

UNIVERZITA MATEJA BELA V BANSKEJ BYSTRICI
FAKULTA PRÍRODNÝCH VIED

Iveta MARKOVÁ – Alena OČKAJOVÁ

Hodnotenie rizika drevných prachov v pracovnom a životnom prostredí

Vedecká monografia



2018

 **ELIANUM**

© **prof. RNDr. Iveta Marková, PhD.**

© **doc. Ing. Alena Očkajová, PhD.**

Recenzenti : prof. Ing. Anton Osvald, CSc.

doc. Dr. Zuzana Giertlová

Ing. Jozef Lauko, PhD.

Vydavateľ: © Belianum. Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici

Vydanie: prvé

Vydané: 2018

Rozsah: 124 strán

Formát: A4

Náklad: 100 kusov

Tlač: CD forma

Táto monografia je určená študentom študijného odboru Environmentálny manažment vo všetkých troch stupňoch vysokoškolského vzdelávania. Môžu ju však využiť aj odborníci zaoberajúci sa problematikou manažérstva rizika v spoločenskej praxi.

Monografia bola schválená Edičnou komisiou Fakulty prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici.

Všetky práva vyhradené. Žiadna časť tejto publikácie nesmie byť reprodukováaná a/alebo distribuovaná v akejkoľvek forme a akýmkoľvek prostriedkami či uchovávaná v databáze alebo systéme vyhľadávania bez predchádzajúceho súhlasu vydavateľa a autora.

Táto práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ a SAV SR projekt č. VEGA 1-0547-15 „Experimentálne meranie a modelovanie fugitívnych emisií“ a projektom OP Výskum a vývoj – ITMS 26210120024 „Obnova a budovanie infraštruktúry pre ekologický a environmentálny výskum na UMB“.

ISBN 978-80-557-1391-5

DOI 10.24040/2018.9788055713915



Vedecká monografia Hodnotenie rizika drevných prachov v pracovnom a životnom prostredí, ktorej autorkami sú Iveta Marková a Alena Očkajová je šírená pod licenciou Creative Commons Attribution 4.0 International Licence

PPREDHOVOR

Laická verejnosť mnohé chemické látky nepovažuje za nebezpečné pri ich výrobe, pri manipulácii s nimi a ďalšej akejkolvek činnosti s nimi. K takýmto chemickým látkam možno zaradiť napr. aj pevné aerosóly s prevažne dráždivým účinkom ako textilný pevný aerosól (bavlna, ľan, hodváb), živočíšny pevný aerosól (vlna, perie, srst'), rastlinný pevný aerosól (múka, cukor, čaj, korenie, pevný aerosól obilný, pevný aerosól z dreva), pre ktoré sa určujú v legislatíve najvyššie prípustné expozičné limity.

Okrem dráždivých účinkov vyššie spomenutých prachov je rozsah škodlivých účinkov iných prachov na človeka veľmi široký (toxický, karcinogenny a pod.). Pri ich hodnotení záleží na pôvode, vlastnostiach a veľkosti prachových častíc, na jeho koncentrácii v ovzduší, na dĺžke a podmienkach pôsobenia a individuálnej vnímavosti na prach.

Prachové častice vo všeobecnosti vznikajú pri rôznych technologických procesoch ľudskou činnosťou, najmä opracovávaním pevných materiálov (brúsením, vŕtaním, drvením, mletím), pri úpravách a doprave sypkých materiálov, pri spaľovaní organických látok a pod.. Prachové častice vznikajú aj bez zásahu človeka, napr. rozptýlením častíc z neupraveného zemského povrchu a peľových častíc vplyvom prúdenia vzduchu, pieskových búrok, činnosťou sopiek.

Drevný prach, okrem pôsobenia na ľudský organizmus je nebezpečný aj pre stroje, zariadenia najmä z pohľadu pohyblivých a trecích častí, ale jeho nebezpečnosť je daná jeho schopnosťou vznietiť sa, horieť, prípadne vybuchnúť a tak spôsobiť veľké materiálne škody ale aj straty na ľudských životoch.

Pre realizáciu analýzy rizika v pracovnom prostredí ale aj životnom prostredí je potrebné poznať charakteristiky hodnotiace správania sa drevného prachu a uvedená monografia ponúka vstupnú databázu týchto charakteristík drevného prachu získaných experimentálnym stanovením. Uvedené dáta sú vstupné údaje pre analýzu rizika vybraných prevádzok a analýzu rizika environmentu zaťaženého prachom z vybraných technológií.

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK.....	8
ÚVOD.....	11
1. PREDSTAVENIE PROBLEMATIKY.....	13
1.1 PRACH, FYZIKÁLNO-MECHNICKÉ VLASTNOSTI PRACHOV	13
1.1.1 Veľkosť a tvar častíc.....	15
1.1.1.1 Ekvivalentná veľkosť častíc.....	17
1.1.1.2 Sitová veľkosť častice.....	20
1.1.2 Prach ako sypká hmota.....	23
1.1.2.1 Súdržnosť – sypnosť prachu ako sypkej hmoty	25
1.1.2.2 Sypná hustota.....	25
1.1.2.3 Vlhkosť.....	26
1.1.2.4 Abrazívnosť.....	26
1.1.2.5 Zlepovanie a tvrdnutie.....	27
1.1.2.6 Vytváranie alebo viazanie statickej elektriny	27
a elektrický náboj prachu	
1.2 CHEMICKÉ VLASTNOSTI PRACHOV.....	29
1.2.1 Disperzia prachov.....	29
1.2.2 Chemická aktivita prachov.....	31
1.2.3 Tepelné samovznietenie drevného prachu.....	31
1.3 DREVNÝ PRACH.....	32
1.3.1 Elementárne zloženie dreva.....	33
1.3.2 Chemické zloženie drevného prachu.....	34
2. HODNOTENIE RIZIKA DREVNÝCH PRACHOV.....	36
2.1. HODNOTENIE RIZIKA DREVNÝCH PRACHOV V ŽIVOTNOM PROSTREDÍ .	36
2.1.1 Zdravotné riziká drevných prachov.....	38
2.1.1.1 Depozícia prachových častíc v organizme v závislosti	
od ich veľkosti.....	38
2.1.1.2 Biologické účinky prachu na ľudský organizmus.....	40
2.1.2 Meranie a hodnotenie koncentrácie prachu.....	47

2.2. HODNOTENIE RIZIKA DREVNÝCH PRACHOV	
V PRACOVNOM PROSTREDÍ	50
2.2.1 Požiarne riziko drevných prachov.....	52
2.2.1.1 Nebezpečenstvo vzniku požiaru usadených prachov.....	57
2.2.1.2 Nebezpečenstvo vzniku požiaru/výbuchu	
rozvírených prachov.....	61
2.2.1.3 Požiarno-technické charakteristiky prachov.....	63
3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ.....	66
3.1 Experimentálne vzorky.....	66
3.1.1 Príprava vzoriek drevného prachu.....	66
3.2 Metodika	68
3.2.1 Gravimetrické stanovenie vlhkosti	68
3.2.2 Sitová analýza.....	68
3.2.3 Termická analýza TG, DTG.....	70
3.2.4. Kalorimetrické stanovenie spalného tepla a výhrevnosti.....	72
3.2.5 Stanovenie rýchlosti šírenia plameňového horenia po vrstve	
usadeného prachu v atmosfére kyslíka.....	75
4. VÝSLEDKY A DISKUSIA.....	78
4.1 Výsledky sitovej analýzy drevného prachu	78
4.1.1 Matematicko-štatistické spracovanie a vyhodnotenie výsledkov.....	87
4.2. Výsledky termickej analýzy vybraných vzoriek drevného prachu.....	91
4.2.1 Štatistické vyhodnotenie vplyvu dreveniny a frakcie na vybrané	
termogravimetrické parametre	97
4.3. Výsledky stanovenie rýchlosti šírenia sa plameňa po vzorke usadeného	
prachu	101
4.3.1 Štatistické vyhodnotenie rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve	
usadeného prachu pre frakcie 32µm a frakcia menšia ako 32 µm.....	104
4.4. Výsledky kalorimetrického stanovenia spalného tepla	
a výhrevnosti vzoriek drevného prachu.....	106
ZÁVER.....	108
LITERATÚRA.....	110
SUMMARY.....	123

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV

m_1	hmotnosť vlhkej hmoty [g]
m_2	hmotnosť suchej hmoty [g]
d	stupeň disperzity [m^{-1}]
D	bod maxima výbuchovej krivky
$p_{výb.}$	výbuchový tlak [MPa]
$t_{max, výb.}$	doba, za ktorú sa dosiahne výbuchový tlak
C	inflexný bod výbuchovej krivky
$(dp/dt)_{výb}$	rýchlosť narastania výbuchového tlaku
B	okamih kedy sa začne zreteľne prejavovať nárast výbuchového tlaku
$t_i, výb$	indukčná perióda
A	okamih iniciácie výbušného súboru
p_{max}	maximálny výbuchový tlak [MPa]
$(dp/dt)_{max}$	maximálna rýchlosť narastania výbuchového tlaku
t_i	indukčná doba výbuchu (indukčná perióda)
t_r	doba na dosiahnutie najvyššej rýchlosti narastania tlaku
t_{max}	maximálna doba výbuchu
K_{st}	Kubická konštanta
DTA	diferenčná termická analýza
m_f	hmotnosť pri konečnej teplote [mg]
m_s	hmotnosť pred ohrevom [mg]
M_L	úbytok hmotnosti [%]
M_{L1}	prvý úbytok hmotnosti [%]
M_{L2}	druhý úbytok hmotnosti [%]
m_i	hmotnosť pri prvej konečnej teplote [mg]
NPEL	najvyšší prípustný expozičný limit [$mg.m^{-3}$]
R	hmotnosť zvyšku [%]
DSC	diferenčná snímacia kalorimetria
Q	tepelný tok (výhrevnosť) [J]
(dQ/dt)	množstvo preneseného tepla za časovú jednotku
ΔH	zmena entalpie [J]
c_p	špecifická tepelná kapacita pri konštantnom tlaku [$J.(kg.^{\circ}C)^{-1}$]
∂Q	množstvo tepla [J]
∂T	zvýšenie teploty materiálu pri konštantnom tlaku [$^{\circ}C$]
T_i	začiatočná teplota krivky DSC [$^{\circ}C$]
T_{ci}	extrapolovaná začiatočná teplota krivky DSC [$^{\circ}C$]
T_p	teplota vrcholu krivky DSC [$^{\circ}C$]
T_{ef}	extrapolovaná konečná teplota krivky DSC [$^{\circ}C$]
T_f	konečná teplota krivky DSC [$^{\circ}C$]
T_{FIT}	teplota vzplanutia [$^{\circ}C$]
T_{SIT}	teplota vznietenia [$^{\circ}C$]
TC_1	termočlánok 1
T_1	teplota vzorky [$^{\circ}C$]
TC_2	termočlánok 2
T_2	teplota vzduchu prechádzajúceho okolo vzorky [$^{\circ}C$]
TC_3	termočlánok 3
T_3	teplota vykurovacej špirály [$^{\circ}C$]

TSH	technická smerná hodnota
q_v	rýchlosť prúdenia vzduchu [mm.s^{-1}]
C	tepelná kapacita kalorimetra [$\text{J. } ^\circ\text{C}^{-1}$]
Q_k	spalné teplo termochemického normálu [J.g^{-1}]
m_k	hmotnosť navážky termochemického normálu [g]
c	oprava na teplo, uvoľnené spálením zapaľovacieho drôtika [J]
m_1	hmotnosť zapaľovacieho drôtika [g]
m_2	hmotnosť zvyšku nespáleného drôtika [g]
q	spalné teplo zapaľovacieho drôtika [J.g^{-1}]
k	oprava prírastku teploty D_t
d_1	priemerná zmena teploty za minútu v počiatočnom úseku [$^\circ\text{C}$]
d_2	priemerná zmena teploty za minútu v konečnom úseku [$^\circ\text{C}$]
n	počet minút v hlavnom úseku
D_t	celkové zvýšenie teploty vody v kalorimetrickej nádobe počas hlavného úseku merania [$^\circ\text{C}$]
t_2	konečná teplota hlavného úseku [$^\circ\text{C}$]
t_1	konečná teplota počiatočného úseku [$^\circ\text{C}$]
Q	spalné teplo paliva [J.g^{-1}]
C	tepelná kapacita kalorimetrického systému [$\text{J. } ^\circ\text{C}^{-1}$]
m	hmotnosť navážky vzorky paliva [g]
Q_v	výhrevnosť paliva [J.g^{-1}]
W	obsah vody vo vzorke [%]
WHO	World Health Organisation}
H	obsah vodíka vo vzorke [%]

ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr.1 Ukážka foriem pilín a drevného prachu (Mach, 2016)
- Obr.2a Ekvivalentná veľkosť častice podľa priemetu (Dzurenda, 2007)
- Obr.2b Ekvivalentná veľkosť častice podľa pádovej rýchlosti up (Dzurenda, 2007)
- Obr.3 Aparatúra pre izokinetický odber vzorky (STN ISO 9096:2004-07 (83 4610))
- Obr.4 Automatický vibračný sitovací stroj Retsch AS 200 control, grafické znázornenie pojmu zvyšok a prepád (Jobbágyová, 2008)
- Obr.5 Zrnitostné zloženie látok – distribučná krivka (Dzurenda, 2007)
- Obr.6 Mikroskop SM1 s inštalovanou kamerou MoticCam 1000
- Obr.7 Mikroskopický detail prachových častíc vzoriek smreka (Mračková, 2004)
- Obr.8 Základné rozmery častice dezintegrovanej drevnej hmoty (Longauer a Sujová, 2002)
- Obr.9 Hexagon samovznietenia (Damec et al., 1999)
- Obr.10 Zatriedenie prachu a jeho vlastnosti ((upravené podľa Vladárová, 2007))
- Obr.11 Chemické zložky v dreve (Požkaj et al., 1997)
- Obr.12 Mikroskopický detail prachových častíc vzoriek buka (Mračková, 2004)
- Obr.13 Veľkosti častíc znečisťujúcich ovzdušie (Buchancová, 2003)
- Obr.14 Zložky prašnosti (zdroj: STN EN 481)
- Obr.15 Porovnanie konvencií v oblasti prašnosti v zmysle STN EN 481 a US-EPA
- Obr.16 Cyklón – zariadenie na separáciu prachových častíc (Kelemen, M., Maťašovská, 2004, <http://www.skcinc.com/prod/225-01-01.asp>)
- Obr.17 CEL-712 Microdust Pro – merací prístroj na monitorovanie prašnosti v reálnom čase (http://www.chromspec.sk/products_1/microdust.htm)
- Obr.18 Umiestnenie osobného prachomera (sampler) s pumpou (pump)(<http://www.swtestingltd.co.uk/airsampling.html>)
- Obr.19 Klasický trojuholník horenia (Emmons, 1972 in Marková, 2006)
- Obr.20 Ilustrácia narastania rýchlosti horenia drevnej hmoty so zvyšujúcou sa dezintegráciou (Cheremisnoff, 2000)
- Obr.21 Priebeh merania teploty vznietenia usadeného prachu na elektricky vyhrievanej platni, hrúbka vrstvy prachu 5 mm. (Horváth a Balog, 2013)
- Obr.22 Ukážka karbonizácie drevného prachu pri experimentálnom stanovení teploty vznietenia podľa STN EN 50281-2-1: 2002 (Pastier et al. 2013)
- Obr.23 a) Závislosť kritickej teploty T_{cr} (°C) vznietenia od hrúbky prachu h (cm), b) Závislosť času vznietenia τ (min) vznietenia od hrúbky prachu h (cm) (Saad et al. 2000)
- Obr.24 Program pre výpočet sitovej analýzy vzorky sypkej hmoty (Kučerka, 2008)
- Obr.25 Schéma zariadenia na stanovenie rýchlosti oxidácie (RO test)
- Obr.26 Distribučné krivky vzoriek drevných prachov. a) duba, b) buka, c) smreka d) jedle, e) jelši, f) zmesi
- Obr.27 Distribučná krivka brúsneho drevného prachu (Rončka a Očkajová, 2006)
- Obr.28 Percentuálny podiel frakcií vzoriek drevných prachov
- Obr.29 Percentuálne zastúpenie frakcie 32 μ m a frakcie menšie ako 32 μ m v jednotlivých vzorkách drevného prachu
- Obr.30 Sitová analýza vzoriek vybraných drevných prachov (tzv. súčtová krivka) podľa Baloga a Turekovej (2005)

- Obr.31 TG, DTG krivky frakcií vzoriek prachu duba
- Obr.32 TG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu buku
- Obr.33 TG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu smreku
- Obr.34 DTG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu jedle
- Obr.35 DTG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu jelše
- Obr.36 DTG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu zmesi
- Obr.37 Percentuálne podiely rezistentých zvyškov jednotlivých drevín
- Obr.38 Priebeh úbytkov hmotnosti vybraných vzoriek dreva v dôsledku pôsobenia sálavého tepla (Makovická Osvaldová a Osvald, 2015)
- Obr.39 Grafické znázornenie štatistického vyhodnotenia vplyvu dreviny na iniciačnú teplotu T_i [°C] pri termickej degradácii prachových vzoriek
- Obr.37 Grafické znázornenie štatistického vyhodnotenia vplyvu frakcie na iniciačnú teplotu T_i [°C] pri termickej degradácii prachových vzoriek
- Obr.38 Grafické znázornenie štatistického vyhodnotenia vplyvu dreviny na hmotnostný úbytok vzoriek drevného prachu pri termickej degradácii prachových vzoriek
- Obr.39 Grafické znázornenie štatistického vyhodnotenia vplyvu frakcie na hmotnostný úbytok vzoriek drevného prachu pri termickej degradácii prachových vzoriek
- Obr.41 Štatistická závislosť rýchlosti horenia jednotlivých vzoriek drevných prachov od druhu dreviny pri rôznych frakciách
- Obr.42 Korelácia hodnôt spalného tepla vybraných vzoriek vo forme drevného prachu a kompaktného dreva
- Obr.43 Priemerné rýchlosti horenia vybraných drevných prachov (Balog a Tureková, 2005)

ZOZNAM TABULIEK

Tab.1	Prehľad experimentálnych metód z hľadiska určenia rozsahu ich frakcií
Tab.2	Rozmer ako triediaci ukazovateľ sypkých hmôt (STN 26 0072)
Tab.3	Zrornosť dezintegrovanej drevnej hmoty (Hejma, 1981)
Tab.4	Porovnanie hustoty dreva v kompaktnom stave a sypnej hustoty drevného brúsneho prachu tej istej dreveniny (Jobbágyová, 2008)
Tab.5	Zväčšenie povrchu tuhého telesa drevným (Orlíková a Štroch, 1999)
Tab.6	Základné zloženie organických palív (Horbaj et al., 2011)
Tab.7	Účinok prachu na zdravie v závislosti od veľkosti častíc (WHO, 1999)
Tab.8	NPEL pre pevné aerosóly (zdroj: Nariadenie vlády 471/2011 Z.z.)
Tab.9	Rozdelenie drevných prachov podľa biologického účinku (http://www.bzp.cz in Tureková, 2007)
Tab.10	Výsledky skúmania vplyvu drevného prachu (Mach, 2016)
Tab.11	Prehľad minimálnych teplôt vznietenia horľavých prachov
Tab.12	Minimálne teploty vznietenia rozvírených drevných prachov (frakcie < 71 µm) v °C.
Tab.13	Požiaro-technické vlastnosti usadeného a rozvíreného prachu (Tureková, 2008)
Tab.14	Gravimetrické stanovenie vlhkosti vzoriek drevného prachu
Tab.15	Určenie tried nebezpečenstva šírenia požiaru po povrchu usadených priemyselných prachov na základe testu rýchlosti oxidácie
Tab.16	Vplyv dreveniny a veľkosti frakcií na početnosť častíc v prachových vzorkách prostredníctvom 2-faktorovej analýzy variancie (ANOVA) s použitím LSD ($\alpha=0,05$)
Tab.17	Základné parametre termickej analýzy vybraných drevných prachov
Tab.18	Parametre DTG analýzy vzoriek drevných prachov jednotlivých frakcií
Tab.19	Percentuálne podiely rezistentných zvyškov pre jednotlivé frakcie
Tab.20	Teploty rozkladu (°C) v prvej a v druhej fáze rozkladu pre frakcie 32 µm a frakcie < 32 µm
Tab.21	Vplyv dreveniny a veľkosti frakcie na iniciačnú teplotu T_i [°C] pri termickej degradácii prachových vzoriek prostredníctvom 2-faktorovej analýzy variancie (ANOVA) s použitím LSD ($\alpha=0,05$) (Očkajová a Marková, 2016)
Tab.22	Vplyv dreveniny a veľkosti frakcie na hmotnostný úbytok [%] pri termickej degradácii prachových vzoriek prostredníctvom 2-faktorovej analýzy variancie (ANOVA) s použitím LSD ($\alpha=0,05$)
Tab.23	Rýchlosť šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu vybraných vzoriek dreva a príslušné časy horenia v jednotlivých meraniach pre frakciu 32 µm a frakcie < 32µm
Tab.24	Základná tabuľková analýza rozptylu
Tab.25	Priemerné výsledné hodnoty spalného tepla pre jednotlivé vzorky drevného prachu
Tab.26	Porovnanie hodnôt spalného tepla vybraných vzoriek drevín vo forme drevného prachu a dreva

Drevo je neoddeliteľnou súčasťou prírody, tvorí sa v rozsiahlych lesných porastoch, ktoré plnia dôležité funkcie, ako regeneráciu ovzdušia, produkciu kyslíka, elimináciu účinkov rôznych exhalátov a prachu.

Drevo predstavuje pružný, pevný a pritom ľahký materiál, ktorý má dobré tepelnoizolačné vlastnosti, je schopný znášať veľké zaťaženie, tlmiť vibrácie, ľahko sa opracúva reznými nástrojmi, možno ho spájať, spevňovať kovovými a inými výplňami. Drevo má pôsobivé dekoračné vlastnosti a môže mať aj výborné rezonančné vlastnosti. Drevo je najvšestrannejší a najpoužívanejší materiál (priemysel, stavebníctvo, poľnohospodárstvo, každodenný život). Pre svoj prírodný charakter, prirodzenú kresbu, priaznivé fyzikálne vlastnosti je čoraz žiadanejší prvok životného prostredia.

Ako každý živý organizmus aj drevo má určité nežiaduce vlastnosti, ku ktorým možno zaradiť zmenu vlastností, nerovnorodú štruktúru, anizotropiu, prítomnosť chýb, zosychanie, napúčanie, šúverenie, praskanie, zahŕňvanie a horenie. (Požgaj et al., 1997)

Zaujímavým paradoxom je, že drevo v kompaktnom stave nemá rovnaké vlastnosti ako v dezintegrovanej podobe a práve drevný prach bude predmetom tejto vedeckej monografie z pohľadu jeho požiaro-technických charakteristík ale tiež z pohľadu jeho pôsobenia na ľudský organizmus.

Drevný prach je neodmysliteľnou súčasťou drevárskych prevádzok, vzniká pri mechanickom opracovaní dreva (pílení, hobľovaní, frézovaní a brúsení) a z hľadiska rizika požiaru je podstatne nebezpečnejší ako kompaktné drevo. Drevný prach, ktorý sa vytvára najmä pri brúsení, je prudko horľavý a môže za určitých okolností vytvárať so vzduchom výbušnú zmes. Prach niektorých tvrdých drevín (buk, dub) je zaradený medzi dokázané karcinogény 1. kategórie, pričom jeho inhalácia spôsobuje najčastejšie rakovinu prínosných dutín.

Riziko je principiálne definované kombináciou pravdepodobnosti vzniku neželanej neplánovanej udalosti a jej negatívnych následkov (Synay, 2011). Obe dimenzie rizika však môžu byť kvalifikované a kvantifikované rôznymi spôsobmi (Zelený et al, 2010). V prípade hodnotenia požiarneho rizika v pracovnom prostredí s prachom je nutné poznať požiaro-technické charakteristiky drevného prachu za účelom predchádzania uvedeným neželaným udalostiam (napr. explózia rozvíreného prachu, vznietenie usadeného prachu na horúcom povrchu).

Súčasťou poznatkov, ktoré slúžia k zabezpečeniu preventívnej ochrany pred požiarom a výbuchmi, je znalosť požiaro-technických parametrov priemyslových prachov a ich praktické využitie. Súbor požiaro-technických charakteristík je používaný pri projekčných prácach, pre stanovenie prostredia vo vnútri i zvonku technologického zariadenia, k posúdeniu situácie prevádzkovaných technológií, k stanoveniu technologických režimov, bezpečnostných a protipožiarnych zásad.

Cieľom monografie je charakterizovať drevný prach ako súčasť životného prostredia, ako faktor pracovného prostredia. Prezentovať parametre hodnotiace jeho správanie, experimentálne stanoviť vybrané technické a požiaro-technické charakteristiky vzoriek drevného prachu (dub, buk, smrek, jedľa, jelša a zmes), ktoré bližšie definujú správanie sa tohto materiálu v prostredí a v podmienkach reálneho požiaru ako aj podať dôležité informácie ohľadom škodlivého rizikového faktora – prachu pre obsluhujúci personál. Databáza týchto údajov môže prispieť k lepšiemu pochopeniu vlastností drevného prachu z hľadiska jeho požiarneho nebezpečenstva a biologického účinku na ľudský organizmus a ku skvalitneniu životného a pracovného prostredia na úrovni drevárskej výroby.

1. PREDSTAVENIE PROBLEMATIKY

1.1 PRACH, FYZIKÁLNO-MECHNICKÉ VLASTNOSTI PRACHOV

Základné definície prachu sú v postate rovnaké, líšia sa iba rozsahom veľkostí prachových častíc. Fyzikálno-chemický termín častica označuje taký kompaktný celok, ktorý je od okolia oddelený kontinuálnym rozhraním. (Jesenák, 2008)

Prach je tuhý aerosól vznikajúci drvením, mletím, pílením a pod. pevných hmôt. (Hatina et al., 2006)

Norma STN 83 4501:1997-07 (ktorá určuje termíny a definície vyskytujúce sa v odbore merania, stanovenia, vyhodnocovania a interpretácie údajov o emisiách rôznych znečisťujúcich látok) definuje prach ako malé častice disperznej látky tuhého skupenstva, ktorých priemer neprevyšuje 75 µm, určitý čas ostávajú v ovzduší, kým vlastnou hmotnosťou neklesnú k zemi.

Horák (1996) definuje prach ako častice, ktoré vznikajú v technickej praxi zväčša mechanickým spôsobom – mletím, drvením, oterom v rozsahu 1 až 500 µm. Prach podľa WHO (WHO/SDE/OEH/99.14) sú pevné častice, ktorých veľkosť sa pohybuje od 1 µm (a menej) najviac do 100 µm, ktoré môžu byť alebo sa stanú polietavé v závislosti od ich pôvodu, fyzikálnych charakteristík a podmienok prostredia.

Prach podľa IUPAC (1990) sú malé, suché, pevné častice vrhané do vzduchu prírodnými silami ako vietor, vulkanická erupcia a mechanickými alebo ručnými procesmi ako drvenie, brúsenie, frézovanie, vŕtanie, búranie, doprava, triedenie, balenie a zmetanie. Veľkosť (priemer) prachových častíc je zvyčajne v rozpätí od 1 do 100 µm a pomaly sedimentujú pod vplyvom tiaže.

Prach je definovaný ako častice pevnej látky menšie než 0,5 mm schopné ešte rozvírenia. Pre vláknité materiály znamená rozmer 0,5 mm najväčší priemer častice. (Damec et al., 1999, Kovshov, 2015, Mračková a Oremusová, 2016).

Bartlová a Damec (2002) uvádzajú, že prach je definovaný ako častice, ktoré vznikajú v technickej praxi zväčša mechanickým spôsobom - mletím, drvením, oterom v rozsahu 1 až 500 µm.

Norma STN EN 50281 – 2 –1 (ktorá uvádza metódy skúšok pre stanovenie minimálnych teplôt vznietenia prachu pre účelový výber elektrického zariadenia) definuje prach ako malé pevné častice v atmosfére, ktoré sa usadzujú vlastnou váhou, ale ktoré môžu zostať rozprášené vo vzduchu nejaký čas.

Pod pojem prach je vo všeobecnosti možné zahrnúť rozomleté pevné látky označované ako púder, múčka, prášok, úlomky vlákien a pod. (Damec et al., 1999). Z hľadiska jeho tvorby v technologickom procese je možné špecifikovať prach (obr.1) (Damec et al., 1999) ako:

- výrobok (kakaový prášok, cukrová múčka, pesticídy),
- polotovár (liečivá pred tabletovaním a pod.),
- odpad (drewný prach, obilný prach).

Podľa pôvodu sa prach delí na prach organického pôvodu, prach anorganického pôvodu a syntetické prachy – umelé minerálne vlákna (čadičové, sklené).

Organický prach môže byť:

- rastlinného pôvodu – bavlna, ľan, múka, tabak, drevo,
- živočíšneho pôvodu – prach z rohoviny, peria, chlpy.

Anorganický prach môže byť:

- kovový – meď, nikel, olovo,
- nekovový – kremičitany, oxid kremičitý.

Prachové častice organického pôvodu sú prevažne vláknité, častice anorganického pôvodu bývajú hranaté, špicaté.

Príklady druhov prachov nachádzajúcich sa v pracovnom prostredí zahŕňajú (WHO, 1999):

- minerálne prachy, také, ktoré obsahujú voľnú kryštalickú silicu, uhoľný a cementový prach,
- kovové prachy, ako napríklad olovnatý, kadmiový, niklový a berýliový prach,
- ostatné chemické prachy, t.j. sypké chemikálie a pesticídy,
- organické a rastlinné prachy, ako napr. prach z múky, dreva, bavlny, čaju a pod.,
- bioaerosóly, ako živé mikroorganizmy, peľ, plesne a spóry.

V reálnom prostredí sa prach vyskytuje v dvoch stavoch:

- usadený prach (aerogel),
- rozvírený prach (aerosól).

Uvedené formy môžu ľahko prechádzať z jedného stavu do druhého. Usadený prach sa dá ľahko rozvíriť (vibráciami, otrasmi, prúdom vzduchu a pod.) a naopak rozvirený prach sedimentáciou prechádza do usadeného stavu.



Obr.1 Ukážka foriem pilín a drevného prachu (Mach, 2016)

Legenda: a) piliny po reze kotúčovou pílou (dub), b) hrubý prach po hrubovacom brúsnom kotúči (moruša), c) jemný prach po brúsení brúsnym papierom (buk), d) vzorka prachu nazberaného z krytov motorovej píly, prach je nasiaknutý mazacím olejom (dub).

Pre posúdenie chovania sa prachu z rôznych hľadísk, ako napríklad jeho schopnosti odlúčenia v rôznych druhoch odlučovačov, jeho zdravotného pôsobenia, schopnosti usadzovania, schopnosti explózie a i., je treba predovšetkým poznať jeho granulometrické zloženie, t.j. početnosť alebo hmotnostnú početnosť častíc v určitom rozsahu ich veľkostí (Hejma et al., 1981, Kovshov et al., 2015, Amyotte, 2013).

Vlastnosti tuhých častíc sú charakterizované nasledujúcimi parametrami (STN 26 0070):

- Veľkosť a tvar častíc
- Súdržnosť – sypnosť prachu ako sypkej hmoty
- Sypná hustota
- Vlhkosť
- Abrazívnosť
- Zlepovanie a tvrdnutie
- Vytváranie alebo viazanie statickej elektriny

1.1.1 Veľkosť a tvar častíc

Medzi najdôležitejšie charakteristiky prachových častíc patrí ich veľkosť, pretože rozhoduje pri mechanických a elektrických odlučovačoch o odlučovacích rýchlostiach, v konečnom dôsledku o stupni odlúčenia. Od veľkosti častíc závisia

aj ich optické vlastnosti, ktoré sa využívajú k meraniu koncentrácie a zrnitosti častíc. Rozmery častíc ovplyvňujú spôsob dopravy sypkých hmôt (Dzurenda, 2007), tiež vplývajú na požiaru bezpečnosť, v zmesi so vzduchom sú výbušné, jemnejšie prachy reagujú prudšie, pričom dominantný rozmer je 40 μm . (Mračková, 2001) Veľkosť častíc je tiež jednou zo základných charakteristík aerosólových častíc ako z hľadiska monitorovania (požiadavky na odber vzorky), tak aj z hľadiska ich biologických účinkov, na ktoré má podstatný vplyv oblasť depozície v organizme.

Všeobecne sa podľa veľkosti tuhé častice rozdeľujú na (Schwarz et al., 2009):

- hrubé (priemer častíc nad 100 μm) – tieto vďaka sedimentácii už nie sú súčasťou aerosólu,
- jemné (priemer častíc 0,5 až 100 μm),
- kaly (priemer častíc nad 0,1 až 0,50 μm),
- suspenzoidy (priemer častíc 0,0001 až 0,1 μm),
- nanočastice (priemer častíc pod 100 nm).

Veľkosť a tvar častíc (morfológia hodnotená STN 83 4501) patrí medzi najdôležitejšie veličiny, ktoré charakterizujú častice a rozhodujú o ich odlučovaní z plynného prostredia (Dzurenda, 2002, Očkajová, 2012, Očkajová et al. 2016). Prach z hľadiska morfológie vykazuje mimoriadnu rozmanitosť. Morfológia je vlastne špecifická vlastnosť čiastočiek prachov, ovplyvňuje veľkosť merného povrchu častíc a tým aj ich správanie sa v aerosóle. (Longauer a Sujová, 2002)

Podľa tvaru (morfológie častíc) sa rozlišujú tri základné druhy častíc (Horák, 1996, Longauer a Sujová, 2002):

- A. Izometrické častice – rozmery sú vo všetkých troch na seba kolmých priestorových osiach rovnaké.
- B. Laminárne častice – dva rozmery prevládajú nad tretím (hoblíny, lamely, šupiny).
- C. Fibrilárne častice – sú natiahnuté v jednom z troch smerov do tvaru tyčiniek, ihličiek alebo vlákien.

Podrobnejšie delenie tvarov častíc a ich označenie pre charakteristiku zrnitosti sypkej hmoty je nasledovné (STN 26 0072):

- I. Ostré rohy s tromi podobnými rozmermi (napr. kocka).
- II. Ostré rohy s jedným rozmerom z troch jasne väčším ako druhé dva (napr. hranol, tyč).
- III. Ostré rohy s jedným rozmerom z troch jasne menším ako druhé dva (napr. doska, list).
- IV. Zaguľatené rohy s tromi rozmermi podobnými (napr. guľa).
- V. Zaguľatené rohy s jedným rozmerom z dvoch jasne väčším ako druhé dva (napr. valec, tyč).
- VI. Vlákňité, skučeravené, článkovité.

Povrch zŕn môže byť:

- hladký,
- drsný,
- mäkký,
- tvrdý,
- pružný.

Prach z hľadiska morfológie vykazuje mimoriadne pestrú rozmanitosť. Výsledky pozorovania tvaru častíc závisia aj od metódy stanovenia. Pri rôznych zväčšeniach sa nám javia iné s inými tvarmi. Prachové častice sú súčasťou sypkých hmôt.

1.1.1.1 Ekvivalentná veľkosť častíc

Cieľom všetkých techník pre určenie veľkosti častíc je poskytnúť jednoduché číslo, ktoré udáva veľkosť častíc. Avšak častice sú trojrozmerné objekty, pre ktoré sa vyžadujú najmenej 3 parametre (dĺžka, šírka a výška) za účelom poskytnutia kompletného opisu.

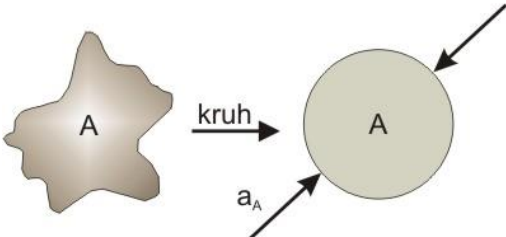
Pre určenie veľkosti častíc sa používa celý rad charakteristických ekvivalentných rozmerov podľa toho, aká meracia metóda je k určeniu veľkosti častice použitá. Preto hodnoty získané rôznymi technikami sa budú navzájom líšiť a získané výsledky musia byť detailne popísané použitou technikou a metódou.

Možné charakteristické ekvivalentné rozmery pri častici s nepravidelným tvarom v závislosti od použitej meracej metódy sú (Particle Size Determination. Particle Analytical [online]):

- guľa s rovnakou maximálnou dĺžkou (ako častica),
- guľa s rovnakou minimálnou dĺžkou (ako častica),
- guľa s rovnakou váhou (ako častica),
- guľa s rovnakým objemom (ako častica),
- guľa s rovnakou plochou povrchu (ako častica),
- guľa majúca rovnakú sedimentačnú rýchlosť (ako častica),
- guľa prechádzajúca sitom s rovnakými otvormi (ako častica).

V reálnych tvaroch majú častice neguľovitý tvar. Účelné je vyjadriť veľkosť častice jedným rozmerom, tzv. ekvivalentným priemerom a to priemerom gule, ktorý má so skutočnou časticou spoločnú niektorú vlastnosť (Longauer a Sujová, 2002):

- a) ekvivalentný priemer častice a_A je taký priemer častice A, ktorej plocha kruhu je rovnako veľká ako plocha priemetu skutočnej častice S v smere jej hrúbky (obr.2a).

$$a_A = \sqrt{\frac{4.S}{\pi}} \quad (1)$$


Obr.2a Ekvivalentná veľkosť častice podľa priemetu (Dzurenda, 2007)

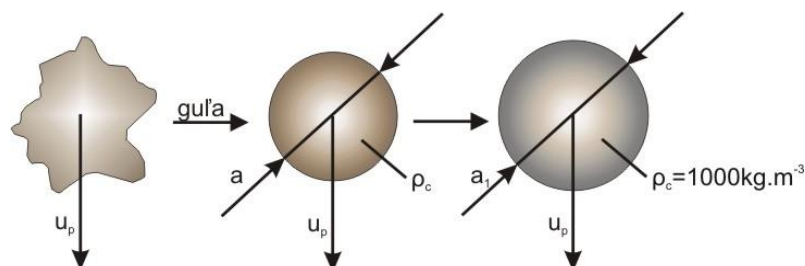
- b) ekvivalentný priemer častice a_V je taký priemer gule, ktorej objem je rovnako veľký ako objem skutočnej častice V (obr.2b):

$$a_V = \sqrt[3]{\frac{6.V}{\pi}} \quad (2)$$

- c) Najvhodnejšou mierou veľkosti častice pre väčšinu situácií v hygiene práce je aerodynamický priemer častice, ktorý je definovaný ako priemer hypotetickej gule s hustotou 1 g.cm^{-3} (1000 kg.m^{-3}) majúcej konečnú rýchlosť sedimentovania

v kludnom prostredí ako skutočná častica, bez ohľadu na jej geometrickú veľkosť, tvar a skutočnú hustotu, obr.2b. (WHO, 1990, Dzurenda, 2007) Ekvivalentný priemer častice podľa pádovej rýchlosti a_R kvantifikuje vzťah:

$$aR = a \cdot \sqrt{\frac{\rho_m}{1000}} \quad (3)$$



Obr.2b Ekvivalentná veľkosť častice podľa pádovej rýchlosti u_p (Dzurenda, 2007)

Sústavy obsahujúce častice s rôznymi lineárnymi rozmermi sa označujú ako polydisperzné. Podmnožina tejto sústavy s rovnakým lineárnym rozmerom sa nazýva frakcia. Podiel jednotlivých frakcií na celkovej hmotnosti sústavy určuje distribučná funkcia, definovaná vzťahom (4):

$$m = \int_0^{\infty} F(r) dr \quad (4)$$

m – hmotnosť sústavy [kg],

r – lineárny rozmer častice [m],

F – distribučná funkcia [r]. Obyčajne sa vzťah uvažuje pre $m = 1$.

Experimentálne metódy, dovoľujúce určiť distribučnú funkciu, závisia od rozsahu rozmeru jednotlivých frakcií (tab. 1).

Ak sa líšia rozmery jednotlivých frakcií výraznejšie, má distribučná funkcia nespojitý, diskretný charakter. Ak narastajú rozmery jednotlivých frakcií postupne s malými rozdielmi, prechádza nespojitá distribučná funkcia do funkcie spojitej. (Atkins 1990).

Analýza veľkosti častíc využíva v súčasnosti niekoľko desiatok metód. Väčšinu z nich možno zaradiť do troch skupín – optické, mechanické a gravitačné. Optické metódy analýzy zahŕňujú mikroskopické metódy, metódy založené na rozptyle svetla a RTG difrakčné metódy. Mechanickými metódami sa označuje analýza na sitách, ultrafiltrácia a chromatografické metódy. Gravitačné metódy zahŕňujú sedimentáciu, centrifugáciu a separáciu častíc v prúde kvapaliny alebo plynu.

Tab. 1 Prehľad experimentálnych metód z hľadiska určenia rozsahu ich frakcií.

Experimentálna metóda	Frakcia
sitová analýza	100 – 0,08 mm
papierové filtre	5 – 1,5 µm
sklenené a keramické filtre	100 – 0,2 µm
ultrafiltrácia	
sedimentácia v gravitačnom poli	0,1 – 0,01 mm
pohyb v prúde vzduchu	100 – 0,5 nm
meranie mikroskopom	1mm – 0,5 µm
meranie ultramikroskopom	1µm – 5 mm
elektrónový mikroskop, nefelometria a meranie difúzneho koeficienta	1nm – 5 nm

Neseparačné techniky je možné rozdeliť na dve skupiny. Kritériom tejto klasifikácie je buď analýza veľkosti jednotlivých častíc (táto je reprezentovaná najmä obrazovou analýzou – mikroskopická metóda) alebo analýza veľkého súboru častíc (reprezentované sú najmä difrakčnými metódami.)

Hlavné odlišnosti, v ktorých sa jednotlivé metódy líšia, sú (Jesenák, 2008):

- typ vzoriek, ktoré je možné analyzovať (možnosti zahŕňajú napr. suché práškové vzorky, suspenzie, aerosóly a iné),
- rozsah použiteľnosti, definovaný minimálnym a maximálnym rozmerom častíc,
- nároky na prípravu vzoriek,
- rýchlosť analýzy a rýchlosť spracovania výsledkov,
- množstvo vzorky potrebné pre analýzu,
- cena prístrojového vybavenia.

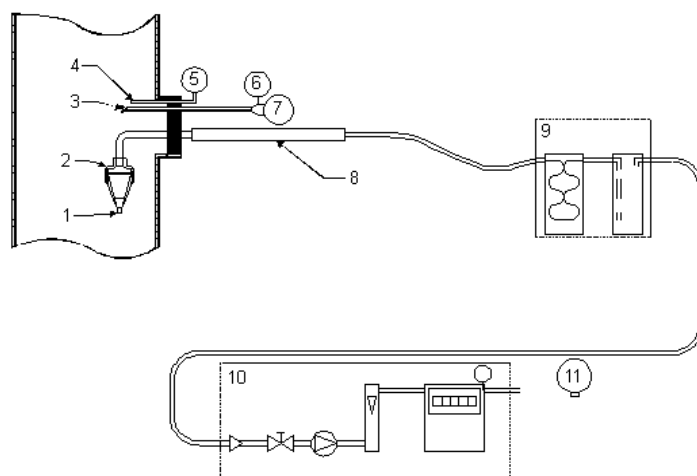
1.1.1.2 Sitová veľkosť častice

K základným informáciám charakterizujúcim vlastnosti práškových a zrnitých materiálov (teda aj prachu) patrí zrnitosťné zloženie – základná kvalitatívna vlastnosť, ktoré sa získa granulometrickou analýzou, čo je údaj charakterizujúci kvantitatívne zastúpenie jednotlivých častíc (skupiny častíc) určitej veľkosti v celom súbore sypkej hmoty. (Jesenák, 2008)

Rozdelením partikulárnej látky na jednotlivé skupiny – frakcie, ktorých rozmer spadá do určitého vymedzeného intervalu veľkostí možno získať navzájom súvisiace údaje charakterizujúce spojitý zákon rozdelenia. Vzhľadom k veľkému počtu častíc obsiahnutých v partikulárnej látke a ich rôznej veľkosti, možno rozmery jednotlivých

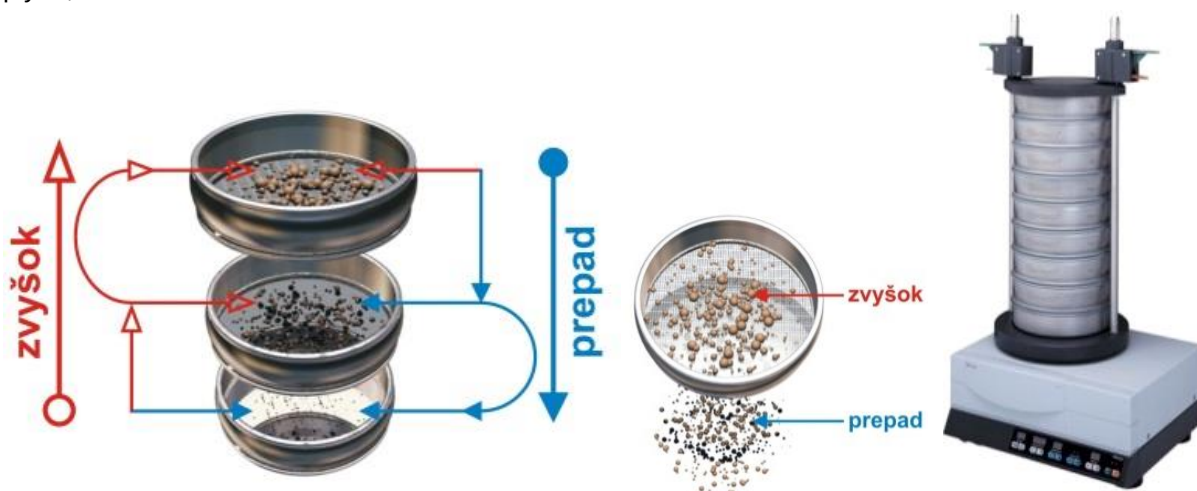
častíc považovať za hodnoty spojitej náhodnej premennej (veľičiny). Frakčné zloženie partikulárnej látky možno stanoviť niektorou z metód disperzného rozboru. Metóda určovania charakteristických znakov disperzií sa nazýva granulometria a metódy granulometrické.

Sitovanie je frakčné triedenie sitom, pričom zrnitý materiál, získaný izokinetickým odberom (obr.3) je rozdelený sitom na prepád a zvyšok. Pojem zvyšok a prepád sa vyjadruje väčšinou v % a je to kvantitatívna charakteristika zrnitého materiálu zisťovaná sitovým rozborom (Medek, 1985) sitovacím zariadením (obr.4).



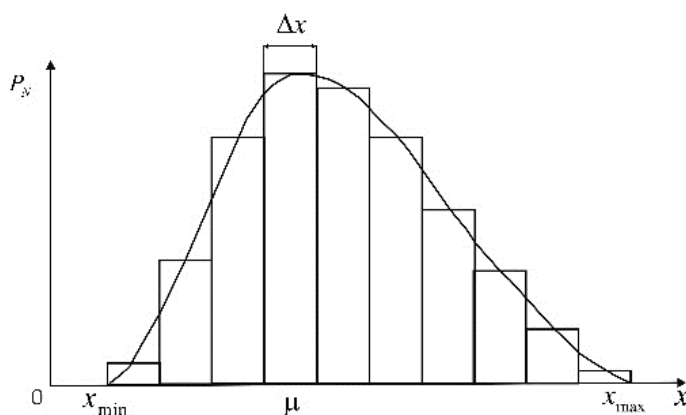
Obr. 3 Aparatúra pre izokinetický odber vzorky STN ISO 9096:2004-07 (83 4610)

Legenda: 1 – vstupná sacia hubica, 2 – držiak filtra, 3 – Pitotova sonda, 4 – čidlo merania teploty, 5 – indikácia teploty, 6 – meranie statického tlaku, 7 – meranie dynamického tlaku, 8 – nosná rúrka pre odber prachu v potrubí, 9 – systém chladenia a sušenia, 10 – sacie zariadenie a meradlo prietoku plynu, 11 – meradlo atmosférického tlaku.



Obr.4 Automatický vibračný sitovací stroj Retsch AS 200 control, grafické znázornenie pojmu zvyšok a prepád (Jobbágyová, 2008)

Najčastejšími spôsobmi vyjadrenia zrnitostného zloženia látok sú distribučná krivka, resp. distribučný histogram a kumulatívna krivka, obr.5.



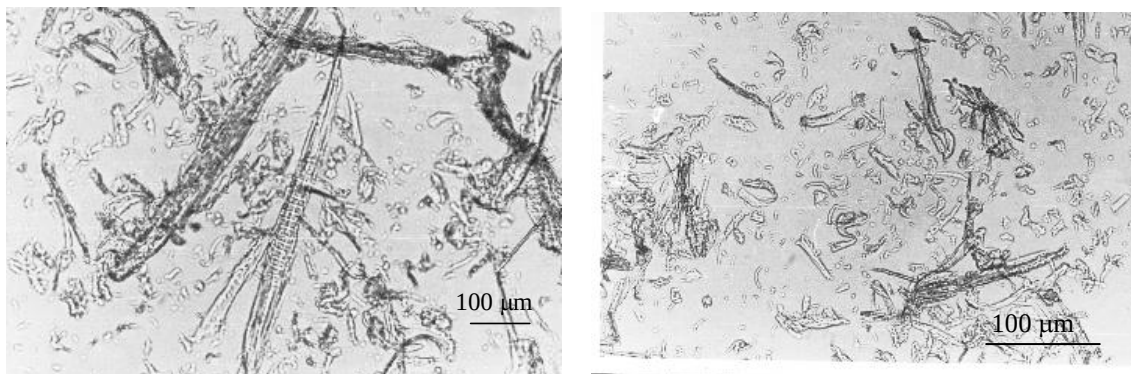
Obr.5 Zrnitostné zloženie látok – distribučná krivka (Dzurenda, 2007)

Distribučná krivka – jej hlavná informačná hodnota je v tom, že je možné z nej zistiť, aký percentuálny podiel z celkového počtu častíc pripadá na častice s určitou veľkosťou, aká je minimálna, maximálna alebo priemerná veľkosť častíc alebo aká je veľkosť najfrekventovanejších častíc, prípadne aký je konkrétny podiel určitej zrnitostnej frakcie. (Jesenák, 2008)

Pre analýzu veľkosti jednotlivých častíc, ktorá je reprezentovaná najmä obrazovou analýzou (mikroskopická metóda), možno použiť napr. mikroskop SM1 (obr.6), z ktorého je obraz prenášaný priamo do PC pomocou kamery MoticCam 1000, kde je spracovaný grafickým softvérom Motic Images Plus 2.0. (obr.7).



Obr.6 Mikroskop SM1 s inštalovanou kamerou MoticCam 1000



Obr.7 Mikroskopický detail prachových častíc vzoriek buka (Mračková, 2004)

Charakteristika zrnitosti sypkých hmôt je daná rozmermi a tvarmi zŕn (STN 26 0070). Zrnitosť hrubších práškových materiálov, napr. odlúčeného prachu pri mechanickom odlučovaní, možno jednoducho zisťovať pomocou sitovej analýzy. Častice, ktoré prejdú sitom danej veľkosti oka a zachytia sa na nasledujúcom site s menšími veľkosťami oka, sú zaradené do frakcie s veľkostným intervalom daným oboma veľkosťami ôk. Sitovaním nezistujeme teda priamo rozmer častice, ale triedime súbor častíc do jednotlivých veľkostných intervalov, odkiaľ sa potom príslušným postupom odvodí kumulatívna krivka zrnitosti (krivka zvyškov alebo prepádov). (Kučerka, 2012) Granulometrické zloženie – zrnitosť je jedna z najdôležitejších vlastností prachu. Vo výrobnom procese vznikajú takmer výlučne prachy polydisperzné, obsahujúce častice rôznych veľkostí. (Rončka a Očkajová, 2006, Očkajová, 2012, Kučerka, 2012, Amyotte a Eckhoff, 2010, Eckhoff, 2012, Dzurenda, 2007, Dzurenda a Orlowski, 2011)

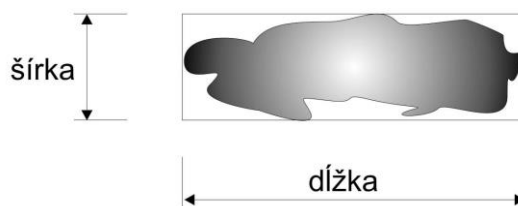
K základným fyzikálno-mechanickým vlastnostiam sypkej hmoty patria: sypná hustota, sypný uhol, uhol sklzu, aerodynamické vlastnosti častíc v potrubí systému odsávania a podmienky odlúčenia alebo filtrácie v odlučovacom zariadení. (Hejma et al., 1981; Horák, 1996; Dzurenda, 2007)

1.1.2 Prach ako sypká hmota

Zloženie prachových častíc z hľadiska ich hodnotenia ako sypkých hmôt je prevažne z rôznych veľkostí zŕn. Rozmer zrna je daný najdlhšou hranou d pravouhlého rovnobežníka opísaného okolo zrna. Rozmer zrna je daný jeho opísaným pravouhlým rovnobežníkom (obr.8), kde (Longauer a Sujová, 2002):

- dĺžka d je najväčší rozmer
- hrúbka je najmenší rozmer

- šírka je medziľahlý rozmer.



Obr.8 Základné rozmery častice dezintegrovanej drevnej hmoty (Longauer a Sujová, 2002)

Triedené sypké hmoty majú pomer (vzorec 5) medzi rozmerom najväčšieho a najmenšieho zrna rovný alebo menší ako 2,5 (medzi triedené sa zahrňujú sypké hmoty s jedným rozmerom zŕn).

$$\frac{d_{\max}}{d_{\min}} \leq 2,5 \quad (5)$$

Netriedené sypké hmoty majú pomer medzi rozmerom najväčšieho a najmenšieho zrna väčší ako 2,5 (6):

$$\frac{d_{\max}}{d_{\min}} > 2,5 \quad (6)$$

Triedené sypké hmoty sa definujú rozmermi $d_{\max}$ a $d_{\min}$. U sypkých hmôt s veľkými rozmermi zŕn sa uvádzajú maximálne rozmery najväčších zŕn (tab.2 a tab.3). (STN 26 0070)

Tab.2 Rozmer ako triediaci ukazovateľ sypkých hmôt (STN 26 0072)

CHARAKTERISTIKA		OZNAČENIE
veľmi jemné	0,07 – 0,4 mm	A
jemné	0,5 – 3,5 mm	B
jemne zrnité	3,6 – 13 mm	C
stredne zrnité	14 – 75 mm	D1
hrubo zrnité	nad 75 mm	D2
nepravidelné	vláknité, tvarovo nerovnaké, rôzne veľkosti	E

Tab.3 Zrinitosť dezintegrovanej drevnej hmoty (Hejma, 1981)

OZNAČENIE ZRNITOSTI	ROZMERY FRAKCIE (mm)
hrubý odpad	$a > 1$
stredne hrubý odpad	0,5 – 1
stredný odpad	0,3 – 0,5
jemný odpad	0,03 – 0,3
veľmi jemný odpad	0,001 – 0,03

Granulometrický rozbor vzorky prachu sa robí niekoľkými metódami, ktoré sú založené na rôznych fyzikálnych princípoch. Výber metódy pre určitý druh prachu závisí predovšetkým na jeho fyzikálnych vlastnostiach. (Kučerka, 2008)

1.1.2.1 Súdržnosť – sypnosť prachu ako sypkej hmoty

Súdržnosť sypkej hmoty je daná vzájomným silovým pôsobením jednotlivých zrn. Súdržnosť – sypnosť sypkej hmoty je charakterizovaná sypným uhlom a uhlom sklzu. (Kučerka, 2008). Ide o vlastnosť sypkej hmoty pri voľnom sypaní z malej výšky vytvoriť sypný kužeľ, do ktorého je sypaná a môže meniť tvar nasypného telesa pôsobením vonkajšej sily so zanedbateľným odporom.

Sypný uhol je uhol udávaný v uhlových stupňoch, ktorý zvierá vodorovná rovina a povrchová priamka sypného kužeľa. Sypný uhol sa mení, ak pôsobia na nasypné teleso ďalšie vplyvy okrem sypania z malej výšky, napr. striasanie, uľahýnanie a pod. Dynamický sypný uhol – uhol, ktorý zvierá vodorovná rovina a povrchová priamka nasypného telesa, na ktoré pôsobia vibrácie. Zľahlý sypný uhol – uhol, ktorý zvierá vodorovná rovina a povrchová priamka nasypného telesa v uľahlom stave.

Uhol sklzu je uhol meraný v stupňoch od vodorovnej roviny, pri ktorom začína sypká hmota kĺzať po naklonenom povrchu podložky. (STN 26 0072)

1.1.2.2 Sypná hustota

Sypná hustota sypkých hmôt je pomer hmotnosti vyjadrenej v (kg) k objemu vyjadrenému v (m^3) v sypkom stave (tab. 4). Hmotnosť častíc ovplyvňuje ich pohybové vlastnosti, pretože určuje hybnosť častíc. Sypná hustota častíc sa určuje meraním. (Banski a Dzurenda, 2014)

Dušátko (2011) vyjadruje prašnosť sypkej hmoty, ktorá má zrnká tak malých rozmerov vo vzťahu na sypnú hustotu, že dochádza k jej vznášaniu.

Tab. 4 Porovnanie hustoty dreva v kompaktnom stave a sypnej hustoty drevného brúsneho prachu tej istej dreviny (Jobbágyová, 2008)

Sledovaná vlastnosť	Druh dreviny					
	Dub		Buk		Smrek	
	Model brúsenia		Model brúsenia		Model brúsenia	
	Pozdĺžny	Kolmý	Pozdĺžny	Kolmý	Pozdĺžny	Kolmý
Vlhkosť sledovaného drevného prachu w (%)	6,00%	6,20%	6,10%	6,00%	7,80%	7,40%
Hustota dreva v kompaktnom stave ρ (kg.m ⁻³)	672,86		686,84		446,35	
Sypná hustota drevného prachu ρ_p (kg.m ⁻³)	238,01	250,05	189,00	233,88	77,77	116,68

1.1.2.3 Vlhkosť

Vlhkosť sypkých hmôt je uvažovaná ako obsah vody, ktorá sa odparí sušením a udáva sa v % podľa vzťahu (7):

$$vlhkosť = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad [\%] \quad (7)$$

m_1 - hmotnosť vlhkej hmoty

m_2 - hmotnosť suchej hmoty

Vlhkosť prachu a vzduchu sú veličinami, ktoré ovplyvňujú iniciáciu a následne aj celý výbuch. Vlhkosť obsiahnutá v prachu sťažuje jeho vznietenie a šírenie degradačnej reakcie. Je to spôsobené tým, že dodávaná energia do sústavy sa pri zahrievaní prachu spotrebuje na ohrev a následné odparovanie vody a takisto dochádza k zmenšeniu parciálnych tlakov kyslíku v zmesi (Orlíková a Štroch, 1999).

1.1.2.4 Abrazívnosť

Abrazívnosť je kombinácia vlastností sypkých hmôt, ktoré spôsobujú odieranie povrchu vlastných častíc a povrchu dopravného zariadenia, s ktorým prichádza do styku. (STN 26 0070)

V zariadeniach, kde dochádza k odlučovaniu častíc pri vyšších rýchlostiach, sa vždy vyskytuje nadmerné opotrebenie materiálu stien, ktoré vysvetľujeme abrazívnym účinkom častíc. Intenzita tohto druhu opotrebenia je ovplyvnená druhom, množstvom a uhlom dopadu častíc na exponovaný povrch a taktiež ich vlastnosťami, t.j. hustotou, tvarom, veľkosťou, tvrdosťou.

1.1.2.5 Zlepovanie a tvrdnutie

Vlastnosti niektorých sypkých hmôt pri pomere svojho obsahu s väčšou vlhkosťou sa prilnú na častiach dopravníkov a zariadení, pôsobením tlaku a vysúšaním. Pôsobením vzduchu a zvýšenej teploty sa znižuje vlhkosť a usadenina tvrdne. (STN 26 0072)

Lepivosť prachu nie je jednoznačne fyzikálne definovaná vlastnosť, ale je charakterizovaná súhrnom javov, ktoré spôsobujú zachytávanie prachu na stenách odlučovača ako aj vzájomné zhukovanie. Súdržnosť zhluku prachu sa označuje pojmom koagulácia. Na lepivosť prachu majú okrem adhezívnych vlastností samotného prachu podstatný vplyv i prevádzkové podmienky (napr. vlhkosť, teplota). Častice menšie ako 10 µm sú vždy silne lepidé. Preto pri posudzovaní náchylnosti prachu na zlepovanie treba brať do úvahy konkrétne prevádzkové podmienky odlučovača (Horák, 1996). Jemný prach svojím zhustením, priliepaním k väčším časticiam, resp. k jemne dispergovanej filtračnej látke spôsobuje intenzívnejšie odlučovanie tým, že koagulovaný prach tvorí väčšie zhluky, ktoré je ľahšie odseparovať.

1.1.2.6 Vytváranie alebo viazanie statickej elektriny a elektrický náboj prachu

Pri doprave určitých druhov sypkých hmôt sa vytvárajú podmienky pre vzájomný prístup elementárnych záporných a kladných elektrických nábojov medzi dopravovanou hmotou a dopravným zariadením. Na povrchu jednej z hmôt sa nazhromaďia záporné, na povrchu druhej kladné elektrické náboje. Pri oddelení oboch hmôt zostane tento stav čiastočne zachovaný a na povrchových plochách sa objavia rovnako veľké voľné elektrické náboje opačných polarít. (STN 26 0072)

Častice bez elektrického náboja sú viac menej výnimkou. Elektrický náboj dreveného prachu sa v sypkej drevnej hmote prejavuje formou koagulácie, adhéziou prachových častíc, resp. elektrickým výbojom. Vážnejším nebezpečenstvom existencie elektrického náboja dispergovaných častíc je možnosť vzniku vysokých rozdielov elektrického potenciálu, ktoré sa môžu vyrovnávať elektrickým výbojom, iskrou a spôsobiť tak vzplanutie alebo výbuch disperznej sústavy. Aby prach mohol vzplanúť alebo explodovať, sú potrebné tri podmienky. Prach musí byť horľavý, ďalej vzduch alebo plyn, v ktorom je prach rozptýlený, musí obsahovať kyslík, napokon musí byť energetický zdroj, ktorý vzplanutie iniciuje. Reakčná rýchlosť výbušnej zmesi je tým

väčšia, čím je zmiešanie dokonalejšie. Významnú úlohu má aj polydisperzita prachu. Jemnejšie častice účinkujú pri zapalovaní hrubších častíc ako sprostredkovatelia. (Koncz, 1977)

Elektrické vlastnosti častíc drevného prachu sa podstatne líšia od vlastností kompaktného dreva. Elektrický náboj (kladný alebo záporný) získava častica už pri svojom vzniku v procesoch drvenia, mletia, či brúsenia tuhej hmoty, resp. tesne po jej vzniku počas pohybu pracovnej častice v prúde plynu, resp. nárazom na stenu potrubia. Takto získaný elektrický náboj tuhých častíc v disperzii sa nazýva prirodzený elektrický náboj.

Elektrický náboj prachových častíc sa v dezintegrovanej drevnej hmote prejavuje formou koagulácie, adhéziou prachových častíc, resp. výbojom. (Dzurenda, 2002, 2007)

Vážnejším nebezpečenstvom existencie elektrického náboja dispergovaných častíc je možnosť vzniku vysokých rozdielov elektrického potenciálu, ktoré sa môžu vyrovnávať elektrickým výbojom, iskrou a spôsobiť tak vzplanutie alebo výbuch disperznej sústavy. U tuhých disperzných sústav môže vznikať potenciálový rozdiel až v tisíckach voltov (Kalousek, 1996).

Elektrické vlastnosti častíc drevného prachu sa podstatne líšia od vlastností dreva (Dzurenda, 2002, 2007). Prach je schopný sa nabíjať statickou elektrinou jednak pri procese mletia, tak pri doprave v potrubí a taktiež pri pohybe vo vzduchu (Orlíková a Štroch, 1999). Takto získaný elektrický náboj tuhých častíc v disperzii sa nazýva prirodzený elektrický náboj.

Elektrická kapacita telesa závisí na veľkosti jeho povrchu, to znamená, že prach s veľkým povrchom vyniká pomerne značnou elektrickou kapacitou (Orlíková a Štroch, 1999, Dzurenda, 2002).

Príčin nabíjania častíc prachu statickou elektrinou môže byť niekoľko ako napr.:

- adsorbciou iónov plynov, v ktorom je prach rozptýlený,
- trením o tuhý povrch, napr. pri mletí alebo pri doprave v potrubí,
- nárazom a trením jednej častice o druhú alebo o vzduch.

Veľkosť náboja pri elektrickom nabíjaní prachu závisí hlavne na koncentrácii, rozmeroch častíc, rýchlosti pohybu prachu a vlhkosti ovzdušia.

1.2 CHEMICKÉ VLASTNOSTI DREVNÝCH PRACHOV

1.2.1 Disperzia prachov

Prach vo všeobecnosti je rozdrvená (disperzná) pevná látka ľubovlného tvaru, štruktúry a hustoty. Prach so vzduchom tvorí disperzný systém. Podľa toho, či sa disperzná látka skladá z rovnakých, alebo rozdielne veľkých čiastočiek, rozoznávame homodisperzné a polydisperzné systémy. Prachové zhluky a aerosóly sa radia takmer výlučne do polydisperznej skupiny (Koncz 1977). O homodisperznom (monodisperznom) systéme hovoríme vtedy, ak všetky častice daného množstva prachu majú rovnakú veľkosť, takýto súbor prachových častíc sa obyčajne nevyskytuje ako prirodzený.

Stupeň disperzity d_0 je určený pomerom povrchu všetkých častíc k ich celkovému objemu pre jednotku hmotnosti (8):

$$d_0 = \frac{S}{V} \quad (m^{-1}) \quad (8)$$

d_0 - stupeň disperzity,

S - povrch častíc (m^2),

V - objem častíc (m^3).

Veľkosť stupňa disperzity závisí na geometrickom tvare prachových častíc. S klesajúcim lineárnym rozmerom častíc rastie stupeň disperzity. Rastúci stupeň disperzity vedie ku zvýšenému uplatneniu povrchových javov. Sily pôsobiace na atómy alebo molekuly v hĺbke tuhej alebo kvapalnej fáze od susedných častíc, sú vyrovnávané. Na styku povrchov dvoch rôznych fáz sú však pôsobiace sily nevyrovnané. S tým súvisí povrchové napätie a povrchová energia, nutná pre zväčšenie povrchu. Povrchová energia rastie so stupňom disperzity. Viac atómov a molekúl sa dostáva do styku s inou fázou. (Mračková, 2001)

Na základe svojich fyzikálno-chemických vlastností patria prašné zmesi, čiže aj pašné zmesi drevných prachov so vzduchom, ku koloidným a disperzným sústavám, pre ktoré je určujúcou charakteristikou lineárny rozmer častíc. Pri danej hmotnosti sústavy malý lineárny rozmer vedie k výraznému zvýšeniu plochy povrchu.

U horľavých a výbušných prachov uvažujeme s disperznou fázou plynnou. Ak je disperzným prostredím zmes vzduchu – ide o aerodisperznú zmes prachu a vzduchu. Prach usadený na stenách, stropoch a povrchu zariadenia sa nazýva aerogel. Z hľadiska požiarnej ochrany je výskyt oboch foriem prachu (aerogel aj aerosol) v priemyslových objektoch nebezpečný (Orlíková a Štroch, 1999).

Ľubovoľný prach, akokoľvek získaný, predstavuje sám o sebe častice rôznej veľkosti. Toto sa vzťahuje hlavne na prirodzený prach, ktorý nevznikol špeciálnym rozomieľaním, ale pri rôznych procesoch ako je napr. brúsenie, štiepanie, sypanie a doprava. Rozmery častíc prirodzeného prachu majú široké rozmedzie. (Orlíková a Štroch, 1999)

Disperzia prachu, tj. veľkosť jeho častíc sa stanoví sitovou alebo inou špeciálnou analýzou, ktorá stanoví percentá alebo hmotnostné zlomky častíc určitého rozmeru.

Disperzia prachov má podstatný vplyv na jeho požiarne nebezpečie. Dispergovanejší prach má značne veľký povrch a chemickú aktivitu, nižšiu teplotu samovznietenia a široký interval medze výbušnosti. Rýchlosť horenia takéhoto prachu sa približuje rýchlosti horenia plynov a proces prebieha dokonale (Tureková, 2009).

Disperzia prachov v strojoch, zariadeniach a prevádzkach nie je stála a je ovplyvňovaná vlhkosťou suroviny a vzduchu a rýchlosti pohybu vzduchu v miestnosti. Celkový povrch prachu závisí na veľkosti jeho častíc. Za predpokladu, že prach je zložený z častíc rovnakých rozmerov, ľahko sa vypočíta plocha jednotky jeho objemu. V tab. 5 je uvedená zmena povrchu štvorca o hrane 1 cm pri jeho pravidelnom drvení na menšie a menšie štvorce (Orlíková a Štroch, 1999, Tureková, 2009).

Tab. 5 Zväčšenie povrchu tuhého telesa drvením (Orlíková a Štroch, 1999)

Dĺžka hrany kocky	Počet častíc štvorcového tvaru	Plocha v cm ²
1 cm	1	6
1 mm	10 ³	60
0,1 mm	10 ⁶	600
0,01 mm	10 ⁹	6000
1 μm	10 ¹²	60 000

V skutočnosti prach svojim tvarom nezodpovedá ani štvorcu a ani guli, ale má nepravidelný tvar. Tvar častíc je v podstate závislý na vlastnostiach tuhej látky, menej už na spôsobe získania prachu.

1.2.2 Chemická aktivita prachov

Chemická reakcia medzi plynom a tuhou látkou prebieha na povrchu častíc tuhej látky. Rýchlosť reakcie závisí okrem ďalších veličín taktiež na veľkosti povrchu reagujúcich látok. Tuhé látky pri rozomietaní menia aj svoje adsorbčné schopnosti. Objem adsorbovaného plynu vždy prevyšuje objem adsorbujúceho prachu. (Vlčková, 2010)

Prítomnosť adsorbovaného kyslíku na povrchu prachu urýchľuje proces oxidácie a tým i prípravu prachu pre proces horenia. Objem časticami adsorbovaného kyslíku nestačí pre ich dokonalé horenie, ale úplne stačí pre počiatočné procesy oxidácie (Orlíková a Štroch, 1999).

Chemická aktivita má dopad na vznik nežiaducich degradačných účinkov prachov. Účinky prachu závisia na druhu prachu. Vo všeobecnosti sa rozdeľujú na účinky pri brúsení (ako napr. vplyv prachu na stožiare a mostovky v púštnych oblastiach zadieranie sa do jemnej mechaniky a meracích prístrojov, poškodzovanie hlavičiek magnetických záznamových médií) a chemické účinky, ktoré sú:

- zvýšené navíhanie pri hygroskopických prachoch,
- okysličovanie olejov (prach viaže kyslík),
- korozívne účinky prachov,
- živiny pre mikroorganizmy.

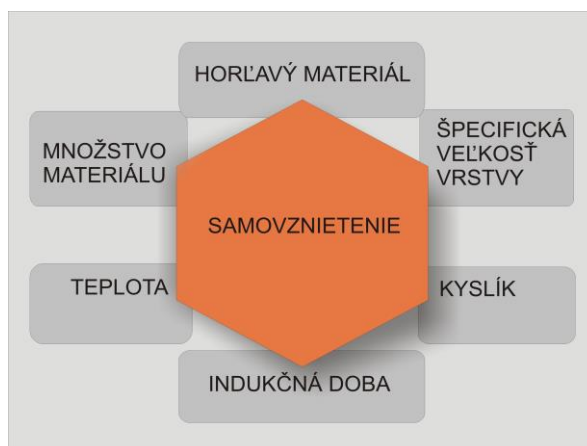
1.2.3 Tepelné samovznietenie prachu

Oxidácia materiálov sa začína pri určitých charakteristických teplotách. Proces, pri ktorom dôjde v dôsledku samovoľného zrýchľovania oxidačných reakcií k horeniu horľaviny, sa nazýva vznietenie. Podľa toho, ktorý jav má rozhodujúci význam v začiatочnom štádiu procesu samozahrievania, resp. samovznietenia na stúpnutí teploty, rozdeľujeme proces samovznietenia do týchto skupín (Balog, 1999):

1. **Samovznietenie fyzikálno – chemické** spôsobené javmi fyzikálneho a chemického pôvodu (zvýšená teplota prostredia)
2. **Samovznietenie chemické** (exotermické reakcie pri vzájomnom styku chemických látok)
3. **Samovznietenie biologické** (činnosť mikroorganizmov, biologické pochody v bunkách)

Teplo potrebné na zapálenie látky v prípade procesu samovznietenia vzniká v látke samotnej ako dôsledok chemických, fyzikálnych alebo biologických procesov.

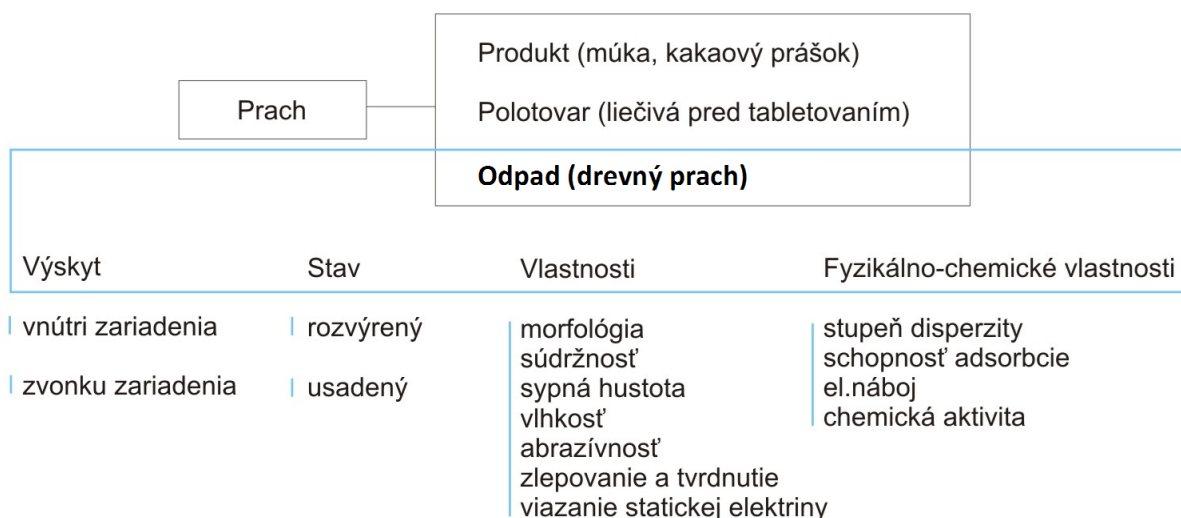
Analógiou k trojuholníku horenia (palivo, kyslík, iniciačný zdroj), je šesťuholník (hexagon) samovznietenia (obr.9), ktorý sa skladá zo šiestich hlavných predpokladov, ktorých splnenie je nutné pre vznik samovznietenia tuhých látok (Damec et al., 1999).



Obr.9 Hexagon samovznietenia (Damec et al., 1999)

1.3 DREVNÝ PRACH

Drevospracujúci priemysel patrí medzi odvetvia, kde vzniká prach ako neželaný odpad (obr.10). Do prostredia sa dostáva hlavne z procesov brúsenia, drvenia a rezania dreva. Drevné prachy zatried'ujeme medzi horľavé organické prachy (Tureková et al., 2005, Tureková a Kuracina, 2011, Tureková, 2012).



Obr.10 Zatriedenie prachu a jeho vlastnosti (upravené podľa Vladárová, 2007)

1.3.1 Elementárne zloženie drevného prachu

Suché drevo vysušené na konštantnú hmotnosť (105°C) rôznych drevín má prakticky rovnaké elementárne chemické zloženie a tým aj rovnakú hustotu drevnej substancie (1540 kg.m⁻³). Priemerne obsahuje 49,5 % uhlíka, 44,2 % kyslíka, 6,3 % vodíka (Mračková et al., 2016, Tureková, 2008b).

Popri organických látkach, ktoré sú podstatnou časťou drevnej hmoty, drevo obsahuje aj minerálne látky, z ktorých pri spaľovaní vzniká popol. Podiel popola v dreve a materiálov na organickej báze sa pohybuje prevažne v rozpätí 0,2 až 1,2 %. (Požgaj et al., 1997)

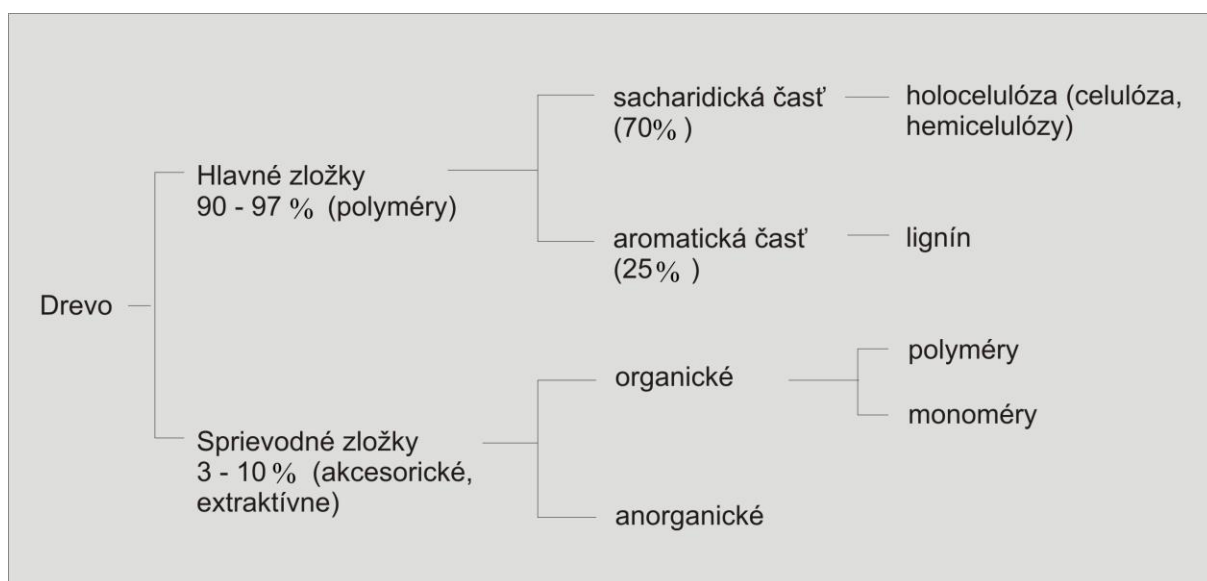
Horbaj et al. (2011) poukazuje na relatívne porovnateľné elementárne zloženie organických palív (tab. 6).

Tab. 6 Základné zloženie organických palív (Horbaj et al., 2011)

Palivo	Roz- me- dzie	Výhrev- nosť (MJ/kg)	Podiel prch.horľá- vín (%)	Obsah popolo- vín (%)	Vlh- kosť (%)	Elementárne zloženie (%)				
						C	H	O	N	S
Obilná slama	Min.	15	70	3,5	12	43,9	5,4	38	0,3	0,05
	Max.	17,5	82	6,5	25	48	6,4	43,3	0,7	0,2
Obilovi ny	Min.	15,5	76	3	12	45	6	39,5	1	0,09
Slama + zrno	Max.	18,5	79	5,6	25	46,6	6,9	42,6	1,8	0,2
Miscan- tus	Min.	15	74	2,5	40	45	5,5	36	0,5	0,05
Slonia tráva	Max.	17,6	79	8	15	49	6,4	41,3	1,7	0,3
Seno	Min.	13,5	70	4,2	25	45	6	38,8	0,8	0,08
	Max.	17,7	75	5,8	10	48,6	6,6	44,3	1,1	1,12
Drevo	Min.	16,9	70	0,2	60	45	5,3	41,4	0,1	0,02
	Max.	19	85	3	10	52	6,5	46	1,7	0,3

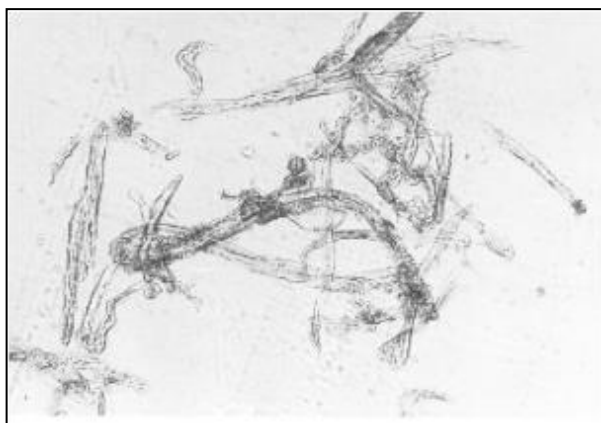
1.3.2 Chemické zloženie drevného prachu

Drevo je vláknitá organická látka. V priemere celulóza tvorí 43 – 52 % z hmotnosti ihličnanového a listnáčového dreva. Druhou sacharidickou zložkou sú hemicelulózy. Drevo obsahuje 20 až 35 % hemicelulóz. Lignín predstavuje z hmotnosti dreva prevažne 20 až 30 %. Sprievodné zložky tvoria 3 až 10 % (Požgaj et al., 1997, Coneva, 2004). Rozdelenie chemických zložiek v dreve (obr. 11) poukazuje na prítomnosť organických látok s prevahou sacharidov, čo sa prejavuje aj na správaní dreva ako horľavého materiálu.

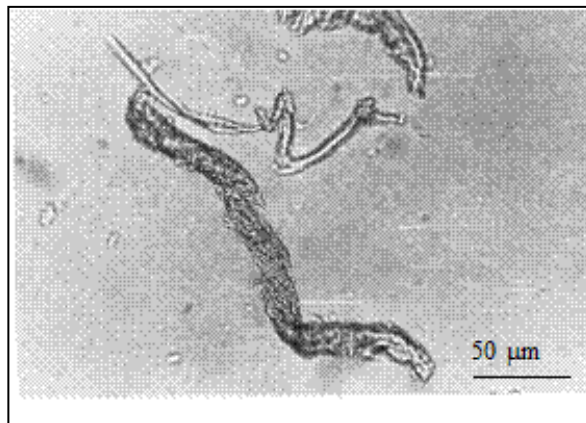


Obr.11 Chemické zložky v dreve (Požkaj et al., 1997)

Predpokladáme, že chemické zloženie drevného prachu sa nelíši od chemického zloženia rastlého dreva. Chemická štruktúra a elementárne zloženie dreva zostáva po jeho dezintegrácii zachované. Výsledky prác Mračkovej (2004), Mračková a Marková (2003) poukazujú na skutočnosť, že prachové častice si zachovávajú aj morfológiu zloženia dreva (obr. 12)



a) 100 µm



b) 50 µm

Obr. 12 Mikroskopický detail prachových častíc vzoriek buka. (Mračková, 2004, Mračková a Marková, 2003)

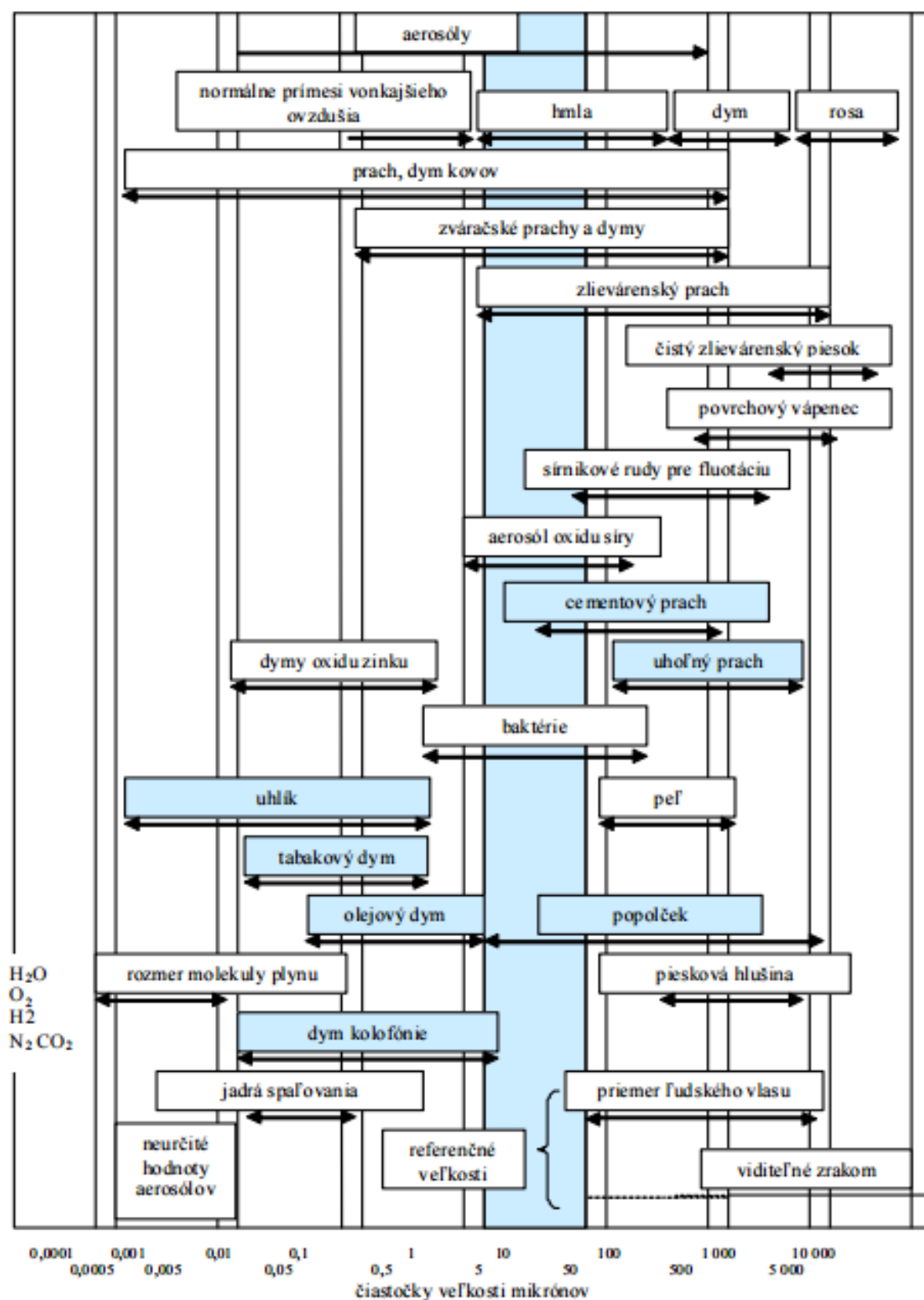
2. HODNOTENIE RIZIKA DREVNÝCH PRACHOV

2.1 HODNOTENIE RIZIKA PRÍTOMNOSTI DREVNÝCH PRACHOV V ŽIVOTNOM PROSTREDÍ

Prach možno charakterizovať ako polietavý prach, ktorý je rozptýlený v ovzduší a na pracovisku a usadený prach, ktorý je na fasádach, strechách, podlahách, stenách, konštrukciách strojov a zariadeniach.

Prachové a aerosólové častice tvoria prašnosť ovzdušia (obr.13). Prašnosť je množstvo častíc polietavého prachu nachádzajúcich sa v objemovej jednotke plynu (vzduchu). Primárna prašnosť vzniká pri výrobných procesoch. Sekundárna prašnosť – vzniká zvíernením usadeného prachu z primárnej prašnosti. Prašnosť sa udáva buď počtom častíc (numericky) alebo hmotnosťou častíc (gravimetricky) v danom objeme. (Hatina et al., 2006) Prašnosť vyjadrená hmotnosťou častíc v danom objeme v jednotkách $\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (Diagnostika prostredia, 2008), je hygienické hľadisko posudzovania prašnosti, ktoré vychádza z lekárskeho výskumu, kde prachové častice hlavne podľa svojej veľkosti rôznym spôsobom zaťažujú dýchacie orgány a spôsobujú ich trvalé ochorenie. Prašnosť vyjadrená počtom častíc x v jednotkovom objeme m^3 – $x \cdot \text{m}^{-3}$ je technické hľadisko posudzovania prašnosti. Niektoré priemyselné výroby (výroba elektroniky, liekov, potravín) vyžadujú kontrolované priestory na prítomnosť prachových častíc, ktoré by v neželateľnej miere znehodnotili kvalitu produkcie. Používané medzinárodné štandardy definujú pre jednotlivé prostredia triedy čistoty. Prachové častice sa posudzujú z rôznych hľadísk.

Prašnosť v prostredí, v dôsledku tvorby drevného prachu, má škodlivé účinky na ľudský organizmus (Tureková, 2008) a predstavuje jeden zo základných problémov v oblasti bezpečnosti a hygieny pracovného prostredia. Tureková (2007) uvádza výsledky výskumov zaoberajúcich sa problematikou škodlivého vplyvu prachov na zdravie človeka a uvádza, že, pri vdychovaní prachu preniká do pľúc len malá časť prachu, tzv. respirabilná frakcia, ktorá je tvorená časticami o rozmeroch menších ako $5,0 \mu\text{m}$. Väčšia časť prachu je zachytávaná v prírodných dýchacích cestách (nose, hrtane, tracheobronchiálnom strome). Hygienické aspekty prašnosti prezentované podľa konvencií v oblasti prašnosti v zmysle STN EN 481 a US-EPA prezentujú charakter prachu podľa jeho veľkosti. Do pozornosti vstupuje interval frakcie 20-30 μm , kde sa prejavuje možnosť inhalácie drevného prachu.



Obr. 13 Veľkosti častíc znečisťujúcich ovzdušie (Buchancová, 2003)

2.1.1 Zdravotné riziká drevných prachov

Vo všeobecnosti, všetky druhy prachu sú škodlivé a môžu spôsobiť vážne zdravotné problémy. Vysoká koncentrácia prachu v ovzduší spôsobuje usadzovanie prachových častíc v očiach, nose a ústach, na pokožke a s tým spojené nepríjemné pocity. Dlhodobá expozícia týmito koncentraciám aj u prachov bez špecifických účinkov (nazývanými tiež inertnými) preťažuje samočistiace mechanizmy pľúc, znižuje celkovú obranyschopnosť človeka a môže prispievať k chronickému zápalu priedušiek. Okrem toho mechanické pôsobenie týchto prachových častíc a ich odstraňovanie môže spôsobiť poranenie pokožky alebo slizníc. Chronický zápal priedušiek nie je pokladaný za chorobu z povolania. (Schwarz et al., 2009, Tian et al., 2007)

Hlavnou a rozhodujúcou cestou vstupu pre prach sú dýchacie cesty (nos, ústa), ale v niektorých prípadoch treba počítať aj s vplyvom na kožu.

Pravdepodobnosť vdýchnutia častíc závisí od ich aerodynamického priemeru, pohybu vzduchu okolo tela a od rýchlosti dýchania. (WHO, 1999)

Tureková (2012) zdôrazňuje ako hlavný účinok drevného prachu na kožu podráždenie. Je to spôsobené priamym kontaktom kožou s drevom, jeho prachom, kôrou, miazgou alebo dokonca aj lišajníkmi rastúcimi na kôre. Podráždenie môže spôsobiť vyrážky alebo dermatitídu. Tieto účinky majú tendenciu objaviť sa na predlaktí, chrbtov rúk, tváre (najmä viečok) krku, vlasoch. Príznaky zvyčajne trvajú dlho, pokiaľ koža zostáva v kontakte so zdrojom podráždenia. Príznaky vymiznú po odstránení kontaktu s dráždivými látkami.

Z hľadiska účinku na ľudský organizmus je dôležitá:

- veľkosť prachových častíc (aerodynamický priemer častice),
- a biologická účinnosť prachu.

2.1.1.1 Depozícia prachových častíc v organizme v závislosti od ich veľkosti

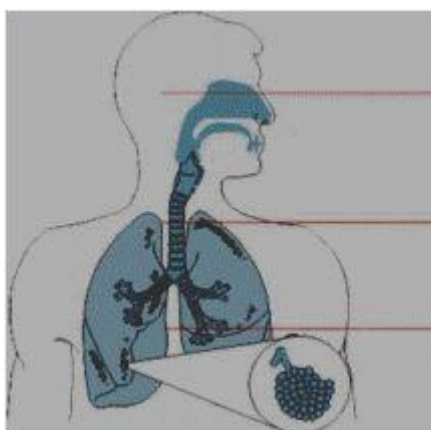
Zdravotná významnosť prachu závisí od veľkosti častíc. Zatiaľ čo väčšie častice (nad 10 µm) môžu pôsobiť iba podráždenie horných dýchacích ciest s kašľom a kýchaním a dráždenie očných spojiviek, menšie častice sa dostávajú až do dolných dýchacích

ciest. Častice s rozmerom pod $2,5\text{ }\mu\text{m}$ môžu prestupovať do pľúcnych alveol a buď sa v nich usadzujú alebo prenikajú do krvného obehu. Z tohto aspektu sa ukazovateľ prašnosti delí na (Kelemen a Maťašovská, 2004):

- celkovú prašnosť (Total Suspended Particle – TSP),
- častice s veľkosťou pod $10\text{ }\mu\text{m}$ (Particle Matter – PM_{10}),
- častice menšie ako $2,5\text{ }\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$).

Európska norma STN EN 481 O vzduchu na pracovisku, definuje 3 zložky prašnosti podľa ich veľkosti a schopnosti ohrozovať dýchacie orgány (obr. 14):

1. inhalable level – vdychovaná zložka – časť vonkajšieho polietavého prachu, ktorý sa cez ústa a nos dostáva do dýchacieho traktu,
2. thoracic level – pľúcna zložka – podiel z inhalable, ktorý sa dostane za hltan do dýchacieho traktu, ale ktorý je možné z dýchacieho traktu vylúčiť prostredníctvom riasinkového epitelu späť, sú to častice pod $30\text{ }\mu\text{m}$,
3. alveolic level – respirabilná zložka – podiel z thoracic, ktorý predstavuje najmenšie častice, ktoré trvalo zostávajú v alveolárnom systéme a spôsobujú chronické ochorenia pľúc, sú to častice pod $10\text{ }\mu\text{m}$.



Obr. 14 Zložky prašnosti (zdroj: STN EN 481)

Horné dýchacie cesty zachytia väčšinu častíc väčších ako $5\text{ }\mu\text{m}$, menšie častice prenikajú hlbšie. So zmenšujúcou sa veľkosťou častíc pravdepodobnosť priechodu do pľúcnych alveol stúpa, pre častice veľkosti $3\text{ }\mu\text{m}$ je táto pravdepodobnosť väčšia ako 50 %. Vdychovanie prachových častíc spôsobuje rôzne nepriaznivé biologické reakcie ľudského organizmu.

Aj keď najväčšie nebezpečenstvo pre dýchacie orgány predstavuje respirabilná (alveolárna) zložka s veľkosťou častíc pod $10\text{ }\mu\text{m}$, na základe mnohých výskumov,

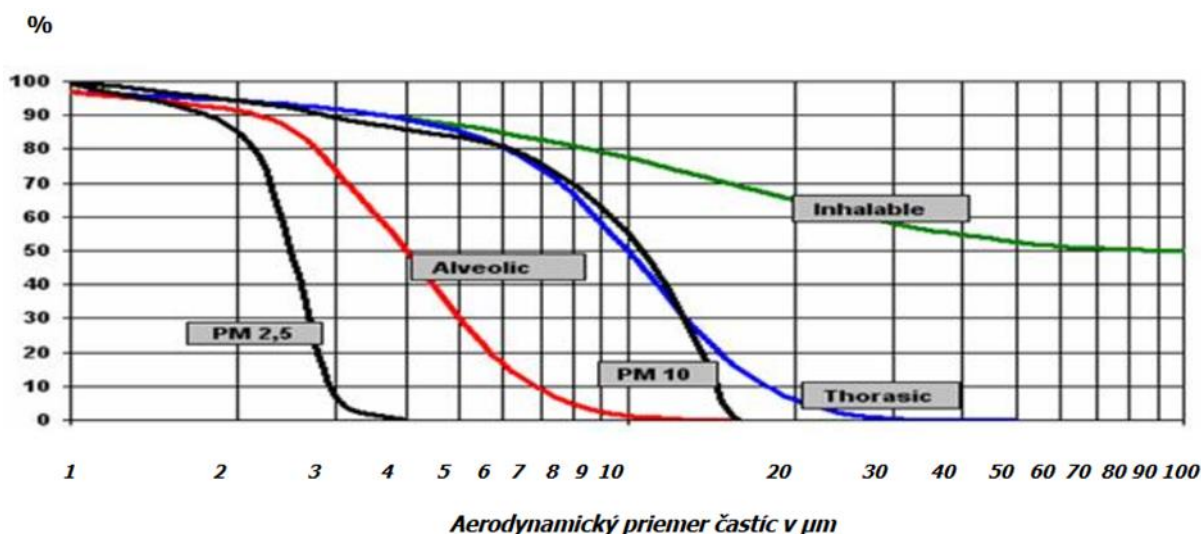
predsa v niektorých prípadoch je potrebné brať do úvahy aj ostatné frakcie, pretože sú škodlivé pre organizmus, napr., tab. 7. (WHO, 1999)

Tab. 7 Účinok prachu na zdravie v závislosti od veľkosti častíc. (WHO, 1999)

Typ prachu	Účinok na zdravie	Zasiahnutý orgán	Frakcia
Uhoľný prach	pneumokonióza	pľúca	respirabilná
Azbestové vlákna	azbestóza, rakovina pľúc	pľúca	pľúcna, respirabilná
Drevný prach z tvrdých drevín	rakovina nosa	dýchacie cesty	vdychovaná
Prach z bavlny	byssinóza, obštrukčné ochorenie pľúc	pľúca	pľúcna
Cementový prach	dermatózy	koža	všetky veľkosti častíc

Americká agentúra pre ochranu životného prostredia US – EPA (Environmental Protection Agency) zaviedla ďalšie kritériá pre hodnotenie prašnosti a to hodnoty: **PM₁₀** a **PM_{2,5}** v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (napr. hodnota PM₁₀ predstavuje prašnosť v $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, kde aspoň 50 % častíc je menších ako 10 μm).

Porovnanie konvencií v oblasti prašnosti v zmysle STN EN 481 a US-EPA uvádza obr. 15.



Obr. 15 Porovnanie konvencií v oblasti prašnosti v zmysle STN EN 481 a US-EPA

2.1.1.2 Biologické účinky prachu na ľudský organizmus

Podľa Serbouska (1992), z hľadiska biologických účinkov prachu (ktoré závisia na chemickom zložení a na fyzikálnych vlastnostiach prachu) je možné prach kategorizovať na prach inertný, ktorý má nepatrné biologické účinky a prach so škodlivými účinkami. Prach so škodlivými účinkami je možné rozdeliť do týchto skupín:

- prach bez fibrogénnych účinkov – jeho účinok sa prejavuje prostredníctvom mechanického dráždenia dýchacích ciest, spojiviek očí a pokožky; ide o prach z dreva, konope, srsti, cementu, skleneného vlákna, páleného vápna a pod.,
- prach s fibrogénnym účinkom vyvoláva bujnenie väziva v pľúcach, tzv. pľúcnu fibrózu; ide o prach z azbestu, grafitu, keramických ílov, šamotu, oxidu kremičitého a pod.,
- toxický prach – jeho účinok sa prejavuje nielen na dýchacích cestách, ale pôsobí toxicky na celý organizmus; ide o prach s obsahom olova, mangánu, ortuti a pod.,
- rádioaktívny prach môže vplyvom svojho žiarenia viesť k zmenám, poškodeniu alebo narušeniu biologických štruktúr; ide o prach s obsahom uránu, tória, rádia, zirkonu a pod.,
- alergény prach môže spôsobovať prieduškovú astmu a kožné ekzémy,
- karcinogénny prach môže vyvolať zhubné bujnenie tkaniva; do tejto skupiny patrí prach niklu, chromáty, azbest a pod.,
- prach z minerálnych vlákien (sklenené a čadičové vlákna) – účinok tohto prachu sa prejavuje aj pri nízkych koncentráciách, a to vo forme mechanického dráždenia pokožky a sliznice.

Iné zdroje uvádzajú obdobné rozdelenie prachu (Tureková, 2008, 2012), so základným delením prachu na toxický a netoxický.

Toxické prachy môžu spôsobiť okrem miestneho účinku na dýchací systém i systematickú intoxikáciu. (IARC, 2010) Prachy obsahujúce toxické látky sú absorbované krvou, čo vedie k nepriaznivému vplyvu na tkanivo a orgány. Karcinogénne prachy môžu pri vdýchnutí vyvolať nádorové ochorenie u ľudí, ktorí sú týmto účinkom prachov vystavení.

Toxický prach sa hodnotí spolu s plynmi a parami s toxickým účinkom podľa NV SR č. 355/2006 Z.z., v znení novely NV SR č. 300/2007 Z.z. a v znení novely NV SR č. 471/2011 Z.z. o ochrane zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou chemickým faktorom pri práci a koncentrácia toxickéj zložky nesmie prekročiť hodnoty NPEL pre daný faktor. Prach s karcinogénnym a mutagénnym účinkom sa hodnotí podľa NV SR č. 356/2006 Z.z. v znení novely NV SR č. 301/2007 Z.z. o ochrane zdravia zamestnancov pred rizikami súvisiacimi s expozíciou karcinogénnym a mutagénnym faktorom pri práci a koncentrácia toxickéj zložky

aerosólu nesmie prekročiť technické smerné hodnoty (TSH) pre daný faktor. (Nariadenie vlády SR č. 471/2011Z.z., ktorým sa mení a dopĺňa NV SR č. 355/2006 Z.z. o ochrane zamestnancov pre rizikami súvisiacimi s expozíciou chemickým faktorom pri práci v znení NV SR č. 300/2007 Z.z.)

Z hľadiska pôsobenia na človeka sa prachy bez toxického účinku delia na:

- prachy s prevažne nešpecifickým účinkom,
- prachy s fibrogénnym účinkom, ktoré môžu byť buď s možným fibrogénnym účinkom alebo s prevažne fibrogénnym účinkom,
- prachy s dráždivým účinkom (prípadne senzibilizujúcim účinkom),
- minerálne prachy.

Prach s prevažne nešpecifickým účinkom nemá výrazný biologický účinok (hnedé uhlie, vápenec, mramor, umelé brusivá, škvára – popolček, magnezit či dolomit). Zisťovanie prítomnosti fibrogénnej či toxickej zložky je nutné, v prípade jej výskytu musia byť dodržané limitné hodnoty. (Schwarz et al., 2009)

Prachy s fibrogénnym účinkom sú schopné vyvolať tvorbu pľúcnych fibróz, tj. zvýšenie bujnenia väziva v pľúcach. Za fibrogénnu zložku sa považuje napr. kryštallický oxid kremičitý vo forme kremeňa, gama forma oxidu hlinitého a ďalšie.

- Prachy s prevažne fibrogénnym účinkom – za fibrogénny prach sa považuje nerozpustný tuhý aerosól vrátane kvapiek aerosólu, ktorý obsahuje viac ako 1 % fibrogénnej zložky (napr. kremeň, sadze, šamot). V pracovnom prostredí sú prevažujúcimi prachy s obsahom kremeňa (spôsobujú silikózu) v baníctve, zlievarenstve, lomoch, priemysle spracovania kameňa a pod.
- Prachy s možným fibrogénnym účinkom – výskyt fibrogénnej zložky je pravdepodobný (zváračské dymy, amorfný oxid siričitý). V prípade obsahu fibrogénnej zložky sa považujú za prachy s fibrogénnym účinkom. (Schwarz et al., 2009)

Prachy s dráždivým účinkom sa najčastejšie prejavujú mechanickým dráždením slizníc dýchacích ciest, spojiviek očí a pokožky, u citlivejších osôb i alergickými reakciami. Niektoré prachy, najmä organického pôvodu môžu vyvolať precitlivosť,

prejavujúcu sa ako priedušková astma. Infekčný prach, ktorý obsahuje choroboplodné zárodky zachytené na prachových časticiach môže spôsobiť vážne ochorenia. Patria sem i bakteriálne a plesňové infekcie spôsobené bio aerosólom.

Prachy s dráždivým účinkom možno rozdeliť na (Schwarz et al., 2009):

- minerálne (oxidy vápenatý, horečnatý, uhličitany alkálií, cement),
- textilné (bavlna, ľan, konope, hodváb, sisal, juta, kapok a syntetické textilné vlákna),
- živočíšne (perie, vlna, srst' a ostatné živočíšne prachy),
- rastlinné (múka, tabak, čaj, káva, korenie, obilný prach a prachy z dreva).

Prach niektorých tvrdých drevín (buk, dub) je zaradený medzi dokázané karcinogény 1. kategórie, pričom jeho inhalácia spôsobuje najčastejšie rakovinu prínosných dutín.

Minerálne vláknité prachy možno deliť na:

- prírodné minerálne vlákna (azbest);
- umelé minerálne vlákna (čadičové, sklenené, škvárové, keramické a pod.).

Príklady najvyššie prípustných expozičných limitov (NPEL) vybratých pevných aerosólov podľa Nariadenie vlády SR č. 471/2011 Z.z., sú uvedené v tab. 8.

Tab. 8 NPEL pre pevné aerosóly (zdroj: Nariadenie vlády 471/2011 Z.z.)

Pevné aerosóly s možným fibrogénnym účinkom	NPEL _c (mg.m ⁻³)
zvaračské pevné aerosóly	5
Pevné aerosóly s prevažne nešpecifickým účinkom	
hnedé uhlie a lignit	10
kovové dentálne zliatiny	10
sadze (karcinogén kategórie 1)	2 (TSH)
Pevné aerosóly s prevažne dráždivým účinkom	
1. Textilný pevný aerosól	
bavlna	2
hodváb	2
2. Živočíšny pevný aerosól	
perie	4
vlna	6
3. Rastlinný pevný aerosól	
múka	4
cukor	6
korenie	2
pevný aerosól z dreva – dub, buk (karcinogén kategórie 1)	5 (TSH)
4. Iný pevný aerosól s dráždivým účinkom z brúsenia a opracovania	
PVC	5
pneumatik	3
papiera	6
epoxidových živíc	2

Ochorenia následkom vdýchnutia prachu sa súborne nazývajú pneumokoniózy (zaprášenie pľúc). Medzi ochorenia charakterizované tvorbou zhrubnutého väziva v pľúcach – pľúcne fibrózy patrí napr.: silikóza pri pôsobení kremenného prachu, antrakóza pri pôsobení prachu z čierneho uhlia alebo sadzí, azbestóza pri expozícii azbestovému prachu. Zváračské pľúca sa označuje ochorenie zváračov pracujúcich s elektrickým oblúkom. Pľúcne ochorenia spôsobuje i organický prach – tzv. farmárske pľúca sú prudko prebiehajúcim horúčkovitým ochorením vznikajúcim po nadýchaní prachu z plesnivého sena alebo iných rastlinných produktov, bysinóza vzniká po dlhodobej expozícii prachu zo surovej bavlny i z iných textilných vlákien. (Buchancová, 2003)

Pri fibróze sa znižuje a v konečnom štádiu pri pokračujúcej expozícii úplne znemožňuje funkcia pľúc. Komplikácie fibrózy sa v neskorších štádiách (po 10 – 20 rokoch) prejavujú ťažkosťami typickými pre chronickú obštrukčnú chorobu pľúc (sťažené dýchanie, dráždivý, neproduktívny kašeľ, bronchitída atď.). Celosvetovo pri niektorých profesiách patria pneumokoniózy čo do početnosti výskytu, k najväznejším chorobám z povolania, s ťažkým poškodením zdravia, pretože patria medzi neliečiteľné ochorenia.

Fyzikálne a fyzikálno-chemické vlastnosti drevného prachu, akými sú malé rozmery, veľký špecifický povrch, hygroskopičnosť, chemické reakcie s vodou a inými kvapalinami sú príčiny, ktoré za istých okolností vyvolávajú u človeka dráždenie horných ciest dýchacích, očných spojiviek, či slizníc (Dzurenda, 2002).

Alergické účinky sa prejavujú prevažne na koži a to hlavne pri styku s tropickými drevinami. Príznaky sú začervenanie, pľuzgiere a zápaly kože (Hejma, 1981).

Pôsobiaca látka u niektorých ochorení nie je známa. Prejavuje sa napríklad krvácaním z nosnej sliznice, nevoľnosťami, nechutenstvom, závratmi, bolesťami hlavy, zvracaním, srdcovými a zrakovými poruchami.

Biologické účinky dreva, prevažne prachu, sú komplexné a skladajú sa z účinkov mechanických, fyzikálnych a chemických. Sú veľmi rôznorodé a napádajú prakticky celý organizmus. Zvlášť niektoré tropické dreviny obsahujú toxické látky, ktorých pôsobenie môže vyvolať aj vážne ochorenia (Hejma, 1981).

Pri hodnotení prác a pracovísk podľa fyziologickej a psychickej odozvy organizmu na pracovné podmienky, bol z tohto dôvodu prach zaradený k faktorom s prevažne

špecifickými účinkami. Špecifický faktor, je faktor, ktorý pre svoju fyzikálnu, chemickú alebo biologickú povahu môže spôsobiť chorobu z povlania, priemyslovú otravu alebo iné poškodenie pri práci (Beljaková et al., 2009).

Uvedené skutočnosti poukazujú na zásadne odlišný vplyv drevného prachu na ľudský organizmus v porovnaní s pôsobením dreva tej istej dreviny vo forme masívu na ľudský organizmus. Biologickým účinkom pôsobenia drevného prachu na ľudský organizmus sa v ostatnom čase venuje veľká pozornosť. Výsledky výskumu z tejto oblasti sa premietajú tak do opatrení na zlepšenie životného prostredia, ako aj k zdokonaľovaniu osobných ochranných pracovných prostriedkov pri práci (Dzurenda, 2002).

Tureková (2012) uvádza, že v stredoeurópskom regióne v etiológii profesionálnych sinonazálnych karcinómov je to prach z tvrdého dreva dubov a bukov. O mäkkých drevách, tvoriacich dve tretiny našich úžitkových drieb, sa uvažuje menej často. Ako uvádza (Tureková, 2012), boli vyjadrené obavy, že okrem rakoviny nosovej dutiny drevný prach spôsobuje ďalšie typy rakoviny, vrátane rakoviny pľúc. Niekoľko štúdií nepreukázalo žiaden nezvratný dôkaz, že rakovina pľúc je spojená s expozíciou drevného prachu.

Drevný prach vznikajúci najmä pri procesoch brúsenia, drvenia alebo vŕtania dreva, keď nie je dostatočne odstraňovaný, uniká do pracovného prostredia a negatívne pôsobí na zdravie exponovaných pracovníkov (Tureková et al., 2005, 2007).

Tureková (2007) klasifikuje drevný prach, ako prach rastlinného pôvodu, do kategórií podľa biologického účinku na ľudský organizmus, pričom vychádza z druhu dreva (tab.9).

Tab. 9 Rozdelenie drevných prachov podľa biologického účinku (<http://www.bzp.cz> in Tureková, 2007)

Kategória biologického účinku	Druh dreva
biologicky vysoko účinné drevo	jalovec, tis, niektoré druhy exotických drieb,
biologicky účinné drevo	agát, borovica, eben, smrek, topol
biologicky málo účinné drevo	breza, hrab, javor, jaseň, jedla, brest, niektoré druhy exotických drieb
drevo s karcinogénnym účinkom	dub, buk

Zároveň, v tab.10 je prezentácia vplyvu drevných prachov na ľudský organizmus z pohľadu odborníkov-rezbárov.

Tab. 10 Výsledky skúmania vplyvu drevného prachu (Mach, 2016)

Dreviny	Miesto pôsobenia	Intenzita účinku	Zdroj	Intenzita výskytu
Agát	dráždivý, dráždi k zvracaniu	intenzívny	piliny, prach, drevo	vzácný
Buk	alergizuje, pôsobí na dýchací systém,	intenzívny	piliny, prach	vzácný
Brest	alergizuje, pôsobí na oči a kožu	slabý	piliny, prach	vzácný
Breza	pôsobí na dýchací systém, dráždi k zvracaniu	intenzívny	piliny, prach, drevo	vzácný
Dub	dráždi nosné sliznice	intenzívny	piliny, prach	vzácný
Eben	alergizuje, pôsobí na dýchací systém, oči aj kožu	intenzívny	(piliny, prach, drevo)	bežný
Iroko	dráždivý, pôsobí na dýchací systém, oči aj kožu	veľmi silný	piliny, prach	vzácný
Jaseň	pôsobí na dýchací systém	dráždivý	piliny, prach	vzácný
Javor	alergizuje, pôsobí na dýchací systém	intenzívny,	piliny, prach, drevo	vzácný
Jedľa	dráždivý, pôsobí na oči a kožu	slabý	piliny, prach	vzácný
Jelša	dráždivé, pôsobí na oči, kožu a dýchací systém	slabý	piliny, prach	vzácný
Krušpán	alergizuje, pôsobí na dýchací systém	slabý	piliny, prach, drevo	vzácný
Mahagon	alergizuje, dýchací systém, oči a koža	slabý	piliny, prach	vzácný
Oliva	alergizuje, pôsobí na dýchací systém, oči aj kožu	intenzívny	piliny, prach, drevo	bežný
Obeche	alergizuje, pôsobí na dýchací systém, oči a kožu	intenzívny	piliny, prach	bežný
Padouk	pôsobenie dráždivé, pôsobí na dýchací systém, oči, koža, nausea	veľmi silný	piliny, prach, drevo	bežný
Smrek	alergizuje, pôsobí na dýchací systém	slabý	piliny, prach, drevo	vzácný
Teak	alergizuje, pôsobí na oči a kožu	veľmi silný	piliny, prach	bežný
Tis	pôsobenie dráždivé, na oči a kožu	intenzívny	piliny, prach	bežný
Wenge	alergizuje, pôsobí na dýchací systém, oči a kožu	intenzívny	piliny, prach	bežný
Zebrano (zingana)	alergizuje, priamy toxický účinok, pôsobí na oči a kožu	intenzívny	piliny, prach	vzácný

2.1.2 MERANIE A HODNOTENIE KONCENTRÁCIE PRACHU

Stratégiu merania, výber vhodného postupu a spracovanie výsledkov upravujú slovenské technické normy STN EN 482 a STN EN 689.

Prístroje pre meranie koncentrácií prachu v ovzduší, tzv. prachomery (angl. dust concentration monitor), využívajú rôzne metódy merania. Tieto metódy je možné kategorizovať z hľadiska použitého fyzikálneho princípu do týchto skupín (Kelemen a Maťašovská, 2004): gravimetrická metóda používa sa ako referenčná metóda pre účely kalibrácie prachomerov, neposkytuje informáciu o koncentrácii prachu v ovzduší v jednotlivých časoch merania, ale len bilančnú hodnotu za určité časové obdobie; pri tejto metóde sa vychádza z rozdielu hmotnosti filtra pred vzorkovaním a po vzorkovaní; optické metódy merania koncentrácie prachu využívajú najčastejšie princíp založený na rozptyle svetla, sú najčastejšie používanými metódami a ďalšie. Vhodnosť jednotlivých metód pre konkrétne rozsahy merania závisí od konkrétneho prístroja a výrobcu.

Princíp gravimetrickej metódy je založený na tom, že sa zachytí vzorka polietavého prachu z ovzdušia na vhodný typ filtračného materiálu. Z rozdielu hmotnosti filtra po odbere a pred odberom je možné určiť hmotnosť zachyteného prachu. Celková hmotnostná koncentrácia prachu M_C sa určí zo vzťahu (9):

$$M_C = \frac{m_{po} - m_{pred}}{Q_V t} \quad (9)$$

kde

m_{po} , m_{pred} sú hmotnosti filtra po odbere a pred odberom,
 Q_V je objemový prietok vzduchu pri odbere vzorky,
 t čas odberu vzorky.

Objem pretečeného vzduchu sa stanovuje integrálnym (bilančným) meradlom a hmotnosti sa určujú vážením analytickými váhami.

Nevýhodou tejto metódy je, že je preceňovaný význam veľkých prachových častíc (väčších ako 10 μm). Tento nedostatok možno odstrániť následnou analýzou veľkostného rozloženia prachu alebo dvojstupňovým meraním prašnosti, ktorého

úlohou je roztriediť prach už pri vlastnom odbere vzorky na respirabilnú a nerespirabilnú frakciu. Na oddelenie frakcií sa najčastejšie používajú cyklóny (obr. 16), ktoré separujú častice polietavého prachu podľa ich veľkosti, pričom respirabilná zložka častíc je zachytávaná vo filtri, zatiaľ čo väčšie častice spadnú do zbernej nádoby.



Obr. 16 Cyklón – zariadenie na separáciu prachových častíc (Kelemen, M., Maťašovská, 2004, <http://www.skincinc.com/prod/225-01-01.asp>)

Prístroje novej generácie využívajú techniky založené na rozptyle svetla. Ich veľkou prednosťou je, že vyhodnotia prachové častice podľa ich veľkosti v požadovanom rozsahu a tak reálne zhodnotia možné zdravotné účinky na dýchacie orgány. Sú schopné **vyhodnotiť prachovú vzorku v reálnom čase na mieste** (In Situ), obr.17.



Obr. 17 CEL-712 Microdust Pro – merací prístroj na monitorovanie prašnosti v reálnom čase (http://www.chromspec.sk/products_1/microdust.htm)

Najvýhodnejšie z hľadiska vyhodnotenia expozície zamestnancov sú však osobné (personálne) odbery. Pri osobných odberoch sa odberový prístroj – prachomer s vlastným zdrojom energie umiestňuje priamo na telo zamestnanca a nasávací otvor čo najbližšie k dýchacej zóne. Zamestnanec má namontovaný prístroj v priebehu celej zmeny, obr. 18, vrátane prestávok a prerušení práce, takže identifikované vzorky reálnejšie demonštrujú podiel prachu v inhalovanom vzduchu. (Schwarz et al.,

2009) Prachomer je zložený z cyklóna, z kazety s filtrom a vzorkovacieho čerpadla. Čerpadlo by malo byť schopné osemhodinovej nepretržitej prevádzky na jedno nabitie akumulátora a kalibrované na objemový prietok $1,7 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (hodnota sa môže meniť podľa konkrétneho výrobcu), čo zodpovedá dýchaniu zdravého dospelého človeka. (Kelemen a Maťašovská, 2004)



Obr. 18 Umiestnenie osobného prachomera (sampler) s pumpou (pump)(<http://www.swtestingltd.co.uk/airsampling.html>)

Podľa dĺžky času odberu vzoriek sa metódy rozdeľujú:

- na krátkodobé (odber vzoriek od zlomku sekundy do 20 minút),
- a dlhodobé (až do niekoľkých pracovných zmien).

Dlhodobé merania sa využívajú na určenie priemernej koncentrácie prachu počas celej pracovnej zmeny, resp. počas trvania výrobného cyklu.

Krátkodobé merania sa vyžadujú pri prácach, kedy na určitú dobu dochádza k nárastu (a následnému poklesu) koncentrácie prachu, tzn. objavujú sa značné výkyvy.

Podľa miesta odberu sa metódy merania prašnosti delia na :

- stacionárne,
- personálne.

Vzorky vzduchu odoberané z jedného miesta (stacionárny odber) slúžia zvyčajne na určenie zdroja prachu, resp. charakterizujú vzduch vdychovaný zamestnancom na danom konkrétnom mieste. (<http://www.sstp.sk/Diagnostika%20prostredia.htm>)

2.2 HODNOTENIE RIZIKA DREVNÝCH PRACHOV V PRACOVNOM PROSTREDÍ

Pri mechanickom opracovaní dreva (pílení, hobľovaní, frézovaní a brúsení) sa vytvára veľké množstvo prachu a triesok, ktoré z hľadiska hodnotenia rizika predstavuje potencionálne nebezpečenstvo vzniku požiaru a poškodenia zdravia zamestnancov (Zelený, 2010, Ághová, 1993). Drevný prach, ktorý sa vytvára pri opracovaní dreva, najmä pri brúsení, je horľavý a môže so vzduchom vytvárať výbušnú zmes (Rohr et al., 2015). Drevospracujúci priemysel patrí medzi odvetvia, kde vzniká prach ako neželaný odpad (Krentowski, 2015, Top et al., 2016). Na základe veľkosti častíc dreveného prachu je možné predpokladať akou formou v prevádzke sa drevný prach vyskytuje. Frakcie s väčšou veľkosťou majú tendenciu sa usádzať (Tureková et al., 2007, Tureková, 2008a). Početnosť mikrofrakcií (pod 100 µm) evokuje vznik rozvírenej formy prachu. Takéto častice sú typické najmä pri brúsení dreva, ktoré je najpodstatnejšou technologickou operáciou každého výrobku z dreva pred jeho konečnou povrchovou úpravou. Súčasťou najmä nábytkárskych prevádzok sú rôzne typy širokopásových, úzko-pásových, špeciálnych brúsok ako aj ručných brúsok (pásových, diskových, vibračných) s rôznym spôsobom odsávania (Očkajová et al., 2014). Moderné zariadenia už majú zabudovaný odsávací systém, ktorého cieľom je maximálne odstrániť drevný prach z prevádzky, no nie všetky prevádzky majú najmodernejšiu techniku, čoho dôsledkom je výskyt prachových častíc v pracovnom priestore. Obdobne je to aj pri používaní ručných elektrických brúsok, ktorých súčasťou je zabudovaný systém odsávania ale jeho výkon nie je tak efektívny ako centrálné odsávanie. Množstvo vznikajúceho prachu, veľkosť a tvar jednotlivých prachových častíc je závislý od zrnitosti brúsiaceho prostriedku, prítlaku brúsiaceho prostriedku na brúsený materiál, rýchlosti brúsenia, samotného brúseného materiálu, smeru brúsenia a pod .

Drevný prach je aj súčasťou biomasy, v súčasnosti používaného alternatívneho paliva ako obnoviteľného zdroja energie. V dôsledku existencie podielu dreveného prachu vo variabilných časticových formách, odborníci (Rogoziński a Očkajová, 2013, Rohr et al., 2015, Hlásková, 2015) presadzujú možné obavy spojené s používaním palív z biomasy pri ich spaľovaní z hľadiska bezpečnosti a ochrany zdravia ako aj rizika vzniku výbuchu.

Pre posúdenie chovania sa prachu z rôznych hľadísk, ako napríklad jeho schopnosti odlúčenia v rôznych druhoch odlučovačov, jeho zdravotného pôsobenia, schopnosti

usadzovania, schopnosti explózie a i., je potrebné predovšetkým poznať jeho granulometrické zloženie, t.j. početnosť alebo hmotnostnú početnosť častíc v určitom rozsahu ich veľkostí (Mračková et al., 2016, Mračková a Tureková, 2016, Mrková et al. 2016). Vo výrobnom procese vznikajú takmer výlučne prachy polydisperzné, obsahujúce častice rôznych veľkostí (Očkajová a Banski, 2013). Granulometrickou analýzou sa zisťuje stupeň rozdrvenia základného materiálu, ktorý je jednou z charakteristických schopností prachu vytvárať disperznú sústavu (Mračková et al., 2016). Častice, ktoré prejdú sitom danej veľkosti oka a zachytia sa na nasledujúcom site s menšími veľkosťami oka sú zaradené do frakcie s veľkostným intervalom daným oboma veľkosťami ôk. Sitovaním je vytváraný súbor častíc do jednotlivých veľkostných intervalov, odkiaľ sa potom príslušným postupom odvodí kumulatívna krivka zrnitosti (Dzurenda a Orlowski, 2011). Podľa veľkosti prachových častíc sa člení na hrubý a jemný (polietavý), ktorého veľkosť častíc je do 30 µm. Časť polietavého prachu do veľkosti častíc 5 µm sa nazýva prachom respirabilným. (Tureková, 2008, Baran a Teul, 2007) Práve od veľkosti prachových častíc závisí ich prienik do dýchacích ciest. Prachové častice s rozmermi > 100 µm v prostredí rýchlo sedimentujú a neprenikajú do organizmu (Tureková, 2008). Menšie častice s rozmermi < 5 µm, tzv. respirabilná frakcia, majú tendenciu zotrvávať v ovzduší a v prípade ich vdýchnutia prenikajú aj do pľúc (Tureková, 2007, Ághová, 1993, Mračková a Tureková, 2016).

Už v roku 1997 Eckhoff ponúka osvedčené postupy pre prácu s drevným prachom:

- vyhnúť sa zbytočnému vdýchnutiu prachu. Pri operáciách s vysokou prašnosťou je nutné používať respirátor podľa platných štandardov,
- dodržiavať pravidlá osobnej hygieny, aby sa zabránilo kožným problémom,
- poznať druh dreveniny s ktorou sa pracuje (napr. červený céder môže spôsobiť alergiu),
- vyhnúť sa prášeniu pri čistení, bezpečnejšie sú vákuové zariadenia,
- rezné nástroje je potrebné udržiavať ostré a v dobrom stave, aby sa zabránilo nadmernému treniu a páleniu dreva,
- poznať chemikálie na pracovisku.

V pracovnom prostredí sa prach vyskytuje v dvoch základných formách a to usadený (aerogel) a rozvírený (aerosól), pričom môže ľahko prejsť z jedného stavu do druhého. (Martinka a Rantuch, 2013) Usadený prach môže byť jednoducho rozvírený (napr. vibráciami, otrasmi alebo prúdom vzduchu) a naopak rozvírený prach sedimentáciou prechádza do usadeného stavu (Damec, 1998, Damec et al., 1989, Damec et al., 1999, Marková et al., 2007).

Prach v pracovnom prostredí predstavuje dve významné nebezpečenstvá pre životy a zdravie zamestnancov. Prvým významným nebezpečenstvom prachu je jeho toxické pôsobenie na zamestnancov. Toxický účinok prachu závisí od jeho chemického zloženia, veľkosti častíc, koncentrácie a doby expozície zamestnancov. Toxický účinok narastá s klesajúcou veľkosťou častíc a narastajúcou koncentráciou a dobou expozície. (Balog a Tureková, 2008, Tureková, 2008b, Martinka a Rantuch, 2013)

Druhým významným nebezpečenstvom je požiarne nebezpečenstvo. Požiarne nebezpečenstvo drevného prachu závisí od jeho formy. Usadený drevný prach má sklon k samovznieteniu a bezplameňovému horeniu (tleniu). Bezplameňové horenie (tlenie) je nebezpečné kvôli produkcii veľkého množstva splodín horenia, predovšetkým oxidu uhoľnatého. Najnebezpečnejšou formou z hľadiska protipožiarnej bezpečnosti je rozvírený prach, ktorý je zdrojom rizika explózie. (Martinka et al., 2013, Martinka a Rantuch, 2013)

2.2.1 Požiarne riziko drevných prachov

Účinkom tepla na horľavé materiály dochádza k viacerým paralelným a postupným fyzikálnym a chemickým reakciám. V prítomnosti oxidačnej látky za určitých limitných podmienok sa začína predovšetkým proces tepelného horenia. Tepelným horením budeme nazývať akýkoľvek relatívne rýchly reťazový autokatalytický reakčný mechanizmus spojený s uvoľnením veľkého množstva tepelnej energie, ktorý môže byť sprevádzaný výrazným svetelným efektom. (Babrauskas a Williamson, 1993, Jenkins et al., 1998, Balog, 1999, Mračková a Milanko, 2016, Joseph, 2007)

Horľavý prach obyčajne nereaguje priamo s kyslíkom, ale samotnému horeniu predchádza tepelný rozklad za vzniku prchavých produktov. Keď je zmes prchavých

produktov horľavá, dochádza pri styku s kyslíkom za priaznivých podmienok k vzplanutiu a plameňovému horeniu.

U organického horľavého prachu prevláda proces horenia bezplameňovým spôsobom - tlenie a žeravenie.

Priebeh procesu horenia v tuhých látkach je komplikovaný fyzikálno-chemický proces (Marková, 2001). Na základe zmien ku ktorým dochádza pôsobením tepla na pevné látky rozlišujeme dva spôsoby horenia pevných látok (Marková, 2001, Marková et al., 2011):

1. Pevné horľavé látky, ktoré sa pôsobením tepla topia, vyparujú alebo sublimujú bez zmien chemického zloženia (priebeh horenia je rovnaký ako v kvapalinách a plynch).
2. Pevné látky, ktoré podliehajú zahrievaním pyrolýze a rozkladu za vzniku plyných prchavých látok a pevného uhlíkového zvyšku.

Množstvo a zloženie plyných produktov a zvyšku závisí na chemickom zložení horľavej látky a režime ohrevu. Plyné produkty horia plameňom, po uvoľnení prchavých zložiek sa môže oxidovadlo (kyslík) dostať difúziou k povrchu pevnej látky (obidva pochody môžu prebiehať súčasne).

Rýchlosť horenia pevných látok nie je veličina stála, ale závisí na pomere povrchu k objemu pevnej látky, na vlhkosti, hustote, množstve horľaviny na jednotku plochy, rýchlosti vetra, prístupu vzduchu a ďalších faktoroch (Kalousek, 1996). Pomer povrchu k objemu majú pevné látky rôzne. Rýchlosť nimi prijímaného tepla a najmä rýchlosť zohrievania, rozkladu a horenia je rôzna a závislá na tomto pomere. Čím má pevná látka väčší pomer povrchu k objemu, tým rýchlejšie sa vznieti a rýchlejšie horí (Marková et al., 2011).

Prakticky všetky materiály možno zapáliť, ak je dostatočné množstvo tepla, kyslíka a času. Metódy určenia schopnosti materiálov sa vznietiť sú založené na stanovení hraničných podmienok, pri ktorých sa pozoruje vzplanutie, resp. vznietenie.

Veľké množstvo prachu a triesok, ktoré sa vytvára pri mechanickom opracovaní dreva (pílení, hobľovaní, frézovaní, brúsení a pod.), je z hľadiska rizika požiaru podstatne nebezpečnejšie ako kompaktné drevo. Drevný prach, ktorý sa vytvára pri opracovaní dreva, najmä pri brúsení, môže vytvárať so vzduchom výbušnú zmes (Tureková, et al., 2007). Z doterajšej praxe vyplýva, že v oblastiach priemyslu, kde sa

spracováva pri rôznych technológiách prach, alebo sa tento vytvára ako odpad, vzniká v prevažnom počte prípadov prostredie s nebezpečím výbuchu priemyslových prachov. Výbušnosť a vznietivosť drevných prachov predstavuje nebezpečie pri spracovaní drevnej hmoty. Pri obrábaní dreva i pri manipulácii s ním vznikajú jemné podiely častíc, ktoré sú tým nebezpečnejšie, čím menšia je veľkosť ich častíc, čiže čím väčší je merný povrch častíc. (Rončka a Očkajová, 2006) Výbušnosť brusného prachu zvyšujú prímеси lepidiel, farieb a pod. (Bartlová a Damec, 2002).

Drevný prach má byť z miesta jeho vzniku odsávaný a zneškodňovaný. Pokiaľ odstraňovanie prachu nie je dostatočné, prach sa voľne šíri do prostredia haly a postupne sa usadzuje na povrchoch strojov, potrubíach, zariadeniach atď. a predstavuje tu dvojité nebezpečie vznietenia usadeného prachu od horúcich povrchov a nebezpečie vytvorenia výbušnej koncentrácie v prípade rozvírenia tohto usadeného prachu (Žigo et al., 2014).

„Zapratanie“ výrobných priestorov doskami, hotovými výrobkami, trieskami a prítomnosť prachu vytvára dobré podmienky pre rýchle šírenie požiaru. Jednotlivé prevádzky sú vybavené celým radom ventilačných a odsávacích zariadení, ktoré vo väčšine prípadov majú za následok rýchle rozšírenie požiaru. Okrem toho hrozí nebezpečenstvo výbuchu filtrov v dôsledku zanesenia do nich zdroja zapálenia. (Amyotte, 2013)

Vo všeobecnosti možno medzi najčastejšie príčiny požiarov v drevospracujúcom priemysle zaradiť: použitie otvoreného ohňa, poruchový stav a porušenie prevádzkových predpisov pri používaní elektrozariadení, svetelných a výkonových elektrických rozvodov, preťažovanie elektromotorov, mechanické poškodenia izolácie elektrických vodičov, trenie a prehrievanie rotačných častí strojného zariadenia, iskrenie v dôsledku cudzích kovových predmetov v strojnom zariadení a samovznietenie drevného odpadu.

Denne dochádza v rôznych odvetviach priemyslu a hlavne v drevospracujúcej výrobe k požiarom prachu alebo k výbuchom prachových častíc. Tieto nehody ohrozujú životy ľudí, zapríčiňujú vysoké materiálové škody a vedú k dlhotrvajúcim prerušeniam výroby.

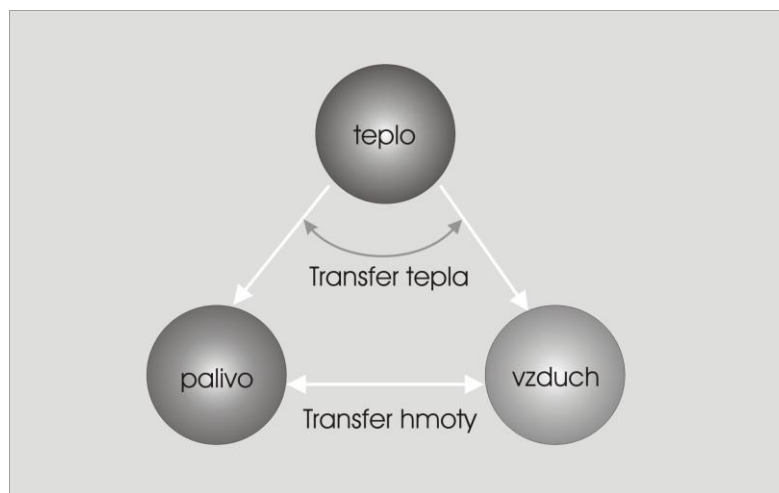
Základným procesom všetkých reakcií horenia sú redox reakcie. Pojem horenie môžeme definovať ako chemickú reakciu, ktorá je sprevádzaná uvoľňovaním tepla a vyžarovaním svetla. Horenie vzniká a prebieha za určitých podmienok. Horenie je

fyzikálno-chemický komplex procesov, pri ktorých dochádza k interakciám medzi horľavou látkou a oxidovadlom (väčšinou kyslíkom), pričom sa vyvíja príslušné množstvo tepla, eventuálne svetla (Marková, 2006). Na to je potrebná prítomnosť horľavej látky (palivo) oxidačného prostriedku (vzduch, O_2) a tepla (zdroj iniciácie horenia) (obr.16). Aby sa zamedzilo horeniu, stačí narušiť jednotlivé zložky, resp. ich navzájom eliminovať. To znamená zamedziť vzniku horľavých plynných produktov, zväčšiť nedokonalosť ich spaľovania, znížiť uvoľnené teplo prítomnosťou inhibítorov reťazových reakcií ako v plynnej tak i v kondenzovanej fáze, ochladiť palivo a pod.

Horenie môže nastať v homogénnej fáze alebo na rozhraní fáz. Priebeh horenia je limitovaný prítomnosťou horľavej látky a oxidačného prostriedku, ktoré vytvárajú horľavý súbor. K týmto zložkám horľavého súboru je potrebný energetický zdroj pre zapálenie, aby sme splnili všetky tri nevyhnutné podmienky pre začatie procesu horenia. Vlastný proces horenia môže byť iniciovaný rôznymi zdrojmi (plameň, horúci povrch, elektrický výboj, žiarenie, elektrický skrat, porucha výkonovej časti elektrického zariadenia a pod.) pri určitej teplote, za určitý čas a pri určitom zložení atmosféry. Výsledkom zapálenia horľavého súboru môže byť rôzna paleta dejov (horenie plameňom, žeravenie, uhoľnatenie, tlenie, explózia), ktoré po oddialení zápalného zdroja buď pokračujú, alebo končia.

Vznietenie a následné horenie zmesí prachu so vzduchom je vo všeobecnosti možné len ak sú prítomné (Balog, 1999, Tureková et al., 2005, Marková, 2006, Vandlíčková, Marková et al.2011, 2014):

- oxidovateľná látka – horľavý drevný prach,
- kyslík v dostatočnej koncentrácii,
- dostatočne účinný iniciačný zdroj (obr. 19).



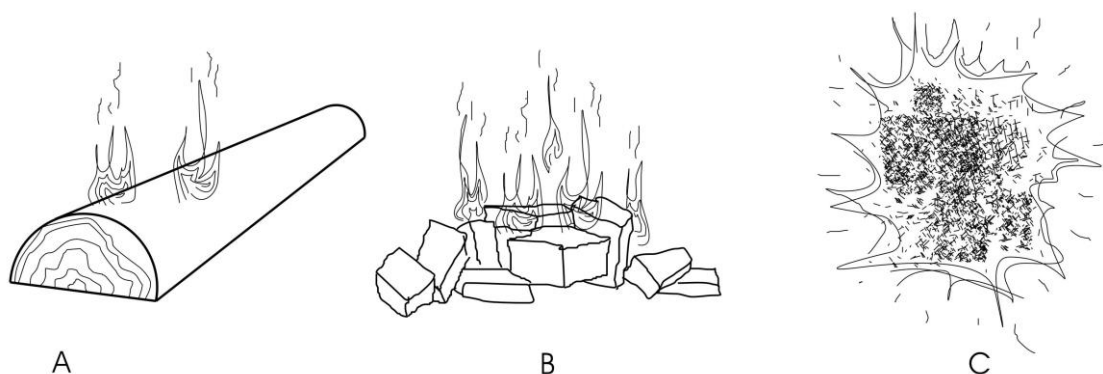
Obr.19 Klasický trojuholník horenia (Emmons, 1972), (Marková, 2006)

Pri horení tuhých látok reaguje väčšina hmoty za vývinu plameňa, t.j. v plameni oxidujú plynné splodiny rozkladu resp. pary tuhej látky so vzdušným kyslíkom. Tuhý zostatok sa touto reakciou ohrieva na teplotu žeravenia – tlenia, dochádza k bezplameňovému horeniu – častice reagujú s kyslíkom, ktorý difunduje k povrchu častíc a do ich pórov (Tureková at al., 2005, 2007, 2008a)b), 2009 a 2012).

Sedimentovaný prach sa môže vznietiť v zásade pri nízkotepelnej karbonizácii, tlení alebo pri horení. Sedimentovaný prach predstavuje latentné nebezpečie explózie už pri vrstve prachu 1mm. Takáto vrstva býva už dostatočná na to, aby pri náhlom rozvírení a prítomnosti iniciačného zdroja, došlo k explózií. (Orlíková a Štroch, 1999, Tureková at al., 2005, 2007, 2009)

Mechanizmus horenia prachových častíc sa od mechanizmu horenia kompaktnej látky líši iba v tom, že so zmenšovaním rozmerov častíc rastie ich merný povrch, veľký počet prachových častíc sa následne podstatne rýchlejšie tepelne rozkladá alebo odparí a zhorí plameňom ako jeden väčší kus rovnakej celkovej hmotnosti (Tureková et al., 2005, 2012).

Každý tuhý materiál, ktorý dokáže horieť na vzduchu, bude horieť prudšie a rýchlejšie so zvyšujúcim sa stupňom jeho rozdrvenia (obr.20). Obrázok A ilustruje horiaci kus dreva, ktorý horí pomaly a uvoľňuje teplo dlhý čas. Pri posekaní na menšie kúsky ako ukazuje obrázok B, sa rýchlosť horenia zvyšuje v dôsledku lepšieho kontaktu vzduchu a drevnej substancie. Takisto zapálenie dreva je jednoduchšie. Ak dezintegrácia dreva pokračuje na úroveň malých čiastočiek veľkosti 0,1 mm alebo menších a čiastočky sa vznášajú v dostatočnom objeme vzduchu tak, že každá častica má dosť priestoru na neobmedzené horenie, rýchlosť horenia bude veľmi vysoká a energia potrebná na iniciáciu bude nízka. To nastáva v prípade horenia oblaku prachu pri explózií prachu (obr. 20C). (Cheremisinoff, 2000).



Obr.20 Ilustrácia narastania rýchlosti horenia drevnej hmoty so zvyšujúcou sa dezintegráciou (Cheremisinoff, 2000)

2.2.1.1 Nebezpečenstvo vzniku požiaru usadených prachov

Usadený prach má po iniciácii sklon iba k pomalým oxidačným reakciám ako je tlenie, žeravenie a nízкотеплотná karbonizácia. Rýchlosť horenia usadeného prachu sa môže pohybovať v širokom intervale a to od pomalého šírenia žeravenia a tlenia až po prudký výbuch. Je dôležité si uvedomiť, že usadený prach ľahko prechádza do rozvíreného stavu a opačne. U usadeného prachu je možné rozlišovať nasledovné spôsoby procesu horenia (Balog, 1999, Slosiarik, 2006):

- Plameňové horenie – prach pri tepelnom namáhaní uvoľňuje dostatok horľavých splodín, ktoré za prítomnosti kyslíka v určitej koncentrácii môžu horieť plameňom.
- Tlenie – materiál degraduje za tvorby prchavých produktov, pričom rýchlosť tvorby horľavého podielu je malá a nemôže sa dosiahnuť dolná medza horľavosti, proces sa prejaví dymením z povrchu látky.
- Žeravenie – materiál neuvolňuje prchavé rozkladné produkty, ale dochádza ku karbonizácii povrchu, následkom čoho je žeravenie uhlíkatého povrchu za tvorby veľkého množstva oxidu uhličitého. Teplota žeravenia môže dosahovať vysokých hodnôt v závislosti od vonkajších podmienok ako aj od samotného materiálu.

Horenie prachu môže významne ovplyvniť (Tureková, 2009):

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

Pri usadenom prachu je možné rozlíšiť tieto druhy požiarov (Mračková, 1998):

- Pri prachoch, ktoré neuvolňujú horľavé plynné produkty rozkladu, môže po iniciácii dojsť ku tleniu.
- Ak uvoľňuje prach pri tepelnom rozklade horľavé plynné produkty, dochádza po iniciácii k horeniu plameňom (ak je k dispozícii dostatok oxidačného prostriedku)
- Ak nie je dostatočný prístup vzduchu, dochádza iba k tleniu
- Vo vnútri nasypanej hromady prachu vystačí kyslík iba k tvorbe miestnych ložísk tlenia
- Požiare prachových hromád môžu byť spôsobené samovznietením a to tepelným (pri zvýšenej teplote okolia alebo prachu) alebo mikrobiologickým. Sklon

k samovznieteniu sa zväčšuje s rastúcim množstvom prachu (ľahšia kumulácia tepla), pretože kumulácia tepla hrá pri samovznietení obzvlášť dôležitú úlohu.

Tureková (2009) formuluje závislosť nebezpečenstva iniciácie usadenej vrstvy prachu podľa Damca (1999) pri teplote horúceho povrchu t_{PRAC} (°C) vzorcom (10):

$$t_{PRAC} \geq k_b \cdot t_{uMIN} \quad (10)$$

kde:

t_{PRAC} - teplota horúceho povrchu v °C,

t_{uMIN} - minimálna teplota vznietenia usadeného prachu,

k_b - bezpečnostný koeficient, ktorý má hodnotu 2/3.

Usadený prach má po iniciácii skon iba k pomalým oxidačným reakciám, ako je tlenie, žeravenie alebo nízkoteplotná karbonizácia. Rýchlosť horenia usadeného prachu sa môže pohybovať v širšom intervale od pomalého šírenia a tlenia až po prudký výbuch. (Tureková, 2008a)

Sledovanie správania sa drevného prachu z hľadiska sledovania jeho iniciácie – vznietenia, sa realizuje prostredníctvom stanovenia minimálnej teploty vznietenia prachov. Minimálna teplota iniciácie procesu horenia je definovaná ako najnižšia teplota povrchu vyhrievanej platne, pri ktorej v priebehu skúšky je možné pozorovať aspoň jeden z nasledovných javov (Tureková, 2008a, Horváth a Balog, 2013):

- žeravenie, tlenie alebo horenie plameňom,
- časovo-teplotná krivka pre termočlánok umiestnený v strede vrstvy skúšaného prachu kontinuálne stúpa s porovnaním s teplotou izotermicky vyhrievanej platne,
- teplota meraná vo vrstve usadeného prachu je o 250 °C vyššia ako teplota vyhrievanej platne.

Horváth a Balog (2013) realizovali stanovenie minimálnej teploty prachov, z rôznych druhov peliet, izotermickým tepelným namáhaním horľavého prachu na elektricky vyhrievanej kovovej platni a kontinuálnom meraní teploty vo vnútri vzorky (obr.21). Výsledky jednotlivých meraní teploty vznietenia usadených prachov (podľa STN EN 50281-2-1: 2002) sa líšia (tab.11), keďže sa v uvedených experimentoch líši stanovená vlhkosť vzoriek.

			
5 minút	8 minút	12 minút	16 minút
Umiestnenie vzorky na testovacom zariadení.	Teplota na povrchu vzorky stúpa.	Tvorba dymu nad povrchom vzorky a iniciácia homogénneho horenia	Tvorba dymu nad povrchom vzorky a žeravenie vzorky

Obr. 21 Priebeh merania teploty vznietenia usadeného prachu na elektricky vyhrievanej platni, hrúbka vrstvy prachu 5 mm (Horváth a Balog, 2013)

Tureková (2007) uvádza vlhkosť drevných prachov duba 4,7 %, smrekového prachu 4,2 % a prachu DTD 4,2 %. Pri experimente z roku 2010 (Tureková, 2010) bola zistená vlhkosť bukového prachu 1,002 %, a dubového 0,884 %. Uvedená skutočnosť sa prejavila na nižších hodnotách teploty vznietenia uvedených vzoriek.

Tab. 11 Prehľad minimálnych teplôt vznietenia horľavých prachov

Vzorka drev. prachu	Vrstvy [mm]	Minimálna teplota vznietenia [°C]				Popis degradácie vzorky
		Tureková (2007)	Tureková (2010) Čas vznietenia [min]		STN EN 50281-2-1	
Dub	5	320	300	4	320	po 2 minútach začala vzorka prachu pri okraji kruhu tlieť, neskôr žeraviť, táto vzorka v porovnaní s ďalšími vzorkami viac dymila
	12,5	290				
	15	280	260	34		
	30		240	73		
Buk	5		330	3	320	po 2 minútach po spustení merania prešlo čelo tlenia pri okraji kruhu na povrch vrstvy prachu, vznikli tlejúce hniezda, ktoré sa rozširovali, následne bolo pozorované prvé žeravenie vzorky
	15		280	33		
	30		250	103		
Smrek	5	320			340	po 1 minúte bolo pozorované tlenie vzorky pri okraji kruhu, tlenie a žeravenie postupovalo od okraja kruhu ku stredu, pričom zanechávalo biely jemný popol
	12,5	290				
	15	290				
Prach DTD	5	320				
	12,5	280				
	15	280				

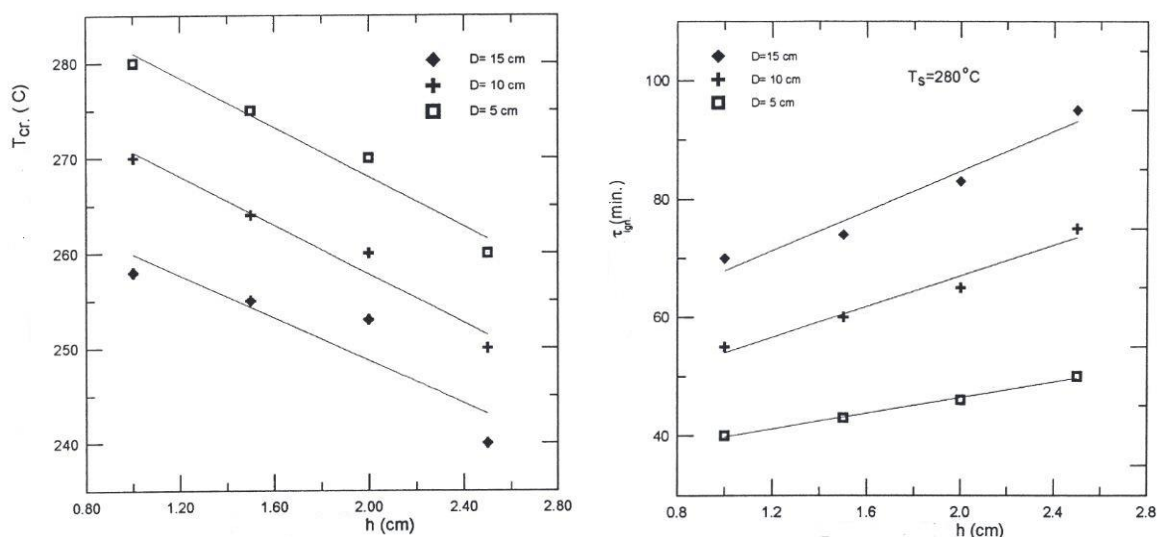
Pastier et al. (2013) zrealizoval experiment prípravy vzoriek drevného prachu z vybraných druhov dreva a sledoval pôsobenie sálavého tepla na stanovenú hrúbku vrstvy devného prachu (obr.22)



Obr. 22 Ukážka karbonizácie drevného prachu pri experimentálnom stanovení teploty vznietenia podľa STN EN 50281-2-1: 2002 (Pastier et al. 2013)

Beliaková et al. (2009) potvrdzuje získané hodnoty minimálnej teploty vzplanutia u bukového prachu (330°C) v 5 mm vrstve. Stanovenie minimálnej teploty vznietenia prachov v usadenom stave, podrobne v príspevku popisuje. Merania realizovala pre bukový prach získaný rôznym technologickým spôsobom (stolárskou pásovou brúskou a GBS 100 AE). Rozdiely v teplotách vznietenia uvedených vzoriek sa nepotvrdili.

V rámci realizácie výskumu vplyvu usadenej vrstvy organického prachu na teplotu vznietenia a čas vznietenia, realizoval Saad et al. (2000) sériu experimentov, v ktorých hľadal závislosť teploty vznietenia a času vznietenia od hrúbky vrstvy organického prachu na horúcom povrchu. Prezentačné grafické závislosti dokazujú lineárnu závislosť (obr. 23).



Obr. 23 a) Závislosť kritickej teploty T_{cr} ($^{\circ}\text{C}$) vznietenia od hrúbky prachu h (cm), b) Závislosť času vznietenia τ (min) vznietenia od hrúbky prachu h (cm) (Saad et al. 2000)

2.2.1.2 Nebezpečenstvo vzniku požiaru/výbuchu rozvírených prachov

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. (Tureková, 2009)

Kľúčový parameter hodnotiaci nebezpečenstvo vzniku iniciácie rozvíreného prachu je teplota vznietenia. Sleduje sa v predpísanom skúšobnom zariadení (v peci), podľa STN EN 50281-2-1:2002, kde rozvírená vzorka drevného prachu je vystavená pôsobeniu sálavého tepla s príslušnou teplotou prostredia. Teplota vznietenia rozvíreného prachu je najnižšia teplota horúcej vnútornej strany pece, pri ktorej dôjde k vznieteniu rozvíreného prachu vo vzduchu vnútri tejto pece. (Tureková, 2008b)

Martinka a Rantuch (2013) sa zaoberali posúdením vplyvu veľkosti častíc prachu z dubového dreva (pri absolútnej vlhkosti skúmaných vzoriek 0 % hmot) na teplotu vznietenia rozvíreného prachu. Na výskum použili tri frakcie prachu z dubového dreva: častice s veľkosťou pod 71 µm, častice s veľkosťou od 71 do 150 µm a častice s veľkosťou od 150 do 200 µm. Teploty vznietenia skúmaných rozvírených prachov boli stanovené pre tri hmotnosti vzoriek (0,1, 0,2 a 0,5 g) a tri tlaky vzduchu (20, 30 a 50 kPa).

Získané výsledky štatisticky vyhodnocovali na základe jednofaktorovej analýzy rozptylu (ANOVA) a dokázali, že veľkosť častíc má významný vplyv na teplotu vznietenia rozvíreného prachu. Najnižšia teplota vznietenia (430 °C) bola stanovená pre rozvírený dubový prach tvorený časticami s rozmermi od 71 do 150 µm pri hmotnosti vzorky 0,5 g a tlaku vzduchu 50 kPa. (Martinka a Rantuch, 2013) Rozvírovací tlaku vzduchu má výrazný vplyv na maximálne výbuchové parametre uvedeného prachu. (Lepík et al., 2014)

Tureková (2008b) skúmala vzorky rozvírených prachov duba, buka, smreka a zmesi odobranej z drevárskej prevádzky. Po vysitovaní použila pre účely stanovenia vzorky prachu pod 71 µm. Z výsledkov merania vyplýva, že najvyššiu teplotu vznietenia rozvíreného prachu mala vzorka bukového prachu 390 °C. Naopak najnižšiu hodnotu minimálnej teploty vznietenia rozvíreného prachu, 360 °C, mala vzorka zmesného drevného prachu. Minimálna teplota vznietenia vzorky smrekového a dubového prachu bola 380 °C (tab. 12).

Tab. 12 Minimálne teploty vznietenia rozvírených drevných prachov (frakcie pod 71 µm) v °C.

Druh prachu	ISO 871:1999 (indukčná perióda)	Tureková (2008)	Martinka a Rantuch, (2013), (p = 5 kPa)	Kasalová a Balog (2010)
Dubový	250 (9:57)	380	440	410 až 550
Smrekový	240 (9:33)	380		
Bukový	240 (9:03)	390		
Zmes	250 (9:59)	360		

Zachar (2010) uvádza teplotu vznietenia kompaktného dubového dreva 420 °C a Tureková et al. (2005) teplotu vznietenia usadeného prachu z dubového dreva 320 °C. Kasalová a Balog (2010) stanovili teploty vznietenia rozvíreného prachu dubového dreva s rozmermi častíc pod 71 µm (v súlade s požiadavkami STN EN 50281-2-1:2002). Teploty vznietenia boli v intervale 410 až 550 °C. Minimálnu teplotu vznietenia (390 °C v zmysle STN EN 50281-2-1:2002) stanovili pri hmotnosti vzorky 0,505 g a tlaku vzduchu 47 kPa, teda takmer pri identických podmienkach (v rámci 10 % tolerancie), pri akých bola stanovená minimálna teplota vznietenia vo výskume Martinka a Rantucha (2013).

Rozdiel v minimálnej teplote vznietenia bol spôsobený odlišnou vlhkosťou vzoriek skúmaných citovanými autormi. Prezentované údaje dokazujú, že teplota vznietenia dubového dreva významným spôsobom závisí nie len od jeho formy (kompaktná alebo dezintegrovaná), ale aj od stavu dezintegrovanej formy (usadený alebo rozvírený prach).

Získané údaje spolu s výsledkami vedeckých prác Kasalovej a Baloga (2010) a Martinku et al. (2011) ďalej dokazujú, že okrem veľkosti častíc závisí teplota vznietenia rozvíreného prachu od pomerne vysokého počtu parametrov z ktorých najvýznamnejší je vlhkosť vzorky. Vysokú variabilitu v teplote vznietenia rozvíreného prachu však môžu vykázať aj drevné prachy z rovnakého druhu dreva, rovnakou vlhkosťou a rozmermi. Príčinou je rozdielna rýchlosť uvoľňovania rozkladných produktov z dreva získaného z rôznych častí stromu. Vedecká práca Kačíkovej a Makovickej-Osvaldovej (2009) dokazuje, že rozdiel v maximálnej rýchlosti odhorievania (uvoľňovania rozkladných produktov) dreva z rôznych častí stromu môže byť viac ako trojnásobný. Nárast rýchlosti odhorievania má za následok pokles teploty vznietenia rozvíreného prachu. Pri posudzovaní rizika výbuchu rozvíreného prachu z dubového dreva na základe teploty vznietenia je potrebné brať do úvahy aj ostatné faktory, ktoré môžu mať významný vplyv na teplotu vznietenia. Medzi

najvýznamnejšie patrí zmena chemického zloženia drevného prachu následkom pôsobenia zvýšenej teploty alebo vlhkosti, ktorá sa môže počas spracovania dreva bežne vyskytnúť. (Marková et al. 2012, Mračková, 2006)

Významný vplyv na minimálnu teplotu vznietenia majú vonkajšie podmienky a veľkosť častíc tvoriacich rozvírený prach. (Martinka et al. 2014)

Cieľom výskumu Martinku et al. (2014) bolo posúdenie vplyvu a veľkosti častíc dreva smreka obyčajného (*Picea abies* L.), pripraveného ručnou pásovou brúskou na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu. Martinka et al. (2014) predikuje integrálny vplyv veľkosti častíc drevného prachu mechanizmu horenia rozvíreného prachu. Martinka et al. (2014) vychádza z teórie Eckhoff (2003) a Rockwell a Rangwala (2013), ktorí delia mechanizmus horenia rozvíreného prachu na Nusseltov mechanizmus a plameňový mechanizmus. Pri Nusseltovom mechanizme nastáva heterogénne horenie na povrchu prachových častíc. Pri plameňovom mechanizme dochádza najskôr k rozkladu častíc prachu na horľavé plynné produkty a ich následnému plameňovému horeniu (Martinka et al., 2014, Bardon a Fletcher, 1983). Pri horení drevných prachov sa uplatňujú oba mechanizmy, ale dominantný je plameňový mechanizmus. (Martinka et al. 2014)

Podľa Mittala a Guhu (1996, 1997) narastá minimálna teplota vznietenia rozvíreného drevného prachu s narastajúcou veľkosťou častíc lineárne.

2.2.1.3 Požiarno-technické charakteristiky prachov

Skúšobné metódy na charakterizáciu rôznych parametrov horľavosti a výbušnosti sú popísané v národných a medzinárodných normách v priebehu posledných desaťročí. Nová norma ISO / IEC 80079-20-2 popisuje testovacie metódy na určenie, či materiál - prach má vlastnosti, ktoré majú byť považované za horľavé a určovať charakteristické vlastnosti výbuchu horľavých prachov. Tieto skúšobné metódy možno použiť na identifikáciu potenciálnych zdrojov zapálenia zariadení pre použitie v klasifikovaných oblastiach v dôsledku prítomnosti horľavého prachu (Garica et al., 2016). García (2016) uvádza, že k dispozícii sú: minimálna teplota zapálenia (MIT), čo je najnižšia teplota, pri ktorej sa prašná vzorka zapáli a dolná medza výbušnosti (LEL), čo je najnižšia koncentrácia, pri ktorej pracho-vzdušná zmes je potenciálne výbušná.

Garcia et al. (2016, 2004) ponúka tepelné testy citlivosti, vrátane termickej analýzy. Táto skupina sa používa na sledovanie tepelného správania pevných látok a na určenie ich tepelných vlastností. Ku kvantitatívnemu porovnaniu horľavosti a výbušnosti prachov, k stanoveniu nebezpečenstva požiaru a výbuchu a k navrhovaniu preventívnych opatrení slúžia požiaro-technické vlastnosti. (Tureková et al., 2005)

Požiaro-technické charakteristiky kvantitatívne hodnotia nebezpečenstvo požiaru. Jedná sa čiastočne o fyzikálne a chemické charakteristiky, ktoré sú značne závislé na skúšobných podmienkach. Pri praktickom použití požiaro-technických charakteristík pre stanovenie nebezpečenstva požiaru je vždy nevyhnutné uvažovať vplyv prevádzkových podmienok. (Tran a White, 1992, Damec et al., 1999, Lazaros a Östman, 2002, Mračková a Oremusová, 2016, MRačková a Milanko, 2016)

Technicko-bezpečnostné veličiny je súbor hodnôt fyzikálno-chemických veličín, charakterizujúcich vznetlivosť a výbušnosť prachu. (Damec et al., 1995, Marková et al., 2011)

Súčasťou sústavy poznatkov, slúžiacich k zabezpečeniu preventívnej ochrany pred výbuchom, je znalosť technicko-bezpečnostných parametrov priemyslových prachov a ich praktické využitie. Súbor veličín technicko-bezpečnostných parametrov priemyslových prachov je používaný pri projekčných prácach, pre stanovenie prostredia vo vnútri i zvonku technologického zariadenia, k posúdeniu situácie prevádzkovaných technológií, k stanovovaniu technologických režimov, bezpečnostných a protipožiarnych zásad, predpisov k určovaniu protivýbuchovej ochrany poistnými prvkami a ďalšími spôsobmi. (Marková et al., 2006)

Najspoľahlivejší spôsob, ako získať čo najpresnejšie informácie o výbušnosti a horľavosti danej látky, je experimentálne overenie jej vlastností a následný popis výsledkov skúšok pomocou požiaro-technických vlastností. (Tureková, 2008)

Základné požiaro-technické vlastnosti usadeného a rozvíreného prachu a ich výbuchové parametre sú dôležitými ukazovateľmi na posudzovanie požiarneho nebezpečenstva (tab.13). (Tureková, 2008, Mračková, 2014)

Parameter rýchlosti šírenia plameňového a bezplameňového horenia po povrchu usadeného prachu je jeden zo základných ukazovateľov požiarneho nebezpečenstva priemyselných prachov, ktoré sa väčšinou nachádzajú v usadenom stave na horizontálnych plochách (Slosiarik, 2006).

Tab 13 Požiarno-technické vlastnosti usadeného a rozvíreného prachu (Tureková, 2008)

Usadený prach	Rozvírený prach
minimálna teplota vznietenia usadeného prachu [°C] a príslušná indukčná doba vznietenia [s]	minimálna teplota vznietenia rozvíreného prachu [°C] a príslušná indukčná doba vznietenia [s]
rýchlosť šírenia plameňa [mm.s ⁻¹]	dolná medza výbušnosti [g.m ⁻³]
kritický tepelný tok sálavého tepla na zapálenie usadeného prachu [°C]	maximálne výbuchové parametre, t.j. maximálny výbuchový tlak [MPa] a maximálna rýchlosť nárastu výbuchového tlaku [MPa.s ⁻¹]
kritická degradačná teplota [°C]	minimálna iniciačná energia [J]
spalné teplo a výhrevnosť [MJ.kg ⁻¹]	limitný obsah kyslíka [obj. % O ₂]
kyslíkové číslo [obj. % O ₂]	

Princíp metódy je založený na vlastnosti usadeného prachu vznietiť sa po iniciácii dostatočným zápalným zdrojom a jeho schopnosti prenášať plameň alebo žeraviace, resp. tlejúce čelo na ďalšie vrstvy usadeného prachu. Meria sa čas, za ktorý sa rozšíri čelo horiacej vzorky po určenú vzdialenosť. Relatívna rýchlosť šírenia plameňa po vrstve charakterizuje schopnosť prachu šíriť požiar na ďalšie usadené vrstvy (Slosiarik, 2006).

Najčastejšou príčinou výbuchu aerosólu je iniciácia od horiacej usadenej vrstvy prachu. Z tohto dôvodu je dôležité poznať minimálnu teplotu vznietenia usadeného prachu. (Tureková, 2008)

Pojem vznietivosť vyjadruje vlastnosť látok uvoľňovať pri vyšších teplotách prchavé, horľavé rozkladné produkty, ktoré môžu byť zapálené vonkajším zdrojom zapálenia, alebo u nich nastane samovznietenie alebo bezplameňové horenie (tlenie, žeravenie). (Balog, 2002, Tureková, 2005) Teplota vznietenia (SIT) je teda najnižšia teplota, pri ktorej za definovaných podmienok skúšky nastane vznietenie zahrievaním, bez prítomnosti akéhokoľvek prídavného zdroja plameňa. (Balog, 1999, Tureková, 2008)

Tureková (2008) definuje aj teplotu vzplanutia (FIT) ako najnižšiu teplotu, pri ktorej sa za definovaných podmienok skúšky uvoľní dostatočné množstvo horľavých plynov, ktoré pôsobením zapalovacieho plameňa ihneď vzplanú.

Mračková (2014) experimentálne stanovila dolnú medzu výbušnosti (LEL) vybranej frakcie horľavých prachov z dreva čerešne vtácej (*Cerasus avium L.*) a borovice lesnej (*Pinus sylvestris L.*) vo výbuchovej komore VK 100. Vzorky získala brúsením, následne sitovou analýzou vybrala prašnú frakciu pod 100 µm a elektrickou iskrou iniciovala rozvírené vzorky drevného prachu.

Podľa Dzurendu (2002) je drevný prach s absolútnou vlhkosťou nad 40 % nevýbušný.

3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Hodnotenie rizika drevných prachov je podložené experimentálnym stanovením vybraných požiaro-technických parametrov. Na základe získaných a zhrnutých informácií týkajúcich sa prašných zmesí, drevného prachu a jeho požiarneho nebezpečenstva, boli zrealizované nasledujúce experimentálne postupy:

- príprava vzoriek drevného prachu z vybraných druhov drevín,
- granulometrická analýza vzoriek drevného prachu z vybraných druhov drevín a stanovenie jednotlivých frakcií,
- termické analýzy vzoriek drevného prachu z vybraných druhov drevín termogravimetrickou metódou (STN EN ISO 11358),
- kalorimetrické stanovenie spaľovacieho tepla vzoriek drevného prachu z vybraných druhov drevín (STN ISO 1928),
- stanovenie rýchlosti šírenia sa plameňa po vzorke usadeného prachu.

3.1 Experimentálne vzorky

Na experimenty boli použité frakcie drevných brúsnych prachov z typicky spracúvaných drevín v nábytkárskom priemysle (buk, dub, smrek, jedľa, jelša) pripravených pomocou ručnej vibračnej brúsky (firmy Bosch) a prachová zmes (buk, dub, smrek), odobratá v nábytkárskej prevádzke, so zameraním sa na mikrofrakcie (častice s priemerom $\leq 100 \mu\text{m}$).

3.1.1 Príprava vzoriek drevného prachu

Pre prípravu drevných prachov boli pripravené po 3 dosky o rozmeroch (300 x 50 x 50 mm) pre každú drevinu, ktoré boli vysušené na vlhkosť cca 8÷10 %. Päť vzoriek dreva bolo vybraných s ohľadom na ich najčastejšie priemyselné spracovanie v nábytkárskych prevádzkach a zároveň predstavujú aj zastúpenie ihličnatých, listnatých kruhovito-pórovitých a listnatých roztrúseno-pórovitých drevín.

Z ihličnatých drevín bol vybratý:

1. Smrek obyčajný (*Picea excelsa*),
2. Jedľa biela (*Abies alba*).

Z listnatých kruhovito-pórovitých drevín bol vybratý:

3. Dub zimný (*Quercus petraea* Liebl.)

Z listnatých roztrúseno-pórovitých drevín bol vybratý:

4. Buk obyčajný (*Fagus sylvatica* L.),
5. Jelša lepkavá (*Alnus glutinosa* L.).

Šiesta vzorka bola odobratá priamo z drevárskej výroby z priestorov brúsky (SCM SANDYA 300RCS) (prachová zmes zložená zo smrekového, bukového a dubového prachu).

Bukové (*Fagus sylvatica* L.) drevo je u nás typickou surovinou na výrobu nábytku, preglejok, na výrobu drevotrieskových a drevovláknitých dosák a v posledných rokoch i na výrobu papiera a celulózy. Tým sa podstatne zmenšilo použitie bukového dreva ako paliva.

Vzorky drevných prachov boli vyrobené s použitím ručnej vibračnej brúsky BOSCH pss 200ac. Vzorky pripravoval skúsený odborník na brúsenie, aby sa proces brúsenia, čo najviac priblížil realite, čo sa týka prítlaču brúsiaceho prostriedku na povrch dielca, rýchlosti brúsenia ako aj smeru brúsenia (krížové). Pri experimentoch bol použitý brúsny papier so zrnitosťou P 80 (Norton P 80 H231). Prach sa zbieral do vrečka odsávacieho zariadenia ručnej vibračnej brúsky, odkiaľ sa presýpal do igelitových vreciek, ktoré boli starostlivo uzavreté, aby sa nezvyšovala vlhkosť získaného prachu. Vrečko sa po každej drevine vyčistilo použitím priemyselného vysávača. Z každej dosky bolo získané približne 300 g prachu, ktorý sa následne zmiešal a takto pripravená vzorka pre každú drevinu (cca 1 kg) bola základom pre granulometrickú analýzu a zvyšok vybraných analýz.

Vlhkosť vzoriek drevného prachu bola stanovená gravimetricky a nasledovne bola vykonaná sitová analýza na sitovacom stroji AS 200 (Retsch) podľa STN ISO 3310-1:2007-03 (25 9610). Na základe sitovej analýzy boli jednotlivé druhy drevných prachov rozdelené do deviatich frakcií podľa veľkostí ôk sít na sitovacom zariadení.

Veľkosť častíc vznikajúcich pri obrábaní dreva a drevných materiálov je analyzovaná vo vedeckých prácach Dzurendu (2009) a Dzurendu et al. (2010, 2011).

3.2 Metodika

Metodika experimentálnej časti bola zvolená na základe voľby formy drevného prachu. Ako už bolo vysvetlené, dominantnú úlohu, samozrejme, okrem ďalších významných parametrov (ako chemické zloženie, vlhkosť, veľkosť častíc,...) pri správaní sa drevného prachu v prostredí zohráva jeho forma. Obe formy prachu – usadený aj rozvírený, majú svoje špecifické hodnotiace parametre. Účelom realizovaných experimentov bolo sledovanie správania sa usadených drevných prachov pri vonkajšom pôsobení rôznych iniciačných zdrojov. Na základe uvedených skutočností sa zrealizovali: granulometrické stanovenie vlhkosti, následne bola zrealizovaná sitová analýza za účelom zistenia dominantného podielu veľkosti častíc a vybrané analýzy za účelom sledovania vybraných požiaro-technických charakteristík, a to sledovanie termickej degradácie vybraných frakcií drevných prachov prostredníctvom termickej analýzy, kalorimetrické stanovenie spalného tepla a stanovenie rýchlosti šírenia plameňa po vrstve usadeného prachu vybraných drevných vzoriek.

Nasleduje popis jednotlivých použitých experimentálnych metód.

3.2.1 Gravimetrické stanovenie vlhkosti

Pre stanovenie vlhkosti vzoriek drevného prachu bola použitá gravimetrická metóda podľa STN 49 0103 (tab. 14).

Tab. 14 Gravimetrické stanovenie vlhkosti vzoriek drevného prachu

Druh prachu	Smrek	Dub	Buk	Jelša	Jedľa	Zmes
Vlhkosť [%]	6.4 ± 0,12	6.5 ± 0,14	6.2 ± 0,08	6.4 ± 0,11	6.4 ± 0,14	6.1 ± 0,08

3.2.2 Sitová analýza

Sitová analýza sa vykonala na automatickom vibračnom sitovacom stroji Retsch AS 200 control; sadou kontrolných nerezových sít, priemer 200 mm, výška 50 mm, priemery ôk sita 0.032; 0.063; 0.08; 0.125; 0.250; 0.5; 1; 2 (mm). Podiely zvyškov na jednotlivých sitách a dne sa zisťovali pomocou digitálnych laboratórnych váh Radwag

WPS 510/C/2 s presnosťou váženia 0,001 g. Parametre sitovania: amplitúda 2 mm/“g“, interval 10 s, čas sitovania 20 min.

Postup merania podľa STN ISO 3310-1:2007-03 (25 9610).

- Umiestnenie sady sít na vibračný sitovací stroj Retsch AS 200c.
- Naváženie vzorky brúsneho prachu (30 g) na laboratórnych váhach a premiestnenie na horné sito sitovacieho stroja.
- Uzatvorenie sady skleným vekom, sitovanie 20 min.

Po ukončení sitovania sa zvyšky na sitách a na dne odvážili a zapísali do tabuľky. Pre každú vzorku sa uskutočnilo 5 meraní, pre vyhodnotenie sa použili priemerné hodnoty z 5 meraní.

Výsledky sitovej analýzy (Kučerka a Šustek, 2006; Banski et al., 2006) sa uvádzajú formou tabuľky, alebo graficky formou distribučnej krivky Da, resp. integrálnych kriviek zrnitosti (krivky prepádov Pa, alebo krivky zvyškov Za). (Kučerka, 2008)

Pre účely zaznamenania výsledkov bol použitý softver (obr. 24).

Sitová analýza vzorky sypkej hmoty

Vstupné údaje :

Sortiment - **HOMAG**

W_s [%] = **8**

Vzorka č. 1

Navážka pilín :

m_m [g] = **13,200**

m_{m+p} [g] = **64,200**

m_p [g] = **51,000**



Síto č.	Síto [mm]	m _s [g]	m _{s + f} [g]	m _f [g]	Zastúpenie frakcii [%]
1	2	338,000	342,900	4,900	9,68
2	1	337,500	351,000	13,500	26,68
3	0,5	309,000	326,800	17,800	35,18
4	0,25	284,800	297,100	12,300	24,31
5	0,125	262,500	264,100	1,600	3,16
6	0,08	269,000	269,500	0,500	0,99
7	0,063	268,000	268,002	0,002	0,00
8	0,032	268,000	268,002	0,002	0,00
dno	0,001			0,000	0,00
				Σ m _f [g]	Σ m _f [%]
				50,604	100

Kontrola presnosti sitovej analýzy :

f [%] = 99,224

Σ m_f [%] > 98 % = OK

Σ m_f [%] < 100 % = OK

Obr. 24 Program pre výpočet sitovej analýzy vzorky sypkej hmoty (Kučerka, 2008)

3.2.3 Termická analýza TG, DTG

Termogravimetria meria hmotnosti vzorky ako funkciu jej teploty, pri plynulom ohreve vzorky. Ohrev je z 20°C na 1000°C, s rýchlosťou ohrevu 10°C.min⁻¹. Získané údaje sa zaznamenávajú ako tepelná závislosť straty hmotnosti v dôsledku termickej degradácie vzoriek a štúdiom tohto grafu sa získavajú tri hlavné parametre: indukčné teploty (IT), teplota, pri ktorej začínajú degradačné reakcie; maximálna teplota úbytku hmotnosti (MLT), čo predstavuje výťažok prchavých látok z procesu pyrolýzy, a úbytok hmotnosti (WG), zodpovedajúci vzorke tepelne degradovanej.

Termogravimetrická analýza (TGA) je rýchly spôsob odhadu zmeny lignocelulózového materiálu pri tepelnej degradácii v laboratórnych podmienkach (Alfredsen et. al., 2011). V závislosti na spôsobe ohrevu, ide o izotermickú (statickú) termogravimetriu, kde je vzorka zahrievaná pri konštantnej teplote a neizotermickú (dynamickú), termogravimetriu, kde zmena hmotnosti vzorky sa sleduje vo vzťahu k času a teplote. V tomto prípade teplota rastie v lineárnej rýchlosti, čo predstavuje rýchlosť ohrevu (°C.min⁻¹) (Lyon et. al., 2007). Dosiahnuté TG krivky ukazujú vzťah medzi rastom alebo poklesom hmotnosti na teplote. Tepelnou analýzou sa sleduje rýchlosť degradácie, úbytok hmotnosti, zmena teploty rozkladu, zmeny v exotermic a endotermic efektoch atď. Vodorovné časti TG, DTG krivky, sa vyznačujú konštantnou hmotnosťou a strmosť charakterizuje rýchlosť zmeny hmotnosti a prechod maximálneho bodu (dm/dt max) (Tabari, et. al., 2012).

Získané termogravimetrické údaje sa prezentujú vo forme krivky závislosti hmotnostnej zmeny alebo percentuálnej hmotnostnej zmeny od času alebo od teploty. Špecifické teploty a hmotnosti sa určia z TG krivky nasledujúcim spôsobom:

1. určenie úbytku hmotnosti pri jednostupňovom úbytku hmotnosti:

Z TG krivky sa určia body A, B, a C kde:

- A je začiatkový bod – priesečník čiar začiatkovej hmotnosti a dotýčnice k TG krivke v bode maximálneho gradientu,
- B je koncový bod – priesečník čiar konečnej hmotnosti a dotýčnice k TG krivke v bode maximálneho gradientu,
- C je stredový bod – priesečník TG krivky a čiar zostrojenej paralelne s osou X v bode, ktorý je stredom medzi bodmi A a B.

Určia sa hmotnosti m_s , m_f a teploty T_A , T_B a T_C prislúchajúce bodom A, B a C. Úbytok hmotnosti M_L , vyjadrený v percentách, sa vypočíta podľa rovnice (11):

$$M_L = \frac{m_s - m_f}{m_s} \cdot 100 \quad (11)$$

kde: m_f je hmotnosť pri konečnej teplote [mg]
 m_s hmotnosť pred ohrevom [mg]

2. určenie úbytku hmotnosti pri viacstupňovom úbytku hmotnosti:

Určia sa body A_1 , B_1 , C_1 , A_2 , B_2 , C_2 atď. (ak je viac stupňov ako dva). Určia sa hmotnosti m_s , m_i , a m_f a teploty T_{A1} , T_{B1} , T_{C1} , T_{A2} , T_{B2} , T_{C2} atď. prislúchajúce týmto bodom. Prvý úbytok hmotnosti M_{L1} , vyjadrený v percentách, sa vypočíta podľa rovnice (12):

$$M_{L1} = \frac{m_s - m_i}{m_s} \cdot 100 \quad (12)$$

kde: m_s je hmotnosť pred ohrevom [mg]
 m_i je hmotnosť pri prvej konečnej teplote [mg]

Druhý úbytok hmotnosti M_{L2} , vyjadrený v percentách, sa vypočíta podľa rovnice (13):

$$M_{L2} = \frac{m_i - m_f}{m_s} \cdot 100 \quad (13)$$

kde: m_i je hmotnosť pri druhej začiatkovej teplote [mg]
 m_f hmotnosť pri druhej konečnej teplote [mg]
 m_s hmotnosť pred ohrevom [mg]

Rovnako sa vypočítavajú všetky ďalšie úbytky hmotnosti. Hmotnosť zvyšku R , vyjadrená v percentách, sa vypočítava podľa rovnice (14):

$$R = \frac{m_f}{m_s} \cdot 100 \quad (14)$$

kde: m_f je hmotnosť pri poslednej konečnej teplote [mg]
 m_s hmotnosť pred ohrevom [mg].

Termoanalytická metóda (TG, DTG) bola realizovaná na vzorkách frakcií < 32, 32, 63, 80, 125 μm pre jednotlivé dreviny. Zvyšné frakcie (250 μm , 500 μm , 1 mm, 2 mm) boli zastúpené minimálnym podielom. Nebolo možné ich množstvá podrobiť skúškam.

TG analýza bola uskutočnená na prístroji METTLER STARE SW 9.01, vyhodnocovaná príslušným softwarom. Z experimentálnych meraní boli získané TG, DTG krivky, ktoré sú prezentované v nasledovných častiach. Úbytok na hmotnosti býva zvyčajne udávaný v percentách z pôvodnej hmotnosti vzorky, čo je prezentované v tabuľkách.

Pod skratkou T_p sa sleduje hodnota teploty, kedy je daný proces najrýchlejší. Hodnota Δm predstavuje percentuálny hmotnostný úbytok zo vzorky v danom teplotnom intervale a následne C_{rezist} predstavuje percentuálny zostatok vzorky počas daného termického procesu.

3.2.4. Kalorimetrické stanovenie spalného tepla a výhrevnosti

Podstata stanovenia spalného tepla spočíva v úplnom spálení navážky paliva v kyslíku pod tlakom v kalorimetrickej tlakovej nádobe (za stáleho objemu) v izoperibolických podmienkach, v zmeraní vzostupu teploty vody v kalorimetrickej nádobe a stanovenie opráv na teplo, ktoré sa uvoľní pri spálení drôtika.

Stanovenie spalného tepla skúšobných vzoriek pozostáva z prípravných činností, vlastného merania a konečných činností. Pred stanovením spalného tepla skúšobných vzoriek je potrebné stanoviť tepelnú kapacitu kalorimetra (množstvo tepla potrebné na ohriatie kalorimetrického systému o 1°C). Podstata stanovenia spočíva v spálení termochemického normálu (kyselina benzoová) so známou hodnotou spalného tepla, za rovnakých podmienok, v tom istom zariadení a v tej istej tlakovej nádobe, ako sa stanoví spalné teplo skúšobných vzoriek.

Hodnota spalného tepla sa vypočíta pre jednotlivé skúšky podľa vzťahu (15):

$$q_{vgr} = \frac{\varepsilon_{(n)} \cdot \theta - Q_{(fuse)} - Q_{ign} - Q_N - m_2 \cdot q_{v2}}{m_1} - \frac{Q_s}{m_1} \quad (15)$$

kde:

q_{vgr} - hodnota spalného tepla [$J \cdot g^{-1}$]

$\varepsilon_{(n)}$ - tepelná kapacita kalorimetra stanovená pri kalibrácii [$J \cdot ^\circ C^{-1}$]

Q_s - oprava na síru z vodného roztoku kyseliny sírovej na plynný oxid siričitý [J]

m_1 - hmotnosť vzorky [g]

m_2 - hmotnosť pomocnej spaľovacej látky ak sa používa [g]

q_{v2} - hodnota spalného tepla pomocnej spaľovacej látky ak sa používa [g]

θ - opravný teplotný vzostup [$^\circ C$]

Q_{fuse} - podiel tepla zo spálenia zapaľovacieho prostriedku [J]

Q_N - podiel tepla uvoľneného vznikom kyseliny dusičnej [J]

Pre izoperibolické kalorimetre platí vzťah pre opravný teplotný vzostup (16):

$$\theta = (t_f - t_i) - \Delta t_{ex} \quad (16)$$

Na vyhodnotenie výrazu Δt_{ex} sa najčastejšie používa Regnault-Pfaundlerova metóda, podľa ktorej platí (17):

$$\Delta t_{ex} = (\tau_f - \tau_i) \cdot g_f + \frac{g_i - g_f}{t_{mf} - t_{mi}} \cdot \left[n \cdot t_{mf} - \frac{(t_i + t_f)}{2} - \sum_{k=1}^{k=n-1} t_k \right] \quad (17)$$

kde:

g_i - rýchlosť časovej zmeny teploty v počiatočnom úseku [$^\circ C \cdot min^{-1}$]

g_f - rýchlosť časovej zmeny teploty v konečnom úseku [$^\circ C \cdot min^{-1}$]

t_{mi} - priemerná teplota v počiatočnom úseku [$^\circ C$]

t_{mf} - priemerná teplota v konečnom úseku [$^\circ C$]

t_i - teplota na začiatku hlavného úseku (v okamihu zapálenia) [$^\circ C$]

t_f - teplota na konci hlavného úseku [$^\circ C$]

t_k - postupné odčítania teploty v 1 minútových intervaloch hlavného úseku [$^\circ C$]

τ_i - čas na začiatku hlavného úseku (v okamihu zapálenia) [min]

τ_f - čas na konci hlavného úseku [min]

n - počet jednominútových intervalov v hlavnom úseku.

Hodnota rezistentného zvyšku sa vypočíta podľa vzťahu (18):

$$R_z = \frac{m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (18)$$

kde:

R_z - rezistentný zvyšok [%]

m_2 - hmotnosť vzorky po spálení v kalorimetri [g]

m_1 - hmotnosť vzorky pred spálením v kalorimetri [g].

Keďže sa pri sušení vzoriek v klimatizačnom zariadení nedosiahne presná vlhkosť 12%, prepočíta sa hodnota spalného tepla podľa vzťahu (19):

$$q_{V.gr.m} = q_{V.gr.d} \cdot (1 - 0,01M_T) \quad (19)$$

kde:

$q_{V.gr.m}$ - hodnota spalného tepla pri požadovanej vlhkosti 12% [$J \cdot g^{-1}$]

$q_{V.gr.d}$ - hodnota spalného tepla pri 0% vlhkosti [$J \cdot g^{-1}$]

M_T - obsah vody v palive, ktorá bola zistená v stave testovania [%].

Stanovenie výhrevnosti

Výhrevnosť paliva sa počíta na základe odmeraného spalného tepla paliva, jeho vlhkosti a obsahu vodíka v palive.

Hodnota výhrevnosti pri konštantnom tlaku sa vypočíta podľa vzorca (20):

$$q_{p.net.m} = \{q_{V.gr.d} - 212w(H)_d - 0,8[w(O)_d + w(N)_d]\} \cdot (1 - 0,01M_T) - 24,4M_T \quad (20)$$

kde:

$q_{p.net.m}$ - hodnota výhrevnosti pri konštantnom tlaku paliva s obsahom vody M_T [$J \cdot g^{-1}$]

$q_{V.gr.d}$ - hodnota spalného tepla pri konštantnom objeme paliva v bezvodom stave [$J \cdot g^{-1}$]

$w(H)_d$ - obsah vodíka v palive v bezvodom stave [%]

$w(O)_d$ - obsah kyslíka v palive v bezvodom stave [%]

$w(N)_d$ - obsah dusíka v palive v bezvodom stave [%]

M_T - obsah vody, pre ktorý sa výpočet požaduje [%].

3.2.5 Stanovenie rýchlosti šírenia plameňového horenia po vrstve usadeného prachu v atmosfére kyslíka

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. (Tureková, 2009) Po výbuchu ale nemusí nasledovať požiar, ak je výbuchom spotrebovaný vzdušný kyslík, resp. príslušne znížený obsah kyslíku v priestore. (Damec, 1995)

Parameter rýchlosti šírenia plameňového a bezplameňového horenia po povrchu usadeného prachu je jeden zo základných ukazovateľov požiarneho nebezpečenstva priemyselných prachov, ktoré sa väčšinou nachádzajú v usadenom stave na horizontálnych plochách. Princíp metódy je založený na vlastnosti usadeného prachu vznietiť sa po iniciácii dostatočným zápalným zdrojom a jeho schopnosti prenášať plameň alebo žeraviace, resp. tlejúce čelo na ďalšie vrstvy usadeného prachu. Vzhľadom na to, že kyslíkové čísla väčšiny lignocelulóзовých prachov sa nachádzajú nad hodnotou 21 obj. % O₂, meranie je vykonávané v atmosfére čistého kyslíka. Meria sa čas, za ktorý sa rozšíri čelo horiacej vzorky po určenú vzdialenosť (Janto a Balog, 1998). V súčasnosti nie je k dispozícii triediaci systém nebezpečenstva pre priemyselné prachy okrem uholných prachov, kde sa prijala metodika zatriedenia do troch úrovní nebezpečenstva. Preto boli tieto kritériá využité i pre potreby zatriedenia skúmaných drevných prachov. Výsledným hodnotiacom kritériom je priemerný časový interval uvedený v sekundách, za ktorý sa rozšíri plameň po vrstve prachu na vzdialenosť 100 mm. Na základe výsledkov sa triedia prachy do skupín nebezpečenstva (tab. 15).

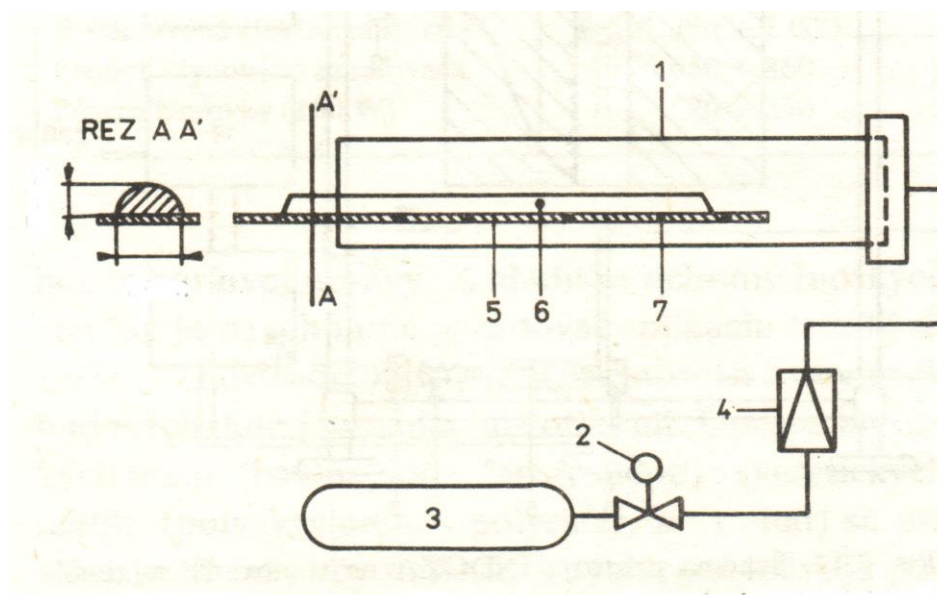
Tab. 15 Určenie tried nebezpečenstva šírenia požiaru po povrchu usadených priemyselných prachov na základe testu rýchlosti oxidácie

Trieda nebezpečenstva	Požiarne charakteristika prachu	Rýchlosť oxidácie (RO)[s]
I.	Prach veľmi dobre šíri požiar	$RO \leq 10$ s
II.	Prach šíri požiar	$10 \text{ s} < RO \leq 20 \text{ s}$
III.	Prach ťažko šíri požiar	$20 \text{ s} < RO$

Lineárna rýchlosť horenia (v_{lin}): rýchlosť prenosu plameňa alebo žeraviacej, resp. tlejúcej fronty po vrstve usadeného prachu daného tvaru a dĺžky za predpísaných podmienok.

Relatívna rýchlosť šírenia plameňa po vrstve charakterizuje schopnosť prachu šíriť požiar na ďalšie usadené vrstvy. Meranie sa vykonáva na prístroji (obr. 10) nazvanom RO – test (test rýchlosti oxidácie). (Slosiarik, 2006).

Hlavnou časťou prístroja RO je trubica z chemického skla vnútorného priemeru 22 mm a dĺžky 200 mm, ktorá je upevnená v kovovom držiaku a situovaná na hornej doske skrinky prístroja, ktorá je napojená pomocou redukčného ventilu a potrubia na oceľovú tlakovú nádobu obsahujúcu kyslík. Množstvo privádzaného kyslíka pre meranie sa nastavuje regulátorom malého prietoku plynu. Do otvoreného konca trubice sa vkladá vzorka meraného prachu sformovaného na kovovej podložke do tvaru súvislej vrstvy prachu. Kovová podložka je označená zárezmi vzdialenými od seba 100 mm, ktoré vymedzujú určenú dĺžku potrebnú k meraniu. Formičky vytvárajú priestor o výške 3,5 až 7 mm, dĺžky 120 mm, šírka základne tvorí 9 mm. Šírka pásma povrchu plameňa tvorí 10 mm. Parametre prístroja: tlak O_2 v tlakovej nádobe 20 – 50 MPa, tlak v skúšobnej trubici je barometrický. Rozsah objemového prietoku 0-1 l.min⁻¹ (obr. 25) (Slosiarik, 2006).



Obr. 25 Schéma zariadenia na stanovenie rýchlosti oxidácie (RO test) (Slosiarik, 2006)
(1 – spaľovacia trubica, 2 – redukčný ventil, 3 – tlaková fľaša na kyslík, 4 – prietokomer,
5 – kovová podložka, 6 – vzorka prachu, 7 – zárezy na podložke)

Výsledná hodnota merania je priemerný časový interval uvedený v sekundách, za ktorý sa rozšíri plameň po vrstve prachu na dĺžke 100 mm. Merania pre danú vzorku

prachu a daný prietok kyslíka v spaľovacej trubici boli vykonané päť krát a zo získaných meraní sa vypočítala priemerná hodnota lineárnej rýchlosti šírenia plameňa po vrstve horľavej vzorky prachu v atmosfére kyslíka podľa vzťahu (21):

$$W_0 = \frac{l}{t} \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (21)$$

kde:

W_0 - rýchlosť šírenia plameňa (rýchlosť oxidácie) po vrstve prachu

l - dĺžka vrstvy prachu v definovanom priereze (m)

t - čas prenesenia plameňa po dĺžke vrstvy 1 (s).

4. VÝSLADKY A DISKUSIA

4.1 Výsledky sitovej analýzy drevného prachu

Získané výsledky zo sitovej analýzy sme vyhodnotili pomocou distribučných kriviek vybratých vzoriek drevných prachov ako aj pomocou dvojfaktorovej analýzy rozptylu s cieľom zistiť, či existuje štatistická významnosť vplyvu drevinu na granulometrické zloženie brúsnych prachov a či existuje štatistická významnosť vplyvu drevinu na podiel prachových častíc $< 100 \mu\text{m}$.

Hmotnostné a percentuálne podiely jednotlivých frakcií vybratých vzoriek drevných prachov po vykonaní sitovej analýzy boli vyhodnotené distribučnými krivkami. Percentuálny súčet získaných hodnôt je vždy menší oproti hmotnosti vzorky na základe straty počas triedenia. Získané distribučné krivky (obr.24) vyjadrujú závislosť pomerného zastúpenia hmotnosti určitej veľkosti zrn (frakcií) v analyzovanom súbore sypkej hmoty.

Z výsledkov sitovej analýzy jednotlivých vzoriek drevných prachov vyplýva, že naše vzorky patria medzi veľmi jemné (A) až jemné častice (B) podľa STN 26 0070, resp. môžu byť klasifikované ako veľmi jemný až jemný odpad (Hejma, 1981), pretože najpočetnejšie frakcie sa nachádzajú v týchto oblastiach.

Hmotnostné podiely drevného prachu dubu na jednotlivých sitách a prepočet na percentuálne podiely po vykonaní sitovej analýzy sú znázornené na distribučnej krivke (obr. 26a).

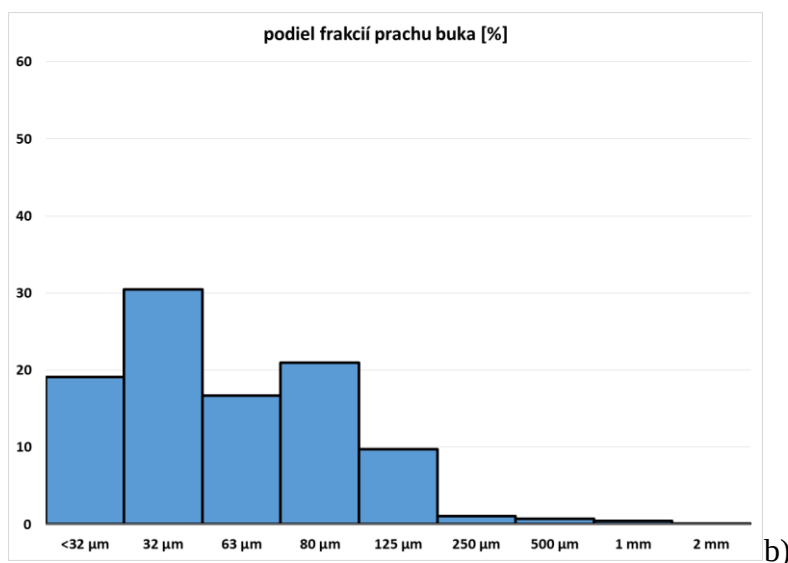
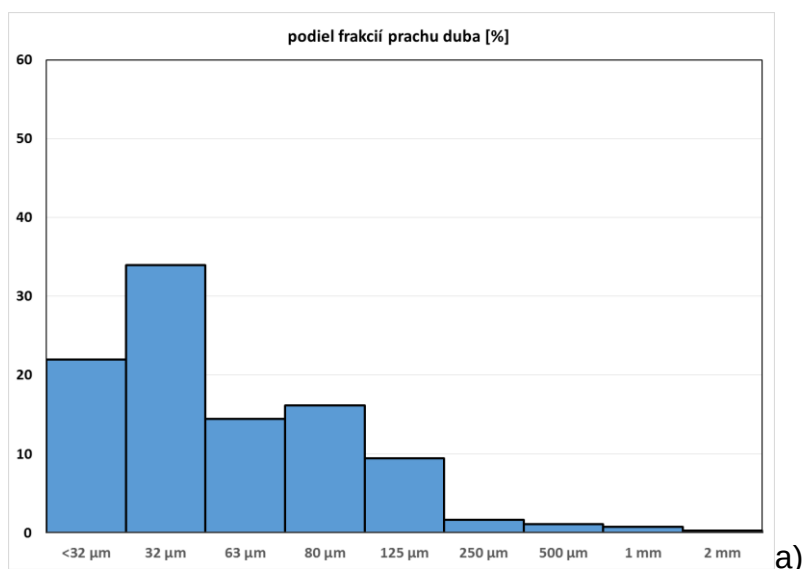
Frakcia prachu duba $32 \mu\text{m}$ a frakcia $< 32 \mu\text{m}$ tvorili 55,83% hmotnosti celej vzorky dubu. Najmenej početnými frakciami boli frakcie 2 mm a 1 mm, ktoré tvorili len 0,99 % celkovej hmotnosti. Vo vzorke drevného prachu buku tvorili frakcia $32 \mu\text{m}$ a frakcia $< 32 \mu\text{m}$ 49,58 % hmotnosti celej vzorky. Najmenej početnými frakciami boli frakcie 2 mm a 1 mm, ktoré tvorili len 0,5 % celkovej hmotnosti (obr. 26b).

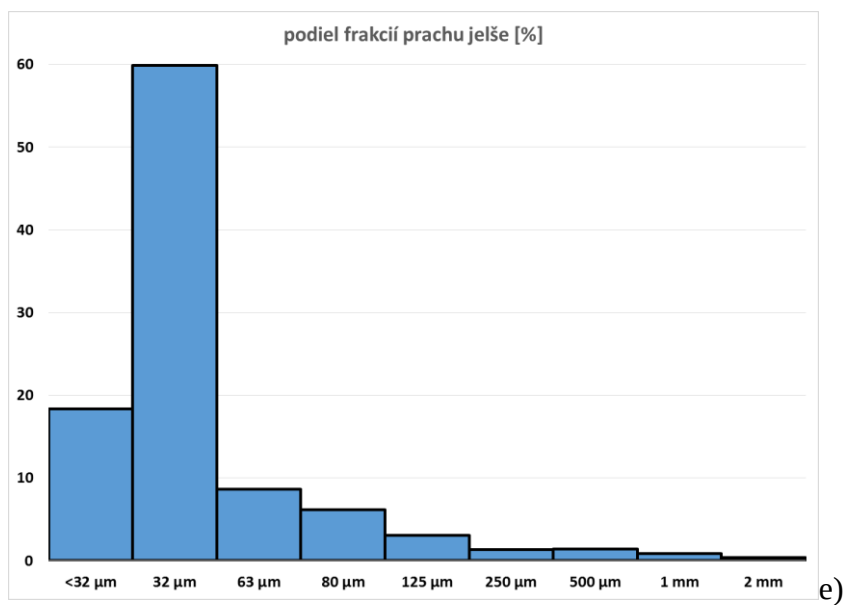
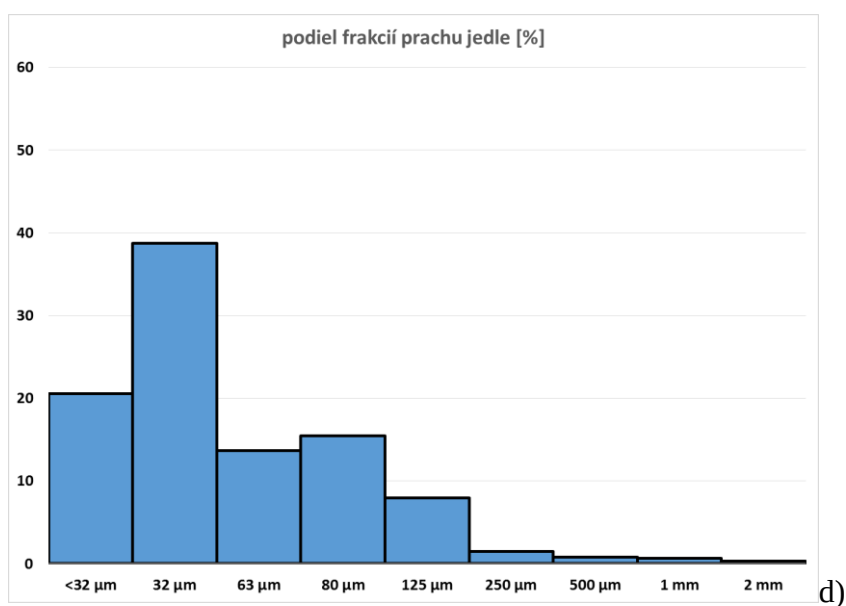
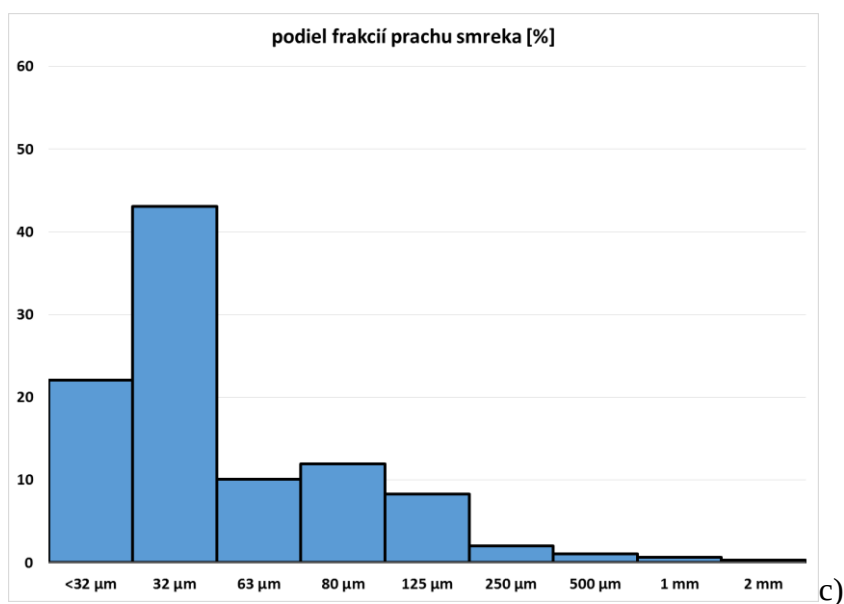
Vo vzorke drevného prachu smreku boli najpočetnejšími frakciami tiež frakcia $32 \mu\text{m}$ a frakcia $< 32 \mu\text{m}$ a tvorili 65,13 % hmotnosti celej vzorky smreku. Najmenej početnými frakciami boli frakcie 2 mm a 1 mm, ktoré tvorili len 1,01 % celkovej hmotnosti (obr. 26c).

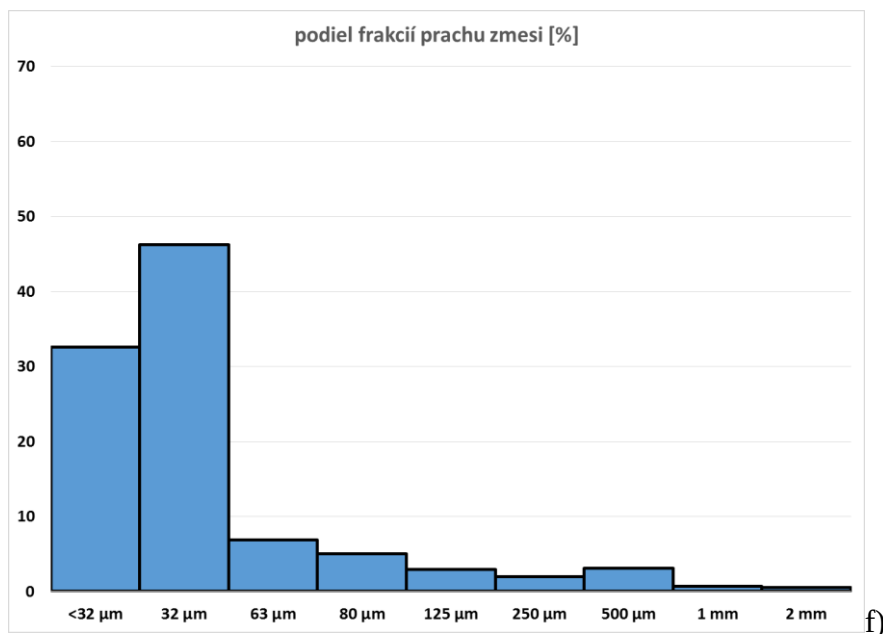
Najpočetnejšími frakciami pre vzorku drevného prachu jedle boli frakcia 32 μm a frakcia < 32 μm a tvorili 59,27 % hmotnosti celej vzorky. Najmenej početnými frakciami boli frakcie 2 mm a 1 mm, ktoré tvorili len 0,98 % celkovej hmotnosti (obr. 26d).

Najpočetnejšími frakciami pre vzorku drevného prachu jelše boli frakcia 32 μm a frakcia < 32 μm a tvorili 78,26 % hmotnosti celej vzorky. Najmenej početnými frakciami boli frakcie 2 mm a 1 mm, ktoré tvorili len 1,21 % celkovej hmotnosti. U vzorky jelše frakcia 32 μm predstavuje 59,88 % (obr. 26e) z celkovej hmotnosti, čo je najväčšie množstvo zo všetkých testovaných vzoriek.

Pre vzorku drevného prachu zmesi boli najpočetnejšími frakciami frakcia 32 μm a frakcia < 32 μm a tvorili 78,74 % hmotnosti celej vzorky. Najmenej početnými frakciami boli frakcie 2 mm a 1 mm, ktoré tvorili len 1,15 % celkovej hmotnosti (obr. 26f).

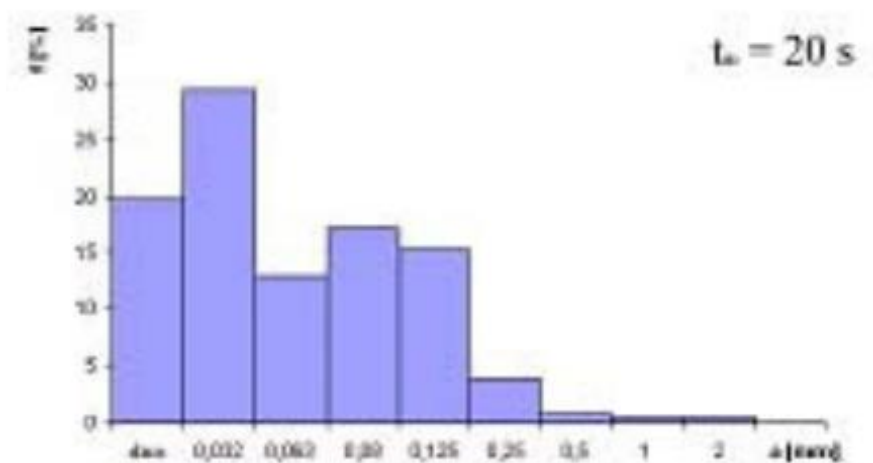






Obr. 26 Distribučné krivky vzoriek drevných prachov. a) duba, b) buka, c) smreka d) jedle, e) jelši, f) zmesi

Získané výsledky sú v zhode s výskumami Rončka a Očkajová (2006), ktorých distribučná krivka brúseného drevného prachu má porovnateľný priebeh (obr. 27).

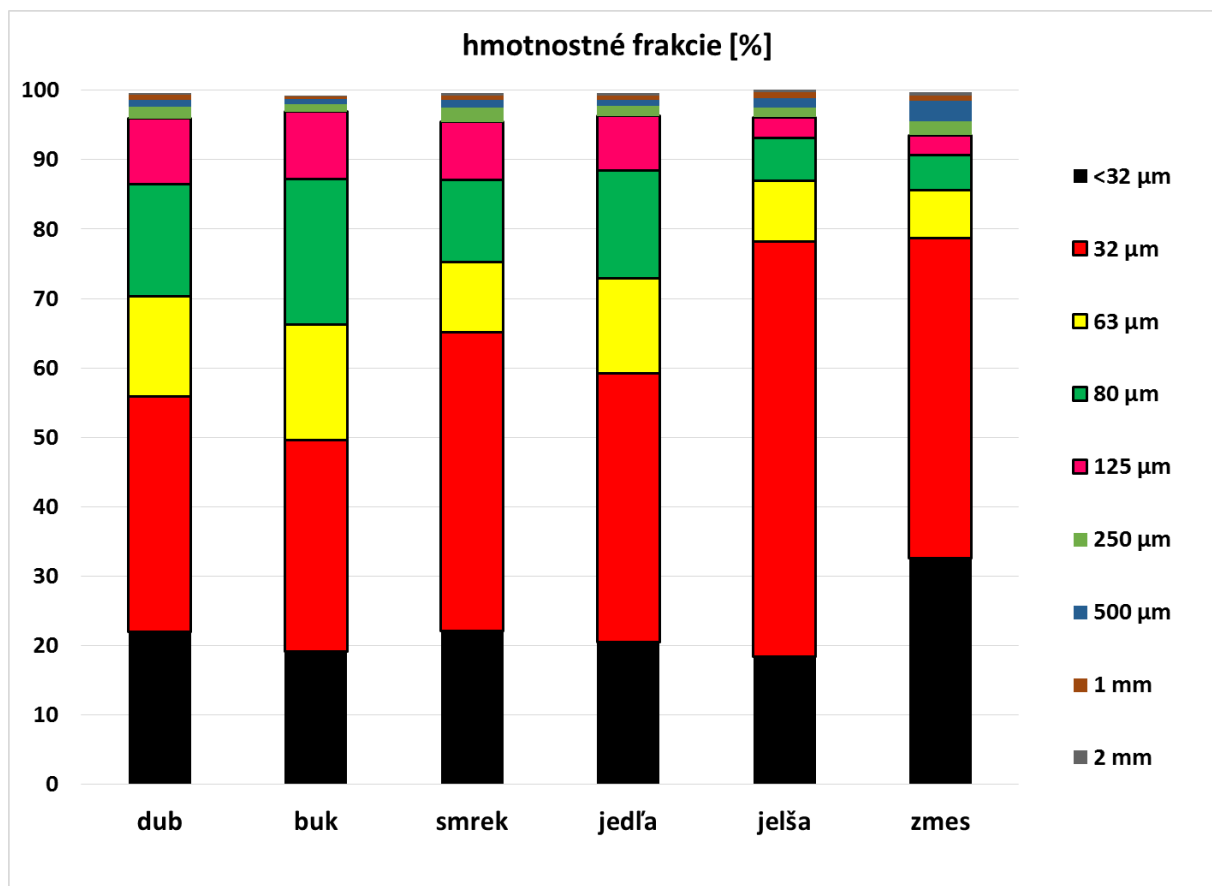


Obr. 27 Distribučná krivka brúseného drevného prachu (Rončka a Očkajová, 2006)

Výsledné percentuálne zastúpenie hmotnostných frakcií vzoriek drevných prachov jednoznačne dokumentuje u všetkých skúmaných vzoriek najvyšší podiel frakcií dna a 32 μm (obr. 28).

Granulometrické zloženie jednotlivých vzoriek je ovplyvnené charakterom brúsnych procesov, ktorými boli vzorky pripravené a druhom použitých drevín.

Sitovou analýzou bolo zistené, že najmenej početnými frakciami boli frakcie 2 mm a 1 mm, ktoré tvorili menej ako 1,5 % celkovej hmotnosti vzorky. Najpočetnejšími frakciami pre všetky vzorky, boli frakcia veľkosti 32 μm a frakcia < 32 μm , ktoré okrem vzorky drevného prachu buku, tvorili viac ako 50 % (obr. 26). Na základe tejto skutočnosti bol pre testovacie metódy, stanovenie spalného tepla a stanovenie rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu, použitý drevný prach z týchto najpočetnejších frakcií.

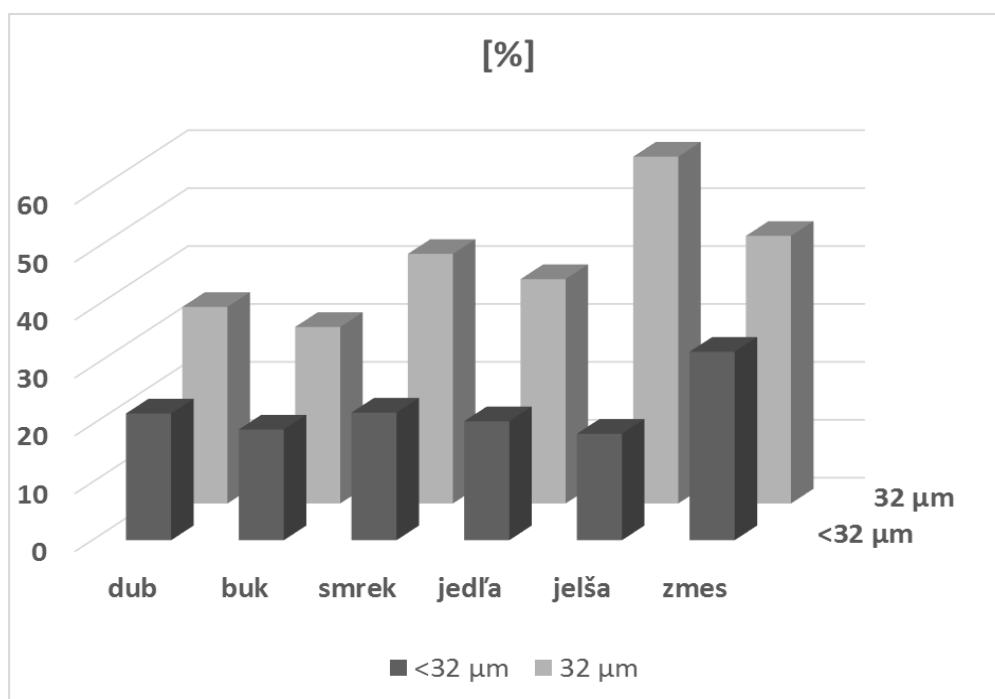


Obr. 28 Percentuálny podiel frakcií vzoriek drevných prachov

Je zaujímavé, že pre skúmané drevné prachy sa vyskytli určité rozdiely v percentuálnom zastúpení jednotlivých frakcií ale pri porovnaní percentuálneho podielu všetkých frakcií < 100 μm (dno, 32 μm , 0,63 μm , 80 μm) sa získali veľmi podobné výsledky pre všetky sledované drevné prachy v intervale od 86,4 % do 93,1 % ; pre dub 86,4 %, pre buk 87,23 %, pre smrek 87,13 %, pre jedľu 88,4 %, pre jelšu 93,1 %, a pre zmes 90,61 %.

Tieto výsledky korešpondujú aj s výsledkami (Očkajová a Banskí, 2013), ktorí sledovali podiely častíc pod 100 μm u vzoriek drevného prachu buka, borovice a smreka získaných z úzko-pásovej brúsky priamo v prevádzke, čomu odpovedal aj

náš výskum, u ktorých sú podiely častíc < 100 µm nasledovné, pre buk 91,95 % (zrניות' 80), pre borovicu 85,07 % (zrניות' 80), smrek 95,01 % (zrניות' 120). Vyššie hodnoty môžu byť spôsobené jednak samotnou drevinou, kde rozptyl vlastností je závislý od podmienok rastu, od miesta v kmeni, od individuálneho prítlaku brúsiacej pätky samotnou obsluhou, pri smreku je to aj iná použitá zrניות' brúsiaceho prostriedku, kde je predpoklad pre vznik jemnejších častíc s použitím brúsiaceho prostriedku s vyšším číslom zrניותi.



Obr. 29 Percentuálne zastúpenie frakcie 32 µm a frakcie < 32 µm v jednotlivých vzorkách dreveného prachu

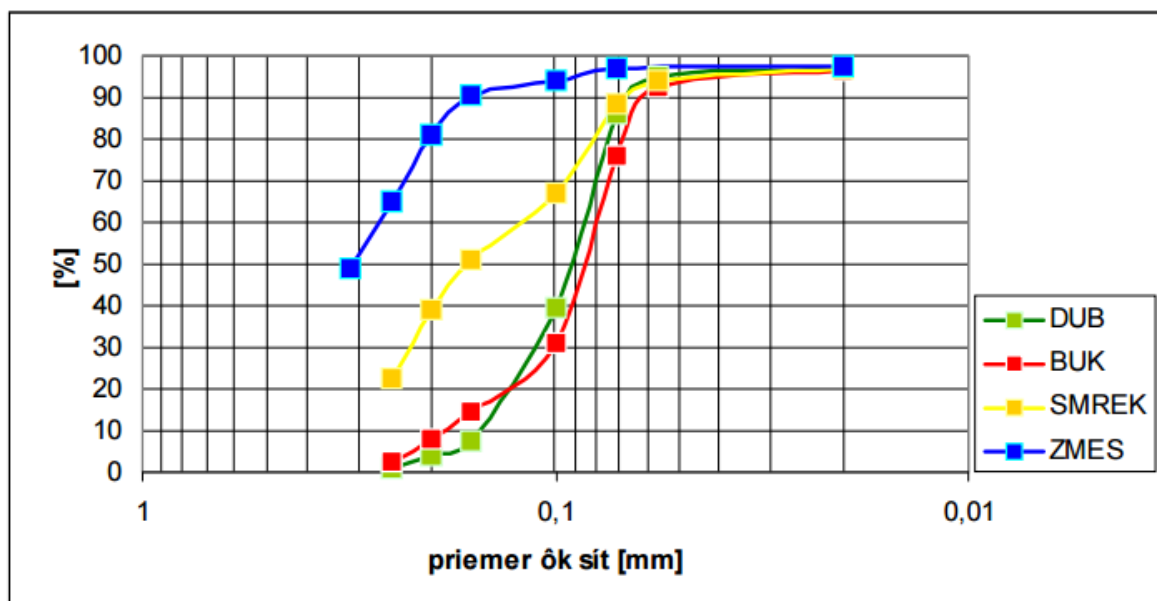
Hlásková et al. (2015) prezentuje výsledky granulometrickej analýzy prachu, vytvoreného počas rezania modifikované a nemodifikované bukového dreva s kotúčovou pilou. Analyzovali obsah bukového dreva (*Fagus sylvatica* L.) na základe rôznych metód stanovenia veľkosti častíc. Výsledky získané zo sitovej analýzy dokazujú, že prach vytvorený počas rezania upravenej vzorky dreva (DMDHEU) bol jemnejší ako pilín z natívneho buka a ostatných modifikovaných materiálov. Bolo tiež zistené, že prach vytvorený počas rezania vzorky Bendywood bol jemnejší ako pri obrábaní natívneho buka Lignamonu. Došlo k nárastu podielu jemnej frakcie v rozsahu zrניותi $x < 100 \mu\text{m}$ na úkor frakcie $x = 0.25\text{--}1 \text{ mm}$. Vlastnosti Lignamon sú založené predovšetkým na vlastnostiach surového dreveného materiálu, preto tento

modifikovaný materiál mal podobnú distribúciu kumulatívnych veľkostí častíc ako prirodzený bukový prach.

Longauer a Dzurenda (2006) realizovali analýzu tvaru, rozmerov a granulometrickej skladby piliny vznikajúcej v procese pozdĺžneho pílenia suchého smrekového reziva na jemnorežúcich rámových pilách typu: CLASIC 150/200 (pri rýchlosti posuvu materiálu do rezu $v = 0,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$). Výsledky sitovej analýzy charakterizujú suchú smrekovú pilinu, ako polydisperznú sypkú hmotu s veľkosťou zŕn v intervale hodnôt od $85,38 \text{ } \mu\text{m}$ po $28,2 \text{ mm}$ a najpočetnejšie zastúpenie v suchej smrekovej piline boli frakcie s rozmermi zŕn ležiacich v intervale hodnôt $d = 125 - 1000 \text{ } \mu\text{m}$, ktoré tvoria $86,77 - 87,15 \%$ odsávanej piliny od jemnorežúcich rámových píl. Dané výsledky potvrdzuje aj Kučerka (2014) pre suché smrekové a dubové piliny vznikajúce v procesoch pílenia dreva.

Získané výsledky sú tiež v korelácii s autormi Očkajová et. al., (2014), kde sa skúmal bukový prach získaný pomocou ručných brúsok (laboratórny experiment), ktoré pracovali v zabudovanom systéme s konštantným prítlakom, konštantnou reznou rýchlosťou a starostlivo vybratými vzorkami dreva (bez hŕč a ostatných chýb dreva). Pre ručnú pásovú brúsku sa získal percentuálny podiel častíc $< 100 \text{ } \mu\text{m}$ $94,28 \%$ (pri brúsení kolmo na vlákna) a pre ručnú kotúčovú brúsku bol podiel týchto častíc až $96,29 \%$. Tieto hodnoty sú vyššie oproti hodnotám získaným v reálnom procese, čo možno odôvodniť aj tým, že práve pri laboratórnom experimente nemusel byť optimálne zvolený prítlak brúsiaceho prostriedku na povrch vzorky, rýchlosť brúsenia, model brúsenia, nevyužívalo sa krížové brúsenie (kombinácia brúsenia pozdĺž vlákien a kolmo na vlákna) a výsledky mohli ovplyvniť aj konkrétne fyzikálno-mechanické vlastnosti brúsenej dreviny.

Inú formiu ponúka Balog a Tureková (2005) ako súčtovú krivku (obr. 30), kde poukazuje na dominantnosť početnosti frakcie $71 \text{ } \mu\text{m}$ v prípade dubovej a bukovej vzorky.



Obr. 30 Sitová analýza vzoriek vybraných drevných prachov (tzv. súčtová krivka) podľa Baloga a Turekovej (2005)

4.1.1 Matematicko-štatistické spracovanie a vyhodnotenie výsledkov

Pre vyhodnotenie vplyvu dreveniny na granulometrické zloženie brúsnych prachov a vplyvu frakcie na podiel prachových častíc $< 100 \mu\text{m}$ sme získané výsledky podrobili štatistickej analýze. Zistené výsledky početnosti častíc drevného prachu vybraných drevín boli štatisticky vyhodnotené dvojfaktorovou analýzou variancie (ANOVA) s použitím LSD (95%, 99% hladinou preukázateľnosti) testu (software Statgraphics verzia 5.0), kde ako faktory vplyvu boli použité: druh dreveniny (buk, dub, smrek, jedľa, jelša) a hodnoty veľkosti častíc (0.032; 0.063; 0.08; 0.125; 0.250; 0.5; 1; 2 v mm).

Tab. 16 potvrdzuje signifikantné rozdiely u jednotlivých frakcií. Následne bola zrealizovaná korelácia hodnôt prostredníctvom hodnôt jednotlivých frakcií prostredníctvom 2-faktorovej analýzy variancie (ANOVA) s použitím LSD ($\alpha=0,05$). Realizovaním analýzy variancie (ANOVA) s použitím LSD testu sa hľadala súvislosť medzi drevinami a veľkosťou prachových častíc. Veľkosť častíc u prvých štyroch frakcií predstavuje rozdiel štatisticky nevýznamný. Štatisticky významný rozdiel je vo frakcii $32 \mu\text{m}$, potom vo frakcii $< 32 \mu\text{m}$. Medzi frakciami $125 \mu\text{m}$, $80 \mu\text{m}$, $63 \mu\text{m}$ a prvými štyrmi frakciami (2 mm, 1 mm, 500 μm , 250 μm), nie sú štatisticky významné rozdiely. V dôsledku nadmernej tvorby prachu práve uvedených frakcií, ktorých súčasťou je aj respirabilná zložka prachu, narastá aj riziko vážneho ohrozenia zdravia zamestnancov.

Tab. 16 Vplyv dreveny a veľkosti frakcií na početnosť častíc v prachových vzorkách prostredníctvom 2-faktorovej analýzy variancie (ANOVA) s použitím LSD ($\alpha=0,05$)

Podiel frakcií	Drevina						Priemer	Hd $\alpha_{0,5}$
	Dub	Buk	Smrek	Jedľa	Jelša	Zmes		
2 mm	0,27	0,08	0,33	0,31	0,38	0,49	0,31a	
1 mm	0,72	0,42	0,68	0,67	0,83	0,66	0,66a	
500 μm	1,06	0,70	1,08	0,78	1,40	3,05	1,36ab	
250 μm	1,64	1,04	2,05	1,46	1,32	1,99	1,58ab	
125 μm	9,47	9,71	8,31	7,93	3,03	2,89	6,89bc	
80 μm	16,16	20,98	11,92	15,45	6,18	5,01	12,61c	
63 μm	14,41	16,67	10,08	13,68	8,66	6,86	11,73c	
32 μm	33,94	30,47	43,09	38,73	59,88	46,20	42,05e	
<32 μm	21,89	19,11	22,04	20,54	18,38	32,54	22,42d	
Priemer	11,07a	11,02a	11,06a	11,06a	11,11a	11,07a		4,75
Hd $\alpha_{0,5}$							5,82	

Štatistická metóda ANOVA – LSD test ($\alpha=0,5$) a- nesignifikantné rozdiely, b,c,d,e – signifikantné rozdiely

Zo štatistického vyhodnotenia výsledkov sitovej analýzy vyplýva, že štatisticky najviac častíc je vo frakcií 32 μm , potom vo frakcii < 32 μm . Je teda opodstatnené podrobiť testovacím metódam predovšetkým tieto frakcie jednotlivých druhov drevných prachov. Rozdiely v štruktúre prachov jednotlivých drevín sa nepreukázali ako štatisticky významné. Danú skutočnosť potvrdzuje aj Barčík et al. (2008) a konštatuje, že druh dreveny nepreukázal zreteľný vplyv na priebeh granulometrického zloženia triesky pri obrábaní dreva rôznymi nástrojmi.

Rozdiely v štruktúre prachov jednotlivých drevín sa preukázali ako štatisticky významné medzi frakciami. Uvedenú skutočnosť potvrdzuje svojim výskumom aj Saejiw et al. (2011).

Uvedenú skutočnosť, z hľadiska štatistickej významnosti, potvrdzuje výskum Martinku a Rantucha (2013). Na základe jednofaktorovej analýzy rozptylu (ANOVA) a dokázali, že veľkosť častíc má významný vplyv na teplotu vznietenia rozvíreného prachu. Minimálna teplota vznietenia skúmaného prachu v zmysle STN EN 50281-2-1:2002 sa uvádza 420 °C. Uvedenú metódu použili aj uvedení autori. Na základe svojich výsledkov popierajú všeobecne vžitú predstavu, že s narastajúcim rozmerom častíc rozvírených organických prachov narastá aj ich odolnosť voči vznieteniu. Uvedený záver platí spoľahlivo pre častice prachu nad určitým kritickým rozmerom

(rádovo stovky μm), ale pri prachoch tvorených časticami s rozmermi rádovo jednotky až desiatky μm nemusí mať jednoznačnú platnosť čo dokazujú predikciou získaných výsledkov. (Martinka a Rantuch, 2013)

Výsledky získané našim experimentom, ktorý kopíroval klasickú prevádzku (nebol jednoznačne určený prítlak brúsiaceho prostriedku na povrch dielca, nebola určená rýchlosť brúsenia, nebol určený smer brúsenia a pri brúsení sa využila odbornosť obsluhy danej brúsky) nepreukázali štatistickú významnosť vplyvu dreveniny na podiel častíc $< 100 \mu\text{m}$, ani vzniknutých pri rovnakých podmienkach brúsenia. Tieto tvrdenia možno podporiť aj výsledkami Očkajovej et al., (2014), kde použitím aj iných typov brúsok (širokopásové) a brúsení rôznych aglomerovaných materiálov sa získali obdobné výsledky. Pri brúsení MDF na širokopásovej brúske sa získal podiel častíc $< 100 \mu\text{m}$ 96,16 %, pri brúsení DTD na širokopásovej brúske sa získal podiel častíc $< 100 \mu\text{m}$ 89,21 %.

4.2. Výsledky termickej analýzy vybraných vzoriek drevného prachu

TG analýza bola uskutočnená na prístroji METTLER STAR^e SW 9.01, vyhodnocovaná príslušným softwarom (tab.17). Z experimentálnych meraní boli získané TG, DTG a DTA krivky, ktoré sú prezentované v nasledovných častiach. Úbytok na hmotnosti býva zvyčajne udávaný v percentách z pôvodnej hmotnosti vzorky, čo je prezentované v tabuľkách.

Tab. 17 Základné parametre termickej analýzy vybraných drevných prachov.

Drevný prach	Frakcie (μm)	Stanovená vlhkosť (%) pred TA	Atmosféra	Ohrev ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	dm/dt (mg/s)	Tepelné rozpätie ($^{\circ}\text{C}$)
Dub	125; 80; 63; 32; < 32	$6.2 \pm 0,08$	Air	10	0,01	20-1000
Buk	125; 80; 63; 32; < 32	$6.5 \pm 0,14$				
Smrek	125; 80; 63; 32; < 32	$6.4 \pm 0,12$				
Jelša	125; 80; 63; 32; < 32	$6.4 \pm 0,11$				
Jedľa	125; 80; 63; 32; < 32	$6.4 \pm 0,14$				
Zmes	125; 80; 63; 32; < 32	$6.1 \pm 0,08$				

Pod skratkou T_p sa sleduje hodnota teploty, kedy je daný proces najrýchlejší. Hodnota Δm predstavuje percentuálny hmotnostný úbytok zo vzorky v danom teplotnom intervale a následne $C_{\text{rezist.}}$ predstavuje percentuálny zostatok vzorky

počas daného termického procesu. T_0 , ktorá je nástupná teplota, t. j. teplota, pri ktorej sa prvýkrát pozoruje odklon od stanovenej základnej línie, T_e ako extrapolovaná nástupná teplota, určená empiricky - priesečník základnej línie a bočnej línie píku, T_i - teplota v inflexnom bode píku a T_p teplota maximálnej odchýlky krivky od základnej línie – teplota maxima píku. (Marková, 2001, 2002, Orémusová, 2006, 2016, Orémusová et al., 2014)

Extrapolovaná nástupná teplota T_e sa podľa výsledkov štandardizačných testov ICTA považuje za najlepšie reprodukovateľnú hodnotu. Z daného hľadiska sa používa na stanovenie počiatkov termických efektov, ako je napríklad oxidácia alebo topenie. (Marková et al., 2007, 2012)

V tab. 17 úvodný stupeň rozkladu predstavuje procesy sušenia, čiže odparovanie sa vody z analyzovanej vzorky. Až nasledujúce procesy I. a II. popisujú termickú deštrukciu vzorky dreva, pričom v niektorých prípadoch potvrdzujú teóriu dvojstupňového rozkladu dreva. (Kačík et al., 2001, Marková et al., 2012)

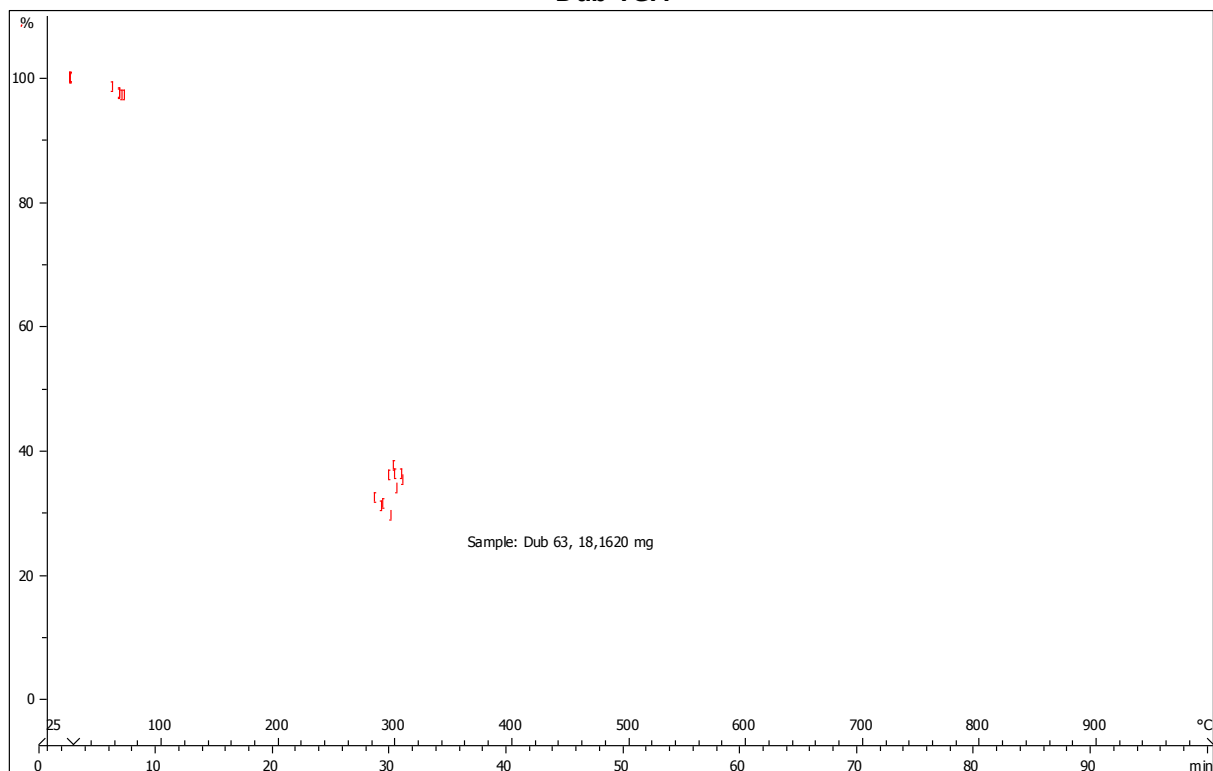
Z výsledkov získaných TG analýzou vzoriek drevného prachu duba (tab. 18) vyplýva, že len jedna frakcia 63 μm (má porovnateľný priebeh termického rozkladu ako kompaktné drevo, ktoré uvádza (Marková a Mračková 2015, 2016, Ragan et al., 2015, Mračková, 2015, Markovická Osvaldová a Osvald, 2015), teda nastáva u nej dvojstupňový rozklad. Odlišné správanie sa zvyšných vzoriek (frakcie 125 μm , 80 μm , 32 μm a frakcia < 32 μm) spočíva v jednostupňovom tepelnom rozklade. Tieto frakcie nepodliehajú dvojstupňovému rozkladu (tab.18)(obr.31).

Tab. 18 Parametre DTG analýzy vzoriek drevných prachov jednotlivých frakcií.

Prachové vzorky	Procesy sušenia			Procesy termickej degradácie						
	Teplotný interval (°C)	T_p (°C)	Δm (%)	I. stupeň			II. stupeň			
				Teplotný interval (°C)	T_p (°C)	Δm (%)	Teplotný interval (°C)	T_p (°C)	Δm (%)	$C_{\text{rezist.}}$ (%)
Buk	25-104	60	3,40	20 -350	320,3	74,26	350-500	427,0	23,99	0,88
BK 125	25 - 68	68	5,67	240 - 320	308	67,14	320- 413	402	23,86	2,77
BK 80	25 - 68	68	5,84	232 - 338	304	91,45	x	x	x	2,16
BK 63	23 - 60	68	5,99	225 - 310	308	67,24	310- 405	402	24,99	1,79
BK 32	30 - 68	68	6,25	235 - 339	308	91,52	x	x	x	1,67
BK <32	25 - 67	67	5,96	241 - 338	306	91,88	x	x	x	2,43
Dub										
DB 125	25 - 68	68	5,81	229 - 336	302	88,31	x	x	x	5,80
DB 80	25 - 59	59	5,71	229 - 333	298	90,35	x	x	x	2,60
DB 63	20 - 67	67	5,85	235 - 312	301	63,32	312- 403	392	28,63	1,65
DB 32	20 - 71	71	5,19	232 - 325	290	92,14	x	x	x	2,13
DB < 32	20 - 64	64	5,56	231 - 321	280	91,14	x	x	x	2,75

Smrek										
SM 125	SM 125	68	5,95	239 - 344	320	86,90	x	x	x	2,20
SM 80	SM 80	64	6,07	235 - 349	319	89,49	x	x	x	1,66
SM 63	SM 63	64	5,86	236 - 348	320	91,27	x	x	x	2,01
SM 32	SM 32	66	4,60	232 - 342	320	62,10	342- 420	408	29,70	1,30
SM <32	SM > 32	66	6,75	239 - 348	318	91,62	x	x	x	0,54
Jedľa										
JD 125	20 - 69	69	5,52	238 - 332	219	61,47	332- 420	311	30,74	1,99
JD 80	23 - 62	62	5,63	247 - 349	322	90,49	x	x	x	2,09
JD 63	25 - 62	62	5,76	242 - 329	320	92,00	x	x	x	1,68
JD 32	25 - 62	62	6,12	232 - 326	320	66,50	326- 419	409	25,43	1,96
JD <32	25 - 57	57	6,63	230 - 339	315	91,41	x	x	x	1,72
Jelša										
JL 80	25 - 68	68	5,45	244 - 349	309	87,96	x	x	x	4,06
JL 63	25 - 64	64	4,94	240 - 318	310	65,64	318- 422	411	26,59	2,55
JL 32	25 - 68	68	6,45	245 - 315	305	67,34	315- 418	406	24,42	1,80
JL <32	25 - 64	64	6,02	240 - 336	308	91,28	x	x	x	2,16
Zmes										
ZM 125	20 - 65	65	4,07	230 - 320	308	48,54	320- 440	432	29,01	13,79
ZM 80	20 - 65	65	4,11	165 - 350	304	45,95	350- 458	448	26,03	19,39
ZM 63	20 - 65	65	4,27	178 - 350	308	44,18	350- 502	448	29,98	19,46
ZM 32	20 - 65	65	2,56	160 - 680	298	59,92	x	x	x	34,39
ZM <32	20 - 65	65	2,13	140 - 698	290	48,43	x	x	x	45,40

Dub TGA



Lab: METTLER

STAR^e SW 9.01

Obr. 31 TG, DTG krivky frakcií vzoriek prachu duba

Frakcia 63 μm prachu duba (obr. 31), jej priebeh kriviek je porovnateľný s dvojstupňovým rozkladom kompaktného dreva. Vzorky prachu dubu vo frakciách

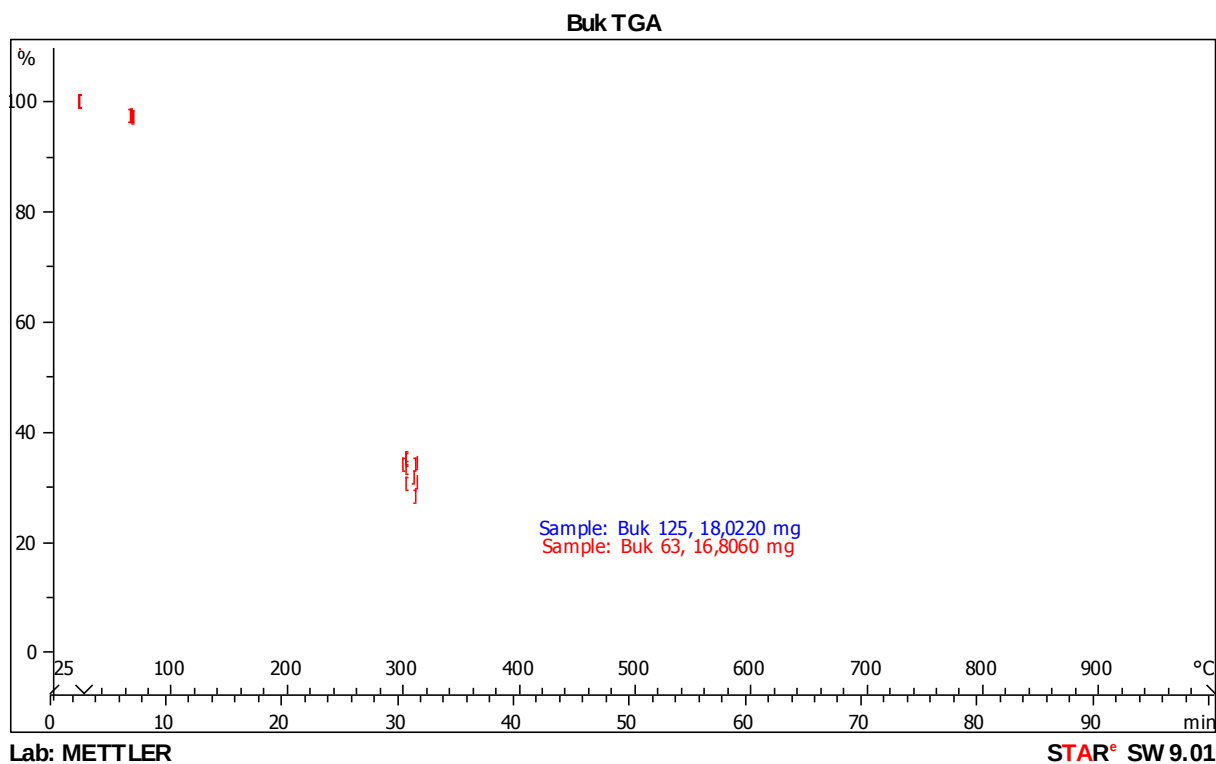
125 µm, 80 µm, 32 µm a vo frakcii < 32 µm nevykazujú dvojstupňový termický rozklad. Sleduje sa rozklad v jednom stupni.

Na základe stanovených teplôt rozkladu môžeme konštatovať, že v rámci frakcií sa významne nelíšia. Zjavne nižšiu teplotu rozkladu v prvom stupni dosiahla len najjemnejšia frakcia < 32 µm a to 280 °C. Dvojstupňový rozklad prebehol len pri frakcii 63 µm a teplota rozkladu bola 392 °C.

V prvom stupni rozkladu má najvyšší hmotnostný úbytok frakcia 32 µm. Frakcia 63 µm mala v druhom stupni rozkladu hmotnostný úbytok 28,63 %. Najvyšší rezistentný zvyšok zostal po frakcii 125 µm a najmenší po frakcii 63 µm.

Dub, ako tvrdá drevina, vykazuje relatívne vysokú odolnosť voči pôsobeniu tepla (Zachar, 2010).

Ako vidieť z priebehu TG kriviek buka (obr. 32), u frakcií 63 µm a 125 µm je priebeh kriviek porovnateľný s dvojstupňovým rozkladom kompaktného dreva. Vzorky prachu buku vo frakciách 80 µm, 32 µm a vo frakcii < 32 µm nevykazujú dvojstupňový termický rozklad. Sleduje sa rozklad v jednom stupni.

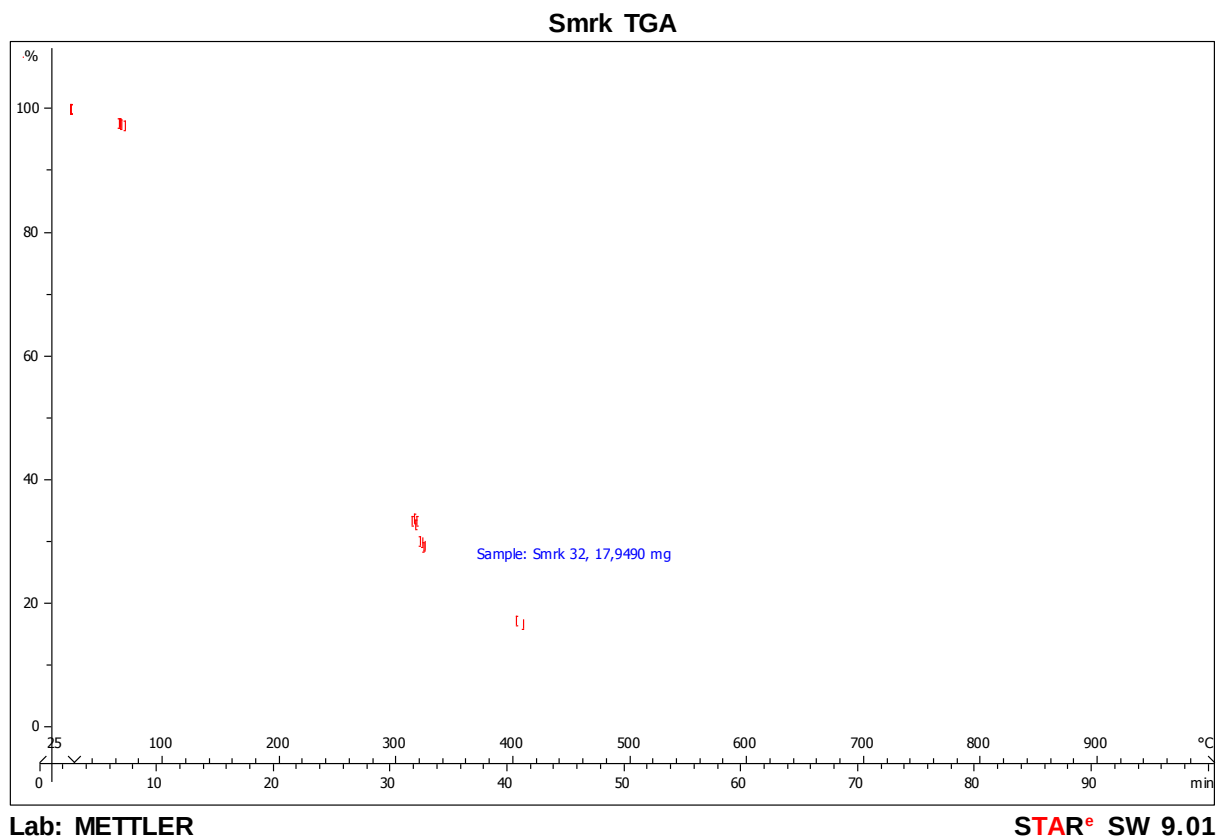


Obr. 32 TG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu buku

Na základe stanovených teplôt rozkladu môžeme konštatovať, že v rámci frakcií sú teploty rozkladu v prvom stupni porovnateľné. Dvojstupňový rozklad prebehol len pri frakciách 63 µm a 125 µm a teplota rozkladu bola tiež porovnateľná.

V prvom stupni rozkladu vzorky drevného prachu buku (tab. 18)(obr.32) majú porovnateľne nižší hmotnostný úbytok frakcie 63 μm a 125 μm . Hmotnostný úbytok v druhom stupni rozkladu pre frakciu 63 μm bol 24,99 % a pre 125 μm 23,86 %. Najvyšší rezistentný zvyšok zostal po frakcii 125 μm a najmenší po frakcii 32 μm . Vzájomné porovnanie TG kriviek prachových frakcií smreku je na obr. 30. TG a DSC analýzou sa podrobne zaoberal Ragan et .al. (2015).

Termogravimetrická analýza smrekového drevného prachu (obr.33) potvrdila, jedine pri frakcii 32 μm priebeh kriviek porovnateľný s dvojstupňovým rozkladom kompaktného dreva. Vzorky drevného prachu smreku vo frakciách 125 μm , 80 μm , 63 μm a vo frakcii ≤ 32 μm nevykazujú dvojstupňový termický rozklad. Sledujeme rozklad v jednom stupni.

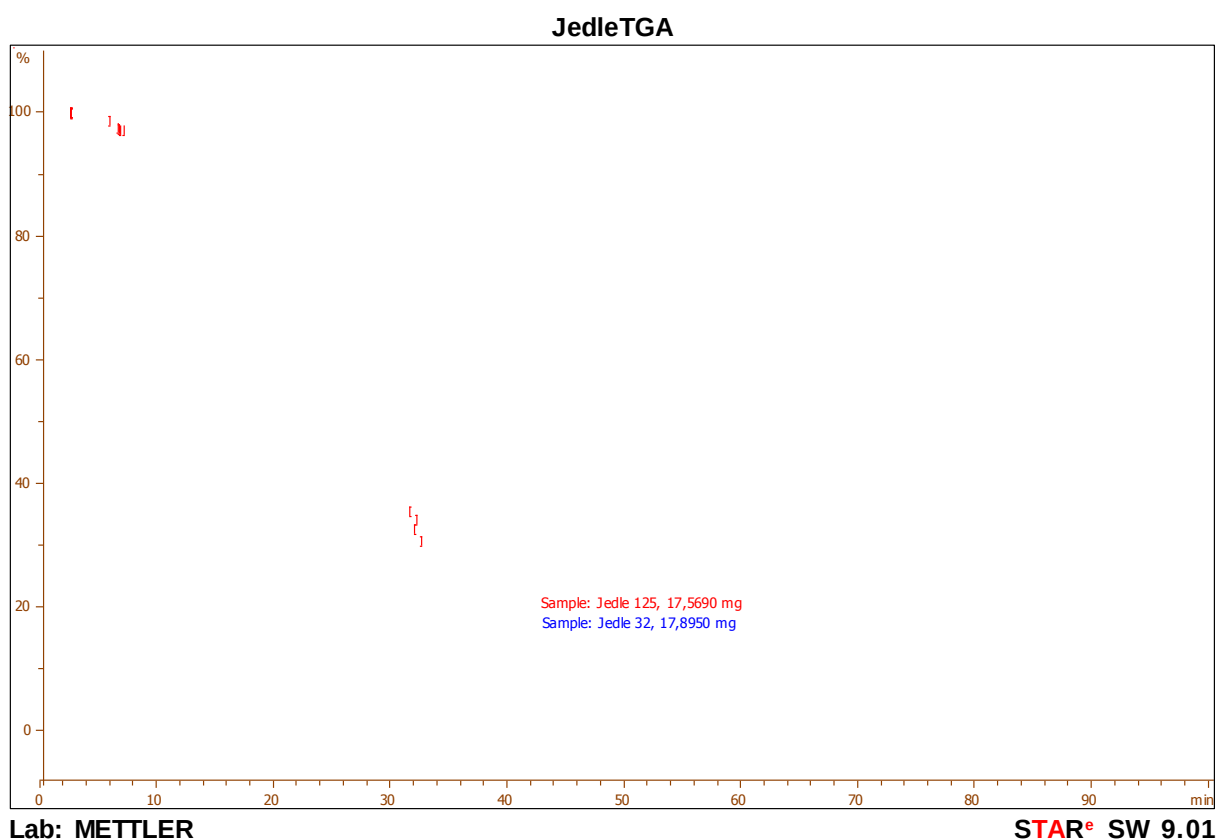


Obr. 33 TG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu smreku

V prvom stupni rozkladu vzorky drevného prachu smreku (obr. 33) majú všetky frakcie vzájomne porovnateľný rovnaký hmotnostný úbytok. Hmotnostný úbytok v druhom stupni rozkladu pre frakciu 32 μm bol 29,70 %. Najväčší rezistentný zvyšok zostal po frakcii 125 μm a najmenší po frakcii < 32 μm .

Z priebehu kriviek (obr. 34) termogravimetrickej analýzy jedľového drevného prachu, možno vyčítať že k dvojstupňovému rozkladu dochádza pri frakciách 32 μm a 125 μm . Vzorky drevného prachu jedle vo frakciách 80 μm , 63 μm a vo frakcii < 32 μm nevykazujú dvojstupňový termický rozklad. Sledujeme rozklad v jednom stupni. Podrobnú pozornosť stanoveniu požiarnotechnických parametrov smreka venoval Zachar a Xu (2012).

Na základe stanovených teplôt rozkladu (obr. 33) môžeme konštatovať, že v rámci frakcií sú teploty rozkladu v prvom stupni vzájomne porovnateľné, iba frakcia 125 μm má výrazne nižšiu teplotu rozkladu a to 219 °C. Dvojstupňový rozklad prebehol len pri frakciách 32 μm a 125 μm . Teplota v druhom stupni rozkladu bola vyššia pri frakcii 32 μm a to 409 °C.

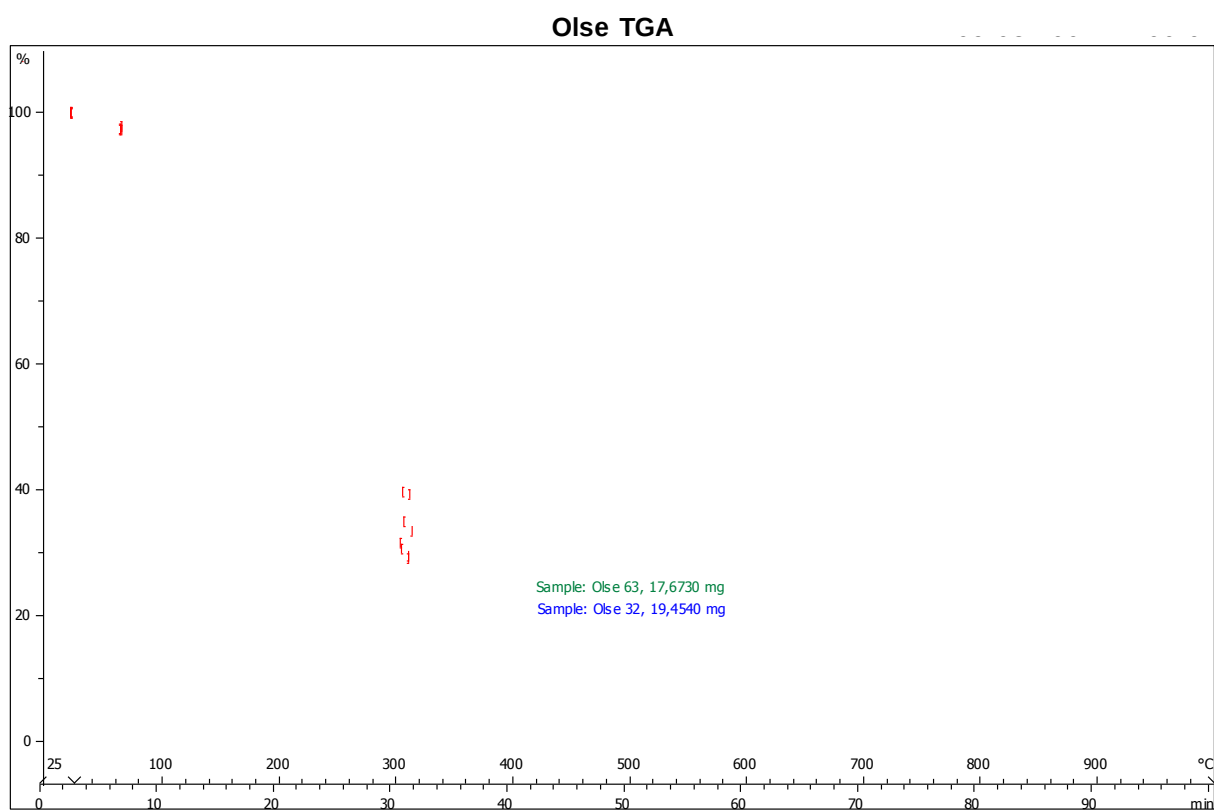


Obr. 34 DTG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu jedle

Pre účely termickej analýzy prachových vzoriek jelše (obr. 35) boli použité len 4 skúmané frakcie (tab. 17) pretože frakcia 125 μm bola na základe sitovej analýzy zastúpená len minimálne (tab. 15).

Z priebehu kriviek termogravimetrickej analýzy jelšového drevného prachu (obr. 35), možno vyčítať, že k dvojstupňovému rozkladu dochádza pri frakciách 32 μm a 63 μm . Vzorky drevného prachu jelše vo frakcii 80 μm a vo frakcii < 32 μm nevykazujú dvojstupňový termický rozklad. Sledujeme rozklad v jednom stupni.

Z výsledkov získaných TG analýzou vzoriek drevného prachu jelše (tab. 18)(obr. 35) vyplýva, že len frakcie 32 μm a 63 μm majú porovnateľný priebeh termického rozkladu ako kompaktné drevo. Dochádza k dvojstupňovému rozkladu. Odlišné správanie sa zvyšných vzoriek (80 μm a frakcia < 32 μm) spočíva v jednostupňovom tepelnom rozklade. Tieto frakcie nepodliehajú dvojstupňovému rozkladu, ktorý je typický pre kompaktné drevo.



Lab: METTLER

STAR^e SW 9.01

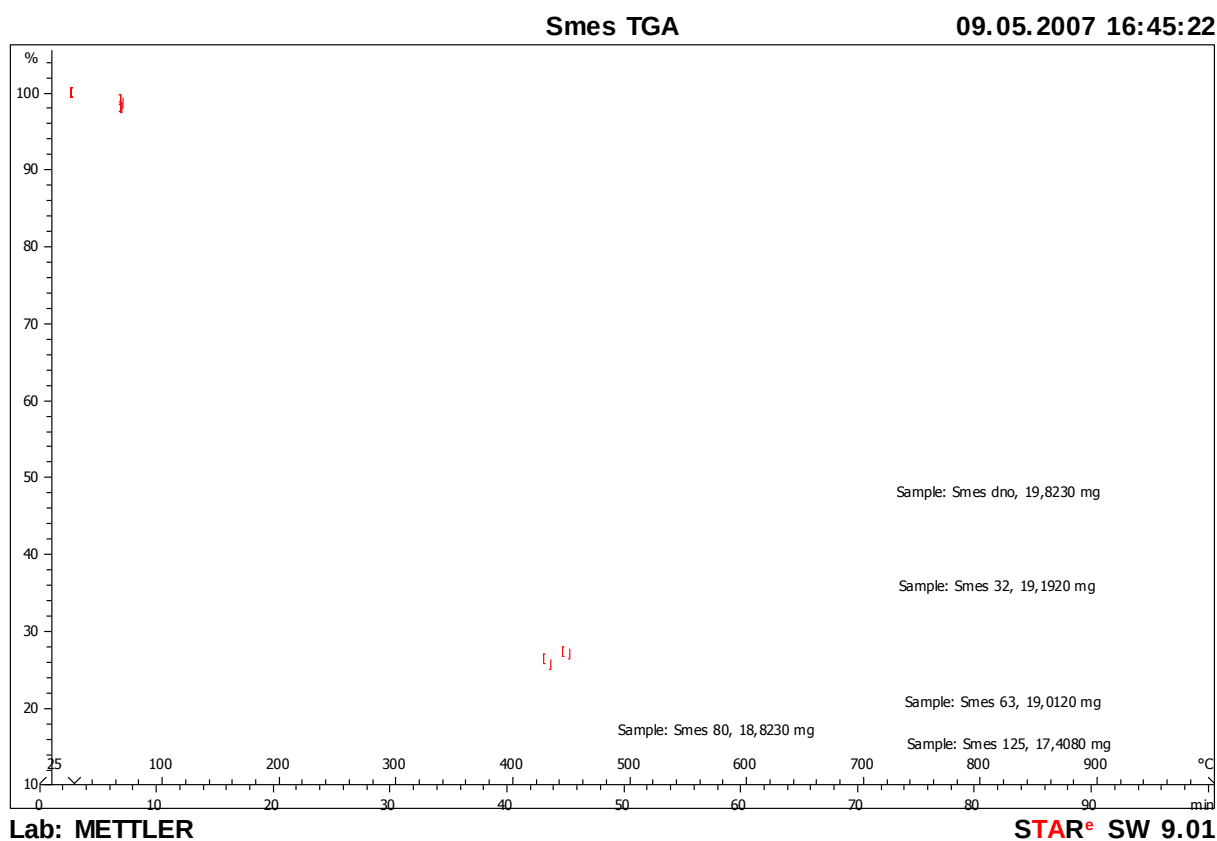
Obr. 35 DTG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu jelše

Na základe stanovených teplôt rozkladu drevného prachu jelše (obr.32) môžeme konštatovať, že teploty rozkladu všetkých štyroch frakcií v prvom stupni sú vzájomne porovnateľné. Dvojstupňový rozklad prebehol len pri frakciách 32 μm a 63 μm . Teploty v druhom stupni rozkladu sú taktiež porovnateľné (pre frakciu 32 μm 406 °C a pre frakciu 63 μm 411 °C).

V prvom stupni rozkladu vzorky drevného prachu jelše (obr. 35) majú frakcia 80 μm a frakcia < 32 μm vzájomne porovnateľne rovnaký hmotnostný úbytok. Nižší

hmotnostný úbytok bol dosiahnutý pri frakciách 63 μm a 32 μm . V druhom stupni rozkladu boli dosiahnuté hmotnostné úbytky 26,59 % pre frakciu 63 μm a 24,42 % pre frakciu 32 μm . Najväčší rezistentný zvyšok zostal po frakcii 80 μm (4,06 %) a najmenší po frakcii 32 μm (1,80 %).

Vzájomné porovnanie TG kriviek prachových frakcií zmesi drevného prachu (obr. 36) z drevárskej prevádzky ukazuje na pestrú variabilitu termickej degradácie jednotlivých frakcií.



Obr. 36 DTG krivky jednotlivých frakcií drevného prachu zmesi

Z priebehu TG kriviek (obr. 36) drevného prachu zmesi, možno vyčítať že k dvojstupňovému rozkladu dochádza pri frakciách 125 μm , 80 μm a 63 μm . Vzorky drevného prachu zmesi vo frakcii 32 μm a vo frakcii <32 μm nevykazujú dvojstupňový termický rozklad. Sledujeme rozklad v jednom stupni.

Z výsledkov získaných TG analýzou vzoriek drevného prachu zmesi (tab. 18)(obr. 36) vyplýva, že len frakcie 125 μm , 80 μm a 63 μm majú porovnateľný priebeh termického rozkladu ako kompaktné drevo. Dochádza k dvojstupňovému rozkladu. Odlišné správanie sa zvyšných vzoriek (frakcia 32 μm a frakcia < 32 μm) spočíva

v jednostupňovom tepelnom rozklade. Tieto frakcie nepodliehajú dvojstupňovému rozkladu, ktorý je typický pre kompaktné drevo.

Na základe stanovených teplôt rozkladu drevného prachu zmesi (obr.36) môžeme konštatovať, že teploty rozkladu všetkých frakcií v prvom stupni sú vzájomne porovnateľné. Dvojstupňový rozklad prebehol pri frakciách 125 μm , 80 μm a 63 μm . Teploty v druhom stupni rozkladu sú taktiež porovnateľné.

V prvom stupni rozkladu vzorky drevného prachu zmesi (obr. 36) majú frakcie 125 μm , 80 μm , 63 μm a frakcia < 32 μm vzájomne porovnateľne rovnaký hmotnostný úbytok. Vyšší hmotnostný úbytok dosiahla frakcia 32 μm . V druhom stupni rozkladu boli dosiahnuté hmotnostné úbytky porovnateľné. Najväčší rezistentný zvyšok zostal po frakcii < 32 μm (45,40 %) a najmenší po frakcii 125 μm (13,79 %).

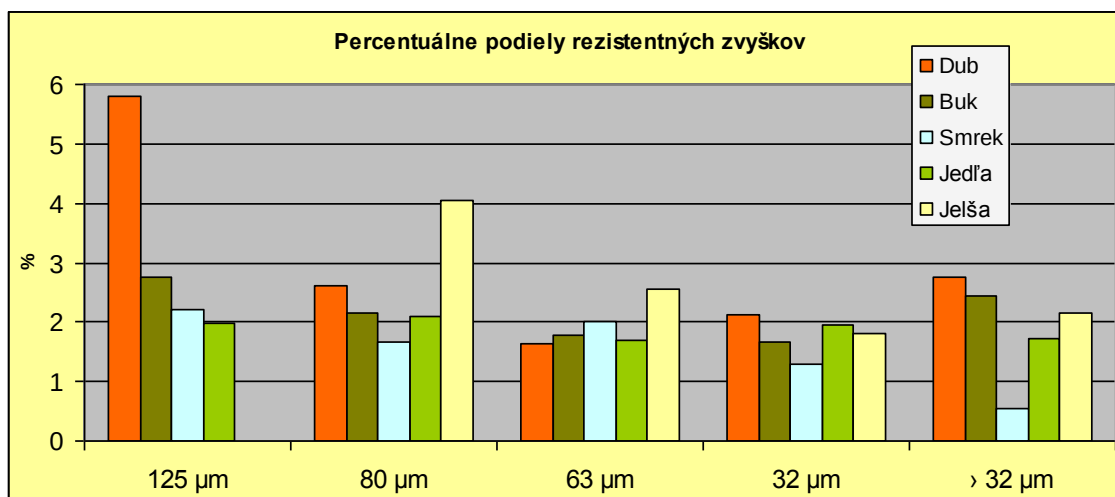
Všetky vzorky jednotlivých drevín veľkosti < 32 μm sa termicky rozkladali v jednom stupni. Rovnako sa správali všetky vzorky veľkosti 80 μm , teda ich termický rozklad nie je porovnateľný s dvojstupňovým termickým rozkladom typickým pre kompaktné drevo. Táto skutočnosť už jednoznačne neplatí pre zvyšné frakcie. V rámci frakcie 32 μm dvojstupňovému rozkladu podliehali vzorky drevín smreku, jedle a jelše. Pri frakcii 63 μm prebiehala dvojstupňová degradácia u drevín dub, buk a jelša. Pri frakcii 125 μm prebiehala dvojstupňová degradácia len u drevín buk a jedľa. Predpokladá sa, že sústava prach – vzduch sa môže správať ako plyn, kde termický rozklad prebieha v jednom stupni. Z našich výsledkov termickej analýzy nie je možné presne určiť, za akých podmienok táto skutočnosť nastáva.

Najmenší priemerný rezistentný zvyšok (tab.19) dosiahol drevný prach smreku a naopak najvyšší, zmes drevného prachu. Rezistentný zvyšok je vlastne popol, teda tuhý zvyšok, ktorý zostane po dokonalom spálení drevnej hmoty. Pri spaľovaní dreva v prítomnosti vzdušného kyslíka, uhlík, vodík, dusík a síra prejdú s výnimkou fosforu na plynné oxidy, z ktorých časť sa viaže na kovové prvky za vzniku síranov a uhličitanov. Obsah popola v dreve závisí od dreviny, analyzovanej časti a aj jej veku. V beľovom a jadrovom dreve kmeňa dosahuje 0,25 až 1,5 %, v ostatných častiach stromu 4 aj viac percent (Solár a Kačík, 1999).

Tab. 19 Percentuálne podiely rezistentných zvyškov pre jednotlivé frakcie

Vzorky	Dub	Buk	Smrek	Jedľa	Jelša	Zmes
125 µm	5,80	2,77	2,20	1,99	x	13,79
80 µm	2,60	2,16	1,66	2,09	4,06	19,39
63 µm	1,65	1,79	2,01	1,68	2,55	19,46
32 µm	2,13	1,67	1,30	1,96	1,80	34,39
< 32 µm	2,75	2,43	0,54	1,72	2,16	45,40
Aritm.priemer	2,986	2,164	1,542	1,888	2,643	26,486

Porovnávaním (obr. 37) percentuálnych podielov rezistentných zvyškov drevných prachov vybraných vzoriek v jednotlivých frakciách je zrejmé, že najväčší rozdiel v rezistentnom zvyšku medzi drevným prachom duba a smreku nastáva vo frakcii 125 µm.

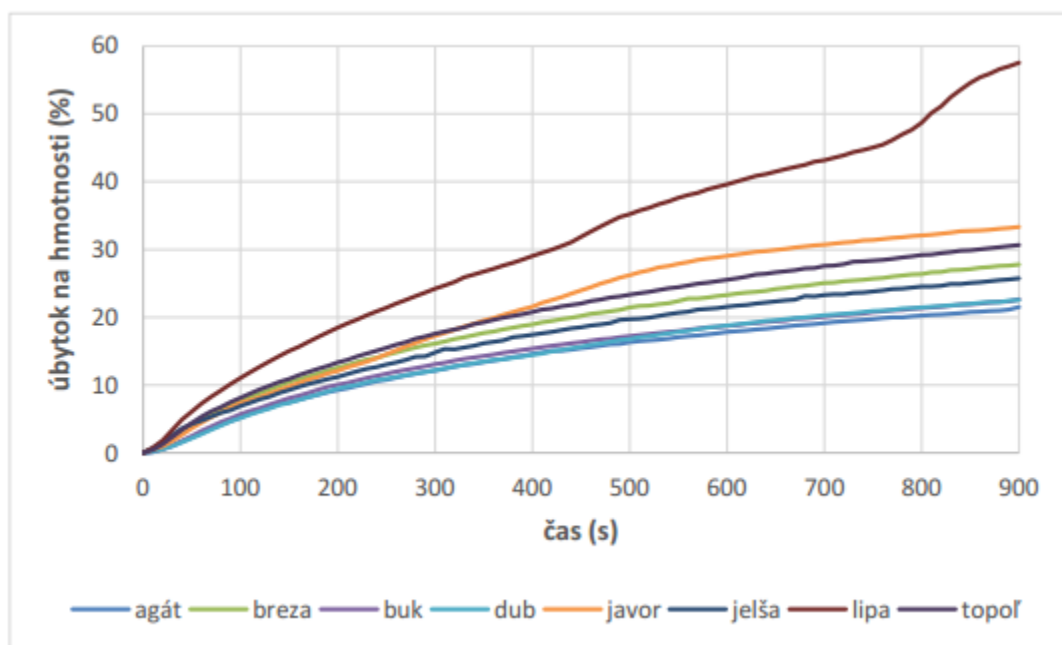

Obr. 37 Percentuálne podiely rezistentných zvyškov jednotlivých drevín

Nenašla sa súvislosť medzi veľkosťou rezistentného zvyšku a veľkosťou frakcie (obr.37). Pravdepodobne teda rezistentný zvyšok nezávisí od veľkosti frakcie vzorky dreveného prachu. Porovnaním teploty rozkladu najpočetnejších frakcií 32 µm a frakcie < 32 µm. v prvej a v druhej fáze termického rozkladu (tab.20) vyplýva, že najnižšiu teplotu rozkladu v prvom stupni dosiahol drevený prach dubu pre frakciu < 32 µm. Najvyššiu teplotu rozkladu v prvom stupni dosiahol drevený prach jedle vo frakcii 32 µm. Avšak môžeme tvrdiť, že teploty rozkladu v prvej fáze termického rozkladu najpočetnejších frakcií pre jednotlivé dreveniny sú v rámci frakcií výrazne porovnateľné.

Tab. 20 Teploty rozkladu (°C) v prvej a v druhej fáze rozkladu pre frakcie 32 µm a > 32 µm

Vzorky	Dub		Buk		Smrek		Jedľa		Jelša		Zmes	
Stupeň rozkladu	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.	I.	II.
32 µm	290	x	308	x	318	408	320	409	305	406	298	x
< 32 µm	280	x	306	x	318	x	315	x	308	x	290	x

Rozdielnosť v termickej degradácii jednotlivých drevín potvrdili výskumy Makovickej Osvaldovej a Osvalda (2015), kde prezentujú termickú degradáciu na základe hmotnostného úbytku skúmaných vzoriek dreva (obr. 38) v dôsledku pôsobenia sálavého tepla.


Obr.38 Pribeh úbytkov hmotnosti vybraných vzoriek dreva v dôsledku pôsobenia sálavého tepla (Makovická Osvaldová a Osvald, 2015)

4.2.1 Štatistické vyhodnotenie vplyvu dreviny a frakcie na vybrané termogravimetrické parametre

Na základe gravimetrickej analýzy početnosti vzoriek bolo zistené, že frakcie 2 mm, 1 mm, 0,5 mm a 0,250 mm predstavujú maximálne 1% podiel z celkového počtu (Marková et al., 2016). Na základe uvedených skutočností boli zrealizované termické analýzy pre frakcie 125 µm, 80 µm, 63 µm, 32 µm a frakciu <32 µm a štatisticky

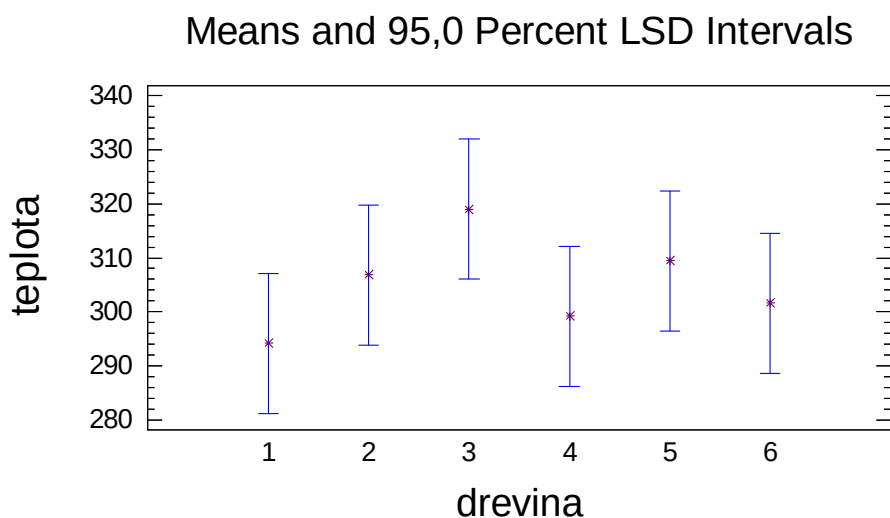
vyhodnotená závislosť vplyvu dreveny a veľkosti frakcie na termické parametre iniciačnú teplotu (tab. 21) a hmotnostný úbytok (tab. 22).

Tab. 21 Vplyv dreveny a veľkosti frakcií na iniciačnú teplotu T_i [°C] pri termickej degradácii prachových vzoriek prostredníctvom 2-faktorovej analýzy variancie (ANOVA) s použitím LSD ($\alpha=0,05$) (Očkajová a Marková, 2016)

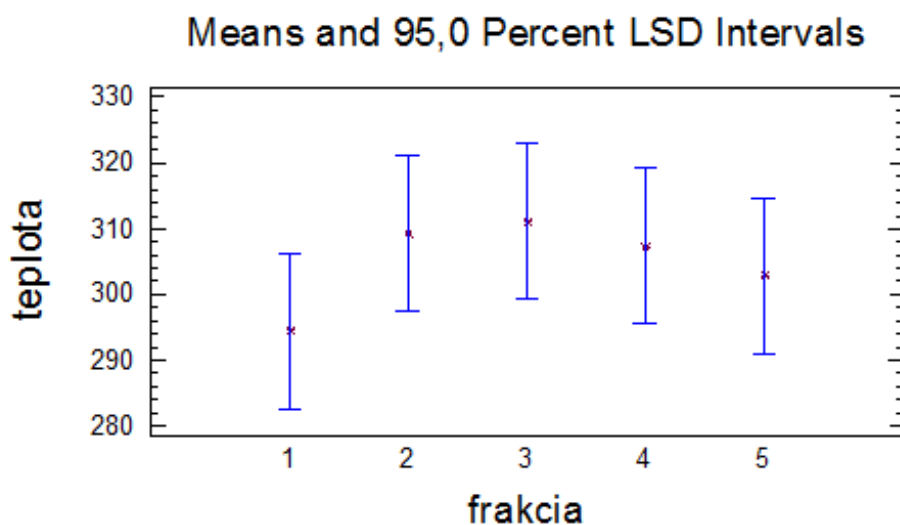
Drevina	Podiel frakcií [°C]					Priemer [°C]	Hd $\alpha_{0,5}$
	125 μm	80 μm	63 μm	32 μm	<32 μm		
Dub	302	298	301	290	280	294a	
Buk	308	304	308	308	307	306a	
Smrek	320	319	320	318	318	319a	
Jedľa	219	322	320	320	315	299a	
Jelša	310	309	310	305	308	309a	
Zmes	308	304	308	298	290	302a	
Priemer	295a	309a	311a	307a	302a		23,48
Hd $\alpha_{0,5}$						25,72	

Štatistická metóda ANOVA – LSD test ($\alpha=0,5$) a– nesignifikantné rozdiely

Štatistickou analýzou sa nepreukázal signifikantný vplyv faktorov dreveny (obr. 39) a podielu frakcií (obr. 40) na iniciačnú teplotu T_i [°C] pri termickej degradácii prachových vzoriek. V grafickej prezentácii štatistických výsledkov boli použité pre jednotlivé vzorky drevných prachov čísla. Išlo o nasledujúce vzorky: 1 – dub, 2 – buk, 3 – smrek, 4 – jedľa, 5 – jelša, 6 – zmes.



Obr. 39 Grafické znázornenie štatistického vyhodnotenia vplyvu dreveny na iniciačnú teplotu T_i [°C] pri termickej degradácii prachových vzoriek. Legenda: 1 –vzorka prachu duba, 2 – vzorka prachu buka, 3 – vzorka prachu smreka, 4 – vzorka prachu jedle, 5 – vzorka prachu jelši, 6 – drevná prašná zmes.



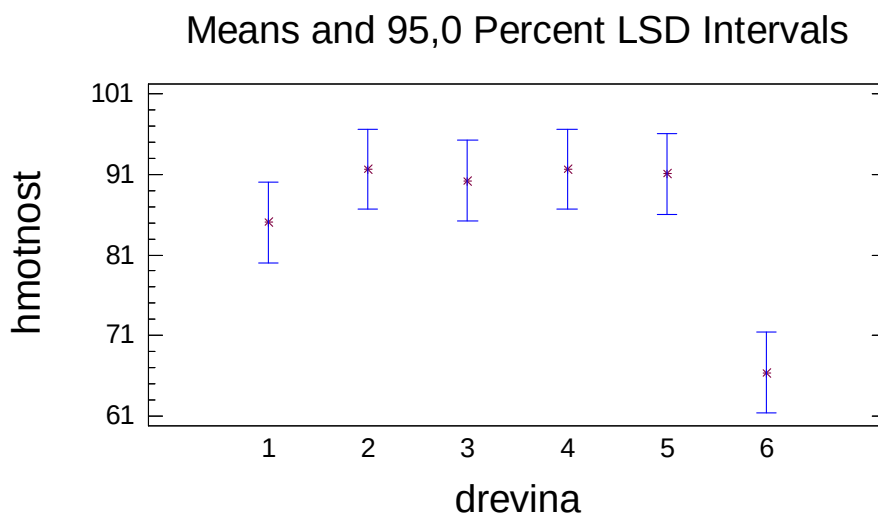
Obr. 40 Grafické znázornenie štatistického vyhodnotenia vplyvu frakcie na iniciačnú teplotu T_i [°C] pri termickej degradácii prachových vzoriek. *Legenda:* 1 – 125 μm , 2 - 80 μm , 3 - 63 μm , 4 - 32 μm a 5 - frakcia <32

Tab. 22 Vplyv dreveny a veľkosti frakcie na hmotnostný úbytok [%] pri termickej degradácii prachových vzoriek prostredníctvom 2-faktorovej analýzy variance (ANOVA) s použitím LSD ($\alpha=0,05$)

Drevina	Podiel frakcií [%]					Priemer [%]	Hd $\alpha_{0,5}$
	125 μm	80 μm	63 μm	32 μm	<32 μm		
Dub	88,31	90,35	63,32	92,14	91,14	85,05a	
Buk	91,00	91,45	92,23	91,52	91,88	91,61a	
Smrek	86,90	89,49	91,27	91,80	91,62	90,21a	
Jedľa	92,21	90,49	92,00	91,93	91,41	91,60a	
Jelša	92,05	87,96	92,23	91,76	91,28	91,06a	
Zmes	77,55	71,98	74,16	59,92	18,43	66,41b	
Priemer	88,00a	86,95a	84,20a	86,51a	84,29a		9,10
Hd $\alpha_{0,5}$						9,98	

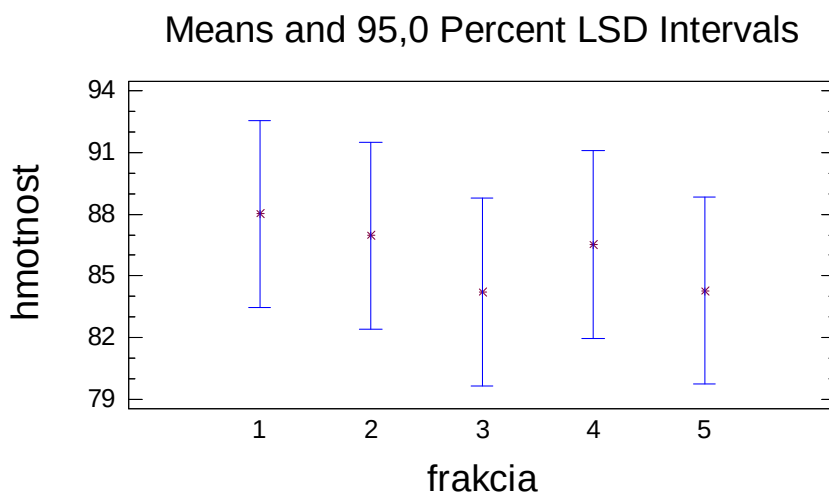
Štatistická metóda ANOVA – LSD test ($\alpha=0,5$) a,b– signifikantné rozdiely

Štatistickou analýzou sa preukázal signifikantne významný vplyv dreveny na zmenu hmotnostného úbytku [%] pri termickej degradácii prachových vzoriek (obr. 41).



Obr. 41 Grafické znázornenie štatistického vyhodnotenia vplyvu dreveny na hmotnostný úbytok vzoriek drevného prachu pri ich termickej degradácii. Legenda: 1 – vzorka prachu duba, 2 – vzorka prachu buka, 3 – vzorka prachu smreka, 4 – vzorka prachu jedle, 5 – vzorka prachu jelši, 6 – drevná prašná zmes.

Signifikantný rozdiel sa nepotvrdil pri vyhodnotení vplyvu frakcií na hmotnostný úbytok termicky degradovaných vzoriek (obr. 42).



Obr. 42 Grafické znázornenie štatistického vyhodnotenia vplyvu frakcie na hmotnostný úbytok vzoriek drevného prachu pri ich termickej degradácii. Legenda: 1 – 125 μm , 2 - 80 μm , 3 - 63 μm , 4 - 32 μm a 5 - frakcia <32

Jones et al. (2015) realizoval súbor experimentov, za účelom hodnotenia rizika vzniku explózie u vybratých druhov biomasy. Spôsob hodnotenia rizika vzniku explózie sa skúmal na základe aktivačnej energie pre pyrolýzu a stanovenia charakteristických teplôt pomocou TGA analýzy. Vzorky olív, slnečnicových semiačkov a miskantus spadajú do vysoko rizikovej kategórie, zatiaľ čo drevo ako borovica a jalovec do kategórie stredne rizikové. Konštatuje, že nízke aktivačné energie pyrolýzy zvažujú riziko vznietenia biomasy.

4.3. Výsledky stanovenie rýchlosti šírenia sa plameňa po vzorke usadeného prachu

Použitím metódy „Rýchlosti oxidácie“ známej tiež pod názvom „Test RO“ sa začal v roku 2006 zaoberať Slosiarik (2006). Zistil, že lineárna rýchlosť plameňového horenia v atmosfére čistého kyslíka pri dynamickom protiprúdnom prietoku $0,175 \text{ l.min}^{-1}$ vzorky prachu s technologickou vlhkosťou 6 %, ktorý vzniká po brúsení povrchovo neupravených drevotrieskových dosák bola v intervale $5,8$ až $8,8 \text{ cm.s}^{-1}$. Pri nižších hrúbkach prachu 3 až 5 mm neboli zistené markantnejšie rozdiely v nameranej rýchlosti šírenia plameňa ($5,8$ až $5,5$ až 8 cm.s^{-1}). Ku skokovitej zmene požiarnotechnickej charakteristiky došlo pri hrúbke vrstvy materiálu 7 mm , pričom nárast v lineárnej rýchlosti šírenia plameňa bol až o $55,7 \%$ (Slosiarik, 2006).

Uvedená metóda nezískala štandardizáciu pre sledovanie požiarno-technických parametrov prachov ale je vhodnou metódou, s výpovednou hodnotou, ohľadom šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu. Frei et. al (2013) prezentuje rozličné testovacie metódy prachu a poukazuje na variabilitu a pestrosť používaných metód vo všetkých skúmaných vlastnostiach drevných prachov. Pomocou metódy „RO test“ boli vykonané experimentálne skúšky propagácie plameňového horenia v atmosfére čistého kyslíka pri dynamickom protiprúdnom prietoku $0,175 \text{ l.min}^{-1}$, čo predstavovalo rýchlosť prúdenia vzduchu v trubici $0,85 \text{ cm.s}^{-1}$. Pri všetkých testoch boli použité absolútne suché vzorky prachu. (Vladárová, 2007) Merania boli uskutočnené u všetkých frakcií ale rýchlosť horenia bola porovnateľná. Najvyššie hodnoty boli dosiahnuté vzorkách frakcie $32\mu\text{m}$ a frakcie $< 32\mu\text{m}$ (tab. 23). Výška testovaného usadeného prachu bola 3 mm . Hodnoty rýchlosti šírenia sa plameňa po vzorke drevného prachu boli stanovené podľa vzorca uvedeného v kapitole 2.2.3.

Tab. 23 Rýchlosť šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu vybraných vzoriek dreva a príslušné časy horenia v jednotlivých meraniach pre frakciu 32µm a <32µm

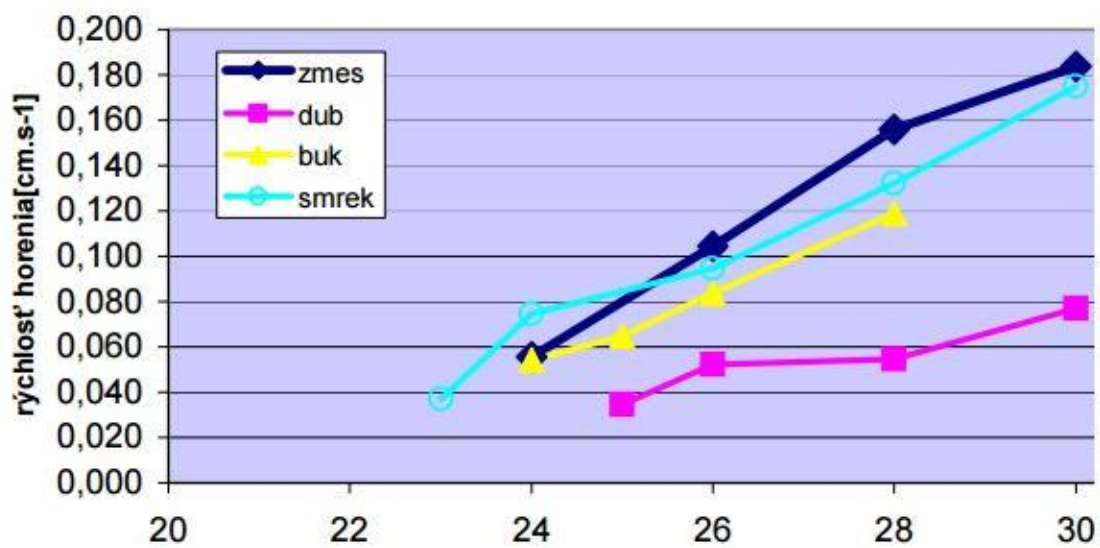
Drevný prach	Frakci			
	32µm		< 32µm	
	Čas horenia [s]	Rýchlosť horenia [cm.s ⁻¹]	Čas horenia [s]	Rýchlosť horenia [cm.s ⁻¹]
dub	2,332±0,13	4,219±0,12	3,464±0,06	2,886±0,04
buk	2,24±0,06	4,464±0,12	2,996±0,13	3,337±0,14
smrek	2,358±0,13	4,255±0,26	3,038±0,18	3,303±0,21
jedľa	2,062 ±0,17	4,884±0,42	3,04±0,1	3,293±0,11
jelša	2,412±0,14	4,160±0,25	4,001±0,15	2,499±0,09
zmes	1,636±0,13	6,151±0,49	2,454±0,15	4,090±0,25

Z nameraných hodnôt a výpočtov vyplýva, že najvyššie priemerné výsledné hodnoty rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu dosiahla vzorka prachu zmesi a to pre obidve skúmané frakcie. Nižšie priemerné výsledné rýchlosti dosiahli vzorky prachu v poradí: jedľa, buk, smrek, dub a jelša.

Všetky vzorky dosiahli nižšie priemerné hodnoty rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu pri jemnejšej frakcii (frakcia < 32µm). Vo všeobecnosti môžeme teda konštatovať, že pri menšej frakcii usadeného drevného prachu, klesá rýchlosť šírenia sa plameňa po jeho vrstve (tab. 23).

Na základe nameraných hodnôt a vypočítaných rýchlostí šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu, boli všetky vzorky prachu zatriedené (podľa tab. 15, kap. 2.2.3) do triedy nebezpečenstva I. – Prachy veľmi dobre šíriace požiar.

V podstate sa presadila metóda Stanovenie limitného kyslíkového čísla a rýchlosti šírenia plameňa (LKČ) uskutočnená podľa normy STN EN ISO 4589-2 Plasty – stanovenie horľavosti metódou kyslíkového čísla. LKČ predstavuje v zmysle tejto normy minimálnu koncentráciu kyslíka v zmesi s dusíkom, pri ktorej ešte dochádza k horeniu vzorky podľa definovaných podmienok skúšky. (Balog a Tureková, 2005, 2008). Stanovili LKČ a rýchlosti šírenia plameňa vybraných druhov drevných v horizontálnej polohe (obr.43).



Obr. 43 Priemerné rýchlosti horenia vybraných drevných prachov (Bealog a Tureková, 2005)

4.3.1 Štatistické vyhodnotenie rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu pre frakcie 32µm a frakcia menšia ako 32 µm

Porovnanie rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu sa určilo zo stanovených hodnôt testovaných druhov drevných prachov pre najpočetnejšie frakcie 32 µm a frakciu < 32 µm. Predmetom porovnávania boli nasledovné druhy drevných prachov: Dub, buk, smrek, jedľa, jelša a zmes. Pre štatistické vyhodnotenie bol použitý model dvojfaktorovej analýzy rozptylu, ktorej model môžeme zapísať vzťahom (21):

$$X_{ijp} = x + a_i + b_j + c_{ij} + e_{ijp} \quad (21)$$

kde:

x – celková priemerná rýchlosť horenia pre všetky dreviny a všetky frakcie

a_i – účinok i -tej dreviny

b_j - účinok j -tej frakcie

c_{ij} – interakcia i -tej dreviny a j -tej frakcie

e_{ijp} – náhodná odchýlka spôsobená nekontrolovanými a nekontrolovateľnými faktormi.

V tab. 24 sa nachádzajú údaje základnej analýzy rozptylu vzoriek drevného prachu a ich frakcií.

Tab. 24 Základná tabuľková analýza rozptylu

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	942,2	1	942,2	12388,0	0,000
drevina	19,6	5	3,9	51,6	0,000
frakcia	31,7	1	31,7	416,8	0,000
dr*fr	2,0	5	0,4	5,3	0,001
Error	3,7	48	0,1		

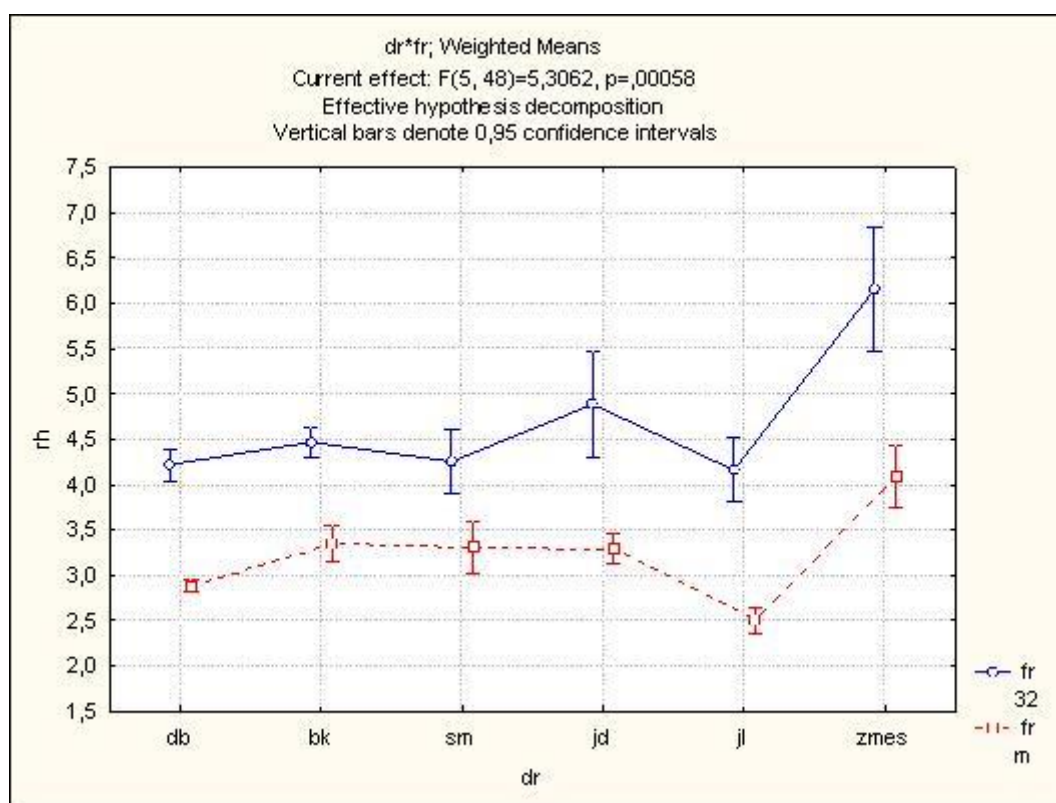
Zo základnej tabuľkovej analýzy rozptylu vyplýva, že celková priemerná hodnota rýchlosti pre všetky dreviny a všetky frakcie je štatisticky významne nenulová.

Rýchlosť horenia prachov porovnávaných drevín nie je pre všetkých päť drevín a zmes rovnaká. Vplyv frakcie je štatisticky významný a interakcia oboch údajov je tiež štatisticky významná. Rýchlosti horenia medzi frakciami nie sú pri všetkých drevinách rovnaké.

Na obr. 44 je vidieť štatistickú závislosť rýchlosti horenia jednotlivých vzoriek drevných prachov od druhu dreviny pri dvoch rôznych frakciách. Pri každej drevine je

štatisticky významný rozdiel medzi frakciami, čo sa týka rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu.

Z tab. 23 pre frakciu 32 μm vyplýva, že nie sú štatisticky významné rozdiely v rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadených prachov dubu, buka, smreku a jelše. Štatisticky významne rýchlejšie sa šíri plameň po vrstve usadeného prachu jedle a štatisticky významne najrýchlejšie sa šíri plameň po vrstve usadeného prachu zmesi. Pri jemnejšej frakcii ($< 32\mu\text{m}$), nie sú štatisticky významné rozdiely medzi bukom, smrekom a jedľou čo sa týka rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu. Dub má štatisticky významne menšiu rýchlosť šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu ako buk, smrek a jedľa. Jelša má rýchlosť šírenia sa plameňa štatisticky významne ešte menšiu.



Obr. 44 Štatistická závislosť rýchlosti horenia jednotlivých vzoriek drevných prachov od druhu dreveniny pri dvoch rôznych frakciách

Po vrstve usadeného prachu zmesi rovnako ako aj v prípade frakcie 32 μm , sa štatisticky významne šíri plameň najrýchlejšie.

Pri frakcii $< 32\mu\text{m}$ je pri všetkých drevinách rýchlosť horenia štatisticky významne vyššia.

4.4. Výsledky kalorimetrického stanovenia spalného tepla a výhrevnosti vzoriek drevného prachu

Kalorimetrické stanovenie spalného tepla a výhrevnosti bolo uskutočnené na dvoch vzorkách z každej dreveniny. Na základe sitovej analýzy bola vybraná pre potreby stanovenia najpočetnejšia frakcia a to frakcia 32 μm z každej vzorky, meranie bolo realizované (tab. 25).

Tab. 25 Priemerné výsledné hodnoty spalného tepla pre jednotlivé vzorky drevného prachu

Vzorka	Dub	Buk	Smrek	Jedľa	Jelša	Zmes
Spalné teplo (J.g^{-1})	20879,466 $\pm 490,58$	20813,732 $\pm 424,85$	20865,548 $\pm 476,66$	18820,536 $\pm 1568,35$	20565,152 $\pm 176,27$	14681,100

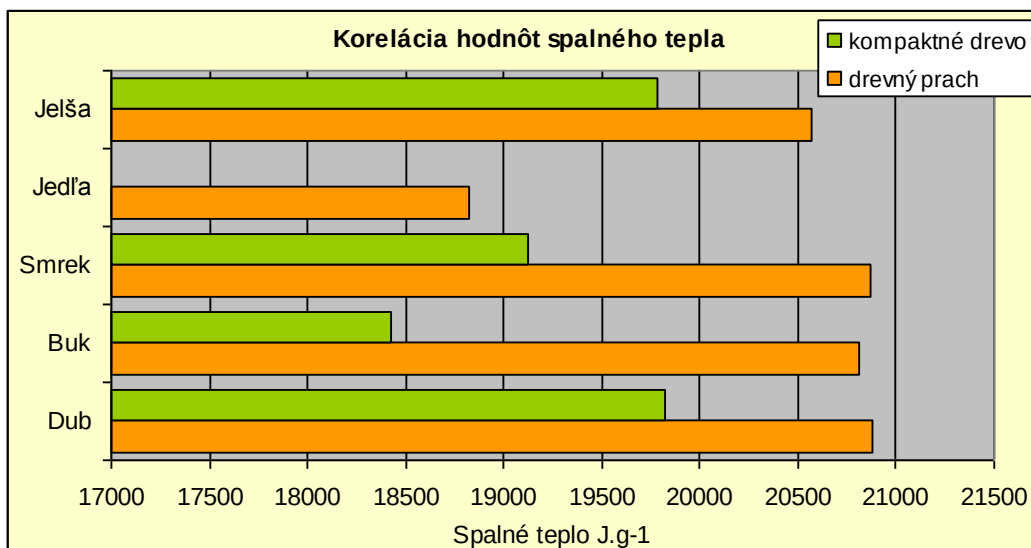
Zo vzájomného porovnania priemerných výsledných hodnôt jednotlivých vzoriek prachu (tab. 25), vyplýva, že hodnoty spalného tepla sa pre jednotlivé druhy drevín zásadne nelíšia. Porovnateľne nižšiu hodnotu spalného tepla dosiahla len vzorka zmesného drevného prachu a to 14681,100 J.g^{-1} . Najvyššiu hodnotu spalného tepla dosiahla vzorka dubu (20879,466 J.g^{-1}), ďalej v poradí smrek, buk, jelša a jedľa. Z požiarno-bezpečnostného hľadiska ide o malé rozdiely medzi nameranými hodnotami, pričom je predpoklad, že sa budú v prípade požiaru správať podobne.

Stanovením spalného tepla drevného prachu sa zaoberala Mračková (2003) a stanovením spalného tepla kompaktného dreva sa zaoberala Marková (2002), Gajtanská a Husa (2008), Guo et. al. (2014). Tab. 26 uvádza hodnoty spalného tepla prachov vybraných drevín, ktoré stanovila Mračková, hodnoty ktoré sú stanovené u vybraných vzoriek drevného prachu a hodnoty spalného tepla kompaktného dreva.

Tab. 26 Porovnanie hodnôt spalného tepla vybraných vzoriek drevín vo forme drevného prachu a dreva

Vzorky	Drevný prach		Drevo		
	Spalné teplo J.g^{-1}	Spalné teplo (Mračková, 2003) J.g^{-1}	Spalné teplo (Marková, 2002) J.g^{-1}	Spalné teplo (Oremusová, 2006) J.g^{-1}	Spalné teplo (Oremusová, 2012) J.g^{-1}
Dub	20879,46	19126,44	19822,30	19 482,47	x
Buk	20813,73	18184,21	18423,65	x	x
Smrek	20865,54	20034,43	19125,44	x	20 294,51
Jedľa	18820,53	x	x	x	x
Jelša	20565,15	x	x	19 786,24	x

Čo sa týka hodnotového rozpätia, rozdiel medzi hodnotami spalného tepla drevného prachu a dreva, rozdiel viac ako 1000 J.g^{-1} bol zaznamenaný u duba, buka a smreku.



Obr.45 Korelácia hodnôt spalného tepla vybraných vzoriek vo forme drevného prachu a kompaktného dreva

Hodnotu spalného tepla dreva smreku, ktoré uvádza Orémusová et al. (2014), sa významne nelíši s nami nameranou hodnotou spalného tepla drevného prachu. Hodnoty spalného tepla drevného prachu a dreva jelše sú porovnateľné.

Dané rozdiely môžeme považovať za relatívne malé. Daná skutočnosť vyplýva už zo samotnej podstaty stanovenia – dokonalého spálenia vzorky v atmosfére kyslíka, kde pri kompaktnom dreve sa vkladá časť vzorky vo forme jedného kusu do kalorimetrickej bomby a pri vzorke prachu sa jedná o veľké množstvo malých čiastočiek (obr. 45).

Všetky metódy zvolené pre účel výskumu jednoznačne poukazujú na charakter drevného prachu ako materiálu, ktorý so vzduchom vytvára zmes, za vhodných podmienok, schopnú iniciácie.

ZÁVER

Cieľom predloženej vedeckej monografie je prezentovať databázu informácií charakterizujúcich drevný prach z pohľadu bezpečnosti obsluhujúceho personálu, bezpečnosti drevárskej prevádzky a bezpečnosti pracovného a životného prostredia. Monografia prezentuje obsiahly súbor dát týkajúcich sa drevných prachov získaných experimentálnymi meraniami v rámci domácich a zahraničných literárnych zdrojov a zároveň prezentuje výsledky vlastných meraní požiaro-technických charakteristík vybraných drevných prachov. Výsledkom je súbor informácií pre využitie v realizácii protipožiarnej ochrany v drevospracujúcich prevádzkach, v procese konštrukcie technologických celkov a tak isto aj v prevádzkach už používaných technológií.

V úvodných kapitolách monografia definuje prach, prašnosť, klasifikuje prach z rôznych hľadísk, charakterizuje vlastnosti tuhých častíc ako sú veľkosť a tvar, súdržnosť, sypná hustota, vlhkosť, abrazívnosť, zlepovanie, tvrdnutie a vytváranie alebo viazanie statickej elektriny, popisuje chemické vlastnosti drevných prachov najmä disperziu, chemickú aktivitu a elektrický náboj, klasifikuje drevný prach z pohľadu jeho biologickej účinnosti na ľudský organizmus.

Ďalšia kapitola je komplexným zhrnutím problematiky horľavosti drevných prachov, sú v nej popísané princípy procesu horenia a základy teórie horenia tuhých látok, horenie prašných zmesí a nebezpečenstvo vzniku požiaru usadených prachov, sú definované požiaro-technické charakteristiky prachov. Táto časť tvorí prierez dostupnými informáciami ohľadom prašných zmesí a drevného prachu v súvislosti s ochranou pred požiarom a je dôležitým základom pre nasledujúce metodologické postupy a experimentálne riešenia.

Jadrom vedeckej monografie je hodnotenie rizika drevných prachov najmä v pracovnom prostredí. Z množstva existujúcich metód boli vybrané pre hodnotenie požiaro-technických charakteristík drevných prachov tieto: gravimetrické stanovenie vlhkosti vzoriek drevného prachu, sitová analýza, stanovenie rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu (RO test) pre jednotlivé druhy drevných prachov, kalorimetrické stanovenie spalného tepla a výhrevnosti pre jednotlivé druhy drevných prachov podľa STN 44 1352, sledovanie termickej degradácie vybraných vzoriek drevného prachu termogravimetrickou metódou podľa STN EN ISO 11358. Na základe sitovej analýzy boli stanovené hmotnostné a percentuálne podiely pre

jednotlivé druhy drevených prachov získaných z procesu brúsenia. Výsledky sitovej analýzy boli vyhodnotené pomocou jednofaktorovej analýzy rozptylu. Na základe výsledkov sitovej analýzy, dve najpočetnejšie frakcie 32 a frakcia < 32 μm boli použité pre stanovenie rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu (RO test) pre jednotlivé druhy drevených prachov (dub, buk, smrek, jedľa, jelša a zmes). Pre všetky vzorky drevených prachov bol nameraný čas šírenia sa plameňa a z toho vypočítaná rýchlosť šírenia sa plameňa po vrstve usadeného prachu. Výsledky RO testu boli štatisticky vyhodnotené použitím modelu dvojfaktorovej analýzy rozptylu. Z analýzy vyplynulo, že pre frakciu 32 μm nie sú štatisticky významné rozdiely v rýchlosti šírenia sa plameňa po vrstve usadených prachov dubu, buka, smreku a jelše. Štatisticky významne rýchlejšie sa šíri plameň po vrstve usadeného prachu jedle ($64,849 \text{ cm.s}^{-1}$ pre frakciu 32 μm). a štatisticky významne najrýchlejšie sa šíri plameň po vrstve usadeného prachu zmesi ($6,112 \text{ cm.s}^{-1}$ pre frakciu 32 μm). Zaujímavý výsledok sa získal pri vzorke prachu duba, ktorého rýchlosť šírenia plameňa po jeho vrstve usadeného prachu predstavovala $2,886 \text{ cm.s}^{-1}$ pre vzorku < 32 μm .

Kalorimetrické stanovenie spalného tepla a výhrevnosti podľa STN ISO 1928, bolo uskutočnené na najpočetnejšej frakcii a to frakcii 32 μm pre všetky vzorky drevených prachov. Z nameraných výsledkov možno konštatovať, že najvyššiu priemernú hodnotu spalného tepla dosiahla vzorka dreveného prachu dubu (20,88 MJ). To znamená, že drevený prach duba uvoľňuje najväčšie množstvo tepla pri horení. Priemerné hodnoty spalného tepla sú výrazne porovnateľné pre dub, buk, smrek, jelšu. Výrazne najnižšiu hodnotu spalného tepla dosiahla vzorka dreveného prachu zmesi (14,68 MJ).

Drevený prach opodstatnene predstavuje škodlivý faktor v životnom a pracovnom prostredí. Výsledky dokazujú dominantný podiel frakcií dreveného prachu pod 100 μm , avšak viac ako 50% sú to podiely okolo a pod 32 μm . V uvedenej forme vytvára drevený prach dokonalý disperzný systém jemných častočiek vo vzduchu, ktoré sa nazývajú prachovzdušné zmesi a majú špecifické správanie najmä z hľadiska hodnotenia rizika vzniku požiaru alebo výbuchu ale aj rizika poškodenia ľudského zdravia. Získané výsledky budú slúžiť ako podklad na tvorbu matematických modelov za účelom vytvárania krízových scénarov pri posudzovaní rizika v životnom a pracovnom prostredí.

Literatúra

- ÁGHOVÁ, Ľ. 1993. *Hygiena*. Banská Bystrica: Osveta. 1993. ISBN 80-217-0515-9.
- Air sampling. SW Testing Services Ltd. [online], [cit: 2013-07-01], <http://www.swtestingltd.co.uk/airsampling.html>
- ALFREDSEN, G., BADER, T., DIBDIAKOVA, J., FILBAKK, T., BOLLMUS, S., HOFSTETTER, K. 2011. *Thermogravimetric analysis for wood decay characterisation*. European Journal of Wood and Wood Products, Vol: 70 (4) pp: 527-530
- AMYOTTE, P. (2013). *An Introduction to Dust Explosions: Understanding the Myths and Realities of Dust Explosions for a Safer Workplace*. An Introduction to Dust Explosions: Understanding the Myths and Realities of Dust Explosions for a Safer Workplace. Elsevier Inc. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84899749632-&partnerID=tZOtx3y1>.
- AMYOTTE, P. R., ECKHOFF, R. K. 2010. *Dust explosion causation, prevention and mitigation: An overview*. Journal of Chemical Health and Safety, 17(1), 15–28. <http://doi.org/10.1016/j.jchas.2009.05.002>.
- BABRAUSKAS, V., GRAYSON, S. 1993. *Heat Released in Fires*. ESP England 1993, 664 s.
- BALOG, K. 1999. *Samovznietenie*. Ostrava : EDICE SPBI SPEKTRUM, 133 s. ISBN: 80-86111-43-1.
- BALOG, K. 2002. *Tepelné samozahrievanie a samovznietenie materiálov*. In Arpos, 2002, ročník III, č.1, s. 4-8.
- BALOG, K., TUREKOVÁ, I. 2005. Požiarnotechnické charakteristiky drevných prachov. In Chemické spracovanie dreva. Zvolen: TU vo Zvolene, 2005 s. 45-46.
- BALOG, K., TUREKOVÁ, I. 2008. *Riziká prachu v pracovnom prostredí*. In Spektrum, 2008, ročník: 8, č.1, ISSN: 1211-6920, S. 45-46.
- BALOG, K., MARTINKA, J., CHREBET, T., HRUŠOVSKÝ, I., HIRLE, S. 2014. *Zápalnosť materiálov a forénzny prístup pri zisťovaní príčin požiarov*. In: XXIII. mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství ExFoS - Expert Forensic Science, Brno 2014, s. 36-20.
- BANSKI, A., VACEK, V., KUČERKA, M., 2006: *Stanovenie hmotnosti jemnej frakcie v suchej smrekovej piline – technickým výpočtom*. In.: 5. MVK Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2006, Starý Smokovec, 12.-14.10.2006, ISBN 80-228-1674-4

- BANSKI, A., DZURENDA, L. 2014. *Hustota a sypná hmotnosť eneregetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovaných porastov rýchlorastúcich drevín*. ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE ZVOLEN, 56(2): 17–26.
- BARAN S., TEUL I. 2007. *Wood dust: an occupational hazard which increases the risk of respiratory. disease*. Journal of Physiology and Pharmacology 58 [5]: 43–50
- BARCÍK, Š., PIVOLUSKOVÁ, E., KMINIAK, R. 2008. *Granulometrická analýza triesky z rovinného frézovania topoľového dreva*. In: TRIESKOVÉ A BEZTRIESKOVÉ OBRÁBANIE DREVA 2008, 11. - 13. 9. 2008, Vysoké Tatry, s. 39-44.
- BARDON, M. F., FLETCHER, D. E. 1983. *Dust explosions*. Science Progress, 1983, 68(1): 459–473.
- BARTLOVÁ, I., DAMEC, J. 2002. *Prevencia technologických zariadení*. Ostrava: Edice SPBI SPEKTRUM 30, 2002, 112 s. ISBN 80-86634-10-8.
- BELJAKOVÁ, A. OČKAJOVÁ, A. JOBBÁGY J., 2009. *Zisťovanie minimálnej teploty vznietenia bukového prachu v závislosti na modeli brúsenia*. Acta universitatis matthiae belii. Ser.: TECHNICKÁ VÝCHOVA No 9. Banská Bystrica: Fakulta prírodných vied, Katedra techniky a technológií, Univerzita Mateja Bela, s. 36-43.
- BUCHANCOVÁ, J. a kol. 2003. *Pracovné lekárstvo a toxikológia*. Martin: Osveta, 2003
- CONEVA I. 2004. *Nebezpečenstvo vzniku požiaru a výbuchu drevného prachu*. In: Wood and Fire Safety. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004, s. 25-32. ISBN 80-228-1321-4.
- DAMEC, J. 1995. *Směrnice pro posuzování požárního nebezpečí prашných provozů a zařízení v nichž se vyskytují hořlavé prachy*. 1995, Ostrava, 22 s.
- DAMEC, J. 1998. *Protivýbuchová prevence*. Ostrava: SPBI, 1998, 170 S. ISBN 80-86111-21-0
- DAMEC, J. 1999. *Protivýbuchová prevence v potravinářství a zemědělství*. Ostrava : EDICE SPBI SPEKTRUM, 252 s. ISBN : 80-86111-41-5.
- DAMEC, J., FONIOK, R., HANUŠ, A. 1989. *Predpoved' nebezpečia požiaru a výbuchu drevných prachov*, In: Požiarna bezpečnosť v drevospracujúcom priemysle. Bratislava: Dom techniky ČSVTS, 1989.
- DAMEC, J. VĚŽNÍKOVÁ, H., FONIOK, R., FONIOKOVÁ, J. 1999. *Protivýbuchová prevencia v potravinářstve a poľnohospodárstve*. Ostrava : SPBI Ostrava 1999, 155s. ISBN 80-86111-41-5.
- DIAGNOSTIKA PROSTREDIA [online], [cit: 2008-05-02], Diagnostika prostredia a technických zariadení, <http://www.sstp.sk/Diagnostika%20prostredia.htm>

- DUŠÁTKO, A. 2011. *Vlastnosti, charakteristiky a rizikové vlivy sypkých hmot*. [on-line]. Příručka Bezpečnost a ochrana zdraví při práci v praxi. [cit. 2016-11-10]. Dostupné na internete: http://www.bozpprofi.cz/33/vlastnosti-charakteristiky-a-rizikove-vlivy-sypkych-hmot-uniqueidgOkE4NvrWuOKaQDKuox_ZxGyFsCQafHdPYZvgfCKgyM/
- DZURENDA, L. 2002. *Vzduchotechnická doprava a separácia dezintegrovanej drevnej Hmoty*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2002. 118 s. ISBN 80-228-1212-9.
- DZURENDA, L. 2007. *Sypká drevná hmota, vzduchotechnická doprava a odlučovanie*. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2007, 182 s. ISBN 978-80-228-1765-3.
- DZURENDA, L. 2009. *Štruktúra zrnitosti a podiel izometrických triesok v mokrej piline z procesov pílenia dreva na hlavných piliarskych strojoch*. Acta Facultatis Xylogiae Zvolen, 2009, 51(1): 55–66.
- DZURENDA, L., ORLOWSKI, K. A., GRZEŚKIEWICZ, M. 2010. *Effect of thermal modification of oak wood on sawdust granularity*. Drvna industrija, 2010, 61(2): 89–94.
- DZURENDA, L., ORLOWSKI, K. A. 2011. *The effect of thermal modification of ash wood on granularity and homogeneity of sawdust in the sawing process on a sash gang saw prw 15-M in view of its technological usefulness*. Drewno 54 (186): 27–37.
- ECKHOFF, R. K. 1997. *"Dust Explosion in the Process Industries"*. 2nd Edition, Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford.
- ECKHOFF, R. K. 2003. *Dust explosions in the process industries*. Boston: Gulf Professional Publishing, 2003. 719 s. ISBN 978-0750676021.
- ECKHOFF, R. K. 2012. *Does the dust explosion risk increase when moving from μ m-particle powders to powders of nm-particles?* Journal of Loss Prevention in the Process Industries Volume 25, Issue 3, May 2012, Pages 448–459
- FREW, I., WYPYCH P.W., MAR, L. 2013. Different modes of dust testing for bulk solids. [on-line]. 11th International Congress on Bulk Materials Storage, Handling and Transportation 2-4 July 2013. The University of Newcastle. Dostupné na internete: <http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=2949&context=eisapers>
- GAJTANSKÁ, M., HUSA, P. 2008. Stanovenie spalného tepla a výhrevnosti drevných peliet. In: Composite wood materials. Zvolen: TU vo Zvolene, 2008, s. 243-247. Dostupné na internete: library.envifor.eu:8282/greenstone/collect/PDF/SK_000200.pdf
- GARCÍA, T. J., RAMÍREZ-GÓMEZ, Á., FERNANDEZ-ANEZ, N., MEDIC, P. L., TASCÓN, A. ET. AL. 2016. *Influence of the composition of solid biomass in the*

- flammability and susceptibility to spontaneous combustion*. Fuel [184]: 503-511. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.07.045
- GARCÍA, T. J., MEDIC, P. L., QUEROL E. A. 2004. *A self-combustion characterisation index based in thermogravimetric and differential scanning calorimetry techniques*. Presented at the V international symposium on hazards, prevention and mitigation of industrial explosions, Cracow (Poland)
- GUO, W., TRISCHUK, K., BI, CH., LIMA, C.J., SOKHANSANJ, S. 2014. *Measurements of wood pellets self-heating kinetic parameters using isothermal calorimetry*. Biomass and Bioenergy. Volume 63, April 2014, Pages 1–9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.02.022>
- HATINA, T., KORDOŠOVÁ, M., MATULOVÁ, S., PERICHTOVÁ, B. ŠKVARKOVÁ, V. 2006. *Terminologický slovník bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci*. Inštitút pre výskum práce a rodiny. Bratislava, 2006 (nepublikované)
- HEJMA, J., BUDINSKÝ, K., VÁVRA, A., DRKAL, F. 1981. *Vzduchotechnika v dřevozpracovávajícím průmyslu*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 385 s. ISBN 04-829-81.
- HLÁSKOVÁ, L., ROGOZIŃSKI, S., DOLNY, Z., KOPECKÝ, M., JEDINÁK, M. 2015. *Content of Respirable and Inhalable Fractions in Dust Created While Sawing Beech wood and its modification*. Drewno 2015, Vol. 58, No. 194. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.096.11. Dostupné na internete: drewno-wood.pl/pobierz-196.
- HORÁK, M. 1996. *Technika ochrany ovzdušia*. Bratislava: ES STU, 1996, 148 s.
- HORBAJ, P. et al. 2011. *Niekoľko poznámok k biomase (1)*. idb journal, 6/2011, s. 36-37.
- HORVÁTH, J. BALOG, K. 2013. *Teplota vznietenia usadeného a rozvíreného prachu z priemyselne vyrábaných drevených peliet*. Zborník z XIII. medzinárodnej vedeckej konferencie, 18. - 19. apríl 2013, Bratislava Proceedings of the 13rd International Conference, Bratislava, April 18-19, 2013. Žilina: Strix. Edícia ESE-14, 1. vyd., ISBN 978-80-89281-90-9 ■ Rusko, M. [Ed.] s. 101-105.
- CHEREMISINOFF, N., P. 2000. *Handbook of Hazardous Chemical Properties*. 2000, 380s. ISBN 0-7506-7209-9.
- IARC 2010. MONOGRPH 100 C, Chapter WOOD DUST. [on-line] [cit. 2016-11-10] Dostupné na internete: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol100C/mono100C-15.pdf>
- IUPAC. *Glossary of atmospheric chemistry terms*. International Union of Pure and Applied Chemistry, Applied Chemistry Division, Commission on Atmospheric Chemistry. Pure and Applied Chemistry, 1990, 62 (11)

- JANTO, D., BALOG, K. 1998. *Teória a prax požiarnej ochrany*. II. diel. Bratislava: APZ v Bratislave, Bratislava 1998, 99 s.
- JENKINS, B., BAXTER, L., MILES, T. 1998. *Combustion properties of biomass*. Fuel Processing Technology 1998 vol: 54 pp: 17-46.
- JESENÁK, K. 2008. *Analýza veľkosti častíc*. Bratislava: UNIBA, 2008, 150 s.
- JOBÁGYOVÁ, A. 2008. *Vplyv dreviny na vlastnosti drevného brúsneho prachu*. Dizertačná práca. Zvolen: TU, 2008 (nepublikované)
- JONES J SADDAWI A DOOLEY B MITCHELL E WERNER J ET. AL. 2015. *Low temperature ignition of biomass*. Fuel Processing Technology. 2015 vol: 134 pp: 372-377.
- JOSEPH, G. 2007. *Combustible dusts: A serious industrial hazard*. Journal of hazardous materials, 2007, 142, 3, p. 589–591. ISSN 0304-3894
- KAČÍK, F. GIERTLOVÁ, Z. MARKOVÁ, I. OSVALD, A. ČUNDERLÍK, I. 2001. *Chemische und mikrostrukturelle Veränderungen des Holzes infolge Brandbelastung*. Buchverlag. I. vydanie. München : Vydavateľstvo Buchverlag Gräfelfing München, 2001, 136 s. ISBN 3-930084-92-9.
- KAČÍKOVÁ, D., MAKOVICKÁ-OSVALDOVÁ, L.: 2009. *Rýchlosť odhorievania dreva z rôznych častí stromu vybraných ihličnatých drevín*. Acta Facultatis Xylologiae, 2009, 51, 1 s. 27–32. ISSN 1336-3824
- KALOUSEK, J. 1999. *Základy fyzikálnej chémie horenia, výbuchu a hasenia*. Ostrava: Edícia SPBI Spektrum, 1999, 180 s. ISBN 80-86111-34-2.
- KASALOVÁ, I., BALOG, K. 2010. *Minimum ignition temperatures of wood dust clouds determined by planned experiment*. In Fire engineering, Zvolen, 5th– 6th October 2010. Zvolen: Bratia Sabovci, 2010, p. 119 – 126. ISBN 978-80-89241-38-8.
- KELEMEN, M., MAŤAŠOVSKÁ, T. 2004. *Meranie koncentrácie prachu v prostredí*. Automa, 2004, No.12.
- KONCZ, I. 1977. *Odstraňovanie a odlučovanie prachu*. Bratislava: ALFA, 1977.
- KOVSHOV, S., NIKULIN, A., KOVSHOV, V., MRAČKOVÁ, E. 2015. *Application of Equipment for Aerological Researching of Characteristics of Wood Dust*. ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE ZVOLEN, 57(1): 111–118.
- KRENTOWSKI, J. 2015. *Disaster of an industrial hall caused by an explosion of wood dust and fire*. Engineering Failure Analysis, [56]: 403–411. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.12.015>.

- KUČERKA M. 2008. *Metodika pre sitovú analýzu piliny z procesov pílenia dreva*. In: Treiskové a beztrieskové obrábanie dreva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2006, s. 155-159. Dostupné na internete: http://www.tuzvo.sk/files/DF/katedry_df-/kod/konferencia/2008/kucerka.pdf
- KUČERKA M. 2012. *Meranie niektorých vybraných fyzikálnych vlastností dezintegrovanej drevnej hmoty*. Acta universitatis matthiae belii. Ser.: TECHNICKÁ VÝCHOVA No 12. Banská Bystrica: Fakulta prírodných vied, Katedra techniky a technológií, Univerzita Mateja Bela, s. 30-39. Dostupné na internete: <file:///C:/Users/DELL/Downloads/ACTA%202012.pdf>
- KUČERKA M. 2014. *Analýza frakcií piliny vzniknutej pri procesoch pílenia dreva*. Acta universitatis matthiae belii. Ser.: TECHNICKÁ VÝCHOVA No 14. Banská Bystrica: Fakulta prírodných vied, Katedra techniky a technológií, Univerzita Mateja Bela, s. 36-43.
- KUČERKA, M., ŠUSTEK, J. 2006: *Spracovanie a vyhodnotenie údajov sitovej analýzy v programe Excel 2000*. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2006. V. MVK, Tatry 2006, Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene. 2006, ISBN 80-228-1674-4, 179 – 184.
- LAZAROS, T., ÖSTMAN, B. 2002. *Reaction to fire performance of wood and other building products*. [on-line] Date Accessed: [cit. 2017-04-02. URLS: www.diva-portal.org/smash/get/diva2:9282/FULLTEXT01.pdf
- LEPÍK, P., HAVELKOVÁ, J. SERAFÍN, J. 2014. *Vliv rozvířovacího tlaku na maximální výbušové parametry prachu*. In Požární ochrana 2014. Ostrava: SPBI, 2014, s. 52.
- LONGAUER, J., DZURENDA, L. 2006. *Granulometrická analýza suchej smrekovej piliny odsávanej od rámovej píly CLASIC 150/200 a možnosti jej efektívnej separácie*.
- LONGAUER, J. – SUJOVÁ, E., 2002. *Vybrané vlastnosti tuhých častí*. Vedecké štúdie 9/2000/A, TU vo Zvolene, 2001, ISBN 80-228-1022-3, 66s. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2006, 12. - 14. 10 2006, Vysoké Tatry, s. 185 – 190.
- LYON, E.R., WALTERS, R.N., STOLIAROV, S.I. 2007. *Thermal analysis of flammability*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 89 (2) pp: 441-448. DOI: 10.1007/s10973-006-8257-z.
- MACH, P. 2016. *Zákerný prach*. [online]. Rezbárstvo. [cit: 2013-10-10]. Dostupné na internete: http://www.rezbarstvo.sk/index.php?option=com_content&task=view&id=119&Itemid=1
- MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ, L., OSVALD, A. 2015. *Reakcia dreva vybraných listnatých drevín na sálavé teplo*. In: Recenzovaný zborník vedeckých príspevkov

- TEPLO - OHEŇ – MATERIÁLY, TU vo Zvolene, 2015, s. 107-115. ISBN 978-80-228-2825-3
- MARKOVÁ, I. 2001. *Chemické zmeny smrekového dreva v procese horenia*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Vedecké štúdie 1/1998/B.
- MARKOVÁ, I. 2002. *Termická analýza vybraných druhov drevín*. In: *International symposium „Selected processes in the wood processing“*. Zvolen: TUZVO. 2002. str. 13 – 20.
- MARKOVÁ, I. 2006. *Vybrané kapitoly z procesov horenia – učebné texty pre Voľný ročník študijného programu „Hasičské a záchranárske služby“*. I. vydanie. Zvolen : ES TU Zvolen, 2006, 100 s. ISBN 80-228-1527-6
- MARKOVÁ, I., VLADÁROVÁ, M., FILIPI, B. 2007. *Sledovanie správania sa usadeného drevného prachu duba pri jeho teplotnom zaťažení*. In *Požární ochrana*, Ostrava, 12.–13. září 2007. Ostrava: SPBI, 2007, s. 322–332. ISBN 978-80-7385-009-8
- MARKOVÁ, I. a kol. 2011. *Ochrana osôb a majetku*. Vysokoškolská učebnica pre bakalársky študijný program Ochrana osôb a majetku. vedecký redaktor: Mikuláš Siklienka. - I. vydanie. - Zvolen : ES TU Zvolen, 2011, 360 s. ISBN 978-80-228-2329-6
- MARKOVÁ, I., RÉH, R., ORÉMUSOVÁ, E., MRAČKOVÁ, E. 2012. *Evaluation of the combustion heat of selected types of biomass by calorimetric method under adiabatic conditions*. In *Book of abstracts: 1st Central and Eastern European conference on thermal analysis and calorimetry*, 7-10 September 2011, Craiova, Romania. Craiova: 2011, s. 178. ISBN 978-606-11-1893-9.
- MARKOVÁ, I., MRAČKOVÁ, E., 2015. In *Wood and Fire Safety (E-book)*. *Proceedings of the 8th international scientific conference*. Žilina: Žilinská univerzita, 2016. s. 221--227. ISBN 978-80-554-1201-6.
- MARKOVÁ, I., MRAČKOVÁ, E., OČKAJOVÁ, A., JADOMERSKÝ, J. 2016. *Granulomerty of selectes wood dust species of duat from orbital sanders*. *Wood Research*. 61 (6): 2016, 983-992.
- MARTINKA, J., BALOG, K., TUREKOVÁ, I. 2011. *Vplyv teploty na indukčnú periódu vznietenia dubového dreva*. In: *Bezpečnosť kvalita spoľahlivosť: 5. Medzinárodná vedecká konferencia*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2011, s.160-165, ISBN 978-80-553-06112-4
- MARTINKA, J., RANTUCH, P. 2013. *Posúdenie vplyvu veľkosti častíc dubového dreva na teplotu vznietennia rozvíreného prachu*. *ACTA FACULTATIS TECHNICAЕ*, XVIII, 2013 (2): 75–82.
- MARTINKA, J., HRONCOVÁ, E., CHREBET, T., BALOG, K. 2013. *Posúdenie požiarneho rizika termicky modifikovaného smrekového dreva*. *Axta Facultatis Xylologiae Zvolen*, Vol: 55 (2): 117-128.

- MARTINKA, J., KAČÍKOVÁ, D., RANTUCH, P. BALOG, K. 2014. *Vplyv termickej modifikácie smrekového dreva na teplotu vznietenia rozvíreného drevného prachu*. Axta Facultatis Xylogologiae Zvolen, Vol: 56 (1): 87-95.
- MEDEK, J. 1985. *Mechanické pochody*. Praha: SNTL Praha, 1985
- Meranie prašnosti v reálnom čase. [online], [cit: 2013-10-10]. Dostupné na internete: http://www.chromspec.sk/products_1/microdust.htm
- MITTAL, M., GUHA, B. K. 1996. *Study of ignition temperature of a polyethylene dust cloud*. *Fire and Materials*, 1996, 20(2): 97–105.
- MITTAL, M., GUHA, B. K. 1997. *Minimum ignition temperature of polyethylene dust: a theoretical model*. *Fire and Materials*, 1997, 21(4): 169–177.
- MRAČKOVÁ, E. 1998. *Výbuchy horľavých prachov a sledovanie účinkov drevného prachu z hľadiska jeho karcinogenity*. In: Acta facultatis xylogologiae, Zvolen, 1998, ISBN 80-228-0810-5
- MRAČKOVÁ, E. 2001. *Negatívne charakteristiky drevného prachu prejavujúce sa v pracovnom prostredí*. In: Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese. MVK. Zvolen: TU, 2001.
- MRAČKOVÁ, E. 2006. *Výbušnosť drevného prachu (smrek, buk, dub, topol, drevotriesková doska)*. Monografia. Zvolen: Edičné stredisko Technickej univerzity vo Zvolene 2006, ISBN 80-228-1698-1, 93 s.
- MRAČKOVÁ, E. 2014. *Stanovenie dolnej medze výbušnosti drevných prachov čerešne a borovice vo výbuchovej komore VK 100*. In Požární ochrana 2014. Ostrava: SPBI, 2014, s. 63.
- MRAČKOVÁ, E., MARKOVÁ, I. 2003. *Microscopic analysis of spruce wood, beech wood and particle board - wood dust*. In: WPP - Chemical Technology - Wood Pulp Paper (natural - renewable - biocompatible). Slovenská národná knižnica. Bratislava, 2003, s. 263-268. (podiel 50 %) ISBN 80-227-1942-0.
- MRAČKOVÁ, E., 2004. *Microscopic analysis of spruce and beech wood dust*. Ochrana przed korozja 5s/A/ 2004. SIGMA-NOT Spolka z o. o. PL ISSN 0473-7733
- MRAČKOVÁ, E., MILANKO, V., 2016. *Characteristics of wood particulates as a function of safety parameters*. Publisher: CRC Press/Balkema, 2016 pp: 487-490.
- MRAČKOVÁ, E., ORÉMUSOVÁ, E. 2016. *Determination of selected fire-technical characteristics of wood dust*. In Wood & fire safety: proceedings of the 8th international scientific conference. Žilina: Žilinská univerzita, 2016. s. 221--227. ISBN 978-80-554-1201-6.
- MRAČKOVÁ, E., TUREKOVÁ, I. 2016 *The dimensional characteristics of the particles of wood dust of selected deciduous trees considering to explosion*.

Publisher: Trans Tech Publications Ltd. [688]: 182-189. DOI 10.4028/www.scientific.net/KEM.688.182.

MRAČKOVÁ, E., KRIŠŤÁK, L., KUČERKA, M., GAFF, M., & GAJTANSKA, M. 2016. *Creation of Wood Dust during Wood Processing: Size Analysis, Dust Separation, and Occupational Health*. Retrieved November 19, 2015, from https://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_11-/BioRes_11_1_209_Mrackova_KKGG_Creation_Wood_Dust_Size_Health_7987.pdf

Nariadenie vlády SR č. 471/2011 Z.z., ktorým sa mení a dopĺňa NV SR č. 355/2006 Z.z. o ochrane zamestnancov pre rizikami súvisiacimi s expozíciou chemickým faktorom pri práci v znení NV SR č. 300/2007 Z.z.

Nariadenie vlády SR č. 301/2007 ktorým sa mení NV SR č. 356/2006 Z.z. o ochrane zdravia zamestnancov pre rizikami súvisiacimi s expozíciou karcinogénnym a mutagénnym faktorom pri práci

OČKAJOVÁ, A. 2012. *Prašnosť v drevárskej prevádzke a jej možná redukcia*. Acta universitatis matthiae belii. Ser.: TECHNICKÁ VÝCHOVA No 12. Banská Bystrica: Fakulta prírodných vied, Katedra techniky a technológií, Univerzita Mateja Bela, s. 67-73. Dostupné na internete: <file:///C:/Users/DELL/Downloads/ACTA%202012.pdf>

OČKAJOVÁ, A., et al. 2016. *Wear of sanding belts*. BioRecourses 1(2):5242-5254

OČKAJOVÁ, A., MARKOVÁ, I. 2016. *Particular size analysis of selected wood dust species particles generated in the wood working environment*. ActaUMBSEM, XVIII. (2): 24-31

OČKAJOVÁ, A., BANSKI, A. 2013. *Granulometria drevného brúsneho prachu z úzko-pásovej brúsky*. Acta Facultatis Xylologiae, 55 (1): 85–90.

OČKAJOVÁ, A., BELJO LUČIĆ, R., ČAVLOVIĆ, A., TEREŇOVA, J. 2006. Reduction of dustiness in sawing wood by universal circular saw. Drvna Industrija, vol: 57 (3) pp: 119-126. ISSN 0012-6772.

OČKAJOVÁ, A., STEBILA, J., RYBAKOWSKI, M., ROGOZINSKI, T., KRIŠŤÁK, L., & L'UPTÁKOVÁ, J. 2014. *The Granularity of Dust Particles when Sanding Wood and Wood-Based Materials*. Advanced Materials Research, 1001, 432–437. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1001.432>.

ORÉMUSOVÁ, E. 2006. *Termická analýza drevín buk a smrek*. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2006, Vysoké Tatry 12. - 14. 10. 2006, s 361-364.

ORÉMUSOVÁ, E. 2016. *Termická analýza vybraných čalúnnických materiálov*. Monografia. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2016. 79s. ISBN 978-80-228-2857-4.

- ORÉMUSOVÁ, E., TEREŇOVÁ, Ľ., RÉH, R. 2014. *Evaluation of the gross and net calorific value of the selected wood species*. In *Advanced materials research*. 2014. zv. Vol. 1001 (2014), s. 292--299. ISSN 1022-6680.
- ORLÍKOVÁ, K., ŠTROCH, P. 1999. *Chémia procesov horenia*. Ostrava: SPBI Ostrava 1999, 95 s. ISBN 80-86111-39-3.
- PARTICLE SIZE DETERMINATION. Particle Analytical [online], [cit: 2013-03-05], <http://particle.dk/our-services-analytical-laboratory/particle-size-determination/>
- PASTIER, M., TUREKOVÁ, I., TURŇOVÁ, Z., HARANGOZÓ, J. 2013. *Minimum ignition temperature of wood dust layers*. Vol. 21: 127-131. DOI: 10.2478/rput-2013-0021
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABJAK, M. 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. Bratislava, 1997, 350 s. ISBN 80-07-00960-4.
- RAGAN, B., KAČÍKOVÁ, D., PAULDURO, M. 2015. Porovnanie termickej stability a rozkladu smrekového, smrekovcového a bukového dreva metódou TG, DTG A DSC. In: *Recenzovaný zborník vedeckých príspevkov TEPLA - OHĚŇ – MATERIÁLY*, TU vo Zvolene, 2015. ISBN 978-80-228-2825-3
- Respirable Dust Aluminum Cyclone Specified in NIOSH Respirable dust Methods [online], [cit: 2013-06-17], Dust Sampling: The SKC Aluminum Respirable Dust Cyclone, <http://www.skcinc.com/prod/225-01-01.asp>
- ROGOZIŃSKI, T., OČKAJOVA A. 2013. *Comparison of two methods for granularity determination of wood dust particles*. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – Forestry and Wood Technology* 81: 197–202.
- ROCKWELL, S. R., RANGWALA, A. S. 2013. *Modeling of dust air flames*. *Fire Safety Journal*, 2013, 59(1): 22–29.
- ROHR, A. C., CAMPLEMAN, S. L., LONG, C. M., PETERSON, M. K., WEATHERSTONE, S., QUICK, W., & LEWIS, A. 2015. *Potential Occupational Exposures and Health Risks Associated with Biomass-Based Power Generation*. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (7): 8542–605. DOI: <http://doi.org/10.3390/ijerph120708542>
- RONČKA, J., OČKAJOVÁ, A. 2006. *Granulometrická analýzy drevného brúsneho prachu sitovaním*. In: *Treiskové a beztrieskové obrábanie dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2006, s. 247-252.
- SAAD A. EL-SAYED, AHMAN M. ABDEL-LATIF. 2000. *Smoldering combustion of dust hot surface*. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. Vol 13(2000):509-517
- SAEJIW, N., CHAIEAR, N., SADHRA S. 2011. *Exposure to wood dust and its particle size distribution in a rubberwood sawmill in Thailand*. *J Occup Environ Hyg*. 2009 Aug;6(8):483-90. doi: 10.1080/15459620902967065.

- SERBOUSEK, A. 1992. *Přístrojová technika pro měření čistoty ovzduší*. Ostrava: FS VŠB, 1992.
- SCHWARZ, M., DADO, M., HNILICA, R. 2009. *Pracovné prostredie a technika prostredia. 1. Časť*. Zvolen: ES TU vo Zvolene, 2009, 230 s.
- SINAY, J. 2011. *Bezpečná technika, bezpečné pracoviská – atribúty prosperujúcej spoločnosti*. Košice : TU v Košiciach, 2011, 264 s. ISBN 978-80-553-0750-3.
- SLOSIARIK, J. 2006. *Lineárna rýchlosť šírenia plameňa po vrstve usadených organických prachov*. Vedecká štúdia. Zvolen: TU vo Zvolene, 2006, 118 s. ISBN 80-228-1524-1.
- STN ISO 871: 1999. Plasty. Stanovenie zápalnosti v teplovzdušnej peci, tzv. Setchinov test.
- STN EN ISO 11358 (64 0747) 2000. Plasty. Termogravimetria (TG). Všeobecné princípy.
- STN ISO 1928: 2003. Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti.
- STN 26 0070: 1995. Klasifikácia a označovanie sypkých hmôt dopravovaných na dopravných zariadeniach.
- STN EN 481 Ovzdušie na pracovisku. Určenie veľkosti frakcií na meranie častíc rozptýlených vo vzduchu. 1998
- STN EN 482: Ochrana ovzdušia. Pracovné ovzdušie. Všeobecné požiadavky na postupy merania chemických látok. (2000).
- STN EN 689: Ovzdušie na pracovisku. Pokyny na hodnotenie inhalačnej expozície chemickým látkam na porovnanie s limitnými hodnotami a stratégia merania. (2000)
- STN 49 0103: 1979. Drevo - Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach.
- STN 83 4501:1997-07 Ochrana ovzdušia. Základné termíny z ochrany ovzdušia
- STN EN 50281-2-1: 2002. Elektrické zariadenia do priestorov s horľavým prachom. Časť 2-1: Skúšobné metódy. Metódy na stanovenie minimálnych teplôt vznietenia prachu.
- STN ISO 9096:2004-07 (83 4610) Ochrana ovzdušia. Stacionárne zdroje znečisťovania. Stanovenie koncentrácie a hmotnostného toku tuhých znečisťujúcich látok v prúdiacom plyne. Manuálna gravimetrická metóda
- STN 26 0072. Klasifikácia a označovanie sypkých hmôt dopravovaných na dopravných zariadeniach

- Solár, R., Kačík, 2000. *Analytická chémia dreva*. Monografia. 1.vyd., Zvolen: : Technická univerzita vo Zvolene, 2000, 369 s. ISBN: 80-228-0882-0
- TABARI, H.Z., RAFIEE, F., HABIBOLAH, K.-E., POURBAKHSH, M. 2012. *Thermochemical evaluation of wood plastic nanocomposite*. Advanced Materials Research [463-464]: 565-569.
- TOP, Y., ADANUR, H., ÖZ, M. 2016. *Comparison of practices related to occupational health and safety in microscale wood-product enterprises*. Safety Science [82]: 374–381. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.10.014>.
- TIAN, Z., INTHAVONG, K., TU, J. 2007. *Deposition of Inhaled Wood Dust in the Nasal Cavity*. Inhalation Toxicology. Vol: 19 (14) pp: 1155-1165. DOI: 10.1080/08958370701665525
- TRAN, H. C.; WHITE, R. H. 1992. Burning rate of solid wood measured in a heat release rate calorimeter. Fire and materials. Vol. 16 (1992). :p. [197]-206 : ill.
- TUREKOVÁ, I. – BALOG, K. – SLABÁ, I. 2005. *Stanovenie teplôt vznietenia drevných prachov*. In: Požární ochrana 2005. In: Sborník přednášek z mezinárodní konference. Ostrava: SPBI 2005, ISBN 80-86634-66-3. [CD rom]
- TUREKOVÁ, I., SLABÁ, I., DUCHOŇ, M. 2007. *Hodnotenie rizík prachu v pracovnom prostredí*. In: Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2007 : Sborník přednášek / nadát. Mezinárodní konference. VII. ročník. Ostrava, 12.-13.6.2007. - Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2007. - ISBN 978-80-7385-004-3. - S. 321-327.
- Tureková, I. 2007. *Posúdenie požiarneho nebezpečenstva usadeného a rozvíreného prachu*. In: Zborník z XII. Manažérstvo životného prostredia 2007. Zborník zo VII. konferencie so zahraničnou účasťou konanej 5. - 6. 1. 2007 v Jaslovských Bohuniciach. Rusko, M. [Ed.] Žilina: Stix. Edícia ESE 12, prvé vydanie. S. 493-499. ISBN 978-80-89281-85-5 Dostupné na internete: http://www.sszip.eu/wp-content/uploads/b_47-Turekova.pdf
- TUREKOVÁ, I. 2008a. *Význam požiaro-technických vlastností potravinárskych prachov*. In: Zborník z XII. Konferencie so zahraničnou účasťou, 5.-6.12. 2008, Bratislava. Rusko, M. [Ed.] Žilina: Strix et VeV. Prvé vydanie. ISBN 978-80-89281-34-3. Dostupné na internete: http://www.sszip.eu/wp-content/uploads/b_Turekova_1.pdf
- TUREKOVÁ, I. 2008b. *Riziká priemyselných drevných prachov*. In: Zborník z XII. Konferencie so zahraničnou účasťou, 5.-6.12. 2008, Bratislava. Rusko, M. [Ed.] Žilina: Strix et VeV. Prvé vydanie. ISBN 978-80-89281-34-3. s. 167-
- TUREKOVÁ, I. 2009. *Štúdium iniciačných zdrojov drevných prachov*. Sborník vědeckých prací VŠB-TU Ostrava, roč. IV (1): 105- 116. ISSN 1801-1764. Dostupné na internete: <https://www.fbi.vsb.cz/export/sites/fbi/.content/systems/resource/pdf/veda-a-vyzkum/sbornik/2009-1-sbornik.pdf#page=110>

- TUREKOVÁ, I. 2012. *Zdravotné riziká a bezpečnostné riziká drevných prachov (Health and Safety Risk of Wood Dust)*. In: Zborník z XII. Konferencie so zahraničnou účasťou, 19.-20.11. 2012, Bratislava. Rusko, M. [Ed.] Žilina: Stix. Edícia ESE 12, prvé vydanie. ISBN 978-80-89281-85-5 Dostupné na internete: http://www.sszp.eu/wp-content/uploads/2012_konf_MaZP_C13__Turekova.pdf
- TUREKOVÁ, I., KURACINA, R. 2011. *Prach a prachovzduchové zmesi*. Učebný text III.. - 1. vyd. - Trnava : AlumniPress, 2011. - 58 s. - ISBN 978-80-8096-152-7
- VANDLIČKOVÁ, M. 2014. *Vybrané požiaro - technické charakteristiky horľavých priemyselných prachov*. In Požární ochrana 2014. Ostrava: SPBI, 2014, s. 96.
- VLADÁROVÁ, M. 2007. *Požiaro-technické charakteristiky drevného prachu vplývajúce na jeho horľavosť*. Dizertačná práca. TU vo Zvolene, 116 s. (nepublikované)
- VLČKOVÁ, H. 2010. *Analýza frakcií drevnej piliny laserovým prachomerom*. Dostupné na internete: http://www.preveda.sk/userFiles/file/237_2010_a.pdf
- WHO. 1999. *Hazard prevention and control in the work environment: Airborne dust*. WHO/SDE/OEH/99.14), World Health Organization, 1999 Geneva.
- ZACHAR, M. 2010. *Selected deciduous wood species flash ignition and ignition temperature determination*. In Fire engineering, Zvolen, 5th – 6th October 2010. Zvolen: Bratia Sabovci, 2010, p. 431–438. ISBN 978-80-89241-38-8
- ZACHAR, M., XU, Q. 2012. *Flammability of parts spruce trees*. In: Advances in Fire & Safety Engineering 2012. Zvolen: TU vo Zvolene, s.
- ZELENÝ, J. a kol. 2010. *Environmentálna politika manažérstvo organizácií. Diel IV.: Manažérstvo environmentálnych a bezpečnostných rizík*. Banská Bystrica: UMB v Banskej Bystrici, 2010, 211 s. ISBN 978-80-8083-975-8.
- ŽIGO, J., RANTUCH, P., BALOG, K. 2014. *Experimental Analysis of Minimum Ignition Temperature of Dust Cloud Obtained from Thermally Modified Spruce Wood*. Advanced Materials Research, 919-921, 2057–2060. <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net-/AMR.919-921.2057>.
<http://www.swtestingltd.co.uk/airsampling.html>
<http://www.sstp.sk/Diagnostika%20prostredia.htm>

SUMMARY

Risk assessment of wood dusts in worked place and environment

Key words: wood dust, orbital sander, granulometric analysis

Wood and wood dust as a flammable material can be characterized by the following fire and technical parameters, such as initial temperatures of its degradation, caloric heat, caloric value, and explosion limits etc. Those parameters reflect the suitability using of a particular type of wood for construction purposes or as biofuel.

Formation and presence of dust in the timber premises is part of the technology. Dust is generated as a byproduct based on the method of machining. The monography deals with granulometric analysis of selected samples of wood dust sessile (*Picea excelsa*) and fir (*Abies Alba*), oak (*Quercus petraea* Liebl.), beech (*Fagus sylvatica* L.), alder (*Alnus glutinosa* L.) and the mixture taken directly from timber production of grinders SCM SANDYA 300RCS) for the purpose of selecting the percentages of the various fractions (0.032; 0.063; 0.075; 0.125; 0.250; 0.5; 1; 2 mm) of samples of wood dust. Wood dust samples were made using a hand orbital sander BOSCH PSS 200AC and sizing on the automatic mesh vibratory sieve machine Retsch AS 200 control. The most frequent percentages of dust particles (between 50-79%) in all samples of wood dust there were fractions of 32 μm and less than 32 μm (bottom). The most abundant percentage creates conditions of the risk of inhaling and respirable components contained in the fraction over 32 μm and the potential of formation of a dust-air explosive mixture. Comparison of results granulometric fractions contribution of wood sanding dust typically processed wood in the furniture industry (beech, oak, spruce, fir, and alder) was significantly confirmed of the particle size.

This monography presents selected characteristics at the chosen wood dust by size of particulars- dust fractions) on the base of continual thermal loading. Thermal properties of wood dust samples were characterized by thermal gravimetric analysis (TG). The TG results indicate of different thermal degradation dust beech samples during thermal loading individual fractions. Sample of beech wood dust fraction

mainly consisted of, 80 µm, 32 µm and > 32 µm, what is < 70,50 % of the whole sample.

The purpose of this monography is to highlight the presence of the smallest fractions wood dust in woodworking operations. The largest percentages of dust particles (in the range of 50-79%) in all samples of wood dust were the fractions 32 m and <32 microns (bottom). These fractions pave the risk of inhalation, the respirable components contained in the fraction <32 microns, and the potential formation of a dust-air explosive mixtures.

The monography gives evidence of the existence of shares of wood dust that penetrate the human body and caused exposure of those harmful factors in the company. For purpose of protection of company, there are need to invested available of preventive elements