

Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství
se sídlem VŠB – Technická univerzita Ostrava

Laboratorní praktikum protivýbuchové prevence technologických procesů

doc. Ing. Jaroslav Damec, CSc.
Ing. Ladislav Šimandl

Obsah:

1	Příprava vzorku	1
2	Sítový rozbor	4
3	Stanovení sypné hustoty.....	6
4	Rychlost šíření hoření ve vrstvě usazeného prachu	7
5	Minimální teplota vznícení rozvířeného prachu	10
6	Minimální teplota vznícení usazeného prachu.....	14
7	Dolní mez výbušnosti rozvířeného prachu	18
8	Minimální iniciační energie	24
9	Maximální výbuchový tlak a maximální nárůst tlaku	29
10	Závěrečná tabulka kompletního rozboru TBP několika základních reprezentativních vzorků z oboru průmyslových prachů.....	36

1 Příprava vzorku

Název metodiky: **Příprava vzorku k měření**

Předmět metodiky: Úprava granulometrického složení vzorku vhodného k měření na jednotlivých přístrojích.

Příprava vzorku k měření:

Vzorky materiálu určené ke stanovení technicko-bezpečnostních parametrů se před měřením upravují tak, aby jejich složení bylo reprezentativní a velikost částic byla vhodná k měření. To se provádí sušením, drcením, mletím a tříděním.

1.1 Druhy vzorků

Hrubý vzorek:

Je vzorek v dodaném stavu. Charakterizuje vlastnosti dodaného prachového materiálu. Za jeho správný odběr a označení odpovídá zadavatel případně odběratel vzorku. Při přejímce vzorku se zkontroluje jeho řádné označení.

Laboratorní vzorek:

Připravuje se homogenizací hrubého, mletého nebo roztříděného vzorku. Je určen pro zkoušky na jednotlivých přístrojích. V provozním záznamu se uvede způsob přípravy laboratorního vzorku. Např.: Mletí, třídění na síť 0,63 mm a homogenizace.

Granulometrický stav P:

Je to původní dodaný vzorek, z něhož se případně odstraní zřejmě cizorodé částice (u sedimentovaných vzorků např. šrouby, kamínky, kousky papíru apod.). Je-li zapotřebí zmenšit hmotnost vzorku, provede se kvartace. Tzn. celé množství vzorku se vysype na hromadu do tvaru kužele, který se rovnoměrně stlačí do tvaru kruhové vrstvy. Vrstva se rozdělí na čtyři stejné kruhové výseče, z nichž se dvě protilehlé vyloučí. Podle potřeby se tato operace opakuje. Jestliže došlo při dopravě vzorku k aglomeraci zrn vzorku, vzorek se proseje přes síto s větší velikostí ok, než je velikost největšího zrna. Dále se vzorek homogenizuje vhodným způsobem. Svým granulometrickým složením se může blížit stavu A, nebo B.

Granulometrický stav A:

Připravuje se podle potřeby z laboratorního vzorku ve stavu P prosevem přes síto o velikosti ok 0,63 mm.

Granulometrický stav B:

Je to standardní stav laboratorního vzorku. Připravuje se mletím nebo tříděním vzorku ve stavu P nebo A. Musí obsahovat min. 90 % zrn menších než

0,063 mm. Vlhkost vzorku musí umožňovat jeho efektivní rozvíření. V opačném případě se vzorek musí předsoušet.

Granulometrický stav C:

Připravuje se ze vzorku ve stavu P nebo A mletím, nebo tříděním v případě, že nelze dostupnými postupy získat dostatečné množství vzorku ve stavu B.

Pro každý granulometrický stav vzorku se provádí stanovení síťového rozboru. Vlhkost vzorku se upravuje podle potřeby sušením při teplotě cca 75 °C (uhlí, zemědělské produkty), nebo při laboratorní teplotě do dosažení rovnováhy se vzdušnou vlhkostí. Hygroskopické vzorky se musí uchovávat tak, aby k nim neměla přístup vzdušná vlhkost. Podle požadavku je možné provádět měření vzorku o původní vlhkosti, případě lze vlhkost vzorku upravit podle požadavku. Hodnota vlhkosti vzorku se vždy uvádí.

1.2 Homogenizace

Homogenizace je operace zajišťující stejnorodost vzorku ve všech jeho částech. Homogenizovat je nutno všechny typů vzorků, neboť již při odběru, mletí nebo třídění vzorku může docházet k částečné separaci zrn podle velikosti. Z tohoto důvodu je nutné provádět homogenizaci po každé operaci, při které se mění granulometrické složení vzorků.

Homogenizace se může provádět:

1. Míchadlem v uzavřené nádobě.
2. Převalováním v uzavřené válcové nádobě naplněné max. do 1/2 objemu.
3. Přesypáváním lopatkou.
4. Protřepáváním v nádobě (malé hmotnosti).

Mletí vzorků: Provádí se u materiálů, které se v praxi vyskytují sice v kusovém nebo jiném hrubozrnném stavu, ale při jejich zpracování vzniká otěrem prach. Účelem mletí je získání vyššího podílu jemných částic ve vzorku. Způsob mletí se uvede v pracovním záznamu. Typ mlýnu se určí mlecí zkouškou.

Třídění vzorků: Provádí se u vzorků, které nelze vůbec (termoplasty, pryž) nebo nedostatečně mlet na dostupných mlýnech. Také u vzorků, u kterých je žádoucí vyseparovat jemné částice vznikající při technologických procesech. Je třeba uvažovat, že při třídění heterogenních směsí může dojít k částečné separaci jejich složek.

Třídění se provádí na síťovém tříděči přes jedno nebo více sít, na kterých se vzorek rozdělí na jednotlivé frakce. Množství vzorku se volí takové, aby nedošlo k přetížení síta (vzorek obtížně propadává), nebo k jeho poškození. Čím je větší oko síta, tím více vzorku se může na něj vložit. Konec prosévání se zkontroluje ručně se stejným sítem o průměru 200 mm. Doba síťování je obvykle 5-10 minut.

Do provozního záznamu se uvede velikost oka síta, na kterém bylo třídění provedeno, případně skutečnost, že zjevně došlo k separaci částic vzorku o různém složení.

Připravený vzorek se důkladně zhomogenizuje, provede se síťový rozbor a označí se jeho granulometrický stav (P, A, B, C). případně se vyjádří slovně (původní, < 0,16 mm a pod.)

2 Síťový rozbor

Název metodiky: **Stanovení zrnitosti síťovým rozbořem**

Normy: Stanovení vychází z norem určené k stanovení zrnitosti síťovým rozbořem

Princip měření: Prosévání vzorku přes síta o známé velikosti ok.

Cíl měření: Zjištění rozdělení zrn vzorku v rozmezí 0,04 mm až 6,3 mm.

Zkušební zařízení:

1. Sada sít o průměru 200 mm – např. 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

Vzorek: Ke stanovení se používá vzorek s minimální vlhkostí, která ještě nezpůsobuje sdružování zrn vzorku a jeho lepení na síta.

Postup stanovení:

1. Vzorek s vysokým obsahem zrn nad 0,5 mm.

Odváží se 1 kg vzorku s přesností 5 g, který se ručně prosévá přes síta 1 mm, 1,6 mm, 2,5 mm, 4 mm a 6,3 mm.

2. Vzorek s předpokládaným podílem zrn do 20 % nad 0,63 mm.

Odváží se 100 g vzorku s přesností 0,1 g, který se mírným podtlakem, případě za pomoci štěťce, prosévá postupně přes síta o velikosti ok 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. Vzorek s předpokládaným podílem zrn do 20 % nad 0,1 mm. Odváží se 10 g vzorku s přesností 0,01 g, který se mírným podtlakem, případě za pomoci štěťce, prosévá postupně přes síta o velikosti ok 0,04 mm, 0,063 mm, 0,10 mm, 0,16 mm a 0,40 mm.

Výsledek: Výsledkem je procentuální podíl zrn, které jsou zadrženy na daném a větších sítach (nadsítne). Naměřené hodnoty se zapíší do pracovního záznamu s vyznačením střední velikosti zrna (velikost zrna, kdy je 50 % nadsítneho).

Přesnost měření:

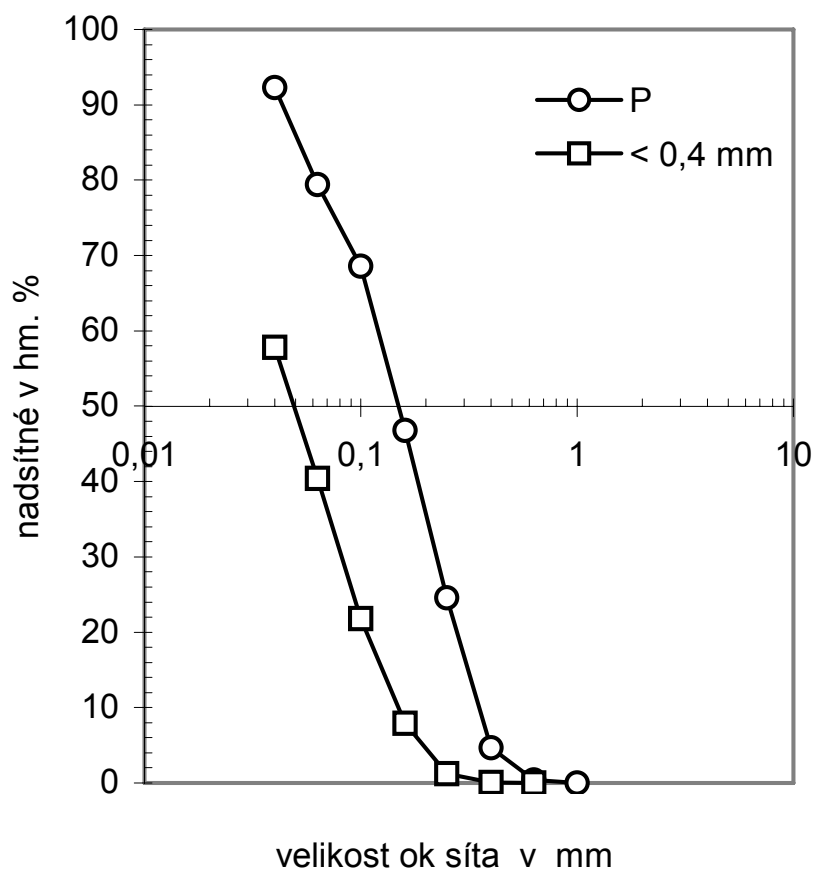
- Hrubé vzorky: 0,5 %
- Střední a jemné vzorky: 0,2 %

Měřící rozsah: 0,04 mm až 6,3 mm

Příklad měření a jeho vyhodnocení je uveden v tabulce 2.1 a na obrázku 2.1.

Tabulka 2.1 Příklad stanovení zrnitosti

Granulometrický stav	P	< 0,4 mm
Síto (mm)	nadsítné (hm.%)	nadsítné (hm.%)
0,040	92,3	57,8
0,063	79,4	40,4
0,10	68,6	21,8
0,16	46,8	7,9
0,25	24,6	1,2
0,40	4,7	0,1
0,63	0,4	0
1,0	0	
střední velikost zrna (mm):	1,06	0,05



Obr. 2.1. Příklad stanovení zrnitosti

3 Stanovení sypné hustoty

Název metodiky: **Stanovení sypné hustoty**

Normy: Metodika vychází z ČSN EN 725-8

Princip metody: Stanoví se hmotnost známého objemu prášku po jeho volném nasypání do odměrného válce.

Cíl měření: Stanovení sypné hustoty.

Zkušební zařízení a pomůcky: Váhy, odměrný válec

Vzorek: Pro stanovení sypné hustoty se používá vzorek s částicemi menšími než 0,063 mm. Je možné použití i jiného vzorku, vždy však pouze s uvedením síťové analýzy.

Pracovní postup:

Zváží se odměrný válec. Do válce se nasype vzorek pod horní rysku odměrného válce. Válec se opět zváží. Opatrným setřesením se zarovná povrch prachu a odečte se objem. Zkouška se 3x opakuje.

Definice: Sypná hustota prachu je jeho hmotnost na jednotku objemu při volném nasypání bez setřesení.

Vyjádření výsledků: Sypná hustota S.h. je udána vzorcem

$$S.h. = (m_1 - m_0) / V$$

kde

- m_0 hmotnost prázdného odměrného válce v gramech,
- m_1 hmotnost odměrného válce naplněného prachem v gramech,
- V objem prachu ve válci v cm^3 .

Vypočítá se sypná hustota v g/cm^3 a pak se převede na kg/m^3 . Ze tří výsledků se vypočte průměr, který se zaokrouhlí na desítky kg/m^3 .

Nejistota měření:

20 kg/m^3

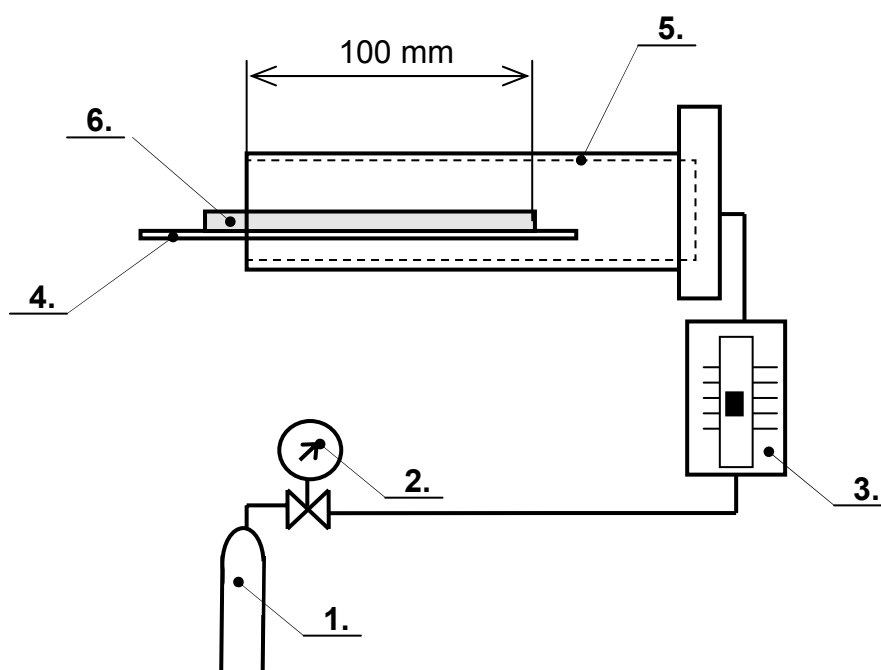
4 Rychlost šíření hoření ve vrstvě usazeného prachu

Název metodiky: Stanovení rychlosti šíření hoření ve vrstvě usazeného prachu v kyslíku

Princip měření: Měří se čas, za který se proti proudu kyslíku přenesse hoření po vrstvě prachu na určitou vzdálenost. Z naměřeného času a vzdálenosti se vypočítá rychlost šíření hoření.

Cíl měření: Změření rychlosti hoření usazeného prachu.

Zkušební zařízení a pomůcky:



1. Tlaková láhev O₂
2. Redukční ventil
3. Průtokoměr + regulátor průtoku
4. Podložka pod vzorek
5. Křemenná trubice např.o průměru 25 mm +/- 0,5 mm
6. Vzorek

Pomůcky: Stopky, forma na vzorek, síto o velikosti ok 0,5 mm.

Vzorek: Ke stanovení se používá vzorek v granulometrickém stavu:

- A s propadem sítem o velikosti ok 0,5 mm,
- B minimálním propadem 90 % sítem 0,063 mm,
- C s uvedením sítové analýzy.

Pracovní postup: Měření se provádí ve dvou modifikacích vždy 5x. Z výsledků se vypočítá průměrná hodnota, směrodatná odchylka a rychlost hoření.

a) Vrstva prachu cca 5 mm

Na kovové podložce se připraví pomocí formy vzorek prachu o půlkruhovém průřezu, výšky cca 5 mm a délky cca 120 mm. Na podložce jsou dvě značky vzdálené od sebe 100 mm. Průtok kyslíku se nastaví na $0,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ s přesností 3 mm na trubici průtokoměru (trubice R-01, plovák R-01 Al dutý, výška plováku 13 mm).

Podložka se vzorkem se vloží do trubice tak, že konec hraničky vzorku vyčnívá z trubice. Vzorek se zapálí a měří se čas, za který vzorek prohoří od jedné značky ke druhé.

b) Vrstva prachu cca 1 mm

Vzorek je proséván na podložku přes síto 0,5 mm, které je umístěno cca 1 mm nad podložkou. Vzorek se prosévá dokud se nezaplní otvory síta. Po zvednutí síta je na povrchu vzorku zřetelný vzorek síta - tento povrch velmi dobře napodobuje volně usazený prach. Na vrstvě prachu se stlačením vzorku hranou plechu vyznačí místo vzdálené 100 mm od konce vrstvy prachu. Podložka se vzorkem se vloží do trubice tak, že konec vzorku vyčnívá z trubice a vytlačená ryska je již v trubici. Průtok kyslíku se nastaví na $0,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Vyčnívající konec vzorku se zapálí. Při přechodu čela hoření přes vytlačenou rysku dojde ke zpomalení hoření a po jejím překonání k opětovnému zvýšení rychlosti hoření. V tomto okamžiku začíná měřit čas do doby dosažení hoření konce vzorku.

Výsledek

Z naměřených hodnot se sestaví tabulka s uvedením průměrné hodnoty naměřeného času, směrodatné odchylky a rychlosti hoření. Výsledkem je průměrná rychlost hoření.

Nejistota měření: 20% z rychlosti hoření.

Měřící rozsah:

- čas - více než 1 s,
- rychlost hoření - do $10 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Vyhodnocení výsledků: Slovně se vyhodnocuje měření 1 mm vysoké vrstvy prachu.

v - rychlost hoření v $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$	hodnocení
v větší než $10 \text{ cm}\cdot\text{s}$	velmi dobře šíří požár
v od 1 do $10 \text{ cm}\cdot\text{s}$	dobře šíří požár
v do $1 \text{ cm}\cdot\text{s}$	šíří požár
v = $0 \text{ cm}\cdot\text{s}$	vzorek v podmínkách zkoušky nehoří

Příklad měření a jeho vyhodnocení je uveden v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1. Příklad měření rychlosti hoření ve vrstvě prachu.

Podmínky	Jednotka	Granulometrický stav	
		B	B
Výška vrstvy	(mm)	5	1
Délka vrstvy	(mm)	100	100
1.měření	s	21,5	4,4
2.měření	s	21,1	4,3
3.měření	s	21,4	4,3
4.měření	s	22,0	4,1
5.měření	s	20,7	4,1
průměr	s	21,3	4,2
směrodatná odchylka	s	0,4	0,1
rychlost šíření hoření	cm.s⁻¹	0,47	2,36

Hodnocení: Vzorek dobře šíří požár.

5 Minimální teplota vznícení rozvířeného prachu

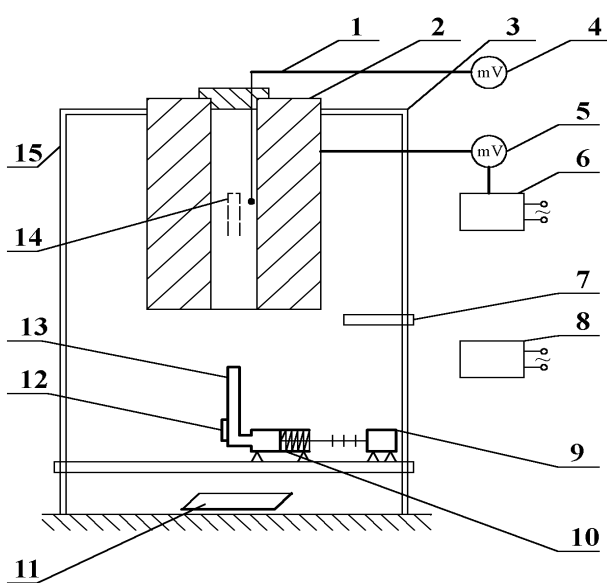
Název metodiky: Stanovení minimální teploty vznícení rozvířeného prachu

Princip měření: Do vertikální válcové pece se rozvíří vzorek. Měří se čas, za který se vzorek vznítí plamenem od počátku rozvíření při dané teplotě. Hledá se minimální teplota pece při níž se vzorek vznítí.

Cíl měření:

1. Stanovení minimální teploty vznícení rozvířeného prachu.
2. Stanovení závislosti mezi teplotou a indukční dobou vznícení - τ_i (čas od rozvíření vzorku do jeho vznícení).

Zkušební zařízení a pomůcky:



1. Termočlánek
2. Pec
3. Vodící tyč
4. Milivoltmetr
5. Milivoltmetr
6. Autotransfómátor
7. Zarážka
8. Čítač impulsů
9. Indukční spínač
10. Pumpička
11. Zrcadlo
12. Fotonka
13. Rozvířovací dýza
14. Pracovní poloha rozvířovače
15. Vodící tyč

Popis zařízení:

Zařízení se skládá z válcové vertikální pece o vnitřních rozměrech: průměr 60 mm, výška 200 mm. Teplota pece je regulovatelná min. do teploty 800 °C. Celá pec je umístěna na stojanu v odvětrávaném boxu.

K měření teploty se používá termočlánek, který je umístěn v cca 1/2 výšky pece u její stěny. Vyhodnocení teploty je prováděno přístrojem Therm 3280-6 (ovládání viz manuál výrobce).

Na stojanu pece je umístěna zarážka s aretací, která určuje výšku zasunutí rozvířovací trysky do pece (nastavena na 100 mm +/- 5 mm) a spouští rozvířovací zařízení:

Na jezdcí pohyblivém po stojanu pece je umístěno rozvířovací zařízení a čidla ovládající čítač.

Rozviřovací zařízení se skládá ze vzduchové pumpičky o vnitřním průměru 32,5 mm ovládané perem a rozviřovací trysky. Pumpička se spouští zdvižením jezdců do pece nárazem na zarážku. Objem rozviřovacího vzduchu je možné nastavit ve čtyřech stupních po 6 mm (tj. objem 5, 10, 15, 20 cm³). Pro měření je nastaven 1. stupeň t. j. 5 cm³. Rozviřovací tryska je našroubována na trubce a má tvar válcového mezikruží jehož hloubka a je regulovatelná a je nastavena na minimální objem, který se zcela vyplňuje vzorkem (25 mg ± 10 mg dle sypné hmotnosti vzorku). Podle potřeby je možné měnit objem rozviřovacího vzduchu a množství vzorku.

Měření indukční doby vznícení je provedeno spínačem, který dává signál ke spuštění hodin, a který je aktivován chodem pumpičky. Hodiny zastaví signál z fotonky (Tesla WK 650 36 HN), která reaguje na plamen zapáleného vzorku. Čítač má citlivost 1 ms s rozsahem do 8 s. Maximální zpoždění časového obvodu od začátku chodu pumpičky do zastavení čítače je 9 ms (minimální naměřená indukční doba vznícení). Zplodiny hoření jsou z pece odstraněny vyfoukáním.

Vzorek:

Ke stanovení se používá vzorek s částicemi menšími než 0,063 mm, případně jiný, vždy s uvedením síťové analýzy.

Pracovní postup:

Pec se vyhřeje na 800 °C a poté se napájení pece sníží na cca 50 V. Odšroubuje se rozviřovací dýza, do které se nasype vzorek. Natáhne se pumpička (při opačném postupu, kdy se nejdříve dá vzorek do dýzy a pak se natáhne pumpička, dojde k částečnému vniknutí vzorku do pumpičky a tím se následně zmenší množství rozviřené vzorku) a vynuluje se čítač tlačítkem NULA. Odečte se teplota pece. Rozviřovací dýza se zasune do pece po zarážku. Tím dojde k rozviření vzorku a spuštění čítače (děj v peci se sleduje přes zrcátko). Rozviřovací dýza se vysune z pece a odečte se hodnota indukční doby vznícení. Pec se vyfouká od zplodin hoření a pokračuje se novou zkouškou.

Při teplotách blízkých minimální teplotě vznícení dochází k případu, že intenzita plamene je nižší než citlivost fotonky, která takový plamen nezaregistruje a čítač nevypne. Proto se vznícení pozoruje také vizuálně přes zrcadlo. V případě vznícení a nezaregistrování indukční doby se do záznamu zapíše HOŘÍ. V případě, že vznikají pouze jednotlivé jiskry, považuje se výsledek zkoušky za negativní. Měření při nejvyšší teplotě při níž ještě nedošlo ke vznícení vzorku se provádí minimálně dvakrát.

Výsledek:

Z naměřených hodnot se sestaví tabulka a graf. Výsledkem je minimální teplota vznícení prachu a jí odpovídající indukční doba vznícení. Nemá-li při min. teplotě vznícení naměřena indukční doba uvede se čas naměřený při nejbližší vyšší teplotě s poznámkou indukční doba větší než ..

Nejistota měření: teplota: 20 °C
indukční doba vznícení: 20 %

Měřicí rozsah:

teplota do 800 °C
indukční doba do 8000 ms

Vyhodnocení výsledků:

Teplota vznícení do 400 °C vzorek je velmi vznětlivý
Teplota vznícení od 400 do 600 °C vzorek je vznětlivý
Teplota vznícení od 600 do 800 °C vzorek je obtížně vznětlivý
Teplota vznícení nezměřitelná vzorek není vznětlivý do teploty 800 °C
Indukční doba vznícení se slovně nehodnotí

Příklad měření a jeho vyhodnocení viz tab. č. 5.1.

Tabulka 5.1. Naměřené hodnoty

teplota prostředí	ind. doba vznícení	teplota prostředí	ind. doba vznícení	teplota prostředí	ind. doba vznícení
T (°C)	τ_i (s)	t (°C)	τ_i (s)	t (°C)	τ_i (s)
800	0,087	610	0,134	420	0,307
790	0,146	600	0,14	410	0,325
780	0,105	590	0,156	400	H
770	0,086	580	0,149	390	H
760	0,097	570	0,219	380	H
750	0,102	560	0,212	370	H
740	0,098	550	0,175	360	H
730	0,105	540	0,193	350	neg.
720	0,111	530	0,208	345	neg.
710	0,119	520	0,198	355	neg.
700	0,127	510	0,201	358	H
690	0,111	500	0,198		
680	0,171	490	0,251		
670	0,16	480	0,215		
660	0,139	470	0,235		
650	0,143	460	0,238		
640	0,139	450	0,23		
630	0,135	440	0,272		
620	0,149	430	0,326		

6 Minimální teplota vznícení usazeného prachu

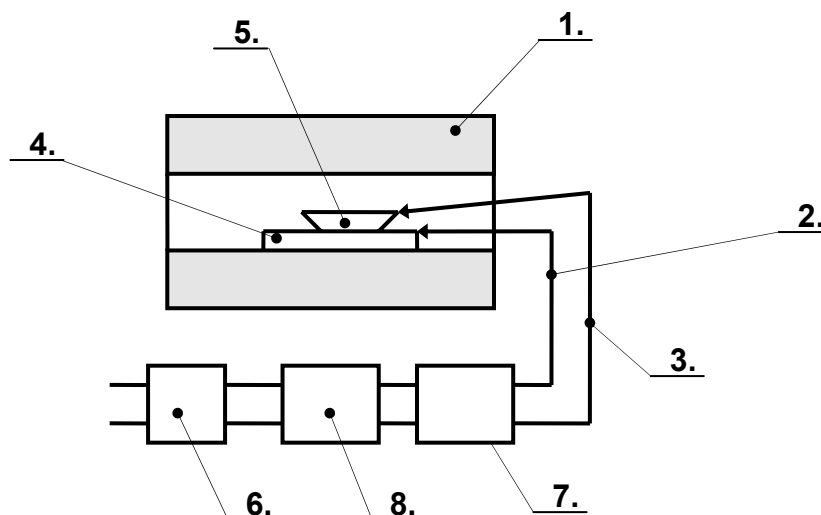
Název metodiky: Stanovení minimální teploty vznícení usazeného prachu

Princip měření: Na vyhřátou podložku o známé teplotě je vložen vzorek. Vizualně se sleduje doba od vložení vzorku do jeho vznícení, žnutí nebo vzplanutí. Hledá se minimální teplota, při které se vzorek vznítí, žhne nebo vzplane.

Cíl měření:

1. Stanovení minimální teploty vznícení, žnutí nebo vzplanutí vzorku.
2. Stanovení závislosti mezi teplotou a indukční dobou vznícení, žnutí nebo vzplanutí - τ_i (čas od rozvíření vzorku do jeho vznícení, žnutí nebo vzplanutí)

Zkušební zařízení:



1. Pec
2. Termočlánek k měření teploty pece
3. Termočlánek k měření teploty vzorku
4. Kovová podložka
5. Miska se vzorkem
6. Regulátor příkonu pece
7. Studené (srovnávací) konce termočláнку
8. Bodový zapisovač

Pomůcky:

- Stopky.
- Termočlánek PtRh10-Pt.
- Registrační přístroj pro termočlánek.

Popis zařízení:

Horizontální pec s regulací teploty, ve které je železná vložka tvaru U na níž je ohraničená plocha pro hliníkovou podložku, na kterou se vkládá vzorek. Při stanovení teploty vzplanutí je nad Al podložkou ve výšce cca 3 cm plynový hořák s plamínkem cca 3 cm dlouhým.

Vzorek:

U prachu se ke stanovení se používá vzorek s částicemi menšími než 0,063 mm, případně jiný, vždy s uvedením síťové analýzy. U tuhých hmot se používají kousky podle možnosti.

Pracovní postup:

První měření se obvykle začíná při teplotě cca 600 °C. Po vyhřátí pece se na Al podložku položí svar termočlánek. Odečte se teplota. Na podložku se vloží vzorek (při stanovení teploty vzplanutí se nad vzorek přisune hořák s plamínkem) tak, aby byl svar termočlánek ve vzorku a spustí se stopky. Visuelně se sleduje chování vzorku. Jakmile se vzorek vznítí, žhne nebo vzplane – stopky se zastaví. Do záznamu se uvede teplota, indukční doba, případně chování vzorku (neg., taví se, odpařil se, puchne a zuhelnatí a pod.). Po měření se odstraní z podložky zbytky vzorku, podložka se umístí zpátky do pece, položí se na ni termočlánek a počká se, až se podložka vytemperuje. Potom je možno provést další zkoušku. Teploty se postupně snižují o cca 50 °C. V oblasti minimální teploty vznícení, žhnutí nebo vzplanutí se snižují po cca 10 °C. Jestliže se vzorek nevznítí do 15 min, je měření ukončeno. V záznamu se uvede teplota a poznámka nevzněcuje, nežhne nebo nevzplane.

Definice:

Teplota vznícení - je nejnižší teplota prostředí, při které dojde k samovolnému zapálení směsi plyných produktů rozkladu bez přítomnosti vnějšího zápalného zdroje.

Teplota žhnutí - je nejnižší teplota prostředí, při které dojde k trvalému žhnutí vzorku.

Teplota vzplanutí - je nejnižší teplota prostředí, při které dojde k působením vnějšího zápalného zdroje k zapálení směsi plyných produktů rozkladu.

Výsledek:

Z naměřených hodnot se sestaví tabulka a graf. Výsledkem je minimální teplota vznícení, žhnutí nebo vzplanutí a jí odpovídající indukční doba. Výsledkem je průměr mezi maximální teplotou s negativním výsledkem a minimální teplotou s pozitivním výsledkem. Tyto teploty se nemají lišit více než 10 °C.

Nejistota měření:

- teplota: 10 oC,
- indukční doba vznícení: 20%.

Měřicí rozsah:

- teplota do 600 oC,
- indukční doba do 15 min.

Vyhodnocení výsledků

Teplota vznícení nebo žhnutí do 150 °C

Teplota vznícení nebo žhnutí od 150 do 300 °C

Teplota vznícení nebo žhnutí nad 300 °C

Teplota vznícení nebo žhnutí nenalezena

vzorek je velmi vznětlivý

vzorek je vznětlivý

vzorek je obtížně vznětlivý

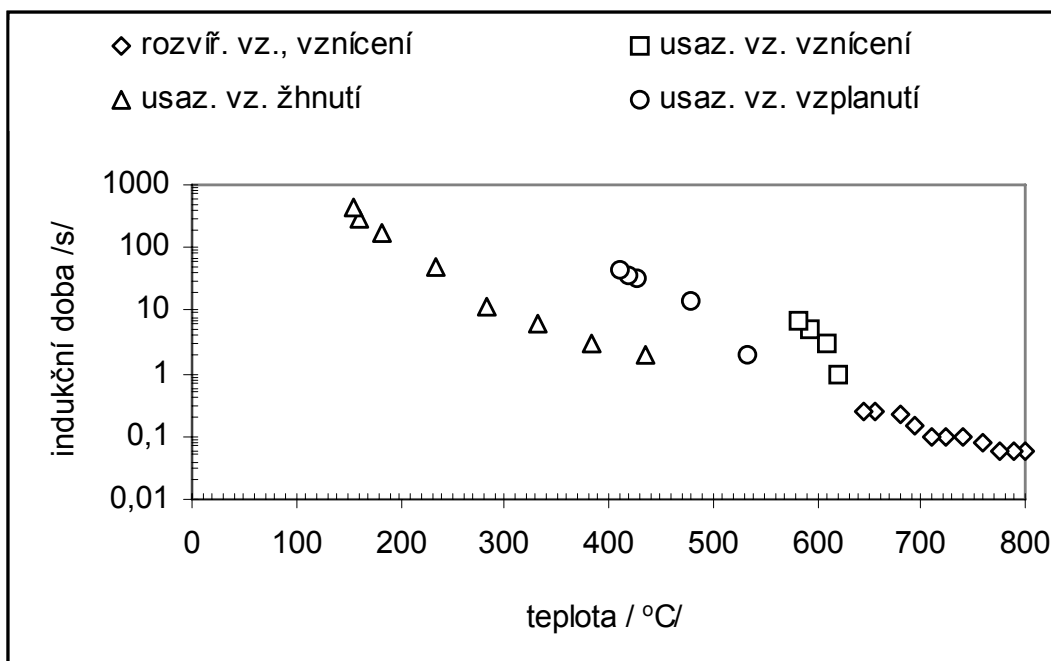
vzorek není vznětlivý do teploty 600 °C

Indukční doba vznícení se slovně nehodnotí.

Příklad měření a jeho vyhodnocení je uveden v tabulce 6.1, 6.2. a na obr. 6.1.

Tabulka 6.1. Příklad měření minimální teploty vznícení, žhnutí a vzplanutí prachu v usazeném stavu a vznícení v rozvířeném stavu.

Rozvířený prach, vznícení		Usazený prach, vznícení		Usazený prach, žhnutí		Usazený prach, vzplanutí	
teplota prostředí	ind.doba vznícení	teplota prostředí	ind.doba vznícení	teplota prostředí	ind.doba žhnutí	teplota prostředí	ind.doba vzplanutí
T	τ_i	T	τ_i	t	τ_i	t	τ_i
(°C)	(s)	(°C)	(s)	(°C)	(s)	(°C)	(s)
800	0,057	620	1	593	< 1	590	< 1
790	0,057	610	3	544	< 1	534	2
775	0,058	592	5	499	< 1	480	14
760	0,076	583	7	435	2	427	33
740	0,101	575	neg.	383	3	420	37
725	0,101			333	6	410	43
710	0,102			284	11	402	neg.
695	0,148			234	49	396	neg.
680	0,221			181	163		
656	0,252			160	300		
645	0,247			154	458		
639	neg.			148	nežhne		
632	neg.			142	nežhne		



Obr. 6.1. Příklad měření minimální teploty vznícení, žhnutí a vzplanutí prachu v usazeném stavu a vznícení v rozvířeném stavu.

Tabulka 6.2. Příklad měření minimální teploty vznícení, žhnutí a vzplanutí prachu v usazeném stavu a vznícení v rozvířeném stavu.

Teplota vznícení rozvířeného prachu	642 °C
Teplota vznícení usazeného prachu	579 °C
Teplota žhnutí usazeného prachu	151 °C
Teplota vzplanutí usazeného prachu	406 °C

Hodnocení: Vzorek je vznětlivý

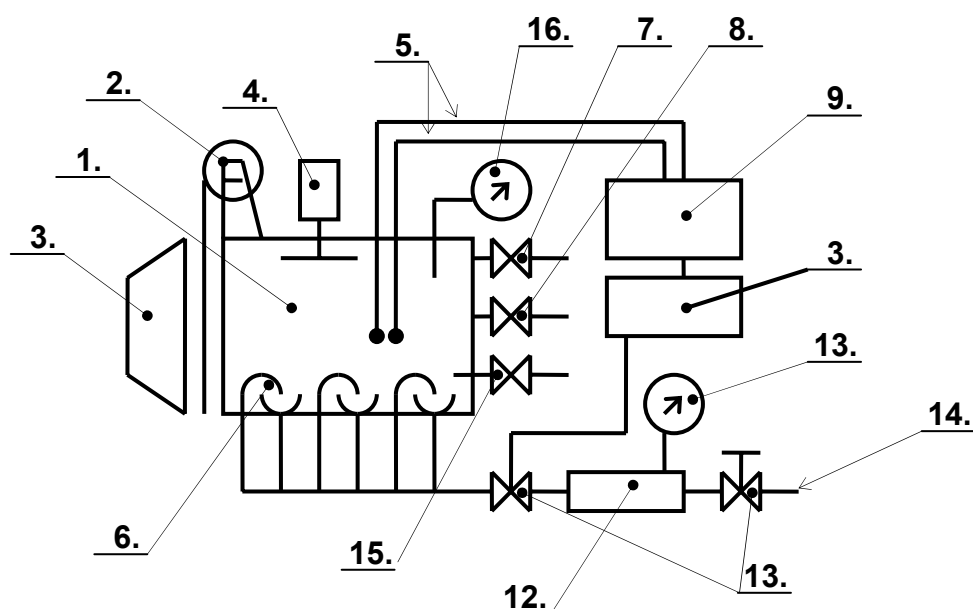
7 Dolní mez výbušnosti rozvířeného prachu

Název metodiky: Stanovení dolní meze výbušnosti rozvířeného prachu

Princip měření: Disperzní soustava prach-vzduch je iniciována zdrojem o známé energii. Z napětí vyvolaného na termočlánku umístěném uvnitř výbuchové komory a z vizuálního posouzení velikosti plamene při různé koncentraci prachu je stanovena dolní mez výbušnosti.

Cíl měření: Zjišťuje se minimální koncentrace prachu ve vzduchu, při níž dojde k šíření výbuchu ve směsi prachu se vzduchem při dané energii iniciace.

Zkušební zařízení:



1. Výbuchová komora

2. Role papíru

3. Výběh zplodin

4. Ventilátor

5. Elektrody

6. Rozvířovače

7. Ventil k úpravě atmosféry

8. Ventil k odběru vzorku

9. Zdroj 14 V, 10 A

10. Časovací zařízení

11. Elektro-pneumatické ventily

12. Zásobník rozvířovacího vzduchu

13. Manometr

14. Přívod tlakového vzduchu

15. Čistící tryska

16. Milivoltmetr

Pomůcky: Váhy, nitrocelulóza, poniklovaný železný drát.

Popis zařízení:

VK-250 se skládá z krychlové výbuchové komory a ovládacího zařízení (viz závěrečná zpráva úkolu 16 201 Ovládací zařízení).

Výbuchová komora je umístěna na podvozku. Ve spodní části je iniciační transformátor a pneumatické rozvody. V horní části je samotná výbuchová komora o objemu 0,25 m. Jedna její stěna je průhledná pro visuelní sledování děje uvnitř komory při zkoušce. Další stěna je otevřená a uzavírá se papírovou clonou. Při zkoušce je výbuchová komora přisunuta k zděnému boxu, ve kterém se zachycují zbytky prachu po zkoušce. Zděný box je odvětráván ventilátorem a jištěn proti přetlaku, který v něm může vzniknout po výbuchu, pojistnou klapkou.

Na dně komory je sedm miskových rozvířovačů, do kterých je přiváděn rozvířovací vzduch z boku dna a zároveň shora na vzorek prachu.

Uprostřed komory jsou dvě elektrody pro uchycení iniciačního zdroje.

Iniciační zdroj tvoří 1,0 g nitrocelulózy (+/- 0,05 g), která je zabalena v tenkém papíru (používají se kruhové výseče spořiče tabáku). Iniciačním zdrojem je provlečen poniklovaný železný drát (používá se přívodní vodič).

Zapaluje se elektrickým impulsem, který rozžhaví poniklovaný železný drát a od něho se zapálí nitrocelulóza. Nízko energetickým zdrojem je samotný železný drátek (energie iniciace $E_i =$ cca 0,1 kJ).

U stropu komory je termočlánek Feko, na kterém vzniká v důsledku uvolněného tepla při výbuchu napětí, registrované na milivoltmetru s paměti maximální hodnoty.

Vzorek:

Ke stanovení se používá vzorek s částicemi menšími než 0,063 mm, případně jiný, vždy s uvedením síťové analýzy.

Pracovní postup:

Do rozvířovačů se nasype navážka vzorku, podle tabulky rozvířovacích podmínek se nastaví stupeň rozvířování a zpoždění iniciace. Mezi elektrody se připevní iniciační zdroj. Volná stěna komory se překryje papírovou membránou, která se upevní dvířky. Membrána se na dolním okraji prořízne (aby v komoře nevznikal přetlak přivedením vzduchu) a komora se přisune ke zděnému boxu. Vynuluje se mV-metr a zásobník rozvířovacího vzduchu se natlakuje podle tabulky podmínek. Stlačením tlačítka ODPAL se přivede do rozvířovačů nastavené množství rozvířovacího vzduchu, a tím dojde k rozvíření vzorku, a po uplynutí nastavené doby zpoždění iniciace automaticky dojde k zapálení iniciačního zdroje. Přitom se vizuálně sleduje velikost plamene v komoře. Po dosažení maximální hodnoty napětí se tato odečte na mV-metru a vynesou do grafu pro zkoušenou koncentraci. Potom se komora vyčistí tlakovým vzduchem od zbytků prachu.

Další zkoušky se provádí při nové koncentraci prachu tak, aby naměřenými body zakreslenými v grafu šla proložit křivka. Z křivky se odečte koncentrace odpovídající napětí 1,5 mV, což je hledaná hodnota dolní meze výbušnosti.

Hodnota 1,5 mV pro dolní mez výbušnosti, byla stanovena na základě zkušenosti. Při této hodnotě se plamen začíná rozšiřovat, tzn., že se uvolňuje více tepla, než kolik bylo vloženo iniciačním zdrojem.

V případě většího rozptylu naměřených hodnot pro jednotlivé koncentrace prachu se zkoušky i vícekrát opakují, aby se dala naměřenými body proložit křivka co nejpřesněji. (Platí zvláště pro vzorky obsahující větší částice, nebo pro vzorky obtížně rozvířitelné - lepivé apod.). Jestliže není naměřena hodnota 1,5 mV do koncentrace prachu 630 g.m^{-3} , prach je nevýbušný. Dolní mez výbušnosti se stanovuje při energii iniciace 9 kJ a 4,5 kJ.

U vzorků majících dolní mez výbušnosti menší než 100 g.m^{-3} se stanovuje dolní mez výbušnosti také při energii iniciace $E_i = 0,1 \text{ kJ}$.

Definice: Dolní mez výbušnosti prachu je taková koncentrace prachu ve vzduchu, kterou lze danou iniciační energií zapálit, přičemž plamen má tendenci se rozšiřovat (Uvolňuje se stále více energie).

Rozvířovací podmínky:

- Tlak vzduchu 0,4 MPa
- Doba rozvířování 0,1 s
- Zpoždění iniciace po rozvíření 0,1 s

Navážky viz tabulka 7.1.

Ke zkouškám se volí koncentrace prachu v krocích $c_{n+1} / c_n = 1,12$ a jím odpovídajícím navážkách. Koncentrace i navážky jsou zaokrouhleny. Smyslem této řady koncentrací je její rovnoměrné rozložení v logaritmické stupnici.

Tabulka 7.1. Tabulka navážek

Koncentrace (g.m ⁻³)	Navážka (g)	Koncentrace (g.m ⁻³)	Navážka (g)
10	2,5	112	28
11,2	2,8	125	31,5
12,5	3,15	140	36
14	3,6	160	40
16	4,0	180	45
18	4,5	200	50
20	5,5	225	56
22,5	5,6	250	63
25	6,3	280	71
28	7,1	315	80
31,5	8,0	360	90
36	9,0	400	100
40	10,0	450	112
45	11,2	500	125
50	12,5	560	140
56	14,0	630	160
63	16,0		
71	18,0		
80	20,0		
90	22,5		
100	25,0		

Vážení se provádí do navážky 10 g s přesností 0,05 g, od 10 do 50 g s přesností 0,1 g a vyšší navážky s přesností 0,5 g.

Výsledek:

Z naměřených hodnot se sestaví graf o souřadnicích x - koncentrace (logaritmická), y - napětí v mV (lineární). Z maximálních hodnot naměřených pro jednu koncentraci se lineární regresí vypočte koncentrace pro hodnotu napětí 1,5 mV (která byla zvolena dle vizuálních pozorování jako hodnota, při níž je dosaženo dolní meze výbušnosti). Zároveň se vypočte koeficient korelace, který by neměl být menší než 0,95.

Nejistota měření: 20 % dolní meze výbušnosti

Měřicí rozsah:

- iniciační energie: (0,1 – 9) kJ,
- Koncentrace: do 630 g.m⁻³.

Vyhodnocení výsledků:

Vzorek je při energii iniciace $E_i = \dots$ kJ velmi výbušný, je-li dolní mez výbušnosti menší než 40 g.m^{-3} .

Vzorek je při energii iniciace $E_i = \dots$ kJ výbušný, je-li dolní mez výbušnosti od 40 do 200 g.m^{-3} .

Vzorek je při energii iniciace $E_i = \dots$ kJ obtížně výbušný, je-li dolní mez výbušnosti vyšší než 200 g.m^{-3} .

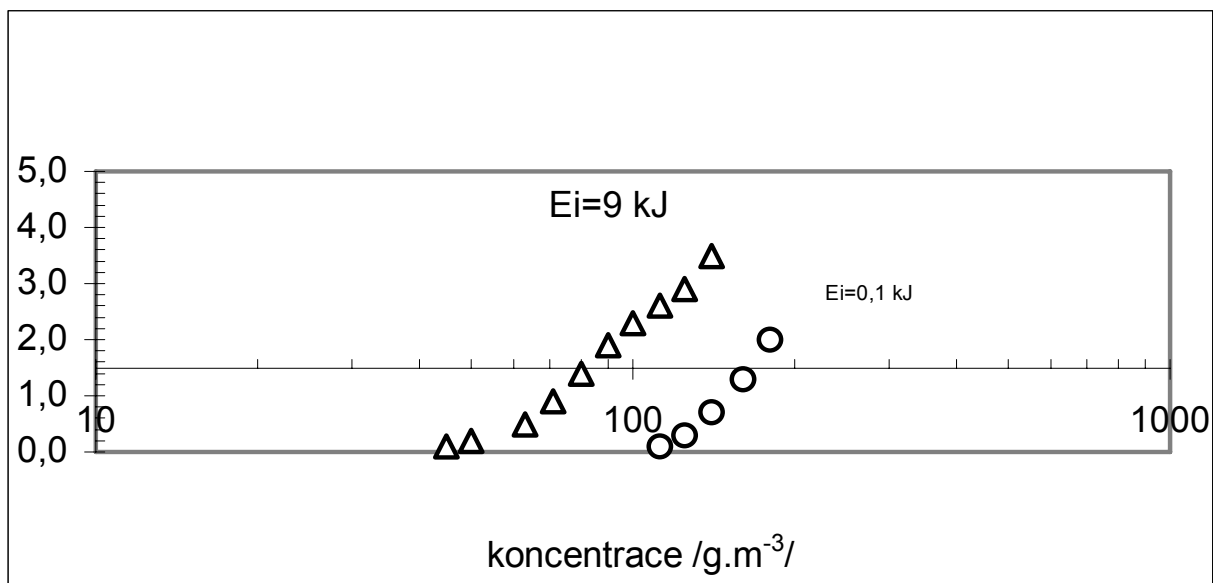
Vzorek do energie iniciace $E_i = \dots$ kJ není výbušný, nelze-li nalézt dolní mez výbušnosti

Příklad měření a jeho vyhodnocení je uveden v tabulce 7.2, 7.3. a na obr. 7.1.

Tabulka 7.2. Příklad měření a vyhodnocení.

Gran. stav:	B	B
Koncentr. (g.m^{-3})	$E_i=9 \text{ kJ}$ (mV)	$E_i=0,1 \text{ kJ}$ (mV)
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

* Nejistota měření - korelační koeficient



Obr. 7.1. Příklad měření a vyhodnocení

Vyhodnocení:

Tabulka 7.2. Vyhodnocení měření spodní meze výbušnosti LEL.

E (kJ)	9	0,1
LEL (g.m ⁻³)	81	163

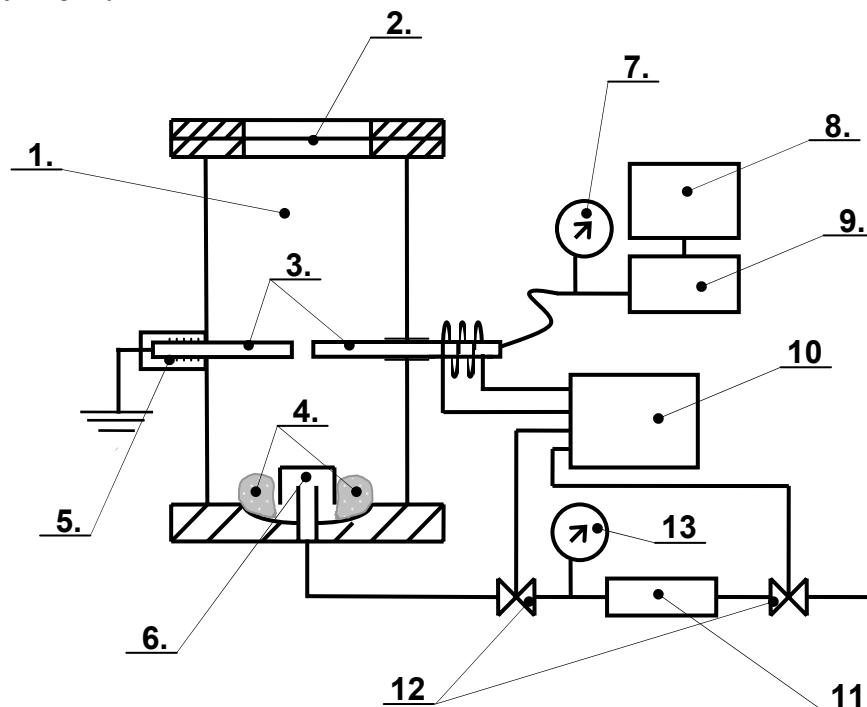
8 Minimální iniciační energie

Název metodiky: **Stanovení minimální iniciační energie vznícení rozvířeného prachu**

Princip měření: Rozvířený prach o známé koncentraci je iniciován elektrickou jiskrou o známé energii.

Cíl měření: Hledá se minimální energie jiskry, která zapálí rozvířený prach. Jako doprovodná hodnota je odpovídající koncentrace prachu, kterou nazýváme optimální.

Zkušební zařízení:



Vysvětlivky:

1. Výbuchový válec z organického skla
2. Průtržná papírová membrána
3. Pohyblivé elektrody
4. Vzorek
5. Mikrometrický šroub
6. Rozvířovač prachu
7. Přesný vysokonapěťový voltmetr
8. Zdroj vysokého napětí
9. Baterie kondenzátorů
10. Řídící obvod rozvířování a iniciace
11. Zásobník stlačeného vzduchu
12. Elektromagnetické ventily
13. Manometr

Popis zařízení:

Zařízení se skládá z výbuchové komory, vysokonapěťové, elektronické, pneumatické a mechanické části, jejichž detailní popis je uveden v přílohách závěrečné zprávy úkolu 16 151 Metodika stanovení vlivu zápalné energie na meze výbušnosti prachu.

Výbuchová komora je vertikální plexisklový válec o objemu cca 1,25 l opatřený přírubami a ovládaný pneumaticky. Ve spodní třetině je umístěno jiskřiště skládající se ze dvou elektrod. Uzemněná elektroda je regulovatelná mikrometrickým šroubem, druhá elektroda je pod napětím a je pohyblivá pomocí elektromagnetu. K vybití kondenzátoru na jiskřišti dojde při přitažení elektrod k sobě na menší vzdálenost, než je přeskoková vzdálenost (cca 0,4 mm). Tato vzdálenost se nastavuje pomocí měrky posouváním uzemněné elektrody.

Na dně komory je miskový rozviřovač. Rozviřování se provádí tlakovým vzduchem. Jiskra nastane vybitím kondenzátoru, který se nabíjí až 10 kV VN zdrojem. Ovládací zařízení umožňuje nastavení tlaku rozviřovacího vzduchu, doby rozviřování a zpoždění iniciace po rozvíření podle stanovených podmínek.

Vzorek:

Ke stanovení se používá vzorek s částicemi menšími než 0,063 mm, případně jiný, vždy s uvedením síťové analýzy.

Pracovní postup:

Ke zkouškám se volí koncentrace prachu v krocích $c_{n+1}/c_n = 1,12$ a jím odpovídajícím navážkách. Koncentrace i navážky jsou zaokrouhleny. Smyslem této řady koncentrací je její rovnoměrné rozložení v logaritmické stupnici. Do rozviřovače se nasype odvážený vzorek. Podle tabulky rozviřovacích podmínek se nastaví tlak rozviřovacího vzduchu, doba rozviřování a zpoždění iniciace. Uzavřou se dvířka zařízení (chrání před nebezpečným dotykem VN tím, že při jejich otevření dojde k odpojení zdroje VN a zkratování kondenzátorů) a sklopí se výbuchový válec.

Podle tabulky přepočtu energie se přepínačem připojí příslušný kondenzátor, zapne se VN zdroj a nastaví příslušné napětí.

Při stlačení ODPALU dojde k rozvíření vzorku a vybití kondenzátoru na jiskřišti formou elektrostatické jiskry. Visuálně se sleduje výsledek zkoušky. Pozitivní výsledek je při zapálení prachovzduchové směsi, přičemž plamen musí mít tendenci se šířit. Negativní výsledek je tehdy, nedojde-li k zapálení směsi vůbec, nebo se vytvoří malý kulový plamen v oblasti jiskřiště, který se dále nešíří. Výsledek zkoušky (pozitivní, negativní) se zapíše. Na zdroji VN se sníží napětí na 0 a zdroj VN se vypne. Výbuchový válec se vyfouká stlačeným vzduchem, zvedne se a elektrody ve výbuchové válci se vyčistí. Tím je přístroj připraven k další zkoušce.

Měření se začíná obvykle při koncentraci 400 g.m^{-3} při energii jiskry podle předpokládané vznětlivosti vzorku. Při negativním výsledku se zvyšuje energie jiskry až do 40 J. Při pozitivním výsledku se snižuje energie jiskry až do dosažení negativního výsledku.

Pro každý koncentrační krok se hledá minimální iniciační energie vznícení tak, aby mezi pozitivním a negativním výsledkem byl rozdíl jednoho kroku velikosti energie podle tabulky energií.

Při negativním výsledku opakujeme měření ve všech čtyřech kombinacích rozvířovacích podmínek daných pro měřenou koncentraci. Jestliže se alespoň při jedné zkoušce vzorek vznítí, sníží se energie o jeden krok a pokračuje se v měření.

Definice: Minimální iniciační energie je velikost energie, která ještě zapálí prachovzduchovou směs při jakékoliv koncentraci prachu.

Rozvířovací podmínky a používané navážky jsou uvedeny v tabulce 8.1.

Tabulka 8.1. Rozvířovací podmínky a navážky.

Navážka = objem výbuchové komory x koncentrace

Koncentrace (g.m^{-3})	Navážka (g)	Doba rozviř. (ms)	Zpoždění iniciace (ms)
100	0,13	63, 100	100, 160
160	0,20	80, 125	100, 160
250	0,31	100, 160	100, 160
400	0,50	125, 200	100, 160
630	0,80	160, 250	100, 160
1000	1,25	200, 315	100, 160
1600	2,00	250, 400	100, 160
2500	3,13	315, 500	100, 160

Vážení se provádí s přesností 0,02 g.

Iniciační energie se vypočte podle vztahu:

$$E = 1/2.C.U^2$$

kde

- E energie iniciačního zdroje v J,
- C kapacita zdroje v μF ,
- U napětí zdroje v kV.

Kapacity kondenzátorů jsou uvedeny v tabulce 8.2 a nastavení používaných energií je uvedeno v tabulce 8.3.

Tabulka 8.2. Kapacity kondenzátorů.

Kondenzátor	Kapacita v μF
C1	0,963
C2	0,258
C3	0,0985
C4	0,0505
C5	0,0121
C6	0,00258

Tabulka 8.3. Iniciační energie

C1		C2		C3		C4		C5		C6	
E	U	E	U	E	U	E	U	E	U	E	U
(J)	(kV)	(J)	(kV)	(J)	(kV)	(J)	(kV)	(J)	(kV)	(J)	(kV)
40	9,1	2,5	4,4	0,63	3,6	0,25	3,2	0,16	5,1	0,040	5,6
25	7,2	1,6	3,5	0,40	2,8			0,10	4,1	0,025	4,4
16	5,7	1,0	2,8					0,063	3,2	0,016	3,5
10	4,6									0,010	2,8
6,3	3,6										
4,0	2,9										

Výsledek:

Výsledkem je nejnižší naměřená energie, při které došlo k zapálení vzorku v celém oboru měřených koncentrací. Nebyla-li minimální iniciační energie nalezena, uvede se $E_{\min} > 40 \text{ J}$.

Nejistota měření: 25 %.

Měřicí rozsah:

- Iniciační energie 0,01 - 40 J
- Koncentrace: 100 - 2500 g.m⁻³

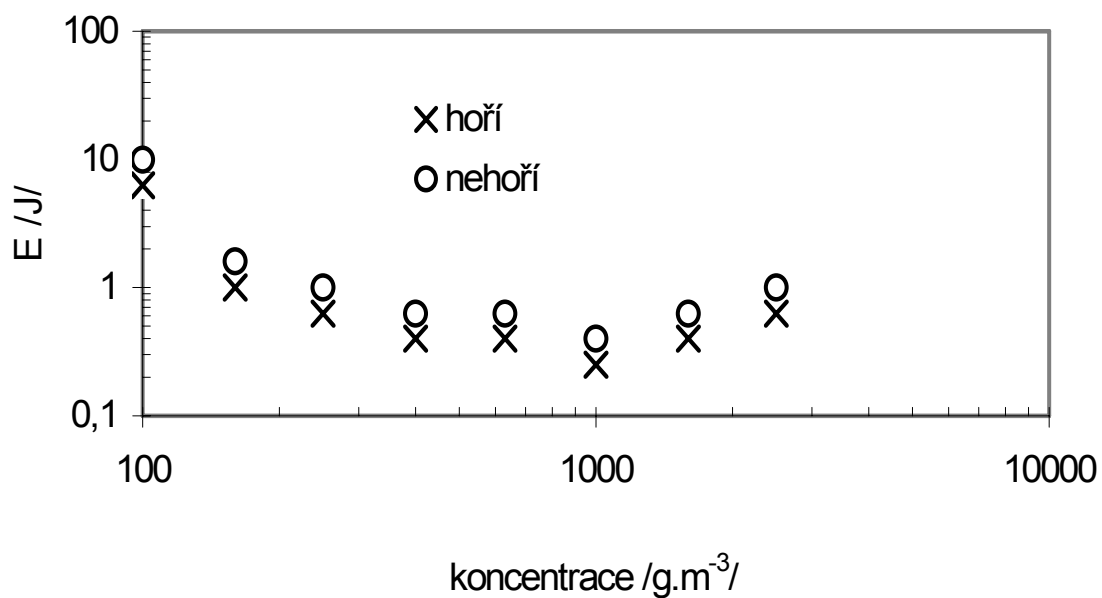
Vyhodnocení výsledků:

E_{\min} do 0,1 J	vzorek je velmi vznětlivý elektrickou jiskrou,
E_{\min} od 0,1 J do 1 J	vzorek je vznětlivý elektrickou jiskrou,
E_{\min} od 1 J do 10 J	vzorek je obtížně vznětlivý elektrickou jiskrou,
E_{\min} do 40J nenalezena	vzorek není vznětlivý do energie 40 J.

Příklad měření a jeho vyhodnocení je uveden v tabulce 8.4 a na obr. 8.1.

Tabulka 8.4. Příklad vyhodnocení měření – Granulometrický stav B.

Koncentrace (g.m ⁻³)	Ei (J)	
	Hoří	Nehoří
100	6,3	10
160	1,0	1,60
250	0,63	1,00
400	0,40	0,63
630	0,40	0,63
1000	0,25	0,40
1600	0,40	0,63
2500	0,63	1,0



Obr. 8.1. Příklad měření

Hodnocení: Vzorek je vznětlivý elektrickou jiskrou.

9 Maximální výbuchový tlak a maximální nárůst tlaku

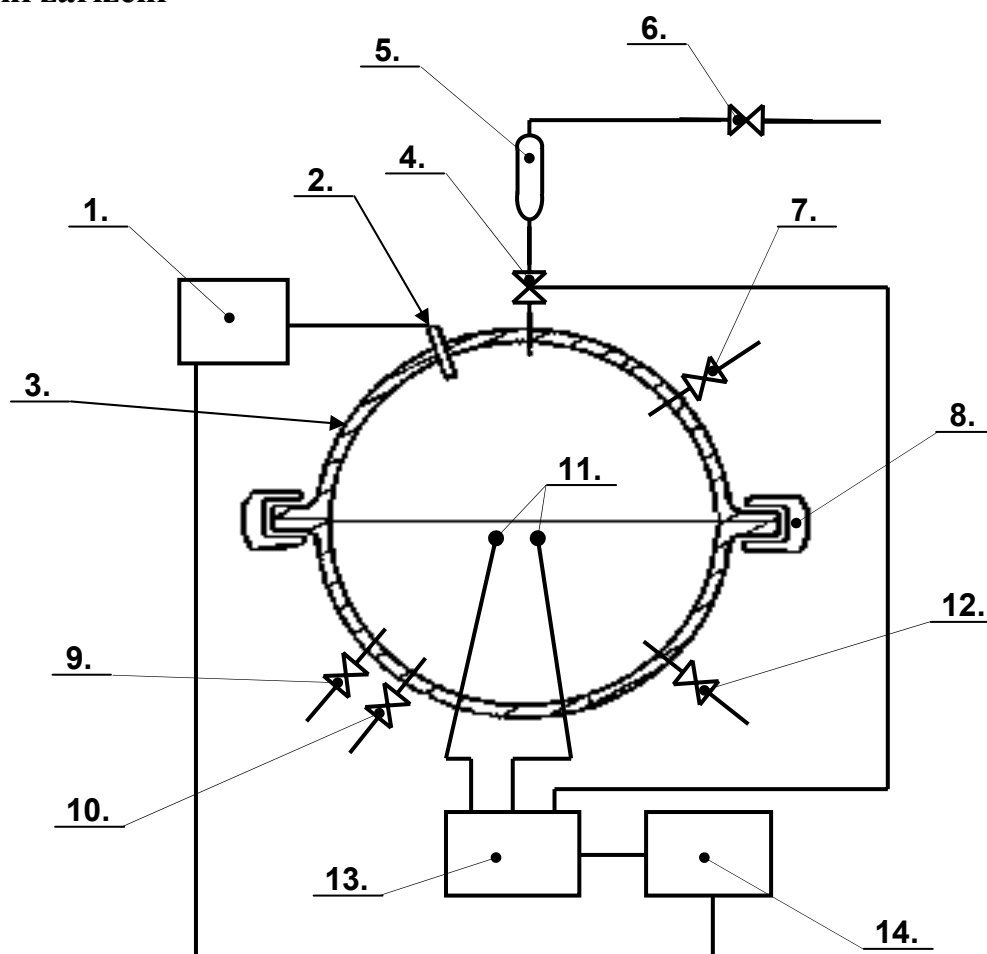
Název metodiky: Stanovení maximálních výbuchových parametrů rozvířeného prachu

Norma: ČSN ISO 6184-3 Systém ochrany proti výbuchu. Určování výbuchových veličin směsí palivo/vzduch.

Princip měření: Disperzní soustava prach-vzduch je zapalována iniciačním zdrojem o známé energii v uzavřené tlakové nádobě při různé koncentraci prachu. Měří se výbuchový tlak a rychlost narůstání výbuchového tlaku (brizance) v závislosti na čase.

Cíl měření: Hledá se maximální výbuchový tlak a maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku a jim odpovídající optimální koncentrace prachu.

Zkušební zařízení



Popis zařízení:

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. Derivační člen | 8. Třmen |
| 2. Piezoelektrický tlakový snímač | 9. Ventil pro odvod spalin |
| 3. Těleso autoklávu | 10. Ventil pro úpravu tlaku autoklávu |
| 4. Rozvířovací ventil | 11. Elektrody |
| 5. Rozvířovací tlaková nádoba | 12. Ventil pro úpravu atmosféry |
| 6. Napouštěcí ventil tlakového vzduchu | 13. Časovací obvod |
| 7. Ventil k odběru vzorku atmosféry | 14. Zapisovač |

Popis přístroje:

Podrobný popis včetně výkresové dokumentace je uveden v závěrečné zprávě úkolu 16 405 „Vývoj nových zkušebních zařízení a výzkum komprimace výbušných prachů a její vliv na výbuchové parametry“.

Kulová tlaková nádoba je složená ze dvou polokoulí, které jsou ovládané hydraulicky. Nádoba je vybavená ventily pro úpravu složení a tlaku vnitřní atmosféry, pro vypouštění zplodin, pro odběr vzorků atmosféry a rozvířování vzorku a tlakovým snímačem pro měření výbuchového tlaku. V plášti je zabudován termočlánek pro orientační měření teploty pláště autoklávu. Uvnitř autoklávu jsou dvě elektrody, mezi které se upíná iniciační zdroj.

Rozvířovací zařízení se skládá z malé nádoby pro umístění vzorku, elektromagnetického rozvířovacího ventilu řízeného časovými signály pro nastavení doby rozvířování a z rozvířovací trysky.

Ovládací pult obsahuje prvky pro ovládání hydrauliky, nastavení rozvířovacího tlaku, časovací obvody. Pro úpravu složení a tlaku atmosféry, kontrolu iniciačního okruhu.

Registrační zařízení je tvořeno dvoukanálovým A/D převodníkem, počítačem PC, měřicím a vyhodnocovacím programem Unkel scope (ovládání programu je uvedeno v samostatném manuálu).

Vzorek: Ke stanovení se používá vzorek s částicemi menšími než 0,063 mm, případně jiný, vždy s uvedením síťové analýzy.

Pracovní postup:

Do rozvířovače se umístí navážka vzorku (s přesností 2g). Podle tabulky rozvířovacích podmínek se nastaví tlak rozvířovacího vzduchu, doba rozvířování a zpoždění iniciace. Mezi elektrody se upevní iniciace a zkontroluje se iniciační obvod ohmmetrem. Na počítači se nastaví příslušné parametry ovládacího programu Unkel scope (rozsah napětí, vzorkování a počet vzorků) podle manuálu. Autokláv se uzavře.

Vývěvou se sníží tlak v autoklávu o 20 k Pa, což odpovídá tlaku vzduchu, který se do autoklávu dostane při rozvíření (po rozvíření je v autoklávu atmosférický tlak). Rozvířovač se naplní tlakovým vzduchem (500 kPa) . Zapne

se zesilovač signálu z tlakového snímače. Tlačítkem ODPAL se automaticky provede rozvíření vzorku, po nastavené době zapálení iniciačního zdroje a načtení měřených dat do počítače.

Po zkoušce se vypne zesilovač a vypustí se povýbuchové zplodiny přes filtr do atmosféry. Autokláv se důkladně propláchne vzduchem, otevře se a vyčistí od zbytků vzorku. Zvláště kanálek ke snímači tlaku.

Z displeje počítače se odečtou sledované hodnoty (maximální výbuchový tlak p_{\max} , maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku $(dp/d\tau)_{\max}$, indukční doba od zapálení iniciačního zdroje po první zřetelný nárůst tlaku τ_i , čas od zapálení iniciace do dosažení maximální rychlosti narůstání výbuchového tlak τ_r a do dosažení maximálního výbuchového tlaku τ_{\max} , pro příslušnou koncentraci. Hodnoty výbuchového tlaku a rychlosti narůstání výbuchového tlaku se přepočítají na příslušné jednotky (tlak $1 \text{ V} = 0,25 \text{ Mpa}$; rychlost narůstání výbuch. tlaku : $1 \text{ V} = 10 \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$). Výsledky se zapíší do tabulky a vykreslí do grafu.

Měří se od nejmenší koncentrace při níž ještě dojde k výbuchu do koncentrace při níž zřetelně je překročena maximální rychlost narůstání výbuchového tlak.

Iniciační zdroj je tvořen 4 g nitrocelulózy ($E_i = 34,5 \text{ kJ}$) nebo 9g (3g) černého střelného prachu Vesuvit TN, který je v polyetylenovém sáčku. Zapalován je elektrickým mžikovým palníkem SO-anti. Energie iniciace je $E_i = 34,5 \text{ kJ}$, příp. $11,5 \text{ kJ}$.

Definice: Maximální výbuchové parametry jsou maximální hodnoty výbuchového tlaku a rychlosti narůstání výbuchového tlaku platné pro celý obor měřených koncentrací.

V tabulce 9.1 jsou uvedeny navážky a rozvířovací podmínky.

Vážení se provádí s přesností 0,02 g.

Tabulka 9.1. Navážky a rozvířovací podmínky.

Koncentrace v g.m ⁻³	Navážka v g	Rozvířovací tlak v MPa	Doba rozvířování v ms	Zpoždění iniciace v ms
10	2,5	0,5	160	1
12,5	3,2	0,5	160	1
16	4,0	0,5	160	1
20	5,0	0,5	160	1
25	6,3	0,5	160	1
32	8,0	0,5	160	1
40	10	0,5	160	1
50	12,5	0,5	160	1
63	16	0,5	160	1
80	20	0,5	160	1
100	25	0,5	160	1
125	32	0,5	170	1
160	40	0,5	180	1
200	50	0,5	190	1
250	63	0,5	200	1
315	80	0,5	210	1
400	100	0,5	220	1
500	125	0,5	240	1
630	160	0,5	250	1
800	200	0,5	270	1
1000	250	0,5	280	1
1250	315	0,5	300	1
1600	400	0,5	320	1
2000	500	0,5	320	1
2500	630	0,5	320	1

Pro vzorky s extrémní sypanou hmotností se optimální doba rozvířování stanoví experimentálně. U vzorků s velmi vysokou rychlostí narůstání výbuchového tlaku se může prodloužit zpoždění iniciace (ochrana před proniknutím výbuchu do rozvířovací nádoby).

Výsledek: Z naměřených hodnot se sestaví graf s logaritmickými souřadnicemi. Na ose x jsou vyneseny koncentrace, na ose y měřené hodnoty.

Výsledkem jsou ukazatelé výbuchu:

- maximální výbuchový tlak,
- maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku,
- optimální koncentrace.

Nejistota měření:

- výbuchový tlak: 5 %,
- rychlost narůstání výbuchového tlaku: 20 %.

Měřicí rozsah:

- počáteční tlak: do cca 0,3 MPa dle druhu vzorků,
- výbuchový tlak: do 2 Mpa,
- koncentrace: do 2500 g.m⁻³,
- rychlost narůstání výbuchového tlaku: do 50 MPa.s⁻¹.

Vyhodnocení výsledků:

Slovně se vyhodnocuje výbuchový tlak a rychlost narůstání výbuchového tlaku.

Maximální výbuchový tlak:

- 0 MPa vzorek není výbušný do energie iniciace kJ
- do 0,6 MPa vzorek má nízký výbuchový tlak
- od 0,6 do 0,8 MPa vzorek má vysoký výbuchový tlak
- od 0,8 MPa vzorek má velmi vysoký výbuchový tlak

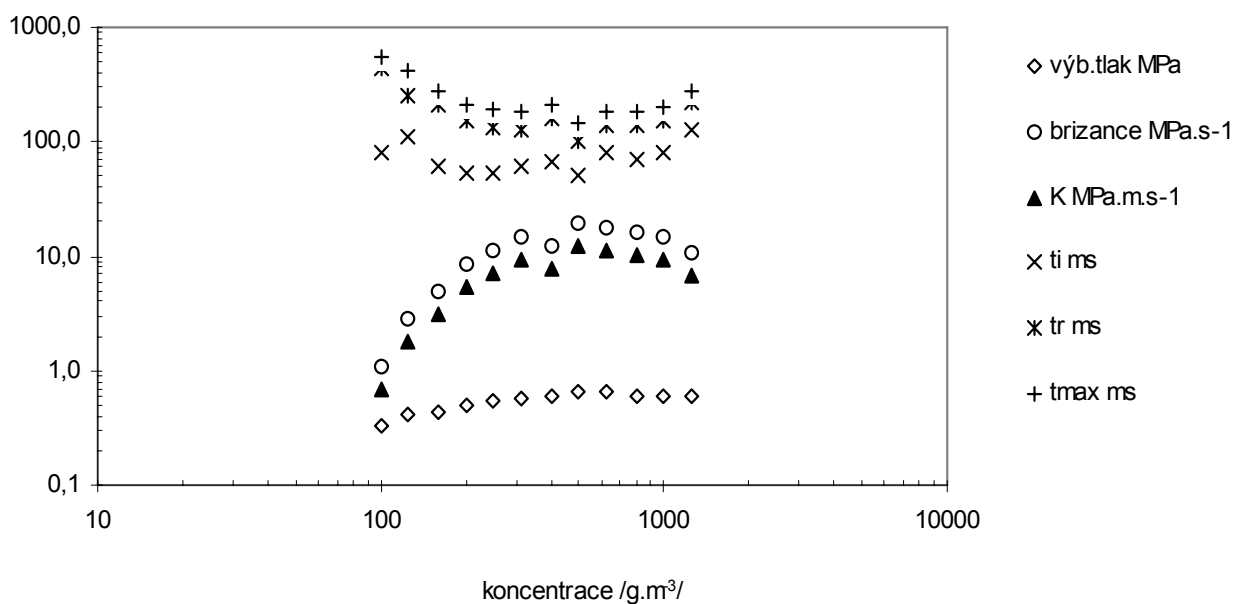
Maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku:

- do 7,5 MPa.s⁻¹ vzorek má nízké rychlosti narůstání výbuchového tlaku
- od 7,5 do 15 MPa.s⁻¹ vzorek má vysoké rychlosti narůstání výbuchového tlaku
- od 15 MPa.s⁻¹ vzorek má velmi vysoké rychlosti narůstání výbuchového tlaku

Příklad měření a jeho vyhodnocení je uveden v tabulce 9.2, 9.3. a na obr. 9.1.

Tabulka 9.2. Příklad měření a vyhodnocení.

Koncentrace vzorku (g.m ⁻³)	Výbuchový tlak (Mpa)	Brizance (MPa.s ⁻¹)	Kubická konstanta K _{St} (MPa.m.s ⁻¹)	τ _i (ms)	τ _r (ms)	τ _{max} (ms)
80	neg		0,0			
100	0,33	1,1	0,7	80	430	540
125	0,41	2,9	1,8	110	250	420
160	0,44	5,0	3,2	62	215	274
200	0,50	8,4	5,3	53	153	213
250	0,54	11,3	7,1	54	136	195
315	0,58	14,8	9,3	60	125	180
400	0,61	12,3	7,7	66	157	210
500	0,66	19,1	12,0	50	103	147
630	0,64	17,6	11,1	80	140	180
800	0,61	16,1	10,1	70	140	185
1000	0,59	15,0	9,5	80	155	200
1250	0,59	10,7	6,7	125	220	275



Obr. 9.1. Příklad měření

Tabulka 9.3. Vyhodnocení měření

Max. přetlak	p_{max}	0,66	(Mpa)
Max. rychlost narůstání výbuchového tlaku	(brizance) $(dp/d\tau)_{max}$	19,1	(MPa.s ⁻¹)
$K_{st,max} = (dp/d\tau)_{max} \cdot V^{1/3}$	$K_{St,max}$	12,0	(MPa.m.s ⁻¹)
Indukční doba výbuchu pro p_{max}	τ_i	50	(ms)
Doba dosažení $(dp/d\tau)_{max}$	τ_r	103	(ms)
Doba dosažení p_{max}	τ_{max}	147	(ms)
Optimální koncentrace pro K_{max}	c_{opt}	500	(g.m ⁻³)

Hodnocení:	Vzorek má vysoký výbuchový tlak
	Vzorek má velmi vysoké rychlosti narůstání výbuchového tlak

Příklad: Požárně technické charakteristiky dle přílohy č. 2 k vyhlášce č. 21/1996 Sb – viz tabulka 9.4.

Tabulka 9.4. Příklad PTCH

Látka:	Hnědé uhlí
Hořlavá látka:	Prach
Základní požárně technické charakteristiky	
Výhřevnost v MJ.kg ⁻¹	14,0
Hustota: sypaná hmotnost v kg.m ⁻³	610
Teplota vzplanutí usazeného prachu ve °C	415
Teplota vznícení usazeného prachu ve °C	587
Teplota žhnutí usazeného prachu ve °C	151
Střední velikost zrna v mm	cca 0,025
Teplota vznícení rozvířeného prachu ve °C	524
Spodní mez výbušnosti:	
- při energii iniciace 34,5 kJ (g.m ⁻³)	90
- při energii iniciace 9 kJ (g.m ⁻³)	130
- při energii iniciace 0,1 kJ (g.m ⁻³)	Neg
Vhodné hasivo -třída požáru	A
Další požárně technické charakteristiky	
Maximální výbuchový tlak v MPa	0,66
Maximální rychlost narůstání výbuchového tlaku v MPa.s ⁻¹	19,1
Konstanta dle ČSN ISO 6184-1 K _{St,max} v MPa.m.s ⁻¹	12,0
Interval dosažení max. rychlosti narůstání výbuchového tlaku od okamžiku iniciace v ms	50
Optimální koncentrace v g.m ⁻³	500
Náchylnost k samovznícení	středně náchylný k samovznícení
Rychlost šíření hoření po vrstvě usazeného prachu v kyslíku (cm.s ⁻¹)	2,36
Minimální iniciační energie (J)	0,40

10 Závěrečná tabulka kompletního rozboru technicko-bezpečnostních parametrů několika základních reprezentativních vzorků z oboru průmyslových prachů

Tabulka č. 10.1.:

Název prachu	Spodní mez výbušnosti (g.m^{-3})		Teplota vznícení v usazeném stavu		Teplota vznícení v rozvířeném stavu		Minimální iniciační energie (MIE)		Výbuchové parametry			Rychlost šíření hoření ve vrstvě usaz. prachu (s)	
	Stav A	Stav B	($^{\circ}\text{C}$)	(min)	($^{\circ}\text{C}$)	(ms)	(J)	(g.m^{-3})	p_{max} (MPa)	$(dp/d\tau)_{\text{max}}$ (MPa.s^{-1})	C_{optim} (g.m^{-3})	Stav A	Stav B
Černé uhlí (Fučík)	46	4	450	43	560	1020	2,55	1083	0,64	12,19	500		
Hnědé uhlí (Herkules Německo)		30	136	38	490	1190	0,21	500	0,58	9,66	500		14,7
ABS polymer	26	22	347	10	455	1251	0,088	667	0,65	9,33	600	3	1
Polyesterový prach (70%)	20	18	258	35	475	1528	0,52	500	0,61	5,98	1000	1	1
Aspirin (čistý)	90	36	440	15	560	1493	0,021	333	0,78	17,3	600	10	9
2-naftol	22	18	450	2	630	1353	0,062	667	0,72	13,0	600	1	1
Natučňené mléko sušené		36	220	80	450	679	>10		0,66	3,34	400		6
Cukr	36	36	320	25	420	510	0,52	1000	0,82	9,4	1200	8	7
Dřevný prach	34	30	203	71	480	649	1,24	668	0,52	7,17	900	2	2
Krmné droždí		46	260	60	460	1139	1,24	917	0,71	5,05	800		12
Vojtěška	80	68	245	30	490	489	6,3	750	0,65	4,25	600	25	14
Kostní moučka	44	38	190	40	460	1350	>10		0,48	2,6	800	7	5
Pekařská mouka	190	38	250	170	480	561	0,77	833	0,39	2,34	500	18	15
Pazdeří ze lnu	32	30	250	40	530	610	7,61	417	0,57	5,77	1300	15	
Instant kakao	300	110	300	30	420		6,87	583				11	7
Chmel – prášek	74	72	174	34	490	398	8,33	583	0,40	3,64	800	1	1
Al - krupice	74	36	650	neg.	850	201	>10		0,75	7,72	1300		21

Tabulka č. 10.2.:

Název prachu	Spodní mez výbušnosti (g.m ⁻³)		Teplota vznícení v usazeném stavu		Teplota vznícení v rozvířeném stavu		Minimální iniciační energie		Výbuchové parametry			Rychlost šíření hoření ve vrstvě usaz. prachu (s)	
	Stav A	Stav B	(°C)	(min)	(°C)	(ms)	(J)	(g.m ⁻³)	p _{max}	(dp/dτ) _{max}	C _{optim}	Stav A	Stav B
									(Mpa)	(MPa.s ⁻¹)	(g.m ⁻³)		
Směs dřevný prach - polyester + dřevo	26	26	260	45	460	1119	0,21	416	0,78	18,2	1200		
Polypropylén práškový	28	26	360	5	410	2971	0,032	750	0,72	11,4	300-800	6	5
Polystyren Krasten	80		380	40	500	1324	>10		0,47	2,74	1000	5	
Komaxit-epoxid. Barva	34	20	355	12	475	1324	0,097	667	0,51	5,18	1000	8,8	13,7
Fenolformaldehydová pryskřice		40	170	20	520	1734	0,52	916,6	0,77	15,0	600-1200		1,5
Metylhydroxipropyl	20	20	202	37	410	300	2,52	667	0,67	10,36	800	2,7	3737
2-Kyan-4-nitranilin (barvivo)	26		300	15	540	900	0,032	667	0,71	10,10	1200	10	
Ostacetová červeň		90	390	3	520	700	8,33	1333	0,67	5,13	1200		18
Midlonová žluť	200	180	232	11	610		>10		0,57	3,89	600	18	18
Versálová červeň		36	410	15	640	1016	0,41	250	0,82	10,53	500		<1
Ketophenylhexazonum (léčivo)	14	14	450	5	550	1950	0,026	583	6,65	19,69	900	<1	<1
Amidopyrin (lék)	28	26	260	1	300	807	0,026	417	0,72	12,4	600	<1	<1
Sam- mýdl. prášek	700	56	370	30	590	874	>10		0,58	4,37	600	35	35
Chlortoluron k ochraně rostlin		40	410	1	530	1260	0,097	1415	0,53	4,55	1000		<1

Laboratorní praktikum protivýbuchové prevence technologických procesů

Jaroslav Damec, Ladislav Šimandl

Vydalo Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, roku 2005

Vytisklo Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství

1. vydání

Publikace neprošla jazykovou úpravou

ISBN: 80-86634-57-4