



VPLYV POČTU ZUBOV PÍLOVÉHO KOTÚČA NA KVALITU VYTVORENÉHO POVRCHU PRI PRIEČNOM PÍLENÍ BUKOVÉHO REZIVA NA KAPOVACEJ KOTÚČOVEJ PÍLE

Richard Kminiak – Mikuláš Siklienka

Abstract

The article deals with problematic of beech wood cross-cutting. It focuses on the impact of the saw blades teeth number and use of chip limiting device saw blade on the surface quality during cross-cutting. Article is based on an experiment in which was used four saw blades with SK plates with uniform diameter ($D = 250$ mm) and uniform angular geometry ($\alpha = 15^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $\gamma = 15^\circ$). Three saw blades were characterized by different numbers of teeth ($z = 24, 40$ a 60) and one saw blade was chip limiting device saw blade. For the experiment were used tangentially sawn beech samples with absolute humidity $w_a = 12 \pm 1\%$, and 50 mm of thickness. Cutting the beech test samples was conducted to crosscut miter saw BOSCH GCM 10 S PROFESIONAL with the movement of the saw blade on a circular arc at a constant cutting speed ($v_c = 62$ m.s⁻¹) and at a sliding force ($F_p = 15$ N).

The experiment showed that the surface quality - the arithmetic mean deviation of the roughness profile depending on the used saw blade varies from 4 to 10 μ m. The experiment demonstrated that the increase in the number of teeth of the saw blade increases the surface quality and that the use of chip limiting device greatly improves the quality of the surface.

Keywords: *cross-cut miter saw, saw blade, number of teeth of the saw blade, chip limiting device, surface quality*

ÚVOD

Kotúčová píla je jedným z najpoužívanějších drevodeliacich strojov určených na priečne a pozdĺžne pílenie dreva (Koch 1985, Barčík 2009). V práci Detvaj (2003) sa uvádza, že kotúčové píly majú nezastupiteľné miesto pri pozdĺžnej aj priečnej manipulácii reziva na prírezy. Operácie priečného pílenia, Svoreň (2002) rozdeľuje na dva druhy: predbežné priečne rezanie s nadmierou a konečné priečne rezanie na požadované rozmery.

Základnú úlohu pri pílení zohráva rotujúci rezný nástroj - pílový kotúč kolmý na smer vláken dreva. Pri priečnom pílení vedľajšie rezné hrany zubov pílového kotúča prerezávajú vlákna a formujú steny reznej škáry. Hlavné rezné hrany pri zatvorenom rezaní formujú dno zubovej drážky (Lisičan 1982).

Najčastejšie používanými materiálmi rezných hrán pílových kotúčov sú v súčasnosti platničky zo spekaných karbidov, tzv. SK plátky a nástrojová oceľ (Banski 2000, Siklienka et al. 2012). Vo svojej práci Prokeš (1982) uvádza, že pílové kotúče s SK- platničkami

majú pri pílení dreva v porovnaní s nástrojovou oceľou 20 až 30 násobne vyššiu trvanlivosť reznej hrany.

Parametre procesu delenia dreva (energetickú náročnosť, prašnosť, hlučnosť,...), parametre vznikajúceho produktu (rozmerová presnosť, kvalitu vytvoreného povrchu,...), i parametre produkovanej triesky (rozmer, granulometrické zloženie,...) sú závislé tak od fyzikálno-mechanických vlastností obrábaného materiálu ako i od tvaru, rozmerov, počtu zubov, geometrie, ostrosti rezného nástroja a technicko-technologických podmienok realizácie procesu pílenia (Gogliá 1994, Schajer a Wang 2002, Siklienka a Mišura 2005, Kopecký a Rousek 2007, Dzurenda 2009, Očkajová et al. 2006, Očkajová et al. 2010).

Podľa prác Wasielewski et al. (1999) a Barčík et al. (2008), vhodným výberom nástroja, jeho geometrie a rezných podmienok je možné znížiť náklady pri rezaní drevnej suroviny a to zvýšením porezovej výkonnosti stroja (pily).

Každá technologická operácia, pri ktorej dochádza k narušeniu pôvodných vlastností a celistvosti obrobného zanecháva na obrobenom povrchu charakteristické nerovnosti. Tieto sa prejavujú mikroskopickými zmenami ako drsnosť obrobenej plochy, aj makroskopickými zmenami ako vlnitosť, ryhy, priehlbiny, vytrhané vlákna a pod (Novak et al. 2011). Ako uvádza Siklienka (2005), charakteristickým znakom povrchu obrobeného pílením kotúčovými pilami sú polmesiakovité ryhy.

Súčasný normalizovaný systém hodnotí jednotlivé zložky komplexu nerovnosti tvaru – vlnitosť – drsnosť oddelene (Bekéš et al. 1999). Ak má byť drsnosť povrchu hodnotená samostatne, musí byť zložka drsnosti separovaná pomocou filtrácie (Dubovská, 2000). Celkové možnosti hodnotenia povrchu rozširuje norma STN EN ISO 4287 (1999) tak, že všetky parametre v nej definované je možné aplikovať na primárny profil, profil drsnosti a profil vlnitosti. Kvalitu vytvoreného povrchu pri produktoch drevospracujúceho priemyslu sa najčastejšie hodnotí jej parametrom stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti (R_a).

Cieľom tohto článku je sledovanie zmeny drsnosti povrchu v procese priečného pílenia bukových vzoriek v závislosti od vybraných premenných, počtu zubov pílových kotúčov a modelu delenia.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Charakteristika použitého reziva:

Pre experimentálne meranie bolo zvolené rezivo dreveniny: **buk lesný** (*Fagus Silvatica* L.), rozmerov: hrúbka $h = 50$ mm, šírka $š = 150$ mm, dĺžka $l = 1000$ mm a relatívnej vlhkosti: $w = 12 \pm 1$ %.

Charakteristika strojového zariadenia:

Experimentálny porez bukového reziva bol prevedený na pokosovej kapovacej pile **BOSCH GCM 10S PROFESIONAL** (obrázok 1) pri 4700 otáčkach pílového kotúča minútu.



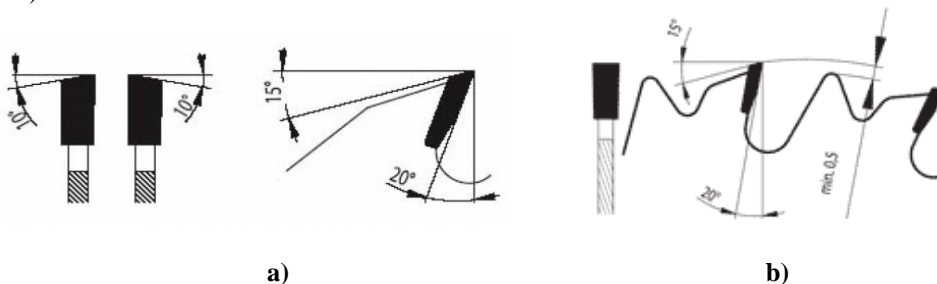
Obr. 1 Pokosová kapovacia píla
BOSCH GCM 10S PROFESIONAL



Obr. 2 Pílové kotúče použité v experiment

Charakteristika pílových kotúčov:

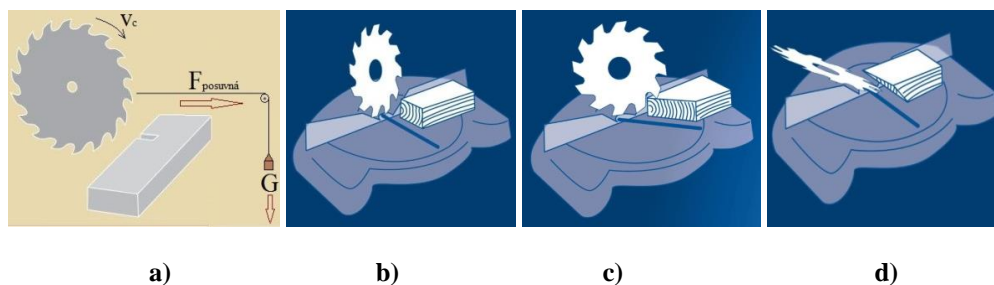
Pre experiment boli zvolené štyri pílové kotúče s SK platničkami (obrázok 2 , obrázok 3). Pílové kotúče disponujú totožným priemerom ($D = 250 \text{ mm}$), rovnakou hrúbkou nástroja ($b = 3,2 \text{ mm}$), zhodnou geometriou reznej hrany (uhol chrbtu $\alpha = 15^\circ$, uhol rezného klinu $\beta = 60^\circ$, uhol čela $\gamma = 15^\circ$), striedavými zubmi (WZ)(s uhlom podbrúsenia bočnej hrany $\xi = 15^\circ$ a uhlom radiálneho sklonu čelných hrán $\lambda = 7^\circ$). Tri sú značky EXTOL-PREMIUM a vyznačujú sa rozdielnym počtom zubov ($z = 24/ 40/ 60$) (obrázok 3/a) a jeden je značky BOSCH SPEEDLINE-WOOD s počtom zubov $z = 24$ a obmedzovačom triesky (obrázok 3/b).



Obr. 3 Gemoetria rezného klinu pílových kotúčov a) BOSCH, b) EXTOL

Charakteristika experimentu:

Pri experimente sa priamočiarym pohybom pílového kotúča oddeľovali s pripraveného reziva 10 mm hrubé skúšobné telieska. Experiment prebiehal pri posuvnej sile v lane $F_p = 15 \text{ N}$ (sila bola vyvedená $1,5 \text{ kg}$ závaží pripevneným o rukoväť skracovacej píly) a konštantnej reznej rýchlosti pílového kotúča $v_c = 62 \text{ m.s}^{-1}$ (obrázok 4/a). Pri poreze boli využívané tri základne modely priečného pílenia na kapovacej pokosovej píle **čelné rezanie** (M1) (obrázok 4/b), **pozdĺžno čelné rezanie k ploche** (rezanie na pokos) (M2) (obrázok 4/c) a **pozdĺžno čelné rezanie** (M3) (obrázok 4/d).



Obr.4 Schéma experimentu a) model procesu, b) čelné rezanie (M1), c) pozdĺžno čelné rezanie k ploche (rezanie na pokos) (M2), d) pozdĺžno čelné rezanie (M3)

Postup merania nerovnosti povrchu skúšobných vzoriek:

Nerovnosť povrchu skúšobných teliesok bola meraná **laserovým profilomerom LPM-4**, ktorý bol zostavený na Katedre obrábania dreva TU vo Zvolene (profilometer využíva triangulačný princíp laserovej profilometrie. Obraz laserovej čiary je snímaný pod uhlom digitálnou kamerou. Zo zosnímaného obrazu je následne vyhodnotený profil objektu v priereze. Získané údaje sú matematicky filtrované a sú stanovené jednotlivé ukazovatele primárneho profilu, profilu vlnitosti a profilu drsnosti). Pri meraní nerovnosti povrchu bola zohľadnená norma STN EN ISO 4287. Na každom skúšobnom teliesku bolo vykonané meranie v troch stopách rovnomerne rozložených po šírke vzorky (5, 25 a 45 mm od kraja vzorky), dĺžka stopy bola 60 mm a stopa bola orientovaná v smere posuvu obrobku v procese pílenia. Nerovnosť povrchu bola vyhodnotená pomocou parametra stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti R_a .

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Namerané hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti boli vyhodnotené štatistickým programom STATISTICA 7.0. Viacfaktorová analýza rozptylu (*tabuľka 1*) preukázala, že vplyv skúmaných faktorov je štatisticky významný. Vykonaný Fisherov F-test (*tabuľka 1*) preukázal že vplyv typu pílového kotúča je štatisticky významnejší ako vplyv modelu delenia.

Tab. 1 Sumárne výsledky viacfaktorovej analýzy rozptylu pre kvalitu vytvoreného povrchu

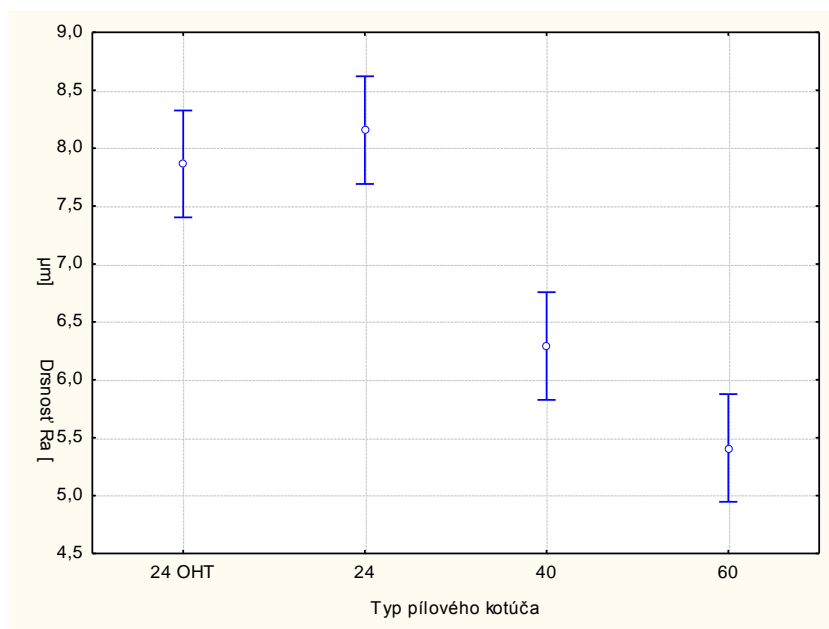
	SS	SV	MS	F	p
Intercept	12150,60	1	12150,60	3462,255	0,000000
Typ pílového kotúča	321,39	3	107,13	30,527	0,000000
Model delenia	211,41	2	105,70	30,120	0,000000
Typ pílového kotúča*Model delenia	109,39	6	18,23	5,195	0,000048
Error	845,78	241	3,51		

Priemerné hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti (R_a) pre všetky kombinácie skúmaných faktorov prezentuje *tabuľka 2*.

Tab. 2 Priemerné hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti (R_a) pre všetky kombinácie skúmaných faktorov

Typ pílového kotúča	Model delenia	Drsnosť R_a [μm] priemer	Drsnosť R_a [μm] štandardná chyba	Drsnosť R_a [μm] -95,00%	Drsnosť R_a [μm] 95,00%	N
24 OHT	M1	6,367886	0,408799	5,581126	7,15465	22
24 OHT	M2	7,863333	0,408799	7,058058	8,66861	21
24 OHT	M3	9,360667	0,408799	8,555392	10,16594	21
24	M1	5,728667	0,408799	4,923392	6,53394	21
24	M2	9,380000	0,408799	8,574725	10,18527	21
24	M3	9,358000	0,408799	8,552725	10,16327	21
40	M1	6,084667	0,408799	5,279392	6,88994	21
40	M2	5,703667	0,408799	4,898392	6,50894	21
40	M3	7,087333	0,408799	6,282058	7,89261	21
60	M1	4,650000	0,408799	3,844725	5,45527	21
60	M2	5,788667	0,408799	4,983392	6,59394	21
60	M3	5,795000	0,408799	4,989725	6,60027	21

Obrázok 5 poskytuje grafické znázornenie vplyvu typu pílového kotúča na kvalitu vytvoreného povrchu.



Obr. 5 Vplyv typu pílového kotúča na profil drsnosti

Vyššie uvedený graf jednoznačne poukazuje na skutočnosť, že s nárastom počtu zubov pílového kotúča kvalita povrchu stúpa. Podstata daného javu spočíva v mechanizme tvorenia povrchov pri pílení kotúčovými pilami. Vytvorený povrch je tvorený ryhami po jednotlivých zuboch – rezných klinov.

Zvýšenie počtu zubov pílového kotúča pri nemennosti ostatných parametrov procesu znamená zníženie relatívneho posuvu na zub (f_z) čo sa prejaví znížením hĺbky rýh (y_v) a tým aj kvality - strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti (R_a). Priemerná hodnota strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti pre pílový kotúč s počtom zubov $z = 24$ je **7,8 μm** , pre pílový kotúč s počtom zubov $z = 40$ je **6,3 μm** a pre pílový kotúč s počtom zubov $z = 60$ je **5,4 μm** . Vplyv počtu zubov pílového kotúča na kvalitu vytvoreného povrchu - strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti (R_a) možno vyjadriť nasledovnou lineárnou rovnicou:

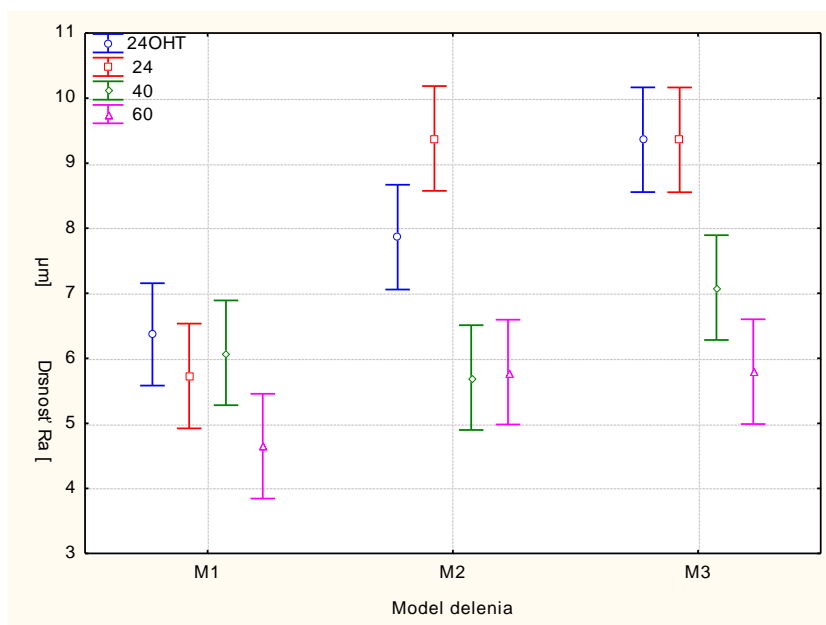
$$R_a = (-0,0658 * z) + 9,2189 \quad (R^2 = 0,96)$$

R_a – stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti [μm]
 z – počet zubov pílového kotúča [-]

V prípade pílového kotúča s počtom zubov $z = 24$ je možné použiť obmedzovač triesky. Použitie obmedzovača triesky pri pílových kotúčoch s vyšším počtom zubov nie je z konštrukčného hľadiska možné.

Predpokladaný efekt zvýšenia kvality pri použití obmedzovača triesky nebol štatistickým vyhodnotením potvrdený. Kvalita povrchu pílového pílovým kotúčom s počtom zubov $z = 24$ a obmedzovačom triesky je približne rovnaká ako kvalita povrchu vytvoreného pílovým kotúčom s počtom zubov $z = 24$ bez obmedzovača triesky v konkrétnom vyjadrení **7,9 μm** .

Vplyv modelu delenia pre všetky uvažované pílové kotúče prezentuje obrázok 6.



Obr. 6 Vplyv modelu delenia na profil drsnosti pri použití rôznych typov pílových kotúčov M1 čelné rezanie, M2 pozdĺžno čelné rezanie k ploche (rezanie na pokos), M3 pozdĺžno čelné rezanie

V prípade pílových kotúčov narastá drsnosť v rade model M1 – čelné rezanie, M2 - pozdĺžno čelné rezanie k ploche (rezanie na pokos) M3 – pozdĺžno čelné rezanie.

Celý jav sa dá vysvetliť na základe prirodzenej drsnosti dreva. Najkvalitnejší povrch pri modeli delenia M1 pripisujeme orientácii drevných elementov, ktoré sú pri tomto modeli delenia primárne prerezávané pod 90° uhlom voči svojej dĺžkovej orientácii. V prípade modelu M2 dochádza k väčšiemu obnažovaniu štruktúry experimentálnej vzorky v dôsledku zmeny prerezávania vlákien na 45°. Pri modeli M3 dochádza ešte k väčšiemu obnažovaniu drevných elementov oproti predchádzajúcim modelom, čo sa prejaví ešte zvýšenom náraste profilu drsnosti.

Článok potvrdzuje závery vyvožené Mikleš et al. (2010), Krilek et al. (2014) či Argay (2014) o pozitívnom vplyve počtu zubov pílového kotúča na kvalitu vytvoreného povrchu. Rovnako ako Siklienka a Janda (2013) či Novak et al. (2011) sa zhoduje v požiadavke na kvalitu konečného opracovania povrchu na úrovni pod 20 µm. Článok zároveň potvrdzuje teórie vyslovené v prácach Gurau (2004) či Gaff a Gáborik (2009) o ovplyvnení hodnôt parametrov kvality vytvoreného povrchu anatomickou stavbou materiálu – prirodzenou drsnosťou dreva.

ZÁVER

Kvalita vytvoreného povrchu – jej ukazovateľ stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti sa pri priečnom pílení na kotúčovej kapovacej pile pohybuje v rozmedzí od 4 do 10 µm.

Vykonaný experiment preukázal že so zvyšovaním počtu zubov sa zvyšuje aj kvalita vytvoreného povrchu. Vplyv počtu zubov na kvalitu vytvoreného povrchu je možné vyjadriť lineárnou rovnicou $Ra = (-0,0658 * z) + 9,21899$.

Experiment nepotvrdil predpoklad pozitívneho vplyvu použitia obmedzovača triesky.

Špecificky model priečného delenia materiálu ovplyvňuje hodnotu strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti v priemere o 2µm a narastá v rade čelné rezanie, pozdĺžno čelné rezanie k ploche (rezanie na pokos) a pozdĺžno čelné rezanie.

O kvalite vytvoreného povrchu v podmienkach publikovaného experimentu možno konštatovať že je na úrovni rovinného frézovania a takto vytvorený povrch svojou kvalitou vyhovuje podmienkam konečného opracovania – nie su už potrebné ďalšie technologické operácie frézovanie alebo brúsenie.

Publikácia vznikla v rámci grantovej úlohy s názvom „Delenie a obrábanie dreva“. 018TU Z-4/2013, KEGA SR.

LITERATÚRA

1. ARGAY, F. (2014). Vplyv počtu zubov pílového kotúča na hlučnosť procesu priečného pílenia bukového dreva / Effect of the saw blade teeth number on transverse cutting process noise when cutting beechwood. In Acta Facultatis Technicae, 56(1): 77–85. ISSN 1336-4472.
2. BANSKI, A., 2000. Údržba pílového kotúča so spekanými karbidmi. In: Zborník referátov odborného seminára. Drevorezné nástroje, Starostlivosť a bezpečnosť pri práci. Zvolen 23. – 24. marec, TU Zvolen 2000, s. 76 – 85.
3. BARCÍK, Štefan: Technika pre výrobu nábytku. Vydanie I. Zvolen. Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2009. 263 s. ISBN 978-80-228-2055-4

4. BARCÍK, Š., PIVOLUSKOVÁ, E., KMINIAK, R. 2008. Effect of technological parameters and wood properties on cutting power in plane milling of juvenile poplar wood. *Drvna Industrija*, 59(3): 34 - 41. ISSN 0012-6772.
5. BEKÉŠ, J., HRUBEC, J., KICKO, J., LIPA, Z. 1999. Teória obrábania. STU Bratislava, 1999, ISBN 80-227-1261-2, s. 272, [cit. 10.11.2009] (<http://www.kvs.sjf.stuba.sk>)
6. DETVAJ, J. 2003. Technológia piliarskej výroby. TU Zvolen, 2003, s. 112-115.
7. DZURENDA, L. 2009 Štruktúra zrnitosti a podiel izometrických triesok v mokrej piline z procesov pílenia dreva na hlavných piliarskych strojoch. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 51(1): 55-66. ISSN 1336-3824.
8. DUBOVSKÁ, R. 2000. Niektoré poznatky o kvantifikácii drsnosti pri obrábání dreva. Procesy trieskového a beztrieskového obrábání dreva 2000. 19. - 21.10.2000.
9. GOGLIA, V. 1994. Strojevi i alati za obradu dreva I. Zagreb : GRAFA, 1994, 235 s.
10. GAFF, M. GÁBORÍK, J.: Vlastnosti povrchu dreva modifikovaného reliéfovaním. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 9-26
11. GURAU L (2004) Study of the roughness of sander wood surface. In: Free press release center 2007. [<http://fprc.com.uk/PDF/Lidiaweb0704.pdf>]
12. KOCH, P.: Utilization of Hardwoods Growing on southern Pine Sites, Volume II – Processing, U.S. Department of Agriculture, Forest service. 1985, 2542 s.
13. KOPECKÝ, Z., ROUSEK, M. 2007. Dustiness in high – speed milling. 2007, *Wood research*, 52(2): 65-76.
14. NOVAK V., ROUSEK M., KOPECKY Z. (2011). Assessment of Wood Surface Quality Obtained During High Speed Milling by Use of Non-Contact Method. In: *DRVNA INDUSTRIJA* Volume 62, Issue 2, 2011. p. 103-115. ISSN 0012-6772
15. KRILEK, J., KOVAČ, J., KUČERA, M. (2014). Wood crosscutting process analysis for circular saws. In *BioResources* 9(1): 1417-1429. ISSN: 1930-2126.
16. MIKLEŠ, Milan – KOVÁČ, Ján – KRILEK, Jozef: Výskum rezných podmienok priečneho pílenia dreva. Vedecká štúdia. Vydanie I. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 69 s. ISBN 978-80-228-2147-6
17. OČKAJOVÁ, A., BELJAKOVÁ, A., SIKLIENKA, M. 2010. Morphology of dust particles from the sanding process of chosen tree species. *Wood research* 2010, 55(2): 89-98 ISSN 1336- 4561.
18. OČKAJOVÁ, A., BELJO LUČIČ, R., ČAVLOVIČ, A., TEREŇOVÁ, J.: Reduction of dustiness in sawing wood by universal circular saw. In: *Drvna industrija* 57 (3) 2006: 119-126. ISSN 0012-6772
19. PABIŠ, V. 1999. Pílové kotúče FREUD. In *Priateľ dreva: odborný-informačný drevársky dvojmesačník*. Roč. 2, č. 3 (1999), s. 27-30.
20. PROKEŠ, Stanislav: Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Vydanie III. Praha: STNL – Nakladatelství technické literatury, 1982. 584 s. 04-833-82
21. SCHAJER G. S., WANG S. A. 2002: Effect of workpiece interaction on circular saw cutting stability II. *Holz als Roh und Werkstoff* 60: 48-54.
22. SIKLIENKA, M., ARGAY, F., KMINIAK, R. 2012. Vplyv uhlovej geometrie pílového kotúča na kvalitu povrchu při priečnom pílení rostlého dreva. In: *Trieskové a beztrieskové obrábání dreva 2012*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, s. 325-333. ISBN 978-80-228-2385-2.
23. SIKLIENKA, M., JANDA., P. (2013). Effect of method of clamping milling head to the quality of the surface during milling on the four-sided milling machine. In *Annals of Warsaw University of Life Sciences. Forestry and wood technology*. - ISSN 1898-5912. - No. 81 (2013), p. 130-136.
24. SVOREŇ, J. 2002: Drevárske stroje. Časť I. Vydanie I. – október 2002. Technická univerzita vo Zvolene, 169 s. ISBN 80-228-1188-2.