

VPLYV UHLOVEJ GEOMETRIE PÍLOVÉHO KOTÚČA NA REZNÝ VÝKON PRI PRIEČNOM PÍLENÍ BUKOVÉHO DREVA

SAW BLADE ANGLE GEOMETRY EFFECT ON CUTTING OUTPUT POWER BY CROSS-CUTTING OF BEECH WOOD

Mikuláš Siklienka – Richard Kminiak – Filip Argay

ABSTRACT

The article deals with the influence of saw blades angular geometry with constant diameter, number of teeth and selected technological parameters by sawing process on cutting output power change by cross – cutting beech blanks. Experiment was conducted on beech blanks with cross-section 50 mm × 200 mm and 1500 mm length. Cutting output power was monitored in accordance to the changing angular geometry of the three saw blades - face angle $\gamma = 15/20/25^\circ$, feed rate = vf 4/8/12 m·min⁻¹ and machinery speed (rpm) $n = 2000 / 2500/3000 \text{ min}^{-1}$. The process of sawing was performed on an experimental Stendal, purpose-designed for cross cutting of wood. Carried out experiments show that the cutting performance power for parameter combinations ranges from 0.025 to 0.140 kW. In terms of cutting output power for the cross-cutting beech blanks preferable to use a saw blade with a face angle $\gamma = 15^\circ$ and 20° than saw blade with face angle $\gamma = 25^\circ$, by which the highest cutting output power was recorded.

Keywords: Saw blade, cutting (output) power, face angle, feed rate, rotational speed, SK plates.

ÚVOD

Kotúčová píla je jedným z najpoužívanějších drevodeliacich strojov určených na priečne a pozdĺžne pílenie dreva (LISIČAN 1982, KOCH 1985, Siklienka *et al.* 1991, WEN-TUNG *et al.* 2012). V práci DETVAJ 2003 sa uvádza, že kotúčové píly majú nezastupiteľné miesto pri pozdĺžnej aj priečnej manipulácii reziva na prírezi. 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 vlákien dreva. Pri priečnom pílení vedľajšie rezné hrany zubov pílového kotúča prerézavajú vlákna a formujú steny reznej škáry. Hlavné rezné hrany 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, KMINIAK 2007, Siklienka *et al.* 2012). 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.

Pre prax je veľmi dôležité, aby celý proces rezania dreva prebiehal s čo najmenšími nárokmi na energiu. Energetická náročnosť procesu obrábania ako aj kvalita vytvoreného povrchu i parametre vzniknutej triesky sú závislé tak od fyzikálno-mechanických vlastností píleného dreva ako i od tvaru, rozmerov, ostrosti rezného nástroja a technicko-technologických podmienok realizácie procesu pílenia (GOGLIA 1994, SCHAJER, WANG 2002, SIKLIENKA, MIŠURA 2005, KOPECKÝ, ROUSEK 2007, DZURENDA 2009, OČKAJOVÁ *et al.* 2010, WASIELEWSKI 2012). Podľa prác WASIELEWSKI *et al.* (1999), či BARCÍK *et al.* (2008), vhodným výberom nástroja, jeho geometrie a rezných podmienok je možné znížiť náklady pri rezaní drevnej suroviny, čiže zvýšiť výkonnosť rezania a presnosť rezania. Energetická náročnosť procesu pílenia je najčastejšie sledovaná prostredníctvom rezného výkonu. Podľa normy STN ISO 3002 – 4 : 1995 rezný výkon je definovaný ako výsledok skalárneho súčinu vektoru reznej sily F_c a vektoru reznej rýchlosti v_c za čas, pri určitých rezných podmienkach.

Cieľom tohto príspevku je stanovenie vplyvu uhla čela γ (15° , 20° , 25°) na energetickú náročnosť procesu priečného pílenia bukového dreva tromi pílovými kotúčmi s SK platničkami priemeru 400 mm v rozmedzí posuvných rýchlostí $v_f = 4/8/12$ m·min⁻¹ a otáčok $n = 2000/2500/3000$ min⁻¹.

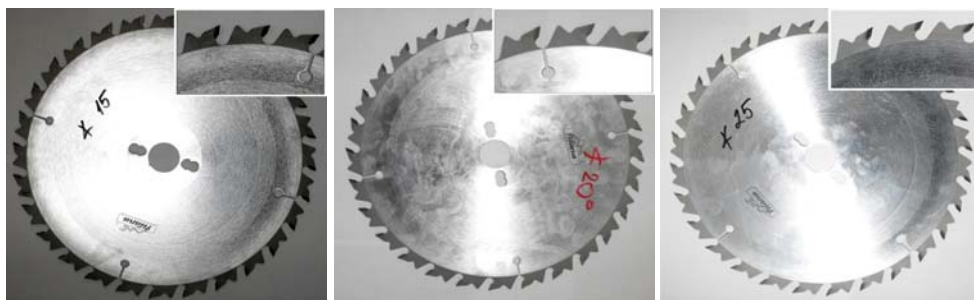
METODIKA

Charakteristika skúšobných vzoriek:

Pre experimentálne skúšky boli použité vzorky z dreviny – buk lesný (*Fagus Silvatica* L.) rozmerov 50 mm × 200 mm × 1500 mm s absolútnou vlhkosťou $w_a = 53 - 56$ %. Vzniknuté skúšobné vzorky boli zhotovené so zreteľom na vymanipulovanie chýb nachádzajúcich sa v dreve, čím sa pre daný experiment zabezpečila požadovaná akosť skúšobných vzoriek.

Charakteristika pílových kotúčov:

Pre experimentálne meranie boli použité tri pílové kotúče (Obr. 1) s platničkami zo spekaného karbidu typu SK – K10 a rôznou uhlovou geometriou – meniacim sa uhlom čela γ (15° , 20° , 25°). Pílové kotúče dodala firma Pilana s.r.o. Parametre pre experiment zvolených kotúčov sú nasledovné (Tab. 1):



Obr. 1 PK s uhlom čela a) $\gamma = 15^\circ$ b) $\gamma = 20^\circ$ c) $\gamma = 25^\circ$.
Fig. 1 Saw blade with a face angle a) $\gamma = 15^\circ$ b) $\gamma = 20^\circ$ c) $\gamma = 25^\circ$.

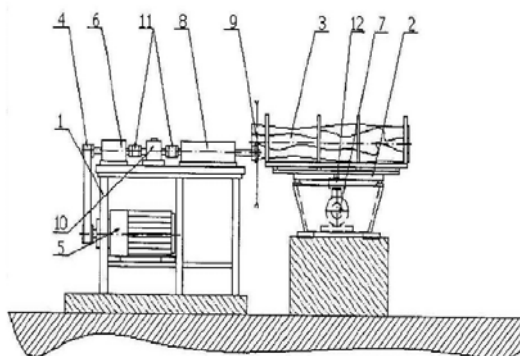
Tab. 1 Základné parametre pílových kotúčov.
Tab. 1 Basic parameters of saw blades.

	Uhlová geometria	Základné rozmery (Dxb/sxd) (mm)	Rozstup zubov t_z (mm)	Rozšírenie reznej hrany na stranu -a (mm)	Max. otáčky kotúča (min^{-1})
Uhol chrbta α (°) PK1	18	400x3,2/2,2x30	34	0,5	6500
Uhol rezného klina β (°) PK1	57				
Uhol čela γ (°) PK1	15				
Uhol chrbta α (°) PK2	15	400x3,2/2,2x30	34	0,5	6500
Uhol rezného klina β (°) PK2	55				
Uhol čela γ (°) PK2	20				
Uhol chrbta α (°) PK3	18	400x3,2/2,2x30	34	0,5	6500
Uhol rezného klina β (°) PK3	47				
Uhol čela γ (°) PK3	25				

Charakteristika strojného zariadenia a meracej aparatury:

Praktické merania a skúšky priečného pílenia vybraných bukových vzoriek boli realizované na experimentálnom zariadení - stende skompletizovanom Katedrou lesnej a mobilnej techniky FEVT. Tento je inštalovaný vo Vývojových dielňach (VDL) na TU vo Zvolene. Experimentálny stand (Obr. 2) sa skladá z dvoch hlavných častí: rezacia časť a posúvacia časť. Experimentálny stand umožňuje plynulú zmenu otáčok a výkonu elektromotorov pomocou frekvenčných meničov s vektorovým riadením.

Pre experiment boli použité tri úrovne posuvnej rýchlosti $v_f = 4/8/12 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a tri úrovne otáčok strojno-technologického zariadenia $n = 2000/2500/3000 \text{ min}^{-1}$.



Obr. 2 Experimentálna časť- navrhnutý stand (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).

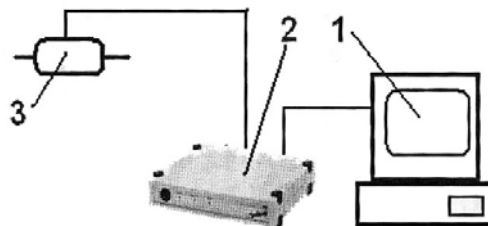
Fig. 2 Experimental part – design of stand (1.Working desk, 2. Equipment for wood movement, 3. Cutting material, 4. Belt drive to power saw blade of circular saw, 5. Electric motor for saw blade drive 6. Bearing House, 7. Electric motor to move the material to cut, 8. Circular saw headstock, 9. Saw blade, 10. Torque sensor HBM T20WN, 11. Clutch GIFLEX GFLL- 28, 12. Force sensor HBM S2).

Rezný výkon bol v procese priečného pílenia bukových vzoriek zaznamenaný meracou aparátúrou (Obr. 3) pozostávajúcou z nasledovných častí:

- PC s vyhodnocovacím softwarom
- Snímač krútiaceho momentu a otáčok HBM T20WN
- Meracie zariadenie SPIDER – 8

Rezný výkon bol vypočítaný na základe nameraného krútiaceho momentu a jemu prislúchajúcich otáčok nástroja.

Na meranie krútiaceho momentu a otáčok rezného nástroja slúži snímač krútiaceho momentu a otáčok HBM T20WN. Snímač je navrhnutý na nominálny krútiaci moment 20 Nm. Signál zo snímača je vedený do meracej ústredne SPIDER – 8, čo je vlastne osem kanálová univerzálna meracia ústredňa (A/D prevodník) a odtiaľ je zaznamenávaný na pevný disk počítača (KOVÁČ, KRILEK 2011).



Obr. 3 Schéma zapojenia meracej aparátúry (1. PC s vyhodnocovacím softvérom, 2. Snímač krútiaceho momentu a otáčok HBM T20WN, 3. Meracie zariadenie SPIDER – 8).

Fig. 3 Wiring diagram of the measuring equipment (1. PC with evaluation software, 2. Torque sensor HBM T20WN, 3. Measuring device SPIDER – 8).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výstup z experimentálneho merania predstavujú zistené hodnoty rezného výkonu zaznamenaného pri vyššie spomenutých kombináciách procesu priečného pílenia bukových vzoriek na navrhnutom experimentálnom stende (Tab. 2).

Získané hodnoty sú roztriedené v závislosti od posuvnej rýchlosti, rôznej uhlovej geometrii troch pílových kotúčov (uhol čela) a otáčok strojno-technologického zariadenia. Týmto vzniklo všetkých 27 možných kombinácií.

Rezný výkon bol vyhodnotený matematicko-štatistickým programom STATISTICA 7. Na základe vyhodnotenia získaných údajov viacfaktorovej analýzy rozptylu (Tab. 3) bolo zistené, že všetky skúmané faktory sú štatisticky významné a ich významnosť klesá v rade: uhol čela, posuvná rýchlosť a otáčky strojno-technologického zariadenia.

Grafickým vyjadrením vyššie uvedenej tabuľky 2 – priemerné hodnoty rezného výkonu pre bukové vzorky hrúbky 50mm je obrázok 4, ktorý dokumentuje vplyv uhlovej geometrie pílových kotúčov na rezný výkon pri súčasnom zohľadnení vplyvu posuvnej rýchlosti a otáčok. Vplyv uhlovej geometrie pílových kotúčov a zmeny posuvnej rýchlosti na rezný výkon graficky znázorňuje obrázok 5. Poukazuje na fakt, že pílový kotúč s uhlom čela $\gamma = 25^\circ$ je energeticky najnáročnejší pre zvolené podmienky pílenia. Pílové kotúče s uhlom čela $\gamma = 15^\circ$ a 20° vykazujú nižšie a z hľadiska energetiky pílenia priaznivejšie hodnoty oproti predošlému kotúču. Pri všetkých troch pílových kotúčoch bol zaznamenaný približne rovnaký trend v náraste rezného výkonu v závislosti od zmeny posuvnej rýchlosti.

Tab. 2 Priemerné hodnoty rezného výkonu pre BK vzorky hrúbky 50 mm.

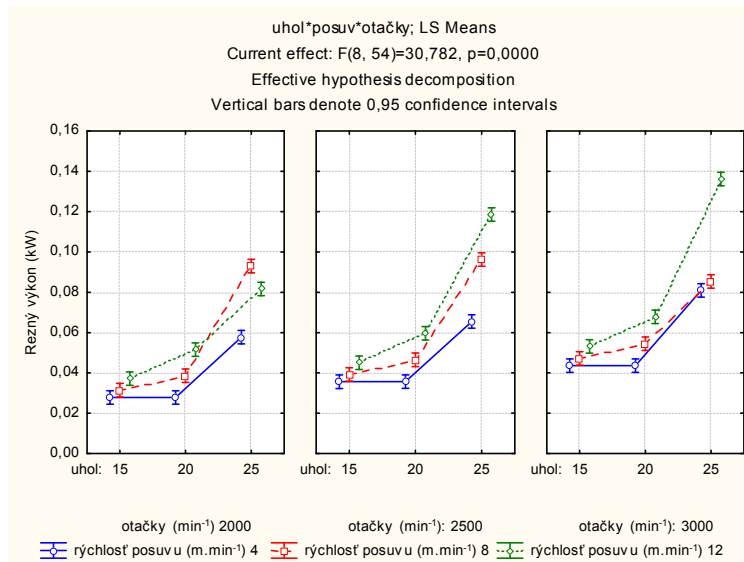
Tab. 2 The average values of the cutting output power for 50 mm thick beech samples.

Uhol čela PK [°]	Posuvná rýchlosť [m.min ⁻¹]	Otáčky [min ⁻¹]	Priemerná hodnota rezného výkonu [kW]
15	4	2000	0,0279 ± 0,00167
		2500	0,0356 ± 0,00167
		3000	0,0436 ± 0,00167
	8	2000	0,0314 ± 0,00167
		2500	0,0392 ± 0,00167
		3000	0,0472 ± 0,00167
	12	2000	0,0372 ± 0,00167
		2500	0,0451 ± 0,00167
		3000	0,0531 ± 0,00167
20	4	2000	0,0278 ± 0,00167
		2500	0,0357 ± 0,00167
		3000	0,0436 ± 0,00167
	8	2000	0,0386 ± 0,00167
		2500	0,0465 ± 0,00167
		3000	0,0545 ± 0,00167
	12	2000	0,0516 ± 0,00167
		2500	0,0597 ± 0,00167
		3000	0,0678 ± 0,00167
25	4	2000	0,0577 ± 0,00167
		2500	0,0655 ± 0,00167
		3000	0,0809 ± 0,00167
	8	2000	0,0930 ± 0,00167
		2500	0,0963 ± 0,00167
		3000	0,0854 ± 0,00167
	12	2000	0,0817 ± 0,00167
		2500	0,1186 ± 0,00167
		3000	0,1362 ± 0,00167

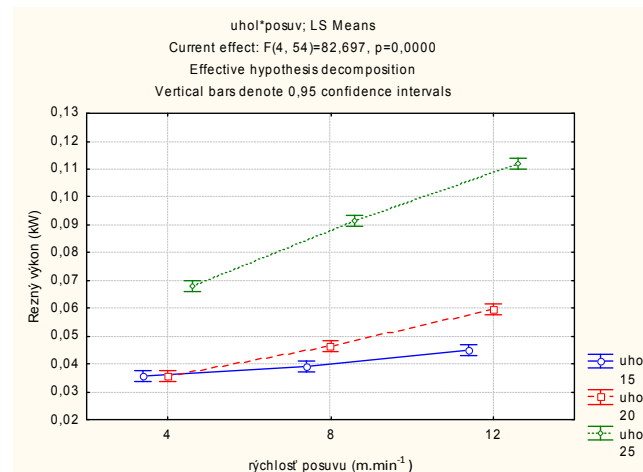
Tab. 3 Viacfaktorová analýza rozptylu.

Tab. 3 Multifactor analysis of variance.

	Súčet štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	Fisherov F- test	Hladina významnosti
posuvná rýchlosť [m.min ⁻¹]	0,040341	2	0,02017	540,78	0,001
otáčky [min ⁻¹]	0,009013	2	0,00457	276,33	0,001
uhol čela [°]	0,004606	2	0,0023	2420,47	0,001
posuv*otáčky	0,002757	4	0,00069	31,55	0,001
posuv*uhol	0,000244	4	0,00061	82,70	0,001
otáčky*uhol	0,001052	4	0,00026	7,32	0,001
posuv*otáčky*uhol	0,002052	8	0,00026	30,78	0,001



Obr. 4 Vplyv uhlovej geometrie PK, posuvnej rýchlosti a otáčok na rezný výkon.
Fig. 4 Effect of saw blades angular geometry, feed rate and speed on cutting output power.



Obr. 5 Vplyv uhlovej geometrie PK a posuvnej rýchlosti na rezný výkon.
Fig. 5 Saw blade angular geometry effect and feed rate on cutting output power.

Z vedeckej štúdiu autorov MIKLEŠ *et al.* (2010), ktorí sa venovali obdobnej problematike z pohľadu uhlovej geometrie pilových kotúčov (uhlov čela od -5° do 20°) vyplýva, že ako najvhodnejšia hodnota uhlu čela pilového kotúča pri priečnom pílení masívneho dreva je jeho hodnota 20° . Z nášho výskumu vychádza ako optimálny uhol čela 15° . Rozdiel v nami nameranom reznom výkone medzi uhlom čela 15° a 20° predstavuje 0,01 kW, čo je približne 25 % nárast. Je potrebné dodať, že ďalšie zvyšovanie hodnoty uhla čela nad hranicu 20° má výrazne negatívnejší vplyv na energetiku procesu pílenia. Pri uhle čela 25° je rezný výkon vyšší o 125 % ako pri uhle čela 15° a o 100 % vyšší ako pri uhle čela 20° .

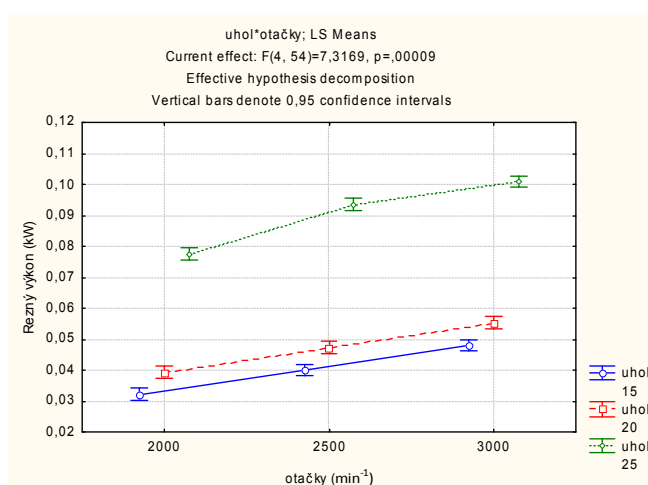
Takisto sa nevyklúčujú všetky doterajšie všeobecné zákonitosti procesov rezania dreva, ktoré uvádzajú, že so zvyšovaním rýchlosti posuvu rezný príkon ako i rezný výkon narastá.

Obrázok 6. dokumentuje grafické znázornenie vplyvu uhlovej geometrie pilových kotúčov a zmeny otáčok strojno-technologického zariadenia na rezný výkon. Obrázok poukazuje na skutočnosť, že z hľadiska štatistickej významnosti existuje malý rozdiel

v reznom výkone pri pílovom kotúči s uhlom čela $\gamma = 15^\circ$ a $\gamma = 20^\circ$. Ako štatisticky významnejší sa prejavil rozdiel medzi pílovým kotúčom s uhlom čela $\gamma = 25^\circ$ a ostatnými pílovými kotúčmi. Pri pílovom kotúči s uhlom čela $\gamma = 25^\circ$ bol nameraný najvyšší rezný výkon, čím sa stáva energeticky náročnejším oproti ostatným dvom kotúčom. Pri všetkých troch pílových kotúčoch bol zaznamenaný rastúci trend rezného výkonu v celom rozsahu otáčok.

Túto skutočnosť môžeme odôvodniť tým, že pri vyššom počte otáčok a nezmenenej posuvnej rýchlosti prechádzajú rezné hrany pílového kotúča obrábaným materiálom viackrát ako pri nižších otáčkach.

Vyššia frekvencia prechodov materiálom má za následok úmerné zvýšenie rezného výkonu. Tento fakt sa zhoduje aj s tvrdeniami viacerých autorov ako JAVOREK (1995), HOLOPÍREK (2004) a SIKLIENKA *et al.* (2007), ktorí uvádzajú, že rezný príkon ako i rezný výkon narastá so zväčšujúcim sa množstvom narezanej plochy - s narastaním času pílenia - narastaním opotrebenia rezného klina ako aj zvyšovaním reznej rýchlosti.



Obr. 6 Vplyv uhlovej geometrie PK a otáčok na rezný výkon.
Fig. 6 Saw blade angular geometry effect and speed on cutting output power.

Experiment preukázal, že v prípade nami skúmaných pílových kotúčov najnižšia hodnota hlučnosti procesu pílenia bude pri uhle čela 15° . S pohľadu kvality vytvoreného povrchu sa ako optimálnejší preukázal uhol čela 20° . Pri zohľadnení aj zvyšných faktorov sa ako optimálny ukazuje kompromis, teda uhol čela 20° , čo korešponduje aj so závermi iných autorov ako KOVÁČ, KRILEK (2010), či odporúčaniami výrobcov nástrojov Pilana (1999).

ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme vysloviť nasledovné závery:

- pri priečnom pílení rastlého bukového dreva ma najnižšiu energetickú náročnosť pílový kotúč s uhlom čela $\gamma = 15^\circ$,
- použitím pílového kotúča s uhlom čela $\gamma = 20^\circ$ sa stáva priečne pílenie pri daných podmienkach v porovnaní s pílovým kotúčom s uhlom čela $\gamma = 15^\circ$ energeticky náročnejšie približne o 0,01 kW, čo predstavuje 25% nárast rezného výkonu
- použitie uhla čela 25° sa pre dané podmienky priečného pílenia javí ako nevhodne, nakoľko spôsobí zvýšenie rezného výkonu v porovnaní s pílovým kotúčom s uhlom čela $\gamma = 15^\circ$ o 0,05 kW čo predstavuje nárast 125 % .

Pri zohľadnení nielen energetickej náročnosti procesu pílenia ale aj ukazovateľov ako sú kvalita vytvoreného povrchu, životnosť pílového kotúča či hlučnosť procesu pílenia je optimálne použiť pílový kotúč s uhlom čela 20°.

LITERATÚRA

- 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). ISSN 0012-6772.
- DETVAJ, J. 2003. Technológia piliarskej výroby. Zvolen : TU Zvolen , 2003, s. 112–115.
- DZURENDA, L. 2009 Štruktúra zrnitosti a podiel izometrických triesok v mokrej piline z procesov pílenia dreva na hlavných piliarskch strojoch. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 51(1): 55–66. ISSN 1336-3824.
- GOGLIA, V. 1994. Strojevi i alati za obradu dreva I. Zagreb : GRAFA, 1994, 235 s.
- SCHAJER, G.S., S.A.WANG – Effect of workpiece interaction on cirkular saw cutting stability II. *Holz als Roh und Werkstoff*, 2002, 60: 48–54.
- KMINIAK, R. 2007. Drevorezné nástroje a obrábanie dreva 2007. Zborník referátov z odborného seminára. Zvolen, 13. December 2007. s. 96–102. ISBN 978-80-228-1822-3
- KOCH, P. 1985. Utilization of Hardwoods Growing on southern Pine Sites, Volume II – Processing. U.S. Department of Agriculture, Forest service. 1985, 2542 s.
- KOPECKÝ, Z., ROUSEK, M. 2007. Dustiness in high – speed milling. 2007, *Wood research*, 52(2): 65–76.
- KOVÁČ, J., KRILEK, J. 2011. Analysis of the selected parameters circular saw in the crosscutting wood. In. *Woodworking techniques*, September 7.–10. 2011, Praha. s. 168–174. ISBN 978-80-213-2182-3.
- LISIČAN, J. 1982. Základy obrábania a delenia drevných materiálov. Zvolen : VŠLD, 1982, 386 s., ISBN 84-0644-85
- MIKLEŠ, M., KOVÁČ, J., KRILEK, J. 2010. Výskum rezných podmienok priečného pílenia dreva. *Vedecká štúdia*. Vydanie I. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 69 s. ISBN 978-80-228-2147-6.
- 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.
- PROKEŠ, S. 1982. Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva. Vydanie III. Praha: STNL, 1982. 584 s.
- SIKLIENKA, M., ARGAY, F., KMINIAK, R. 2012. Vplyv uhlovej geometrie pílového kotúča na kvalitu povrchu při priečnom pílení roslého dreva. In. *Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2012*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, s. 325–333. ISBN 978-80-228-2385-2.
- SIKLIENKA, M., LISIČAN, J., BARCÍK, Š. 1991 *Drevárske stroje a zariadenia. Časť I*. Zvolen : Vysoká škola lesnícka a drevárska. Vydanie I. 1991. 139 s. ISBN 80-228-0120-8.
- SIKLIENKA, M., MIŠURA, E. 2005 Vplyv presahu pílového kotúča a rýchlosti posuvu na rezný výkon. In. *Transfer 2005 využívanie nových poznatkov v strojárskej praxi*. Trenčín : GC-TECH, 2005. s. 464, ISBN 80-8075-070-X.
- SVOREŇ J. 2002: *Drevárske stroje. Časť I*. Vydanie I. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 169 s. ISBN 80-228-1188-2.
- STN ISO 3002/4 (22 0011) *Rezné nástroje – Základné veličiny pri rezaní a brúsení časť 4*. Sily, práca, výkon
- WASIELEWSKI R., ORLOWSKI K., BLACHARSKI W. 1999. Frame sawing machines – kinematics and cutting force, *Proceedings of the International Wood Machining Seminar. IWMS 14*. Zvolen : Technical University in Zvolen, 2002, p. 819–825.

WEN-TUNG CH., CHIH-HSIEN S., DONG-XIE G., GEO-RY T., FANG-JUNG S. 2012. Automated optical inspection for the runout tolerance of circular saw blades. 22 June 2012. Springer-Verlag London Limited 2012
PILANA Tools 1999. Pílové kotúče – obecné zásady. Lignum, 1999, (10): 20–22.

ADRESY AUTOROV

¹prof. Ing. Mikuláš Siklienka, PhD.

²Ing. Richard Kminiak, PhD.

³Ing. Filip Argay

Technická univerzita vo Zvolene

Drevárska fakulta

Katedra obrábania dreva

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

siklienka@tuzvo.sk

richard.kminiak@tuzvo.sk

filipargay@gmail.com

