

VPLYV TERMICKEJ MODIFIKÁCIE SMREKOVÉHO DREVA NA TEPLITU VZNIETENIA ROZVÍRENÉHO DREVNÉHO PRACHU

INFLUENCE OF THERMAL MODIFICATION OF SPRUCE WOOD ON THE IGNITION TEMPERATURE OF WOOD DUST CLOUD

Jozef Martinka – Danica Kačíková – Peter Rantuch – Karol Balog

ABSTRACT

The article deals with the influence of thermal modification and particle size of spruce wood on the ignition temperature of dust cloud assessment. There were used two kinds of samples: thermally unmodified sample and thermally modified sample according to ThermoWood – Thermo-S programme (maximum temperature during the thermal modification was 190 °C). There were investigated three fraction of both unmodified and modified spruce wood: dust with particles size less than 71 µm, dust with particles size from 71 to 150 µm and dust with particles size from 150 to 200 µm. The ignition temperatures of investigated dust clouds were determined by the means and testing procedure according to STN EN 50281-2-1:2002 at three samples mass (0.1, 0.2 and 0.5 g) and three air pressures (20, 30 and 50 kPa). The water content of investigated samples was 0 % wt. The influence of thermal modification and dust particles size on ignition temperature of dust clouds was assessed by Duncan's test. The results obtained by Duncan's test show that dust particles size has a significant influence while the thermal modification has only negligible influence on dust cloud ignition temperature. The minimum ignition temperature of both thermally unmodified (420 °C) and thermally modified (410 °C) samples were determined for dust cloud formed by particles with dimensions less than 71 µm at 0.5 g sample mass and 50 kPa air pressure.

Keywords: thermowood, spruce wood, dust cloud, explosion, fire risk assessment, minimum ignition temperature.

ÚVOD

V posledných rokoch dochádza v drevospracujúcom priemysle k neustálemu zvyšovaniu vyrábaného a spracovávaného termicky modifikovaného dreva. Produkcia v roku 2012 dosiahla hodnotu takmer 120 000 m³/rok (THERMOWOOD 2012). Uvedená štatistika však zahŕňa len termicky modifikované drevo produkované pod značkou ThermoWood. Ročná produkcia termicky modifikovaného dreva dnes dosahuje podľa REINPRECHTA a VIDHOLDOVEJ (2011) hodnotu približne 240 000 m³·rok⁻¹.

Zvýšený výskyt termicky modifikovaného dreva v drevospracujúcom priemysle vyvoláva potrebu posúdenia vplyvu termickej modifikácie dreva na jeho požiarne riziko. Z výsledkov vedeckých prác THERMOWOOD (2003) a MARTINKU *et al.* (2013a) vyplýva,

že termická modifikácia dreva v atmosfére vzduchu má za následok významný pokles maximálnej aj priemernej rýchlosti uvoľňovania tepla a naopak významný nárast výťažku oxidu uhoľnatého z kompaktného dreva. Vplyv termickej modifikácie na rýchlosť šírenia plameňa po povrchu skúmali WANG a COOPER (2007). Z výsledkov vedeckej práce citovaných autorov vyplýva, že termická modifikácia dreva v horúcich rastlinných olejoch významným spôsobom znižuje jeho odolnosť voči šíreniu plameňa. Znížená odolnosť však nie je spôsobená chemickými alebo fyzikálnymi zmenami v dreve počas termickej modifikácie, ale prítomnosťou zvyškov rastlinných olejov (atmosférou v ktorej sa termická modifikácia vykonáva). Citované vedecké práce boli zamerané na posúdenie vplyvu termickej modifikácie kompaktného dreva na zmenu jeho požiaro-technických charakteristík. V žiadnej vedeckej práci však nebol exaktne posúdený sklon rozvíreného prachu z termicky modifikovaného dreva k jeho iniciácii. Potreba zvýšeného záujmu o danú problematiku vyplýva zo skutočnosti, že podľa JOSEPHA (2007) sa drevný prach podieľa až na 22 % explózií rozvírených prachov v priemysle.

Predikcia vplyvu termickej modifikácie na zmenu sklonu dreva k iniciácii jeho rozvíreného prachu môže byť urobená už z vedeckých prác REINPRECHTA *et al.* (1999), SOLÁRA *et al.* (2001), GONZÁLES-PEÑU *et al.* (2009), KAČÍKOVEJ a KAČÍKA (2009), KUČEROVEJ *et al.* (2011), REINPRECHTA a VIDHOLDOVEJ (2011), KAČÍKA *et al.* (2012) a CANDELIERA *et al.* (2013). Výsledky citovaných prác dokazujú nárast podielu lignínu a extraktívnych látok a naopak pokles podielu hemicelulózy a celulózy v termicky modifikovanom dreve. Výsledkom termickej modifikácie je teda nárast termickej odolnosti dreva (nárast podielu lignínu a pokles podielu hemicelulózy). Uvedené zmeny počas termickej modifikácie naznačujú nárast odolnosti rozvíreného prachu z termicky modifikovaného dreva voči iniciácii (nárast minimálnej teploty vznietenia). Podľa REINPRECHTA a VIDHOLDOVEJ (2011) termicky modifikované drevo navyše vykazuje nižšiu hygroskopicitu. Daná skutočnosť musí byť pri posudzovaní vplyvu termickej modifikácie na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu zohľadnená, nakoľko podľa DZURENDU (2002) je drevný prach s absolútnou vlhkosťou nad 40 % nevýbušný. Výsledné vlastnosti termicky modifikovaného dreva však podstatným spôsobom závisia od teplotného programu a chemického zloženia prostredia v ktorom sa termická modifikácia realizovala.

Drevný prach je hygroskopická, málo abrazívna, výbušná sypká hmota so zrnitosťou v intervale 1 až 500 μm (OČKAJOVÁ a BANSKI 2013). Uvedené hodnoty sú len orientačné, nakoľko podľa ABBASIHO *et al.* (2007) vykazuje vedecká literatúra a technické normy (BS a NFPA), pri definovaní maximálnych rozmerov prachových častíc, relatívne vysokú variabilitu (od 76 do 1000 μm). Významný vplyv na minimálnu teplotu vznietenia majú vonkajšie podmienky a veľkosť častíc tvoriacich rozvírený prach. Podľa MITTALA a GUHU (1996, 1997) narastá minimálna teplota vznietenia rozvíreného drevného prachu s narastajúcou veľkosťou častíc lineárne. Veľkosť častíc vznikajúcich pri obrábaní dreva a drevným materiálom je analyzovaná vo vedeckých prácach DZURENDU (2009) a DZURENDU *et al.* (2010, 2011). Vplyv vonkajších podmienok na proces iniciácie organických polymérov podrobne popisujú vo svojich vedeckých prácach BABRAUSKAS a PEACOCK (1992), MARTINKA *et al.* (2012) a MAJLINGOVÁ *et al.* (2013).

Integrálny vplyv termickej modifikácie a veľkosti častíc drevného prachu môže byť predikovaný z mechanizmu horenia rozvíreného prachu. ECKHOFF (2003) a ROCKWELL a RANGWALA (2013) 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 (BARDON a FLATCHER 1983). Pri horení drevných prachov sa uplatňujú oba mechanizmy, ale dominantný je plameňový mechanizmus.

Cieľom príspevku je posúdenie vplyvu termickej modifikácie dreva smreka obyčajného (*Picea abies* L.) a veľkosti častíc na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Výskumu bol podrobený prach z termicky modifikovaného a termicky nemodifikovaného dreva smreka obyčajného (*Picea abies* L.). Prach bol pripravený brúsením kompaktných hranolov s rozmermi 400 × 100 × 80 mm ručnou pásovou brúskou. Termicky modifikované hranoly boli upravené teplotným programom pre výrobu TheromWood – Thermo-S (v prvej fáze ohrev z 20 na 100 °C počas 5 hodín a následne zo 100 na 130 °C počas 13 hodín, v druhej fáze ohrev zo 130 na 190 °C počas 5,5 hodín s následnou výdržou na teplote 190 °C počas 3 hodín, v tretej fáze postupné ochladenie zo 190 na 20 °C počas 9,5 hodín). Termická modifikácia bola realizovaná v atmosfére čistého vzduchu pri atmosférickom tlaku.

Pripravené vzorky prachu boli vysušené pri teplote 103 ± 2 °C na nulovú absolútnu vlhkosť a následne, sitovacím zariadením, rozdelené do troch frakcií: pod 71 μm, od 71 do 150 μm a od 150 do 200 μm. Po rozdelení vzoriek do frakcií boli tieto opätovne vysušené na nulovú absolútnu vlhkosť (počas sitovania bol zaznamenaný nárast hmotnosti vzoriek).

Minimálna teplota vznietenia rozvíreného prachu bola stanovená skúšobným postupom, na Godbert-Greenwaldovej peci, podľa STN EN 50281-2-1:2002. Modifikácia skúšobnej metódy spočívala v skúšaní vzoriek prachu s odlišnými rozmermi v porovnaní s požiadavkami citovanej STN EN. Uvedená technická norma požaduje skúšať vzorky prachu, ktoré prepadli skúšobným sitom so štvorcovými otvormi s menovitou veľkosťou otvorov 71 μm. V predloženej práci boli stanovené minimálne teploty vznietenia prachov s rozmermi častíc pod 71 μm (splňajúce požiadavku citovanej STN EN), ďalej s rozmermi od 71 do 150 μm a od 150 do 200 μm. Uvedené rozmery vzoriek boli zvolené za účelom exaktného posúdenia vplyvu veľkosti častíc na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu. Teploty vznietenia boli stanovené pre hmotnosti vzoriek 0,1, 0,2 a 0,5 g ± 5%, ktorým zodpovedali koncentrácie prachu v skúšobnom zariadení 400, 800 a 2000 g/m³ ± 5%. Vzorky prachu boli v skúšobnom zariadení rozvírené vzduchom s pretlakom 20, 30 a 50 kPa ± 5%.

Každá skúška (pri všetkých skúmaných hmotnostiach vzoriek a tlakoch vzduchu) pri stanovenej teplote vznietenia a pri teplote o 10 °C nižšej bola opakovaná desaťkrát. Za teplotu vznietenia bola považovaná teplota pri ktorej nastalo vznietenie minimálne jedenkrát pričom pri teplote o 10 °C nenastalo ani raz.

Priemerná hustota hranolov smrekového dreva (z ktorých boli pripravené vzorky prachu) z termicky nemodifikovaného dreva bola 435 kg·m⁻³ a z termicky modifikovaného dreva 421 kg·m⁻³ (pri absolútnej vlhkosti 12 %).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V tabuľke 1 sú znázornené teploty vznietenia rozvíreného prachu z termicky nemodifikovaného smrekového dreva a v tabuľke 2 teploty vznietenia z termicky modifikovaného smrekového dreva. V zmysle STN EN 50281-2-1:2002 bola minimálna teplota vznietenia termicky nemodifikovaného dreva 400 °C a termicky modifikovaného

dreva 390 °C (citovaná STN EN považuje za minimálnu teplotu vznietenia minimálnu teplotu pri ktorej nastane vznietenie vzorky prachu s rozmerom častíc pod 71 µm zníženú o 20 °C). Pre porovnanie ZACHAR *et al.* (2012) stanovili teplotu vznietenia kompaktného smrekového dreva 400 °C a MARTINKA *et al.* (2013b) teplotu vznietenia pelelit zo smrekového dreva (s hustotou 665 kg·m⁻³) 460 °C. Prezentované údaje potvrdzujú záver vedeckej práce OSVALDA (2009), že odolnosť dreva voči iniciácii narastá s narastajúcou hustotou, pričom teplota vznietenia nezávisí od formy drevného materiálu významným spôsobom.

Získané údaje naznačujú, že teplota vznietenia prachu z termicky modifikovaného dreva je nižšia, ako z nemodifikovaného dreva. Pre jednoznačné overenie danej hypotézy boli získané údaje podrobené Duncanovmu testu (test bol realizovaný prostredníctvom štatistického softvéru Statistica 10, na hladine významnosti $\alpha = 0,05$). Priemerné teploty vznietenia pri skúmaných veľkostiach častíc pre termicky modifikované a nemodifikované vzorky spolu s výsledkami Duncanovho testu sú znázornené na obr. 1. Aj keď priemerné hodnoty teplôt vznietenia naznačujú významný vplyv termickej modifikácie na teplotu vznietenia, výsledky Duncanovho testu (p hodnoty pre všetky porovnávané frakcie sú väčšie ako 0,05) dokazujú, že rozdiel medzi teplotou vznietenia rozvíreného prachu z termicky modifikovaného a nemodifikovaného smrekového dreva (pri rovnakej veľkosti častíc) nie je štatisticky významný.

Tab. 1 Teploty vznietenia rozvíreného prachu z termicky nemodifikovaného smrekového dreva.

Tab. 1 Ignition temperatures of dust cloud formed by thermally unmodified spruce wood.

Hmotnosť vzorky (g)	Tlak vzduchu (kPa)	Teplota vznietenia (°C)		
		< 71 µm	71–150 µm	150–200 µm
0,1	20	470	500	500
0,1	30	460	470	490
0,1	50	450	460	490
0,2	20	460	490	500
0,2	30	430	470	480
0,2	50	430	440	470
0,5	20	440	450	480
0,5	30	420	450	460
0,5	50	420	450	460

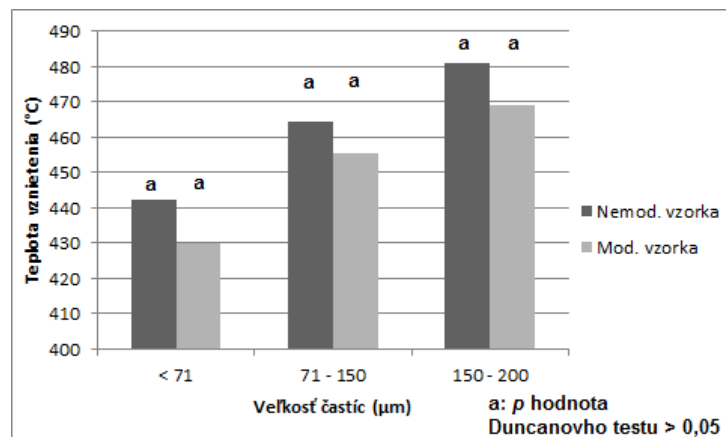
Tab. 2 Teploty vznietenia rozvíreného prachu z termicky modifikovaného smrekového dreva.

Tab. 2 Ignition temperatures of dust cloud formed by thermally modified spruce wood.

Hmotnosť vzorky (g)	Tlak vzduchu (kPa)	Teplota vznietenia (°C)		
		< 71 µm	71–150 µm	150–200 µm
0,1	20	460	490	500
0,1	30	430	470	490
0,1	50	440	460	480
0,2	20	440	460	470
0,2	30	420	460	470
0,2	50	430	430	460
0,5	20	420	440	460
0,5	30	420	440	450
0,5	50	410	450	440

Štatistická významnosť vplyvu veľkosti častíc termicky modifikovaných a nemodifikovaných vzoriek bola vyhodnotená rovnako na základe Duncanovho testu (pri koeficiente spoľahlivosti $\alpha = 0,05$). Výsledky sú prezentované v tabuľke 3. Významný štatistický rozdiel v teplotách vznietenia je indikovaný p hodnotou Duncanovho testu menšou ako 0,05. Daná podmienka nie je splnená len pri porovnaní frakcií (71–150 µm) a (150–200 µm). Štatisticky nevýznamný vplyv veľkosti častíc pri frakciách (71–150 µm) a

(150–200 μm) na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu mohol byť spôsobený nerovnomernou distribúciou veľkosti častíc (obe frakcie mohli byť teoreticky tvorené časticami s veľkosťou približne 150 μm). Keby však bola táto hypotéza pravdivá, nevykazovali by p hodnoty Duncanovho testu takú nízku hodnotu pri porovnaní frakcie s rozmerom častíc pod 71 μm s frakciou tvorenou časticami od 150 do 200 μm .



Obr. 1 Priemerné teploty vznietenia termicky modifikovaných a nemodifikovaných vzoriek rozvíreného prachu s rozmermi častíc pod 71 μm , od 71 do 150 μm a od 150 do 200 μm .

Fig. 1 Average ignition temperatures of thermally modified and unmodified samples of dust clouds formed by particles with dimensions less than 71 μm , from 71 to 150 μm and from 150 to 200 μm .

Tab. 3 Hodnoty p koeficientov Duncanovho testu pre skúmané frakcie termicky modifikovaných a nemodifikovaných vzoriek.

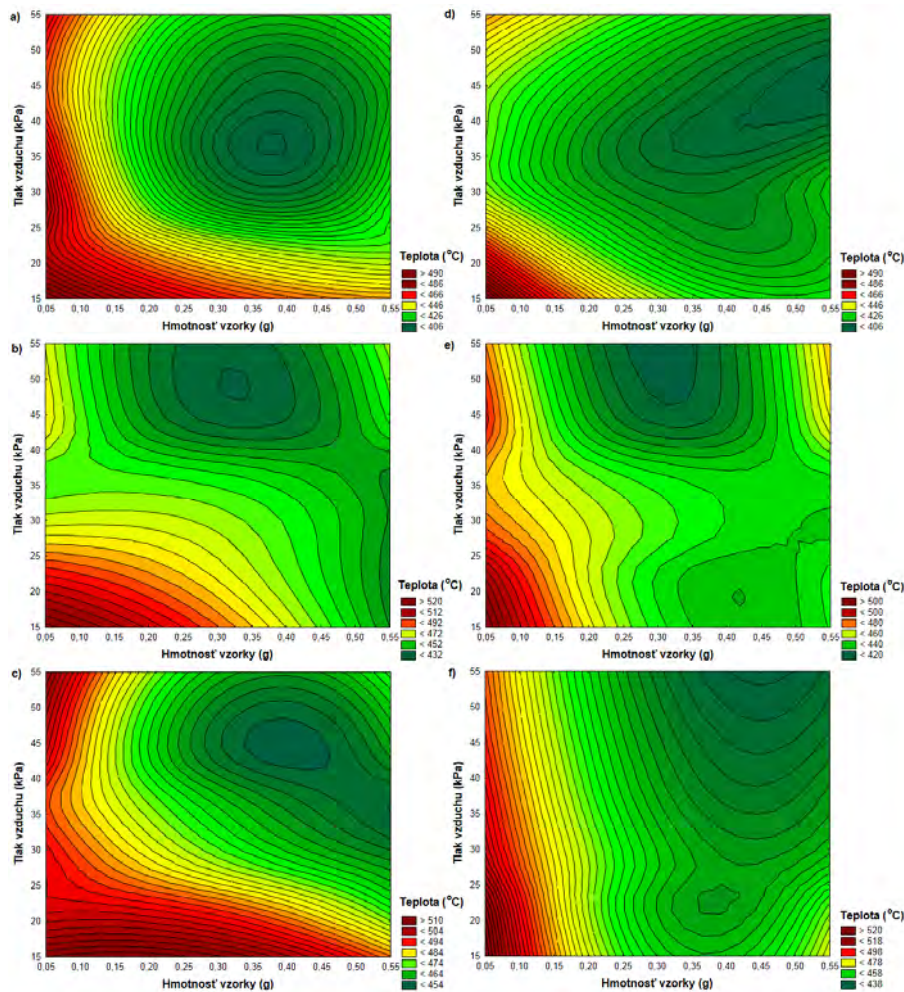
Tab. 3 Duncan's test p values of investigated fraction of thermally modified and unmodified samples.

Frakcia (μm)	Druh vzorky	
	Nemodifikovaná	Modifikovaná
(< 71) – (71 až 150)	0,026896	0,005047
(< 71) – (150 až 200)	0,000321	0,00033
(71 až 150) – (150 až 200)	0,065521	0,147177

Nižšia teplota vznietenia rozvíreného prachu tvoreného časticami termicky modifikovaného dreva je na prvý pohľad prekvapujúca a zdanlivo v rozpore s výsledkami vedeckých prác SHAFIZADEHA (1984), REINPRECHTA *et al.* (1999), SOLÁRA *et al.* (2001), GONZÁLES-PEÑU *et al.* (2009), KAČÍKOVEJ a KAČÍKA (2009), QU *et al.* (2011), KUČEROVEJ *et al.* (2011), REINPRECHTA a VIDHOLDOVEJ (2011), KAČÍKA *et al.* (2012), CANDELIERA *et al.* (2013) a KAČÍKOVEJ *et al.* (2013), ktoré dokazujú, že následkom termickej modifikácie dreva dochádza k zvyšovaniu podielu lignínu a extraktívnych látok a poklesu podielu hemicelulózy a celulózy v rezistentnom zvyšku. Výsledkom by teda malo byť zvýšenie termickej odolnosti rezistentného zvyšku (termicky modifikovaného dreva). Výsledky vedeckej práce KUČEROVEJ *et al.* (2011) a KAČÍKOVEJ *et al.* (2013) však dokazujú, že následkom termickej modifikácie dochádza k znižovaniu priemerného polymerizačného stupňa celulózy a súčasne k nárastu obsahu extraktívnych látok. Čiastočný termický rozklad dreva sprevádzaný poklesom priemerného polymerizačného stupňa celulózy, nárastom obsahu extraktívnych látok a poklesom obsahu hemicelulózy mal za následok rýchlejšie uvoľnenie rozkladných plynných produktov a následné dosiahnutie ich dolnej medze výbušnosti, za podmienok skúšky, pri termicky modifikovanom dreve pri nižšej teplote v porovnaní s termicky nemodifikovaným drevom.

Na základe zmeraných údajov o teplotách vznietenia prachu z termicky modifikovaného a nedomodifikovaného smrekového dreva pre skúmané rozmery častíc, hmotnosti vzoriek a tlaky vzduchu (použitého na rozvírenie vzorky v skúšobnom zariadení), bola urobená predikcia teplôt vznietenia (vnútri intervalu skúmaných hmotností vzoriek a tlakov vzduchu) prostredníctvom štatistického softvéru Statistica 10. Predikcia bola urobená metódou najmenších štvorcov (Distance Weighted Least Squares Model).

Hodnoty teplôt vznietenia získané predikciou sú znázornené na obr. 2. Získané údaje dokazujú, že chemické zloženie dreva (rozdiel v chemickom zložení bol spôsobený termickou modifikáciou), rovnako ako vonkajšie podmienky (hmotnosť vzorky a tlak vzduchu) majú významný vplyv na teplotu vznietenia rozvíreného prachu zo smrekového dreva. Pri všetkých troch skúmaných intervaloch rozmerov častíc bola stanovená minimálna teplota vznietenia vzorky pri jej maximálnej skúmanej hmotnosti 0,5 g). Podobné výsledky (minimálna teplota vznietenia pri hmotnosti vzorky 0,5 g) uvádzajú aj DUDARSKI *et al.* (2013) pre teakové drevo. Z hodnôt získaných predikciou vyplýva, že minimálna teplota vznietenia rozvíreného prachu z termicky modifikovaného dreva bude zaznamenaná pri vyššej hmotnosti vzorky v porovnaní s termicky nedomodifikovanou vzorkou. Príčinou je fakt, že termicky modifikované drevo obsahuje menej prchavých látok, ktoré sa ale uvoľňujú už pri nižšej teplote.



a) < 71 μm , b) 71 – 150 μm , c) 150 – 200 μm , d) < 71 μm , e) 71 – 150 μm , f) 150 – 200 μm

Obr. 2 Vplyv hmotnosti vzorky, tlaku vzduchu a veľkosti častíc na teplotu vznietenia prachu z nedomodifikovaného (a až c) a termicky modifikovaného smrekového dreva (d až f).

Fig. 2 Influence of sample mass, air pressure and particles size on the ignition temperature of dust form thermally unmodified (from a to c) and thermally modified spruce wood (from d to f).

ZÁVER

V predložennom článku bol posúdený vplyv veľkosti častíc a termickej modifikácie smrekového dreva na teplotu vznietenia rozvíreného prachu. Na výskum boli použité vzorky prachu z termicky nemodifikovaného smrekového dreva a zo smrekového dreva modifikovaného v atmosfére čistého vzduchu teplotným programom ThermoWood – Thermo-S (maximálna teplota počas termickej modifikácie 190 °C).

Minimálna teplota vznietenia, v zmysle STN EN 50281-2-1:2002, termicky nemodifikovaného smrekového dreva bola 400 °C a termicky modifikovaného dreva 390 °C. Výsledky Duncanovho testu však potvrdzujú, že termická modifikácia smrekového dreva za skúmaných podmienok nemá štatisticky významný vplyv na minimálnu teplotu vznietenia rozvíreného prachu.

Teplota vznietenia prachu tvoreného termicky modifikovaným aj nemodifikovaným drevom narastala s narastajúcou veľkosťou častíc. Pri termicky nemodifikovaných aj modifikovaných vzorkách bol nárast medzi frakciami (< 71 μm) a (71–150 μm) štatisticky významný, zatiaľ čo nárast medzi frakciami (71–150 μm) a (150–200 μm) nebol štatisticky významný. Rozdiel medzi priemernou aj minimálnou teplotou vznietenia frakcií (71–150 μm) a (150–200 μm) je však relatívne vysoký. Uvedená štatistická nevýznamnosť je pravdepodobne len dôsledkom voľby relatívne úzkeho rozptylu frakcie 150 až 200 μm.

LITERATÚRA

- ABBASI, T., ABBASI, S. A. 2007. Dust explosions-cases, causes, consequences and control. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 140(1–2): 7–44.
- BABRAUSKAS, V., PEACOCK, R. D. 1992. Heat release rate : the single most important variable in fire hazard. *Fire Safety Journal*, 1992, 18(3): 255–272.
- BARDON, M. F., FLETCHER, D. E. 1983. Dust explosions. *Science Progress*, 1983, 68(1): 459–473.
- CANDELIER, K., DUMARÇAY, S., PÉTRISSANS, A., DESHARNAIS, L., GÉRARDIN, P., PÉTRISSANS, M. 2013. Comparison of chemical composition and decay durability of heat treated wood under different inert atmospheres: Nitrogen or vacuum. *Polymer Degradation and Stability*, 2013, 98(2): 677–681.
- DUDARSKI, G., MARTINKA, J., RYBAKOWSKI, M., TUREKOVÁ, I. 2013. Modern trends in ergonomics and occupational safety. Zielona Góra : University of Zielona Góra, 2013. 237 s. ISBN 978-83-7842-086-6.
- 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. 2009. Štruktúra zrnitosti a podiel izometrických triesok v mokrej piline z procesov pílenia dreva na hlavných piliariských strojoch. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 2009, 51(1): 55–66.
- 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*, 2011, 54(186): 27–37.
- 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.
- ECKHOFF, R. K. 2003. Dust explosions in the process industries. Boston: Gulf Professional Publishing, 2003. 719 s. ISBN 978-0750676021.
- GONZÁLES-PEÑA, M., CURLING, S. F., HALE, M. D. D. 2009. On the effect of heat on the chemical composition and dimensions of thermally-modified wood. In *Polymer Degradation and Stability*, 2009, 94(12): 2184–2193.
- JOSPEH, G. 2007. Combustible dust : a serious industrial hazard. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 142(3): 589–591.

- KAČÍK, F., VELKOVÁ, V., ŠMÍRA, P., NASSWETTROVÁ, A., KAČÍKOVÁ, D., REINPRECHT, L. 2012. Release of terpenes from fir wood during its long-term use and in thermal treatment. *Molecules*, 2012, 17(8): 9990–9999.
- KAČÍKOVÁ, D., KAČÍK, F. 2009. Vplyv termického pôsobenia na zmenu lignínu smrekového dreva. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2009, 51(2): 71–78.
- KAČÍKOVÁ, D., KAČÍK, F., ČABALOVÁ, I., ĎURKOVIČ, J. 2013. Effects of thermal treatment on chemical, mechanical and colour traits in Norway spruce wood. *Bioresource Technology*, 2013, 144(1): 669–674.
- KUČEROVÁ, V., KAČÍKOVÁ, D., KAČÍK, F. 2011. Zmeny extraktívnych látok a makromolekulových charakteristík celulózy po termickej degradácii smrekového dreva. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2011, 53(2): 77–83.
- MAJLINGOVÁ, A., ORAVEC, M., ŠOLC, M., GALLA, Š. 2013. Modification of procedure to initiate the solids according to EN 60695-2-10 for materials used in historic buildings. *European Journal of Environmental and Safety Sciences*, 2013, 1(1): 8–12.
- MARTINKA, J., BALOG, K., CHREBET, T., HRONCOVÁ, E., DIBDIAKOVÁ, J. 2012. Effect of oxygen concentration and temperature on ignition time of polypropylene. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2012, 110(1): 485–487.
- MARTINKA, J., HRONCOVÁ E., CHREBET, T., BALOG K. 2013a. Posúdenie požiarneho rizika termicky modifikovaného smrekového dreva. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2013, 55(2): 117–128.
- MARTINKA, J., CHREBET, T., HRUŠOVSKÝ, I., BALOG, K. 2013b. Assessment of the impact of heat flux density on the combustion efficiency and fire hazard of spruce pellets. *European Journal of Environmental and Safety Sciences*, 2013, 1(1): 24–31.
- 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.
- OČKAJOVÁ, A., BANSKI, A. Granulometria drevného brúsneho prachu z úzko-pásovej brúsky. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2013, 55(1): 85–90.
- OSVALD A. 2009. Hodnotenie materiálov a konštrukcií pre potreby protipožiarnej ochrany. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 355 s. ISBN 978-80-228-2039-4.
- QU, H., WU, W., WU, H., JIAO, Y., XU, J. 2011. Thermal degradation and fire performance of wood treated with various inorganic salts. *Fire and Materials*, 2010, 35(8): 569–576.
- REINPRECHT, L., KAČÍK, F., SOLÁR, R. 1999. Relationship between the molecular structure and bending properties of the chemically and thermally degraded maplewood : part 1: decrease of bending properties compared with changes in the basic chemical composition of wood. *Cellulose Chemistry and Technology*, 1999, 33(1–2): 67–79.
- REINPRECHT, L., VIDHOLDOVÁ, Z. 2011. *Termodrevo*. Ostrava : Šmíra-print, 2011. 89 s. ISBN 978-80-87427-05-7.
- ROCKWELL, S. R., RANGWALA, A. S. 2013. Modeling of dust air flames. *Fire Safety Journal*, 2013, 59(1): 22–29.
- SHAFIZADEH, F. 1984. The chemistry of pyrolysis and combustion. In *The chemistry of solid wood*. Washington : American Chemical Society, 1984. s. 489–529.
- SOLÁR, R., KAČÍK, F., REINPRECHT, L. 2001. Relationship between the molecular structure and bending properties of chemically and thermally degraded maple wood : II. comparison of bending properties decrease with structural characteristics of polysaccharides. *Cellulose Chemistry and Technology*, 2001, 35(1–2): 151–164.
- 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.
- THERMOWOOD ASSOCIATION. 2003. *ThermoWood handbook*. Helsinky : Finish ThermoWood Association, 2003. 66 s.
- THERMOWOOD ASSOCIATION. 2012. *ThermoWood production statistics 2012*. Helsinky : ThermoWood Association, 2012. 8 s.
- WANG, J., COOPER, P. A. 2007. Fire, flame resistance and thermal properties of oil thermally-treated wood. Stockholm : The international research group on wood protection, 2007, 10 s.

ZACHAR, M., MITTEROVA, I., XU, Q., MAJLINGOVA, A., CONG, J. 2012. Determination of fire and burning properties of spruce wood. *Drvna Industrija*, 2012, 63(3): 217–223.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0057-12. Táto práca vznikla rovnako vďaka finančnej podpore agentúry KEGA MŠVVaŠ SR, pre projekt č. 002STU-4/2013: „Vybudovanie výučbového laboratória pre rekonštrukciu požiarov v laboratórnej mierke“.

Adresa autorov

Ing. Jozef Martinka, PhD.
Ing. Peter Rantuch, PhD.
Prof. Ing. Karol Balog, PhD.
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave
Ústav bezpečnosti, environmentu a kvality
Paulínska 16
917 24 Trnava, Slovenská republika
jozef.martinka@stuba.sk
peter.rantuch@stuba.sk
karol.balog@stuba.sk

doc. RNDr. Danica Kačíková, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta
Katedra protipožiarnej ochrany, T.G. Masaryka 24
960 53 Zvolen, Slovenská republika
kacikova@tuzvo.sk