

ŠTÚDIUM INICIAČNÝCH ZDROJOV DREVNÝCH PRACHOV

STUDY OF WOOD DUST INITIATORY SOURCES

Abstrakt

Článok sa zaoberá štúdiom vplyvu iniciačných zdrojov iniciáciu procesu horenia drevných prachov. Sleduje sa vplyv vlastností drevných prachov, veľkosť styčnej plochy medzi iniciačným zdrojom a horľavým materiálom, priestorové usporiadanie počas iniciácie a doba pôsobenia iniciačného zdroja. Poznanie týchto faktorov umožňuje vypracúvať preventívne protipožiarne opatrenia, najmä v technologických procesoch.

Abstract

This article deals with study of various initiatory sources of wood dust behavior. In the article there is described the impact of wood dust properties, the size of interfacial area between the initiatory source and inflammable material, layout during the initiation and duration of initiatory source activity. By knowing these factors it is possible to take fire protection arrangement in the technological process.

Kľúčové slová: iniciačný zdroj, drevný prach, teplota vznietenia, horúci povrch

Key words: initiating source, wood dust, ignition temperature, hot surface

Úvod

Jednou zo základných podmienok horenia je prítomnosť účinného iniciačného zdroja. Hoci za prvotný iniciačný zdroj sa považuje úder blesku, nové vedomosti o rôznych fyzikálnych zákonitostiach dali predpoklad k vzniku a použitiu ďalších iniciačných zdrojov. Väčší počet existujúcich iniciačných zdrojov v súčasnej dobe kladie vyššie nároky na úroveň poznatkov v rámci protipožiarnej bezpečnosti.

Iniciácia procesu horenia

Pre iniciáciu procesu horenia musí mať iniciačný zdroj dostatočnú energiu. Po iniciácii procesu horenia je podmienkou jeho pokračovania dostatočný tepelný výkon pásma horenia samotného alebo v súčinnosti s inými zdrojmi tepla [1, 2]. Nevyhnutnou podmienkou iniciácie, ako aj ustáleného horenia je, že horľavá látka a kyslík musia byť v určitom vzájomnom kvantitatívnom pomere [3].

Iniciácia procesu horenia je najdôležitejším stupňom tohto procesu. Podľa zdroja iniciácie sa rozoznávajú tri druhy začatia procesu:

- spontánne vznietenie účinkom vonkajšieho zdroja sálavého tepla,
- iniciácia pôsobením vonkajšieho zdroja zapálenia (otvorený plameň, iskra),

¹ doc. Ing., PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta STU, Paulínska 16, 917 24 Trnava, Slovenská republika, e-mail: ivana.turekova@stuba.sk

- spontánne vznietenie bez účinku vonkajšieho tepelného zdroja (samovznietenie, chemická reakcia) [4].

Zapálenie, vznietenie, vzplanutie tuhých materiálov sa môže považovať za prechodný jav, ktorý závisí od teploty, podmienok zahrievania a samozahrievania a akumulácie tepla. Podmienky na začatie procesu sú limitované najmä koncentráciou paliva a kyslíka a zdrojom zapálenia (plameň, sálavé teplo, iskra a pod.). Metódy určenia schopnosti materiálov vznietiť sa sú založené na stanovení hraničných podmienok, pri ktorých sa pozoruje vzplanutie, resp. vznietenie.

Základné poznatky o iniciačných zdrojoch

Iniciačným zdrojom daného horľavého systému sa môže stať predmet alebo látka, ktoré majú určitú teplotu a sú schopné po určitý čas odovzdávať potrebné množstvo energie príslušného druhu. Obvykle väčšina zmesí horľavých látok s oxidačným prostriedkom potrebuje pre iniciáciu dodanie aspoň minimálnej iniciačnej energie vhodným iniciačným zdrojom [5]. Iniciačný zdroj sa môže vyvinúť aj z normálnych javov (takých ako je teplo produkované spaľovacími alebo elektrickými motormi) alebo z iných udalostí (napr. náhodné trenie) [6].

Iniciačný zdroj sa vždy vzťahuje k určitému výbušnému alebo horľavému systému, k určitej látke [7]. Teploty najčastejšie sa vyskytujúcich iniciačných zdrojov sú uvedené v tab. 1.

Tabuľka č. 1: Teploty najčastejšie sa vyskytujúcich zdrojov zapálenia [8]

Zdroj zapálenia	Teplota [°C]
horiaca zápalka	740 – 800
horiaca sviečka	650 – 950
tlejúca cigareta	228 – 750
horiaci papier	800– 850
rozžeravená elektrická špirála	980 – 1000
plameň zapalovača	650 – 860
žiarovka	70 – 250

Mechanizmus pôsobenia iniciačného zdroja na jednotlivé látky nie je rovnaký. Napr. vodík má vysokú teplotu vznietenia a veľmi malú minimálnu iniciačnú energiu. Skvapalnené uhl'ovodíky majú pomerne nízku teplotu vznietenia a pomerne vysokú minimálnu iniciačnú energiu. Hodnoty teplôt vznietenia a minimálnej iniciačnej energie (MIE) pre vybrané chemické látky sú uvedené v tab. 2.

Tabuľka č. 2: Hodnoty minimálnej iniciačnej energie a teploty vznietenia vybraných chemických látok [9, 10]

Chemická látka	MIE [mJ]	Teplota vznietenia [°C]
Vodík	0,011	580
Acetylén	0,019	305
Metán	0,28	595
Etán	0,24	413
Propán	0,25	420
Bután	0,25	372

Väčšinou je táto iniciačná energia privádzaná horľavému systému vonkajším iniciačným zdrojom. Jedná sa teda o tzv. „extérnu“ iniciáciu. Existujú však látky, ktoré sú schopné samé sa aktivovať v dôsledku ich určitej nestability. Bud' podľa chemického zloženia alebo fyzikálnej stavby. Takéto látky označujeme ako samovznietivé [48].

Iniciačné zdroje podľa STN EN 1127-1: 2001, Výbušné atmosféry - Prevencia a ochrana proti účinkom výbuchu – Časť 1: Základné pojmy a metodika sa delia na:

- horúce povrchy,
- plameň a horúce plyny (vrátane horúcich častíc),
- mechanické iskry,
- elektrické zariadenia,
- bludné elektrické prúdy, katódová ochrana proti korózii,
- statická elektrina,
- úder blesku,
- vysokofrekvenčné (VF) elektromagnetické vlny od 10^4 Hz do $3 \cdot 10^{12}$ Hz,
- elektromagnetické vlny od $3 \cdot 10^{11}$ Hz do $3 \cdot 10^{15}$ Hz,
- ionizujúce žiarenie,
- ultrazvuk,
- adiabatická kompresia a rázové vlny,
- exotermické reakcie vrátane samovznietenia prachu.

Horenie prašných zmesí

Prašné zmesi sú disperzné sústavy, ktorých vlastnosti s rastúcim stupňom disperzity sú blízke plynným zmesiam. Horenie alebo výbuch prachu a prachových zmesí sa riadi v princípe rovnakými zákonitosťami ako u plynných zmesí.

Usadený prach môže horieť tromi spôsobmi :

1. Plameňové horenie – prach pri tepelnom namáhaní uvoľňuje dostatok horľavých látok, ktoré za prítomnosti kyslíka v určitej koncentrácii môžu horieť plameňom.
2. Žeravenie – pri žeravení látok prebiehajú reakcie horenia na povrchu pevných látok a to na rozhraní fáz. K žeraveniu dochádza najmä u látok s vysokým obsahom uhlíka. Teplota žeravenia dosahuje vysoké teploty v závislosti od vonkajších podmienok, ako aj od samotného materiálu.
3. Tlenie – materiál degraduje za tvorby prchavých látok, pričom rýchlosť tvorby horľavého podielu je malá a proces sa prejavuje dymením z povrchu látky [11].

Horenia prachu môže významne ovplyvniť:

- jemnosť prachu,
- množstvo prachu a jeho koncentrácia,
- koncentrácia kyslíku v oxidačnej atmosfére,
- tvar priestoru v ktorom sa prach nachádza,
- vlhkosť prachu.

Nebezpečenstvo požiaru horľavých prachov sa môže vyskytnúť najmä tam, kde sa prach usadzuje v súvislej vrstve, ktoré je schopné šíriť požiar. Je nutné si uvedomiť, že každý požiar horľavého prachu môže veľmi ľahko prejsť do výbuchu a naopak výbuch horľavého prachu môže prejsť do horenia zvyšku nezreagovaného prachu. Po výbuchu ale nemusí nasledovať požiar, ak je výbuchom spotrebovaný vzdušný kyslík resp. príslušne znížený obsah kyslíku v priestore [12].

Nebezpečenstvo iniciácie usadenej vrstvy prachu môže nastať, ak:

(7)

$$t_{\text{PRAC}} \geq k_b \cdot t_{\text{MIN}}^u$$

kde

- t_{PRAC} - teplota horúceho povrchu v °C,
- t_{MIN}^u - minimálna teplota vznietenia usadeného prachu,
- k_b - bezpečnostný koeficient, ktorý má hodnotu 2/3 [5].

Horľavý prach v rozvírenom stave je schopný prudko oxidačne reagovať a táto reakcia má charakter výbuchu a za určitých podmienok môže tento dej prejsť až do detonácie.

Stanovenie vybraných požiaro-technických vlastností

K stanoveniu boli použité nasledovné druhy drevných prachov (obr. 1):

- bukový prach z brúsenia pomocou hrubovacieho brúsneho kotúča,
- dubový prach (jemný) z brúsenia jemnozrnným brúsnym papierom,
- smrekový prach (piliny) z rezania kotúčovou pílou.



Obr. 1: Vybrané drevné prachy

Nakoľko jednalo sa o drevné prachy (piliny) z rôznych technologických operácií, preto transmisívnym elektrónovým mikroskopom bola sledovaná aj ich mikroštruktúra, vrátane prímiesí z technologických procesov (obr. 2).



Obr. 2: Mikroštruktúra drevných prachov (25 – násobné zväčšenie)

Sitová analýza

U testovaných prachov bola uskutočnená sitová analýza na vibračnej preosievačke LPZF. Pred analýzou bol každý prach teplotne stabilizovaný v exikátore 24 hodín pri teplote 25,5 °C a vlhkosti 18 %. Výsledky sitovania prachov sú uvedené v tab. 3 a sú vyjadrené ako percentuálny podiel jednotlivých hmotnostných frakcií (2).

Tabuľka č. 3: Výsledky sitovej analýzy drevných prachov

Rozmer oka [mm]	Bukový prach [%]	Dubový prach [%]	Smrekový prach [%]
0,500	7,315	2,885	25,120
0,250	20,845	11,930	45,160
0,200	14,785	6,1950	11,545
0,150	17,410	9,035	8,190
0,090	28,375	13,325	6,155
0,071	5,915	35,655	1,755
0,056	2,600	17,075	0,925
prepad	2,080	3,250	0,430
Straty	0,675	0,650	0,720
spolu	100	100	100

Keďže prachy vznikli pri rôznych technologických operáciách, bolo odlišné aj ich granulometrické zloženie. Smrekový prach, ako produkt rezania kotúčovou pilou, mal najvýznamnejšie zastúpenú frakciu 250 µm až 500 µm (45 %), pričom obsahoval aj drobné triesky a väčšie kúsky pilín, čo bolo zistené aj štúdiom mikroštruktúry. Bukový prach vznikol pri brúsení hrubovacím kotúčom a najvýraznejšie zastúpená frakcia bola 90 µm až 150 µm (28 %). Najjemnejší dubový prach s výrazným zastúpením frakcie 71 µm až 90 µm vznikol pri brúsení jemnozrnným brúsnym papierom.

Vlhkosť drevných prachov

So zvyšujúcim sa obsahom vody v drevnom prachu sa zvyšuje aj odolnosť prachu voči zapáleniu, pretože časť energie sa spotrebuje na odparenie voľnej vody, narušenie väzieb a na následné odparenie viazanej a chemicky viazanej vody. Horľavé plyny zriedené vodnou parou majú nižšiu koncentráciu a tým aj horšiu zápalnosť. So zvyšujúcim sa obsahom vlhkosti v prachu stúpa doba iniciácie [26].

Pre stanovenie vlhkosti vzoriek drevného prachu bola použitá gravimetrická metóda podľa STN 49 0103: 1979, Drevo - Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach. Výsledky sú v tabuľke č. 4.

Tabuľka č. 4: Hodnoty vlhkosti jednotlivých vzoriek drevných prachov

Druh dreveného prachu	Hodnoty vlhkosti paralelných meraní		Priemerná hodnota vlhkosti W [%]
	W1 [%]	W2 [%]	
smrekový prach	6,363	6,493	6,428
bukový prach	5,195	4,974	5,085
dubový prach	4,848	4,738	4,793

Väčšia vlhkosť smrekového prachu bola spôsobená jeho granulometrickým zložením, keďže obsahoval aj piliny a triesky, ktoré vznikli pri technologickom opracovaní dreva rezaním. Piliny a triesky majú väčší podiel viazanej vody a ťažšie sa vysušajú ako jemné čiastočky prachu. Stanovené hodnoty vlhkosti by však nemali mať výraznejší vplyv na výsledky experimentov, pretože nepresiahli ani 10 hmot. %.

Iniciácia vzoriek drevných prachov horúcim povrchom

Horúce povrchy sú neoddeliteľnou súčasťou v technologických procesoch spracovania dreva. Ich povrchová teplota na kritických miestach môže presiahnuť minimálnu teplotu vznietenia usadeného drevného prachu a predstavujú tak veľké nebezpečenstvo iniciácie.

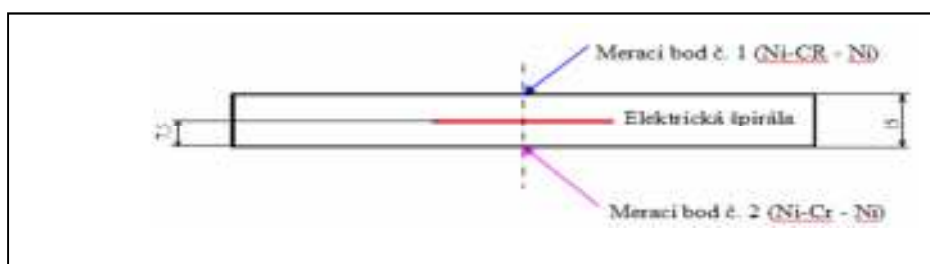
Iniciácia usadenej vrstvy prachu horúcim povrchom sa využíva v metóde stanovenia minimálnej teploty vznietenia prachu podľa normy STN EN 50281-2-1: 1998, Elektrické zariadenia do priestorov s horľavým prachom. Časť 2-1 : Skúšobné metódy. Vznietenie vrstvy prachu horúcim povrchom pri určitej teplote závisí výrazne na rovnováhe medzi rýchlosťou vytvárania tepla vo vrstve a rýchlosti uvoľňovania tepla do okolia. Teplota vznietenia daného materiálu preto závisí na hrúbke usadenej vrstvy. Výška vrstvy vzorky testovaného drevného prachu, umiestnenej na povrchu vyhrievanej platne bola 15 mm. Teplota v miestnosti bola 22,6 °C. V tab. 5 sú namerané hodnoty minimálnych teplôt vznietenia a správanie sa vrstvy pri vznietení drevných prachov.

Tabuľka č.5: Minimálna teplota vznietenia vzoriek drevného prachu

Vzorka prachu	Minimálna teplota vznietenia [°C]	Vizuálne pozorovania pri meraní
smrekový prach	300	<ul style="list-style-type: none"> – po 19 min 50 s nastalo vytvorenie 2 hniezd tlenia, ich rozširovanie od okrajov smerom k stredu vzorky, dymenie, – po 22 min 10 s bolo zaznamenané žeravenie, odpadávanie bieleho popola, – 34 min 20 s celkové zuhoľnatie vzorky,
bukový prach	290	<ul style="list-style-type: none"> – po 23 min 35 s vytvorenie 3 hniezd tlenia pri okraji vzorky, uhoľnatie, dymenie, – po 26 min 50 s žeravenie po obvode vzorky, – 37 min 45 s celkové zuhoľnatie vzorky,
dubový prach	280	<ul style="list-style-type: none"> – po 16 min 20 s sa vytvorili 2 hniezda tlenia, výrazné dymenie, – po 19 min nastalo žeravenie po obvode vzorky, – 25 min celkové zuhoľnatie vzorky.

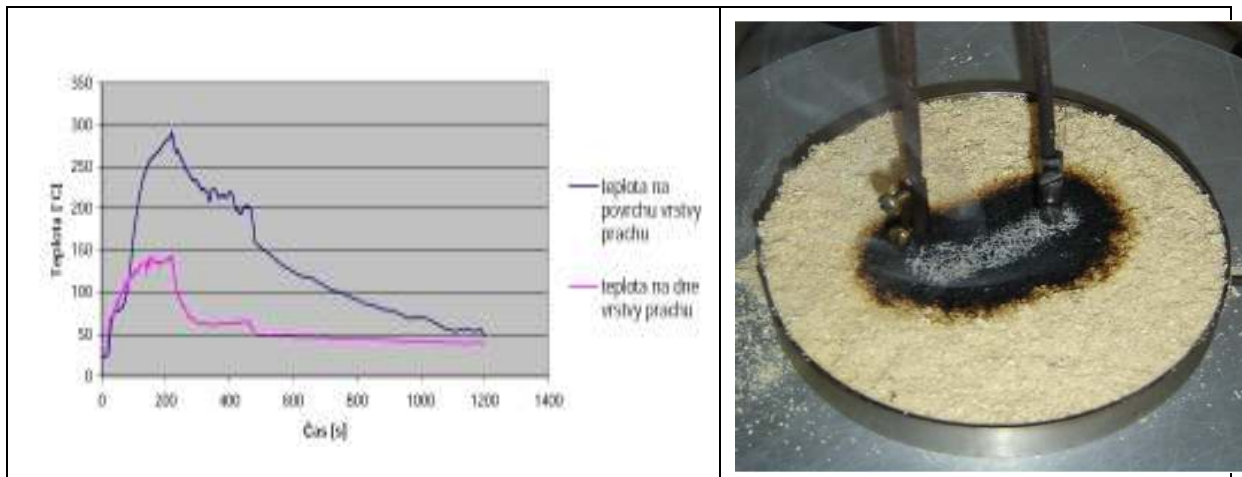
Iniciácia vzoriek drevných prachov elektrickou špirálou

Pri experimente pre iniciovanie vzoriek drevného prachu bola použitá elektrická špirála so zdrojom jednosmerného napätia, ktorá dosahovala teplotu 490 °C (merané termočlánkom Ni-Cr – Ni). Iniciácia vzoriek špirálou trvala 180 sekúnd, pričom bola sledované teplotné správanie sa vzoriek na povrchu aj na dne vrstvy prachu dvoma termočlánkami (merací bod č. 1, merací bod č. 2). Elektrická špirála bola zasypaná vzorkou a pôsobila v jej objeme vo výške $(7,5 \pm 1)$ mm nad dnom usadenej vrstvy a zároveň nad meracím bodom č. 2.

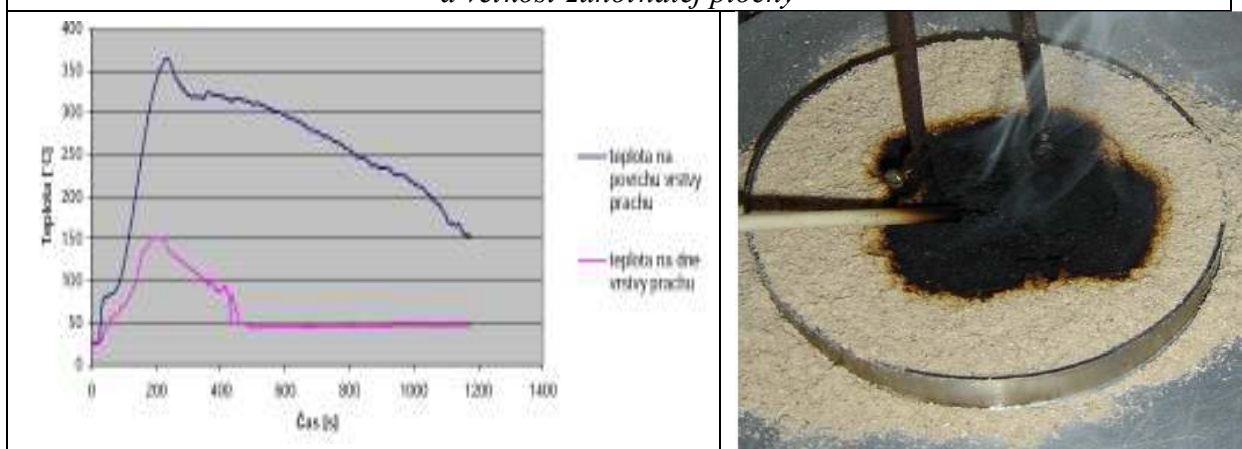


Obr. 3: Priestorové usporiadanie pri iniciácii elektrickou špirálou

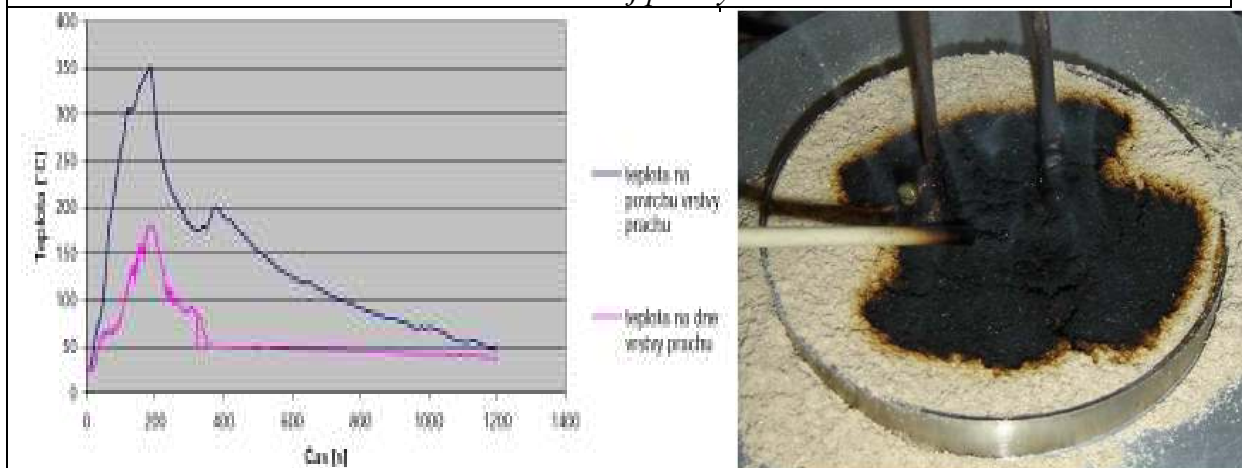
Na obr. 4 - 6 sú znázornené závislosti teplôt vrstiev drevných prachov od času pri iniciácii elektrickou špirálou a súčasne aj vizualizácia správania sa prachov pri meraní.



Obr. 3: Závislosť teplôt smrekového prachu od času pri iniciácii elektrickou špirálou a veľkosť zuhoľnatej plochy



Obr. 4: Závislosť teplôt bukového prachu od času pri iniciácii elektrickou špirálou a veľkosť zuhoľnatej plochy



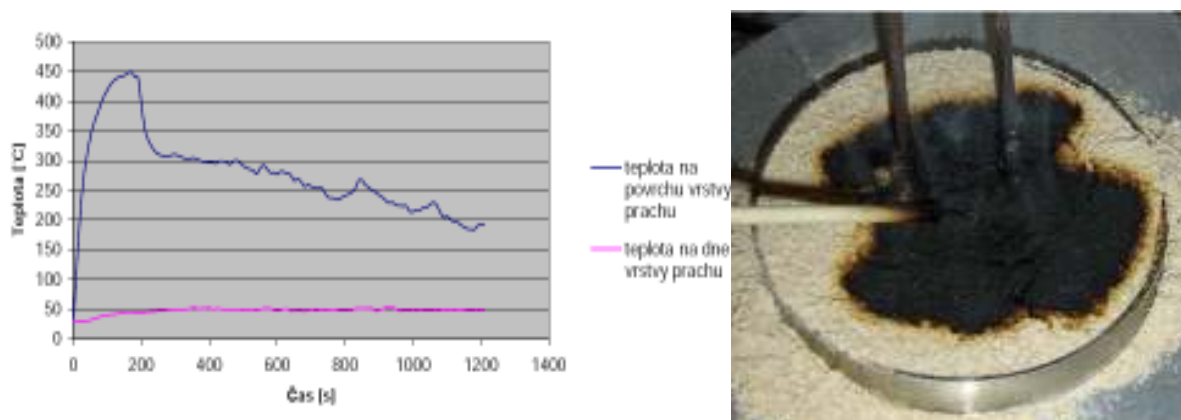
Obr. 5: Závislosť teplôt dubového prachu od času pri iniciácii elektrickou špirálou a veľkosť zuhoľnatej plochy

Priebeh iniciácie elektrickou špirálou bol veľmi podobný pri všetkých druhoch drevného prachu. Už po 30 sekundách iniciácie došlo v miestach medzi ramenami elektrickej špirály k procesu zuhoľnatenia, čo bolo sprevádzané silným dymením. Okolo rozžeraveného drôtu sa vytvorilo žeraviace hniezdo a zuhoľnatená vrstva sa rozširovala ďalej po povrchu

vrstvy prachu, pričom najväčšiu plochu dosiahla u dubového prachu. Z grafov vyplýva, že tesne po prerušení prechodu elektrického prúdu špirálou (180 s) dosiahli obe teploty svoje maximálne hodnoty.

Iniciácia vzoriek drevných prachov propán-butánovým plameňom

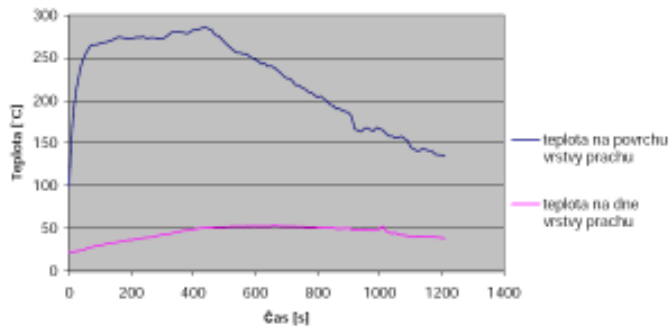
Skúšobná aparátúra pre iniciáciu propán-butánovým plameňom pozostáva z propán-butánovej tlakovej nádoby, prívodnej hadice a horáka, regulačným ventilom bola nastavená výška plameňa horáka (20 ± 5) mm, ktorým bolo pôsobené na vrstvu prachu obdobne ako v predchádzajúcom prípade (15 mm vrstvu prachu, doba pôsobenia 180 sekúnd). Pomocou termočlánkov bola zaznamenávaná teplota na povrchu a na dne vrstvy prachu. Pri iniciácii smrekového a bukového prachu došlo k lokálnemu zuhoľnateniu v mieste iniciácie, pričom pri smrekovom prachu zuhoľnatená vrstva nemala tendenciu sa rozširovať smerom k okrajom. Plocha zuhoľnatej vrstvy dubového prachu sa veľmi rýchlo rozširovala a bola sprevádzaná silným dymením a žeravením (obr. 7).



Obr. 7: Závislosť teplôt dubového prachu od času pri iniciácii propán-butánovým plameňom a veľkosť zuhoľnatej plochy

Iniciácia vzoriek drevných prachov tlejúcou cigaretou

Pre iniciáciu bola použitá horiaca cigareta, umiestnená do vrstvy prachu tak, aby žeraviaca oblasť cigarety postupovala smerom zo stredu k okraju vrstvy, opäť boli sledované dve teploty na povrchu a na dne vrstvy prachu (obr. 8.)



Obr. 8: Závislosť teplôt dubového prachu od času pri iniciácii propán-butánovým plameňom a veľkosť zuhoľnatej plochy

Pri iniciácii vzorky dubového prachu sa zuhoľnatená plocha rýchlo šírila po povrchu s viacerými ohniskami žeravenia, pričom vzorka prehorela čiastočne aj do hĺbky, čo dokazuje aj zvýšenie teploty na dne vrstvy prachu.

Diskusia

Cieľom experimentálnej práce bolo posúdenie vplyvu vybraných iniciačných zdrojov na iniciáciu a propagáciu procesu horenia usadenej vrstvy rôznych druhov dreveného prachu (smrek, buk a dub). Keďže prachy vznikli pri rôznych technologických operáciách, bolo odlišné aj ich granulometrické zloženie. Pri štúdiu elektrónovým mikroskopom boli vo vzorkách identifikované prímеси z brúsnych papierov. Pred vlastným meraním bola stanovená vlhkosť vzoriek, ktorá významne neovplyvnila iniciačnú fázu vzoriek.

Podľa normy STN EN 50281-2-1 : 1998 Elektrické zariadenia do priestorov s horľavým prachom. Časť 2-1: Skúšobné metódy, bola stanovená minimálna teplota vznietenia jednotlivých prachov pre 15 mm výšku usadenej vrstvy prachu, kde najnižšiu teplotu dosahoval dubový prach 280 °C. Mechanizmus vznietenia bol porovnateľný u všetkých vzoriek, pričom sa vytvorili tlejúce hniezda najskôr po obvodu vzorky. Prvotný vznik týchto hniezd v blízkosti skúšobného krúžku, použitého na vymedzenie výšky vrstvy prachu, bol spôsobený vysokou tepelnou vodivosťou ocele, z ktorej je krúžok vyrobený. V praxi by teda nemusel predstavovať veľké nebezpečenstvo iba horúci povrch, ale aj teleso s dobrou tepelnou vodivosťou, ktoré je v kontakte s horúcim povrchom a zasahuje do vrstvy usadeného prachu.

Pri iniciácii elektrickou špirálou vzorky podliehali žeraveniu v lokálnom mieste pôsobenia rozžeraveného drôtu špirály. Vzorka prehorela aj do hĺbky, z čoho možno usudzovať, že veľké nebezpečenstvo predstavuje rozžeravený vodič najmä vtedy, ak je zasypaný vrstvou prachu a pôsobí v jeho objeme.

Propán-butánový plameň vyvolal pri všetkých vzorkách krátkodobé plameňové horenie v mieste pôsobenia plameňa. Najdlhšie plameňové horenie bolo zaznamenané pri vzorke smrekového prachu, ktorý obsahoval väčšie častice dreva. Zuhoľnatené plochy pri iniciácii horiacou cigaretou boli najmenšie, ale veľké nebezpečenstvo predstavuje najmä pre jemné prachové zmesi, ktorým k vznieteniu postačuje aj menšia iniciačná energia.

Záver

Významné požiarne nebezpečenstvo predstavujú drevospracujúce podniky, v ktorých rôznymi technologickými operáciami dreva (brúsenie, rezanie, vítanie, atď.) vznikajú drobné častice, ktoré víria v ovzduší, alebo sa usádzajú vo forme drevného prachu. Usadený prach môže horieť plameňovým horením, žeravieť alebo tlieť. Každý z týchto prejavov je však závislý aj na iniciačnom zdroji. Všetky iniciačné zdroje použité v experimentoch sa buď priamo, alebo istým pripodobnením, ktoré sa môžu vyskytnúť v prevádzkach a predstavujú potenciálne nebezpečenstvo vzniku požiaru, alebo výbuchu.

Zoznam literatúry

- [1] TROITZSCH, J. *International plastics flammability handbook*. 1990, Munich : HANSER PUBLISHERS 517 s. ISBN : 3-446-15156-7.
- [2] ŠIMANDL, L. *Iniciace elektrickou jiskrou*. In ARPOS, 2004, č.14-15, s. 21 – 23.
- [3] SERAFÍN, J. Stanovení teplotních mezí výbušnosti. In *Požární ochrana 2007 – sborník přednášek*. 2007, Ostrava : SPBI, s. 542 – 546, ISBN : 80-7385-009-8
- [4] BALOG, K., KVARČÁK, M. *Dynamika požáru*. 1999, Ostrava : EDICE SPBI SPEKTRUM, 118 s. ISBN : 80-86111-44-X
- [5] DAMEC, J. *Protivýbuchová prevence v potravinářství a zemědělství*. 1999, Ostrava : EDICE SPBI SPEKTRUM, 252 s. ISBN : 80-86111-41-5
- [6] ŠEVDA, M. *Effect of firing process on properties of brick body with organic combustible admixture*. 2005, Bratislava : STU V BRATISLAVE, 64 s.
- [7] TURNS, S. R. *An introduction to combustion*. 1996, USA : The Pennsylvania State University, 555 s. ISBN : 0-07-911812-7
- [8] ŠENOVSKÝ, M., et al. *Základy požárního inženýrství*. 2004, Ostrava : EDICE SPBI SPEKTRUM, 178 s. ISBN : 80-86634-50-7
- [9] TEXAS COMMISSION ON ENVIRONMENTAL QUALITY. *Outdoor burning* [online], [cit. 2009-04-12; 15:30 SEČ]. Dostupné na internete: <http://www.tceq.state.tx.us>
- [10] TUREKOVÁ, I., BALOG, K. Parametre vznietivosti polyetylénu a aktivačná energia iniciácie procesu horenia. In *Vedecké práce MtF STU*. 2001, Bratislava: s.181–186, ISBN : 80-227-1648-0
- [11] BALOG, K. *Samovznietenie*. 1999, Ostrava : EDICE SPBI SPEKTRUM, 133 s. ISBN : 80-86111-43-1
- [12] DAMEC, J. *Směrnice pro posuzování požárního nebezpečí prašných provozů a zařízení v nichž se vyskytují hořlavé prachy*. 1995, Ostrava, 22 s.