



# **Protivýbuchová prevencia**

## **Návody na cvičenia**

**Eva Mračková**





# **Protivýbuchová prevencia**

## **Návody na cvičenia**

**Eva Mračková**



Návody na cvičenia vznikli ako jeden z výstupov projektu **KEGA 009TU Z-4/2017 „Budovanie progresívneho experimentálneho laboratória pre inováciu foriem výučby v študijnom programe Protipožiarna ochrana a bezpečnosť“**.

Autor:

Ing. Eva Mračková, PhD.

Katedra protipožiarienej ochrany  
Drevárska fakulta  
Technická univerzita vo Zvolene  
T. G. Masaryka 24  
960 53 Zvolen

## Protivýbuchová prevencia Návody na cvičenia

Recenzenti:

doc. Ing. Ivana Tureková, PhD.

doc. Ing. Andrea Majlingová, PhD.

Univerzita Konštantína Filozofa v Nitre  
Technická univerzita vo Zvolene

1. vydanie v rozsahu 47 strán, 2,30 AH, 2,51 VH

Náklad: 50

Vydavateľ: Technická univerzita vo Zvolene

Vydané: elektronicky na CD

Rok vydania: 2018

Grafická úprava: Ing. Eva Mračková, PhD.

© Technická univerzita vo Zvolene

© Ing. Eva Mračková, PhD.

Technická redakcia: Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, [www.tuzvo.sk](http://www.tuzvo.sk)

Za odbornú úroveň tejto publikácie na cvičenia zodpovedá autor a recenzenti. Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

ISBN 978-80-228-3111-6

*Publikované príspevky prešli recenzným konaním. Rukopis neprešiel jazykovou úpravou. Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.*

## OBSAH

1. Bezpečnostné podmienky a predpisy pre prácu s výbuchovou komorou VK 100.....	6
2. Výbušné atmosféry. Základné pojmy .....	8
2. 1. Názvoslovie a definície .....	8
2. 2. Príprava vzoriek .....	10
3. Pracovné návody .....	13
3. 1. Sitová analýza horľavých prachov .....	13
3. 2. Stanovenie sypnej hustoty horľavých prachov .....	18
3. 3. Dolná medza výbušnosti horľavého prachu .....	19
3. 4. Dolná medza výbušnosti horľavého plynu .....	32
3. 5. Dolná medza výbušnosti pár horľavej kvapaliny .....	33
3. 6. Koncentrácie hybridnej zmesi a jej dolná medza výbušnosti .....	36
3. 7. Inertné plyny a jej vplyv na dolnú medzu výbušnosti .....	38
4. Technicko-bezpečnostné parametre vybraných vzoriek priemyselných prachov .....	44
Literatúra .....	47

## ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Zrinitosť sypkej drevenej hmoty.....	14
Tab. 2 Čas sitovania .....	15
Tab. 3 Hmotnosti jednotlivých frakcií vzorky drevného prachu .....	17
Tab. 4 Hmotnosť jednotlivých frakcií a ich percentuálne zastúpenie vzorky drevného prachu .....	17
Tab. 5 Sypná hustota skúšobnej vzorky .....	18
Tab. 6 Nastavenie iniciačných podmienok na ovládacom paneli pre prachovzduchovú zmes .....	27
Tab. 7 Koncentrácia horľavých prachov a ich hmotnosti .....	27
Tab. 8 Vyhodnocovacia tabuľka stanovenia dolnej medze výbušnosti horľavého prachu ..	30
Tab. 9 Stanovenie merania a vyhodnotenia pri rôznych iniciačných energiách .....	31
Tab. 10 Vyhodnotenie nameranej dolnej medze výbušnosti (LEL) .....	31
Tab. 11 Nastavenie parametrov pred experimentami na ovládacom paneli .....	32
Tab. 12 Tabuľka horľavej kvapaliny Etanolu s vypočítanými objemovými a hmotnostnými hodnotami a dolnou medzou výbušnosti (LEL).....	34
Tab. 13 Vypočítané potrebné množstvo $V_{kvap}$ pre stanovenie LEL horľavej kvapaliny etanolu.....	35
Tab. 14 Vyhodnotenie experimentálneho stanovenie dolnej medze výbušnosti horľavých kvapalín .....	36
Tab. 15 Orientačné hodnoty LOC inertizácie dusíkom pre horľavé prachy .....	40
Tab. 16 Technicko-bezpečnostné parametre vybraných základných vzoriek priemyselných prachov.....	44
Tab. 17 Požiaro technické charakteristiky prachu hnedého uhlia .....	46

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Vibračný sitovací stroj RETSCH AS 200 .....	16
Obr. 2 Displej vibračného sitovacieho stroja RETSCH AS 200 .....	16
Obr. 3 Vzorky dreveného prachu vo vibračno sitovacom stroji RETSCH AS 200.....	16
Obr. 4 Schéma výbuchovej komory.....	20
Obr. 5 Výbuchová komora VK 100.....	20
Obr. 6 Pneumatické prípojky .....	20
Obr. 7 Pohľad do pripravenej výbuchovej komory cez priezor z tvrdého skla .....	21
Obr. 8 Pohľad na dno pripravenej výbuchovej komory .....	21
Obr. 9 Ovládací panel výbuchovej komory VK 100.....	22
Obr. 10 Označenie ovládacieho panela výbuchovej komory VK 100.....	23
Obr. 11 Vzduchový kompresor ATMOS Perfect 1,5 .....	24
Obr. 12 Elektrický palník zbavený ochrany vodičov .....	25
Obr. 13 Nitrocelulóza v šetriči tabaku .....	25
Obr. 14 Pripravený iniciačný zdroj (elektrický palník, nitrocelulóza, šetrič tabaku) .....	25
Obr. 15 Popis vnútornej časti VK 100 .....	29
Obr. 16 Elektrický palník a el. palník s nitrocululózou .....	29
Obr. 17 Vývoj plameňa zaznamenaný v priebehu výbuchu vo VK 100 .....	29
Obr. 18 Graf merania dolných medzí výbušnosti s rôznymi iniciačnými energiami .....	31
Obr. 19 Vnútorný priestor VK 100 s vývodom s dodávkou plynu a iniciátorom tavným drôtikom pre horľavé plyny.....	33
Obr. 20 Vnútorný priestor VK 100 s vyhrievacou platničkou a inicátorom s tavným drôtikom pre experiment určenia dolnej medze výbušnosti pár horľavých kvapalín .....	35
Obr. 21 Vplyv prímеси metánu na dolnú medzu výbušnosti poľnohospodárskych prachov. ....	37
Obr. 22 Vplyv prímеси metánu na správanie sa nevýbušného typu čierneho uhlia – antracit .....	37
Obr. 23 Percentuálny pokles pôvodnej hodnoty dolnej medze výbušnosti dvadsiatich rôznych druhov čiernouhoľných prachov s pridaním nízkeho množstva metánu. Zvislé úsečky znázorňujú smerodajné odchýlky.....	37
Obr. 24 Vplyv prímеси metánu na hodnotu optimálnej koncentrácie prachu čierneho uhlia.....	37
Obr. 25 Inertizácia výbušnej zmesi hnedouhoľného prachu so vzduchom oxidom uhličitým .....	40
Obr. 26 Inertizácia zmesi hnedouhoľného prachu so vzduchom inertným plynom oxidom uhličitým.....	41
Obr. 27 Rozšírenie výbuchovej oblasti s rastúcou výbušnosťou uhoľného prachu (s rastúcim obsahom prechavej horľaviny $V^d$ ) .....	42
Obr. 28 Porovnanie výbuchových oblastí pri inertizácii plynom oxidom uhličitým a vápencovým inertným prachom .....	43

## **1. BEZPEČNOSTNÉ PODMIENKY A PREDPISY PRE PRÁCU S VÝBUCHOVOU KOMOROU VK 100**

Na začiatku semestra s výučbou predmetu Protivýbuchová prevencia – cvičenia, je nutné študentov poučiť o dodržiavaní bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci (BOZP). Cvičenia sa vykonávajú v chemickom laboratóriu, kde je umiestnená výbuchová komora VK 100 určená k stanoveniu dolnej medze výbušnosti horľavých látok. Pri cvičeniach sa používajú i ďalšie prístroje a zariadenia, s ktorými je nutné študentov oboznámiť a to z ich funkciou, správnu manipuláciu v zmysle platných bezpečnostných predpisov a každý študent svojim podpisom potvrdí, že bol poučený o BOZP a bude rešpektovať všetky nižšie uvedené pokyny.

### **A. Všeobecné bezpečnostné predpisy**

1. S bezpečnostnými predpismi musia byť oboznámení všetci študenti, ktorí sa zúčastňujú cvičení v chemickom laboratóriu a vlastnoručným podpisom potvrdia, že ich vzali na vedomie a budú sa nimi riadiť.
2. Pred konaním cvičení z protivýbuchovej prevencie je zakázané piť alkohol a užívať omamné látky a zúčastniť sa ich pod ich vplyvom.
3. Študent sa riadi pokynmi, ktoré vydáva pedagóg alebo ním určený doktorand, ako pedagogický dozor, ktorého určil ešte pred začiatkom daného cvičenia.
4. Študent dodržiava zásady protipožiarnej ochrany. Je oboznámený, kde sa nachádza únikový východ a prenosné hasiace prístroje. Umiestnené sú pri vstupe do laboratória. Pri hasení horľavých látok je nutné zvoliť správny hasiaci prístroj.
5. Študenti, pedagógovi oznámia, svoj zdravotný stav vzhľadom na výpary, ktoré sa pri práci v laboratóriu produkujú (alergie, tehotenstvo).
6. Študenti nevykonávajú činnosti, ktoré môžu spôsobiť úraz, poškodenie osôb a majetku.
7. Študent sa pri práci s prístrojmi a zariadeniami musí sústrediť a myslieť na bezpečnosť svojho konania. Prácu vykonáva tak, aby neohrozil svoje zdravie a ani zdravie svojich kolegov v laboratóriu.
8. Študent hlási každý úraz pedagógovi. Pomáha postihnutému. Aj malú ranu je nutné ošetriť. V laboratóriu je lekárnica prvej pomoci.

9. V chemickom laboratóriu musí byť udržiavaná čistota a poriadok, zariadenia, prístroje a náradie musia byť udržiavané v prevádzkyschopnom a bezpečnom stave.

10. Študent dodržiava bezpečnostné predpisy svojho pracoviska. Pri práci používa určené osobné ochranné pracovné prostriedky (OOPP) a pracovnú obuv a odev.

11. Laboratórne sklo sa nesmie používať k jedeniu, pitiu a prechovávaní potravín.

9. Do odpadového potrubia je zakázané vylievať rozpúšťadlá, ktoré sa nemiešajú s vodou, jedy a výbušné látky, koncentrované kyseliny a lúhy a iné nebezpečné látky.

10. Ak študent manipuluje s elektrickým zariadením, môže sa dotýkať len tých častí, ktoré sú určené pre obsluhu. K týmto častiam zariadení musí byť vždy voľný prístup.

11. Študent ihneď upozorní na každú zistenú chybu, poruchu, ktorá by mohla spôsobiť úraz.

## **B. Bezpečnostný predpis pre prácu s výbuchovou komorou VK 100**

Pred prácou s výbuchovou komorou je nutné vykonať nasledovnú činnosť:

1. Umiestniť upozorňujúcu tabuľku s nápisom “Na výbuchovej komore sa pracuje” na druhú stranu dverí.

2. Následne sa vyžaduje vykonanie vizuálnej kontroly uzemnenia výbuchovej komory VK 100.

2. Pri manipulácii s chemickým iniciačným zdrojom (nitrovanou celulózou) sa nesmie používať otvorený plameň.

3. Vysušená nitrovaná celulóza sa po ukončení práce s výbuchovou komorou musí bezpečne uložiť do uzavretého priestoru.

4. Obsluha výbuchovej komory musí byť v postavení tak, aby nebola zasiahnutá pri výbuchu plameňom. Pri práci použiť ochranný plášť, rúšku, okuliare a rukavice.

5. Vyústenie výbuchovej komory musí byť dokonale zasunuté pod odsávací komín.

6. Čistenie výbuchovej komory od povýbuchových zbytkov a prachu sa vykonáva tlakovým vzduchom, vyfúknutím, pri súčasne zapnutom ventilátore v odsávacom komíne alebo hrubé nečistoty sa povysávajú priemyselným vysávačom.

7. Po ukončení práce s výbuchovou komorou, je nutné skontrolovať, či sú odpojené všetky spotrebiče z elektrických zásuviek.



## 2. VÝBUŠNÉ ATMOSFÉRY. ZÁKLADNÉ POJMY

Problematikou výbušných atmosfér sa zaoberá STN EN 1127-1:2012 Výbušné atmosféry. Prevencia a ochrana pred výbuchom. Časť 1: Základné pojmy a metodika. Predmetom normy je určenie spôsobov identifikácie a posudzovania nebezpečných situácií vedúcich k výbuchu a uvádza, aké opatrenia je potrebné prijať na dosiahnutie požadovanej bezpečnosti pri navrhovaní a zhotovení. To sa dá dosiahnuť posúdením rizika a znížením následkov [1].

### 2. 1. Názvoslovie a definície

**Horľavá látka** je plyn, kvapalina alebo tuhá látka, ktorá v zmesi so vzduchom je schopná horieť po dodaní iniciačného zdroja [1].

**Výbuch (explózia)** je prudká exotermická reakcia spôsobujúca zvýšenie teploty, tlaku alebo oboch parametrov súčasne [1].

**Deflagrácia** je výbuch šíriaci sa podzvukovou rýchlosťou [1].

**Detonácia** je výbuch šíriaci sa nadzvukovou rýchlosťou, špecifickým znakom je rázová vlna.

**Výbušná atmosféra** je zmes vzduchu a horľavých látok vo forme plynov, pár, hmly alebo prachu pri atmosferických podmienkach, v ktorej sa po iniciácii rozšíri horenie do celej nespálenej zmesi [1].

**Výbušné prostredie** je také prostredie, v ktorom možno predpokladať prítomnosť výbušnej atmosféry [1].

**Iniciačný zdroj** je akýkoľvek zdroj s dostatočnou energiou pre iniciáciu horenia [1].

**Oxidačný prostriedok** je látka, zväčša vzdušný kyslík, potrebná na priebeh výbuchového deja [1].

**Horľavý prach** sú pevné častice, ktoré majú dva rozmery o veľkosti 0,5 mm a menšie, tretí rozmer, môže byť aj väčší, ktoré pri rozvírení vo vzduchu vytvoria výbušnú atmosféru za atmosférického tlaku pri normálnej teplote; vlastnou tiažou sa usadzujú, kde vzniká súvislá vrstva 1mm, je schopná výbuchu [1].

**Horľavý plyn** je plyn alebo para, ktorá pri zmiešaní so vzduchom vytvára výbušnú atmosféru [1].

**Horľavá kvapalina** je kvapalina, ktorá je schopná vytvárať horľavé pary, ktoré horia [1].

**Hybridná zmes** je zmes vzduchu a horľavých látok rozdielnych fyzikálnych stavov [1].

**Bod vzplanutia** - najnižšia teplota, pri ktorej kvapalina/ pevná látka za štandardných

podmienok, uvoľňuje dostatok horľavých plynov alebo pár, ktoré pri použití iniciačných zdrojov okamžite vzplanú [1].

**Dolná medza výbušnosti** (Lower Explosive Limit – LEL) je najnižšia koncentrácia horľavej látky s oxidačným prostriedkom, ktorá sa po iniciácii explozívne vznieti [1].

**Horná medza výbušnosti** (Upper Explosive Limit – UEL) je nedostatok oxidačného prostriedku v zmesi, preto UEL závisí od podielu kyslíka vo vzduchu [1].

**Rozsah výbušnosti** je rozsah koncentrácie horľavej látky vo vzduchu pri ktorej môže nastať výbuch [1].

**Maximálny výbuchový tlak**  $p_{max}$  je najvyšší dosiahnutý tlak pri výbuchu horľavej látky v zmesi so vzduchom pri optimálnej koncentrácii [1].

**Brizancia** je rýchlosť narastania výbuchového tlaku za jednotku času.

**Nebezpečná výbušná atmosféra** je výbušná atmosféra spôsobujúca škody, ak nastane výbuch [1].

**Maximálny tlak pri výbuchu**,  $(dp/dt)_{max}$ , maximálna hodnota nárastu tlaku za jednotku času pri výbuchu zo všetkých výbušných atmosfér v rozsahu výbušnosti horľavej látky v uzavretej nádobe pri stanovených podmienkach skúšky [1].

**Minimálna iniciačná energia** (MIE) je najnižšia elektrická energia nahromadená v kondenzátore, ktorá je pri výboji práve schopná vyvolať iniciáciu najzápalnejšej atmosféry pri stanovených podmienkach skúšky [1].

**Minimálna teplota vznietenia výbušnej atmosféry** je teplota vznietenia horľavého plynu alebo pary horľavej kvapaliny alebo minimálna teplota vznietenia oblaku zvířeného prachu pri stanovených podmienkach skúšky [1].

**Minimálna teplota vznietenia oblaku zvířeného prachu** je najnižšia teplota ohrievaného povrchu, pri ktorej nastane vznietenie najzápalnejšej zmesi prachu so vzduchom pri stanovených podmienkach skúšky [1].

**Potenciálne výbušná atmosféra** je atmosféra, ktorá môže byť na základe miestnych a prevádzkových podmienok výbušná [1].

**Redukovaný tlak** pri výbuchu, je tlak vytvorený výbuchom výbušnej atmosféry v nádobe chránenej uvoľnením výbuchu alebo potlačením výbuchu [1].

**Samovznietenie prachu** voľne uložených materiálov je iniciácia prachu vyvolaná teplom vznikajúcim oxidačnými reakciami a/alebo rozkladnými reakciami prachu, pričom rýchlosť vzniku tepla je väčšia, ako sú straty tepla do okolia [1].

## 2. 2. Príprava vzoriek

**Názov metodiky:** Príprava vzorky na meranie

**Predmet metodiky:** Úprava granulometrického zloženia vzorky vhodnej na meranie na jednotlivých prístrojoch.

**Príprava vzorky na meranie:**

Vzorky materiálu určené na stanovenie technicko-bezpečnostných parametrov sa pred meraním upravujú tak, aby ich zloženie bolo reprezentatívne a veľkosť častíc bola vhodná na meranie. To sa vykonáva sušením, drvením, mletím a triedením.

**Typy vzoriek**

**Hrubá vzorka:**

Je vzorka v dodanom stave. Charakterizuje vlastnosti dodaného prachového materiálu. Za jeho správny odber a označenie zodpovedá zadávateľ prípadne odberateľ vzorky. Pri preberaní vzorky sa skontroluje jeho riadne označenie [2].

**Laboratórna vzorka:**

Pripravuje sa homogenizáciou hrubej, mletej alebo roztriedenej vzorky. Je určená pre skúšky na jednotlivých prístrojoch. V prevádzkovom zázname sa uvedie spôsob prípravy laboratórnej vzorky. Napr: mletie, triedenie na site 0,63 mm a homogenizácia [2].

**Granulometrickej stav P:**

Je to pôvodná dodaná vzorka, z ktorej sa prípadne odstránia cudzorodé častice (pri sedimentovaných vzorkách napr. skrutky, kamienky, kúsky papiera a pod.). Ak je potrebné zmenšiť hmotnosť vzorky, vykoná sa kvartácia. Tzn. celé množstvo vzorky sa vysype na hromadu do tvaru kužela, ktorý sa rovnomerne stlačí do tvaru kruhovej vrstvy. Vrstva sa rozdelí na štyri rovnaké kruhového výseku, z ktorých sa dve protíahlé vylúčia. Podľa potreby sa táto operácia opakuje. Ak došlo pri doprave vzorky k aglomerácii zrn vzorky, je potrebné preosiat vzorky cez sito s väčšou veľkosťou otvorov, než je veľkosť najväčšieho zrna. Ďalej sa vzorka homogenizuje vhodným spôsobom. Svojim granulometrickým zložením sa môže blížiť stavu A [2].

**Granulometrický stav A:**

Pripravuje sa podľa potreby z laboratórnej vzorky v stave P presiatia cez sito s veľkosťou otvorov 0,63 mm.

### **Granulometrický stav B:**

Je to štandardný stav laboratórnej vzorky. Pripravuje sa mletím alebo triedením vzorky v stave P alebo A. Musí obsahovať min. 90 % zrn menších ako 0,063 mm. Vlhkosť vzorky musí umožňovať jeho efektívne rozvírenie. V opačnom prípade sa vzorka musí predsušiť [2].

### **Granulometrický stav C:**

Pripravuje sa zo vzorky v stave P alebo A mletím alebo triedením v prípade, že nemožno dostupnými postupmi získať dostatočné množstvo vzorky v stave B. Pre každý granulometrický stav vzoriek sa stanovuje sitový rozbor. Obsah vlhkosti sa upravuje podľa potreby sušením pri teplote cca 75 °C (uhlie, poľnohospodárske produkty) alebo pri laboratórnej teplote do dosiahnutia rovnováhy so vzdušnou vlhkosťou. Hygroskopické vzorky sa musia uchovávať tak, aby k nim nemala prístup vzdušná vlhkosť. Podľa požiadavky je možné vykonávať meranie vzorky s pôvodnou vlhkosťou, prípade možno vlhkosť vzorky upraviť podľa požiadavky. Hodnota vlhkosti vzorky sa uvádza vždy [2].

### **Homogenizácia**

Homogenizácia je operácia zaisťujúca homogénnosť vzorky vo všetkých jeho častiach. Homogenizovať je nutné všetky typy vzoriek, lebo už pri odbere, mletí alebo triedení vzorky môže dochádzať k čiastočnej separácii zrn podľa veľkosti. Z tohto dôvodu je nutné vykonávať homogenizáciu po každej operácii, pri ktorej sa mení granulometrické zloženie vzoriek.

### **Homogenizácia sa môže vykonávať:**

1. miešadlom v uzavretej nádobe;
2. prevaľovaním v uzavretej valcovej nádobe naplnenej max. do 1/2 objemu;
3. presypávaním lopatkou;
4. pretrepávaním v nádobe (malej hmotnosti).

**Mletie vzoriek:** Vykonáva sa u materiálov, ktoré sa v praxi vyskytujú síce v kusovom alebo inom hrubozrnnom stave, ale pri ich spracovaní vzniká oterom prach. Účelom mletia je získanie vyššieho podielu jemných častíc vo vzorke. Spôsob mletia sa uvedie v pracovnom zázname. Typ mlynu sa určí mlecou skúškou [2].

**Triedenie vzoriek:** Vykonáva sa u vzoriek, ktoré nemožno vôbec (termoplasty, guma) alebo nedostatočne mlieť na dostupných mlynoch. Tiež pri vzorkách, pri ktorých je žiaduce vyseparovať jemné častice vznikajúce pri technologických procesoch. Potrebné je uvažovať, že pri triedení heterogénnych zmesí môže dôjsť k čiastočnej separácii ich zložiek. Triedenie sa vykonáva na sitovom triediči cez jedno alebo viac sít, na ktorých sa vzorka rozdelí na jednotlivé frakcie. Množstvo vzorky sa volí také, aby nedošlo k preťaženiu sita (vzorka ťažko prepadáva) alebo k jeho poškodeniu. Čím je oko sita väčšie, tým sa môže do neho vložiť väčšie množstvo vzorky. Koniec preosievania sa skontroluje ručne s rovnakým sitom s priemerom 200 mm. Doba sitovania je zvyčajne 5-10 minút.

Do prevádzkového záznamu sa uvedie veľkosť oka sita, na ktorom bolo triedenie vykonané, prípadne skutočnosť, že zjavne došlo k separácii častíc vzorky s rôznym zložením. Pripravená vzorka sa dôkladne zhomogenizuje, vykoná sa sitový rozbor a označí sa jeho granulometrický stav (P, A, B, C), prípadne sa vyjadří slovne (pôvodné, < 0,16 mm a pod.) [2].

### 3. PRACOVNÉ NÁVODY

V experimentálnom laboratóriu pre protivýbuchovú prevenciu sa stanovujú nasledovné pracovné postupy, sitová analýza horľavých prachov, stanovenie sypnej hustoty horľavých prachov, dolná medza výbušnosti horľavého prachu, dolná medza výbušnosti horľavého plynu, dolná medza výbušnosti pár horľavej kvapaliny, koncentrácie hybridnej zmesi a jej dolná medza výbušnosti a inertné plyny a jej vplyv na dolnú medzu výbušnosti.

#### 3. 1. Sitová analýza horľavých prachov

**Názov metodiky:** Stanovenie veľkosti prachových častíc sitovou analýzou

**Normy:** Stanovenie sa vykonáva podľa Interného metodického postupu IM-AS 200, Metodika pre stanovenie zrnitosti sypkej drevnej hmoty na sitovacom stroji AS 200, TUZVO [3]. STN ISO 3310-1: 2007 Skúšobné sitá. Technické požiadavky a skúšanie. Časť 1: Skúšobné sitá z kovovej tkaniny [4].

**Princíp merania:** Presievanie vzorky cez sitá so známou veľkosťou medzier v pletive.

**Cieľ merania:** Zistenie rozdelenia percentuálne ho zastúpenia veľkosti častíc vzorky v rozmedzí 0,04 mm až 6,3 mm.

#### **Skúšobné zariadenie:**

1. Sada sit s priemerom 200 mm – s veľkosťou medzier v pletive 0,04 mm; 0,063 mm; 0,1 mm; 0,16 mm; 0,25 mm; 0,4 mm; 0,63 mm; 1,0 mm; 1,6 mm; 2,5 mm; 4 mm; 6,3 mm.
2. Váhy s presnosťou váženia na 0,01 g

**Vzorka:** Na stanovenie sa používa vzorka s minimálnou vlhkosťou, ktorá ešte nespôsobuje združovania zrn vzorky a jeho lepenie na sita.

#### **Postup stanovenia:**

1. Vzorka s vysokým obsahom zrn nad 0,5 mm.

Odváži sa 1 kg vzorky s presnosťou 5 g, ktorý sa ručne preosieva cez sitá 1 mm, 1,6 mm, 2,5 mm, 4 mm a 6,3 mm. Vhodnejšie je použiť vibračný sitovací stroj RETSCH AS 200.

2. Vzorka s predpokladaným podielom zrn do 20 % nad 0,63 mm.

Odváži sa 100 g vzorky s presnosťou 0,1 g, ktorý sa miernym podtlakom, prípadne za pomocou štetca, preosieva postupne cez sitá s veľkosťou medzier v pletive 0,040 mm, 0,063 mm, 0,10 mm, 0,16 mm, 0,25 mm, 0,40 mm 0,63 mm, 1,0 mm a 1,6 mm.

3. Vzorka s predpokladaným podielom zrn do 20 % nad 0,1 mm.

Odváži sa 10 g vzorky s presnosťou 0,01 g, ktorý sa miernym podtlakom, prípadne za

pomocou štetca, preosieva postupne cez sitá s veľkosťou medzier v pletive 0,04 mm, 0,063 mm, 0,10 mm, 0,16 mm a 0,40 mm [2].

**Výsledok:** Výsledkom je percentuálny podiel veľkosti prachových častí, ktoré sú zadržané na danom a väčších sitách (nadrozmerých). Namerané hodnoty sa zapíšu do pracovného záznamu s vyznačením strednej veľkosti zrna (veľkosť zrna, keď je 50 % nadsitného) [2].

**Presnosť merania:**

- Hrubé vzorky: 0,5 %
- Stredné a jemné vzorky: 0,2 %

Merací rozsah: 0,04 mm až 6,3 mm

**Sitovanie** je technologická operácia, pri ktorej dochádza k úplnému rozdeleniu polydisperzného systému na jednotlivé skupiny obsahujúce častice s veľkosťou v určitých hraniciach daných rozmermi použitých sít.

**Triesky** sú drevné častice vznikajúce v procesoch trieskového delenia – pílenia dreva sú v závislosti od spôsobu vzniku označované ako pilina [5]. Pre pilinu je charakteristické, že jednotlivé zrná nevyplňajú celý objem priestoru, v ktorom sa táto hmota nachádza. Medzi jednotlivými trieskami (zrnami) sú medzery vyplnené vlhkým vzduchom. Uvedená skutočnosť radí pilinu do kategórie disperzie – t.j. nerovnorodej sústavy pozostávajúcej z dvoch fáz: častice drevnej hmoty – vlhký vzduch. Ďalšou typickou vlastnosťou piliny je skutočnosť, že presúvaním jednotlivých častíc sa mení celkový vonkajší tvar zápalného priestoru touto hmotou. Uvedené vlastnosti radia pilinu medzi sypké hmoty [6].

**Zrinitosť** (granulometrické zloženie) je údaj charakterizujúci kvantitatívne zastúpenie jednotlivých častíc (skupiny častíc) určitej veľkosti v celom súbore sypkej hmoty.

Na základe skutočnosti, že sypká hmota vo všeobecnosti predstavuje polydisperzný systém (súvor s časticami rôznej veľkosti) pre identifikáciu sypkej hmoty sú vymedzené užšie intervaly zrinitosti, ktoré zaraďujú častice určitej veľkosti do tried (frakcií).

Sypká drevná hmota sa kategorizuje v zmysle prác [3] a [7] na: hrubý odpad, stredne hrubý odpad, jemný odpad a veľmi jemný odpad. Zrinitosť frakcií uvedenej kategorizácie uvádza Tab. 1.

**Tab. 1 Zrinitosť sypkej drevenej hmoty [7]**

Označenie zrinitosti	Rozmery frakcie (mm)
Hrubá sypká hmota	$a > 1$
Stredne hrubá sypká hmota	0,3 – 1
Jemná sypká hmota	0,03 – 0,3

V praxi sa sitová analýza vykonáva ručne, resp. strojovo. Strojové sitovanie je rýchlejšie. Doba sitovania vzorky je závislá na fyzikálno – mechanických vlastnostiach sypkej hmoty, zrnitosti a v neposlednom rade na veľkosti medzier v pletive. V Tab. 2 sú uvedené orientačné hodnoty času sitovania v závislosti na veľkosti medzier v pletive sita.

**Tab. 2 Čas sitovania [3]**

Veľkosť otvorov v pletive sita ( $\mu\text{m}$ )	Čas sitovania (min)
40 – 63	20 až 30
71 – 160	10 až 20
Vyššie 160	5 až 10

### Metodika odberu vzoriek

Pre odber vzoriek sa bude postupovať podľa nasledujúceho postupu:

1. Vypne sa odsávanie dreveného odpadu;
2. Po usadení prachu sa pristúpi s odoberacím náradím (lopatkou) a nahromadený odpad sa odoberie od stroja pri mieste vzniku
3. Odobratý materiál pre experiment sa nasype do uzatvárateľných prepraviiek, aby sa odobratému materiálu nemenilo percentuálne množstvo vlhkosti [3].

### Metodika práce

Základný granulometrický rozbor pilín sa vykonáva sitovaním t.j. preosievaním piliny na sade sít sa veľkosťami medzier v pletive: 2 mm, 1 mm, 0,50 mm, 0,250 mm, 0,125 mm, 0,080 mm, 0,063 mm, 0,032 mm a dno, na automatickom vibračnom sitovacom stroji AS 200 firmy Retsch (Obrázky 1, 2 a 3). Sitovací stroj AS 200 je vhodný k preosievaniu sypkých disperzných produktov s veľkosťou max. do 25 mm za mokra i za sucha.

Na základe poznatkov a skúseností nadobudnutých pri granulometrických analýzach piliny za účelom stanovenia frakcie prachového podielu v piline pre environmentálne účely sa postupuje podľa Interného metodického postupu IM-AS 200 s názvom: „Metodika pre stanovenie zrnitosti sypkej drevenej hmoty na sitovacom stroji AS 200“, ktorý je vhodný i pre granulometrickú analýzu piliny.

Sitová analýza sa vykonáva na vzorkách s hmotnosťou  $m = 50$  g, po dobu sitovania  $\tau = 15$  min na sade sít s veľkosťami medzier v pletive: 2 mm, 1 mm, 0,50 mm, 0,250 mm, 0,125 mm, 0,080 mm, 0,063 mm, 0,032 mm a dno. V prípade sitovania suchej piliny sa na sitá s veľkosťami medzier v pletive: 0,125 mm, 0,080 mm, 0,063 mm, 0,032 mm vkladajú 3 až 4 teflónové guľičky, ktoré zabraňujú koagulácií prachových častíc a vytváraniu zhlukov



prachových frakcií rôznej veľkosti do tvaru gule. Hmotnosti frakcií na sitách sú stanovené na laboratórnych váhach s presnosťou váženia 0,01 g [3].



**Obr. 1** Vibračný sitovací stroj RETSCH AS 200



**Obr. 2** Displej vibračného sitovacieho stroja RETSCH AS 200



**Obr. 3** Vzorky dreveného prachu vo vibračno sitovacom stroji RETSCH AS 200

### Vyhodnotenie sitovej analýzy

Vyhodnotenie sitovej analýzy prebieha v zmysle Interného metodického postupu TUZVO, IM-AS 200 (pre stanovenie podielu prachovej frakcie v piline).

1. Jednotlivé čisté sitá zostavy sitovej analýzy a dno sa zvážia na laboratórnych váhach s presnosťou váženia 0,01 g a zapíšu sa do tabuľky.
2. Sada sit v usporiadaní od sit s najväčšími veľkosťami medzier v pletive po najmenšie ukončené dnom sa umiestni na vibračný sitovací stroj AS 200.
3. Na laboratórnych váhach sa odváži vzorka (cca 50 g) s presnosťou váženia 0,01 g a nasype sa na horné sito sitovacieho stroja.
4. Sada sit sa uzatvorí skleným vekom a po jeho ukotvení prostredníctvom ťahovacích skrutiiek sa vzorka situje po dobu  $\tau = 15$  min.
5. Po ukončení sitovania sa jednotlivé sitá s frakciou piliny na sitách odvážia a zapíšu do tabuľky.
6. Odčítaním hmotnosti sita s frakciou piliny po sitovaní a hmotnosti sita pred sitovaním sa stanoví hmotnosť frakcie piliny.
7. Sitovú analýzu možno považovať za správnu, ak podiel hmotnosti frakcií k hmotnosti navážky je v intervale 0,98 – 1,0 [3].

**Tab. 3 Hmotnosti jednotlivých frakcií vzorky drevného prachu**

MERANIE	DRUH SITA	SITO (mm)	HMOTNOSŤ SITA $m_s$ (g)	$m_s + m_f$ (g)	HMOTNOSŤ FRAKCIE $m_f$ (g)
1	Sito č.1	> 0,5	309,014	310,304	1,290
	Sito č.2	0,5 - 0,25	284,472	286,433	1,961
	Sito č. 3	0,25 - 0,125	262,487	269,302	6,815
	Sito č. 4	0,125 - 0,08	267,846	279,214	11,368
	Sito č. 5	0,08 - 0,063	239,895	254,483	14,588
	Dno		360,240	373,218	12,978

**Tab. 4 Hmotnosť jednotlivých frakcií a ich percentuálne zastúpenie vzorky drevného prachu**

	Sito č. 1	Sito č. 2	Sito č. 3	Sito č. 4	Sito č. 5	Dno
Spolu (g)	14,536	19,276	77,135	123,199	127,511	138,343
Zastúpenie frakcií (%)	2,91	3,86	15,43	24,64	25,5	27,67

### 3. 2. Stanovenie sypnej hustoty horľavých prachov

**Názov metodiky:** Stanovenie sypnej hustoty

**Normy:** Metodika vychádza z EN ISO 23145-2: 2016 Jemná keramika (špeciálna keramika, špeciálna technická keramika) - Stanovenie objemovej hmotnosti keramických práškov - Časť 2: Sypná hmotnosť [8].

**Princíp metódy:** Stanoví sa hmotnosť známeho objemu prášku po jeho voľnom nasypaní do odmerného valca.

**Cieľ merania:** Stanovenie sypnej hustoty.

Skúšobné zariadenie a pomôcky: Váhy s presnosťou váženia na 0,01 g, odmerný valec

**Vzorka:** Pre stanovenie sypnej hustoty sa používa vzorka s časticami menšími než 0,063 mm. Je možné použitie i inej vzorky, vždy však len s uvedením sitovej analýzy.

#### Pracovný postup:

Zváži sa odmerný valec. Do valca sa nasype vzorka pod hornú rysku odmerného valca. Valec sa opäť zväží. Opatrným strasením sa zarovná povrch prachu a odpočíta sa objem. Skúška sa opakuje trikrát.

**Definícia:** Sypná hustota prachu je jeho hmotnosť na jednotku objemu pri voľnom nasypaní bez strasenia.

Vyjadrenie výsledkov: Sypná hustota ( $\rho$ ) je udaná vzorcom (1) [2].

$$\rho = \frac{(m_1 - m_0)}{V} \quad (1)$$

kde:  $m_0$  - hmotnosť prázdneho meracieho valca (g)

$m_1$  - hmotnosť meracieho valca naplneného prachom (g)

$V$  - objem prachu vo valci ( $\text{cm}^3$ )

Vypočíta sa sypná hustota v  $\text{g.cm}^{-3}$  a potom sa premení na  $\text{kg.m}^{-3}$ . Z troch výsledkov sa vypočíta priemer, ktorý sa zaokrúhli na desiatky  $\text{kg.m}^{-3}$ .

Neistota merania je  $20 \text{ kg.m}^{-3}$

**Tab. 5 Sypná hustota skúšobnej vzorky**

Vzorka	Meranie č.	Hmotnosť (g)	Priemerná hmotnosť (g)	Objem prachu vo valci ( $\text{cm}^3$ )	Sypná hustota ( $\text{kg.m}^{-3}$ )
Hladká múka špeciál 00	1.	52,500	53,394	100	$530 \pm 20$
	2.	54,130			
	3.	54,040			
	4.	53,500			
	5.	52,800			

### 3. 3. Dolná medza výbušnosti horľavého prachu

Experimentálne stanovenie dolnej medze výbušnosti sa vykonáva vo výbuchovej komore VK 100. Typ 100 v uvedenom prípade značí objem výbuchovej komory 100 litrov, t.j. objem 0,1 m<sup>3</sup>. Zariadenie je určené pre horľavé kvapaliny, horľavé plyny a horľavé prachy. Vstupy do zariadenia umožňujú súčasne privádzať a tvoriť koncentrácie horľavého plynu a inertného plynu.

#### Výbuchová komora VK 100

Výbuchová komora je kubická nádoba, nie podlhovastá. Kubická nádoba má dĺžku  $l$  menšiu alebo rovnú dvom priemerom  $d$  :  $1 \leq 2 \times d$ . S rastúcim objemom nádoby klesá rýchlosť narastania výbuchového tlaku. Túto závislosť popisuje (2) pri kubických nádobách tzv. kubický zákon [9].

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max} \cdot V^{1/3} = \text{konst.} = K_G, \text{ resp. } K_{St} \quad (2)$$

kde:

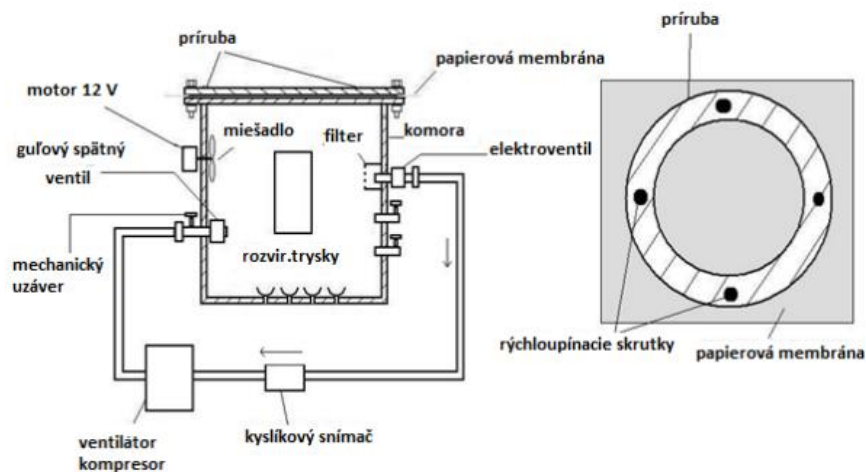
- $(dp/dt)_{\max}$  - maximálna rýchlosť narastania výbuchového tlaku (MPa.s<sup>-1</sup>)
- $V$  - objem nádoby (m<sup>3</sup>)
- $K_{(G)}, K_{(St)}$  - kubická konštanta pre plyny resp. pre prachy (MPa.m.s<sup>-1</sup>)

Kubická konštanta môže byť technicko bezpečnostným parametrom, ak sú splnené podmienky - optimálna koncentrácia výbušnej zmesi, rovnaký tvar nádoby, rovnaký stupeň turbulencie zmesi, rovnaký druh a rovnaká energia iniciačného zdroja, tak ako to vo VK 100 je splnené. Platnosť kubického zákona platí podľa rovnice (2) pre zmesi pár horľavých kvapalín od objemu nádoby 5 l a pre prachovzduchové zmesi od 40 l [9].

Výbuchová komora VK 100 sa skladá zo samotnej výbuchovej komory a z ovládacieho zariadenia. Výbuchová komora VK 100 je laboratórne zariadenie na stanovovanie medzi výbušností prachovzduchových zmesí a pár horľavých kvapalín s vnútorným objemom 0,1 m<sup>3</sup>. Výbuchová komora (Obr. 4) je postavená na rámovej konštrukcii s vlastným štvorbodovým podvozkom. V hornej časti je umiestnené samotná výbuchová komora, a v spodnej časti rámu sú umiestnené tlakové nádoby s elektropneumatickými ventilmi, pneumatické rozvody s autonómnym pripojením na externý zdroj stlačeného vzduchu, iniciačný transformátor, hasiace zariadenie, bezpečnostné vybavenie a pomocné prvky elektroinštalácie.

Súčasťou zariadenia je teplotná platnička pre horľavé kvapaliny s reguláciou teploty. Pri pokuse s horľavou kvapalinou necháme platničku vyhriať na 200 °C. Platnička je napájaná 24 V, teplota je snímaná termočlánkom a regulovateľná regulátorom Ht60B.

Do vnútorného priestoru komory sú zavedené prívody na dve elektródy vysokého napätia pre iniciáciu výbojom. Ďalej je do komory privedený vstup plynu, elektroventil rozvirovania pár horľavých kvapalín, elektroventil čistenia komory a elektroventil hasiaceho zariadenia. Vo vnútri komory je možné zaistiť intenzívne prúdenie pomocou miešadla s meniteľnými otáčkami. Ovládanie funkcií zariadenia je umožnené pomocou externého pultu, kde sú vo zvislej rovine ovládacie prvky zariadenia. Ich funkcie sú v jednotlivých režimoch vzájomne blokované. Toto umožňuje bezpečnú prevádzku zariadenia s vylúčením nežiaducej manipulácie



Obr. 4 Schéma výbuchovej komory [10]



Obr. 5 Výbuchová komora VK 100



Obr. 6 Pneumatické prípojky

Výbuchová komora je vyhotovená z ocele a má tvar valca. Vrch výbuchovej komory je voľný a je možné ho uzatvoriť membránou z ľahko pretrhnutelného papiera s vyústením do komína na odvod výbuchových splodín (Obr. 5). V hornej tretine výbuchovej komory je na vnútornej strane zabudovaný elektrický ventilátor určený na rozvírovanie a homogenizáciu hybridných zmesí. Pneumatické prípojenia slúžia na vstupné pripojenia horľavého plynu, vzduchu z kompresora a inertného plynu do výbuchovej komory (Obr. 6). Sledovanie procesov vo vnútri komory je umožnené pomocou dvoch priezorov z tvrdeného skla (Obr. 7).



**Obr. 7** Pohľad do pripravenej výbuchovej komory cez priezor z tvrdeného skla

Na dne výbuchovej komory sú vsadené štyri rozvírovače v tvare misiek, do ktorých sa sype vopred navážená a pripravená skúmaná vzorka horľavého prachu. Na dávkovanie vzduchu určeného na rozvírovanie slúži elektropneumatický ventil riadený na ovládacom paneli. Na dne je ešte umiestnená vyhrievaná platnička, ktorá slúži na odparovanie horľavých kvapalín a dve trubky s ústím nasmerovaným na vnútorný obvod komory, ktoré slúžia na čistenie vnútorného priestoru komory (Obr. 8).



**Obr. 8** Pohľad na dno pripravenej výbuchovej komory

Ovládací panel výbuchovej komory slúži na obsluhu a ovládanie výbuchovej komory (Obr. 9, 10).

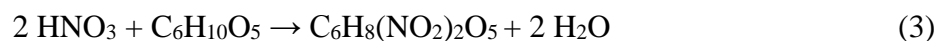


**Obr. 9 Ovládací panel výbuchovej komory VK 100**

Ovládací panel umožňuje nastavovať jednotlivé premenné parametre pri stanovovaní dolnej medze výbušnosti. Nastavenie dĺžky rozvírovania, oneskorenia iniciácie či dĺžky iniciácie umožňuje vykonať procesy v bezprostrednom čase pred výbuchom v požadovanom slede.

### **Nitrocelulóza**

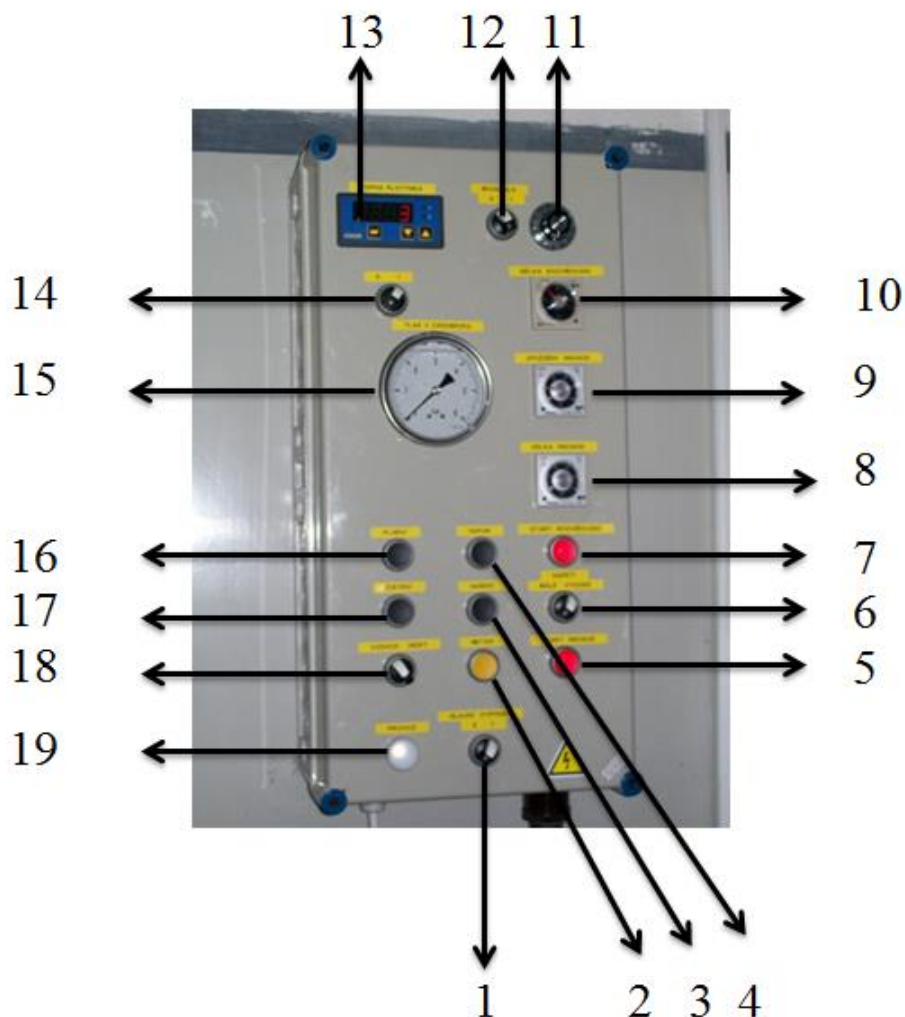
Suchá nitrocelulóza je vláknitá látka, ktorá je ľahko zápalná až výbušná. Je ľahko iniciovateľná plameňom, úderom, trením iskrou a statickou elektrinou. Vzniká esterifikáciou celulózy pôsobením kyseliny dusičnej alebo silnej nitračnej zmesi. Jedná sa o silnú trhavinu náchylnú k deflagračno-detonačnému prechodu. Horí veľmi jasným žltým svetlom bez zápachu a bez nespáliteľných zostatkov. Pri reakcii sa uvoľňuje veľké množstvo tepla, deflagračnú tepelnú vlnu jedného gramu látky môžeme pocítiť až do vzdialenosti dvoch metrov [11]. Nitrocelulóza vzniká pôsobením kyseliny dusičnej na celulózu za prítomnosti kyseliny sírovej podľa rovnice (3):



### **Vzduchový kompresor**

Na zásobenie výbuchovej komory stlačeným vzduchom určeným na rozvírovanie horľavého prachu je určený vzduchový kompresor ATMOS Perfect 1,5 (Obr. 11).

**Ovládacie prvky na regulačnej skrini výbuchovej komory VK 100**



**Obr. 10 Označenie ovládacieho panela výbuchovej komory VK 100**

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1 – hlavný vypínač                | 11 – regulátor počtu otáčok (potenciometer) |
| 2 – metan                         | 12 – miešadlo                               |
| 3 – hasenie                       | 13 – teplota vyhrievacej platničky          |
| 4 – odfuk                         | 14 – vypínač vyhrievania                    |
| 5 – štart iniciácie               | 15 – tlakomer                               |
| 6 – napätie (malé/vysoké)         | 16 – plnenie                                |
| 7 – štart rozvirovania            | 17 – čistenie                               |
| 8 – nastavenie dĺžky rozvirovania | 18 – vzduch/inert                           |
| 9 – nastavenie dĺžky iniciácie    | 19 – kontrolné svetlo zapnuti               |
| 10 – dĺžka rozvirovania           |   |





Obr. 11 Vzduchový kompresor ATMOS Perfect 1,5

### Iničiačný zdroj

Do vnútorného priestoru výbuchovej komory sú vyvedené dva páry elektród, slúžiace k upevneniu iničiačného zdroja. Pre stanovenie dolnej medze výbušnosti (LEL) horľavých prachov sa používa iničiácia chemická – štandardná. Pre plyny a kvapaliny tavný drôtik. Ďalší druh iničiačného zdroja môže byť použitá iničiácia elektrostatickou kapacitnou iskrou. Vysoké napätie bolo 15000 V/25 mA.

Ako iničiačný zdroj pre iniciovanie zmesi horľavého prachu so vzduchom sa využíva elektrický palník zabalený do šetriča tabaku (cigaretový papierik okrúhleho tvaru) spoločne s nitrocelulózou hmotnosti  $m = 1,0 \text{ g (+/- } 0,05\text{g)}$  do tvaru guľôčky. Takto pripravený iničiačný zdroj sa používa na iničiáciu rozvíreného horľavého prachu. Elektrický palník sa zbaví plastovej ochrany, keďže by mohla ovplyvňovať teplotu meranú termočlánkom vo vnútri výbuchovej komory. Samotný elektrický palník slúži ako iničiátor nitrocelulózy zabalenej v šetriči tabaku. Nitrocelulóza hmotnosti 1,0 g má iničiačnú energiu  $E_i = 0,1 \text{ KJ}$ , ktorá sa pre prachové zmesi považuje za zdroj iničiačnej energie (Obr. 12, 13, 14). Iničiácia palníka je podmienená pripojením medených drôtov s priemerom 0,5 mm k elektródam vyvedeným vo vnútri výbuchovej komory a privedením elektrického prúdu na elektródy. Na ovládacom paneli sa prepne režim na vysoké napätie. Pre plynovzduchové zmesi sa používa nízke napätie, iničiácia cez tavný drôtik. Jedná sa o druhú dvojicu elektród umiestnených vo vnútri výbuchovej komory [12].



**Obr. 12 Elektrický palník zbavený ochrany vodičov**



**Obr. 13 Nitrocelulóza v šetriči tabaku**



**Obr. 14 Pripravený iniciačný zdroj (elektrický palník, nitrocelulóza, šetrič tabaku)**

### **Skúšobné postupy a metódy stanovenia dolnej medze výbušnosti horľavých prachov**

**Názov metodiky:** Stanovenia dolnej medze výbušnosti horľavých prachov

Skúmaniu sa podrobí disperzná sústava prachu so vzduchom, ktorú sa iniciovala zdrojom so známou iniciačnou energiou. Dolná medza výbušnosti horľavých prachov sa stanoví na základe vizuálneho posúdenia veľkosti plameňa a nárastu teploty na termočlánku umiestnenom vo vnútri výbuchovej komory VK 100. Dolná medza výbušnosti je taká koncentrácia horľavého prachu so vzduchom, ktorú môže zapáliť stanovenou iniciačnou energiou, zatiaľ čo plameň má sklon k rozširovaniu.

**Definícia:** Dolná medza výbušnosti je najnižšia koncentrácia horľavej látky s oxidačným prostriedkom, ktorá sa po iniciácii eksplozívne vznieti.

**Normy:** Metodika sa vykonáva v zmysle výrobcu (CLASIC CZ) výbuchovej komory a STN EN 14034-3 + A1: 2012 (38 9684), Stanovenie vlastností zvráteného prachu pri výbuchu Časť 3 Stanovenie dolnej medze výbušnosti DMV zvráteného prachu (Konsolidovaný text) [13].

**Princíp metódy:** Určí sa najnižšia koncentrácia horľavého prachu, keď iniciáciou dochádza k výbuchu. Príprava výbuchovej komory (skontroluje sa jej čistota, prítomnosť cudzích predmetov, neporušenosť vonkajšieho plášťa), naváženie príslušnej experimentálnej vzorky horľavého prachu, nitrocelulóзовé iniciačné zdroje, k výbuchovej komore sa pripojí kompresor a doplní zásobník vzduchu na 0,6 MPa. Na ovládacom paneli sa nastavujú počiatočné parametre pre experiment (čas rozvírovania, čas oneskorenia a iniciácie).

Stanoví sa nárast teploty vo výbuchovej komore, po výbuchu samotného iniciačného zdroja (elektrický palník, nitrocelulóza). Do rozvírovacích misiek sa nedá žiadny prach, elektrický palník pripojíme vodivým spôsobom k elektródam, do vnútra komory sa umiestni termočlánok, vrch komory sa prekryje membránou z papiera a celá komora sa uzavrie prírubou na usmernenie spalín a komora sa presunie pod komín slúžiaci na odvod spalín. Zaznamená sa teplota odmeraná termočlánkom, prostredníctvom tlačidla štart iniciácie na ovládacom paneli, sa iniciuje nitrocelulóзовý iniciačný zdroj a pozoruje sa nárast teploty a najvyššia teplota sa zaznamená. Nasledujúcim krokom je samotný experiment.

Navážená vzorka horľavého prachu sa rozdelí na štyri rovnaké časti, a nasype sa do rozvírovacích misiek, čím sa dosiahne, že v každej miske bude rovnaká hmotnosť skúmaného horľavého prachu a po rozvírení nastane homogenizácia v celom priestore výbuchovej komory. Iniciačný zdroj sa upevní pomocou medených drôtov vodivým spôsobom na elektródy výbuchovej komory. Vrchná časť komory sa prekryje membránou z papiera a uzavrie prírubou. Komora sa presunie pod komín na odvetrávanie, odčíta sa vnútorná teplota výbuchovej komory z termočlánku a zatlačením tlačidla rozvírovanie sa spustí proces rozvírovania a iniciácie. Priebeh deja sa sleduje cez priezory na stenách komory a zároveň sa sleduje nárast teploty v komore snímaným termočlánkom. Na základe sledovania a nárastu teploty v komore sa určí, či došlo k výbuchu. Ak je nárast teploty väčší ako pri iniciácii samotného iniciačného zdroja, a zároveň sa zaznamenal rozvoj plameňa, dej sa hodnotí pozitívne, teda ako výbuch. Experiment sa začína s vyššími navážkami, pri ktorých sa môže predpokladať, že dôjde k výbuchu a každá navážka sa opakuje tri alebo päťkrát, z dôvodu overenia nameraných hodnôt. Hmotnosť navážok sa postupne znižuje až do momentu, kedy k výbuchu nedôjde, čím sa vlastne zistí koncentrácia vzorky, ktorá zodpovedá dolnej medze výbušnosti skúmaného horľavého prachu. Pre hodnoty dolnej medze výbušnosti

prachovzduchových zmesí sa stanovuje iniciačný zdroj s hodnotou  $E_i = 10 \text{ kJ}$  [14].

**Tab. 6** Nastavenie iniciačných podmienok na ovládacom paneli pre prachovzduchovú zmes

<b>Tlak vzduchu na rozvírovanie (MPa)</b>	0,25
<b>Iniciačná energia (KJ)</b>	0,1
<b>Čas rozvírovania (s)</b>	0,2
<b>Čas oneskorenia iniciácie po rozvírení (s)</b>	0,1

**Cieľ merania:** Stanovenie dolnej medze výbušnosti horľavých prachov.

**Skúšobné zariadenie a pomôcky:** výbuchová komora VK 100, nitrocelulóza, iniciačný zdroj, vzduchový kompresor, laboratórne váhy s dvoma desatinnými miestami, termočlánok.

**Vzorka:** Vzhľadom na to, že dolná medza výbušnosti sa meria v  $\text{g.m}^{-3}$ , a na experiment je k dispozícii výbuchová komora s vnútorným objemom  $100 \text{ dm}^3$ , musí sa prispôbiť hmotnosť navážky vzhľadom na objemový pomer, t.j. ak  $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$ , potom sa skutočná navážka napr.  $50 \text{ g.m}^{-3}$  musí prepočítať, na  $5 \text{ g.dm}^{-3}$ .

Hmotnosť navážky [15] pre požadovanú koncentráciu sa vypočíta podľa vzorca (4):

$$m = c \cdot V \quad (4)$$

kde:

$m$  - hmotnosť horľavého prachu (g)

$c$  - koncentrácia horľavého prachu vo výbuchovej komore ( $\text{g.m}^{-3}$ )

$V$  - objem výbuchovej komory ( $\text{m}^3$ )

**Tab. 7** Koncentrácia horľavých prachov a ich hmotnosti

Koncentrácia ( $\text{g.m}^{-3}$ )	Hmotnosť navážky (g)	Koncentrácia ( $\text{g.m}^{-3}$ )	Hmotnosť navážky (g)
10	1,0	70	7,0
15	1,5	72	7,2
20	2,0	74	7,4
25	2,5	76	7,6
30	3,0	78	7,8
35	3,5	80	8,0
40	4,0	82	8,2

Koncentrácia ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Hmotnosť navážky (g)	Koncentrácia ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	Hmotnosť navážky (g)
45	4,5	84	8,4
50	5,0	86	8,6
52	5,2	88	8,8
54	5,4	90	9,0
56	5,6	92	9,2
58	5,8	95	9,5
60	6,0	100	10,0

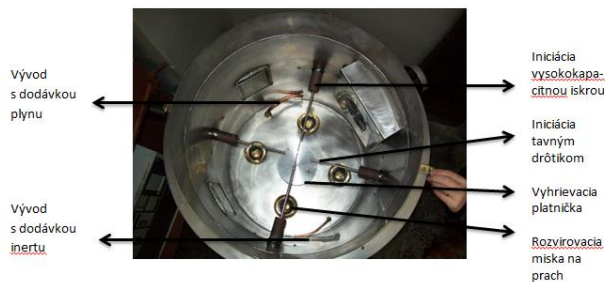
Určenie hmotností sa vykonáva do navážky 10 g s presnosťou 0,05 g, od 10 do 50 g s presnosťou 0,1 g a vyššej navážky s presnosťou 0,5 g.

#### Pracovný postup:

1. Prepojte zásuvku výbuchovej komory VK 100 s elektrickou zásuvkou 230 V.
2. Otvorte prívod vzduchu na VK 100.
3. Nasypťe do misiek s rozvírovačmi navážku prachu.
4. Upevnite medzi skrutky nízkonapäťových elektród palník s nitrocelulózovou iniciáciou.
5. Prekryte papierovou clonou VK 100 a priložte prírubu na výbuchovú komoru, aby zapadli 4 malé otvory do vodiacich kolíkov.
6. Poistite upnutie papierovej clony komory s prírubou štyrmi kovovými západkami.
7. Prepňte tlačidlo do polohy vzduch „18“.
8. Zapnite miešadlo „12“ a potenciometrom nastavte otáčky „11“.
9. Zapnite tlačidlo plnenie „16“ vpúšťate do zásobníka vzduch, vizuálne kontrolujte na manometri „15“.
10. Nastavte dĺžku rozvírovania „8“.
11. nastavte časový spínač nastavenie dĺžka iniciácie „9“.
12. Nastavte prepínač napätie „6“ na malé napätie a skontrolujte či svieti červená kontrolka štart rozvírovania „7“ a štart iniciácie „5“.
13. Zapnite svietiace tlačidlo štart rozvírovania „7“.
14. Na regulačnej skrini prepňte tlačidlo „1“, hlavný vypínač, do polohy „I“, zasvieti „19“ kontrolné svetlo.

15. Presuňte na kolieskach celú VK 100 pod odvod výbuchových splodín.

16. Iniciujte experiment tlačidlom, štart iniciácie „5“.



Obr. 15 Popis vnútornej časti VK 100



Obr. 16 Elektrický palník a el. palník s nitrocululózou

### Po ukončení experimentov:

1. Vyčistite komoru prepínačom vzduch „18“, čistenie „17“ a odfuk „4“.
2. Zatvorte prívody vzduchu.
3. Odtiahnutie VK 100 spod odvodu povýbuchových splodín.
4. Odstráňte zvyšky papierovej clony zodvihnutím príruby.
5. Na regulačnej skrini prepnite tlačidlo „1“, hlavný vypínač, do polohy „0“, zhasne „19“ kontrolné svetlo.
6. Odpojte zásuvku výbuchovej komory VK 100 s elektrickou zásuvkou 230 V.



Obr. 17 Vývoj plameňa zaznamenaný v priebehu výbuchu vo VK 100

**Tab. 8** Vyhodnocovacia tabuľka stanovenia dolnej medze výbušnosti horľavého prachu

Číslo merania	Navážka (g)	Koncentrácia (g.m <sup>-3</sup> )	Výsledky skúšky		
			N – negatívne, P - pozitívne		
			Číslo pokusu		
			<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1	4	40	N	N	N
2	4,5	45	N	N	P
<b>3</b>	<b>5</b>	<b>50</b>	<b>P</b>	<b>P</b>	<b>N</b>
4	6	60	P	P	P

**Vyjadrenie výsledkov:**

Z nameraných hodnôt sa zostaví graf so súradnicami, kde:

x - koncentrácia (logaritmická)

y - napätie v mV (lineárna)

Z maximálnych hodnôt nameraných pre jednu koncentráciu sa lineárnou regresiou vypočíta koncentrácia pre hodnotu napätia 1,5 mV (ktorá bola zvolená podľa vizuálneho pozorovania ako hodnota, pri ktorej je dosiahnutá dolná medza výbušnosti). Zároveň sa vypočíta koeficient korelácie, ktorý by nemal byť menší ako 0,95 [2].

**Neistota merania:** 20 % hodnoty dolnej medze výbušnosti

Rozsah merania:

- Iniciačná energia: (0,1 – 9) kJ
- Koncentrácia do 630 g.m<sup>-3</sup>

**Vyhodnotenie výsledkov:**

Ak hodnota vzorky dolnej medze výbušnosti je pri iniciačnej energii  $E_i = (0,1 - 9)$  kJ < 40 g.m<sup>-3</sup> zaradujeme ju do kategórie **veľmi výbušná**

Ak hodnota vzorky dolnej medze výbušnosti je pri iniciačnej energii  $E_i = (0,1 - 9)$  kJ od 40 g.m<sup>-3</sup> do 200 g.m<sup>-3</sup> zaradujeme ju do kategórie **výbušná**

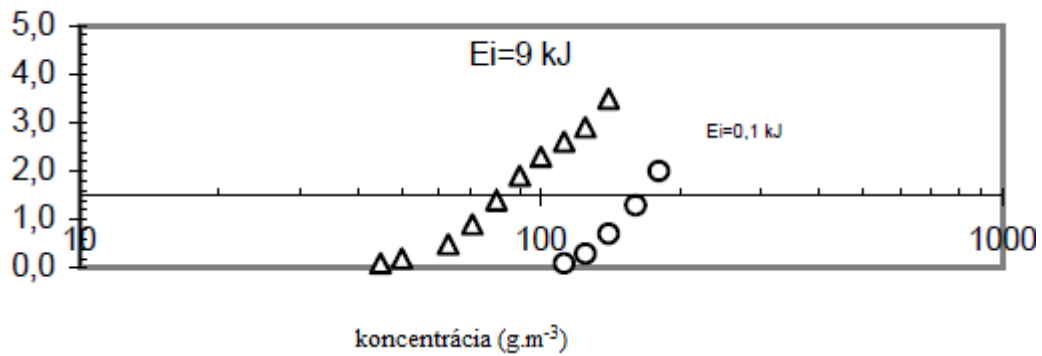
Ak hodnota vzorky dolnej medze výbušnosti je pri iniciačnej energii  $E_i = (0,1 - 9)$  kJ > 200 g.m<sup>-3</sup> zaradujeme ju do kategórie **ťažko výbušná**

Ak nie je možné stanoviť dolnú medzu výbušnosti vzorky pri iniciačnej energii  $E_i = (0,1 - 9)$  kJ zaradujeme ju do kategórie **nevýbušná**

Tab. 9 Stanovenie merania a vyhodnotenia pri rôznych iniciačných energiách [2]

Gran. stav	B	B
Koncentrácia	$E_i=9$ kJ	$E_i=0,1$ kJ
45	0,1	-
50	0,2	-
63	0,5	-
71	0,9	-
80	1,4	-
90	1,9	-
100	2,3	-
112	2,6	0,1
125	2,9	0,3
140	3,5	0,7
160	-	1,3
180	-	2,0
200	-	2,5
$r^{2*}$	0,989	0,997

\* Neistota merania – korelačný koeficient



Obr. 18 Graf merania dolných medzí výbušnosti s rôznymi iniciačnými energiami [2]

**Vyhodnotenie:**

Tab. 10 Vyhodnotenie nameranej dolnej medze výbušnosti (LEL) [2]

Iniciačná energia, $E_i$ (kJ)	9	0,1
Dolná medza výbušnosti, LEL ( $\text{g.m}^{-3}$ )	81	163



### 3.4. Dolná medza výbušnosti horľavého plynu

**Názov metodiky:** Stanovenie dolnej medze výbušnosti horľavého plynu

**Normy:** STN EN 1839: 2017-06 (38 9722) Stanovovanie medzí výbušnosti plynov a pár

**Princíp merania:** Stanovenie najnižšej koncentrácie objemu horľavého plynu vo výbuchovej komore, ktorý po iniciácii reaguje detonáciou [16].

**Cieľ merania:** Stanovenie hodnôt medze výbušnosti plynov, pár a ich zmesí zmiešaných so vzduchom dvoma skúšobnými metódami (metódou T a metódou B). Namiesto vzduchu sa môže použiť ako okysličovadlo zmes vzduchu a inertného plynu (objemový podiel kyslíka < 21 %). Pod pojmom vzduch sa rozumejú aj zmesi vzduchu a inertného plynu. Norma platí pre plyny, pary a ich zmesi pri atmosférickom tlaku a teplotách do 200 °C [16].

#### Spustenie experimentov:

1. Prepojte zásuvku výbuchovej komory VK 100 s elektrickou zásuvkou 230 V.
2. Otvorte prívod vzduchu a plynu na VK 100.
3. Prekryte papierovou clonou VK 100 a priložte prírubu na výbuchovú komoru, aby zapadli 4 malé otvory do vodiacich kolíkov.
4. Poistite upnutie papierovej clony komory s prírubou štyrmi kovovými západkami.
5. Na regulačnej skrini prepnite tlačidlo „1“, hlavný vypínač, do polohy „I“, zasvieti „19“ kontrolné svetlo.
6. Presuňte na kolieskach celú VK 100 pod odvod výbuchových splodín.
7. Zapnite miešadlo „12“ a regulátorom počtu otáčok „11“ nastavte požadované otáčky.
8. Tlačidlom metán „2“ vpúšťate do VK 100 plyn.
9. Zastavte prívod plynu a nastavte časový spínač nastavenie dĺžka iniciácie „9“.
10. Nastavte prepínač napätie „6“ na vysoké napätie a skontrolujte či svieti červená kontrolka štart iniciácie „5“.
11. Iniciujte experiment tlačidlom, štart iniciácie „5“.

**Tab. 11 Nastavenie parametrov pred experimentmi na ovládacom paneli**

Tlak vzduchu na rozvírovanie (MPa)	0,20
Iniciačná energia (KJ)	1
Čas rozvírovania (s)	0,1
Čas oneskorenia iniciácie po rozvírení (s)	0



Obr. 19 Vnútorý priestor VK 100 s vývodom s dodávkou plynu a iniciátorom tavným drôťkom pre horľavé plyny

#### Po ukončení experimentov:

1. Vyčistíte komoru prepínačom vzduch „18“, čistenie „17“ a odfuk „4“.
2. Zatvorte prívody plynu a vzduchu.
3. Odtiahnutie VK 100 spod odvodu povýbuchových splodín.
4. Odstráňte zvyšky papierovej clony zodvihnutím príruby.
5. Na regulačnej skrini prepnete tlačidlo „1“, hlavný vypínač, do polohy „0“, zhasne „19“ kontrolné svetlo.
6. Odpojte zásuvku výbuchovej komory VK 100 s elektrickou zásuvkou 230 V.

### 3. 5. Dolná medza výbušnosti pár horľavej kvapaliny

**Názov metodiky:** Stanovenie dolnej medze výbušnosti pár horľavej kvapaliny

**Normy:** STN EN 1839: 2017-06 (38 9722) Stanovovanie medzí výbušnosti plynov a pár

**Princíp merania:** Stanovenie najnižšej koncentrácie objemu horľavej kvapaliny vo výbuchovej komore, ktorý po iniciácii reaguje detonáciou.

**Cieľ merania:** Stanovenie hodnôt medze výbušnosti plynov, pár a ich zmesí zmiešaných so vzduchom dvoma skúšobnými metódami (metódou T a metódou B). Namiesto vzduchu sa môže použiť ako okysličovadlo zmes vzduchu a inertného plynu (objemový podiel kyslíka < 21 %). Pod pojmom vzduch sa rozumejú aj zmesi vzduchu a inertného plynu. Norma platí pre plyny, pary a ich zmesi pri atmosférickom tlaku a teplotách do 200 °C [16].

**Spustenie experimentov:**

1. Prepojte zásuvku výbuchovej komory VK 100 s elektrickou zásuvkou 230 V.
2. Na regulačnej skrini prepnite tlačidlo „1“, hlavný vypínač, do polohy „I“, zasvieti „19“ kontrolné svetlo.
3. Prepnite tlačidlo „14“ vypínač ohrevu do polohy „I“.
4. Na pozícii „13“ teplota vyhrievacej platničky sledujeme ohrev do 200° C.
5. Horľavú kvapalinu v nádobe s určeným objemom položíme do stredu VK 100 na vyhrievaciu platničku.
6. Prekryte papierovou clonou VK 100 a priložte prírubu na výbuchovú komoru, aby zapadli 4 malé otvory do vodiacich kolíkov.
7. Poistite upnutie papierovej clony komory s prírubou kovovými západkami.
8. Presuňte na kolieskach celú VK 100 pod odvod výbuchových splodín.
9. Iniciujte experiment tlačidlom, štart iniciácie „5“.

Výpočet potrebného objemu  $V_{\text{kvap}}$  horľavej kvapaliny pre stanovenie LEL sa vykoná v MS Excel z konkrétnych údajov horľavej kvapaliny, ktoré sú uvedené v Karte bezpečnostných údajov výrobcu (molárna hmotnosť a hustota). Uvedený výpočet je realizovaný za daných podmienok (Tab.12).

$$M = 46,07 \text{ g.mol}^{-1}$$

$$\rho = 789,42 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$V_{\text{výbuchového priestoru}} = 100 \text{ l}$$

**Tab. 12** Tabuľka horľavej kvapaliny Etanolu s vypočítanými objemovými a hmotnostnými hodnotami a dolnou medzou výbušnosti (LEL)

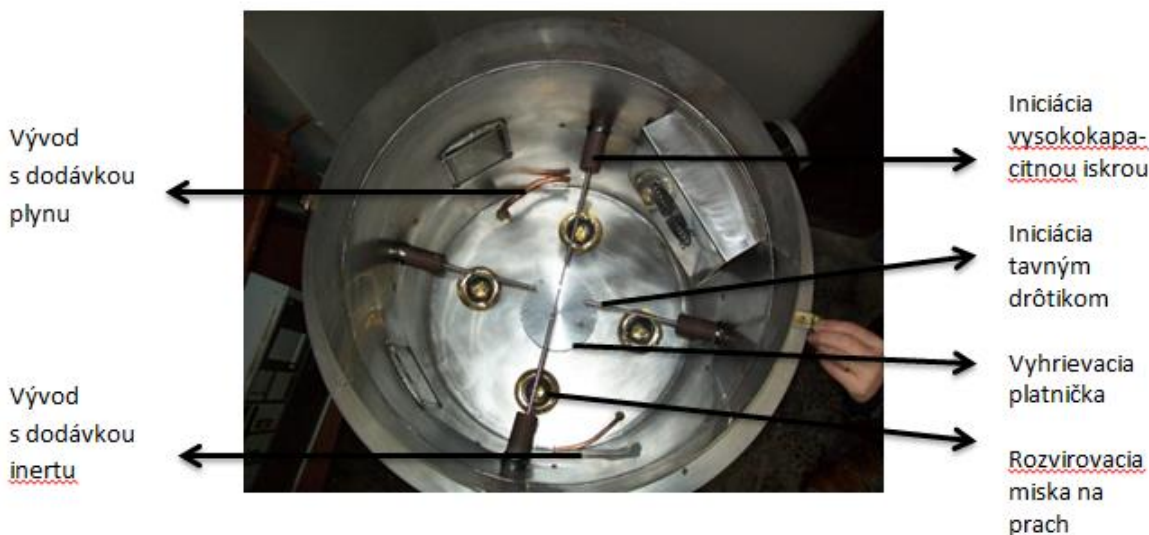
Etanol – horľavá kvapalnina			
Mólová hmotnosť (g.mol <sup>-1</sup> )		46,07	
Hustota (kg.m <sup>-3</sup> )		789,42	
Teplota (°C)		20	
Objem výbuchového priestoru (m <sup>3</sup> )		0,1	
Dolná medza výbušnosti (obj. %)	Objem pár (m <sup>3</sup> )	Objem HK (ml)	Hmotnosť HK (g)
0,5	0,0005	1,21	0,958
0,6	0,0006	1,46	1,149

Dolná medza výbušnosti (obj. %)	Objem pár (m <sup>3</sup> )	Objem HK (ml)	Hmotnosť HK (g)
0,7	0,0007	1,70	1,341
0,8	0,0008	1,94	1,532
0,9	0,0009	2,18	1,724
1	0,0010	2,43	1,915
1,1	0,0011	2,67	2,107
1,2	0,0012	2,91	2,298
1,3	0,0013	3,15	2,490
1,4	0,0014	3,40	2,681
1,5	0,0015	3,64	2,873

Na základe výpočtov sme získali uvedenú Tab. 13.

**Tab. 13** Vypočítané potrebné množstvo  $V_{kvap}$  pre stanovenie LEL horľavej kvapaliny etanolu

Počet meraní	$V_{kvap}$ (ml)	Objem pár vo VK (m <sup>3</sup> )	Hmotnosť kvapaliny (g)	LEL (obj.%)
1.	9,46	0,0039	7,470	3,9
2.	9,22	0,0038	7,278	3,8
3.	8,98	0,0037	7,087	3,7



**Obr. 20** Vnútorný priestor VK 100 s vyhrievacou platničkou a iniciátorom s tavným drôtikom pre experiment určenia dolnej medze výbušnosti pár horľavých kvapalín

**Tab. 14** Vyhodnotenie experimentálneho stanovenie dolnej medze výbušnosti horľavých kvapalín

Číslo merania	Množstvo horľavej látky etanol [ml]	LEL [obj.%]	Výsledky skúšky P-pozitív. N-negatív				
			Číslo pokusu				
			1.	2.	3.	4.	5.
1.	9,46	3,9	P	P	P	P	P
2.	9,22	3,8	P	P	P	P	P
3.	8,98	3,7	P	P	P	P	P
4.	8,73	3,6	P	P	P	P	P
5.	8,49	3,5	P	N	N	P	N
6.	8,25	3,4	N	N	N	N	N
7.	8,01	3,3	N	N	N	N	N
8.	7,76	3,2	N	N	N	N	N

**Po ukončení experimentov:**

1. Odtiahnutie VK 100 spod odvodu povýbuchových splodín.
2. Odstráňte zvyšky papierovej clony zodvihnutím príruby.
3. Dohaste prípadné zvyšky horľavej kvapaliny a vyberte nádobu , kde bola horľavá kvapalina.
4. Na regulačnej skrini prepnite tlačidlo „ 1“ , hlavný vypínač, do polohy „0“, zhasne „19“ kontrolné svetlo.
5. Odpojte zásuvku výbuchovej komory VK 100 s elektrickou zásuvkou 230 V.

**3. 6. Koncentrácie hybridnej zmesi a jej dolná medza výbušnosti**

**Názov metodiky:** Vplyv zvýšeného obj. % plynu na dolnú medzu výbušnosti horľavých prachov

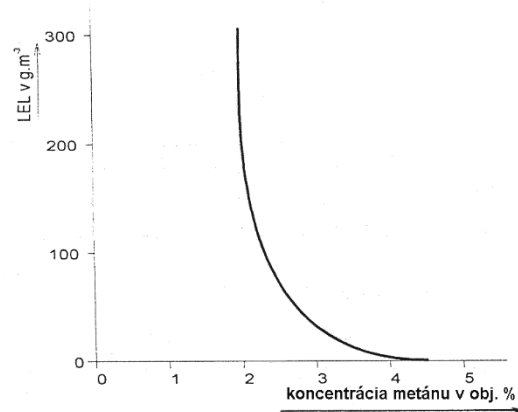
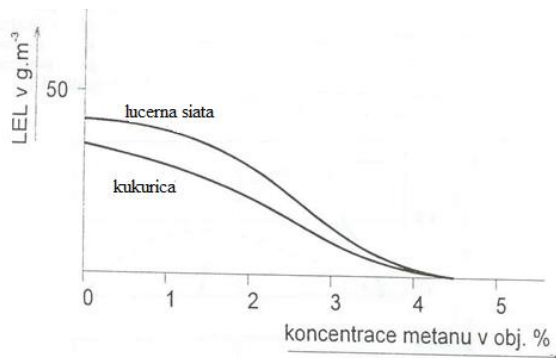
**Princíp metódy:** Metodika vychádza zo stanovenia dolnej medze výbušnosti horľavých prachov a postupným pridávaním obj. % plynu.

**Cieľ merania:** Stanovenie vplyvu zníženia dolnej medze výbušnosti zvyšovaním koncentrácie obj. % plynu

**Vzorky:** horľavý prach, horľavý plyn

**Skúšobné zariadenie a pomôcky:** výbuchová komora VK 100, nitrocelulóza, iniciačný zdroj, vzduchový kompresor, laboratórne váhy s presnosťou váženia na 0,01 g, termočlánok.

**Definícia:** Už malé množstvo horľavého plynu alebo pary horľavej kvapaliny veľmi prudko zníži dolnú medzu výbušnosti zmesi horľavého prachu alebo aerosolu horľavej kvapaliny so vzduchom. K výbuchu môže dôjsť aj vtedy, ak nie je dosiahnuté dolnej medze výbušnosti ani prachovzduchovej ani plynovzduchovej zmesi. Obr. 21 zobrazuje vplyv prímеси metánu na dolnú medzu výbušnosti poľnohospodárskych prachov.

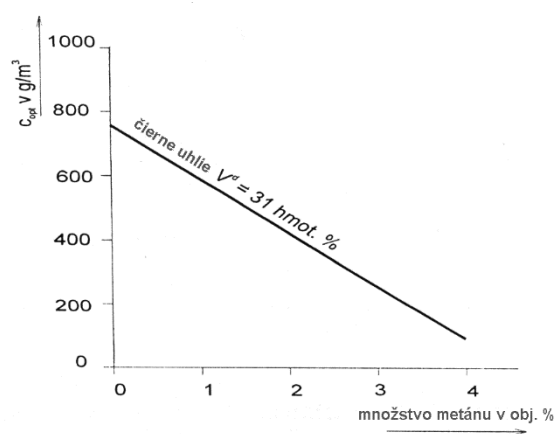
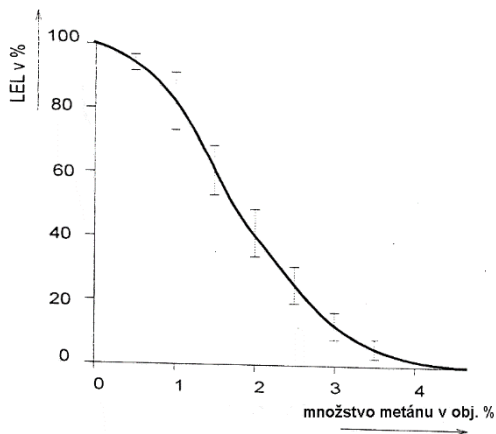


Obr. 21 Vplyv prímеси metánu na dolnú medzu výbušnosti poľnohospodárskych prachov [9]

Obr. 22 Vplyv prímеси metánu na správanie sa nevýbušného typu čierneho uhlia – antracit [9]

Taktiež prachy, ktoré pri štandardných podmienkach nie sú výbušné, sa stávajú výbušnými pri malou prímеси plynu. Na obr. 22 je uvedený príklad uhoľného prachu antracitu s nízkym obsahom prchavej horľaviny, ktorý nie je výbušný ani pri 1,5 obj. % metánu. Pri 3 obj. % sa však táto hybridná zmes chová ako veľmi výbušná, vzhľadom na to že dolnú medzu má už pod hodnotou  $40 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Pridanie malého množstva horľavého plynu alebo pary horľavej kvapaliny (pod dolnou medzou výbušnosti) významne mení výbuchové parametre prachovzuchovej zmesi. Maximálne výbuchové parametre sa zvyšujú, doná medza výbušnosti, minimálna iniciačná energia a optimálna koncentrácia sa prudko znižujú. Obr. 23 a Obr. 24.



Obr. 23 Percentuálny pokles pôvodnej hodnoty dolnej medze výbušnosti dvadsiatich rôznych druhov čierouhoľných prachov s prídanim nízkeho množstva metánu. Zvislé úsečky znázorňujú smerodajné odchýlky [9]

Obr. 24 Vplyv prímеси metánu na hodnotu optimálnej koncentrácie prachu čierneho uhlia [9]

**Výsledok:** Výsledkom je tabuľkové a grafické zobrazenie hybridnej zmesi, vplyv zvyšujúceho sa obj. % plynu a znižujúcu sa dolnú medzu výbušnosti.

### 3. 7. Inertné plyny a inertné prachy a ich vplyv na dolnú medzu výbušnosti

**Názov metodiky:** Inertizácia výbušných zmesí horľavých plynov a horľavých pár so vzduchom plynnými inertmi

**Cieľ merania:** Stanovenie medznej koncentrácie kyslíka pre výbušných zmesí horľavých plynov a horľavých pár so vzduchom plynnými inertmi

Najčastejšie v praxi používaným inertným plynom je dusík ( $N_2$ ) a oxid uhličitý ( $CO_2$ ). Pridaním dusíka sa vo vzduchu bude zvyšovať pomer dusíka ku kyslíku a to spôsobí rýchly pokles minimálnej iniciačnej energie a maximálnych výbuchových parametrov. Pri dosiahnutí medznej koncentrácie kyslíka (LOC) zmes nemožno zapáliť štandardnou energiou 10 J. Vyššia energia však túto zmes už zapáli. Vychádza sa zo skutočnosti, že s výnimkou tzv. triviálnych iniciačných zdrojov ako sú plameň, elektrický oblúk a pod. je energetický obsah v praxi sa vyskytujúcich energetických zdrojov nižší ako 10 J.

**Názov metodiky:** Inertizácia výbušných zmesí horľavých prachov plynnými inertmi

**Norma:** STN EN 14034-4 + A1: 2011 (38 9684), Stanovenie vlastností zvráteného prachu pri výbuchu Časť 4 Stanovenie medznej koncentrácie kyslíka (MKK) vo zvrátenom prachu (Konsolidovaný text) [17].

**Princíp merania:** Metóda experimentálne stanovuje medzné koncentrácie kyslíka v zmesi prachu so vzduchom a inertným plynom. Hraničná koncentrácia kyslíka je maximálna koncentrácia kyslíka v zmesi prachu so vzduchom a inertným plynom, pri ktorej nemôže dôjsť k výbuchu prachu. Meranie medznej koncentrácie kyslíka tvorí základ pre ochranu proti výbuchu pomocou "inertizácia". Skúšobná metóda stanovuje medzné koncentrácie kyslíka rozvráteného prachu v uzavretej nádobe za definovaných počiatkových podmienok tlaku a teploty.

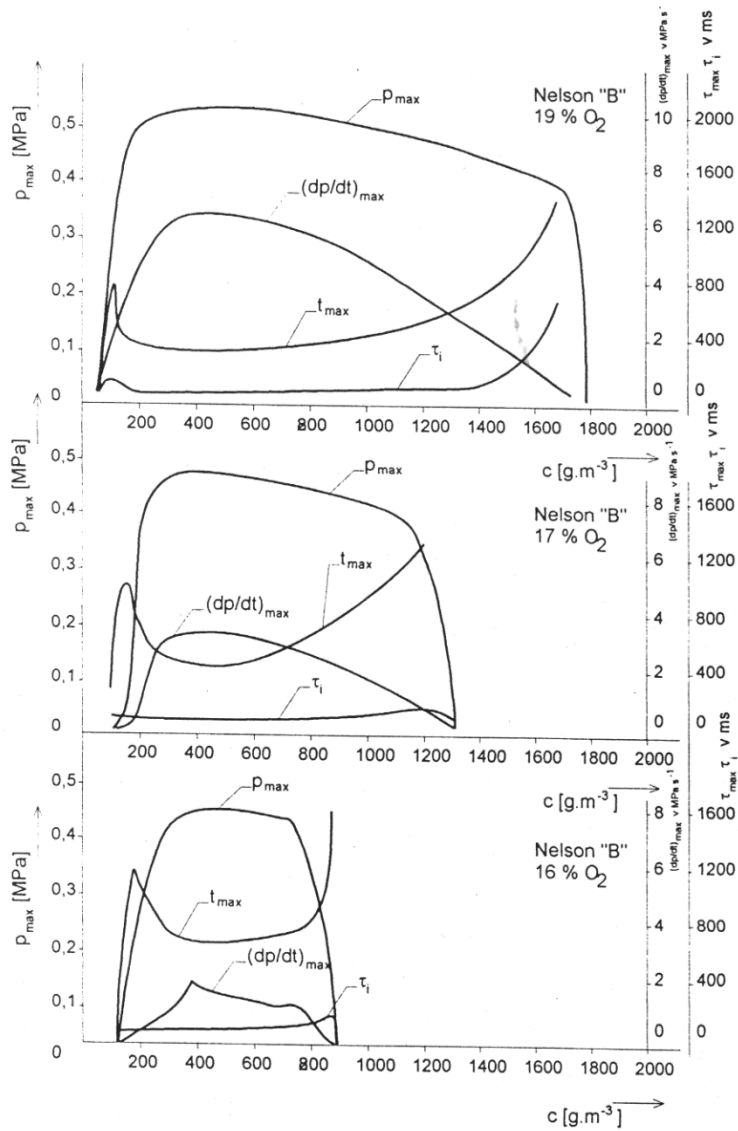
**Cieľ merania:** Stanovenie medznej koncentrácie kyslíka výbušných zmesí horľavých prachov plynnými inertmi

Plynnými inertmi je možné inertizovať tiež horľavé prachy. Na Obr. 25 sú znázornené výbuchové charakteristiky hnedouhoľného prachu pri rôznom obsahu kyslíka v atmosfére pri inertizácii oxidom uhličitým. Na obrázku je vidieť postupné uzatváranie výbuchového poľa (rozsahu výbušnosti), pokles maximálnych výbuchových parametrov a posun optimálnej

koncentrácie k nižším hodnotám pri znižovaní obsahu kyslíka vo výbušnej atmosfére. Na Obr. 26 je potom znázornené celé výbuchové pole. Pri horľavých prachoch sa s poklesom obsahu kyslíka v atmosfére dolná medza výbušnosti prakticky nemení, zatiaľ čo horná medza výbušnosti prudko klesá. Medzný obsah kyslíka je preto nutné hľadať pri dolnej medze výbušnosti. Aj tu sa teda prejavuje dusiaci efekt inertu oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) [9].

Tak ako je tomu pri plynoch a parách horľavých kvapalín, tak aj pri horľavých prachoch je medzná koncentrácia kyslíka (LOC) závislá na druhu inertného plynu a od druhu horľavého prachu. Pri použití oxidu uhličitého ako inertného plynu sú namerané hodnoty LOC vyššie ako pri použití dusíka. Medzná koncentrácia kyslíka klesá so stúpajúcou teplotou a so zvyšujúcim sa počiatočným tlakom. Pre praktické použitie inertizácie prostredia s nebezpečenstvom výbuchu priemyselných prachov je nutné presné stanovenie LOC pre daný inertný plyn. Prachy ľahkých kovov môžu reagovať s inertnými plynmi  $\text{CO}_2$  aj  $\text{N}_2$ . V týchto prípadoch je nutné použiť k inertizácii vzácne plyny [9]. Orientačné hodnoty medznej koncentrácie kyslíka (LOC) horľavých prachov pri inertizácii dusíkom uvádza Tab. 15.

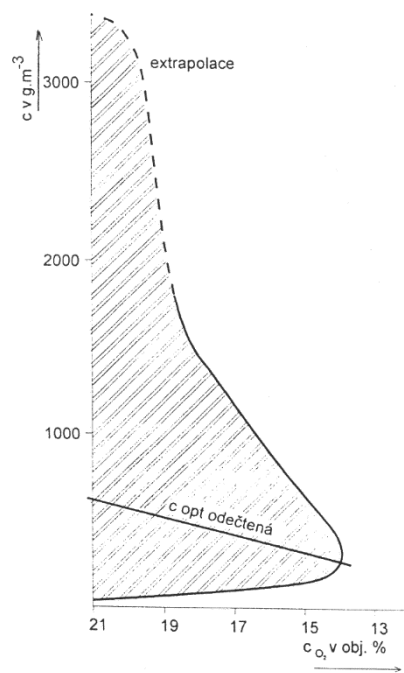




Obr. 25 Inertizácia výbušnej zmesi hnedouhoľného prachu so vzduchom oxidom uhľíťým [9]

Tab. 15 Orientačné hodnoty LOC inertizácie dusíkom pre horľavé prachy [9]

Druh horľav. prachu	LOC (obj. %)	Druh horľav. prachu	LOC (obj. %)
Čierne uhlie	14	Metylcelulóza	10
Hnedé uhlie	12	Polyetylén	10
Organický pigment	12	Celulóza	9
Sadze	12	Kukuričný škrob	9
Živica	10	Paraformaldehyd	6
Drevo	10	Hliník	5



**Obr. 26** Inertizácia zmesi hnedouhoľného prachu so vzduchom inertným plynom oxidom uhličítým [9]

**Názov metodiky:** Inertizácia výbušných zmesí horľavých prachov inertnými prachmi

**Norma:** STN EN 14034-4 + A1: 2011 (38 9684), Stanovenie vlastností zvráteného prachu pri výbuchu Časť 4 Stanovenie medznej koncentrácie kyslíka (MKK) vo zvrátenom prachu (Konsolidovaný text) [17].

**Princíp merania:** Metóda experimentálne stanovuje medzné koncentrácie kyslíka v zmesi prachu so vzduchom a inertným plynom. Hraničná koncentrácia kyslíka je maximálna koncentrácia kyslíka v zmesi prachu so vzduchom a inertným plynom, pri ktorej nemôže dôjsť k výbuchu prachu. Meranie medznej koncentrácie kyslíka tvorí základ pre ochranu proti výbuchu pomocou "inertizácia". Skúšobná metóda stanovuje medzné koncentrácie kyslíka rozvráteného prachu v uzavretej nádobe za definovaných počiatočných podmienok tlaku a teploty.

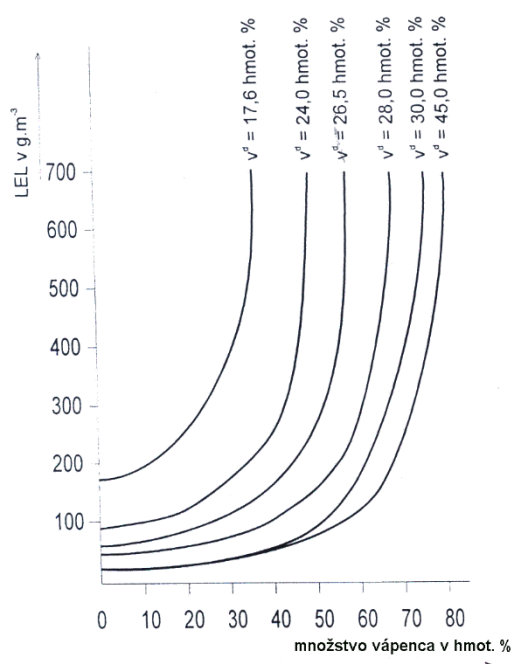
**Cieľ merania:** Stanovenie medznej koncentrácie kyslíka výbušných zmesí horľavých prachov inertnými prachmi

Nevýbušnosť je možné dosiahnuť pridaním inertných práškov do výbušnej atmosféry. Základným predpokladom je rovnomerné rozptýlenie prachových častíc v celom chránenom priestore.

**Názov metodiky:** Inertizácia výbušných zmesí horľavých plynov a horľavých pár so vzduchom inertnými prachmi

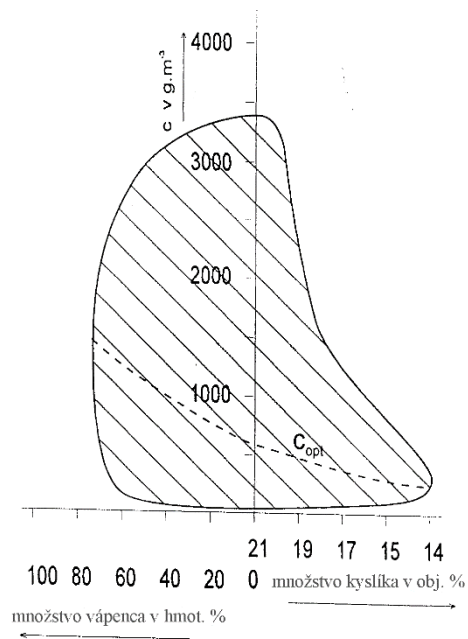
**Cieľ merania:** Stanovenie medznej koncentrácie kyslíka výbušných zmesí horľavých plynov a horľavých pár so vzduchom inertnými prachmi

V priestore prítomnosť rozvírených častíc inertného prachu znižuje výbušnosť zmesí horľavých plynov a pár horľavých kvapalín. Pričom inertizačný účinok závisí od druhu prachu a od druhu výbušnej zmesi. Množstvo inertného prachu potrebného na dosiahnutie nevýbušnosti je prirodzene závislé taktiež na výbušnosti horľavého prachu. Na Obr. 27 je znázornené ako s rastúcim obsahom prachovej horľaviny  $V^d$  ( a teda s rastúcou výbušnosťou) klesá dolná medza výbušnosti uhlia, rozširuje sa oblasť výbušnosti a zväčšuje sa potrebné množstvo inertného prachu na dosiahnutie nevýbušnosti [9].



**Obr. 27** Rozšírenie výbuchovej oblasti s rastúcou výbušnosťou uhol'ného prachu (s rastúcim obsahom prchavej horľaviny  $V^d$ ) [9]

Porovnanie koncentračných oblastí výbušnosti je znázornené na Obr. 28. Spôsob uzatvárania výbuchového poľa (ovplyvnené hornou a dolnou medzou výbušnosti) je rozdielny. Pri inertizácii plynom (oxidom uhličitým) sa jedná o dusivý efekt a pri inertizácii pevným inertom (vápencom, bentonitom) je to bariérový efekt. Rozdielnym spôsobom sa s rastúcim množstvom inertnej látky mení optimálna koncentrácia. Zatiaľ čo pri inertizácii plynným inertom optimálna koncentrácia s rastúcim obsahom inertu klesá a medzný obsah kyslíka je nutné hľadať pri dolnej medze výbušnosti, pri inertizácii pevným inertom optimálna koncentrácia s rastúcim obsahom inertu rastie a medzný obsah je nutné hľadať v strede rozsahu výbušnosti [9].



**Obr. 28** Porovnanie výbuchových oblastí pri inertizácii plynom oxidom uhličítým a vápencovým inertným prachom [9]

**Výsledok:** Výsledkom je tabuľkové a grafické zobrazenie a preukázanie, že v uzavretom priestore s horľavými plynmi a prachmi možno pridaním inertných plynov a prachov znížiť obsah oxidačného prostriedku a dosiahnuť tak nevíbušnosť.

**4. Technicko-bezpečnostné parametre vybraných vzoriek priemyselných prachov**

K vymedzeniu stavových hodnôt pre vybrané horľavé prachy v technologických prevádzkach platia technicko-bezpečnostných parametre uvedené v Tab. 16.

**Tab. 16 Technicko-bezpečnostné parametre vybraných základných vzoriek priemyselných prachov [2]**

Názov horľavého prachu	Dolná medza výbušnosti ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )		Teplota vznietenia v usadenom stave		Teplota vznietenia v rozvírenom stave		Minimálna iniciačná energia		Výbuchové parametre			Rýchlosť šírenia horen. po vrstve usadeného prachu (s)	
	A stav	B stav	( $^{\circ}\text{C}$ )	(s)	( $^{\circ}\text{C}$ )	(ms)	(J)	( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	$p_{\max}$ (MPa)	$(dp/d\tau)_{\max}$ ( $\text{MPa}\cdot\text{s}^{-1}$ )	$C_{\text{opt}}$ ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )	A stav	B stav
Čierne uhlie	46	4	450	2580	560	1020	2,55	1083	0,64	12,19	500		
Hnedé uhlie		30	136	2280	490	1190	0,21	500	0,58	9,66	500		14,7
ABS polymér	26	22	347	600	455	1251	0,088	667	0,65	9,33	600	3	1
Polyesterový prach (70%)	20	18	258	2100	475	1528	0,52	500	0,61	5,98	1000	1	1
Aspirín (čistý)	90	36	440	900	560	1493	0,021	333	0,78	17,3	600	10	9
2-naftol	22	18	450	120	630	1353	0,062	667	0,72	13,0	600	1	1
Sušené mlieko polotučné		36	220	4800	450	679	>10		0,66	3,34	400		6
Cukor	36	36	320	1500	420	510	0,52	1000	0,82	9,4	1200	8	7
Drevný prach	34	30	203	4260	480	649	1,24	668	0,52	7,17	900	2	2
Kýmne droždie		46	260	3600	460	1139	1,24	917	0,71	5,05	800		12
Lucerna siata	80	68	245	1800	490	489	6,3	750	0,65	4,25	600	25	14
Kostná múčka	44	38	190	2400	460	1350	>10		0,48	2,6	800	7	5
Múka na pečenie	190	38	250	10200	480	561	0,77	833	0,39	2,34	500	18	15
Pazderie z ľanu	32	30	250	2400	530	610	7,61	417	0,57	5,77	1300	15	
Instantné kakao	300	110	300	1800	420		6,87	583				11	7
Prach chmeľu	74	72	174	2040	490	398	8,33	583	1,40	3,64	800	1	1
Hliník (Al) krupica	74	36	650	Neg.	850	201	>10		0,75	7,72	1300		21

Názov horľavého prachu	Dolná medza výbušnosti (g.m <sup>-3</sup> )		Teplota vznietenia v usadenom stave		Teplota vznietenia v rozvírenom stave		Minimálna iniciačná energia		Výbuchové parametre			Rýchlosť šírenia horen. po vrstve usadeného prachu (s)	
			(°C)	(s)	(°C)	(ms)			p <sub>max</sub>	(dp/dτ) <sub>max</sub>	C <sub>opt</sub>		
	A stav	B stav	(°C)	(s)	(°C)	(ms)	(J)	(g.m <sup>-3</sup> )	(MPa)	(MPa.s <sup>-1</sup> )	(g.m <sup>-3</sup> )	A stav	B stav
Zmes(dr.prach, polyester, drevo)	26	26	260	2700	460	1119	0,21	416	0,78	18,2	1200		
Polypropylénový prášok	28	26	360	300	410	2971	0,032	750	0,72	11,4	300-800	6	
Polystyrén Krasten	80		380	2400	500	1324	>10		0,47	2,74	1000	5	
Komaxit-epoxid. farba	34	20	355	720	475	1324	0,097	667	0,51	5,18	1000	8,8	
Fenolformaldehydová živica		40	170	1200	520	1734	0,52	916,6	0,77	15,0	600-1200		
Metylhydroxipropyl	20	20	202	2220	410	300	2,52	667	0,67	10,36	800	2,7	
2-kyan-4-nitranilín (farbivo)	26		300	900	540	900	0,032	667	0,71	10,10	1200	10	
Ostacetová červená		90	390	180	520	700	8,33	1333	0,67	5,13	1200		
Midlonová žltá	200	180	232	660	610		>10		0,57	3,89	600	18	
Versálová červená		36	410	900	640	1016	0,41	250	0,82	10,53	500		<1
Ketophenylhexazonum (liek)	14	14	450	300	550	1950	0,026	583	6,65	19,69	900	<1	<1
Amidopyrin (liek)	28	26	260	60	300	807	0,026	417	0,72	12,4	600	<1	<1
Sam (mydlový prášok)	700	56	370	1800	590	874	>10		0,58	4,37	600		35
Chlortoluron (k ochrane rastlín)		40	410	60	530	1260	0,097	1415	0,53	4,55	1000		<1

Hrozba vzniku požiaru a výbuchu sa vyskytuje v značnej miere v technológiách spojených s ťažbou a spracovaním hnedého uhlia. Pre bezpečnosť prevádzok spracujúcich hnedé uhlie je nutné poznať požiaro-technické charakteristiky prachu hnedého uhlia, ako je uvedené (Tab. 17) a dodržiavať podmienky právnych predpisov ohľadne protipožiarnej ochrany.

**Tab. 17 Požiaro technické charakteristiky prachu hnedého uhlia [2]**

Typ látky	Hnedé uhlie
Horľavá látka	<b>prach</b>
<b>Základné požiaro technické charakteristiky</b>	
Výhrevnosť (MJ.kg <sup>-1</sup> )	14,0
Sypná hustota (kg.m <sup>-3</sup> )	610
Teplota vzplanutia usadeného prachu (°C)	415
Teplota vznietenia usadeného prachu (°C)	587
Teplota žeravenia usadeného prachu (°C)	151
Stredná veľkosť zrna (mm)	0,025
Teplota vznietenia rozvíreného prachu (°C)	524
Dolná medza výbušnosti	
- Pri energii iniciácie 34,5 kJ	90 g.m <sup>-3</sup>
- Pri energii iniciácie 9 kJ	130 g.m <sup>-3</sup>
- Pri energii iniciácie 0,1 kJ	negatív.
Trieda požiaru – vhodné hasivo	A
<b>Ďalšie požiaro technické charakteristiky</b>	
Maximálny výbuchový tlak (MPa)	0,66
Maximálna rýchlosť narastania výbuchového tlaku (MPa.s <sup>-1</sup> )	19,1
Kubická konštanta K <sub>st,max</sub> (MPa.s <sup>-1</sup> )	12,0
Interval dosiahnutia max. rýchlosti nárastu výbuchového tlaku od iniciácie (ms)	50
Optimálna koncentácia (g.m <sup>-3</sup> )	500
Samovznietenie	stredne náchylný
Rýchlosť šírenia horenia po vrstve usadeného prachu v kyslíku (cm.s <sup>-1</sup> )	2,36
Minimálna iniciačná energia (J)	0,40

## LITERATÚRA

- [1] STN EN 1127-1:2012 Výbušné atmosféry. Prevencia a ochrana pred výbuchom. Časť 1: Základné pojmy a metodika
- [2] DAMEC, J., ŠIMADL, L. 2005. Laboratórni praktikum protivýbuchové prevence technologických procesu. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, s. 38. ISBN: 80-86634-57-4
- [3] DZURENDA, L. 2007. Sypká dřevná hmota, vzduchotechnická doprava a odlučovanie. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 182s., ISBN 978-80-228-1765-3.
- [4] STN ISO 3310-1: 2007 Skúšobné sitá. Technické požiadavky a skúšanie. Časť 1: Skúšobné sitá z kovovej tkaniny
- [5] LONGAUER, J., SUJOVÁ, E. 2002. Vybrané vlastnosti tuhých častí, Vedecké štúdie, 9/2000/A, Zvolen: TU vo Zvolene, 66s., ISBN 80-228-1022.
- [6] OSWALD, J. a kol. 1992. Manipulácia, doprava a dopravná technika. Bratislava: Príroda, 228 s.
- [7] HEJMA, J. et al. 1981. Vzduchotechnika v dřevospracovávajícím průmyslu. Praha: SNTL, 398 s.
- [8] EN ISO 23145-2: 2016 Jemná keramika (špeciálna keramika, špeciálna technická keramika) - Stanovenie objemovej hmotnosti keramických práškov - Časť 2: Sypná hmotnosť
- [9] DAMEC, J. 2005. Protivýbuchová prevencia, Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 188 str., ISBN 80-86111-21-0.
- [10] MRAČKOVÁ, E. 2010. Stanovenie dolnej medze výbušnosti 1 – butanolu vo výbuchovej komore VK 100 na TU vo Zvolene. In Řada bezpečnostní inženýrství: sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické Univerzity Ostrava. 2010. Ostrava: VŠB Technická univerzita Ostrava, 2010. ISBN: 978-80-248-2317-1
- [11] ŠVEC, P. 2017. Bezpečnostní list. PENTA s.r.o Nitrocelulóza (s obsahem dusíku do 12,6%) vlhčená isopropylalkoholem.
- [12] DAMEC, J., FIOŇEK, R., HANUŠ, A. 1993. Protivýbuchová prevence (návody na cvičení), Ostrava: VŠB Ostrava, 49 s.
- [13] STN EN 14034-3 + A1: 2012 (38 9684), Stanovenie vlastností zvířeného prachu pri výbuchu Časť 3 Stanovenie dolnej medze výbušnosti DMV zvířeného prachu (Konsolidovaný text)
- [14] BARTKNECHT, W. 1993. Staubexplosionen ablauf und Schutzmassnahmen. Berlin: Springer -Verlag Berlin.
- [15] KALOUSEK, J. 1999. Základy fyzikální chemie hořením, výbuchu a hašení. Ostrava: SPBI, 203 s. ISBN 80-86111-34-2.
- [16] STN EN 1839: 2017-06 (38 9722) Stanovovanie medzi výbušnosti plynov a pár
- [17] STN EN 14034-4 + A1: 2011 (38 9684), Stanovenie vlastností zvířeného prachu pri výbuchu Časť 4 Stanovenie medznej koncentrácie kyslíka (MKK) vo zvířenom prachu (Konsolidovaný text)