

## POSÚDENIE POŽIARNEHO NEBEZPEČENSTVA USADENÉHO A ROZVÍRENÉHO PRACHU

IVANA TUREKOVÁ

### ANALYSIS OF FIRE HAZARD OF DUST LAYER AND DUST CLOUD

#### ABSTRAKT

Technologické spracovanie dreva je sprevádzané tvorbou horľavého drevného prachu. Ak nie je dostatočne odstraňovaný, uniká do pracovného prostredia. Expozícia zamestnancov prachu je druhým najčastejším rizikovým faktorom v Slovenskej republike z dlhodobého hľadiska. Prítomnosť prachu v pracovnom prostredí znižuje pracovný komfort zamestnancov a tiež negatívne ovplyvňuje zdravotný stav exponovaných pracovníkov. Bukový a dubový prach sú zaradované podľa legislatívy medzi karcinogénne látky prvej skupiny – sú dokázané karcinogény pre ľudí a sú pre nich stanovené limity NPEL a TSH. Stanovenie požiaro-technických charakteristík, ktoré charakterizujú horľavosť a výbušnosť drevných prachov, predstavuje významnú súčasť stanovenia požiarneho nebezpečenstva a nebezpečenstva výbuchu. Sú tiež používané na navrhnutie preventívnych opatrení.

**Kľúčové slová:** Požiaro-technické vlastnosti, drevný prach, minimálna teplota vznietenia prachu

#### ABSTRACT

Technological processing of the wood (sanding, granulation, cutting) is followed by the production of the combustible dust. If the dust is not removed sufficiently, it vents to the work environment. Employees' exposure to the dust is the second most frequented risk factor in Slovak Republic in the long term. The presence of the dust in the work environment reduces the working comfort of employees and also negatively affects the fitness of the exposed staff. The beech and the oak aerosols belong according to the legislation to carcinogenic agents of class 1 – i.e. are documented carcinogenic agents for people, i.e. there are established limits (NPEL and TSH). Determination of the fire-technical parameters, which characterize the flammability and the explosibility of wood dusts, presents important component of determination of fire hazard and explosion hazard of these dusts. It is also used to design the essential precautionary measures.

**Key words:** Fire-technical parameters, wooden dust, minimum ignition temperature of the dust

#### Úvod

Prach je nadradeným pojmom pre rozomleté pevné látky označované ako púder, múčka, prášok a pod. Môže byť žiaducim výrobkom (kakaový prášok, múka, cukor, uhlie pripravené pre koksovanie) alebo polotovarom (liečivá pred tabletovaním) alebo odpadom (brúsny prach). Prach je tvorený veľkým počtom častíc, ktoré sa navzájom líšia rýchlosťou voľného pádu (Damec, 1993).

Všeobecnou charakteristikou prostredia je disperzná sústava, ktorá vzniká rozptýlením častíc v súvislej fáze dispergujúceho prostredia. Ak je rozptýlená tuhá látka vo vzduchu, potom ju podľa

veľkosti dispergovaných častíc označujeme ako *aerodisperznú zmes*. Jemnejšie prachy reagujú prudšie ako prachy hrubé, pričom sa veľkosti zrna výraznejšie prejavujú na zmene prudkosti výbuchu ako na výbuchovom tlaku (Mračková, 1999).

V porovnaní s kompaktnou látkou, z ktorej prach vznikol, má prach špecifické vlastnosti. Vlastnosti, ktoré ovplyvňujú horľavosť a výbušnosť prachu, súvisia s jeho jemnosťou a veľkosťou merného povrchu. Tiež tepelná vodivosť prachu v usadenom stave sa podstatne odlišuje od tepelnej vodivosti kompaktnej látky. Tepelná vodivosť prachov je nízka a blíži sa tepelnej vodivosti izolačných materiálov. To je spôsobené prítomnosťou vzduchu medzi jednotlivými čiastočkami prachu (Damec, 1993).

### Drevný prach

Jedným z významných producentov drevného prachu je drevospracujúci priemysel, ktorý patrí medzi odvetvia, kde prach vzniká ako odpad. Prach vzniká pri procesoch ako napr.:

- brúsenie,
- drvenie a vŕtanie dreva,
- doprava,
- odsávanie – cyklóny,
- využitie odpadu – drevné brikety.

Keď nie je dostatočne odstraňovaný, uniká do pracovného prostredia a negatívne pôsobí na zdravie exponovaných pracovníkov (Tureková a kol., 2005).

Drevné prachy definujeme ako horľavé organické prachy. Horľavý prach je schopný oxidačnej reakcie, môže so vzduchom horieť plameňom alebo tlieť a môže vytvárať v zmesi so vzduchom výbušnú zmes za atmosférického tlaku a normálnej teploty (STN EN 50281-3, 1998), (Ebadat a kol., 2003).

Drevný prach, prach rastlinného pôvodu, môžeme rozdeliť do kategórií podľa biologického účinku na ľudský organizmus, pričom vychádzame z pôvodu dreva. Toto rozdelenie znázorňuje tab. 2.

**Tab.3 Rozdelenie drevných prachov podľa biologického účinku** (<http://www.bzp.cz>)

Kategória biologického účinku	Druh dreva
<b>biologicky vysoko účinné drevo</b>	jalovec, tis, niektoré druhy exotických drieb
<b>biologicky účinné drevo</b>	agát, borovica, eben, smrek, topoľ
<b>biologicky málo účinné drevo</b>	breza, hrab, javor, jedľa, niektoré druhy exotických drieb
<b>drevo s karcinogénnym účinkom</b>	dub, buk

Únik alebo uvoľnenie horľavého plynu, pary, hmly alebo horľavého prachu, ktorý môže spôsobiť výbuch, sa musí vhodným spôsobom usmerniť, odvieť do bezpečného priestoru, v ktorom neohrozí bezpečnosť a zdravie zamestnancov, a ak to nie je možné, bezpečne uzatvoriť alebo zabezpečiť iným vhodným spôsobom. Ak výbušná atmosféra obsahuje viac druhov horľavého plynu, pary, hmly alebo prachu, ochranné opatrenia musia zodpovedať najväčšiemu možnému riziku (Mračková, 2005).

### Materiál a metódy

K stanoveniu boli použité nasledovné druhy drevných prachov (tab.3):

**Tab. 3 Popis vzoriek drevných prachov**

Druh prachu	Charakteristika
<b>dubový prach</b>	pásová stolová brúska
<b>smrekový prach</b>	ručná pásová brúska Bvack & Decker KA75 650 W, zrnitosť brúsneho papiera P 36X, P 100X
<b>prach DTD</b>	dubová DTD zo závodu Bučina Zvolen, prevádzka brúsenia dreva

K stanoveniu boli použité metódy:

- gravimetrické stanovenie vlhkosti,
- sitová analýza,
- stanoveniu minimálnych teplôt vznietenia usadených drevných prachov (metódou plánovaného experimentu).

**Stanovenie vlhkosti**

Vlhkosť drevných prachov bola stanovená gravimetricky. Vzorky boli vážené na analytických váhach a vysušené pri 103 °C 24 hodín a opäť zvážené. Výsledky stanovenej vlhkosti sú uvedené v tab. 4:

**Tab. 4 Vlhkosť drevných prachov**

Druh prachu	Vlhkosť [%]
<b>dubový prach</b>	4,7
<b>smrekový prach</b>	4,2
<b>prach DTD</b>	4,2

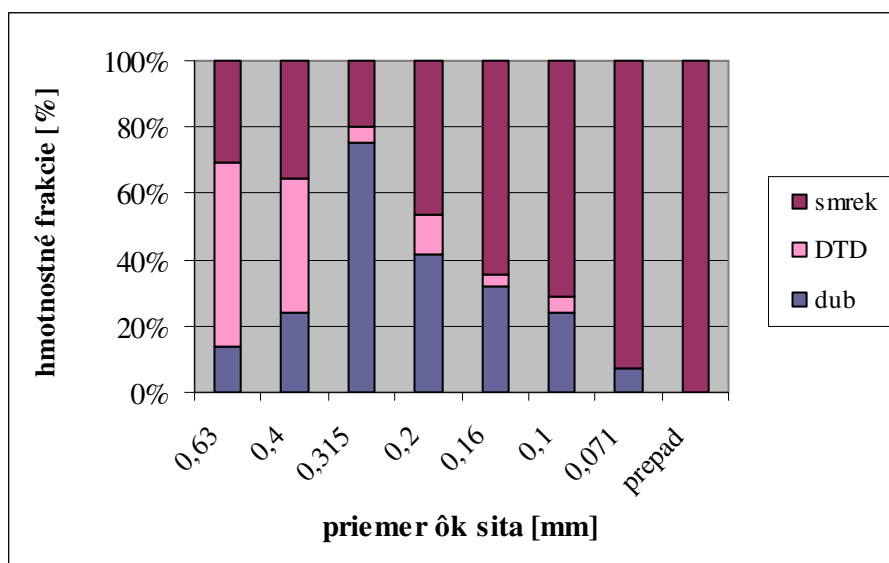
**Sitová analýza**

Pri analýze zrnitosti sa robilo mechanické sitovanie za sucha. Navážka pri každej vzorke prachu bola 10 g. Doba sitovania prachov bola 10 minút, vzorky bol sitované paralelne. Pred samotnou analýzou boli všetky vzorky drevných prachov stabilizované v exikátore 24 hodín pri teplote 25,3 °C, výsledky sú uvedené v tab.5.

**Tab. 5 Percentuálne zastúpenie hmotnostných frakcií vzoriek drevných prachov**

φ ôk sita [mm]	podiel frakcií [%]		
	dub	smrek	DTD
<b>0,630</b>	16,21	36,55	66,69
<b>0,400</b>	15,76	23,33	26,06
<b>0,315</b>	50,74	13,48	3,04
<b>0,200</b>	9,23	10,18	2,64
<b>0,160</b>	4,13	8,34	0,49
<b>0,100</b>	1,34	3,94	0,26
<b>0,071</b>	0,18	2,39	0,00
<b>prepad</b>	0,00	0,22	0,00

Obr. 1 porovnáva zastúpenie frakcií jednotlivých drevných prachov.



**Obr. 1** Percentuálny podiel frakcií vzoriek drevných prachov

Sitovou analýzou bolo zistené, že dané vzorky prachov neobsahujú respirabilné frakcie (častice sú < 0,5 μm). Z hľadiska teploty vznietenia usadeného prachu je významná frakcia s veľkosťou častíc 0,200 mm. V prípade dubového prachu táto frakcia tvorila 4,13 %, vzorka smrekového prachu obsahovala v priemere 8,34 % tejto frakcie a zastúpenie DTD frakcie bolo iba 0,49 %. Je to spôsobené charakterom brúsnych procesov, z ktorých boli vzorky odoberané.

### Minimálna teplota vznietenia vrstvy usadeného prachu

Minimálna teplota vznietenia vzoriek drevných prachov v usadenom stave bola stanovená podľa príslušnej normy. Výška vrstvy vzorky testovaného drevného prachu, umiestnenej na povrchu vyhrievanej platne, bola 5, 12,5 a 15 mm. Tab. 6 uvádza namerané hodnoty minimálnych teplôt vznietenia testovaných drevných prachov a stručný popis správania sa vrstvy pri vznietení.

**Tab. 6** Prehľad minimálnych teplôt vznietenia drevných prachov

Vzorka	Minimálna teplota vznietenia [°C]		
	5 mm vrstva	12,5 mm vrstva	15 mm vrstva
dubový prach	320	290	280
smrekový prach	320	290	290
prach DTD	320	280	280

Tepelná vodivosť prachov sa blíži tepelnej vodivosti izolačných materiálov a podstatne sa líši od tepelnej vodivosti kompaktných materiálov, z ktorých vznikli. Ako aj z tabuľky vyplýva, čím je vrstva usadeného prachu vyššia, znižuje sa teplota vznietenia ako dôsledok kumulácie tepla vo vrstve. Ako najhorľavejší sa javí DTD prach, čo možno očakávať v súvislosti s charakterom chemického zloženia prachu.

### Minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného DTD prachu

Meranie bolo uskutočnené podľa plánovaného dvojfaktorového experimentu. **Nezávislé veličiny boli kvantitatívne faktory:**

- hmotnosť navažovanej vzorky  $m$  [g],
- tlak privádzaného vzduchu  $p$  [bar],
- vlhkosť  $V$  [%] – pasívny faktor (vlhkosť vzorky prachu sa bude štandardizovať a budeme ju považovať ju konštantnú),

**a kvalitatívne faktory:**

druh prachu – dubový prach, smrekový prach, prach z DTD

**Odozvou (závislou veličinou)** bola minimálna teplota vznietenia rozvíreného dreveného prachu  $T$  [°C].

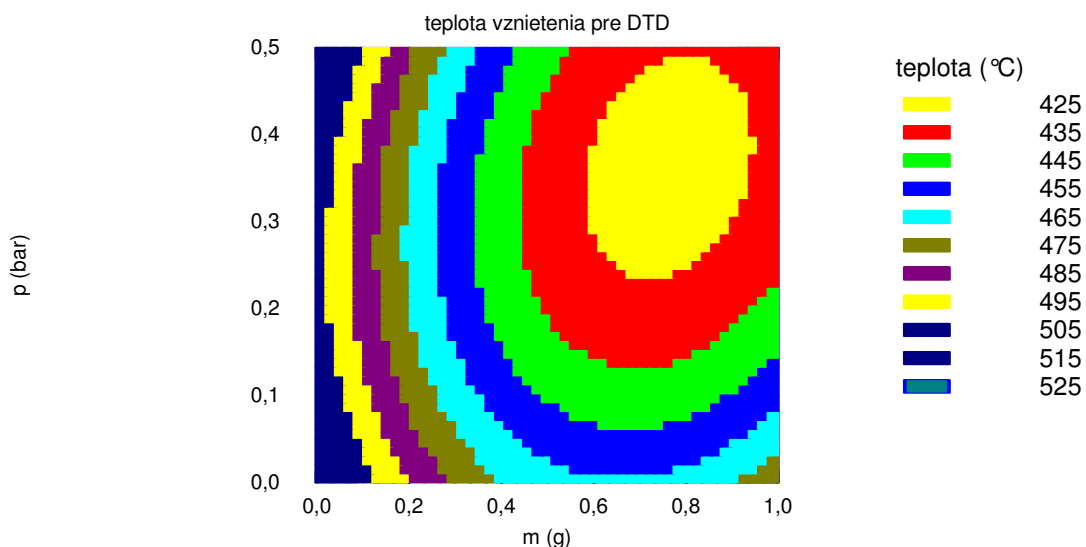
*Predpokladaný matematický model závislosti odozvy*

Za istých predpokladov (normálne rozdelenie pravdepodobnosti odchýlok a rovnosť rozptylov pre každú nameranú hodnotu) vieme závislosť odozvy od vybraných faktorov aproximovať polynomickým modelom. Z údajov, ktoré poskytne experiment, možno pre každý druh prachu vypočítať hodnoty regresných koeficientov polynomickej funkcie pre minimálnu teplotu vznietenia

$$T = b_0 + b_1 m + b_2 p + b_{12} m p + b_{11} m^2 + b_{22} p^2 \quad (1)$$

Odhad sa dá pre dva faktory zobrazit' ako výsledková plocha závislosti  $T = f(m, p)$  v experimentálnom priestore. V prípade neadekvátnosti modelu na zvolenej hladine významnosti bude potrebné uvažovať o zvýšení rádu regresnej funkcie.

Experimentálne zistené hodnoty boli spracované metódami viacrozmernej regresnej analýzy a analýzy rozptylu (odhad plochy odozvy) pomocou programu NCSS. Na obr. 2 je znázornené rozdelenie minimálnych teplôt vznietenia prachu z DTD. Je možné podľa neho určiť minimálnu teplotu vznietenia daného dreveného prachu v závislosti od tlaku a hmotnosti vzorky.



**Obr. 21 Rozdelenie minimálnej teploty vznietenia DTD prachu v závislosti od tlaku a hmotnosti vzorky – kvadratický model**

Z výsledkov vyplynulo, že aproximácia hľadanej závislosti kvadratickým modelom je vhodná pre vzorku DTD prachu. Obr. 2 ukazuje, že pri súčasnom zvyšovaní hmotnosti vzorky a tlaku teplota vznietenia rozvíreného DTD prachu klesá. Odhadová funkcia v tvare eliptického paraboloidu dosahuje minimum s hodnotou 425 °C pri tlaku 0,36 baru a hmotnosti vzorky 0,76 g. V okolí tohto bodu sa teplota vznietenia mení najpomalšie. Pri nízkych hmotnostiach vzorky (približne do 0,3 g) sa pri

zvyšovanie tlaku odozva nemení, pri vyšších hmotnostiach klesá. Takisto teplota vznietenia klesá pri všetkých hodnotách tlaku, ak sa hmotnosť zvyšuje v rozpätí 0 až 0,5 g, ďalšie zvyšovanie hmotnosti už na jej zmenu nemá vplyv.

### Záver

Horľavé prachy predstavujú v reálnych prevádzkach významný faktor vo vzťahu k pracovnému prostrediu ale aj z hľadiska požiaro-technických vlastností. Boli stanovené minimálne teploty vznietenia vzoriek usadených drevných prachov (dubový, smrekový a drevotrieskový). Možno konštatovať, že najhorľavejším je DTD prach a jeho teplota vznietenia s výškou usadenej vrstvy narastala.

Dvojfaktorovým pokusom s použitím aproximácie polynomickým modelom a vyhodnotením NCSS programom bola stanovená teplota vznietenia DTD prachu. Pri vyhodnotení plánovaného experimentu bola použitá metóda viacrozmernej regresnej analýzy a analýzy rozptylu – odhad plochy odozvy. Aproximácia hľadanej závislosti kvadratickým modelom sa ukázala ako vhodná. Spôľahlivosť odhadu pre vzorku prachu DTD je až 97 %.

### ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] DAMEC, Jaroslav. Nebezpečí výbuchu průmyslových prachů (2. Část) In *150 Hoří*, 1993, č. 6, s. 7
- [2] MRAČKOVÁ, Eva. Charakteristika dreveného prachu z hľadiska vzniku výbuchu. In *50 rokov vysokoškolského drevárskeho štúdia 1999*. Zvolen: TUZ, 1999, s. 89-94.
- [3] TUREKOVÁ, I., BALOG, K., SLABÁ, I. Stanovenie teplôt vznietenia drevených prachov. In *Požárni ochrana*, 2005. Ostrava, s. 622-630
- [4] STN EN 50281-2-1 Elektrické zariadenia do priestorov s horľavým prachom. Časť 2-1: Skúšobné metódy: Metódy na stanovenia minimálnych teplôt vznietenia prachu. 1998.
- [5] Available on-URL: ><http://www.bzp.cz/docs/zatez5.htm>< [cit. 2006-01-27, 14:13 SEČ]
- [6] EBADAT, Vahid., LAING, Chantell. Dust Explosions: Is your safety blanket in place? In *Chemical engineering*, 2003, s. 50-54
- [7] MRAČKOVÁ, Eva. Štatistické vyhodnotenie veľkosti prachových častíc dreveného prachu topoľa z pohľadu rizika explózie. In *Požárni ochrana*, 2005. Ostrava, s. 325-334.
- [8] STN EN 50281-2-1 Elektrické zariadenia do priestorov s horľavým prachom. Časť 2-1: Skúšobné metódy: Metódy na stanovenia minimálnych teplôt vznietenia prachu. 1998.

### ADRESA AUTORA

**doc. Ing. Ivana Tureková, PhD.**, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika, e-mail: >[ivana.turekova@stuba.sk](mailto:ivana.turekova@stuba.sk)<

### RECENZENT

**prof. Ing. Karol Balog, PhD.**, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta Trnava, Botanická 49, 917 01 Trnava, Slovenská republika, e-mail: >[karol.balog@stuba.sk](mailto:karol.balog@stuba.sk)<