

VPLYV VYBRANÝCH FAKTOROV NA UHOL ODKLONU STRÁN REZU PRI REZANÍ KOMPOZITNÝCH DREVNÝCH MATERIÁLOV VODNÝM LÚČOM

INFLUENCE OF SELECTED FACTORS ON THE PARTY CUTTING ANGLE DEFLECTION WHEN CUTTING WOOD MATERIAL COMPOSITE WATER JET

Štefan Barcík – Monika Kvietková

ABSTRACT

The paper deals with the issue of cutting MDF and OSB boards plywood and abrasive water jet (as abrasives are used GMA Garnet Australian - 80 MESH = 0,188 mm), aspect angle of deflection of the cut sides depending on the material parameters (material thickness and cutting direction). From a statistical evaluation of the impact of material thickness proved to be statistically significant, and in enlarging the thickness of a deflection angle of the cut sides and increases its value for all study materials are in the range from 0,00199 ° - 0,00871 ° for MDF, OSB, in the interval from 0,00242 ° - 0,00722 ° and plywood from 0,00229 ° - 0,00372 °. Effect of cutting direction is minimal, and this factor has proved to be statistically insignificant.

Key words: abrasive water-jet, cutting by abrasive water-jet, deflection angle of the cut sides, direction of cutting, thickness.

ÚVOD

Technológia rezania vodným lúčom predstavuje presné, počítačom riadené tvarové delenie materiálov studenou cestou, bez mechanickej deformácie a s malým odpadom. Vodný lúč ako ho poznáme je už v súčasnosti neoddeliteľnou súčasťou drevospracujúcej výroby. Pri delení heterogénnych materiálov ako sú drevné materiály má stále ešte značné obmedzenia a nedostatky, preto je tento proces obrábania potrebné neustále skúmať a tým ho postupne zdokonaľovať. V dôsledku týchto skutočností vzniká tento príspevok, v ktorom sú uvedené výsledky z experimentálnych sledovaní vplyvu uvedených faktorov na veľkosť uhla odklonu strán rezu (β). Experimentálne sledovanie závislého parametru β je v kontexte s ďalšou možnou nadmierou na opracovanie.

TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY

Princíp technológie obrábania vodným lúčom môžeme jednoducho vysvetliť ako uberanie materiálu mechanickým narážaním kvapaliny na obrobok. Príchodom nových technológií sa tento chaotický proces dokázal sústrediť do úzkeho vodného lúča. Úzky vodný lúč prúdiaci z dýzy pod dostatočným tlakom naráža na materiál. Proti smeru rezania je lúč postupne odkláňaný so stratou svojej kinetickej energie, ktorá bola spotrebovaná na samotné rezanie (BERND *et al.* 1993).

Na rezanie čistým vodným lúčom sa používa prevažne čistá voda po chemickej a mechanickej úprave bez pridaných mechanických častíc. V plnej miere sa využívajú vlastnosti

vody pri vysokých tlakoch (tlak vody okolo 400 MPa) ako rezný nástroj (MAŇKOVÁ 2000, HAVLÍK 1995).

Vodný lúč s abrazívom zaraďujeme medzi mnoho klinové nástroje s nedefinovanou reznou hranou (podobne ako pri brúsení) a aj rozhodujúci mechanizmus úberu obrábaného materiálu je podobný ako pri spomenutom spôsobe obrábania. Rezné klíny sú vytvorené brusnými zrnami náhodne orientovanými v lúči (BARCÍK 2007, 2009, BARCÍK *et al.* 2010).

Väčšina zariadení na rezanie vodným lúčom pracujúcich vo svete získava vysoké tlaky pomocou multiplikátora. Pričom princíp generovania vysokých tlakov pomocou multiplikátora spočíva v rozdielnosti plôch dvoch navzájom pevne spojených piestov (KRAJNÝ 1998, FABIAN 1995, 2005, JAVORČÍK 1997).

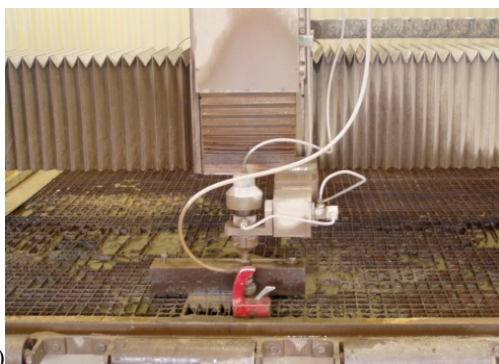
Flexibilita a chladné rezanie sú vlastnosti abrazívneho vodného lúča (AWJ – Abrasive Water Jet), a taktiež nástroja na rezanie nových materiálov, ako sú kompozity a sendvičové materiály, ktoré sú ťažko obrobiteľné s tradičnými technológiami obrábania (KALPAKJIAN 1995, ÖJMERTS, AMINI 1994, KULEKCI 2002, HASHISH 1993).

METODIKA A MATERIÁL A POSTUP MERANIA

K experimentu boli použité vzorky kompozitných drevných materiálov:

- hrúbka skúšobnej vzorky: 22 mm/ 44 mm/ 66 mm – MDF dosky,
16 mm/ 32 mm/ 48 mm – OSB dosky,
18 mm/ 36 mm/ 54 mm – preglejky.
- požadovaná šírka skúšobnej vzorky: $s = 180 \text{ mm}$ ($\pm 2,5 \text{ mm}$),
- požadovaná dĺžka skúšobnej vzorky: $l = 500 \text{ mm}$ ($\pm 5 \text{ mm}$).

Porez skúšobných vzoriek prebiehal v priestoroch firmy DEMA spol. s.r.o. Zvolen. Firma je vlastníkom vodného lúča firmy FLOW Int. firmou PTV spol. s.r.o. Praha (Obr. 1), pozostávajúceho z vysokotlakového čerpadla **PTV 37 - 60 Compact** a pracovného stola s reznou hlavicom **WJ 20 30 D -1Z** dodávaných firmou PTV.



a)

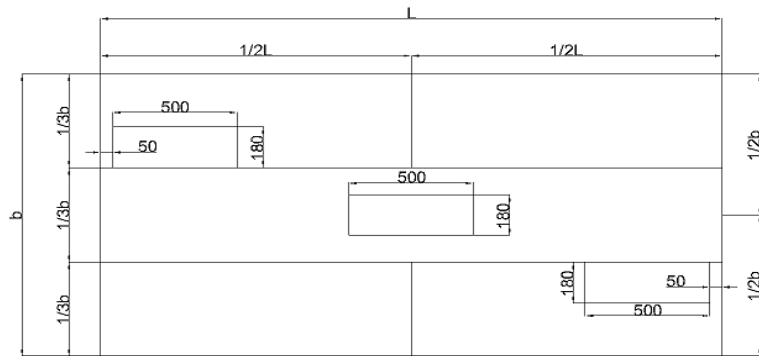


b)

Obr. 1 Technologické zariadenie na rezanie vodným lúčom DEMA spol s.r.o. a) pracovný stôl zariadenia b) čerpadlo vysokého tlaku (multiplikátor).

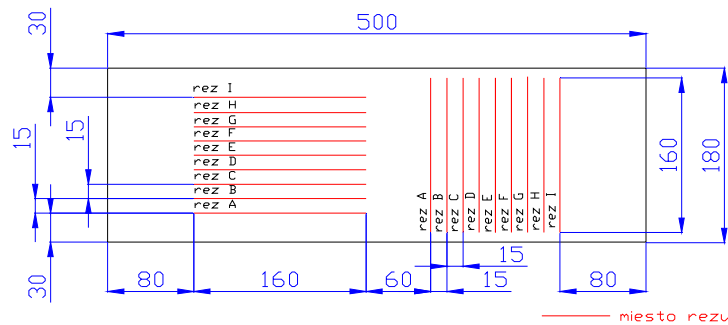
Fig. 1 The technological equipment for water jet DEMA spol sro) desk facilities b) high pressure pump (multiplier).

Skúšobné vzorky boli vymanipulované podľa nárezového plánu zo základného veľkoplošného formátu (Obrázok 2).



Obr. 2 Príprava skúšobných vzoriek.
Fig. 2 Preparation of samples.

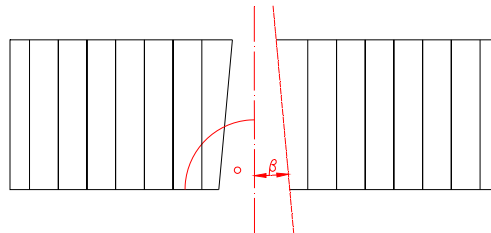
Pracovné porezy boli vykonané na troch vzorkách pre každú hrúbku z dôvodu eliminácie vplyvu špecifických vlastností danej vzorky a to v smere pozdĺž dĺžkového rozmeru základného formátu dosky a naprieč (Obrázok 3).



Obr. 3 Nárezový plán skúšobnej vzorky.
Fig. 3 Cutting Plan test sample.

Experimenty boli realizované pri technických parametroch zariadenia:

- tlak reznej kvapaliny: 400 MPa,
- abrazívo: Austrálsky granát GMA (zrniťosť 80 MESH = 0,188 mm),
- priemer abrazívnej trysky: 1 mm,
- priemer vodnej trysky: 0,013 palca = 0,33 mm,
- vzdialenosť dýzy nad obrobkom: 4 mm,
- hmotnostný tok abrazíva: $m_a = 250 \text{ g.min}^{-1} / m_a = 350 \text{ g.min}^{-1} / m_a = 450 \text{ g.min}^{-1}$,
- posuvná rýchlosť: $v_f = 200 \text{ mm.min}^{-1} / v_f = 400 \text{ mm.min}^{-1} / v_f = 600 \text{ mm.min}^{-1}$



Obrázok 4 Znáznornenie uhla odklonu strán rezu (β).
Figure 4 Illustration of the deflection angle of the cut sides (β).

Vyhodnoteniu uhla odklonu strán rezu predchádzalo vyhodnotenie šírky reznej škáry. Pri známej šírke reznej škáry na vstupe vodného lúča do materiálu a známej šírke reznej škáry na výstupe vodného lúča z materiálu, pri zanedbaní nesymetricnosti reznej medzery sa vyjadril uhol odklonu strán rezu ako:

$$\beta = \arctan \left[\frac{\left(\frac{1}{2} w_b - w_t \right)}{h} \right] \quad (1)$$

- β - uhol odklonu strán rezu [°],
 w_t - šírka reznej medzery na vstupe vodného lúča do materiálu [mm],
 w_b - šírka reznej medzery na výstupe vodného lúča z materiálu [mm],
 h - výška rezu [mm].

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Vyhodnotením nameraných údajov z 80 kombinácií podľa vzťahu (1) sa získal súbor hodnôt, ktorý sa vyhodnotil a na základe viacfaktorovej analýzy rozptylu významnosť sledovaných faktorov uvádzajú nasledovné tabuľky a grafy.

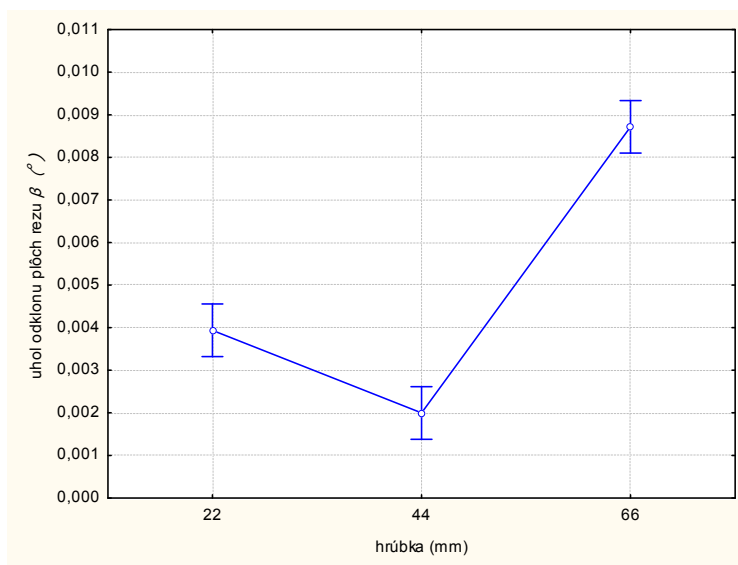
MDF dosky

Výsledky vplyvu hrúbky materiálu a smeru rezania na uhol odklonu strán rezu pri MDF – doskách prezentujú Tab. 1, 2, 3 a Obrázok 5, 6.

Tab. 1 Uhol odklonu strán rezu pri aktuálnych hrúbkach pre MDF – dosky.

Tab. 1 The angle of deflection of the cut sides in the current thickness of MDF – panel1.

Číslo vzorky	Hrúbka materiálu (mm)	Priemerná hodnota uhla odklonu plôch rezu β (°)
1	22	0,003939
2	44	0,001997
3	66	0,008717



Obr. 5 Vplyv hrúbky materiálu na uhol odklonu strán rezu MDF.

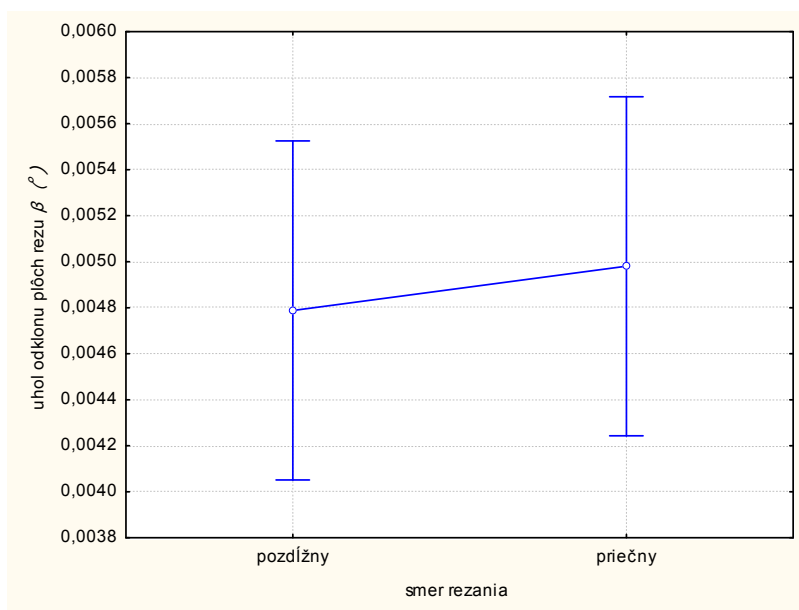
Fig. 5 Effect of material thickness on the deflection angle of the cut sides MDF.

Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že vzorky väčšej hrúbky významne ovplyvňujú zaostávanie vodného lúča, jeho postupnú stratu kinetickej energie, čo sa prejavuje aj v uhle odklonu strán rezu. Podstatný vplyv tu zohráva aj tzv. rozpad vodného lúča pri rôznych drevných materiáloch, ktorý je spôsobený rôznou veľkosťou odporu proti rezaniu (čím je väčší odpor, t.j. čím väčšie zaostávanie AWJ, následne je aj dlhšia dráha prechodu AWJ materiálom, a to spôsobuje väčšie rozšírenie šírky reznej škáry na výstupe AWJ z materiálu, oproti vstupu AWJ do materiálu a tým zväčšenie uhla odklonu strán rezu).

Tab. 2 Uhol odklonu strán rezu s ohľadom na smer rezania pre MDF – dosky.

Tab. 2 The angle of deflection of the parties with respect to the cutting direction for cutting MDF – board.

Číslo vzorky	Smer rezania	Priemerná hodnota uhla odklonu plôch rezu β (°)
1	pozdĺžny	0,004788
2	priečny	0,004987



Obr. 6 Vplyv smeru rezania na uhol odklonu strán rezu MDF.

Fig. 6 Effect of cutting direction on the deflection angle of the cut sides MDF.

Pri rezaní MDF – dosiek je vplyv smeru rezania na uhol odklonu strán rezu druhý štatisticky nevýznamný faktor (Tab. 3). Jeho priebeh prezentuje (Obr. 6), kde je zrejmé, že sledovaný faktor ovplyvňuje uhol odklonu strán rezu len minimálne.

Tab. 3 Hodnoty faktorovej analýzy (MANOVA) pre MDF dosky.

Tab. 3 Values of factor analysis (MANOVA) for MDF boards.

Zdroje menlivosti	Súčet štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	F test	p – hladina významnosti
Intercept	0,012881	1	0,012881	723,58	0,000000
[1]Hrúbka	0,004306	2	0,002153	120,94	0,000000
[2]Smer rezania	0,000005	1	0,000005	0,2800	0,596939
Hrúbka *smer rezania	0,000255	2	0,000127	7,1565	0,000865

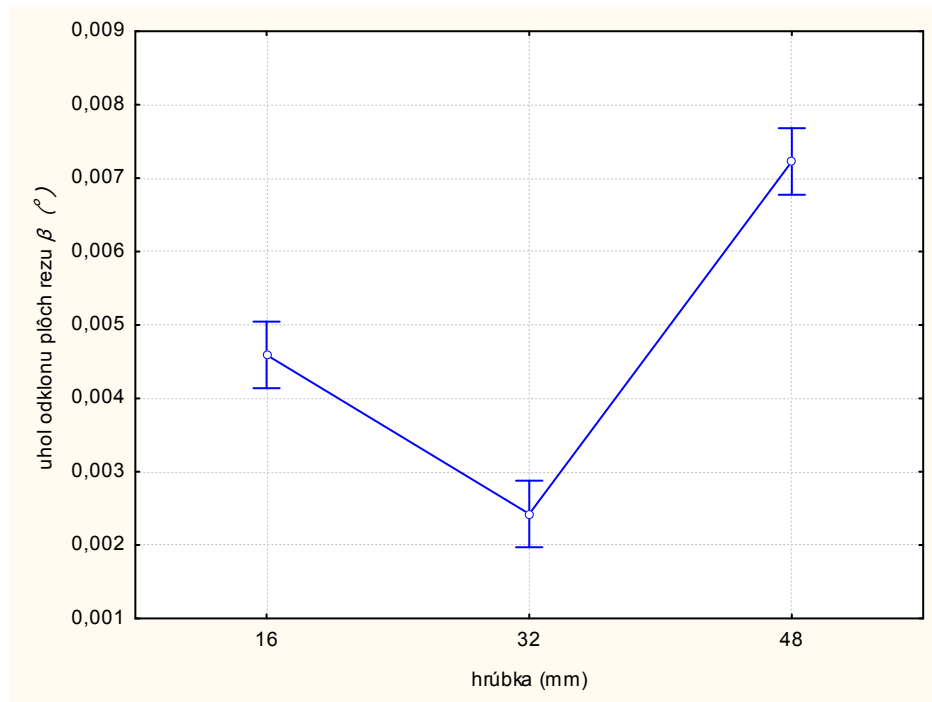
OSB dosky

Výsledky vplyvu hrúbky materiálu a smeru rezania pri OSB doskách na uhol odklonu strán rezu prezentujú Tab. 4, 5, 6 a Obrázok 7, 8.

Tab. 4 Uhol odklonu strán rezu s ohľadom na hrúbku materiálu pre OSB – dosky.

Tab. 4 Deflection angle of the cut sides with respect to the thickness of the material for OSB – board.

Číslo vzorky	Hrúbka materiálu (mm)	Priemerná hodnota uhla odklonu plôch rezu β (°)
1	16	0,004591
2	32	0,002425
3	48	0,007227



Obr. 7 Vplyv hrúbky materiálu na uhol odklonu strán rezu OSB.

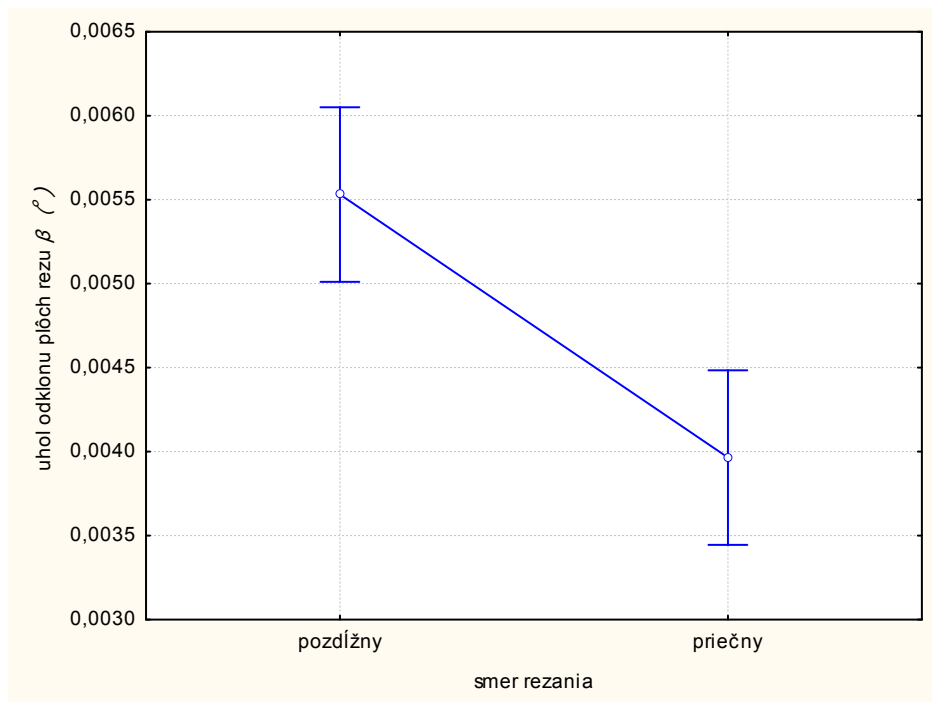
Fig. 7 Effect of material thickness on the deflection angle of the cut sides OSB.

Tak ako aj pri MDF – doskách i u OSB - dosiek je uhol odklonu strán rezu ovplyvnený rozpadom vodného lúča pri rôznych drevných materiáloch, ktorý je daný rôznou veľkosťou odporu proti rezaniu.

Tab. 5 Uhol odklonu strán rezu s ohľadom na smer rezania pre OSB – dosky.

Tab. 5 deflection angle of the cut sides with respect to the direction of cutting the OSB – board.

Číslo vzorky	Smer rezania	Priemerná hodnota uhla odklonu plôch rezu β (°)
1	pozdlžny	0,004788
2	priečny	0,004987



Obr. 8 Vplyv smeru rezania na uhol odklonu strán rezu OSB.
Fig. 8 Effect of cutting direction on the deflection angle of the cut sides OSB.

Zvýšenie uhla odklonu strán rezu pri pozdižnom smere rezania sa dá vysvetliť orientáciou jednotlivých drevných elementov nachádzajúcich sa v OSB materiáli v rámci jeho štruktúry.

Tab. 6 Hodnoty faktorovej analýzy (MANOVA) pre OSB – dosky.
Tab. 6 The factor analysis (MANOVA) for OSB – board.

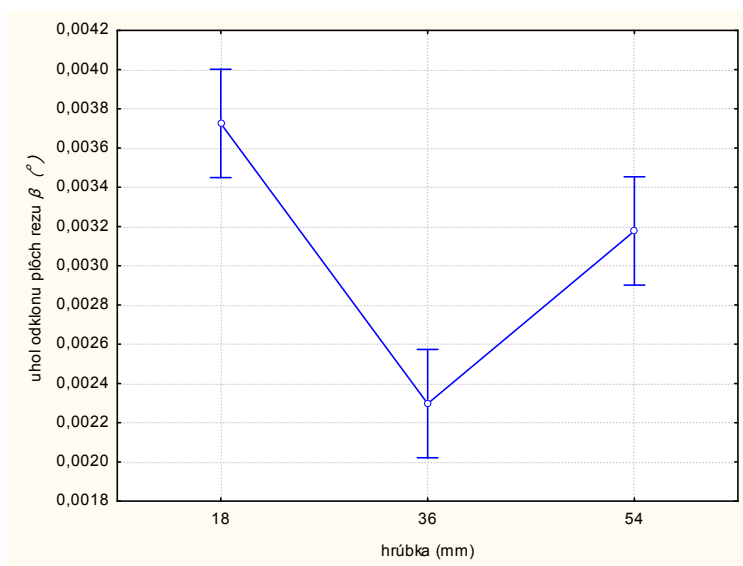
Uhol odklonu strán rezu	Súčet štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	F test	p – hladina významnosti
Intercept	0,012172	1	0,012172	1268,557	0,000000
[1]Hrúbka	0,002081	2	0,001041	108,458	0,000000
[2]Smer rezania	0,000331	1	0,000331	34,496	0,000000
Hrúbka * smer rezania	0,000012	2	0,000006	0,608	0,544825

Preglejky

Výsledky experimentálnych sledovaní vplyvu hrúbky dosky a smeru rezania na uhol odklonu strán rezu β , pre preglejky prezentujú Tab. 7, 8, 9 a Obrázky 9, 10.

Tab. 7 Uhol odklonu strán rezu s ohľadom na hrúbku materiálu pre preglejky.
Tab. 7 Deflection angles of the cut sides with respect to material thickness for plywood.

Číslo vzorky	Hrúbka materiálu (mm)	Priemerná hodnota uhla odklonu plôch rezu β (°)
1	18	0,003726
2	36	0,002297
3	54	0,003177

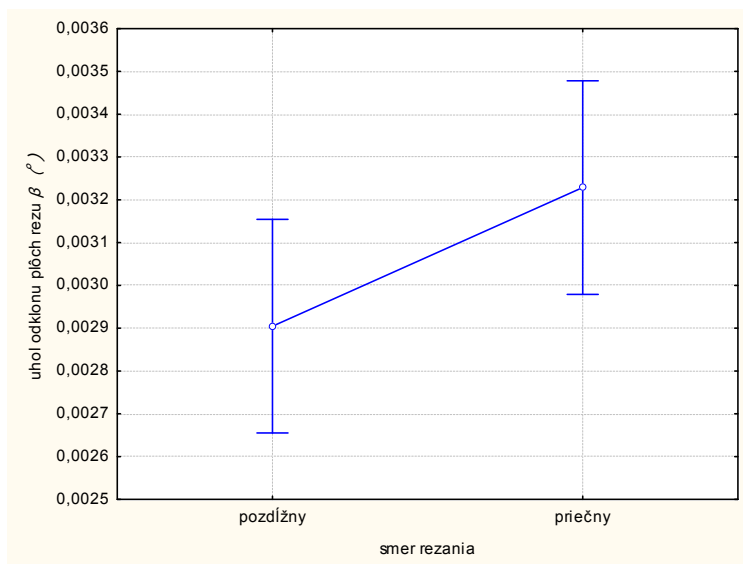


Obr. 9 Vplyv hrúbky materiálu na uhol odklonu strán rezu preglejky.
Fig. 9 Effect of material thickness on the deflection angle of the cut sides of plywood.

Danú skutočnosť môžeme objasniť podobne, ako pri uhle odklonu strán rezu pri vplyve hrúbky materiálu u MDF – dosiek. Fenomén najmenšieho celkového uhla odklonu strán rezu pre stredné hrúbky jednotlivých kompozitných materiálov (MDF dosky – 44 mm, OSB dosky – 32 mm, preglejky – 36mm) je možné objasniť optimálnym využitím reznej energie AWJ.

Tab. 8 Uhol odklonu strán rezu s ohľadom na smer rezania pre preglejky.
Tab. 8 Angle of deflection of the parties with respect to the cutting direction for cutting plywood.

Číslo vzorky	Smer rezania	Priemerná hodnota uhla odklonu plôch rezu β (°)
1	pozdĺžny	0,002905
2	priečny	0,003229



Obr. 10 Vplyv smeru rezania na uhol odklonu strán rezu preglejky.
Fig. 10 Effect of cutting direction on the deflection angle of the cut sides of plywood.

Dosiahnuté výsledky so zohľadnením šírky reznej škáry poukazujú na to, že rozšírenie reznej škáry na strane vstupu AWJ do materiálu pri zmene smeru rezania z pozdĺžneho, naprieč dĺžkového rozmeru dosiek, je spôsobené orientáciou jednotlivých drevných elementov nachádzajúcich sa v drevnom materiáli v rámci jeho štruktúry. Pri rezaní pozdĺž vlákien sú bunkové elementy orientované svojim dĺžkovým rozmerom, sú zhodné so smerom pohybu nástroja. Znižovaním energie abrazívneho vodného lúča sa ním zvyšuje riziko vytrhnutia bunkového elementu zo štruktúry materiálu. Táto skutočnosť má za následok zvýšenie uhla odklonu strán rezu v priečnom smere rezania v kontexte s konštrukčnou stavbou jednotlivých drevných materiálov.

Tab. 9 Hodnoty faktorovej analýzy (MANOVA) pre preglejky.

Tab. 9 The factor analysis (MANOVA) for plywood.

Uhol odklonu strán rezu	Súčet štvorcov	Stupne voľnosti	Rozptyl	F test	p –hladina významnosti
Intercept	0,005079	1	0,005079	1428,939	0,000000
[1]Hrúbka	0,000187	2	0,000093	26,297	0,000000
[2]Smer rezania	0,000014	1	0,000014	3,984	0,046502
Hrúbka * smer rezania	0,000003	2	0,000001	0,392	0,676111

ZÁVER

Uhol odklonu strán rezu je odvodený parameter od šírky reznej škáry, tým aj prejav jednotlivých sledovaných faktorov na závislý parameter β je obdobný. Hodnoty uhla odklonu strán rezu sa pohybovali v intervale od $0,00199^\circ$ do intervalu $0,00871^\circ$. Čím je väčšia hrúbka materiálov tým dôjde k zväčšeniu uhla odklonu strán rezu. Pričom pri stredných hrúbkach všetkých sledovaných materiáloch (MDF dosky – 44 mm, OSB dosky – 32 mm, preglejky – 36mm) boli hodnoty uhla odklonu strán rezu najnižšie čo je možné objasniť optimálnym využitím reznej energie AWJ. Smer rezania na uhol odklonu strán rezu u MDF – dosiek má len minimálny vplyv, pričom u OSB – dosiek a preglejok, uhol odklonu strán rezu ovplyvňujú elementy nachádzajúcich sa v drevnom materiáli v rámci jeho konštrukcie. Celý proces rezania drevných materiálov AWJ je nutné brať komplexne, nakoľko každý z nich sa v rámci procesu správa osobitne a preto je nutné optimalizovať jednotlivé nezávislé parametre vplyvu daného procesu pre každý z nich. Zo zhodnotenia získaných výsledkov je však možné vo všeobecnosti konštatovať, že pri vplyve jednotlivých sledovaných parametroch na β , nie je potrebné zohľadniť veľkosť prídavku na konečné opracovanie.

LITERATÚRA

- BARCÍK, Š. 2007. Progresívna metóda obrábania dreva vodným lúčom. In: Drevorezné nástroje a obrábanie dreva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007. s. 3–11. ISBN 978-80-228-1822-3.
- BARCÍK, Š. 2009. Technika pre výrobu nábytku. Zvolen: TU vo Zvolene. 2009. s. 233–246, ISBN 978-80-228-2055-4.
- BARCÍK, Š. *et al.* 2010. Vplyv hrúbky a smeru rezania na šírku reznej špáry pri rezaní MDF vodným lúčom. s. 33– 40, ISBN 978-80- 228-2243-8.
- BEER, P. 2007. Niekonwencjonalne narzedzia do obróbki drewna. Poznań: Wydawnictwo Akademii Rolniczej, 2007. s. 58–70, ISBN 978-83-7160-445-4.
- BERND, K. *et al.* 1993. Schneiden mit Laserstrahlung und Wasserstrahl. Ehningen bei Böblingen: expert verlag, 1993. s 3–93. ISBN 3-8169-0748-2.
- FABIAN, S., HLOCH, S. 2005. Abrasive waterjet process factors influence on stainless steel AISI 304 Macrogeometricalcutting duality. Scientific bulletin, Volume XIX, North University of Baia Mare, Romania, 2005. s. 261–266. ISSN 1224-3264.

- FABIAN, S., HLOCH, S. 2006. Qualitative analysis of AWJ factors affecting the surface roughness. In: Wissenschaftliche Beiträge. Wildau: Technische Fachhochschule Wildau University of Applied Sciences, 2006. p. 110–113, ISSN 0949-8214.
- HASHISH, M. 1993, Prediction models for AWJ machining operation, In: Proceedings of the Seventh American Waterjet Conference, USA, 1993, pp. 205–209. ISSN 0022-0817.
- HAVLÍK, B. 1995. Kvantifikácia technologických parametrov pre obrábania vodným lúčom – WJM. Bratislava: KVT SJF STU, 1995. 69 s. ISBN 80-8094-046-0.
- JAVORČÍK, L. *et al.* 1997. Rezanie oceľových rúrok abrazívnym vodným lúčom. Bratislava: STU Bratislava, 1997. 23 s, ISBN 978-1113814401.
- KRAJNÝ, Z. 1998. Vodný lúč v praxi. Bratislava: EPOS., 1998. s. 10–250. ISBN 80-8057-091-4.
- KULEKCI, M. K. 2002, Processes and apparatus developments in industrial waterjet applications, Int. J. Mach. Tool Manuf., 2002, 42: 1297–1306.
- MAŇKOVÁ, I. 2000. Progresívne technológie. Košice: VIENALA., 2000. s. 63–90. ISBN 80-7099-430-4.
- ÖJMERTS, C., AMINI, N. 1994, Discrete approach to the abrasive waterjet milling process, In: Proceedings of the 12th International Conference on Jet Cutting Technology, Rounen France, 1994, pp. 425–434.
- REISNER, J. 2004. Současnost v obrábění vodním paprskem a laserem v dřevoprumyslu v ČR. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004, s. 201–204, ISBN 80-228-1385-0.

Adresy autorov

Doc. Ing. Štefan Barčík, CSc.
Ing. Monika Kvietková
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
barcik@fld.czu.cz
kvietkova@vsld.tuzvo.sk