



REZONANČNÍ STAVY PILOVÝCH KOTOUČŮ S NEPRAVIDELNOU ROZTEČÍ ZUBŮ A KVALITA ŘEZU

Luděka Hlášková¹ – Zdeněk Kopecký¹ – Přemysl Veselý¹ – Emil Svoboda² –
Maciej Kowalski³

Abstract

Modern circular saw-blades are produced for cutting wood with different design modification. The aim is to eliminate negative oscillation of saw-blade disc and saw-blade edge. Assessed criterion is a final surface quality. The paper describes characteristics of circular saw-blades, i.e. their geometry, problematic of circular-blade vibration and effect of design modification on resulted surface quality. The main aim of the paper was to inform about quality of cutting rift using different circular-saw blade with different design modification.

Key words: circular saw-blade, cutting, surface quality, roughness, waviness

ÚVOD

Řezání dřeva pilovými kotouči je v dřevařském průmyslu nejčastěji používaná technika k dělení a obrábění materiálů. Při řezání je dřevěný materiál dělen pilovým kotoučem otácejícím se jedním směrem rovnomořnou rychlostí. Pomocí kotoučových pil se řeže masivní dřevo, aglomerované materiály na bázi dřeva, ale i další nedřevěné materiály. Podle druhu obráběného materiálu se volí i druh pilového kotouče. Správná volba kotouče má vliv na otupování zuba nástroje, dále také na kvalitu řezu, zejména pak na drsnost a rovinnost obráběných ploch. Na kvalitu řezu má vliv i řada dalších nežádoucích faktorů, mezi které patří např. kmitání pilových kotoučů. Kvalita a přesnost řezání se dále odvíjí i od konstrukce stroje, tvaru a množství pilových zubů na kotouči, rychlosti posuvu na zub. Pokud pomineme pro tento článek vliv stroje a vliv posuvu, zůstane nám velikost kmitání, tvar a množství pilových zubů.

Snižování velikosti kmitání se v dnešní době řeší několika základními způsoby:

- úpravami těla pilového kotouče (např. válcováním)
- vyřezáváním stabilizačních otvorů do těla pilového kotouče pomocí laseru
- vyřezáváním dilatačních drážek pomocí laseru
- použitím přídavných stabilizačních disků
- rozdílnou roztečí pilových zubů

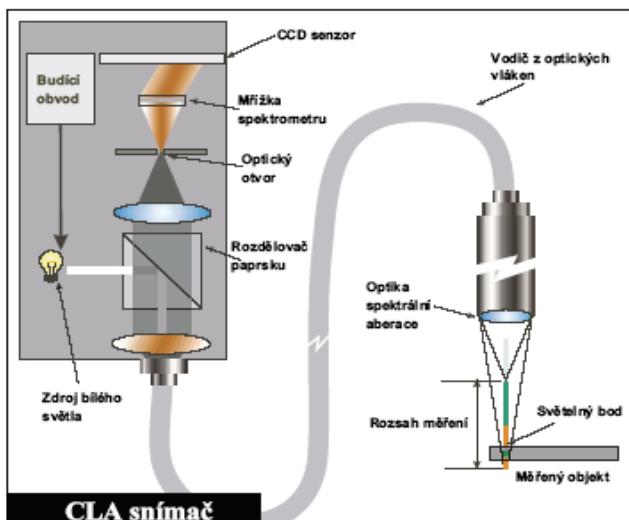
¹ Mendel University of Agriculture and Forestry in Brno
e-mail: xhlaskov@node.mendelu.cz, kopecky@mendelu.cz, 4676@node.mendelu.cz

² University of Defence in Brno, e-mail: emil.svoboda@unob.cz

³ Wroclaw University of Technology, e-mail: maciej.kowalski@pwr.wroc.pl

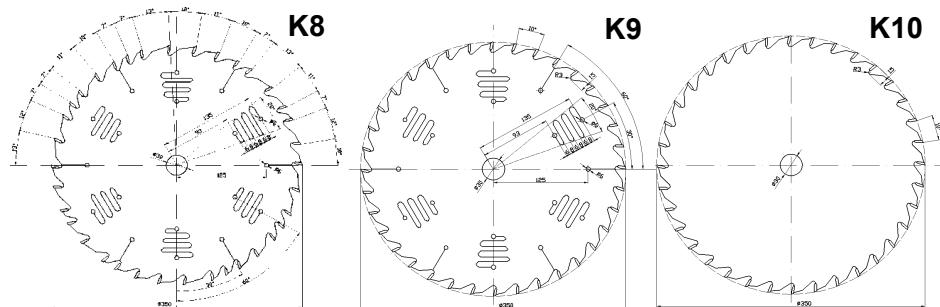
MATERIÁL A METODY

Výzkum zahrnoval oblast analýzy konstrukcí a konstrukčních úprav pilových kotoučů, oblast teorie kmitání a analýzy kvality povrchu řezné spáry. Experiment byl realizován na zkušebním zařízení pro řezání pilovými kotouči (Kopecký Z., 2008). Kvalita řezné spáry byla hodnocena špičkovým zařízením Talyurf CLI 1000. Součástí tohoto přístroje je optický bezdotykový snímač CLA (Chromatic Length Aberration), obr. 1. Princip činnosti tohoto snímače je založen na tom, že bílé světlo je rozloženo a optikou se spektrální aberací je směrováno na kontrolovaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka. Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr vychýlí světlo na CCD senzor, kde je každému bodu přiřazena prostorová poloha. Mezi výhody tohoto snímače patří rychlé snímání ve vysokém rozlišení a vysoká přesnost. Měření drsnosti plocha (3D) a vlnitosti profilu (2D) bylo realizováno na ploše o velikosti $12,5 \times 12,5\text{mm}$ s krokem $20\text{ }\mu\text{m}$, s rychlosťí měření $500\text{ }\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vyhodnocení profilu řezu (2D) i profilu plochy (3D) bylo zpracováno programem Talymp Platinum.



Obr. 1 Konfokální snímač CLA

Podélné řezání nativního dřeva (bukové a smrkové hranoly o rozměrech $210 \times 30 \times 700\text{ mm}$ a vlhkosti $w = 10\%$) bylo prováděno třemi konstrukčně podobnými pilovými kotouči, pracovně označených K8, K9 a K10, obr. 2.



Obr. 2 Testované pilové kotouče

Jedná se o prototypové kotouče vyrobené firmami Pilana Hulín a Stelit Nitra. Všechny tři kotouče mají stejnou tloušťku disku $s=2,4\text{mm}$, stejný počet zubů $z=36$, stejnou

geometrii zuba $\alpha=15^\circ$, $\beta=65^\circ$, $\gamma=10^\circ$, a úhel sklonu hlavního ostří $\lambda_s=10^\circ$. Jejich zuby jsou opatřeny SK plátky. Podstatný rozdíl je u kotouče K8, který je proveden s nepravidelnou roztečí zubů, s předpokládaným cílem snížení hlučnosti. Kotouč K10 je vyroben bez odhlučňovacích a dilatačních drážek, pouze s úpravou pnutí válcováním.

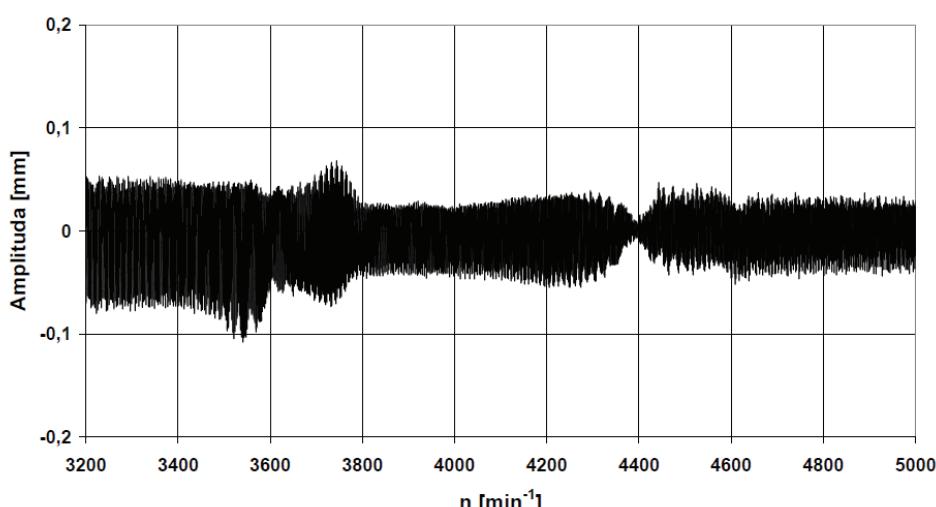
Povrch obrobku je podstatně ovlivněn procesem řezání v dráze s velkým počtem řezných klínů. U pilových kotoučů je hloubka rýhování proměnlivá. Závisí na poloze pilového kotouče vůči obrobku dále na geometrii a rozteči zubů, na poloze kotouče vůči obrobku a v neposlední řadě na kmitání disku kotouče. Také závisí na poloze zuba v rozřezávaném materiálu. V našem případě byla osa kotouče umístěna pod stolem. Z praxe je taktéž známo, že se změnou výšky obrobku vůči ose pilového kotouče se podstatně mění tloušťka trásky při stejném posuvu na zub. Pro pěchované zuby nebo zuby ze slinutých karbidů s lichoběžníkovým profilem (Lisičan, 1996), lze stanovit teoretickou hloubkou rýh y a vypočítat jí podle rovnice (1). Experimentem bylo dokázáno, že tyto teoreticky vypočítané hodnoty jsou v praxi 5x až 10x vyšší (Kopecký Z., 2008).

$$y = \frac{s_1}{h} \cdot \frac{v_f}{n \cdot z} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{a + x}{R} \right)^2} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

kde
 s_1 ... vzdálenost mezi diskem kotouče a hranou obrobku
 a ... nastavení obrobku vzhledem k ose rotace kotouče
 $x \cong 1/2a_e$ (a_e ... tloušťka obrobku)
 R ... poloměr pilového kotouče

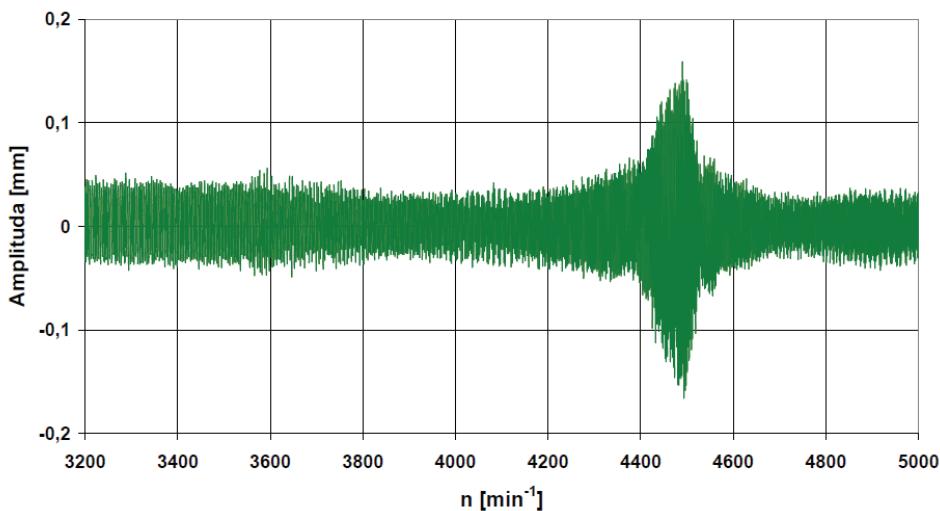
VÝSLEDKY

Vibrace kotoučů, respektive průběhy amplitud vibrací v závislosti na otáčkách kotoučů byly ověřeny metodou přímého snímání amplitud kmitů kotouče na experimentálním stendu.



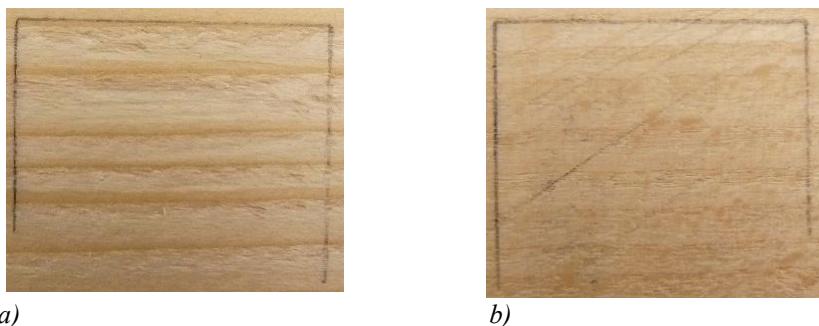
Obr. 3 Průběh vibrací kotouče K8

Ustálený chod s minimálními vibracemi se u kotouče K8 a K9 nalézá v otáčkovém pásmu $n_{opt} = 3800 - 4100 \text{ min}^{-1}$ (viz. obr. 3 a 4) a u kotouče K10 3900 – 4200 min^{-1} .



Obr. 4 Průběh vibrací kotouče K9

Řezání v rezonančních otáčkách bylo voleno individuálně z naměřených rezonančních otáček pro jednotlivé uzlové průměry kmitání ($K8 - n_r = 3750 \text{ min}^{-1}$, $K9 - n_r = 3570 \text{ min}^{-1}$, $K10 - n_r = 3860 \text{ min}^{-1}$). Při všech řezech tvrdého dřeva (buk) i měkkého dřeva (smrk) byl dodržen stejný posuv na zub s odpovídající střední tloušťkou třísky $h_m = 0,05 \text{ mm}$ (Hlásková, 2011).

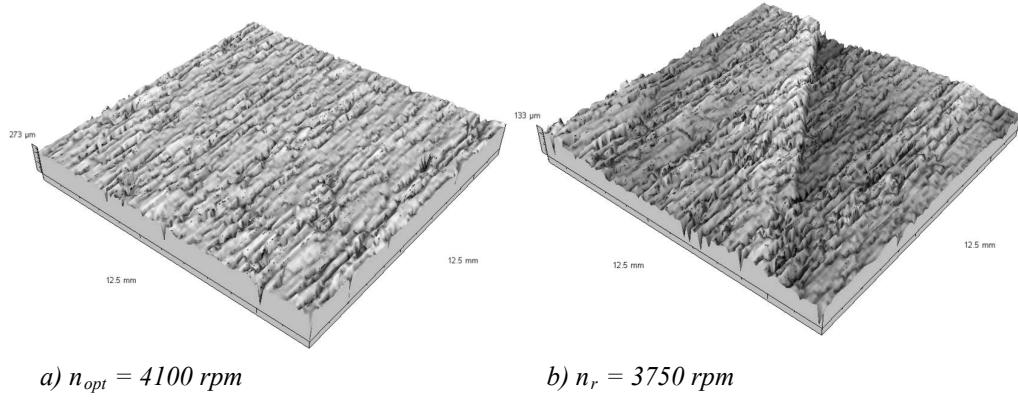


a) smrk, kotouč K8, optimální otáčky 4100 min^{-1} , $h_m = 0,05 \text{ mm}$
b) buk, kotouč K9, rezonanční otáčky 3570 min^{-1} , $h_m = 0,05 \text{ mm}$

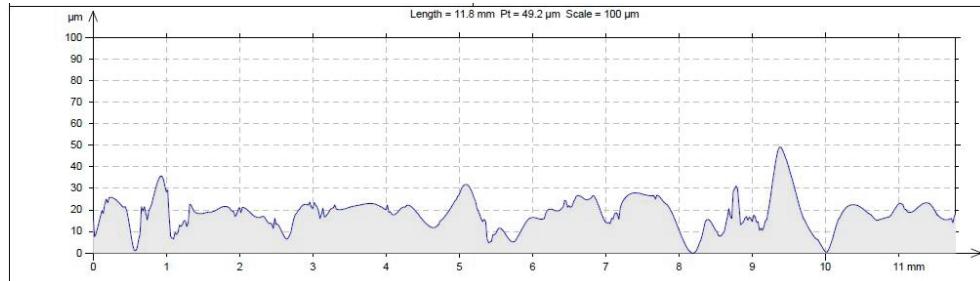
Obr. 5 Hodnocený povrch obrobku

Při hodnocení kvality řezné spáry jsou rozhodující parametry drsnosti plochy a vlnitosti profilu, proto bylo nutné provádět filtraci (Gaussian filter, 0.8 mm) s délkou filtru 2,5 mm. Hodnocení topografie (3D) povrchu řezaných ploch bylo provedeno pomocí dvou parametrů a to Sa ze základní plochy, viz obr. 6 a Wt z plochy vlnitosti, viz obr. 7,8.

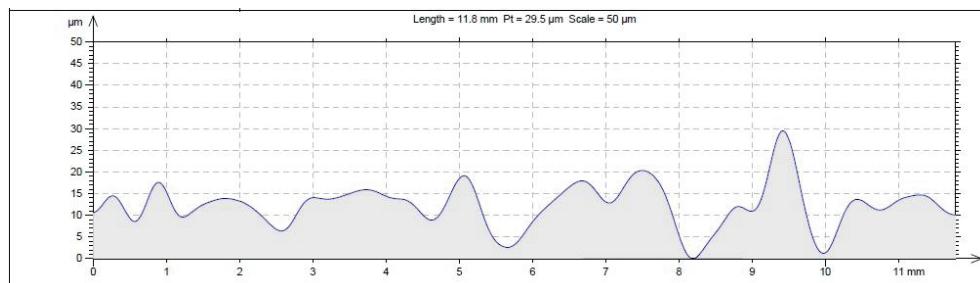
- Sa - průměrná aritmetická úchylka základního povrchu - parametr je zařazen do EUR 15178 EN
- Wt – celková výška profilu vlnitosti



Obr. 6 3D základní profil povrchu – buk, K8



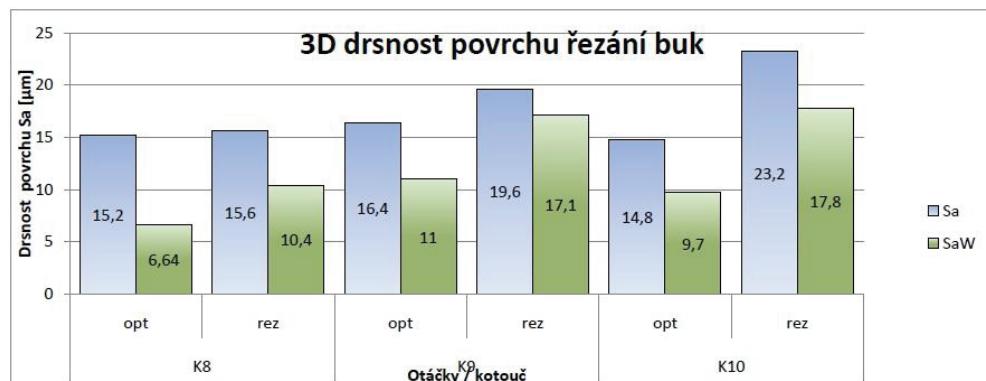
Obr. 7 Buk, 2D řez profilu ze základní plochy – řezání kotoučem K8 $n_{opt} = 4100 \text{ min}^{-1}$



Obr. 8 Vlnitost cut off 2,5 mm – řezání kotoučem K8 $n_{opt} = 4100 \text{ min}^{-1}$

DISKUSE A ZÁVĚR

Nejlepší kvality řezné spáry bylo dosaženo kotoučem K8 s nepravidelnou roztečí zubů. V optimálních i rezonančních otáčkách jsou hodnoty 3D drsnosti povrchu a 2D vlnitosti plochy u kotouče K8 téměř poloviční oproti hodnotám získaných při řezání kotouči K9 a K10, viz. obr 9.



Obr. 9 Porovnání 3D drsnosti povrchu při řezání buku kotouči K8, K9 a K10

Podle očekávání bylo u kotouče K8 dosaženo lepších výsledků při řezání v optimálních otáčkách. Kvalita obroběné plochy kotouči K9 a K10 je téměř shodná, až na vyšší hodnotu vlnitosti Wt v rezonančních otáčkách u kotouče K10. Tento kotouč se chová v řezu nestandardně. Jeho vyšší statická házivost a rozložení napětí v disku kotouče, může při řezání vyvolat vyšší axiální kmity věnce kotouče a zhoršení kvality řezné spáry.

Dosažené výsledky vlivu konstrukčních parametrů pilových kotoučů na kvalitu řezné spáry prokázaly, že nepravidelná rozteč zubů díky rozdílné tloušťce odebírané třísky a lepšemu využení kotouče má pozitivní vliv na zlepšení kvality povrchu a to až dvojnásobně v porovnání s kotoučem s pravidelnou roztečí zubů.

Acknowledgement: This paper was prepared in connection with a partial project within the CR MSM 6215648902. Have been included the results of activity and cooperation of authors by project CEEPUS network CII-SK-0310-02. The authors thank for a financial support to deal with the project.

LITERATURA

KOPECKÝ Z. – ROUSEK M. – NOVÁK V. (2008): Hodnocení kvality obroběného povrchu dřeva pomocí počítačových metod. In: DZURENDA, L. *Vplyv techniky na kvalitu deleného a obrábaného dreva*. 1. vyd. Vedecká štúdie 2/2008/B. Technická univerzita vo Zvolene: Vydavatelstvo TU vo Zvolene, 2008. s. 55–91. ISBN 978-80-228-1923-7.

LISIČAN J. (1996): Teória a technika spracovania dreva (*Theory and technology of wood processing*) Zvolen, Matcentrum, 625 p.

SANDAK J. (2008): Measuring wood surface roughness without contact. Chip and Chipless Woodworking Processes, Štúrovo, pp. 201-206.