

Aleš BEBČÁK¹, Jiří SERAFÍN², Jan ADAMEC³

OPTIMALIZACE PROCESU ROZVIŘOVÁNÍ PRŮMYSLOVÝCH PRACHŮ

OPTIMALIZATION OF THE SWIRL PROCESS OF INDUSTRIAL DUSTS

Abstrakt

Článek se zabývá studiem procesu rozviřování, stanovením vhodných podmínek rozviřování a stanovením optimální hodnoty zpoždění iniciace po ukončení rozviřování. V práci jsou uvedeny vlastnosti prachů, jejich vliv na výbuchové parametry a popis zkušebního zařízení, kterým je výbuchový autokláv o objemu 0,25 m³. Dále je popsán rozviřovací systém a proveden rozbor rozviřovacích kuželů.

Klíčová slova: rozprašovací systém, prach, zpoždění iniciace

Abstract

The article deals with the research of the swirl process, setting suitable conditions for swirling and the optimum value of the initiation delay after the swirl process is completed. In the article the properties of the dust are introduced, their influence over explosion indices and also a description of the test device which is the explosion autoclave with the capacity of 0,25 m³. Next the swirling system is described and the study of the swirling cones.

Key words: air spray system, dust, initiation delay

Úvod

Vzhledem k tomu, že nežádoucí výbuchy nejsou tak časté jako například požáry, jsou proto často podceňovány a vnímány jako podružný problém. Nejvíce podceňované jsou pak v praxi výbuchy prachových směsí, přičemž již velmi malé množství rozvířeného prachu může při iniciaci vyvolat silný výbuch. Problematika výbuchu, zkoušení materiálu a jejich parametrů, se provádí v různých zkušebních zařízeních. Jedno takové zařízení vlastní i VŠB - TU Ostrava. Jedná se o výbuchový autokláv VA-250, polyfunkční zařízení pro měření maximálních výbuchových parametrů (maximální výbuchový tlak a rychlost narůstání výbuchového tlaku - brizance směsi) a teplot výbuchů plynovzduchových, parovzduchových, prachovzduchových a hybridních směsí. Cílem měření bylo nastavení rozviřovacího systému tak, aby se dosáhlo optimálního procesu rozviřování prachů.

¹ Ing., VŠB - TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra bezpečnostního managementu, Lumírova 13, 700 30 Ostrava - Výškovice, e-mail: ales.bebcak@vsb.cz

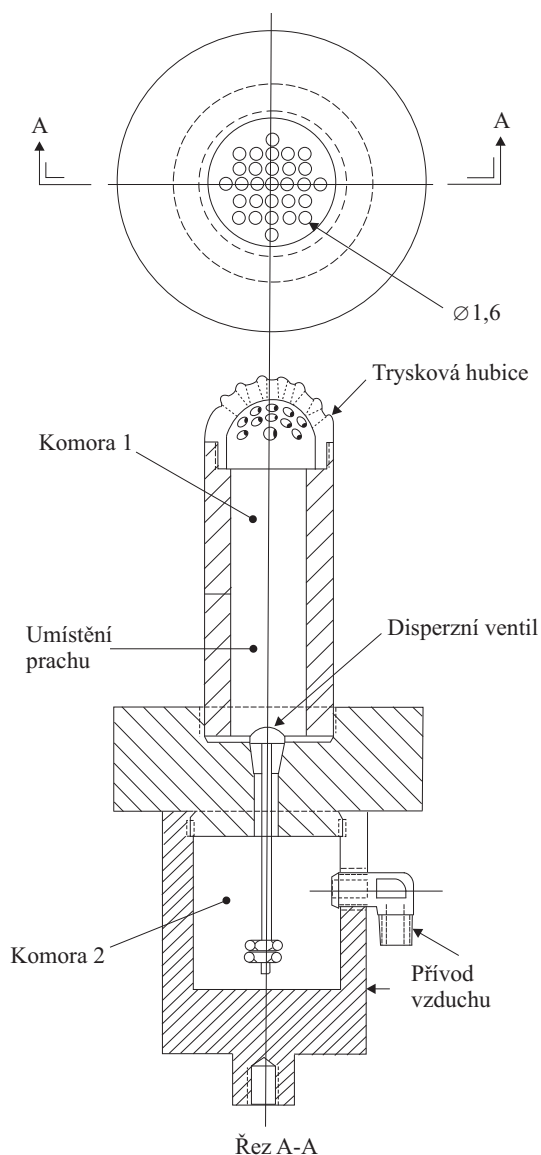
² Ing., VŠB - TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra bezpečnostního managementu, Lumírova 13, 700 30 Ostrava - Výškovice, e-mail: jiri.serafin@vsb.cz

³ Ing., VŠB - TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství, Katedra bezpečnostního managementu, Lumírova 13, 700 30 Ostrava - Výškovice, e-mail: AdamecJan1@seznam.cz

Teoretický rozbor rozvířovacích systémů

Jak již bylo naznačeno, měření výbušných vlastností prachu je velmi závislé na rozvíření prachových částic v měřicím prostoru. K vytváření těchto směsí slouží právě rozvířovací systém. Pro přípravu směsi není vhodný způsob rozvířování volným pádem (dochází k separaci částic různého rozměru) ani cirkulační způsob, u kterého nastává separace vlivem odstředivých sil. V současné době se pro účely měření připravují disperzní směsi jednorázovým rozvířením tlakovým vzduchem.

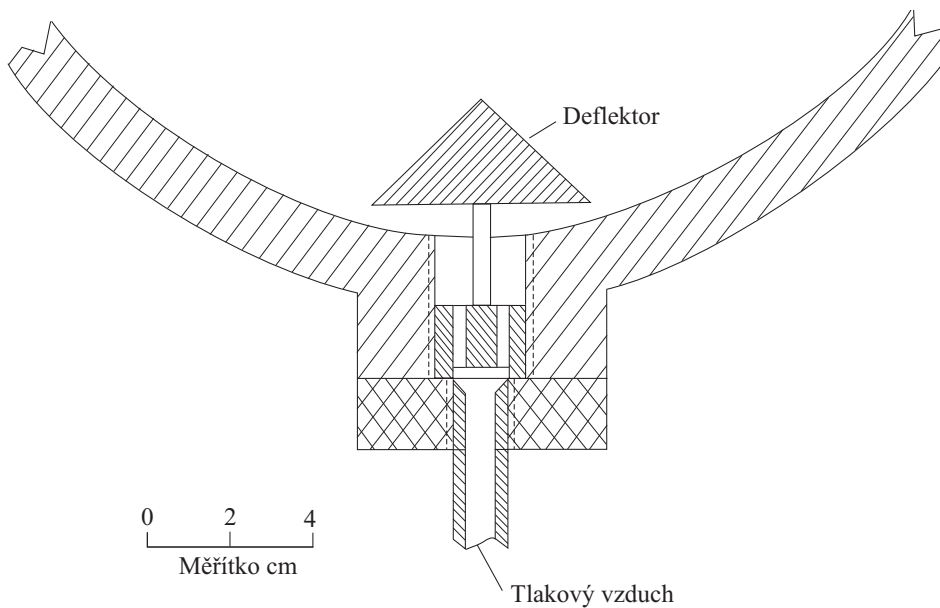
Rozvířovací systémy používané Bureau of Mines v USA



Obrázek 1: Rozptylovací tryska [9]

Jeden z rozvířovacích systémů byl vyvinut pro komoru používanou k měření teploty vzplanutí prachu. Jedná se o keramickou spalovací komoru z hořčíko-hliníkového křemičitanu o vnitřním objemu 6,8 l. Rozprašovací systém se skládá ze samostatného dílu, který se vkládá do pece až po zahřátí na danou teplotu. Vzduchový puls automaticky katapultuje prach z rozptylovací nádoby do pece. Detail rozvířovacího systému uvádí obrázek 1. Prach je rozvířen vzduchovým pulsem 30 ms vzduchem z tlakové nádoby 175 cm² tlakem 4,8 barů. Rozptylovací puls připustí okolo 340 cm² tlakového vzduchu. Trysková hubice rozprašovací nádoby obsahuje 34 malých (1,6 mm v průměru) děr skrz které je prach rozvířen. K přívodu vzduchu do komory 2 a současně k zabránění propadnutí prachu z komory slouží pohyblivý disperzní ventil, který je ovládán tlakovým pulsem. Rovnoměrnost rozvíření zde byla měřena pomocí optické sondy (LED dioda a křemíkový detektor zaznamenávající prostupující světlo).

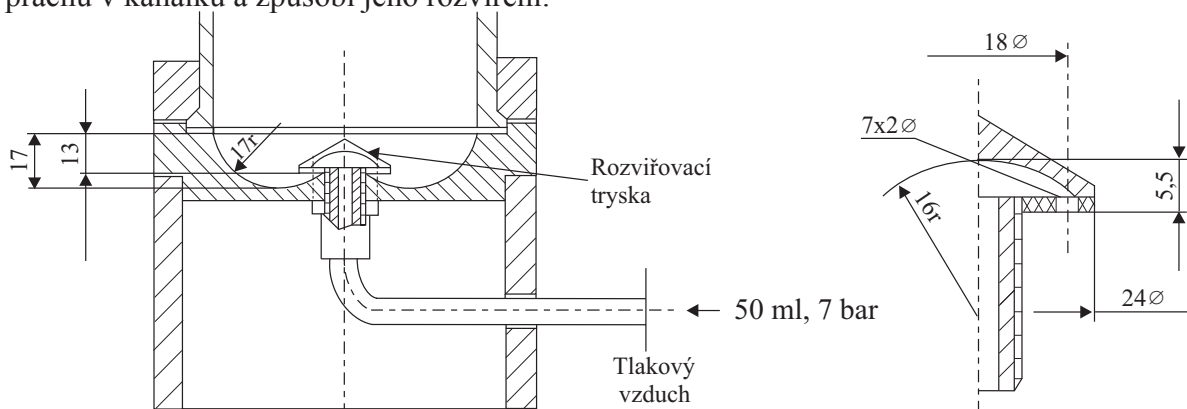
Další rozvířovací systém byl vyvinut pro 20 litrovou testovací komoru, je používána pro měření hranice výbušnosti, výbušných tlaků a rychlosti nárůstu tlaku, minimální iniciační energie, minimálního množství kyslíku pro vznícení. Systém se skládá z jednoduchého deflektoru umístěného nad prachem toto ukazuje obrázek 2. Při tomto způsobu je prach umístěný kolem deflektoru na spodní části komory a vzduchový impuls, který projde kolem deflektoru pak způsobí rozptýlení prachu.



Obrázek 2: Principiální schéma konstrukce rozvířovače [9]

Rozvířovací systém používaný ve Švýcarsku

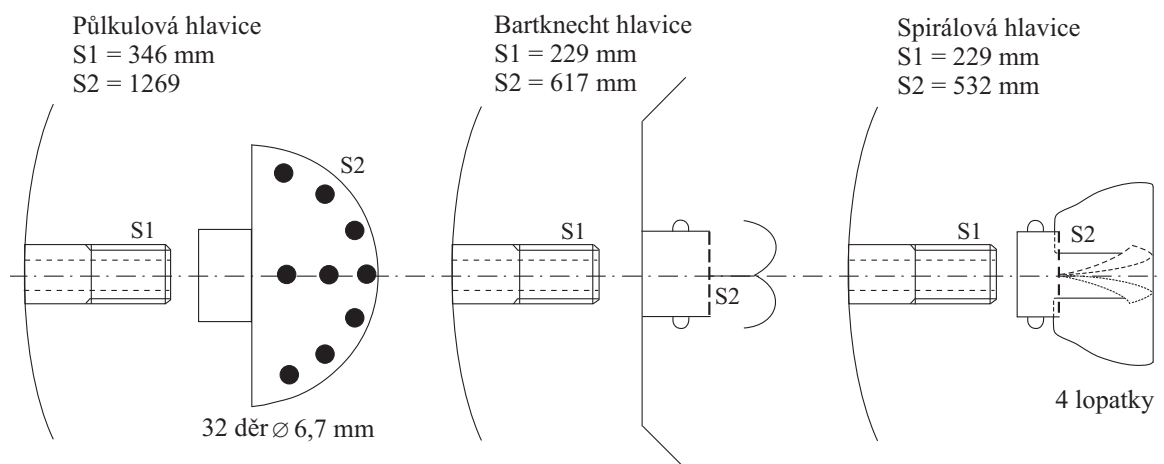
Jako zástupce je uveden jeden z nejpoužívanějších přístrojů pro měření nejnižší iniciační energie vznícení u nás je znám pod pojmem MINER 002. Rozvířovací systém je tvořen kruhovou miskou, v jejímž obvodu je kanálek pro umístění prachu obrázek 3. Ve středu misky se nachází na vyvýšeném místě rozvířovací kruhová tryska hříbovitého tvaru. Vzduch se přivádí přívodním potrubím, prochází vnitřním průměrem (stopkou) a naráží na klobouček trysky. Z kloboučku ústí sedm otvorů, kterými pak vychází tlakový vzduch ze spodní části kloboučku. Proud tlakového vzduchu je tímto způsobem vstříkovan z horní části do umístěného prachu v kanálku a způsobí jeho rozvíření.



Obrázek 3: Rozvířovací systém použitý u MINER 002 společně s detailem trysky [9]

Další typy rozvířovacích systémů

Na obrázku 4 jsou znázorněny hubice rozvířovacích systémů používaných např. mimo jiné i v autoklávu 250 Ostravě Radvanicích, na jehož základě byl pro VŠB - TUO zhotoven autokláv nový (viz. kapitola popis zkušebního zařízení).



Obrázek 4: Rozvířovací hubice [9]

Vlastnosti prachů

Vlastnosti prachu se od vlastností kompaktní látky liší především proto, že prachové částice mají mnohem větší měrný povrch, a tím i reaktivnost. Obecně lze říci, že za prach považujeme částice o velikosti menší než 0,5 mm. Tvar i velikost částic ve směsi je rozmanitá. Při pohybu rozvířeného prachu se tvoří časové změny koncentrace, protože pevné částice různě rychle sedimentují v závislosti na velikosti. V důsledku třecího odporu volně padající částice prachu dosáhne relativně rychle konstantní konečné rychlosti. Tato rychlost sedimentace je funkcí velikosti částice, hustoty a viskozity disperzního prostředí a lze ji vypočítat podle Stokesova vztahu (pro částice kulového tvaru) [1].

$$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max} V^{\frac{1}{3}} = K_{st} = konst.$$

g je gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],

ρ_c hustota částice [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

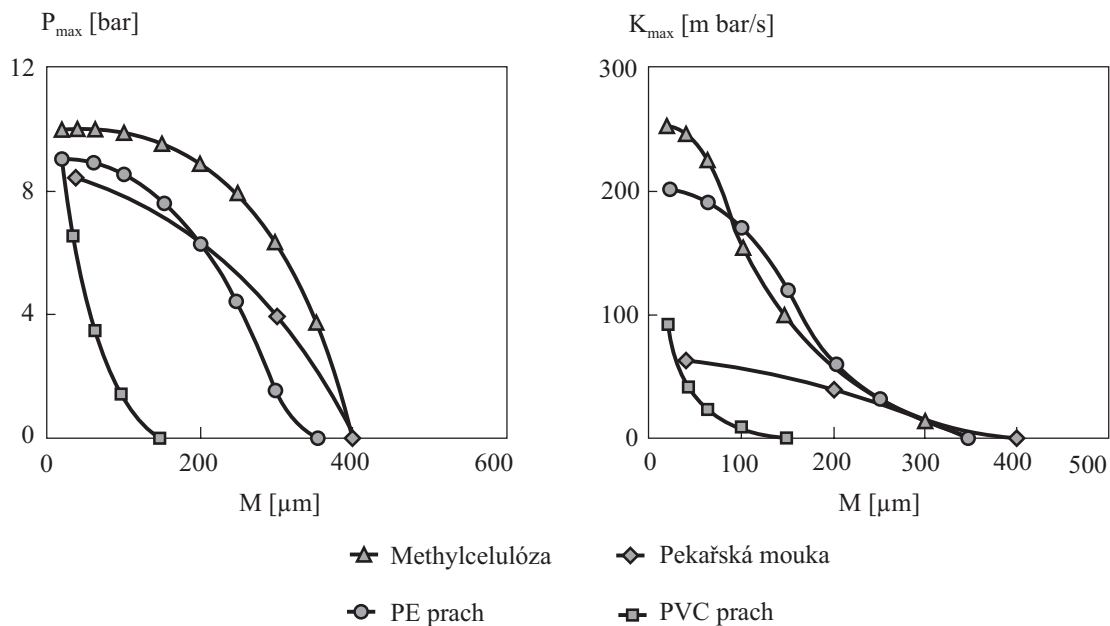
ρ_p hustota disperzního prostředí [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

r poloměr částice [m],

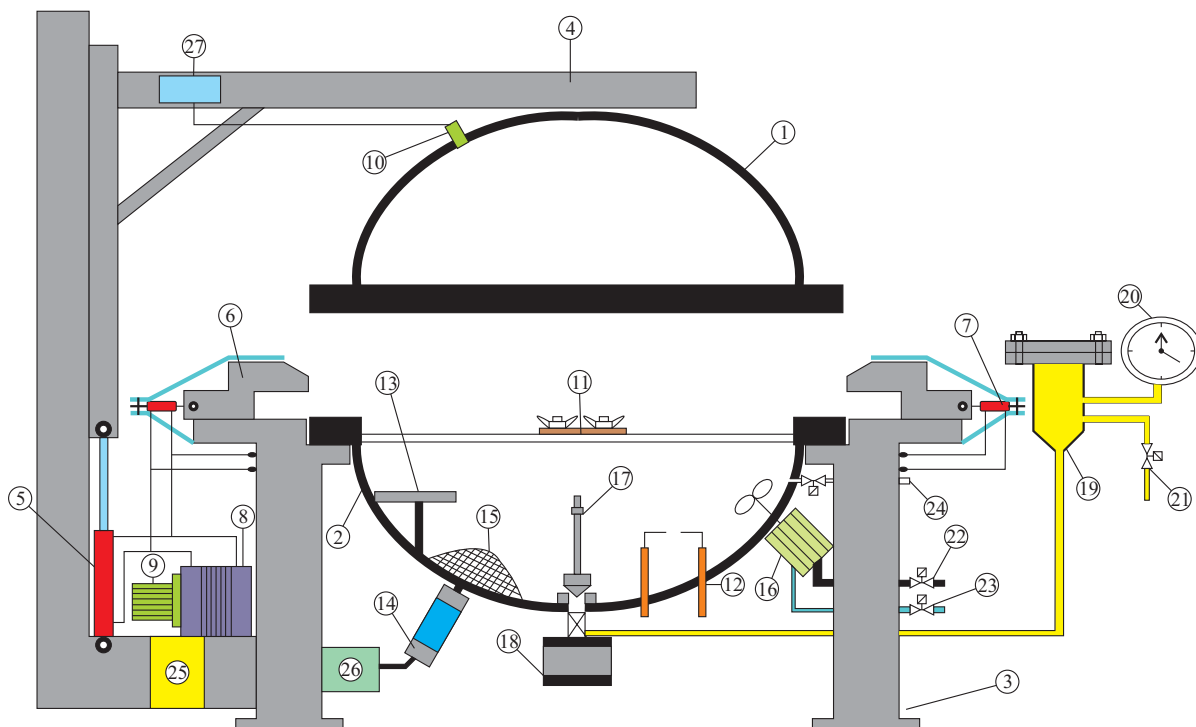
η dynamická viskozita disperzního prostředí [$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$].

Disperze prachu

Stupeň rozmělnění pevné látky má podstatný vliv na požární nebezpečí látky. Disperze prachu, tj. velikost jeho částic se stanoví síťovou analýzou, která stanoví procenta nebo hmotnostní zlomky částic určitého rozměru. Při síťové analýze se posuzuje velikost částic prachu podle zbytku na síti s určitými rozměry otvorů. Udává se hmotnostní procento částic, které neprošly sítí, z celkového hmotnostního množství použitého k analýze. Laboratorně bylo ověřeno, že částice hrubší než 0,425 mm nepřispívají ke zvýšení tlaku, který vzniká při výbuchu v uzavřené nádobě. Naopak částice o velikosti 0,075 mm jsou obecně považovány za plně se účastnící procesu hoření.



Obrázek 5: Vliv velikosti částic na maximální výbuchové parametry.[3]



Obrázek 6: Blokové schéma VA 250

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

Popis zkušebního zařízení

Měření bylo prováděno na zařízení VA250. Základem pro konstrukci VA-250 je ČSN ISO 6184, Systém ochrany proti výbuchu. Výbuchová komora je nádoba z nerezové oceli kulového tvaru o objemu 0,25 m³. Skládá se ze dvou symetrických polokoulí. Celé zařízení je rámové konstrukce, vlastní komora je ve střední části rámu, kdy spodní polokoule je připevněna napevno k nosné konstrukci. Horní polokoule je připevněna k pohyblivému rámu, který umožňuje zavírání a otevírání výbuchové komory.

Otevírání komory je zajištěno jednočinným hydraulickým válcem, v uzavřené poloze jsou obě poloviny komory proti oddálení při výbuchu blokovány hydraulicky ovládanými samosvornými kameny. Ve spodní části rámu je umístěna vývěva, pneumatické ventily, rozvířovací zařízení, hydraulická jednotka a pomocné prvky elektroinstalace. Uvnitř komory je instalována vyjímatelná topná plotýnka sloužící k odparu zkoušené kapaliny. Do vnitřního prostoru komory jsou též zavedeny přívody malého napětí pro iniciaci palníkem a tři elektrody vysokého napětí pro iniciaci výbojem. Dále jsou do komory přivedeny dva nezávislé vstupy plynů, pneumatický ventil vývěvy, mechanické rozvíření a elektroventil odtlakování před otevřením komory. Výbuchový tlak v kouli je snímán snímačem dynamických tlaků Kistler, který je propojený s počítačem.

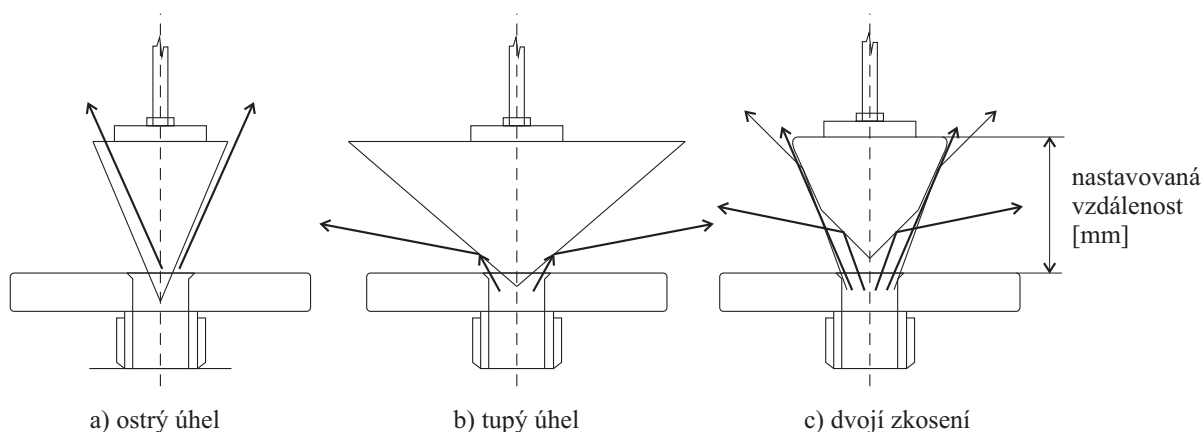
Rozvířovací mechanismus



Obrázek 7: Rozvířovací systém s kuželem s dvojím zkosením

Cílem práce bylo najít správný kužel pro rozvířování a nastavit ho do správné polohy, aby došlo k optimálnímu rozvíření ve výbuchové komoře. Rozvířovací mechanismus se skládá ze zásobníku na prach, manometru, připojovacích měděných trubek, elektromagnetických a pneumatických ventilů a rozvířovacího kužele. Samotný rozvířovací systém je vyroben z kovové obdélníkové kostry, která v ose kratší strany má na jedné straně navařenou matku a na druhé šroubení. Šroubení je ve své podélné ose provrtáno na otvor průměru 15 mm. Celá konstrukce se našroubuje do spodní polokoule. Rozvířovací kužel má ve své ose navařen asi 20 cm dlouhý šroub se mění vzdálenost kužele od otvoru a tím i vlastnosti rozvířování.

Měření se měl také zjistit optimální tvar kužele pro rozvířování. Výsledek zkoušky jsme posuzovali vizuálně pomocí videozáznamu. K dispozici byly tři typy kuželů, jako optimální se projevila varianta c se dvojím zkosením.



Obrázek 8: Typy kuželů a) ostrý úhel, b) tupý úhel, c) dvojí zkosení

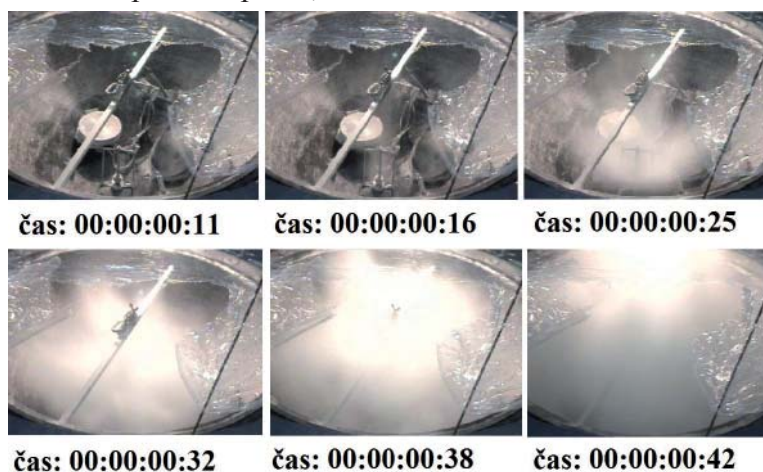
Postup měření

Zkušební vzorek

Jako vzorek byla použita pšeničná hladká světlá mouka, s granulací: (propad - 257 μm - 96,0; 162 μm - 75,0), vlhkost do 15%, spodní mez výbušnosti 38 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, $P_{\text{max}} = 0,39 \text{ MPa}$, $(dp/dt)_{\text{max}} = 2,34 \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$, $C_{\text{optim}} = 500 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$.

Stanovení doby rozvířování a zpoždění iniciace

Doba rozvířování a zpoždění iniciace byla stanovena pomocí videozáznamu při zkouškách s otevřeným autoklávem viz. obrázek 8. Optimální doba rozvířování byla stanovena na 0,42 s, optimální doba zpoždění pak 0,45 s.



Obrázek 9: Ukázka rozvířování při otevřeném autoklávě (čas je měřen na setiny sekundy)

Stanovení počátečního tlaku v autoklávu

Podle normy ČSN EN 14034- se nastavuje rozvířovací tlak na 0,5 MPa, což znamená, že se tlak v komoře po rozvíření zvýší a tím by se i změnilы výbuchové parametry. Abychom v komoře v okamžiku iniciace měli atmosférický tlak (101,325 kPa) musel být vývěvou tlak v komoře před rozvířováním o určitou hodnotu snížen. Experimentálně bylo zjištěno, že při rozvířovacím tlaku 0,5 MPa je třeba tlak v komoře snížit na hodnotu 940 mbar (94 kPa).

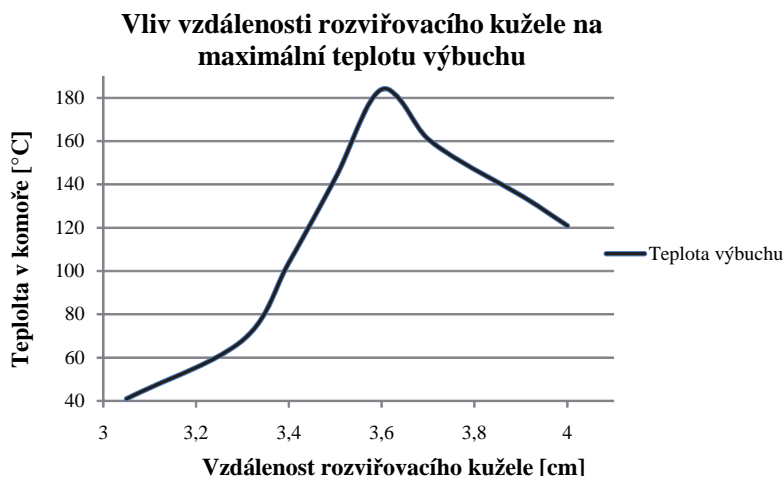
Nastavení rozvířovacího kužele

Pomocí regulačního šroubu nastavíme vzdálenost rozšiřovacího kužele. Do rozvířovacího zásobníku se nasype navážka vzorku s přesností 2 g. Při našem měření byla použita hladká mouka. Dolní mez výbušnosti hladké mouky je 190 g.m^{-3} , měření jsme prováděli pro koncentraci 500 g.m^{-3} (navážka 125 g pro náš autokláv o objemu $0,25 \text{ m}^3$). Nastavíme tlak rozvířovacího vzduchu. Mezi NN elektrody, umístěné ve středu komory, se upevní iniciace (odporový drát s nitrocelulózovou kuličkou o $E_i = 4,5 \text{ kJ}$). Autokláv se zavře a na ovládacím pultu se vývěvou vyčerpá vzduch na požadovaný tlak. Nastaví se doba rozvířování a doba zpoždění iniciace. Tlačítkem start se provede automatický proces rozvíření a iniciace. Tlak v kouli je snímán snímačem dynamických tlaků a výsledky jsou vyhodnocovány počítačem. Bohužel byl tento snímač při zkouškách nenávratně poškozen a druhý snímač parciálních tlaků nebyl v některých případech schopný tak vysoké tlaky zaznamenat. Z předchozích měření ale vyplynula určitá závislost mezi maximálním výbuchovým tlakem a teplotou výbuchu (předpoklad dokonalého spalování). Proto jsme se rozhodli seřadit rozšiřovací kužel na základě kombinace snímače parciálních tlaků a maximální teploty výbuchu. Výsledky měření jsou uvedeny v následující tabulce 1.

Tabulka 1: Výsledky měření

Pokus	Koncentrace [g.m ⁻³]	Navážka [g]	Doba zpoždění [s]		Tlak [KPa]	Teplota [°C]	Výbuch	Nastavení kužele [cm]
			Rozvíření	Zpoždění iniciace				
1	500	125	0,42	0,45	1530	123	P	4
2	500	125	0,42	0,45	1379	41	P	3,05
3	500	125	0,42	0,45	1525	68	P	3,3
4	500	125	0,42	0,45	1530	104	P	3,4
5	500	125	0,42	0,45	1530	143	P	3,5
6	500	125	0,42	0,45	1530	184	P	3,6
7	500	125	0,42	0,45	1530	161	P	3,7
8	500	125	0,42	0,45	1503	147	P	3,8
9	500	125	0,42	0,45	1454	135	P	3,9
14	500	125	0,42	0,45	1530	121	P	4

Pozn. Zvýrazněný pokus č. 6 vyjadřuje optimální nastavení kužele, kdy se dosáhlo nejvyšší teploty a tlaku výbuchu. Vzdálenost nastavení kužele je měřena od jeho vrchní hrany k rozvířovacímu šroubení.



Graf 1: Vliv nastavení kužele na maximální teplotu výbuchu

Závěr

V rámci studentské grantové soutěže VŠB-TU OSTRAVA projektu číslo 030/2101/SV0300011- „Zjišťování parametrů tlakových vln a odezva jejich účinků na stavební konstrukce“ bylo provedeno měření, které se zabývalo studiem procesu rozvířování a stanovením vhodných podmínek rozvířování výbušných prachů. Aby byly výsledky co nejspolehlivější, musí být rozvířovací systém schopen ideálně rozvířit požadované množství prachu ve výbušné komoře. Rozvířovací proces byl posuzován jak vizuálně pomocí videozáznamu, tak měřeními tlaků a teplot. Jako nejlepší z navržených rozvířovacích kuželů se projevil kužel s dvojnásobným zúžením. Pomocí videozáznamu se rovněž podařilo optimalizovat dobu rozvíření na 0,42 s a zpoždění na 0,45 s. Optimální vzdálenost rozvířovacího kužele byla změřena na 36 mm od vrchní hrany kužele k rozvířovacímu šroubení. V důsledku poruchy dynamického tlakového čidla byly výsledky vyhodnocovány pouze podle maximální výbušné teploty v kombinaci s maximálními tlaky naměřenými statickým čidlem pro měření parciálních tlaků. V rámci studentské grantové soutěže se bude v měření dále pokračovat zejména k stanovení maximálních výbušných parametrů (p_{max} , $(dp/dt)_{max}$).

Použitá literatura

- [1] Damec, J.: *Protivýbušná prevence*. 1. vydání, Ostrava: Edice SPBI Spektrum 8, 2005. 188s. ISBN: 80-86111-21-0.
- [2] Adamec, J.: *Optimalizace procesu rozvířování průmyslových prachů VA 250*, Diplomová práce. Ostrava: VŠB – TU, 2010. 56 s.
- [3] CESANA, Ch., SIVEK, R. Operating Instructions 20l-Apparatus 6.0. 2001. Dostupný z WWW: <<http://www.kuhner.com/114139574298-en-index.html>>. [cit. 27.04.2010].
- [4] Burian, S.: Výbušnost hořlavých prachů. 150 Hoří. [online]. 1998, č. 10. Dostupné <http://www.mvcr.cz/casopisy/150hori/10_98/vybusnos.html>. [cit. 27.04.2010].
- [5] ORLÍKOVÁ, K., ŠTROCH, P.: *Chemie procesů hoření*. 1. vydání, Ostrava: Edice SPBI Spektrum 18, 1999. 87s. ISBN: 80-86111-39-3.

- [6] KOŘÍNEK, K. :*CHEMagazín: Požárně technické charakteristiky a jejich význam v technické praxi* [online]. Pardubice: 2006 [cit. 2008-02-13]. dostupný z WWW: <chemagazin.cz>.
- [7] GROSS, B. O fyzice: *Elektrické výboje v plynech*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1967. 140 s.
- [8] Kalousek, J.: *Základy fyzikální chemie hoření, výbuchu a hašení*. 2. vydání, Ostrava: Edice SPBI Spektrum 4, 1999. ISBN: 80-86111-34-2.
- [9] Lyko, J.: *Návrh rozvířovací aparatury k vytváření výbušné směsi prachu se vzduchem*, Diplomová práce. Ostrava: VŠB-TU, 2003. 53 s.