

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ  
KATEDRA ZPRACOVÁNÍ DŘEVA A BIOMATERIÁLŮ**

**DISERTAČNÍ PRÁCE**

**2020**

**Ing. Lukáš Kaplan**



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ**

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**KVALITA POVRCHU A ENERGETICKÁ NÁROČNOST  
PŘI OBRÁBĚNÍ TERMICKY MODIFIKOVANÉHO  
TROPICKÉHO DŘEVA**

DISERTAČNÍ PRÁCE

**Autor: Ing. Lukáš Kaplan**

**Školitel: doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

**2020**

## ZADÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Lukáš Kaplan

Lesní inženýrství

Zpracování dřeva a technika v lesním hospodářství

Název práce

**Kvalita povrchu a energetická náročnost při obrábění termicky modifikovaného tropického dřeva**

Název anglicky

**Surface quality and energy consumption of thermally modified tropical wood machining**

---

### Cíle práce

Cílem práce je stanovení vlivu různých stupňů teploty termické úpravy různých druhů tropických dřevin a různých technicko-technologických parametrů obrábění na kvalitu opracovaného povrchu a energetickou náročnost při obrábění.

Dílčí cíle můžeme rozdělit do následujících bodů:

Na základě výsledků výzkumu zjistit účinek jednotlivých faktorů a interakci mezi hlavními faktory:

- Obráběný materiál Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*).
- Závislost teploty termické modifikace 160, 180 a 210°C.
- Podávací rychlosti (4, 8 a 11 m/min).
- Řezné rychlosti (20, 30 a 40 m/s).
- Úhlu řezného čela nástroje (15, 20, 25°)

na sledované parametry:

- Změny v chemické struktuře všech čtyřech dřevin během všech stupňů termické modifikace a vliv chemického složení na řezný příkon při rovinném frézování.
- Množství odebírané energie (příkonu stroje) při rovinném, podélném frézování.
- Kvalita námi opracovaného povrchu, která byla vyhodnocena pomocí údajů o drsnosti a vlnitosti povrchu.
- Vzájemná interakce uvedených parametrů a stanovení optimálních parametrů při rovinném frézování.

### Metodika

V souladu s uvedeným cílem práce je možné metodiku práce rozdělit do následujících bodů:

- Analýza literárních poznatků k předmětné problematice.
- Návrh metodiky stanovení vhodných parametrů obrábění pro vybrané termicky modifikované domácí i tropické dřeviny.
- Na základě zvolené metodiky stanovit vhodné parametry obrábění.
- Vyhodnocení.

5. Výsledky a diskuse.

6. Závěry a doporučení pro vědu a praxi.



## Doporučený rozsah práce

100

## Klíčová slova

THERMOWOOD, obrábění, kvalita povrchu

---

## Doporučené zdroje informací

Bekhta, P., Niemz, P. Effect of high temperature on the change in colour, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. *Holzforschung*, Volume 57, Issue 5, 2003

Kilchling, P., Hansmann, R. and Seeland, K. Demand for non-timber forest products: Surveys of urban consumers and sellers in Switzerland *Forest Policy and Economics*, Volume 11, Issue 4, July 2009

Metsä-Kortelainen, S., Leena Paajanen, and Viitanen, H. Durability of thermally modified Norway spruce and Scots pine in above-ground conditions. *Wood Material Science and Engineering*, Volume 6, Issue 4. 2011

ThermoWood Handbook. By: Thermowood, Finnforest, Stora Enso Timber, 2002.

---

## Předběžný termín

2020/21 ZS – FLD – SDZ

## Vedoucí práce

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

## Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

## Konzultant

doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

Elektronicky schváleno dne 29. 10. 2015

**doc. Ing. Milan Gaff, PhD.**

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 18. 12. 2015

**doc. Ing. Miroslav Hájek, Ph.D.**

Předseda oborové rady

Elektronicky schváleno dne 13. 11. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 13. 11. 2020

---

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Kvalita povrchu a energetická náročnost při obrábění termicky modifikovaného tropického dřeva“ vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací a doporučení školitele. Souhlasím se zveřejněním disertační práce dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne: 18. 11. 2020

Podpis autora práce

.....

### **Poděkování**

Chtěl bych velice poděkovat školiteli disertační práce panu doc. Ing. Milanu Gaffovi, PhD. za veškerou pomoc a podporu při zpracování této disertační práce.

## Abstrakt

Téma ekologie a nízké energetické náročnosti výroby při zachování požadované kvality rezonuje ve společnosti v posledních letech stále více a týká se všech výrobních odvětví včetně toho dřevařského. Snažíme se snižovat uhlíkovou stopu jednotlivce i celé společnosti. Abychom byli schopni dosáhnout menší zátěže životního prostředí, lepší kvality a tím i menší zmetkovitosti, musíme přesně vědět, jak optimálně nastavit parametry všech výrobních procesů ve výrobním systému. Mezi jeden z nejvýznamnějších procesů obrábění dřeva patří rovinné frézování.

Dnes se díky unikátním vlastnostem, struktuře, barvě a vzhledu využívají kromě domácích evropských dřevin i různé druhy tropických dřevin a jejich termicky modifikované úpravy. Problematika optimálního obrábění těchto dřevin pocházejících z oblasti Asie nebo Afriky nebyla doposud vědecky probádána a optimální parametry obrábění pro praxi chybí.

Z těchto důvodů jsme se rozhodli v disertační práci zkoumat právě termickou modifikaci a obrábění čtyř různých tropických dřevin: Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*). Zmiňované dřeviny byly termicky modifikovány při různých stupních finální teploty 160 °C, 180 °C, 210 °C a pro porovnání byly do výzkumu zahrnuty vzorky dřeva bez úpravy. Po termické modifikaci proběhlo obrábění třemi různými nástroji s odlišnými úhly čela nástroje (15°, 20°, 25°) při třech různých rezných rychlostech (20, 30, 40 m.s<sup>-1</sup>) a třech různých posuvných rychlostech (4, 8, 11 m.min<sup>-1</sup>). Veškeré testované parametry obrábění byly vzájemně kombinované. Po obrábění byla provedena chemická analýza pro zjištění změn, které ve zkoumaných dřevinách probíhají při termické modifikaci a jejich možný vliv na kvalitu a energetiku procesu obrábění. Po zjištění hodnot kvality opracovaného povrchu pomocí kontaktního měření a vyhodnocení záznamů spotřeby elektrické energie při obrábění bylo provedeno vyhodnocení všech parametrů a jejich vzájemných interakcí. Náš výzkum přinesl odpovědi na zásadní otázky ve zkoumané oblasti.

V této oblasti jsme hledali odpovědi na čtyři zásadní otázky: Jaké jsou optimální parametry k dosažení nejlepších výsledků z pohledu střední aritmetické odchylky profilu drsnosti ( $R_a$ )? Jaké jsou optimální parametry procesu obrábění k dosažení nejlepších hodnot střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti ( $W_a$ )? Jaké jsou optimální parametry pro dosažení nejnižší možné spotřeby elektrické energie při obrábění? Čtvrtou a tou nejdůležitější otázkou bylo vyhledání optimálních parametrů s důrazem na jejich optimální vzájemnou kombinaci.

### Klíčová slova:

ThermoWood, kvalita, drsnost, vlnitost, energetika, ekonomika, obrábění, chemická analýza, tropické dřeviny.



## **Abstract**

During last years, ecology and low energy intensity of production while maintaining demanded quality have become the issues our society has addressed. Their increasing importance influences all production areas including wood industry. We endeavour to reduce the carbon footprint of an individual as well as the whole society. We have to know how to set optimum parameters of all production processes in the production system in order to reach lower the environmental burden, better quality and thereby lower scrap rate. Plane milling belongs to the main wood machining processes.

Apart from European wood species, humans make also use of various tropical wood species and their thermally modified versions because of their unique characteristics, structure, colour and appearance. Optimum machining of the wood species from Asia and Africa is a problematic which has not been explored so far and we lack optimum machining parameters for use in practice.

For these reasons we decided to dedicate our dissertation thesis to the exploration of thermal modification and machining of four different tropical wood species: Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*). We carried out thermal modification of these wood species at different final temperatures 160 °C, 180 °C, 210 °C and kept in our research also wood samples without thermal modification. After thermal treatment took place machining by means of three different tools with distinct tool rake angles (15°, 20°, 25°) while using three different cutting rates (20, 30, 40 m.s<sup>-1</sup>) and feed rates (4, 8, 11 m.min<sup>-1</sup>). We combined all tested machining parameters mutually. Once the machining was completed, the chemical analysis took place in order to determine changes which occur in examined wood species during thermal modification including their likely influence on quality and machining-process energy consumption. By means of contact measurement we defined the quality level of machined surface and evaluated the recorded energy-consumption-related data during machining. This enabled us to make a final assessment of all parameters and their overall mutual interactions. Our research brought answers to major questions in the area of examination.

In this area we were searching for answers to four following main questions: What are the optimum parameters to reach the best results in terms of arithmetic mean deviation of roughness profile (*Ra*)? What are the optimum parameters of machining process to get the best results in terms of arithmetic mean deviation of waviness profile (*Ra*)? What are the optimum parameters to reach the lowest possible energy consumption during machining? The last and the most important question was to find the optimum parameters with emphasis on their optimum mutual combination.

### **Keywords:**

ThermoWood, quality, roughness, waviness, energy consumption, economy, machining, chemical analysis, tropical wood species.

# OBSAH

Úvod.....	1
1 Cíle práce.....	3
2 Analýza literárních poznatků k předmětné problematice .....	4
2.1 Dřevo jako surovina.....	4
2.2 Tropické dřeviny.....	5
3 Trvanlivost dřeva.....	9
4 Ochrana dřeva a ThermoWood.....	11
4.1 Historie ThermoWood procesu.....	11
4.2 Obchodní značka ThermoWood .....	12
4.3 Charakteristické vlastnosti termicky modifikovaného dřeva.....	12
4.3.1 Výroba ThermoWoodu.....	13
4.3.2 Další druhy technologií výroby termicky modifikovaného dřeva .....	15
5 Chemické složení dřeva.....	17
6 Materiál pro termickou úpravu.....	18
6.1 Zpracování ThermoWood.....	19
6.2 Využití výrobků ThermoWood.....	19
6.2.1 Využití Thermo-S kategorie .....	19
6.2.2 Využití Thermo-D kategorie.....	20
7 Rozbor problematiky rovinného frézování.....	21
7.1 Frézování a jeho druhy.....	21
7.2 Frézování a jeho kinematika .....	22
7.3 Úhlová geometrie nástroje .....	25
7.4 Stroje a nástroje pro rovinné frézování.....	26
7.5 Energetika obrábění .....	27
8 Drsnost a vlnitost opracovaného povrchu.....	29
8.1 Kvalita výsledného povrchu.....	29
8.2 Faktory s vlivem na kvalitu výsledného povrchu .....	29
8.3 Opracovaný povrch dle normy ČSN EN ISO 4287 .....	30
8.4 Vznik vlnitosti.....	34
9 Metodika.....	36
9.1 Metodika experimentálních prací.....	37
9.2 Příprava vzorků a jejich klimatizace.....	38

9.3	Sušení vzorků.....	39
9.4	Termická úprava vzorků .....	39
9.4.1	Parametry termické modifikace .....	40
9.5	Obrábění.....	42
9.5.1	Základní stroj .....	42
9.5.2	Pomocný stroj .....	43
9.5.3	Frézovací hlavy.....	43
9.5.4	Frézovací nože .....	44
9.6	Měření energetické náročnosti.....	44
9.7	Měření kvality povrchu.....	44
9.8	Chemická analýza .....	45
10	Výsledky a diskuse .....	46
10.1	Vliv teploty termické modifikace na chemické komponenty dřeva .....	46
10.2	Vliv vybraných faktorů na energetickou náročnost .....	54
10.2.1	Účinek jednotlivých faktorů .....	55
10.2.2	Čtyřfaktorové interakce .....	61
10.3	Vliv vybraných faktorů na kvalitu opracovaného povrchu.....	70
10.3.1	Vliv vybraných faktorů na vlnitost ( $Wa$ ).....	70
10.3.2	Vliv vybraných faktorů na drsnost ( $Ra$ ) .....	86
10.4	Optimální kombinace parametrů obrábění.....	103
10.4.1	Optimální kombinace veškerých parametrů z technického hlediska.....	103
10.4.2	Vyhodnocení kombinací parametrů z pohledu ekonomiku provozu.....	106
11	Syntéza poznatků .....	114
11.1	Termická modifikace vs. chemické komponenty .....	114
11.2	Termická modifikace vs. energetická náročnost.....	114
11.3	Termická modifikace vs. drsnost a vlnitost .....	115
12	Přínos pro vědu .....	117
13	Přínos pro praxi.....	118
14	Závěr .....	120
15	Seznam použité literatury .....	122
16	Přílohy.....	134

## Seznam zkratek

$a_p$	tloušťka vrstvy odebíraného materiálu – hloubka řezu..... [mm]
$\cos\varphi$	účinník..... [-]
CV	variační koeficient..... [%]
D	průměr řezné kružnice nástroje..... [mm]
DMDHEU	Dimethylol-dihydroxyethylen močovina..... [-]
$e'$	výška vlnky..... [μm]
$f_z$	posuv na zub..... [mm/zub]
h	čas..... [min, hod]
$h_s$	střední tloušťka třísky..... [mm]
$h_{max}$	největší tloušťka třísky..... [mm]
$h_{ch-str}$	střední tloušťka odebírané třísky..... [mm]
I	proud..... [W]
L	teoretická délka třísky..... [mm]
$l_{str}$	střední délka třísky..... [mm]
$l_1$	šířka vlnky..... [mm]
$m_0$	hmotnost zkušebního tělesa ve vysušeném stavu..... [g]
$m_1$	hmotnost zkušebního tělesa ve vlhkém stavu..... [g]
n	otáčky..... [min <sup>-1</sup> ]
P	hladina statistické významnosti..... [-]
$P_c, R_c, W_c$	průměrná výška prvků profilu..... [μm]
$P_{ku}$	špičatost posuzovaného profilu..... [μm]
$P_p$	největší výška výstupku..... [μm]
$P_{pr}$	příkon při obrábění..... [kW]
$P_{p0}$	příkon bez zátěže..... [kW]
$P_q, R_q, W_q$	průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu..... [μm]
$P_{sk}$	šikmost posuzovaného profilu..... [μm]
$P_v, R_v, W_v$	největší hloubka prohlubně profilu..... [μm]
$P_z, R_z, W_z$	největší výška profilu..... [μm]
R	poloměr řezné kružnice – poloměr frézy..... [mm]
$R_a$	střední aritmetická odchylka profilu drsnosti..... [μm]
$R_{ku}$	špičatost posuzovaného profilu..... [μm]
$R_t$	hloubka drsnosti posuzovaného profilu..... [μm]
$R_p$	největší výška výstupku..... [μm]
$R_{sk}$	šikmost posuzovaného profilu..... [μm]
$RS_m$	střední hodnota vzdálenosti drážek prvků drsnosti..... [μm]
t	teplota..... [°C]

$t_{mod}$	teplota termické modifikace.....	[°C]
$TW$	termicky upravené dřevo .....	[-]
$U$	napětí.....	[V]
$v_c$	řezná rychlost .....	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_e$	vektor řezného pohybu.....	[-]
$v_f$	posuvná rychlost.....	[m.min <sup>-1</sup> ]
$VOC$	těkavé organické látky.....	[-]
$W$	vlhkost dřeva.....	[%]
$W_a$	střední aritmetická odchylka profilu vlnitosti.....	[μm]
$W_{ku}$	špičatost posuzovaného profilu .....	[μm]
$W_{sk}$	šikmost posuzovaného profilu .....	[μm]
$W_p$	největší výška výstupku.....	[μm]
$X_s$	šířka prvku profilu.....	[μm]
$Z$	počet zubů na nástroji .....	[ks]
$Z_p$	výška výstupků profilu .....	[μm]
$Z_t$	výška prvku profilu.....	[μm]
$Z_v$	hloubka prohlubně profilu.....	[μm]
$\alpha$	úhel hřbetu.....	[°]
$\beta$	úhel břitu (svíraný plochou hřbetu a čelní plochou) .....	[°]
$\delta$	úhel řezu .....	[°]
$\gamma$	úhel čela nástroje .....	[°]
$\lambda_c$	mezí vlnová délka .....	[μm]
$\lambda_f$	profil filtru / filtr profilu .....	[μm]
$\eta_c$	celková účinnost stroje. ....	[-]
$\phi$	úhel střižné roviny .....	[°]
$\pi$	rovina kolmá k nové ploše.....	[-]
$\varphi$	úhel styku dřevních vláken s nástrojem.....	[°]
$\varphi'$	posunutý úhel styku dřevních vláken s nástrojem.....	[°]
$\Psi$	středový úhel mezi dvěma břity .....	[°]
$\omega$	rozestup zubů frézy .....	[mm]
$\omega_1$	úhlová rychlost frézy .....	[s <sup>-1</sup> ]

## Seznam obrázků

Obr. 1 Externí faktory ovlivňující stabilitu a trvanlivost dřeva .....	9
Obr. 2 Schéma procesu výroby ThermoWoodu .....	14
Obr. 3 Struktura buněčné stěny dřeva.....	17
Obr. 4 Chemické změny základních stavebních látek během termické úpravy dřeva ...	18
Obr. 5 Obklad budovy LUNATHERMO-D ze skandinávského smrku a borovice .....	20
Obr. 6 Protiběžné frézování .....	21
Obr. 7 Souběžné frézování.....	21
Obr. 8 Válcové frézování.....	22
Obr. 9 Prvky výpočtu tloušťky a délky třísky.....	23
Obr. 10 Úhlová geometrie .....	25
Obr. 11 Tvorba nové plochy .....	25
Obr. 12 Fréza s pájenými břity .....	26
Obr. 13 Fréza s výměnnými břitovými destičkami.....	26
Obr. 14 Profil povrchu .....	30
Obr. 15 Prvek profilu .....	31
Obr. 16 Největší výška výstupků profilu u drsnosti .....	31
Obr. 17 Největší hloubka prohlubní profilu u drsnosti.....	32
Obr. 18 Největší výška profilu na příkladu drsnosti.....	32
Obr. 19 Výška prvků profilu na příkladu drsnosti .....	33
Obr. 20 Vývojový diagram pro posuzování povrchu .....	33
Obr. 21 Šířka vlnek při frézování .....	35
Obr. 22 Diagram postupu experimentálních prací.....	37
Obr. 23 Výkres vzorku před termickou modifikací .....	38
Obr. 24 Pila SCM si300 class .....	38
Obr. 25 Laboratorní sušárna BINDER .....	39
Obr. 26 Laboratorní komora pro termickou modifikaci dřeva .....	40
Obr. 27 Časy modifikace Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) pro jednotlivé teploty °C .....	41
Obr. 28 Časy modifikace Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) pro jednotlivé teploty °C.....	41
Obr. 29 Časy modifikace Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) pro jednotlivé teploty °C... 41	41
Obr. 30 Časy modifikace Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) pro jednotlivé teploty °C .....	41
Obr. 31 Spodní vřetenová frézka FVS s podavačem Maggi Steff.....	42
Obr. 32 Schéma dotykového měřicího přístroje .....	45
Obr. 33 Změny chemického složení v dřevině Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ).....	53

Obr. 34 Změny chemického složení v dřevině Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ).....	53
Obr. 35 Změny chemického složení v dřevině Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) .....	53
Obr. 36 Změny chemického složení v dřevině Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> ).....	53
Obr. 37 Vliv řezné rychlosti na energetickou náročnost pro jednotlivé dřeviny .....	56
Obr. 38 Vliv posuvné rychlosti na energetickou náročnost pro jednotlivé dřeviny .....	57
Obr. 39 Vliv úhlu čela nástroje na energetickou náročnost pro jednotlivé dřeviny .....	59
Obr. 40 Vliv termické modifikace na energetickou náročnost pro jednotlivé dřeviny...	60
Obr. 41 Energetická náročnost obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) TW 20 °C.....	62
Obr. 42 Energetická náročnost obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) TW 160 °C.....	63
Obr. 43 Energetická náročnost obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) TW 180 °C.....	63
Obr. 44 Energetická náročnost obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) TW 210 °C.....	64
Obr. 45 Energetická náročnost obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) TW 20 °C.....	64
Obr. 46 Energetická náročnost obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) TW 160 °C.....	65
Obr. 47 Energetická náročnost obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) TW 180 °C.....	65
Obr. 48 Energetická náročnost obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) TW 210 °C.....	66
Obr. 49 Energetická náročnost obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) TW 20 °C...	66
Obr. 50 Energetická náročnost obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) TW 160 °C	67
Obr. 51 Energetická náročnost obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) TW 180 °C	67
Obr. 52 Energetická náročnost obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) TW 210 °C	68
Obr. 53 Energetická náročnost obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 20 °C.....	68
Obr. 54 Energetická náročnost obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 160 °C.....	69
Obr. 55 Energetická náročnost obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 180 °C.....	69
Obr. 56 Energetická náročnost obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 210 °C.....	70
Obr. 57 Vliv řezné rychlosti na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	72
Obr. 58 Vliv úhlu čela nástroje na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny.....	74
Obr. 59 Vliv posuvné rychlosti vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	75
Obr. 60 Vliv teploty termické modifikace vlnitosti ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	77
Obr. 61 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) $t_{mod}$ 20 °C.....	79
Obr. 62 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) $t_{mod}$ 160 °C.....	79
Obr. 63 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) $t_{mod}$ 180 °C.....	80
Obr. 64 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) $t_{mod}$ 210 °C.....	80
Obr. 65 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) $t_{mod}$ 20 °C.....	81
Obr. 66 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) $t_{mod}$ 160 °C.....	81
Obr. 67 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) $t_{mod}$ 180 °C.....	82
Obr. 68 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) $t_{mod}$ 210 °C.....	82

Obr. 69 Vlnitost ( $Wa$ ) po obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) $t_{mod}$ 20 °C.....	83
Obr. 70 Vlnitost ( $Wa$ ) po obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) $t_{mod}$ 160 °C.....	83
Obr. 71 Vlnitost ( $Wa$ ) po obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) $t_{mod}$ 180 °C.....	84
Obr. 72 Vlnitost ( $Wa$ ) po obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) $t_{mod}$ 210 °C.....	84
Obr. 73 Vlnitost ( $Wa$ ) po obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 20 °C .....	85
Obr. 74 Vlnitost ( $Wa$ ) po obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 160 °C .....	85
Obr. 75 Vlnitost ( $Wa$ ) po obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 180 °C .....	86
Obr. 76 Vlnitost ( $Wa$ ) po obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 210 °C .....	86
Obr. 77 Vliv řezné rychlosti na drsnost ( $Ra$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	89
Obr. 78 Vliv úhlu čela nástroje na drsnost ( $Ra$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	90
Obr. 79 Vliv posuvné rychlosti na drsnost ( $Ra$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	92
Obr. 80 Vliv termické modifikace na drsnost ( $Ra$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	93
Obr. 81 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) $t_{mod}$ 20 °C .....	95
Obr. 82 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) $t_{mod}$ 160 °C .....	96
Obr. 83 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) $t_{mod}$ 180 °C .....	96
Obr. 84 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) $t_{mod}$ 210 °C .....	97
Obr. 85 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) $t_{mod}$ 20 °C .....	97
Obr. 86 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) $t_{mod}$ 160 °C .....	98
Obr. 87 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) $t_{mod}$ 180 °C .....	98
Obr. 88 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) $t_{mod}$ 210 °C .....	99
Obr. 89 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) $t_{mod}$ 20 °C .....	99
Obr. 90 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) $t_{mod}$ 160 °C .....	100
Obr. 91 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) $t_{mod}$ 180 °C .....	100
Obr. 92 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) $t_{mod}$ 210 °C .....	101
Obr. 93 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 20 °C .....	101
Obr. 94 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 160 °C .....	102
Obr. 95 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 180 °C .....	102
Obr. 96 Drsnost ( $Ra$ ) po obrábění Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) TW 210 °C .....	103
Obr. 97 Termická modifikace vs. chemické komponenty .....	114
Obr. 98 Termická modifikace vs. energetická náročnost .....	115
Obr. 99 Termická modifikace vs. drsnost $Ra$ a vlnitost $Wa$ .....	116
Obr. 100 Životní cyklus výrobků z termicky upraveného dřeva .....	119
Obr. 101 Schéma vlivů a jejich důsledků při obrábění .....	121



## Seznam tabulek

Tab. 1 Technologie úpravy dřeva vysokou teplotou.....	15
Tab. 2 Doporučené využití měkkých a tvrdých dřevin s úpravou Thermo-S.....	19
Tab. 3 Doporučené využití měkkých a tvrdých dřevin s úpravou Thermo-D .....	20
Tab. 4 Faktory s vlivem na kvalitu a energetiku z pohledu materiálu.....	36
Tab. 5 Faktory s vlivem na kvalitu a energetiku z pohledu parametrů obrábění.....	36
Tab. 6 Schéma s kategorizací souborů zkušebních těles pro všechny dřeviny.....	37
Tab. 7 Parametry termické modifikace .....	40
Tab. 8 Parametry frézky FVS .....	43
Tab. 9 Parametry podávacího zařízení Maggi .....	43
Tab. 10 Parametry třech použitých frézovacích hlav .....	44
Tab. 11 Parametry použitých nožů .....	44
Tab. 12 Parametry měření dle ČSN EN ISO 4287 (1999).....	45
Tab. 13 Chemická analýza přírodního a termicky modifikovaného dřeva.....	47
Tab. 14 Vliv teploty modifikace na změnu sloučenin u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ).....	48
Tab. 15 Vliv teploty modifikace na změnu sloučenin u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) ...	49
Tab. 16 Vliv teploty modifikace na změnu sloučenin u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) .....	51
Tab. 17 Vliv teploty modifikace na změnu sloučenin u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ).....	52
Tab. 18 Vliv jednotlivých faktorů a jejich vzájemných interakcí.....	54
Tab. 19 Vliv řezné rychlosti na energetiku pro jednotlivé dřeviny .....	56
Tab. 20 Vliv posuvné rychlosti na energetiku pro jednotlivé dřeviny.....	58
Tab. 21 Vliv úhlu čela nástroje na energetiku pro jednotlivé dřeviny.....	59
Tab. 22 Vliv teploty modifikace na energetiku pro jednotlivé dřeviny.....	61
Tab. 23 Vliv jednotlivých faktorů a jejich vzájemných interakcí.....	71
Tab. 24 Vliv řezné rychlosti na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	73
Tab. 25 Vliv úhlu čela nástroje na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny.....	74
Tab. 26 Vliv posuvné rychlosti na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	76
Tab. 27 Vliv teploty modifikace na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny.....	78
Tab. 28 Vliv jednotlivých faktorů na drsnost ( $R_a$ ) a jejich vzájemných interakcí .....	87
Tab. 29 Vliv řezné rychlosti na drsnost ( $R_a$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	89
Tab. 30 Vliv úhlu čela nástroje na drsnost ( $R_a$ ) pro jednotlivé dřeviny.....	91
Tab. 31 Vliv posuvné rychlosti na drsnost ( $R_a$ ) pro jednotlivé dřeviny.....	92
Tab. 32 Vliv termické modifikace na drsnost ( $R_a$ ) pro jednotlivé dřeviny .....	94
Tab. 33 Optimální kombinace parametrů u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ).....	104

Tab. 34 Optimální kombinace parametrů u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ).....	104
Tab. 35 Optimální kombinace parametrů pro Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) .....	105
Tab. 36 Optimální kombinace parametrů u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ).....	105
Tab. 37 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) .....	106
Tab. 38 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ).....	106
Tab. 39 Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) .....	107
Tab. 40 Nejlepší kombinace všech parametrů u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ).....	107
Tab. 41 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) .....	108
Tab. 42 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ).....	108
Tab. 43 Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ).....	109
Tab. 44 Nejlepší kombinace všech parametrů u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ).....	109
Tab. 45 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )	110
Tab. 46 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )	110
Tab. 47 Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )	110
Tab. 48 Nejlepší kombinace všech parametrů u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ) .....	111
Tab. 49 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) .....	111
Tab. 50 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ).....	112
Tab. 51 Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) .....	112
Tab. 52 Nejlepší kombinace všech parametrů u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ).....	113
Tab. 53 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) .....	134
Tab. 54 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) .....	138
Tab. 55 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> ).....	143
Tab. 56 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> ) .....	148
Tab. 57 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) .....	153
Tab. 58 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ).....	156
Tab. 59 Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ) .....	159
Tab. 60 Nejlepší kombinace všech parametrů u Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> ).....	162
Tab. 61 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ) .....	165
Tab. 62 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ).....	168
Tab. 63 Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ).....	171
Tab. 64 Nejlepší kombinace všech parametrů u Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> ).....	174
Tab. 65 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )	177
Tab. 66 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )	180

Tab. 67	Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )	183
Tab. 68	Nejlepší kombinace všech parametrů u Padouku ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )	..... 186
Tab. 69	Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> )	..... 189
Tab. 70	Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> )	..... 192
Tab. 71	Ekonomika provozu dle nejlepší spotřeby u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> )	..... 195
Tab. 72	Nejlepší kombinace všech parametrů u Iroka ( <i>Milicia excelsa</i> )	..... 198

# Úvod

Dřevo již po tisíciletí patří mezi člověkem nejpoužívanější materiály a rok od roku nabývá většího významu (Němec *et al.*, 2005). Toto je dáno jeho dobrými vlastnostmi a relativně snadnou opracovatelností. V historii nacházelo dřevo největší uplatnění k energetickým účelům, v dnešní době stále nalézá uplatnění jako ekologické palivo, ale zejména je využíváno pro konstrukční i nekonstrukční účely v moderním stavebnictví či ve výrobě exteriérového a interiérového nábytku. Vzhledem k dobré zpracovatelnosti, dlouhé životnosti dřevěných výrobků a snadné ekologické likvidaci po skončení jejich životnosti předpokládáme, že trend využití této suroviny bude v blízké době sílit.

Pro využití dřeva v náročnějším exteriérovém prostředí hledáme vhodné způsoby ochrany výrobků proti napadení houbami či dřevokazným hmyzem. Tuto otázku již mnoho let řeší odborníci po celém světě. Zkušenosti z praxe a závěry vědeckých týmů poukazují na různé možnosti ochrany. Mnoho z dosud používaných ochranných metod má ale negativní vliv na životní prostředí. Ekologicky pozitivní způsoby ochrany, jako je například konstrukční ochrana, není možné ve všech případech použít. Právě proto vznikla myšlenka termické modifikace dřeva. Jako první byla vyvinuta termická modifikace technologií Staybwood, ta ale nikdy nenašla využití v průmyslu (Stamm *et al.*, 1946). Široké průmyslové uplatnění našla až metoda procesem úpravy ThermoWood. Tato metoda se již od jejího vzniku využívala na termickou úpravu měkkých a tvrdých domácích dřevin, aby se zlepšila jejich odolnost, snížila hygroscopicita a mohly být lépe využívány nejen v interiérech, ale i exteriérech.

Termická modifikace domácích dřevin je dnes do velké míry probídaná. V dnešní době ale začínají být více a více populární dřeviny tropické. Dle Čekovské (2017) zatím nejsou chemické ani mechanické reakce těchto dřevin na termickou modifikaci dostatečně probádané. Proto je vhodné rozšířit jak vědecká, tak i praktická poznání v oblasti této problematiky. V rámci našeho unikátního výzkumu jsme se rozhodli pracovat s několika tropickými dřevinami, abychom dosáhli výsledků, které nám umožní lépe pochopit vlastnosti termicky modifikovaných tropických dřevin a vlastní proces jejich obrábění, který zatím nebyl probádán. Jedná se o Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*).

Tropické dřeviny mají oproti dřevinám domácím jinou chemickou i anatomickou stavbu (Das, 2020). Vzhledem k tomuto vyvstává důležitá otázka, zda se budou tyto dřeviny při termické modifikaci a obrábění chovat stejně jako tvrdé či měkké dřeviny domácí anebo ne. Je možné, že vliv termické modifikace na změny v chemické stavbě bude jiný, než známe doposud.

Z průmyslového hlediska je nezbytné obrábět tropické termicky modifikované dřevo na stejných technologiích jako dřeviny domácí bez termické modifikace (Piernik *et al.*, 2019). To má několik důvodů. V současnosti probíhá obrábění, jako je například rovinné frézování, na vysoce kvalitních a výkonných strojích, kde často můžeme velice dobře a přesně nastavovat jednotlivé parametry. Navíc tyto moderní stroje umožňují dosahovat lepších výsledků z pohledu kvality. Nejdůležitějšími parametry pro ideální proces obrábění je správně nastavená řezná rychlost, posuvná rychlost a úhel čela nástroje.

Na základě působení změn těchto parametrů jednotlivě anebo najednou během procesu rovinného frézování pak můžeme hodnotit jejich vliv na nejčastěji posuzované veličiny z pohledu kvality opracovaného povrchu, těmi jsou střední aritmetická odchylka profilu drsnosti ( $R_a$ ) a střední aritmetická odchylka profilu vlnitosti ( $W_a$ ). Optimální kvalita povrchu je velice důležitá z důvodu dalšího zpracování a povrchových úprav (Kafka, 1989b). Proto se v našem výzkumu také na tyto významné charakteristiky soustředíme.

Vzhledem ke zvyšujícím se nárokům na velice nízkou uhlíkovou stopu výrobků je proces výroby čím dál tím více zatížen tlakem na snižování energetické náročnosti výroby. Proces rovinného frézování má u některých výrobků, na které je využíváno termicky modifikované dřevo, vysoký podíl na celkové spotřebované energii při výrobě. Oblast energetické náročnosti je proto také důležitým tématem naší práce.

Ambicí našeho výzkumu bylo definování změny chemického složení tropických dřevin po termické modifikaci, zkoumat nastavení jednotlivých parametrů jejich obrábění. Na základě vyhodnocování vlivu působení jednotlivých faktorů a kombinací těchto faktorů najednou na hodnoty charakteristik popisujících kvalitu povrchu a energetickou náročnost při obrábění, s důrazem na základní ekonomické ukazatele, jsme tak mohli najít optimální kombinace zkoumaných technicko-technologických parametrů při obrábění termicky modifikovaných tropických dřevin.

# 1 Cíle práce

Cílem práce je stanovení vlivu různých stupňů teploty termické úpravy různých druhů tropických dřevin a různých technicko-technologických parametrů obrábění na kvalitu opracovaného povrchu a energetickou náročnost při obrábění.

Dílčí cíle, můžeme rozdělit do následujících bodů:

Na základě výsledků výzkumu zjistit účinek jednotlivých faktorů a interakcí mezi hlavními faktory:

- a. Obráběný materiál Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*).
- b. Závislost teploty termické modifikace 160, 180 a 210 °C.
- c. Podávací rychlosti (4, 8 a 11 m.min<sup>-1</sup>).
- d. Řezné rychlosti (20, 30 a 40 m.s<sup>-1</sup>).
- e. Úhlu řezného čela nástroje (15, 20, 25°).

**na sledované parametry:**

- a. Změny v chemické struktuře všech čtyřech dřevin během všech stupňů termické modifikace a vliv chemického složení na řezný příkon při rovinném frézování.
- b. Množství odebírané energie (příkonu stroje) při rovinném, podélném frézování.
- c. Kvalita námi opracovaného povrchu, která byla vyhodnocena pomocí údajů o drsnosti, vlnitosti povrchu.
- d. Vzájemná interakce uvedených parametrů a stanovení optimálních parametrů při rovinném frézování.

Výsledky práce přinesou nové poznatky v oblasti kvality, chemické analýzy i energetické náročnosti při zpracování tropických dřevin. Do praxe přinesou výsledky přehled v oblasti správného nastavení parametrů procesu obrábění a snížení energetické náročnosti obrábění. Pro vědu budou výsledky přínosem k celkovému poznání o rovinném frézování dřeva a termické modifikaci i chemických změnách po úpravě.

## 2 Analýza literárních poznatků k předmětné problematice

Před zahájením výzkumu jsme provedli shrnutí literárních poznatků ve zkoumané problematice. Následující kapitoly tak přináší komplexní přehled v dané oblasti.

### 2.1 Dřevo jako surovina

Dřevo je neoddělitelnou součástí života člověka už tisíce let. Archeologické objevy ze severní Evropy dokládají, že již 7 000 let př. n. l. z něj člověk vyráběl saně, kterými převážel lidi, zvířata a náklad. Z něj se od 4. tisíciletí př. n. l. vyráběly první kola a také první bárky a čluny. Odedávna bylo a pořád je jedním z významných zdrojů energie, zejména tepelné. Tento účel jeho využití je dodnes velmi rozšířen v méně vyspělých částech světa.

Dřevo je v současnosti jednou z nejvyužívanějších přírodních surovin. Je tomu tak díky jeho přirozeným vlastnostem; jeho snadné obrobitelnosti, dobré pevnosti i pružnosti. Dřevo dokáže člověk sušit, obrábět a dále využívat. V rozvinutých částech světa se za dobu jeho aktivního využívání člověkem stalo nejvýznamnějším konstrukčním materiálem vůbec a také nenahraditelným materiálem na výrobu nábytku, kterým zůstává dodnes (Halabala, 1982).

Odpad vznikající při obrábění dřeva je často využíván k energetickým účelům. V dnešní době umíme odpad ve formě dřevěných pilin nebo hoblin dále zpracovat nejen k energetickým účelům jako jsou dřevěné pelety, ale například i na velkoplošné materiály na bázi dřeva nebo v různých dalších aglomerovaných materiálech. Míra využitelnosti tohoto materiálu je tak velice vysoká, takže množství odpadu z něj je takřka zanedbatelné. Navíc, pokud se se dřevem v lesích hospodaří šetrně a řízeně, tak jak tomu ve většině zemí světa je, je dřevo nevyčerpatelnou surovinou.

Dřevo má mnoho svých charakteristických vlastností. Dělíme je na mechanické a fyzikální a dále na estetické a uživatelsky oceňované vlastnosti. Mezi kladné mechanicko-fyzikální vlastnosti patří jeho přirozená pružnost, pevnost, obrobitelnost, elasticita, tvrdost, nízká váha, výborné izolační vlastnosti, trvanlivost, odolnost vůči poškození (Svoboda, 2016). Kvůli jeho organickému původu vykazuje oproti jiným konstrukčním materiálům poměrně vysokou variabilitu vlastností (Motyčka, 2009). Co se týče vzhledu a uživatelsky oceňovaných vlastností, přírodní dřevo vyniká svou originální kresbou a barvou, je příjemné na dotek, je teplé, příjemně voní, vytváří příjemné prostředí tam, kde je použito, má dobré akustické vlastnosti, nestárnoucí vzhled, který nezevšední, a při dobré péči vypadá krásně dlouhá léta.

Kromě pozitivních vlastností má dřevo i vlastnosti, které z uživatelského hlediska hodnotíme jako nedostatky. Dřevo přirozeně reaguje na změny ve svém okolí a přizpůsobuje se jim. Změny ve vlhkosti jeho okolního prostředí se projevují jeho bobtnáním nebo sesycháním. Tento jev se nazývá hygroskopicitá. Vlivem změn vlhkosti v prostředí může dřevo v konstrukcích praskat, křehnout nebo měnit svůj tvar do té míry, že se na dřevěných konstrukcích nebo zdech objeví trhliny a praskliny anebo se kusy dřeva prohnou a výsledkem je nefunkčnost části konstrukce nebo nábytku. Dalším typickým nedostatkem u dřeva je jeho nízká odolnost vůči napadení škůdci a houbami (Gottlöber *et al.*, 2016). To platí zejména pro měkké dřeviny. Škůdci a houby způsobují to, že dřevo hnije, rozkládá se a tím ztrácí své kvalitativní vlastnosti a zkracuje se jeho životnost.

To, do jaké míry se u dřeva projevují jeho kladné a záporné vlastnosti, závisí na konkrétním druhu. Ve střední Evropě se setkáváme s mnoha druhy dřevin jak jehličnatých, tak i listnatých. Listnaté stromy můžeme označovat jako opadavé, jehličnany naopak, až na výjimky jako modřín opadavý (*Larix decidua*) a několik málo dalších druhů, jako stálezelené.

V tropických oblastech Afriky anebo Asie se setkáváme se dřevem velice specifických vlastností. Dřeviny z těchto oblastí označujeme jako tropické dřeviny. Ty mají často vyšší odolnost vůči napadení škůdci. Mají zajímavou kresbu a barvu dřeva, se kterou se u domácích dřevin nesetkáme (Vidholdová a Reinprech, 2019). Tyto dřeviny, například Iroko (*Milicia excelsa*), Merbau (*Intsia bijuga*) mají vysokou hustotu a jsou zpravidla těžší než domácí

dřeviny. Některé obsahují oleje, které jsou značně aromatické, což může být z uživatelského hlediska někdy nepříjemné. Přesto lze předpokládat, že tropické dřeviny jsou přirozeně kvalitnější než dřeviny domácí a možná i vhodnější pro použití například v konstrukcích domů nebo exteriérových obkladech nebo v nábytku do exteriéru, jejich odolnost můžeme ještě zvýšit použitím vhodné úpravy.

Řešení nedokonalostí pro dřevo typických, bez ohledu na to, o jaký druh se jedná, existuje několik. Mezi tzv. neinvazivní řešení zařazujeme například výběr vhodné dřeviny dle účelu využití anebo pečlivý výběr materiálu. Tento postup je ve své podstatě ekologický, mnohokrát je však materiálově velice náročný a nákladný. Dřevo lze také nalakovat anebo na něj aplikovat lazury, které ale nemívají dlouhou životnost a musí se často obnovovat, takže se jedná o relativně nákladnou metodu. Některé tyto úpravy také potlačují kresbu a barvu dřeva, což je v protikladu s přírodním vzhledem, pro který si člověk dřevo kupuje. Existují také relativně účinné invazivní řešení, jakými je využití chemikálií – konzervantů. Jejich využití je ale často neekologické.

Dalším řešením, které nachází široké uplatnění v praxi, je termická úprava dřeva. Jedná se o řešení, kterým jsme se zabývali v této práci. V minulém století vzniklo hned několik metod termické úpravy dřeva, z nich ta nejpůvodnější je ThermoWood (Jones *et al.*, 2006). Tato metoda původem z Finska je založena na principu zahřátí dřeva v komoře pro termickou modifikaci dřeva na teploty v rozsahu 160 až 240 °C. Odpařením vody obsažené ve dřevě vznikne ochranná atmosféra, ve které se tak dřevo nesamovznítí, ale během působení vysokých teplot dojde k postupným změnám v jeho chemickém složení, a tudíž i vlastnostech (Kol a Seker, 2016). Výsledkem procesu je dřevo, u kterého jsou potlačeny některé z jeho nedostatků a mnohé kvalitativní vlastnosti jsou lepší. Je odolnější vůči hnilobám a škůdcům, má nižší hmotnost, je tvrdší, má lepší tepelnou odolnost a jeho schopnost absorbovat vodu anebo ji vlivem změn vlhkosti prostředí uvolňovat je nižší, dřevo se tak méně přizpůsobuje změnám prostředí – vlhkost a teplo (Razumov *et al.*, 2013).

Metoda ThermoWood se od začátku využívala na zlepšení vlastností zejména měkkých dřevin, které jsou v severní a střední Evropě. Později se zkoumala a také ujala aplikace metody na listnaté dřeviny. Ale tropické dřeviny byly doposud v ústraní. Přitom se jedná o dřeviny, které jsou zajímavé jak z estetického hlediska, tak i hlediska jejich přirozených vlastností (odolnost vůči škůdcům, pevnost atd.). Termickou úpravou můžou nabýt zajímavějších vlastností než v neupraveném stavu. Proto jsme se rozhodli v této práci zkoumat právě dřeviny tropické, Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*).

Ví se ale také i to, že termická úprava může mít částečně negativní vliv na chování dřeva při obrábění. Termicky upravené měkké dřeviny jsou sice tvrdší, ale i křehčí, a jejich obrábění může být tak náročnější, a tudíž nákladovější a výsledná kvalita horší. Procesem frézování – které je významným druhem opracovávání dřeva – a vyhodnocováním kvality dosaženého povrchu z pohledu drsnosti a vlnitosti se doposud zabývalo hodně autorů. Ne však u tropických dřevin. Proto jsme se v otázce této problematiky zpracování dřeva v naší práci zaměřili na tento proces u termicky upraveného tropického dřeva a neupraveného tropického dřeva, a to z pohledu kvality povrchu dosaženou frézováním, energetické náročnosti a neposlední řadě také z pohledu nákladovosti.

## 2.2 Tropické dřeviny

Tropické dřeviny jsou pro svoji odolnost a vzhledovou jedinečnost velice populární. Termickou modifikací těchto dřevin můžeme některé jejich vlastnosti dále zlepšovat. V současné době jsou jedny z nejčastěji exteriérově používaných tropických dřevin Merbau (*Intsia bijuga*) a Meranti (*Shorea acuminata*).

Rod Merbau neboli *Intsia* se skládá z několika druhů listnatých dřevin, které se vyskytují na Filipínách, v Indonésii, Malajsii a také na Tichomořských ostrovech nebo v Austrálii a na



Madagaskaru. Dva druhy *Intsia bijuga* a *Intsia palembanica* jsou na trhu nejvíce zastoupené. Zajímavostí u této dřeviny je, že každý její druh je do značné míry sám o sobě těžce identifikovatelný kvůli veliké variabilitě, kterou vykazuje ve vztahu k barvě, struktuře a také váze.

Dřevo Merbau je v zemích, kde se vyskytuje, vysoce ceněno, protože má hodně žádaných vlastností. Bělové dřevo je jasně viditelné a vymezené a má žlutou barvu. Jádrové dřevo může mít světlehnědou až červenohnědou anebo tmavohnědou barvu. S věkem barva tmavne do červenohnědé. Struktura dřeva je pestrá, někdy zvlněná. Textura dřeva je rovnoměrně středně hrubá až hrubá. Dřevo není lesklé a na dotek může působit olejnatě až voskově, proto je považované za olejnaté. Navíc dřevo Merbau obsahuje hodně pryskyřic. Výskyt žlutých skvrn „depositů“ v cévách dřeva slouží jako pomůcka pro odlišení Merbau od jiných podobných tropických dřevin a jsou vodorozpustné. Co se týče tvrdosti Merbau, ta je porovnatelná s tvrdostí druhů ořechovce, který patří k tvrdým druhům dřevin. Merbau je dřevina s vysokou hustotou, a tudíž i váhou. Opracování vzduchosuchého dřeva je kvůli vysoké hustotě dost náročné.

Mezi významné vlastnosti Merbau patří nízká míra sesychání, absence poškození vlivem sušení dřeva, nízký výskyt vad dřeva a přirozená odolnost a trvanlivost za jistých podmínek. Lokálně se dřevo používá při venkovních konstrukčních pracích na stavbách, na pražce. Pěkná kresba dřeva po povrchové úpravě a nízká míra smršťování ho předurčuje také na použití jako ozdobnou dřevinou vhodnou na obklady, podlahy a nábytek (Kukachka, 1969).

Jednotlivé druhy dřevin z rodu Merbau se liší svým výskytem, velikostí, do jaké dorůstají a svými fyzikálními vlastnostmi (tvrdost, hustota atd.). Kupříkladu Merbau keré dorůstá do výšky až 38 metrů a má průměr kmene 1,8 m. Vyskytuje se do nadmořské výšky 550 m n. m. Jeho dřevo je tvrdé až hodně tvrdé, těžké až hodně těžké, hodnota hustoty vzduchosuchého dřeva je mezi 970 a 1 125 kg/m<sup>3</sup>. V zemích, kde roste, se Merbau kera používá na výrobu úchytných pracovního nářadí, na desky podlah, rámy oken, konstrukce staveb (Lim a Gan, 2008). Merbau lalat je strom nižšího vzrůstu do 21 m a se stejným průměrem kmene jako Merbau kera. Vyskytuje se do nadmořské výšky 600 m n. m. Barva obou druhů Merbau je hnědá. Jeho dřevo je středně tvrdé až tvrdé a středně těžké až těžké. Hustota vzduchosuchého dřeva je v rozmezí od 640 do 910 kg/m<sup>3</sup>. U Merbau kera je barva tmavší až čokoládovohnědá. Merbau lalat je využíváno na středně těžké konstrukce staveb, na dýhu a překližky, nábytek, obklady, podlahy a dekorační práce (Lim a Gan, 2008).

Tvrdá dřevina Meranti (*Shorea acuminata*) patří do rodu, který je nazýván Shorea. Do tohoto rodu patří různé druhy Meranti, které se od sebe liší barevností, hodnotami mechanické pevnosti a vlastnostmi při jejich opracování. Hojně vyskytuje v oblasti jihovýchodní Asie od Indie po Filipíny (Sandermann *et al.*, 1963).

Tuto dřevinu dělíme dle barvy na dvě hlavní skupiny: tmavočervená a světočervená. Mezi nejznámější druhy Meranti patří Dark red Meranti (tmavočervené Meranti) nazýván také Red lauan (červený lauan). Dalšími druhy jsou Light red Meranti (světočervené Meranti), White Meranti (bílé Meranti), Yellow Meranti (žluté Meranti) a Balau. Meranti je všeobecně nazýváno filipínský mahagon, i když s pravým mahagonem nemá nic společného (Wood database, n.d.). Při koupi dřeva Meranti ve formě řeziva nebo dýhy je běžná zaměnitelnost druhů v rámci jedné skupiny, tmavočervené nebo světočervené.

Jedná se o listnatou dřevinu, která dorůstá do výšky až 40 metrů a má průměr kmene až 1,5 m (Durand, 1986).

Dřevo Meranti (*Shorea acuminata*) nachází uplatnění zejména v interiérových dekorech, obloženích, obkladech a všeobecně ve stavebnictví, ve výrobě dveří, překližky, lodí a nábytku.

I když Meranti (*Shorea acuminata*) není pryskyřičná dřevina (Sandermann *et al.*, 1963), je u ní patrný výskyt pryskyřicových kanálků, které jsou viditelnější u tmavě zbarvených druhů a rozhodně je nelze pokládat za místa, kde dochází k rozkladu dřeva nebo k jiným anomáliím

(Kukachka, 1969). Průběh a propojení kresby dřeva se může velice lišit mezi jednotlivými druhy Meranti. Dřevo nemá žádný výrazný charakteristický pach.

Dle studií provedených na Forest Products Laboratory v USA je odolnost vůči škůdcům u tmavočervené skupiny Meranti vyšší oproti světločervené skupině, ale ne vysoká. Co se týká kvality opracování, tmavočervená skupina Meranti je porovnatelná s tvrdými dřevinami jako jsou dub apod. Naopak u světločervených druhů byly výsledky průměrné až podprůměrné v porovnání s kvalitními tvrdými dřevinami. Sušení Meranti v sušárnách není nějak obzvlášť náročné a míra sesychání a nabobtnání je porovnatelná s tvrdými dřevinami jako je dub a javor (Kukachka, 1969). Podle Kamboje *et al.* (2020) patří Meranti mezi tropické dřeviny s nižší hustotou. V rámci výzkumu jsme pracovali s Meranti (*Shorea acuminata*).

Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) je difúzně pórovitá tvrdá dřevina. Přirozeně se vyskytuje v tropické části Afriky, v Demokratické republice Kongo, Gabonu, Kamerunu, Nigérii a také v Angole (Drápela *et al.*, 1980). Z důvodu výskytu v rovníkové oblasti jsou letokruhy ve dřevě nevýrazné.

Zvláštností Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) je barva jeho dřeva. Richter, Gembruch, Koch (2014) uvádí, že čerstvě řezané dřevo má světle červenou barvu, která se mění na oranžově červenou a postupem času až na fialovohnědou. Jádrové dřevo je jasně odlišené od běle, která má bílou až hnědožlutou barvu. Dle Jansena (2005) je kresba rovná až mírně fládovitá. Textura je hrubá a nepravidelná. Oba prameny uvádí, že Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) nemá žádný pach. Jemnou vůni lze zaznamenat, když je dřevo čerstvě rozřezané.

Škála využití Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) je široká. Díky tomu, že je zdrojem červeného barviva, v Africe a do začátku dvacátého století také v Evropě a ve Spojených státech amerických, se využíval na barvení červených tkanin, oblečení z vlny a bavlny do odstínů červené, cihlové, hnědočervené barvy. Lokálně se také využívá na výrobu vyřezávaného nábytku, skříní, úchytů nástrojů a nožů, chodítek. Kvalitní rezonanční vlastnosti a přirozená vlastnost tlumení vibrací u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) je využívána ve výrobě hudebních nástrojů (bubny, xylofony, části kytar).

Jeho voděodolnost ho předurčuje k využití na výrobu lodí, kánoí. Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) je vysoce trvanlivé dřevo vhodné pro konstrukci podlah, externích dřevěných konstrukcí, fasád, pilířů, stavidel, železničních pražců, schodů, biliardových stolů, sportovního náčiní.

Jansen (2005) uvádí, že Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) je vysoký listnatý strom, který může měřit až 55 metrů. Má rovný kmen s válcovitým tvarem o průměru 0,6–1 metr (Walker, 2005). Větve se objevují od výšky 20–30 metrů. Průměr kmene je 1,4–2 metry. Strom preferuje vlhké prostředí s dobře odvodňovanou hlubokou půdou. Vyskytuje se do nadmořské výšky 500 m n. m.

Dle Kukachky (1969) a Richtera, Gembrucha a Kocha (2014) je míra sesychání při sušení Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) nízká jak v radiálním, tak v tangenciálním směru. Rychlost sušení je středně pomalá a dřevo se téměř nedeformuje. Vysušené dřevo je velice stabilní. Vzduchosuché dřevo s vlhkostí 12 % má hustotu 675–815 kg/m<sup>3</sup>.

Obrábění dřeva Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) je středně náročné. Při řezání je doporučeno použití pilových kotoučů opatřených stelitovými zuby. Jádrové dřevo je trvanlivé a odolné vůči houbám, stejně jako kůra, která má antifugální vlastnosti – zamezuje šíření a průniku – některých patogenních hub, broukům *Lyctus* a termitům. Běl je mnohem méně trvanlivá. Impregnace jádrového i bělového dřeva je středně náročná ale možná, co potvrzuje technologický list výzkumného oddělení BioWooEB ve výzkumném centru CIRAD (BioWooEB, 2012).

Další nejčastěji využívanou africkou dřevinou je Iroko (*Milicia excelsa*). Místem původu dřeviny je centrální Afrika. Pochází z Konga, pásmo jejího výskytu se táhne od Guinejsko-bissauské republiky na západním pobřeží Afriky přes Pobřeží slonoviny až po Etiopii ve

východní části afrického kontinentu a ve směru poledníkovém se vyskytuje od Súdánu až po Zimbabwe a Mosambik. *Milicia excelsa* má blízkou příbuznou dřevinu s latinským názvem *Milicia regia*. Oba druhy mají na trhu stejné jméno Iroko. Dalším běžně používaným názvem je kambala anebo mvule (Kukachka, 1969).

Poptávka po Iroku je v Africe vysoká a na zdejším trhu se jedná o hodně ceněnou dřevinu díky jeho atraktivní kresbě a vzhledu. Má také rozsáhlé využití. Využívá se při stavbách, v konstrukcích lodí, zdymadel, pražců, v truhlářské výrobě pro exteriér a interiér. Běžná je výroba zahradního nářadí, dveří, podlah, dřevěného obložení pro dekorativní anebo konstrukční využití z této dřeviny. Stejně tak se z iroka vyrábí hračky, hudební nástroje, domácí potřeby (Ofori, 2007).

Díky tomu, že je Iroko (*Milicia excelsa*) charakteristické resistencí vůči zásadám a kyselinám používá se také na výrobu nádob a přepravek na jídlo, chemických produktů a laboratorního nábytku. Využívá se také jako palivo a vyrábí se z něj také dřevěné uhlí. Ještě začátkem nového tisíciletí byl běžný export jak hranolů a řeziva Iroka, tak kulatiny. Dnes je export irokové (*Milicia excelsa*) kulatiny z Pobřeží slonoviny, Kamerunu a dalších afrických krajin zakázán.

Dřevo Iroka má světlou žlutou barvu, která prochází přes hnědou a zelenohnědou barvu někdy až do tmavé čokoládově-hnědé barvy se světlejším zabarvením v místě výskytu cév. Textura dřeva je středně hrubá až hrubá a homogenní. Kresba je fládovitá a s výrazně skvrnitým žilkováním. Běložlutá běl se zřetelně odlišuje od jádrového dřeva. Dřevo Iroka je mírně mastné a bez pachu. Kulatina v uzavřených lesech je většinou rovného a válcovitého tvaru. Kukachka (1969) a také Ofori (2007) uvádí, že naproti tomu v savaně jsou stromy často poškozené lesními požáry a jejich dřevo nemá pravidelný tvar. Kůra je zarostlá ve dřevě a ve dřevě se tvoří nánosy uhličitánu vápenatého (vápence) a tvrdé shluky nazývané „Irokové kameny“, které vznikly v místech poškození při zranění stromu. Tyto shluky jsou těžko detekovatelné a při řezání anebo hoblování dřeva může dojít k rychlému otupení řezných nebo jiných obráběcích, nástrojů. Obrábění je plynulejší při řezných úhlech rovných nebo menších než 15°.

Stromy Iroko (*Milicia excelsa*) dorůstají do výšky 50 metrů a mají rovný kmen válcovitého tvaru bez rozvětvení do výšky 25–30 metrů. Průměr kmene je 2,5 m. Listy jsou jednoduchého tvaru. Dřevo iroka je tvrdé a husté. Při vlhkosti 12 % má hustotu 500–750 kg/m<sup>3</sup>. To znamená, že jeho hustota je přibližně stejná jako u dubového dřeva. Ale mechanické vlastnosti Iroka jsou horší než u dubu kvůli zmiňovaným shlukům a poškozením kůry (Ofori, 2007).

Iroko (*Milicia excelsa*) roste zejména v sušších lesech v nadmořské výšce kolem 1 200–1 500 m n. m. při teplotách 25–35 °C. Dřevina se řadí k pionýrským dřevinám, které potřebují hodně světla.

Sušení irokového dřeva je relativně rychlé a má spíš bezproblémový průběh bez většího znehodnocení. Rozměrové změny při sušení dřeva lze klasifikovat jako malé. Jádrové dřevo Iroka je velice trvanlivé a velmi odolné vůči ošetření konzervačními látkami, impregnacemi, jak také uvádí výzkumné francouzské centrum CIRAD v technologickém listu o dřevině Iroko vytvořeném jeho výzkumným oddělením BioWooEB (BioWooEB, 2012). Dřevo Iroko (*Milicia excelsa*) je také odolné vůči plísním. Ale běl je náchylná k napadnutí brouků *Lyctus* a propouští konzervační látky.

„Dřevo Iroko (*Milicia excelsa*) je vhodné využít tam, kde se klade důraz zejména na pevnost a trvanlivost“ (Kukachka, 1969, s. 15). Bližším rozbořením otázky trvanlivosti dřeva se zabývá další kapitola.

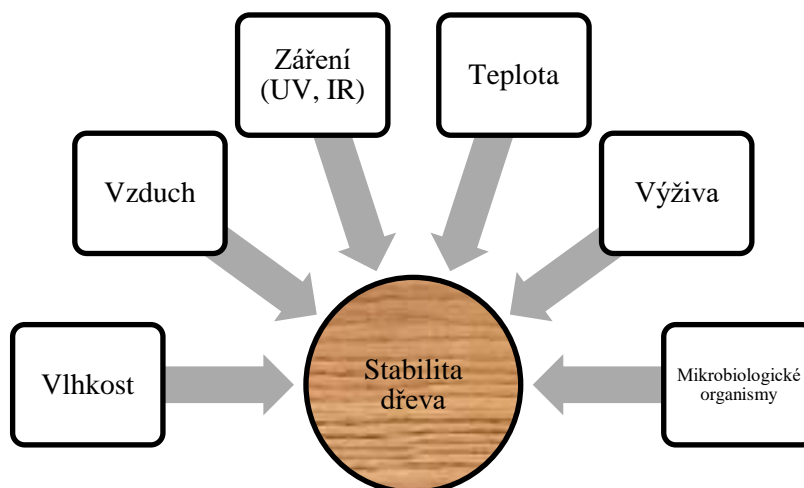
### 3 Trvanlivost dřeva

Stejně jako ostatní materiály má i dřevo pouze určitou trvanlivost. Dle Ghiassiho *et al.* (2019) je potřeba rozlišovat dva druhy trvanlivosti: přirozenou trvanlivost a vylepšenou trvanlivost. Přirozenou trvanlivost dřeva lze definovat jako přirozenou odolnost dřeva bez jakékoliv úpravy vůči biologickému rozkladu vlivem hub a útoky hmyzem. Naproti tomu vylepšená trvanlivost anebo jednoduše jen trvanlivost je termín, který se má používat u termicky modifikovaného anebo jiným způsobem chráněného dřeva.

Ve vhodných podmínkách má dřevo životnost po staletí. Trvanlivost dřeva je závislá na vlivu dvou hlavních skupin druhů faktorů: interních a externích. Mezi interní řadíme charakteristiky dřeva: chemická a fyzikální stavba dřeva. Ze základních stavebních složek dřeva je to kombinace celulózy, ligninu a hemicelulózy, která definuje míru trvanlivosti, tedy odolnost vůči útoku mikroby a pevnost. Přesto podléhá každé dřevo dřív nebo později zkáze.

Rozklad lze považovat za opačný proces, než je růst. Během rozkladu se celulóza a škrob vlivem enzymů rozkládají nejdřív na cukry a pak na vodu a oxid uhličitý. Běžně mívá běl menší trvanlivost než jádrové dřevo. Je to dáno tím, že běl má jinou fyzikální a chemickou skladbu. U všech čtyř námi zkoumaných tropických dřevin je běl snadno odlišitelný od jádrového dřeva. Dalším faktorem, který je potřeba brát v potaz je druh dřeva. Jedna dřevina může přirozeně dobře odolávat napadení dřevokaznými houbami, ale zároveň být náchylná na napadení jinými organismy (brouky, červy atd.). Například, jak je uvedeno v části věnované dřevině Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), její dřevo je dobře odolné jak vůči houbám, tak i různým broukům a termitům. Naopak irokové dřevo (*Milicia excelsa*) dobře odolává plísním, ale její odolnost vůči napadnutí některým hmyzem je nízká.

Aby byla správně určena trvanlivost dřeva, je důležité posuzovat, v jakém prostředí a k jakému účelu bude využito. Tím se dostáváme k externím faktorům, které ovlivňují trvanlivost dřeva. Ta je závislá na prostředí, ve kterém je dřevo umístěno. Vlhkost, vzduch, výživa, výskyt mikrobiologických organismů (huby, hmyz a plísně), teplota, výskyt záření (např. UV, IR) jsou faktory, které nezávisle na sobě ovlivňují stabilitu, a tudíž trvanlivost dřeva a rychlost, s jakou dřevo podlehne zkáze. V závislosti na intenzitě a trvání podmínek způsobujících rozklad je proces rozkladu rychlejší anebo pomalejší a různého rozsahu (Khatib, 2009).



**Obr. 1 Externí faktory ovlivňující stabilitu a trvanlivost dřeva**

(Zdroj: vlastní tvorba dle Patachia a Croitoru, 2016)

Díky svým vlastnostem nachází dřevo využití jako konstrukční materiál ve stavebnictví. V případě použití dřeva pro výrobu nábytku do interiérů je dřevo umístěno v chráněném prostředí, takže jeho míra degradace je velice nízká. Pokud jej ale používáme jako stavební materiál, musíme dbát na jeho ochranu, protože dřevo nebo výrobky z něj vystavené nevhodnému prostředí a nedobře chráněné mohou být napadené dřevokazným hmyzem, dřevozbarvujícími nebo dřevokaznými houbami, které zhoršují jeho kvalitu i vzhled (Klír, 1981).

Pro zvýšení trvanlivosti a životnosti dřeva můžeme použít úpravu vysokou teplotou (Rowell *et al.*, 2009, Srinivas a Pandey, 2012, Allegretti *et al.*, 2012). Díky tomu není potřeba jej za účelem ochrany po dobu více než 30 let jakkoliv chemicky ošetřovat. Navíc má ThermoWood lepší tepelné izolační vlastnosti než dřevo neupravené (Kaplan, 2015). Pro zvýšení životnosti dřevěných výrobků je vhodné použít jeden z možných způsobů ochrany dřeva. Podle Sandberga (2016) je termická modifikace dřeva inovativní proces v dnešní době dobře průmyslově využitelný.

## 4 Ochrana dřeva a ThermoWood

Dřevo jako materiál, který může podléhat napadení například dřevokaznými houbami nebo hmyzem je vhodné chránit. Jeden ze způsobů ochrany může ochrana metodou ThermoWood.

ThermoWood patří k metodám úpravy dřeva měnícím jeho vlastnosti, které jsou vyhledávány a využívány v různých oborech. Jedná se o proces termické modifikace, tj. tepelné úpravy dřeva. Dřevo, které prošlo tímto procesem úpravy, se nazývá ThermoWood nebo také termodřevo. I když je komerční využití tohoto procesu nedávné – vyvinut byl před necelými 20 lety – samotná technologie ThermoWood využívá metody a poznatky, které mají již bohatou historii v průmyslu a vědci se jim intenzivně věnují již dlouho. Největší pokroky, na kterých průkopníci ThermoWoodu stavěli, byly dosaženy postupně již od 18. století. Na jeho konci byly například vyvinuté první horkovzdušné sušárny využívající horký vzduch. Již v roce 1867 si Allen & Campbell nechali patentovat postup na sušení dřeva vysokou teplotou za použití přehřáté páry.

50. a 60. léta 20. století byla doslova „nabitá“ novými poznatky v oboru sušení dřeva vysokou teplotou, které dopomohly vývoji procesu ThermoWood. Z těchto všech poznatků čerpali odborníci v různých zemích světa, nicméně nakonec ve Finsku se podařilo stanovit proces ThermoWood, který byl následně úspěšně implementován. Z Finska se ThermoWood rozšířil a jeho výroba se rychle zpopularizovala v dalších zemích Evropy, zejména v její západní části v Holandsku, Švédsku, Německu, Francii a Rakousku.

ThermoWood je materiál na bázi dřeva, u kterého termickou modifikací za použití vysoké teploty a regulace vlhkosti dochází ke změnám struktury stěn dřevních buněk, díky čemu se zlepšuje jeho odolnost. Termicky upravené dřevo se nejvíce uplatňuje na obklady, na terasy rodinných domů atd. Tuto metodu úpravy dřeva lze použít na různé druhy dřevin (Sandberg *et al.*, 2017).

Zlepšení vlastností dřeva po tepelné modifikaci bylo dokázáno v mnoha vědeckých pracích, které byly ve velkém množství vypracované od 30. až do 70. let minulého století. Této problematice se na úrovni vědeckého výzkumu věnovali již na začátku 20. století ve Forest Products Research Laboratory v hlavním městě severoamerického státu Wisconsin Madison. V této laboratoři byla vyvinuta technologie na výrobu tepelně upraveného dřeva „Staywood“ (Stamm *et al.*, 1946), do praxe však nebyla nikdy uvedena (Reinprecht a Vidholdová, 2008).

### 4.1 Historie ThermoWood procesu

Již naši předkové v minulosti věděli, že tepelná úprava dřeva zlepšuje jeho mechanické vlastnosti a uměli toho využít v konkrétních situacích a oblastech jejich běžného života. Lovci v kmenech například vystavovali hroty jejich dřevěných oštěpů plamenům ohně, aby se zvýšila jejich tvrdost, zlepšila odolnost i trvanlivost (Campean, 2010).

Jak jsme již psali, počátky výzkumu zaměřeného na termickou úpravu dřeva sahají do začátku 20. století, kde se mu intenzivně věnovali odborníci v laboratoři Forest Products Research Laboratory ve Spojených státech amerických. Laboratorium získávalo v termické modifikaci náskok, který si udrželo i díky úzké spolupráci s americkou společností Koppers Company v 70. letech minulého století a následně i v 90. letech díky zanícené práci a hojným výstupům emeritního profesora Rogera Rowella. I když mnohé z prací byly vyvinuté pro komerční účely, ve skutečnosti se jednalo pouze o úzce segmentové produkty, které se vůbec na trhu neujaly (Hill, 2011).

Snahy o komercializaci termické úpravy různými formami byly realizovány také v Japonsku, Lotyšsku a Kanadě v 70. a 80. letech minulého století. Až koncem 20. století se těžiště vývoje a výzkumu v této oblasti přesunulo do Evropy. Impulsem pro intenzivní práci v této oblasti byla měnící se legislativa Evropské unie, na jejíž byla výroba termodřeva zavedena v mnoha zemích západní Evropy. Také aktuální trendy udávané v dřevařském

průmyslu a nárůst poptávky po dřevě pro účely výstavby a konstrukce byly důvody proč zkomercializovat ThermoWood ve velkém (Campean, 2010). Jeho produkce tak v současnosti roste (Borysiuk *et al.*, 2016).

Bylo to právě ve vědeckém centru VTT Technical Research Centre Of Finland Ltd. ve Finsku, kde byl proces ThermoWood vyvinut, patentován a komercializován. Celosvětově je Finsko v současnosti největším výrobcem termodřeva na světě (Hill, 2011).

## 4.2 Obchodní značka ThermoWood

ThermoWood® je obchodní značka, která je majetkem asociace International ThermoWood Association. Asociace vznikla v roce 2010. Registrovaný ThermoWood proces vzniknul v roce 2003 jako odpověď na stále více rezonující problematiku ekologie a udržitelného rozvoje v Evropě. Do té doby byly známé a používané jiné dva druhy úpravy dřeva pro zvyšování odolnosti a trvanlivosti dřeva, a to chemická a impregnační.

V roce 2003 byla také stanovena klasifikace procesu ThermoWood a definované byly dvě standardní skupiny termické úpravy ThermoWood, které se jmenují Thermo-S (dřevo pro využití v interiéru) a Thermo-D (dřevo pro využití jak v interiéru, tak v exteriéru) (Černecký *et al.*, 2017).

## 4.3 Charakteristické vlastnosti termicky modifikovaného dřeva

Tepelnou modifikací se vlastnosti termodřeva mění a dřevo nabývá nové kvality, které jsou ve stavebnictví vyhledávané a ceněné. Je to způsobeno tím, že vlivem použité vysoké teploty se v buněčných stěnách zasítují monomery a vzniká tak polymerická struktura tzv. repolymerizace, která má jiné mechanické a fyzikální vlastnosti. Tím vznikají nové látky, které nejsou rozpustné ve vodě a zároveň látky, které odpuzují nebo ničí biologické škůdce (Yildiz *et al.*, 2006, Mburu *et al.*, 2008). Jednotlivé vlastnosti podrobně zkoumali například Esteves a Pereira (2009) anebo také Srinivas a Pandey (2012).

Termická modifikace má vliv nejen na mechanické vlastnosti jako je zvýšení jeho tvrdosti a biologické odolnosti, ale také na jeho estetické vlastnosti. Během tepelné úpravy dřeva dochází ke změnám jeho barvy (Kol *et al.*, 2017b). Míra, do jaké změna odstínu nastane, závisí na několika proměnných. Vliv na ní má délka a intenzita ošetření dřevní hmoty a také druh dřeviny, kterou tepelně upravujeme. U dřevin dochází k ztmavení jejich barvy a ve výsledku se tak i měkké dřeviny barvou přibližují a připomínají například dřeviny tropické (Tuong a Li, 2010). Důležitou proměnnou je také nejvyšší teplota, která je během tepelné úpravy použita. Tímto jevem se do detailu ve své práci zabývali Bekhta a Niemz (2003, s. 539). Z jejich analýzy barvy termicky upraveného dřeva vyplývá, že „*k nejmarkantnějším změnám v barvě dřeva dochází při termické úpravě nad 200 °C.*“ Ke stejným závěrům došli i Barcik *et al.* (2015) na dřevině dub letní (*Quercus robur*). Bourgeois, Bartholin a Guyonnet (1989) také ve své práci dospěli k závěru, že obě proměnné – délka působení vysoké teploty a nejvyšší působící teplota mají významný vliv nejen na výslednou barvu, ale také na chemické složení termicky modifikovaného dřeva různých druhů dřevin. Podle Čekovské *et al.* (2017) je termicky modifikované dřevo podobně odolné vůči hoření jako dřevo bez úpravy.

Jak bylo řečeno na začátku této kapitoly, dřevo, které je termicky modifikované, má jinou strukturu buněk než dřevo přírodní. Díky tomu vykazuje mnohem větší rozměrovou a tvarovou stabilitu při expozici stejným povětrnostním a klimatickým podmínkám než dřevo termicky neupravené. K tomuto závěru dospěli v jejich pracích jak Bekhta a Niemz (2003), tak Burmester (1975), Giebeler (1983), Rowell *et al.* (2009), Srinivas a Pandey (2012), Tjerdsmas *et al.* (1998) a také Tuong a Li (2010). Rozměrové změny jsou v komparaci se dřevem přírodním přibližně poloviční. Nedochozí tak do velké míry k nabobtnávání anebo sesychání dřeva vlivem okolního prostředí. Zlepšit rozměrovou stabilitu dřeva můžeme také aplikací nanočástic (Mantanis *et al.*, 2012).

Tato vlastnost termicky modifikovaného dřeva je spojena s nízkou hygroscopicitou, kterou takto upravené dřevo má (Dubovský *et al.*, 1998). Míra, do jaké je termicky upravené dřevo rozměrově stabilní, závisí kromě jiného na druhu dřeviny (Militz, 2002).

ThermoWood vykazuje také lepší biologickou odolnost vůči škůdcům (Rowell *et al.*, 2009, Sandberg *et al.*, 2013). Tato vlastnost je spjata jednak s nižší hygroscopicitou termicky modifikovaného dřeva a jednak s tím, že při termické úpravě dochází k chemickým změnám v jeho struktuře: odebrání nebo prostorové blokaci hydrofobních -OH skupin (Barcík a Homola, 2004). V průběhu modifikace dochází ve dřevě k rozpadu hemicelulóz (obživa bakterií a dřevokazných hub) a zároveň se u něj sníží hladina rovnovážného obsahu vlhkosti. Bez dostatku hemicelulóz se tyto škůdci v ThermoWoodu nedokážou šířit (FinnForest, 2005, Schwarze a Spycher, 2005). Podle Rowella (2020) se dřevokazné houby nemohou šířit, pokud obsah vody v buněčné stěně klesne pod 4 %.

V průběhu procesu termické úpravy dochází k vytěsnění pryskyřice z upravovaného dřeva. Pryskyřice je látka, která způsobuje nemalé problémy jak při aplikaci povrchových nátěrů na dřevo, tak po ní, protože přírodní dřevo pracuje celý život, a i přes nátěrovou hmotu může pronikat. Jelikož ale pryskyřice není v termodřevě přítomna, aplikace nátěru je mnohem snadnější a pryskyřice navíc nepronikne přes nátěrovou hmotu na povrch dřeva.

Když si shrneme všechny vyjmenované vlastnosti, které ThermoWood má, zjistíme, že jejich kombinace snižuje náklady, které jsou spojeny s jeho údržbou a v konečném důsledku je návratnost investice do ThermoWoodu rychlá a stoprocentní, protože životnost tohoto dřeva je dlouhá.

Vlastnost, která zatím prokázána nebyla, je zvýšená odolnost dřeva vůči UV záření. ThermoWood šedne stejně tak jako dřevo tepelně neupravené (Svět dřeva, 2010–2018). Zešednutí termodřeva nemá vliv na jeho odolnost. Tento proces je možné zpomalit aplikací pigmentové povrchové úpravy.

Proces ThermoWoodu byl vyvinut a využívá se zejména kvůli těmto vyjmenovaným vlastnostem. Jeho užité vlastnosti jsou lepší a zároveň je jeho odolnost jak v prostředí interiéru, tak zejména v exteriéru mnohem vyšší. Výrobky z něj mohou být exponované náročnějším klimatickým podmínkám i ve vnějším prostředí bez toho, aby podléhalo vlivu dřevokazných hub, hmyzu atp. tak jako přírodní dřevo bez termické úpravy a je také rozměrově stálejší. Navíc má charakteristickou tmavší barvu, která je atraktivnější a praktičtější. Vlivem termické modifikace dřeva ale dochází k poklesu pevnosti v tahu a ohybu a také ke snížení rázové houževnatosti a hustoty (Gündüz *et al.*, 2009, Korčok *et al.*, 2018, Kol *et al.*, 2017a).

### 4.3.1 Výroba ThermoWoodu

Ve Finsku se v současnosti vyrobí 80 tis. m<sup>3</sup> termicky modifikovaného dřeva ročně. 90 % použitého řeziva má certifikaci PEFC. I když je velká část výroby termodřeva lokalizována ve Finsku, další továrny na výrobu jsou v provozu anebo ve výstavbě v dalších zemích, jako je např. Estonsko (NFS Ltd), Rusko (ESTW), Turecko (Novawood), Kanada (Superior ThermoWood, Ohlin Termotech, SEESIn Wood Ltd.) (Hill, 2011).

#### Proces výroby ThermoWoodu

Za pojmem ThermoWood se skrývá výrobní proces, při kterém je dřevní hmota umístěna do speciální komory, kde je vystavena vysokým teplotám od 160 do 240 °C a kontrole přísunu kyslíku, aby nedošlo k oxidaci a následnému samovznícení upravovaného dřeva.

Deskripce procesu ThermoWood uvádí, jaké jsou jeho vstupy a co využívá. Nevstupují do něj žádné toxické látky, žádné biocidní nebo fungicidní přípravky nebo jiná aditiva. Využívá jen teplo a vodní páru. Navíc ani využití získaného produktu není žádným způsobem škodlivé pro zdraví ani nezatežuje životní prostředí. Jedná se tedy o ekologický proces (Kaplan, 2015).



Podle toho, jaké finální teplotě je dřevní materiál vystaven, se určuje, na jaký účel bude dřevo využito. Vnitřní uspořádání je jiné u dřeva, které bylo tepelně upraveno finální teplotou 190 °C a jiné je u dřeva podrobeného teplotě 240 °C. Určení způsobu využití konkrétního dřeva je ovlivněno také tím, jakou barvu termicky upravené dřevo získá. U ThermoWoodu platí pravidlo, že čím je teplota úpravy vyšší, tím upravované dřevo nabývá tmavšího odstínu (Bourgeois, Bartholin a Guyonnet, 1989, Kaplan, 2015). Proces výroby ThermoWoodu dle ThermoWood – Solutions for timber cladding and rain screens z roku 2013 probíhá ve třech fázích (Metsä, 2013):

### Fáze 1: Zvýšení teploty a sušení vysokou teplotou

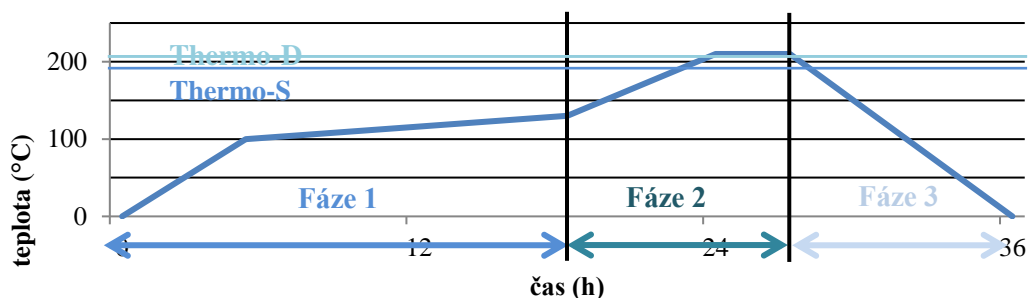
Teplota v sušící komoře za pomoci horké páry nebo vzduchu dosáhne rychle přibližně do 4 hodin, hodnotu 100 °C. Následně se postupně zvyšuje a dosáhne 130 °C (viz Obr. 2). Během toho dochází k sušení dřeva pomocí vysoké teploty a vlhkost dřeva dosáhne téměř nulové hodnoty (Hrčka a Babiak, 2012). Tato fáze je nejdelší ze všech tří a její délka závisí zejména na vstupní relativní vlhkosti dřeva.

### Fáze 2: Tepelná úprava

Jakmile je sušení vysokou teplotou na konci, přichází druhá fáze tepelné úpravy. Teplota v sušící komoře se zvedá na hodnotu mezi 185 a 215 °C, případně až na 240 °C. Hodnota cílové teploty záleží na tom, na jaký účel má být výstupní termicky upravený materiál použit. Stejně tak délka druhé fáze závisí na účelu použití materiálu. Po dosažení nejvyšší cílové teploty je její hodnota udržovaná v délce 2–3 hodin.

### Fáze 3: Chlazení a úprava vlhkosti

V průběhu třetí fáze se teplota v komoře postupně snižuje za použití vodního postřikovacího systému. Když teplota klesne na 80–90 °C, dochází k opětovnému zvlhčení materiálu, aby byla dosažena relativní hodnota vlhkosti na úrovni vhodné pro jeho další zpracování a použití 4–7 %. V této fázi procesu vzniká v komoře pára. „Ochranná parní mlhovina chrání dřevo před vznícením a ovlivňuje chemické změny, ke kterým dochází ve dřevě“ (PROKOM, 2010). Délka druhé a třetí fáze závisí jak na faktoru, jakým je účel využití materiálu, tak na druhu dřeviny, kterou termicky upravujeme. Režimy termické úpravy se tedy stanovují i v souladu s tím, jestli se jedná o dřevinu měkkou, tvrdou nebo dřevinu tropickou. Jak jsme v části 4.2 o značce uvedli, proces ThermoWood má dvě standardní kategorie tepelné úpravy, které se používají jak u měkkých, tak i u tvrdých dřevin. Na stránkách asociace International ThermoWood Association jsou obě kategorie definované a popsány. Kategorie Thermo-S, kde S značí „stability“ tedy stabilitu, vzniká při termické úpravě na 190 °C pro měkké dřeviny a 185 °C pro tvrdé dřeviny. Přirozená odolnost vůči hnilobě těchto materiálů je na úrovni požadavků kategorie 3 dle normy ČSN EN 113. U ThermoWoodu kategorie Thermo-D určené pro exteriér se jedná o dobrou odolnost vůči hnilobě, která odpovídá kategorii 2 dle normy této normy. D značí „durability“ teda odolnost (Ayata *et al.*, 2017). Měkké dřeviny procházejí termickou úpravou na 212 °C a tvrdé na 200 °C.



Obr. 2 Schéma procesu výroby ThermoWoodu

(Zdroj: FinnForest, 2005)

### 4.3.2 Další druhy technologií výroby termicky modifikovaného dřeva

Je víc technologií, kterými se dřevo může tepelně upravovat. Dělíme je na ty, které nevyužívají žádné chemické látky a ty, kde modifikace probíhá za použití nějakých konzervačních přípravků, tj. v různých typech prostředí. Ve všech případech je dřevní hmota vystavená vysoké teplotě.

Podle Reinprechta a Vidholdové (2008) se v Evropě používají nejvíce tyto metody:

- 1) příprava v atmosféře vzduchu (Finsko) – **ThermoWood**,
- 2) příprava v prostředí vodní páry (Nizozemsko) – **PlatoWood**,
- 3) příprava v prostředí inertních plynů (Francie) – **RetificatedWood**,
- 4) příprava v olejích (Německo) – **OHTWood**.

Dále jsou známé metody (Campean, 2010):

- 5) příprava v palivovém plynu (Francie, Kanada) – **Bois Perdure**,
- 6) příprava ve vodním roztoku DMDHEU (Německo) – **Belmadur**.

Následující Tab. 1 shrnuje víc druhů průmyslně využívaných technologií termické modifikace dřeva.

**Tab. 1** Technologie úpravy dřeva vysokou teplotou

Technologie	Výrobce	Ochranná známka	Použitá energie	Atmosféra	Teplota ohřevu (°C)	Délka ohřevu (h)	Objem pece (m <sup>2</sup> )
ThermoWood <sup>®</sup>	Jartek, Valutec	Thermowood <sup>®</sup> , Thermohout <sup>®</sup> , Lunawood <sup>®</sup>	elektrina, zemní plyn, biomasa	teplá vodní pára	185–225	25–72	8–100
Stabilprocess <sup>®</sup>	Sotralenz SAS	Stabilwood <sup>®</sup>			180–230	24	5
Plato <sup>®</sup>		PlatoWood <sup>®</sup>		teplá vodní pára	190–200	84–108	
ThermoholzAustria				teplá vodní pára + přetlak	160–220		
Proces Beson	SPCM	BMT <sup>®</sup>	zemní plyn	opětovné vstřikování vyloučených plynů	200 až dovnitř	20–25	8–10
Perdure <sup>®</sup>	PCI Industries	Perdure <sup>®</sup> , Le Bois Perdure <sup>®</sup>	zemní plyn	opětovné vstřikování vyloučených plynů	200–240	12–18	9–25
WTT	WTT A/S		elektrina, palivový olej	teplá vodní pára + tlak (14–20 bar)	140–210	12–24	6–30
Moldrup/IWT	MSL			teplá vodní pára + tlak (12 bar)		12–50	8–30
Baschild			biomasa, plyn	teplá vodní pára	180–210	24–72	20
Maspell	Maspell/WDE		elektrina	plyn + vlhkost	<220		25
Rétification <sup>®</sup>	Rey	Bois Rétifié <sup>®</sup> , Réti <sup>®</sup> , Retitech <sup>®</sup> , Retibois <sup>®</sup> , Retifier <sup>®</sup>	elektrina	vstřikování dusíku nebo jiného plynu	220–280	<14	4–20

(Zdroj: Candelier, 2013)

**Princip metody prostřednictvím vodní páry (PlatoWood):** PlatoWood je čtyřfázový proces založen na hydrotermolýze dřeva, který nevyužívá tak vysokých teplot jako ThermoWood (maximálně 200 °C). Výroba PlatoWood pochází z Nizozemska. Čtvrtá fáze trvá asi 3 dny (Reinprecht, 2012). Na konci fáze 4 je PlatoWood připraveno k použití (PlatoWood, n.d.).

**Princip metody prostřednictvím inertních plynů (RetificatedWood):** Jedná se o proces pyrolýzy „pečení“ dřeva pocházející z roku 1988, při kterém je využívána vysoká teplota kolem 250 °C. Procesu RetificatedWood lze podrobit jak vlhké dřevo, tak i dřevo stabilně vysušené na hodnotu kolem 12 %. Candelier (2013) uvádí, že při procesu dochází k narušení molekul hemicelulózy a chemicko-fyzikálním změnám ligninu. Díky těmto změnám se snižuje hygroskopicitata a tím dimenzionální nestabilita dřeva.

Vedlejšími produkty pyrolýzy jsou plyny CO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>, které zachycuje vodní chladič. Plyny se dají využít v peci pro dosažení inertní atmosféry při chlazení. I když RetificatedWood zvyšuje fyzikální vlastnosti dřeva a jeho trvanlivost, jeho mechanické vlastnosti jsou značně sníženy. Vysvětlením je velký úbytek hmoty materiálu kolem 30 % hmotnosti. Navíc je barva dřeva mnohem tmavší až tmavohnědá. Proto jsou možnosti jeho využití značně omezené (Candelier, 2013).

**Princip metody prostřednictvím přípravy v olejích (OHTWood):** Tato metoda termické modifikace z Německa se od ThermoWood procesu liší tím, že probíhá za použití rostlinného oleje z lněných semínek, ve kterém je materiál během procesu ponořen. Esteves a Pereira (2009, s. 372) uvádí, že: „*Během procesu OHT je do uzavřené nádoby se dřevem vlitý hořký olej a termická úprava trvá kolem 2 až 4 hodin s celkovou délkou 18 hodin včetně fáze ohřevu a chlazení.*“ V konečné fázi modifikace se olej z nádoby odčerpá, dřevo okape a ohřev vzduchem umožní oleji na povrchu termicky upraveného dřeva ztvrdnout.

Esteves a Pereira (2009, druhotní zdroj) se v tomto článku odkazují na Sailere *et al.* (2000, původní zdroj) a Rappe *et al.* (2001, původní zdroj). Tito autoři popisují to, že během procesu dřevo absorbuje velké množství oleje, což způsobuje nárůst hmoty o 50–70 %, a to se může v konečném důsledku ukázat jako nevýhoda (Esteves a Pereira, 2009). Metoda OHTWood je navíc vhodnější pro použití u měkkých dřevin.

**Princip metody prostřednictvím palivového plynu (Bois Perdure):** Jedná se o čtyřfázový proces, který vznikl v roce 1999 a je založen na rychlém sušicím procesu dřeva pomocí páry a horkých spalovacích plynů (propan nebo zemní plyn), které jsou při procesu vylučovány. Tyto plyny se rekuperují a v kontrolovaném množství se opětovně vstříkují do prostoru spalovací komory. Podrobně proces popisuje kanadská lesnická asociace AFAT v prezentaci výrobce Bois Perdure PCI Industries.

Pro termickou modifikaci metodou Bois Perdure je možné využívat jak listnaté, tak jehličnaté dřeviny. Pro některé dřeviny je otázka termické modifikace dobře probádaná, pro jiné ještě nejsou k dispozici dostatečné poznatky. Bois Perdure se vyrábí ve Francii a Kanadě, a také v USA a Evropě.

## 5 Chemické složení dřeva

Mezi základní chemické složky dřeva zařazujeme lignin (18–35 %) a sacharidy (65–75 %), tj. celulózu a hemicelulózu (Pettersen, 1984). Jedná se o složité polymery, ze kterých se skládají buněčné stěny dřeva. V menší míře je dřevo složené z vedlejších látek – organických a anorganických extraktivních látek – a také zvydy. Tyto pomocné látky tvoří běžně 4–10 % z hmotnosti suchého dřeva.

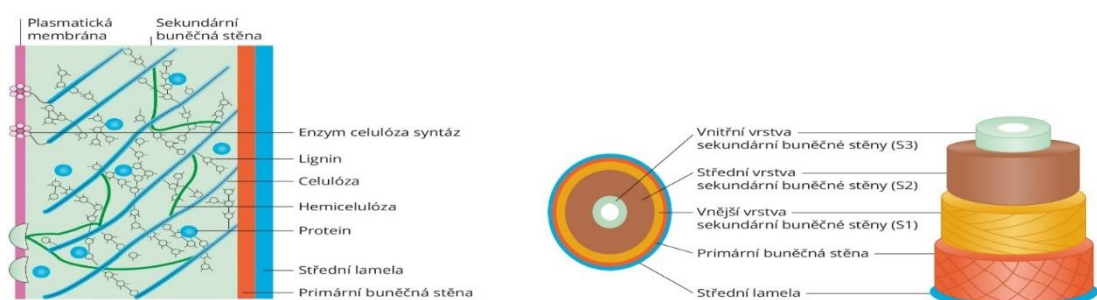
Celulóza je polysacharid skládající se z lineárních řetězců glukózy spojených vazbou  $\beta$  1,4. Jedná se o nejrozšířenější makromolekulární látku, jaká se v přírodě vyskytuje.

Podle toho, kolik jednotek glukózy je v celulóze na sebe navázaných, lze určit její stupeň polymerizace. Tyto jednotky se na sebe vážou glykosidickou vazbou (viz Obr. 3). Dle Pettersena (1984) představuje celulóza 40 až 50 % váhy suchého dřeva a v přírodní formě je krystalická. Celulóza je nerozpustná v žádném rozpouštědle a zároveň „není termoplastická a tavitelná.“ Až při vyšších teplotách dochází k její tepelné degradaci (Šnévajsová, 2012, s. 12). Díky tomu je její uplatnění jako materiálu v průmyslu velmi široké.

Hemicelulóza je další důležitá stavební látka dřeva. Od celulózy se liší tím, že je to polymer s rozvětveným, zesíťným řetězcem. Tvoří tak kratší řetězce složené z různých druhů monomerů (glukóza, xylóza, manóza, ramnóza, galaktóza, arabinóza). Má tak mnohem nižší stupeň polymerizace než celulóza – je amorfni. Váha suchého dřeva je z 25 až 35 % tvořena z hemicelulózy (Pettersen, 1984). Hemicelulóza nemá tak pevné vazby, je mnohem reaktivnější než celulóza a je rozpustná v různých rozpouštědlech (Kafka, 1989a). Dle Kačíka *et al.* (2015) je hemicelulóza náchylnější k tepelnému rozkladu působením vyšší teploty kvůli krátké délce řetězce a rozvětvené struktuře.

Po celulóze a hemicelulóze je druhou nejrozšířenější biologickou složkou na zemi lignin. Ligninu dal jako první jméno vědec Schulze v roce 1865. Tato makromolekula se skládá z nepravidelně spojených fenylypropanových jednotek. Je to rozvětvený trojrozměrný biopolymer plnící v rostlinách vitální funkce (Rowlandson *et al.*, 2019). Mechanicky zpevňuje stěny buněk rostlin, čímž zabraňuje jejich degradaci, jako součást kapilár podporuje transport vody a živin v rostlinách, chrání je před patogeny, hmyzem a dalším škůdcům (Sederoff *et al.*, 1999). Lignin je odolný vůči teplotě do 150 °C. Se stoupající teplotou úpravy dochází ke kondenzačním reakcím (Bubeníková *et al.*, 2018).

Extraktivní látky tvoří stavební složku buněčné stěny rostlin. Většinou jsou to látky snadno rozpustné v neutrálních rozpouštědlech. U tropických dřevin je jejich zastoupení zpravidla vyšší než u dřevin netropických. Mezi organické extraktivní látky zařazujeme tuky, vosky, jednoduché nebo složené fenoly, jednoduché cukry, pektiny, pryskyřice, škroby, esenciální oleje, glykosidy a další. Mnohé z nich jsou důležité pro metabolismus, jsou rezervoáry energie a také ochraňují rostliny před napadením houbami nebo bakteriemi. Zároveň jsou to tyto látky, které určují barvu, pach a odolnost rostlin vůči škůdcům. Anorganickou složkou rostlin je popel, který vzniká vznícením dřeva při vysokých teplotách a většinou tvoří méně než hmotnosti 1 % dřeva.

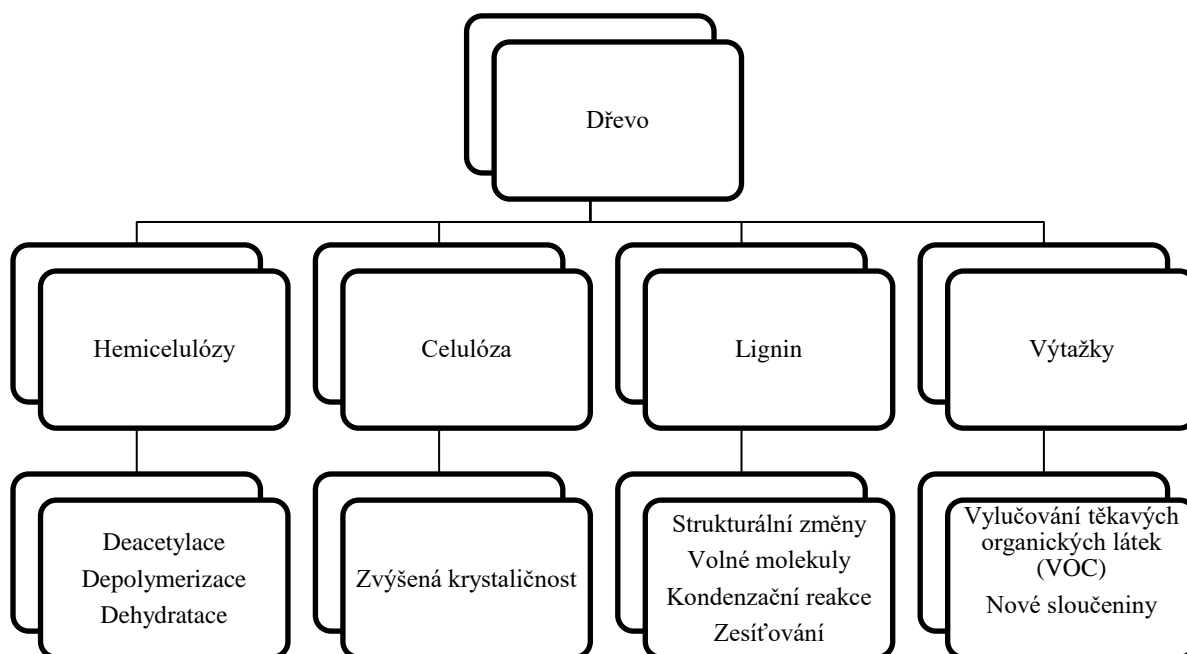


Obr. 3 Struktura buněčné stěny dřeva

(Zdroj: vlastní tvorba)

## 6 Materiál pro termickou úpravu

Termické úpravě dřeva můžeme podrobit jak vzduchosuché, tak i mokré dřevo. Během termické modifikace prochází dřevný materiál chemickými změnami, které jsou shrnuté na schematickém Obr. 4. Míra, do jaké jednotlivé změny v upravovaném dřevním materiálu probíhají a také míra, do které se projeví, se liší podle druhu dřeva a použité metody. Kromě jiného dochází i k úniku těkavých organických látek (dále jen VOC) ze dřeva. Esteves, Pereira, (2009), Mayes a Oksanen (2002) a Manninen (2002) zjistili, že emise VOC z termodřeva jsou několikrát nižší než ze dřeva, které je vzduchosuché.



**Obr. 4 Chemické změny základních stavebních látek během termické úpravy dřeva**

(Zdroj: Esteves a Pereira, 2009)

Co se týče některých plynů, které se uvolňují během většiny metod termické úpravy, ty jsou rekuperované a opětovně spalované, aby se využila energie v nich obsažená. Jedná se tedy o další pozitivní aspekt termické modifikace dřeva s ohledem na životní prostředí.

Dodávky tepelné energie do procesu tepelné úpravy pochází dle Reinprechta a Vidholdové (2008) a také dle Candelieri (2013) buď z výhřevných těles poháněných elektrinou, zemním plynem nebo biomasou, anebo může pocházet z tepelných olejových zásobníků.

V současnosti se termicky modifikované dřevo vyrábí zejména z měkkých dřev. Z jehličnanů se nejvíce používá smrk (*Picea abies*) a borovice (*Pinus sylvestris*) a z listnatých dřevin je to bříza (*Betula pendula*) a osika (*Populus tremola*). Využití tvrdých evropských a tropických dřevin pro ThermoWood doposud není tolik probádané.

Tvrdé, měkké a tropické dřeviny, které prošly ThermoWood procesem, nemají stejné fyzikální ani mechanické vlastnosti. Dle článku Dase *et al.* (2020, s. 2) „některé vlastnosti dřeva se termickou úpravou zhoršují.“ Ke stejnému závěru se dopracovali také Gündüz *et al.* (2009), Kamdem *et al.* (2002), Mitchell (1988) a Stamm (1964). Takové dřevo je křehčí a není vhodné na nosné konstrukce (Jämsä a Viitaniemi, 2001, Militz a Tjeerdsma, 2001, Rapp a Sailer, 2001, Vernois, 2001). Icel *et al.* (2017) potvrdili ve svém výzkumu zhoršení mechanických vlastností u termicky modifikovaného iroka (*Chlorophora excelsa*) o 15,7 až 27,8 %. Navíc jejich

odlišnost v barvě je patrná i u tepelných úprav na nejvyšší teplotu 210 °C. Ta se zdá být hraniční pro dřeviny tropické, zejména Merbau (*Intsia bijuga*), který nabývá čokoládově-černou barvu. Při volbě využití termicky modifikovaného dřeva důležitou roli hraje i estetika. Zatím co světlehnědé barvy smrkového termodřeva nebo zlatohnědé odstíny dubového termodřeva mohou působit luxusně, hořko-čokoládové až téměř černé odstíny termodřeva Merbau (*Intsia bijuga*) mohou působit nepřírozně.

Po základním zpracování suroviny a její termické modifikaci je prováděno další zpracování a vznikají tak často již finální produkty.

## 6.1 Zpracování ThermoWood

Zpracování termicky modifikovaného dřeva nedílně patří k jeho dalšímu využívání. Veškeré procesy zpracování se snažíme provádět na sejných technologických zařízeních na kterých provádíme zpracování dřeva bez úpravy. Toto přináší vysokou flexibilitu ve výrobě a nezvyšuje náklady na investice do speciálních technologií určených pouze pro daný materiál. V praxi je tedy termicky modifikované dřevo řezáno, frézováno i broušeno na stejných strojích jako dřevo bez úpravy. Základním procesem, který má značný vliv na další zpracování je rovinné frézování. Během tohoto obrábění ale můžeme více či méně snadno a bez dalších nákladů měnit jednotlivé parametry tohoto procesu. Stanovené správných parametrů je klíčové nejen pro zvýšení životnosti nástrojů ale zejména pro výslednou kvalitu. Požadavky na výslednou kvalitu se stanovují na základě účelu, ke kterému mají být výrobky využity.

## 6.2 Využití výrobků ThermoWood

ThermoWood je vhodný pro použití jak v exteriéru, tak v interiéru v závislosti od toho, jakým postupem bylo dřevo tepelně upraveno a jaké vlastnosti nabylo. Původní motivací pro vznik tohoto procesu bylo právě vylepšení vlastností a chování dřevného materiálu při využití v exteriéru, kde je dřevo neustále exponováno povětrnostním vlivům, jako je déšť, slunce, vítr, mrazy v zimě a horko v létě, změnám vlhkosti ovzduší atd. Jak je uvedeno v části práce o historii ThermoWood procesu, byl vyvinut a používá se postup jak pro „výrobu“ dřeva vhodného právě do exteriéru, tak i pro výrobu dřeva vhodného do interiéru (Thermo-D a Thermo-S).

### 6.2.1 Využití Thermo-S kategorie

Je rozdíl, jestli jsou procesem ThermoWood upravené měkké anebo tvrdé dřeviny. U kategorie úpravy Thermo-S se pro měkké dřeviny doporučuje použití spíše v suchém prostředí interiéru. Následující Tab. 2 sumarizuje doporučené využití termicky upravených dřevin procesem ThermoWood úpravou Thermo-S.

**Tab. 2 Doporučené využití měkkých a tvrdých dřevin s úpravou Thermo-S**

Thermo-S u měkkých dřevin	Thermo-S u tvrdých dřevin
stavební komponenty	nábytek
interiérový nábytek	konstrukce a instalace
interiérové konstrukce a instalace	podlahy
zahradní nábytek	konstrukce saun
lavičky do sauny	zahradní nábytek
okenní a dveřní komponenty	zařízení bytu (okna, dveře atd.)
zařízení interiéru	

(Zdroj: Thermowood, ©2017)

Další kategorie modifikace je Thermo-D.

### 6.2.2 Využití Thermo-D kategorie

Dřevo termicky upravené touto metodou je tmavší a odolnější vůči povětrnostním vlivům než to upravené metodou Thermo-S, což jsme uvedli již v části 4.3.1 o výrobě ThermoWoodu a splňuje vyšší třídu odolnosti vůči hnilobě dle normy ČSN EN 113. Možnosti využití úpravy Thermo-D uvádí Tab. 3.

**Tab. 3 Doporučené využití měkkých a tvrdých dřevin s úpravou Thermo-D**

Thermo-D u měkkých dřevin	Thermo-D u tvrdých dřevin
obklady domů	Tmavší barva, jinak stejné využití jako u měkkých dřevin. Pokud je požadovaná tmavší barva, je potřeba vybrat tvrdou dřevinu.
vnější dveře	
okenice apod.	
konstrukce staveb ohleduplných k životnímu prostředí	
zařízení a nábytek do saun a koupelen	
zahradní nábytek	
podlahy	

(Zdroj: ThermoWood, ©2017)

U termodřeva upraveného Thermo-D metodou se řeší zejména jeho barva a ladění s interiérem nebo exteriérem stavby nebo domu. Příkladem využití dřeva upraveného metodou Thermo-D jsou obklady budov na Obr. 5.



**Obr. 5 Obklad budovy LUNATHERMO-D ze skandinávského smrku a borovice**

(Zdroj: ArchDaily, ©2008–2020)

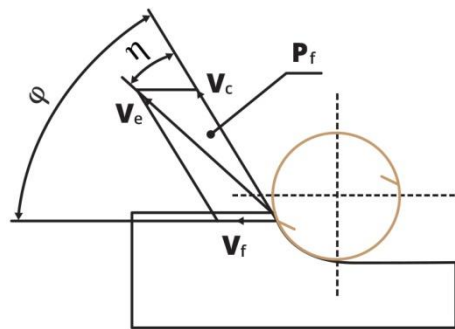
Při využití termicky modifikovaného dřeva v exteriérech se často využívá tato surovina bez broušení a přímo na frézovaný povrch se později provádí povrchová úprava. Pro zpracovatele je v takovém případě nejdůležitějším procesem rovinné frézování. Dokonalá znalost této problematiky je tak podmínkou k dosažení požadované kvality.

## 7 Rozbor problematiky rovinného frézování

Obrábění materiálů provádí člověk již po několik tisíciletí. Od jednoduchých nástrojů, přes základní stroje, kde byla využívána lidská síla, následovalo využití síly vody a větru. Až po dnešní vysoce výkonné, efektivní a v neposlední řadě bezpečná obráběcí centra po rovinné i tvarové frézování. Frézování je proces řezání dřeva, během kterého rotující nástroj – hlava – s noži odřezává opracováváný materiál (Keturakis a Juodeikienė, 2007, Vančo *et al.*, 2017).

### 7.1 Frézování a jeho druhy

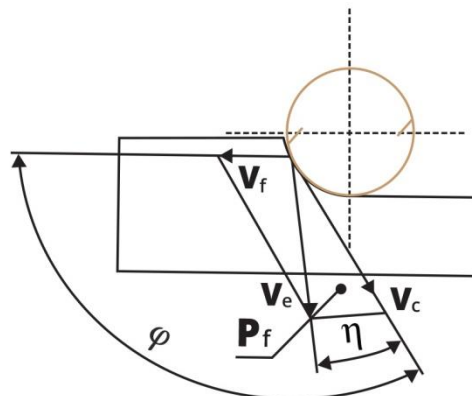
V rámci procesu frézování rozlišujeme tři základní typy. První z nich je frézování protiběžné (Obr. 6). Při protiběžném frézování je posuv materiálu realizován proti směru otáčení nástroje a dochází k odebrání třísky od nejtenčí po nejsilnější. S protiběžným frézováním se setkáváme na tloušťkovacích i srovnávacích frézách, ale i v hoblovacích centrech.



Obr. 6 Protiběžné frézování

(Zdroj: vlastní tvorba)

Druhý typ je frézování souběžné (Obr. 7). Během tohoto procesu je posuv realizován po směru rotace nástroje a dochází k rázovému namáhání břitů, jelikož tříska je odebrána od nejsilnější vrstvy po nejtenčí.



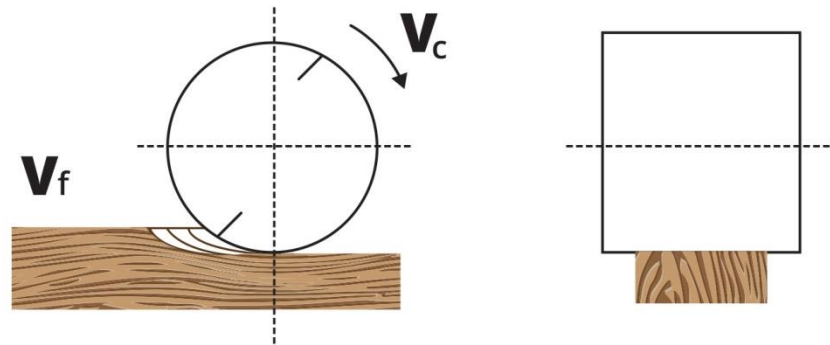
Obr. 7 Souběžné frézování

(Zdroj: vlastní tvorba)

Třetím typem je frézování čelní, kde dochází ke kombinaci dvou výše uvedených. Dále frézování rozdělujeme podle osy rotace nástroje vůči opracované ploše následovně:



- 1) **Frézování válcové** – osa rotace je rovnoběžná s opracovanou plochou. Toto se využívá například na tloušťkovacích a srovnávacích frézách (Obr. 8).



**Obr. 8 Válcové frézování**

(Zdroj: vlastní tvorba)

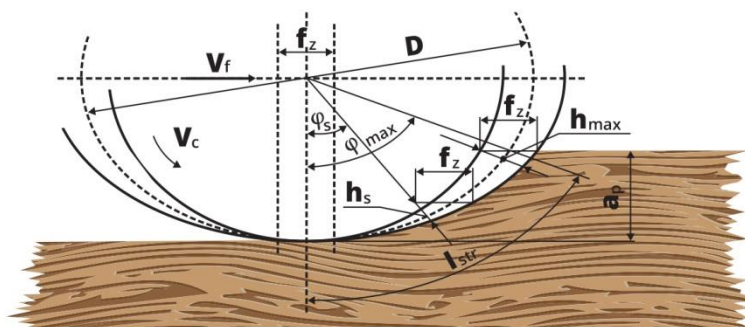
- 2) **Frézování kuželové** – osa rotace je vůči opracované ploše skloněna v rozsahu  $10^{\circ}$ – $12^{\circ}$ .
- 3) **Frézování čelní** – osa rotace je kolmá k opracované ploše. Boční břity nástroje vykazují stejnou kinematiku jako břity válcového frézování. Čelní frézování nachází největší uplatnění na vrchních frézách a 3- až 5osých obráběcích centrech. Můžeme rozlišovat frézování částečné a plné. Při plném frézování překrývá plocha nástroje celou šířku opracované plochy.
- 4) **Frézování čelní kuželové** – osa rotace je kolmá k opracované ploše. Břity na obvodu nástroje nejsou ale na rozdíl od frézování čelního umístěny kolmo k opracované ploše, ale svírají s ní určitý úhel. Dle Prokeše (1982) je tento způsob frézování až o 30 % energeticky méně náročný ve srovnání s frézováním čelním. Kvalita opracované plochy je ale výrazně horší. Tento způsob frézování velmi negativně působí zejména na hodnoty drsnosti povrchu.

Dle Prokeše (1982) můžeme rozdělit různé druhy frézování na srovnávání, tloušťkování, dvojstranné frézování, frézování pera a drážky, frézování úhlovou frézou, čepování, frézování spojů rybinovou frézou, frézování vrchní frézou.

Pro správné pochopení a poznání problematiky rovinného frézování se neobejdeme bez znalostí v oblasti kinematiky procesu frézování. Hlubší rozbor této otázky je popsán v následující kapitole.

## 7.2 Frézování a jeho kinematika

Frézovací nástroj během své práce vykonává rotační pohyb kolem vlastní osy, ve stejném čase obrábění se materiál pohybuje přímočaře proti směru rotace nástroje (Obr. 9). Vzhledem k výše uvedeným pohybům nástroje a obráběného materiálu můžeme konstatovat, že pohyb nožů je po cykloidě (Lisičan, 1996; Jamberová *et al.*, 2016). V praxi je ale posuvná rychlost materiálu velmi nízká a otáčky nástroje velmi vysoké, zjednodušíme pohyb nožů na pohyb po kružnici (Barčík, 2009).



**Obr. 9 Prvky výpočtu tloušťky a délky třísky**

(Zdroj: vlastní tvorba)

$D$  – průměr řezné kružnice,  $v_c$  – řezná rychlost,  $v_f$  – posuvná rychlost,  $l_{str}$  – střední délka třísky,  $f_z$  – posuv na zub,  $h_s$  – střední tloušťka třísky,  $h_{max}$  – největší tloušťka třísky,  $a_p$  – tloušťka vrstvy odebíraného materiálu,  $\varphi$  – úhel styku dřevních vláken s nástrojem

Ke kinematickým výpočtům při obrábění využíváme následujících vzorců.

**Teoretická délka třísky:**

$$L = \frac{D}{2} \cdot \arctg(\varphi + \varphi') = \frac{\pi \cdot D \cdot (\varphi + \varphi')}{360^\circ} \approx 0,0175 \cdot R \cdot \varphi \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

kde:  $D$  – průměr řezné kružnice, [mm]  
 $R$  – poloměr řezné kružnice, [mm]  
 $\varphi$  – úhel styku dřevních vláken s nástrojem, [°]  
 $\varphi'$  – posunutý úhel styku dřevních vláken s nástrojem. [°]

Přičemž platí:

$$\sin \varphi' = \frac{f_z}{D} \quad [^\circ] \quad (2)$$

kde:  $f_z$  – posuv na zub, [mm/zub]  
 $D$  – průměr řezné kružnice. [mm]

$$\cos \varphi = \frac{\frac{D}{2} - a_p}{\frac{D}{2}} = \frac{D - 2a_p}{D} = 1 - \frac{a_p}{R} \quad [^\circ] \quad (3)$$

kde:  $D$  – průměr řezné kružnice, [mm]  
 $R$  – poloměr řezné kružnice, [mm]  
 $a_p$  – hloubka řezu. [mm]

Vlivem deformace a nesoudržnosti materiálu obrobku je obvykle skutečná délka třísky menší než délka teoretická (Prokeš 1982).

Při větších průměrech nástroje, malých posuvných rychlostech a malých tloušťkách odebírané vrstvy můžeme délku třísky vypočítat ze vztahu (Prokeš, 1982):

$$L = R \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{a_p}{R}} = \sqrt{a_p \cdot D} = \frac{f_z \cdot a_p}{h_{ch-str}} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

kde:  $D$  – průměr řezné kružnice, [mm]  
 $R$  – poloměr řezné kružnice, [mm]  
 $a_p$  – hloubka řezu, [mm]  
 $f_z$  – posuv na zub, [mm/zub]  
 $h_{ch-str}$  – střední tloušťka odebírané třísky. [mm]

#### Výpočet střední tloušťky třísky (Peschel *et al.*, 2002):

$$h_{ch-str} = \frac{f_z \cdot a_p}{L} = \frac{f_z \cdot a_p}{\sqrt{a_p \cdot D}} = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_p}{D}} = \frac{f_z \cdot 1000}{n \cdot z} \cdot \sqrt{\frac{a_p}{D}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

kde:  $a_p$  – hloubka řezu, [mm]  
 $D$  – průměr řezné kružnice, [mm]  
 $f_z$  – posuv na zub, [mm/zub]  
 $L$  – teoretická délka třísky, [mm]  
 $n$  – otáčky frézy, [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $z$  – počet zubů. [-]

#### Výpočet teoretické maximální tloušťky třísky:

$$h_{ch-max} = f_z \cdot \sin \varphi = 2 \cdot h_{ch-str} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

kde:  $f_z$  – posuv na zub, [mm/zub]  
 $\varphi$  – úhel styku dřevních vláken s nástrojem, [°]  
 $h_{ch-str}$  – střední tloušťka odebírané třísky. [mm]

#### Výpočet řezné rychlosti:

$$v_c = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \quad [\text{m/s}] \quad (7)$$

kde:  $D$  – průměr řezné kružnice – nástroje, [mm]  
 $n$  – otáčky frézy. [ $\text{min}^{-1}$ ]

#### Výpočet posuvné rychlosti:

$$v_f = \frac{f_z \cdot n \cdot z}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (8)$$

kde:  $f_z$  – posuv na zub, [mm/zub]  
 $n$  – otáčky frézy, [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $z$  – počet zubů. [ks]

### Výpočet posuvu na zub:

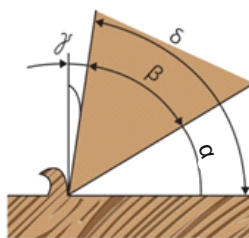
$$f_z = \frac{v_f \cdot 1000}{n \cdot z} \quad [\text{mm}] \quad (9)$$

kde:  $v_f$  – posuvná rychlost, [m/min]  
 $n$  – otáčky frézy, [min<sup>-1</sup>]  
 $z$  – počet zubů. [ks]

Při obrábění najdeme na obrobku tři různé plochy. Jako první je plocha obráběná, jedná se o plochu, které je procesem obrábění nahrazena plochou novou. Dále zde nacházíme řeznou plochu, tato plocha vzniká bezprostředně za nožem, který vykonává obrábění a je na ní jasně patrná trajektorie nástroje. Jako poslední rozlišujeme obrobenou plochu, to je celá nově vzniklá plocha po procesu obrábění. Tato plocha odpovídá s přípustnými odchylkami požadovanému tvaru.

### 7.3 Úhlová geometrie nástroje

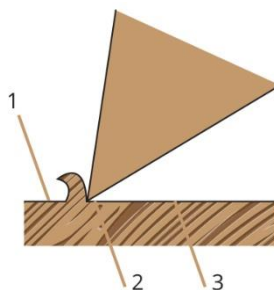
Na Obr. 10 je vyznačená úhlová geometrie břitu, z čehož úhel  $\alpha$  je úhel svíraný opracovanou plochou a plochou hřbetu břitu, tento úhel nazýváme úhlem hřbetu. Úhel  $\beta$  je úhel svíraný plochou hřbetu a čelní plochou, tento úhel je nazýván úhlem břitu. Úhel  $\gamma$  je svíraný rovinou  $\pi$  (rovinou kolmá k nové ploše) a plochou čela nástroje, tento úhel nazýváme úhlem čela nástroje. Součet výše uvedených úhlů je roven 90°. Součet úhlu hřbetu a břitu je roven úhlu řezu  $\delta$ .



**Obr. 10 Úhlová geometrie**

(Zdroj: vlastní tvorba)

Během obrábění dochází k tlaku břitu na opracovanou plochu. Takto pracující břity oddělují třísku a tím dochází k tvorbě nové opracované plochy (Obr. 11). Při obrábění můžeme také sledovat další plochy: plochu řezu, základnou rovinu a rovinu řezu.



**Obr. 11 Tvorba nové plochy**

(Zdroj: vlastní tvorba)

1 – původní plocha, 2 – břit, 3 – nově vzniklá plocha (opracovaná plocha)

Výše popsané procesy probíhají během obrábění nástroje osazeným ve stroji.

## 7.4 Stroje a nástroje pro rovinné frézování

V dnešní době nacházíme v průmyslu převážně frézování na různých obráběcích centrech. Využívají se jak vícesosá obráběcí centra pro vysoce přesné a kvalitní obrábění složitých tvarových předmětů, tak i vysoce produktivní čtyřstranná centra pro rovinné frézování.

Nástroje pro rovinné frézování můžeme rozdělit dle několika kritérií. Základní rozdělení je podle poměru délky nástroje k jeho průměru, zde se jedná o rozdělení na frézovací hlavy a frézovací válce. Pro srovnávání a tloušťkování jsou nejčastěji používány nožové válce s výměnnými noži, pro drážkování a polodrážkování poté nejčastěji nožové hlavy. Druhé rozdělení je dle způsobu osazení nožů na těle nástroje, a to na nástroje pájené (Obr. 12), u kterých je břit pevně spojen s tělem nástroje a nástroje žiletkové tzn. nástroje s výměnnými břitovými destičkami (Obr. 13). Pro obrábění masivního dřeva jsou často používány i monolitní nástroje kde je řezná hrana vytvořena přímo v těle nástroje. Tyto nástroje jsou díky vysokému řeznému výkonu a velmi nízkých hodnot nevývahy nástroje používány nejčastěji na CNC obráběcích centrech.



**Obr. 12 Fréza s pájenými břity**

(Zdroj: vlastní)



**Obr. 13 Fréza s výměnnými břitovými destičkami**

(Zdroj: vlastní)

Materiál řezné hrany i nástroj jako celek i jeho údržba má vždy velký vliv na kvalitu opracovaného povrchu (Pinkowski, Szymański a Krauss, 2010). Nesmíme ale zapomenout, že i u kvalitního nástroje můžeme jeho špatnou údržbou výslednou kvalitu výrazně snížit. Podle

Darmawana *et al.* (2011) dochází vlivem otupeného nástroje ke zvýšení drsnosti i energetické náročnosti obrábění.

## 7.5 Energetika obrábění

V celém procesu výroby je jedním z nejdůležitějších faktorů spotřeba elektrické energie. Na tuto spotřebu má přímý vliv řezný výkon zařízení a vznikající ztráty. Součtem všech výkonů a ztrát získáme potřebný příkon. Příkon zařízení je pro nás důležitý nejen z ekonomických hledisek, ale i z pohledu správného dimenzování rozvodů, rozvaděčů i přívodů do celých provozů. Součinem proudu a účinníku  $\cos\varphi$  získáme příkon elektromotoru  $P_p$ , což se rovná vynaloženému množství práce za vteřinu.

$$P_p = U * I * \cos\varphi \quad [\text{W}] \quad (10)$$

kde:  $U$  – napětí, [V]

$I$  – proud, [W]

$\cos\varphi$  – účinník. [-]

Při zjišťování spotřeby elektrické energie zařízení rozlišujeme při měření dva stavy. Prvním stavem je, když je stroj ve volnoběhu bez zátěže procesem obrábění. Spotřeba v tomto stavu je dána odporem a ztrátami zařízení. Druhý stav je ten, když probíhá technologická operace – obrábění. Během tohoto stavu je zařízením spotřebovávána elektrická energie nejen k překonání ztrát, ale i k samotnému obrábění. Pokud budeme považovat ztráty na elektromotoru i zařízení bez zátěže rovny ztrátám provozu se zátěží, vypočteme řezný výkon dle následujícího vzorce:

$$P_c = \frac{P_{pr} - P_{p0}}{\eta_c} \quad [\text{kW}] \quad (11)$$

kde:  $P_c$  – řezný výkon, [kW]

$P_{pr}$  – příkon při obrábění, [kW]

$P_{p0}$  – příkon bez zátěže, [kW]

$\eta_c$  – celková účinnost stroje. [-]

Podle Lisičana můžeme také provést přibližný výpočet řezné síly a spotřeby energie procesu frézování empiricko-statistickou metodou při podélném frézování z následujícího vzorce:

$$F_{r_{str}} = C_F h_{str}^{-0,51} \delta^{1,1} v^m W^{-0,23} \rho^{0,44} \varphi_{2_{str}}^{0,17} e^{0,8} \gamma_{sp}^{1,43} bU \quad [\text{N}] \quad (12)$$

při:  $v \leq 45 \text{ m.s}^{-1}$   $C_F = 1\,126 \cdot 10^{-6}$   $m = -1,37$

$v > 45 \text{ m.s}^{-1}$   $C_F = 5\,867 \cdot 10^{-9}$   $m = 0,03$

Řezný výkon:

$$P_r = C_r h_{str}^{-0,51} \delta^{1,1} v^k W^{-0,23} \rho^{0,44} \varphi_{2_{str}}^{0,17} e^{0,8} \gamma_{sp}^{1,43} bU \quad [\text{kW}] \quad (13)$$

při:  $v \leq 45 \text{ m.s}^{-1}$   $C_r = 1\,126 \cdot 10^{-10}$   $m = -0,37$

$v > 45 \text{ m.s}^{-1}$   $C_r = 5\,867 \cdot 10^{-11}$   $m = 1,03$

kde:  $C_F$  – konstanta pro opracovávaný materiál, [-]

$h_{str}$  – střední tloušťka třísky, [mm]

$\delta$ – řezný úhel,	[°]
$v$ – řezná rychlost,	[m.s <sup>-1</sup> ]
$w$ – vlhkost materiálu,	[%]
$\rho$ – poloměr zaoblení řezné hrany,	[μm]
$\varphi_{2str}$ – úhel přerezáni vláken,	[°]
$e$ – úběr materiálu,	[mm]
$\gamma_{sp}$ – hustota materiálu,	[g.cm <sup>-3</sup> ]
$b$ – šířka řezu,	[mm]
$U$ – posuvná rychlost.	[m.min <sup>-1</sup> ]

Výše uvedené rovnice (12) a (13) platí v rozmezí:

$$h_{str} = 0,02-0,70 \text{ mm}$$

$$\delta = 45^\circ-85^\circ$$

$$v = 45-90 \text{ m.s}^{-1}$$

$$w = 10-25 \%$$

$$\rho = 10-80 \text{ μm}$$

$$\varphi_{2str} = 1^\circ-90^\circ$$

$$e = 1-100 \text{ mm}$$

$$\gamma_{sp} = 0,42-1,1 \text{ g.cm}^{-3}$$

Ke zjišťování aktuální spotřeby obráběcího zařízení se v praxi nejčastěji využívají průběhová měřicí zařízení jako je například měřicí zařízení Metrel Power Q. Vliv na finální produkt neovlivňuje pouze energetika při jeho obrábění, ale i kvalita opracovaného povrchu (Pinkowski *et al.*, 2018). Podle Salcy (2015) můžeme lepší kvality opracovaného povrchu a zároveň nižší energetické náročnosti použitím nižších posuvných rychlostí.

## 8 Drsnost a vlnitost opracovaného povrchu

Kapitola o drsnosti a vlnitosti povrchu popisuje základní důvody vzniku drsnosti i vlnitosti a jejich analýzu.

### 8.1 Kvalita výsledného povrchu

Za kvalitu označujeme nejčastěji pozitivní vlastnosti daného produktu. Pojem kvalita je někdy označován jako jakost. Toto označení ale není správné, kvalita v sobě může totiž zahrnovat i několik úrovní jakosti. V praxi to znamená, že se můžeme setkat s několika produkty vysoké kvality ale zároveň několika úrovní jakosti. Jakost v sobě již také obsahuje porovnání vlastností produktu s vlastnostmi referenčního produktu, normou nebo výkresem. V této práci jsme se proto zabývali kvalitou, a to kvalitou opracovaného povrchu. Kvalita opracovaného povrchu je jedna z nejdůležitějších vlastností pro další opracovávání například broušení a povrchové úpravy.

V rámci kvality opracovaného povrchu jsou z pohledu zpracování dřeva nejdůležitější a často hodnocené dvě veličiny. První z nich je střední aritmetická odchylka profilu drsnosti ( $R_a$ ), neboli drsnost (Kiliç *et al.*, 2006; Bekhta *et al.*, 2014). Drsností rozumíme odchylky od ideálního tvaru v mikroskopické rovině. Druhou často hodnocenou veličinou je střední aritmetická odchylka profilu vlnitosti ( $W_a$ ), neboli vlnitost. Drsnost vzniká vzájemnou interakcí řezné hrany s povrchem materiálu a často je způsobena právě materiálem jako takovým. Drsnost povrchu je důležitá pro následné zpracování a přilnavost povrchu při lepení (Kiliç, 2015). Vlnitost jsou opakující se prohlubně na povrchu materiálu dané interakcí rotačního pohybu nástroje a posuvného pohybu obráběného materiálu. Kvalita opracovaného povrchu je velice ovlivňována zvolenými parametry obrábění. Na kvalitu má ale zásadní vliv i mnoho dalších faktorů.

### 8.2 Faktory s vlivem na kvalitu výsledného povrchu

Nejčastěji při obrábění dochází vlivem rotačního pohybu nástroje k působení sil z nástroje na obrobek. Vlivem zmiňovaného působení je oddělována tříska a probíhá proces obrábění. Samotné obrábění není pouze o vzájemné interakci sil z nástroje do materiálu, ale je ovlivněno i mnoha dalšími parametry.

Tyto parametry můžeme rozdělit na parametry technicko-technologické, kam patří velikost odebírané vrstvy, posuvná a řezná rychlost. Dále pak i další neméně důležité parametry jako je úhlová geometrie nástroje.

Pro dobré výsledky kvality ale nesmíme zapomínat ani na vliv údržby a kvality strojního zařízení, na kterém dochází k obrábění včetně zařízení pomocných, a vliv vibrací, které mohou vznikat mezi strojem, nástrojem a obrobkem (Tran a Nguyen, 2018).

Dle Goli *et al.* (2002) a Aghakhanioho a Khazaeianu (2014) můžeme dále uvést jako nejdůležitější parametry ze strany materiálu:

- anatomická stavba dřeva,
- struktura povrchu,
- vlhkost dřeva,
- pórovitost dřeva.

Dle Sandaka a Negriho (2005) i:

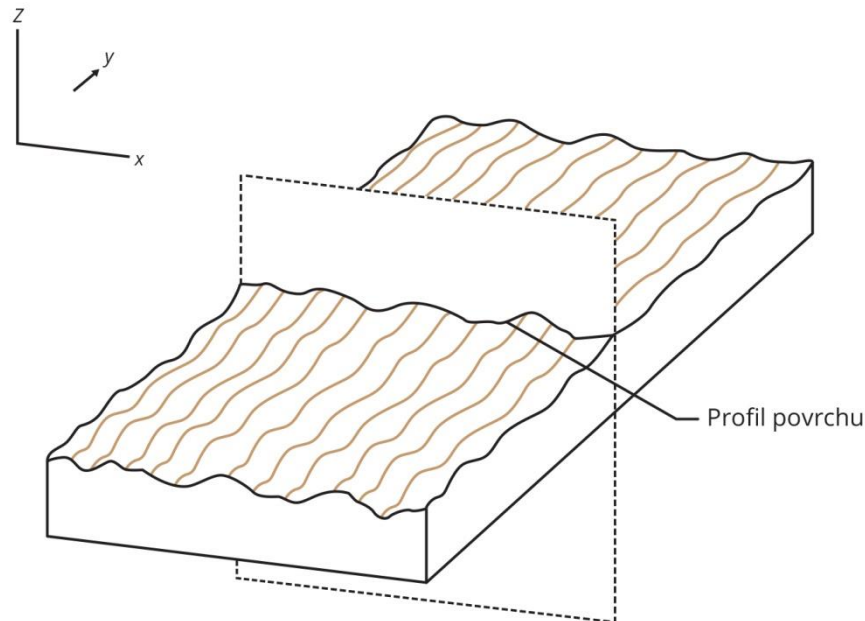
- teplotu a vlhkost prostředí,
- chemický a biologický rozklad,
- poškození povrchu hmyzem.



### 8.3 Opracovaný povrch dle normy ČSN EN ISO 4287

Norma ČSN EN ISO 4287 stanovuje termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu profilovou metodou.

Na sledovaném tělese odlišujeme dva základní povrchy, první je skutečný povrch, který je povrchem oddělujícím dané těleso od okolního prostředí. Druhý je potom profil povrchu, který vzniká jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny (Obr. 14).



**Obr. 14 Profil povrchu**

(Zdroj: ČSN EN ISO 4287)

Norma uvádí v oblasti terminologie profilů:

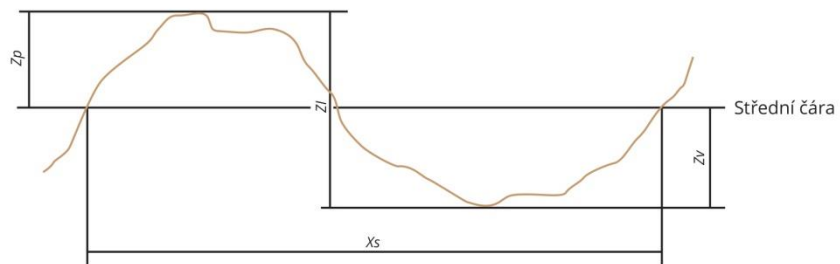
- **základní profil** – profil pro hodnocení parametrů,
- **profil drsnosti** – profil odvozený od základního profilu potlačením dlouhovlnných složek  $\lambda_c$ ,
- **profil vlnitosti** – profil odvozený postupnou aplikací profilu filtru  $\lambda_f$  a filtru profilu  $\lambda_c$  na základní profil potlačující dlouhovlnné složky filtrem profilu  $\lambda_f$  a krátkovlnné složky  $\lambda_c$ .

V oblasti terminologie středních čar:

- **střední čára profilu drsnosti:** čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu  $\lambda_c$ ,
- **střední čára profilu vlnitosti:** čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu  $\lambda_f$ ,
- **střední čára základního profilu:** čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu,
- **základní délka:** délka ve směru osy x používaná pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil,
- **vyhodnocovaná délka:** délka ve směru osy x použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu.

Střední čáry profilů drsnosti a vlnitosti odpovídají dlouhovlnným složkám profilu potlačeným danými filtry. Základní délka se využívá pro rozpoznávání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil. Vyhodnocovaná délka je délkou ve směru osy  $X$  na tělese použité pro posouzení vyhodnocovaného profilu.

Norma dále uvádí názvy pro geometrické profily: P-parametr, který je vypočtený ze základního profilu, R-parametr vypočtený z profilu drsnosti a W-parametr je parametrem vypočteným z profilu vlnitosti (ČSN EN ISO 4287). Na sledovaném profilu si můžeme všimnout výšky výstupku profilu  $Z_p$ , což je vzdálenost mezi osou  $X$  a nejvyšším bodem výstupku profilu, hloubku prohlubně profilu  $Z_v$ , což odpovídá vzdálenosti mezi osou  $X$  a nejnižším bodem výstupku profilu. Výška prvku profilu  $Z_t$  je součtem výšky výstupku profilu a hloubky prohlubně prvku profilu a šířka prvku profilu  $X_s$  je délkou úseku osy  $X$  protínající prvek profilu (Obr. 15) (ČSN EN ISO 4287).

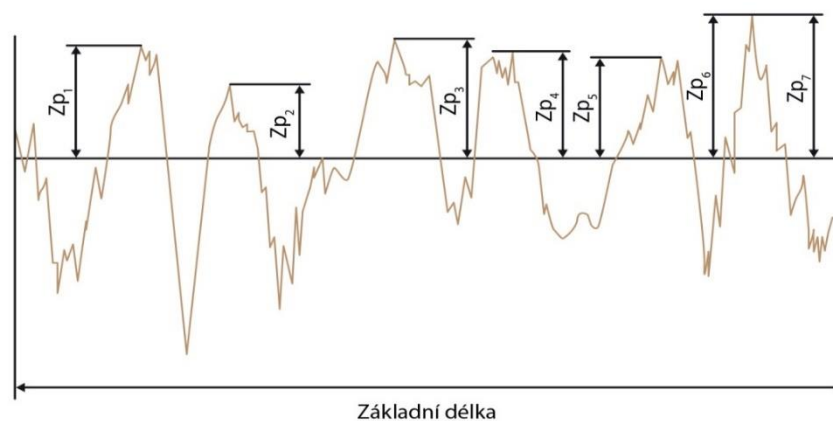


**Obr. 15 Prvek profilu**

(Zdroj: ČSN EN ISO 4287)

$X_s$  – šířka prvku profilu,  $Z_p$  – výška výstupků profilu,  $Z_v$  – hloubka prohlubně profilu,  $Z_t$  – výška prvku profilu

Z pohledu parametrů profilu povrchu můžeme hovořit o největších výškách výstupků profilu  $P_p$ ,  $R_p$ ,  $W_p$ , které se rovnají výšce  $Z_p$  nejvyššího z výstupků profilu v rozsahu základní délky (Obr. 16).

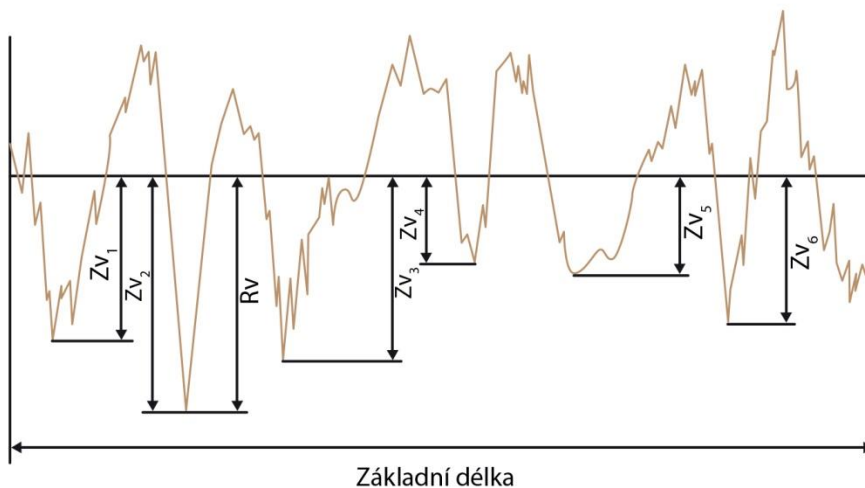


**Obr. 16 Největší výška výstupků profilu u drsnosti**

(Zdroj: ČSN EN ISO 4287)

$Z_p$  – výška výstupků profilu

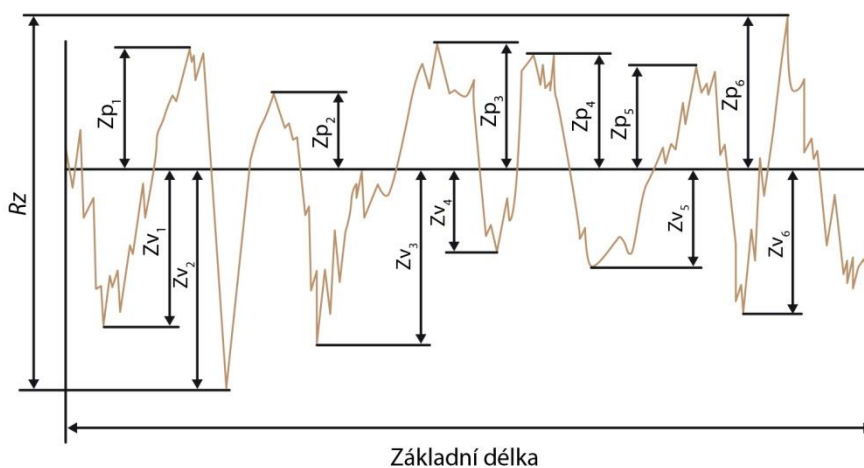
Největší hloubce prohlubně profilu  $P_v$ ,  $R_v$ ,  $W_v$  odpovídá hloubka  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky (Obr. 17), pojmu největší výška profilu  $P_z$ ,  $R_z$ ,  $W_z$  zase odpovídá součet výšky  $Z_p$ , nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$ , což je nejnižší prohlubeň v rozsahu základní délky (Obr. 18). Průměrnou výškou prvků profilu  $P_c$ ,  $R_c$ ,  $W_c$  rozumíme průměrnou hodnotu výšek  $Z_t$  prvků profilu v rozsahu základní délky (Obr. 19) (ČSN EN ISO 4287).



**Obr. 17 Největší hloubka prohlubně profilu u drsnosti**

(Zdroj: ČSN EN ISO 4287)

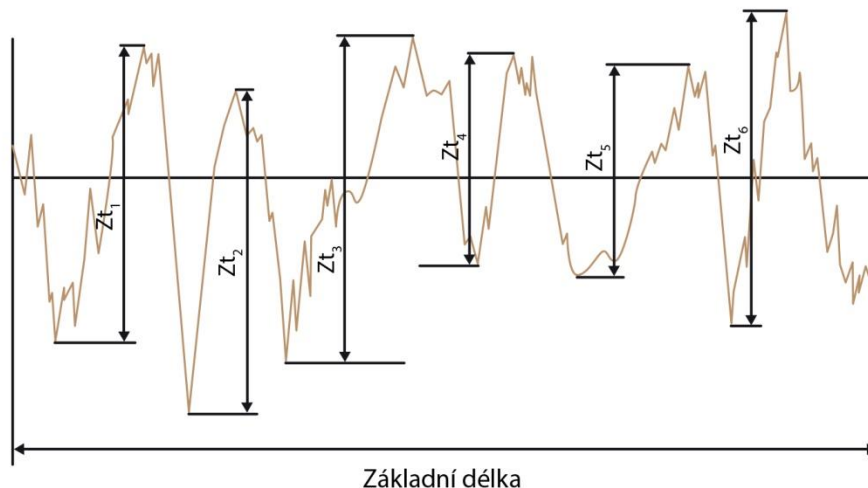
$Z_v$  – hloubka prohlubně profilu



**Obr. 18 Největší výška profilu na příkladu drsnosti**

(Zdroj: ČSN EN ISO 4287)

$Z_p$  – výška výstupků profilu,  $Z_v$  – hloubka prohlubně profilu



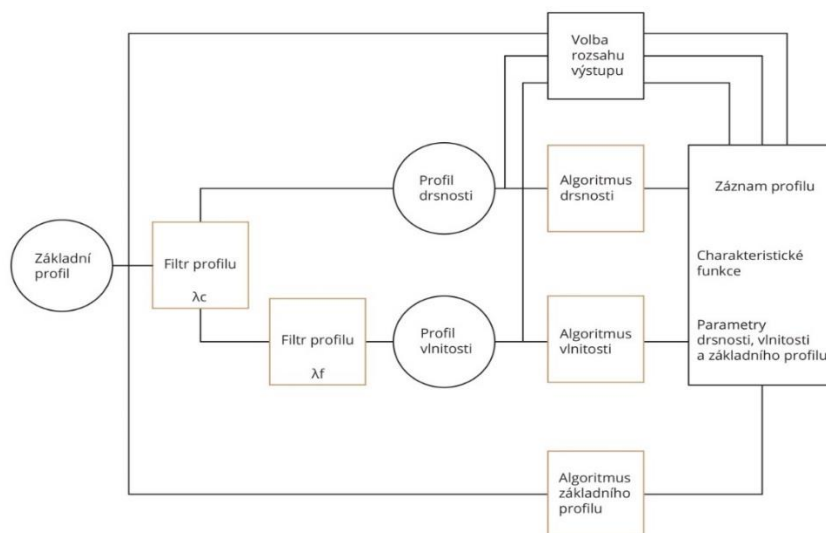
**Obr. 19 Výška prvků profilu na příkladu drsnosti**

(Zdroj: ČSN EN ISO 4287)

Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu  $P_a$ ,  $R_a$ ,  $W_a$  je aritmetickým průměrem absolutních hodnot souřadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky.

Dále se setkáváme s největší hloubkou drsnosti posuzovaného profilu  $R_t$ , průměrnou kvadratickou odchylkou posuzovaného profilu  $P_q$ ,  $R_q$ ,  $W_q$ , která je kvadratickým průměrem souřadnic  $Z(x)$ , v rozsahu základní délky. Šikmostí posuzovaného profilu  $P_{sk}$ ,  $R_{sk}$ ,  $W_{sk}$ , rozumíme podíl průměrné hodnoty třetích mocnin souřadnic  $Z(x)$  a třetí mocniny hodnoty  $P_q$ ,  $R_q$  nebo  $W_q$  v rozsahu základní délky. Špičatostí posuzovaného profilu,  $P_{ku}$ ,  $R_{ku}$ ,  $W_{ku}$ , chápeme podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin souřadnic  $Z(x)$  a čtvrté mocniny hodnoty  $P_q$ ,  $R_q$  nebo  $W_q$  v rozsahu základní délky.

Opracovaný povrch se dle normy posuzuje podle následujícího diagramu (Obr. 20).



**Obr. 20 Vývojový diagram pro posuzování povrchu**

(Zdroj: ČSN EN ISO 4287)

Dle výše uvedeného diagramu se postupuje při použití různých metod zjišťování kvality opracovaného povrchu. V našem případě probíhalo hodnocení za pomoci kontaktního měřicího zařízení.

## 8.4 Vznik vlnitosti

Jak jsme uváděli v předchozích kapitolách, v procesu frézování se setkává rotační pohyb nástroje s přímočarým pohybem obráběného dílce. Nože na nástroji vykonávají vůči materiálu pohyb po cykloidě.

V případě použití dvou-nožových hlav při správném osazení nožů vykonávají oba nože pohyb po kružnici a obrábějí tak oba nože. Pokud jsou ale nože osazeny špatně, je v záběru jenom jeden nůž, který je nadměrně zatěžován a rychle otupen a druhý nůž nepracuje vůbec. Hloubka profilu vlny a její délka jsou dva parametry, které jsou ovlivněny správností osazení nožů. Podle Lisičana (1984) není v praxi možné osadit nože s větší přesností než 0,02 mm.

Aby u dvounožové hlavy pracovaly oba nože, musí být také splněna podmínka minimální posuvné rychlosti:

$$f_{min} = \frac{n.z}{1000} \cdot \sqrt{\pi D_1} \quad [\text{m/min}] \quad (14)$$

Při nepřesném osazení nožů, bude dvounožová hlava pracovat pouze jedním nožem když:

$$\tau = \frac{f_{ot}^2 \Psi}{360D} \cdot \left(1 - \frac{\Psi}{360}\right) \quad [\text{mm}] \quad (15)$$

kde:  $D$  – nominální průměr nástroje, [mm]  
 $\Psi$  – středový úhel mezi dvěma břity. [°]

Při  $z > 2$  a běžných hodnotách  $\tau > 0,02$  mm budou podle Kaplana (2015) pracovat všechny nože při  $f_{min} > 60$  m.min<sup>-1</sup>, čemuž odpovídá:

$$\tau = \frac{f_{ot}^2}{D.z} \cdot \left(1 - \frac{1}{z}\right) \quad [\text{mm}] \quad (16)$$

Pro výpočet výšky vlnky platí vztah:

$$e'(y_{max}) = \frac{\omega.f^2}{\omega_l^2 . 8R} \quad [\text{mm}] \quad (17)$$

kde:  $\omega$  – rozestup zubů frézy, [mm]  
 $\omega_l$  – úhlová rychlost frézy, [s<sup>-1</sup>]  
 $f$  – rychlost posuvu obrobku, [m.min<sup>-1</sup>]  
 $R$  – poloměr frézy. [mm]

V praxi je ale nejčastěji využíván vztah:

$$e'(y_{max}) = \frac{f_z^2}{4D} \quad [\text{mm}] \quad (18)$$

Za předpokladu jednotného řezného poloměru u všech břitů nástroje a rovnoměrného posuvu obrobku se šířka vlnek určí výpočtem a je zobrazen na Obr. 21.

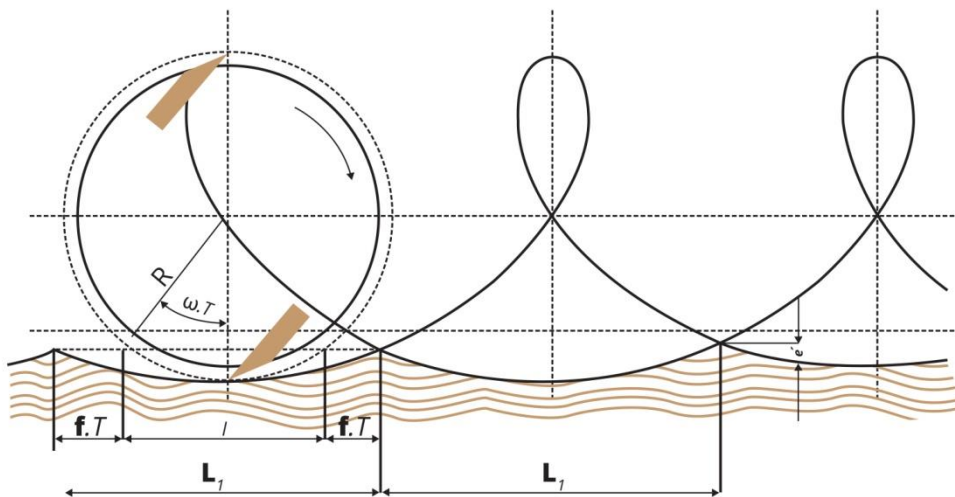
$$\frac{l_1}{2} = \frac{l}{2} + f \cdot T = R \cdot \sin \omega_1 \cdot T + f \cdot T \quad [\text{mm}] \quad (19)$$

z čehož:

$$l_1 = l + 2f \cdot T = 2(R \cdot \sin \omega_1 T + f \cdot T) \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

Při rovnoměrné šířce můžeme napsat:

$$l_1 = f_z = \frac{1000 \cdot f}{n \cdot z} \quad [\text{mm}] \quad (21)$$



**Obr. 21 Šířka vlnek při frézování**

(Zdroj: vlastní tvorba)

$L_1$  – šířka vlnky,  $R$  – poloměr řezné kružnice

Pro dosažení optimálních parametrů je nezbytné správné nastavení úhlové geometrie nástroje, zejména pak úhlu čela nástroje. Důležité je ale také nastavení i ostatních parametrů obrábění: řezné a posuvné rychlosti pro jednotlivé obráběné materiály. Výslednou kvalitu ovlivňují nejen nástroj a parametry obrábění, ale i strojní zařízení. Optimální parametry můžeme hodnotit z několika hledisek, a to ekonomických, produktivních, kvalitativních a v neposlední řadě environmentálních. Špatným nastavením parametrů celého výrobního systému dosahujeme vysoké zmetkovitosti, energetické náročnosti a dalších nežádoucích výsledků. Na základě shrnutí teoretických poznatků zkoumané problematiky jsme sestavili metodiku postupu experimentálních prací.

## 9 Metodika

V rámci experimentální části práce byly hodnoceny různé vstupní parametry jak z oblasti materiálu, nástroje ale i řezných podmínek včetně jejich vzájemných interakcí. Všechny tyto faktory měly určitý vliv na výslednou kvalitu opracovaného povrchu. Základním parametrem byla použitá dřevina.

Pro experiment byly použity čtyři různé tropické dřeviny (Tab. 4) upravené ve čtyřech různých stupních termické úpravy (Tab. 4). Dalšími faktory, které měly vliv na kvalitu a energetickou náročnost obrábění, byly řezná rychlost, posuvná rychlost, úhel čela nástroje. Vrstva odebíraného materiálu byla vždy nastavena na 1,0 mm. Parametry jednotlivých faktorů jsou zaznamenány v Tab. 4 a Tab. 5.

**Tab. 4 Faktory s vlivem na kvalitu a energetiku z pohledu materiálu**

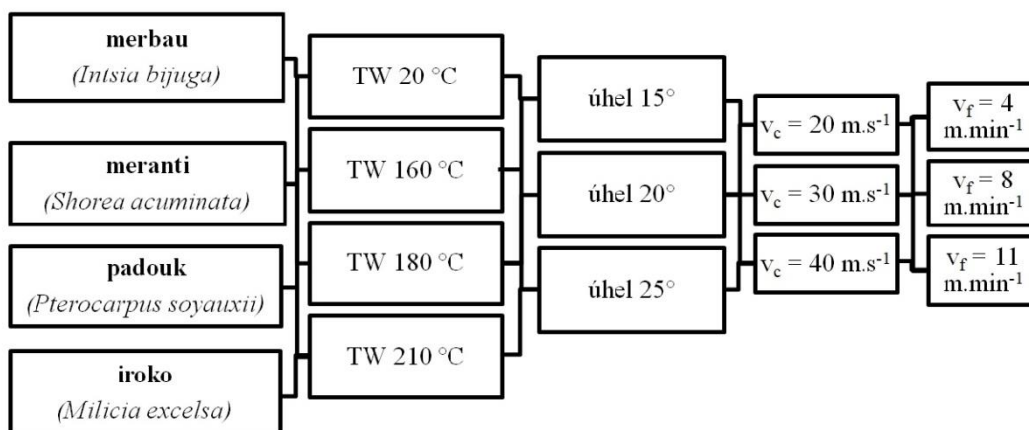
Faktor	Hodnota
Dřevina 1	Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )
Dřevina 2	Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )
Dřevina 3	Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )
Dřevina 4	Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )
Termické úprava t 20 (TW)	20 °C
Termické úprava t 160 (TW)	160 °C
Termické úprava t 180 (TW)	180 °C
Termické úprava t 210 (TW)	210 °C

**Tab. 5 Faktory s vlivem na kvalitu a energetiku z pohledu parametrů obrábění**

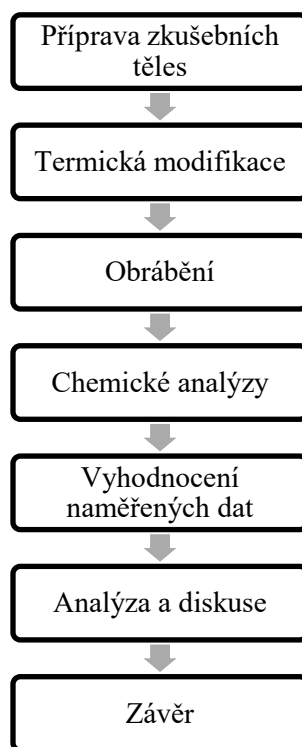
Faktor	Hodnota
Řezná rychlost 1 ( $v_c$ )	20 m.s <sup>-1</sup>
Řezná rychlost 2 ( $v_c$ )	30 m.s <sup>-1</sup>
Řezná rychlost 3 ( $v_c$ )	40 m.s <sup>-1</sup>
Posuvná rychlost 1 ( $v_f$ )	4 m.min <sup>-1</sup>
Posuvná rychlost 2 ( $v_f$ )	8 m.min <sup>-1</sup>
Posuvná rychlost 3 ( $v_f$ )	11 m.min <sup>-1</sup>
Úhel čela nože 1	15°
Úhel čela nože 2	20°
Úhel čela nože 3	25°

Parametry uvedené v Tab. 4 a Tab. 5 byly pro účely experimentu vzájemně kombinovány tak, aby byly prověřeny všechny vzájemné interakce. Vzájemné kombinace jednotlivých faktorů jsou zobrazeny v Kategorizaci souborů zkušebních těles pro každou dřevinu (Tab. 6).

**Tab. 6 Schéma s kategorizací souborů zkušebních těles pro všechny dřeviny**



Na základě stanovených cílů práce jsme vytvořili metodiku experimentálních prací dle následujícího diagramu (Obr. 22).



**Obr. 22 Diagram postupu experimentálních prací**

(Zdroj: vlastní tvorba)

## 9.1 Metodika experimentálních prací

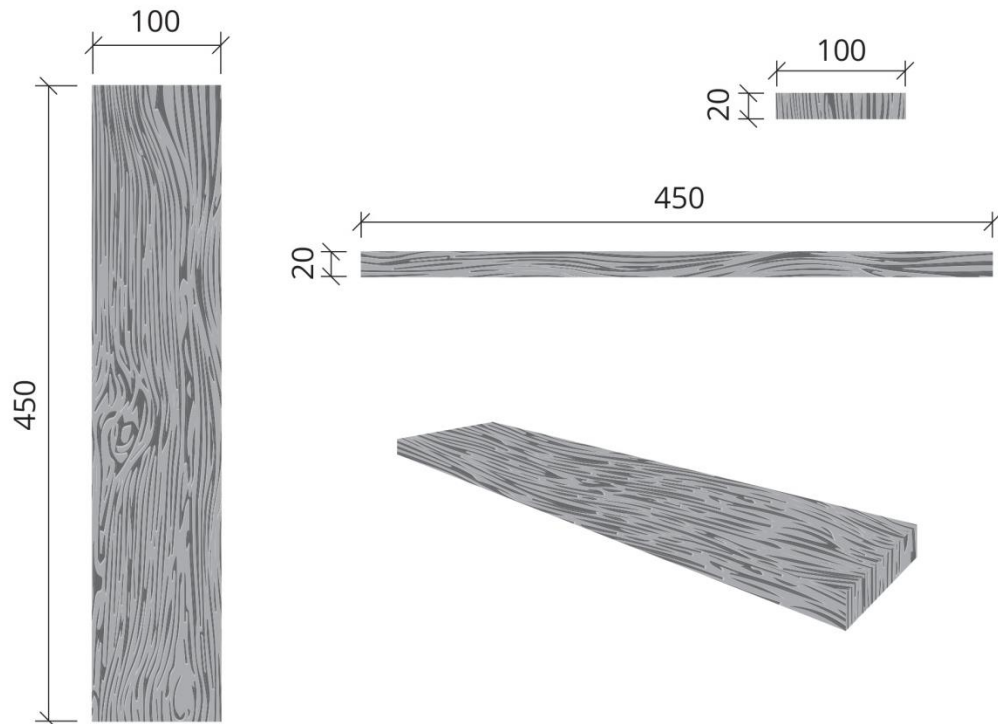
Na základě stanovených cílů proběhl výzkum na pracovištích České zemědělské univerzity v Praze. Postup prací spočíval v přípravě vzorků, jejich klimatizaci a sušení, termické úpravě. Termickou úpravu jsme provedli na externím pracovišti univerzity v Kostelci nad Černými lesy. Následující kapitoly detailně popisují jednotlivé kroky.



## 9.2 Příprava vzorků a jejich klimatizace

Pro přípravu vzorků bylo použito exotické dřevo zahraničního původu. Celkem jsme pro účely výzkumu použili 4 druhy dřevin: Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), Iroko (*Milicia excelsa*).

V odborné laboratoři – dílně byla na kotoučové pile SCM si300 class (Obr. 24) rozřezána vzduchosuchá (o relativní vlhkosti 16 %) prkna na přířezy. Tyto přířezy byly následně ofrézovány na spodní vodorovné frézce, následně na tloušťkovací frézce na tloušťku 20 mm a šířku 100 mm. Pro vyloučení vady byly následně ofrézované přířezy zkráceny na délku 450 mm bez vad, dle výkresu na Obr. 23. Následně byla provedena klimatizace vzorků. Vzorky byly připraveny v polo-radiálním směru vláken.



Obr. 23 Výkres vzorku před termickou modifikací

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 24 Pila SCM si300 class

(Zdroj: vlastní)

Klimatizace vzorků probíhala v klimatizované laboratoři. Vzorky byly proloženy tak, aby k nim byl volný přístup vzduchu po dobu 90 dní. Klimatizace probíhala při teplotě 23 °C a relativní vlhkosti vzduchu 40 %. Tímto bylo dosaženo vlhkosti vzorků 8 %. Následně byly vzorky vysušeny.

### 9.3 Sušení vzorků

Sušení vzorků probíhalo v laboratorní sušárně dřeva při teplotě 103 °C v sušárně Binder na konečnou vlhkost 0 %. Veškeré vlhkosti byly zjišťovány váhovou metodou za pomoci vzorce:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \% \quad [\%] \quad (22)$$

kde:  $m_1$  – hmotnost zkušebního tělesa ve vlhkém stavu, [g]

$m_0$  – hmotnost zkušebního tělesa ve vysušeném stavu, [g]

$W$  – vlhkost dřeva. [%]

Po vysušení byly vzorky rozříděny do jednotlivých skupin dle teploty, modifikace označeny, zabaleny do parotěsných obalů a převezeny k termické modifikaci.



Obr. 25 Laboratorní sušárna BINDER

(Zdroj: vlastní)

### 9.4 Termická úprava vzorků

Pro účely výzkumu bylo termicky modifikováno dřevo čtyř druhů při čtyřech stupních termické modifikace (včetně dřeva přírodního – bez úpravy, pro statistické účely zaznamenáno jako upraveno teplotou 20 °C). Termická modifikace probíhala standardním procesem metody ThermoWood na externím pracovišti ČZU v Kostelci nad Černými lesy ve speciální komoře Katres od výrobce Katres s. r. o., Jihlava Česká republika (Obr. 26). Vzorky jednotlivých dřevin byly rozděleny do skupin pro termickou modifikaci.



Obr. 26 Laboratorní komora pro termickou modifikaci dřeva

(Zdroj: vlastní)

#### 9.4.1 Parametry termické modifikace

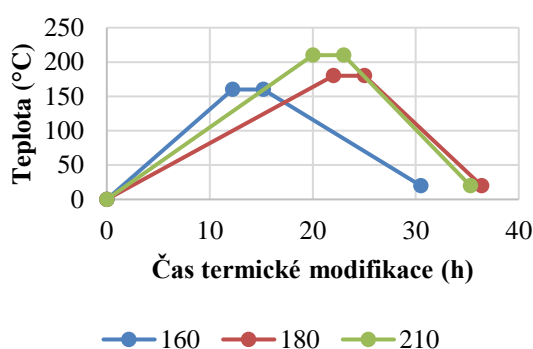
Jednotlivé skupiny, vyjma vzorků „TW 20 °C“, byly termicky modifikovány metodou ThermoWood, což je trojfázový proces skládající se z ohřevu materiálu, vlastní termické modifikace a chlazení. Jednotlivé délky trvání fází jsou zaznamenány v Tab. 7.

Tab. 7 Parametry termické modifikace

Parametry	Proces termické modifikace Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )		
	160 °C	180 °C	210 °C
Čas ohřevu (h)	12,2	22,0	20,0
Čas termické modifikace (h)	3,0	3,0	3,0
Čas chlazení (h)	15,3	11,4	12,3
Celkový čas modifikace (h)	<b>30,5</b>	<b>36,4</b>	<b>35,3</b>
Parametry	Proces termické modifikace Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )		
	160 °C	180 °C	210 °C
Čas ohřevu (h)	13,5	13,6	18,7
Čas termické modifikace (h)	3,0	3,0	3,0
Čas chlazení (h)	9,6	11,1	11,2
Celkový čas modifikace (h)	<b>26,1</b>	<b>27,7</b>	<b>32,9</b>
Parametry	Proces termické modifikace Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )		
	160 °C	180 °C	210 °C
Čas ohřevu (h)	10,0	11,7	15,1
Čas termické modifikace (h)	3,0	3,0	3,0
Čas chlazení (h)	2,3	4,1	4,5
Celkový čas modifikace (h)	<b>15,3</b>	<b>18,8</b>	<b>22,6</b>

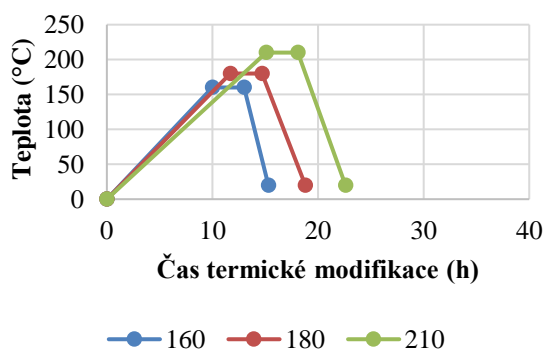
Parametry	Proces termické modifikace Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )		
	160 °C	180 °C	210 °C
	Čas ohřevu (h)	11,6	14,8
Čas termické modifikace (h)	3,0	3,0	3,0
Čas chlazení (h)	3,92	5,76	7,2
Celkový čas modifikace (h)	18,52	23,56	28,8

Časy jednotlivých modifikací jsou dále zaznamenány v grafech na Obr. 27 až Obr. 30. Časově nejnáročnější byla termická modifikace dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*) při teplotě úpravy 180 °C. Druhou nejvíce časově náročnou byla úprava stejné dřeviny při teplotě 210 °C. Jako nejrychlejší můžeme označit úpravu Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) při 160 °C. Téměř ve všech případech platí, že čím vyššího stupně úpravy chceme dosáhnout, tím delší čas k takové úpravě potřebujeme. Rychleji naopak probíhá úprava s nižší konečnou teplotou.



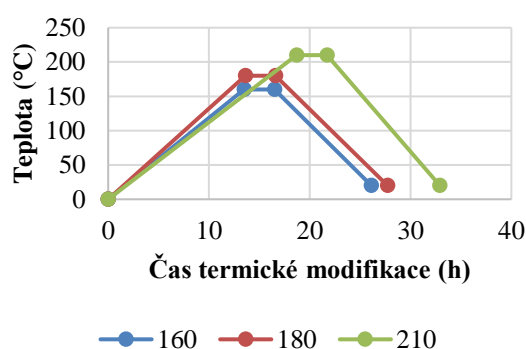
Obr. 27 Časy modifikace Merbau (*Intsia bijuga*) pro jednotlivé teploty °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



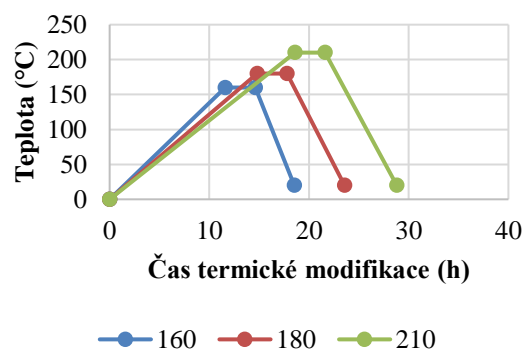
Obr. 29 Časy modifikace Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) pro jednotlivé teploty °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 28 Časy modifikace Meranti (*Shorea acuminata*) pro jednotlivé teploty °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 30 Časy modifikace Iroka (*Milicia excelsa*) pro jednotlivé teploty °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

Po termické modifikaci byly opět všechny vzorky zabaleny do transportních obalů a převezeny k obrábění v odborné laboratoři v areálu České zemědělské univerzity v Praze.

## 9.5 Obrábění

Každý klimatizovaný vzorek na vlhkost 8 % byl následně frézovaný nástroji s třemi různými úhly čela nástroje ( $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ ) při třech různých řezných rychlostech ( $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a třech různých posuvných rychlostech ( $4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $8 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $11 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Řezné rychlosti byly nastaveny otáčkami vřetene, posuvné rychlosti byly zajištěny podavačem materiálu a úhly čela nástroje určoval použitý nástroj. Všechny tyto faktory byly vzájemně kombinovány dle Tab. 4 a Tab. 5 v části Metodika.

### 9.5.1 Základní stroj

Pro obrábění – rovinné frézování byla použita spodní vřetenová frézka typ FVS (Obr. 31).



**Obr. 31 Spodní vřetenová frézka FVS s podavačem Maggi Steff**

(Zdroj: vlastní)

„Svislá spodní frézka nebo těž spodní frézka je stroj, který frézuje dřevěný materiál frézou upnutou na svislém vřetenu“ (Janíček *et al.*, 1986, s. 40). Jedná se o stroj celolitinové konstrukce. Základ tvoří celolitinová skříň, ve které jsou umístěny jak hlavní, tak i pomocné mechanismy stroje. Pomocí dvourychlostního elektromotoru a dvoustupňového převodu klínovými řemeny je u tohoto stroje možnost volit otáčky vřetene v rozsahu  $3\,000 \text{ min}^{-1}$ – $9\,000 \text{ min}^{-1}$ . Přesné litinové pravítko umožňuje plynulé nastavení tloušťky odebírané třísky. V našem případě byla nastavena na 1 mm. Toto bylo v průběhu experimentálních prací několikrát kontrolováno. Jednotlivé parametry stroje jsou uvedeny v Tab. 8.

**Tab. 8 Parametry frézky FVS**

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
<b>Zařízení</b>	Jednovřetenová spodní frézka
<b>Výrobce</b>	Československé hudební nástroje
<b>Typ</b>	FVS
<b>Rok výroby</b>	1975
<b>Připojovací napětí</b>	380 V
<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Příkon</b>	5,2 kW
<b>Otáčky elektromotoru</b>	1 440; 2 880 min <sup>-1</sup>
<b>Otáčky vřetene</b>	3 000; 4 500; 6 000; 9 000 min <sup>-1</sup>

### 9.5.2 Pomocný stroj

Jako pomocný stroj k nastavení přesné a konstantní posuvné rychlosti bylo použito podávací zařízení Maggi. Toto zařízení je pevně namontováno na pracovním stole hlavního stroje. Podávací zařízení disponuje dvourychlostním elektromotorem, který umožňuje nastavení dvou různých posuvných rychlostí. Dále je vybaveno řetězovým převodovým ústrojím, které díky možnosti vzájemné záměny sady ozubených kol dává možnost dalšího nastavení podávacích rychlostí. Toto nastavení se provádí při vypnutém a odstaveném zařízení za bezpečnostním krytem. Základní nastavení rychlostí elektromotoru potom probíhá přímo přepínačem na ovládacím panelu zařízení. Jednotlivé parametry jsou uvedeny v Tab. 9.

**Tab. 9 Parametry podávacího zařízení Maggi**

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
<b>Zařízení</b>	Podávací zařízení
<b>Výrobce</b>	Maggi
<b>Typ</b>	Steff 2034
<b>Rok výroby</b>	2007
<b>Připojovací napětí</b>	380 V
<b>Kmitočet</b>	50 Hz
<b>Příkon</b>	0,6; 0,8 kW
<b>Otáčky elektromotoru</b>	1 400; 2 800 min <sup>-1</sup>
<b>Posuvné rychlosti</b>	4; 8; 11 m.min <sup>-1</sup>

### 9.5.3 Frézovací hlavy

Při experimentální obrábění byly použity tři frézovací hlavy s různými úhly čela nástroje s výměnnými plochými noži od firmy Staton. Jednotlivé parametry jsou uvedeny v Tab. 10.

**Tab. 10 Parametry třech použitých frézovacích hlav**

Parametr	Hodnota
Zařízení	Frézovací hlava 1; 2; 3
Vnější průměr hlavy	125 mm
Vnější průměr vč. nožů	130 mm
Šířka hlavy	45 mm
Počet nožů	2
Počet nožů v záběru	v experimentu 1
Maximální otáčky	8 000 min <sup>-1</sup>
Rok výroby	2005
Úhel čela nástroje	15°; 20°; 25°

#### 9.5.4 Frézovací nože

Pro obrábění byly použity nože z rychlořezné oceli MAXIMUM SPECIAL 55. Parametry nožů jsou uvedeny v Tab. 11.

**Tab. 11 Parametry použitých nožů**

Parametr	Hodnota
Nástroj	Nůž
Výrobce	Maximus
Materiál	rychlořezná ocel MAXIMUM SPECIAL 55
Označení oceli	19 855
Příspěvky	C: 0,7 %; Cr: 4,2 %; W: 18,0 % V: 1,5 %; Co: 4,7 %
Tvrdość po žihání	250 HB
Tvrdość po kalení	64 HRC
Úhel ostří ( $\beta$ )	45°
Šířka nože	45 mm

#### 9.6 Měření energetické náročnosti

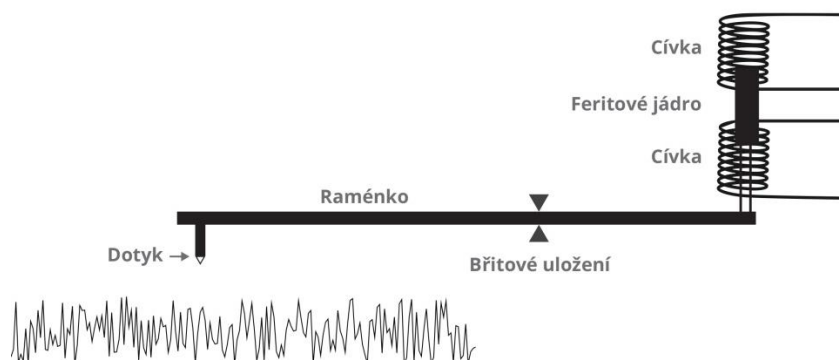
Zjišťování energetické náročnosti obrábění bylo prováděno měřením spotřeby elektrické energie hlavního stroje. K měření sloužil přístroj METREL Power Q plus MI 2392. Tento přístroj měří jak napětí na přívodu elektrické energie k hlavnímu stroji, tak i aktuální odebíraný proud. Snímání probíhá v intervalech jedné sekundy. Z několika měření přístrojem vzniknou průměrné hodnoty, které byly zaznamenány v SW MS Excel a vyhodnoceny v SW Statistica od společnosti TIBCO.

#### 9.7 Měření kvality povrchu

Vzorky pro měření kvality opracovaného povrchu byly vyrobeny během obrábění prováděného za účelem zjišťování energetické náročnosti obrábění za stanovených parametrů. Zjišťování kvality opracovaného povrchu bylo hodnoceno následně v laboratoři.

Při měření byla na speciální pracovní stůl umístěna kamenná deska zajišťující dostatečný základ pro měřicí aparaturu. Jako zařízení pro měření byl použit přístroj Taylor Hobson – Form

Talysurf Intra 2. Zařízení funguje na principu indukčního snímače, do kterého je vloženo raménko. Raménko je uložené v břitovém uložení (Obr. 32). Kvalita opracovaného povrchu byla snímána diamantovým raménkem. Rovnoběžně s vlákny v poloradiálním řezu dřeva.



**Obr. 32 Schéma dotykového měřicího přístroje**  
(Zdroj: vlastní tvorba)

Měření probíhalo dle norem ČSN EN ISO 4287 (1999) a ČSN EN ISO 4288 (1999) v celkovém počtu 10 měření na každém vzorku, konkrétní hodnoty nastavení pro měření jsou zobrazeny v Tab. 12.

**Tab. 12 Parametry měření dle ČSN EN ISO 4287 (1999)**

Periodické profily	Parametry měření dle uvedené normy			
RSm (mm)	$\lambda_c = l_r$ (mm)	ln (mm)	lt (mm)	rtip ( $\mu\text{m}$ )
<b>0,013 &lt; RSm ≤ 0,04</b>	0,08	0,40	0,48	2,00
<b>0,04 &lt; RSm ≤ 0,13</b>	0,25	1,25	1,50	2,00
<b>0,13 &lt; RSm ≤ 0,4</b>	0,80	4,00	4,80	2,00 nebo 5,00
<b>0,4 &lt; RSm ≤ 1,3</b>	2,50	12,50	15,00	5,00
<b>1,3 &lt; RSm ≤ 4</b>	8,00	40,00	48,00	10,00

## 9.8 Chemická analýza

Pro náš výzkum byly využity i zbytky ve formě třísek, které vznikly při obrábění za účelem zjišťování kvality povrchu a energetické náročnosti obrábění. Tyto třísky byly velmi pečlivě tříděny, zabaleny k chemické analýze termicky modifikovaného dřeva. Po obrábění daného druhu dřeva v daném stupni termické modifikace (včetně dřeva bez modifikace), byly odebrány vzorky pilin, rozmělněny na frakci 0,5–1,0 mm. Pomocí Soxhletova přístroje se ve směsi etanolu a toluenu provedla extrakce dle ASTM D 1107-96. Následně bylo provedeno zjištění obsahu holocelulózy, hemicelulózy, celulózy, ligninu a extraktivních látek. Obsah ligninu byl zjišťován podle procesu vyvinutého laboratorii National Renewable Energy Laboratory v USA (2008), obsah holocelulózy byl zjišťován metodou od Wise *et al.* (1946) a obsah celulózy metodou od Seiferta (1956). Obsah hemicelulózy byl zjištěn rozdílem mezi holocelulózou a celulózou (Corleto *et al.*, 2020). Touto analýzou jsme zjistili, jak jednotlivé stupně termické modifikace ovlivňují chemické složení pro zkoumané dřeviny.



## 10 Výsledky a diskuse

Kapitola výsledků s diskusí přináší přehledné shrnutí výsledků výzkumu včetně grafické formy a jejich porovnání s jinými výzkumy. Kapitola je rozdělena do několika subkapitol řešících jednotlivé faktory i jejich interakce.

### 10.1 Vliv teploty termické modifikace na chemické komponenty dřeva

Termická modifikace má v závislosti na jejím stupni vliv i zastoupení chemických komponent ve dřevinách Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), Iroko (*Milicia excelsa*). Podle Čekovské *et al.* (2017) dochází při úpravě dřeva nad 100 °C, zvláště pak na 150–170 °C, ke změnám v chemické struktuře dřeva.

Tab. 13 Tab. 13 je zaznamenáno působení teploty na jednotlivé dřevní komponenty. V tabulce níže jsou uvedeny jak průměrné hodnoty v procentech, tak i variační koeficienty u každého sledovaného komponentu.

Zastoupení celulózy má stoupající trend u všech čtyř dřevin pro termickou úpravu na 210 °C oproti dřevu neupravenému. Pouze u Merbau (*Intsia bijuga*) sledujeme postupný nárůst jejího zastoupení pro všechny teploty úpravy. U ostatních dřevin se jedná o zvýšení a snížení zastoupení celulózy o přibližně 1 p. b. pro termickou úpravu na 160 °C a 180 °C. Nejmarkantnější nárůst zastoupení celulózy jsme zaznamenali u Merbau (*Intsia bijuga*) pro teplotu 210 °C, a to o 6 p. b. Celulóza má relativně odolné vazby a lépe odolává vlivu nižších teplot termické úpravy, k čemuž se dopracovali ve svém výzkumu také Kubovský *et al.* (2020) při zkoumání vlivu termické úpravy na obsah celulózy u dubu evropského (*Quercus robur*, L.). Při teplotách 160 a 180 °C není pokles stupně polymerizace celulózy tak významný. Ke značnému rozštěpování vazeb celulózy u dubu evropského (*Quercus robur*, L.) docházelo až při termické úpravě na teplotu 210 °C. Kubovský *et al.* (2020) a Palaez-Samaniego *et al.* (2013) také uvádí, že při vyšších teplotách dochází ve dřevě k deacetylaci hemicelulóz, a tím k uvolňování kyseliny octové, která katalyzuje depolymerizaci jak celulózy, tak i hemicelulóz.

U dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*) sledujeme nárůst zastoupení ligninu u termicky modifikovaných vzorků na 210 °C oproti přírodnímu dřevu více jak 10 p. b. Naopak výrazný pokles o více jak 16 p. b. při stejném rozdílu teplot sledujeme u zastoupení hemicelulózy. Zastoupení extraktivních látek u teplot úpravy 160 °C a 180 °C oproti přírodnímu dřevu klesalo, při teplotě úpravy 210 °C ale zastoupení těchto látek opět vzrostlo téměř na úroveň přírodního dřeva, sledovaný pokles byl pouze 0,41 p. b.

V zastoupení ligninu u dřeviny Meranti (*Shorea acuminata*) sledujeme nárůst u všech stupňů úprav oproti dřevu bez termické modifikace, tento nárůst je ale vždy méně jak 4,2 p. b. Taktéž sledujeme drobný nárůst v zastoupení extraktivních látek. Procentuálně také s vyšším stupněm úpravy ubývá obsah hemicelulózy. Pouze u této dřeviny sledujeme pokles v zastoupení ligninu u úpravy na 210 °C oproti nižším teplotám úprav. U Meranti (*Shorea acuminata*) také můžeme sledovat největší procentuální pokles v zastoupení hemicelulózy mezi dřevem bez úpravy a dřevem upraveným teplotou 210 °C, tento pokles je až o 22 p. b. Toto zjištění je v souladu se závěry práce Gašparíka *et al.* (2019) na Meranti (*Shorea* spp.) a Teaku (*Tectona grandis*).

U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) pozorujeme pozvolný nárůst v zastoupení ligninu pro teploty úpravy 160 °C a 180 °C a výrazný nárůst v jeho procentuálním zastoupení pro teplotu úpravy 210 °C. Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) je specifický téměř lineárním poklesem zastoupení extraktivních látek se zvyšováním teploty od přírodního dřeva až na úpravu teplotou 210 °C. Zastoupení celulózy naopak téměř lineárně stoupá od 40,50 p. b. u dřeva bez úpravy až po 44,38 p. b. u dřeva termicky modifikovaného na 210 °C.

U dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*) vidíme podobné chování v zastoupení ligninu jako u dřeviny Padouk (*Pterocarpus soyauxii*). U Iroka je ale zřejmě nižší procentuální zastoupení ligninu ve srovnání s Padoukem (*Pterocarpus soyauxii*). Nejvýznamnější nárůst zastoupení ligninu mezi přírodním dřevem a dřevem upraveným teplotou 210 °C sledujeme u dřeviny

Merbau (*Intsia bijuga*) – 10,57 p. b., podobného nárůstu si můžeme všimnout i u Iroku 7,95 p. b.

I Esteves a Pereira (2009), Bourgeois a Guyonnet (1988), de Moura *et al.* (2011), Nuopponen *et al.* (2005) a také Výbohová *et al.* (2018), stejně jako my v naší práci, zaznamenali nárůst obsahu ligninu a pokles obsahu hemicelulózy u termicky upravených dřevin jako je borovice (*Pinus pinaster*), jasan (*Fraxinus excelsior L.*), jedle (*Abies*) nebo smrk (*Picea abies*). Naše výsledky jsou tedy v souladu s trendy, které byly zjištěny autory, kteří problematiku chemického složení termicky modifikovaného dřeva také zkoumali. Nárůst procentuálního zastoupení ligninu v termicky modifikovaném dřevě je způsoben převažujícími kondenzačními reakcemi. Kromě kondenzačních reakcí dochází také k degradaci makromolekul ligninu (Kačík *et al.*, 2016).

U všech dřevin můžeme sledovat výrazný pokles zastoupení hemicelulózy při termické modifikaci na teplotu 210 °C. Tento pokles je způsobem tím, že k rozkladu hemicelulóz dochází zejména při teplotě 200–260 °C. Hemicelulózy mají všeobecně křehčí vazby, proto i u ostatních teplot termické úpravy jsme zaznamenali pokles jejich obsahu, tudíž k poklesu stupně polymerizace, ve všech čtyřech zkoumaných tropických dřevinách. Pokles obsahu hemicelulóz v podobném rozsahu sledoval také Kubš (2019) u dubového dřeva (*Quercus robur L.*) a Sikora *et al.* (2018) u teakového dřeva (*Tectona grandis*).

**Tab. 13 Chemická analýza přírodního a termicky modifikovaného dřeva**

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>					
<b>t (°C)</b>	<b>Extraktivní látky (%)</b>	<b>Lignin (%)</b>	<b>Holocelulóza (%)</b>	<b>Celulóza (%)</b>	<b>Hemicelulóza (%)</b>
<b>20</b>	12,3 (0,65)	34,1 (0,64)	58,5 (0,23)	41,4 (0,55)	17,1 (1,65)
<b>160</b>	9,86 (0,53)	33,21 (0,20)	58,6 (0,39)	42,8 (3,10)	15,8 (8,50)
<b>180</b>	7,75 (1,03)	35,54 (0,57)	57,1 (0,80)	47,2 (1,61)	9,9 (3,98)
<b>210</b>	11,89 (0,47)	44,67 (0,45)	51,7 (0,97)	50,0 (0,81)	1,7 (12,82)
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>					
<b>t (°C)</b>	<b>Extraktivní látky (%)</b>	<b>Lignin (%)</b>	<b>Holocelulóza (%)</b>	<b>Celulóza (%)</b>	<b>Hemicelulóza (%)</b>
<b>20</b>	2,5 (2,37)	32,4 (0,25)	79,4 (0,52)	53,0 (0,89)	26,4 (3,25)
<b>160</b>	3,2 (1,94)	36,6 (0,26)	74,1 (0,96)	51,0 (0,19)	23,2 (3,44)
<b>180</b>	3,2 (1,47)	36,2 (0,24)	72,8 (0,21)	52,1 (0,31)	20,8 (1,46)
<b>210</b>	3,9 (2,32)	35,3 (0,37)	63,5 (0,54)	59,0 (0,60)	4,4 (13,26)
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>					
<b>t (°C)</b>	<b>Extraktivní látky (%)</b>	<b>Lignin (%)</b>	<b>Holocelulóza (%)</b>	<b>Celulóza (%)</b>	<b>Hemicelulóza (%)</b>
<b>20</b>	11,62 (0,57)	33,77 (0,28)	66,22 (0,22)	40,50 (0,20)	25,72 (0,72)
<b>160</b>	10,63 (0,57)	34,88 (0,10)	65,54 (0,66)	41,04 (0,61)	24,50 (1,03)
<b>180</b>	10,49 (0,56)	35,55 (0,07)	62,22 (0,49)	40,49 (0,25)	21,73 (1,03)
<b>210</b>	9,47 (0,43)	39,69 (0,22)	54,15 (0,21)	44,38 (0,64)	9,77 (3,77)

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )					
t (°C)	Extraktivní látky (%)	Lignin (%)	Holocelulóza (%)	Celulóza (%)	Hemicelulóza (%)
20	5,49 (0,63)	28,94 (0,87)	72,74 (0,63)	43,15 (0,87)	29,59 (2,77)
160	7,17 (0,67)	29,01 (2,19)	69,26 (0,67)	44,07 (2,19)	25,20 (4,92)
180	7,28 (0,45)	29,98 (1,67)	65,88 (0,45)	43,02 (1,67)	22,86 (3,47)
210	4,34 (0,83)	36,89 (1,36)	61,71 (0,83)	50,67 (1,36)	11,03 (1,65)

Údaje představují průměrná procenta sušiny, čísla v závorkách představují variační koeficienty (CV) v %,  $n = 4$ .

Z tabulek zobrazujících vliv teploty termické modifikace na jednotlivé chemické komponenty dřeva (*Intsia bijuga*), Tab. 15 – dřevina Meranti (*Shorea acuminata*), Tab. 16 – dřevina Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), Tab. 17 – dřevina Iroko (*Milicia excelsa*) jednoznačně vyplývá, že na základě hladiny významnosti  $P < 0,05$  všechny stupně termické modifikace významně ovlivňují chemické složení každé zkoumané dřeviny.

Tab. 14 Vliv teploty modifikace na změnu sloučenin u Merbau (*Intsia bijuga*)

Extraktivní látky (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	117 950,0	1	117 950,0	28 072 894	***
Teplota (°C)	3 560,5	3	1 186,8	282 475	***
Chyba	4,5	1 076	0,0		***
Příslušný model popisuje zhruba 99,9 % z celkového počtu čtverců.					
Lignin (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	1 467 034	1	1 467 034	48 513 831	***
Teplota (°C)	22 762	3	7 587	250 905	***
Chyba	33	1 076	0		***
Příslušný model popisuje zhruba 99,9 % z celkového počtu čtverců.					
Holocelulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	3 444 519	1	3 444 519	28 614 105	***
Teplota (°C)	8 590	3	2 863	23 785	***
Chyba	130	1 076	0		***
Příslušný model popisuje zhruba 98,5 % z celkového počtu čtverců.					

Celulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerů v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	2 221 850	1	2 221 850	3 860 374	***
Teplota (°C)	12 533	3	4 178	7 258	***
Chyba	619	1 076	1		***

Příslušný model popisuje zhruba 95,3 % z celkového počtu čtverců.

Hemicelulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerů v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	133 483,7	1	133 483,7	284 073,5	***
Teplota (°C)	39 535,4	3	13 178,5	28 045,8	***
Chyba	505,6	1 076	0,5		***

Příslušný model popisuje zhruba 98,7 % z celkového počtu čtverců.

NS – statisticky nevýznamný, \*\*\* - statisticky významný,  $P < 0,05$

Tab. 15 Vliv teploty modifikace na změnu sloučenin u Meranti (*Shorea acuminata*)

Extraktivní látky (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerů v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	11 166,60	1	11 166,60	3 168 229	***
Teplota (°C)	270,33	3	90,11	25 566	***
Chyba	3,79	1 076	0,00		***

Příslušný model popisuje zhruba 99,9 % z celkového počtu čtverců.

Lignin (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerů v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	1 336 206	1	1 336 206	19 899 954	***
Teplota (°C)	2 995	3	998	148 688	***
Chyba	7	1 076	0		***

Příslušný model popisuje zhruba 99,9 % z celkového počtu čtverců.

Holocelulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerů v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	5 674 910	1	5 674 910	33 384 213	***
Teplota (°C)	35 865	3	11 955	70 328	***
Chyba	183	1 076	0		***

Příslušný model popisuje zhruba 98,5 % z celkového počtu čtverců.

<b>Celulóza (%)</b>					
<b>Sledovaný faktor</b>	<b>Součet čtverců</b>	<b>Stupně volnosti</b>	<b>Rozptyl</b>	<b>Fischerův F-test</b>	<b>Hladina významnosti P</b>
<b>Intercept</b>	3 122 887	1	3 122 887	40 576 055	***
<b>Teplota (°C)</b>	10 529	3	3 510	45 600	***
<b>Chyba</b>	83	1 076	0		***
Příslušný model popisuje zhruba 95,3 % z celkového počtu čtverců.					
<b>Hemicelulóza (%)</b>					
<b>Sledovaný faktor</b>	<b>Součet čtverců</b>	<b>Stupně volnosti</b>	<b>Rozptyl</b>	<b>Fischerův F-test</b>	<b>Hladina významnosti P</b>
<b>Intercept</b>	378 271,3	1	378 271,3	998 140,3	***
<b>Teplota (°C)</b>	77 732,1	3	25 910,7	68 370,3	***
<b>Chyba</b>	407,8	1 076	0,4		***
Příslušný model popisuje zhruba 98,7 % z celkového počtu čtverců.					

*NS – statisticky nevýznamný, \*\*\* - statisticky významný, P < 0,05*

Tab. 16 Vliv teploty modifikace na změnu sloučenin u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)

Extraktivní látky (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův <i>F</i> -test	Hladina významnosti <i>P</i>
Intercept	121 343,1	1	121 343,1	2 847 153	***
Teplota (°C)	524,1	3	174,7	4 099	***
Chyba	45,9	1 076	0,0		***
Příslušný model popisuje zhruba 99,9 % z celkového počtu čtverců.					
Lignin (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův <i>F</i> -test	Hladina významnosti <i>P</i>
Intercept	1 380 983	1	1 380 983	1 932 579	***
Teplota (°C)	3 957	3	1 319	1 846	***
Chyba	769	1 076	1		***
Příslušný model popisuje zhruba 99,9 % z celkového počtu čtverců.					
Holocelulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův <i>F</i> -test	Hladina významnosti <i>P</i>
Intercept	4 176 567	1	4 176 567	1 705 381	***
Teplota (°C)	17 352	3	5 784	2 362	***
Chyba	2 635	1 076	2		***
Příslušný model popisuje zhruba 98,5 % z celkového počtu čtverců.					
Celulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův <i>F</i> -test	Hladina významnosti <i>P</i>
Intercept	1 836 326	1	1 836 326	3 419 674	***
Teplota (°C)	1 577	3	526	979	***
Chyba	578	1 076	1		***
Příslušný model popisuje zhruba 95,3 % z celkového počtu čtverců.					
Hemicelulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův <i>F</i> -test	Hladina významnosti <i>P</i>
Intercept	474 106,6	1	474 106,6	91 679,17	***
Teplota (°C)	28 287,6	3	9 429,2	1 823,35	***
Chyba	5 564,4	1 076	5,2		***
Příslušný model popisuje zhruba 98,7 % z celkového počtu čtverců.					

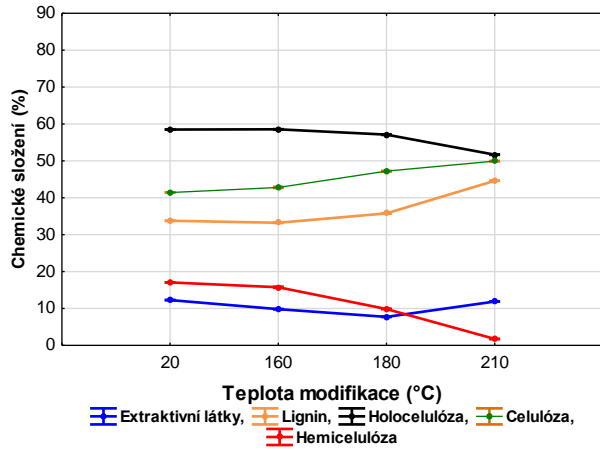
NS – statisticky nevýznamný, \*\*\* - statisticky významný,  $P < 0,05$

Tab. 17 Vliv teploty modifikace na změnu sloučenin u Iroka (*Milicia excelsa*)

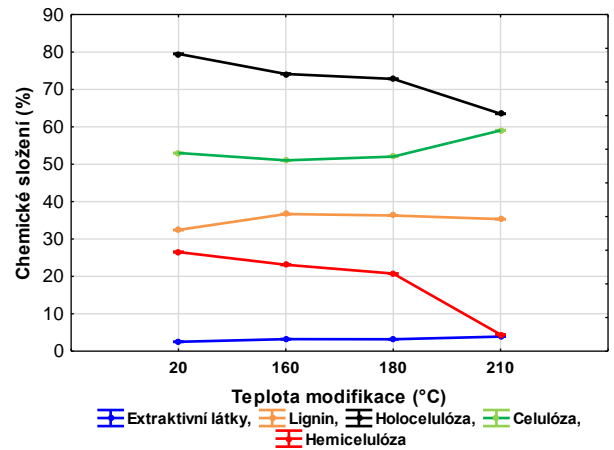
Extraktivní látky (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	39 920,43	1	39 920,43	13 142 528	***
Teplota (°C)	1 629,49	3	543,16	178 819	***
Chyba	3,27	1 076	0,00		***
Příslušný model popisuje zhruba 99,9 % z celkového počtu čtverců.					
Lignin (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	1 051 787	1	1 051 787	38 805 766	***
Teplota (°C)	11 803	3	3 934	145 157	***
Chyba	29	1 076	0		***
Příslušný model popisuje zhruba 99,9 % z celkového počtu čtverců.					
Holocelulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	4 885 094	1	4 885 094	28 168 449	***
Teplota (°C)	17 754	3	5 918	34 124	***
Chyba	187	1 076	0		***
Příslušný model popisuje zhruba 98,5 % z celkového počtu čtverců.					
Celulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	2 198 588	1	2 198 588	5 750 784	***
Teplota (°C)	11 800	3	3 933	10 288	***
Chyba	411	1 076	0		***
Příslušný model popisuje zhruba 95,3 % z celkového počtu čtverců.					
Hemicelulóza (%)					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	529 199,8	1	529 199,8	1 020 225	***
Teplota (°C)	51 787,7	3	17 262,6	33 280	***
Chyba	558,1	1 076	0,5		***
Příslušný model popisuje zhruba 98,7 % z celkového počtu čtverců.					

NS – statisticky nevýznamný, \*\*\* - statisticky významný,  $P < 0,05$

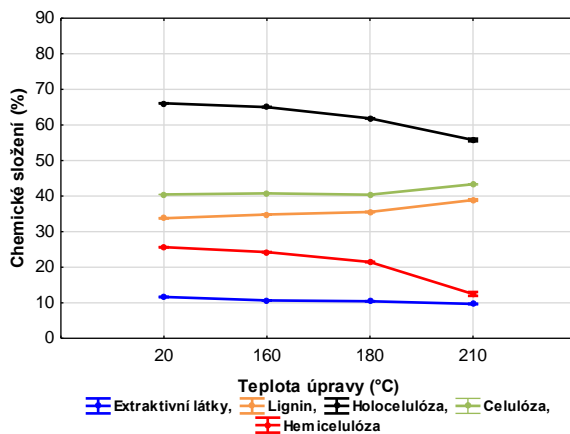
V Obr. 33–Obr. 36 jsou přehledně graficky zaznamenány změny v obsahu jednotlivých chemických komponentů sledovaných dřevin pro veškeré sledované stupně termické modifikace. U všech čtyř dřevin dochází se zvyšováním teploty termické modifikace k poklesu obsahu hemicelulózy, toto potvrzuje i závěry uvedené v Tab. 13. Statisticky významný vliv stupně termické úpravy můžeme sledovat v rozsahu 180–210 °C.



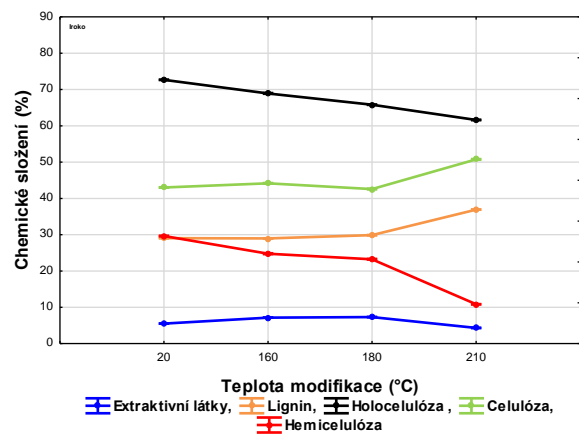
**Obr. 33** Změny chemického složení v dřevině Merbau (*Intsia bijuga*)  
(Zdroj: vlastní tvorba)



**Obr. 34** Změny chemického složení v dřevině Meranti (*Shorea acuminata*)  
(Zdroj: vlastní tvorba)



**Obr. 35** Změny chemického složení v dřevině Padouk (*Pterocarpus soyauxii*)  
(Zdroj: vlastní tvorba)



**Obr. 36** Změny chemického složení v dřevině Iroko (*Milicia excelsa*)  
(Zdroj: vlastní tvorba)



## 10.2 Vliv vybraných faktorů na energetickou náročnost

Ze statistického vyhodnocení v Tab. 18 vyplývá statisticky významný vliv faktorů řezná rychlost, úhel čela, posuvná rychlost a teplota modifikace na energetickou náročnost pro všechny sledované dřeviny. Kombinace vlivu všech sledovaných faktorů na energetickou náročnost se projevila na základně hladiny významnosti  $P < 0,05$  jako statisticky významná pro dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*) a Padouk (*Pterocarpus soyauxii*). U ostatních dvou zkoumaných dřevin se vzájemná kombinace všech faktorů ukázala jako statisticky nevýznamná.

**Tab. 18 Vliv jednotlivých faktorů a jejich vzájemných interakcí**

<b>Vliv vybraných faktorů na energetickou náročnost rovinného frézování dřeviny Merbau</b> ( <i>Intsia bijuga</i> )					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův $F$ -test	Hladina významnosti $P$
<b>Intercept</b>	5 146 0267	1	5 146 0267	153 598,6	0,000000
<b>Řezná rychlost (m.s<sup>-1</sup>) (1)</b>	3 419 188	2	1 709 594	5 102,8	0,000000
<b>Úhel čela (°) (2)</b>	482 666	2	241 333	720,3	0,000000
<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>) (3)</b>	71 764	2	35 882	107,1	0,000000
<b>Teplota modifikace (°C) (4)</b>	29 354	2	14 677	43,8	0,000000
<b>1 * 2 * 3 * 4</b>	8 422	16	526	1,6	0,082014
<b>Chyba</b>	5 4275	162	335		
Příslušný model popisuje zhruba 99,8 % z celkového počtu čtverců.					
<b>Vliv vybraných faktorů na energetickou náročnost rovinného frézování dřeviny Meranti</b> ( <i>Shorea acuminata</i> )					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův $F$ -test	Hladina významnosti $P$
<b>Intercept</b>	6 585 3225	1	65 853 225	187 820,8	0,000000
<b>Řezná rychlost (m.s<sup>-1</sup>) (1)</b>	4 722 446	2	2 361 223	6 734,5	0,000000
<b>Úhel čela (°) (2)</b>	739 267	2	369 633	1 054,2	0,000000
<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>) (3)</b>	90 117	2	45 058	128,5	0,000000
<b>Teplota modifikace (°C) (4)</b>	117 487	3	39 162	111,7	0,000000
<b>1 * 2 * 3 * 4</b>	2 482	24	103	0,3	0,999574
<b>Chyba</b>	75 733	216	351		
Příslušný model popisuje zhruba 99,8 % z celkového počtu čtverců.					

**Vliv vybraných faktorů na energetickou náročnost rovinného frézování dřeviny Padouk  
(*Pterocarpus soyauxii*)**

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti <i>i</i>	Rozptyl	Fischerův <i>F</i> -test	Hladina významnosti <i>P</i>
<b>Intercept</b>	56 659 524	1	56 659 524	732 682,9	0,000000
<b>Řezná rychlost (m.s<sup>-1</sup>) (1)</b>	4 523 691	2	2 261 846	29 248,7	0,000000
<b>Úhel čela (°) (2)</b>	51 633	2	25 817	333,8	0,000000
<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>) (3)</b>	53 563	2	26 782	346,3	0,000000
<b>Teplota modifikace (°C) (4)</b>	3 888	3	1 296	16,8	0,000000
<b>1 * 2 * 3 * 4</b>	3 846	24	160	2,1	0,002738
<b>Chyba</b>	23 741	307	77		

Příslušný model popisuje zhruba 99,8 % z celkového počtu čtverců.

**Vliv vybraných faktorů na energetickou náročnost rovinného frézování dřeviny Iroko  
(*Milicia excelsa*)**

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti <i>i</i>	Rozptyl	Fischerův <i>F</i> -test	Hladina významnosti <i>P</i>
<b>Intercept</b>	68 979 826	1	68 979 826	234 226,3	0,000000
<b>Řezná rychlost (m.s<sup>-1</sup>) (1)</b>	4 996 570	2	2 498 285	8 483,1	0,000000
<b>Úhel čela (°) (2)</b>	60 810	2	30 405	103,2	0,000000
<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>) (3)</b>	16 176	2	8 088	27,5	0,000000
<b>Teplota modifikace (°C) (4)</b>	37 662	3	12 554	42,6	0,000000
<b>1 * 2 * 3 * 4</b>	17 153	24	715	2,4	0,000258
<b>Chyba</b>	106 609	362	295		

Příslušný model popisuje zhruba 99,8 % z celkového počtu čtverců.

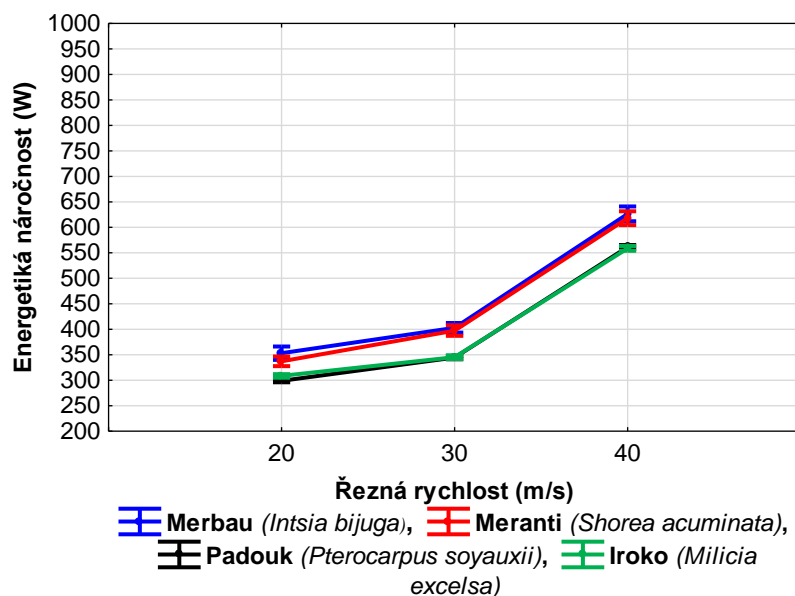
*NS* – statisticky nevýznamný, \*\*\* - statisticky významný, *P* < 0,05

### 10.2.1 Účinek jednotlivých faktorů

Dle Obr. 37 u všech sledovaných dřevin Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), Iroko (*Milicia excelsa*) je patrný nárůst spotřeby elektrické energie při zvýšení řezné rychlosti z 20 m.s<sup>-1</sup> na 30 m.s<sup>-1</sup>. Výrazně většího nárůstu si můžeme všimnout při dalším zvýšení řezné rychlosti na 40 m.s<sup>-1</sup>. Při zvýšení řezné rychlosti z 20 m.s<sup>-1</sup> na 40 m.s<sup>-1</sup> je spotřeba elektrické energie u všech sledovaných dřevin téměř dvojnásobná. Stejnou tendenci nárůstu spotřeby elektrické energie pro jednotlivé řezné rychlosti zaznamenal ve své práci i Günay *et al.* (2005) a také Corleto *et al.* (2020).

Dřevina Iroko (*Milicia excelsa*) vykazuje ze všech sledovaných dřevin nejnižší hodnoty spotřeby elektrické energie při obrábění ve všech sledovaných rychlostech. Naopak energeticky nejnáročnější je při obrábění Merbau (*Intsia bijuga*). Náš výsledek je v souladu s výsledkem Barčíka *et al.* (2010), který zkoumal energetickou náročnost rovinného frézování buku (*Fagus sylvatica* L.). Energetickou náročnost obrábění termicky obráběného bukového dřeva (*Fagus sylvatica* L.) zkoumali i Ispas *et al.* (2016), kteří došli k podobným závěrům jako Barčík *et al.* (2010). Ke stejným výsledkům dospěli také Kubš *et al.* (2017), kteří ve své studii podrobili

stejným řezným rychlostem 20, 30 a 40 m.s<sup>-1</sup> borovici pokroucenou (*Pinus contorta* subsp. *murrayana*) jak termicky modifikovanou procesem ThermoWood, tak i bez termické modifikace. I u této dřeviny byl nárůst spotřeby energie nejmarkantnější při zvýšení řezné rychlosti z 30 na 40 m.s<sup>-1</sup>. Spotřeba elektrické energie stoupá kvůli menšímu odebranému množství materiálu na jeden zub. Tím pádem celková spotřeba kvůli potřebě většího množství řezů na odebrání stejného množství materiálu narůstá.



Obr. 37 Vliv řezné rychlosti na energetickou náročnost pro jednotlivé dřeviny

(Zdroj: vlastní tvorba)

Při hodnocení výsledků energetické náročnosti dle Duncanova testu v Tab. 19, pozorujeme statisticky významný rozdíl mezi hodnotami naměřenými při řezných rychlostech 20 m.s<sup>-1</sup> a 30 m.s<sup>-1</sup>. Statisticky významný rozdíl sledujeme i při změně řezné rychlosti z 20 m.s<sup>-1</sup> na 40 m.s<sup>-1</sup>. Tento statisticky významný rozdíl je u všech čtyřech sledovaných dřevin.

Tab. 19 Vliv řezné rychlosti na energetiku pro jednotlivé dřeviny

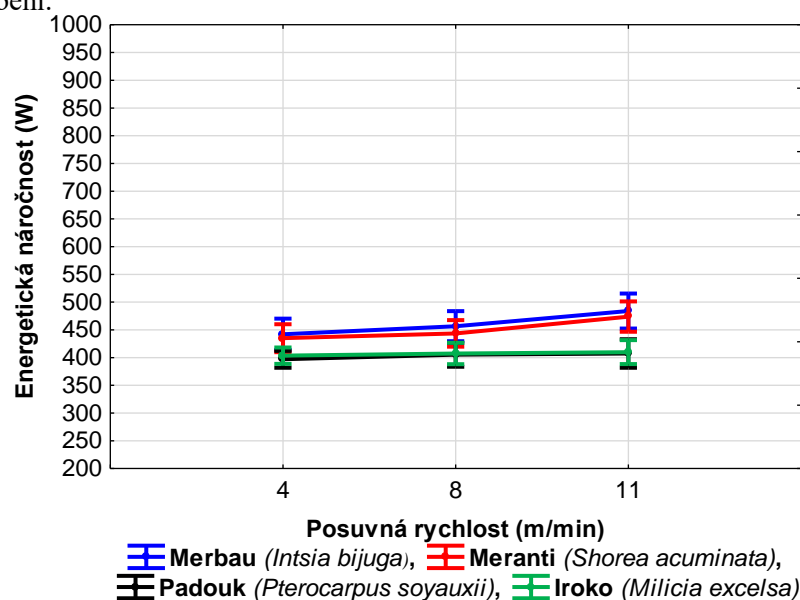
Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1)	(2)	(3)
		353,21	402,84	626,42
1.	20		0,000	0,000
2.	30	0,000		0,000
3.	40	0,000	0,000	
Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1)	(2)	(3)
		337,04	397,50	617,96
1.	20		0,000	0,000
2.	30	0,000		0,000
3.	40	0,000	0,000	

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) 298,89	(2) 344,41	(3) 561,46
1.	20		0,000	0,000
2.	30	0,000		0,000
3.	40	0,000	0,000	

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) 308,49	(2) 345,27	(3) 558,74
1.	20		0,000	0,000
2.	30	0,000		0,000
3.	40	0,000	0,000	

Dle Obr. 38 je patrné, že se zvyšováním posuvné rychlosti dochází u Merbau (*Intsia bijuga*) a u Meranti (*Shorea acuminata*) ke zvyšování energetické náročnosti obrábění. Ke stejnému výsledku se dopracovali také Kubš *et al.* (2017) při zkoumání borovice zkroucené (*Pinus contorta* subsp. *murrayana*) bez termické úpravy a také s termickou úpravou a Barčík *et al.* (2010) v případě rovinného frézování buku (*Fagus sylvatica* L.) a také Corleto *et al.* (2020) při zkoumání afrického padouku (*Pterocarpus soyauxii* Taub.). Zvýšení energetické náročnosti obrábění při zvýšení posuvné rychlosti pozorovali i Gochev *et al.* (2018) při orábění bukového dřeva (*Fagus sylvatica* L.) a borovice (*Pinus sylvestris*). Zvýšení energetické náročnosti, resp. řezného příkonu, procesu frézování při zrychlování posuvné rychlosti nachází své opodstatnění v tom, že fréza opracuje víc materiálu za stejný čas (Marthy a Cismaru, 2009). Se zvyšující se posuvnou rychlostí dochází ke zvětšení množství odebraného materiálu za daný čas. Z tohoto důvodu dochází ke zvýšení energetické náročnosti. U Iroka (*Pterocarpus soyauxii*) a Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) nemá zvyšování posuvné rychlosti významný vliv na spotřebu elektrické energie při obrábění.



**Obr. 38** Vliv posuvné rychlosti na energetickou náročnost pro jednotlivé dřeviny  
(Zdroj: vlastní tvorba)

Tab. 20 uvádějící vliv posuvné rychlosti na energetickou náročnost obrábění dle Duncanova testu pro jednotlivé dřeviny udává statisticky velmi významný vliv zvyšování

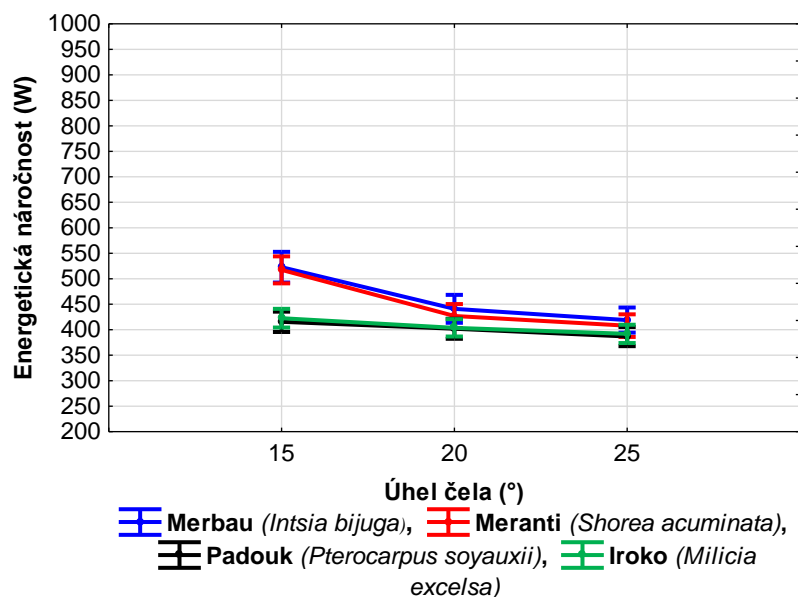
posuvné rychlosti u dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*) i u dřeviny Meranti (*Shorea acuminata*) s výjimkou změny rychlosti mezi 4 m.min<sup>-1</sup> a 8 m.min<sup>-1</sup>.

**Tab. 20 Vliv posuvné rychlosti na energetiku pro jednotlivé dřeviny**

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>				
<b>Číslo</b>	<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>)</b>	<b>(1)</b> <b>442,07</b>	<b>(2)</b> <b>456,62</b>	<b>(3)</b> <b>483,95</b>
<b>1.</b>	<b>4</b>		0,000	0,000
<b>2.</b>	<b>8</b>	0,000		0,000
<b>3.</b>	<b>11</b>	0,000	0,000	
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>				
<b>Číslo</b>	<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>)</b>	<b>(1)</b> <b>435,00</b>	<b>(2)</b> <b>443,61</b>	<b>(3)</b> <b>473,89</b>
<b>1.</b>	<b>4</b>		0,001	0,000
<b>2.</b>	<b>8</b>	0,001		0,000
<b>3.</b>	<b>11</b>	0,000	0,000	
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>				
<b>Číslo</b>	<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>)</b>	<b>(1)</b> <b>396,95</b>	<b>(2)</b> <b>405,14</b>	<b>(3)</b> <b>407,38</b>
<b>1.</b>	<b>4</b>		0,000	0,000
<b>2.</b>	<b>8</b>	0,000		0,050
<b>3.</b>	<b>11</b>	0,000	0,050	
<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>				
<b>Číslo</b>	<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>)</b>	<b>(1)</b> <b>403,46</b>	<b>(2)</b> <b>407,40</b>	<b>(3)</b> <b>409,91</b>
<b>1.</b>	<b>4</b>		0,053	0,002
<b>2.</b>	<b>8</b>	0,053		0,218
<b>3.</b>	<b>11</b>	0,002	0,218	

Z Obr. 39 vyplývá pro dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*) a Meranti (*Shorea acuminata*) výrazný pokles spotřeby elektrické energie při použití nástroje s úhlem čela 20° nebo 25° oproti nástroji s úhlem čela 15°. Toto zjištění potvrzují výzkumné práce Kubše *et al.* (2017) a Kocha (1956). Kubš *et al.* (2017) zkoumali energetickou náročnost obrábění v závislosti na úhlu čela nástroje na borovici zkroucené (*Pinus contorta* subsp. *murrayana*) bez termické úpravy a také s termickou úpravou. Jak uvádí Kubš *et al.* (2017, s. 411), vyšší energetická náročnost souvisí se „zvýšenou mírou tření mezi frézovaným povrchem a čelem nástroje při menších úhlech čela.“ K podobným výsledkům došli také Corleto *et al.* (2020). Větší úhel čela nástroje umožňuje jeho snadnější průnik do vrstev materiálu. Ke stejným závěrům došli také Turner *et al.* (2010) na dřevině buk (*Fagus sylvatica* L.).

U Iroka (*Milicia excelsa*) a Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) bylo dosaženo velmi dobrých hodnot spotřeby elektrické energie u všech sledovaných úhlů čela nástroje.



Obr. 39 Vliv úhlu čela nástroje na energetickou náročnost pro jednotlivé dřeviny  
(Zdroj: vlastní tvorba)

Dle Duncanova testu v Tab. 21 je vliv úhlu čela nástroje na spotřebu elektrické energie statisticky významný u všech čtyřech dřevin.

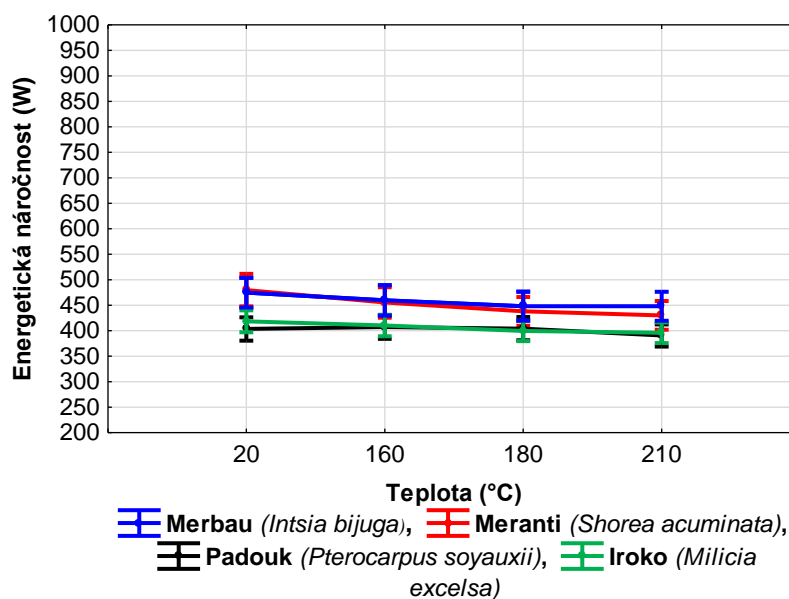
Tab. 21 Vliv úhlu čela nástroje na energetiku pro jednotlivé dřeviny

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1)	(2)	(3)
		<b>522,59</b>	<b>440,99</b>	<b>418,89</b>
1.	15	0,000	0,000	0,000
2.	20	0,000		0,000
3.	25	0,000	0,000	
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1)	(2)	(3)
		<b>517,50</b>	<b>426,94</b>	<b>408,06</b>
1.	15	0,000	0,000	0,000
2.	20	0,000		0,000
3.	25	0,000	0,000	
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1)	(2)	(3)
		<b>415,57</b>	<b>401,98</b>	<b>389,67</b>
1.	15	0,000	0,000	0,000
2.	20	0,000		0,000
3.	25	0,000	0,000	
<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1)	(2)	(3)
		<b>422,66</b>	<b>403,73</b>	<b>391,82</b>
1.	15	0,000	0,000	0,000
2.	20	0,000		0,000
3.	25	0,000	0,000	

V případě dřevin Merbau (*Intsia bijuga*) a Meranti (*Shorea acuminata*) a Iroko (*Milicia excelsa*) můžeme sledovat snížení spotřeby elektrické energie při obrábění se zvyšováním stupně termické modifikace. U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) nejprve dochází k drobnému nárůstu spotřeby mezi dřevem přírodním a termicky modifikovaným teplotou 160 °C, následně ale sledujeme opět drobný pokles spotřeby s dalším zvýšením stupně úpravy. Pro termickou úpravu na nejvyšší teplotu 210 °C platí pro všechny čtyři tropické dřeviny nejnižší zaznamenaná spotřeba energie. Tyto poznatky jsou zachycené na Obr. 40. Ke globálně stejnému výsledku se dopracovali také Kubš *et. al.* (2017) při zkoumání vlivu stupně termické úpravy na energetickou náročnost obrábění na borovici pokroucenou (*Pinus contorta* subsp. *Murrayana.*). Pro všechny stupně termické úpravy s výjimkou 160 °C klesala energetická náročnost s narůstajícím stupněm termické úpravy. U termické úpravy na 160 °C byly hodnoty energetické úpravy většinou blízké hodnotám zaznamenaným pro neupravené dřevo, převážně byly trochu nižší. Může to být způsobeno několika faktory: chemické změny v takto upraveném dřevě (rozpad hemicelulóz, vyšší zastoupení ligninu) nenastaly v také míře, aby ovlivnily fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a také to může být částečně způsobeno nepřesností měření. U teplot 180 °C a 210 °C je patrný výraznější pokles energetické náročnosti obrábění všech sledovaných tropických dřevin.

Koleda *et al.* (2019) pozorovali snížení spotřeby elektrické energie o 22 % u termicky modifikovaného dubového dřeva při teplotě 210 °C ve srovnání se dřevem přírodním. V rámci našeho výzkumu jsme pozorovali u tropických dřevin snížení spotřeby zhruba o 5 %. Tento rozdíl je způsoben vyšší hustotou sledovaných tropických dřevin.

Toto může být způsobeno větší změnou v chemickém složení dřeva vlivem vyššího stupně úpravy.



**Obr. 40 Vliv termické modifikace na energetickou náročnost pro jednotlivé dřeviny**

(Zdroj: vlastní tvorba)

Duncanův test vlivu teploty modifikace na energetickou náročnost, jehož výsledky jsou vedeny v Tab. 22, uvádí vliv faktoru teplota modifikace jako statisticky významný pro dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*) i Iroko (*Milicia excelsa*), u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) se projevila jako statisticky významná úprava na 210 °C.

Tab. 22 Vliv teploty modifikace na energetiku pro jednotlivé dřeviny

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>					
Číslo	Teplota termické modifikace (°C)	(1) 474,81	(2) 459,51	(3) 448,15	(4) 446,82
1.	20		0,000	0,000	0,000
2.	160	0,000		0,000	0,000
3.	180	0,000	0,000		0,000
4.	210	0,000	0,000	0,000	
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>					
Číslo	Teplota termické modifikace (°C)	(1) 479,75	(2) 455,43	(3) 438,02	(4) 430,12
1.	20		0,000	0,000	0,000
2.	160	0,000		0,000	0,000
3.	180	0,000	0,000		0,007
4.	210	0,000	0,000	0,007	
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>					
Číslo	Teplota termické modifikace (°C)	(1) 403,43	(2) 407,16	(3) 404,16	(4) 390,75
1.	20		0,003	0,550	0,000
2.	160	0,003		0,014	0,000
3.	180	0,550	0,014		0,000
4.	210	0,000	0,000	0,000	
<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>					
Číslo	Teplota termické modifikace (°C)	(1) 418,43	(2) 410,27	(3) 399,65	(4) 396,02
1.	20		0,000	0,000	0,000
2.	160	0,000		0,000	0,000
3.	180	0,000	0,000		0,105
4.	210	0,000	0,000	0,000	

## 10.2.2 Čtyřfaktorové interakce

Pomocí čtyřfaktorových interakcí jsme analyzovali a hodnotili vliv čtyř vybraných faktorů (řezná rychlost, posuvná rychlost, stupeň termické úpravy a úhel čela nástroje) na energetickou náročnost obrábění všech čtyřech námi studovaných tropických dřevin podrobených termické úpravě.

### 10.2.2.1 Merbau (*Intsia bijuga*)

Merbau (*Intsia bijuga*) bez termické modifikace vykazuje nejvyšší spotřebu při obrábění řeznou rychlostí 40 m.s<sup>-1</sup> u všech posuvných rychlostí. Nejnižší spotřeby je dosaženo při

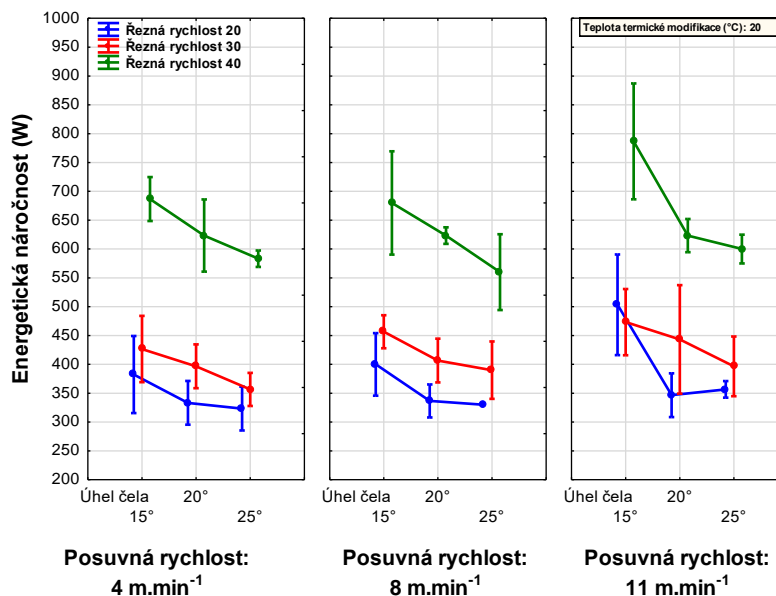


obrábění řeznou rychlostí 20 m.s<sup>-1</sup>. Zvyšováním hodnoty úhlu čela dochází téměř u všech řezných i posuvných rychlostí ke snížení spotřeby elektrické energie. Nejnížší energetickou náročnost při obrábění Merbau (*Intsia bijuga*) bez termické modifikace jsme dosáhli při posuvné rychlosti 8 m.min<sup>-1</sup>, řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup> a úhlu čela 25° (viz Obr. 41).

Dle Obr. 42 můžeme konstatovat, že nejvyšší spotřeby elektrické energie při obrábění Merbau (*Intsia bijuga*) upraveného teplotou úpravy 160 °C dochází při řezné rychlosti 40 m.s<sup>-1</sup> a zároveň úhlu čela nástroje 15° a posuvné rychlosti 11 m.min<sup>-1</sup>. Jako energeticky nejméně náročná se jeví řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup> pro všechny posuvné rychlosti. Nejlepších parametrů potom bylo dosaženo při úhlu čela nástroje 25° a posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup>.

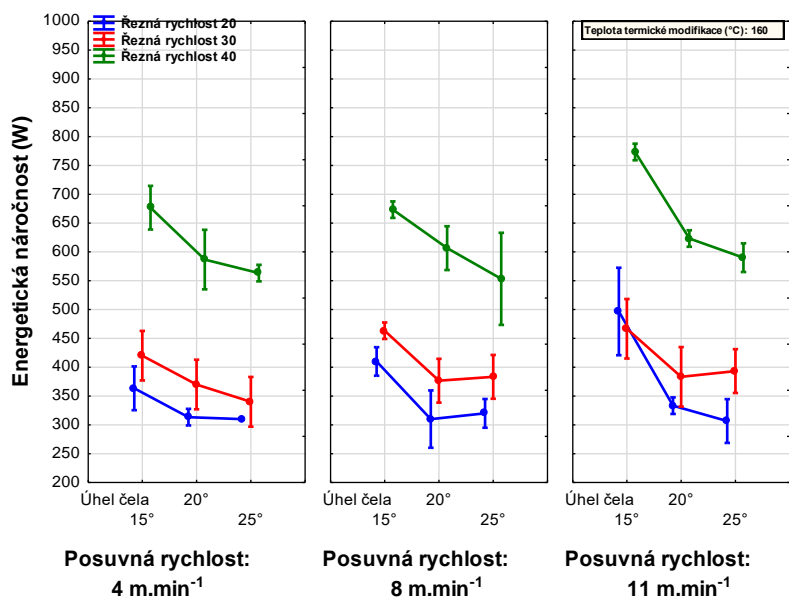
Obr. 43, na kterém jsou zaznamenány hodnoty spotřeby pro Merbau (*Intsia bijuga*) termicky modifikované při 180 °C, udává nejvyšší spotřebu elektrické energie u nejvyšší zkoumané řezné i posuvné rychlosti a nejmenšího zkoumaného úhlu čela. Nejnížší spotřeby elektrické energie bylo dosaženo při stejných parametrech obrábění jako u termické úpravy 160 °C.

Při nejvyšším stupni termické modifikace 210 °C jsme zjistili, že energetická náročnost obrábění je nejvyšší při stejných parametrech jako při ostatních termických úpravách dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*) (viz Obr. 44).



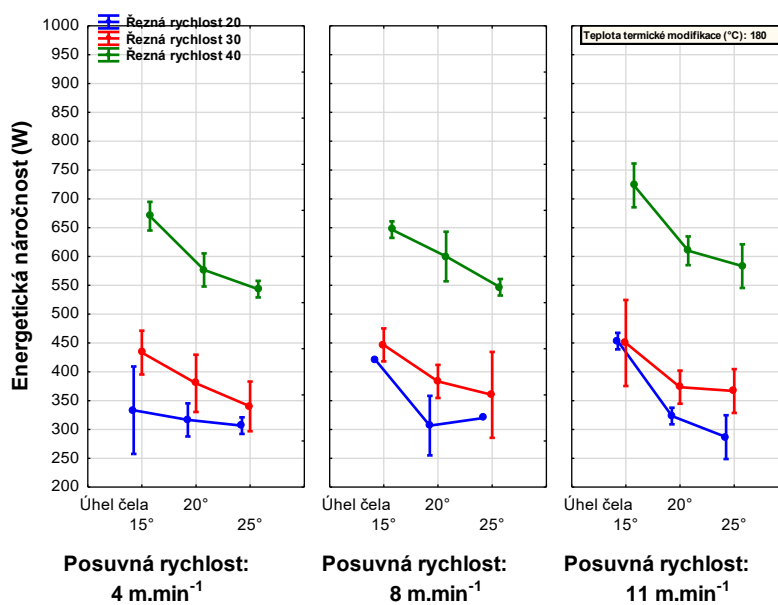
Obr. 41 Energetická náročnost obrábění Merbau (*Intsia bijuga*) TW 20 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



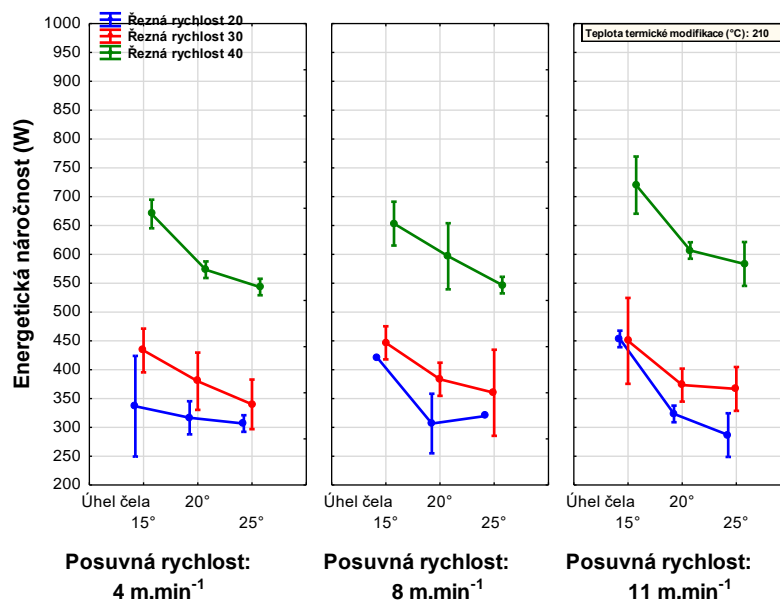
Obr. 42 Energetická náročnost obrábění Merbau (*Intsia bijuga*) TW 160 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 43 Energetická náročnost obrábění Merbau (*Intsia bijuga*) TW 180 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

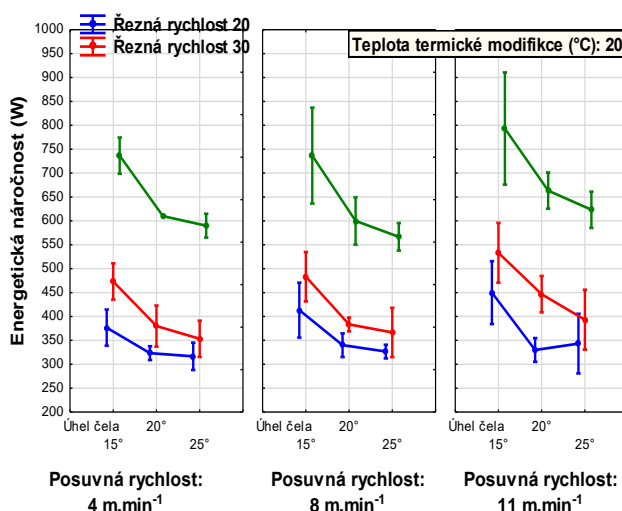


Obr. 44 Energetická náročnost obrábění Merbau (*Intsia bijuga*) TW 210 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

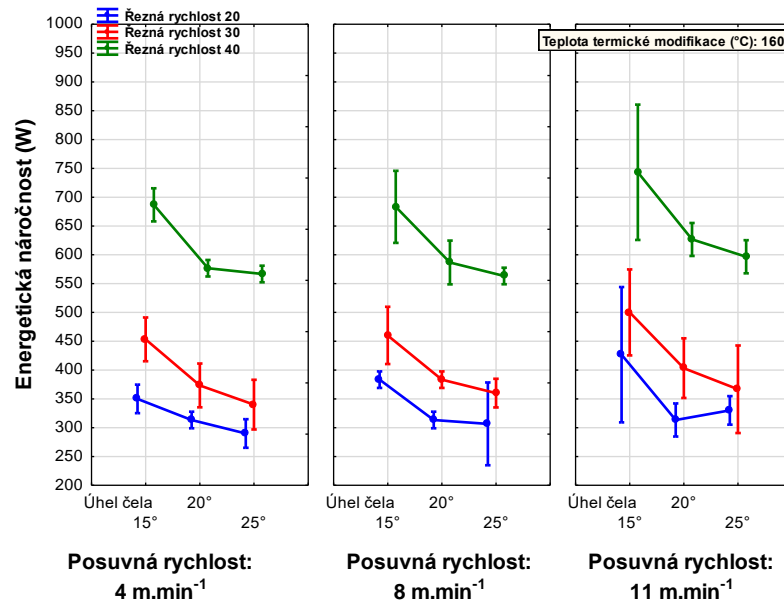
#### 10.2.2.2 Meranti (*Shorea acuminata*)

U Meranti (*Shorea acuminata*) bez termické modifikace můžeme vidět podobné výsledky vlivu řezné a posuvné rychlosti jako u Merbau (*Intsia bijuga*) bez termické modifikace. Vliv úhlu čela nástroje je taktéž obdobný. Stejně jako u dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*) můžeme sledovat pouze malý rozdíl v energetické náročnosti obrábění mezi řeznými rychlostmi 20 m.s-1 a 30 m.s-1. Výrazně většího rozdílu si můžeme všimnout mezi 30 m.s-1 a 40 m.s-1. Tento velký nárůst platí pro všechny stupně termické modifikace taktéž u obou výše uvedených dřevin. Pro dřevinu Meranti (*Shorea acuminata*) je specifický nárůst energetické náročnosti obrábění při posuvné rychlosti 11 m.min-1 při změně úhlu čela nástroje z 20° na 25° při všech stupních termické modifikace a řezné rychlosti 20 m.min-1. Tento jev je patrný z následujících obrázků.



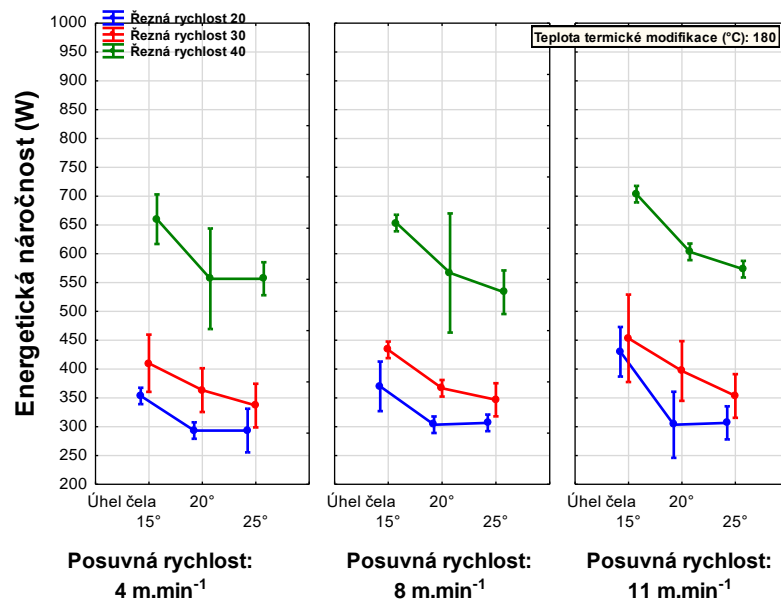
Obr. 45 Energetická náročnost obrábění Meranti (*Shorea acuminata*) TW 20 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



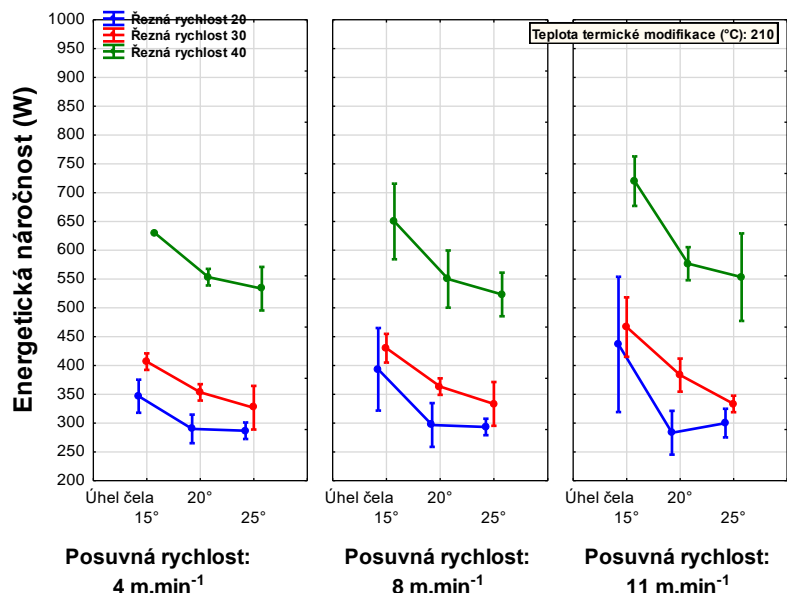
Obr. 46 Energetická náročnost obrábění Meranti (*Shorea acuminata*) TW 160 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 47 Energetická náročnost obrábění Meranti (*Shorea acuminata*) TW 180 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

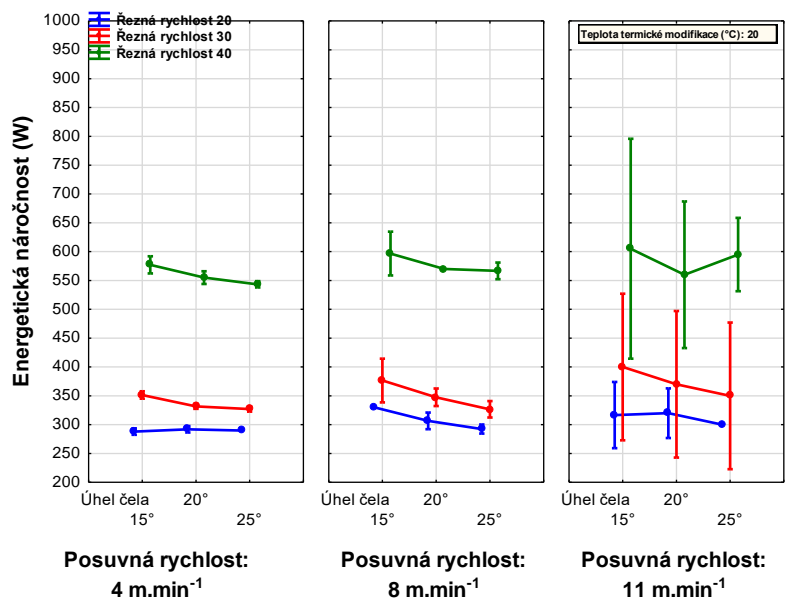


Obr. 48 Energetická náročnost obrábění Meranti (*Shorea acuminata*) TW 210 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

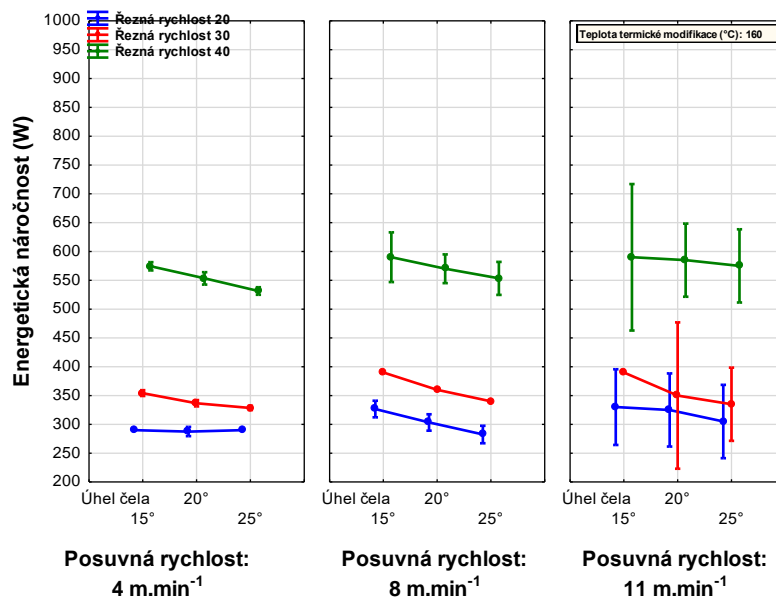
### 10.2.2.3 Padouk (*Pterocarpus soyauxii*)

Pro Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) jsou specifické malé rozdíly v energetické náročnosti obrábění při zvyšování hodnoty úhlu čela nástroje (viz Obr. 49 až 52). I tak je ale zachovaný trend jako u ostatních dřevin, že při zvýšení hodnoty úhlu čela nástroje z pravidla dochází ke snížení energetické náročnosti obrábění. Stejně jako u ostatních dřevin sledujeme jen malý rozdíl v energetické náročnosti obrábění mezi reznou rychlostí 20 m.min<sup>-1</sup> a 30 m.min<sup>-1</sup>, ale velký nárůst spotřeby elektrické energie při zvýšení rezné rychlosti na 40 m.min<sup>-1</sup>. Téměř při všech rezných i posuvných rychlostech a všech stupních termické modifikace se ukázal úhel čela 25° jako nejefektivnější.



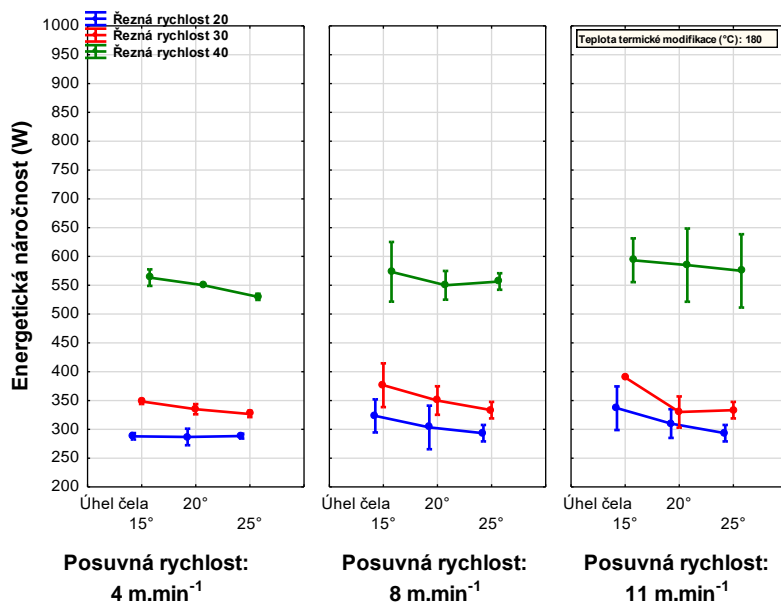
Obr. 49 Energetická náročnost obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) TW 20 °C

Zdroj: (vlastní tvorba)



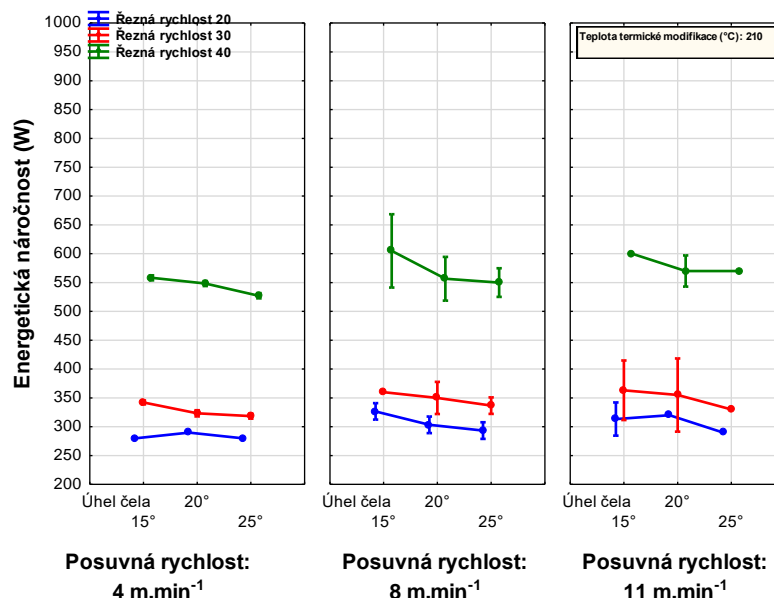
Obr. 50 Energetická náročnost obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)  
TW 160 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 51 Energetická náročnost obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)  
TW 180 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

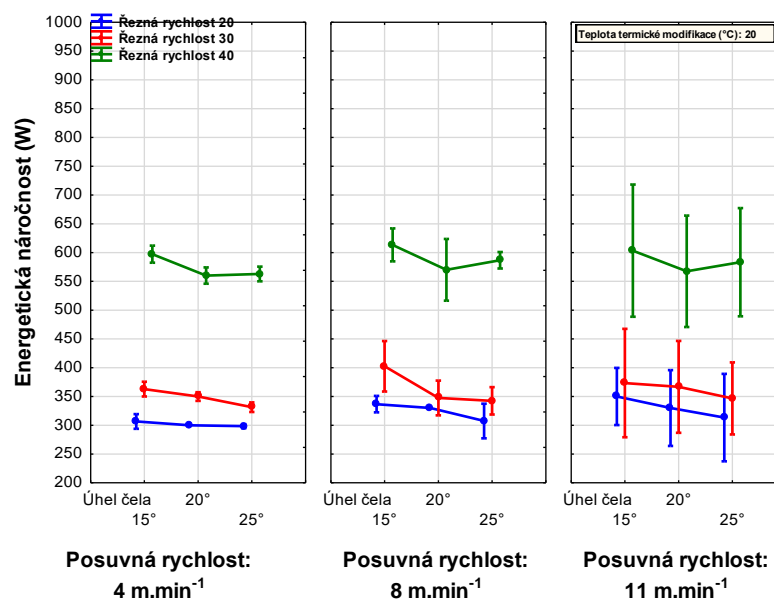


Obr. 52 Energetická náročnost obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) TW 210 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

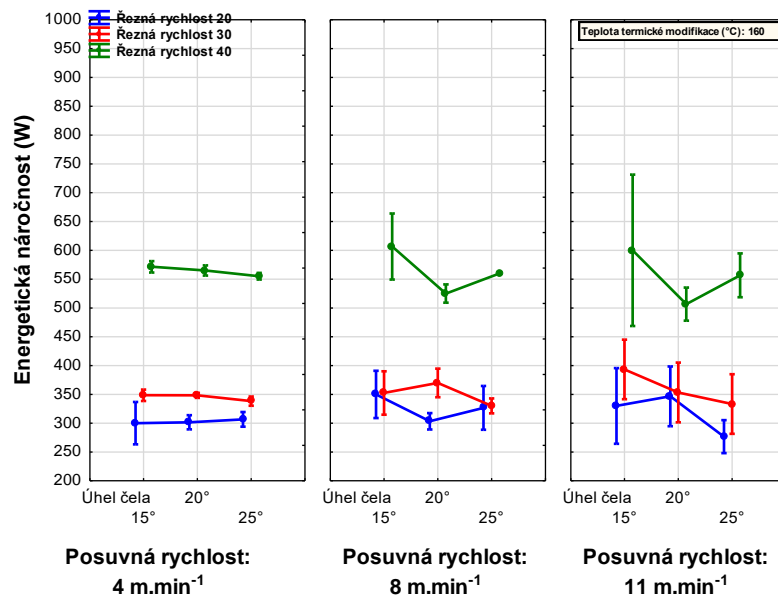
#### 10.2.2.4 Iroko (*Milicia excelsa*)

I u dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*) sledujeme dle Obr. 53 až 56 vysoký nárůst spotřeby při zvýšení řezné rychlosti na 40 m.min<sup>-1</sup>. Nejlepších hodnot spotřeby při obrábění u dřeva Iroko (*Milicia excelsa*) bez termické modifikace bylo dosaženo při řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup>, posuvné rychlosti 11 m.min<sup>-1</sup> a úhlu čela nástroje 25°, totéž platí i pro termické modifikace 160 °C a 180 °C. U termické modifikace při teplotě 210 °C bylo nejlepší spotřeby elektrické energie dosaženo při posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup>, řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup> a úhlu čela nástroje 25°.



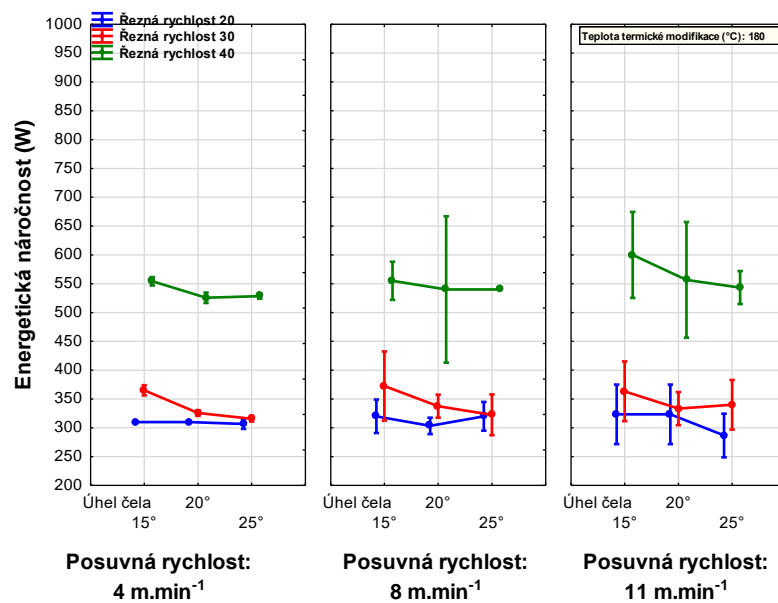
Obr. 53 Energetická náročnost obrábění Iroko (*Milicia excelsa*) TW 20 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 54 Energetická náročnost obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 160 °C

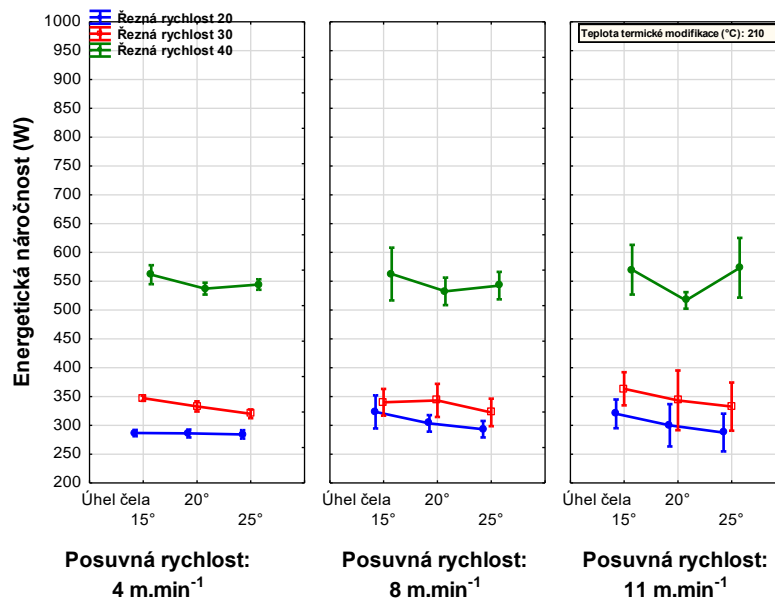
(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 55 Energetická náročnost obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 180 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)





Obr. 56 Energetická náročnost obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 210 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

### 10.3 Vliv vybraných faktorů na kvalitu opracovaného povrchu

V další části práce jsme se zabývali hodnocením sledovaných faktorů na kvalitu opracovaného povrchu. Tato část je velmi důležitá z pohledu využití získaných informací v praxi pro následné opracovávání a povrchové úpravy. K vyhodnocení vlivu jednotlivých faktorů i jejich vzájemné interakce jsme využili čtyřfaktorovou analýzu rozptylu. Jako první byla hodnocena střední aritmetická odchylka profilu vlnitosti ( $W_a$ ).

#### 10.3.1 Vliv vybraných faktorů na vlnitost ( $W_a$ )

Na základě vyhodnocení hladin statistické významnosti můžeme konstatovat pro dřevinu Merbau (*Intsia bijuga*), že faktor rezná rychlost a posuvná rychlost měl statisticky významný vliv na hodnoty střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti ( $W_a$ ). Parametr úhel čela a teplota termické modifikace nejsou statisticky významně působící.

Pro Meranti (*Shorea acuminata*) se ukázaly jako statisticky významné faktory posuvná rychlost, úhel čela nástroje a teplota termické modifikace. Rezná rychlost se ukázala jako faktor statisticky ne významně působící.

U dřevin Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*) jsme zaznamenali jako významné faktory všechny čtyři sledované.

Čtyřfaktorové interakce rezné rychlosti, posuvné rychlosti, úhlu čela nástroje a stupně termické modifikace jsou na základě hladiny statistické významnosti „P“ u všech sledovaných dřevin statisticky významné. Tyto výsledky shrnuje Tab. 23.

**Tab. 23 Vliv jednotlivých faktorů a jejich vzájemných interakcí**

<b>Vliv vybraných faktorů na kvalitu povrchu – vlnitost pro dřevinu Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>					
<b>Sledovaný faktor</b>	<b>Součet čtverců</b>	<b>Stupně volnosti</b>	<b>Rozptyl</b>	<b>Fischerův F-test</b>	<b>Hladina významnosti P</b>
<b>Intercept</b>	82 937,76	1	82 937,76	1 351,082	0,000000
<b>Řzná rychlost (m.s<sup>-1</sup>) (1)</b>	412,88	2	206,44	3,363	0,035035
<b>Úhel čela (°) (2)</b>	317,67	2	158,84	2,588	0,075725
<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>) (3)</b>	784,54	2	392,27	6,390	0,001749
<b>Teplota termické modifikace (°C) (4)</b>	359,39	3	119,80	1,952	0,119661
<b>1 * 2 * 3 * 4</b>	3 519,10	24	146,63	2,389	0,000207
<b>Chyba</b>	59 667,38	972	61,39		

Průslušný model popisuje zhruba 57,3 % z celkového počtu čtverců.

<b>Vliv vybraných faktorů na kvalitu povrchu – vlnitost pro dřevinu Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>					
<b>Sledovaný faktor</b>	<b>Součet čtverců</b>	<b>Stupně volnosti</b>	<b>Rozptyl</b>	<b>Fischerův F-test</b>	<b>Hladina významnosti P</b>
<b>Intercept</b>	121 623,0	1	121 623,0	1 816,009	0,000000
<b>Řzná rychlost (m.s<sup>-1</sup>) (1)</b>	331,0	2	165,5	2,472	0,084988
<b>Úhel čela (°) (2)</b>	495,8	2	247,9	3,702	0,025028
<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>) (3)</b>	1 040,1	2	520,1	7,765	0,000451
<b>Teplota termické modifikace (°C) (4)</b>	1 565,9	3	522,0	7,794	0,000038
<b>1 * 2 * 3 * 4</b>	2613,7	24	108,9	1,626	0,029394
<b>Chyba</b>	65 097,4	972	67,0		

Průslušný model popisuje zhruba 88,3 % z celkového počtu čtverců.

<b>Vliv vybraných faktorů na kvalitu povrchu – vlnitost pro dřevinu Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>					
<b>Sledovaný faktor</b>	<b>Součet čtverců</b>	<b>Stupně volnosti</b>	<b>Rozptyl</b>	<b>Fischerův F-test</b>	<b>Hladina významnosti P</b>
<b>Intercept</b>	31 423,17	1	31 423,17	1 122,770	0,000000
<b>Řzná rychlost (m.s<sup>-1</sup>) (1)</b>	377,30	2	188,65	6,741	0,001238
<b>Úhel čela (°) (2)</b>	288,81	2	144,41	5,160	0,005901
<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>) (3)</b>	680,16	2	340,08	12,151	0,000006
<b>Teplota termické modifikace (°C) (4)</b>	480,14	3	160,05	5,719	0,000702
<b>1 * 2 * 3 * 4</b>	2 765,87	24	115,24	4,118	0,000000
<b>Chyba</b>	27 203,55	972	27,99		

Průslušný model popisuje zhruba 57,3 % z celkového počtu čtverců.

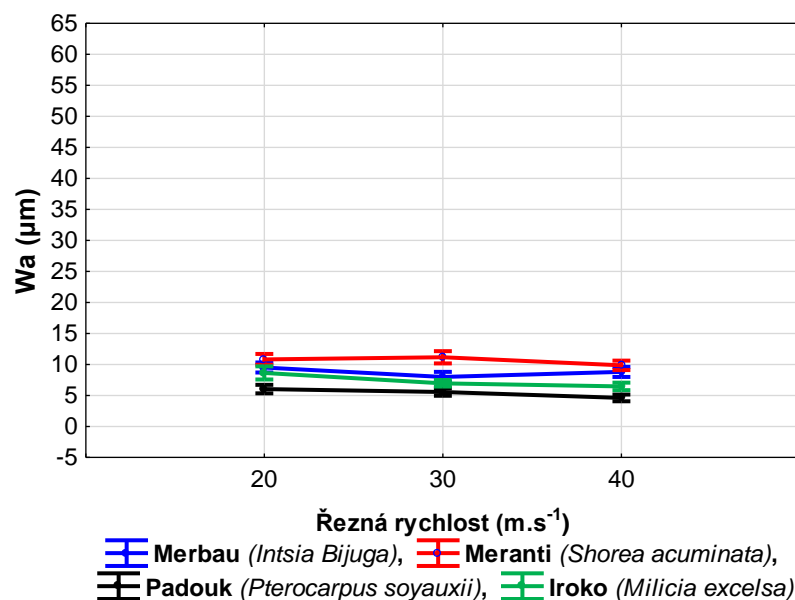
Vliv vybraných faktorů na kvalitu povrchu – vlnitost pro dřevinu Iroko (*Milicia excelsa*)

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti $i$	Rozptyl	Fischerův $F$ -test	Hladina významnosti $P$
Intercept	58 327,29	1	58 327,29	1 573,576	0,000000
Řezná rychlost ( $m.s^{-1}$ ) (1)	940,39	2	470,20	12,685	0,000004
Úhel čela ( $^{\circ}$ ) (2)	403,24	2	201,62	5,439	0,004475
Posuvná rychlost ( $m.min^{-1}$ ) (3)	1 240,37	2	620,18	16,732	0,000000
Teplota termické modifikace ( $^{\circ}C$ ) (4)	756,28	3	252,09	6,801	0,000154
1 * 2 * 3 * 4	5 402,61	24	225,11	6,073	0,000000
Chyba	36 028,84	972	37,07		

Průslušný model popisuje zhruba 88,3 % z celkového počtu čtverců.

NS – statisticky nevýznamný, \*\*\* - statisticky významný,  $P < 0,05$

Na Obr. 57 je patrné, že se zvýšením řezné rychlosti z  $20 m.s^{-1}$  na  $30 m.s^{-1}$  u dřevin Merbau (*Intsia bijuga*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*) dochází ke zlepšení hodnot vlnitosti. Při zvýšení řezné rychlosti z  $30 m.s^{-1}$  na  $40 m.s^{-1}$  dochází ke zlepšení hodnot střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti u dřevin Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*). Nejlepších hodnot vlnitosti při všech řezných rychlostech bylo dosaženo u dřeviny Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), největší vlnitosti potom u dřeviny Meranti (*Shorea acuminata*). Naše výsledky jsou v souladu s výsledky na dřevině bříza (*Betula pendula* Roth), u které Gaff *et al.* (2015) dospěli k tomu, že řezná rychlost zlepšuje její hodnoty aritmetické odchylky profilu vlnitosti  $W_a$ . Ke stejným výsledkům došli i Razaei *et al.* (2020) na smrku (*Picea abies*) a Kaplan *et al.* (2018b) na dubu letním (*Quercus robur*).



Obr. 57 Vliv řezné rychlosti na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny

(Zdroj: vlastní tvorba)

V Tab. 24 najdeme vyhodnocení vlivu řezné rychlosti na hodnoty střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti ( $W_a$ ) při všech zkoumaných dřevinách. U dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*) jsme zaznamenali statisticky významný rozdíl mezi hodnotami vlnitosti naměřenými na opracovaném povrchu mezi řeznými rychlostmi 20 m.s<sup>-1</sup> a 30 m.s<sup>-1</sup>. Ostatní změny řezné rychlosti byly vyhodnoceny jako statisticky nevýznamné.

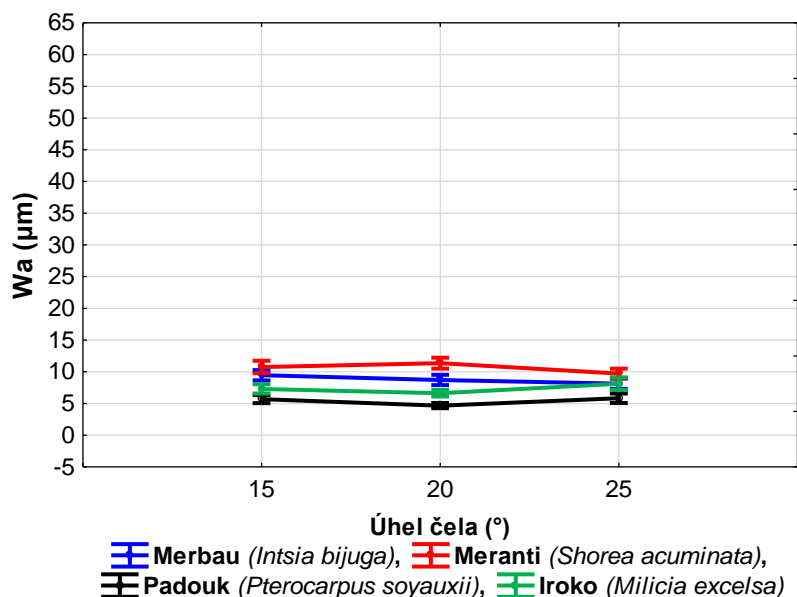
Pro dřevinu Meranti (*Shorea acuminata*) byla vyhodnocena jak statisticky významná změna řezné rychlosti mezi 30 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup>. Ostatní změny řezné rychlosti neměly statisticky významný vliv na hodnoty střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti.

U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) byly dvě statisticky významné změny v řezných rychlostech, a to změna mezi řeznými rychlostmi 20 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup> a 30 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup>. Změnu mezi 20 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup> můžeme označit jako statisticky velmi významně působící. Třetí změna řezné rychlosti mezi 20 m.s<sup>-1</sup> a 30 m.s<sup>-1</sup> se projevila jako statisticky nevýznamná.

Dvě statisticky velmi významné změny jsme pozorovali i mezi rychlostmi 20 m.s<sup>-1</sup> a 30 m.s<sup>-1</sup>, dále pak 20 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup> u dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*). Změna mezi 30 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup> se u Iroka (*Milicia excelsa*) ukázala jako statisticky nevýznamná.

**Tab. 24 Vliv řezné rychlosti na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny**

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) <b>9,5031</b>	(2) <b>7,9893</b>	(3) <b>8,8001</b>
1.	20		0,013	0,229
2.	30	0,013		0,165
3.	40	0,229	0,165	
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) <b>10,821</b>	(2) <b>11,161</b>	(3) <b>9,8540</b>
1.	20		0,577504	0,112865
2.	30	0,578		0,042
3.	40	0,113	0,042	
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) <b>6,0266</b>	(2) <b>5,5509</b>	(3) <b>4,6045</b>
1.	20		0,228	0,000
2.	30	0,228		0,016
3.	40	0,000	0,016	
<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) <b>8,6358</b>	(2) <b>6,9586</b>	(3) <b>6,4523</b>
1.	20		0,000	0,000
2.	30	0,000		0,265
3.	40	0,000	0,265	



**Obr. 58** Vliv úhlu čela nástroje na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny  
(Zdroj: vlastní tvorba)

Dle Duncanova testu, jehož výsledky pro střední aritmetickou odchylku profilu vlnitosti jsou zaznamenány v Tab. 25, jsme zjistili že, vztah mezi úhly čela nástroje 15° a 25° byl pro dřevinu Merbau (*Intsia bijuga*) statisticky významný. Rozdíly v úhlu čela nebyly u této dřeviny statisticky významným faktorem.

Významně působícím faktorem se ukázal vztah mezi úhly čela nástroje 20° a 25° u dřeviny Meranti (*Shorea acuminata*). Pro Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) byly dva statisticky významné vztahy úhlů čela nástroje, a to mezi úhly 15° a 20° a dále 20° a 25°. U Iroku byl významně působící vztah mezi úhly 20° a 25°.

**Tab. 25** Vliv úhlu čela nástroje na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny

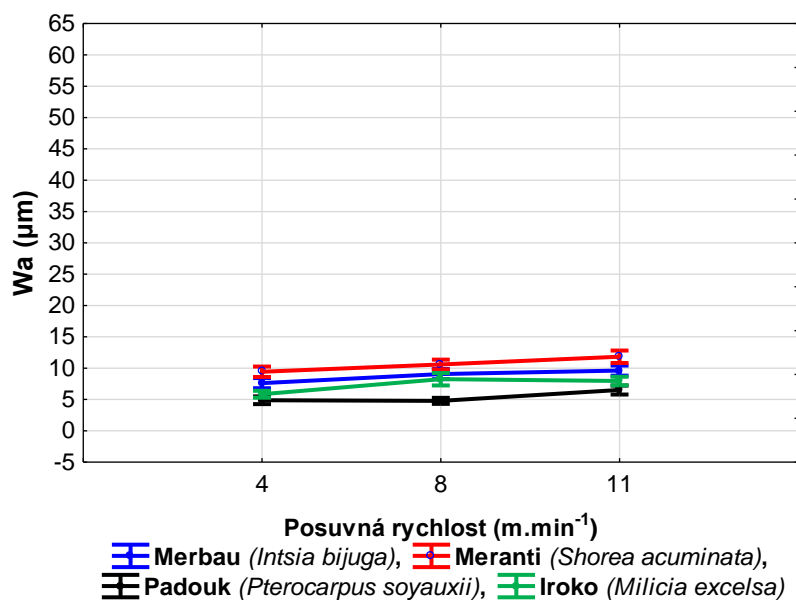
Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )				
Číslo	Úhel čela (°)	(1) 9,4539	(2) 8,7106	(3) 8,1280
1.	15		0,203	0,030
2.	20	0,203		0,318
3.	25	0,030	0,318	
Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )				
Číslo	Úhel čela (°)	(1) 10,756	(2) 11,360	(3) 9,7196
1.	15		0,322	0,089
2.	20	0,322		0,010
3.	25	0,089	0,010	

<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1) 5,6869	(2) 4,6673	(3) 5,8280
1.	15		0,010	0,720
2.	20	0,010		0,005
3.	25	0,720	0,005	

<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1) 7,2996	(2) 6,6265	(3) 8,1208
1.	15		0,138	0,070
2.	20	0,138		0,001
3.	25	0,070	0,001	

Na Obr. 59 je graficky znázorněn vliv posuvné rychlosti na střední aritmetickou odchylku profilu vlnitosti pro jednotlivé sledované dřeviny. Se zvyšující se posuvnou rychlostí dochází ke zhoršování hodnot vlnitosti. Nejlepších výsledků ve všech posuvných rychlostech bylo dosaženo u dřeviny Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), poté následovalo Iroko (*Milicia excelsa*), Merbau (*Intsia bijuga*) a nejhorší hodnoty vlnitosti byly naměřeny na povrchu opracovaného Meranti (*Shorea acuminata*). Gaff *et al.* (2015) zaznamenali zhoršení kvality z pohledu aritmetické odchylky profilu vlnitosti  $W_a$  u břízy (*Betula pendula* Roth) bez termické úpravy a také s termickou úpravou na 160, 180, 210 a 240 °C. I Kaplan *et al.* (2018a) sledovali zlepšení hodnot vlnitosti při snížení posuvné rychlosti při frézování dubového dřeva (*Quercus cerris*).



**Obr. 59** Vliv posuvné rychlosti vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny  
(Zdroj: vlastní tvorba)

Tab. 26 znázorňující výsledky Duncanova testu vlnitosti ve vztahu k posuvné rychlosti zaznamenává že, v rámci změn posuvné rychlosti jsou pro dřevinu Merbau (*Intsia bijuga*)

statisticky významné dva vztahy, a to vztah mezi posuvnou rychlostí 4 m.min<sup>-1</sup> a 8 m.min<sup>-1</sup> a 4 m.min<sup>-1</sup> a 11 m.min<sup>-1</sup>.

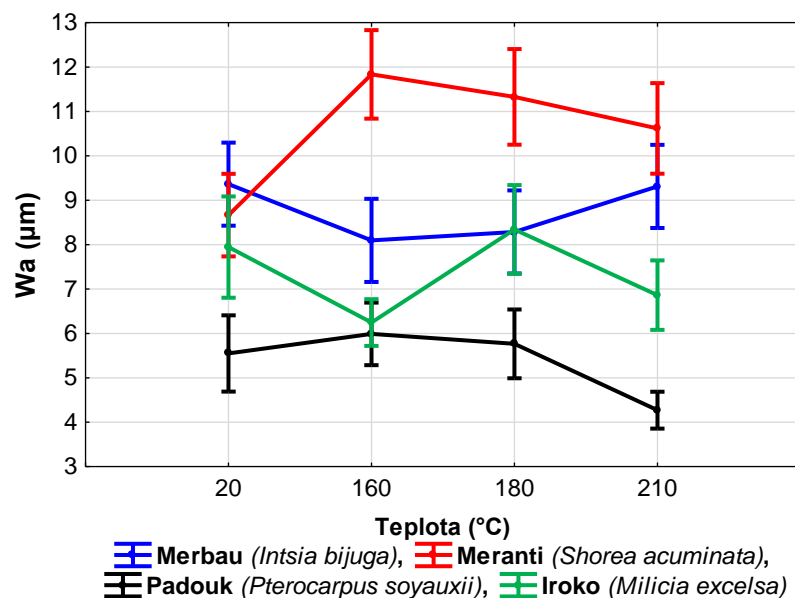
U Meranti (*Shorea acuminata*) se ukázal statisticky velmi významně působící vztah mezi posuvnými rychlostmi 4 m.min<sup>-1</sup> a 11 m.min<sup>-1</sup>. Dále se u této dřeviny projevil jako statisticky významný vztah mezi posuvnými rychlostmi 8 m.min<sup>-1</sup> a 11 m.min<sup>-1</sup>.

Pro Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) jsou statisticky velmi významně působící dva vztahy mezi posuvnými rychlostmi, a to mezi posuvnou rychlostí 4 m.min<sup>-1</sup> a 11 m.min<sup>-1</sup> dále poté 8 m.min<sup>-1</sup> a 11 m.min<sup>-1</sup>.

Iroko (*Milicia excelsa*) má také jako Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) právě dva statisticky velmi významně působící vztahy mezi sledovanými charakteristikami, a to mezi 4 m.min<sup>-1</sup> a 8 m.min<sup>-1</sup> i 4 m.min<sup>-1</sup> a 11 m.min<sup>-1</sup>.

**Tab. 26 Vliv posuvné rychlosti na vlnitost (*W*) pro jednotlivé dřeviny**

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>				
Číslo	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	(1) 7,6015	(2) 9,0720	(3) 9,6249
1.	4		0,012	0,001
2.	8	0,012		0,342
3.	11	0,001	0,342	
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>				
Číslo	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	(1) 9,4210	(2) 10,590	(3) 11,825
1.	4		0,055	0,000
2.	8	0,055		0,043
3.	11	0,000	0,043	
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>				
Číslo	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	(1) 4,8804	(2) 4,7867	(3) 6,5150
1.	4		0,812	0,000
2.	8	0,812		0,000
3.	11	0,000	0,000	
<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>				
Číslo	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	(1) 5,8429	(2) 8,2493	(3) 7,9545
1.	4		0,000	0,000
2.	8	0,000		0,516
3.	11	0,000	0,516	



**Obr. 60** Vliv teploty termické modifikace vlnitosti ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny

(Zdroj: vlastní tvorba)

Dle záznamů v Tab. 27 můžeme konstatovat, že pro dřevinu Merbau (*Intsia bijuga*) není žádný vztah mezi různými stupni termické modifikace statisticky významný.

U Meranti (*Shorea acuminata*) jsme našli dva vztahy statisticky velmi významně působící, a to vztah mezi teplotou termické modifikace 20 °C a 160 °C i 20 °C a 180 °C. Dále pak statisticky významný vztah mezi teplotami termické modifikace 20 °C a 210 °C.

Termické modifikace Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) mají jeden statisticky velmi významný vztah, a to mezi teplotami úprav 160 °C a 210 °C. Dále jsme zjistili dva statisticky významné vztahy mezi teplotami 20 °C a 210 °C i 180 °C a 210 °C.

Po vyhodnocení jsme u Iroka (*Milicia excelsa*) našli jeden statisticky velmi významný vztah mezi teplotami úprav 160 °C a 180 °C, dále jsme našli tři statisticky významné vztahy mezi úpravami 20 °C a 160 °C, 20 °C a 210 °C, 180 °C a 210 °C.

Ostatní vztahy mezi různými stupni termické modifikace byly u všech sledovaných dřevin bez statisticky významného vlivu na střední aritmetickou odchylku profilu vlnitosti ( $W_a$ ).



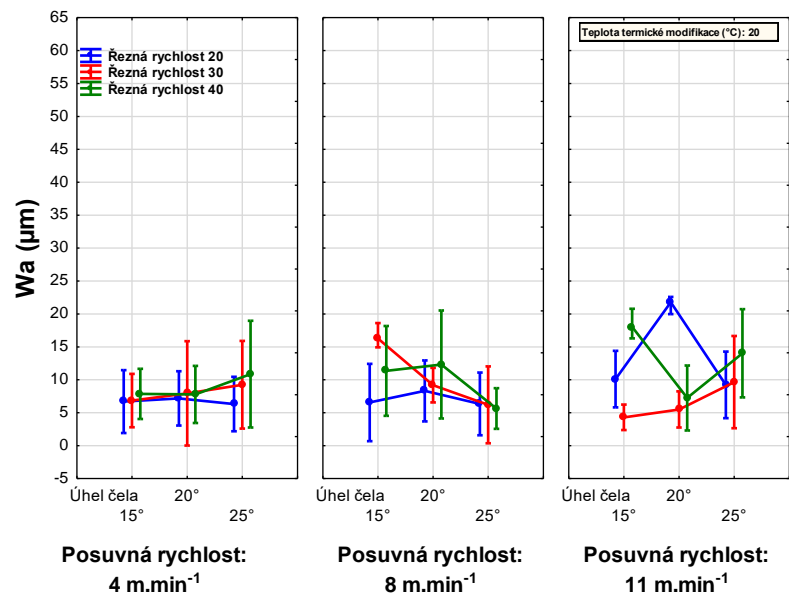
Tab. 27 Vliv teploty modifikace na vlnitost ( $W_a$ ) pro jednotlivé dřeviny

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>					
Číslo	Teplota termické modifikace (°C)	(1) 9,3626	(2) 8,0970	(3) 8,2856	(4) 9,3116
1.	20		0,087	0,132	0,940
2.	160	0,087		0,780	0,088
3.	180	0,132	0,780		0,128
4.	210	0,940	0,088	0,128	
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>					
Číslo	Teplota termické modifikace (°C)	(1) 8,6654	(2) 11,836	(3) 11,328	(4) 10,619
1.	20		0,000	0,000	0,006
2.	160	0,000		0,471	0,103
3.	180	0,000	0,471		0,314
4.	210	0,006	0,103	0,314	
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>					
Číslo	Teplota termické modifikace (°C)	(1) 5,5491	(2) 5,9902	(3) 5,7657	(4) 4,2712
1.	20		0,365	0,634	0,005
2.	160	0,365		0,622	0,000
3.	180	0,634	0,622		0,001
4.	210	0,005	0,000	0,001	
<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>					
Číslo	Teplota termické modifikace (°C)	(1) 7,9453	(2) 6,2453	(3) 8,3437	(4) 6,8614
1.	20		0,002	0,447	0,039
2.	160	0,002		0,000	0,240
3.	180	0,447	0,000		0,007
4.	210	0,039	0,240	0,007	

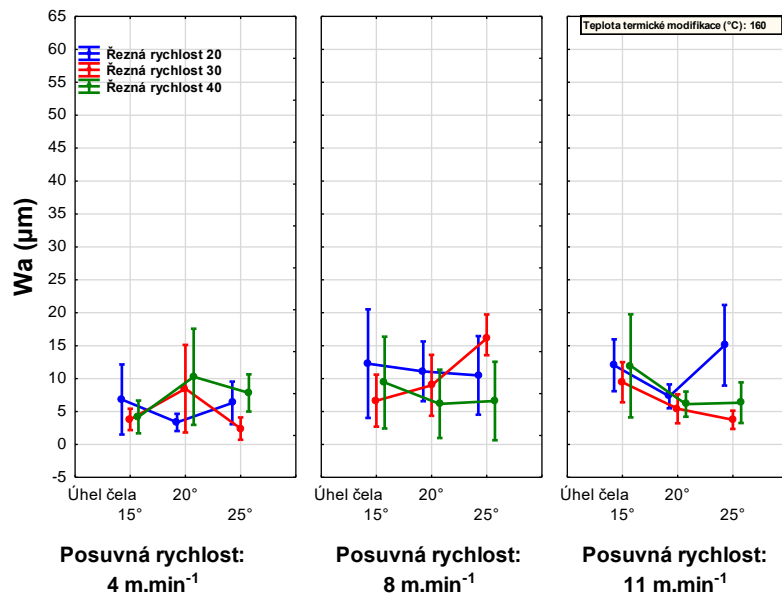
### 10.3.2.1 Čtyřfaktorové interakce

Na Obr. 61 až Obr. 76 získáme detailní přehled z naměřených dat o vlnitosti opracovaného povrchu na zkoumaných tropických dřevinách. Obr. 61–Obr. 64 přináší grafické shrnutí vlivu posuvné rychlosti, řezné rychlosti, úhlu čela nástroje a teploty termické modifikace na střední aritmetickou odchylku profilu vlnitosti ( $W_a$ ). Z Obr. 61 je patrné že u Merbau (*Intsia bijuga*) bez termické modifikace jsme dosáhli nejlepší vlnitosti při posuvné rychlosti 11 m.min<sup>-1</sup>, řezné rychlosti 30 m.min<sup>-1</sup> a úhlu čela nástroje 15°. Pro posuvnou rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> je z grafu teploty úpravy 160 °C i 180 °C, u řezné rychlost 30 m.min<sup>-1</sup> a 40 m.min<sup>-1</sup> patrné zhoršení naměřených hodnot vlnitosti se zvyšujícím se úhlem čela z 15° na 20° a opětovné zlepšení sledovaných hodnot při úlu čela nástroje 25°.

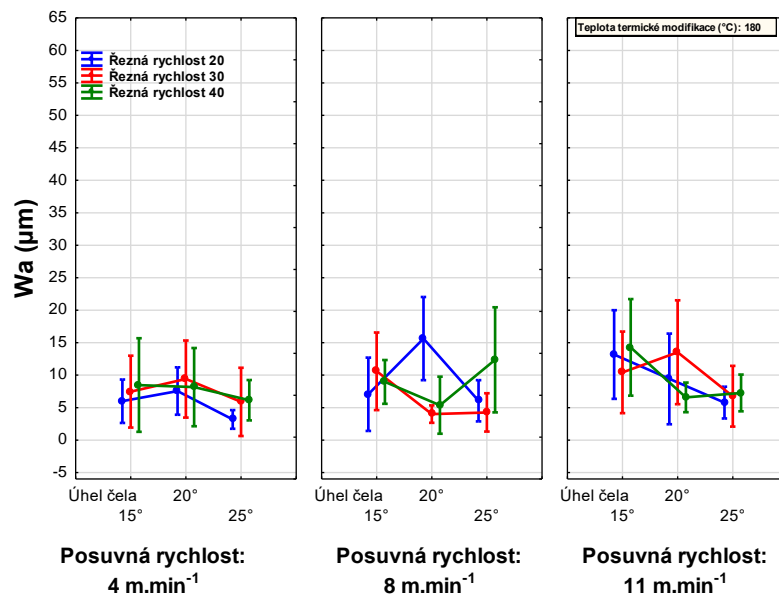
### 10.3.2.1.1 Merbau (*Intsia bijuga*)



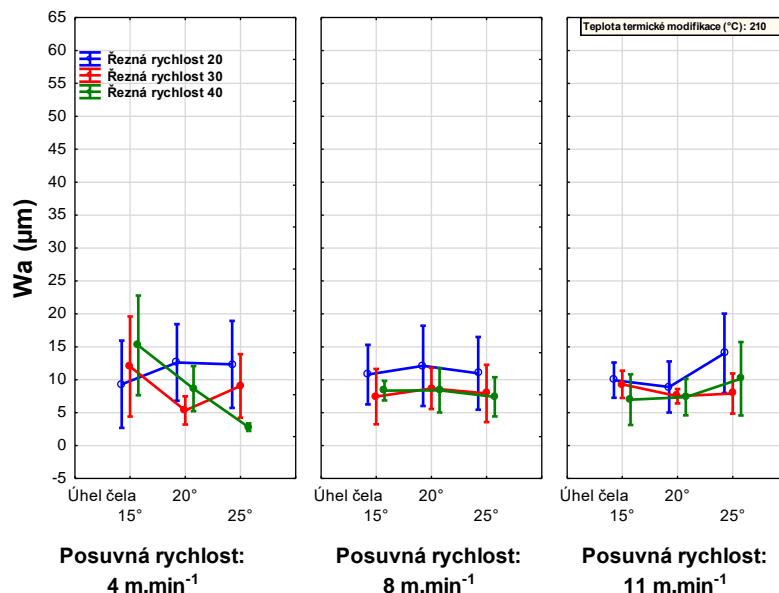
Obr. 61 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Merbau (*Intsia bijuga*)  $t_{mod} 20^\circ\text{C}$   
(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 62 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Merbau (*Intsia bijuga*)  $t_{mod} 160^\circ\text{C}$   
(Zdroj: vlastní tvorba)



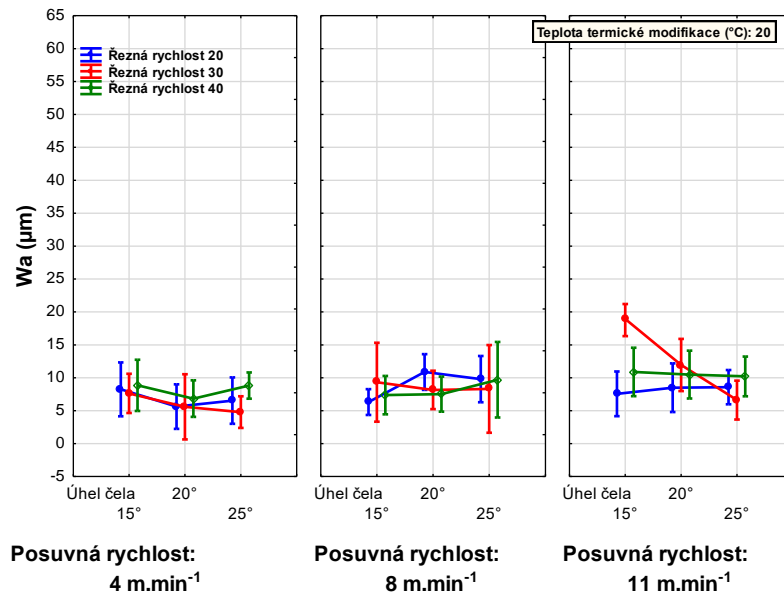
Obr. 63 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Merbau (*Intsia bijuga*)  $t_{mod}$  180 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



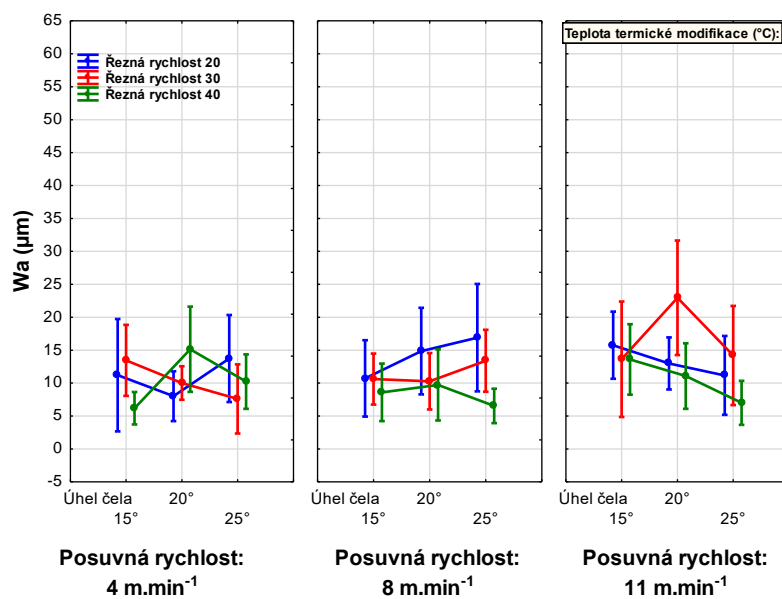
Obr. 64 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Merbau (*Intsia bijuga*)  $t_{mod}$  210 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)

### 10.3.2.1.2 Meranti (*Shorea acuminata*)

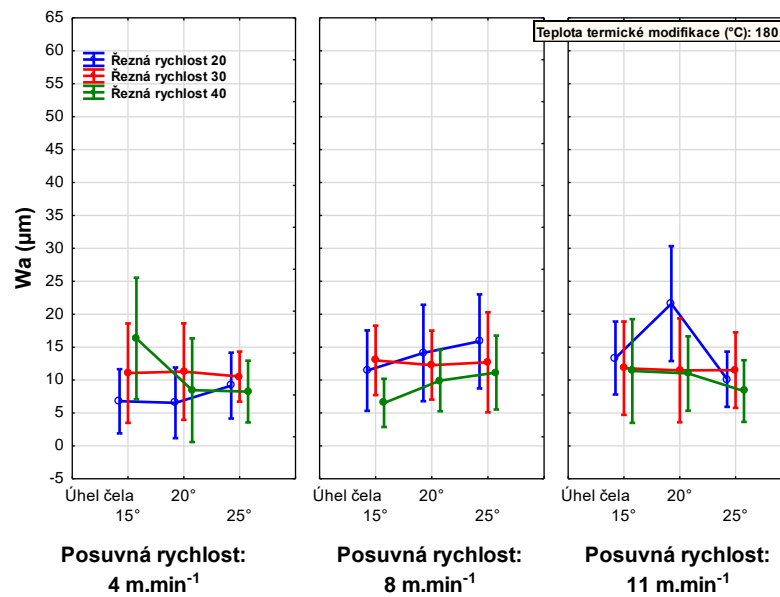
Obr. 65 až Obr. 68 graficky znázorňují vliv všech čtyř hodnocených faktorů na kvalitu opracovaného povrchu konkrétně na střední aritmetickou odchylku profilu vlnitosti u dřeviny Meranti (*Shorea acuminata*). Z Obr. 51 si můžeme všimnout zejména téměř shodných hodnot vlnitosti u řezných rychlostí 30 m.s<sup>-1</sup> u všech posuvných rychlostí i u všech testovaných úhlů čela nástroje. Při řezných rychlostí 20 m.s<sup>-1</sup> a posuvných rychlostí 8 m.min<sup>-1</sup> způsobuje větší úhel čela nástroje větší vlnitost při termické úpravě 160 °C a 180 °C.



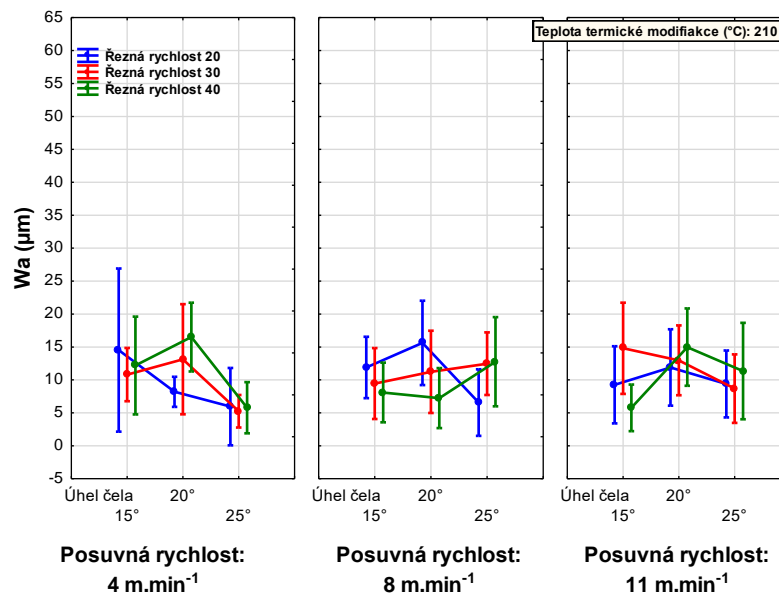
Obr. 65 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Meranti (*Shorea acuminata*)  $t_{mod}$  20 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 66 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Meranti (*Shorea acuminata*)  $t_{mod}$  160 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



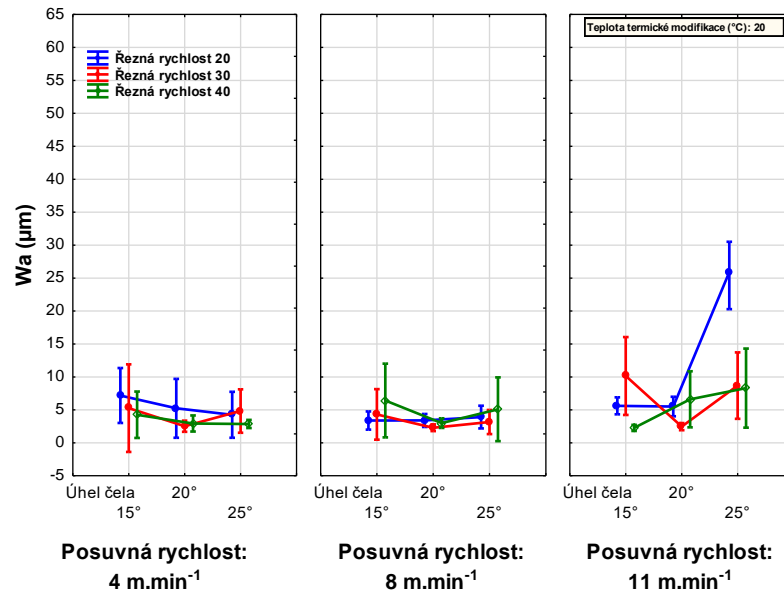
Obr. 67 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Meranti (*Shorea acuminata*)  $t_{mod}$  180 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 68 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Meranti (*Shorea acuminata*)  $t_{mod}$  210 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)

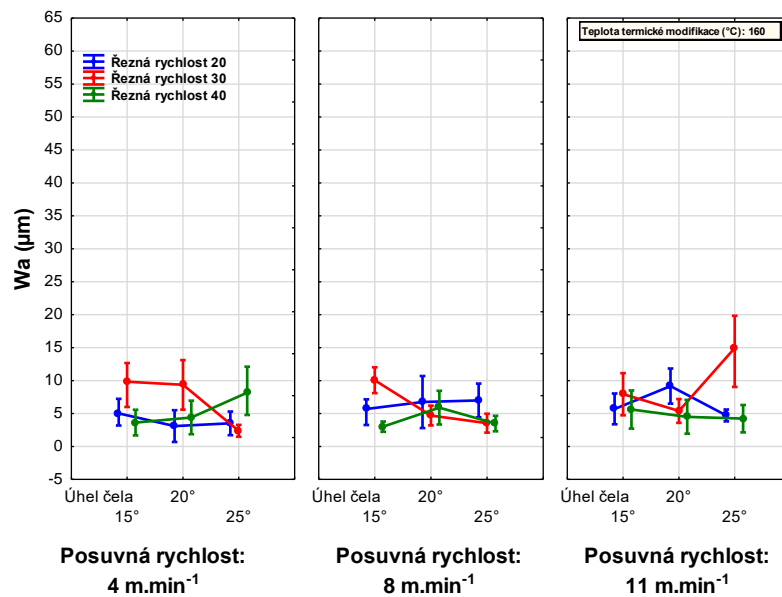
### 10.3.2.1.3 Padouk (*Pterocarpus soyauxii*)

Pro Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) znázorňují výsledky naměřených hodnot vlnitosti Obr. 69 až Obr. 72. U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) termicky modifikovaného při teplotě 210 °C jsme zaznamenali téměř stejnou vlnitost u všech třech rezných rychlostí, úhlu čela 25° a posuvné rychlosti 11 m.min<sup>-1</sup>.



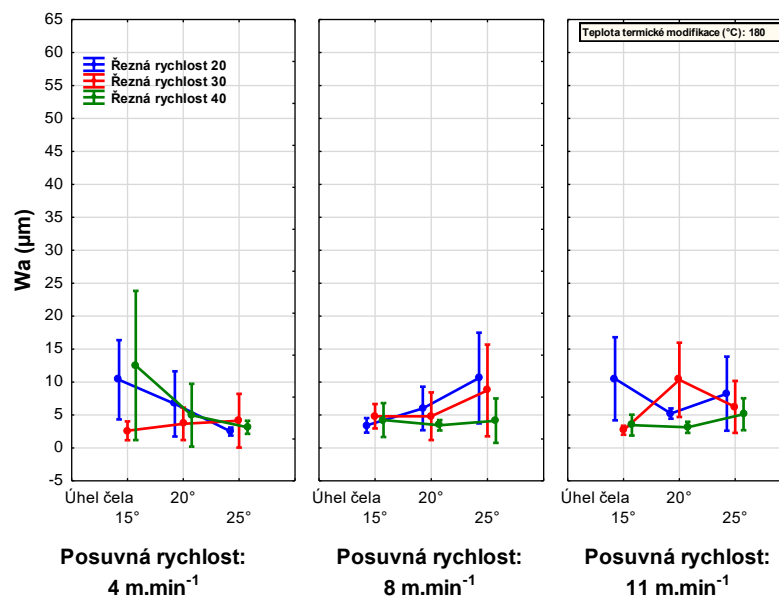
Obr. 69 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)  $t_{mod}$  20 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



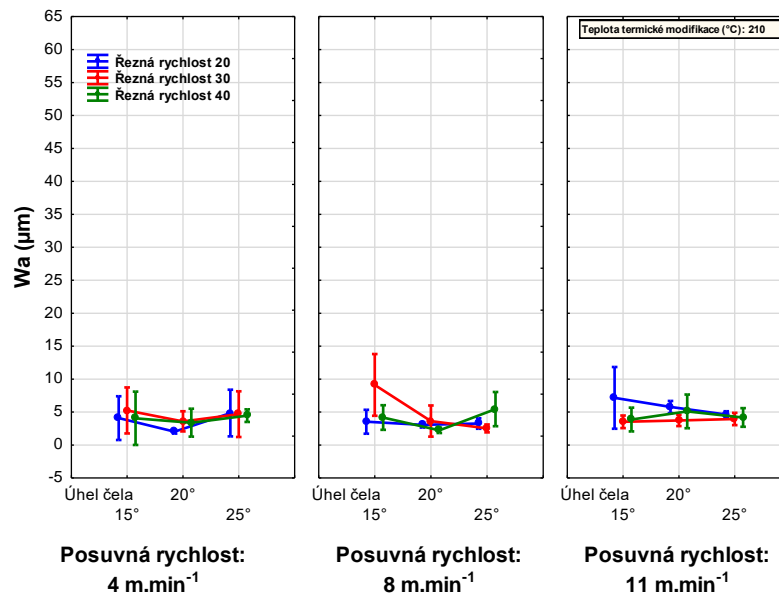
Obr. 70 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)  $t_{mod}$  160 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 71 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)  $t_{mod}$  180 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

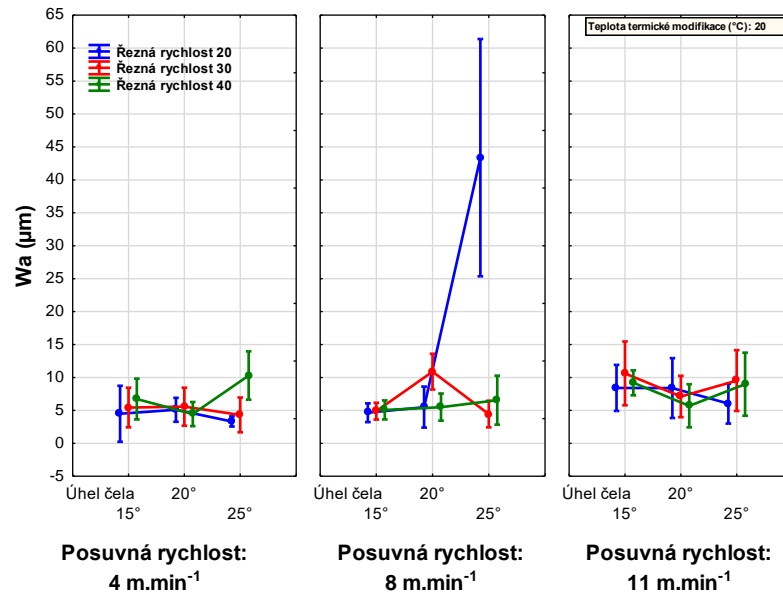


Obr. 72 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)  $t_{mod}$  210 °C

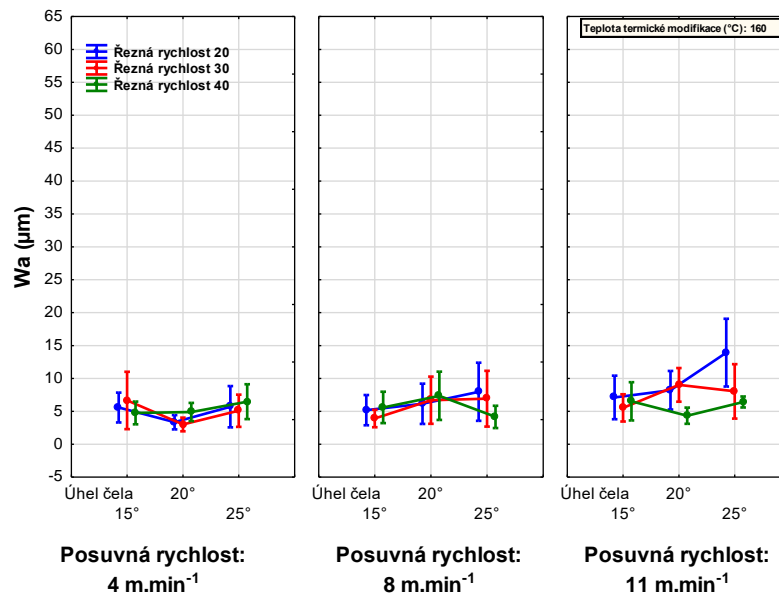
(Zdroj: vlastní tvorba)

#### 10.3.2.1.4 Iroko (*Milicia excelsa*)

Vztahy všech čtyř sledovaných faktorů u dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*) na střední aritmetickou odchylku profilu vlnitosti udávají Obr. 73 až Obr. 76. U termické úpravy 210 °C, posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup>, 8 m.min<sup>-1</sup> a zvětšujícím se úhlu čela nástroje jsme zaznamenali zlepšující se kvalitu opracovaného povrchu z pohledu střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti.

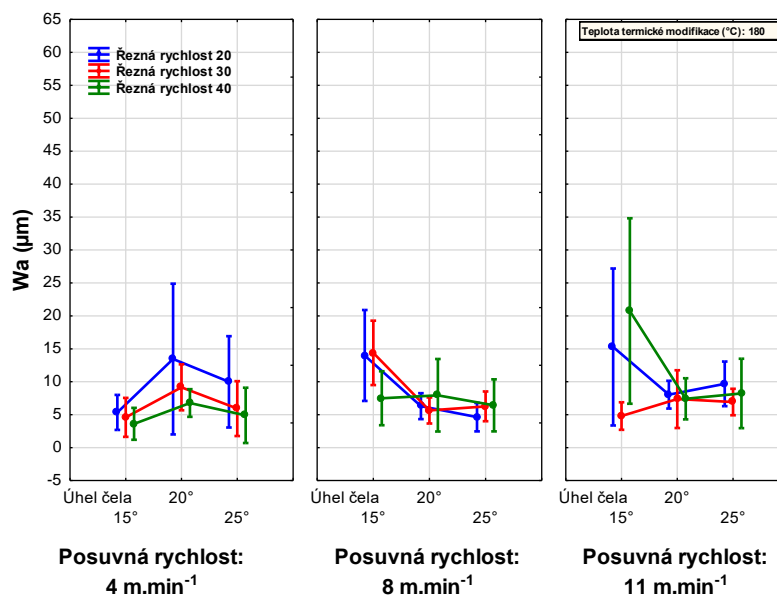


**Obr. 73** Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 20 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



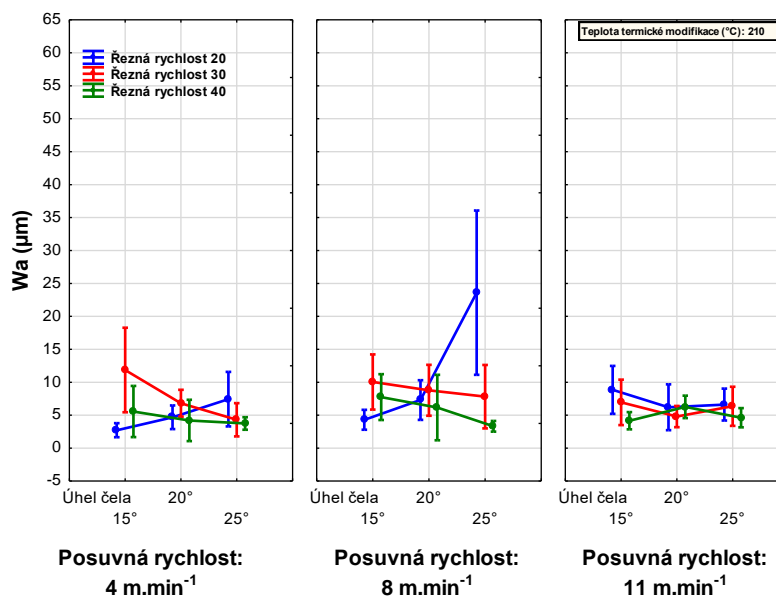
**Obr. 74** Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 160 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)





Obr. 75 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 180 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 76 Vlnitost ( $W_a$ ) po obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 210 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

### 10.3.2 Vliv vybraných faktorů na drsnost ( $R_a$ )

Vliv jednotlivých faktorů i jejich vzájemnou kombinaci na střední aritmetickou odchylku profilu drsnosti udává Tab. 28. Na základě vyhodnocení statistické významnosti „ $P$ “ můžeme konstatovat pro dřevinu Merbau (*Intsia bijuga*), že faktor teplota termické modifikace a posuvná rychlost měli velmi statisticky významný vliv na hodnoty střední aritmetické odchylky profilu drsnosti ( $R_a$ ), statisticky významný vliv jsme zaznamenali u řezné rychlosti, úhlu čela nástroje a vzájemného působení všech čtyř faktorů.

Pro Meranti (*Shorea acuminata*) se projeví všechny hodnocené faktory, kromě faktoru úhel čela nástroje, jako statisticky významné, z čehož faktor posuvná rychlost a faktor teplota termické modifikace byly vyhodnoceny jako statisticky velmi významné.

U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) stejně jako u Meranti (*Shorea acuminata*) byly až na faktor úhle čela všechny faktory statisticky významně působící, z čehož faktory řezná a posuvná

rychlost a vzájemné působení všech čtyřech faktorů bylo vyhodnoceno jako statisticky velmi významné.

Pro dřevinu Iroko (*Milicia excelsa*) byly zaznamenány všechny sledované faktory až na faktor teplota termické modifikace jako statisticky velmi významně působící. Faktor teplota termické modifikace se projevil jako statisticky významně působící.

**Tab. 28** Vliv jednotlivých faktorů na drsnost (*Ra*) a jejich vzájemných interakcí

<b>Vliv vybraných faktorů na kvalitu povrchu – drsnost pro dřevinu Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v <i>F</i> -test	Hladina významnosti <i>P</i>
Intercept	33 952,57	1	33 952,57	2 940,628	0,000000
Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> ) (1)	129,46	2	64,73	5,606	0,003794
Úhel čela (°) (2)	214,77	2	107,39	9,301	0,000100
Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> ) (3)	642,87	2	321,44	27,840	0,000000
Teplota termické modifikace (°C) (4)	1 472,59	3	490,86	42,514	0,000000
1 * 2 * 3 * 4	872,43	24	36,35	3,148	0,000001
Chyba	11 222,74	972	11,55		

Příslušný model popisuje zhruba 57,3 % z celkového počtu čtverců.

<b>Vliv vybraných faktorů na kvalitu povrchu – drsnost pro dřevinu Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>					
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v <i>F</i> -test	Hladina významnosti <i>P</i>
Intercept	50 020,38	1	50 020,38	4 451,170	0,000000
Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> ) (1)	145,30	2	72,65	6,465	0,001625
Úhel čela (°) (2)	18,01	2	9,01	0,802	0,448947
Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> ) (3)	477,95	2	238,98	21,266	0,000000
Teplota termické modifikace (°C) (4)	454,57	3	151,52	13,484	0,000000
1 * 2 * 3 * 4	680,87	24	28,37	2,525	0,000077
Chyba	10 922,93	972	11,24		

Příslušný model popisuje zhruba 88,3 % z celkového počtu čtverců.

**Vliv vybraných faktorů na kvalitu povrchu – drsnost pro dřevinu Padouk (*Pterocarpus soyauxii*)**

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	18 107,07	1	18 107,07	2 311,434	0,000000
Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> ) (1)	279,23	2	139,62	17,823	0,000000
Úhel čela (°) (2)	46,39	2	23,20	2,961	0,052227
Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> ) (3)	453,39	2	226,70	28,939	0,000000
Teplota termické modifikace (°C) (4)	120,80	3	40,27	5,140	0,001572
1 * 2 * 3 * 4	1 624,88	24	67,70	8,643	0,000000
Chyba	7 614,35	972	7,83		

Příslušný model popisuje zhruba 57,3 % z celkového počtu čtverců.

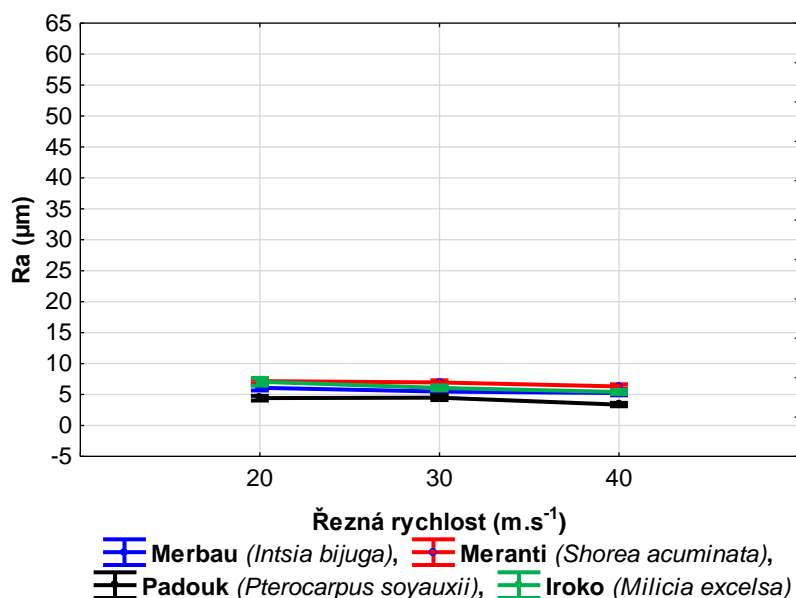
**Vliv vybraných faktorů na kvalitu povrchu – drsnost pro dřevinu Iroko (*Milicia excelsa*)**

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův v F-test	Hladina významnosti P
Intercept	41 267,71	1	41 267,71	4 365,766	0,000000
Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> ) (1)	495,87	2	247,93	26,229	0,000000
Úhel čela (°) (2)	374,87	2	187,43	19,829	0,000000
Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> ) (3)	1 079,37	2	539,68	57,094	0,000000
Teplota termické modifikace (°C) (4)	127,56	3	42,52	4,498	0,003831
1 * 2 * 3 * 4	2 512,57	24	104,69	11,075	0,000000
Chyba	9 187,90	972	9,45		

Příslušný model popisuje zhruba 88,3 % z celkového počtu čtverců.

NS – statisticky nevýznamný, \*\*\* - statisticky významný, P < 0,05

Vliv různé řezné rychlosti pro zkoumané dřeviny na drsnost opracovaného povrchu je graficky znázorněn na Obr. 77. Můžeme zde pozorovat pokles hodnot drsnosti u všech sledovaných dřevin se zvyšováním řezné rychlosti. Nejlepších hodnot drsnosti bylo dosaženo u dřeviny Padouk (*Pterocarpus soyauxii*). Ke stejným závěrům došli také Kvietková, Gašparík a Kaplan (2015) na javoru (*Acer platanoides*), Corleto *et al.* (2020) u dřeviny africký padouk (*Pterocarpus soyauxii* Taub.) a Costes (2002) při zkoumání různých parametrů obrábění. Stejných trendů bylo dosaženo díky podobným parametrům obrábění. Ke zlepšení hodnot střední aritmetické hodnoty profilu drsnosti při vyšších řezných rychlostech dochází díky rychlejšímu procesu řezání. Nedochází tak k destrukci materiálu vlivem komprese, nýbrž k jeho řezání.



**Obr. 77** Vliv řezné rychlosti na drsnost ( $Ra$ ) pro jednotlivé dřeviny  
(Zdroj: vlastní tvorba)

V Tab. 29 je zaznamenáno vyhodnocení Duncanova testu vlivu různých řezných rychlostí na střední aritmetickou odchylku profilu drsnosti ( $Ra$ ) u jednotlivých dřevin.

Dle provedeného testu je u Merbau (*Intsia bijuga*) statisticky významný vztah mezi změnou řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup> a 30 m.s<sup>-1</sup> i 20 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup>.

Pro Meranti (*Shorea acuminata*) můžeme sledovat statisticky významný vztah mezi hodnotami řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup> i 30 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup>.

U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) jsme sledovali dva statisticky velmi významné vztahy mezi hodnotami řezných rychlostí 20 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup> i 30 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup>.

I u Iroka (*Milicia excelsa*) jsme taktéž zaznamenali dva vztahy mezi řeznými rychlostmi jako statisticky velmi významně působící, a to 20 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup> i 20 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup>. Změnu mezi 30 m.s<sup>-1</sup> a 40 m.s<sup>-1</sup> jsme pozorovali jako statisticky významnou. Ostatní vztahy mezi změnami řezných rychlostí byly na základě provedeného testu hodnoceny jako statisticky nevýznamné.

**Tab. 29** Vliv řezné rychlosti na drsnost ( $Ra$ ) pro jednotlivé dřeviny

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) 6,0770	(2) 5,4907	(3) 5,2539
1.	20		0,021	0,002
2.	30	0,021		0,350
3.	40	0,002	0,350	

<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) 7,1601	(2) 6,9561	(3) 6,3004
1.	20		0,414	0,001
2.	30	0,414		0,009
3.	40	0,001	0,009	

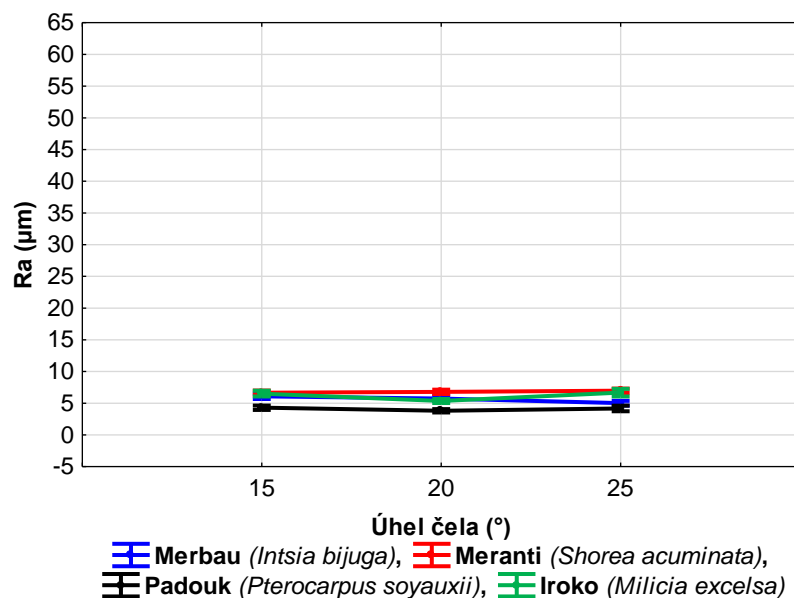
  

<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) 4,4146	(2) 4,4923	(3) 3,3769
1.	20		0,709	0,000
2.	30	0,709		0,000
3.	40	0,000	0,000	

<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>				
Číslo	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	(1) 7,30592	(2) 6,0757	(3) 5,4096
1.	20		0,000	0,000
2.	30	0,000		0,004
3.	40	0,000	0,004	

Vliv úhlu čela nástroje na stření aritmetickou odchylku profilu drsnosti graficky zobrazuje Obr. 78. Nejlepších hodnot jsme zaznamenali u dřeviny Padouk (*Pterocarpus soyauxii*).



**Obr. 78** Vliv úhlu čela nástroje na drsnost ( $R_a$ ) pro jednotlivé dřeviny  
(Zdroj: vlastní tvorba)

Duncanův test jsme provedli taktéž pro hodnocení vlivu úhlu čela nástroje na drsnost opracovaného povrchu (viz Tab. 30).

Pro Merbau (*Intsia bijuga*) jsme zaznamenali statisticky velmi významný vliv změny úhlu čela nástroje mezi 15° a 25°, statisticky významný vliv jsme poté zaznamenali mezi hodnotami úhlu čela nástroje 20° a 25°.

Statisticky významný vliv úhlu čela u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) byl sledován ve vztahu mezi hodnotami 15° a 20°.

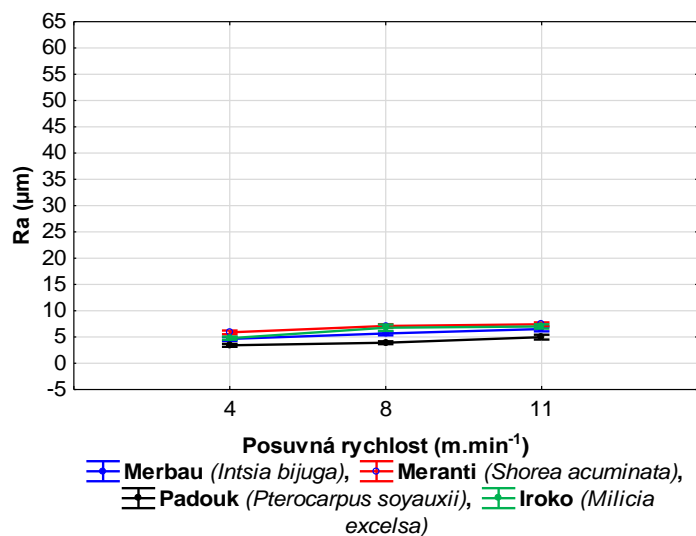
Test Iroka (*Milicia excelsa*) prokázal dva statisticky velmi významné vztahy, a to mezi hodnotami úhlů čela 15° a 20° i 20° a 25°. Ostatní vztahy mezi úhly čela nástroje se u všech dřevin projevily jako statisticky nevýznamné.

**Tab. 30 Vliv úhlu čela nástroje na drsnost (*Ra*) pro jednotlivé dřeviny**

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1)	(2)	(3)
		<b>6,0852</b>	<b>5,7240</b>	<b>5,0123</b>
1.	15		0,154	0,000
2.	20	0,154		0,005
3.	25	0,000	0,005	
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1)	(2)	(3)
		<b>6,6542</b>	<b>6,7926</b>	<b>6,96989</b>
1.	15		0,580	0,236
2.	20	0,580		0,478
3.	25	0,236	0,478	
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1)	(2)	(3)
		<b>4,2956</b>	<b>3,8094</b>	<b>4,1788</b>
1.	15		0,026	0,575
2.	20	0,026		0,077
3.	25	0,575	0,077	
<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>				
Číslo	Úhel čela (°)	(1)	(2)	(3)
		<b>6,5169</b>	<b>5,3533</b>	<b>6,6743</b>
1.	15		0,000	0,492
2.	20	0,000		0,000
3.	25	0,492	0,000	

Z grafického zobrazení výsledků vlivu posuvné rychlosti na Obr. 79 na drsnost opracovaného povrchu můžeme konstatovat zhoršování hodnot drsnosti se zvyšováním posuvné rychlosti pro všechny dřeviny. Pro dřevo buk (*Fagus sylvatica* L.) jak bez termické, tak s termickou úpravou prokázali Kvietková, Gašparík a Gaff (2005) zhoršující vliv řezné rychlosti na drsnost opracovaného povrchu. Toto potvrdili také Kaplan *et al.* (2018) u dřeviny dub (*Quercus cerris*), také Škaljić *et al.* (2009) u dřevin pařený buk (*Fagus* L.), termicky upravený buk na 212 °C (*Fagus* L.), dub (*Quercus* L.) a Barcík *et al.* (2009) u topolu osiky (*Populus tremula* L.) a Korčok *et al.* (2019) u termicky modifikovaného smrkového dřeva (*Picea abies*). Z výše uvedeného tedy vyplývá, že vliv posuvné rychlosti při obrábění tropických dřevin je podobný, jako při obrábění dřevin domácích. Tento jev je způsoben tvorbou větších třísek a s tím souvisejícím horším dělením jednotlivých vláken. Při vyšší posuvné rychlosti dochází

vlivem většího odebrání materiálu v hlubších vrstvách odebíraného materiálu nejen k jeho řezání, ale i k jeho vytrhávání. Právě to způsobuje hodnoty sledované charakteristiky.



**Obr. 79** Vliv posuvné rychlosti na drsnost ( $R_a$ ) pro jednotlivé dřeviny  
(Zdroj: vlastní tvorba)

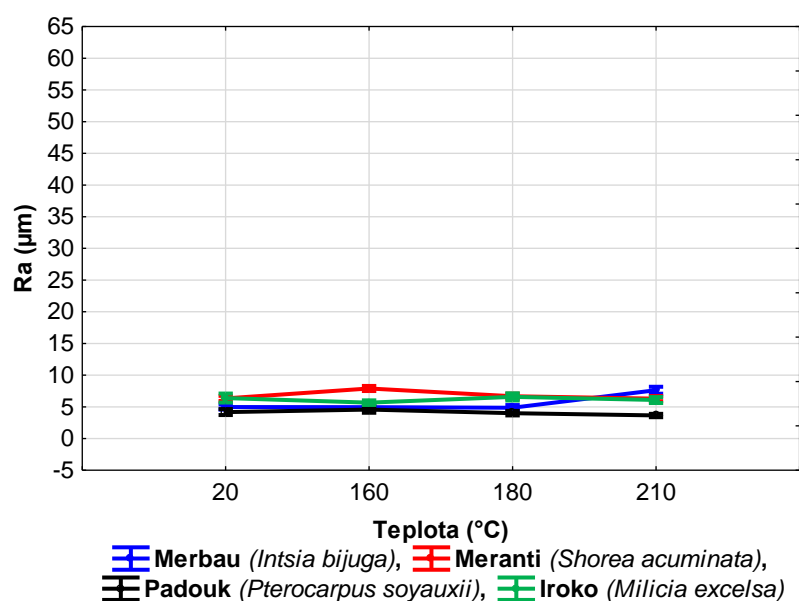
Duncanův test v oblasti vlivu posuvné rychlosti na hodnoty střední aritmetické odchylky profilu drsnosti prokázal statisticky významný nebo statisticky velmi významný vztah téměř u všech změn hodnot posuvné rychlosti, s výjimkou vztahů mezi rychlostmi 8 m.min<sup>-1</sup> a 11 m.min<sup>-1</sup> u Meranti (*Shorea acuminata*) a Iroka (*Milicia excelsa*).

**Tab. 31** Vliv posuvné rychlosti na drsnost ( $R_a$ ) pro jednotlivé dřeviny

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>				
Číslo	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	(1) 4,6341	(2) 5,6707	(3) 6,5197
1.	4		0,000	0,000
2.	8	0,000		0,001
3.	11	0,000	0,001	
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>				
Číslo	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	(1) 5,8846	(2) 7,0996	(3) 7,4324
1.	4		0,000	0,000
2.	8	0,000		0,183
3.	11	0,000	0,183	
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>				
Číslo	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	(1) 3,4159	(2) 3,9008	(3) 4,9671
1.	4		0,020	0,000
2.	8	0,020		0,000
3.	11	0,000	0,000	

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )				
Číslo	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	(1) 4,7750	(2) 6,7606	(3) 7,0089
1.	4		0,000	0,000
2.	8	0,000		0,279
3.	11	0,000	0,279	

Obr. 80 zobrazuje vliv stupně termické modifikace na drsnost opracovaného povrchu. Můžeme zde pozorovat dosažení nejlepších hodnot drsnosti u dřeviny Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), nejlepších hodnot u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) jsme dosáhli taktéž při hodnocení z pohledu střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti v předchozí kapitole.



**Obr. 80 Vliv termické modifikace na drsnost ( $R_a$ ) pro jednotlivé dřeviny**  
(Zdroj: vlastní tvorba)

Vliv stupně termické modifikace na hodnoty střední aritmetické odchylky profilu drsnosti ( $R_a$ ) a jeho vyhodnocení Duncanovým testem je zaznamenáno v Tab. 32. Z tabulky vyplývá, že pro Merbau (*Intsia bijuga*) jsou právě tři vztahy mezi různými stupni termické modifikace velmi významné, a to vztah mezi 20 °C a 210 °C, 160 °C a 210 °C, 180 °C a 210 °C.

Tři statisticky velmi významné vztahy se projevily i u Meranti (*Shorea acuminata*), byly to vztahy mezi teplotami 20 °C a 160 °C, 160 °C a 180 °C, 160 °C a 210 °C.

U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) se projevily statisticky velmi významně vztahy mezi teplotami úprav 160 °C a 210 °C, významně vztahy mezi teplotami 20 °C a 210 °C, 160 °C a 180 °C.

Dvě statisticky významně působící změny nacházíme u Iroka (*Milicia excelsa*), jsou to změny mezi teplotami úprav 20 °C a 160 °C i 160 °C a 180 °C. Veškeré ostatní vztahy mezi teplotami termické modifikace u všech sledovaných dřevin se projevily jako statisticky nevýznamné.



**Tab. 32 Vliv termické modifikace na drsnost (*Ra*) pro jednotlivé dřeviny**

<b>Merbau (<i>Intsia bijuga</i>)</b>					
<b>Číslo</b>	<b>Teplota termické modifikace (°C)</b>	<b>(1) 4,9705</b>	<b>(2) 4,9559</b>	<b>(3) 4,8734</b>	<b>(4) 7,6290</b>
<b>1.</b>	<b>20</b>		0,960	0,757	0,000
<b>2.</b>	<b>160</b>	0,960		0,778	0,000
<b>3.</b>	<b>180</b>	0,757	0,778		0,000
<b>4.</b>	<b>210</b>	0,000	0,000	0,000	
<b>Meranti (<i>Shorea acuminata</i>)</b>					
<b>Číslo</b>	<b>Teplota termické modifikace (°C)</b>	<b>(1) 6,3408</b>	<b>(2) 7,8989</b>	<b>(3) 6,6841</b>	<b>(4) 6,2983</b>
<b>1.</b>	<b>20</b>		0,000	0,234	0,883
<b>2.</b>	<b>160</b>	0,000		0,000	0,000
<b>3.</b>	<b>180</b>	0,234	0,000		0,209
<b>4.</b>	<b>210</b>	0,883	0,000	0,209	
<b>Padouk (<i>Pterocarpus soyauxii</i>)</b>					
<b>Číslo</b>	<b>Teplota termické modifikace (°C)</b>	<b>(1) 4,1802</b>	<b>(2) 4,5645</b>	<b>(3) 3,9972</b>	<b>(4) 3,6366</b>
<b>1.</b>	<b>20</b>		0,111	0,448	0,032
<b>2.</b>	<b>160</b>	0,111		0,025	0,000
<b>3.</b>	<b>180</b>	0,448	0,025		0,134
<b>4.</b>	<b>210</b>	0,032	0,000	0,134	
<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>					
<b>Číslo</b>	<b>Teplota termické modifikace (°C)</b>	<b>(1) 6,3925</b>	<b>(2) 5,6729</b>	<b>(3) 6,5802</b>	<b>(4) 6,0803</b>
<b>1.</b>	<b>20</b>		0,009	0,478	0,238
<b>2.</b>	<b>160</b>	0,009		0,001	0,124
<b>3.</b>	<b>180</b>	0,478	0,001		0,074
<b>4.</b>	<b>210</b>	0,238	0,124	0,074	

### 10.3.3.1 Čtyřfaktorové interakce

Na Obr. 81 až Obr. 96 získáme detailní přehled z naměřených dat o hodnotách střední aritmetické odchylky profilu drsnosti opracovaného povrchu na zkoumaných tropických dřevinách.

Z obrázků níže je patrné, že na hodnoty sledované veličiny profilu drsnosti má u Merbau (*Intsia bijuga*) nejvýraznější vliv změna úhlu čela nástroje při posuvné rychlosti 11 m.min<sup>-1</sup>, všech řezných rychlostech a všech stupních termické modifikace. Nejmenší vliv úhlu čela

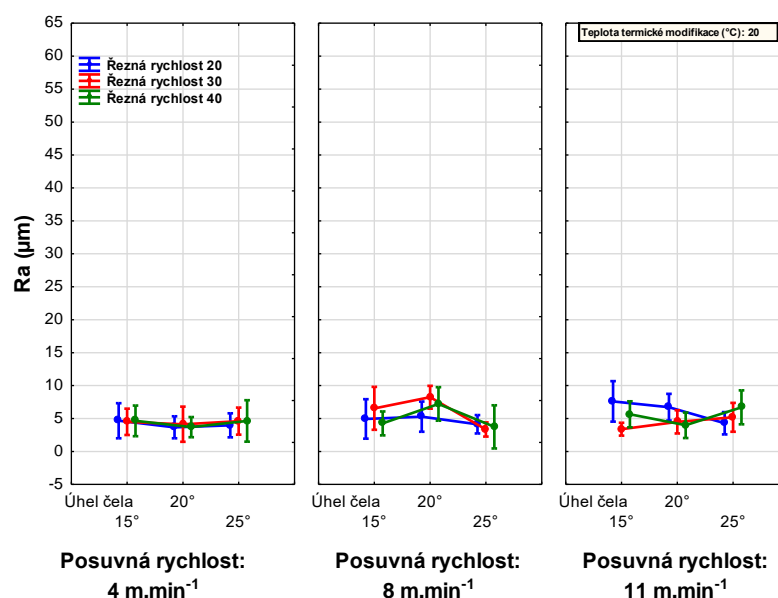
nástroje sledujeme u Merbau (*Intsia bijuga*) bez termické modifikace při posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup> u všech testovaných řezných rychlostí.

Nejmenšího vlivu úhlu čela nástroje si můžeme všimnout při stejných parametrech u Merbau (*Intsia bijuga*) i u Meranti (*Shorea acuminata*). U Meranti (*Shorea acuminata*) jsme zaznamenali nejnižší hodnoty drsnosti při řezné rychlosti 40 m.s<sup>-1</sup> u termické modifikace na 160 °C i 180 °C, a posuvné rychlosti 11 m.min<sup>-1</sup>.

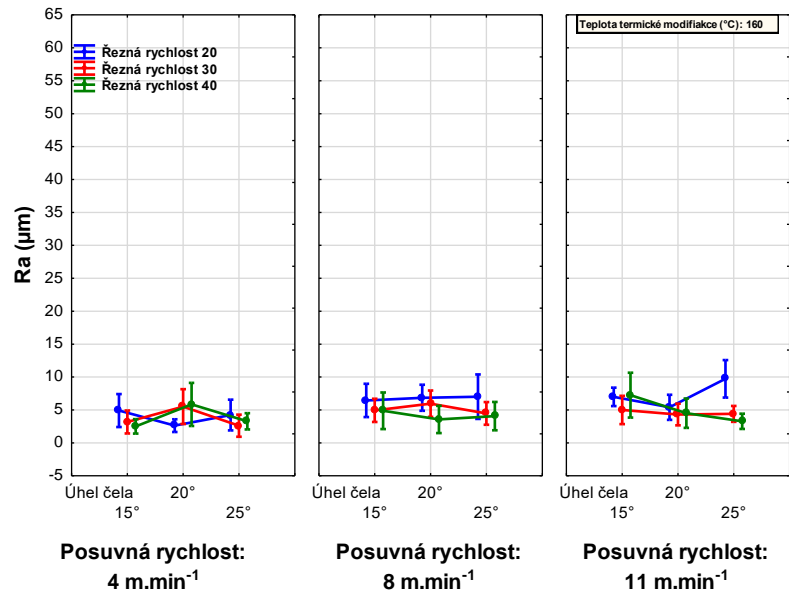
U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) jsme zachytili se zvyšováním úhlu čela zlepšení kvality povrchu u téměř u všech termických úprav při posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup> a řezné rychlosti 40 m.s<sup>-1</sup>. U teploty modifikace 180 °C a řezné rychlosti 30 m.s<sup>-1</sup> jsme zaznamenali trend zhoršování drsnosti povrchu u všech posuvných rychlostí při zvyšování hodnoty úhlu čela nástroje.

U dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*) ve všech jeho stupních termické modifikace včetně dřeva bez modifikace a řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup> dochází ke zhoršení hodnot drsnosti se zvýšením hodnot úhlu čela nástroje. U řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup> jsme u dřeva bez termické modifikace sledovali u všech posuvných i řezných rychlostí zlepšení hodnot střední aritmetické odchylky drsnosti při zvětšení úhlu čela nástroje z 15° na 20° a zhoršení sledovaných hodnot při zvýšení hodnoty úhlu čela nástroje na 25°.

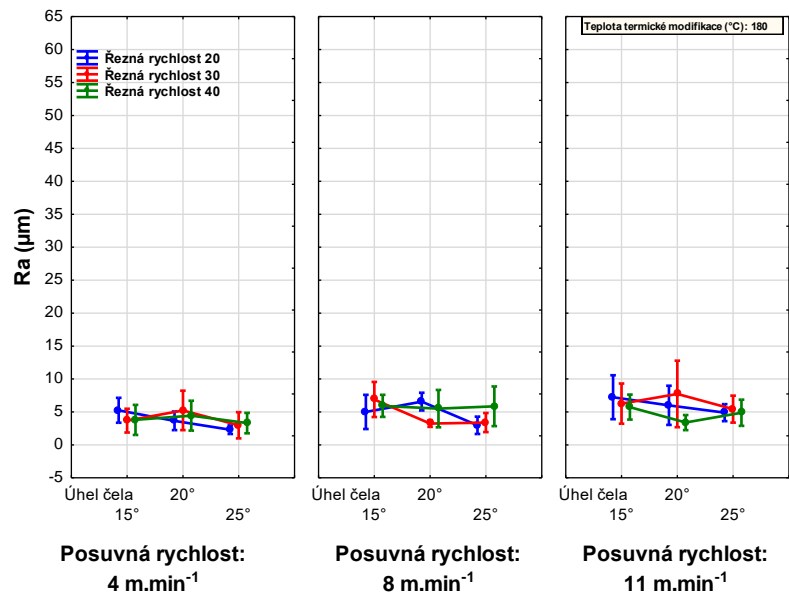
### 10.3.2.1.1 Merbau (*Intsia bijuga*)



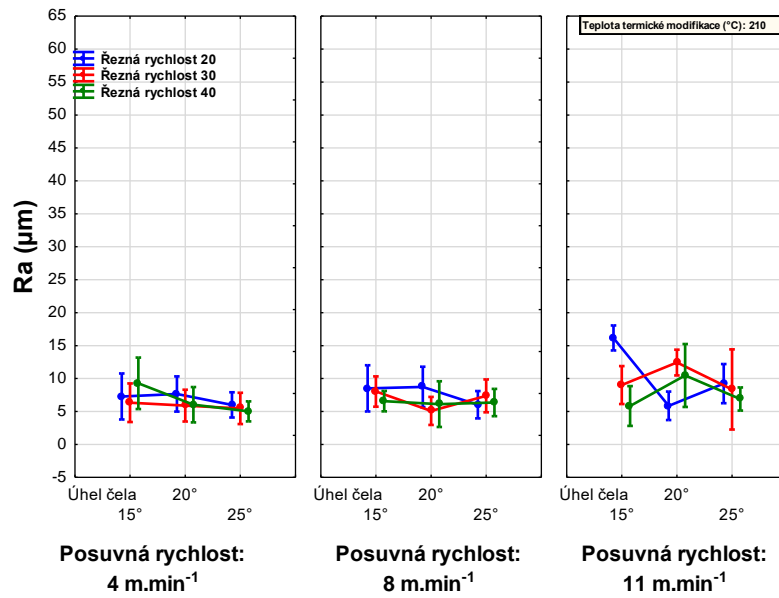
Obr. 81 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Merbau (*Intsia bijuga*)  $t_{mod}$  20 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 82 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Merbau (*Intsia bijuga*)  $t_{mod}$  160 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)

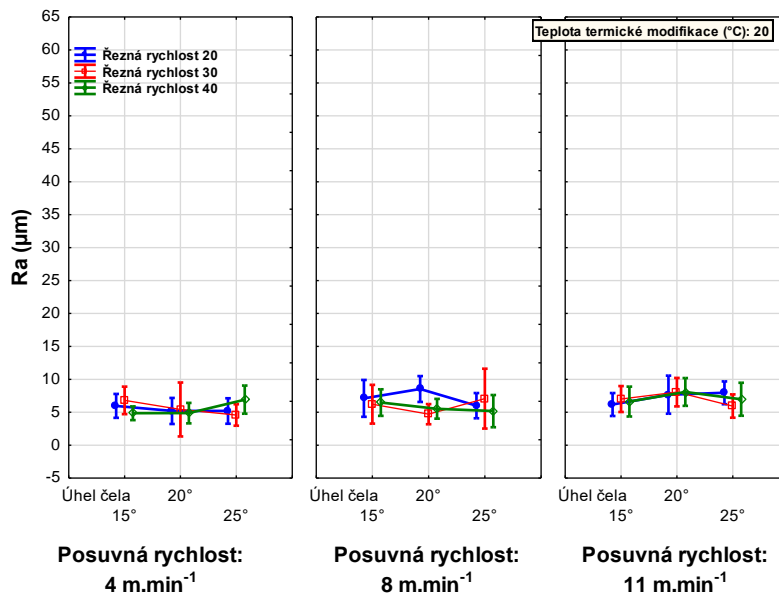


Obr. 83 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Merbau (*Intsia bijuga*)  $t_{mod}$  180 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)

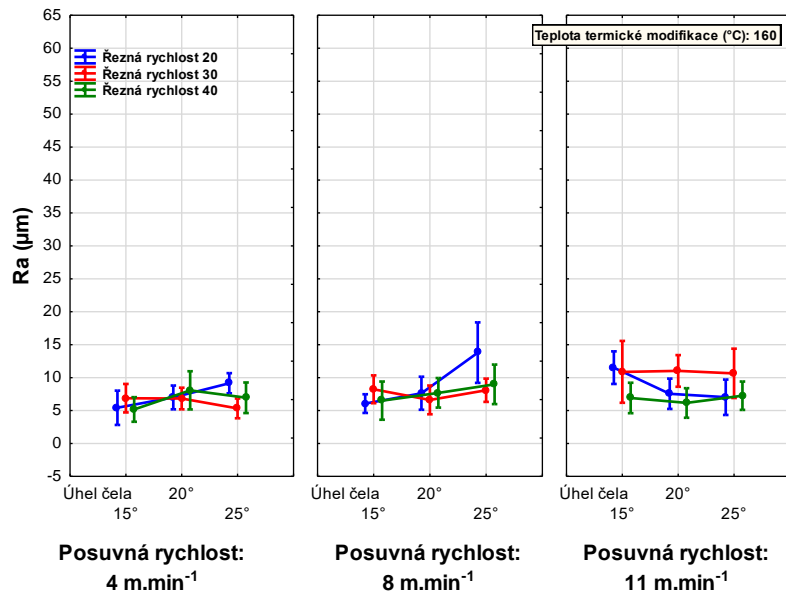


Obr. 84 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Merbau (*Intsia bijuga*)  $t_{mod}$  210 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)

### 10.3.2.1.2 Meranti (*Shorea acuminata*)

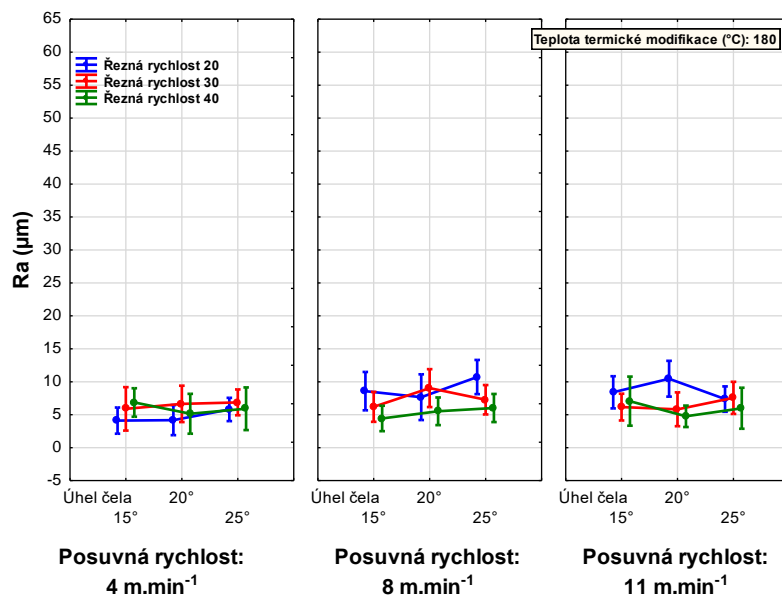


Obr. 85 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Meranti (*Shorea acuminata*)  $t_{mod}$  20 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



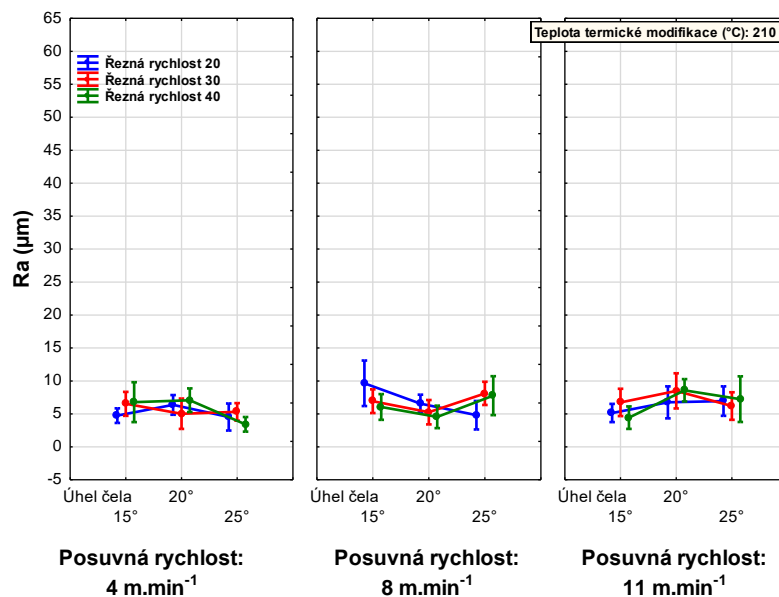
Obr. 86 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Meranti (*Shorea acuminata*)  $t_{mod}$  160 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



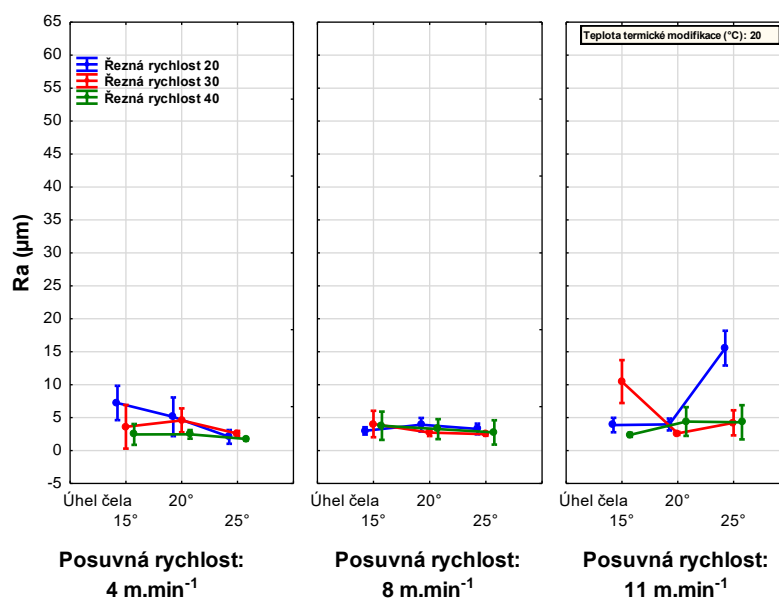
Obr. 87 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Meranti (*Shorea acuminata*)  $t_{mod}$  180 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

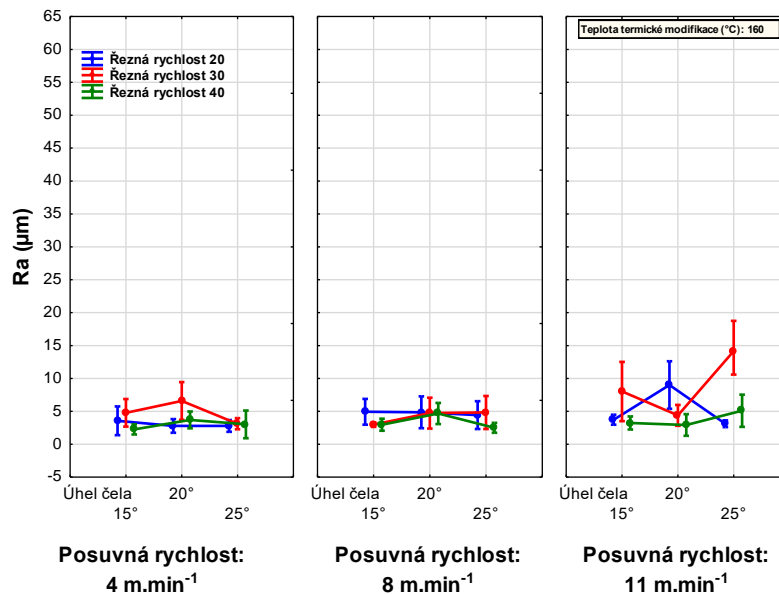


Obr. 88 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Meranti (*Shorea acuminata*)  $t_{mod}$  210 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)

### 10.3.2.1.3 Padouk (*Pterocarpus soyauxii*)

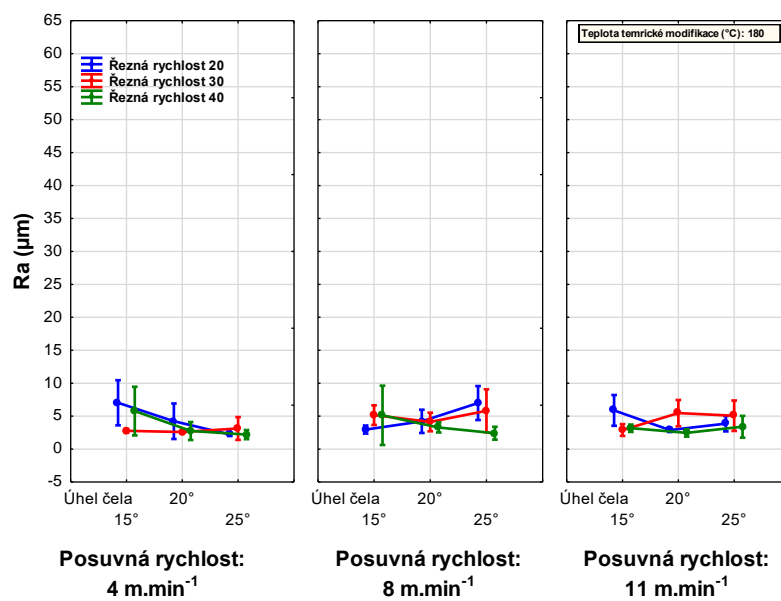


Obr. 89 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)  $t_{mod}$  20 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



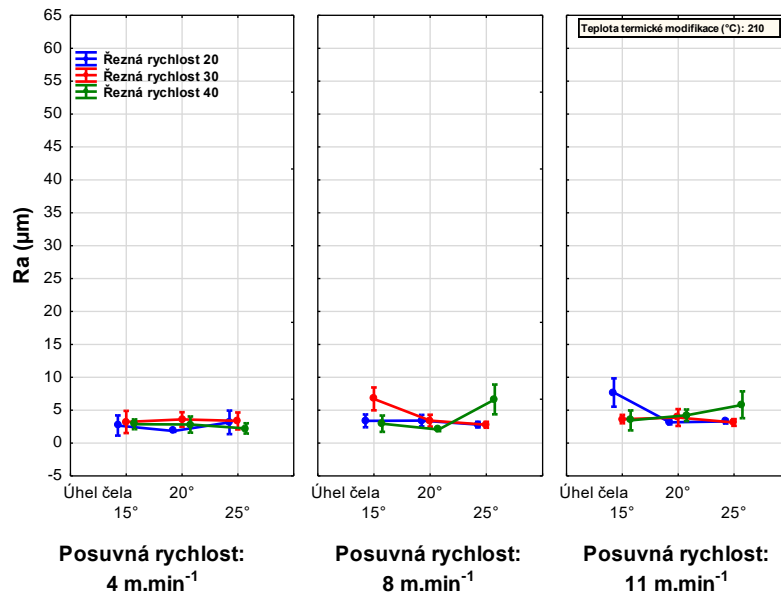
Obr. 90 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)  $t_{mod}$  160 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 91 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)  $t_{mod}$  180 °C

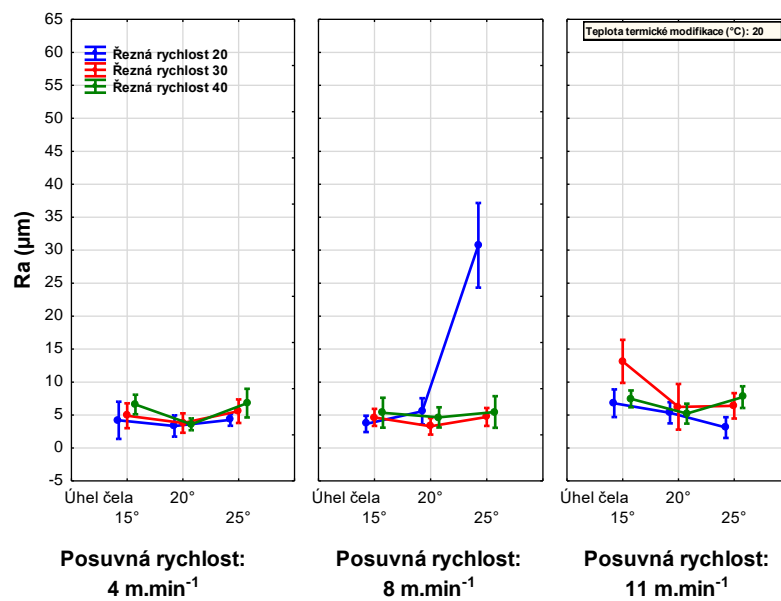
(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 92 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Padouky (*Pterocarpus soyauxii*)  $t_{mod}$  210 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

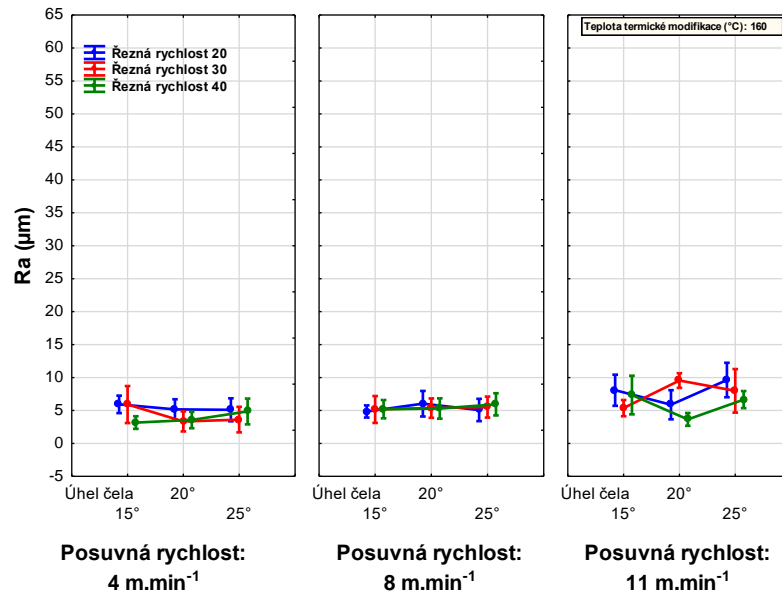
#### 10.3.2.1.4 Iroko (*Milicia excelsa*)



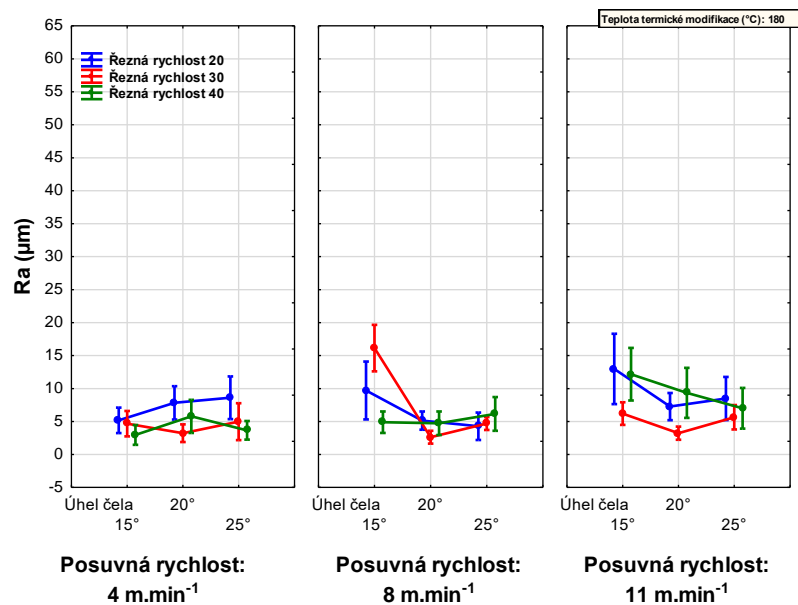
Obr. 93 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 20 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

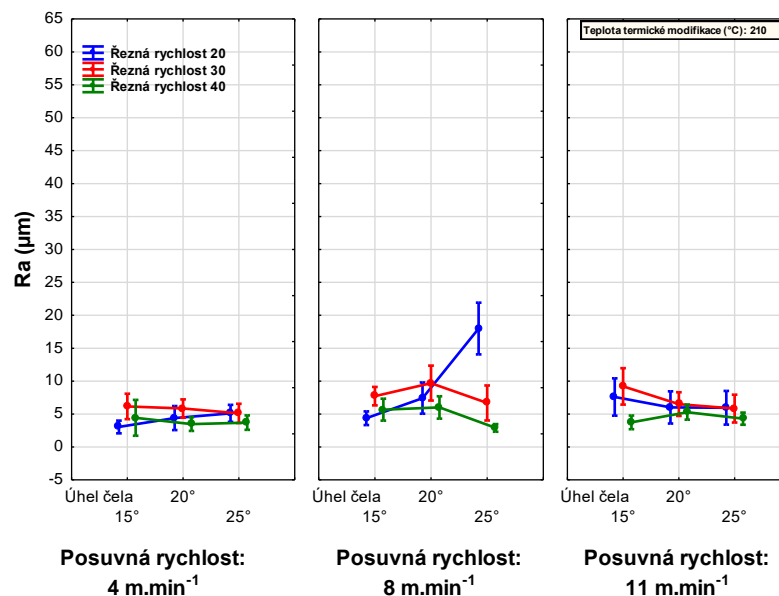




Obr. 94 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 160 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 95 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 180 °C  
(Zdroj: vlastní tvorba)



Obr. 96 Drsnost ( $R_a$ ) po obrábění Iroka (*Milicia excelsa*) TW 210 °C

(Zdroj: vlastní tvorba)

## 10.4 Optimální kombinace parametrů obrábění

Pro vědu i praxi je nezbytné vyhodnocení optimálních parametrů obrábění při zahrnutí všech zkoumaných veličin najednou. V naší práci jsme sestavili vyhodnocení pro každou jednu zkoumanou dřevinu. Nejprve jsme vyhodnotili optimální kombinaci veškerých parametrů, kde byly zahrnuty jmenovitě parametry řezná rychlost, úhel čela nástroje, posuvná rychlost, teplota termické modifikace v závislosti na zkoumaných charakteristikách – drsnost, vlnitost i energetická náročnost. V praxi je proces obrábění (rovinné frézování) vždy kompromisem mezi ideálními jednotlivými parametry. V naší práci přinášíme pro praxi vyhodnocení právě ideálních kombinací jednotlivých parametrů obrábění tropických dřevin, jak termicky modifikovaných, tak bez termické modifikace.

V další části jsme sestavili vyhodnocení z ekonomického pohledu procesu rovinného frézování.

### 10.4.1 Optimální kombinace veškerých parametrů z technického hlediska

Z technického hlediska shrnuje pro dřevinu Merbau (*Intsia bijuga*) ideální parametry Tab. 33. Nejlepšími parametry jsou, řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 25°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a teplota termické modifikace 180 °C. Jako nejméně výhodná se ukázala varianta s řeznou rychlostí 40 m.s<sup>-1</sup>, úhlem čela 20°, posuvnou rychlostí 8 m.min<sup>-1</sup>. Pokud bychom porovnali nejlepší a nejhorší kombinace parametrů dojdeme k závěru, že střední aritmetická odchylka profilu vlnitosti dosahuje u nejhorší varianty 3× horšího výsledku, střední aritmetická odchylka profilu drsnosti je 2,5× horší a energetická náročnost stoupne o necelých 60 %.

**Tab. 33 Optimální kombinace parametrů u Merbau (*Intsia bijuga*)**

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )						
Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa (μm)	Ra (μm)	Energetická náročnost (W)
20	25	4	180	3	2	340
20	20	4	160	3	3	350
20	25	8	180	6	3	340
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
40	15	4	210	15	9	420
40	15	11	160	12	7	500
40	20	8	20	12	7	540

Ideální kombinaci všech parametrů obrábění dřeviny Meranti (*Shorea acuminata*) shrnuje Tab. 34. Jako nejlepší kombinace parametrů byla vyhodnocena kombinace řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 25°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a teplota termické modifikace 210 °C. Nejméně vhodná kombinace parametrů obrábění je řezná rychlost 40 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 20°, posuvná rychlost 11 m.min<sup>-1</sup> a teplota termické modifikace 210 °C. U nejhorší kombinace parametrů je ve srovnání s nejlepší kombinací parametrů vlnitost 1,5× horší, drsnost horší o 80 % a energetická náročnost je více jak 2× horší.

**Tab. 34 Optimální kombinace parametrů u Meranti (*Shorea acuminata*)**

Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )						
Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa (μm)	Ra (μm)	Energetická náročnost (W)
20	25	4	210	6	5	287
20	20	4	180	7	4	293
20	25	8	210	7	5	293
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
30	20	11	160	23	11	403
40	20	4	160	15	8	577
40	20	11	210	15	9	577

U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) jsme v Tab. 35. vyhodnotili jako nejlepší kombinaci parametrů obrábění řeznou rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela 20°, posuvnou rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a teplotu termické modifikace 210 °C. Nejméně vhodná kombinace parametrů byla s řeznou rychlostí 40 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 15°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a teplota termické modifikace 180 °C. Ve srovnání s nejlepší kombinací parametrů sledujeme 5,5× vyšší hodnotu vlnitosti, 2× vyšší hodnotu drsnosti a spotřeba elektrické energie dosahuje téměř dvounásobnou hodnotu.

**Tab. 35 Optimální kombinace parametrů pro Padouk (*Pterocarpus soyauxii*)**

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )						
Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa (μm)	Ra (μm)	Energetická náročnost (W)
20	20	4	210	2	2	290
20	25	4	180	2	2	288
20	20	4	160	3	3	288
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
40	25	11	20	8	4	595
30	15	11	20	10	10	400
40	15	4	180	13	6	563

Pro dřevinu Iroko (*Milicia excelsa*) jsme našli ideální parametry v hodnotách řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup>, úhlu čela 15°, posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup> a teplotě termické modifikace 210 °C. Nejhorší výsledky se projevily v kombinaci parametrů řezné rychlosti 40 m.min<sup>-1</sup>, úhlu čela nástroje 15°, posuvné rychlosti 11 m.min<sup>-1</sup> a teplotě termické modifikace 180 °C. U vlnitosti jsme zaznamenali 6násobný rozdíl mezi nejlepší a nejhorší hodnotou, u drsnosti to byl 3násobek a u energetické náročnosti téměř 2,1násobek. Tyto výsledky jsou zaznamenány v Tab. 36.

**Tab. 36 Optimální kombinace parametrů u Iroka (*Milicia excelsa*)**

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )						
Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa (μm)	Ra (μm)	Energetická náročnost (W)
20	15	4	210	3	3	287
20	25	4	20	3	4	299
20	20	4	20	5	3	300
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
40	25	11	20	9	8	583
40	15	11	20	9	7	603
40	15	11	180	21	12	600

U všech zkoumaných tropických dřevin se v nejlepších parametrech vždy opakovala řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup> a posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup>. Z toho můžeme konstatovat, že tyto hodnoty jsou z globálního pohledu nejvhodnější. V dnešní době je pro praxi velice důležité vyhodnocení z pohledu ekonomiky provozu.

## 10.4.2 Vyhodnocení kombinací parametrů z pohledu ekonomiku provozu

V dnešní době a průmyslovém zpracování dřeva je pro praxi velice důležité znát nevhodnější parametry obrábění a jejich kombinace. V konečném důsledku potřebujeme vždy znát i energetickou náročnost obrábění za daných parametrů, abychom mohli správně stanovit náklady na daný produkt včetně všech ekologických aspektů výroby. V této kapitole jsou proto přehledně shrnuty nejlepší výsledky z pohledu jednotlivých technicko-technologických faktorů a dále jsou zde zpracovány náklady na obrábění za daných parametrů.

### 10.4.2.1 Hodnocení ekonomiky obrábění pro dřevinu Merbau (*Intsia bijuga*)

Pokud požadujeme dosažení nejlepších výsledků v oblasti drsnosti opracovaného povrchu, bohužel není možné zároveň dosáhnout nejnižších nákladů na obrábění, Tab. 37. Nejlepších výsledků drsnosti jsme dosáhli u řezné rychlosti 40 m.s<sup>-1</sup>, úhlu čela nástroje 25°, posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup> a dřeva bez termické modifikace. V tomto případě byly náklady na obrábění za jeden rok při dvousměnném provozu 9 601 Kč.

Tab. 37 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Merbau (*Intsia bijuga*)

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	40	25	4	20	3	2	543	9 601
2	20	20	4	210	2	2	290	5 124
3	40	20	8	210	2	2	557	9 837
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	30	25	11	160	15	14	335	5 920
108	20	25	11	20	26	16	300	5 301

Z pohledu vlnitosti jsme dosáhli nejlepšího výsledku při kombinaci parametrů řezné rychlosti 30 m.s<sup>-1</sup>, úhlu čela nástroje 25°, posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup> a teploty termické modifikace 160 °C. Při těchto parametrech obrábění by náklady za rok činily 7 422 Kč při dvousměnném provozu. Tato kombinace parametrů je navíc ekonomicky výrazně úspornější než kombinace parametrů druhá v pořadí. Výsledky jsou v Tab. 38 níže.

Tab. 38 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Merbau (*Intsia bijuga*)

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	30	25	4	160	2	3	420	7 422
2	40	25	4	210	3	5	490	8 658
3	20	25	4	180	3	2	340	6 008
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	40	15	11	20	18	6	470	8 305
108	20	20	11	20	22	7	340	6 008

V případě že chceme dosáhnout nejnižší spotřeby elektrické energie a s tím související nejnižší náklady na obrábění a nejmenší ekologickou stopu obrábění a zároveň pro nás není

důležitá kvalita, můžeme zvolit parametry z Tab. 39. Pokud zvolíme řeznou rychlost  $20 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ , úhel čela nástroje  $25^\circ$ , posuvnou rychlost  $4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a teplotu termické modifikace  $160^\circ\text{C}$  dosáhneme nejnižší možné spotřeby elektrické energie a to  $300 \text{ W}$ , což odpovídá ročním nákladům  $5\,301 \text{ Kč}$  při dvousměnném provozu.

**Tab. 39 Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Merbau (*Intsia bijuga*)**

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Úhel čela ( $^\circ$ )	Posuvná rychlost ( $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Teplota termické modifikace ( $^\circ\text{C}$ )	$W_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	20	25	4	160	6	4	300	5 301
2	20	25	8	20	6	4	300	5 301
3	30	15	4	180	7	4	300	5 301
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	40	15	11	180	14	6	540	9 542
108	40	20	8	20	12	7	540	9 542

V Tab. 40 nalzáme ideální kombinaci veškerých parametrů obrábění u dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*) pro dosažení nejlepších kvalitativních i ekonomických výsledků. Z celkového pohledu jsme dosáhli nejlepších výsledků v řezné rychlosti  $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , úhlu čela nástroje  $25^\circ$ , posuvné rychlosti  $4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a teplotě termické modifikace  $180^\circ\text{C}$ . Zde by náklady činily  $6\,008 \text{ Kč}$ .

**Tab. 40 Nejlepší kombinace všech parametrů u Merbau (*Intsia bijuga*)**

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Úhel čela ( $^\circ$ )	Posuvná rychlost ( $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ )	Teplota termické modifikace ( $^\circ\text{C}$ )	$W_a$ [ $\mu\text{m}$ ]	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	20	25	4	180	3	2	340	6 008
2	20	20	4	160	3	3	350	6 185
3	20	25	8	180	6	3	340	6 008
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	40	15	11	160	12	7	500	8 835
108	40	20	8	20	12	7	540	9 542

#### 10.4.2.2 Hodnocení ekonomiky obrábění pro dřevinu Meranti (*Shorea acuminata*)

Pro nejlepší výsledky obrábění dřeviny Meranti (*Shorea acuminata*) z pohledu drsnosti opracovaného povrchu musíme zvolit kombinaci řezné rychlosti  $40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , úhlu čela nástroje  $25^\circ$ , posuvné rychlosti  $4 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$  a termické modifikace  $210^\circ\text{C}$ . Pro tuto kombinaci parametrů byly náklady na obrábění relativně vysoké, a to  $9\,424 \text{ Kč}$  za jeden rok při dvousměnném provozu. (viz Tab. 41).

**Tab. 41 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Meranti (*Shorea acuminata*)**

Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	40	25	4	210	6	3	533	9 424
2	20	15	4	180	7	4	353	6 244
3	20	20	4	180	7	4	293	5 183
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	20	15	11	160	16	12	427	7 539
108	20	25	8	160	17	14	307	5 419

Z pohledu vlnitosti jsme dosáhli nejlepšího výsledku při řezné rychlosti 30 m.s<sup>-1</sup>, úhlu čela nástroje 25°, posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup> a dřevě termicky nemodifikovaného. Při těchto parametrech obrábění by náklady za rok činily 6 244 Kč při dvousměnném provozu. Pokud chceme dosáhnout lepších ekonomických výsledků bez větší ztráty kvality, volili bychom kombinaci parametrů obrábění v Tab. 42 druhou v pořadí.

**Tab. 42 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Meranti (*Shorea acuminata*)**

Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	30	25	4	20	5	5	353	6 244
2	30	25	4	210	5	5	327	5 772
3	30	20	4	20	6	5	380	6 715
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	20	20	11	180	22	10	303	5 360
108	30	20	11	160	23	11	403	7 127

Pro dosažení nejnížší možné spotřeby elektrické energie při obrábění dřeviny Meranti (*Shorea acuminata*) bychom volili parametry z Tab. 43. Na prvním místě v nákladovosti výroby jsou parametry s řeznou rychlostí 20 m.min<sup>-1</sup>, úhlem čela nástroje 25°, posuvnou rychlostí 4 m.min<sup>-1</sup> a teplotou termické modifikace 210 °C. Při těchto parametrech dosáhneme nejnížší možné spotřeby elektrické energie, a to 287 W, což odpovídá ročním nákladům 5 066 Kč při dvousměnném provozu.

**Tab. 43 Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Meranti (*Shorea acuminata*)**

Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	20	25	4	210	6	5	287	5 066
2	20	20	4	180	7	4	293	5 183
3	20	25	8	210	7	5	293	5 183
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	40	20	4	160	15	8	577	10 190
108	40	20	11	210	15	9	577	10 190

Pro dosažení nejlepších výsledků ve všech hodnocených oblastech včetně ekonomiky zvolíme pro dřevinu Meranti (*Shorea acuminata*) parametry uvedené v Tab. 44. Nejlepší parametry pro tuto dřevinu jsou stejné jako pro dřevinu Merbau (*Intsia bijuga*), a to řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 25°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a teplota termické modifikace 210 °C.

**Tab. 44 Nejlepší kombinace všech parametrů u Meranti (*Shorea acuminata*)**

Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	20	25	4	210	6	5	287	5 066
2	20	20	4	180	7	4	293	5 183
3	20	25	8	210	7	5	293	5 183
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	40	20	4	160	15	8	577	10 190
108	40	20	11	210	15	9	577	10 190

#### 10.4.2.3 Hodnocení ekonomiky obrábění pro dřevinu Padouk (*Pterocarpus soyauxii*)

V Tab. 45 nalézáme parametry obrábění dřeviny Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), kterými můžeme dosáhnout nejlepších výsledků z pohledu střední aritmetické odchylky profilu drsnosti. Ideální kombinaci tvoří řezná rychlost 40 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 25°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a dřevo bez termické modifikace. Při této kombinaci parametrů byla spotřeba elektrické energie 543 W, což odpovídá ročním nákladům při dvousměnném provozu 9 601 Kč.

Pokud chceme dosáhnout nejlepších výsledků z pohledu vlnitosti, můžeme dle Tab. 46

Tab. 46 zvolit řeznou rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 20°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a teplotu termické modifikace 210 °C.



**Tab. 45** Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	40	25	4	20	3	2	543	9 601
2	20	20	4	210	2	2	290	5 124
3	40	20	8	210	2	2	557	9 837
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	30	25	11	160	15	14	335	5 920
108	20	25	11	20	26	16	300	5 301

**Tab. 46** Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	20	20°	4	210	2	2	290	5 124
2	40	20°	8	210	2	2	557	9 837
3	40	15°	11	20	2	2	605	10 691
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	30	25°	11	160	15	14	335	5 920
108	20	25°	11	20	26	16	300	5 301

Pro dosažení nejlepší ekonomiky provozu při rovinném frézování dřeviny Padouk (*Pterocarpus soyauxii*), musíme zvolit řeznou rychlost 20 m.min<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 15°, posuvnou rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a teplotu termické modifikace 210 °C. Touto kombinací parametrů dosáhneme nejnižší možné spotřeby elektrické energie, a to 280 W. Při ročním dvousměnném provozu toto odpovídá nákladům na provoz 4 948 Kč (viz Tab. 47).

**Tab. 47** Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	20	15	4	210	4	3	280	4 948
2	20	25	4	210	5	3	280	4 948
3	20	25	8	160	7	4	283	4 992
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	40	15	11	20	2	2	605	10 691
108	40	15	8	210	4	3	605	10 691

V Tab. 48 najdeme vyhodnocení nejlepších technicko-technologických parametrů a ekonomiky výroby pro dřevinu Padouk (*Pterocarpus soyauxii*). V tomto ohledu se ukázala nejlepší řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela 20°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a teplota termické modifikace 210 °C. V tomto srovnání jsme dosáhli spotřeby elektrické energie 290 W. Náklady spojené s uvedeným množstvím spotřebované energie činí při dvousměnném provozu 5 124 Kč za jeden kalendářní rok.

**Tab. 48 Nejlepší kombinace všech parametrů u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)**

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	20	20	4	210	2	2	290	5 124
2	20	25	4	180	2	2	288	5 095
3	20	20	4	160	3	3	288	5 080
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	30	15	11	20	10	10	400	7 068
108	40	15	4	180	13	6	563	9 954

#### 10.4.2.4 Hodnocení ekonomiky obrábění pro dřevinu Iroko (*Milicia excelsa*)

V následujícím vyhodnocení jsme se zaměřili na ekonomiku provozu při parametrech vhodných k dosažení nejlepší kvality opracovaného povrchu z pohledu drsnosti u dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*). Parametry pro dosažení nejlepších výsledků byla řezná rychlost 30 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 20°, posuvná rychlost 8 m.min<sup>-1</sup> a dřevo termicky modifikované při teplotě 180 °C.

Uvedené kombinaci parametrů odpovídá dle Tab. 49 spotřeba elektrické energie 338 W, což se rovná ročním nákladům 5 964 Kč při provozu na dvě směny.

**Tab. 49 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Iroka (*Milicia excelsa*)**

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	30	20	8	180	6	3	338	5 964
2	40	25	8	210	3	3	543	9 586
3	40	15	4	180	4	3	554	9 794
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	20	25	8	210	24	18	293	5 183
108	20	25	8	20	53	31	308	5 434

Pro dřevinu Iroko (*Milicia excelsa*) jsme v Tab. 50 vyhodnotili a zaznamenali parametry obrábění k dosažení nejlepších výsledků z pohledu vlnitosti. K nejlepším výsledkům vlnitosti dojdeme při použití řezné rychlosti 20 m.s<sup>-1</sup>, úhlu čela nástroje 15°, posuvné rychlosti 4 m.min<sup>-1</sup> a termické modifikaci Iroka teplotou 210 °C. Při těchto parametrech obrábění činí spotřeba elektrické energie 287 W. Tato spotřeba odpovídá nákladům 5 066 Kč za jednoletý dvousměnný provoz.

**Tab. 50** Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Iroka (*Milicia excelsa*)

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	20	15	4	210	3	3	287	5 066
2	30	20	4	160	3	3	348	6 155
3	20	25	4	20	3	4	299	5 276
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	20	25	8	210	24	18	293	5 183
108	20	25	8	20	53	31	308	5 434

Pro dosažení nejmenší ekologické stopy výrobku potřebujeme stanovit nejlepší kombinaci parametrů obrábění, které umožní dosažení nejnižší spotřeby elektrické energie. Pro dřevinu Iroko (*Milicia excelsa*) jsme našli tyto parametry a zaznamenali je v Tab. 51. Hledanými parametry byla řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 25°, posuvná rychlost 11 m.min<sup>-1</sup> a teplota termické modifikace 160 °C. Nejnižší možné roční náklady na dvousměnný provoz činí 4 889 Kč, což odpovídá spotřebě elektrické energie 277 W.

**Tab. 51** Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Iroka (*Milicia excelsa*)

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost (m.s <sup>-1</sup> )	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m.min <sup>-1</sup> )	Teplota termické modifikace (°C)	Wa [μm]	Ra (μm)	Spotřeba (W)	Náklady na energii (Kč)
1	20	25	11	160	14	10	277	4 889
2	20	25	4	210	7	5	284	5 023
3	20	20	4	210	5	4	286	5 054
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	40	15	8	160	6	5	607	10 720
108	40	15	8	20	5	5	613	10 838

Souhrn globálně nejlepších parametrů pro obrábění dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*) přináší Tab. 52. V této tabulce nacházíme nejlepší parametry, těmito parametry jsou řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela 15°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup> a teplota termické modifikace 210 °C. Neměli bychom opomenout, že kombinace globálně nejlepších parametrů se shoduje s parametry pro dosažení nejlepší hodnoty střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti. U těchto parametrů by činila spotřeba elektrické energie 287 W.

**Tab. 52 Nejlepší kombinace všech parametrů u Iroka (*Milicia excelsa*)**

<b>Iroko (<i>Milicia excelsa</i>)</b>								
<b>Pořadí</b>	<b>Řezná rychlost (m.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Úhel čela (°)</b>	<b>Posuvná rychlost (m.min<sup>-1</sup>)</b>	<b>Teplota termické modifikace (°C)</b>	<b>Wa [μm]</b>	<b>Ra (μm)</b>	<b>Spotřeba (W)</b>	<b>Náklady na energii (Kč)</b>
1	20	15	4	210	3	3	287	5 066
2	20	25	4	20	3	4	299	5 276
3	20	20	4	20	5	3	300	5 301
...	...	...	...	...	...	...	...	...
107	40	15	11	20	9	7	603	10 661
108	40	15	11	180	21	12	600	10 602

V tabulkách kapitoly 10.4 najdeme nejen vyhodnocení nejlepších hledaných parametrů, ale jsou zde zaznamenány i hodnoty nejhorších dosažených parametrů. Tabulky v celém rozsahu jsou přílohou práce. Tento přehled je důležitým přínosem nejen pro vědu ale i pro praxi.

## 11 Syntéza poznatků

Kapitola syntéza poznatků přehledně shrnuje zjištěné výsledky. Níže uvedené tři grafy zobrazují změny chemických komponentů při termické úpravě, vliv termické úpravy na energetiku obrábění a kvalitu opracovaného povrchu z pohledu dvou sledovaných charakteristik.

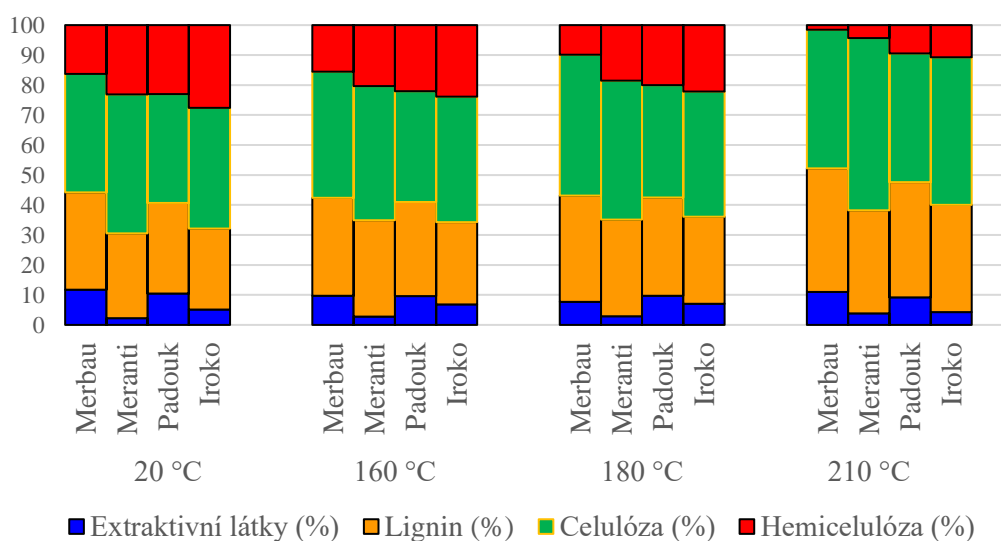
### 11.1 Termická modifikace vs. chemické komponenty

Obr. 97 zobrazuje změny v zastoupení chemických komponentů jednotlivých zkoumaných dřevin. Zastoupení hemicelulóz je nejvyšší u Iroka (*Milicia excelsa*) a nejnižší u Merbau (*Intsia bijuga*). Pokles zastoupení hemicelulóz sledujeme již při úpravách 160 °C a 180 °C. Při vyšších teplotách dochází k deacetylaci hemicelulóz a jejich rozpadu. Z grafu je patrné, že k největšímu poklesu obsahu hemicelulóz tak dochází při teplotě 210 °C. Díky této změně získává termicky upravené dřevo vyšší odolnost vůči napadení dřevokaznými houbami bez nutnosti použití chemických látek.

Obsah hemicelulóz a celulóz má přímý vliv na hygroskopicitu dřeva. U termicky modifikovaného dřeva jejich obsah klesá a s tím také klesá hygroskopicita.

V porovnání se dřevem bez termické úpravy dochází u dřeva termicky upraveného na 210 °C ke zvýšení procentuálního zasutpení ligninu. U Merbau (*Intsia bijuga*) je to přibližně o 10 p. b., u Meranti (*Shorea acuminata*) zhruba o 3 p. b., u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) o 6 p. b. a Iroka (*Milicia excelsa*) o 8 p. b. Důvodem je vyšší termická stabilita ligninu a také jeho autkondenzace.

Ze sledovaných dřevin je největší zastoupení extraktivních látek u dřevin Merbau (*Intsia bijuga*) a Padouku (*Pterocarpus soyauxii*).



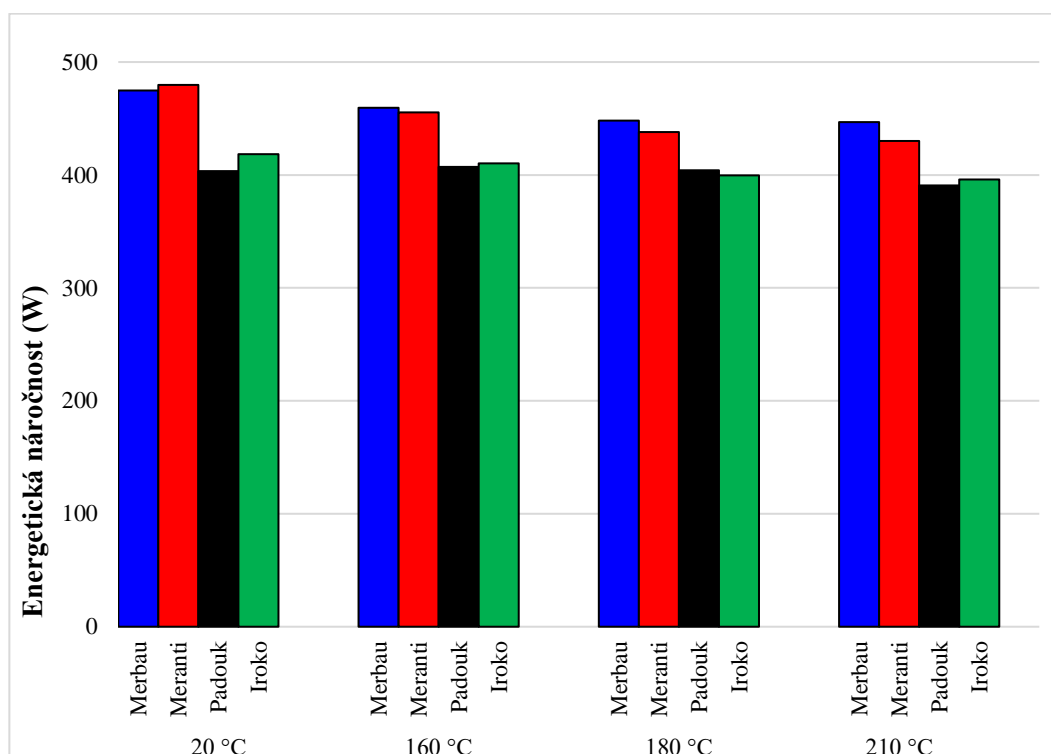
Obr. 97 Termická modifikace vs. chemické komponenty

(Zdroj: vlastní tvorba)

### 11.2 Termická modifikace vs. energetická náročnost

Náš výzkum prokázal značný vliv dřeviny na energetickou náročnost při obrábění. Ze sledovaných dřevin je energeticky nejnáročnější obrábění dřevin Merbau (*Intsia bijuga*) a Meranti (*Shorea acuminata*) ve všech stupních termické úpravy. Vyšší stupně teploty úpravy přináší snížení energetické náročnosti rovinného frézování. Díky snížení obsahu hemicelulóz

a tím zvýšené křehkosti dřeva je obrábění dřeva upraveného vyšším stupněm termické úpravy méně náročné.

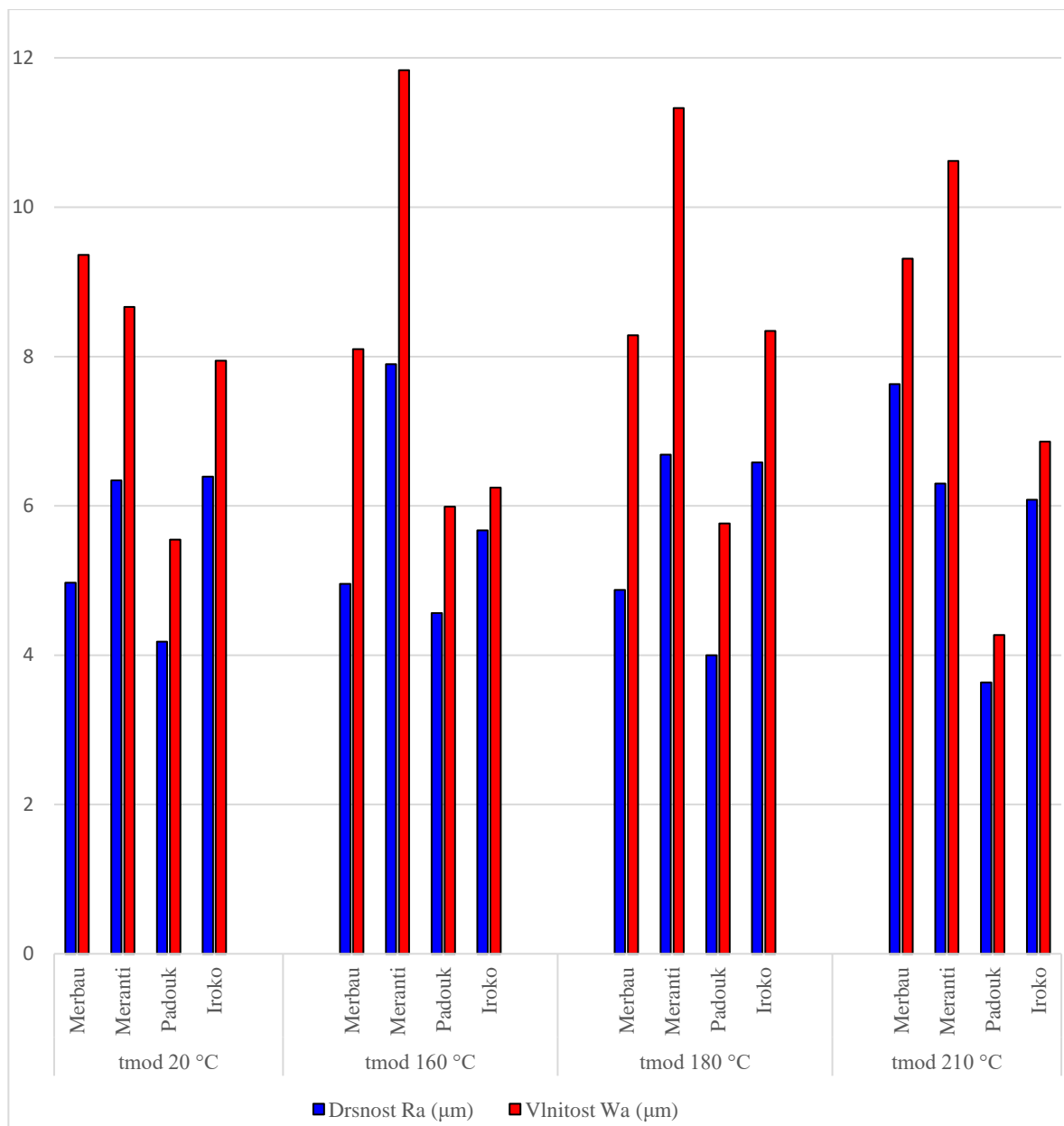


**Obr. 98 Termická modifikace vs. energetická náročnost**

(Zdroj: vlastní tvorba)

### 11.3 Termická modifikace vs. drsnost a vlnitost

Z Obr. 99 můžeme pozorovat jasný vliv dřeviny a termické modifikace na kvalitativní ukazatele (střední aritmetickou odchylku profilu drsnosti a střední aritmetickou odchylku profilu vlnitosti). U Padouku (*Pterocarpus soyauxii*) jsme zaznamenali nejlepší hodnoty drsnosti i vlnitosti stejně jako nejlepší hodnoty energetické náročnosti obrábění a zároveň také nejnižší procentuální zastoupení celulózy ze všech zkoumaných dřevin při všech stupních úpravy.



**Obr. 99 Termická modifikace vs. drsnost *Ra* a vlnitost *Wa***  
(Zdroj: vlastní tvorba)

## 12 Přínos pro vědu

Tato práce přináší nové poznatky v oblasti termické modifikace, chemického složení a obrábění tropických dřevin. V rámci výzkumu jsme zkoumali možnosti modifikace na dřevinách Merbau (*Intsia bijuga*), Meranti (*Shorea acuminata*), Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*). Oblast modifikace zmiňovaných dřevin nebyla dosud hluboce probádaná.

Náš unikátní výzkum přinesl poznatky zejména v následujících oblastech:

### 1) Možnosti termické modifikace tropických dřevin.

Byly ověřeny možnosti termické modifikace výše zmiňovaných dřevin metodou ThermoWood v rozsahu teplot od dřeva bez modifikace po teplotu 210 °C ve čtyřech stupních. Zjistili jsme změny osahu jednotlivých chemických komponentů dřeva a jejich vliv na hustotu a opracovatelnost.

### 2) Možnosti obrábění tropických dřevin.

Prozkoumali jsme možnosti obrábění modifikovaných tropických dřevin i tropických dřevin bez modifikace. Určili jsme jejich vliv na kvalitu z pohledu střední aritmetické odchylky profilu drsnosti ( $Ra$ ) a vlnitosti ( $Wa$ ).

### 3) Hodnocení vlivu jednotlivých parametrů obrábění a jejich vzájemných interakcí na sledované charakteristiky.

V rámci výzkumu jsme zkoumali, jak ovlivňují parametry řezná rychlost, posuvná rychlost, úhel čela nástroje a různé stupně termické modifikace sledované veličiny:

- a. energetická náročnost při obrábění,
- b. kvalita z pohledu střední aritmetické odchylky profilu drsnosti ( $Ra$ ),
- c. kvalita z pohledu střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti ( $Wa$ ).

Náš výzkum tak do této oblasti přináší globální pohled na termickou modifikaci a zpracování tropických dřevin. Práci ukazujeme možnosti hodnocení a nalezení optimálních parametrů rovinného frézování z pohledu kvality, energetiky a produktivity. Díky tomuto výzkumu se také otevřela nová oblast zkoumání. Výsledky výzkumu již byly prezentovány na několika konferencích a publikovány v mnoha vědeckých časopisech.

V našem výzkumu jsme zpracovali závěry nejen pro oblast vědy, ale i pro oblast zpracování dřeva a výroby dřevěných výrobků.



## 13 Přínos pro praxi

Oblast rovinného frézování tropických dřevin nebyla dosud dostatečně vědecky probádána, a proto byly parametry obrábění v praxi nastavovány spíše empiricky. V době vysokého tlaku na pružnost, produktivitu a kvalitu výroby si již nemůžeme dále dovolit zbytečné ztráty ani v oblasti rovinného frézování.

V této práci nacházíme pro praxi velice důležité výsledky, které umožní snížení nákladů, které přináší snížení nákladů při současném snížení energetické náročnosti obrábění dřeva. Práce dále přináší zcela nové poznatky pro termickou modifikaci tropických dřevin a jejich průmyslové využití.

Náš výzkum přinesl pro praxi velice dobře využitelné výsledky:

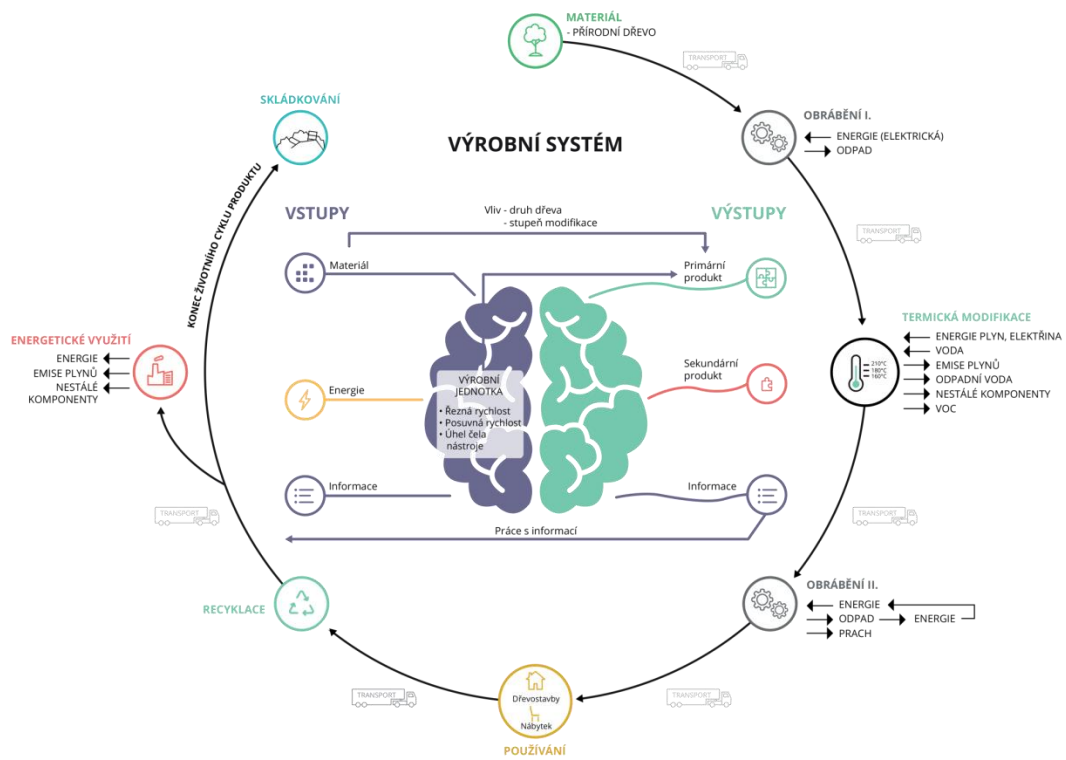
### 1) Možnosti termické modifikace tropických dřevin.

Pro praxi jsme prověřili možnost využití procesu ThermoWood k modifikaci čtyřech tropických dřevin při teplotách úprav 160 °C, 180 °C a 210 °C.

### 2) Hodnocení vlivu jednotlivých parametrů obrábění a jejich vzájemných interakcí na sledované charakteristiky.

Část naší práce, která je věnovaná hodnocení vlivu jednotlivých parametrů obrábění a jejich vzájemných interakcí, je z pohledu praxe ta nejdůležitější. Hodnotili jsme obrábění na třech hlavních pilířích:

- a. Hodnocení z pohledu energetické náročnosti. Přinášíme ideální kombinace technicko-technologických parametrů k dosažení nejnižší energetické náročnosti při obrábění. Tím přispíváme ke snížení energetické náročnosti výroby. Výše uvedené pozitivně ovlivní ekonomiku i ekologii procesu obrábění.
- b. Hodnocení z pohledu střední aritmetické odchylky profilu drsnosti ( $Ra$ ). Počet operací ve výrobním systému můžeme správným nastavením jejich parametrů snížit. Optimální drsnost opracovaného povrchu umožňuje vynechání některých dalších operací. V naší práci proto přinášíme vhodné parametry k dosažení požadovaných výsledků z pohledu drsnosti.
- c. Hodnocení z pohledu střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti ( $Wa$ ). Ve výzkumu jsme stanovili vhodné parametry i pro dosažení optimálních výsledků z pohledu vlnitosti. Závěry výzkumu tak v praxi povedou nejen ke snížení nákladů na následné opracování, ale i značnému snížení zmetkovitosti, která může být často způsobena právě nevhodně zvolenými parametry obrábění a výraznou vlnitostí na opracovaném povrchu.
- d. Shrnutí interakce všech sledovaných hodnot. Za nejdůležitější přínos našeho výzkumu lze označit stanovení vlivu vzájemných interakcí sledovaných parametrů v procesu rovinného frézování na výrobní proces z pohledu jeho pružnosti, produktivity a kvality. Působení těchto interakcí (Obr. 100, Obr. 101) jsme shrnuli do tabulek, ve kterých je možné nalézt optimální kombinace parametrů obrábění.



**Obr. 100 Životní cyklus výrobků z termicky upraveného dřeva**  
(Zdroj: vlastní tvorba)

## 14 Závěr

V této disertační práci jsou shrnuty současné teoretické poznatky v oblastech termické úpravy dřeva a rovinného frézování přírodního i termicky modifikovaného dřeva. Cílem práce bylo stanovení vlivu různých stupňů termické úpravy, různých druhů tropických dřevin a různých technicko-technologických parametrů a jejich vzájemných interakcí na kvalitu opracovaného povrchu. Dílčími cíly potom termická úprava tropických dřevin v několika stupních a obrábění při různých parametrech. K dosažení vytýčených cílů proběhl rozsáhlý výzkum, který přinesl celou řadu výsledků.

Základní závěry výzkumu můžeme shrnout do následujících bodů:

### - Chemické složení

Při termické modifikaci tropických dřevin dochází ke změnám v obsahu chemických komponentů dřeva. U všech dřevin stoupá procentuální zastoupení ligninu. Největší nárůst jsme potom sledovali u dřeviny Merbau (*Intsia bijuga*), a to o 10,57 p. b. Nejmenší nárůst jsme potom zaznamenali u dřeviny Meranti (*Shorea acuminata*), a to pouze 2,90 p. b. U všech sledovaných dřevin došlo termickou modifikací ke snížení obsahu hemicelulóz. U Meranti (*Shorea acuminata*) upraveného na 210 °C až o 22,00 p. b. Termická modifikace statisticky významně působí na chemické složení dřeva u všech čtyřech zkoumaných dřevin.

Výše zmíněné změny chemických komponentů vedou ke snižování energetické náročnosti obrábění při zvýšení stupně úpravy (Obr. 98). To je způsobeno zejména poklesem podílu hemicelulózy ve dřevě.

### - Energetika

Jako statisticky významně působící se z pohledu energetiky rovinného frézování ukázaly faktory řezná rychlost, posuvná rychlost, úhel čela nástroje i termická modifikace. U dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*) a Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) se ukázala jako statisticky významně působící i vzájemná interakce všech sledovaných faktorů. Spotřeba elektrické energie je nejvíce ovlivněna faktorem řezné a posuvné rychlosti. Při jejich zvyšování roste i spotřeba elektrické energie. Spotřeba elektrické energie roste u všech zkoumaných dřevin již při zvýšení řezné rychlosti z 20 m.s<sup>-1</sup> na 30 m.s<sup>-1</sup>, téměř ke zdvojnásobení spotřeby dojde při zvýšení z 20 na 40 m.s<sup>-1</sup>. Toto zvýšení řezné rychlosti ale zároveň vede ke zvýšení kvality opracovaného povrchu.

Zvětšení úhlu čela nástroje vede ke snížení spotřeby elektrické energie. Největší snížení energetické náročnosti vlivem změny úhlu čela sledujeme u dřevin Merbau (*Intsia bijuga*) a Meranti (*Shorea acuminata*) při změně úhlu čela z 15° na 20°, a to o 15,6 % a 17,5 %.

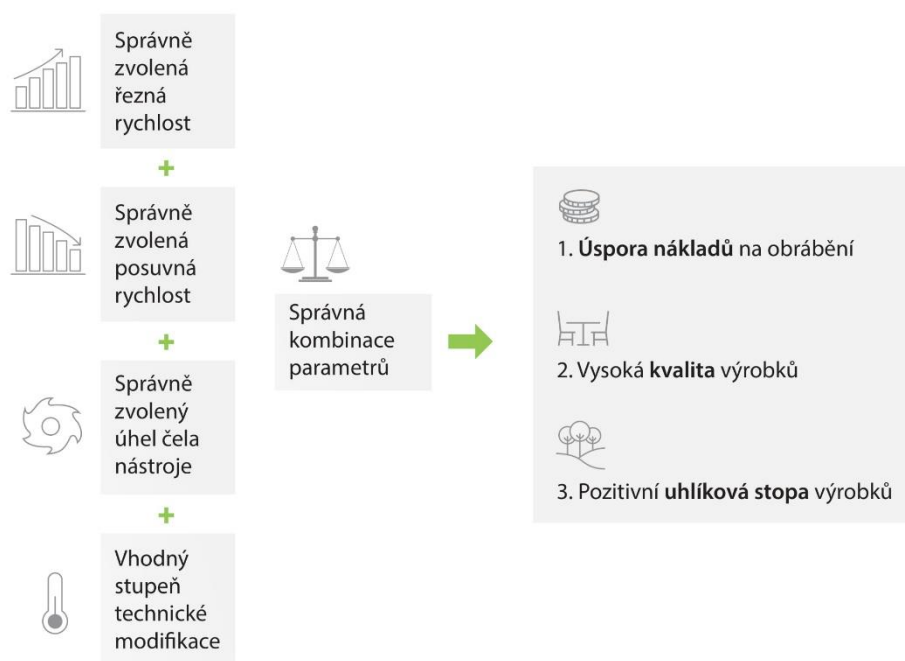
Při obrábění dřeva termicky upraveného vyšší teplotou jsme sledovali nižší spotřebu elektrické energie. Obdobný vliv na spotřebu elektrické energie má také vyšší teplota termické modifikace. Největšího rozdílu jsme zaznamenali při obrábění Meranti (*Shorea acuminata*) upraveného teplotou 210 °C, a to snížení energetické náročnosti až o 10 %. Ze sledovaných dřevin je nejméně energeticky náročné obrábění dřeviny Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) a Iroko (*Milicia excelsa*).

### - Kvalita

Kvalitu opracovaného povrchu jsme hodnotili měřením střední aritmetické odchylky profilu drsnosti (*Ra*) a střední aritmetické odchylky profilu vlnitosti (*Wa*). Jak pro drsnost, tak i pro vlnitost se ukázal faktor řezná rychlost jako statisticky významně působící. Se vzrůstající řeznou rychlostí dochází ke snížení drsnosti i vlnitosti. Faktor posuvná rychlost má opačný vliv na kvalitu povrchu. Tzn., že se zvyšováním posuvné rychlosti se drsnost i vlnitost zvětšuje. U většiny sledovaných dřevin došlo vlivem zvětšení úhlu čela nástroje ke zlepšení sledovaných charakteristik. Na celý proces obrábění má největší vliv interakce všech sledovaných faktorů.

V práci jsme provedli vyhodnocení optimální kombinace všech parametrů. Pro dřevinu Merbau (*Intsia bijuga*) se jako globálně nejlepší projevila kombinace parametrů řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 25°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup>, teplota úpravy 180 °C. Pro dřevinu Meranti (*Shorea acuminata*) se jako globálně nejlepší projevila kombinace parametrů řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 25°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup>, teplota úpravy 210 °C. Pro dřevinu Padouk (*Pteorcarpus soyauxii*) se jako globálně nejlepší projevila kombinace parametrů řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 20°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup>, teplota úpravy 210 °C. Pro dřevinu Iroko (*Milicia excelsa*) se jako globálně nejlepší projevila kombinace parametrů řezná rychlost 20 m.s<sup>-1</sup>, úhel čela nástroje 15°, posuvná rychlost 4 m.min<sup>-1</sup>, teplota úpravy 210 °C. Dílčí závěry z ekonomického hlediska jsou uvedeny v podrobných tabulkách 33 až 52.

Z pohledu výrobního systému a praktického využití závěrů v praxi (Obr. 101) je nezbytné určení požadovaných výsledků obrábění. Po stanovení požadovaných parametrů produktu a produkce můžeme snadno určit, zda je pro daný způsob výroby nejdůležitější jeden ze sledovaných faktorů, nebo více, eventuálně celá kombinace faktorů. Pro dosažení optimálních kvalitativních parametrů bohužel často musíme volit parametry, které nejsou tak výhodné z pohledu ekonomiky či produktivity.



**Obr. 101 Schéma vlivů a jejich důsledků při obrábění**

(Zdroj: vlastní tvorba)

## 15 Seznam použité literatury

### Internetové zdroje

*Pinterest*. [Online] [Citace: 12. Červenec 2018.]  
<https://www.pinterest.co.uk/pin/539798705320307521>.

*Pinterest*. [Online] [Citace: 12. Červenec 2018.]  
<https://www.pinterest.co.uk/pin/539798705320307521>.

Industrial and sawn timber thermowood lunawood 132148. *Archdaily*. [Online] [Cited: Leden 8, 2019.]  
<https://www.archdaily.com/catalog/us/products/13530/industrial-and-sawn-timber-thermowood-lunawood/132148>.

**Jansen, P., C., M., PROTA Network Office Europe. 2005.** Pterocarpus soyauxii Taub. *Plantnet Project*. [Online] 2005. [Citace: 2. Prosinec 2019.]  
[https://uses.plantnet-project.org/en/Pterocarpus\\_soyauxii\\_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/en/Pterocarpus_soyauxii_(PROTA)).

**Mížik, Peter. 2008.** Quercus robur. *Botany*. [Online] 30. Prosinec 2008. [Citace: 1. Červenec 2018.] <https://botany.cz/cs/quercus-robur/>.

**Ofori, Daniel A., Forestry Research Institute of Ghana (FORIG). 2007.** Milicia excelsa (Welw.) C. C. Berg. *Plantnet Project*. [Online] 2007. [Citace: 1. Listopad 2019.] [https://uses.plantnet-project.org/en/Milicia\\_excelsa\\_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/en/Milicia_excelsa_(PROTA)).

**PCI Industries.** Perdure. *AFAT*. [Online] [Citace: 26. Listopad 2018.]  
[https://www.afat.qc.ca/images/colloque/09\\_Lapointe.pdf](https://www.afat.qc.ca/images/colloque/09_Lapointe.pdf).

**Platowood.** The Platowood process. *Platowood*. [Online] [Citace: 25. Listopad 2018.]  
[https://www.platowood.com/upload\\_directory/uploads/the-platowood-process.pdf](https://www.platowood.com/upload_directory/uploads/the-platowood-process.pdf).

**PROKOM. 2010.** Dřevěné profily tepelně upravené speciální technologií thermowood. *Prokom*. [Online] 2010. [Citace: 3. Srpen 2018.] Článek: Výrobní proces ThermoWood® – tepelně upravené profily. <http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood/128-drevene-profily-tepelne-upravene-specialni-technologie-thermowood>.

**Richter, H., G., Gembruch, K. a Koch, G. 2014.** Fabptsoy. *Delta intkey*. [Online] 2014. [Citace: 1. Listopad 2019.] <https://www.delta-intkey.com/citeswood/en/www/fabptsoy.htm>.

**Svět dřeva.** Thermowood. *Svět dřeva*. [Online] [Citace: 1. Srpen 2018.] Článek: Tepelně upravené dřevo.  
<http://svetdreva.com/domains/svetdreva.com/nabidka/materialy/thermowood>.

**ThermoWood, Association International. n.d.** Konsepti. *Thermowood*. [Online] n.d. [Citace: 13. Srpen 2018.] <https://www.thermowood.fi/konsepti>.

**Wood database. 2008-2020.** Dark red meranti. *Wood database*. [Online] 2008-2020. [Citace: 13. Červenec 2018.] <http://www.wood-database.com/dark-red-meranti/>.

## Literární zdroje

**Aghakhani, Mohammad and Khazaeian, Abolghasem. 2014.** The Effect of Machining Parameters on Surface Roughness of of Alder Wood. *Asian Journal of Agriculture and Food Sciences*. 2014, Vol. 2, 6, pp. 548-533.

**Allegretti, Ottaviano, et al. 2012.** Thermo-vacuum modification of spruce (*picea abies karst.*) and fir (*abies alba mill.*) wood. *BioResources*. 2012, Vol. 7, 3, pp. 3656-3669.

**ASTM D1107 - 96. 2013.** [editor] ASTM International. *Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood*. 2013.

**Ayata, Umit, Gurleyen, Levent and Esteves, Bruno. 2017.** Effect of heat treatment on the surface of selected exotic wood species. *Drewno*. 2017, Vol. 60, 199, pp. 105-116.

**Barčík, Š., et al. 2010.** The effect of selected factors on energy requirements for plain milling of beech wood. *Journal of Forest Science*. 2010, Vol. 56, 5, pp. 243-250.

**Barčík, Štefan a Homola, Tomáš. 2004.** Vplyv vybraných parametrov na kvalitu obrobeného povrchu pri rovinnom frézování juvenilneho borovicového dreva. *Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2004. Zborník prednášok IV*. 2004, stránky 31-36.

**Barčík, Štefan. 2009.** *Technika pre výrobu nábytku*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009. str. 263. 978-80-228-2055-4.

**Barčík, Štefan, et al. 2009.** The influence of cutting speed and feed speed on surface quality at plane milling of poplar wood. *Wood research*. 2009, Vol. 54, 1, pp. 109-116.

**Barčík, Štefan, Razumov, Evgeny and Gašparík, Miroslav. 2014.** Effect of thermal modification on the colour changes of oak wood. *Wood Research*. 2014, Vol. 60, 3, pp. 385-396.

**Bekhta, Pavlo and Niemz, Peter. 2003.** Effect of High Temperature on the Change in Color, Dimensional Stability and Mechanical Properties of Spruce Wood. *Holzforchung*. 2003, Vol. 57, 5, pp. 539-546.

**Bekhta, Pavlo, et al. 2014.** Effect of thermomechanical densification on surface roughness of wood veneers. *Wood Material Science & Engineering*. 2014, Vol. 9, 4, pp. 233-245.

**Biomass, Wood, Energy, Bioproducts (BioWooEB) Research Unit of Tropix CIRAD I. 2012.** *Les principales caractéristiques technologiques de 245 essences forestières tropicales - IROKO*. Montpellier : CIRAD, 2012. pp. 4: 2, 4.

**Biomass, Wood, Energy, Bioproducts (BioWooEB) Research Unit of Tropix CIRAD II. 2012.** *Les principales caractéristiques technologiques de 245 essences forestières tropicales - PADOUK*. Montpellier : CIRAD, 2012. pp. 4:3-4.

**Borysiuk, Piotr, et al. 2016.** Thermally modified particles as raw material for particleboards production. [ed.] Ladislav Dzurenda and Adrián Banski. *Chip and chipless woodworking processes*. 2016, Vol. 10, 1, pp. 241-245.

**Bourgeois, Jean and Guyonnet, René. 1988.** Characterisation and analysis of torrefied wood. *Wood Science and Technology*. 1988, Vol. 22, pp. 144-155.

**Bourgeois, Jean, Bartholin, Michel and Guyonnet, René. 1989.** Thermal Treatment of Wood: Analysis of the Obtained Product. *Wood Science and Technology*. 1989, Vol. 23, 4, pp. 303-310.

**Bubeníková, Tatiana, et al. 2018.** Characterization of macromolecular traits of lignin from heat treated spruce wood by size exclusion chromatography. *ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE ZVOLEN*. 2018, Vol. 60, 2, p. 33–42.

**Burmester, A. 1975.** Zur Dimensionsstabilisierung von Holz. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 1975, Bd. 33, 9, S. 333-335.

**Campean, Mihaela. 2010.** Timber Drying Methods – Passing Through History Into The Future. [autor knihy] T., Antti, L., Sehlstedt-Persson, M. Morén. *11th International IUFRO Wood Drying Conference - Recent Advances in the Field of Wood Drying*. Skellefteå : LTU Skellefteå, 2010.

**Candelier, Kévin. 2013.** *Caractérisation des transformations physico-chimiques intervenant lors de la thermodégradation du bois. Influence de l'intensité de traitement, de l'essence et de l'atmosphère*. Institut Universitaire et Technologique d'Epinal, Univezita Lorraine. Lorraine, Francie : Université de Lorraine, 2013. str. 140, Doktorandská práce.

**Corleto, Roberto, et al. 2020.** Effect of thermal modification on properties and milling behaviour of African padauk (*Pterocarpus soyauxii* Taub.) wood. [ed.] A. K. Sethy. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020, Vol. 9, 4, pp. 9315-9327.

**Costes, Jean-Philippe and Larricq, Pierre. 2002.** Towards High Cutting Speed in Wood Milling. *Annals of Forest Science*. 2002, Vol. 59, 8, pp. 857-865.

**Čekovská, Hana, et al. 2017b.** Fire Resistance of Thermally Modified Spruce Wood. *BioResources*. 2017b, Vol. 12, 1, pp. 947-959.

**Čekovská, Hana, et al. 2017a.** *Tectona grandis* Linn. and its Fire Characteristics Affected by the Thermal Modification of Wood. *BioResources*. 2017a, Vol. 12, 2, pp. 2805-2817.

**Černecký, Jozef, et al. 2017.** The Research of Temperature Fields in the Proximity of a Bundle of Heated Pipes Arranged Above Each Other. *Journal of Heat Transfer*. 2017, Vol. 139, 8.

**Darmawan, Wayan, et al. 2011.** Performance of helical edge milling cutters in planing wood. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2011, Vol. 69, 4, pp. 565-572.

**Das, Sumanta, et al. 2020.** Interaction of technical and technological factors on qualitative and energy/ ecological/economic indicators in the production and processing of thermally modified merbau wood. *Journal of Cleaner Production*. 2020, Vol. 252, pp. 1-12.

**de Moura, Luiz Fernando, et al. 2010.** Effect of thermal rectification on machinability of Eucalyptus grandis and Pinus caribaea var. hondurensis woods. *European Journal of Wood and Wood Products*. 2010, Vol. 4, pp. 641-648.

**Drápela, Jindřich, a další. 1980.** *Výroba nábytku*. [editor] Dušan Straňák. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980. str. 488. 04-827-80.

**Dubovský, Ján, Babiak, Marián a Čunderlík, Igor. 1998.** *Textúra, štruktúra a úžitkové vlastnosti dreva: Návody na cvičenia*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 1998. str. 106. 80-228-0776-1.

**Durand, Patrick, Y. 1986.** White Meranti Yellow Meranti / Yellow Seraya Yellow Lauan. *Revue Bois et Forêts de Tropiques*. 1986, n° 214.

**Esteves, Bruno, et al. 2009.** Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*. 4, February 2009, 1, pp. 370-404.

**Finnforest. 2005.** *Thermowood technical manual*. místo neznámé : Finnforest, 2005. str. 20.

**Gaff, Milan, et al. 2015.** Effect of selected parameters on the surface waviness in plane milling of thermally modified birch wood. *BioResources*. 2015, Vol. 10, 4, pp. 7618-7626.

**Gašparík, Miroslav, et al. 2019.** Color and Chemical Changes in Teak (*Tectona grandis* L. f.) and Meranti (*Shorea* spp.) Wood after Thermal Treatment. *BioResources*. 2019, Vol. 14, 2, pp. 2667-2683.

**Ghiassi, Bahman and Lourenço, Paulo, B. et al. 2019.** *Long-Term Performance and Durability of Masonry Structures: Degradation Mechanisms, Health Monitoring and Service Life Design*. s.l. : Woodhead Publishing - Elsevier Science, 2019. p. 422.

**Giebeler, E.** Dimensionsstabilisierung von Holz durch eine Feuchte/Wärme/Druck-Behandlung. *Holz als Roh- und Werkstoff*. Bd. 41, 3, S. 87-94.

**Gochev, Zhivko and Vukov, Georgi. 2018.** Factors influencing the cutting power in longitudinal milling of solid wood. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW Land Reclamation*. 2018, Vol. 102, pp. 103-111.

**Goli, Giacomo, et al. 2002.** Surfaces formation and quality in moulding wood at various grain angles. Initial results with Douglas fir and Oak. *Proc Conf Wood Struc Prop*. 2002, pp. 1-10.

**Gottlöber, Christian, et al. 2016.** Strategies, concepts and approaches to avoid cuttermarks on wooden workpiece surfaces. *Wood Material Science and Engineering*. 2016, Vol. 11, 3, pp. 1-9.

**Günay, Mustafa, et al. 2005.** Experimental investigation of the effect of cutting tool rake angle on main cutting force. *Journal of Materials Processing Technology*. 2005, Vol. 166, 1, pp. 44-49.

**Gündüz, Gökhan, Aydemir, Deniz and Karakas, Gurdeniz. 2009.** The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia*



Pall.) wood and changes in physical properties. *Materials and Design*. 2009, Vol. 30, 10, pp. 4391-4395.

**Gündüz, Gökhan, et al. 2008.** The density, compression strength and surface hardness of heat treated hornbeam (*Carpinus betulus*) wood. *Ciencia y tecnología*. 2008, Vol. 11, 1, pp. 61-70.

**Halabala, Jindřich. 1982.** *Výroba nábytku tvorba a konstrukce*. [editor] Milena Spurná. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1982. str. 320. 04-823-82.

**Hill, Callum Aidan Stephen. 2011.** Wood Modification: An Update. *BioResources*. 2011, Sv. 6, 2.

**Hrčka, Richard and Babiak, Marian. 2012.** Some non-traditional factors influencing thermal properties of wood. *Wood Research*. 2012, Vol. 57, 3, pp. 367-374.

**Icel, Bilgin and Beram, Abdullah. 2017.** Effects of Industrial Heat Treatment on Some Physical and Mechanical Properties of Iroko Wood. *Drvna Industrija*. 2017, Vol. 68, 5, pp. 229-239.

**Ispas, Mihai, et al. 2016.** Milling of Heat-Treated Beech Wood (*Fagus sylvatica* L.) and Analysis of Surface Quality. *BioResources*. 2016, Vol. 11, 4, pp. 9095-9111.

**Jamberová, Zuzana, et al. 2016.** Influence of Processing Factors and Species of Wood on Granulometric Composition of Juvenile Poplar Wood Chips. *BioResources*. 2016, Vol. 11, 4, pp. 9572-9583.

**Janiček, František, Vozár, Ján a Zbořil, František. 1986.** *Výrobní zařízení pro učební obory zpracování dřeva na SOU*. [editor] Dušan Straňák. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1986. str. 264. 04-838-86.

**Jones, Dennis, a další. 2006.** *The commercialisation of ThermoWood® products*. Tromsø (Norsko) : IRG SECRETARIAT - Stockholm, 2006. stránky 1-11.

**Kačík, František, et al. 2016.** Chemical Alterations of Pine Wood Lignin during Heat Sterilization. *BioResources*. 2016, Vol. 11, 2, pp. 3442-3452.

**Kačík, František, et al. 2015.** Chemical alterations of pine wood saccharides during heat sterilisation. *Carbohydrate Polymers*. 2015, Vol. 117, pp. 681-686.

**Kafka, Emanuel, a další. 1989a.** *Dřevařská příručka 1. část*. [editor] Dušan Straňák. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989a. str. 483. Sv. 1. 80-03-00009-2.

**Kafka, Emanuel, a další. 1989b.** *Dřevařská příručka 2. část*. [editor] Dušan Straňák. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989b. stránky 485-986. Sv. 2.

**Kamboj, Gourav, et al. 2020.** Surface quality and cutting power requirement after edge milling of thermally modified meranti (*Shorea spp.*) wood. *Journal of Building Engineering*. 2020, Vol. 29, pp. 1-13.

**Kamdern, D., Pizzi, A. and Jermannaud, A. 2002.** Durability of heat-treated wood. *Holz als Roh- und Werkstoff*. 2002, 60, pp. 1-6.

**Kaplan, Lukáš. 2015.** Diplomová práce. *Vliv technologicko-technických a materiálových faktorů rovinného frézování termicky modifikovaného březového dřeva na kvalitu opracování povrchu.* Praha : ČZU, 2015.

**Kaplan, Lukáš, et al. 2018a.** Evaluation of the effect of individual parameters of oak wood machining and their impact on the values of waviness measured by a laser profilometer. *Wood research.* 2018a, Vol. 63, 1, pp. 127-140.

**Kaplan, Lukáš, et al. 2018b.** The Effect of Thermal Modification of Oak Wood on Waviness Values in the Planar Milling Process. *BioResources.* 2018b, Vol. 13, 1, pp. 1591-1604.

**Kaplan, Lukáš, Sarvašová Kvietková, Monika and Sedlecký, Miroslav. 2018.** Effect of the interaction between thermal modification temperature and cutting parameters on the quality of oak wood. *BioResources.* 2018, Vol. 13, 1, pp. 1251-1264.

**Keturakis, Gintara and Juodeikienė, Inga. 2007.** Investigation of Milled Wood Surface Roughness. *Materials Science.* 2007, Vol. 13, 1, pp. 47-51.

**Khatib, Jamal, M. 2009.** *Sustainability of Construction Materials.* s.l. : Woodhead Publishing, 2009. p. 900. 978-1-84569-349-7.

**Kiliç, Murat. 2015.** Effects of Machining Methods on the Surface Roughness Values of Pinus nigra Arnold Wood. *BioResources.* 2015, Vol. 10, 3, pp. 5554-5562.

**Kilic, Murat, Hiziroglu, Salim and Burdurlu, Erol. 2006.** Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment.* 2006, Vol. 41, 8, pp. 1074-1078.

**Klír, Josef. 1981.** *Vady dřeva.* [editor] Dušan Straňák. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1981. str. 232. 04-834-81.

**Koch, Peter. 1956.** An analysis of the lumber planning process. *Forest Products Journal.* 1956, Vol. 6, 10, pp. 395-402.

**Kol, Hamiyet Sahin and Seker, Belgin. 2016.** Properties of laminated veneer lumber manufactured from heat treated veneer. *Pro Ligno.* 2016, Vol. 12, 2, pp. 3-8.

**Kol, Hamiyet Sahin, Aysal, Sema and Vaydoğan, Kübra Gündüz. 2017b.** Some surface characteristic of artificially weathered heat-treated wood. *Journal of Advanced Technology Sciences.* 2017b, pp. 831-838.

**Kol, Hamiyet Şahin, et al. 2017a.** Investigation of some physical and mechanical properties of heat treated beech wood impregnated with boric acid and borax in different treatment temperatures. *ICONTRENDS.* 2017a, pp. 1-8.

**Koleda, Peter, et al. 2019.** Cutting power during lengthwise milling of thermally modified oak wood. *Wood Research.* 2019, Vol. 64, 3, pp. 537-548.

**Korčok, Michal, et al. 2019.** Effect of Technological and Material Parameters on Final Surface Quality of Machining When Milling Thermally Treated Spruce Wood\_Korčok\_2019. *BioResources.* 2019, Vol. 14, 4, pp. 10004-10013.

**Korčok, Michal, et al. 2018.** Effects of technical and technological parameters on the surface quality when milling thermally modified European oak wood. *BioResources*. 2018, Vol. 13, 4, pp. 8569-8577.

**Kubovský, Ivan, Kačíková, Danica and Kačík, František. 2020.** Structural Changes of Oak Wood Main Components Caused by Thermal Modification. *Polymers*. February 2020, Vol. 12, 2, pp. 251-501.

**Kubš, Jiří. 2019.** *Termicky modifikované dřevo (thermowood®) vliv nezávislých parametrů (technicko-technologických) na závislé parametry (energetické a kvalitativní) při rovinném frézování*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019. str. 166, Disertační práce.

**Kubš, Jiří, a další. 2017.** Influence of thermal treatment on power consumption during plain milling of lodgepole pine (*Pinus contorta* subsp. *murrayana*). *BioResources*. 2017, 12, stránky 408-417.

**Kukachka, B., Francis. 1969.** *PROPERTIES OF IMPORTED TROPICAL WOODS. Conference on Tropical Hardwoods, 18.-21. Srpen.* Syracuse University. Madison, WI, USA. místo neznámé : Forest Products Laboratory - U.S. Department of Agriculture, 1969. str. 67.

**Kvietková, Monika, et al. 2015.** Effect of Thermal Treatment on Surface Quality of Beech Wood after Plane Milling. *BioResources*. 2015, Vol. 10, 3, pp. 4226-4238.

**Kvietková, Monika, Gašparík, Miroslav and Kaplan, Lukáš. 2015.** Roughness of Thermally Modified Wood at Milling. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW*. 2015, Vol. 91, pp. 107-110.

**Lim, S., C. a Gan, K., S. 2008.** Identification and utilization of lesser-known commercial timbers in peninsular Malaysia: Meraga, Merbau Kera, Merbau lalat and Minyak berok. *Timber Technology Bulletin*. 2008, 46.

**Lisičan, Jozef. 1996.** *Teória a technika spracovania dreva*. Zvolen : MATCENTRUM, 1996. str. 625.

— **1984.** *Základy obrábania a delenia drevných materiálov*. Zvolen : Vysoká škola lesnícka a drevárska, 1984. s. 391.

**Mantanis, George I. and Jones, Dennis. 2012.** Innovative modification of wood with nanoparticulate treatment. *European Conference on Wood Modification 2012*. 2012.

**Marthy, Matyas a Cismaru, Ivan. 2009.** Experimental study concerning the power consumption at the milling of pear wood. *Pro Ligno*. 2009, Sv. 5, 3, stránky 47-52.

**Mburu, Francis, et al. 2008.** Effect of chemical modifications caused by heat treatment on mechanical properties of *Grevillea robusta* wood. *ScienceDirect*. 2008, Vol. 93, 2, pp. 401-405.

**Metsä Wood. 2013.** ThermoWood Technical Brochure. *THERMOWOOD® Solutions for timber cladding and rain screens.* místo neznámé : Metsä Wood, Srpen 2013. str. 32. MW0187.

**Militz, H. and Tjeerdsma, B. 2001.** *Heat treatment of wood by the PLATO-process In: Proceedings of Special Seminar - COST ACTION E22 Environmental optimisation of wood protection.* Antibes : The European Commission Research Directorate, 2001. pp. 25-35.

**Mitchell, Philip H. 1988.** Irreversible Property Changes of Small Loblolly Pine Specimens Heated in Air, Nitrogen, Or Oxygen. *Wood and Fiber Science.* 1988, Vol. 20, 3, pp. 320-335.

**Motyčka, Ludvík. 2009.** Dřevěné konstrukce Navrhování podle ČSN EN 1995-1-1. 2009, str. 81.

**Němec, Jan, Jandáček, Václav a Hurda, Bohumil. 2005.** *Dřevo - historický lexikon.* [editor] Erika Mravinačová. Praha : Grada Publishing, a.s., 2005. str. 80. 80-247-1187-7.

**Norma ČSN EN 113. 1998.** [editor] Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví. *Ochranné prostředky na dřevo - Zkušební metody pro stanovení ochranné účinnosti proti dřevokazným houbám Basidiomycetes - Stanovení hranice účinnosti.* 1998, str. 28. 49 0670.

**Norma ČSN EN ISO 4287. 1999.** [editor] Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu.* 1999, str. 24. 014450.

**Norma ČSN EN ISO 4288. 1999.** [editor] Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu.* 1999. 014449.

**Nuopponen, Mari, et al. 2005.** Thermal Modifications in Softwood Studied by FT-IR and UV Resonance Raman Spectroscopies. *Journal of Wood Chemistry and Technology.* 2005, Vol. 24, 2, pp. 13-26.

**Palaez-Samaniego, Manuel Raul, et al. 2013.** A review of wood thermal pretreatments to improve wood composite properties. [ed.] Klaus Richter and Jan-Willem van de Kuilen. *Wood Science and Technology.* 2013, Vol. 47, pp. 1285–1319.

**Patachia, S. a Croitoru, C. 2016.** 14 - Biopolymers for wood preservation. [editor] Transilvania University of Brasov. *Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials.* Únor 2016, stránky 305-332.

**Peschel, Peter, Nutsch, Wolfgang a Seifert, Gerhard. 2002.** *Dřevařská příručka, tabulky, technické údaje.* Praha : Sobotáles, 2002. str. 320. ISBN: 80-85920-84-0.

**Pettersen, Roger C. 1984.** The Chemical Composition of Wood. [autor knihy] Roger Rowell. *The Chemistry of Solid Wood*. místo neznámé : U.S. Department of Agriculture, 1984, Sv. 207, 2, stránky 57-126.

**Piernik, Magdalena, et al. 2019.** The influence of the thermal modification of pine (*Pinus sylvestris* L.) wood on the creation of fine dust particles in plane milling. *Journal of Occupational Health*. 2019, 61, pp. 481–488.

**Pinkowski, Grzegorz, et al. 2018.** Effect of Sharpness Angle and Feeding Speed on the Surface Roughness during Milling of Various Wood Species. *BioResources*. 2018, Vol. 13, 3, pp. 6952-6962.

**Pinkowski, Grzegorz, et al. 2010.** Impact of the cutting edge condition on the results of oak wood milling. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW*. 2010, 72, pp. 147-152.

**Prokeš, Stanislav. 1982.** *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. Praha : SNTL / ALFA, 1982. str. 584. ISBN: 04-833-82.

**Rapp, Andreas O. and Sailer, Michael. 2001.** *Oil heat treatment of wood in Germany – State of the art In: roceedings of Special Seminar - COST ACTION E22 Environmental optimisation of wood protection*. The European Commission Research Directorate. Antibes : ISBN: 3–926 301–02–3, 2001. pp. 45-60.

**Razaei, Fatemeh, et al. 2020.** Surface quality measurement by contact and laser methods on thermally modified spruce wood after plain milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020, Vol. 110, pp. 1653–1663.

**Razumov, Evgeny Y., et al. 2013.** Studies on Mechanical Properties of Composite Materials Based on Thermo Modified Timber. *Drvna Industrija*. 64, 2013, Vol. 1, pp. 3-6.

**Reinprecht, L. a Vidholdová, Z. 2008.** *Termodrevo - príprava, vlastnosti a aplikácie*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2008. ISBN: 978-80-228-1920-6.

**Reinprecht, Ladislav. 2012.** *Ochrana dreva. 2*. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2012. str. 453. 978-80-228-1863-6.

**Rowell, Roger. 2020.** Innovation in Wood Preservation. *Polymers*. 2020, Vol. 12, 7, pp. 1-7.

**Rowell, Roger, et al. 2009.** Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood. European Conference on Wood Modification. *Wood Material Science and Engineering*. 2009, pp. 489-502.

**Rowlandson, Jemma L., et al. 2019.** Influence of Aromatic Structure on the Thermal Behaviour of Lignin. *Waste and Biomass Valorization*. 2019, 11, pp. 2863–2876.

**Salca, Emilia-Adela. 2015.** Optimization of wood milling schedule - a case study. *Pro Ligno*. 2015, Vol. 11, 4, pp. 525-530.

**Sandberg, Dick and Kutnar, Andreja. 2016.** Thermally modified timber: recent developments in Europe and North America. *Wood and Fiber Science*. 2016, Vol. 48, Special Issue, pp. 28-39.

**Sandberg, Dick, Haller, Peer and Navi, Parviz. 2013.** Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Material Science & Engineering*. 2013, Vol. 8, 1, pp. 64-88.

**Sandberg, Dick, Kutnar, Andreja and Mantanis, George. 2017.** Wood modification technologies - a review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. 2017, Vol. 10, 6, pp. 895-908.

**Sandermann, W., Ehlers, R., C. et Feh, F. 1963.** Bois tropicaux à résine. *Revue Bois et Forêts de Tropiques*. Březen-Duben 1963, n° 88, pp. 43-55: 48.

**Sederoff, Ronald R., et al. 1999.** Unexpected variation in lignin. [book auth.] Claudia Köhler and Doris Wagner. *Current Opinion in Plant Biology*. 2. s.l. : Elsevier Ltd., 1999, Vol. 2, pp. 145-152.

**Seifert, K. 1956.** Über ein neues Verfahren zur Schnellbestimmung der Rein-Cellulose. *Das Papier*. 1956, Bd. 10, 13-14, S. 301-306.

**Schwarze, Francis Willis Matthew Robert and Spycher, Melanie. 2005.** Resistance of thermo-hydro-mechanically densified wood to colonisation and degradation by brown-rot fungi. *Holzforschung*. 2005, Vol. 59, 3, pp. 358-363.

**Sikora, Adam, et al. 2018.** Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood. *Journal of Wood Science*. 2018, Vol. 64, 4.

**Sluiter, A., et al. 2008 (2012).** *Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass*. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, National Renewable Energy Laboratory. Denver : National Renewable Energy Laboratory, 2008 (2012). pp. 1-15, Technical report.

**Srinivas, Kavyashree and Pandey, Krishna. 2012.** Effect of Heat Treatment on Color Changes, Dimensional Stability, and Mechanical Properties of Wood. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 2012, Vol. 32, pp. 304-316.

**Stamm, Alfred J. 1964.** *Wood and cellulose science*. New York : Ronald Press Company, 1964. p. 549.

**Stamm, Alfred, J., Burr, Horace K. and Kline, Albert, A. 1946.** Staybwood—Heat-Stabilized Wood. *Ind. Eng. Chem*. 1946, Vol. 38, 6, pp. 630-634.

**Svoboda, Tomáš. 2016.** Vliv vybraných faktorů na plastické deformace dřeva. [ed.] Ladislav Dzurenda and Adrián Banski. *Chip and chipless woodworking processes*. 2016, Vol. 10, 1, pp. 179-186.

**Škaljić, Nedim, et al. 2009.** Effect of feed speed and wood species on roughness of machined surface. *Drvna industrija*. 2009, Vol. 60, 4, pp. 229-234.

**Šnévajsová, E. 2012.** *Chemické úpravy celulózy pro použití v polymerních kompozitech.* Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně - Fakulta technologická. Zlín : Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2012.

**Tjeerdsma, B., Boonstra, M. and Militz, H. 1998.** *Thermal modification of non-durable wood species. Part 2. Improved wood properties of thermally treated wood.* International Research Group on Wood Preservation. 1998.

**Tran, Van Thuy and Nguyen, Huu Loc. 2018.** Investigation on influence of cutting parameters on spindle vibration of CNC. *MATEC Web of Conferences.* 2018, Vol. 213.

**Tuong, Vu, Manh and Li, Jian.** Effect of heat treatment on the change in color and dimensional stability of acacia hybrid wood. *Bioresources.* Vol. 5, 2, pp. 1257-1267.

**Turner, Ian, et al. 2010.** An experimental and theoretical investigation of the thermal treatment of wood (*Fagus sylvatica* L.) in the range 200–260 °C. *International Journal of Heat and Mass Transfer.* 2010, Vol. 53, 4, pp. 715-725.

**Vančo, Marek, et al. 2017.** The Effect of Selected Technical, Technological, and Material Factors on the Size of Juvenile Poplar Wood Chips Generated during Face Milling. *BioResources.* 2017, Vol. 12, 3, pp. 4881-4896.

**Vernois, M. 2001.** *Heat treatment of wood in France – State of the art In: roceedings of Special Seminar - COST ACTION E22 Environmental optimisation of wood protection.* Antibes : The European Commission Research Directorate, 2001. pp. 37-44.

**Vidholdová, Zuzana and Reinprecht, Ladislav. 2019.** The Colour of Tropical Woods Influenced by Brown Rot. *Forests.* 2019, Vol. 10, 322.

**Viitaniemi, P. and Jämsä, S. 2001.** *Heat treatment of wood – Better durability without chemicals In: roceedings of Special Seminar - COST ACTION E22 Environmental optimisation of wood protection.* Antibes : The European Commission Research Directorate, 2001. pp. 19-24.

**Výbohová, E., et al. 2018.** The effect of heat treatment on the chemical composition of ash wood. *BioResources.* 2018, Vol. 13, 4, pp. 8394-8408.

**Walter, Aidan, [ed.]. 2005.** *The Encyclopedia Of Wood: A Tree-By-Tree Guide To The World's Most Versatile Resource.* 2. s.l. : Checkmark Books, 2005. p. 192. 978-0816061815.

**Wise, L. E., Murphy, M. and d'Addieco, A. A. 1946.** Chlorite Holocellulose, its Fractionation and Bearing on Summative Wood Analysis and on Studies on the Hemicelluloses. *Paper Trade Journal.* 1946, Vol. 122, 2, pp. 35-43.

*Wood surface roughness – what is it?* **Sandak, Jakub and Martino, Negri. 2005.** San Michele All'Adige : s.n., 2005.

**Yildiz, Sibel, Gezer, Engin D. and Yildiz, Umit. 2006.** Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat. *ScienceDirect*. 2006, Vol. 41, 12, pp. 1762-1766.



## 16 Přílohy

Tab. 53 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u Merbau (*Intsia bijuga*)

Řezná rychlost (m/s)	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m/min)	Teplota termické modifikace (°C)	Posuv na zub (mm)	Kód	Wa (μm)	Ra (μm)	Řezný příkon (W)	Hustota (Kg.m <sup>-3</sup> )
20	15	4	20	1,3	20-15-4-20	7,0 (16,7)	4,8 (17,2)	363 (15,6)	822 (5,6)
20	15	4	160	1,3	20-15-4-160	6,8 (18,9)	4,9 (11,2)	363 (16,0)	789 (6,0)
20	15	4	180	1,3	20-15-4-180	6,0 (18,0)	5,2 (10,4)	333 (10,3)	772 (12,3)
20	15	4	210	1,3	20-15-4-210	9,3 (19,6)	7,3 (17,2)	340 (10,7)	749 (10,7)
20	15	8	20	2,7	20-15-8-21	6,3 (14,8)	4,8 (17,2)	413 (15,6)	822 (5,6)
20	15	8	160	2,7	20-15-8-160	12,3 (13,9)	6,4 (14,8)	410 (16,0)	789 (6,0)
20	15	8	180	2,7	20-15-8-180	7,1 (11,9)	5,0 (12,4)	420 (10,3)	772 (12,3)
20	15	8	210	2,7	20-15-8-210	10,8 (18,7)	8,5 (17,6)	345 (10,7)	749 (10,7)
20	15	11	20	3,7	20-15-11-20	10,1 (19,4)	7,6 (16,3)	503 (15,6)	822 (5,6)
20	15	11	160	3,7	20-15-11-160	12,0 (15,7)	7,0 (18,0)	497 (16,0)	789 (6,0)
20	15	11	180	3,7	20-15-11-180	13,2 (12,4)	7,2 (14,3)	453 (10,3)	772 (12,3)
20	15	11	210	3,7	20-15-11-210	9,9 (17,7)	16,2 (16,4)	393 (10,7)	749 (10,7)
20	20	4	20	1,3	20-20-4-20	7,2 (10,4)	3,7 (13,7)	333 (15,6)	822 (5,6)
20	20	4	160	1,3	20-20-4-160	3,4 (14,9)	2,6 (11,5)	313 (16,0)	789 (6,0)
20	20	4	180	1,3	20-20-4-180	7,5 (17,4)	3,7 (14,1)	317 (12,3)	772 (12,3)
20	20	4	210	1,3	20-20-4-210	12,1 (10,3)	8,7 (19,0)	342 (10,7)	749 (10,7)
20	20	8	20	2,7	20-20-8-20	8,3 (17,9)	5,3 (10,3)	337 (15,6)	822 (5,6)
20	20	8	160	2,7	20-20-8-160	11,1 (17,2)	6,9 (10,3)	310 (16,0)	789 (6,0)
20	20	8	180	2,7	20-20-8-180	15,6 (17,3)	6,6 (18,6)	307 (12,3)	772 (12,3)
20	20	8	210	2,7	20-20-8-210	8,9 (10,9)	5,9 (11,6)	385 (10,7)	749 (10,7)
20	20	11	20	3,7	20-20-11-20	21,8 (18,5)	6,7 (12,1)	347 (15,6)	822 (5,6)
20	20	11	160	3,7	20-20-11-160	7,3 (14,8)	5,4 (19,4)	333 (16,0)	789 (6,0)
20	20	11	180	3,7	20-20-11-	9,4	6,0 (19,0)	323	772 (12,3)

					180	(13,5)		(12,3)	
20	20	11	210	3,7	20-20-11-210	11,0 (10,3)	6,0 (18,1)	385 (10,7)	749 (10,7)
20	25	4	20	1,3	20-25-4-20	6,3 (11,4)	4,0 (14,3)	323 (15,6)	822 (5,6)
20	25	4	160	1,3	20-25-4-160	6,3 (11,9)	4,2 (17,1)	310 (16,0)	789 (6,0)
20	25	4	180	1,3	20-25-4-180	3,2 (13,6)	2,3 (19,3)	307 (12,3)	772 (12,3)
20	25	4	210	1,3	20-25-4-210	10,1 (14,3)	7,2 (10,5)	318 (10,7)	749 (10,7)
20	25	8	20	2,7	20-25-8-20	6,3 (15,0)	4,1 (17,4)	330 (15,6)	822 (5,6)
20	25	8	160	2,7	20-25-8-160	10,5 (19,7)	7,0 (17,3)	320 (16,0)	789 (6,0)
20	25	8	180	2,7	20-25-8-180	6,1 (13,3)	3,0 (11,9)	320 (12,3)	772 (12,3)
20	25	8	210	2,7	20-25-8-210	9,2 (17,6)	9,2 (17,8)	327 (10,7)	749 (10,7)
20	25	11	20	3,7	20-25-11-20	9,2 (16,7)	4,3 (15,2)	357 (15,6)	822 (5,6)
20	25	11	160	3,7	20-25-11-160	15,1 (16,9)	9,7 (10,9)	307 (16,0)	789 (6,0)
20	25	11	180	3,7	20-25-11-180	5,8 (19,2)	4,9 (16,8)	287 (12,3)	772 (12,3)
20	25	11	210	3,7	20-25-11-210	14,0 (10,2)	9,2 (14,9)	340 (10,7)	749 (10,7)
30	15	4	20	0,9	30-15-4-20	6,8 (12,8)	4,5 (12,1)	427 (15,6)	822 (5,6)
30	15	4	160	0,9	30-15-4-160	3,8 (19,8)	3,2 (16,8)	420 (16,0)	789 (6,0)
30	15	4	180	0,9	30-15-4-180	7,5 (13,6)	3,7 (18,4)	433 (12,3)	772 (12,3)
30	15	4	210	0,9	30-15-4-210	12,0 (18,4)	6,3 (14,6)	410 (10,7)	749 (10,7)
30	15	8	20	1,8	30-15-8-20	16,3 (10,3)	6,5 (19,5)	457 (15,6)	822 (5,6)
30	15	8	160	1,8	30-15-8-160	6,7 (13,1)	4,9 (19,8)	463 (16,0)	789 (6,0)
30	15	8	180	1,8	30-15-8-180	10,6 (18,8)	6,9 (14,1)	447 (12,3)	772 (12,3)
30	15	8	210	1,8	30-15-8-210	7,4 (19,0)	8,0 (10,1)	413 (10,7)	749 (10,7)
30	15	11	20	2,4	30-15-11-20	4,3 (13,1)	3,4 (10,2)	473 (15,6)	822 (5,6)
30	15	11	160	2,4	30-15-11-160	9,4 (15,1)	5,0 (19,8)	467 (16,0)	789 (6,0)
30	15	11	180	2,4	30-15-11-180	10,4 (14,2)	6,3 (18,0)	450 (12,3)	772 (12,3)
30	15	11	210	2,4	30-15-11-210	9,3 (11,0)	9,0 (14,6)	410 (10,7)	749 (10,7)
30	20	4	20	0,9	30-20-4-20	7,9 (19,4)	4,1 (19,9)	397 (15,6)	822 (5,6)

30	20	4	160	0,9	30-20-4-160	8,5 (19,9)	5,5 (17,1)	370 (16,0)	789 (6,0)
30	20	4	180	0,9	30-20-4-180	9,4 (18,2)	5,2 (10,0)	380 (10,3)	772 (12,3)
30	20	4	210	0,9	30-20-4-210	5,3 (16,2)	5,9 (17,3)	468 (10,7)	749 (10,7)
30	20	8	20	1,8	30-20-8-20	9,2 (19,9)	8,2 (19,4)	407 (15,6)	822 (5,6)
30	20	8	160	1,8	30-20-8-160	9,0 (12,0)	6,0 (17,1)	377 (16,0)	789 (6,0)
30	20	8	180	1,8	30-20-8-180	4,0 (16,9)	3,2 (11,9)	383 (10,3)	772 (12,3)
30	20	8	210	1,8	30-20-8-210	8,7 (10,5)	5,1 (18,5)	438 (11,7)	749 (10,7)
30	20	11	20	2,4	30-20-11-20	5,5 (19,9)	4,5 (14,9)	443 (15,6)	822 (5,6)
30	20	11	160	2,4	30-20-11-160	5,4 (17,0)	4,3 (13,1)	383 (16,0)	789 (6,0)
30	20	11	180	2,4	30-20-11-180	13,5 (12,7)	7,7 (11,2)	373 (10,3)	772 (12,3)
30	20	11	210	2,4	30-20-11-210	7,5 (10,5)	12,4 (12,1)	455 (11,7)	749 (10,7)
30	25	4	20	0,9	30-25-4-20	9,2 (10,6)	4,6 (12,3)	357 (15,6)	822 (5,6)
30	25	4	160	0,9	30-25-4-160	2,4 (18,0)	2,6 (19,9)	340 (16,0)	789 (6,0)
30	25	4	180	0,9	30-25-4-180	5,9 (14,7)	3,0 (13,5)	340 (10,3)	772 (12,3)
30	25	4	210	0,9	30-25-4-210	9,1 (14,6)	5,5 (10,4)	394 (11,7)	749 (10,7)
30	25	8	20	1,8	30-25-8-20	6,2 (11,5)	3,3 (14,9)	390 (15,6)	822 (5,6)
30	25	8	160	1,8	30-25-8-160	6,7 (10,6)	4,5 (13,9)	383 (16,0)	789 (6,0)
30	25	8	180	1,8	30-25-8-180	4,3 (16,8)	3,4 (19,6)	360 (10,3)	772 (12,3)
30	25	8	210	1,8	30-25-8-210	7,9 (16,8)	7,4 (17,2)	427 (11,7)	749 (10,7)
30	25	11	20	2,4	30-25-11-20	9,7 (11,4)	5,2 (19,2)	397 (15,6)	822 (5,6)
30	25	11	160	2,4	30-25-11-160	3,7 (11,7)	4,4 (18,4)	393 (16,0)	789 (6,0)
30	25	11	180	2,4	30-25-11-180	6,7 (16,9)	5,4 (12,7)	367 (11,3)	772 (12,3)
30	25	11	210	2,4	30-25-11-210	7,9 (13,9)	8,3 (11,8)	437 (10,7)	749 (10,7)
40	15	4	20	0,6	40-15-4-20	7,9 (17,7)	4,6 (10,0)	687 (15,6)	822 (5,6)
40	15	4	160	0,6	40-15-4-160	4,2 (12,9)	2,5 (11,3)	677 (16,0)	789 (6,0)
40	15	4	180	0,6	40-15-4-180	8,5 (18,9)	3,8 (14,1)	670 (14,3)	772 (12,3)
40	15	4	210	0,6	40-15-4-	15,2	9,3 (18,9)	643	749 (10,7)

					210	(19,6)		(13,7)	
40	15	8	20	1,3	40-15-8-20	11,4 (14,0)	4,3 (19,3)	680 (15,6)	822 (5,6)
40	15	8	160	1,3	40-15-8-160	9,4 (13,6)	4,9 (19,5)	673 (16,0)	789 (6,0)
40	15	8	180	1,3	40-15-8-180	9,0 (12,6)	5,9 (19,5)	647 (14,3)	772 (12,3)
40	15	8	210	1,3	40-15-8-210	9,0 (12,6)	5,9 (19,5)	697 (11,7)	749 (10,7)
40	15	11	20	1,8	40-15-11-20	18,0 (17,9)	5,6 (19,0)	787 (15,6)	822 (5,6)
40	15	11	160	1,8	40-15-11-160	11,9 (11,6)	7,3 (15,7)	773 (16,0)	789 (6,0)
40	15	11	180	1,8	40-15-11-180	14,3 (12,8)	5,7 (16,2)	723 (14,3)	772 (12,3)
40	15	11	210	1,8	40-15-11-210	7,0 (17,1)	5,8 (12,2)	680 (12,7)	749 (10,7)
40	20	4	20	0,6	40-20-4-20	7,8 (17,9)	3,7 (18,0)	623 (15,6)	822 (5,6)
40	20	4	160	0,6	40-20-4-160	10,3 (19,4)	5,8 (18,3)	587 (16,0)	789 (6,0)
40	20	4	180	0,6	40-20-4-180	8,2 (13,2)	4,4 (11,6)	577 (13,3)	772 (12,3)
40	20	4	210	0,6	40-20-4-210	8,6 (15,4)	6,0 (12,4)	647 (15,7)	749 (10,7)
40	20	8	20	1,3	40-20-8-20	12,3 (13,0)	7,2 (19,4)	623 (15,6)	822 (5,6)
40	20	8	160	1,3	40-20-8-160	6,2 (17,7)	3,6 (10,9)	607 (16,0)	789 (6,0)
40	20	8	180	1,3	40-20-8-180	5,4 (14,3)	5,5 (12,2)	600 (14,3)	772 (12,3)
40	20	8	210	1,3	40-20-8-210	8,4 (16,3)	6,1 (19,1)	687 (15,7)	749 (10,7)
40	20	11	20	1,8	40-20-11-20	7,2 (15,2)	4,0 (17,7)	623 (15,6)	822 (5,6)
40	20	11	160	1,8	40-20-11-160	6,1 (13,8)	4,5 (19,0)	623 (16,0)	789 (6,0)
40	20	11	180	1,8	40-20-11-180	6,6 (18,7)	3,4 (17,3)	610 (12,3)	772 (12,3)
40	20	11	210	1,8	40-20-11-210	7,4 (12,4)	10,5 (13,7)	735 (10,7)	749 (10,7)
40	25	4	20	0,6	40-25-4-20	10,9 (14,4)	4,6 (14,7)	583 (15,6)	822 (5,6)
40	25	4	160	0,6	40-25-4-160	7,8 (10,4)	3,3 (12,9)	563 (16,0)	789 (6,0)
40	25	4	180	0,6	40-25-4-180	6,1 (10,7)	3,3 (15,8)	543 (12,3)	772 (12,3)
40	25	4	210	0,6	40-25-4-210	2,8 (19,4)	5,0 (12,4)	605 (10,7)	749 (10,7)
40	25	8	20	1,3	40-25-8-20	5,6 (16,8)	3,7 (12,2)	560 (15,6)	822 (5,6)
40	25	8	160	1,3	40-25-8-160	6,6 (16,3)	4,1 (14,0)	553 (16,0)	789 (6,0)

40	25	8	180	1,3	40-25-8-180	12,4 (11,5)	5,9 (11,8)	547 (12,3)	772 (12,3)
40	25	8	210	1,3	40-25-8-210	7,4 (16,2)	6,4 (15,5)	623 (10,7)	749 (10,7)
40	25	11	20	1,8	40-25-11-20	14,0 (16,7)	6,7 (13,7)	600 (15,6)	822 (5,6)
40	25	11	160	1,8	40-25-11-160	6,3 (18,0)	3,3 (19,6)	590 (16,0)	789 (6,0)
40	25	11	180	1,8	40-25-11-180	7,3 (14,5)	4,9 (17,1)	583 (12,3)	772 (12,3)
40	25	11	210	1,8	40-25-11-210	10,2 (16,8)	6,9 (15,6)	615 (10,7)	749 (10,7)

Čísla v závorkách představují variační koeficienty (CV) v %,  $n = 30$ .

Tab. 54 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u Meranti (*Shorea acuminata*)

Řezná rychlost (m/s)	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m/min)	Teplota termické modifikace (°C)	Posuv na zub (mm)	Kód	Wa (μm)	Ra (μm)	Řezný příkon (W)	Hustota (Kg.m <sup>-3</sup> )
20	15	4	20	1,3	20-15-4-20	3,2 (19,3)	4,6 (42,3)	377 (4,1)	411 (8,2)
20	15	4	160	1,3	20-15-4-160	41,6 (16,4)	15,2 (67,1)	350 (2,9)	418 (10,7)
20	15	4	180	1,3	20-15-4-180	1,6 (10,4)	1,9 (67,4)	353 (1,6)	396 (4,9)
20	15	4	210	1,3	20-15-4-210	60,2 (19,2)	3,8 (32,5)	347 (3,3)	424 (5,1)
20	15	8	20	2,7	20-15-8-21	5,7 (13,5)	6,4 (54,9)	413 (5,6)	411 (8,2)
20	15	8	160	2,7	20-15-8-160	5,8 (15,6)	4,9 (32,8)	383 (1,5)	418 (10,7)
20	15	8	180	2,7	20-15-8-180	12,5 (14,7)	8,5 (47,4)	370 (4,7)	396 (4,9)
20	15	8	210	2,7	20-15-8-210	15,6 (14,8)	15,4 (50,0)	393 (7,3)	424 (5,1)
20	15	11	20	3,7	20-15-11-20	5,0 (12,7)	5,8 (39,5)	450 (5,9)	411 (8,2)
20	15	11	160	3,7	20-15-11-160	15,9 (15,3)	7,5 (30,1)	427 (11,1)	418 (10,7)
20	15	11	180	3,7	20-15-11-180	14,7 (18,0)	11,0 (40,8)	430 (4,0)	396 (4,9)
20	15	11	210	3,7	20-15-11-210	5,3 (18,6)	5,5 (37,6)	437 (10,8)	424 (5,1)
20	20	4	20	1,3	20-20-4-20	16,1 (14,0)	6,9 (53,0)	323 (1,8)	411 (8,2)
20	20	4	160	1,3	20-20-4-160	2,1 (16,0)	2,0 (35,9)	313 (1,8)	418 (10,7)
20	20	4	180	1,3	20-20-4-180	5,1 (14,8)	5,1 (76,3)	293 (2,0)	396 (4,9)

20	20	4	210	1,3	20-20-4-210	5,3 (19,0)	7,4 (32,7)	290 (3,4)	424 (5,1)
20	20	8	20	2,7	20-20-8-20	12,2 (14,8)	10,7 (32,3)	340 (2,9)	411 (8,2)
20	20	8	160	2,7	20-20-8-160	17,8 (11,9)	10,1 (45,9)	313 (1,8)	418 (10,7)
20	20	8	180	2,7	20-20-8-180	10,8 (12,5)	12,0 (63,2)	303 (1,9)	396 (4,9)
20	20	8	210	2,7	20-20-8-210	5,2 (17,3)	5,3 (28,6)	297 (5,1)	424 (5,1)
20	20	11	20	3,7	20-20-11-20	4,0 (10,9)	3,2 (52,7)	330 (3,0)	411 (8,2)
20	20	11	160	3,7	20-20-11-160	5,3 (12,5)	3,5 (42,7)	313 (3,7)	418 (10,7)
20	20	11	180	3,7	20-20-11-180	40,3 (16,5)	16,6 (36,3)	303 (7,6)	396 (4,9)
20	20	11	210	3,7	20-20-11-210	7,0 (18,2)	6,8 (50,2)	283 (5,4)	424 (5,1)
20	25	4	20	1,3	20-25-4-20	1,8 (15,4)	3,1 (52,1)	317 (3,6)	411 (8,2)
20	25	4	160	1,3	20-25-4-160	13,4 (17,2)	11,0 (23,4)	290 (3,4)	418 (10,7)
20	25	4	180	1,3	20-25-4-180	22,2 (16,5)	10,1 (42,5)	293 (5,2)	396 (4,9)
20	25	4	210	1,3	20-25-4-210	3,4 (17,9)	3,2 (63,2)	287 (2,0)	424 (5,1)
20	25	8	20	2,7	20-25-8-20	8,0 (10,2)	3,2 (44,6)	327 (1,8)	411 (8,2)
20	25	8	160	2,7	20-25-8-160	25,2 (17,5)	20,4 (46,6)	307 (9,4)	418 (10,7)
20	25	8	180	2,7	20-25-8-180	35,9 (12,8)	15,3 (33,8)	307 (1,9)	396 (4,9)
20	25	8	210	2,7	20-25-8-210	17,9 (17,5)	12,2 (63,0)	293 (2,0)	424 (5,1)
20	25	11	20	3,7	20-25-11-20	5,9 (12,4)	3,9 (30,5)	343 (7,3)	411 (8,2)
20	25	11	160	3,7	20-25-11-160	32,0 (14,9)	16,3 (53,4)	330 (3,0)	418 (10,7)
20	25	11	180	3,7	20-25-11-180	12,4 (58,0)	8,6 (36,5)	307 (3,8)	396 (4,9)
20	25	11	210	3,7	20-25-11-210	14,3 (75,6)	13,5 (44,9)	300 (3,3)	424 (5,1)
30	15	4	20	0,9	30-15-4-20	3,5 (54,5)	4,7 (42,7)	473 (3,2)	411 (8,2)
30	15	4	160	0,9	30-15-4-160	25,3 (55,9)	10,5 (44,0)	453 (3,4)	418 (10,7)
30	15	4	180	0,9	30-15-4-180	2,0 (95,6)	2,7 (78,3)	410 (4,9)	396 (4,9)
30	15	4	210	0,9	30-15-4-210	8,1 (52,4)	3,2 (39,0)	407 (1,4)	424 (5,1)
30	15	8	20	1,8	30-15-8-20	9,2 (89,9)	3,8 (66,0)	483 (4,3)	411 (8,2)
30	15	8	160	1,8	30-15-8-160	3,0	5,0 (35,9)	460	418 (10,7)

						(51,1)		(4,3)	
30	15	8	180	1,8	30-15-8-180	3,2 (56,7)	2,5 (51,3)	433 (1,3)	396 (4,9)
30	15	8	210	1,8	30-15-8-210	11,8 (79,6)	8,2 (36,4)	430 (2,3)	424 (5,1)
30	15	11	20	2,4	30-15-11-20	8,5 (78,8)	7,3 (39,2)	533 (4,7)	411 (8,2)
30	15	11	160	2,4	30-15-11-160	7,1 (89,9)	4,6 (60,3)	500 (6,0)	418 (10,7)
30	15	11	180	2,4	30-15-11-180	9,7 (84,0)	5,8 (46,0)	453 (6,7)	396 (4,9)
30	15	11	210	2,4	30-15-11-210	23,0 (65,3)	6,9 (43,0)	467 (4,5)	424 (5,1)
30	20	4	20	0,9	30-20-4-20	3,6 (124,0)	2,6 (105,5)	380 (4,6)	411 (8,2)
30	20	4	160	0,9	30-20-4-160	15,0 (35,4)	7,9 (33,8)	373 (4,1)	418 (10,7)
30	20	4	180	0,9	30-20-4-180	32,4 (90,9)	10,9 (57,9)	363 (4,2)	396 (4,9)
30	20	4	210	0,9	30-20-4-210	3,4 (89,0)	2,5 (63,8)	353 (1,6)	424 (5,1)
30	20	8	20	1,8	30-20-8-20	1,6 (50,0)	3,0 (45,2)	383 (1,5)	411 (8,2)
30	20	8	160	1,8	30-20-8-160	3,2 (58,3)	4,4 (46,2)	383 (1,5)	418 (10,7)
30	20	8	180	1,8	30-20-8-180	2,0 (59,8)	3,7 (44,5)	367 (1,6)	396 (4,9)
30	20	8	210	1,8	30-20-8-210	18,3 (77,7)	8,1 (49,1)	363 (1,6)	424 (5,1)
30	20	11	20	2,4	30-20-11-20	4,6 (46,4)	3,1 (37,4)	447 (3,4)	411 (8,2)
30	20	11	160	2,4	30-20-11-160	24,8 (53,0)	12,2 (30,4)	403 (5,2)	418 (10,7)
30	20	11	180	2,4	30-20-11-180	2,8 (96,2)	3,4 (61,4)	397 (5,2)	396 (4,9)
30	20	11	210	2,4	30-20-11-210	9,9 (57,1)	5,9 (43,8)	383 (3,0)	424 (5,1)
30	25	4	20	0,9	30-25-4-20	2,2 (70,2)	1,9 (50,0)	353 (4,3)	411 (8,2)
30	25	4	160	0,9	30-25-4-160	3,0 (96,5)	2,8 (39,4)	340 (5,1)	418 (10,7)
30	25	4	180	0,9	30-25-4-180	3,4 (50,4)	3,4 (39,8)	337 (4,5)	396 (4,9)
30	25	4	210	0,9	30-25-4-210	9,5 (66,1)	7,9 (34,9)	327 (4,7)	424 (5,1)
30	25	8	20	1,8	30-25-8-20	16,5 (112,0)	22,4 (89,9)	367 (5,7)	411 (8,2)
30	25	8	160	1,8	30-25-8-160	11,5 (49,1)	7,9 (30,4)	360 (2,8)	418 (10,7)
30	25	8	180	1,8	30-25-8-180	2,4 (83,5)	3,4 (42,7)	347 (3,3)	396 (4,9)
30	25	8	210	1,8	30-25-8-210	20,7 (53,2)	10,7 (30,4)	333 (4,6)	424 (5,1)

30	25	11	20	2,4	30-25-11-20	4,6 (62,4)	4,2 (41,8)	393 (6,4)	411 (8,2)
30	25	11	160	2,4	30-25-11-160	28,4 (74,2)	12,7 (49,2)	367 (8,3)	418 (10,7)
30	25	11	180	2,4	30-25-11-180	8,9 (69,7)	4,6 (44,8)	353 (4,3)	396 (4,9)
30	25	11	210	2,4	30-25-11-210	2,2 (83,7)	4,9 (47,0)	333 (1,7)	424 (5,1)
40	15	4	20	0,6	40-15-4-20	5,8 (61,6)	4,2 (30,0)	737 (2,1)	411 (8,2)
40	15	4	160	0,6	40-15-4-160	13,1 (55,7)	9,3 (50,5)	687 (1,7)	418 (10,7)
40	15	4	180	0,6	40-15-4-180	41,1 (79,2)	10,5 (44,0)	660 (2,6)	396 (4,9)
40	15	4	210	0,6	40-15-4-210	2,9 (85,3)	2,7 (62,2)	630 (0,0)	424 (5,1)
40	15	8	20	1,3	40-15-8-20	2,2 (55,3)	2,4 (43,4)	737 (5,5)	411 (8,2)
40	15	8	160	1,3	40-15-8-160	3,8 (71,1)	3,8 (62,3)	683 (3,7)	418 (10,7)
40	15	8	180	1,3	40-15-8-180	16,9 (78,2)	11,0 (60,6)	653 (0,9)	396 (4,9)
40	15	8	210	1,3	40-15-8-210	5,5 (78,2)	6,1 (44,8)	650 (4,1)	424 (5,1)
40	15	11	20	1,8	40-15-11-20	16,6 (47,3)	14,1 (47,9)	793 (6,0)	411 (8,2)
40	15	11	160	1,8	40-15-11-160	21,1 (55,0)	8,3 (46,7)	743 (6,4)	418 (10,7)
40	15	11	180	1,8	40-15-11-180	5,6 (96,7)	3,2 (73,7)	703 (0,8)	396 (4,9)
40	15	11	210	1,8	40-15-11-210	4,5 (85,8)	2,4 (54,1)	720 (2,4)	424 (5,1)
40	20	4	20	0,6	40-20-4-20	4,2 (56,7)	2,3 (44,5)	610 (0,0)	411 (8,2)
40	20	4	160	0,6	40-20-4-160	18,8 (59,8)	7,4 (50,3)	577 (1,0)	418 (10,7)
40	20	4	180	0,6	40-20-4-180	9,2 (130,3)	6,0 (81,9)	557 (6,3)	396 (4,9)
40	20	4	210	0,6	40-20-4-210	17,8 (44,2)	7,0 (35,6)	553 (1,0)	424 (5,1)
40	20	8	20	1,3	40-20-8-20	5,9 (49,5)	4,0 (37,9)	600 (3,3)	411 (8,2)
40	20	8	160	1,3	40-20-8-160	7,4 (77,6)	10,3 (40,7)	587 (2,6)	418 (10,7)
40	20	8	180	1,3	40-20-8-180	16,6 (65,7)	11,9 (52,9)	567 (7,3)	396 (4,9)
40	20	8	210	1,3	40-20-8-210	2,4 (88,0)	3,5 (52,3)	550 (3,6)	424 (5,1)
40	20	11	20	1,8	40-20-11-20	4,4 (48,6)	3,1 (36,5)	663 (2,3)	411 (8,2)
40	20	11	160	1,8	40-20-11-160	6,0 (62,8)	8,3 (50,9)	627 (1,8)	418 (10,7)
40	20	11	180	1,8	40-20-11-180	17,1	8,6 (47,4)	603	396 (4,9)



						(71,7)		(1,0)	
40	20	11	210	1,8	40-20-11-210	7,9 (54,7)	9,1 (27,7)	577 (2,0)	424 (5,1)
40	25	4	20	0,6	40-25-4-20	7,9 (31,6)	4,1 (43,3)	590 (1,7)	411 (8,2)
40	25	4	160	0,6	40-25-4-160	9,2 (56,4)	6,6 (46,7)	567 (1,0)	418 (10,7)
40	25	4	180	0,6	40-25-4-180	8,4 (79,6)	4,5 (76,4)	557 (2,1)	396 (4,9)
40	25	4	210	0,6	40-25-4-210	3,0 (94,0)	2,5 (45,3)	533 (2,9)	424 (5,1)
40	25	8	20	1,3	40-25-8-20	9,8 (82,8)	4,7 (65,9)	567 (2,0)	411 (8,2)
40	25	8	160	1,3	40-25-8-160	9,0 (56,0)	9,1 (46,7)	563 (1,0)	418 (10,7)
40	25	8	180	1,3	40-25-8-180	20,6 (70,5)	10,8 (49,4)	533 (2,9)	396 (4,9)
40	25	8	210	1,3	40-25-8-210	6,4 (74,1)	3,9 (53,1)	523 (2,9)	424 (5,1)
40	25	11	20	1,8	40-25-11-20	6,3 (41,3)	3,0 (50,0)	623 (2,5)	411 (8,2)
40	25	11	160	1,8	40-25-11-160	9,9 (66,6)	9,4 (41,5)	597 (1,9)	418 (10,7)
40	25	11	180	1,8	40-25-11-180	5,4 (78,6)	3,6 (72,7)	573 (1,0)	396 (4,9)
40	25	11	210	1,8	40-25-11-210	4,0 (90,1)	5,4 (66,9)	553 (5,5)	424 (5,1)

*Čísla v závorkách představují variační koeficienty (CV) v %, n = 30.*

Tab. 55 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)

Řzná rychlost (m/s)	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m/min)	Teplota termické modifikace (°C)	Posuv na zub (mm)	Kód	Wa (μm)	Ra (μm)	Řzný příkon (W)	Hustota (Kg.m <sup>-3</sup> )
20	15	4	20	1,3	20-15-4-20	7,2 (11,2)	7,2 (50,4)	288,0 (1,6)	643 (3,3)
20	15	4	160	1,3	20-15-4-160	5,0 (14,7)	3,6 (85,4)	290,0 (0,0)	622 (2,9)
20	15	4	180	1,3	20-15-4-180	10,3 (11,3)	7,0 (68,1)	288,0 (1,6)	636 (2,5)
20	15	4	210	1,3	20-15-4-210	4,1 (13,4)	2,7 (80,2)	280,0 (0,0)	643 (3,3)
20	15	8	20	2,7	20-15-8-21	3,4 (17,0)	3,0 (25,9)	330,0 (0,0)	643 (3,3)
20	15	8	160	2,7	20-15-8-160	5,7 (13,6)	4,9 (55,6)	326,7 (1,8)	622 (2,9)
20	15	8	180	2,7	20-15-8-180	3,4 (14,7)	3,0 (29,1)	323,3 (3,6)	636 (2,5)
20	15	8	210	2,7	20-15-8-210	3,5 (11,6)	3,4 (40,5)	326,7 (1,8)	643 (3,3)
20	15	11	20	3,7	20-15-11-20	5,6 (11,9)	3,9 (39,3)	316,7 (7,3)	643 (3,3)
20	15	11	160	3,7	20-15-11-160	5,7 (17,4)	3,7 (28,3)	330,0 (8,0)	622 (2,9)
20	15	11	180	3,7	20-15-11-180	10,5 (14,0)	5,9 (55,3)	336,7 (4,5)	636 (2,5)
20	15	11	210	3,7	20-15-11-210	7,2 (11,6)	7,7 (39,3)	313,3 (3,7)	643 (3,3)
20	20	4	20	1,3	20-20-4-20	5,2 (19,2)	5,1 (80,0)	292,0 (1,5)	643 (3,3)
20	20	4	160	1,3	20-20-4-160	3,1(18,6)	2,8 (51,5)	287,5 (1,7)	622 (2,9)
20	20	4	180	1,3	20-20-4-180	6,7 (13,3)	4,2 (89,0)	286,7 (2,0)	636 (2,5)
20	20	4	210	1,3	20-20-4-210	2,0 (18,8)	1,8 (10,0)	290,0 (0,0)	643 (3,3)
20	20	8	20	2,7	20-20-8-20	3,4 (10,6)	3,9 (36,4)	306,7 (1,9)	643 (3,3)
20	20	8	160	2,7	20-20-8-160	6,7 (12,1)	4,9 (69,5)	303,3 (1,9)	622 (2,9)
20	20	8	180	2,7	20-20-8-180	6,0 (17,1)	4,2 (58,7)	303,3 (5,0)	636 (2,5)
20	20	8	210	2,7	20-20-8-210	3,1 (18,6)	3,4 (35,8)	303,3 (1,9)	643 (3,3)
20	20	11	20	3,7	20-20-11-20	5,5 (17,3)	4,0 (31,7)	320,0 (5,4)	643 (3,3)
20	20	11	160	3,7	20-20-11-160	9,2 (10,7)	9,0 (56,1)	325,0 (2,2)	622 (2,9)
20	20	11	180	3,7	20-20-11-180	5,2 (10,9)	2,9 (15,1)	310,0 (3,2)	636 (2,5)

20	20	11	210	3,7	20-20-11-210	5,8 (12,3)	3,1 (13,2)	320,0 (0,0)	643 (3,3)
20	25	4	20	1,3	20-25-4-20	4,3 (14,5)	2,1 (70,1)	290,0 (0,0)	643 (3,3)
20	25	4	160	1,3	20-25-4-160	3,5 (11,3)	2,8 (44,6)	290,0 (0,0)	622 (2,9)
20	25	4	180	1,3	20-25-4-180	2,5 (14,5)	2,2 (15,6)	288,3 (1,4)	636 (2,5)
20	25	4	210	1,3	20-25-4-210	4,8 (12,1)	3,1 (79,2)	280,0 (0,0)	643 (3,3)
20	25	8	20	2,7	20-25-8-20	3,9 (11,6)	3,3 (34,3)	292,5 (1,7)	643 (3,3)
20	25	8	160	2,7	20-25-8-160	7,0 (11,1)	4,4 (66,6)	282,5 (3,4)	622 (2,9)
20	25	8	180	2,7	20-25-8-180	10,6 (10,6)	7,0 (51,4)	293,3 (2,0)	636 (2,5)
20	25	8	210	2,7	20-25-8-210	3,3 (13,9)	2,8 (21,1)	293,3 (2,0)	643 (3,3)
20	25	11	20	3,7	20-25-11-20	25,9 (18,1)	15,5 (50,7)	300,0 (0,0)	643 (3,3)
20	25	11	160	3,7	20-25-11-160	4,7 (16,9)	3,1 (23,1)	305,0 (2,3)	622 (2,9)
20	25	11	180	3,7	20-25-11-180	8,2 (15,4)	3,9 (42,2)	293,3 (2,0)	636 (2,5)
20	25	11	210	3,7	20-25-11-210	4,6 (15,0)	3,3 (14,0)	290,0 (0,0)	643 (3,3)
30	15	4	20	0,9	30-15-4-20	5,3 (16,6)	3,6 (18,3)	351,4 (2,0)	643 (3,3)
30	15	4	160	0,9	30-15-4-160	9,8 (12,9)	4,8 (61,3)	354,3 (1,5)	622 (2,9)
30	15	4	180	0,9	30-15-4-180	2,6 (16,6)	2,8 (14,9)	348,3 (1,2)	636 (2,5)
30	15	4	210	0,9	30-15-4-210	5,2 (13,0)	3,2 (73,5)	342,2 (1,3)	643 (3,3)
30	15	8	20	1,8	30-15-8-20	4,3 (13,8)	4,0 (69,3)	376,7 (4,1)	643 (3,3)
30	15	8	160	1,8	30-15-8-160	10,1 (19,0)	3,0 (16,0)	390,0 (0,0)	622 (2,9)
30	15	8	180	1,8	30-15-8-180	4,8 (13,8)	5,2 (40,4)	376,7 (4,1)	636 (2,5)
30	15	8	210	1,8	30-15-8-210	9,1 (11,7)	6,7 (36,3)	360,0 (0,0)	643 (3,3)
30	15	11	20	2,4	30-15-11-20	10,1 (11,3)	10,5 (43,4)	400,0 (3,5)	643 (3,3)
30	15	11	160	2,4	30-15-11-160	7,9 (16,2)	8,0 (78,4)	390,0 (0,0)	622 (2,9)
30	15	11	180	2,4	30-15-11-180	2,7 (15,2)	2,9 (42,9)	390,0 (0,0)	636 (2,5)
30	15	11	210	2,4	30-15-11-210	3,5 (17,7)	3,6 (24,4)	363,3 (5,7)	643 (3,3)
30	20	4	20	0,9	30-20-4-20	2,5 (16,8)	4,6 (55,5)	331,7 (1,2)	643 (3,3)
30	20	4	160	0,9	30-20-4-160	9,4	6,6	336,7	622

						(16,1)	(60,7)	(1,5)	(2,9)
30	20	4	180	0,9	30-20-4-180	3,7 (13,9)	2,6 (11,0)	335,0 (2,5)	636 (2,5)
30	20	4	210	0,9	30-20-4-210	3,6 (19,5)	3,6 (43,0)	323,3 (1,6)	643 (3,3)
30	20	8	20	1,8	30-20-8-20	2,3 (11,2)	2,7 (26,9)	347,5 (2,8)	643 (3,3)
30	20	8	160	1,8	30-20-8-160	4,7 (14,6)	4,7 (74,2)	360,0 (0,0)	622 (2,9)
30	20	8	180	1,8	30-20-8-180	4,8 (15,3)	4,1 (48,1)	350,0 (2,9)	636 (2,5)
30	20	8	210	1,8	30-20-8-210	3,6 (10,9)	3,4 (37,3)	350,0 (6,4)	643 (3,3)
30	20	11	20	2,4	30-20-11-20	2,5 (10,3)	2,6 (12,5)	370,0 (3,8)	643 (3,3)
30	20	11	160	2,4	30-20-11-160	5,4 (16,6)	4,4 (50,6)	350,0 (4,0)	622 (2,9)
30	20	11	180	2,4	30-20-11-180	10,3 (16,2)	5,5 (51,1)	330,0 (4,3)	636 (2,5)
30	20	11	210	2,4	30-20-11-210	3,7 (12,1)	3,9 (46,2)	355,0 (2,0)	643 (3,3)
30	25	4	20	0,9	30-25-4-20	4,8 (15,2)	2,6 (22,4)	327,1 (1,5)	643 (3,3)
30	25	4	160	0,9	30-25-4-160	2,4 (12,9)	3,1 (37,7)	328,6 (1,2)	622 (2,9)
30	25	4	180	0,9	30-25-4-180	4,1 (18,1)	3,1 (77,3)	326,7 (1,6)	636 (2,5)
30	25	4	210	0,9	30-25-4-210	4,7 (13,6)	3,4 (53,5)	318,3 (1,3)	643 (3,3)
30	25	8	20	1,8	30-25-8-20	3,2 (10,7)	2,5 (13,6)	326,7 (1,8)	643 (3,3)
30	25	8	160	1,8	30-25-8-160	3,5 (16,4)	4,8 (72,8)	340,0 (0,0)	622 (2,9)
30	25	8	180	1,8	30-25-8-180	8,7 (11,7)	5,8 (78,4)	333,3 (1,7)	636 (2,5)
30	25	8	210	1,8	30-25-8-210	2,5 (12,8)	2,8 (22,3)	336,7 (1,7)	643 (3,3)
30	25	11	20	2,4	30-25-11-20	8,7 (11,2)	4,2 (63,5)	350,0 (4,0)	643 (3,3)
30	25	11	160	2,4	30-25-11-160	14,9 (12,7)	14,2 (84,6)	335,0 (2,1)	622 (2,9)
30	25	11	180	2,4	30-25-11-180	6,2 (18,5)	5,1 (63,9)	333,3 (1,7)	636 (2,5)
30	25	11	210	2,4	30-25-11-210	4,0 (12,9)	3,1 (22,6)	330,0 (0,0)	643 (3,3)
40	15	4	20	0,6	40-15-4-20	4,3 (15,4)	2,4 (90,0)	577,1 (2,8)	643 (3,3)
40	15	4	160	0,6	40-15-4-160	3,6 (15,2)	2,3 (47,8)	574,3 (1,4)	622 (2,9)
40	15	4	180	0,6	40-15-4-180	12,5 (16,5)	5,8 (89,4)	563,3 (2,4)	636 (2,5)
40	15	4	210	0,6	40-15-4-210	4,1 (19,4)	2,9 (35,9)	558,3 (0,7)	643 (3,3)

40	15	8	20	1,3	40-15-8-20	6,4 (11,9)	3,8 (79,7)	596,7 (2,6)	643 (3,3)
40	15	8	160	1,3	40-15-8-160	3,0 (16,5)	3,0 (43,0)	590,0 (2,9)	622 (2,9)
40	15	8	180	1,3	40-15-8-180	4,2 (15,3)	5,1 (12,7)	573,3 (3,6)	636 (2,5)
40	15	8	210	1,3	40-15-8-210	4,2 (12,5)	2,9 (58,9)	605,0 (1,2)	643 (3,3)
40	15	11	20	1,8	40-15-11-20	2,3 (18,9)	2,4 (18,0)	605,0 (3,5)	643 (3,3)
40	15	11	160	1,8	40-15-11-160	5,6 (12,3)	3,2 (43,3)	590,0 (2,4)	622 (2,9)
40	15	11	180	1,8	40-15-11-180	3,5 (13,5)	3,2 (24,4)	593,3 (2,6)	636 (2,5)
40	15	11	210	1,8	40-15-11-210	3,9 (15,2)	3,4 (61,2)	600,0 (0,0)	643 (3,3)
40	20	4	20	0,6	40-20-4-20	4,4 (10,6)	3,7 (48,4)	553,3 (1,9)	643 (3,3)
40	20	4	160	0,6	40-20-4-160	5,0 (14,0)	2,8 (69,5)	550,0 (0,0)	622 (2,9)
40	20	4	180	0,6	40-20-4-180	3,4 (17,5)	2,8 (61,0)	548,3 (0,7)	636 (2,5)
40	20	4	210	0,6	40-20-4-210	3,0 (14,1)	3,3 (64,8)	570,0 (0,0)	643 (3,3)
40	20	8	20	1,3	40-20-8-20	5,9 (10,6)	4,7 (47,9)	570,0 (1,8)	643 (3,3)
40	20	8	160	1,3	40-20-8-160	3,4 (12,3)	3,3 (32,3)	550,0 (1,8)	622 (2,9)
40	20	8	180	1,3	40-20-8-180	2,2 (15,1)	2,1 (16,0)	556,7 (2,7)	636 (2,5)
40	20	8	210	1,3	40-20-8-210	6,6 (10,1)	4,4 (69,3)	560,0 (2,5)	643 (3,3)
40	20	11	20	1,8	40-20-11-20	4,5 (19,5)	2,9 (78,2)	585,0 (1,2)	643 (3,3)
40	20	11	160	1,8	40-20-11-160	3,1 (17,5)	2,5 (31,6)	585,0 (1,2)	622 (2,9)
40	20	11	180	1,8	40-20-11-180	5,1 (19,9)	4,2 (29,1)	570,0 (2,5)	636 (2,5)
40	20	11	210	1,8	40-20-11-210	2,9 (10,2)	1,8 (20,6)	543,3 (1,0)	643 (3,3)
40	25	4	20	0,6	40-25-4-20	8,2 (13,3)	3,0 (97,2)	531,4 (1,3)	643 (3,3)
40	25	4	160	0,6	40-25-4-160	3,1 (14,0)	2,2 (43,5)	530,0 (1,1)	622 (2,9)
40	25	4	180	0,6	40-25-4-180	4,5 (19,9)	2,2 (48,8)	527,1 (0,9)	636 (2,5)
40	25	4	210	0,6	40-25-4-210	5,1 (12,5)	2,8 (93,3)	566,7 (1,0)	643 (3,3)
40	25	8	20	1,3	40-25-8-20	3,5 (16,9)	2,5 (41,5)	553,3 (2,1)	643 (3,3)
40	25	8	160	1,3	40-25-8-160	4,1 (14,2)	2,4 (56,2)	556,7 (1,0)	622 (2,9)
40	25	8	180	1,3	40-25-8-180	5,5	6,6	550,0	636

						(16,5)	(47,6)	(1,8)	(2,5)
40	25	8	210	1,3	40-25-8-210	8,3 (10,8)	4,3 (84,3)	595,0 (1,2)	643 (3,3)
40	25	11	20	1,8	40-25-11-20	4,2 (18,6)	5,1 (66,9)	575,0 (1,2)	643 (3,3)
40	25	11	160	1,8	40-25-11-160	5,1 (16,1)	3,4 (67,9)	575,0 (1,2)	622 (2,9)
40	25	11	180	1,8	40-25-11-180	4,2 (17,0)	5,8 (48,9)	570,0 (0,0)	636 (2,5)
40	25	11	210	1,8	40-25-11-210	7,2 (11,2)	7,2 (50,4)	288,0 (1,6)	643 (3,3)

*Čísla v závorkách představují variační koeficienty (CV) v %, n = 30.*

Tab. 56 Průměrné hodnoty sledovaných charakteristik u Iroka (*Milicia excelsa*)

Řezná rychlost (m/s)	Úhel čela (°)	Posuvná rychlost (m/min)	Teplota termické modifikace (°C)	Posuv na zub (mm)	Kód	Wa (μm)	Ra (μm)	Řezný příkon (W)	Hustota (Kg.m <sup>-3</sup> )
20	15	4	20	1,3	20-15-4-20	4,5 (12,1)	4,2 (93,8)	306,7 (3,9)	589 (0,8)
20	15	4	160	1,3	20-15-4-160	5,6 (16,5)	5,9 (31,4)	300,0 (7,7)	555 (2,4)
20	15	4	180	1,3	20-15-4-180	5,3 (19,6)	5,2 (52,0)	310,0 (0,0)	529 (4,7)
20	15	4	210	1,3	20-15-4-210	2,7 (14,8)	3,0 (44,2)	286,7 (1,8)	541 (8,5)
20	15	8	20	2,7	20-15-8-21	4,7 (13,2)	3,7 (47,1)	336,7 (1,7)	589 (0,8)
20	15	8	160	2,7	20-15-8-160	5,2 (11,8)	4,8 (26,6)	350,0 (7,4)	555 (2,4)
20	15	8	180	2,7	20-15-8-180	14,0 (18,9)	9,7 (63,1)	320,0 (5,7)	529 (4,7)
20	15	8	210	2,7	20-15-8-210	4,3 (18,9)	4,4 (33,2)	323,3 (3,6)	541 (8,5)
20	15	11	20	3,7	20-15-11-20	8,4 (18,1)	6,8 (43,3)	350,0 (5,7)	589 (0,8)
20	15	11	160	3,7	20-15-11-160	7,1 (15,0)	8,1 (40,8)	330,0 (8,0)	555 (2,4)
20	15	11	180	3,7	20-15-11-180	15,3 (19,1)	13,0 (57,5)	323,3 (6,4)	529 (4,7)
20	15	11	210	3,7	20-15-11-210	8,8 (17,5)	7,6 (52,2)	320,0 (3,1)	541 (8,5)
20	20	4	20	1,3	20-20-4-20	5,1 (19,7)	3,3 (67,7)	300,0 (0,0)	589 (0,8)
20	20	4	160	1,3	20-20-4-160	3,3 (15,4)	5,2 (41,7)	301,7 (3,9)	555 (2,4)
20	20	4	180	1,3	20-20-4-180	13,4 (18,9)	7,8 (45,1)	310,0 (0,0)	529 (4,7)
20	20	4	210	1,3	20-20-4-210	4,7 (13,6)	4,4 (58,3)	286,0 (1,9)	541 (8,5)
20	20	8	20	2,7	20-20-8-20	5,5 (19,2)	5,6 (50,0)	330,0 (0,0)	589 (0,8)
20	20	8	160	2,7	20-20-8-160	6,2 (19,5)	6,0 (45,0)	303,3 (1,9)	555 (2,4)
20	20	8	180	2,7	20-20-8-180	6,3 (13,5)	5,1 (37,6)	303,3 (1,9)	529 (4,7)
20	20	8	210	2,7	20-20-8-210	7,3 (17,6)	7,4 (44,5)	303,3 (1,9)	541 (8,5)
20	20	11	20	3,7	20-20-11-20	8,4 (15,6)	5,3 (42,0)	330,0 (8,0)	589 (0,8)
20	20	11	160	3,7	20-20-11-160	8,2 (19,7)	5,9 (52,4)	346,7 (6,0)	555 (2,4)
20	20	11	180	3,7	20-20-11-180	8,0 (16,7)	7,3 (39,7)	323,3 (6,4)	529 (4,7)
20	20	11	210	3,7	20-20-11-210	11,6	6,0 (57,1)	300,0	541

						(16,0)		(7,7)	(8,5)
20	25	4	20	1,3	20-25-4-20	3,3 (12,7)	4,3 (28,7)	298,6 (1,3)	589 (0,8)
20	25	4	160	1,3	20-25-4-160	5,7 (17,0)	5,1 (47,5)	306,7 (3,9)	555 (2,4)
20	25	4	180	1,3	20-25-4-180	10,0 (16,9)	8,6 (52,6)	306,7 (2,7)	529 (4,7)
20	25	4	210	1,3	20-25-4-210	7,4 (17,7)	5,1 (35,3)	284,3 (2,8)	541 (8,5)
20	25	8	20	2,7	20-25-8-20	52,9 (14,9)	30,7 (29,2)	307,5 (6,2)	589 (0,8)
20	25	8	160	2,7	20-25-8-160	8,0 (17,5)	5,1 (46,6)	326,7 (4,7)	555 (2,4)
20	25	8	180	2,7	20-25-8-180	4,6 (15,2)	4,3 (67,9)	320,0 (3,1)	529 (4,7)
20	25	8	210	2,7	20-25-8-210	23,6 (13,9)	18,0 (30,6)	293,3 (2,0)	541 (8,5)
20	25	11	20	3,7	20-25-11-20	6,0 (10,2)	3,1 (70,6)	313,3 (9,8)	589 (0,8)
20	25	11	160	3,7	20-25-11-160	13,9 (11,7)	9,6 (37,9)	276,7 (4,2)	555 (2,4)
20	25	11	180	3,7	20-25-11-180	9,7 (18,8)	8,5 (53,7)	286,7 (5,3)	529 (4,7)
20	25	11	210	3,7	20-25-11-210	6,6 (11,4)	6,0 (60,1)	287,5 (7,2)	541 (8,5)
30	15	4	20	0,9	30-15-4-20	5,4 (17,5)	4,9 (54,0)	362,9 (3,8)	589 (0,8)
30	15	4	160	0,9	30-15-4-160	6,7 (11,3)	5,9 (66,6)	348,6 (3,1)	555 (2,4)
30	15	4	180	0,9	30-15-4-180	4,6 (10,2)	4,7 (57,6)	365,0 (2,3)	529 (4,7)
30	15	4	210	0,9	30-15-4-210	11,9 (15,6)	6,2 (43,7)	347,1 (1,4)	541 (8,5)
30	15	8	20	1,8	30-15-8-20	4,9 (16,7)	4,6 (38,6)	402,5 (6,8)	589 (0,8)
30	15	8	160	1,8	30-15-8-160	3,9 (17,4)	5,2 (55,3)	352,5 (6,7)	555 (2,4)
30	15	8	180	1,8	30-15-8-180	14,4 (17,5)	16,1 (30,5)	372,5 (10,1)	529 (4,7)
30	15	8	210	1,8	30-15-8-210	10,0 (18,3)	7,7 (25,4)	340,0 (5,5)	541 (8,5)
30	15	11	20	2,4	30-15-11-20	10,6 (13,8)	13,1 (34,7)	373,3 (10,1)	589 (0,8)
30	15	11	160	2,4	30-15-11-160	5,5 (12,5)	5,4 (32,0)	393,3 (5,3)	555 (2,4)
30	15	11	180	2,4	30-15-11-180	4,8 (10,8)	6,2 (38,8)	363,3 (5,7)	529 (4,7)
30	15	11	210	2,4	30-15-11-210	6,9 (19,3)	9,2 (41,9)	363,3 (3,2)	541 (8,5)
30	20	4	20	0,9	30-20-4-20	5,6 (12,7)	3,8 (54,1)	350,0 (2,3)	589 (0,8)
30	20	4	160	0,9	30-20-4-160	3,0 (17,9)	3,3 (63,8)	348,3 (1,2)	555 (2,4)



30	20	4	180	0,9	30-20-4-180	9,2 (13,2)	3,2 (58,0)	325,7 (1,6)	529 (4,7)
30	20	4	210	0,9	30-20-4-210	6,8 (11,6)	5,8 (33,2)	332,9 (2,9)	541 (8,5)
30	20	8	20	1,8	30-20-8-20	10,9 (14,8)	3,3 (53,5)	347,5 (5,4)	589 (0,8)
30	20	8	160	1,8	30-20-8-160	6,7 (14,9)	5,4 (38,3)	370,0 (2,7)	555 (2,4)
30	20	8	180	1,8	30-20-8-180	5,6 (19,1)	2,6 (51,5)	337,5 (3,7)	529 (4,7)
30	20	8	210	1,8	30-20-8-210	8,8 (11,4)	9,7 (38,2)	343,3 (3,4)	541 (8,5)
30	20	11	20	2,4	30-20-11-20	7,1 (11,9)	6,2 (77,4)	366,7 (8,8)	589 (0,8)
30	20	11	160	2,4	30-20-11-160	9,0 (19,5)	9,5 (16,3)	353,3 (5,9)	555 (2,4)
30	20	11	180	2,4	30-20-11-180	7,4 (13,1)	3,2 (43,3)	333,3 (3,5)	529 (4,7)
30	20	11	210	2,4	30-20-11-210	4,8 (16,8)	6,5 (38,7)	343,3 (6,1)	541 (8,5)
30	25	4	20	0,9	30-25-4-20	4,3 (15,2)	5,6 (44,6)	331,4 (2,7)	589 (0,8)
30	25	4	160	0,9	30-25-4-160	5,1 (17,0)	3,6 (74,7)	338,3 (2,2)	555 (2,4)
30	25	4	180	0,9	30-25-4-180	5,9 (18,2)	5,0 (78,7)	315,7 (1,7)	529 (4,7)
30	25	4	210	0,9	30-25-4-210	4,3 (11,8)	5,1 (40,2)	320,0 (2,6)	541 (8,5)
30	25	8	20	1,8	30-25-8-20	4,4 (13,6)	4,7 (40,2)	342,5 (4,4)	589 (0,8)
30	25	8	160	1,8	30-25-8-160	6,9 (15,4)	5,5 (40,3)	330,0 (2,5)	555 (2,4)
30	25	8	180	1,8	30-25-8-180	6,3 (10,5)	4,7 (29,1)	322,5 (6,9)	529 (4,7)
30	25	8	210	1,8	30-25-8-210	7,8 (16,2)	6,7 (55,5)	322,5 (4,7)	541 (8,5)
30	25	11	20	2,4	30-25-11-20	9,5 (17,7)	6,4 (42,1)	346,7 (7,3)	589 (0,8)
30	25	11	160	2,4	30-25-11-160	8,0 (12,0)	8,0 (57,9)	333,3 (6,2)	555 (2,4)
30	25	11	180	2,4	30-25-11-180	6,9 (10,4)	5,6 (45,7)	340,0 (5,1)	529 (4,7)
30	25	11	210	2,4	30-25-11-210	6,4 (15,3)	5,8 (50,7)	332,5 (7,9)	541 (8,5)
40	15	4	20	0,6	40-15-4-20	6,7 (14,4)	6,6 (31,3)	597,1 (2,7)	589 (0,8)
40	15	4	160	0,6	40-15-4-160	4,8 (10,6)	3,2 (42,4)	571,4 (1,9)	555 (2,4)
40	15	4	180	0,6	40-15-4-180	3,6 (13,9)	3,0 (70,9)	554,3 (1,4)	529 (4,7)
40	15	4	210	0,6	40-15-4-210	5,6 (17,7)	4,4 (86,0)	561,4 (3,2)	541 (8,5)
40	15	8	20	1,3	40-15-8-20	5,1 (10,0)	5,3 (59,2)	613,3	589

								(1,9)	(0,8)
40	15	8	160	1,3	40-15-8-160	5,6 (19,7)	5,2 (37,3)	606,7 (3,8)	555 (2,4)
40	15	8	180	1,3	40-15-8-180	7,5 (16,4)	4,9 (46,3)	555,0 (3,8)	529 (4,7)
40	15	8	210	1,3	40-15-8-210	7,7 (12,6)	5,7 (41,0)	562,5 (5,1)	541 (8,5)
40	15	11	20	1,8	40-15-11-20	9,2 (19,0)	7,5 (24,0)	603,3 (7,7)	589 (0,8)
40	15	11	160	1,8	40-15-11-160	6,5 (12,1)	7,3 (55,8)	600,0 (8,8)	555 (2,4)
40	15	11	180	1,8	40-15-11-180	20,7 (14,9)	12,2 (45,9)	600,0 (5,0)	529 (4,7)
40	15	11	210	1,8	40-15-11-210	4,2 (14,0)	3,7 (38,8)	570,0 (3,0)	541 (8,5)
40	20	4	20	0,6	40-20-4-20	4,4 (17,5)	3,6 (34,5)	560,0 (2,7)	589 (0,8)
40	20	4	160	0,6	40-20-4-160	4,9 (19,5)	3,6 (49,0)	565,0 (1,5)	555 (2,4)
40	20	4	180	0,6	40-20-4-180	6,8 (13,4)	5,8 (60,5)	525,7 (1,9)	529 (4,7)
40	20	4	210	0,6	40-20-4-210	4,2 (14,3)	3,5 (41,4)	537,1 (2,1)	541 (8,5)
40	20	8	20	1,3	40-20-8-20	5,5 (12,2)	4,6 (45,9)	570,0 (5,9)	589 (0,8)
40	20	8	160	1,3	40-20-8-160	7,4 (19,6)	5,3 (40,9)	525,0 (1,9)	555 (2,4)
40	20	8	180	1,3	40-20-8-180	7,9 (16,9)	4,7 (52,8)	540,0 (2,6)	529 (4,7)
40	20	8	210	1,3	40-20-8-210	6,2 (12,9)	6,0 (39,3)	532,5 (2,8)	541 (8,5)
40	20	11	20	1,8	40-20-11-20	5,7 (10,4)	5,2 (40,7)	567,5 (10,7)	589 (0,8)
40	20	11	160	1,8	40-20-11-160	4,3 (19,7)	3,6 (37,2)	506,7 (2,3)	555 (2,4)
40	20	11	180	1,8	40-20-11-180	7,4 (18,9)	9,3 (56,9)	556,7 (7,3)	529 (4,7)
40	20	11	210	1,8	40-20-11-210	6,3 (18,0)	5,3 (30,4)	516,7 (1,1)	541 (8,5)
40	25	4	20	0,6	40-25-4-20	10,3 (19,8)	6,8 (44,6)	562,9 (2,5)	589 (0,8)
40	25	4	160	0,6	40-25-4-160	6,5 (17,3)	4,9 (56,4)	555,0 (1,0)	555 (2,4)
40	25	4	180	0,6	40-25-4-180	4,9 (19,7)	3,7 (53,7)	528,3 (0,8)	529 (4,7)
40	25	4	210	0,6	40-25-4-210	3,8 (15,7)	3,7 (41,6)	544,3 (1,8)	541 (8,5)
40	25	8	20	1,3	40-25-8-20	6,6 (19,4)	5,5 (61,3)	586,7 (1,0)	589 (0,8)
40	25	8	160	1,3	40-25-8-160	4,2 (17,0)	5,9 (39,5)	560,0 (0,0)	555 (2,4)
40	25	8	180	1,3	40-25-8-180	6,4 (16,2)	6,2 (58,2)	540,0 (0,0)	529 (4,7)

40	25	8	210	1,3	40-25-8-210	3,3 (14,0)	2,9 (27,8)	542,5 (2,8)	541 (8,5)
40	25	11	20	1,8	40-25-11-20	9,0 (14,5)	7,7 (29,7)	583,3 (6,5)	589 (0,8)
40	25	11	160	1,8	40-25-11-160	6,4 (18,2)	6,6 (27,1)	556,7 (2,7)	555 (2,4)
40	25	11	180	1,8	40-25-11-180	8,2 (19,6)	7,0 (61,7)	543,3 (2,1)	529 (4,7)
40	25	11	210	1,8	40-25-11-210	4,6 (14,1)	4,3 (29,9)	573,3 (3,6)	541 (8,5)

*Čísla v závorkách představují variační koeficienty (CV) v %, n = 30.*

**Tab. 57** Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Merbau (*Intsia bijuga*)

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	25°	4	180 °C	3	2	340	6 008 Kč
2	40	15°	4	160 °C	4	3	420	7 422 Kč
3	30	25°	4	160 °C	2	3	420	7 422 Kč
4	20	20°	4	160 °C	3	3	350	6 185 Kč
5	20	25°	8	180 °C	6	3	340	6 008 Kč
6	30	25°	4	180 °C	6	3	420	7 422 Kč
7	30	15°	4	160 °C	4	3	370	6 538 Kč
8	30	20°	8	180 °C	4	3	410	7 245 Kč
9	40	25°	4	160 °C	8	3	470	8 305 Kč
10	40	25°	11	160 °C	6	3	460	8 128 Kč
11	40	25°	4	180 °C	6	3	490	8 658 Kč
12	30	25°	8	20 °C	6	3	420	7 422 Kč
13	30	15°	11	20 °C	4	3	420	7 422 Kč
14	30	25°	8	180 °C	4	3	420	7 422 Kč
15	40	20°	11	180 °C	7	3	470	8 305 Kč
16	40	20°	8	160 °C	6	4	540	9 542 Kč
17	20	20°	4	180 °C	8	4	380	6 715 Kč
18	20	20°	4	20 °C	7	4	360	6 361 Kč
19	30	15°	4	180 °C	7	4	300	5 301 Kč
20	40	20°	4	20 °C	8	4	500	8 835 Kč
21	40	25°	8	20 °C	6	4	450	7 952 Kč
22	40	15°	4	180 °C	8	4	420	7 422 Kč
23	20	25°	4	20 °C	6	4	360	6 361 Kč
24	40	20°	11	20 °C	7	4	490	8 658 Kč
25	40	25°	8	160 °C	7	4	450	7 952 Kč
26	20	25°	8	20 °C	6	4	300	5 301 Kč
27	30	20°	4	20 °C	8	4	380	6 715 Kč
28	20	25°	4	160 °C	6	4	300	5 301 Kč
29	40	15°	8	20 °C	11	4	420	7 422 Kč
30	20	25°	11	20 °C	9	4	300	5 301 Kč
31	30	20°	11	160 °C	5	4	410	7 245 Kč
32	30	25°	11	160 °C	4	4	420	7 422 Kč
33	40	20°	4	180 °C	8	4	470	8 305 Kč
34	30	25°	8	160 °C	7	4	420	7 422 Kč
35	30	20°	11	20 °C	5	4	400	7 068 Kč
36	30	15°	4	20 °C	7	5	340	6 008 Kč
37	40	20°	11	160 °C	6	5	530	9 365 Kč
38	30	25°	4	20 °C	9	5	420	7 422 Kč
39	40	25°	4	20 °C	11	5	530	9 365 Kč
40	40	15°	4	20 °C	8	5	420	7 422 Kč
41	20	15°	4	20 °C	7	5	340	6 008 Kč

42	20	15°	8	20 °C	6	5	370	6 538 Kč
43	40	25°	11	180 °C	7	5	450	7 952 Kč
44	40	15°	8	160 °C	9	5	420	7 422 Kč
45	20	25°	11	180 °C	6	5	370	6 538 Kč
46	20	15°	4	160 °C	7	5	370	6 538 Kč
47	30	15°	8	160 °C	7	5	420	7 422 Kč
48	30	15°	11	160 °C	9	5	380	6 715 Kč
49	20	15°	8	180 °C	7	5	340	6 008 Kč
50	40	25°	4	210 °C	3	5	490	8 658 Kč
51	30	20°	8	210 °C	9	5	420	7 422 Kč
52	30	25°	11	20 °C	10	5	420	7 422 Kč
53	30	20°	4	180 °C	9	5	400	7 068 Kč
54	20	15°	4	180 °C	6	5	380	6 715 Kč
55	20	20°	8	20 °C	8	5	350	6 185 Kč
56	20	20°	11	160 °C	7	5	360	6 361 Kč
57	30	25°	11	180 °C	7	5	420	7 422 Kč
58	30	25°	4	210 °C	9	5	420	7 422 Kč
59	40	20°	8	180 °C	5	6	530	9 365 Kč
60	30	20°	4	160 °C	8	6	380	6 715 Kč
61	40	15°	11	20 °C	18	6	470	8 305 Kč
62	40	15°	11	180 °C	14	6	540	9 542 Kč
63	40	15°	11	210 °C	7	6	470	8 305 Kč
64	40	20°	4	160 °C	10	6	540	9 542 Kč
65	20	20°	8	210 °C	9	6	360	6 361 Kč
66	40	25°	8	180 °C	12	6	460	8 128 Kč
67	30	20°	4	210 °C	5	6	410	7 245 Kč
68	40	15°	8	180 °C	9	6	420	7 422 Kč
69	30	20°	8	160 °C	9	6	400	7 068 Kč
70	20	20°	11	180 °C	9	6	300	5 301 Kč
71	40	15°	8	210 °C	10	6	420	7 422 Kč
72	20	20°	11	210 °C	11	6	340	6 008 Kč
73	40	20°	4	210 °C	9	6	500	8 835 Kč
74	40	20°	8	210 °C	8	6	470	8 305 Kč
75	30	15°	11	180 °C	10	6	440	7 775 Kč
76	30	15°	4	210 °C	12	6	300	5 301 Kč
77	40	25°	8	210 °C	7	6	450	7 952 Kč
78	20	15°	8	160 °C	12	6	380	6 715 Kč
79	30	15°	8	20 °C	16	7	440	7 775 Kč
80	20	20°	8	180 °C	16	7	360	6 361 Kč
81	40	25°	11	20 °C	14	7	450	7 952 Kč
82	20	20°	11	20 °C	22	7	340	6 008 Kč
83	20	20°	8	160 °C	11	7	380	6 715 Kč
84	30	15°	8	180 °C	11	7	380	6 715 Kč
85	40	25°	11	210 °C	10	7	450	7 952 Kč
86	20	15°	11	160 °C	12	7	380	6 715 Kč
87	20	25°	8	160 °C	10	7	300	5 301 Kč
88	20	25°	4	210 °C	10	7	360	6 361 Kč
89	40	20°	8	20 °C	12	7	540	9 542 Kč

90	20	15°	11	180 °C	13	7	350	6 185 Kč
91	40	15°	11	160 °C	12	7	500	8 835 Kč
92	20	15°	4	210 °C	9	7	340	6 008 Kč
93	30	25°	8	210 °C	8	7	420	7 422 Kč
94	20	15°	11	20 °C	10	8	380	6 715 Kč
95	30	20°	11	180 °C	14	8	420	7 422 Kč
96	30	15°	8	210 °C	7	8	440	7 775 Kč
97	30	20°	8	20 °C	9	8	420	7 422 Kč
98	30	25°	11	210 °C	8	8	420	7 422 Kč
99	20	15°	8	210 °C	11	9	370	6 538 Kč
100	20	20°	4	210 °C	12	9	360	6 361 Kč
101	30	15°	11	210 °C	9	9	420	7 422 Kč
102	20	25°	8	210 °C	9	9	370	6 538 Kč
103	20	25°	11	210 °C	14	9	300	5 301 Kč
104	40	15°	4	210 °C	15	9	420	7 422 Kč
105	20	25°	11	160 °C	15	10	340	6 008 Kč
106	40	20°	11	210 °C	7	10	490	8 658 Kč
107	30	20°	11	210 °C	8	12	420	7 422 Kč
108	20	15°	11	210 °C	10	16	380	6 715 Kč

**Tab. 58** Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Merbau (*Intsia bijuga*)

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	30	25°	4	160 °C	2	3	420	7 422 Kč
2	40	25°	4	210 °C	3	5	490	8 658 Kč
3	20	25°	4	180 °C	3	2	340	6 008 Kč
4	20	20°	4	160 °C	3	3	350	6 185 Kč
5	30	25°	11	160 °C	4	4	420	7 422 Kč
6	30	15°	4	160 °C	4	3	370	6 538 Kč
7	30	20°	8	180 °C	4	3	410	7 245 Kč
8	40	15°	4	160 °C	4	3	420	7 422 Kč
9	30	25°	8	180 °C	4	3	420	7 422 Kč
10	30	15°	11	20 °C	4	3	420	7 422 Kč
11	30	20°	4	210 °C	5	6	410	7 245 Kč
12	40	20°	8	180 °C	5	6	530	9 365 Kč
13	30	20°	11	160 °C	5	4	410	7 245 Kč
14	30	20°	11	20 °C	5	4	400	7 068 Kč
15	40	25°	8	20 °C	6	4	450	7 952 Kč
16	20	25°	11	180 °C	6	5	370	6 538 Kč
17	30	25°	4	180 °C	6	3	420	7 422 Kč
18	20	15°	4	180 °C	6	5	380	6 715 Kč
19	20	25°	8	180 °C	6	3	340	6 008 Kč
20	40	20°	11	160 °C	6	5	530	9 365 Kč
21	40	25°	4	180 °C	6	3	490	8 658 Kč
22	40	20°	8	160 °C	6	4	540	9 542 Kč
23	30	25°	8	20 °C	6	3	420	7 422 Kč
24	20	15°	8	20 °C	6	5	370	6 538 Kč
25	20	25°	4	160 °C	6	4	300	5 301 Kč
26	20	25°	4	20 °C	6	4	360	6 361 Kč
27	20	25°	8	20 °C	6	4	300	5 301 Kč
28	40	25°	11	160 °C	6	3	460	8 128 Kč
29	40	20°	11	180 °C	7	3	470	8 305 Kč
30	40	25°	8	160 °C	7	4	450	7 952 Kč
31	30	15°	8	160 °C	7	5	420	7 422 Kč
32	30	25°	8	160 °C	7	4	420	7 422 Kč
33	30	25°	11	180 °C	7	5	420	7 422 Kč
34	20	15°	4	160 °C	7	5	370	6 538 Kč
35	30	15°	4	20 °C	7	5	340	6 008 Kč
36	20	15°	4	20 °C	7	5	340	6 008 Kč
37	40	15°	11	210 °C	7	6	470	8 305 Kč
38	20	15°	8	180 °C	7	5	340	6 008 Kč
39	20	20°	4	20 °C	7	4	360	6 361 Kč
40	40	20°	11	20 °C	7	4	490	8 658 Kč
41	40	25°	11	180 °C	7	5	450	7 952 Kč

42	20	20°	11	160 °C	7	5	360	6 361 Kč
43	40	20°	11	210 °C	7	10	490	8 658 Kč
44	40	25°	8	210 °C	7	6	450	7 952 Kč
45	30	15°	8	210 °C	7	8	440	7 775 Kč
46	30	15°	4	180 °C	7	4	300	5 301 Kč
47	30	20°	11	210 °C	8	12	420	7 422 Kč
48	20	20°	4	180 °C	8	4	380	6 715 Kč
49	40	20°	4	20 °C	8	4	500	8 835 Kč
50	40	25°	4	160 °C	8	3	470	8 305 Kč
51	40	15°	4	20 °C	8	5	420	7 422 Kč
52	30	25°	11	210 °C	8	8	420	7 422 Kč
53	30	25°	8	210 °C	8	7	420	7 422 Kč
54	30	20°	4	20 °C	8	4	380	6 715 Kč
55	40	20°	4	180 °C	8	4	470	8 305 Kč
56	20	20°	8	20 °C	8	5	350	6 185 Kč
57	40	20°	8	210 °C	8	6	470	8 305 Kč
58	30	20°	4	160 °C	8	6	380	6 715 Kč
59	40	15°	4	180 °C	8	4	420	7 422 Kč
60	40	20°	4	210 °C	9	6	500	8 835 Kč
61	30	20°	8	210 °C	9	5	420	7 422 Kč
62	20	20°	8	210 °C	9	6	360	6 361 Kč
63	40	15°	8	180 °C	9	6	420	7 422 Kč
64	30	20°	8	160 °C	9	6	400	7 068 Kč
65	30	25°	4	210 °C	9	5	420	7 422 Kč
66	30	20°	8	20 °C	9	8	420	7 422 Kč
67	20	25°	8	210 °C	9	9	370	6 538 Kč
68	20	25°	11	20 °C	9	4	300	5 301 Kč
69	30	25°	4	20 °C	9	5	420	7 422 Kč
70	30	15°	11	210 °C	9	9	420	7 422 Kč
71	20	15°	4	210 °C	9	7	340	6 008 Kč
72	40	15°	8	160 °C	9	5	420	7 422 Kč
73	30	20°	4	180 °C	9	5	400	7 068 Kč
74	20	20°	11	180 °C	9	6	300	5 301 Kč
75	30	15°	11	160 °C	9	5	380	6 715 Kč
76	30	25°	11	20 °C	10	5	420	7 422 Kč
77	20	15°	11	210 °C	10	16	380	6 715 Kč
78	20	25°	4	210 °C	10	7	360	6 361 Kč
79	20	15°	11	20 °C	10	8	380	6 715 Kč
80	40	15°	8	210 °C	10	6	420	7 422 Kč
81	40	25°	11	210 °C	10	7	450	7 952 Kč
82	40	20°	4	160 °C	10	6	540	9 542 Kč
83	30	15°	11	180 °C	10	6	440	7 775 Kč
84	20	25°	8	160 °C	10	7	300	5 301 Kč
85	30	15°	8	180 °C	11	7	380	6 715 Kč
86	20	15°	8	210 °C	11	9	370	6 538 Kč
87	40	25°	4	20 °C	11	5	530	9 365 Kč
88	20	20°	11	210 °C	11	6	340	6 008 Kč
89	20	20°	8	160 °C	11	7	380	6 715 Kč



90	40	15°	8	20 °C	11	4	420	7 422 Kč
91	40	15°	11	160 °C	12	7	500	8 835 Kč
92	30	15°	4	210 °C	12	6	300	5 301 Kč
93	20	15°	11	160 °C	12	7	380	6 715 Kč
94	20	20°	4	210 °C	12	9	360	6 361 Kč
95	20	15°	8	160 °C	12	6	380	6 715 Kč
96	40	20°	8	20 °C	12	7	540	9 542 Kč
97	40	25°	8	180 °C	12	6	460	8 128 Kč
98	20	15°	11	180 °C	13	7	350	6 185 Kč
99	30	20°	11	180 °C	14	8	420	7 422 Kč
100	20	25°	11	210 °C	14	9	300	5 301 Kč
101	40	25°	11	20 °C	14	7	450	7 952 Kč
102	40	15°	11	180 °C	14	6	540	9 542 Kč
103	20	25°	11	160 °C	15	10	340	6 008 Kč
104	40	15°	4	210 °C	15	9	420	7 422 Kč
105	20	20°	8	180 °C	16	7	360	6 361 Kč
106	30	15°	8	20 °C	16	7	440	7 775 Kč
107	40	15°	11	20 °C	18	6	470	8 305 Kč
108	20	20°	11	20 °C	22	7	340	6 008 Kč

Tab. 59 Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Merbau (*Intsia bijuga*)

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	25°	4	160 °C	6	4	300	5 301 Kč
2	20	25°	8	20 °C	6	4	300	5 301 Kč
3	30	15°	4	180 °C	7	4	300	5 301 Kč
4	20	25°	11	20 °C	9	4	300	5 301 Kč
5	20	20°	11	180 °C	9	6	300	5 301 Kč
6	20	25°	8	160 °C	10	7	300	5 301 Kč
7	30	15°	4	210 °C	12	6	300	5 301 Kč
8	20	25°	11	210 °C	14	9	300	5 301 Kč
9	20	25°	4	180 °C	3	2	340	6 008 Kč
10	20	25°	8	180 °C	6	3	340	6 008 Kč
11	20	15°	4	20 °C	7	5	340	6 008 Kč
12	30	15°	4	20 °C	7	5	340	6 008 Kč
13	20	15°	8	180 °C	7	5	340	6 008 Kč
14	20	15°	4	210 °C	9	7	340	6 008 Kč
15	20	20°	11	210 °C	11	6	340	6 008 Kč
16	20	20°	11	20 °C	22	7	340	6 008 Kč
17	20	25°	11	160 °C	15	10	340	6 008 Kč
18	20	20°	4	160 °C	3	3	350	6 185 Kč
19	20	20°	8	20 °C	8	5	350	6 185 Kč
20	20	15°	11	180 °C	13	7	350	6 185 Kč
21	20	25°	4	20 °C	6	4	360	6 361 Kč
22	20	20°	4	20 °C	7	4	360	6 361 Kč
23	20	20°	11	160 °C	7	5	360	6 361 Kč
24	20	20°	8	210 °C	9	6	360	6 361 Kč
25	20	25°	4	210 °C	10	7	360	6 361 Kč
26	20	20°	8	180 °C	16	7	360	6 361 Kč
27	20	20°	4	210 °C	12	9	360	6 361 Kč
28	30	15°	4	160 °C	4	3	370	6 538 Kč
29	20	25°	11	180 °C	6	5	370	6 538 Kč
30	20	15°	8	20 °C	6	5	370	6 538 Kč
31	20	15°	4	160 °C	7	5	370	6 538 Kč
32	20	25°	8	210 °C	9	9	370	6 538 Kč
33	20	15°	8	210 °C	11	9	370	6 538 Kč
34	20	20°	4	180 °C	8	4	380	6 715 Kč
35	20	15°	4	180 °C	6	5	380	6 715 Kč
36	30	20°	4	20 °C	8	4	380	6 715 Kč
37	30	20°	4	160 °C	8	6	380	6 715 Kč
38	30	15°	11	160 °C	9	5	380	6 715 Kč
39	20	15°	8	160 °C	12	6	380	6 715 Kč
40	20	15°	11	20 °C	10	8	380	6 715 Kč
41	30	15°	8	180 °C	11	7	380	6 715 Kč

42	20	20°	8	160 °C	11	7	380	6 715 Kč
43	20	15°	11	160 °C	12	7	380	6 715 Kč
44	20	15°	11	210 °C	10	16	380	6 715 Kč
45	30	20°	11	20 °C	5	4	400	7 068 Kč
46	30	20°	4	180 °C	9	5	400	7 068 Kč
47	30	20°	8	160 °C	9	6	400	7 068 Kč
48	30	20°	8	180 °C	4	3	410	7 245 Kč
49	30	20°	11	160 °C	5	4	410	7 245 Kč
50	30	20°	4	210 °C	5	6	410	7 245 Kč
51	30	25°	4	160 °C	2	3	420	7 422 Kč
52	30	15°	11	20 °C	4	3	420	7 422 Kč
53	40	15°	4	160 °C	4	3	420	7 422 Kč
54	30	25°	4	180 °C	6	3	420	7 422 Kč
55	30	25°	8	180 °C	4	3	420	7 422 Kč
56	30	25°	8	20 °C	6	3	420	7 422 Kč
57	30	25°	11	160 °C	4	4	420	7 422 Kč
58	30	15°	8	160 °C	7	5	420	7 422 Kč
59	30	25°	8	160 °C	7	4	420	7 422 Kč
60	40	15°	4	180 °C	8	4	420	7 422 Kč
61	30	25°	11	180 °C	7	5	420	7 422 Kč
62	40	15°	4	20 °C	8	5	420	7 422 Kč
63	30	25°	4	20 °C	9	5	420	7 422 Kč
64	30	20°	8	210 °C	9	5	420	7 422 Kč
65	30	25°	4	210 °C	9	5	420	7 422 Kč
66	40	15°	8	160 °C	9	5	420	7 422 Kč
67	40	15°	8	20 °C	11	4	420	7 422 Kč
68	30	25°	11	20 °C	10	5	420	7 422 Kč
69	40	15°	8	180 °C	9	6	420	7 422 Kč
70	30	20°	11	210 °C	8	12	420	7 422 Kč
71	30	25°	8	210 °C	8	7	420	7 422 Kč
72	30	20°	8	20 °C	9	8	420	7 422 Kč
73	30	25°	11	210 °C	8	8	420	7 422 Kč
74	30	15°	11	210 °C	9	9	420	7 422 Kč
75	40	15°	8	210 °C	10	6	420	7 422 Kč
76	30	20°	11	180 °C	14	8	420	7 422 Kč
77	40	15°	4	210 °C	15	9	420	7 422 Kč
78	30	15°	8	210 °C	7	8	440	7 775 Kč
79	30	15°	11	180 °C	10	6	440	7 775 Kč
80	30	15°	8	20 °C	16	7	440	7 775 Kč
81	40	25°	8	20 °C	6	4	450	7 952 Kč
82	40	25°	8	160 °C	7	4	450	7 952 Kč
83	40	25°	11	180 °C	7	5	450	7 952 Kč
84	40	25°	8	210 °C	7	6	450	7 952 Kč
85	40	25°	11	210 °C	10	7	450	7 952 Kč
86	40	25°	11	20 °C	14	7	450	7 952 Kč
87	40	25°	11	160 °C	6	3	460	8 128 Kč
88	40	25°	8	180 °C	12	6	460	8 128 Kč
89	40	20°	11	180 °C	7	3	470	8 305 Kč

90	40	25°	4	160 °C	8	3	470	8 305 Kč
91	40	20°	4	180 °C	8	4	470	8 305 Kč
92	40	15°	11	210 °C	7	6	470	8 305 Kč
93	40	20°	8	210 °C	8	6	470	8 305 Kč
94	40	15°	11	20 °C	18	6	470	8 305 Kč
95	40	25°	4	180 °C	6	3	490	8 658 Kč
96	40	25°	4	210 °C	3	5	490	8 658 Kč
97	40	20°	11	20 °C	7	4	490	8 658 Kč
98	40	20°	11	210 °C	7	10	490	8 658 Kč
99	40	20°	4	20 °C	8	4	500	8 835 Kč
100	40	20°	4	210 °C	9	6	500	8 835 Kč
101	40	15°	11	160 °C	12	7	500	8 835 Kč
102	40	20°	11	160 °C	6	5	530	9 365 Kč
103	40	20°	8	180 °C	5	6	530	9 365 Kč
104	40	25°	4	20 °C	11	5	530	9 365 Kč
105	40	20°	8	160 °C	6	4	540	9 542 Kč
106	40	20°	4	160 °C	10	6	540	9 542 Kč
107	40	15°	11	180 °C	14	6	540	9 542 Kč
108	40	20°	8	20 °C	12	7	540	9 542 Kč

**Tab. 60 Nejlepší kombinace všech parametrů u Merbau (*Intsia bijuga*)**

Merbau ( <i>Intsia bijuga</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	25°	4	180 °C	3	2	340	6 008 Kč
2	20	20°	4	160 °C	3	3	350	6 185 Kč
3	20	25°	8	180 °C	6	3	340	6 008 Kč
4	30	15°	4	160 °C	4	3	370	6 538 Kč
5	20	25°	4	160 °C	6	4	300	5 301 Kč
6	20	25°	8	20 °C	6	4	300	5 301 Kč
7	30	25°	4	160 °C	2	3	420	7 422 Kč
8	30	20°	8	180 °C	4	3	410	7 245 Kč
9	30	15°	4	180 °C	7	4	300	5 301 Kč
10	20	25°	4	20 °C	6	4	360	6 361 Kč
11	30	15°	11	20 °C	4	3	420	7 422 Kč
12	20	20°	4	20 °C	7	4	360	6 361 Kč
13	40	15°	4	160 °C	4	3	420	7 422 Kč
14	30	25°	4	180 °C	6	3	420	7 422 Kč
15	20	15°	4	20 °C	7	5	340	6 008 Kč
16	30	25°	8	180 °C	4	3	420	7 422 Kč
17	30	15°	4	20 °C	7	5	340	6 008 Kč
18	20	25°	11	180 °C	6	5	370	6 538 Kč
19	30	20°	11	160 °C	5	4	410	7 245 Kč
20	20	15°	8	20 °C	6	5	370	6 538 Kč
21	30	20°	11	20 °C	5	4	400	7 068 Kč
22	30	25°	8	20 °C	6	3	420	7 422 Kč
23	20	15°	8	180 °C	7	5	340	6 008 Kč
24	20	25°	11	20 °C	9	4	300	5 301 Kč
25	20	20°	4	180 °C	8	4	380	6 715 Kč
26	30	25°	11	160 °C	4	4	420	7 422 Kč
27	20	15°	4	180 °C	6	5	380	6 715 Kč
28	20	15°	4	160 °C	7	5	370	6 538 Kč
29	40	25°	8	20 °C	6	4	450	7 952 Kč
30	20	20°	11	160 °C	7	5	360	6 361 Kč
31	30	20°	4	20 °C	8	4	380	6 715 Kč
32	30	20°	4	210 °C	5	6	410	7 245 Kč
33	40	25°	11	160 °C	6	3	460	8 128 Kč
34	30	15°	8	160 °C	7	5	420	7 422 Kč
35	30	25°	8	160 °C	7	4	420	7 422 Kč
36	40	25°	4	180 °C	6	3	490	8 658 Kč
37	20	20°	8	20 °C	8	5	350	6 185 Kč
38	40	20°	11	180 °C	7	3	470	8 305 Kč
39	40	25°	8	160 °C	7	4	450	7 952 Kč
40	20	20°	11	180 °C	9	6	300	5 301 Kč
41	40	20°	8	160 °C	6	4	540	9 542 Kč

42	40	25°	4	210 °C	3	5	490	8 658 Kč
43	20	20°	8	210 °C	9	6	360	6 361 Kč
44	40	15°	4	180 °C	8	4	420	7 422 Kč
45	40	25°	4	160 °C	8	3	470	8 305 Kč
46	30	25°	11	180 °C	7	5	420	7 422 Kč
47	40	20°	11	20 °C	7	4	490	8 658 Kč
48	40	20°	11	160 °C	6	5	530	9 365 Kč
49	40	15°	4	20 °C	8	5	420	7 422 Kč
50	30	20°	4	160 °C	8	6	380	6 715 Kč
51	30	15°	11	160 °C	9	5	380	6 715 Kč
52	30	25°	4	20 °C	9	5	420	7 422 Kč
53	30	20°	8	210 °C	9	5	420	7 422 Kč
54	40	20°	4	20 °C	8	4	500	8 835 Kč
55	40	25°	11	180 °C	7	5	450	7 952 Kč
56	30	20°	4	180 °C	9	5	400	7 068 Kč
57	20	15°	4	210 °C	9	7	340	6 008 Kč
58	20	20°	11	210 °C	11	6	340	6 008 Kč
59	40	20°	8	180 °C	5	6	530	9 365 Kč
60	20	25°	8	160 °C	10	7	300	5 301 Kč
61	30	15°	4	210 °C	12	6	300	5 301 Kč
62	30	20°	8	160 °C	9	6	400	7 068 Kč
63	40	20°	4	180 °C	8	4	470	8 305 Kč
64	30	25°	4	210 °C	9	5	420	7 422 Kč
65	40	15°	11	210 °C	7	6	470	8 305 Kč
66	40	15°	8	160 °C	9	5	420	7 422 Kč
67	20	25°	4	210 °C	10	7	360	6 361 Kč
68	40	15°	8	20 °C	11	4	420	7 422 Kč
69	30	25°	11	20 °C	10	5	420	7 422 Kč
70	20	25°	8	210 °C	9	9	370	6 538 Kč
71	20	20°	11	20 °C	22	7	340	6 008 Kč
72	40	25°	8	210 °C	7	6	450	7 952 Kč
73	20	15°	11	180 °C	13	7	350	6 185 Kč
74	40	15°	8	180 °C	9	6	420	7 422 Kč
75	20	15°	8	160 °C	12	6	380	6 715 Kč
76	20	20°	8	180 °C	16	7	360	6 361 Kč
77	20	15°	11	20 °C	10	8	380	6 715 Kč
78	20	25°	11	210 °C	14	9	300	5 301 Kč
79	30	15°	8	180 °C	11	7	380	6 715 Kč
80	30	20°	11	210 °C	8	12	420	7 422 Kč
81	30	25°	8	210 °C	8	7	420	7 422 Kč
82	20	20°	8	160 °C	11	7	380	6 715 Kč
83	20	15°	8	210 °C	11	9	370	6 538 Kč
84	20	15°	11	160 °C	12	7	380	6 715 Kč
85	20	20°	4	210 °C	12	9	360	6 361 Kč
86	30	20°	8	20 °C	9	8	420	7 422 Kč
87	30	25°	11	210 °C	8	8	420	7 422 Kč
88	30	15°	8	210 °C	7	8	440	7 775 Kč
89	20	15°	11	210 °C	10	16	380	6 715 Kč

90	40	20°	8	210 °C	8	6	470	8 305 Kč
91	20	25°	11	160 °C	15	10	340	6 008 Kč
92	30	15°	11	210 °C	9	9	420	7 422 Kč
93	40	15°	8	210 °C	10	6	420	7 422 Kč
94	40	25°	4	20 °C	11	5	530	9 365 Kč
95	40	20°	4	210 °C	9	6	500	8 835 Kč
96	30	15°	11	180 °C	10	6	440	7 775 Kč
97	40	20°	11	210 °C	7	10	490	8 658 Kč
98	30	20°	11	180 °C	14	8	420	7 422 Kč
99	40	25°	8	180 °C	12	6	460	8 128 Kč
100	40	20°	4	160 °C	10	6	540	9 542 Kč
101	40	25°	11	210 °C	10	7	450	7 952 Kč
102	40	15°	11	20 °C	18	6	470	8 305 Kč
103	30	15°	8	20 °C	16	7	440	7 775 Kč
104	40	25°	11	20 °C	14	7	450	7 952 Kč
105	40	15°	11	180 °C	14	6	540	9 542 Kč
106	40	15°	4	210 °C	15	9	420	7 422 Kč
107	40	15°	11	160 °C	12	7	500	8 835 Kč
108	40	20°	8	20 °C	12	7	540	9 542 Kč

**Tab. 61** Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Meranti (*Shorea acuminata*)

Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	40	25°	4	210 °C	6	3	533	9 424 Kč
2	20	15°	4	180 °C	7	4	353	6 244 Kč
3	20	20°	4	180 °C	7	4	293	5 183 Kč
4	40	15°	11	210 °C	6	4	720	12 723 Kč
5	40	15°	8	180 °C	7	4	653	11 545 Kč
6	20	25°	4	210 °C	6	5	287	5 066 Kč
7	40	20°	8	210 °C	7	5	550	9 719 Kč
8	30	25°	4	20 °C	5	5	353	6 244 Kč
9	30	20°	8	20 °C	8	5	383	6 774 Kč
10	20	15°	4	210 °C	15	5	347	6 126 Kč
11	40	20°	11	180 °C	11	5	603	10 661 Kč
12	20	25°	8	210 °C	7	5	293	5 183 Kč
13	40	15°	4	20 °C	9	5	737	13 017 Kč
14	40	20°	4	20 °C	7	5	610	10 779 Kč
15	30	20°	4	210 °C	13	5	353	6 244 Kč
16	20	15°	11	210 °C	9	5	437	7 716 Kč
17	40	20°	4	180 °C	8	5	557	9 837 Kč
18	40	15°	4	160 °C	6	5	687	12 134 Kč
19	40	25°	8	20 °C	10	5	567	10 013 Kč
20	20	25°	4	20 °C	7	5	317	5 596 Kč
21	20	20°	4	20 °C	6	5	323	5 713 Kč
22	30	20°	8	210 °C	11	5	363	6 420 Kč
23	30	25°	4	210 °C	5	5	327	5 772 Kč
24	30	25°	4	160 °C	8	5	340	6 008 Kč
25	20	15°	4	160 °C	11	5	350	6 185 Kč
26	30	20°	4	20 °C	6	5	380	6 715 Kč
27	40	20°	8	180 °C	10	6	567	10 013 Kč
28	40	20°	8	20 °C	8	6	600	10 602 Kč
29	20	25°	4	180 °C	9	6	293	5 183 Kč
30	30	20°	11	180 °C	11	6	397	7 009 Kč
31	30	15°	4	180 °C	11	6	410	7 245 Kč
32	40	25°	4	180 °C	8	6	557	9 837 Kč
33	30	25°	11	20 °C	7	6	393	6 950 Kč
34	20	15°	4	20 °C	8	6	377	6 656 Kč
35	40	25°	11	180 °C	8	6	573	10 131 Kč
36	20	25°	8	20 °C	10	6	327	5 772 Kč
37	40	25°	8	180 °C	11	6	533	9 424 Kč
38	40	15°	8	210 °C	8	6	650	11 486 Kč
39	20	15°	8	160 °C	11	6	383	6 774 Kč
40	40	20°	11	160 °C	11	6	627	11 073 Kč
41	30	15°	11	180 °C	12	6	453	8 011 Kč



42	20	15°	11	20 °C	8	6	450	7 952 Kč
43	30	15°	8	180 °C	13	6	433	7 657 Kč
44	30	25°	11	210 °C	9	6	333	5 890 Kč
45	30	15°	8	20 °C	9	6	483	8 541 Kč
46	20	20°	4	210 °C	8	6	290	5 124 Kč
47	40	15°	8	20 °C	7	6	737	13 017 Kč
48	40	15°	8	160 °C	9	7	683	12 075 Kč
49	30	15°	4	210 °C	11	7	407	7 186 Kč
50	20	20°	8	210 °C	16	7	297	5 242 Kč
51	30	20°	8	160 °C	10	7	383	6 774 Kč
52	40	15°	11	20 °C	11	7	793	14 019 Kč
53	30	20°	4	180 °C	11	7	363	6 420 Kč
54	30	15°	11	210 °C	15	7	467	8 246 Kč
55	20	20°	11	210 °C	12	7	283	5 007 Kč
56	40	15°	4	210 °C	12	7	630	11 132 Kč
57	30	15°	4	20 °C	8	7	473	8 364 Kč
58	30	20°	4	160 °C	10	7	373	6 597 Kč
59	40	15°	4	180 °C	16	7	660	11 662 Kč
60	30	15°	4	160 °C	13	7	453	8 011 Kč
61	30	25°	4	180 °C	11	7	337	5 949 Kč
62	40	25°	4	20 °C	9	7	590	10 426 Kč
63	40	15°	11	160 °C	14	7	743	13 135 Kč
64	30	15°	8	210 °C	9	7	430	7 598 Kč
65	40	25°	4	160 °C	10	7	567	10 013 Kč
66	20	25°	11	210 °C	9	7	300	5 301 Kč
67	40	25°	11	20 °C	10	7	623	11 015 Kč
68	20	20°	4	160 °C	8	7	313	5 537 Kč
69	30	15°	11	20 °C	10	7	533	9 424 Kč
70	20	25°	11	160 °C	11	7	330	5 831 Kč
71	40	15°	11	180 °C	11	7	703	12 428 Kč
72	30	25°	8	20 °C	8	7	367	6 479 Kč
73	40	20°	4	210 °C	17	7	553	9 778 Kč
74	20	15°	8	20 °C	6	7	413	7 304 Kč
75	40	25°	11	210 °C	11	7	553	9 778 Kč
76	40	25°	11	160 °C	7	7	597	10 543 Kč
77	30	25°	8	180 °C	13	7	347	6 126 Kč
78	20	25°	11	180 °C	10	7	307	5 419 Kč
79	20	20°	11	160 °C	13	8	313	5 537 Kč
80	30	25°	11	180 °C	12	8	353	6 244 Kč
81	20	20°	8	160 °C	15	8	313	5 537 Kč
82	20	20°	8	180 °C	14	8	303	5 360 Kč
83	20	20°	11	20 °C	8	8	330	5 831 Kč
84	40	20°	8	160 °C	10	8	587	10 367 Kč
85	40	25°	8	210 °C	13	8	523	9 248 Kč
86	20	25°	11	20 °C	9	8	343	6 067 Kč
87	30	20°	11	20 °C	12	8	447	7 893 Kč
88	40	20°	4	160 °C	15	8	577	10 190 Kč
89	40	20°	11	20 °C	10	8	663	11 721 Kč

90	30	25°	8	160 °C	13	8	360	6 361 Kč
91	30	25°	8	210 °C	12	8	333	5 890 Kč
92	30	15°	8	160 °C	11	8	460	8 128 Kč
93	20	15°	11	180 °C	13	8	430	7 598 Kč
94	30	20°	11	210 °C	13	8	383	6 774 Kč
95	20	20°	8	20 °C	11	9	340	6 008 Kč
96	20	15°	8	180 °C	11	9	370	6 538 Kč
97	40	20°	11	210 °C	15	9	577	10 190 Kč
98	40	25°	8	160 °C	7	9	563	9 954 Kč
99	30	20°	8	180 °C	12	9	367	6 479 Kč
100	20	25°	4	160 °C	14	9	290	5 124 Kč
101	20	15°	8	210 °C	12	10	393	6 950 Kč
102	20	20°	11	180 °C	22	10	303	5 360 Kč
103	30	25°	11	160 °C	14	11	367	6 479 Kč
104	20	25°	8	180 °C	16	11	307	5 419 Kč
105	30	15°	11	160 °C	14	11	500	8 835 Kč
106	30	20°	11	160 °C	23	11	403	7 127 Kč
107	20	15°	11	160 °C	16	12	427	7 539 Kč
108	20	25°	8	160 °C	17	14	307	5 419 Kč

Tab. 62 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Meranti (*Shorea acuminata*)

Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	30	25°	4	20 °C	5	5	353	6 244 Kč
2	30	25°	4	210 °C	5	5	327	5 772 Kč
3	30	20°	4	20 °C	6	5	380	6 715 Kč
4	20	20°	4	20 °C	6	5	323	5 713 Kč
5	40	15°	11	210 °C	6	4	720	12 723 Kč
6	40	25°	4	210 °C	6	3	533	9 424 Kč
7	20	25°	4	210 °C	6	5	287	5 066 Kč
8	40	15°	4	160 °C	6	5	687	12 134 Kč
9	20	15°	8	20 °C	6	7	413	7 304 Kč
10	40	15°	8	180 °C	7	4	653	11 545 Kč
11	20	25°	4	20 °C	7	5	317	5 596 Kč
12	20	20°	4	180 °C	7	4	293	5 183 Kč
13	40	25°	8	160 °C	7	9	563	9 954 Kč
14	20	25°	8	210 °C	7	5	293	5 183 Kč
15	30	25°	11	20 °C	7	6	393	6 950 Kč
16	20	15°	4	180 °C	7	4	353	6 244 Kč
17	40	20°	4	20 °C	7	5	610	10 779 Kč
18	40	25°	11	160 °C	7	7	597	10 543 Kč
19	40	20°	8	210 °C	7	5	550	9 719 Kč
20	40	15°	8	20 °C	7	6	737	13 017 Kč
21	40	20°	8	20 °C	8	6	600	10 602 Kč
22	20	15°	11	20 °C	8	6	450	7 952 Kč
23	30	25°	4	160 °C	8	5	340	6 008 Kč
24	30	15°	4	20 °C	8	7	473	8 364 Kč
25	20	20°	4	160 °C	8	7	313	5 537 Kč
26	40	15°	8	210 °C	8	6	650	11 486 Kč
27	30	20°	8	20 °C	8	5	383	6 774 Kč
28	20	20°	4	210 °C	8	6	290	5 124 Kč
29	20	15°	4	20 °C	8	6	377	6 656 Kč
30	40	25°	4	180 °C	8	6	557	9 837 Kč
31	30	25°	8	20 °C	8	7	367	6 479 Kč
32	40	25°	11	180 °C	8	6	573	10 131 Kč
33	40	20°	4	180 °C	8	5	557	9 837 Kč
34	20	20°	11	20 °C	8	8	330	5 831 Kč
35	20	25°	11	20 °C	9	8	343	6 067 Kč
36	40	15°	8	160 °C	9	7	683	12 075 Kč
37	30	25°	11	210 °C	9	6	333	5 890 Kč
38	40	25°	4	20 °C	9	7	590	10 426 Kč
39	40	15°	4	20 °C	9	5	737	13 017 Kč
40	20	25°	4	180 °C	9	6	293	5 183 Kč
41	20	15°	11	210 °C	9	5	437	7 716 Kč

42	30	15°	8	20 °C	9	6	483	8 541 Kč
43	20	25°	11	210 °C	9	7	300	5 301 Kč
44	30	15°	8	210 °C	9	7	430	7 598 Kč
45	40	25°	8	20 °C	10	5	567	10 013 Kč
46	40	20°	8	160 °C	10	8	587	10 367 Kč
47	20	25°	8	20 °C	10	6	327	5 772 Kč
48	30	15°	11	20 °C	10	7	533	9 424 Kč
49	40	20°	8	180 °C	10	6	567	10 013 Kč
50	30	20°	4	160 °C	10	7	373	6 597 Kč
51	20	25°	11	180 °C	10	7	307	5 419 Kč
52	40	25°	11	20 °C	10	7	623	11 015 Kč
53	40	25°	4	160 °C	10	7	567	10 013 Kč
54	30	20°	8	160 °C	10	7	383	6 774 Kč
55	40	20°	11	20 °C	10	8	663	11 721 Kč
56	30	25°	4	180 °C	11	7	337	5 949 Kč
57	30	15°	8	160 °C	11	8	460	8 128 Kč
58	20	15°	8	160 °C	11	6	383	6 774 Kč
59	30	15°	4	210 °C	11	7	407	7 186 Kč
60	20	20°	8	20 °C	11	9	340	6 008 Kč
61	40	15°	11	20 °C	11	7	793	14 019 Kč
62	40	20°	11	180 °C	11	5	603	10 661 Kč
63	30	15°	4	180 °C	11	6	410	7 245 Kč
64	40	20°	11	160 °C	11	6	627	11 073 Kč
65	40	25°	8	180 °C	11	6	533	9 424 Kč
66	20	25°	11	160 °C	11	7	330	5 831 Kč
67	20	15°	4	160 °C	11	5	350	6 185 Kč
68	30	20°	8	210 °C	11	5	363	6 420 Kč
69	30	20°	4	180 °C	11	7	363	6 420 Kč
70	40	25°	11	210 °C	11	7	553	9 778 Kč
71	40	15°	11	180 °C	11	7	703	12 428 Kč
72	20	15°	8	180 °C	11	9	370	6 538 Kč
73	30	20°	11	180 °C	11	6	397	7 009 Kč
74	30	25°	11	180 °C	12	8	353	6 244 Kč
75	30	15°	11	180 °C	12	6	453	8 011 Kč
76	20	20°	11	210 °C	12	7	283	5 007 Kč
77	20	15°	8	210 °C	12	10	393	6 950 Kč
78	30	20°	11	20 °C	12	8	447	7 893 Kč
79	40	15°	4	210 °C	12	7	630	11 132 Kč
80	30	20°	8	180 °C	12	9	367	6 479 Kč
81	30	25°	8	210 °C	12	8	333	5 890 Kč
82	30	25°	8	180 °C	13	7	347	6 126 Kč
83	40	25°	8	210 °C	13	8	523	9 248 Kč
84	30	20°	11	210 °C	13	8	383	6 774 Kč
85	20	20°	11	160 °C	13	8	313	5 537 Kč
86	30	15°	8	180 °C	13	6	433	7 657 Kč
87	30	20°	4	210 °C	13	5	353	6 244 Kč
88	20	15°	11	180 °C	13	8	430	7 598 Kč
89	30	25°	8	160 °C	13	8	360	6 361 Kč

90	30	15°	4	160 °C	13	7	453	8 011 Kč
91	40	15°	11	160 °C	14	7	743	13 135 Kč
92	30	15°	11	160 °C	14	11	500	8 835 Kč
93	20	25°	4	160 °C	14	9	290	5 124 Kč
94	20	20°	8	180 °C	14	8	303	5 360 Kč
95	30	25°	11	160 °C	14	11	367	6 479 Kč
96	20	15°	4	210 °C	15	5	347	6 126 Kč
97	30	15°	11	210 °C	15	7	467	8 246 Kč
98	20	20°	8	160 °C	15	8	313	5 537 Kč
99	40	20°	11	210 °C	15	9	577	10 190 Kč
100	40	20°	4	160 °C	15	8	577	10 190 Kč
101	20	20°	8	210 °C	16	7	297	5 242 Kč
102	20	15°	11	160 °C	16	12	427	7 539 Kč
103	20	25°	8	180 °C	16	11	307	5 419 Kč
104	40	15°	4	180 °C	16	7	660	11 662 Kč
105	40	20°	4	210 °C	17	7	553	9 778 Kč
106	20	25°	8	160 °C	17	14	307	5 419 Kč
107	20	20°	11	180 °C	22	10	303	5 360 Kč
108	30	20°	11	160 °C	23	11	403	7 127 Kč

**Tab. 63** Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Meranti (*Shorea acuminata*)

Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	25°	4	210 °C	6	5	287	5 066 Kč
2	20	20°	4	180 °C	7	4	293	5 183 Kč
3	20	25°	8	210 °C	7	5	293	5 183 Kč
4	20	20°	4	20 °C	6	5	323	5 713 Kč
5	30	25°	4	20 °C	5	5	353	6 244 Kč
6	30	25°	4	210 °C	5	5	327	5 772 Kč
7	20	25°	4	20 °C	7	5	317	5 596 Kč
8	20	15°	4	180 °C	7	4	353	6 244 Kč
9	20	25°	4	180 °C	9	6	293	5 183 Kč
10	30	20°	4	20 °C	6	5	380	6 715 Kč
11	30	25°	4	160 °C	8	5	340	6 008 Kč
12	20	20°	4	210 °C	8	6	290	5 124 Kč
13	40	25°	4	210 °C	6	3	533	9 424 Kč
14	30	20°	8	20 °C	8	5	383	6 774 Kč
15	30	25°	11	20 °C	7	6	393	6 950 Kč
16	40	20°	8	210 °C	7	5	550	9 719 Kč
17	20	25°	8	20 °C	10	6	327	5 772 Kč
18	30	25°	11	210 °C	9	6	333	5 890 Kč
19	20	15°	4	20 °C	8	6	377	6 656 Kč
20	20	20°	4	160 °C	8	7	313	5 537 Kč
21	40	15°	8	180 °C	7	4	653	11 545 Kč
22	40	15°	11	210 °C	6	4	720	12 723 Kč
23	20	25°	11	210 °C	9	7	300	5 301 Kč
24	20	15°	11	210 °C	9	5	437	7 716 Kč
25	20	15°	4	160 °C	11	5	350	6 185 Kč
26	40	20°	4	20 °C	7	5	610	10 779 Kč
27	20	15°	11	20 °C	8	6	450	7 952 Kč
28	40	15°	4	160 °C	6	5	687	12 134 Kč
29	30	20°	8	210 °C	11	5	363	6 420 Kč
30	40	20°	4	180 °C	8	5	557	9 837 Kč
31	20	20°	11	210 °C	12	7	283	5 007 Kč
32	20	15°	4	210 °C	15	5	347	6 126 Kč
33	30	20°	4	210 °C	13	5	353	6 244 Kč
34	20	20°	11	20 °C	8	8	330	5 831 Kč
35	20	15°	8	20 °C	6	7	413	7 304 Kč
36	40	20°	8	20 °C	8	6	600	10 602 Kč
37	40	25°	4	180 °C	8	6	557	9 837 Kč
38	20	25°	11	180 °C	10	7	307	5 419 Kč
39	30	25°	4	180 °C	11	7	337	5 949 Kč
40	20	15°	8	160 °C	11	6	383	6 774 Kč
41	30	25°	8	20 °C	8	7	367	6 479 Kč

42	40	25°	8	20 °C	10	5	567	10 013 Kč
43	20	25°	11	20 °C	9	8	343	6 067 Kč
44	30	15°	4	20 °C	8	7	473	8 364 Kč
45	30	15°	4	180 °C	11	6	410	7 245 Kč
46	30	20°	4	160 °C	10	7	373	6 597 Kč
47	40	25°	11	180 °C	8	6	573	10 131 Kč
48	30	20°	8	160 °C	10	7	383	6 774 Kč
49	30	20°	11	180 °C	11	6	397	7 009 Kč
50	30	15°	8	20 °C	9	6	483	8 541 Kč
51	40	15°	4	20 °C	9	5	737	13 017 Kč
52	40	20°	8	180 °C	10	6	567	10 013 Kč
53	20	20°	8	210 °C	16	7	297	5 242 Kč
54	20	25°	11	160 °C	11	7	330	5 831 Kč
55	30	20°	4	180 °C	11	7	363	6 420 Kč
56	40	15°	8	210 °C	8	6	650	11 486 Kč
57	30	15°	4	210 °C	11	7	407	7 186 Kč
58	40	20°	11	180 °C	11	5	603	10 661 Kč
59	30	15°	8	210 °C	9	7	430	7 598 Kč
60	40	15°	8	20 °C	7	6	737	13 017 Kč
61	40	25°	8	180 °C	11	6	533	9 424 Kč
62	20	20°	11	160 °C	13	8	313	5 537 Kč
63	20	20°	8	20 °C	11	9	340	6 008 Kč
64	30	15°	11	180 °C	12	6	453	8 011 Kč
65	40	25°	11	160 °C	7	7	597	10 543 Kč
66	40	15°	8	160 °C	9	7	683	12 075 Kč
67	20	20°	8	180 °C	14	8	303	5 360 Kč
68	40	25°	4	20 °C	9	7	590	10 426 Kč
69	30	15°	8	180 °C	13	6	433	7 657 Kč
70	30	15°	11	20 °C	10	7	533	9 424 Kč
71	30	25°	8	180 °C	13	7	347	6 126 Kč
72	30	25°	11	180 °C	12	8	353	6 244 Kč
73	40	25°	8	160 °C	7	9	563	9 954 Kč
74	20	20°	8	160 °C	15	8	313	5 537 Kč
75	30	25°	8	210 °C	12	8	333	5 890 Kč
76	20	25°	4	160 °C	14	9	290	5 124 Kč
77	40	20°	11	160 °C	11	6	627	11 073 Kč
78	40	25°	4	160 °C	10	7	567	10 013 Kč
79	20	15°	8	180 °C	11	9	370	6 538 Kč
80	40	25°	11	20 °C	10	7	623	11 015 Kč
81	30	15°	4	160 °C	13	7	453	8 011 Kč
82	30	15°	8	160 °C	11	8	460	8 128 Kč
83	30	25°	8	160 °C	13	8	360	6 361 Kč
84	40	20°	8	160 °C	10	8	587	10 367 Kč
85	30	15°	11	210 °C	15	7	467	8 246 Kč
86	30	20°	8	180 °C	12	9	367	6 479 Kč
87	20	20°	11	180 °C	22	10	303	5 360 Kč
88	20	25°	8	180 °C	16	11	307	5 419 Kč
89	40	15°	11	20 °C	11	7	793	14 019 Kč

90	40	25°	11	210 °C	11	7	553	9 778 Kč
91	20	25°	8	160 °C	17	14	307	5 419 Kč
92	30	20°	11	20 °C	12	8	447	7 893 Kč
93	30	20°	11	210 °C	13	8	383	6 774 Kč
94	20	15°	8	210 °C	12	10	393	6 950 Kč
95	40	15°	4	210 °C	12	7	630	11 132 Kč
96	20	15°	11	180 °C	13	8	430	7 598 Kč
97	30	25°	11	160 °C	14	11	367	6 479 Kč
98	40	25°	8	210 °C	13	8	523	9 248 Kč
99	40	20°	11	20 °C	10	8	663	11 721 Kč
100	40	15°	11	180 °C	11	7	703	12 428 Kč
101	40	20°	4	210 °C	17	7	553	9 778 Kč
102	40	15°	11	160 °C	14	7	743	13 135 Kč
103	40	15°	4	180 °C	16	7	660	11 662 Kč
104	20	15°	11	160 °C	16	12	427	7 539 Kč
105	30	15°	11	160 °C	14	11	500	8 835 Kč
106	30	20°	11	160 °C	23	11	403	7 127 Kč
107	40	20°	4	160 °C	15	8	577	10 190 Kč
108	40	20°	11	210 °C	15	9	577	10 190 Kč



**Tab. 64 Nejlepší kombinace všech parametrů u Meranti (*Shorea acuminata*)**

Meranti ( <i>Shorea acuminata</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	25°	4	210 °C	6	5	287	5 066 Kč
2	20	20°	4	180 °C	7	4	293	5 183 Kč
3	20	25°	8	210 °C	7	5	293	5 183 Kč
4	20	20°	4	20 °C	6	5	323	5 713 Kč
5	30	25°	4	20 °C	5	5	353	6 244 Kč
6	30	25°	4	210 °C	5	5	327	5 772 Kč
7	20	25°	4	20 °C	7	5	317	5 596 Kč
8	20	15°	4	180 °C	7	4	353	6 244 Kč
9	20	25°	4	180 °C	9	6	293	5 183 Kč
10	30	20°	4	20 °C	6	5	380	6 715 Kč
11	30	25°	4	160 °C	8	5	340	6 008 Kč
12	20	20°	4	210 °C	8	6	290	5 124 Kč
13	40	25°	4	210 °C	6	3	533	9 424 Kč
14	30	20°	8	20 °C	8	5	383	6 774 Kč
15	30	25°	11	20 °C	7	6	393	6 950 Kč
16	40	20°	8	210 °C	7	5	550	9 719 Kč
17	20	25°	8	20 °C	10	6	327	5 772 Kč
18	30	25°	11	210 °C	9	6	333	5 890 Kč
19	20	15°	4	20 °C	8	6	377	6 656 Kč
20	20	20°	4	160 °C	8	7	313	5 537 Kč
21	40	15°	8	180 °C	7	4	653	11 545 Kč
22	40	15°	11	210 °C	6	4	720	12 723 Kč
23	20	25°	11	210 °C	9	7	300	5 301 Kč
24	20	15°	11	210 °C	9	5	437	7 716 Kč
25	20	15°	4	160 °C	11	5	350	6 185 Kč
26	40	20°	4	20 °C	7	5	610	10 779 Kč
27	20	15°	11	20 °C	8	6	450	7 952 Kč
28	40	15°	4	160 °C	6	5	687	12 134 Kč
29	30	20°	8	210 °C	11	5	363	6 420 Kč
30	40	20°	4	180 °C	8	5	557	9 837 Kč
31	20	20°	11	210 °C	12	7	283	5 007 Kč
32	20	15°	4	210 °C	15	5	347	6 126 Kč
33	30	20°	4	210 °C	13	5	353	6 244 Kč
34	20	20°	11	20 °C	8	8	330	5 831 Kč
35	20	15°	8	20 °C	6	7	413	7 304 Kč
36	40	20°	8	20 °C	8	6	600	10 602 Kč
37	40	25°	4	180 °C	8	6	557	9 837 Kč
38	20	25°	11	180 °C	10	7	307	5 419 Kč
39	30	25°	4	180 °C	11	7	337	5 949 Kč
40	20	15°	8	160 °C	11	6	383	6 774 Kč
41	30	25°	8	20 °C	8	7	367	6 479 Kč

42	40	25°	8	20 °C	10	5	567	10 013 Kč
43	20	25°	11	20 °C	9	8	343	6 067 Kč
44	30	15°	4	20 °C	8	7	473	8 364 Kč
45	30	15°	4	180 °C	11	6	410	7 245 Kč
46	30	20°	4	160 °C	10	7	373	6 597 Kč
47	40	25°	11	180 °C	8	6	573	10 131 Kč
48	30	20°	8	160 °C	10	7	383	6 774 Kč
49	30	20°	11	180 °C	11	6	397	7 009 Kč
50	30	15°	8	20 °C	9	6	483	8 541 Kč
51	40	15°	4	20 °C	9	5	737	13 017 Kč
52	40	20°	8	180 °C	10	6	567	10 013 Kč
53	20	20°	8	210 °C	16	7	297	5 242 Kč
54	20	25°	11	160 °C	11	7	330	5 831 Kč
55	30	20°	4	180 °C	11	7	363	6 420 Kč
56	40	15°	8	210 °C	8	6	650	11 486 Kč
57	30	15°	4	210 °C	11	7	407	7 186 Kč
58	40	20°	11	180 °C	11	5	603	10 661 Kč
59	30	15°	8	210 °C	9	7	430	7 598 Kč
60	40	15°	8	20 °C	7	6	737	13 017 Kč
61	40	25°	8	180 °C	11	6	533	9 424 Kč
62	20	20°	11	160 °C	13	8	313	5 537 Kč
63	20	20°	8	20 °C	11	9	340	6 008 Kč
64	30	15°	11	180 °C	12	6	453	8 011 Kč
65	40	25°	11	160 °C	7	7	597	10 543 Kč
66	40	15°	8	160 °C	9	7	683	12 075 Kč
67	20	20°	8	180 °C	14	8	303	5 360 Kč
68	40	25°	4	20 °C	9	7	590	10 426 Kč
69	30	15°	8	180 °C	13	6	433	7 657 Kč
70	30	15°	11	20 °C	10	7	533	9 424 Kč
71	30	25°	8	180 °C	13	7	347	6 126 Kč
72	30	25°	11	180 °C	12	8	353	6 244 Kč
73	40	25°	8	160 °C	7	9	563	9 954 Kč
74	20	20°	8	160 °C	15	8	313	5 537 Kč
75	30	25°	8	210 °C	12	8	333	5 890 Kč
76	20	25°	4	160 °C	14	9	290	5 124 Kč
77	40	20°	11	160 °C	11	6	627	11 073 Kč
78	40	25°	4	160 °C	10	7	567	10 013 Kč
79	20	15°	8	180 °C	11	9	370	6 538 Kč
80	40	25°	11	20 °C	10	7	623	11 015 Kč
81	30	15°	4	160 °C	13	7	453	8 011 Kč
82	30	15°	8	160 °C	11	8	460	8 128 Kč
83	30	25°	8	160 °C	13	8	360	6 361 Kč
84	40	20°	8	160 °C	10	8	587	10 367 Kč
85	30	15°	11	210 °C	15	7	467	8 246 Kč
86	30	20°	8	180 °C	12	9	367	6 479 Kč
87	20	20°	11	180 °C	22	10	303	5 360 Kč
88	20	25°	8	180 °C	16	11	307	5 419 Kč
89	40	15°	11	20 °C	11	7	793	14 019 Kč

90	40	25°	11	210 °C	11	7	553	9 778 Kč
91	20	25°	8	160 °C	17	14	307	5 419 Kč
92	30	20°	11	20 °C	12	8	447	7 893 Kč
93	30	20°	11	210 °C	13	8	383	6 774 Kč
94	20	15°	8	210 °C	12	10	393	6 950 Kč
95	40	15°	4	210 °C	12	7	630	11 132 Kč
96	20	15°	11	180 °C	13	8	430	7 598 Kč
97	30	25°	11	160 °C	14	11	367	6 479 Kč
98	40	25°	8	210 °C	13	8	523	9 248 Kč
99	40	20°	11	20 °C	10	8	663	11 721 Kč
100	40	15°	11	180 °C	11	7	703	12 428 Kč
101	40	20°	4	210 °C	17	7	553	9 778 Kč
102	40	15°	11	160 °C	14	7	743	13 135 Kč
103	40	15°	4	180 °C	16	7	660	11 662 Kč
104	20	15°	11	160 °C	16	12	427	7 539 Kč
105	30	15°	11	160 °C	14	11	500	8 835 Kč
106	30	20°	11	160 °C	23	11	403	7 127 Kč
107	40	20°	4	160 °C	15	8	577	10 190 Kč
108	40	20°	11	210 °C	15	9	577	10 190 Kč

Tab. 65 Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	40	25°	4	20 °C	3	2	543	9 601 Kč
2	20	20°	4	210 °C	2	2	290	5 124 Kč
3	40	20°	8	210 °C	2	2	557	9 837 Kč
4	20	25°	4	20 °C	4	2	290	5 124 Kč
5	40	25°	4	180 °C	3	2	530	9 365 Kč
6	20	25°	4	180 °C	2	2	288	5 095 Kč
7	40	25°	4	210 °C	4	2	527	9 315 Kč
8	40	15°	4	160 °C	4	2	574	10 148 Kč
9	40	15°	11	20 °C	2	2	605	10 691 Kč
10	40	25°	8	180 °C	4	2	557	9 837 Kč
11	40	15°	4	20 °C	4	2	577	10 198 Kč
12	40	20°	11	180 °C	3	2	585	10 337 Kč
13	30	25°	8	20 °C	3	2	327	5 772 Kč
14	40	25°	8	160 °C	3	3	553	9 778 Kč
15	30	25°	4	20 °C	5	3	327	5 781 Kč
16	30	20°	4	180 °C	4	3	335	5 920 Kč
17	30	20°	11	20 °C	2	3	370	6 538 Kč
18	20	15°	4	210 °C	4	3	280	4 948 Kč
19	30	20°	8	20 °C	2	3	348	6 140 Kč
20	40	20°	4	180 °C	5	3	550	9 719 Kč
21	40	25°	8	20 °C	5	3	567	10 013 Kč
22	30	15°	4	180 °C	3	3	348	6 155 Kč
23	30	25°	8	210 °C	3	3	337	5 949 Kč
24	20	20°	4	160 °C	3	3	288	5 080 Kč
25	20	25°	4	160 °C	4	3	290	5 124 Kč
26	20	25°	8	210 °C	3	3	293	5 183 Kč
27	40	20°	4	210 °C	3	3	548	9 689 Kč
28	40	15°	4	210 °C	4	3	558	9 866 Kč
29	30	15°	11	180 °C	3	3	390	6 891 Kč
30	20	20°	11	180 °C	5	3	310	5 478 Kč
31	40	20°	11	160 °C	5	3	585	10 337 Kč
32	40	15°	8	210 °C	4	3	605	10 691 Kč
33	20	15°	8	180 °C	3	3	323	5 713 Kč
34	40	15°	8	160 °C	3	3	590	10 426 Kč
35	20	15°	8	20 °C	3	3	330	5 831 Kč
36	30	15°	8	160 °C	10	3	390	6 891 Kč
37	40	25°	4	160 °C	8	3	531	9 391 Kč
38	20	25°	11	160 °C	5	3	305	5 389 Kč
39	30	25°	4	160 °C	2	3	329	5 806 Kč
40	30	25°	11	210 °C	4	3	330	5 831 Kč
41	30	25°	4	180 °C	4	3	327	5 772 Kč

42	20	25°	4	210 °C	5	3	280	4 948 Kč
43	20	20°	11	210 °C	6	3	320	5 655 Kč
44	40	15°	11	180 °C	3	3	593	10 484 Kč
45	30	15°	4	210 °C	5	3	342	6 047 Kč
46	40	15°	11	160 °C	6	3	590	10 426 Kč
47	40	20°	8	20 °C	3	3	570	10 072 Kč
48	20	25°	8	20 °C	4	3	293	5 169 Kč
49	40	20°	8	180 °C	3	3	550	9 719 Kč
50	20	25°	11	210 °C	5	3	290	5 124 Kč
51	20	15°	8	210 °C	4	3	327	5 772 Kč
52	30	25°	4	210 °C	5	3	318	5 625 Kč
53	40	25°	11	180 °C	5	3	575	10 160 Kč
54	30	20°	8	210 °C	4	3	350	6 185 Kč
55	20	20°	8	210 °C	3	3	303	5 360 Kč
56	40	15°	11	210 °C	4	3	600	10 602 Kč
57	20	15°	4	160 °C	5	4	290	5 124 Kč
58	30	20°	4	210 °C	4	4	323	5 713 Kč
59	30	15°	4	20 °C	5	4	351	6 210 Kč
60	30	15°	11	210 °C	4	4	363	6 420 Kč
61	40	20°	4	160 °C	4	4	553	9 778 Kč
62	40	20°	4	20 °C	4	4	553	9 772 Kč
63	20	15°	11	160 °C	6	4	330	5 831 Kč
64	40	15°	8	20 °C	6	4	597	10 543 Kč
65	20	25°	11	180 °C	8	4	293	5 183 Kč
66	20	15°	11	20 °C	6	4	317	5 596 Kč
67	30	20°	11	210 °C	4	4	355	6 273 Kč
68	20	20°	8	20 °C	3	4	307	5 419 Kč
69	20	20°	11	20 °C	6	4	320	5 655 Kč
70	30	15°	8	20 °C	4	4	377	6 656 Kč
71	30	20°	8	180 °C	5	4	350	6 185 Kč
72	30	25°	11	20 °C	9	4	350	6 185 Kč
73	20	20°	8	180 °C	6	4	303	5 360 Kč
74	40	20°	11	210 °C	5	4	570	10 072 Kč
75	20	20°	4	180 °C	7	4	287	5 066 Kč
76	40	25°	11	20 °C	8	4	595	10 514 Kč
77	30	20°	11	160 °C	5	4	350	6 185 Kč
78	40	20°	11	20 °C	7	4	560	9 895 Kč
79	20	25°	8	160 °C	7	4	283	4 992 Kč
80	30	20°	4	20 °C	3	5	332	5 861 Kč
81	40	20°	8	160 °C	6	5	570	10 072 Kč
82	30	20°	8	160 °C	5	5	360	6 361 Kč
83	30	15°	4	160 °C	10	5	354	6 260 Kč
84	30	25°	8	160 °C	4	5	340	6 008 Kč
85	20	20°	8	160 °C	7	5	303	5 360 Kč
86	20	15°	8	160 °C	6	5	327	5 772 Kč
87	30	25°	11	180 °C	6	5	333	5 890 Kč
88	40	25°	11	160 °C	4	5	575	10 160 Kč
89	40	15°	8	180 °C	4	5	573	10 131 Kč

90	20	20°	4	20 °C	5	5	292	5 160 Kč
91	30	15°	8	180 °C	5	5	377	6 656 Kč
92	30	20°	11	180 °C	10	5	330	5 831 Kč
93	40	15°	4	180 °C	13	6	563	9 954 Kč
94	30	25°	8	180 °C	9	6	333	5 890 Kč
95	40	25°	11	210 °C	4	6	570	10 072 Kč
96	20	15°	11	180 °C	10	6	337	5 949 Kč
97	30	20°	4	160 °C	9	7	337	5 949 Kč
98	40	25°	8	210 °C	5	7	550	9 719 Kč
99	30	15°	8	210 °C	9	7	360	6 361 Kč
100	20	25°	8	180 °C	11	7	293	5 183 Kč
101	20	15°	4	180 °C	10	7	288	5 089 Kč
102	20	15°	4	20 °C	7	7	288	5 089 Kč
103	20	15°	11	210 °C	7	8	313	5 537 Kč
104	30	15°	11	160 °C	8	8	390	6 891 Kč
105	20	20°	11	160 °C	9	9	325	5 743 Kč
106	30	15°	11	20 °C	10	10	400	7 068 Kč
107	30	25°	11	160 °C	15	14	335	5 920 Kč
108	20	25°	11	20 °C	26	16	300	5 301 Kč

Tab. 66 Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	20°	4	210 °C	2	2	290	5 124 Kč
2	40	20°	8	210 °C	2	2	557	9 837 Kč
3	40	15°	11	20 °C	2	2	605	10 691 Kč
4	30	20°	8	20 °C	2	3	348	6 140 Kč
5	30	25°	4	160 °C	2	3	329	5 806 Kč
6	30	20°	11	20 °C	2	3	370	6 538 Kč
7	20	25°	4	180 °C	2	2	288	5 095 Kč
8	30	20°	4	20 °C	3	5	332	5 861 Kč
9	30	25°	8	210 °C	3	3	337	5 949 Kč
10	30	15°	4	180 °C	3	3	348	6 155 Kč
11	30	15°	11	180 °C	3	3	390	6 891 Kč
12	40	25°	4	20 °C	3	2	543	9 601 Kč
13	40	20°	8	20 °C	3	3	570	10 072 Kč
14	40	15°	8	160 °C	3	3	590	10 426 Kč
15	20	20°	8	210 °C	3	3	303	5 360 Kč
16	20	20°	4	160 °C	3	3	288	5 080 Kč
17	40	20°	11	180 °C	3	2	585	10 337 Kč
18	40	25°	4	180 °C	3	2	530	9 365 Kč
19	30	25°	8	20 °C	3	2	327	5 772 Kč
20	20	25°	8	210 °C	3	3	293	5 183 Kč
21	20	15°	8	20 °C	3	3	330	5 831 Kč
22	40	20°	4	210 °C	3	3	548	9 689 Kč
23	20	20°	8	20 °C	3	4	307	5 419 Kč
24	20	15°	8	180 °C	3	3	323	5 713 Kč
25	40	20°	8	180 °C	3	3	550	9 719 Kč
26	40	15°	11	180 °C	3	3	593	10 484 Kč
27	40	25°	8	160 °C	3	3	553	9 778 Kč
28	20	25°	4	160 °C	4	3	290	5 124 Kč
29	30	15°	11	210 °C	4	4	363	6 420 Kč
30	30	25°	8	160 °C	4	5	340	6 008 Kč
31	20	15°	8	210 °C	4	3	327	5 772 Kč
32	30	20°	4	210 °C	4	4	323	5 713 Kč
33	40	15°	4	160 °C	4	2	574	10 148 Kč
34	30	20°	8	210 °C	4	3	350	6 185 Kč
35	30	20°	4	180 °C	4	3	335	5 920 Kč
36	30	20°	11	210 °C	4	4	355	6 273 Kč
37	40	15°	11	210 °C	4	3	600	10 602 Kč
38	20	25°	8	20 °C	4	3	293	5 169 Kč
39	30	25°	11	210 °C	4	3	330	5 831 Kč
40	40	15°	4	210 °C	4	3	558	9 866 Kč
41	20	15°	4	210 °C	4	3	280	4 948 Kč

42	30	25°	4	180 °C	4	3	327	5 772 Kč
43	40	25°	8	180 °C	4	2	557	9 837 Kč
44	40	15°	8	210 °C	4	3	605	10 691 Kč
45	40	25°	11	210 °C	4	6	570	10 072 Kč
46	40	25°	11	160 °C	4	5	575	10 160 Kč
47	40	15°	8	180 °C	4	5	573	10 131 Kč
48	20	25°	4	20 °C	4	2	290	5 124 Kč
49	40	15°	4	20 °C	4	2	577	10 198 Kč
50	30	15°	8	20 °C	4	4	377	6 656 Kč
51	40	20°	4	20 °C	4	4	553	9 772 Kč
52	40	20°	4	160 °C	4	4	553	9 778 Kč
53	40	25°	4	210 °C	4	2	527	9 315 Kč
54	40	20°	11	160 °C	5	3	585	10 337 Kč
55	20	25°	11	210 °C	5	3	290	5 124 Kč
56	30	25°	4	210 °C	5	3	318	5 625 Kč
57	30	20°	8	160 °C	5	5	360	6 361 Kč
58	20	25°	11	160 °C	5	3	305	5 389 Kč
59	30	20°	8	180 °C	5	4	350	6 185 Kč
60	30	15°	8	180 °C	5	5	377	6 656 Kč
61	30	25°	4	20 °C	5	3	327	5 781 Kč
62	20	25°	4	210 °C	5	3	280	4 948 Kč
63	40	20°	4	180 °C	5	3	550	9 719 Kč
64	20	15°	4	160 °C	5	4	290	5 124 Kč
65	40	25°	8	20 °C	5	3	567	10 013 Kč
66	40	20°	11	210 °C	5	4	570	10 072 Kč
67	40	25°	11	180 °C	5	3	575	10 160 Kč
68	20	20°	11	180 °C	5	3	310	5 478 Kč
69	20	20°	4	20 °C	5	5	292	5 160 Kč
70	30	15°	4	210 °C	5	3	342	6 047 Kč
71	30	15°	4	20 °C	5	4	351	6 210 Kč
72	30	20°	11	160 °C	5	4	350	6 185 Kč
73	40	25°	8	210 °C	5	7	550	9 719 Kč
74	20	20°	11	20 °C	6	4	320	5 655 Kč
75	40	15°	11	160 °C	6	3	590	10 426 Kč
76	20	15°	11	20 °C	6	4	317	5 596 Kč
77	20	15°	11	160 °C	6	4	330	5 831 Kč
78	20	15°	8	160 °C	6	5	327	5 772 Kč
79	20	20°	11	210 °C	6	3	320	5 655 Kč
80	40	20°	8	160 °C	6	5	570	10 072 Kč
81	20	20°	8	180 °C	6	4	303	5 360 Kč
82	30	25°	11	180 °C	6	5	333	5 890 Kč
83	40	15°	8	20 °C	6	4	597	10 543 Kč
84	40	20°	11	20 °C	7	4	560	9 895 Kč
85	20	20°	4	180 °C	7	4	287	5 066 Kč
86	20	20°	8	160 °C	7	5	303	5 360 Kč
87	20	25°	8	160 °C	7	4	283	4 992 Kč
88	20	15°	11	210 °C	7	8	313	5 537 Kč
89	20	15°	4	20 °C	7	7	288	5 089 Kč



90	30	15°	11	160 °C	8	8	390	6 891 Kč
91	40	25°	4	160 °C	8	3	531	9 391 Kč
92	20	25°	11	180 °C	8	4	293	5 183 Kč
93	40	25°	11	20 °C	8	4	595	10 514 Kč
94	30	25°	11	20 °C	9	4	350	6 185 Kč
95	30	25°	8	180 °C	9	6	333	5 890 Kč
96	30	15°	8	210 °C	9	7	360	6 361 Kč
97	20	20°	11	160 °C	9	9	325	5 743 Kč
98	30	20°	4	160 °C	9	7	337	5 949 Kč
99	30	15°	4	160 °C	10	5	354	6 260 Kč
100	30	15°	8	160 °C	10	3	390	6 891 Kč
101	30	15°	11	20 °C	10	10	400	7 068 Kč
102	30	20°	11	180 °C	10	5	330	5 831 Kč
103	20	15°	4	180 °C	10	7	288	5 089 Kč
104	20	15°	11	180 °C	10	6	337	5 949 Kč
105	20	25°	8	180 °C	11	7	293	5 183 Kč
106	40	15°	4	180 °C	13	6	563	9 954 Kč
107	30	25°	11	160 °C	15	14	335	5 920 Kč
108	20	25°	11	20 °C	26	16	300	5 301 Kč

**Tab. 67** Ekonomika provozu dle nejnižší spotřeby u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	15°	4	210 °C	4	3	280	4 948 Kč
2	20	25°	4	210 °C	5	3	280	4 948 Kč
3	20	25°	8	160 °C	7	4	283	4 992 Kč
4	20	20°	4	180 °C	7	4	287	5 066 Kč
5	20	20°	4	160 °C	3	3	288	5 080 Kč
6	20	15°	4	20 °C	7	7	288	5 089 Kč
7	20	15°	4	180 °C	10	7	288	5 089 Kč
8	20	25°	4	180 °C	2	2	288	5 095 Kč
9	20	20°	4	210 °C	2	2	290	5 124 Kč
10	20	25°	4	20 °C	4	2	290	5 124 Kč
11	20	25°	4	160 °C	4	3	290	5 124 Kč
12	20	25°	11	210 °C	5	3	290	5 124 Kč
13	20	15°	4	160 °C	5	4	290	5 124 Kč
14	20	20°	4	20 °C	5	5	292	5 160 Kč
15	20	25°	8	20 °C	4	3	293	5 169 Kč
16	20	25°	8	210 °C	3	3	293	5 183 Kč
17	20	25°	11	180 °C	8	4	293	5 183 Kč
18	20	25°	8	180 °C	11	7	293	5 183 Kč
19	20	25°	11	20 °C	26	16	300	5 301 Kč
20	20	20°	8	210 °C	3	3	303	5 360 Kč
21	20	20°	8	180 °C	6	4	303	5 360 Kč
22	20	20°	8	160 °C	7	5	303	5 360 Kč
23	20	25°	11	160 °C	5	3	305	5 389 Kč
24	20	20°	8	20 °C	3	4	307	5 419 Kč
25	20	20°	11	180 °C	5	3	310	5 478 Kč
26	20	15°	11	210 °C	7	8	313	5 537 Kč
27	20	15°	11	20 °C	6	4	317	5 596 Kč
28	30	25°	4	210 °C	5	3	318	5 625 Kč
29	20	20°	11	210 °C	6	3	320	5 655 Kč
30	20	20°	11	20 °C	6	4	320	5 655 Kč
31	20	15°	8	180 °C	3	3	323	5 713 Kč
32	30	20°	4	210 °C	4	4	323	5 713 Kč
33	20	20°	11	160 °C	9	9	325	5 743 Kč
34	30	25°	8	20 °C	3	2	327	5 772 Kč
35	20	15°	8	210 °C	4	3	327	5 772 Kč
36	30	25°	4	180 °C	4	3	327	5 772 Kč
37	20	15°	8	160 °C	6	5	327	5 772 Kč
38	30	25°	4	20 °C	5	3	327	5 781 Kč
39	30	25°	4	160 °C	2	3	329	5 806 Kč
40	20	15°	8	20 °C	3	3	330	5 831 Kč
41	30	25°	11	210 °C	4	3	330	5 831 Kč

42	20	15°	11	160 °C	6	4	330	5 831 Kč
43	30	20°	11	180 °C	10	5	330	5 831 Kč
44	30	20°	4	20 °C	3	5	332	5 861 Kč
45	30	25°	11	180 °C	6	5	333	5 890 Kč
46	30	25°	8	180 °C	9	6	333	5 890 Kč
47	30	20°	4	180 °C	4	3	335	5 920 Kč
48	30	25°	11	160 °C	15	14	335	5 920 Kč
49	30	25°	8	210 °C	3	3	337	5 949 Kč
50	30	20°	4	160 °C	9	7	337	5 949 Kč
51	20	15°	11	180 °C	10	6	337	5 949 Kč
52	30	25°	8	160 °C	4	5	340	6 008 Kč
53	30	15°	4	210 °C	5	3	342	6 047 Kč
54	30	20°	8	20 °C	2	3	348	6 140 Kč
55	30	15°	4	180 °C	3	3	348	6 155 Kč
56	30	20°	8	210 °C	4	3	350	6 185 Kč
57	30	20°	8	180 °C	5	4	350	6 185 Kč
58	30	20°	11	160 °C	5	4	350	6 185 Kč
59	30	25°	11	20 °C	9	4	350	6 185 Kč
60	30	15°	4	20 °C	5	4	351	6 210 Kč
61	30	15°	4	160 °C	10	5	354	6 260 Kč
62	30	20°	11	210 °C	4	4	355	6 273 Kč
63	30	20°	8	160 °C	5	5	360	6 361 Kč
64	30	15°	8	210 °C	9	7	360	6 361 Kč
65	30	15°	11	210 °C	4	4	363	6 420 Kč
66	30	20°	11	20 °C	2	3	370	6 538 Kč
67	30	15°	8	20 °C	4	4	377	6 656 Kč
68	30	15°	8	180 °C	5	5	377	6 656 Kč
69	30	15°	11	180 °C	3	3	390	6 891 Kč
70	30	15°	8	160 °C	10	3	390	6 891 Kč
71	30	15°	11	160 °C	8	8	390	6 891 Kč
72	30	15°	11	20 °C	10	10	400	7 068 Kč
73	40	25°	4	210 °C	4	2	527	9 315 Kč
74	40	25°	4	180 °C	3	2	530	9 365 Kč
75	40	25°	4	160 °C	8	3	531	9 391 Kč
76	40	25°	4	20 °C	3	2	543	9 601 Kč
77	40	20°	4	210 °C	3	3	548	9 689 Kč
78	40	20°	8	180 °C	3	3	550	9 719 Kč
79	40	20°	4	180 °C	5	3	550	9 719 Kč
80	40	25°	8	210 °C	5	7	550	9 719 Kč
81	40	20°	4	20 °C	4	4	553	9 772 Kč
82	40	25°	8	160 °C	3	3	553	9 778 Kč
83	40	20°	4	160 °C	4	4	553	9 778 Kč
84	40	20°	8	210 °C	2	2	557	9 837 Kč
85	40	25°	8	180 °C	4	2	557	9 837 Kč
86	40	15°	4	210 °C	4	3	558	9 866 Kč
87	40	20°	11	20 °C	7	4	560	9 895 Kč
88	40	15°	4	180 °C	13	6	563	9 954 Kč
89	40	25°	8	20 °C	5	3	567	10 013 Kč

90	40	20°	8	20 °C	3	3	570	10 072 Kč
91	40	20°	11	210 °C	5	4	570	10 072 Kč
92	40	25°	11	210 °C	4	6	570	10 072 Kč
93	40	20°	8	160 °C	6	5	570	10 072 Kč
94	40	15°	8	180 °C	4	5	573	10 131 Kč
95	40	15°	4	160 °C	4	2	574	10 148 Kč
96	40	25°	11	180 °C	5	3	575	10 160 Kč
97	40	25°	11	160 °C	4	5	575	10 160 Kč
98	40	15°	4	20 °C	4	2	577	10 198 Kč
99	40	20°	11	180 °C	3	2	585	10 337 Kč
100	40	20°	11	160 °C	5	3	585	10 337 Kč
101	40	15°	8	160 °C	3	3	590	10 426 Kč
102	40	15°	11	160 °C	6	3	590	10 426 Kč
103	40	15°	11	180 °C	3	3	593	10 484 Kč
104	40	25°	11	20 °C	8	4	595	10 514 Kč
105	40	15°	8	20 °C	6	4	597	10 543 Kč
106	40	15°	11	210 °C	4	3	600	10 602 Kč
107	40	15°	11	20 °C	2	2	605	10 691 Kč
108	40	15°	8	210 °C	4	3	605	10 691 Kč

Tab. 68 Nejlepší kombinace všech parametrů u Padouku (*Pterocarpus soyauxii*)

Padouk ( <i>Pterocarpus soyauxii</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	20°	4	210 °C	2	2	290	5 124 Kč
2	20	25°	4	180 °C	2	2	288	5 095 Kč
3	20	20°	4	160 °C	3	3	288	5 080 Kč
4	20	15°	4	210 °C	4	3	280	4 948 Kč
5	20	25°	4	20 °C	4	2	290	5 124 Kč
6	20	25°	8	210 °C	3	3	293	5 183 Kč
7	20	25°	4	160 °C	4	3	290	5 124 Kč
8	30	25°	8	20 °C	3	2	327	5 772 Kč
9	30	20°	8	20 °C	2	3	348	6 140 Kč
10	30	25°	4	160 °C	2	3	329	5 806 Kč
11	30	25°	8	210 °C	3	3	337	5 949 Kč
12	30	15°	4	180 °C	3	3	348	6 155 Kč
13	20	15°	8	180 °C	3	3	323	5 713 Kč
14	30	20°	11	20 °C	2	3	370	6 538 Kč
15	40	20°	8	210 °C	2	2	557	9 837 Kč
16	40	25°	4	20 °C	3	2	543	9 601 Kč
17	20	20°	8	210 °C	3	3	303	5 360 Kč
18	20	15°	8	20 °C	3	3	330	5 831 Kč
19	40	25°	4	180 °C	3	2	530	9 365 Kč
20	30	20°	4	180 °C	4	3	335	5 920 Kč
21	20	25°	8	20 °C	4	3	293	5 169 Kč
22	20	25°	4	210 °C	5	3	280	4 948 Kč
23	30	15°	11	180 °C	3	3	390	6 891 Kč
24	30	25°	4	20 °C	5	3	327	5 781 Kč
25	20	20°	8	20 °C	3	4	307	5 419 Kč
26	20	15°	8	210 °C	4	3	327	5 772 Kč
27	20	25°	11	210 °C	5	3	290	5 124 Kč
28	20	25°	11	160 °C	5	3	305	5 389 Kč
29	30	25°	4	180 °C	4	3	327	5 772 Kč
30	40	15°	11	20 °C	2	2	605	10 691 Kč
31	30	20°	4	210 °C	4	4	323	5 713 Kč
32	30	25°	11	210 °C	4	3	330	5 831 Kč
33	20	20°	11	180 °C	5	3	310	5 478 Kč
34	40	25°	8	160 °C	3	3	553	9 778 Kč
35	40	20°	4	210 °C	3	3	548	9 689 Kč
36	40	20°	11	180 °C	3	2	585	10 337 Kč
37	20	15°	4	160 °C	5	4	290	5 124 Kč
38	30	20°	4	20 °C	3	5	332	5 861 Kč
39	40	25°	4	210 °C	4	2	527	9 315 Kč
40	30	25°	4	210 °C	5	3	318	5 625 Kč
41	40	15°	4	160 °C	4	2	574	10 148 Kč

42	40	25°	8	180 °C	4	2	557	9 837 Kč
43	30	20°	8	210 °C	4	3	350	6 185 Kč
44	40	15°	8	160 °C	3	3	590	10 426 Kč
45	40	20°	8	20 °C	3	3	570	10 072 Kč
46	20	20°	11	210 °C	6	3	320	5 655 Kč
47	40	20°	8	180 °C	3	3	550	9 719 Kč
48	30	15°	11	210 °C	4	4	363	6 420 Kč
49	40	15°	4	210 °C	4	3	558	9 866 Kč
50	40	15°	4	20 °C	4	2	577	10 198 Kč
51	40	20°	4	180 °C	5	3	550	9 719 Kč
52	20	20°	4	180 °C	7	4	287	5 066 Kč
53	30	20°	11	210 °C	4	4	355	6 273 Kč
54	30	25°	8	160 °C	4	5	340	6 008 Kč
55	30	15°	4	210 °C	5	3	342	6 047 Kč
56	20	15°	11	20 °C	6	4	317	5 596 Kč
57	20	25°	8	160 °C	7	4	283	4 992 Kč
58	20	20°	11	20 °C	6	4	320	5 655 Kč
59	20	20°	4	20 °C	5	5	292	5 160 Kč
60	40	15°	11	180 °C	3	3	593	10 484 Kč
61	20	20°	8	180 °C	6	4	303	5 360 Kč
62	20	25°	11	180 °C	8	4	293	5 183 Kč
63	40	25°	8	20 °C	5	3	567	10 013 Kč
64	20	15°	11	160 °C	6	4	330	5 831 Kč
65	40	15°	8	210 °C	4	3	605	10 691 Kč
66	40	20°	11	160 °C	5	3	585	10 337 Kč
67	30	20°	8	180 °C	5	4	350	6 185 Kč
68	30	15°	8	20 °C	4	4	377	6 656 Kč
69	30	15°	4	20 °C	5	4	351	6 210 Kč
70	20	20°	8	160 °C	7	5	303	5 360 Kč
71	40	20°	4	20 °C	4	4	553	9 772 Kč
72	40	20°	4	160 °C	4	4	553	9 778 Kč
73	20	15°	4	20 °C	7	7	288	5 089 Kč
74	20	15°	8	160 °C	6	5	327	5 772 Kč
75	40	15°	11	210 °C	4	3	600	10 602 Kč
76	30	20°	8	160 °C	5	5	360	6 361 Kč
77	40	25°	4	160 °C	8	3	531	9 391 Kč
78	30	15°	8	160 °C	10	3	390	6 891 Kč
79	30	20°	11	160 °C	5	4	350	6 185 Kč
80	20	15°	4	180 °C	10	7	288	5 089 Kč
81	30	25°	11	180 °C	6	5	333	5 890 Kč
82	20	15°	11	210 °C	7	8	313	5 537 Kč
83	40	25°	11	180 °C	5	3	575	10 160 Kč
84	30	15°	8	180 °C	5	5	377	6 656 Kč
85	20	25°	8	180 °C	11	7	293	5 183 Kč
86	40	15°	11	160 °C	6	3	590	10 426 Kč
87	30	25°	11	20 °C	9	4	350	6 185 Kč
88	40	15°	8	180 °C	4	5	573	10 131 Kč
89	40	25°	11	160 °C	4	5	575	10 160 Kč

90	40	20°	11	210 °C	5	4	570	10 072 Kč
91	40	25°	11	210 °C	4	6	570	10 072 Kč
92	30	25°	8	180 °C	9	6	333	5 890 Kč
93	20	20°	11	160 °C	9	9	325	5 743 Kč
94	20	25°	11	20 °C	26	16	300	5 301 Kč
95	30	20°	11	180 °C	10	5	330	5 831 Kč
96	30	15°	4	160 °C	10	5	354	6 260 Kč
97	30	20°	4	160 °C	9	7	337	5 949 Kč
98	20	15°	11	180 °C	10	6	337	5 949 Kč
99	40	20°	11	20 °C	7	4	560	9 895 Kč
100	40	25°	8	210 °C	5	7	550	9 719 Kč
101	40	15°	8	20 °C	6	4	597	10 543 Kč
102	40	20°	8	160 °C	6	5	570	10 072 Kč
103	30	15°	8	210 °C	9	7	360	6 361 Kč
104	30	25°	11	160 °C	15	14	335	5 920 Kč
105	30	15°	11	160 °C	8	8	390	6 891 Kč
106	40	25°	11	20 °C	8	4	595	10 514 Kč
107	30	15°	11	20 °C	10	10	400	7 068 Kč
108	40	15°	4	180 °C	13	6	563	9 954 Kč

**Tab. 69** Ekonomika provozu dle nejlepší drsnosti u Iroka (*Milicia excelsa*)

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	30	20°	8	180 °C	6	3	338	5 964 Kč
2	40	25°	8	210 °C	3	3	543	9 586 Kč
3	40	15°	4	180 °C	4	3	554	9 794 Kč
4	20	15°	4	210 °C	3	3	287	5 066 Kč
5	20	25°	11	20 °C	6	3	313	5 537 Kč
6	40	15°	4	160 °C	5	3	571	10 097 Kč
7	30	20°	11	180 °C	7	3	333	5 890 Kč
8	30	20°	4	180 °C	9	3	326	5 756 Kč
9	30	20°	8	20 °C	11	3	348	6 140 Kč
10	20	20°	4	20 °C	5	3	300	5 301 Kč
11	30	20°	4	160 °C	3	3	348	6 155 Kč
12	40	20°	4	210 °C	4	3	537	9 492 Kč
13	40	20°	4	160 °C	5	4	565	9 984 Kč
14	40	20°	4	20 °C	4	4	560	9 895 Kč
15	30	25°	4	160 °C	5	4	338	5 978 Kč
16	40	20°	11	160 °C	4	4	507	8 953 Kč
17	20	15°	8	20 °C	5	4	337	5 949 Kč
18	40	25°	4	180 °C	5	4	528	9 336 Kč
19	40	25°	4	210 °C	4	4	544	9 618 Kč
20	40	15°	11	210 °C	4	4	570	10 072 Kč
21	30	20°	4	20 °C	6	4	350	6 185 Kč
22	20	15°	4	20 °C	4	4	307	5 419 Kč
23	20	25°	4	20 °C	3	4	299	5 276 Kč
24	20	25°	8	180 °C	5	4	320	5 655 Kč
25	40	25°	11	210 °C	5	4	573	10 131 Kč
26	20	15°	8	210 °C	4	4	323	5 713 Kč
27	20	20°	4	210 °C	5	4	286	5 054 Kč
28	40	15°	4	210 °C	6	4	561	9 921 Kč
29	30	15°	8	20 °C	5	5	403	7 112 Kč
30	40	20°	8	20 °C	5	5	570	10 072 Kč
31	30	15°	4	180 °C	5	5	365	6 450 Kč
32	30	25°	8	180 °C	6	5	323	5 699 Kč
33	30	25°	8	20 °C	4	5	343	6 052 Kč
34	40	20°	8	180 °C	8	5	540	9 542 Kč
35	20	15°	8	160 °C	5	5	350	6 185 Kč
36	40	25°	4	160 °C	6	5	555	9 807 Kč
37	40	15°	8	180 °C	7	5	555	9 807 Kč
38	30	15°	4	20 °C	5	5	363	6 412 Kč
39	30	25°	4	180 °C	6	5	316	5 579 Kč
40	20	25°	8	160 °C	8	5	327	5 772 Kč
41	30	25°	4	210 °C	4	5	320	5 655 Kč



42	20	25°	4	160 °C	6	5	307	5 419 Kč
43	20	25°	4	210 °C	7	5	284	5 023 Kč
44	20	20°	8	180 °C	6	5	303	5 360 Kč
45	30	15°	8	160 °C	4	5	353	6 229 Kč
46	20	20°	4	160 °C	3	5	302	5 331 Kč
47	20	15°	4	180 °C	5	5	310	5 478 Kč
48	40	15°	8	160 °C	6	5	607	10 720 Kč
49	40	20°	11	20 °C	6	5	568	10 028 Kč
50	40	20°	11	210 °C	6	5	517	9 130 Kč
51	40	20°	8	160 °C	7	5	525	9 277 Kč
52	20	20°	11	20 °C	8	5	330	5 831 Kč
53	40	15°	8	20 °C	5	5	613	10 838 Kč
54	30	20°	8	160 °C	7	5	370	6 538 Kč
55	30	15°	11	160 °C	6	5	393	6 950 Kč
56	40	25°	8	20 °C	7	5	587	10 367 Kč
57	30	25°	8	160 °C	7	6	330	5 831 Kč
58	20	20°	8	20 °C	5	6	330	5 831 Kč
59	30	25°	4	20 °C	4	6	331	5 856 Kč
60	30	25°	11	180 °C	7	6	340	6 008 Kč
61	40	15°	8	210 °C	8	6	563	9 940 Kč
62	40	20°	4	180 °C	7	6	526	9 290 Kč
63	30	25°	11	210 °C	6	6	333	5 875 Kč
64	30	20°	4	210 °C	7	6	333	5 882 Kč
65	20	20°	11	160 °C	8	6	347	6 126 Kč
66	30	15°	4	160 °C	7	6	349	6 159 Kč
67	20	15°	4	160 °C	6	6	300	5 301 Kč
68	40	25°	8	160 °C	4	6	560	9 895 Kč
69	20	25°	11	210 °C	7	6	288	5 080 Kč
70	20	20°	11	210 °C	12	6	300	5 301 Kč
71	40	20°	8	210 °C	6	6	533	9 409 Kč
72	20	20°	8	160 °C	6	6	303	5 360 Kč
73	30	15°	4	210 °C	12	6	347	6 134 Kč
74	40	25°	8	180 °C	6	6	540	9 542 Kč
75	30	15°	11	180 °C	5	6	363	6 420 Kč
76	30	20°	11	20 °C	7	6	367	6 479 Kč
77	30	25°	11	20 °C	10	6	347	6 126 Kč
78	30	20°	11	210 °C	5	7	343	6 067 Kč
79	40	15°	4	20 °C	7	7	597	10 552 Kč
80	40	25°	11	160 °C	6	7	557	9 837 Kč
81	30	25°	8	210 °C	8	7	323	5 699 Kč
82	20	15°	11	20 °C	8	7	350	6 185 Kč
83	40	25°	4	20 °C	10	7	563	9 946 Kč
84	40	25°	11	180 °C	8	7	543	9 601 Kč
85	20	20°	11	180 °C	8	7	323	5 713 Kč
86	40	15°	11	160 °C	7	7	600	10 602 Kč
87	20	20°	8	210 °C	7	7	303	5 360 Kč
88	40	15°	11	20 °C	9	7	603	10 661 Kč
89	20	15°	11	210 °C	9	8	320	5 655 Kč

90	40	25°	11	20 °C	9	8	583	10 308 Kč
91	30	15°	8	210 °C	10	8	340	6 008 Kč
92	20	20°	4	180 °C	13	8	310	5 478 Kč
93	30	25°	11	160 °C	8	8	333	5 890 Kč
94	20	15°	11	160 °C	7	8	330	5 831 Kč
95	20	25°	11	180 °C	10	8	287	5 066 Kč
96	20	25°	4	180 °C	10	9	307	5 419 Kč
97	30	15°	11	210 °C	7	9	363	6 420 Kč
98	40	20°	11	180 °C	7	9	557	9 837 Kč
99	30	20°	11	160 °C	9	10	353	6 244 Kč
100	20	25°	11	160 °C	14	10	277	4 889 Kč
101	30	20°	8	210 °C	9	10	343	6 067 Kč
102	20	15°	8	180 °C	14	10	320	5 655 Kč
103	40	15°	11	180 °C	21	12	600	10 602 Kč
104	20	15°	11	180 °C	15	13	323	5 713 Kč
105	30	15°	11	20 °C	11	13	373	6 597 Kč
106	30	15°	8	180 °C	14	16	373	6 582 Kč
107	20	25°	8	210 °C	24	18	293	5 183 Kč
108	20	25°	8	20 °C	53	31	308	5 434 Kč

**Tab. 70** Ekonomika provozu dle nejlepší vlnitosti u Iroka (*Milicia excelsa*)

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	15°	4	210 °C	3	3	287	5 066 Kč
2	30	20°	4	160 °C	3	3	348	6 155 Kč
3	20	25°	4	20 °C	3	4	299	5 276 Kč
4	40	25°	8	210 °C	3	3	543	9 586 Kč
5	20	20°	4	160 °C	3	5	302	5 331 Kč
6	40	15°	4	180 °C	4	3	554	9 794 Kč
7	40	25°	4	210 °C	4	4	544	9 618 Kč
8	30	15°	8	160 °C	4	5	353	6 229 Kč
9	40	15°	11	210 °C	4	4	570	10 072 Kč
10	40	25°	8	160 °C	4	6	560	9 895 Kč
11	40	20°	4	210 °C	4	3	537	9 492 Kč
12	20	15°	8	210 °C	4	4	323	5 713 Kč
13	30	25°	4	210 °C	4	5	320	5 655 Kč
14	30	25°	4	20 °C	4	6	331	5 856 Kč
15	40	20°	11	160 °C	4	4	507	8 953 Kč
16	30	25°	8	20 °C	4	5	343	6 052 Kč
17	40	20°	4	20 °C	4	4	560	9 895 Kč
18	20	15°	4	20 °C	4	4	307	5 419 Kč
19	30	15°	4	180 °C	5	5	365	6 450 Kč
20	40	25°	11	210 °C	5	4	573	10 131 Kč
21	20	25°	8	180 °C	5	4	320	5 655 Kč
22	20	15°	8	20 °C	5	4	337	5 949 Kč
23	20	20°	4	210 °C	5	4	286	5 054 Kč
24	40	15°	4	160 °C	5	3	571	10 097 Kč
25	30	20°	11	210 °C	5	7	343	6 067 Kč
26	30	15°	11	180 °C	5	6	363	6 420 Kč
27	30	15°	8	20 °C	5	5	403	7 112 Kč
28	40	20°	4	160 °C	5	4	565	9 984 Kč
29	40	25°	4	180 °C	5	4	528	9 336 Kč
30	40	15°	8	20 °C	5	5	613	10 838 Kč
31	20	20°	4	20 °C	5	3	300	5 301 Kč
32	30	25°	4	160 °C	5	4	338	5 978 Kč
33	20	15°	8	160 °C	5	5	350	6 185 Kč
34	20	15°	4	180 °C	5	5	310	5 478 Kč
35	30	15°	4	20 °C	5	5	363	6 412 Kč
36	20	20°	8	20 °C	5	6	330	5 831 Kč
37	40	20°	8	20 °C	5	5	570	10 072 Kč
38	30	15°	11	160 °C	6	5	393	6 950 Kč
39	40	15°	4	210 °C	6	4	561	9 921 Kč
40	30	20°	4	20 °C	6	4	350	6 185 Kč
41	20	15°	4	160 °C	6	6	300	5 301 Kč

42	40	15°	8	160 °C	6	5	607	10 720 Kč
43	30	20°	8	180 °C	6	3	338	5 964 Kč
44	20	25°	4	160 °C	6	5	307	5 419 Kč
45	40	20°	11	20 °C	6	5	568	10 028 Kč
46	30	25°	4	180 °C	6	5	316	5 579 Kč
47	20	25°	11	20 °C	6	3	313	5 537 Kč
48	20	20°	8	160 °C	6	6	303	5 360 Kč
49	40	20°	8	210 °C	6	6	533	9 409 Kč
50	30	25°	8	180 °C	6	5	323	5 699 Kč
51	40	20°	11	210 °C	6	5	517	9 130 Kč
52	20	20°	8	180 °C	6	5	303	5 360 Kč
53	30	25°	11	210 °C	6	6	333	5 875 Kč
54	40	25°	8	180 °C	6	6	540	9 542 Kč
55	40	25°	11	160 °C	6	7	557	9 837 Kč
56	40	25°	4	160 °C	6	5	555	9 807 Kč
57	40	15°	11	160 °C	7	7	600	10 602 Kč
58	40	25°	8	20 °C	7	5	587	10 367 Kč
59	20	25°	11	210 °C	7	6	288	5 080 Kč
60	30	15°	4	160 °C	7	6	349	6 159 Kč
61	30	20°	8	160 °C	7	5	370	6 538 Kč
62	40	15°	4	20 °C	7	7	597	10 552 Kč
63	40	20°	4	180 °C	7	6	526	9 290 Kč
64	30	20°	4	210 °C	7	6	333	5 882 Kč
65	30	25°	8	160 °C	7	6	330	5 831 Kč
66	30	25°	11	180 °C	7	6	340	6 008 Kč
67	30	15°	11	210 °C	7	9	363	6 420 Kč
68	30	20°	11	20 °C	7	6	367	6 479 Kč
69	20	15°	11	160 °C	7	8	330	5 831 Kč
70	20	20°	8	210 °C	7	7	303	5 360 Kč
71	30	20°	11	180 °C	7	3	333	5 890 Kč
72	40	20°	8	160 °C	7	5	525	9 277 Kč
73	40	20°	11	180 °C	7	9	557	9 837 Kč
74	20	25°	4	210 °C	7	5	284	5 023 Kč
75	40	15°	8	180 °C	7	5	555	9 807 Kč
76	40	15°	8	210 °C	8	6	563	9 940 Kč
77	30	25°	8	210 °C	8	7	323	5 699 Kč
78	40	20°	8	180 °C	8	5	540	9 542 Kč
79	20	25°	8	160 °C	8	5	327	5 772 Kč
80	20	20°	11	180 °C	8	7	323	5 713 Kč
81	30	25°	11	160 °C	8	8	333	5 890 Kč
82	20	20°	11	160 °C	8	6	347	6 126 Kč
83	40	25°	11	180 °C	8	7	543	9 601 Kč
84	20	20°	11	20 °C	8	5	330	5 831 Kč
85	20	15°	11	20 °C	8	7	350	6 185 Kč
86	30	20°	8	210 °C	9	10	343	6 067 Kč
87	20	15°	11	210 °C	9	8	320	5 655 Kč
88	40	25°	11	20 °C	9	8	583	10 308 Kč
89	30	20°	11	160 °C	9	10	353	6 244 Kč

90	30	20°	4	180 °C	9	3	326	5 756 Kč
91	40	15°	11	20 °C	9	7	603	10 661 Kč
92	30	25°	11	20 °C	10	6	347	6 126 Kč
93	20	25°	11	180 °C	10	8	287	5 066 Kč
94	20	25°	4	180 °C	10	9	307	5 419 Kč
95	30	15°	8	210 °C	10	8	340	6 008 Kč
96	40	25°	4	20 °C	10	7	563	9 946 Kč
97	30	15°	11	20 °C	11	13	373	6 597 Kč
98	30	20°	8	20 °C	11	3	348	6 140 Kč
99	20	20°	11	210 °C	12	6	300	5 301 Kč
100	30	15°	4	210 °C	12	6	347	6 134 Kč
101	20	20°	4	180 °C	13	8	310	5 478 Kč
102	20	25°	11	160 °C	14	10	277	4 889 Kč
103	20	15°	8	180 °C	14	10	320	5 655 Kč
104	30	15°	8	180 °C	14	16	373	6 582 Kč
105	20	15°	11	180 °C	15	13	323	5 713 Kč
106	40	15°	11	180 °C	21	12	600	10 602 Kč
107	20	25°	8	210 °C	24	18	293	5 183 Kč
108	20	25°	8	20 °C	53	31	308	5 434 Kč

**Tab. 71** Ekonomika provozu dle nejlepší spotřeby u Iroka (*Milicia excelsa*)

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	25°	11	160 °C	14	10	277	4 889 Kč
2	20	25°	4	210 °C	7	5	284	5 023 Kč
3	20	20°	4	210 °C	5	4	286	5 054 Kč
4	20	15°	4	210 °C	3	3	287	5 066 Kč
5	20	25°	11	180 °C	10	8	287	5 066 Kč
6	20	25°	11	210 °C	7	6	288	5 080 Kč
7	20	25°	8	210 °C	24	18	293	5 183 Kč
8	20	25°	4	20 °C	3	4	299	5 276 Kč
9	20	20°	4	20 °C	5	3	300	5 301 Kč
10	20	15°	4	160 °C	6	6	300	5 301 Kč
11	20	20°	11	210 °C	12	6	300	5 301 Kč
12	20	20°	4	160 °C	3	5	302	5 331 Kč
13	20	20°	8	180 °C	6	5	303	5 360 Kč
14	20	20°	8	160 °C	6	6	303	5 360 Kč
15	20	20°	8	210 °C	7	7	303	5 360 Kč
16	20	15°	4	20 °C	4	4	307	5 419 Kč
17	20	25°	4	160 °C	6	5	307	5 419 Kč
18	20	25°	4	180 °C	10	9	307	5 419 Kč
19	20	25°	8	20 °C	53	31	308	5 434 Kč
20	20	15°	4	180 °C	5	5	310	5 478 Kč
21	20	20°	4	180 °C	13	8	310	5 478 Kč
22	20	25°	11	20 °C	6	3	313	5 537 Kč
23	30	25°	4	180 °C	6	5	316	5 579 Kč
24	20	25°	8	180 °C	5	4	320	5 655 Kč
25	30	25°	4	210 °C	4	5	320	5 655 Kč
26	20	15°	11	210 °C	9	8	320	5 655 Kč
27	20	15°	8	180 °C	14	10	320	5 655 Kč
28	30	25°	8	180 °C	6	5	323	5 699 Kč
29	30	25°	8	210 °C	8	7	323	5 699 Kč
30	20	15°	8	210 °C	4	4	323	5 713 Kč
31	20	20°	11	180 °C	8	7	323	5 713 Kč
32	20	15°	11	180 °C	15	13	323	5 713 Kč
33	30	20°	4	180 °C	9	3	326	5 756 Kč
34	20	25°	8	160 °C	8	5	327	5 772 Kč
35	20	20°	8	20 °C	5	6	330	5 831 Kč
36	30	25°	8	160 °C	7	6	330	5 831 Kč
37	20	20°	11	20 °C	8	5	330	5 831 Kč
38	20	15°	11	160 °C	7	8	330	5 831 Kč
39	30	25°	4	20 °C	4	6	331	5 856 Kč
40	30	25°	11	210 °C	6	6	333	5 875 Kč
41	30	20°	4	210 °C	7	6	333	5 882 Kč

42	30	20°	11	180 °C	7	3	333	5 890 Kč
43	30	25°	11	160 °C	8	8	333	5 890 Kč
44	20	15°	8	20 °C	5	4	337	5 949 Kč
45	30	20°	8	180 °C	6	3	338	5 964 Kč
46	30	25°	4	160 °C	5	4	338	5 978 Kč
47	30	25°	11	180 °C	7	6	340	6 008 Kč
48	30	15°	8	210 °C	10	8	340	6 008 Kč
49	30	25°	8	20 °C	4	5	343	6 052 Kč
50	30	20°	11	210 °C	5	7	343	6 067 Kč
51	30	20°	8	210 °C	9	10	343	6 067 Kč
52	20	20°	11	160 °C	8	6	347	6 126 Kč
53	30	25°	11	20 °C	10	6	347	6 126 Kč
54	30	15°	4	210 °C	12	6	347	6 134 Kč
55	30	20°	8	20 °C	11	3	348	6 140 Kč
56	30	20°	4	160 °C	3	3	348	6 155 Kč
57	30	15°	4	160 °C	7	6	349	6 159 Kč
58	30	20°	4	20 °C	6	4	350	6 185 Kč
59	20	15°	8	160 °C	5	5	350	6 185 Kč
60	20	15°	11	20 °C	8	7	350	6 185 Kč
61	30	15°	8	160 °C	4	5	353	6 229 Kč
62	30	20°	11	160 °C	9	10	353	6 244 Kč
63	30	15°	4	20 °C	5	5	363	6 412 Kč
64	30	15°	11	180 °C	5	6	363	6 420 Kč
65	30	15°	11	210 °C	7	9	363	6 420 Kč
66	30	15°	4	180 °C	5	5	365	6 450 Kč
67	30	20°	11	20 °C	7	6	367	6 479 Kč
68	30	20°	8	160 °C	7	5	370	6 538 Kč
69	30	15°	8	180 °C	14	16	373	6 582 Kč
70	30	15°	11	20 °C	11	13	373	6 597 Kč
71	30	15°	11	160 °C	6	5	393	6 950 Kč
72	30	15°	8	20 °C	5	5	403	7 112 Kč
73	40	20°	11	160 °C	4	4	507	8 953 Kč
74	40	20°	11	210 °C	6	5	517	9 130 Kč
75	40	20°	8	160 °C	7	5	525	9 277 Kč
76	40	20°	4	180 °C	7	6	526	9 290 Kč
77	40	25°	4	180 °C	5	4	528	9 336 Kč
78	40	20°	8	210 °C	6	6	533	9 409 Kč
79	40	20°	4	210 °C	4	3	537	9 492 Kč
80	40	20°	8	180 °C	8	5	540	9 542 Kč
81	40	25°	8	180 °C	6	6	540	9 542 Kč
82	40	25°	8	210 °C	3	3	543	9 586 Kč
83	40	25°	11	180 °C	8	7	543	9 601 Kč
84	40	25°	4	210 °C	4	4	544	9 618 Kč
85	40	15°	4	180 °C	4	3	554	9 794 Kč
86	40	25°	4	160 °C	6	5	555	9 807 Kč
87	40	15°	8	180 °C	7	5	555	9 807 Kč
88	40	25°	11	160 °C	6	7	557	9 837 Kč
89	40	20°	11	180 °C	7	9	557	9 837 Kč

90	40	20°	4	20 °C	4	4	560	9 895 Kč
91	40	25°	8	160 °C	4	6	560	9 895 Kč
92	40	15°	4	210 °C	6	4	561	9 921 Kč
93	40	15°	8	210 °C	8	6	563	9 940 Kč
94	40	25°	4	20 °C	10	7	563	9 946 Kč
95	40	20°	4	160 °C	5	4	565	9 984 Kč
96	40	20°	11	20 °C	6	5	568	10 028 Kč
97	40	15°	11	210 °C	4	4	570	10 072 Kč
98	40	20°	8	20 °C	5	5	570	10 072 Kč
99	40	15°	4	160 °C	5	3	571	10 097 Kč
100	40	25°	11	210 °C	5	4	573	10 131 Kč
101	40	25°	11	20 °C	9	8	583	10 308 Kč
102	40	25°	8	20 °C	7	5	587	10 367 Kč
103	40	15°	4	20 °C	7	7	597	10 552 Kč
104	40	15°	11	160 °C	7	7	600	10 602 Kč
105	40	15°	11	180 °C	21	12	600	10 602 Kč
106	40	15°	11	20 °C	9	7	603	10 661 Kč
107	40	15°	8	160 °C	6	5	607	10 720 Kč
108	40	15°	8	20 °C	5	5	613	10 838 Kč



Tab. 72 Nejlepší kombinace všech parametrů u Iroka (*Milicia excelsa*)

Iroko ( <i>Milicia excelsa</i> )								
Pořadí	Řezná rychlost [m/s]	Úhel čela [°]	Posuvná rychlost [m/min]	Teplota [°C]	Wa [μm] Průměr	Ra (μm) Průměr	Spotřeba elektrické energie (W) Průměr	Ekonomika obrábění
1	20	15°	4	210 °C	3	3	287	5 964 Kč
2	20	25°	4	20 °C	3	4	299	5 964 Kč
3	20	20°	4	20 °C	5	3	300	5 964 Kč
4	20	20°	4	210 °C	5	4	286	5 964 Kč
5	20	15°	4	20 °C	4	4	307	5 964 Kč
6	20	20°	4	160 °C	3	5	302	5 964 Kč
7	20	15°	8	210 °C	4	4	323	5 964 Kč
8	30	20°	4	160 °C	3	3	348	5 964 Kč
9	20	25°	8	180 °C	5	4	320	5 964 Kč
10	20	25°	11	20 °C	6	3	313	5 964 Kč
11	30	25°	4	210 °C	4	5	320	5 964 Kč
12	20	15°	8	20 °C	5	4	337	5 964 Kč
13	40	25°	8	210 °C	3	3	543	5 964 Kč
14	30	20°	8	180 °C	6	3	338	5 964 Kč
15	30	25°	4	160 °C	5	4	338	5 964 Kč
16	40	15°	4	180 °C	4	3	554	5 964 Kč
17	30	25°	8	20 °C	4	5	343	5 964 Kč
18	20	15°	4	180 °C	5	5	310	5 964 Kč
19	40	20°	4	210 °C	4	3	537	5 964 Kč
20	20	25°	4	160 °C	6	5	307	5 964 Kč
21	40	20°	11	160 °C	4	4	507	5 964 Kč
22	30	25°	4	180 °C	6	5	316	5 964 Kč
23	20	20°	8	180 °C	6	5	303	5 964 Kč
24	30	25°	8	180 °C	6	5	323	5 964 Kč
25	40	25°	4	210 °C	4	4	544	5 964 Kč
26	30	25°	4	20 °C	4	6	331	5 964 Kč
27	30	15°	8	160 °C	4	5	353	5 964 Kč
28	30	15°	4	180 °C	5	5	365	5 964 Kč
29	20	15°	4	160 °C	6	6	300	5 964 Kč
30	20	25°	4	210 °C	7	5	284	5 964 Kč
31	30	20°	11	180 °C	7	3	333	5 964 Kč
32	30	20°	4	20 °C	6	4	350	5 964 Kč
33	40	20°	4	20 °C	4	4	560	5 964 Kč
34	40	25°	4	180 °C	5	4	528	5 964 Kč
35	20	15°	8	160 °C	5	5	350	5 964 Kč
36	40	15°	11	210 °C	4	4	570	5 964 Kč
37	30	15°	8	20 °C	5	5	403	5 964 Kč
38	40	15°	4	160 °C	5	3	571	5 964 Kč
39	20	20°	8	20 °C	5	6	330	5 964 Kč
40	30	20°	4	180 °C	9	3	326	5 964 Kč
41	20	20°	8	160 °C	6	6	303	5 964 Kč

42	20	25°	11	210 °C	7	6	288	5 964 Kč
43	30	15°	4	20 °C	5	5	363	5 964 Kč
44	40	20°	4	160 °C	5	4	565	5 964 Kč
45	40	25°	11	210 °C	5	4	573	5 964 Kč
46	20	25°	8	160 °C	8	5	327	5 964 Kč
47	30	20°	11	210 °C	5	7	343	5 964 Kč
48	30	25°	11	210 °C	6	6	333	5 964 Kč
49	40	15°	4	210 °C	6	4	561	5 964 Kč
50	30	25°	8	160 °C	7	6	330	5 964 Kč
51	30	20°	8	20 °C	11	3	348	5 964 Kč
52	30	15°	11	160 °C	6	5	393	5 964 Kč
53	30	15°	11	180 °C	5	6	363	5 964 Kč
54	40	20°	8	20 °C	5	5	570	5 964 Kč
55	30	20°	4	210 °C	7	6	333	5 964 Kč
56	40	25°	8	160 °C	4	6	560	5 964 Kč
57	20	20°	8	210 °C	7	7	303	5 964 Kč
58	20	20°	11	20 °C	8	5	330	5 964 Kč
59	30	25°	11	180 °C	7	6	340	5 964 Kč
60	40	20°	11	210 °C	6	5	517	5 964 Kč
61	40	25°	4	160 °C	6	5	555	5 964 Kč
62	20	20°	11	210 °C	12	6	300	5 964 Kč
63	30	15°	4	160 °C	7	6	349	5 964 Kč
64	30	20°	8	160 °C	7	5	370	5 964 Kč
65	30	25°	8	210 °C	8	7	323	5 964 Kč
66	40	20°	11	20 °C	6	5	568	5 964 Kč
67	40	15°	8	20 °C	5	5	613	5 964 Kč
68	40	20°	8	180 °C	8	5	540	5 964 Kč
69	20	25°	11	180 °C	10	8	287	5 964 Kč
70	20	20°	11	180 °C	8	7	323	5 964 Kč
71	40	15°	8	160 °C	6	5	607	5 964 Kč
72	20	15°	11	160 °C	7	8	330	5 964 Kč
73	40	15°	8	180 °C	7	5	555	5 964 Kč
74	40	20°	8	160 °C	7	5	525	5 964 Kč
75	40	20°	8	210 °C	6	6	533	5 964 Kč
76	20	20°	11	160 °C	8	6	347	5 964 Kč
77	20	15°	11	210 °C	9	8	320	5 964 Kč
78	40	20°	4	180 °C	7	6	526	5 964 Kč
79	20	25°	11	160 °C	14	10	277	5 964 Kč
80	20	25°	4	180 °C	10	9	307	5 964 Kč
81	40	25°	8	180 °C	6	6	540	5 964 Kč
82	30	20°	11	20 °C	7	6	367	5 964 Kč
83	20	20°	4	180 °C	13	8	310	5 964 Kč
84	40	25°	8	20 °C	7	5	587	5 964 Kč
85	30	25°	11	160 °C	8	8	333	5 964 Kč
86	20	25°	8	210 °C	24	18	293	5 964 Kč
87	30	25°	11	20 °C	10	6	347	5 964 Kč
88	40	25°	11	160 °C	6	7	557	5 964 Kč
89	20	15°	11	20 °C	8	7	350	5 964 Kč

90	30	15°	4	210 °C	12	6	347	5 964 Kč
91	20	15°	8	180 °C	14	10	320	5 964 Kč
92	30	15°	11	210 °C	7	9	363	5 964 Kč
93	40	15°	8	210 °C	8	6	563	5 964 Kč
94	30	15°	8	210 °C	10	8	340	5 964 Kč
95	20	25°	8	20 °C	53	31	308	5 964 Kč
96	30	20°	8	210 °C	9	10	343	5 964 Kč
97	20	15°	11	180 °C	15	13	323	5 964 Kč
98	40	15°	4	20 °C	7	7	597	5 964 Kč
99	40	15°	11	160 °C	7	7	600	5 964 Kč
100	30	20°	11	160 °C	9	10	353	5 964 Kč
101	40	25°	11	180 °C	8	7	543	5 964 Kč
102	40	20°	11	180 °C	7	9	557	5 964 Kč
103	30	15°	11	20 °C	11	13	373	5 964 Kč
104	40	25°	4	20 °C	10	7	563	5 964 Kč
105	30	15°	8	180 °C	14	16	373	5 964 Kč
106	40	25°	11	20 °C	9	8	583	5 964 Kč
107	40	15°	11	20 °C	9	7	603	5 964 Kč
108	40	15°	11	180 °C	21	12	600	5 964 Kč