



VPLYV HRÚBKY A SMERU REZANIA NA ŠÍRKU REZNEJ ŠPÁRY PRI REZANÍ MDF VODNÝM LÚČOM

Štefan Barcík – Monika Kvietková – Richard Kminiak – Ján Remeselník

Abstract

This paper is dealing with the problem of abrasive water jet cutting of MDF taking into account cutting gap. It presents results from the monitoring of cutting gap in the relation with material parameters and cutting method. Conclusion describes possibilities of the gap width optimization by the change of material thickness and by the side of material processing.

Key words: *abrasive water-jet, cutting by abrasive water-jet, kerf width, influence of the parameters of cutting process on the kerf width*

ÚVOD

Technológia rezania vodným lúčom predstavuje jedinečnú, pre budúcnosť orientovanú, možnosť zavádzania vysokej automatizácie pri vysokovýkonnom rezaní skutočne všetkých druhov materiálov (Fabian, Hloch, 2005). Metóda delenia vodným lúčom má stále obmedzenia, nedostatky a preto je ho potrebné skúmať a tak zdokonaľovať technologický proces výroby. V dôsledku toho vzniká tento príspevok (v rámci projektu VEGA pod registračným číslom 1/0196/08 s názvom „Výskum procesu obrábania dreva vodným lúčom“), v ktorom sú uvedené čiastočné výsledky z experimentálnych sledovaní.

TEORETICKÝ ROZBOR PROBLEMATIKY

Rezanie a delenie materiálov vodným lúčom pod názvom hydrodynamické obrábanie je známe už niekoľko desaťročí, avšak spoľahlivý, stabilný a účinný vodný lúč na opracovanie sa začal používať začiatkom roku 1970 pre rezanie dreva a plastov.

Technologický proces využíva úzky vysokotlakový a vysoko-rýchlostný prúd vody (tlak vody okolo 400 MPa) ako rezný nástroj (Maňková, 2000).

Vodný lúč s abrazívom zaraďujeme medzi mnohoklinové nástroje s nedefinovanou reznou hranou (podobne ako pri brúsení) a aj rozhodujúci mechanizmus úberu obrábaného materiálu je podobný ako pri spomenutom spôsobe obrábania. Rezné kliny sú vytvorené brusnými zrnami náhodne orientovanými v lúči (Barcík, 2007).

Energia na delenie materiálu, sa pri rezaní vodným lúčom privádza prostredníctvom lúča kvapaliny, ktorý prúdi cez veľmi tenkú vodnú dýzu. Jadrom rezacieho zariadenia je vysoko-tlakové čerpadlo, čerpadlo s tlakovým prevodníkom s olejovo- hydraulickým pohonom.

MATERIÁL A METODIKA

K experimentu boli použité vzorky aglomerovaného materiálu MDF dosky:

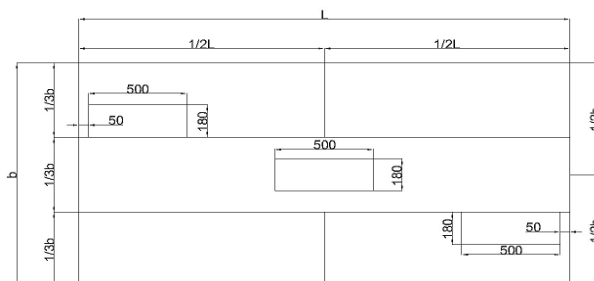
- hrúbka skúšobnej vzorky: **22 mm/ 44 mm/ 66 mm – MDF dosky**,
- požadovaná šírka skúšobnej vzorky: **$\delta = 180 \text{ mm} (\pm 2,5 \text{ mm})$** ,
- požadovaná dĺžka skúšobnej vzorky: **$l = 500 \text{ mm} (\pm 5 \text{ mm})$** .

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 (Obrázok 1), pozostávajúceho z vysokotlakového čerpadla **PTV 37 - 60 Compact**, a pracovného stolu z reznou hlavicom **WJ 20 30 D -1Z** dodávaných firmou PTV.



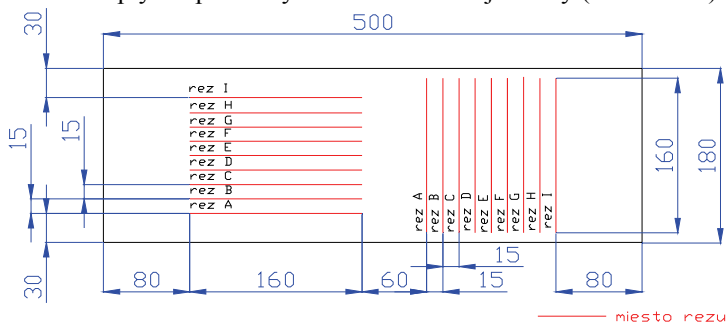
Obrázok 1 Technologické zariadenie na rezanie vodným lúčom DEMA spol. s.r.o. a) pracovný stôl zariadenia b) čerpadlo vysokého tlaku (multiplikátor)

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



Obrázok 2 Príprava skúšobných vzoriek

Návazne na nich boli vykonané pracovné porezy na troch vzorkách pre každú hrúbku z dôvodu eliminácie vplyvu špecifických vlastností danej vzorky (Obrázok 3).



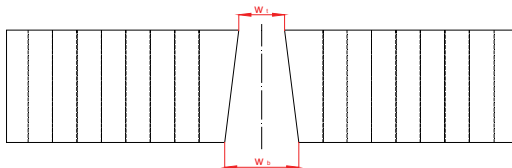
Obrázok 3 Nárezový plán skúšobnej vzorky

Experimenty boli realizované pri technických parametroch zariadenia:

- tlak reznej kvapaliny: **4000 bar = 400 MPa**,
- abrazívo: **Austrálsky granát GMA (zrornosť 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: $v_f = 200 \text{ mm.min}^{-1}/v_f = 400 \text{ mm.min}^{-1}/v_f = 600 \text{ mm.min}^{-1}$

Experimenty boli zamerané na sledovanie :

- w_t - šírka reznej škáry na strane vstupu vodného lúča do materiálu (*top kerf width*): je šírka reznej škáry vzniknutá prechodom abrazívneho vodného lúča materiálom, meraná na strane vníkania vodného lúča do materiálu,
- w_b - šírka reznej škáry na strane výstupu vodného lúča z materiálu (*bottom kerf width*): je šírka reznej škáry vzniknutá prechodom abrazívneho vodného lúča materiálom, meraná na strane vychádzania vodného lúča z materiálu (Obrázok).



Obrázok 4 Znáznornenie meraných charakteristík šírky reznej škáry

(w_t - šírka reznej škáry na strane vstupu vodného lúča do materiálu w_b - šírka reznej škáry na strane výstupu vodného lúča z materiálu)

Vyhodnocovacia zostava:

- osobný počítač (*COMPAQ EVO N 1020v*),
- digitálny fotoaparát (*Canon PowerShot A520*),
- softvérové vybavenie pre prácu s digitálnym fotoaparátom (*Canon-ZoomBrowserEX 5.0*) a pre pomerné meranie rozmerov (*AutoCAD 2007*),
- referenčná mierka, (Obrázok 5).

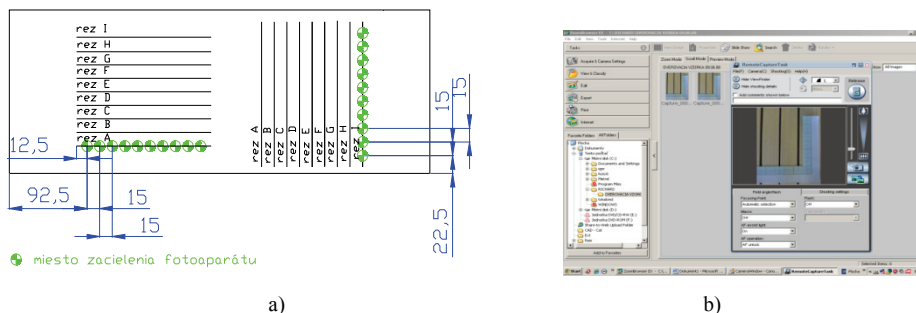


Obrázok 5 Aparatúra pre meranie šírky reznej škáry

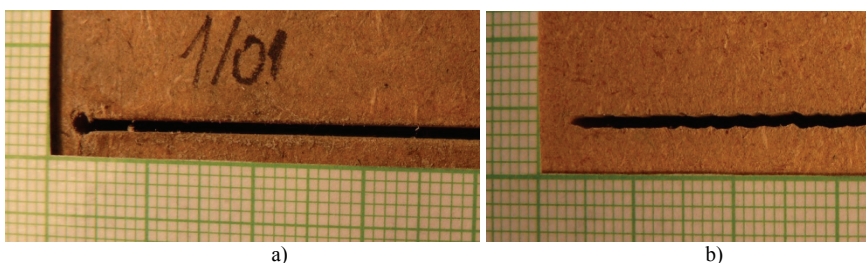
POSTUP MERANIA

1. Vytvorenie digitálnej snímky:

Vytvorenie digitálnej fotografie reznej škáry spolu s referenčnou mierkou predstavuje obrázok 6 a 7:



Obrázok 6 a) Miesta merania šírky reznej škáry b) pohľad na pracovné okno programu ZoomBrowser EX 5.0 počas vytvárania digitálnej fotografie reznej škáry na overovacej vzorke



Obrázok 7 digitálna fotografia reznej škáry na overovacej vzorke MDF dosky a) rezná škára na strane vstupu vodného lúča do materiálu b) rezná škára na strane výstupu vodného lúča z materiálu

2. Meranie šírky reznej škáry:

Meranie šírky reznej škáry na strane výstupu vodného lúča z materiálu je zariadené zvlášnym profilom hrany rezu (Obrázok 7/b). Nakoľko pre praktické využitie je dôležitá maximálna veľkosť reznej škáry (z hľadiska určenia prídavkov pre prípadné ďalšie opracovanie), je šírka reznej škáry meraná ako vzdialenosť dvoch najvzdialenejších rovnobežných dotýčnic prikladaných k hrane rezu, pričom vyhodnocovaná dĺžka hrany rezu bola vždy 15 mm.

3. Prevod pomerných rozmerov:

Prevod pomerných rozmerov bol vyhodnocovaný podľa vzťahu:

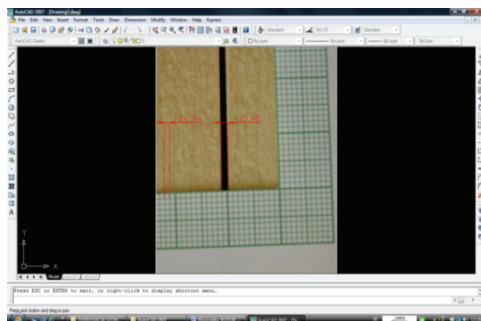
$$w_b = \frac{w_p \cdot a}{a_p} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

w_b - skutočný rozmer reznej škáry [mm]

w_p - pomerný rozmer reznej škáry (rozmer zmeraný v programe Auto CAD na digitálnej fotografii) [--]

a - skutočný rozmer jednotky referenčnej mierky [mm]

a_p - pomerný rozmer jednotky referenčnej mierky (rozmer zmeraný v programe Auto CAD na digitálnej fotografii) [--](Obrázok 8)



Obrázok 8 Pohľad na pracovne okno programu Auto CAD počas pomerného merania rozmerov

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na základe viac faktorovej analýzy rozptylu bolo získané nasledovné poradie významnosti sledovaných faktorov vplyvajúcich na šírku reznej škáry (tab. 1 a 2.)

Významnosť faktorov na vstupe:

1. smer vlákien voči technologickému toku
2. hrúbka

Významnosť faktorov na výstupe:

1. hrúbka
2. smer vlákien voči technologickému toku

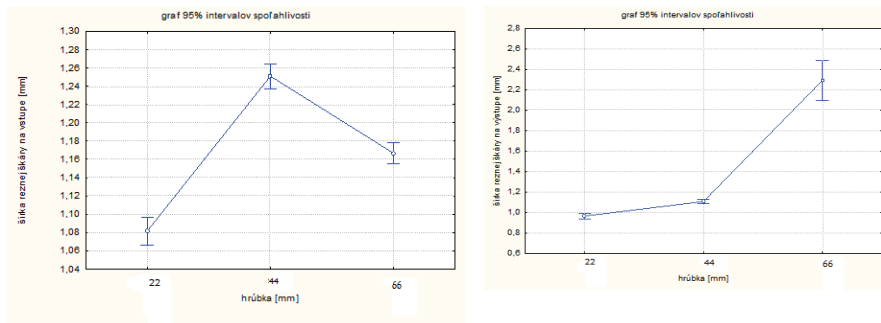
Tab. 1 Hodnoty faktorovej analýzy (MANOVA) na vstupe

zdroj menlivosti	súčet štvorcov	stupne voľnosti	rozptyl	F test	p - hladina významnosti
celkový priemer	734,66	1,00	734,66	35417,4	0,000
hrúbka	2,58	2,00	1,29	623,00	0,000
smer rezania	1,58	1,00	1,58	762,70	0,000
posuvná rýchlosť	1,20	2,00	0,60	289,40	0,000
abrazívny tok	0,09	2,00	0,04	21,40	0,000
hrúbka*smer rezania	0,19	2,00	0,10	46,30	0,000
hrúbka*pos. rýchlosť	0,05	4,00	0,01	5,60	0,000
smer rezania*pos. rýchlosť	0,03	2,00	0,02	8,30	0,000
hrúbka*abrazívny tok	0,12	4,00	0,03	14,30	0,000
smer rezania*abrazívny tok	0,01	2,00	0,01	2,40	0,090
pos. rýchlosť*abrazívny tok	0,06	4,00	0,01	6,70	0,000
hr2*smer*posuv	0,08	4,00	0,02	9,70	0,000
hr2*smer*at	0,04	4,00	0,01	4,40	0,002
hr2*posuv*at	0,03	8,00	0,00	1,70	0,100
smer*posuv*at	0,01	4,00	0,00	1,30	0,251
hr2*smer*posuv*at	0,04	8,00	0,00	2,40	0,017
Náhodné činitele	1,01	486,00	0,00		

Tab. 2 Hodnoty faktorovej analýzy (MANOVA) na výstupe

zdroj menlivosti	súčet štvorcov	stupne voľnosti	rozptyl	F test	p - hladina významnosti
celkový priemer	1142,04	1,00	1142,04	10803,40	0,000
hrúbka	190,72	2,00	95,36	902,09	0,000
smer rezania	0,27	1,00	0,27	2,54	0,111
posuvná rýchlosť	58,54	2,00	29,27	276,86	0,000
abrazívny tok	3,92	2,00	1,96	18,52	0,000
hrúbka*smer rezania	1,21	2,00	0,61	5,72	0,004
hrúbka*pos. rýchlosť	179,93	4,00	44,98	425,52	0,000
smer rezania*pos. rýchlosť	0,86	2,00	0,43	4,07	0,018
hrúbka*abrazívny tok	11,13	4,00	2,78	26,33	0,000
smer rezania*abrazívny tok	0,10	2,00	0,05	0,48	0,618
pos. rýchlosť*abrazívny tok	7,08	4,00	1,77	16,75	0,000
hr2*smer*posuv	0,73	4,00	0,18	1,74	0,141
hr2*smer*at	0,09	4,00	0,02	0,21	0,934
hr2*posuv*at	10,27	8,00	1,28	12,15	0,000
smer*posuv*at	0,17	4,00	0,04	0,41	0,800
hr2*smer*posuv*at	0,42	8,00	0,05	0,50	0,859
Náhodné činitele	51,38	486,00	0,11		

Výsledky vplyvu hrúbky rezu materiálu prezentuje obrázok 9 a tab.3 a 4.



Obrázok 9 Graf závislosti šírky reznej škáry od hrúbky opracovaného materiálu a) na vstupe b) na výstupe

Tab. 3 Hodnoty šírky reznej škáry na vstupe v závislosti od hrúbky

číslo vzorky	hrúbka	aritmetický priemer	smerodajná chyba	ľavá hranica	pravá hranica	počet meraní	%
1	22	1,08	0,01	1,07	1,10	180	100
2	44	1,26	0,01	1,25	1,28	180	111
3	66	1,17	0,01	1,16	1,18	180	108

Tab. 4 Hodnoty šírky reznej škáry na výstupe v závislosti od hrúbky

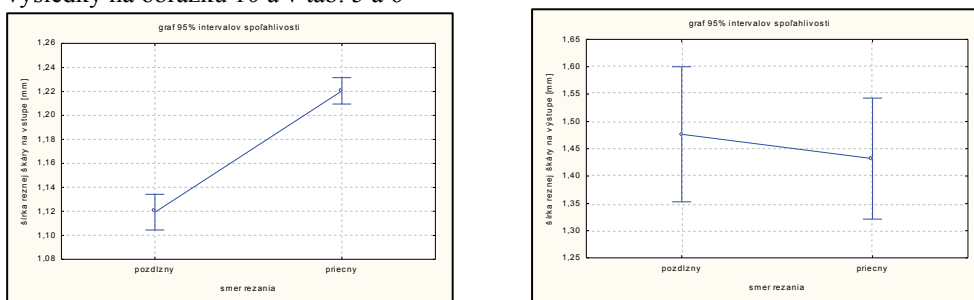
číslo vzorky	hrúbka	aritmetický priemer	smerodajná chyba	ľavá hranica	pravá hranica	počet meraní	%
1	22	0,96	0,01	0,94	0,99	180	100
2	44	1,11	0,01	1,09	1,13	180	114
3	66	2,29	0,10	2,09	2,49	180	214

Na vstupe sa dosahujú zmenou hrúbky materiálu z 22 mm na 44 mm zvýšenie o 11 %. Pri zmene hrúbky 44 mm na 66 mm naopak klesá šírka reznej škáry o 3% s ohľadom na hrúbku 44 mm.

Na výstupe pri zmene hrúbky z 22mm na 44 mm hodnoty šírky reznej škáry zrástli o 14 % a následne aj zmena hrúbok zo 44 mm na 66 mm ukázala nárast hodnoty šírky reznej škáry. Túto skutočnosť je možné zdôvodniť tým, že čím je väčšia hrúbka tým viac abrazívnych častíc sa zhromažďuje v reze, tieto častice zapríčiňujú okrem primárneho efektu – delenia materiálu aj vedľajší efekt a to rozširovanie reznej škáry v dôsledku vymieľania materiálu. Zvýšené hodnoty šírky reznej škáry pri vzorkách väčšej hrúbky významne ovplyvňuje aj zaostávanie vodného lúča, ktoré je zapríčinené postupnou stratou jeho kinetickej energie.

Experimentom sa ako optimálna hrúbka materiálu, pri ktorej šírka reznej škáry dosahuje najnižšie rozmery na vstupe aj výstupe, jednoznačne ukázala hrúbka 22 mm.

Vplyv smeru vlákien voči technologickému toku na šírku reznej škáry predstavujú výsledky na obrázku 10 a v tab. 5 a 6



Obrázok 10 Graf závislosti šírky reznej škáry od smeru rezania materiálu a) na vstupe b) na výstupe

Tab. 5 Hodnoty šírky reznej škáry na vstupe v závislosti od smeru rezania

číslo vzorky	smer rezania	aritmetický priemer	smerodajná chyba	ľavá hranica	pravá hranica	počet meraní	%
1	pozdĺžny	1,12	0,01	1,10	1,13	270	100
2	priečny	1,22	0,01	1,21	1,23	270	107

Tab. 6 Hodnoty šírky reznej škáry na výstupe v závislosti od smeru rezania

číslo vzorky	smer rezania	aritmetický priemer	smerodajná chyba	ľavá hranica	pravá hranica	počet meraní	%
1	pozdĺžny	1,48	0,06	1,35	1,60	270	100
2	priečny	1,43	0,06	1,32	1,54	270	98

Pri vzorkách rezaných naprieč voči základnému technologickému toku sú hodnoty šírky reznej škáry na vstupe o 7% vyššie ako pri vzorkách rezaných pozdĺž. Na výstupe vodného lúča z materiálu pri materiály deleného naprieč klesli o 2% oproti pozdĺžne rezanému materiálu. Pri vstupe vodného lúča do materiálu je rezná škára v pozdĺžnom smere širšia. Zdôvodnenie týchto výsledkov je možné vysvetliť tým, že nie len drevo, ale aj drevné materiály majú v tomto smere vyššiu odolnosť voči prenikaniu vodného lúča. Predlžuje sa čas pôsobenia abrazívnych častíc na materiál a z toho dôvodu nastáva efekt vymieľania reznej škáry do strán. Táto odolnosť závisí od vzájomného spojenia vlákien, ale aj od pevnosti samotných elementov, predovšetkým od libriformných vlákien, ktorých pevnosť ovplyvňuje stredová vrstva S_2 sekundárnej steny. Pevnosť a stabilita sa môže

meniť aj s tvarom a štihlosťou vlákien (Požgaj a kolektív, 1997, s 369). Z pohľadu rovnomernosti šírky reznej škáry na oboch stranách sa preukázali stabilnejšie rozmery reznej škáry pri delení pozdĺž vlákien voči základnému technologickému toku.

ZÁVER

Realizáciou experimentov sa preukázalo, že použitie technológie vodného lúča na delenie aglomerovaných materiálov - MDF dosiek, je metóda budúcnosti hlavne pri tenších dimenziách t.j. do 25 mm. Pri hrúbkach presahujúcich túto hodnotu sa metóda stáva menej efektívnou z dôvodu potrebnej nadmiery na dodatočné opracovanie. Z pohľadu rovnomernosti šírky reznej škáry na oboch stranách sa ukázali stabilnejšie rozmery šírky reznej škáry materiáloch delených pozdĺž.

LITERATÚRA

- [1] BARCÍK, Š. 2007. Progresívna metóda obrábania dreva vodným lúčom. In: Drevorezné nástroje a obrábanie dreva 2007. Zborník referátov z odborného seminára. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene.,2007. s. 3 – 11. ISBN 978-80-228-1822-3.
- [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.
- [3] MAŇKOVÁ, I. 2000. Progresívne technológie. Košice: VIENALA., 2000. s. 63-90. ISBN 80-7099-430-4.
- [4] POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M, 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava: PRÍRODA, 1997. s.174-372. ISBN 80-07-00960-4