



VPLYV MODIFIKÁCIE DUBOVÉHO DREVA TECHNOLOGIOU THERMO-WOOD NA ZRNITOSŤ PILINY Z PROCESOV PÍLENIA DREVA NA RÁMOVEJ PÍLE PRW 15 M

Ladislav Dzurenda – Kazimierz Orlowski

Abstract

In the paper results of the granulometric analyses of the sawdust of thermally modified oak wood and unmodified one, which was sawed on the narrow-kerf sash gang saw are presented. The sawdust of the dry thermally modified oak created in the sawing process on the frame sawing machine PRW15-M with the feed speed of $0,36 - 1,67 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ consists of a chip granularity in the range from $41,2 \mu\text{m}$ to $3,6 \text{ mm}$, whereas the unmodified oak wood sawdust consists of chips in the granularity range from $43,8 \mu\text{m}$ to $12,1 \text{ mm}$.

It was stated, that thermally modified oak sawdust is finer, with a distinct larger participation of the fraction in the granularity range $a = 125-500 \mu\text{m}$ and a slightly increased share of the fraction in the range $a = 32-125 \mu\text{m}$.

Dry oak sawdust generated on sash gang saw PRW15-M during sawing of the thermally modified wood with the ThermoWood technology does not contain of both dust particles of the fraction $\text{PM}_{2,5}$, which belong to the respiratory dust category, and also a dust fraction PM_{10} creating a smog in the atmosphere.

Key words: oak wood, thermal modification, frame sawing machine, granulometric analysis, granularity

ÚVOD

V procese pílenia dreva vedľa hlavného produktu vzniká trieska - pilina, ktorej tvar, rozmery a množstvo je závislé tak od fyzikálno-mechanických vlastností píleného dreva, ako i od tvaru, rozmerov, ostrosti rezného nástroja a technicko-technologických podmienok realizácie procesu pílenia Prokeš (1978), Goglia (1994), Lisičan et al (1996); Wasiliewski (1999), Orlowski (2003), Kopecký-Rousek (2007), Klement-Devaj (2007), Dzurenda (2007), Dzurenda-Kučerka-Banski (2008).

V odbornej literatúre je pilina charakterizovaná ako polydisperzná sypká hmota pozostávajúca z hrubých a stredne hrubých frakcií Hejma (1981) t. j. sypký materiál s rozmermi zŕn nad $0,3 \text{ mm}$, pričom nie je vylúčený ani podiel jemnejších frakcií s menšími rozmermi triesok.

Podľa triediacich ukazovateľov sypkých hmôt uvádzaných v STN 26 0070 je pilina klasifikovaná ako B-45UX t. j. sypká hmota jemnej zrnitosti ($0,5 \div 3,5 \text{ mm}$), hygroskopická, málo sypná a abrazívna hmota s tendenciou zhlukovania.

Využitie piliny ako druhotnej suroviny je rozmanité, pilina je jednou z východziech surovín pre výrobu aglomerovaných trieskových materiálov, chemické spracovanie dreva, cennou surovinou pre energetické využitie priamym spaľovaním, resp. základnou surovinou pre výrobu rozmerovo a energeticky homogenizovaného paliva (brikiet a peliet). Zvýšený záujem o pilinu, ako druhotnú surovinu si v ostatnom čase vyžaduje spresnenie informácie o jej zrnitosti, geometrických tvaroch a rozmeroch triesok piliny.

Cieľom tohto príspevku je analyzovanie vplyvu termickej úpravy – modifikácie dubového dreva technológiou ThermoWood na zrnitosť piliny tvorenej v procese pílenia na rámovej pile PRW 15 M.

MATERIÁL A METÓDA

Termická modifikácia dreva dubových prírezov bola vykonaná vo vysokoteplotnom pariacom zariadení typ: PW-10, technológiou ThermoWood.

Vzorky suchej dubovej (natívnej) piliny a suchej piliny z termicky modifikovaného dubového dreva technológiou ThermoWood pre granulometrické analýzy boli odoberané izokineticky z odsávacieho potrubia rámovej píly PRW 15 M v súlade s STN ISO 9096 “Stanovenie koncentrácie a hmotnostného toku tuhých znečisťujúcich látok v prúde plynu – Manuálna gravimetrická metóda“ počas pílenia dreva dubových prírezov rozmerov 59,5×59,5×500 mm termicky modifikovaných i nemodifikovaných pri rýchlosti posuvu materiálu do rezu: $v_1 = 0,36 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a $v_2 = 1,67 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Vlhkosť dubovej piliny $w_{DB} = 8,5 \%$ a vlhkosť dubovej piliny z termicky modifikovaného dubového dreva $w_{DB-M} = 8,7 \%$ bola stanovená váhovou metódou. Technicko-technologické podmienky pílenia dubového termicky modifikovaného i nemodifikovaného dreva uvádza tabuľka č. 1.

Tabuľka č.1 Technicko-technologické podmienky procesu pílenia dreva počas odberu vzoriek.

Rámová píla PRW 15 M		
Svetlosť pílového rámu	mm	170
Zdvih pílového rámu	mm	160
Max. výška píleného materiálu	mm	150
Min. výška píleného materiálu	mm	30
Min. dĺžka píleného materiálu	mm	350
Počet pílových listov	-	8
Hrúbka pílového listu	mm	2
Úprava ostria zubov pílových listov	stelit	
Rýchlosť posuvu	m.min ⁻¹	0,36
		1,67

Základný granulometrický rozbor bol vykonaný sitovaním t.j. preosievaním suchej dubovej piliny na sade sít s veľkosťami medzier v pletive: 2 mm, 1 mm, 0,50 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,080 mm, 0,063 mm, 0,032 mm po dobu $\tau = 15 \text{ min}$ na automatickom vibračnom sitovacom stroji AS 200 firmy RETSCH. Hmotnosti frakcií na sitách boli stanovované na laboratórnych váhach EP 200 firmy BOSCH s presnosťou váženia 0,001g.

Za účelom spresnenia informácií o tvaroch triesok jednotlivých frakcií v analyzovaných dubových pilinách bol vykonaný rozbor veľkosti a tvaru triesok optickou metódou v Biometrickom laboratóriu FLD MZLU Brno. Analýza rozmerov a tvaru triesok

bola vykonaná optickou metódou - rozborom mikroskopického obrazu získaného na mikroskope Nikon Optiphot-2 s objektívom Nikon 4x. Triesky jednotlivých frakcií piliny boli snímané 3 čipovou televíznou CCD kamerou HITACHI HV-C20 (RGB 752 × 582 pixel), horizontálnym rozlíšením 700 TV riadkov a vyhodnocované programom LUCIA-G 4.0 (Laboratory Universal Computer Image Analysis), nainštalovanom na PC s procesorom Pentium 90 (RAM 32 MB) s grafickou kartou VGA Matrox Magic pod operačným systémom Windows NT 4.0 Workstation. Program analýzy obrazu LUCIA-G umožňuje identifikovať jednotlivé častice piliny a kvantitatívne stanoviť pre jednotlivé triesky nachádzajúce sa v analyzovanom obraze základné informácie akými sú: dĺžka, šírka a cirkularita t.j. kruhovitosť vyjadrujúca mieru odghylky priemetu daného tvaru triesky od priemetu tvaru kruhu podľa vzťahu:

$$\Psi = \frac{4 \cdot \pi \cdot S}{O^2}$$

kde: S – plocha častice [m²]
O – obvod častice [m]

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky sitovej analýzy – granulometrického zloženia suchej piliny z natívneho dubového dreva a suchej piliny z termicky modifikovaného dubového dreva technológiou ThermoWood uvádzajú tabuľky č.2 až 5.

Tabuľka č.2 Granulometrické zloženie dubovej piliny z rámovej píly PRW 15 M ($v = 0,36 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$)

Rozmery oka síta [mm]	Označenie frakcie	Zastúpenie frakcií v suchej dubovej piline [%]							
		natívneho dreva				termicky modifikovaného dreva			
		vzorka 1	vzorka 2	vzorka 3	priemer	vzorka 1	vzorka 2	vzorka 3	priemer
2,000	hrubá	0,80	1,54	1,68	1,34	2,08	2,82	2,87	2,59
1,000		3,64	4,83	4,17	4,21	3,08	3,42	3,92	3,47
0,500	stredne	36,48	37,15	36,84	36,82	19,85	20,78	21,37	20,67
0,250	hrubá	41,08	39,12	38,38	39,53	47,93	46,29	45,36	46,53
0,125	jemná	15,46	14,99	15,89	15,45	23,11	21,76	21,61	22,16
0,080		1,87	1,68	2,20	1,92	3,02	3,28	3,41	3,23
0,063		0,56	0,59	0,71	0,62	0,71	1,14	0,99	0,95
0,032		0,10	0,10	0,13	0,11	0,22	0,51	0,47	0,40
< 0,032		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Rozmery najväčších a najmenších triesok identifikovaných v suchej dubovej piliny z natívneho i termicky modifikovaného dubového dreva z procesov pílenia na jemnerežúcej rámovej píle PRW 15 M pri rýchlosti posuvu $v = 0,36 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ uvádza tabuľka č. 3

Tabuľka č. 3 Plošné rozmery najväčších a najmenších triesok v dubovej piline ($v = 0,36 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).

Drevina	Rozmery maximálnych triesok piliny [mm]			Rozmery minimálnych triesok piliny [μm]		
	vzorka 1	vzorka 2	vzorka 3	vzorka 1	vzorka 2	vzorka 3
Pilina z natívneho dubového dreva	3,2 x 8,8	4,3 x 9,4	3,2 x 9,6	37,1 x 43,6	39,5 x 43,6	40,7 x 44,3
	2,9 x 7,7	3,9 x 8,8	3,3 x 8,6	37,6 x 45,3	42,8 x 44,2	42,6 x 44,9
	1,8 x 5,6	2,7 x 7,9	2,6 x 7,8	40,2 x 46,8	43,2 x 45,2	44,7 x 45,2
Pilina z termicky modifikovaného dubového dreva	2,2 x 4,5	1,3 x 3,6	2,7 x 3,9	36,1 x 41,2	41,6 x 41,5	40,8 x 42,2
	1,8 x 3,9	1,1 x 3,7	1,2 x 3,5	37,4 x 42,6	39,9 x 42,3	41,1 x 42,8
	1,7 x 3,6	0,8 x 2,3	1,9 x 2,9	41,3 x 44,5	37,8 x 46,4	39,1 x 43,3

Výsledky sitovej analýzy piliny z natívneho dubového dreva a termicky modifikovaného dubového dreva technológiou ThermoWood z porezu pri rýchlosti posuvu $v = 1,67 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ uvádza tabuľka č. 4.

Tabuľka č.4 Granulometrické zloženie dubovej piliny z rámovej píly PRW 15 M ($v = 1,67 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$)

Rozmery oka sita [mm]	Označenie frakcie	Zastúpenie frakcií v suchej dubovej piline [%]							
		natívneho dreva				termicky modifikovaného dreva			
		vzorka 1	vzorka 2	vzorka 3	priemer	vzorka 1	vzorka 2	vzorka 3	priemer
2,000	hrubá	1,52	2,56	1,89	1,99	1,28	3,58	0,87	1,91
1,000		8,63	7,23	8,05	7,97	2,76	3,06	2,92	2,91
0,500	stredne	41,85	35,03	38,74	38,54	23,49	26,35	24,73	24,86
0,250	hrubá	35,24	38,67	36,15	36,69	51,05	45,54	48,39	48,33
0,125	jemná	10,57	12,60	11,99	11,72	18,05	16,52	18,12	17,56
0,080		1,51	2,84	2,20	2,18	2,37	3,17	3,30	2,95
0,063		0,48	0,89	0,77	0,71	0,67	1,07	0,99	0,91
0,032		0,20	0,18	0,21	0,20	0,31	0,72	0,68	0,57
< 0,032		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Rozmery najväčších a najmenších triesok identifikovaných v suchej dubovej piliny z natívneho i termicky modifikovaného dubového dreva z procesov pílenia na jemnorežúcej rámovej píle PRW 15 M pri rýchlosti posuvu $v = 1,67 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ uvádza tabuľka č. 5.

Tabuľka č. 5 Plošné rozmery najväčších a najmenších triesok v dubovej piline ($v = 1,67 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$)

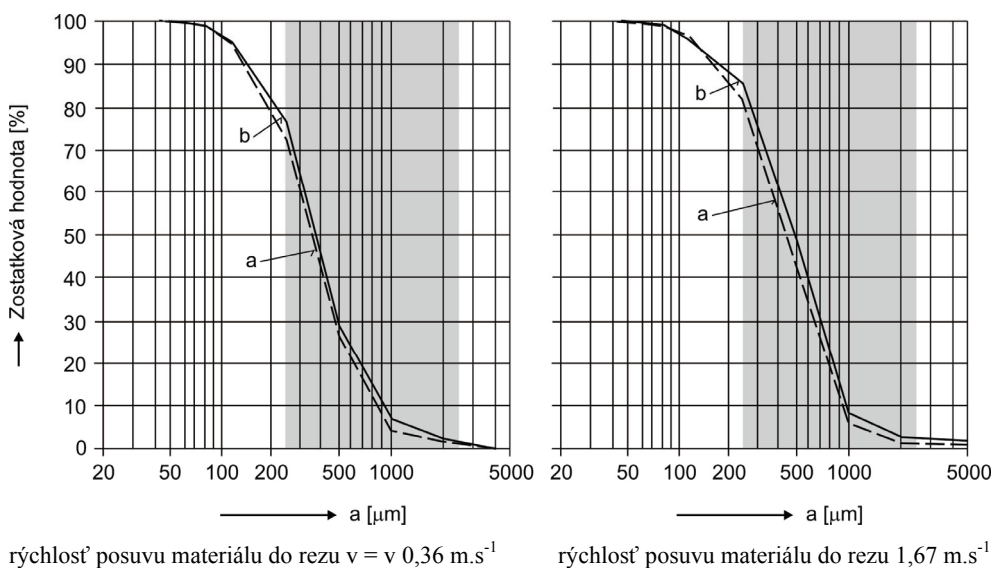
Drevina	Rozmery maximálnych triesok piliny [mm]			Rozmery minimálnych triesok piliny [μm]		
	vzorka 1	vzorka 2	vzorka 3	vzorka 1	vzorka 2	vzorka 3
Pilina z natívneho dubového dreva	3,3 x 9,8	4,2 x 12,1	3,1 x 11,2	44,7 x 48,8	43,7 x 44,8	44,7 x 45,2
	1,4 x 4,2	2,8 x 9,0	4,3 x 8,4	47,6 x 52,3	46,8 x 48,3	46,6 x 47,3
	0,8 x 3,9	2,1 x 4,3	2,1 x 3,8	50,1 x 57,3	49,9 x 51,6	47,7 x 49,3
Pilina z termicky modifikovaného dubového dreva	2,3 x 4,6	1,1 x 3,6	1,7 x 3,9	45,2 x 45,0	44,8 x 44,8	44,3 x 44,7
	1,4 x 3,5	1,0 x 2,8	1,2 x 3,3	46,2 x 46,8	45,9 x 46,3	46,1 x 47,2
	0,8 x 2,9	0,7 x 2,1	0,7 x 2,7	47,3 x 47,5	46,8 x 47,1	47,1 x 48,3

Na základe vykonaných analýz je možné konštatovať, že pilina vytvorená v procesoch pílenia vysušeného termicky modifikovaného dubového dreva na rámovej píle typu: PRW – 15 pri rýchlosti posuvu materiálu do rezu $v = 0,36 \div 1,67 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ pozostáva z triesok v intervale zrnitosti $a = 0,0412 - 3,6 \text{ mm}$ a dubová pilina z termicky nemodifikovaného dreva pozostáva z triesok v intervale zrnitosti $a = 0,0436 - 12,1 \text{ mm}$.

Z analýzy rozmerov a tvaru triesok suchej piliny z natívneho ako i termicky modifikovaného dubového dreva vyplýva, že najväčšie triesky patria do kategórie polydisperzných fibrilárnych hmôt, tyčinkovitého tvaru s výrazným predĺžením v jednom rozmere. Triesky ostatných frakcií sú triesky patria v prevažnej miere do kategórie izometrických triesok t.j. triesok s rovnakými rozmermi vo všetkých troch rozmeroch. Uvedené konštatovanie vyplýva zo skutočnosti, že pôdorys triesok stanovený optickou metódou je tvaru štvorca, resp. hodnotou cirkularity v intervale $\Psi = 0,7 \div 1,0$ a predpokladu, že tretí rozmer voľne sypaných trojrozmerných objektov na vodorovnej podložke je menší než jeho najväčší rozmer. Uvedené informácie o zrnitosti a tvare triesok boli zistené i pri analýzach triesok z procesu pílenia suchého borovicového dreva na jemne režúcej rámovej píle PRW 15 M pri rýchlosti posuvu $v = 0,5 \div 1,5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, Dzurenda – Wasielewski – Orłowski (2006).

Z výsledkov sitových analýz dubovej piliny z procesu pílenia termicky modifikovaného nemodifikovaného dreva v tabuľkách č. 2 a 4, ako i kriviek zvyškov na obr. 1 vyplýva, že pilina vzniknutá pílením suchého termicky modifikovaného dubového dreva je jemno-

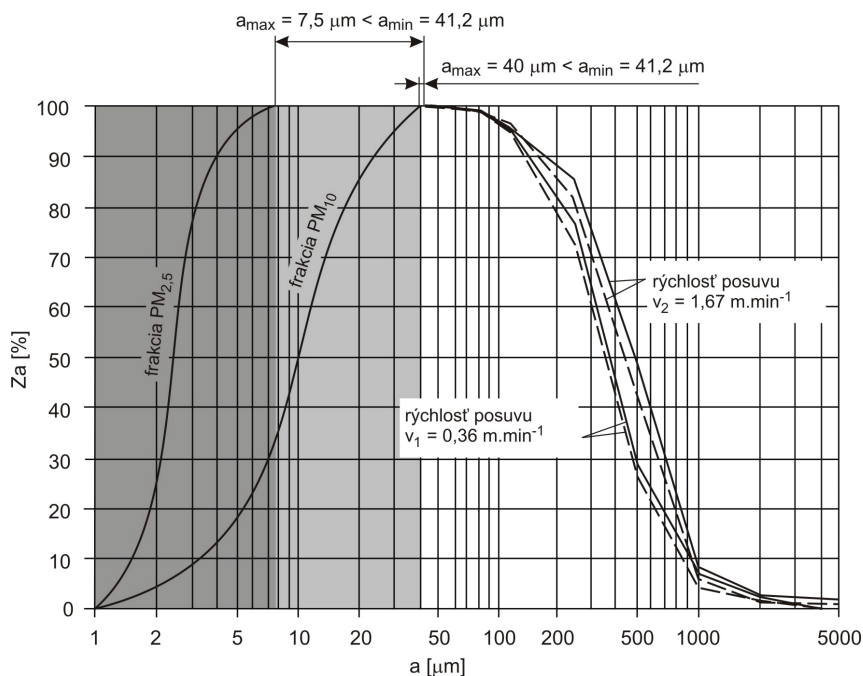
zrnejšia (obr. 3 - posuv krivky a vľavo) než pilina vytvorená pílením suchého termicky neupravovaného dubového dreva. Kvantitatívne to dokladuje vyšší podiel frakcie v intervale zrnitosti $a = 125 - 500 \mu\text{m}$ a nepatrne zvýšeným podielom jemnej frakcie v intervale zrnitosti $a = 32 - 125 \mu\text{m}$ na úkor hrubých a stredne hrubých frakcií v intervale zrnitosti $a = 0,5 - 2,0 \text{ mm}$. Zvýšený podiel triesok jemnejších frakcií možno pripísať zvýšenej krehkosti dubového termicky modifikovaného dreva *Mayes-Oksanen (2002)*, *Reinprecht-Vidholdová (2008)*. Obdobné výsledky – zjemnenie zrnitosti triesok termicky modifikovaného bukového dreva z procesu frézovania uvádza *Beljo Lučič, et al. (2009)* a z procesov brúsenia termodreva *Wieloh et al. (2009)*.



Obr. 1. Krivky zvyškov suchej piliny: a – pilina z termicky modifikovaného dubového dreva, b – pilina z termicky nemodifikovaného dubového dreva.

Z porovnania zrnitosti triesok piliny v intervale $250 \mu\text{m}$ až $2,4 \text{ mm}$ na obr.1 plynie, že pílenie dubového dreva pri rýchlosti posuvu materiálu do rezu $v = 1,67 \text{ m.s}^{-1}$ sa produkuje 80 % triesok optimálnej veľkosti pre výrobu trieskových materiálov, kým pri rýchlosti posuvu materiálu do rezu $v = 0,36 \text{ m.s}^{-1}$ je uvedený podiel o 10 % menší.

Stanovenie dolnej hranice intervalu zrnitosti suchej dubovej piliny $a_{\min} = 41,2 \mu\text{m}$ z procesu pílenia termicky modifikovaného dubového dreva a suchej dubovej piliny $a_{\min} = 43,6 \mu\text{m}$ z procesu pílenia termicky nemodifikovaného dubového dreva na jemnerežúcej rámovej pile PRW M 15 a jej porovnanie s hornou medzou intervalu zrnitosti prachových frakcií $\text{PM}_{2,5}$ a PM_{10} (obr. 4) umožňujú vylúčiť procesy pílenia termicky modifikovaného i nemodifikovaného dubového dreva na rámových pilách PRW 15–M z kategórie technologických procesov znečisťujúcich pracovné prostredie prachovými (respilabilnými) časticami frakcie $\text{PM}_{2,5}$ s aerodynamickým priemerom $2,5 \mu\text{m}$, ako aj z procesov znečisťujúcich životné prostredie prachovými časticami PM_{10} s aerodynamickým priemerom $10 \mu\text{m}$ podielajúcich sa na tvorbe smogu v atmosfére.



Obr.2. Porovnanie dolnej hranice zrnitosti suchej piliny z procesov pílenia termicky modifikovaného i nemodifikovaného dubového dreva na rámovej pile PRW 15 M s medzou intervalu zrnitosti prachových frakcií $PM_{2,5}$ a PM_{10}

ZÁVER

Výsledky granulometrickej analýzy suchej dubovej piliny vytvorenej v procese pozdĺžneho pílenia natívneho dubového dreva a termicky modifikovaného dubového dreva technológiou ThermoWood na jemnorezúcej rámovej pile PRW 15 M charakterizujú suchú dubovú pilinu z modifikovaného dreva ako polydisperznú sypkú hmotu s veľkosťou triesok v intervale zrnitosti od 41,2 μm do 3,6 mm a suchú dubovú pilinu z natívneho dreva, ako polydisperznú sypkú hmotu v intervale zrnitosti od 43,6 μm do 12,1 mm.

Z hľadiska tvaru triesok, triesky najväčšej frakcie oboch pilín patria do kategórie fibrilárnych sypkých hmôt a najmenšie triesky jemnej frakcie do kategórie izometrických triesok t.j. triesok s rovnakými rozmermi vo všetkých troch rozmeroch.

Suchá dubová pilina z termicky modifikovaného dreva je jemnozrnejšia s vyšším podielom frakcie v intervale zrnitosti $a = 125\text{--}500 \mu\text{m}$ a nepatrne zvýšeným podielom jemnej frakcie v intervale zrnitosti $a = 32\text{--}125 \mu\text{m}$ na úkor frakcií v intervale zrnitosti $a = 0,5\text{--}2,0 \text{ mm}$.

Pilina vytvorená v procesoch pílenia suchého dubového dreva ako i termicky modifikovaného dubového dreva technológiou ThermoWood na rámovej pile PRW 15 M neobsahuje prachové častice frakcie PM_2 , patriacich do kategórie respilabilného prachu a ani prachové časticami PM_{10} prispievajúce k tvorbe smogu v atmosfére.

LITERATÚRA

1. BELJO LUČIČ, R., ČAVLOVOČ, A., DUKIČ, I., JUG, M., IŠTVANIČ, J., ŠKALJIČ, N., 2009: Machi-ning properties of thermally modified beech-wood compared to steamed beech-wood. In: Woodworking technique. Zagreb: DENONA, s.315-324. ISBN 978-953-292-009-2.
2. DZURENDA, L., KUČERKA, M. 2009: Granularity of sawdust from processes of wood sawing with frame, log band and circular saws. In: Wood machining and processing – product quality and waste characteristics. Warszawa, WULS-SGGW, 2009 s. 96-115
3. DZURENDA, L., 2007: Sypká drewná hmota, vzduchotechnická doprava a odlučovanie. Zvolen: VTU Zvolen, 182 s. ISBN 978-80-228-1765-3.
4. DZURENDA L., ORLOWSKI K., WASIELEWSKI R., 2006: Granulometric analysis of dry saw-dust from the sawing process on the frame sawing Machine PRW-15M. In: Acta Facultatis Xylogiae. 48 (2), s 51–57. ISSN 1336-3824.
5. GOGLIA, V., 1994: Strojevi i alati za obradu drva I. Zagreb: GRAFA, 235 s.
6. HEJMA J. et al., 1981: Vzduchotechnika v dřevozpracovávajícím průmyslu. Praha: SNTL, 398 s.
7. KLEMET I., DETVAJ J., 2007: Technologia prvostupňového spracovania dreva. Zvolen: VTU Zvolen, 300 s. ISBN 978-80-228-1811-7.
8. KOPECKÝ, Z., ROUSEK, M., 2007: Dustiness in high-speed milling. In: *Wood research*, 52 (2) s. 65–76. ISSN 1336-4561
9. LISIČAN, J. et al., 1996: Teória a technika spracovania dreva. Zvolen: Matcentrum, 626 s. ISBN 80-967315-6-4.
10. MAYES, D., OKSANEN, O., 2002: Thermo Wood® Handbok. Stora Enso Timber, Finnforest, 52 s.
11. PROKEŠ, S., 1978: Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Praha: SNTL, 583 s.
12. REINPRECHT, L., VIDHOLDOVÁ, Z., 2008: Termodrevo–příprava, vlastnosti a aplikácie. Zvolen: VTU Zvolen, 89 s. ISBN 978-80-228-1920-6.
13. ORLOWSKI, K., 2003: Materiałoszczędne i dokładne przecinanie drewna pilami. Gdańsk: Politechnika Gdańska, 146 s. ISBN 83-7348-051-X
14. WASIELEWSKI, R., 1999: Pilarki ramowe z eliptyczną trajektorią prowadzenia pil i hybrydowym wyrównoważonym układem napędu głównego. Gdańsk: Politechnika Gdańska, 106 s. ISBN 83-88007-28-9
15. WIELOCH, G., ADAMSKI, Z., MOSTOWSKI, R., 2009: The interaction of abrasive grains on the thermally modified surface of acacia wood during grinding. In: Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW, Forest and Wood Technology No 69, s. 409-414, ISSN 1898-5912.