

VPLYV SPÔSOBU UPNUTIA FRÉZOVACEJ HLAVY NA KVALITU VYTVORENÉHO POVRCHU PRI FRÉZOVANÍ NA ŠTVORSTRANNEJ FRÉZKE

THE INFLUENCE OF METHOD OF CLAMPING MILLING HEAD TO THE QUALITY OF THE SURFACE DURING MILLING ON THE FOUR- SIDED MILLING MACHINE

Peter Janda – Richard Kminiak

ABSTRACT

The article deals with planar milling on the four-sided milling machine, namely the influence of the type of clamping cutter head shaft and sliding speed on the quality of the surface. The quality of the surface is controlled by the parameter **maximum height of roughness profile R_z** . Article compares **classic clamping and hydraulic clamping eight-knife** cutter head shaft four-sided milling machine, the three-level sliding velocity $v_f = 6, 15, 25 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. The comparison is made on the tangential spruce lumber absolute humidity $w_a = 9 \div 12\%$, at a cutting speed $v_c = 58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Article notes that thanks to mounting will eliminate tool clamping in hydraulic cutter head to improve the quality of the surface of **42,85 %** of the value of $R_z = 241.68 \mu\text{m}$ in classical clamping cutter head shaft to $R_z = 169.18 \mu\text{m}$ in hydraulic clamping cutter head shaft. It also reaffirms the feed rate of the material significantly affects the workpiece surface roughness for a given designs of cutter head and the manner of its mounting on shaft four-sided milling machine.

Keywords: wood material, milling head with classical clamping, milling head with hydraulic clamping, feed rate, working hours, four-side milling machine, jointing.

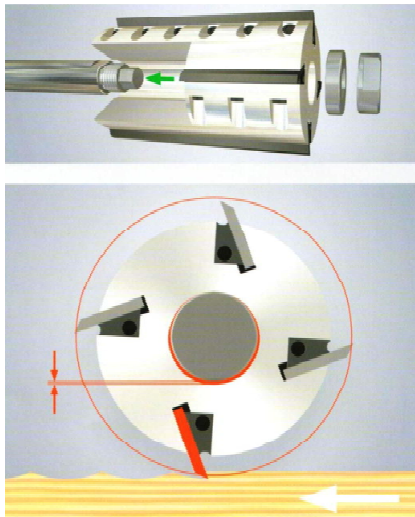
ÚVOD

Frézovanie je operácia obrábania dreva, pri ktorej je z obrobku odoberaná vrstva materiálu vo forme jednotlivých drobných triesok nástrojom s viacerými reznými hranami - frézou. Tento spôsob obrábania volíme na dosiahnutie hladkého povrchu a presných rozmerov obrobku (LISIČAN *et al.* 1996, KOCH 1985, PROKEŠ 1987).

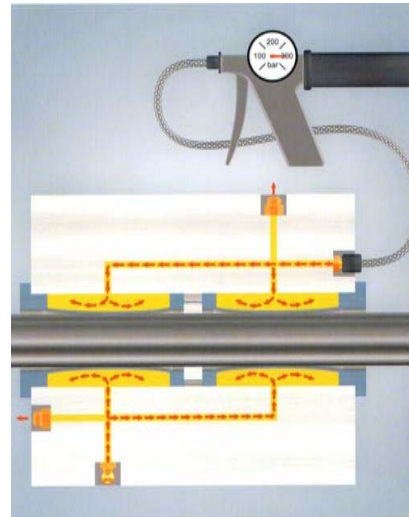
Štvorstranná frézka je stroj určený k pozdĺžnemu frézovaniu a profilovaniu obrábaných dielcov z dreva. Konštrukcia stroja umožňuje opracovanie štyroch strán obrobku pri jednom prechode dielca strojom (BARCÍK 2000, LIPTÁK *et al.* 1979).

Súčasnú štvorstrannú frézku používajú 4 až 12 frézovacích hláv, väčších priemerov (160 ÷ 220 mm), s vyšším počtom nožov v hlave, čo umožňuje zvýšenie posuvných rýchlostí (LISIČAN *et al.* 1996, LISIČAN a MÝTNY 1987).

Upnutie frézovacích hláv na hriadelí štvorstrannej frézky môže byť **klasické** - pomocou matice (**Obrázok 1**) alebo **hydraulické** - pomocou pružnej steny frézovacej hlavy (**Obrázok 2**). Princíp hydraulického upnutia frézovacej hlavy spočíva v tom, že kanáliky a komory integrované do nožovej hlavy sa pomocou vysokotlakového mazacieho lisu naplnia tukom, čím sa tlak v kanálikoch zvýši na hodnotu 30 MPa. Zvýšením tlaku dôjde k rozopnutiu stien tukových komôr a následne k vycentrovaniu a upnutiu nožovej hlavy. Hydraulickým upnutím sa odstráni montážna vôľa medzi hriadeľom štvorstrannej frézky a upínacím otvorom frézovacej hlavy, kým klasické upnutie montážnu vôľu (0,05 mm) neodstráni.



Obr. 1 Frézovacia hlava s klasickým upnutím.
Fig. 1 Milling head with the classic camping.



Obr. 2 Frézovacia hlava s hydraulickým upnutím.
Fig. 2 Milling head with the hydraulic camping.

Kvalitu vytvoreného povrchu pri rovinnom frézovaní najčastejšie hodnotí jej parameter najväčšia výška nerovnosti profilu (R_z) (súčet najväčšej výšky profilu Z_p a najväčšej priehlbiny profilu Z_v v rozsahu základnej dĺžky (STN ISO 4287)) (SADAK a NEGRI 2005), BARCÍK A KMINIAK 2008, DUBOVSKÁ 2000, ŠUSTEK 2010, ROUSEK 2004). Kvalita vytvoreného povrchu ako aj energetická náročnosť procesu obrábania obrobku sú závislé od fyzikálno-mechanických vlastností obrábaného materiálu ako i od tvaru, rozmerov, ostroty a geometrie rezného nástroja a technicko-technologických podmienok realizácie procesu obrábania (GOGLIA 1994, OČKAJOVÁ *et al.* 2010, ROUSEK *et al.* 2005, DZURENDA 2008).

Cieľom tohto príspevku je posúdenie vplyvu spôsobov upnutia frézovacej hlavy na hriadelí štvorstrannej frézky a posuvnej rýchlosti na drsnosť povrchu obrábaného materiálu.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Charakteristika skúšobných vzoriek

- drevina: **Smrek obyčajný** (*Picea abies*),
- typ reziva: **tangenciálne**,
- vlhkosť: $w_a = 9$ až 12 %,
- rozmer: hrúbka $h = 18$ mm, šírka $š = 105$ mm, dĺžka $l = 4000$ mm,
- počet skúšobných vzoriek: **90 kusov**.

Charakteristika strojného zariadenia

Experiment – frézovanie bolo prevedené na osemhriadeľovej štvorstrannej frézke **SK 908S** vyrobenej firmou **SK Machinery - Taiwan** (Obrázok 3). Technické parametre frézky sú uvedené v **tabuľke 1**.

Tab. 1 Technické parametre štvorstrannej frézky SK 908S.

Tab. 1 Technical parameters four-sided milling machine SK 908S.

Rezná rýchlosť	58,09 m·min ⁻¹
Posuvná rýchlosť	5–48 m·min ⁻¹
Príkion posuvu	11,1 kW
Počet valcov	8
Počet frézovacích hláv	8



Obr. 3 Štvorstranná frézka SK 908S.

Fig. 3 Four-sided milling machine.

Charakteristika frézovacích hláv

Na experiment sme použili frézovacie hlavy:

- I. **Osemnožová frézovacia hlava s klasickým upnutím na hriadeľi (Obrázok 4)** – jedná sa o frézovacia hlava z nástrojovej ocele priemeru $D = 180$ mm (základné parametre frézovacej hlavy vid'. **tabuľka 2**), s vymeniteľnými hobľovacími nožmi (z materiálu HSS 18 % W a rozmermi $35 \times 3 \times 130$ mm).
- II. **Osemnožová frézovacia hlava s hydraulickým upnutím na hriadeľi (Obrázok 5)** – jedná sa o frézovacia hlava z nástrojovej ocele priemeru $D = 180$ mm (základné parametre frézovacej hlavy vid'. **tabuľka 2**), s vymeniteľnými hobľovacími nožmi (z materiálu HSS 18 % W a rozmermi $35 \times 3 \times 130$ mm). Upínací tlak frézovacej hlavy na hriadeľi je 30 MPa a tlakové médium je mazací tuk NH2.



Obr. 4 Osemnožová frézovacia hlava s klasickým upnutím na hriadeľi.

Fig. 4 Eight-knife milling head with the classic clamping shaft.



Obr. 5 Osemnožová frézovacia hlava s hydraulickým upnutím na hriadeľi.

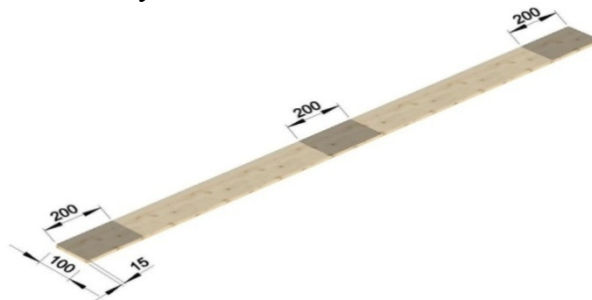
Fig. 5 Eight-knife milling head with the hydraulic clamping shaft.

Tab. 2 Základné parametre osemnožových frézovacích hláv.
Tab. 2 Basic parameters eight-knife of milling heads.

Priemer	180 mm
Rezný priemer telesa frézy cez vysunuté nože	185 mm
Šírka telesa frézy	130 mm
Počet nožov	8
Geometria rezného klina	$\beta = 55^\circ; \gamma = 15^\circ$

Postup získania skúšobných vzoriek pre meranie drsnosti

Omietané rezivo o rozmeroch $18 \times 105 \times 4000$ mm sa protibežne frézovalo na štvorstrannej frézke pri posuvnej rýchlosti 6, 15, 25 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ a reznej rýchlosti $58,09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Po odfrézovaní 0, 2400, 4800, ..., 9600 bm sa odoberal obrobok o rozmere $15 \times 100 \times 4000$ mm z ktorého na základe perezovej schémy (**Obrázok 6**) boli vymanipulované skúšobné vzorky.



Obr. 6 Výber vzorky pre meranie nerovnosti povrchu.
Fig. 6 Sample for measurement of surface roughness.

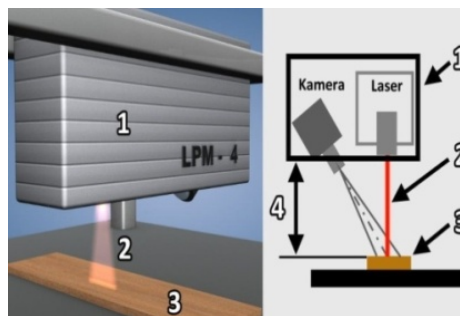
Charakteristika meracieho zariadenia

Nerovnosť povrchu skúšobných vzoriek bola meraná **laserovým profilomerom LPM-4**, ktorý bol zostavený na Katedre obrábania dreva TU vo Zvolene (**Obrázok 7**).

LPM 4 využíva triangulačný princíp laserovej profilometrie. Obraz laserovej čiary je snímaný pod uhlom digitálnou kamerou. Zo zosnímaného obrazu je následne vyhodnotený profil objektu v priereze. Princíp činnosti laserového profilomera bližšie ilustruje **obrázok 8**.



Obr. 7 Kompaktný profilometer LPM.
Fig. 7 Compact profilometer LPM.



Obr. 8 Princíp činnosti laserového profilomera LPM 4
(1 - kamera, 2 - lasér, 3 - skúšobná vzorka, 4 - vzdialenosť medzi LPM a meraným objektom).
Fig. 8 Principle of operation of laser profilometry LPM 4
(1 - camera, 2 - lasers, 3 - specimen, 4 - distance between the LPM and the measured object).

Postup merania nerovnosti povrchu skúšobných vzoriek

Pri meraní nerovnosti povrchu bola zohľadnená norma STN EN ISO 4287. Na každej vzorke bolo vykonané meranie v piatich stopách rovnomerne rozložených po šírke vzorky

(10, 30, 50, 70, 90 mm od kraja vzorky), dĺžka stopy bola 80 mm a stopa bola orientovaná v smere posuvu obrobku v procese frézovania. Nerovnosť povrchu bola vyhodnotená na základe najväčšej výšky primárneho profilu R_z .

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Drsnosť povrchu smrekového materiálu pri obrábaní rovinným frézovaním na štvorstrannej frézke v závislosti na spôsobe upnutia frézovacej hlavy na hriadeľ štvorstrannej frézky, odfrézovaných bm (opotrebení reznej hrany) a posuvnej rýchlosti dokumentuje **tabuľka 3**. Drsnosť vytvoreného povrchu R_z sa pohybuje v intervale od 96,77 μm do 329,87 μm .

Tab. 3 Základné štatistické hodnoty charakteristiky R_z , v závislosti na dobe opracovania a druhu upnutia na hriadeľ štvorstrannej frézky.

Tab. 3 Basic statistical characteristics of R_z values, depending on the time when working on a kind of clamping shaft on the four-sided milling machine.

Typ upnutia frézovacej hlavy	Odfrézovaná vzdialenosť L [bm]	Najväčšia výška nerovnosti profilu R_z [μm]		
		Posuvná rýchlosť v_f [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]		
		6	15	25
hydraulické	1200	158,14 (97,64 - 218,64)	209,73 (100,78 - 318,69)	318,04 (248,97 - 387,11)
hydraulické	2400	96,77 (10,74 - 182,80)	191,62 (109,84 - 273,41)	150,58 (90,23 - 210,92)
hydraulické	4800	123,81 (36,32 - 211,31)	148,74 (37,44 - 260,03)	191,02 (17,04 - 365,00)
hydraulické	7200	124,12 (34,73 - 213,50)	182,71 (77,68 - 287,75)	244,46 (45,05 - 443,86)
hydraulické	9600	116,00 (49,42 - 182,58)	122,38 (50,96 - 193,79)	159,60 (52,21 - 266,98)
klasické	1200	154,04 (131,01 - 177,07)	224,15 (173,83 - 274,47)	320,51 (233,52 - 407,50)
klasické	2400	199,99 (139,67 - 439,65)	278,25 (114,28 - 442,22)	329,30 (251,19 - 407,42)
klasické	4800	215,64 (137,05 - 294,23)	112,01 (31,16 - 192,87)	329,87 (223,33 - 436,41)
klasické	7200	279,19 (59,08 - 499,30)	241,86 (139,87 - 343,85)	278,19 (228,49 - 327,89)
klasické	9600	233,81 (119,46 - 348,16)	211,59 (172,50 - 250,67)	216,85 (69,31 - 364,39)

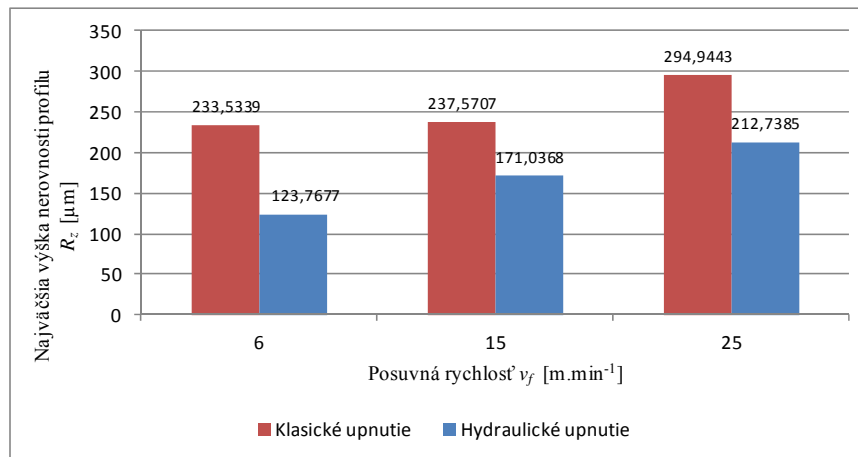
Trojfaktorová analýza rozptylu ANOVA **Tabuľka 4** preukázala, že typ upnutia frézovacej hlavy a posuvná rýchlosť má štatisticky významný vplyv na drsnosť povrchu smrekového dreva. Odfrézovaná vzdialenosť sa preukázala ako štatisticky nevýznamná. Z Fisherovho F testu vyplýva, typ upnutia frézovacej hlavy je o 48 % štatisticky významný ako vplyv posuvnej rýchlosti.

Tab. 4 Základná tabuľka 3 – faktorovej analýzy MANOVA.

Tab. 4 Basic Table 3 - factor analysis, MANOVA.

Zdroj menlivosti	Súčty štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	Fisherov F test	p hladina významnosti
Celk.priemer	7596415	1	7596415	641,89	0
Fréz. hlava	236544	1	236544	19,99	0
Posuvná rýchlosť	225635	2	112818	9,53	0
Odfrézovaná vzdialenosť	79354	4	19838	1,68	0,158
Fréz. hlava*posuvná rýchlosť	21043	2	10522	0,89	0,413
Fréz. hlava*odfrézovaná vzdialenosť	68405	4	17101	1,45	0,222
Posuvná rýchlosť*odfrézovaná vzdialenosť	135050	8	16881	1,43	0,19
Fréz. hlava*posuvná rýchlosť*odfrézovaná vzdialenosť	73589	8	9199	0,78	0,623
Náhodné činitele	1775171	150	11834		

Závislosť drsnosti povrchu od posuvnej rýchlosti, pre jednotlivé druhy upnutia frézovacej hlavy pri frézovaní na štvorstrannej frézke je zobrazená na **Obrázku 9**.



Obr. 9 Závislosť drsnosti povrchu R_z [µm] od posuvnej rýchlosti dreveného materiálu pri frézovaní v_f [m·min⁻¹].

Fig. 9 The dependence of the surface roughness R_z [µm] on wooden material feed rates during milling v_f [m·min⁻¹].

Drsnosť povrchu R_z je aj napriek totožným parametrom fréz (priemer, počet nožov, materiál noža, uhlová geometria noža, otupenie) vždy nižšia pri použití frézovacej hlavy s hydraulickým upnutím na hriadelí v porovnaní s frézovacou hlavou s klasickým upnutím na hriadelí.

Hodnota priemernej drsnosti obrábaného povrchu pri použití frézovacej hlavy s hydraulickým upnutím na hriadelí je $R_z = 169,18$ µm. Hodnota priemernej drsnosti obrábaného materiálu pri použití frézovacej hlavy s klasickým upnutím na hriadelí je $R_z = 241,68$ µm, čo predstavuje rozdiel 42,85 %.

Uvedený jav je spôsobený odstránením montážnej vôle medzi vnútorným priemerom frézovacej hlavy a hriadelom štvorstrannej frézky rozopnutím stien tukových komôr hydraulického upínania. Zároveň dôjde aj k vystredeniu frézovacej hlavy a tým k úplnému odstráneniu excentricity uloženia, čo spôsobí zjednotenie rozostupových kružníc jednotlivých nožov frézovacej hlavy.

V prípade frézovacej hlavy s klasickým upnutím na hriadelí, vďaka nevyhnutnej montážnej vôle medzi vnútorným priemerom frézovacej hlavy a hriadelom štvorstrannej frézky, vždy bude určitá hodnota excentricity uloženia a tým zapríčinená vyššia drsnosť povrchu obrábaného materiálu.

Drsnosť povrchu s rastúcou posuvnou rýchlosťou lineárne vzrastá pri oboch spôsoboch upnutia frézovacích hláv. Pri klasickom upnutí frézovacej hlavy na hriadelí sa zmenou posuvnej rýchlosti zo 6 m·min⁻¹ na 15 m·min⁻¹ R_z zvýši o 2 % a z 15 m·min⁻¹ na 25 m·min⁻¹ sa R_z zvýši o 25 %. Pri hydraulickom upnutí frézovacej hlavy na hriadelí sa zmenou posuvnej rýchlosti zo 6 m·min⁻¹ na 15 m·min⁻¹ R_z zvýši o 38 % a z 15 m·min⁻¹ na 25 m·min⁻¹ sa R_z zvýši o 33 %. Nárast najväčšej výšky nerovnosti profilu R_z s posuvnou rýchlosťou charakterizuje rovnica :

- hydraulické upnutie $R_z = 7,673 \cdot v_f + 97,528$ ($R^2 = 0,996$),
- klasické upnutie $R_z = 3,278 \cdot v_f + 205,08$ ($R^2 = 0,891$).

Dôvod zvýšenia drsnosti povrchu s nárastom posuvnej rýchlosti je zmena trajektórie relatívneho pohybu rezného klinu, ktorej sa v dôsledku zvýšenia posuvu na zub zvýši rozostup výstupkov na povrchu a ich výška.

Výskum v danej oblasti je realizovaný takmer výlučne v réžii výrobcov strojov a nástrojov a to hlavne pre oblasť CNC strojov. Hľadajú spôsob ako minimalizáciou montážnej vôle nástroja hydraulickým alebo termo upnutím zvýšia kvalitu produktu, následne rýchlosť obrábania a kapacitu stroja. Ako preukazujú nami dosiahnuté výsledky znižovania montážnej vôle nástroja má pozitívny vplyv na kvalitu produktu nielen pri CNC strojoch, ale aj pri štvorstranných frézokach.

ZÁVER

Zo vzájomného porovnania vplyvu spôsobu upnutia frézovacej hlavy a posuvnej rýchlosti na kvalitu vytvoreného povrchu pri frézovaní na štvorstrannej frézke vyplýva, že pri frézovacej hlave s hydraulickým upnutím na hriadelí je dosahovaná vyššia kvalita v porovnaní s frézovacou hlavou s klasickým upnutím na hriadelí.

Drsnosť povrchu vyjadrená parametrom najväčšej výšky primárneho profilu R_z je v prípade frézovacej hlavy s hydraulickým upnutím na hriadelí $R_z = 169,18 \mu\text{m}$, a je o 42,85 % nižšia v porovnaní s frézovacou hlavou s klasickým upnutím na hriadelí $R_z = 241,68 \mu\text{m}$.

Ďalej bolo preukázané, že rýchlosť posuvu materiálu výrazne ovplyvňuje drsnosť povrchu obrábaného materiálu nezávisle na danom konštrukčnom prevedení upnutia frézovacej hlavy. K **potvrdeniu** tohto faktu dospeli vo svojich prácach aj iní autori ako (PIVOLUSKOVÁ 2008), (GÁBORÍK a ŽITNÝ 2010) tiež **potvrdzujú**, že rýchlosť posuvu ovplyvňuje kvalitu povrchu obrábaného materiálu.

LITERATÚRA

- BARCÍK Š., 2000 Nábytkárske stroje a zariadenia časť1. Zvolen: TU vo Zvolene. s. 85–87, ISBN 80-228-09357.
- BARCÍK Š., E. KMINIAK, R. 2008. The influence of cutting speed and feed speed on surface quality at plane milling of poplar wood. Wood research, 54(1).
- SADAK J., NEGRI M. 2005. Woodsurface roughness – what is it? In Proceeding of COST E35, Workshop. 2005. 1:242–250.
- DZURENDA, L. 2008. Vplyv techniky na kvalitu deleného a obrábaného dreva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. s. 71–80, ISBN 978-80-228-1923-7.
- DUBOVSKÁ R. 2000. Niektoré poznatky o kvantifikácii drsnosti pri obrábaní dreva. In Procesy trieskového a beztrieskového obrábania dreva 2000. s. 43–47, ISBN 80-228-0952-7.
- GOGLIA V. 1994. Strojevi i alati za obradu dreva I. Zagreb : GRAFA, 1994, p. 235.
- SCHAJER G.S., S. A. WANG 2002. Effect of workpiece interaction on circular saw cutting stability II. Holz als Roh und Werkstoff, 2002, 60: 48–54.
- KOCH P. 1985. Utilization of Hardwoods Growing on southern Pine Sites, Volume II. Processing, U.S. Department of Agriculture, Forest service :1985–2542
- LISIČAN J. a kol. 1996. Teória a technika spracovania dreva. Zvolen : Mat centrum, 1996:102–104, ISBN 80-967315-6-4.
- LISIČAN J., MÝTNY F. 1987. Drevárske stroje a zariadenia. Časť 2. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska. S. 95–96.
- LIPTÁK, L. a kol. 1979. Technológiavýroby obrábanie. Bratislava: Alfa. 444 s.
- OČKAJOVÁ A., BELJAKOVÁ A., SIKLIENKA M. 2010. Morphology of dust particles from the sanding process of chosen tree species. Wood research 2010, 55(2): 1336–4561.

- PROKEŠ S. 1987. Jakost obrobeného povrchu. In Dřevářská technická příručka. Deviaty oddiel, 1987. 470 s.
- ROUSEK M. 2004. Specifické problémy vysokorychlostního obrábění dřeva. Brno: MZLU. 67 s., ISBN 80-7157-859-8.
- ROUSEK M., PERNICA J., HOLOPÍREK J., KOPECKÝ Z., NOVÁK V., KLEPÁRNÍK J. 2005. Výskum a vývoj progresivných stroju a zařízení k obrábění dřeva. Dilčí zpráva za rok 2005.
- SADAK J., NEGRI M. 2005. Woodsurface roughness – what is it? In Proceeding of COST E35, Workshop. 2005. 1:242–250.
- SIKLIENKA M., ŠUSTEK J. 2001. Problems of quantification of roughness at woodworling of natural woods. Obrobka drewna, 2001, N. 1. ISBN 86-907754-5-X.
- ŠUSTEK J. 2010. Laserový profilometer LPM s horizontálnym posunom pri obrábanie dreva 2012. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. s. 187–192, ISBN 987-80-228-2143-8.

Adresy autorov

Ing. Peter Janda
Ing. Richard Kminiak, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
Drevářská fakulta
Katedra obrábania dreva
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
xkminiak@mwh.tuzvo.sk
xjanda@is.tuzvo.sk