



## VPLYV MATERIÁLOVÝCH FAKTOROV NA KVALITU VYTVORENÉHO POVRCHU PRI REZANÍ RASTLÉHO DREVA ABRAZÍVNÝM VODNÝM LÚČOM

Richard Kminiak<sup>1</sup> – Štefan Barcík<sup>2</sup> – Filip Argay<sup>1</sup>

### Abstract

*The article deals with using the technology of abrasive water jet by cutting beech, spruce and oak wood. Also Evaluates the use of the technology point to view the surface quality, namely the indicator - the arithmetic mean deviation of roughness profile. The article reviewed the surface quality of the basic models of solid wood division. Simulating basic models of wood division can be split by using two types of timber (radial / tangential) cutting and two directions (along / across the fibers). Experiments evaluation were transferred to three thicknesses of timber and the thickness of each of the three tracks of different height. There were used three levels of sliding speeds and three levels of abrasive mass flow to cover the whole spectrum of technological parameters.*

*Article expresses general conclusions that the use of AWJ technology for solid wood to a thickness of 25 mm can be achieved to the surface quality at planar milling. The quality of the surface deteriorates by the height of cut and in terms of division of the models is necessary to distinguish whether it is a cut along or across fibers. Type of timber statistically affect the quality of the surface.*

**Key words:** *abrasive water jet, surface quality, arithmetic mean deviation of roughness profile, material factors, basic models of wood division.*

### ÚVOD

Technológia rezania abrazívnym vodným lúčom (ďalej len AWJ) je určená na vytváranie tvarovo zložitých rezov. Alternatívou k tejto technológii je rezanie laserom, pilami s priamočiarym vratným pohybom (princíp dekupír) alebo frézovanie CNC frézku [1, 19].

Viaceré práce k danej problematike [2, 8, 12, 15] sa zhodujú, že technológia AWJ je vhodná na rezanie rastlého dreva do hrúbky 50 mm a pri požiadavke kvality plochy rezu rovnajúcej sa kvalite frézovania je použiteľný AWJ do hrúbky 25 mm.

V prípade abrazívneho vodného lúča ide o obrábanie kvapalinovým lúčom obohateným o abrazívo, teda ako konštatuje Maňková [19] či Barcík [1] o vysoko-rýchlostný erozívny proces.

Úber materiálu v oblasti zodpovedá mechanicko-brúsnemu spôsobu úberu obrábaného materiálu, ktorého veľkosť a intenzita závisí najmä od pomeru mechanických vlastností

<sup>1</sup> Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

e-mail: richard.kminiak@tuzvo.sk; filipargay@gmail.com

<sup>2</sup> Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 1176, 165 21 Prague 6 – Suchbátka

e-mail: barcik@fld.czu.cz

obrábaného a rezného materiálu (abrazíva) [1, 4, 5, 16]. Mechanizmus úberu obrábaného materiálu pri rezaní abrazívnym vodným lúčom je podobný ako mechanizmus úberu materiálu pri brúsení. Z tohto hľadiska môžeme abrazívny vodný lúč zaradiť medzi mnohouholníkové nástroje s nedefinovanou reznou hranou [3, 11, 19].

Výsledný obrobený povrch je zložený z rezných plôch zanechávaných reznými klinmi (zrnami abrazíva) [1, 16, 19].

Kvalitou rezného procesu sa rozumie výsledok činnosti nástroja ako celku na celkovej kvalite produktu podmienenej tromi druhmi presnosti: tvarovej, rozmerovej a povrchovej (miere drsnosti) [18]. V prípade abrazívneho vodného lúča sa situácia oproti klasickým technológiám s tuhým nástrojom komplikuje v tom, že nástrojom sa tu stáva kvapalinový lúč obohatený o abrazívo.

Drsnosť obrobeného povrchu AWJ je charakteristická v tom, že sa od miesta vstupu do materiálu po miesto výstupu zhoršuje. Ako všetky vysoko energetické lúčové technológie aj AWJ lúč zanecháva viditeľné ryhovanie na obrobenej ploche [3, 10, 13, 14]. Dané ryhovanie negatívne pôsobí na kvalitu opracovaných plôch, ako aj na tvarovú presnosť výrobkov. Ryhovanie začína až v určitej hĺbke pod povrchom a postupne sa prehĺbuje. Obrobená plocha je teda rozdelená na hladkú zónu a drsnú - ryhovanú zónu.

Je to dôsledok toho, že keď lúč preniká do materiálu stráca postupne svoju kinetickú energiu a vychýľuje sa. Tým tvorí dve typické zóny, ktoré menia textúru povrchu. Relatívne hladká oblasť v hornej časti rezu je výsledkom zóny rezného opotrebenia a druhá ryhovaná oblasť v spodnej časti rezu vzniká ako dôsledok deformačného opotrebenia pri rezaní AWJ lúčom [10, 17].

Drevo je v tomto smere špecifický materiál. Kvalita opracovaného povrchu je pri ňom závislá:

- jednak od druhu materiálu – dreveniny, ktorý sa opracováva (buk, dub, smrek,...) nakoľko každá drevenina má inú anatomickú stavbu [6, 7],
  - ale aj od smeru v ktorom je daný povrch opracovávaný (radiálny, tangenciálny, či priečny), z dôvodu rozdielnej orientácie elementov dreva v jednotlivých smeroch [6, 7].
- Ako konštatuje Gurau [9], práve vďaka anatomickej stavbe dreva a jeho pórovitej štruktúre nie je nemožné u neho dosiahnuť hladký povrch.

Cieľom daného článku je analyzovať vplyv materiálových vlastností rastlého dreva (stopy merania, smeru rezania, výšky rezu, dreveniny a typu reziva) na kvalitu rezu vytvoreného technológiou AWJ.

## MATERIÁL A METODIKA

Experiment pozostával z nasledovných krokov:

- I. perez skúšobných vzoriek
- II. vymanipulovanie experimentálnych vzoriek
- III. priame zmeranie charakteristiky nerovnosti povrchu ( $R_a$  - strednej aritmetickej odchýlka profilu drsnosti)

### I. perez skúšobných vzoriek

**Skúšobné vzorky:**

- drevinová skladba skúšobných vzoriek: **Dub letný** (*Quercus robur*), **Buk lesný** (*Fagus sylvatica*), **Smrek obyčajný** (*Picea abies*),
- hrúbka skúšobných vzoriek: **h= 25/50/75 mm** ( $\pm 0,5$ mm),

- šírka skúšobných vzoriek:  $\check{s} = 180 \text{ mm}$  ( $\pm 2,5 \text{ mm}$ ),
- dĺžka skúšobných vzoriek:  $l = 500 \text{ mm}$  ( $\pm 5 \text{ mm}$ ),
- druh reziva skúšobných vzoriek: **radiálne rezivo, tangenciálne rezivo**,
- vlhkosť skúšobných vzoriek:  $w = 8\%$  ( $\pm 2\%$ ).

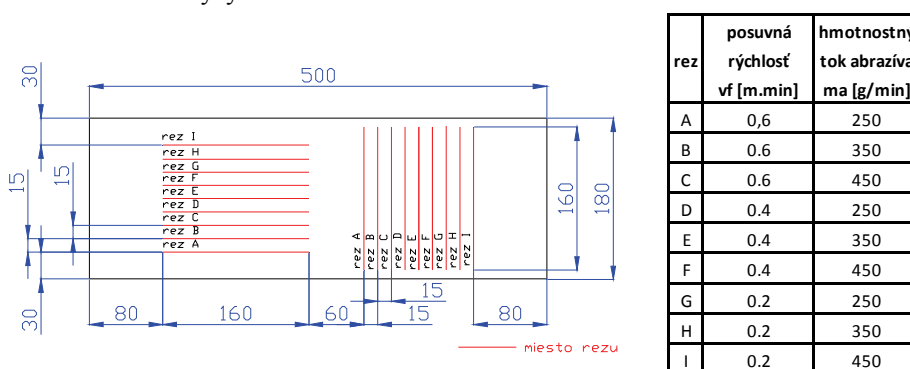
### Metodika porezu skúšobných vzoriek:

Experimentálny porez skúšobných vzoriek prebiehal v priestoroch firmy DEMA spol. s.r.o. Zvolen. Zariadenie je zostavené na báze komponentov americkej firmy FLOW Int., firmou PTV spol. s.r.o. Praha. Pozostáva z vysokotlakového čerpadla **PTV 37 - 60 Compact** a pracovného stola s reznou hlavicom **WJ 20 30 D -1Z** dodávaných firmou PTV.

Skúšobná vzorka bola porezaná podľa nárezového plánu na Obrázku 1/a, prislúchajúce kombinácie posuvnej a rezných rýchlostí sú sumarizované v tabuľke na Obrázku 1/b. Vždy pre jednu kombináciu dreveniny, hrúbky a druhu reziva boli vykonané porezy na troch vzorkách, aby sa eliminoval vplyv špecifických vlastností danej vzorky.

### Parametre porezu:

- tlak reznej kvapaliny: **4000 bar = 400 MPa**,
- abrazívo: **Austrálsky granát GMA** (zrinitosť 80 MESH),
- priemer abrazívnej trysky: **1 mm**,
- priemer vodnej trysky: **0,013 palca = 0,33 mm**,
- vzdialenosť dýzy nad obrobkom: **4 mm**.



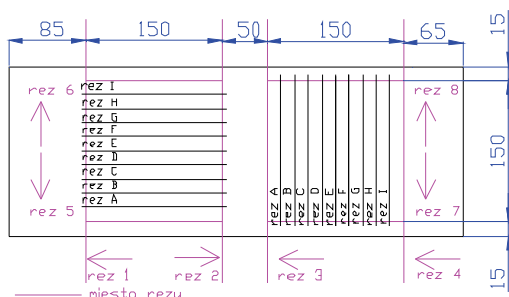
**Obrázok 1 a) nárezový plán skúšobnej vzorky pre porez abrazívnym vodným lúčom  
b) kombinácie posuvnej rýchlosti a toku abrazíva pripadajúce jednotlivým rezom**

## II. vymanipulovanie experimentálnych vzoriek

Vzorka vzniknutá porezom abrazívnym vodným lúčom bola ďalej rozdelená na jednotlivé vzorky podľa porezového plánu na Obrázku 2.

### Požadované parametre experimentálnych vzoriek pre ďalšie vyhodnocovanie:

- šírka (odpovedá aktuálne skúmanej hrúbke materiálu): **25/50/75 mm**,
- hrúbka: **15 mm**,
- dĺžka: **150 mm**.



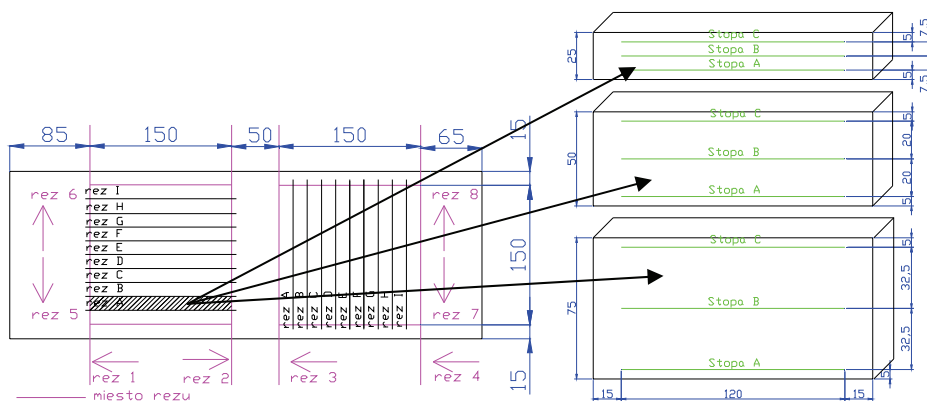
Obrázok 2 Porezový plán prípravy vzoriek

### III. priame zmeranie charakteristik nerovnosti povrchu

Priame zmeranie charakteristík nerovnosti povrchu konkrétne  $R_a$  - strednej aritmetickej odchýlka profilu drsnosti prebiehalo nasledovne:

- umiestnenie stôp merania na vzorke (Obrázok 3),
- vyhodnocovaná dĺžka 120 mm,
- základná dĺžka 60 mm.

$R_a$  - stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti: stredná aritmetická hodnota absolútnych odchýlok profilu v rozsahu základnej dĺžky meraná na profile drsnosti (profile odvodenom z primárneho profilu potlačením zložiek s dlhou vlnovou dĺžkou)[21].



Obrázok 3 Stopy merania nerovnosti obrobeného povrchu

### Popis experimentálneho zariadenia:

Zariadenie LPM 120 (Obrázok 4) pre hodnotenie (meranie) profilových charakteristík podľa ISO 4287 [21] bolo zostavené na Katedre obrábania dreva (TU Zvolen) v spolupráci s vývojovou spoločnosťou KVANT s.r.o. (Bratislava).

Kompaktný laserový profilometer LPM slúži na optické bezkontaktné meranie 2D profilu objektov pozdĺž definovaného rezu (redukovanej roviny). Pre tento účel využíva tzv. triangulačný princíp. Na meraný povrch je najprv premietaná laserová čiara, ktorá je následne snímaná digitálnou kamerou. Z každého zosnímaného obrazu je možné vyhodnotiť aktuálny 2D profil povrchu telesa. Nanesená laserová čiara vytvára virtuálny

rez povrchom v mieste vopred vybranom pre hodnotenie povrchu. Tento princíp presne korešponduje s metodikou stanovenia profilových charakteristík podľa ISO 4287 [21]. Bezkontaktným meraním získavame primárny profil meraného povrchu, ktorý následne podrobíme rozboru vo vyhodnocovacom softvari LPM View [20].



Obrázok 4 Pracovisko laserového profilometra

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Získané hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti boli podrobené viacfaktorovej analýze rozptylu (Tabuľka 1), aby sa zistilo ich ovplyvnenie jednotlivými faktormi experimentu. Viacfaktorová analýza rozptylu preukázala, že až na typ reziva a hmotnostný tok abrazíva je vplyv všetkých skúmaných faktorov štatisticky významný.

Podľa štatistickej významnosti boli skúmané faktory zoradené do nasledovného poradia dôležitosti: 1) stopa merania, 2) smer rezania, 3) výška rezu 4) drevena, 5) posuvná rýchlosť, 6) hmotnostný tok abrazíva (štatisticky nevýznamný), 7) typ reziva (štatisticky nevýznamný).

Tabuľka 1 Výsledky viacfaktorovej analýzy rozptylu pre strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti

Stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti Ra (kompleť vzorka)	súčet štvorcov	stupne voľnosti	rozptyl	F-test	p-hodnota
Intercept	0,214	1	0,214	896,296	0,000
{1} drevena	0,009	2	0,005	19,145	0,000
{2} výška rezu (mm)	0,005	1	0,005	21,549	0,000
{3} smer rezania	0,013	1	0,013	55,042	0,000
{4} posuvná rýchlosť (m.min <sup>-1</sup> )	0,004	2	0,002	8,029	0,000
{5} hmotnostný tok abrazíva (g.min <sup>-1</sup> )	0,001	2	0,000	1,792	0,168
{6} stopa merania	0,028	2	0,014	58,359	0,000
drevena*výška rezu (mm)	0,013	2	0,007	27,361	0,000
drevena*smer rezania	0,004	2	0,002	9,392	0,000
výška rezu (mm)*smer rezania	0,001	1	0,001	4,279	0,039
drevena*posuvná rýchlosť (m.min <sup>-1</sup> )	0,004	4	0,001	3,725	0,006
výška rezu (mm)*posuvná rýchlosť (m.min <sup>-1</sup> )	0,003	2	0,002	7,108	0,001
smer rezania*posuvná rýchlosť (m.min <sup>-1</sup> )	0,001	2	0,000	1,877	0,155
drevena*hmotnostný tok abrazíva (g.min <sup>-1</sup> )	0,001	4	0,000	0,744	0,563
výška rezu (mm)*hmotnostný tok abrazíva (g.min <sup>-1</sup> )	0,000	2	0,000	0,579	0,561
smer rezania*hmotnostný tok abrazíva (g.min <sup>-1</sup> )	0,000	2	0,000	0,026	0,974
posuvná rýchlosť (m.min <sup>-1</sup> )*hmotnostný tok abrazíva (g.min <sup>-1</sup> )	0,001	4	0,000	0,832	0,506
drevena*stopa merania	0,007	4	0,002	7,727	0,000
výška rezu (mm)*stopa merania	0,011	2	0,006	23,385	0,000
smer rezania*stopa merania	0,012	2	0,006	24,291	0,000
posuvná rýchlosť (m.min <sup>-1</sup> )*stopa merania	0,007	4	0,002	7,125	0,000
hmotnostný tok abrazíva (g.min <sup>-1</sup> )*stopa merania	0,001	4	0,000	1,527	0,194

Vplyv technologických vlastností (posuvnej rýchlosti a hmotnostného toku abrazíva) na strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti je nasledovný:

- zvýšenie posuvnej rýchlosti znamená zmenšenie množstva abrazívnych častíc na jednotku dĺžky reznej škáry, tým pádom zmenšenie dodanej energie a následne zhoršenie kvality obrobeného povrchu,
- zmena posuvnej rýchlosti z  $0,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  na  $0,4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  znamená zvýšenie strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti o  $12 \text{ }\mu\text{m}$  a pri zmene z  $0,4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  na  $0,6 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  o  $4 \text{ }\mu\text{m}$ ,
- dôvod, prečo nie je hmotnostný tok štatisticky významný je možné vidieť v tom, že povrch je vytváraný z rezných plôch zanechávaných reznými klinmi a hmotnostný tok nemení ich veľkosť len množstvo, takže nedochádza k podobnému efektu ako keď zvýšime drsnosť papiera,
- zvýšenie hmotnostného toku abrazíva z  $250 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$  na  $350 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$  spôsobí zníženie strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti v priemere o  $5 \text{ }\mu\text{m}$  a zvýšenie z  $350 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$  na  $450 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$  spôsobí zníženie o  $3 \text{ }\mu\text{m}$ .

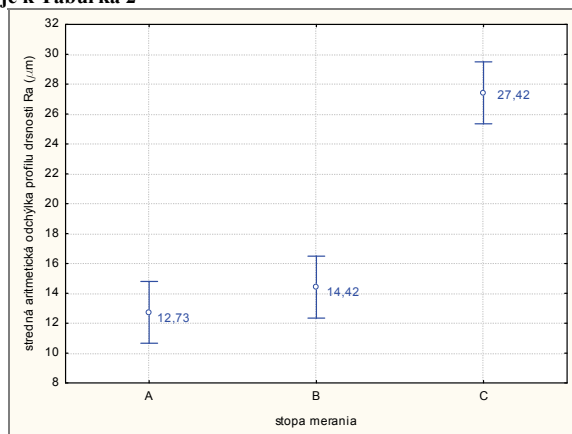
Nakoľko vplyv technologických vlastností je minimálny, ďalej sa budeme venovať obšírnejšie len materiálovým vlastnostiam (stopa merania, smer rezania, výška rezu, drevina, typ reziva).

#### Vplyv umiestnenia stopy merania

Ako preukázala viacfaktorová analýza rozptylu (Tabuľka 1), faktorom s najväčším vplyvom na hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti je samotná stopa merania. Stopa merania predstavuje miesto po výške vzorky, kde došlo ku meraniu (Obrázok 3). S ohľadom na vysokú štatistickú významnosť tohto faktora a rozdielny vplyv skúmaných faktorov na jednotlivé stopy, bude ďalšie vyhodnotenie vykonané ako viacfaktorové, kde ako prídavný faktor bude vždy pribraná stopa merania.

Vplyv stopy merania na strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti ilustruje Obrázok 5. Medzi stopou A a stopou B nie je štatisticky významný rozdiel (priemerné hodnoty týchto stôp sa od seba líšia len o  $2^* \text{ }\mu\text{m}$  a intervaly spoľahlivosti sa takmer prekrývajú). Iná situácia nastáva pri stope C, kde je rozdiel medzi stopou C a stopami A a B štatisticky významný. Rozdiel priemerných hodnôt strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti stopy B a stopy C má hodnotu  $13^* \text{ }\mu\text{m}$  čo predstavuje takmer 90% nárast.

\*daný údaj sa vzťahuje k Tabuľka 2



Obrázok 5 Vplyv stopy merania na strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti

**Tabuľka 2 Priemerné hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti pre jednotlivé stopy merania**

stopa merania	stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti Ra			
	priemerná hodnota ( $\mu\text{m}$ )	štandardná chyba ( $\mu\text{m}$ )	-95,00% ( $\mu\text{m}$ )	+95,00% ( $\mu\text{m}$ )
A	12,728	1,052	10,657	14,798
B	14,420	1,052	12,350	16,491
C	27,421	1,052	25,351	29,491

Daný jav rozloženia drsnosti povrchu po výške rezu je typický pre AWJ. Zdôvodňuje sa existenciou troch zón v smere rezania a to zónou rezného opotrebenia materiálu, zónou deformačného opotrebenia materiálu a zónou nedorezania materiálu. Veľkosť jednotlivých zón je závislá na veľkosti energii dodávanej do rezu AWJ a odporu materiálu voči rezaniu. Pôvodný výskumný zámer uvažoval až s tromi výškami rezu 25 mm, 50 mm a 75 mm. Nakoľko pri výške rezu 75 mm a daných rezných podmienkach nedochádzalo k úplnému prerezaniu materiálu, alebo plocha rezu bola natoľko poškodená, že na nej nebolo možné vykonať merania (Obrázok 6), výška rezu 75 mm bola vyradená.



**Obrázok 6 Fotografia nedorezania dubovej vzorky pri reznej výške (hrúbke) 75 mm, posuvnej rýchlosti  $0,2 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a hmotnostnom toku  $450 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$**

Nakoľko sme hrúbku 75 mm v našom prípade vylúčili z experimentu, odpadá existencia zóny nedorezaného materiálu. Ostáva zóna rezného opotrebovania materiálu a zóna deformačného opotrebovania materiálu.

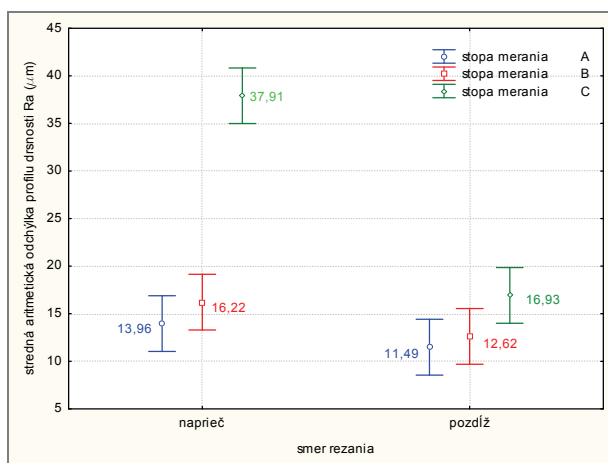
Stopa A a stopa B je v zóne rezného opotrebovania materiálu a vyznačuje sa prijateľnou kvalitou rezu.

Stopa C už pripadá na zónu deformačného opotrebovania materiálu, pre ktorú je príznačné zhoršenie kvality reznej plochy a výskyt vlnitosti povrchu a zárezov (typickým znakom pre danú zónu je prudká zmena uhla pôsobenia AWJ).

#### *Vplyv smeru rezania*

Vplyv smeru rezania je zachytený na Obrázku 7 a v Tabuľke 3. Pri stope A a B je rozdiel medzi smerom rezania pozdĺž a naprieč vlákien minimálny. Pri stope A je rozdiel priemerných hodnôt strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti  $3^* \mu\text{m}$  a pri stope B  $4^* \mu\text{m}$ . Výrazný rozdiel sa prejavil až pri stope C, kde rozdiel priemernej hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti naprieč a pozdĺž vlákien predstavuje až  $21^* \mu\text{m}$ .

\*daný údaj sa vzťahuje k Tabuľka 3



Obrázok 7 Vplyv smeru rezania na strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti

Tabuľka 3 Priemerné hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti pre smer rezania pozdĺž a naprieč vlákien

stopa merania	stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti Ra	
	priemerná hodnota pozdĺž vlákien (µm)	priemerná hodnota naprieč vlákien (µm)
A	11,491	13,965
B	12,622	16,218
C	16,933	37,909

Zdôvodnenie tohto javu je možné vysvetliť v usporiadaní anatomických elementov dreva. Zmena smeru rezania znamená, zmenu smeru prerezávania anatomických elementov dreva. V priečnom smere dochádza k priečnemu prerezávaniu vodivých elementov a teda štruktúra plôch rezu je pórovitejšia. Pórovitejšia štruktúra znamená vyššiu drsnosť. Daný jav sa v literatúre nazýva prirodzená drsnosť.

V prospech vyššej drsnosti v priečnom smere hovorí aj výraznejšie porušenie povrchu v dôsledku vytrhávania anatomických elementov.

Nezanedbateľnú úlohu hrá aj energetické hľadisko, delenie materiálu naprieč vlákien je ďaleko viac energeticky náročné ako delenie pozdĺž vlákien, čo sa prejaví v zúžení zóny rezného opotrebenia a rozšírením zóny deformačného opotrebenia materiálu, a tým zhoršením drsnosti v rámci stopy C v priečnom smere.

#### Vplyv výšky rezu (hrúbky vzorky)

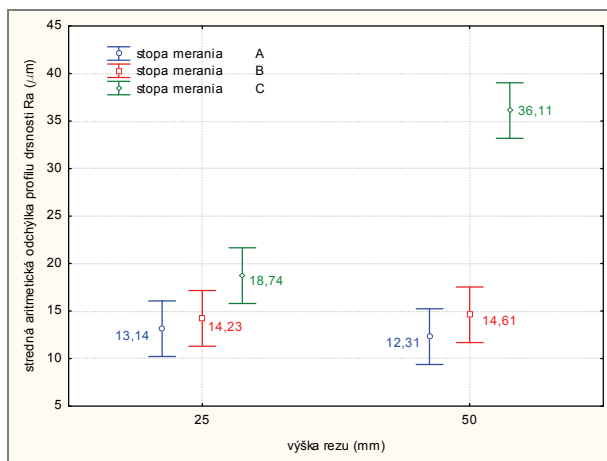
Interval spoľahlivosti hodnôt strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti stopy A pri výške rezu 25 mm je takmer totožný s intervalom pri výške rezu 50 mm, čo nie je nič prekvapujúce, nakoľko ide o stopy merané v rovnakej hĺbke rezu (Obrázok 3).

Nepredpokladalo sa, že tento jav sa bude opakovať aj pri stope B. Stopa B je meraná v strede reznej výšky vzorky. Pri reznej výške 25 mm je stopa B v hĺbke rezu 12,5 mm a pri výške 50 mm je v hĺbke rezu 25 mm.

Očakávaný vplyv výšky rezu sa prejavil až pri stope C, kde stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti s nárastom výšky rezu narástla v priemere o 17\* µm.

\*daný údaj sa vzťahuje k Tabuľka 4





Obrázok 8 Vplyv výšky rezu na strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti

Tabuľka 4 Priemerné hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti pre výšku rezu 25 mm a 50 mm

stopa merania	stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti Ra	
	priemerná hodnota pre výšku rezu 25 mm (µm)	priemerná hodnota pre výšku rezu 50 mm (µm)
A	13,144	12,311
B	14,229	14,612
C	18,735	36,107

Dôvod daného prejavu je zmena rozloženia zón rezania v dôsledku inej dráhy AWJ po výške rezu pri hrúbke vzorky 25 mm a inej pri hrúbke vzorky 50mm.

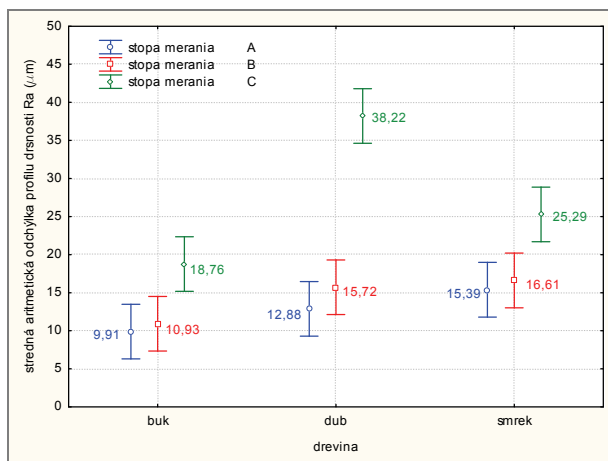
Zóna rezného opotrebovania materiálu sa pri výške rezu 50 mm rozšírila a pripadla do nej ešte aj stopa B. Naplno sa účinok zväčšenia hrúbky materiálu prejavil až na stope C, kde je zmena nerovnosti povrchu značná, čo korešponduje aj so zväčšením zaostávania AWJ.

#### Vplyv dreveniny

Vplyv druhu dreveniny na strednú aritmetickú odchýlku povrchu ilustruje Obrázok 9. Stopy A a B sa od seba výrazne neodlišujú a kopírujú ten istý trend. Drsnosť v tomto prípade narastá v rade buk, dub, smrek. Rozdiel medzi stopou C a stopami A a B je opäť štatisticky významný.

Pri stope C je stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti najväčšia u dreveniny dub, pričom rozdiel jej priemernej hodnoty pri porovnaní so smrekom je 13\* µm a pri porovnaní s bukom 20\* µm. Rozdiel priemerných hodnôt pri stope C buka a smreka je 7\* µm.

\*daný údaj sa vzťahuje k Tabuľka 5



Obrázok 9 Vplyv dreveniny na strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti

Tabuľka 5 Priemerné hodnoty strednej aritmetickej odchýlky profilu drsnosti pre dreveniny smrek dub a buk

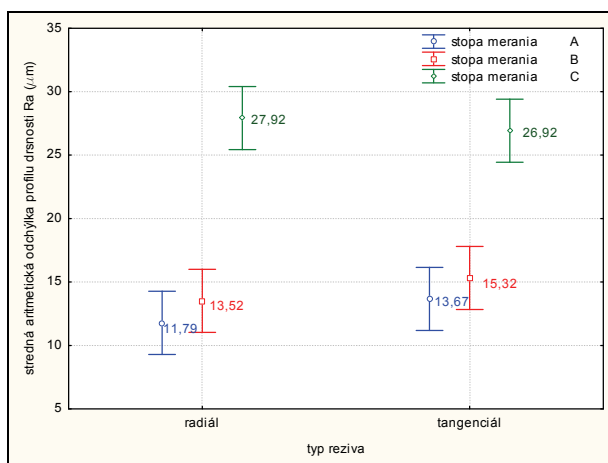
stopa merania	stredná aritmetická odchýlka profilu drsnosti Ra		
	priemerná hodnota pre drevinu smrek (µm)	priemerná hodnota pre drevinu buk (µm)	priemerná hodnota pre drevinu dub (µm)
A	15,395	9,908	12,880
B	16,612	10,928	15,721
C	25,286	18,760	38,217

Drevenina vplyva na nerovnosť obrobeného povrchu jednak svojou prirodzenou drsnosťou, (počet a veľkosť anatomických elementov je u jednotlivých drevín rozdielny) a jednak zmenou potreby energie na jej opracovanie. Stopy A a B sú hlavne ovplyvnené prirodzenou drsnosťou dreva, a tá narastá v rade buk, dub, smrek, čo korešponduje aj s výsledkami na Obrázku 9.

Pri stope C pôsobí samozrejme aj prirodzená drsnosť, ale výraznejšie sa tu prejaví potreba rôznej energie na opracovanie pri zmene dreveniny. Z energetického hľadiska je najnáročnejšie opracovanie duba, čo sa plne prejavilo najvyššou hodnotou strednej aritmetickej odchýlky drsnosti povrchu pri tejto drevenine.

#### Vplyv typu reziva

Ako prezentujú výsledky experimentálneho sledovania na Obrázku 10 a rovnako potvrdené aj viacfaktorovou analýzou rozptylu v Tabuľke 1, typ reziva nie je štatistický významným faktorom.



Obrázok 10 Vplyv typu reziva na strednú aritmetickú odchýlku profilu drsnosti

## ZÁVER

Odpoveď na otázku, či je technológia AWJ vhodná na rezanie rastlého dreva je jednoznačne áno, no treba podotknúť, že za presne vymedzených podmienok.

Medzi základné podmienky aplikácie technológie rezania AWJ na rastlé drevo je hrúbka materiálu do 25 mm, nakoľko len do tejto hrúbky sme schopný garantovať kvalitu rezu na úrovni rovinného frézovania, a tým splniť podmienku použitia technológie rezania AWJ ako operácie konečného opracovania.

Ďalším faktorom, ktorý je potrebné si uvedomiť a následne zohľadniť je, že rastlé drevo je anizotropný materiál. V dôsledku jeho anizotropie budú kvalitatívne ukazovatele dosahovať rôzne hodnoty v závislosti na modely rezania. Pri hrúbke materiálu do 25 mm sú tieto rozdiely minimálne a môžu sa zanedbať. V prípade potreby je možné ich odstránenie voľbou špecifických technologických podmienok (posuvná rýchlosť, hmotnostný tok abrazíva) pre každý model rezania.

Jediným výraznejším faktorom, ktorý brzdí širšie uplatnenie technológie AWJ v drevospracujúcom priemysle je vysoká cena rezu.

## LITERATÚRA

1. Barcík Š (2007) Progresívna metóda obrábania dreva vodným lúčom (The progressive method of wood machining by water jet) (in Slovak). In: Drevorezné nástroje a obrábanie dreva 2007 (Woodcut tools and woodworking 2007). 13 december 2007 Zvolen. Technická univerzita vo Zvolene: 3–11
2. Barcík Š, Kvietkova M, Kminiak R, Alač P (2011) Optimization of cutting process of medium density fiberboards by abrasive water jet. *Drvena Industrija* 57: 263-268
3. Barcík Š, Kvietkova M, Alač P (2011) Effect of the chosen parameters on deflection angle between cutting sides during the cutting of agglomerated materials by water jet. *Wood Research* 56: 577-588
4. Beer P (2007) Niekonwencjonalne narzedzia do obróbki drewna (Unconventional tools for woodworking) (in Polish). Poznań, Wydawnictwo Akademii Rolniczej: 58–70

5. Engemann B K (1993) Schneiden mit Laserstrahlung und Wasserstrahl (Water jet and laser radiation cutting) (in German). Berlin, Ehningen bei Böblingen: 53–93
6. GAFF M, GÁBORÍK J (2009) Vlastnosti povrchu dreva modifikovaného reliéfováním (Characteristic of wood surface modified by embossment) (in Slovak). Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 9–26
7. GAFF M, Zemiari J, Koristová E (2010) Tvarová a rozmerová stabilita povrchu dreva modifikovaného lisovaním –reliéfováním (Shape and dimensional stability of wood surfaces modified by pressing- embossment) (in Slovak). Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene: 28–40
8. Gerencsér K, Bejóm L (2003) Investigations into the cutting of solid wood. FAIPAR 54: 32–45
9. GURAU L (2004) Study of the roughness of sander wood surface. In: Free press release center 2007. [ <http://fprc.com.uk/PDF/Lidiaweb0704.pdf>]
10. Hashish M (1991) Optimization Factors in Abrasive Waterjet Machining. Journal of Engineering for industry 113: 29–37
11. Havlík B (1995) Kvantifikácia technologických parametrov pre obrábania vodným lúčom (Quantification of process parameters for water jet machining) (in Slovak). Bratislava, KVT SJF STU: 1–69
12. Kminiak R, Barcik Š, Kvietskova M (2011) Effect of material properties of solid wood cutting width of joints in abrasive water jet cutting. Acta Facultatis Xylogiae Zvolen 53: 43–53
13. Kminiak R, Barcik Š, Kvietskova M (2011) Possibilities of homogenization of the kerf width created by the technology of abrasive waterjet cutting. Journal of Forest Sciences 57: 574–579
14. Kminiak R, Barcik Š (2011) Influence of the chosen technical and technological and material parameters of the jet lagging during the process of native wood cutting by abrasive water jet. In: Woodworking techniques 2011. 7–10 september 2011 Praha. Czech Univeresity of Life Sciences Prague: 153–161
15. Kminiak R (2010) Obrábanie natívneho dreva abrazívnym vodným lúčom (Native wood working by abrasive water jet) (in Slovak). [PhD. Thesis] Zvolen, TU vo Zvolene: 1–124
16. Krajný Z (1998) Vodný lúč v praxi (Waterjet in practice) (in Slovak). Bratislava, EPOS: 10–250
17. Kulekci M K (2002) Processes and apparatus developments in industrial water-jet applications. International Journal of Machine Tools and Manufacture 42: 1297 – 1306
18. Lisičan J (1996) Teória a technika spracovania dreva (Theory and technology of wood processing) (in Slovak). Zvolen: Matcentrum: 427–428
19. Maňková I (2000) Progresívne technológie (Progressive technologies) (in Slovak). Košice, VIENALA: 63–90
20. SIKLIENKA M, ŠUSTEK J (2008) Metodika kvantifikácie nerovností pri obrobenom povrchu rastlého dreva pomocou laserového profilometra (Methodology for quantification of inequalities in the cut surface of solid wood using a laser profilometer) (in Slovak). In: Drevorezné nástroje a obrábanie dreva 2007 (Woodcut tools and woodworking 2007).13 december 2007 Zvolen. Technická univerzita vo Zvolene: 112 – 120
21. STN EN ISO 4287:1998. Geometrická špecifikácia výrobkov (GPS) charakteristika povrchu: Profilová metóda – Termíny, definície a parametre charakteru povrchu