TRIESKOVÉ A BEZTRIESKOVÉ OBRÁBANIE DREVA, 8(1): 325–332, 2012
Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 978-80-228-2385-2

VPLYV UHLOVEJ GEOMETRIE PÍLOVÉHO KOTÚČA NA KVALITU POVRCHU PRI PRIEČNOM PÍLENÍ RASTLÉHO DREVA

Mikuláš Siklienka – Filip Argay – Richard Kminiak

Abstract

The article deals with the influence of the saw blades angular geometry and selected technological factors on the change of surface roughness generated in the process of cross-cutting of solid beechwood.

Experiment was carried out on beech samples thickness: 50 mm and width: 200 mm with varying angular geometry parameters - the rake angle γ (15 ˚, 20 ˚, 25 ˚), feed rate vf (4, 8, 12 m.min^{-1}) and speed of machinery equipment - n (2000, 2500, 3000 min^{-1}). The process of sawing was transferred to a purpose-designed stand for cross cutting of wood.

Evaluation of the results it was found that the value of surface roughness followed by the arithmetic mean deviation of roughness profile R_a ranges for the combinations from 15 to 29 mm. For the type of sawing is appropriate to use all three saw blades, but each only for a given combination of machinery equipment speed and feed rate.

Key words: *priečne pílenie, kvalita vytvoreného povrchu, otáčky, uhlová geometria, pílový kotúč*

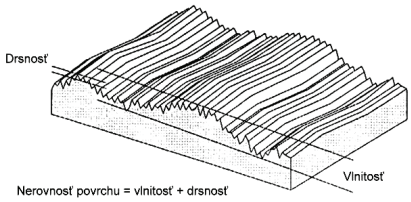
TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY

Priečne pílenie kotúčovými pílami patrí okrem pozdĺžneho pílenia k najrozšírenejším spôsobom rezania dreva a drevných materiálov. Základnú úlohu pri pílení zohráva rotujúci rezný nástroj - pílový kotúč kolmý na smer vlákien dreva (Barcík 2009). Hlavnú úlohu pri pílení plnia vedľajšie rezné hrany zubov pílového kotúča, ktoré prerezávajú vlákna a formujú steny reznej škáry. Hlavné rezné hrany formujú dno zubovej drážky. (Lisičan 1984).

Každá technologická operácia, pri ktorej dochádza k narušeniu pôvodných vlastností a celistvosti obrobku 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.

Na kvalite obrobenia sa vo všeobecnosti podieľa anatomická stavba a iné vlastnosti dreva, technológia prípravy dreva k obrábaniu, stroj a nástroj, ktorým je materiál obrobený a príprava dreva, stroja a nástroja (Lisičan, 1984). Súčasný normalizovaný systém hodnotí jednotlivé zložky komplexu nerovnosti tvaru – vlnitosť – drsnosť oddelene (Bekéš, Hrubec, Kicko, Lipa 1999, STN EN ISO 4287 – 1999). Ak má byť drsnosť povrchu hodnotená samostatne, musí byť zložka drsnosti separovaná pomocou filtrácie (Dubovská, 2000).

Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen
e-mail: siklienka@tuzvo.sk; filipargay@gmail.com; richard.kminiak@tuzvo.sk



Obrázok 1 Skladba nerovnosti povrchu

Ako uvádza Siklienka (2008), charakteristickým znakom povrchu obrobeného pílením kotúčovými pílami je ryhovanosť. Takýto obrobených povrch obrobku nie je hladký, ale môžeme na ňom vidieť ryhy spôsobené prechodom pílového kotúča, zvlášť jeho rezných elementov, teda ozubenia. Praktická skúsenosť dokazuje, že ryhovanie je priamoúmerné posuvu obrobku a veľkosti rozvodu zubov pílového kotúča. Prepočty ukazujú, že bežné hodnoty rozvodu zubov (do 0,8 mm na jednu stranu) spôsobia kinematickú hĺbku rýh 0,5 mm, t.j. spadajúcu do I.A kvality reziva (Lisičan, 1984). 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.

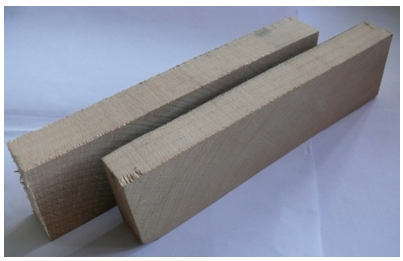
Väčšina v súčasnosti používaných pílových kotúčov má na zuboch navarené SK platničky. SK materiály sú charakterizované vysokou tvrdosťou, pevnosťou, odolnosťou voči opotrebeniu, ale aj krehkosťou (Barcík, 1996). Pílové kotúče s SK- plátkami majú v porovnaní s nástrojovou oceľou 20 až 30 násobne vyššiu trvanlivosť reznej hrany (Prokeš, 1982).

Cieľom tohto článku je sledovanie zmeny drsnosti povrchu v procese priečneho pílenia bukových vzoriek v závislosti od vybraných premenných, ktoré predstavujú otáčky strojno – technologického zariadenia, uhlová geometria pílových kotúčov a posuvná rýchlosť.

MATERIÁL A METODIKA

Charakteristika skúšobných vzoriek:

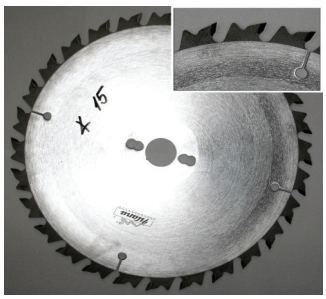
Pre experimentálne skúšky boli použité vzorky vzniknuté priečnym pílením **tangenciálneho bukového reziva** s vlhkosťou nad bodom nasýtenia vlákien **w= 54 – 56%** a rozmermi **50 mm** x **200 mm** x **1500 mm**. Hrúbka vzoriek **20mm** bola daná rozstupom medzi jednotlivými rezmi vedenými v smere kolmom na dĺžku dosky. Experimentálne vzorky boli zhotovené so zreteľom na vymanipulovanie chýb nachádzajúcich sa v dreve. Konečné rozmery vzoriek pre meranie drsnosti povrchu boli: výška - **50 mm** x hrúbka - **20 mm** x šírka - **200 mm** (Obrázok 2).



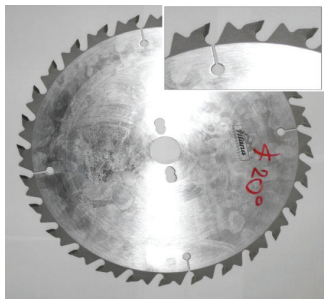
Obrázok 2 Experimentálne bukové vzorky

Charakteristika pílových kotúčov:

Pre experimentálne meranie boli zvolené tri pílové kotúče (Obrázok 3,Obrázok 4 a Obrázok 5). Pílové kotúče boli dodané firmou Pilana a.s. a jednalo sa o pilové kotúče s **platničkami zo spekaného karbidu typ SK-10** a rôznou uhlovou geometriou – **meniacim sa uhlom čela**. Parametre pre experiment zvolených kotúčov sú uvedené v Tabuľka 1.



Obrázok 3 PK s uhlom čela γ = 15˚



Obrázok 4 PK s uhlom čela γ = 20˚

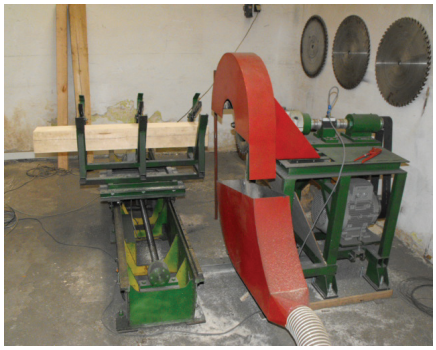
Obrázok 5 PK s uhlom čela γ = 25

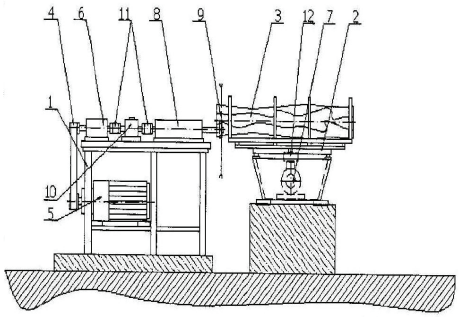
Tabuľka 1 Parametre pilových kotúčov

	Uhlová geometria	základné rozmery (Dxb/sxd) (mm)	rozstup zubov t_z (mm)	rozvod na stranu – a (mm)	max. otáčky kotúča (min^{-1})
uhol chrbta α (˚) PK1	18	400 x 3,2/2,2 x 30	34	0,5	6500
uhol rezného klina β (˚) PK1	57				
uhol čela γ (˚) PK1	15				
uhol chrbta α (˚) PK2	15	400 x 3,2/2,2 x 30	34	0,5	6500
uhol rezného klina β (˚) PK2	55				
uhol čela γ (˚) PK2	20				
uhol chrbta α (˚) PK3	18	400 x 3,2/2,2 x 30	34	0,5	6500
uhol rezného klina β (˚) PK3	47				
uhol čela γ (˚) PK3	25				

Charakteristika strojného zariadenia:

Porez bukových vzoriek bol realizovaný na experimentálnom zariadení - stende skompletizovanom FEVT, Katedrou Lesnej a mobilnej techniky (Obrázok 6). Tento je inštalovaný vo Vývojových dielňach (VDL) na TU vo Zvolene. Stend sa skladá z dvoch hlavných častí: rezacia časť a posúvacia časť. Rezacia časť zabezpečuje pohyb a prenos krútiaceho momentu na nástroj, posúvacia časť zabezpečuje uchytenie a posuv obrobku do rezu (Mikleš, Kováč, Krilek, 2010).





Obrázok 6 Experimentálny stend
(1.Pracovný stôl, 2. Zariadenie na posuv dreva, 3. Rezný materiál, 4. Remeňový prevod na pohon PK píly, 5. Elektromotor pohonu PK píly, 6. Ložiskový domec, 7. Elektromotor na posuv materiálu do rezu, 8. Vreteník kotúčovej píly, 9. Rezací PK, 10. Snímač krútiaceho momentu a otáčok HBM T20WN, 11. Spojky GIFLEX GFLL- 28, 12. Snímač sily HBM S2)

Podmienky experimentu:

Pílenie skúšobných vzoriek na účelovo navrhnutom experimentálnom stende pre priečne pílenie prebiehalo pri **troch meniacich sa pílových kotúčoch, troch úrovniach otáčok strojno – technologického zariadenia a troch úrovniach rýchlosti posuvu**. Konkrétne parametre experimentu uvádza
Tabuľka **2**.

Tabuľka 2 Parametre experimentu rezné podmienky a druhy pílových kotúčov

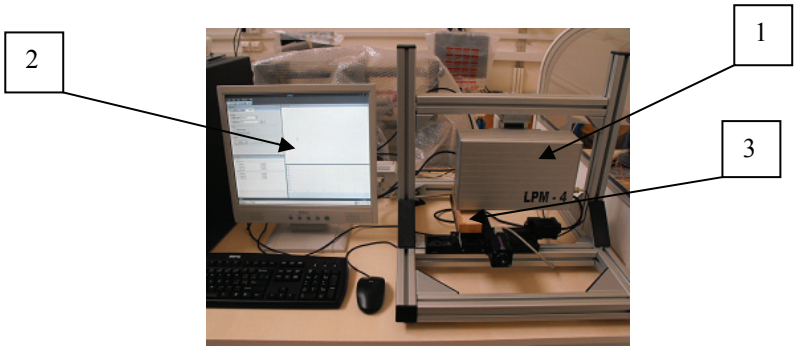
Parameter	Hodnota		
rýchlosť posuvu [m.min^{-1}]	4	8	12
otáčky [min^{-1}]	2000	2500	3000
uhol čela pílového kotúča [°]	15	20	25
materiál rezného klina pílového kotúča	spekaný karbid	spekaný karbid	spekaný karbid

To znamená, že vykonané experimentálne meranie prebehlo pri všetkých možných, t.j. 27 kombináciách.

Charakteristika meracej aparatúry

Kvalita povrchu bola hodnotená na základe parametra R_a strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti. Meracia aparatúra pozostávala z:

- Laserový profilometer LPM – 4 (Obrázok 7),
- PC s vyhodnocovacím softvérom (Obrázok 7).



Obrázok 7 Schéma meracej aparatúry pre meranie drsnosti povrchu (Laserový profilometer LPM - 4, 2. PC s vyhodnocovacím softwareom, 3. Skušobná BK vzorka rozmerov 50 x 200 x 20 mm)

Aparatúra pre meranie drsnosti povrchu bola vyvinutá KOD a inštalovaná vo VDL TU vo Zvolene. Získanie požadovaných údajov o profilových charakteristikách jednotlivých povrchov experimentálnych vzoriek bolo vykonané monitorovaním ich povrchu na troch rôznych miestach laserovým profilometrom LPM – 4. Profilometre LPM, ich hardwarová a softwarova časť vychádza zo špecifikácií merania nerovnosti povrchu profilovou metódou definovanou v norme STN EN ISO 4287 (Šustek, 2010).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnoty drsnosti povrchu – strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti R_a boli vyhodnotené štatistickým programom STATISTICA 7 (Tabuľka 3). Na základe vyhodnotenia získaných údajov pomocou viacfaktorovej analýzy rozptylu bolo zistené, že všetky skúmané faktory sú štatisticky nevýznamné a ich poradie vplyvu je nasledovné: 1) posuvná rýchlosť, 2) uhlová geometria pílových kotúčov (uhol čela), 3) otáčky strojno-technologického zariadenia. Ako jediná štatisticky významná sa prejavila súčinnosť uhlovej geometrie pílových kotúčov a otáčok strojno-technologického zariadenia.

Tabuľka 3 Viacfaktorová analýza rozptylu ANOVA

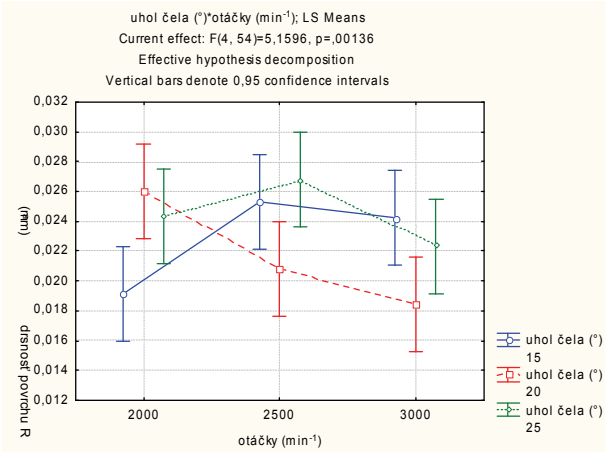
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	0,042987	1	0,042987	1916,321	0,000000
uhol čela (°)	0,000102	2	0,000051	2,280	0,112034
posuvná rýchlosť (m.min^{-1})	0,000140	2	0,000070	3,122	0,052106
otáčky (min^{-1})	0,000094	2	0,000047	2,092	0,133343
uhol čela (°)*posuvná rýchlosť (m.min^{-1})	0,000225	4	0,000056	2,502	0,052965
uhol čela (°)*otáčky (min^{-1})	0,000463	4	0,000116	5,160	0,001356
posuvná rýchlosť (m.min^{-1})*otáčky (min^{-1})	0,000165	4	0,000041	1,834	0,135792
uhol čela (°)*posuvná rýchlosť (m.min^{-1})*otáčky (min^{-1})	0,000077	8	0,000010	0,431	0,897331
Error	0,001211	54	0,000022		

Tabuľka 4 dokumentuje priemernú strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti R_a pre všetkých 27 kombinácii skúmaných parametrov. Získané hodnoty sú roztriedené v závislosti od: 1) uhlovej geometrie pílových kotúčov (uhlu čela) 2) rýchlosti posuvu, 3) otáčok strojno-technologického zariadenia.

Tabuľka 4 Priemerné hodnoty drsnosti pre BK vzorky rozmerov 50x20x200mm

uhol čela (°)	posuvná rýchlosť (m.min^{-1})	otáčky (min^{-1})	drsnosť povrchu Ra (mm) Mean	drsnosť povrchu Ra Std.Err.	drsnosť povrchu Ra (mm) -95,00%	drsnosť povrchu Ra (mm) +95,00%	N
15	4	2000	0,016333	0,002734	0,010851	0,021816	30
15	4	2500	0,023667	0,002734	0,018184	0,029149	30
15	4	3000	0,025000	0,002734	0,019518	0,030482	30
15	8	2000	0,020333	0,002734	0,014851	0,025816	30
15	8	2500	0,026333	0,002734	0,020851	0,031816	30
15	8	3000	0,026667	0,002734	0,021184	0,032149	30
15	12	2000	0,020667	0,002734	0,015184	0,026149	30
15	12	2500	0,026000	0,002734	0,020518	0,031482	30
15	12	3000	0,021000	0,002734	0,015518	0,026482	30
20	4	2000	0,019000	0,002734	0,013518	0,024482	30
20	4	2500	0,015333	0,002734	0,009851	0,020816	30
20	4	3000	0,016333	0,002734	0,010851	0,021816	30
20	8	2000	0,028667	0,002734	0,023184	0,034149	30
20	8	2500	0,024000	0,002734	0,018518	0,029482	30
20	8	3000	0,018000	0,002734	0,012518	0,023482	30
20	12	2000	0,030333	0,002734	0,024851	0,035816	30
20	12	2500	0,023000	0,002734	0,017518	0,028482	30
20	12	3000	0,021000	0,002734	0,015518	0,026482	30
25	4	2000	0,022333	0,002734	0,016851	0,027816	30
25	4	2500	0,026667	0,002734	0,021184	0,032149	30
25	4	3000	0,026000	0,002734	0,020518	0,031482	30
25	8	2000	0,026000	0,002734	0,020518	0,031482	30
25	8	2500	0,028333	0,002734	0,022851	0,033816	30
25	8	3000	0,018667	0,002734	0,013184	0,024149	30
25	12	2000	0,024667	0,002734	0,019184	0,030149	30
25	12	2500	0,025333	0,002734	0,019851	0,030816	30
25	12	3000	0,022333	0,002734	0,016851	0,027816	30

Graf na Obrázok 8 dokumentuje vplyv otáčok strojno-technologického zariadenia na drsnosť povrchu pri rôznej geometrii pílových kotúčov (uhlu čela). Ako preukázala viacfaktorová analýza rozptylu Tabuľka 3 a aj samotný graf na Obrázok 8, vplyv otáčok strojno-technologického zariadenia na drsnosť povrchu je štatisticky nevýznamný. Otáčky strojno-technologického zariadenia sa stávajú štatisticky významnými len pri spolupôsobení s uhlovou geometriou pílových kotúčov. Prejav zmeny otáčok aj pri spolupôsobení s uhlovou geometriou nie je jednoznačný (nedá sa vysloviť tvrdenie, že zo zvýšením otáčok strojno-technologického zariadenia narastá alebo klesá drsnosť povrchu), nakoľko prejav zmeny závisí od príslušnej geometrie rezného klina pílového kotúča.

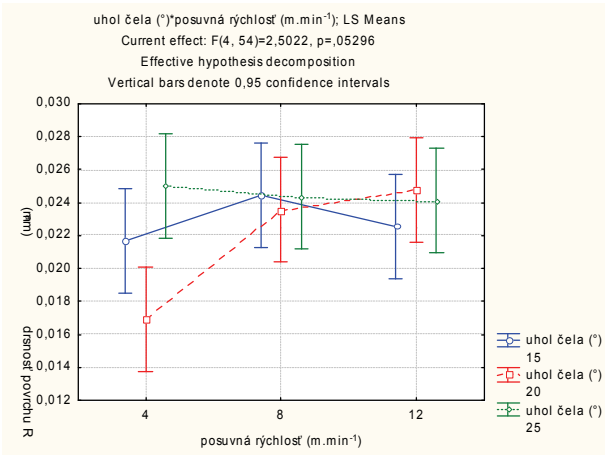


Obrázok 8 Vplyv uhlu čela pílového kotúča a otáčok na drsnosť povrchu

Pri pílových kotúčoch s uhlom čela 15° a 25° je zachytený rovnaký trend v reakcii na zmenu otáčok strojno-technologického zariadenia a ich priemerné hodnoty sa od seba líšia o 1-4 µm. Odlišne sa prejaví zmena otáčok strojno-technologického zariadenia pri uhle čela 15°, kde so zvyšovaním otáčok strojno-technologického zariadenia drsnosť jednoznačne klesá.

Na zaujatie celkového postoju sa treba na problematiku vplyvu otáčok strojno-technologického zariadenia pozrieť komplexne. Je potreba zohľadniť faktor prirodzenej drsnosti dreva, lebo ako konštatuje Gurau (2004) či Gaff a Gáborík (2009) práve vďaka anatomickej stavbe dreva a jeho pórovitej štruktúre nie je možné u neho dosiahnuť hladký povrch. Teda pri nízkej priemernej hodnote drsnosti 15 – 29 µm je z veľkej časti jej variabilita ovplyvnená faktorom prirodzenej drsnosti dreva. Celkovo hodnotu priemernej drsnosti 15 – 29 µm je možné považovať za vyhovujúcu, pričom faktor vplyvu otáčok strojno-technologického zariadenia môžeme z tohto pohľadu zanedbať a ich optimálnu hodnotu voliť na základe iných ukazovateľov ako kvality povrchu napr. energetiky procesu pílenia či optimálneho odvodu triesky.

Na Obrázok 9 je znázornený vplyv posuvnej rýchlosti a uhlovej geometrie pílových kotúčov na vzniknutú drsnosť povrchu. Z daného obrázku vyplýva, že pílové kotúče s ich rôznou uhlovou geometriou vykazujú veľmi podobné hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti - R_a pri všetkých zvolených posuvných rýchlostiach. Výnimkou je kombinácia posuvnej rýchlosti 4 m.min^{-1} s pílovým kotúčom s uhlom čela 20°. V tomto prípade vykazuje stredná aritmetická odchýlka R_a najnižšiu nameranú hodnotu.



Obrázok 9 Vplyv posuvnej rýchlosti a uhlu čela na drsnosť povrchu

Tak ako pri predchádzajúcom vyhodnotení konštatujeme, že posuvná rýchlosť sa preukázala ako štatisticky nevýznamný faktor a ani z hlbšieho vyhodnotenia nie je možne pozorovať jednoznačnú tendenciu zmeny strednej aritmetickej odchýlky v závislosti na posuvnej rýchlosti. Variabilitu strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti si aj v tomto prípade vysvetľujeme ako dôsledok prirodzenej drsnosti dreva. Z daného dôvodu je možné vplyv posuvnej rýchlosti zanedbať a jej hodnoty voliť na základe iného parametra ako kvality povrchu napr. na základe maximalizácie výkonnosti daného stroja.

ZÁVER

Cieľom článku bolo sledovanie zmeny drsnosti povrchu v procese priečneho pílenia bukových vzoriek v závislosti od vybraných premenných, ktoré predstavovali otáčky strojno – technologického zariadenia, uhlová geometria pílových kotúčov a posuvná rýchlosť. Drsnosť povrchu bola sledovaná prostredníctvom strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti R_a. Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať nasledovné:

- Stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti bude v rámci uvažovaných parametrov dosahovať hodnoty v rozmedzí 15-29μm,
- Ani jedna z uvažovaných uhlových geometri nepreukázala zásadný vplyv na drsnosť vytvoreného povrchu,
- Nepreukázal sa ani očakávaný vplyv posuvnej rýchlosti a otáčok strojno-technologického zariadenia na drsnosť vytvoreného povrchu,
- Najlepšia kvalita vytvoreného povrchu bola dosiahnutá pri uhle čela 20°, posuvnej rýchlosti 4 $m.min^{-1}$ a otáčkach 2500 min^{-1}.

LITERATÚRA

1. BARCÍK, Š.: Technika pre výrobu nábytku. Vydanie I. Zvolen. Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2009. 263 s. ISBN 978-80-228-2055-4
2. BARCÍK, Š.: Nábytkárske stroje a zariadenia: Časť I. Vydanie I. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 1996. 140s. ISBN 80-228-0550-5
3. BEKÉŠ, J. – HRUBEC, J. – KICKO, J. – LIPA, Z. 1999. Teória obrábania. STU Bratislava 1999, s. 272. ISBN 80 – 227 – 1261 – 2.
4. DUBOVSKÁ. R. 2000. Niektoré poznatky o kvantifikácii drsnosti pri obrábaní dreva. Procesy trieskového a beztrieskového obrábania dreva 2000. 19. – 21.10.2000.
5. GAFF, M. GÁBORÍK, J.: Vlastnosti povrchu dreva modifikovaného reliéfovaním. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 9-26
6. GURAU L (2004) Study of the roughness of sander wood surface. In: Free press release center 2007. [http://fprc.com.uk/PDF/Lidiaweb0704.pdf]
7. LISIČAN, J.: Základy obrábania a delenia drevných materiálov. Vydanie II. Zvolen: Edičné stredisko VŠLD Zvolen, 1984. 412 s. 85-1430-84
8. MIKLEŠ, M. – KOVÁČ, J. – KRILEK, J.: Výskum rezných podmienok priečneho pílenia dreva. Vedecká štúdia. Vydanie I. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 69 s. ISBN 978-80-228-2147-6
9. PROKEŠ, S.: Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Vydanie III. Praha: STNL – Nakladatelství technické literatury, 1982. 584 s. 04-833-82
10. SIKLIENKA, M.: Súhrn prednášok z drevorezných nástrojov, základov obrábania dreva, teórie a techniky spracovania dreva. 2008.
11. ŠUSTEK, J. 2010. Laserový profilometer LPM s horizontálnym posunom pri sledovaní nerovnosti povrchu. Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2010. 9. – 11.9.2010
12. STN EN ISO 4287 – 1999. Geometrické špecifikácie výrobkov (GPS). Charakter povrchu: profilová metóda – termíny, definície a parametre charakteru povrchu. SÚTN Bratislava. 28 s.