



## VLIV UHLU ČELA NA ENERGETICKOU NÁROČNOST PŘI ROVINNÉM FRÉZOVÁNÍ TERMICKY MODIFIKOVANÉHO BUKOVÉHO DŘEVA

Jiří Kubš – Štefan Barčík

### Abstract

*The paper deals with an analysis of the energy intensity of the milling of thermally modified and grown beech wood, taking into consideration the angular geometry of the tool (milling cutter). The results are compared with respect to electricity savings in industrial production. In our research, the electrical power of the milling cutter face angle( $\gamma$ ) when machining thermally modified wood is 6,175 % less on average compared to machining natural grown wood under identical technological conditions. The analysis is made using the METREL Power Q plus MI2392 device in order to measure the cutting power of the machine during milling with predetermined technical and technological cutter settings.*

**Key words:** planar milling; thermo-wood; cutting input (power); energy intensity of milling

### ÚVOD

Současnost klade stále větší důraz na zpracování přírodních surovin a jejich obnovitelnost. Tento problém částečně řeší tzv. termická modifikace dřeva, která spočívá v přírodním procesu úpravy dřeva bez jakýchkoliv chemikálií a modifikované dřevo získává lepší odolnost vůči biologickým škůdcům, povětrnostním vlivům i barevným změnám.

Další neopomenutelnou otázkou dnešní moderní doby je i energetická náročnost při jeho zpracování, zejména v době, kdy stále vzrůstá cena elektrické energie a firmy se snaží snižovat své výrobní náklady na minimum.

Tento článek se zabývá analýzou vlivu úhlu čela na energetickou náročnost při rovinném frézování termicky modifikovaného a rostlého buku.

### TEORETICKÝ ROZBOR

#### Frézování

Frézováním nazýváme obrábění materiálu otáčejícím se nástrojem (frézou, frézovací hlavou). Frézováním se získává kvalitní povrch včetně přesných rozměrů obrobku (rovinná, rotační nebo tvarová plocha). Frézování jako proces mechanického povrchového

opracování obrobku je charakteristický tím, že je procesem třískotvorným, kde se tloušťka třísky mění od minimální po maximální, případně naopak. Díky rotačnímu pohybu řezné hrany spolu s přímočarým rovnoměrným pohybem obrobku je výsledný pohyb řezné hrany cykloidní. (Barčík, Š. – Homola, T. 2004; Lisičan J., 1984; Barčík, Š. – Kotlinová, M. – Pivlusková, E., 2006)

### Termická modifikace dřeva

Tepelná modifikace dřeva je způsob úpravy vlastností dřeva působením vysokých teplot, které využívali již naši předkové. Ti opalovali konce plotových stojek, aby tak zvýšili jejich trvanlivost. Samotný proces tepelné modifikace, jak jej známe dnes, byl teoreticky popsán již ve 20. letech minulého století, avšak jeho náročnost neumožňovala plně a bezproblémově technologické zvládnutí. Moderní technologie tento problém vyřešily a v 90. letech 20. století se ve Finsku začala modifikace dřeva provádět průmyslově s patentovaným názvem ThermoWood®. Primárním cílem průmyslové tepelné modifikace je přetvořit domácí a snadno dostupné dřeviny v produkt, který bude mít obdobné vlastnosti jako dřeviny tropické. (Bemgtsoon C., Jermer J., Clang A., Ek-Olausson B, 2003.)

### Geometrie nástroje

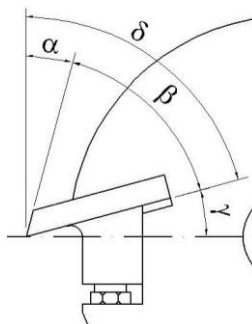
Velikost řezných úhlů spolu s ostatními řeznými podmínkami má velký vliv na výkonnost nástrojů, strojů, hospodárnost všech druhů obrábění a je rozhodující pro rozměrovou přesnost výrobku. Nesprávné volené řezné úhly můžou zhoršit kvalitu obráběné plochy, zrychlit otupění ostří a tím snížit životnost stroje a hospodárnost provozu.

$\alpha$  – úhel hřbetu

$\beta$  – úhel řezného klínu

$\delta$  – řezný úhel

$\gamma$  – úhel čela



Obrázek 1: Detail úhlů řezného nože osazený na frézovací hlavě

- **Úhel řezné hrany  $\beta$  (úhel břitu)** - čím větší je úhel řezné hrany, tj. úhel klínovité části nástroje, která vniká do obráběného materiálu při oddělování třísky, tím větší je odpor obráběného materiálu proti vnikajícímu nástroji. Proto bylo by vhodné volit úhel ostří co nejmenší, ale zároveň při zmenšení úhlu řezné hrany pod určitou hodnotu značně klesá pevnost řezné hrany, tj. rychleji se otupí. Při volbě úhlu řezné hrany však musíme většinou vycházet především z hodnot úhlů  $\alpha$  a  $\gamma$ .

- **Úhel hřbetu  $\alpha$**  - má vliv na tření hřbetu o obráběnou opracovávanou plochu. Čím je tento úhel menší, tím větší je tření a naopak. Úhel hřbetu má přímý vliv na velikost řezného odporu a tím i na výslednou práci řezání. Bylo zjištěno, že při úhlu hřbetu  $15^\circ$  řezné síly jsou minimální, a to při všech směrech dřevních vláken. Velikost úhlu se v praxi volí  $10^\circ$ – $30^\circ$ .

- **Úhel čela  $\gamma$**  - přímo ovlivňuje tvoření třísky a její velikost, co má význam při průmyslovém zpracování třísek. Se zvětšováním úhlu čela se řezný odpor postupně zmenšuje až do minima, které je asi při  $\gamma = 35^\circ$  při frézování příčném, při  $40^\circ$  až  $60^\circ$  při frézování podélném a při  $40^\circ$  až  $50^\circ$  při tangenciálním frézování.

Se zvětšujícím se úhlem čela se řezný odpor snižuje postupně, kdy cca při  $\gamma = 35^\circ$  dosáhne minima pro příčné frézování, při  $\gamma = 40^\circ - 60^\circ$  pro podélné frézování a při  $\gamma = 40^\circ - 50^\circ$  pro tangenciální frézování. Protože úhel hřbetu  $\alpha$  musí být alespoň  $10^\circ - 15^\circ$  z hlediska dostatečné pevnosti zubu, tak i z hlediska maximální trvanlivosti je optimální úhel čela  $\gamma = 20^\circ$  pro řezné hrany z nástrojové oceli. (Prokeš, S., 1982; Reinprecht L. – Vidholdová Z., 2008)

### **Energetická náročnost při frézování**

Při hodnocení strojů na obrábění dřeva rozeznáváme příkon a výkon. Příkon motoru  $P_p$  je definovaný jako součin napětí, proudu a účinku  $\cos\varphi$  tj. výkon odebraný ze sítě elektrické energie. Příkon je důležitý parametr potřebný pro určení energetických nákladů nebo například pro nadimenzování potřebné elektrické rozvodné sítě ke stroji.

Požadovaný řezný výkon  $P_c$  je výkon důležitý na vyvození adekvátní řezné síly potřebné k odloučení třísky z dřevního materiálu při dané technologické operaci. Jinými slovy se dá říci, že je to množství práce vydané za jednu sekundu. (Barcík, Š. – Homola, 2004; Reinprecht L. – Vidholdová Z., 2008)

## **MATERIÁL A METODIKA**

Materiál na tento výzkum byl dovezen z firmy Timless Timber s. r. o., která sídlí v České republice ve městě Velká nad Veličkou. Jednalo se o dřevinu Buk lesní (*Fagus Sylvatica*). Tento materiál byl rozdělen na dvě poloviny – jedna část byla ve firmě Timless Timber s. r. o. termicky modifikován při teplotě  $190^\circ\text{C}$  a druhá část zůstala neupravená.

Výzkum byl realizován na jednovřetenové spodní fréze typu FVS - spolu s podávacím zařízením STEFF.

### **Parametry stroje:**

Příkon: 4 kW; kmitočet: 50 Hz; Proudová soustava 360/220 (V); Otáčky stroje: 3000; 4500, 6000, 9000; Řezná rychlost pro  $\varnothing$  nástroje 130 mm ( $v_c$ ): 20, 30, 40, 60  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ; Výrobce: Československé hudební nástroje Hradec Králové; rok výroby: 1975

### **Parametry podávacího zařízení:**

Typ: STEFF 2034; Motor: 300 V; Příkon: 0,8 – 0,6 kW; Otáčky: 1400/2800; Podávací rychlosti: 4, 8, 11, 22  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ; Rok výroby: 2005.

### **Materiál řezných nožů:**

Rychlořezná ocel HSS Maximus special 55 (19 855); tvrdost HRC 64; chemické složení: CO = 4,7; V = 1,5; W = 18,0; Cu = 4,2; C = 0,7.

### **Měřicí zařízení:**

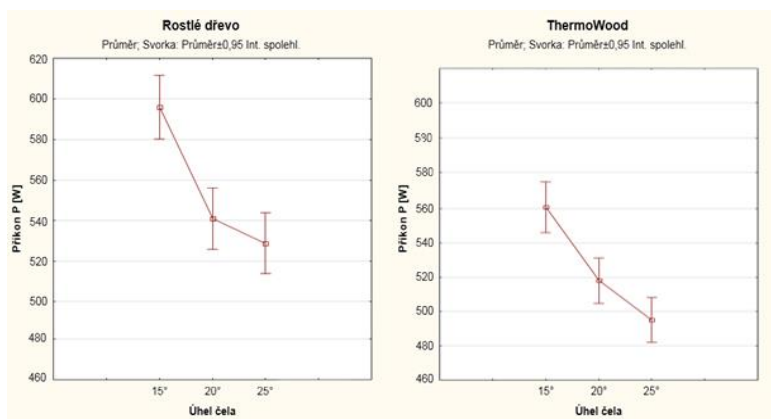
Samotné měření zabezpečovalo měřicí zařízení METREL Power Q plus MI2392. Tento přístroj byl připojen k frézovacímu stroji a přenosnému PC.

### Ostatní parametry při experimentu:

Tloušťka obráběného materiálu 25 mm, frézování podél vláken, úběr materiálu 0,6 mm, řezná rychlost 20, 30, 40 m/s, posuvná rychlost 4, 8, 11 m/minutu, úhel čela 15°, 20°, 25°.

## VÝSLEDKY

Všechny hodnoty během měření byly zaznamenávány a dále vyhodnoceny za pomoci programů MS Excel a Statistica. Z grafu 1 můžeme vyvodit, že zvyšování úhlu čela řezného nástroje způsobuje téměř lineární pokles řezného příkonu.



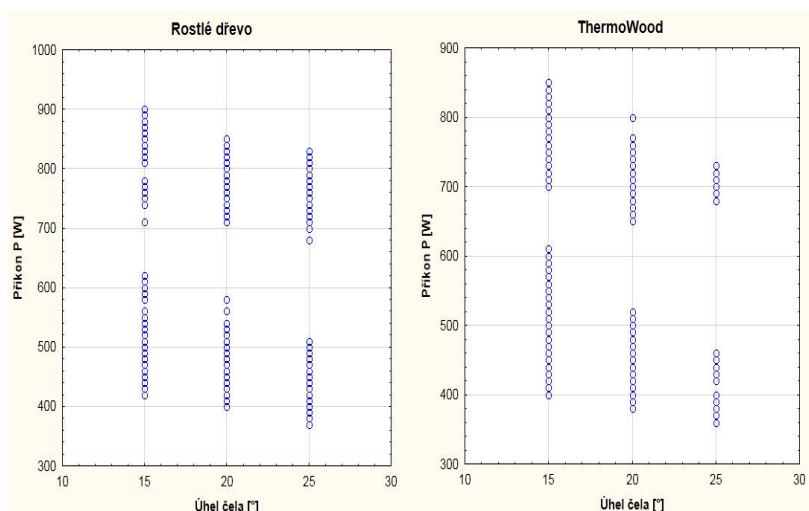
**Graf 1: Analýza rozptylu pro závislost řezného příkonu na úhlu čela**

Na grafu 2 je vidět bodové rozložení naměřených hodnot řezného příkonu při různých úhlech čela. Hodnoty jsou rozděleny přibližně do dvou oblastí, přičemž rozdělení do těchto skupin bylo zapříčiněno především řeznou rychlostí 40 m/s, která má výrazně vyšší řezný příkon.

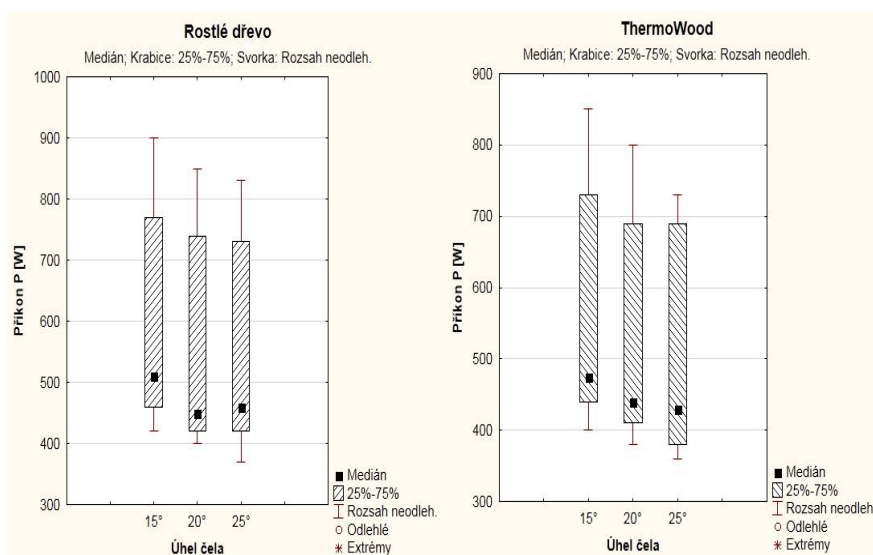
Průměrné hodnoty a podrobnější analýzu můžeme vidět v grafu 3. I zde je zřetelně vidět, že průměrná hodnota řezného příkonu se snižuje současně se zvyšováním úhlu čela.

Největší změna o 8,3 % byla mezi úhly čela 15° a 20°, nejmenší změna mezi úhly 20° a 25°, tzn. pokles o 3,3 %. Z našeho měření se dá také říci, že změny byly zřetelnější u rostlého dřeva než u termicky modifikovaného.

Tuto skutečnost nám dokazuje i následující tabulka 1 a 2, která detailně rozebírá změny řezného příkonu při změně úhlu čela řezného nože.



**Graf 2: Bodový graf řezného příkonu závislý na úhlu čela**



**Graf 3: Závislost řezného příkonu na úhlu čela**

**Tab. 1:** Porovnání podávací rychlosti a úhlu řezného čela na změnu příkonu stroje

Podávací rychlost (m/min)	Úhel čela ( $\gamma$ )	Řezný příkon P (W)		Změna (%)
		Rostlý buk	Thermowood	
4	15	553,1	529,9	-4,19
8		612,5	568,7	-7,15
11		647,7	596,8	-7,86
4	20	539,5	493,2	-8,59
8		527,2	521,3	-1,12
11		557,6	555,4	-0,38
4	25	511,9	496,0	-3,10
8		531,5	502,2	-5,51
11		549,9	486,0	-11,63
<b>Průměrná změna:</b>				<b>-5,50</b>

**Tab. 2:** Porovnání řezné rychlosti a úhlu řezného čela na změnu příkonu stroje

Řezná rychlost (m/s)	Úhel čela ( $\gamma$ )	Řezný příkon P (W)		Změna (%)
		Rostlý buk	Thermowood	
20	15	460,4	427,5	-7,15
30		539,2	500,9	-7,10
40		821,4	773,9	-5,79
20	20	442,6	408,6	-7,68
30		437,6	446,6	2,08
40		773,3	715,7	-7,45
20	25	399,5	373,4	-6,53
30		461,2	434,2	-5,85
40		771,3	698,7	-9,41
<b>Průměrná změna:</b>				<b>-6,10</b>

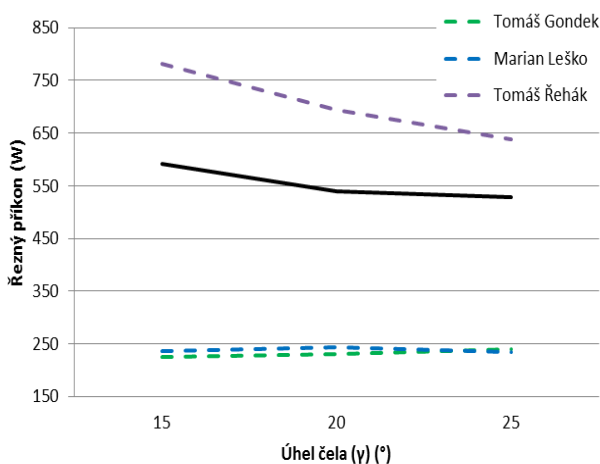
Ze zpracovaných výsledků můžeme stanovit, že řezný příkon při zvětšování úhlu čela klesá. Zjištěný průměrný pokles je o 6,175 %.

Na grafu 4 vidíte detailní rozbor příkonu při změnách úhlu čela řezného nástroje v závislosti na rychlosti řez a posuvu.

### Srovnání výsledků s jinými výzkumy:

Výsledky tohoto výzkumu byly porovnány s prací Tomáše Řeháka, který jako jediný použil stejné nastavení úhlu čela řezného nože při frézování rostlého bukového dřeva. Dále s pracemi Tomáše Gondeka a Mariana Leška, kteří používali stejné úhly čela řezného nástroje při obrábění juvenilního dřeva borovice lesní. Výsledky jsou porovnané v grafu 5.

Výsledky tohoto výzkumu sice dosahují ve všech případech odlišných hodnot, než v případě pana Řeháka, Gondeka a Leška, ovšem to je dáno jednak možnou nepřesností při měření, ale především tím, že jejich práce byly zaměřené na frézování dřeva s jinou hustotou (dřevinou) – tudíž mohou být jejich výsledky trochu odlišné. Avšak ve všech případech dochází ke stejnému jevu a to, že se zvyšujícím se úhlem čela řezného nože klesá řezný příkon stroje.



**Graf 4: Porovnání výsledků řezného příkonu při změně úhlu čela řezného nože frézy**

## ZÁVĚR

Tento experiment byl zhotoven proto, aby pomohl v praxi správně zvolit a co nejlépe optimalizovat úhel čela řezného nože při frézování rostlého dřeva a ThermoWoodu tak, aby bylo dosaženo požadovaného stupně obrobení spolu s požadovanými energetickými nároky

Z dosažených výsledků tohoto měření je možno konstatovat, že pro praxi je z hlediska nejmenší energetické náročnosti nastavení co největšího úhlu čela řezného nože (konkrétně 25°) a frézování termicky modifikovaného dřeva, kde dosahuje úspora 6,175 % oproti frézování rostlého dřeva.

## POUŽITÁ LITERATURA

1. **Barcík, Š. – Homola, T.:** Vplyv vybraných parametrov na kvalitu obrobeného povrchu při rovinom frézování juvenilního borovicového dřeva (Influence of selected parameters on the quality of surface finish face milling juvenile pine wood), Zvolen, 2004 (in Slovak).
2. **Barcík, Š. – Kotlinová, M. – Pivolusková, E.:** Vplyv technologických parametrov na rezný výkon při rovinom frézování juvenilního topoľového dřeva (Influence of selected factors on the cutting performance in face milling young poplar wood., Zvolen 2006(in Slovak), ISBN 80-228-1674-4

3. **Bemtsoon C., Jermer J., Clang A., Ek-Olausson B.:** Investigation of some technical properties of heat-treated wood, 2003.
4. **Prokeš, S.:** Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva (Woodworking and new materials made of wood), (in Czech). Praha, 1982, ISBN 04-833-82
5. **Řehák T.:** Vliv vybraných technicko – technologických a materiálových faktorů na energetickou náročnost při rovinném frézování (Influence of selected technical - technological and material factors on the energy performance of face milling). Praha, 2009. (in Czech)
6. **Lesko M.:** Vplyv geometrie nástroja na energetickú náročnosť pri rovinnom frézování juvenilného borovicového dreva (The influence of instruments geometry on the energy performance at face milling juvenile pine), Zvolen, 2004. 63 s. (in Slovak).
7. **Gondek T.:** Vplyv technologických parametrov na energetickú náročnosť pri rovinom frézování juvenilného borovicového dreva (Influence of technological parameters on the energy performance at face milling juvenile pine). Zvolen, 2004, (in Slovak).