obr. 4.1 - Iniciátor .....	27
Obr. 4.2 – Graf vlivu příměsí metanu na maximální rychlost narůstání tlaku při výbuchu mouky.....	31
Obr. 4.3 – Graf vlivu příměsí metanu na maximální tlak při výbuchu mouky.....	31
Obr. 4.3 – Graf vlivu příměsí metanu na maximální rychlost narůstání tlaku při výbuchu h. uhlí.....	32
Obr. 4.4 – Graf vlivu příměsí metanu na maximální tlak při výbuchu hnědého uhlí.....	32

## 7.2. Seznam tabulek

Tab. 2.1 – rozdělení prachů do tříd dle kubické konstanty [4].....	10
Tab 4.1 – síťová analýza mouky.....	25
Tab. 4.2 – výsledky měření - mouka.....	30
Tab. 4.3 – výsledky měření – hnědé uhlí.....	30

## 7.3. Seznam zkratek

VA 250l – Výbuchový autokláv o vnitřním objemu 250l

FBI – Fakulta bezpečnostního inženýrství

ISBN: Systém mezinárodního standardního číslování knih (International Standard Book Numbering)

LEL: spodní mez výbušnosti

UEL: horní mez výbušnosti