

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Bakalářská práce

**Vliv termické modifikace na kvalitu obrobeného
povrchu tropického dřeva**

David Khol

© 2019 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Khol

Podnikání ve dřevozpracujícím a nábytkářském průmyslu

Název práce

Vliv termické modifikace na kvalitu obroběného povrchu tropického dřeva

Název anglicky

Influence of thermal modification on quality of machined surface of tropical wood

Cíle práce

Cílem práce je zhodnocení vlivu termické modifikace na kvalitu obráběného povrchu u vybrané tropické dřeviny.

Metodika

1. Analýza problematiky daného typu obrábění, termické modifikace a kvality obroběného povrchu.
2. Metodika termické modifikace, dále metodika získávání dat a vyhodnocení naměřených dat.
3. Statistické zhodnocení dat a jejich vyhodnocení.
4. Závěr práce (vyhodnocení výsledků).

Doporučený rozsah práce

30-40

Klíčová slova

Kvalita povrchu, frézování, tropické dřeviny, termická modifikace

Doporučené zdroje informací

ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda –

Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999. 24 s.

ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda –

Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999. 16 s.

DAVIM, J. P. Surface Integrity in Machining. 1. vyd. London: Springer. 2010. 215 s. ISBN

978-1-84882-973-5.

DAVIM, J. P. Wood Machining. 1. vyd. Londýn: ISTE Ltd, 2011. 288 s. ISBN: 978-1-84821-315-9.

SIKLIENKA, M.; KMINIAK, R. Delenie a obrábanie dreva. Technická univerzita vo Zvolene. 2013a. 207 s.

ISBN 978-80-228-2618-1.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Vliv termické modifikace na kvalitu obrobeného povrchu tropického dřeva" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce Ing. Miroslava Sedleckého, Ph.D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne:

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Miroslavu Sedleckému, Ph.D. za jeho odborné vedení, rady a připomínky a také za nesmírnou ochotu, se kterou odpovídal na všechny mé dotazy. Dále bych chtěl poděkovat vysoké škole, zejména katedře FLD za poskytnutí strojů a laboratoří a všem profesorům, učitelům a praktikantům, kteří mi pomáhali během mého studia získávat dovednosti, znalosti a zkušenosti v oboru podnikání ve dřevozpracujícím průmyslu. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině, že mi umožnila studovat, za podporu a pomoc při studiu.

Vliv termické modifikace na kvalitu obráběného povrchu tropického dřeva

Abstrakt

Tato bakalářská práce má dvě části, a to teoretickou a praktickou. V teoretické části je formou literární rešerše čtenář seznámen s odbornou terminologií týkající se dřevin a jejich rozdělení, tropickými dřevinami, vybranou dřevinou Iroko (*Milicia excelsa*), termickou modifikací a jejími variantami, druhy obrábění zejména frézováním a kvality povrchu.

Praktická část se zabývá experimentálním zkoumáním vlivu termické modifikace na kvalitu obráběného materiálu dřeva Iroko (*Milicia excelsa*). Dřevo Iroko (*Milicia excelsa*) bylo pro účely výzkumu použito jednak v podobě referenčních vzorků (20 °C – bez termické modifikace) a dále v podobě vzorků, které byly termicky upraveny při teplotách 160°, 180° a 210 °C. Ke zkoumání byly použity speciální nástroje, jako spodní jedno-vřetenová frézka, podávací zařízení a kontaktní profilometr. Kvalita povrchu byla vyhodnocena pomocí zjištěných průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti (R_a) a vlnitosti (W_a), které byly zjištěny, měřeny pomocí kontaktní metody.

Klíčová slova: kvalita povrchu, frézování, tropické dřeviny, termická modifikace

Influence of thermal modification on quality of machined surface of tropical wood

Abstract

This bachelor thesis has two parts, a theoretical and a practical. In the theoretical part, the reader is taken up with the professional terminology concerning woody species and their allocation, tropical woody species, the selected is the Iroko (*Milicia excelsa*) tree, the thermic modification and its variants, types of milling and surface quality.

The practical part deals with an experimental research of the influence of thermic modification on the quality of mechanided wood material Iroko (*Milicia excelsa*). Iroko wood (*Milicia excelsa*) was used for research purposes in the form of reference samples (20 °C – no thermal modification) and the samples which were thermally modified (treated) at 160°, 180° and 210 °C. Special tools were used for research, a bottom single spindle milling machine, the feed device and a contact profilometer. The surface quality was evaluated by means of the observed average arithmetic deviations of the roughness profile (Ra) and the waviness (Wa) that were found measured by the contact method.

Keywords: Surface quality, milling, tropical woods, thermic modification.

Obsah

1 Úvod	12
2 Cíl práce	13
3 Rozbor problematiky	14
3.1 Dřevní surovina	14
3.2 Rozdělení dřevin	14
3.2.1 Tropické dřeviny	15
3.2.2 Iroko (<i>Milicia excelsa</i>).....	15
3.2.2.1 Země původu	15
3.2.2.2 Makroskopická stavba dřeva	16
3.2.2.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti.....	17
3.2.2.4 Zpracování a použití dřeva	18
3.3 Ochrana a úprava dřeva.....	19
3.4 Termická modifikace dřeva.....	20
3.4.1 Historie a vývoj.....	21
3.4.2 Technologie výroby	22
3.4.3 Fáze termické modifikace – ThermoWood	25
3.4.4 Klasifikace tepelných úprav ThermoWood	26
3.4.5 Změny v chemické struktuře.....	27
3.4.5.1 Změny v ligninu	27
3.4.5.2 Změny v hemicelulóze	28
3.4.5.3 Změny v celulóze	28
3.4.5.4 Změny extraktivních látek.....	29
3.4.6 Trvanlivost termicky modifikovaného dřeva.....	29
3.4.7 Výhody a použití.....	30
3.5 Obrábění.....	31
3.6 Frezování.....	32
3.6.1 Druhy frézování	33
3.6.1.1 Válcové.....	33
3.6.1.2 Čelní	34
3.6.1.3 Kuželové.....	35
3.6.1.4 Čelně-kuželové	35
3.6.2 Kinematika.....	36
3.6.2.1 Výpočet řezné rychlosti.....	37
3.6.2.2 Výpočet posuvné rychlosti	37

3.6.2.3	Výpočet posuvu na zub	37
3.7	Vliv na kvalitu povrchu.....	38
3.7.1	Definování průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti a vlnitosti.....	39
4	Metodika	43
4.1	Použitý materiál	44
4.2	Použité nástroje	45
4.2.1	Frézovací nůž.....	45
4.2.2	Frézovací hlava	46
4.3	Použité stroje.....	46
4.3.1	Frézka.....	46
4.3.1.1	Nastavení frézovacích parametrů	47
4.3.2	Podávací zařízení	47
4.4	Měřicí zařízení	48
4.4.1	Kontaktní profilometr	48
4.4.2	Nastavení kontaktního profilometru	49
4.5	Zjištění hustoty a vlhkosti	50
4.5.1	Zjištění hustota.....	50
4.5.2	Zjištění vlhkosti	51
4.6	Příprava zkušebních vzorků	51
4.7	Metodika měření průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti (Ra) a vlnitost (Wa).....	52
4.8	Statistické zpracování dat.....	53
5	Výsledky a diskuze	55
5.1	Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti (Ra) – kontaktní metoda	55
5.2	Průměrná aritmetická úchylka profilu vlnitosti (Wa) – kontaktní metoda	58
6	Závěr.....	60
	Seznam použitých zdrojů	61

Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa výskytu dřeva iroko (www.woodworkerssource.com)	16
Obrázek 2: Milicia Excelsa (Chlorophora excelsa) (www.theseedybusiness.com)	17
Obrázek 3: Detail dřeva iroko (www.wood-database.com)	17
Obrázek 4: Vývoj produkce ThermoWood (www.thermowood.fi)	23
Obrázek 5: Fáze výroby Thermo-D a Thermo-S (Mayes, Oksanen, 2003).....	26
Obrázek 6: Hlavní druhy frézování (Kvietková, 2015)	33
Obrázek 7: Válcové frézování (Kvietková, 2015)	34
Obrázek 8: Čelní frézování (Kvietková, 2015).....	35
Obrázek 9: Kuželové frézování (Kvietková, 2015)	35
Obrázek 10: Čelně-kuželové frézování (Kvietková, 2015)	36
Obrázek 11: Kinematické schéma válcového frézování (Kvietková, 2015)	36
Obrázek 12: Profil povrchu (ČSN EN ISO 4287, 1999)	39
Obrázek 13: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti (ČSN EN ISO 4287, 1999)	40
Obrázek 14: Parametry P, W, R na profilu povrchu (https://eluc.kr-olomoucky.cz, 2019) 41	
Obrázek 15: Parametry zkoumání dřeva iroko (Autor, 2019)	43
Obrázek 16: Vzorčky dřeva iroko rozdělené podle stupně termické úpravy (Autor, 2019) .	44
Obrázek 17: Frézovací hlava s detailem na nůž (Autor, 2019)	45
Obrázek 18: Použitá frézovací hlava (Autor, 2019)	46
Obrázek 19: Spodní jedno-vřetenová frézka (Autor, 2019)	47
Obrázek 20: Podávací zařízení STEFF 2034 (Autor, 2019).....	48
Obrázek 21: Kontaktní profilometr (Autor, 2019).....	49
Obrázek 22: Princip indukčního snímače kontaktního profilometru (Havelková a Hiklová, 2014)	49
Obrázek 23: Raménko kontaktního profilometru obsahující kuželový diamantový hrot (Autor, 2019)	50
Obrázek 24: Naměření a rozdělení vzorku iroko, na 10 oblastí pro následné měření kontaktním profilometrem (Autor, 2019)	52
Obrázek 25: Popis vzorků obsahující: zkratku dřeviny, tepelnou úpravu, řeznou rychlost, podávací rychlost, úhel a nakonec vyznačení směru posuvu (Autor, 2019).....	52
Obrázek 26: Vliv teploty termické modifikace na drsnost povrchu (Autor, 2019)	56
Obrázek 27: Vliv teploty termické modifikace na vlnitost povrchu (Autor, 2019).....	58

Seznam tabulek

Tab. 1: Základní rozdělení dřevin s některými zástupci (Gandelová, Šlezingerová, 2014)	14
Tab. 2: Mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva iroko (Roček, 2005)	18
Tab. 3: Základní způsoby modifikace rostlého dřeva (Reinprecht, 2008)	20
Tab. 4: Hustota zkoumaného materiálu (Autor, 2019)	44
Tab. 5: Termická úprava dřeva iroko (Autor, 2019)	44
Tab. 6: Parametry frézovacího nože (Autor, 2019)	45
Tab. 7: Technické parametry spodní frézky (Autor, 2019)	47
Tab. 8: Technické parametry podávacího zařízení (Autor, 2019)	48
Tab. 9: Parametry měření podle normy ČSN EN ISO 4287 (1999)	50
Tab. 10: Vyhodnocení testovaných faktorů na základě hodnoty "P" (Gaff, Gáborík, 2009)	54
Tab. 11: Průměrné hodnoty drsnosti a vlnitosti včetně směrodatných odchylek – kontaktní metoda (Autor, 2019)	55
Tab. 12: Porovnání vlivů teploty termické modifikace Duncanovým testem na změnách drsnosti (Autor, 2019)	57
Tab. 13: Porovnání vlivů teploty termické modifikace Duncanovým testem na změnách vlnitosti (Autor, 2019)	59

Seznam použitých zkratk

ANOVA – Analysis of variance (analýza rozptylu)

apod. – a podobně

atd. – a tak dále

BK – buk

č. – číslo

DB – dub

et al. – Et alii (kolektiv)

např. – například

Pozn. – poznámka

rad. – radiálního

SM – smrk

st. – století

Tab. – tabulka

tzv. – tak zvaně

tang. – tangenciálního

tj. – to je

1 Úvod

Dřevo provází člověka po celé generace a tisíciletí. Je nejstarším materiálem, bez kterého by se lidská společnost nemohla dostatečně vyvíjet. V nejstarším období lidských dějin, tj. v pravěku, se využívalo převážně k výrobě jednoduchých nástrojů a jako zdroj tepla a světla. Člověk se usazoval tam, kde nalézal nejen dostatek potravy, ale i dostatek dřeva. S vývojem lidské společnosti se dřevo využívalo při budování obydlí, která byla v minulosti převážně dřevěná, ale také pro výrobu nástrojů, které ulehčovaly člověku život, např. tkalcovského stavu, člunu, trakaře či vozu. Postupem času a s příchodem nových (moderních) technologií našlo dřevo uplatnění v mnoha odvětvích a je dodnes v podstatě nenahraditelné, nejen díky svým vlastnostem, ale také proto, že se jedná o obnovitelný přírodní zdroj. Dnes je stále hojně využíváno jako stavební materiál, palivo, materiál na výrobu nábytku a dekorací, hraček, sportovních potřeb atd. Dřevo latinsky Lignum, je hmota, kterou nám poskytují nejen tuzemské, ale i tropické stromy a keře. Samozřejmě, jako každý jiný materiál má i dřevo své lepší i horší vlastnosti. Mezi nejlepší vlastnosti můžeme zařadit pevnost, pružnost, dobré tepelně izolační vlastnosti, snadnou opracovatelnost a vysokou tvrdost. Naopak mezi horší vlastnosti řadíme vady dřeva, nestejnou strukturu, sesychání, bobtnání, hnilobu a náchylnost k napadení škůdci. Některé ze zmíněných negativních vlastností dřeva lze díky správné úpravě a ochraně omezit nebo zcela odstranit. I proto se za tímto účelem pokoušíme dřevo chránit např. nejrůznějšími nátěrovými hmotami proti biotickým a abiotickým činitelům, nebo termickou modifikací. Předtím, než jsme měli k dispozici tyto prostředky ochrany, tak se prováděla ochrana dřeva zuhelnatěním (Kvietková, 2015; Gandelová, Šlezingerová, 2014; Jirout, 1928).

2 Cíl práce

Termická modifikace je progresivní úprava dřeva, jejíž cílem je zachování či zlepšení dosavadních vlastností materiálu. Jednou z částí této práce je sumarizovat již známé poznatky a naučit se pracovat s odborným textem.

Hlavním cílem této práce je zejména experimentálním způsobem zhodnotit vliv termické modifikace na kvalitu obráběného povrchu tropické dřeviny Iroko (*Milicia excelsa*). Kvalita povrchu může být ovlivněna jednak zvolenou – zkoumanou dřevinou (materiálem), dále pak uplatňovaným typem obrábění, jeho parametry a jinými faktory (vibrace stroje). Pro stanovení průměrných aritmetických úchylek povrchu drsnosti (R_a) a vlnitosti (W_a) obrobeného povrchu byla zvolena kontaktní metoda (profilometr FORM TALYSURF 50 Intra).

Na základě výsledků statisticky analyzovat závislosti mezi proměnnými faktory:

- 1) Obráběný materiál Iroko (*Milicia excelsa*)
- 2) Termická modifikace: 160°, 180°, 210°

na sledované charakteristiky, kterými jsou:

- 1) Kvalita povrchu (zjišťovaná kontaktní metodou) hodnocenou pomocí:
 - R_a – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu drsnosti,
 - W_a – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu vlnitosti.

3 Rozbor problematiky

3.1 Dřevní surovina

Dřevo je přírodní hmota rostlinného původu, kterou produkují polokeře, keře a stromy. Dřevo, které je určeno k dalšímu zpracování se získává z kořenů, kmenů a části větví různých dřevin (Jirout, 1928). V dřezpracujícím průmyslu má dřevo velmi široké spektrum využití v jakékoli podobě: výrobky z kulatého dřeva (tyče, pilíře), řezané dřevo (řeziva), dýhy, překližky, laminované desky, dřevotřískové a dřevovláknité desky, celulózy a papír (Tsoumis, 1991).

3.2 Rozdělení dřevin

Dřeviny rozlišujeme dvěma způsoby. První z nich rozděluje dřeviny podle toho, jestli vytváří či nevytváří květy a plody. Ty dřeviny, které květy ani plody nevytváří se nazývají nahosemenné rostliny neboli pro nás jehličnaté stromy. Naopak ty, které je vytváří jsou listnaté stromy – krytosemenné rostliny, ty se dále dělí na jednoděložné (palmy) a dvouděložné (jabloň, hrušeň) (Gandelová, Šlezingerová, 2014). Kromě stromů mírného pásma, mezi které řadíme i domácí druhy, patří i stromy exotické, rostoucí v Africe, Americe, Asii a Austrálii. Díky střídavému období sucha a tropických dešťů dorůstají do obrovských rozměrů výšky i tloušťky (Jirout, 1928).

Tab. 1: Základní rozdělení dřevin s některými zástupci (Gandelová, Šlezingerová, 2014)

Základní rozdělení dřevin a jejich zástupci		
tuzemské		exotické
jehličnaté	listnaté	cedr
SM	DB	korkovník amurský
jedle bělokorá	jasan	mahagon
borovice lesní	BK	Iroko (<i>Milicia excelsa</i>), apod...
modřín, apod...	Olše, apod...	

3.2.1 Tropické dřeviny

V tropech je mnohonásobně vyšší počet druhů stromů než v mírných šířkách. Díky nepřítomnosti zimy a růstu v neustále horkém subtropickém či tropickém klimatu mají tropické stromy odlišné vlastnosti než ty tuzemské. U našich dřevin pozorujeme v době zimy tzv. klidovou přestávku, doprovázenou opadáváním listů, kdežto u těch tropických může být fáze klidu vyvolána pouze suchem, neboť zima se vyskytuje pouze v horských oblastech. Pravidelný růst se buď řídí podle srážek, nebo ve stále vlhkých oblastech je řízen samotnou rostlinou. Kontinuální neboli nepřetržité přirůstání dřeva je ojedinělé. Takový strom by měl neustále mladé listy, a jevil se jako spolehlivý zdroj výživy a byl by tak ohrožen napadením, tedy pokud by nebyl jedovatý (Rohwer, 2002). Dřevo je tak velmi husté, odolné vůči vlhkosti, teplotním změnám, hnilobě nebo jiným napadením parazitního rázu. Zmíněná hustota je velmi vysoká, dosahující až 1000 kg/m³. S ohledem na tyto vlastnosti, tak tropické dřevo nevyžaduje žádnou speciální ochrannou impregnaci (Josten, 2010). Dřevo většiny tropických stromů má antibakteriální vlastnost díky přirozenému obsahu přírodní látky zvané phytoncides a vyznačuje se nejen svojí krásou, ale také ojedinělým zabarvením nejen dřeva (od červené, žluto-zlatavé, až po šedé) a listů (Ulrich, 2008). Vhodnost použití jednotlivých druhů tropického dřeva závisí na znalostech vlastností a chování v konkrétních podmínkách (Vigué, 2009).

3.2.2 Iroko (*Milicia excelsa*)

3.2.2.1 Země původu

Dřevo Iroko (*Milicia excelsa*) je svým vzhledem dosti podobné dřevu teak, avšak si příbuzní vůbec nejsou. Z tohoto důvodu je také přezdíváno jako africký teak. V dalších státech či částech Afriky je znám pod obchodními názvy oum (Ghana, Pobřeží slonoviny), mvule (východní Afrika), kambala (Zair), bang (Kamerun), moreira (Angola), tule, intule (Mosambik) (www.timbersource.co.uk). Iroko najdeme v zastoupení dvou druhů, a to *Milicia excelsa* a *Millicia regia*. První zmiňovaný druh roste přes celou šířku tropické Afriky z Pobřeží slonoviny na jih do Angoly a východně do východní Afriky. *Millicia regia* je oproti *M. excelsa* méně odolný vůči suchu, a převážně tedy roste na území západní Afriky z Gambie do Ghany, což nám ukazuje následující obrázek (č. 1) (www.woodworkdetails.com).



Obrázek 1: Mapa výskytu dřeva iroko (www.woodworkerssource.com)

3.2.2.2 Makroskopická stavba dřeva

V dospělosti Iroko (*Milicia excelsa*) dorůstá do výšky 45 m a více, kmen je obvykle válcovitého tvaru a má v průměru až 2,7 m (viz obrázek č. 2) (www.timbersource.co.uk). Iroko (*Milicia excelsa*) se řadí mezi jádrová dřeva. Běl je zhruba 5–10 cm široká, zbarvená do běložluté barvy, od jádrového dřeva snadno odlišitelná. Pro další zpracování je však nepoužitelná. Jádro má v době čerstvého řezu okrově žlutou barvu, která však na vzduchu se rychle mění přes hnědou, tabákově hnědou až po olivově hnědou barvu (www.arakolin.cz).

Iroko (*Milicia excelsa*) je střední až hrubé struktury, mírně lesklé, bez zápachu, cévy jsou široké a dobře viditelné (www.exoticke-drevo.com). Dřeňové paprsky se na radiálním řezu objevují ve formě zrcátek, které jsou velmi jemná a pouhým okem sotva viditelná. Na radiálním řezu dále můžeme pozorovat pruhovanou kresbu způsobenou výraznou střídavou točivostí vláken (www.arakolin.cz).



Obrázek 2: Milicia Excelsa (*Chlorophora excelsa*) (www.theseedybusiness.com)



Obrázek 3: Detail dřeva iroko (www.wood-database.com)

3.2.2.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti

Hustota dřeva se při 12 % vlhkosti pohybuje v rozmezí od 550 do 750 kg/m³ a v čerstvém stavu dosahuje hodnot 1000-1150 kg/m³. Hodnoty sesychání dosahují v tangenciálním směru 5,5 %, v radiálním směru 3,5 %, další vlastnosti i hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce (č. 2) (Roček, 2005).

Tab. 2: Mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva iroko (Roček, 2005)

Vlastnost dřeva	Hodnota
Modul pružnosti v ohybu	9900 MPa
Pevnost v tlaku	57 MPa
Pevnost ve statickém ohybu	118 MPa
Koeficient sesychavosti	0,44

Dřevo Iroko (*Milicia excelsa*) je velmi těžké, středně tvrdé, pevné a s dobrou rozměrovou stálostí (Josten, 2010). Předností jádrového dřeva je velká trvanlivost, a to díky obsahu tzv. olejnatých pryskyřic. Proto je tak hodně odolné proti dřevokazným houbám, vodě, hnilobě, plísním, hmyzu, ale i termitům. Ani při samostatném uložení na zemi se nekazí (www.arakolin.cz).

3.2.2.4 Zpracování a použití dřeva

Iroko je středně sesychavá dřevina, která se poměrně dobře opracovává. Dřevo ze starších stromů iroko obsahuje blízko dřeneš tzv. „irokokameny“, což jsou velmi tvrdé, nažloutlé, kamenité usazeniny, které ničí nástroje při jeho opracování. Mohou dosahovat různých rozměrů a tvarů a mohou dosáhnout váhy až 3 kg. Takovéto usazeniny pak mohou zlomit během řezání i pilový list. Jinak lze iroko dobře řezat, poměrně lehce přibíjet, vrtat, snadno lepit či jinak upravovat (www.arakolin.cz). Při jeho řezání dochází k otupování nástrojů, naopak při sušení je riziko vzniku trhlin a deformací téměř minimální (Roček, 2005). Svými vlastnostmi může sloužit jako náhrada za teak a stejně tak dub, jelikož je podstatně levnější. Díky těmto vlastnostem je iroko vhodné nejen k vnitřnímu použití, ale zejména k venkovnímu, kde jsou kladeny na dřevo vysoké nároky zejména na pevnost např. jako stavební dřevo. Používá se na výrobu vchodových i vnitřních dveří, vrat, oken a také dřevěného fasádního obklad. Výborně se hodí na stavbu konstrukce pro terasy, schodiště, v interiéru pak na podlahy, parkety či pracovní desky. Své uplatnění nachází v mnoha průmyslových odvětvích například v lodním stavitelství, automobilovém průmyslu na výrobu karoserií vozů, dále pak na telegrafní sloupy, kostelní lavice, sudy nebo železniční pražce (www.hardwoodweb.com).

3.3 Ochrana a úprava dřeva

Cílem ochrany dřeva je primárně prodloužení životnosti, trvanlivosti dřeva nebo jeho výrobků a omezit působení okolního prostředí. Životnost dřeva je sama o sobě vysoká a téměř srovnatelná s jinými stavebními materiály, tedy pokud se dřevo nachází v příznivých podmínkách. Z hlediska ekonomického se provádí ochrana preventivní, neboť dodatečná ochrana či úprava dřeva by byla příliš nákladná a složitá. Během této ochrany dochází k potlačování procesů, které působí negativně na dřevo a způsobují jeho degradaci. Činitelé, jenž tyto degradace způsobují dělíme na biotické a abiotické. Z řad biotických činitelů jsou těmi nejvýznamnějšími dřevokazné houby a hmyz, které dokáží dřevo v relativně krátké době zcela znehodnotit a rozložit. Dalšími činiteli jsou pak plísně, bakterie a dřevozbarvující houby. Mezi abiotické činitele řadíme vlivy atmosférické (voda, sluneční záření, proudění vzduchu), chemické a termické. Všechny biotické a abiotické vlivy mají za následek zhoršení nejen mechanických vlastností dřeva, dále pak narušení jejich estetického vzhledu, a v určitých případech, například vlivem poškození plísněmi vyvolávají riziko zdravotní v podobě alergických reakcí nebo vzniku vážnějších nemocí (Reinprecht, Vidholdová, 2008)

K prodloužení životnosti dřeva a jeho výrobků je potřeba použít správnou ochranu či úpravu. Trvanlivost lze zvýšit několika druhy:

- **Konstrukční (stavebně-fyzikální) ochrana dřeva** – jedná se o soubor opatření, jejichž podstatou je zamezení styku a působení dlouhodobé vysoké vlhkosti na dřevo a dřevěné konstrukce. To znamená, vytvořit v okolí dřeva a pro dřevo takové podmínky, aby bylo uloženo v potřebné expozici, která by neumožňovala vznik napadení biotickými a abiotickými škůdci a jejich rozvoji.
- **Chemická ochrana dřeva** – je jedna z preventivních ochran např. proti povětrnostním vlivům, ohni nebo biotickým činitelům. Chemická ochrana se aplikuje chemickými prostředky. Impregnace těmito prostředky se provádí (podle hloubkové úpravy dřeva) nátěrem, máčením, postříkem nebo jinými technologiemi (Josten, 2010).

- **Modifikační ochrana dřeva** – cílem modifikačních metod je zachovat nebo případně zlepšit dosavadní kladné vlastnosti jako pružnost, pevnost, atd... a současně se pokusit eliminovat ty negativní. Mezi které se řadí např. rozměrová stabilita nebo opotřebitelnost. (www.n-i-s.cz). Modifikace dřeva se uskutečňuje metodami mechanickými, chemickými, biologickými a termickými (Reinprecht, 2008). Modifikované dřevo se vyznačuje svojí úmyslně změněnou strukturou se záměrem vylepšení některých jeho vlastností jako např. odolnosti – termické, biologické nebo vůči agresivním chemikáliím, dále pak pevnosti, tvrdosti, barevné stálosti, odpudivosti vůči vodě a v neposlední řadě rozměrové stabilitě apod. (Reinprecht, 2008). I když je technologicko-výrobní proces komplikovaný doprovází ho i poměrně vyšší náklady našlo své uplatnění na trhu. Modifikované dřevo dosahuje stejných, někdy i lepších vlastností než tropické dřeviny (Hill, 2006).

Tab. 3: Základní způsoby modifikace rostlého dřeva (Reinprecht, 2008)

MODIFIKAČNÍ METODA	ZMĚNA STRUKTURY DŘEVA		
	Geometrická a morfologická	Anatomická	Molekulární
Mechanická	+	+	-
Chemická			
- vyplnění lumenů	-	+	-
- blokace OH skupin	-	(+)	+
Termická	-	(+)	+
Biologická	-	-	+

Pozn.: (+) → nevýrazná změna, + → výrazná změna, - → beze změny

3.4 Termická modifikace dřeva

Termická modifikace je tedy metodou tepelného zpracování dřeva, při níž je dřevo vystaveno teplotě, páře a podtlaku. V podstatě jde o proces zcela šetrný k životnímu prostředí, protože nedochází k použití chemických látek nebo impregnací (Yasuda, Minato, 1994).

Jedná se o technologický proces, který za přítomnosti působení vyšších teplot způsobuje úmyslnou úpravou struktury dřeva. Během samotného procesu tepelné úpravy

dřeva nastává částečné odbourávání a rozklad těch složek dřeva, jež jsou termicky odolné. Za působení teplot nad 150-170 °C dochází v chemické struktuře dřeva k výraznějším změnám, a to za běžných podmínek časových, tlakových či expozičních. Při teplotách v rozmezí od 180 do 280 °C nastávají mnohem výraznější a významnější změny ve struktuře. Vlivem tepelného namáhání dřevo tmavne, ztrácí na své původní pevnosti, naopak se stává odolnější vůči škůdcům (biologickým) a je hydrofobnější. U teplot přesahujících hodnotu 300 °C nastává degradace materiálu. Dochází k uvolňování hořlavých plynů a poté k požáru, jehož výsledkem je pak zuhelnatělé dřevo. Většina změn, která vlivem termické úpravy dřeva vznikla se týkají jeho chemické struktury (Reinprecht, 2008; Reinprecht, Vidholdová, 2008).

Cílem termické modifikace dřeva je vytvoření materiálu s následujícími vlastnostmi:

- vyšší rozměrová stabilita,
- vyšší odolnost (vůči biotickým škůdcům),
- nižší hygroskopicitu,
- zachování – zlepšení mechanických vlastností (pevnost, tvrdost, tuhost) a estetického vzhledu (barva, lesk, textura, minimum trhlin),
- použitelnost do náročných interiérových a exteriérových expozic,
- náhrada za některé tropické druhy dřeva s vysokou trvanlivostí a rozměrovou stabilitou (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

3.4.1 Historie a vývoj

Kdysi dávno naši předkové používali různé metody na úpravu dřeva. Jedna z metod dosud známá bylo opalování povrchu dřeva na otevřeném ohni, která umožňovala prodloužení životnosti a odolnosti dřeva až o trojnásobek. Samotní Vikingové používali tuto metodu na zvýšení životnosti například u svých staveb – oplocení. Dalšími, kteří tuto metodu praktikovali byli Indiáni, kteří pomocí ní zpevňovali konce kopí (Charles, Frihart, 2005).

Z pohledu vědeckého se někdy v průběhu 30. let 20. století začalo zkoumat tepelné zpracování dřeva vědci Stammem a Hansenem v Německu. Později ve 40. letech došlo k přesunu této studie do USA a poté zas zpět do Německa, kde průzkum pokračoval. První, kdo publikovali své poznatky zkoumání byli Kollman a Schneider v 60. letech. Ke konci 20. st. byly výzkumy prováděny v Holandsku a Francii, ale většina výzkumných prací hlubšího rázu probíhala ve Finském výzkumném centru VTT (Mayes, Oksanen, 2003).

Termicky modifikované dřevo jinak známé jako „termodřevo“ či „ThermoWood“ je defacto nový typ materiálu. Již více než 15 let se vyrábí ve Finsku, Francii, Holandsku, Německu a v dalších státech EU a světa. Podle statistiky vedené International ThermoWood Association vzrostla celosvětová produkce ThermoWoodu od roku 2003 až do roku 2016 téměř sedmkrát. V roce 2003 činila produkce 25 797 m³ oproti tomu v roce 2017 179 507 m³. (www.thermowood.fi; <https://iforest.sisef.org/>).

3.4.2 Technologie výroby

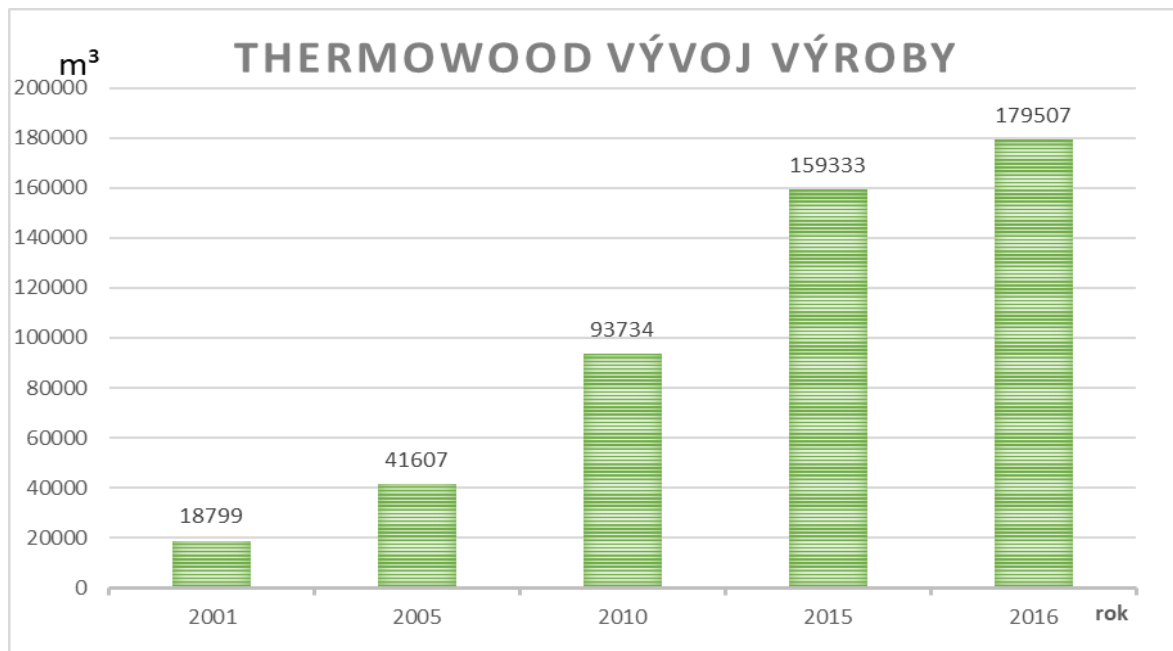
Během výroby „termodřevo“ u většiny technologických postupů dochází ke zbarvení dřeva do různých odstínů od žluté až po tmavohnědou. Dále pak jejich vlivem dochází ke snížení rázové houževnatosti dřeva, pevnosti v tahu a ohybu. Kdežto modul pružnosti se naopak mění jen minimálně a může narůstat až do vyšších hodnot. Změna vlastností termicky modifikovaného dřeva a míra jejich změny záleží na podmínkách úpravy (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

V dnešní době existuje velké množství nejrůznějších technologií termické úpravy dřeva, k těm nejrozšířenějším patří technologie: finská, dánská, holandská, francouzská, německá a americká (Bondar, 2015).

➤ **ThermoWood®**

Jedná se o termickou modifikaci dřeva prováděnou v atmosféře vzduchu. Výroba thermowoodu započala na sklonku 90. let 20. století. Tato technologie byla vyvinuta výzkumem prováděným ve výzkumném centru VTT ve Finsku a dostalo název „ThermoWood®“. Tento název mohou používat pouze členové Finnish ThermoWood Association, neboť se jedná o registrovanou ochrannou známku. Hlavním úkolem této organizace je provádět dohled nad kontrolou kvality materiálů ThermoWood, který se

vyrábí nejen ve Finsku, ale i dalších částech světa. Zájem o termicky modifikované dřevo od roku 2001 rapidně stoupá, což dokazuje i následující obrázek (č. 4) (Hill, 2006; www.thermowood.fi; <https://iforest.sisef.org/>).



Obrázek 4: Vývoj produkce ThermoWood (www.thermowood.fi)

➤ **RetificatWood**

Je francouzský proces výroby, který se provádí podle licenčního retifikačního procesu. Jeho výroba spočívá v zahřívání dřeva atmosférou dusíku, a to při teplotách okolo 180-260 °C. Původní pevnost je zachována díky méně probíhající termooxidační reakci ve dřevě. Před procesem Retifikace je žádoucí dřevo předsušit na vlhkost 12 %. V roce 1995 se jeho průmyslovým zpracováním začala zabývat společnost NOW neboli New Option Wood (Reinprecht, Vidholdová, 2008; Hill, 2006; Vernois, 2001).

➤ **Le Bois Perdure**

Při této technologii se dřevo zpracovává při vysokých teplotách, za přítomnosti vodní páry a bez použití chemikálií. Proces je nejprve zahájen samotným sušením materiálu, dřeva a pak jeho následným ohřátím v prostředí páry při teplotách v rozsahu 200-230 °C. Tato metoda má vliv na zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností, což je způsobeno vlivem vzestupu molekulárních vazeb ve dřevě. Samotný proces rozdělujeme do 3 výrobních fází:

1. Odstranění volné vody ze dřeva

2. Odstranění vody vázané (složitější)
3. Makromolekulární modifikace (změna) dřeva způsobená vlivem působení teploty na povrch

Dřevo zpracované touto metodou vykazuje stejné vlastnosti jako dřevo zpracované technologií Retifikace (Navi, Sandberg, 2012; Hill, 2006).

➤ **Plato®Wood**

V 80. letech společnost Shell vyvinula technologický proces Plato, jehož označení vychází z anglického názvu Providing Lasting Advanced Timber Option. Později roku 2000 ve městě Arnhem ležícím v Holandsku byl postaven první výrobní závod, kde téhož roku započala výroba PlatoWood. Plato technologie se používá na zpracování měkkých dřevin prostřednictvím páry při teplotách 170-210 °C za zvýšeného i normálního tlaku. Celý tento proces výroby trvá zhruba 5-8 dní a jeho délka je závislá na druhu zpracovávané dřeviny, tloušťce a rozměrech materiálu. PlatoWood je tvořen dvěma divizemi. První z nich je Plato International Technology, která má za úkol vývoj, výzkum technologie a její licencování. Druhá divize odpovídá za výrobu produktů PlatoWood a nazývá se Plato Wood Products. Svoje využití nachází při výrobě zahradního nábytku, oplocení, obložení apod. (Reinprecht, 2008; Hill, 2006; Chanrion *et. al.*, 2003; Rapp, Sailer, 2001; Militz, Tjeerdsma, 2001).

➤ **OHT-Wood**

V současnosti existuje jeden výrobní závod, jehož vlastníkem je německá firma Menz Holz, která jeho výrobu podle licenčního procesu provozuje od roku 2000. OHT-Wood neboli Oil Heat Treatment Wood je proces prováděn v prostředí horkých rostlinných olejů (lněných, slunečnicových a řepkových), při teplotách v rozmezí 200-220 °C. V procesu použité oleje zabraňují vstupu kyslíku do materiálu, čímž dochází ke kvalitnímu ohřevu. Naopak jejich použití má za následek zvýšení hmotnosti dřeva, a to v některých případech až o 50-70 %. Další výhodou použití olejů je jejich šetrnost k životnímu prostředí a zlepšení vlastností (fyzikálních a mechanických). Ošetřené dřevo získává v závislosti na teplotách zbarvení od světle hnědé až po tmavě hnědou (Kačíková, Kačík, 2011; Reinprecht, Vidholdová, 2008; Hill, 2006; Gsöls *et. al.*, 2003; Rapp, Sailer, 2001).

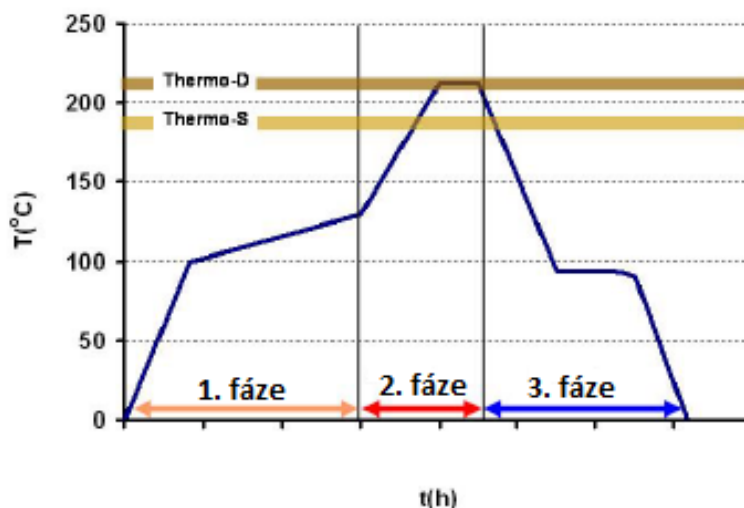
➤ **Royal Process**

V dnešní době se tento proces využívá jen zřídka, neboť existují modernější a dokonalejší technologie výroby termické modifikace dřev. Jinak se jedná o metodu sušení dřeva, které je za sníženého tlaku zahříváno v prostředí olejů. Teploty v procesu působící jsou nízké okolo 60-90 °C. Úpravou použitý olej neproniká skrz buněčnou stěnu dřeva, ale je po ukončení procesu odsáván z impregnačního kotle pomocí vakuua (Reinprecht, Vidholdová, 2008; Hill, 2006).

3.4.3 Fáze termické modifikace – ThermoWood

Proces tepelné úpravy doprovázejí fáze, které na sebe chronologicky navazují. Mezi tři hlavní etapy termické modifikace řadíme:

- 1) Sušení – což je nejdelší proces celé výroby a je závislý na mnoha faktorech. A to nejen na druhu stromu a jeho tloušťce, ale také na obsahu vlhkosti ve dřevě. Sušení probíhá v komoře za přítomnosti páry a tepla, kde se teplota zvyšuje ze 100° na 130 °C. Výsledkem toho je snížení vlhkosti ve dřevě téměř na nulovou hodnotu.
- 2) Druhá fáze je pak tvořena samotnou termickou modifikací. V této fázi neboli etapě dochází k vzrůstu teploty v komoře ze 180 na 240 stupňů v závislosti na požadavcích na klasifikační třídu. U materiálu ThermoWood se stupeň úpravy dělí do dvou tříd na Thermo-S a Thermo-D. V tomto případě zde hraje pára významnou roli stejně tak jako při procesu sušení, neboť zabraňuje spálení dřeva. Její přítomnost, funkce v komoře je ochranná. Tato etapa trvá zhruba 2-3 hodiny.
- 3) Poslední etapou je pak proces chlazení. Při němž dochází k postupnému zavlažování dřeva, a tudíž k poklesu teploty na nějakých 80-90 stupňů. V důsledku toho finální vlhkost dřeva mírně stoupne z nuly až na 4-8 %. Tento vlhkostní nárůst je nezbytný z hlediska jeho zpracování, protože úplně suché dřevo se obtížně obrábí. Tento proces trvá v rozmezí 5-15 hodin (Pétrissans *et. al.*, 2005; Mayes, Oksanen, 2003).



Obrázek 5: Fáze výroby Thermo-D a Thermo-S (Mayes, Oksanen, 2003)

3.4.4 Klasifikace tepelných úprav ThermoWood

Členské firmy, které jsou součástí asociace Finnish ThermoWood Association vyrábějí ThermoWood podle sdružené klasifikace. Originální ThermoWood má dvě standardní třídy zpracování Thermo-S a Thermo-D. Tyto se od sebe navzájem odlišují v technologických parametrech výroby, kde hrají roli podmínky časové, tepelné či jiné. Ve standardní třídě jsou jako klíčové vlastnosti zdůrazňovány bobtnání a smršťování dřeva vlivem vlhkosti, dále změny barev a biologické odolnosti. Druh třídy také určuje, k jakému významu lze použít termicky upravené dřevo (www.thermowood.fi); Mayes, Oksanen, 2003).

➤ Thermo-D

Písmeno D v tomto názvu znamená trvanlivost v překladu z anglického slova „durability“. Thermo-D se používá v expozičních podmínkách, kde je žádaná vysoká stabilita a odolnost materiálu. Vzhledem k těmto vlastnostem se Thermo-D využívá pro aplikaci v exteriéru, a to jako zahradní nábytek, obklady fasád, terasy atd. Průměrné tangenciální bobtnání a smršťování činí 5-6 %, způsobené vlivem vlhkosti. Třída Thermo-D je klasifikována jako trvanlivá podle normy EN 113 a jeho přirozená odolnost vůči rozkladu splňuje požadavky třídy 2 (www.thermowood.fi; Mayes, Oksanen, 2003).

➤ **Thermo-S**

Písmeno S značí stabilitu. Průměrné tangenciální bobtnání a smršťování činí 6-8 %, způsobené vlivem vlhkosti. Třída Thermo-S je klasifikována jako relativně trvanlivá podle normy EN 113 a jeho přirozená odolnost vůči rozkladu splňuje požadavky třídy 3. Využití nachází díky stabilitě a vzhledu v interiéru jako jeho konstrukční prvky, nábytek, okna, podlahy apod. (www.thermowood.fi; Mayes, Oksanen, 2003).

3.4.5 Změny v chemické struktuře

Při termické modifikaci nastávají změny nejen chemické, ale i je doprovázející změny vlastností (fyzikální a mechanické). Při minimálních ekonomických nákladech je proces uskutečňován tak, aby byly nežádoucí efekty ohřevu dřeva téměř nulové, ale zároveň bylo dosaženo viditelných změn (Kačíková, Kačík, 2011). Při teplotě okolo 100 °C nastávají ve dřevě méně významné změny v chemické struktuře a jsou doprovázeny dehydratačními procesy malého charakteru. Ke vzniku významnějších reakcí termolytických a termooxidačních dochází při teplotách v rozmezí 150-170 °C. Vlivem těchto teplot dochází k většímu zásahu do polymerové struktury složek dřeva. Vyšší teploty v rozsahu od 150 do 260 °C způsobují částečné odbourávání ligninu a hemicelulózy. Jejich odbourávání je doprovázeno vznikem vody, kyselin (octové a mravenčí), CO₂ (oxid uhličitý), 2-furaldehydu a jiných látek, které se do následných kondenzačních reakcí mohou také zapojit (Chow, Mukai, 1972). V podstatě jsou termické reakce založené na změně elektronů ve vazbách kovalentních, dále na převodu ligninu a polysacharidů ze základního stavu do stavu excitovaného, tedy k převodu na vyšší energetickou hladinu. Při teplotách nad 200 °C dochází k reakci homolytické (Reinprecht, Vidholdová, 2008). Dřevo je tvořeno souborem látek, který tvoří tři hlavní složky lignin, celulóza a hemicelulóza. Podíl těchto látek v suchém dřevu představuje 90-97 %, z toho celulózy 35-55 %, hemicelulózy 20-35 %, ligninu 15-36 %, doprovodné (organické, anorganické) látky 3-10 % (Gandelová, Šlezingerová, 2014).

3.4.5.1 Změny v ligninu

Lignin je jednou z nejstabilnějších složek dřeva a zároveň složkou nejodolnější proti tepelnému působení z hlediska chemického. Ve dřevě je umístěn z velké části ve

střední lamely a jeho funkcí je zdřevnatění buněčných stěn (Blažej *et al.*, 1975). Skládá se z uhlíku, vodíku a kyslíku a je to fenologická sloučenina, která teplem měkne a díky tomu se dřevo lépe loupe. Lignin listnatého a jehličnatého dřeva se liší, ale jeho větší zastoupení je u jehličnanů. Může se stát, že dřevo stejného druhu stromu má vyšší podíl ligninu, což je způsobeno rozdílným vlivem tepla a světla (Gandelová, Šlezingerová, 2014). Lignin zvyšuje u dřeva mechanickou pevnost, tuhost, zároveň je termoplastický a amorfní, dále zajišťuje ochrannou funkci rostlinných pletiv, a naopak snižuje propustnost (Blažej *et al.*, 1975). První chemické reakce v molekulách ligninu nastávají při teplotách v rozmezí 180-260 °C (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

3.4.5.2 Změny v hemicelulóze

Základním cukrem, který vniká během fotosyntézy, je celulóza. Kromě celulózy vznikají při tomto procesu další cukry: galaktóza, manóza, xylóza a arabinóza. Tyto cukry a sacharidické deriváty jsou glukózou syntetizovány do makromolekul hemicelulóz, jež dělíme podle hlavních stavebních jednotek na xylány, manány, galaktány, přičemž hlavní stavební látkou je anhydrid daného sacharidu. V listnatých stromech jsou xylány zastoupeny v hemicelulóze více, u jehličnatých stromů je v hemicelulóze větší zastoupení sacharidů (manóza, galaktóza) (Čunderlík, 2009). Působením termické modifikace i při nízkých teplotách podléhá hemicelulóza změnám jako první. Její rozklad je intenzivnější při teplotách 170-280 °C, zpočátku degradace začíná deacetylací, během které vzniká kyselina octová, která urychluje rozklad polysacharidů. Monomery, vzniklé vlivem deacetylačních reakcí, vstupují současně za vzniku hydrofobnějších substancí a přítomnosti vysokých teplot do kondenzačních reakcí. Účelem toho dochází ke zlepšení rozměrové stability a zvětšení hydrofobnosti dřeva. Úbytek hmotnosti termicky modifikovaného dřeva je podněcován, zvyšován vlivem částečného odbourávání hemicelulózy, případně vlivem jiných strukturálních změn, dále pak zvyšováním teploty či vystavení delší době ohřevu (Kačíková, Kačík, 2011; Reinprecht, Vidholdová, 2008).

3.4.5.3 Změny v celulóze

Celulóza je organická sloučenina, která se nachází v jakékoli rostlinné hmotě. Celulóza poskytuje pevnost a strukturu buněčným stěnám (www.pulp-paperworld.com).

Vzniká z protoplazmy a tvoří stěny mladého dřeva. Čistá celulóza se v přírodě vyskytuje pouze v bavlně. Celulóza jako chemická látka je velmi stabilní polymer vůči kyselinám, zásadám a vůči běžným organickým rozpouštědlům (Čunderlík, 2009). Celulóza představuje téměř 50 % dřevní hmoty a je odpovědná za vysokou tuhost dřeva (<http://drevo.celyden.cz/>). Celulóza je oproti hemicelulóze odolnější proti termickému působení, a to díky její krystalické struktuře. Úmyslná termická úprava celulózy se provádí za teplot v rozsahu 170 +/- 60 °C. Tato degradace celulózy se váže s depolymerizační a dehydratační reakcí. Působením depolymerizačních reakcí dochází k úbytku pevnosti dřeva v ohybu a tahu a taktéž ke snížení i jiných mechanických vlastností. Tato reakce probíhá v lineárních řetězcích amorfni celulózy a je třeba ji při výrobě „termodřeva“ potlačit. Ohřev dřeva vznikající během termické úpravy má vliv na změnu vzájemného podílu celulózy amorfni a krystalické. Průzkumy došlo ke zjištění, že k nárůstu krystalického podílu dochází vlivem ohřívání dřeva při teplotách okolo 120-160 °C a taktéž bylo zjištěno, že při delším působením ohřevu a vyšších teplot dochází ke snížení krystalického podílu. Na nárůst krystalického podílu byla měla dopad i přítomnost vody. Určitým technologickým způsobem výroby se lze zvyšovat modul pružnosti, který je ovlivněn změnami v krystalickém podílu (Kačíková, Kačík, 2011; Reinprecht, Vidholdová, 2008).

3.4.5.4 Změny extraktivních látek

Extraktivní látky vlivem působením vyšších teplot, jsou vystaveny různým fyzikálně-chemickým změnám. Většina těchto látek (tukových, voskových a pryskyřičných) se při ohřevu stává kapalnými nebo plynnými a směřují směrem k vnějšímu povrchu. Některé extraktivní látky se během expozice vysokých teplot mění na prchavé a ze dřeva se vypaří. V termicky modifikovaném dřevě najdeme méně prchavých látek ale naopak více kyseliny octové (Reinprecht, Vidholdová, 2008).

3.4.6 Trvanlivost termicky modifikovaného dřeva

V souvislosti se dřevem termín trvanlivost v podstatě znamená odolnost proti biotickým a abiotickým činitelům jako jsou povětrností podmínky, plísně, dřevokazné houby a hmyz atd., ale i odolnost vůči požáru nebo jinému mechanickému poškození,

opotřebení. Největší výhodou tepelně upraveného dřeva je dlouhá životnost. Úprava dřeva je trvalá a v celém jeho objemu (Reinprecht, 2008; Mayes, Oksanen, 2003).

3.4.7 Výhody a použití

„ThermoWood“ je ekologický materiál, který se díky svým zlepšeným vlastnostem pyšní prodlouženou životností, která bez jakéhokoliv jeho následného chemického ošetření činí nejméně 30 let. Vlastnosti dřeva ThermoWood zlepšené díky tepelné úpravě jsou po celou dobu jeho životnosti neměnné. Materiál ThermoWood obsahuje široké spektrum výhod:

- Vylepšené tepelně-izolační vlastnosti
- Vylepšená rozměrová a tvarová stabilita
- Snížená tepelná vodivost o 20-25 %
- Nízká rovnovážná vlhkost 5-7 %
- Snížená absorpce vlhkosti o 30-50 %
- Snížení tang. a rad. bobtnání
- Snížený průhyb až o 90 %

Dalšími výhodami dřeva ThermoWood je např. odstranění pryskyřice (u jehličnanů), díky tomu se pak na dřevo snadněji aplikuje povrchová úprava. Dále dřevo neobsahuje výživné látky a živiny pro houby, plísně, tím pádem je také odolné proti dřevokazným škůdcům a vykazuje značně zvýšenou odolnost vůči hnilobě. Pro někoho může být jeho tmavé zbarvení do hněda považováno za negativní vlastnost. Jinak zbarvení můžeme taktéž považovat za jednu z výhod, neboť se nejedná jen o povrchové zbarvení, ale o zbarvení v celém objemu (www.prokom.cz) (Yildiz *et al.*, 2006).

Tepelně zpracované dřevo je ekologickou alternativou k impregnovaným dřevěným materiálům a tepelně zpracované dřevo lze použít pro zahradní, kuchyňský a saunový nábytek, obklady interiéru a exteriéru, koupelnové skříně, podlahové materiály, terasy, dětská hřiště, hudební nástroje, stropy, dveře a okenní truhlářství, a různé další venkovní a vnitřní dřevěné výrobky (Syrjänen, Oy, 2001).

3.5 Obrábění

Obrábění dřeva je výrobní proces přeměny polotovaru na hotový výrobek za použití různých technologií, při kterém měníme rozměry, tvar a kvalitu povrchu obráběného materiálu. Obrábění jako takové dělíme na ruční a strojní, a podle způsobu oddělování materiálu se dělí na třískové a beztřískové (Kvietková, 2015; Lisičan *et al.*, 1996; www.zsmitusova16.cz).

➤ Ruční obrábění

Nespornou výhodou ručního obrábění je jeho nezávislost na zdroji energie, neboť se k němu využívá pouze vlastní síly. Mimo toho jeho další výhodou je přímý kontakt s opracovávaným dřevem a defacto možnost výroby originálního kousku, výrobku téměř v každém případě (Kvietková, 2015).

➤ Strojní obrábění

Nahradilo ruční obrábění například v situacích, kdy je při obrábění neboli výrobě kladen důraz na rychlost a přesnost. Mechanické (strojní) obrábění je výrobní proces, jehož výsledkem vznikne výrobek požadovaného tvaru a rozměrů. Tento koncový výrobek je výsledkem činnosti rezného nástroje, který z polotovaru odebrává části obráběného materiálu. Odebrané části mohou být považovány za hlavní (např. dýha) nebo vedlejší produkt (např. piliny, třísky) (Kvietková, 2015).

➤ Beztřískové obrábění

Je typ obrábění, při kterém dřevo mění svůj tvar, ale nedochází ke vzniku pilin ani hoblin neboli k odpadu. Při beztřískovém obrábění je oddělovaná část samotným výrobkem. Příkladem může být zpracovávání výřezů z kulatiny při kterém dochází procesem krájením nebo loupáním ke vzniku dýhy, což je v podstatě tenký plátek dřeva. Do beztřískového obrábění zařazujeme:

- a) hlazení,
- b) obrábění laserem nebo vodním paprskem (koncentrovanou energií),
- c) tvarování (ohýbáním, lisováním) (Kvietková, 2015; Lisičan *et al.*, 1996).

➤ **Třískové obrábění**

Při třískovém obrábění dochází k oddělování odpadu z obráběného polotovaru v podobě pilin, hoblin nebo třísek a tvoří tzv. vedlejší produkt obrábění. Výsledkem a zároveň cílem obrábění je dosažení požadovaného tvaru, rozměrů a kvality povrchu výrobku. Mezi třískové obrábění dřeva řadíme:

- a) vrtání,
- b) dlabání,
- c) broušení,
- d) soustružení, okružování a odkorňování,
- e) frézování

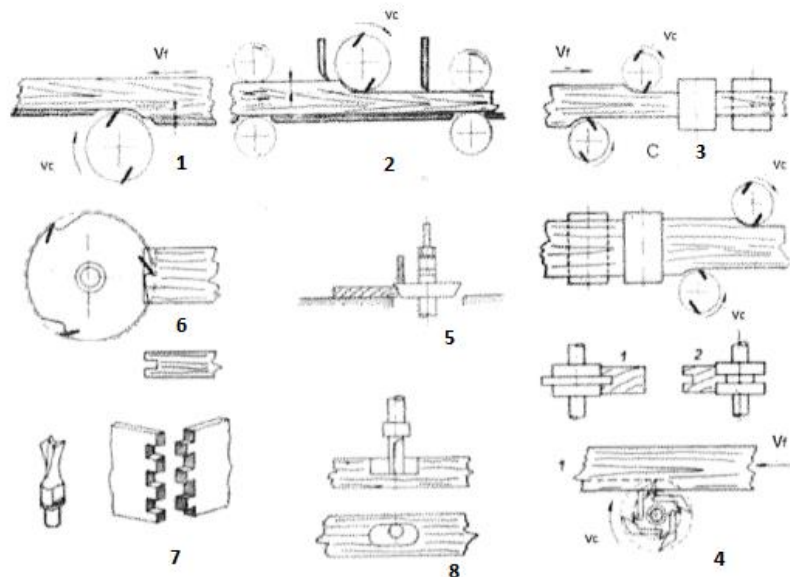
(Kvietková, 2015; Lisičan *et al.*, 1996; www.zsmitusova16.cz).

3.6 Frezování

Frézováním nazýváme proces, při kterém dochází k obrábění (řezání) materiálu za pomoci otáčejících (rotujících) nástrojů. Frézování je jedním z nejčastějších procesů obrábění dřeva a řadíme ho mezi třískové obrábění, díky němuž se získává kvalitní povrch s přesnými rozměry obrobku s jednoduchou rovinnou, rotační nebo tvarovanou plochou. Tloušťka třísky se při obrábění frézováním mění od minimální po maximální nebo naopak. Na profil a kvalitu obráběné plochy má vliv i vhodný výběr nástroje. K frézování využíváme vícebřité nástroje frézy. Frézy vykonávají hlavní řezný pohyb neboli otáčivý pohyb na obrobek. Obrobek na pracovním stole vykonává vedlejší (přímočarý či kruhový) pohyb. Obvykle je obrobek veden do řezu kolmo nebo přibližně kolmo na osu rotace nástroje – frézy. Někdy se může obrobek otáčet nebo vykonávat pohyb po prostorové křivce. Výsledný řezný pohyb u frézování má tvar cykloidy. Tento pohyb ve tvaru cykloidy má za následek nerovný, nýbrž vlnitý vzhled frézované plochy. Z čehož vyplývá, že ani odfrézováním nelze dosáhnout dokonale hladkého povrchu obrobku. Hlavním úkolem frézování je opracování dílce třískovým úběrem materiálu na požadovaný rozměr, tvar a povrchovou kvalitu (Kvietková, 2015; Siklienka, Kminiak, 2013a; Lisičan *et al.*, 1996; Prokeš, 1982).

3.6.1 Druhy frézování

Rozlišujeme čtyři druhy frézování, které podle polohy osy otáčení a podle ploch opisují řezné klíny neboli břity nástroje. Těmito druhy jsou: frézování válcové, čelní, kuželové a čelně-kuželové (Kvietková, 2015; Lisičan *et al.*, 1996).



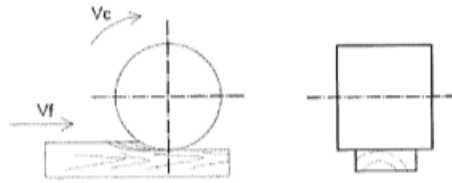
Obrázek 6: Hlavní druhy frézování (Kvietková, 2015)

Pozn.: v_c = řezná rychlost, v_f = rychlost posuvu

- 1) srovnávání, 2) tloušťkování, 3) dvoustranné frézování, 4) frézování pera a drážky, 5) frézování úhlovou frézou, 6) čepování, 7) frézování stopkovou frézou, 8) frézování vrchní frézou

3.6.1.1 Válcové

Osa rotace válcové či tvarové frézy je rovnoběžná s obráběnou plochou. Řezné klíny neboli břity nástroje opisují válcovou plochu určenou tvarem pláště frézy. Díky nerovnoměrnému zatížení frézy dochází k vibracím a výsledkem je vlnitý povrch. U válcového frézování, podle vzájemného pohybu nástroje a obrobku lze materiál obrábět dvěma způsoby, a to sousledně a nesousledně (Kvietková, 2015; Barcík *et al.*, 2013; Lipták *et al.*, 1979).



Obrázek 7: Válcové frézování (Kvietková, 2015)

Pozn.: v_c – řezná rychlost, v_f – rychlost posuvu

➤ Sousedné frézování

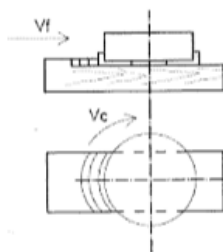
U sousledného (souměrného) frézování vykonává válcová fréza otáčivý pohyb se směrem posuvu obrobku, kvalita obrobené plochy je lepší než u nesousledného frézování díky menšímu namáhání břitů. Tloušťka úběru třísky během tohoto frézování klesá od maxima k minimu (nule). Obrobená plocha vzniká v okamžiku, kdy zub nástroje (frézy) vychází ze záběru. Řezné síly působí a vytvářejí tlak na obrobek směrem dolů k desce stolu, což má na za následek vyšší kvalitu (hladkost) opracovaného povrchu (Kvietková, 2015; Prokeš, 1982).

➤ Nesousledné frézování

Při nesousledném neboli nesouměrném frézování se fréza otáčí proti směru posuvu obrobku, čímž se zvětšuje průřez, úběr třísky od nulové hodnoty po maximální tloušťku. Kvalita obrobené plochy je horší, neboť povrch je drsný se stopami po obrábění. Tento způsob frézování je klidnější a plynulejší, avšak jeho nevýhodou je to, že zub nástroje z počátku řezu po materiálu spíše klouže či materiál před sebou hrne, čímž defacto povrch pouze deformuje. Díky tomu se břit více zahřívá a otupuje (Kvietková, 2015; Prokeš, 1982).

3.6.1.2 Čelní

Osa čelní frézy směřuje kolmo k obráběné ploše, ze které se za pomoci břitů osazených na čele i plášti čelní frézy odřezávají třísky stejného průřezu. Břity na čele nástroje opisují pohyb po kružnici, kdežto břity na plášti odebírají materiál z obrobku stejně jako u válcového frézování. Vlivem rovnoměrného zatížení frézy je zajištěna vyšší kvalita obrobené plochy. Nejčastěji se využívá na rovné plochy (Kvietková 2015; Prokeš, 1982).

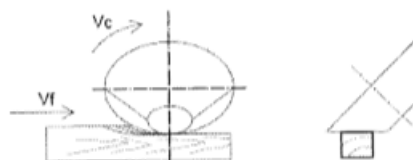


Obrázek 8: Čelní frézování (Kvietková, 2015)

Pozn.: v_c – řezná rychlost, v_f – rychlost posuvu

3.6.1.3 Kuželové

Osa rotace nástroje je skloněná k obráběné ploše pod určitým úhlem (o 10° až 12°). Břity nástroje opisují kuželovitou plochu a tloušťka úběru třísky je při tomto frézování menší než při válcovém frézování. Díky tomu dochází k možnosti zvýšení rychlosti posuvu až o trojnásobek. Jedná se o velmi produktivní frézování, které zachovává žádanou kvalitu povrchu (Kvietková, 2015; Prokeš, 1982).

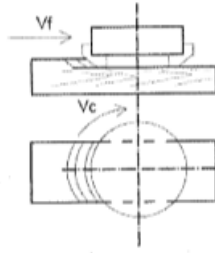


Obrázek 9: Kuželové frézování (Kvietková, 2015)

Pozn.: v_c – řezná rychlost, v_f – rychlost posuvu

3.6.1.4 Čelně-kuželové

Osa rotace nástroje je během frézování kolmá k obráběné ploše. Břity jsou umístěny na obvodu nástroje pod určitým úhlem k obráběnému povrchu. U tohoto frézování je negativně ovlivněna kvalita povrchu obrobku, zejména drsnost. Což je způsobeno podélným a příčným frézováním, ke kterému dochází u tohoto druhu frézování. Výhodou čelně-kuželového frézování je jeho energetická nenáročnost, neboť je až o 30 % efektivnější než válcové frézování (Kvietková, 2015; Prokeš, 1982; Krjažev, 1963).

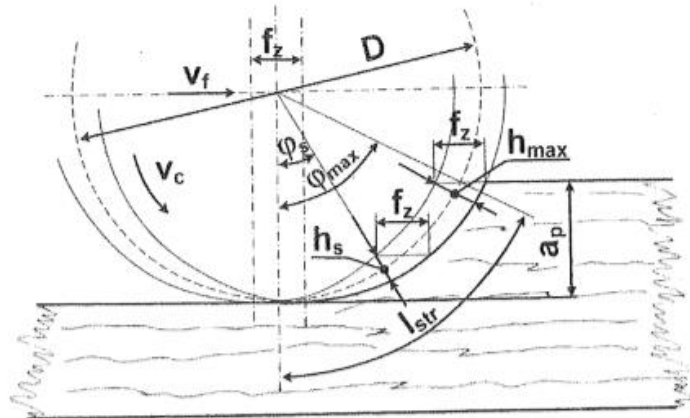


Obrázek 10: Čelně-kuželové frézování (Kvietková, 2015)

Pozn.: v_c – řezná rychlost, v_f – rychlost posuvu

3.6.2 Kinematika

Průběh frézování ovlivňují řezné podmínky jako řezná rychlost, posuvná rychlost, posuv na zub, hloubka řezu a rozměry třísky. Značný vliv na průběh frézování má také druh obráběného, frézovaného materiálu, dále řezný materiál, velikost a tvar (průřezu) třísky, geometrie nástroje apod. Trajektorie pohybu řezné hrany (klínu) má tvar cykloidy. U frézovacích nástrojů je řezná rychlost oproti rychlosti posuvu příliš vysoká, tudíž na úseku jednoho záběru řezného klínu, můžeme předpokládat, že jeho dráha pohybu je po kružnici (Kvietková, 2015; Lisičan *et al.*, 1996; Prokeš, 1982).



Obrázek 11: Kinematické schéma válcového frézování (Kvietková, 2015)

Pozn.: v_c – řezná rychlost (m/s), v_f – rychlost posuvu (m/min), f_z – posuv na zub (mm), D – průměr nástroje – frézy (mm), h_s – tloušťka odřezané vrstvy (mm), h_{max} – maximální tloušťka (mm), a_p – hloubka řezu, φ_s – středový úhel ($^\circ$), φ_{max} – úhel záběru zubu ($^\circ$)

3.6.2.1 Výpočet řezné rychlosti

Představuje rychlost řezného pohybu udávanou v metrech za minutu.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} \text{ [m/s]} \quad (1)$$

Kde: v_c – řezná rychlost [m/s],

D – průměr frézy [mm],

n – otáčky frézy [ot/min].

3.6.2.2 Výpočet posuvné rychlosti

Znáznorňuje dráhu v mm, kterou urazí obrobek při pohybu do záběru za 1 min (otáčku).

$$v_f = \frac{f \cdot n}{1000} = \frac{f_z \cdot n \cdot z}{1000} \text{ [m/s]} \quad (2)$$

Kde: v_f – rychlost posuvu [m/s],

f – posuv na otáčku frézy [mm],

f_z – posuv na zub (řeznou hranu frézy) [mm/zub],

n – otáčky frézy [ot/min],

z – počet řezných hran frézy [ks].

3.6.2.3 Výpočet posuvu na zub

$$f_z = \frac{v_f \cdot 1000}{n \cdot z} \text{ [mm]} \quad (3)$$

Kde: f_z – posuv na zub (řeznou hranu frézy) [mm/zub],

v_f – rychlost posuvu [m/s],

n – otáčky frézy [ot/min],

z – počet řezných hran frézy [ks].

3.7 Vliv na kvalitu povrchu

Obrábění má vliv na kvalitu obrobeného povrchu, z toho vyplývá, že hlavním úkolem obrábění je tedy získání povrchu o požadované kvalitě. V dnešní době se nároky na kvalitu povrchu a jeho přesnost značně zvýšily, a to v souvislosti s vývojem nových nástrojů a strojů na obrábění nebo vývojem obráběných materiálů. Díky tomu tak podléhá výsledný povrch kontrole a měřením nejrůznějšími metodami či přístroji. Mezi zmiňované metody zkoumání kvality patří: porovnávací, bezdotyková a v neposlední řadě pak dotyková metoda (Tiryaki *et al.*, 2015; Rousek *et al.*, 2010).

➤ **Porovnávací metoda**

Je metoda zkoumání pomocí lidských smyslů, proto o této metodě můžeme říct, že je velmi subjektivní a nepřesná. K této metodě zařazujeme i metodu vizuální, pomocí níž se jednotlivé vzorky zkoumají zrakem, tou druhou je pak metoda porovnávací. Obsahem druhé zmiňované metody je srovnávání vzorků hmatem podle stupnice (etalonu). U této metody se hodnotící snaží přiřadit vzorek co nejbližšímu etalonu stupnice. Při použití těchto metod by se mělo dbát na to, aby hodnotícími osobami byli zkušení odborníci z oboru, a to z důvodu získání lepších a věrohodnějších výsledků (Rousek *et al.*, 2010; Whitehouse, 2004).

➤ **Bezdotyková metoda**

Jedná se o jednu z nejpřesnějších metod zkoumání a vyhodnocování kvality povrchu. Jednotlivé bezdotykové metody fungují na základě odlišného systému měření, některé využívají skenovací zařízení, dále pak laserové měření, elektronové apod. (Rousek *et al.*, 2005; Whitehouse, 2004).

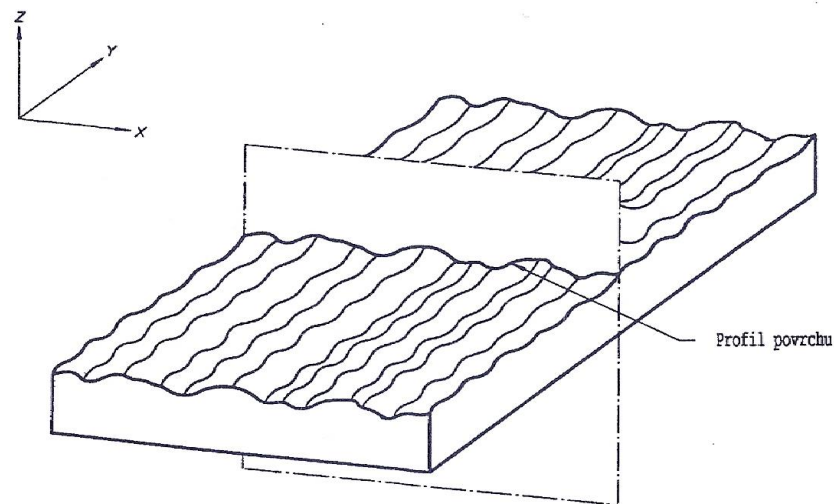
➤ **Dotyková metoda**

Je metoda, při které probíhá měření kvality povrchu pomocí přístrojů zvaných drsnoměry. Jejich použití má i svá úskalí, neboť mohou mít za následek riziko vzniku eventuálního poškození zkoumaného povrchu ať už poškrábáním povrchu či způsobením jiného defektu. Toto riziko může nastat při působení větší síly na zkoumaných povrch (Rousek *et al.*, 2005; Whitehouse, 2004)

3.7.1 Definování průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti a vlnitosti

Dle normy ČSN EN ISO 4287 (1999) jsou průměrné aritmetické úchyly profilu drsnosti (R_a) a vlnitosti (W_a) výškovými parametry profilu (neboli aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z_{(x)}$ v rozsahu základní délky).

Stejnou normou je definován profil povrchu – jedná se o profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny (viz obrázek 12).



Obrázek 12: Profil povrchu (ČSN EN ISO 4287, 1999)

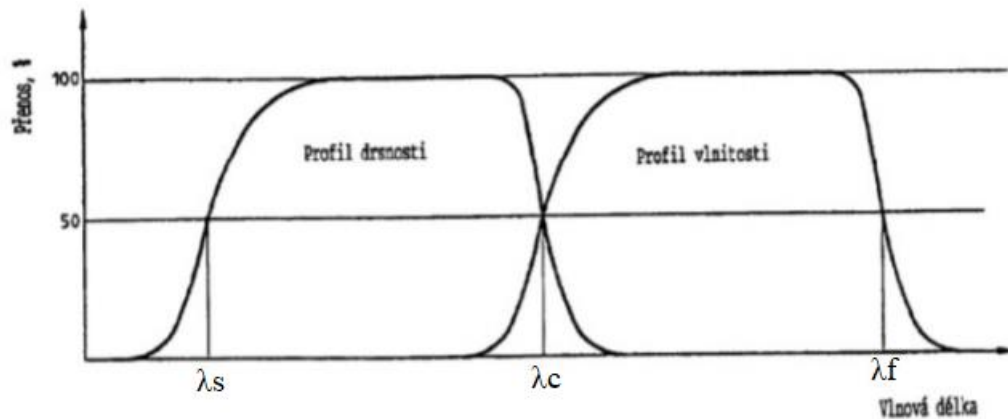
Pozn.: X je osa na povrchu materiálu – rovnoběžná se střední čarou ve směru snímání, Y je osa také ležící na povrchu profilu, Z je osa směřující ven z povrchu profilu

Profil povrchu se používá k odvození jednotlivých profilů dle ČSN EN ISO 4287 (1999):

- Základní profil – je základem pro hodnocení parametrů základního profilu,
- Profil drsnosti – je vyjádřen potlačením dlouhovlnných komponentů za použití filtru λ_c (je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti),
- Profil vlnitosti – je odvozen z postupné aplikace profilového filtru λ_c a filtru profilu λ_f na základní profil (profil je záměrně pozmeněn, potlačuje dlouhovlnné komponenty (filtrem profilu λ_f) a krátkovlnné komponenty (filtrem profilu λ_c).

Díky těmto profilům charakterizujeme jednotlivé parametry. Aby bylo možné vyhodnotit strukturu povrchu je nutné filtrováním oddělit jednotlivé složky či komponenty profilu, pomocí profilového filtru, který profil dělí na dlouhovlnné a krátkovlnné komponenty:

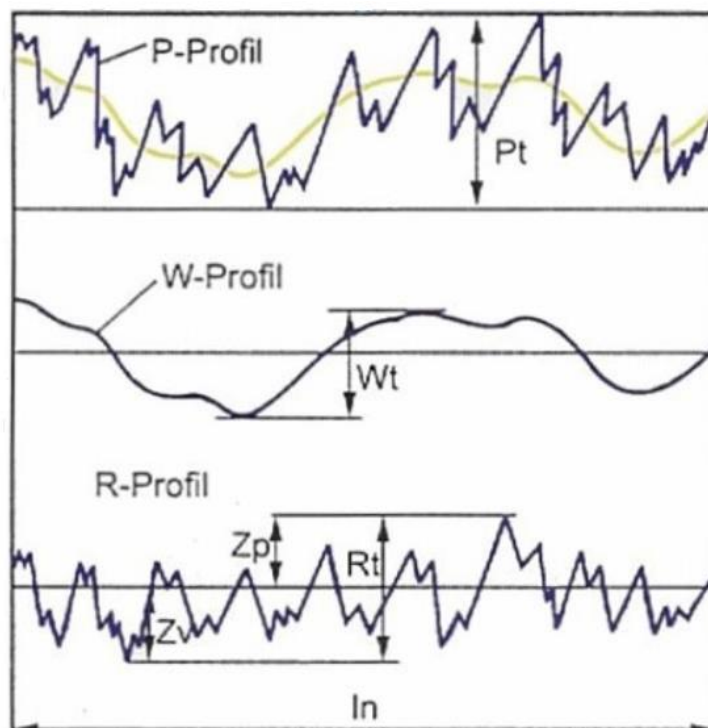
- Filtr profilu (λ_s) - stanovuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu (viz obrázek č. 13),
- Filtr profilu (λ_c) - definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitostí (viz obrázek č. 13),
- Filtr profilu (λ_f) - určuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu (viz obrázek č. 13) (ČSN EN ISO 4287, 1999).



Obrázek 13: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti (ČSN EN ISO 4287, 1999)

Názvosloví geometrických parametrů dle ČSN EN ISO 4287 (1999):

- P – parametr (Profile parametr) – vypočítaný ze základního profilu,
- R – parametr (Roughness parametr) – vypočtený z profilu drsnosti,
- W – parametr (Waviness parametr) – vypočítaný z profilu vlnitosti.



Obrázek 14: Parametry P, W, R na profilu povrchu (<https://eluc.kr-olomoucky.cz>, 2019)

Pozn.: Pt, Wt, Rt – celková výška profilu, Zp – výška výstupku profilu, Zv – hloubka prohlubně profilu, ln – vyhodnocovaná délka

ČSN EN ISO 4287 (1999) stanovuje výškové parametry tedy jako průměrnou aritmetickou úchylku posuzovaného profilu (P_a , R_a , W_a), které jsou dány aritmetickým průměrem absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky, viz vzorec (č. 4):

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (4)$$

Kde: l - l_p, l_r případně l_w

dx – rozsah základní délky

Měření drsnosti (R_a) je hodně variabilní a je ovlivněno druhem obráběného materiálu a strukturou jeho povrch a faktory týkajícími se obrábění (např. úhel, vibrace stroje). Měření vlnitosti (W_a) je také variabilní a může být ovlivněno použitým typem obrábění (zvolenou řeznou a podávací rychlostí) případně samotnou termickou modifikací dřeva.

ČSN EN ISO 4287 (1999) definuje délkové parametry jako průměrnou šířku prvků profilu (PSm , RSm , WSm), které jsou dány aritmetickým průměrem šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky, dle níže uvedeného vzorce (č. 5):

$$PSm, RSm, WSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (5)$$

4 Metodika

Metodiku bakalářské práce můžeme na základě stanoveného cíle rozdělit do několika částí:

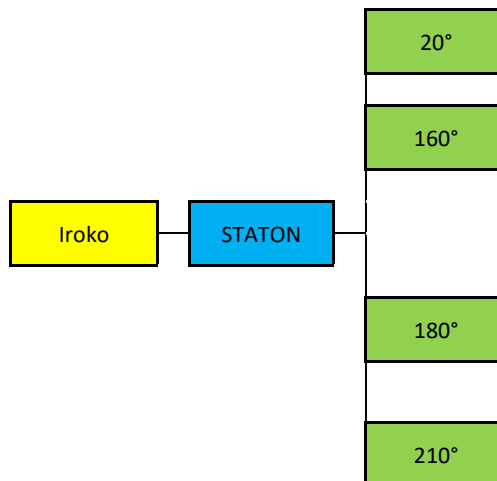
Zjištění vlivu vybraných faktorů:

- 1) Obráběný materiál: Iroko,
- 2) Termická modifikace: 20°, 160°, 180°, 210°

na sledované charakteristiky, kterými jsou:

- 2) Kvalita povrchu (zjišťovaná kontaktní metodou) hodnocenou pomocí:
 - Ra – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu drsnosti,
 - Wa – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu vlnitosti.

Na následujícím schématu jsou znázorněny všechny možné proměnné faktory pro parametry Ra a Wa.



Obrázek 15: Parametry zkoumání dřeva iroko (Autor, 2019)

4.1 Použitý materiál

Pro frézování byl použit materiál z tropické dřeviny iroko. Toto dřevo bylo zakoupeno ve formě řeziva – fošny, ty poté byly naformátovány na požadované vzorky o rozměrech 450x100x18 mm (délka x šířka x tloušťka). Termická modifikace těchto vzorků proběhla v termokomoře ve školním objektu České zemědělské univerzity v Kostelci nad Černými lesy.

Tab. 4: Hustota zkoumaného materiálu (Autor, 2019)

Označení materiálu	Teplota [°C]	Hustota [g/cm ³]
IR - iroko	20 °C	0,713
	160 °C	0,673
	180 °C	0,660
	210 °C	0,634



Obrázek 16: Vzorky dřeva iroko rozdělené podle stupně termické úpravy (Autor, 2019)

Tab. 5: Termická úprava dřeva iroko (Autor, 2019)

Iroko IR						
	Čas [h]	Teplota [°C]	Čas [h]	Teplota [°C]	Čas [h]	Teplota [°C]
Topení	11,6	0-160	14,8	0-180	18,6	0-210
Termizace	3	160	3	180	3	210
Chlazení	3,92	160-50	5,76	180-50	7,2	210-50
Celkový čas termizace	18,52		23,56		28,8	

4.2 Použité nástroje

4.2.1 Frézovací nůž

Na samotné frézování byl použit nůž od společnosti Maximus typového označení Special 55.



Obrázek 17: Frézovací hlava s detailem na nůž (Autor, 2019)

Tab. 6: Parametry frézovacího nože (Autor, 2019)

Výrobce	Označení - typ				Materiál dle ČSN	Rozměry – šířka nože [mm]		
Maximus	Special 55				19 855	45		
	Přísady				Úhlová geometrie			
Tvrdość [HRC]	C	Cr	W	V	Úhel hřbetu α	Úhel břitu β	Úhel čela γ	
62	0,7 %	4,2 %	18 %	1,5 %	30°	45°	15°	

4.2.2 Frézovací hlava

Od společnosti STATON byla použita dvounožová frézovací hlava o rozměrech 125x45x30 mm. Při 3000, 4500, 6000 a 9000 ot/min odpovídá řezná rychlost 20, 30, 40 a 60 m/s, vypočtená podle vzorce:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} \text{ [m/s]} \quad (6)$$

Kde: v_c – řezná rychlost [m/s],
D – průměr frézy [mm],
n – otáčky frézy [ot/min].



Obrázek 18: Použitá frézovací hlava (Autor, 2019)

4.3 Použité stroje

4.3.1 Frézka

Na obrábění materiálu byla použita spodní jedno-vřetenová frézka typu FVS (ED, APT Line II) od německé společnosti Tuttlingen. Nastavení požadovaných otáček, tedy i řezné rychlosti se provádí přehozením klínových řemenů.



Obrázek 19: Spodní jedno-vřetenová frézka (Autor, 2019)

Tab. 7: Technické parametry spodní frézky (Autor, 2019)

Výrobce	Označení (typ)	Proudová soustava [V]	Příkon [kW]	Otáčky [ot/min]	Řezná rychlost pro frézovací hlavu o průměru 125 mm [m/s]	Rok výroby
Tuttlingen	FVS (ED, APT Line II)	360/220 V	4 kW	3000, 4500, 6000, 9000	20, 30 ,40, 60	1975

4.3.1.1 Nastavení frézovacích parametrů

Pro náš výzkum byly použity následující parametry. Úběr materiálu činil při 4500 otáčkách za minutu (což odpovídá řezné rychlosti 30 m/s) 1 mm. Materiál byl do obrábění podáván rychlostí 8 m/min.

4.3.2 Podávací zařízení

Podávací zařízení značky STEFF (2034) od italské firmy Maggi Engineering je vybavena přestavitelným univerzálním stojanem, pomocí něhož lze nastavit stroj do

libovolné pozice. Zařízení je určeno pro posuv deskového materiálu ale i podélných dílců a disponuje celkem čtyřmi fixními rychlostmi vpřed a zad.



Obrázek 20: Podávací zařízení STEFF 2034 (Autor, 2019)

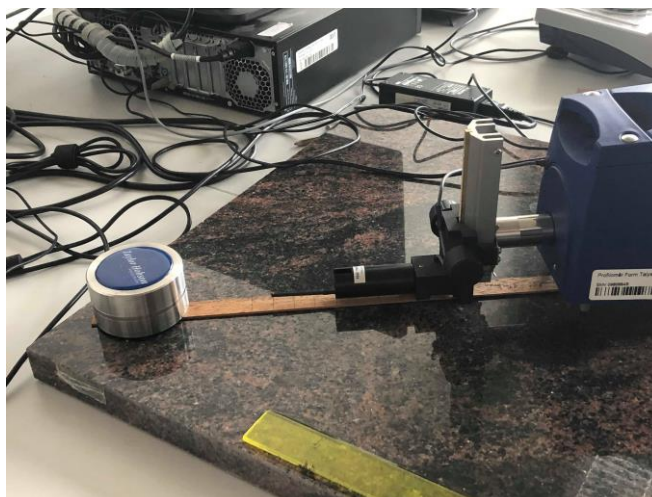
Tab. 8: Technické parametry podávacího zařízení (Autor, 2019)

Výrobce	Typ	Motor [V]	Příkon [kW]	Otáčky [ot/min]	Podávací rychlost [m/min]	Rok výroby
Maggi Engineering	STEFF 2034	400 V	0,6 – 0,8 kW	1400 – 2800	4, 8, 11, 22	2005

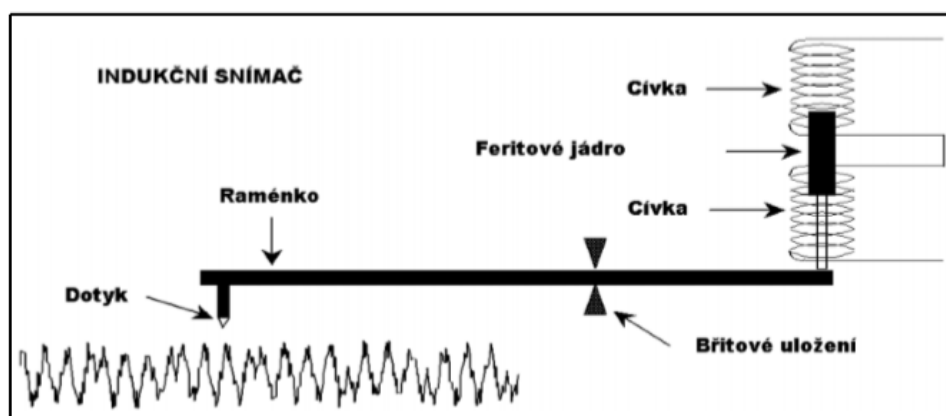
4.4 Měřicí zařízení

4.4.1 Kontaktní profilometr

Pro měření kvality povrchu byl použit kontaktní přístroj (drsnoměr) FORM TALYSURF 50 Intra od značky Taylor Hobson. Délka horizontálního snímání činila 50 mm, kdy úchylka přímosti je při této délce 0,4 μm s odchylkou měření +/- 2 %.



Obrázek 21: Kontaktní profilometr (Autor, 2019)



Obrázek 22: Princip indukčního snímače kontaktního profilometru (Havelková a Hiklová, 2014)

4.4.2 Nastavení kontaktního profilometru

V následující tabulce je zobrazeno nastavení kontaktního profilometru podle normy ČSN EN ISO 4287 (1999), zvolené nastavení je v tabulce č.8 zvýrazněno žlutě, poukazuje na použití Gaussova filtru a filtru profilu λc .

Kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra od firmy Taylor Hobson byl vybaven standardním raménkem s kuželovým diamantovým hrotem $R = 2 \mu\text{m}$ (viz obrázek č. 23), vzorky se měřily směrem dovnitř při zasouvání ramínka. Začátek a konec měření měl toleranci 0,3 mm.



Obrázek 23: Raménko kontaktního profilometru obsahující kuželový diamantový hrot (Autor, 2019)

Tab. 9: Parametry měření podle normy ČSN EN ISO 4287 (1999)

Periodické profily	Parametry měření			
RSm [mm]	$\lambda c = lc$ [mm]	ln [mm]	lt [mm]	r_{tip} [mm]
$0,013 < RSm \leq 0,04$	0,08	0,4	0,48	2
$0,04 < RSm \leq 0,13$	0,25	1,25	1,5	2
$0,13 < RSm \leq 0,4$	0,8	4	4,8	2/5
$0,4 < RSm \leq 1,3$	2,5	12,5	15	5
$1,3 < RSm \leq 4$	8	40	48	10

Pozn.: RSm – průměrná šířka prvků profilu, $\lambda c = lc$ – základní délka, ln – vyhodnocená délka, lt – měřená délka, r_{tip} – poloměr hrotu ramínka

4.5 Zjištění hustoty a vlhkosti

4.5.1 Zjištění hustota

Pro zjištění hustoty daných vzorků bylo použito normy ČSN EN ISO 323 (1994).

Vzorec pro výpočet:

$$\delta_w = \frac{m_w}{a_w * b_w * l_w} = \frac{m_w}{V_w} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (7)$$

Kde: δ_w – hustota zkušebního tělesa (vzorku) při dané vlhkosti w [kg/m³]

m_w – hmotnost zkušebního tělesa (vzorku) při dané vlhkosti w [kg]

V_w – objem zkušebního tělesa (vzorku) při dané vlhkosti w [m³]

a_w, b_w, l_w – jsou rozměry zkušebního tělesa (vzorku) při dané vlhkosti w [m].

4.5.2 Zjištění vlhkosti

Pro zjištění vlhkosti daných vzorků bylo použito normy ČSN EN ISO 322 (1994).

Vzorec pro výpočet:

$$W = \frac{m^1 - m^0}{m^0} * 100 \text{ [%]} \quad (8)$$

Kde: W – vlhkost [%]

m^1 – hmotnost zkušebního tělesa (vzorku) ve vlhkém stavu [g]

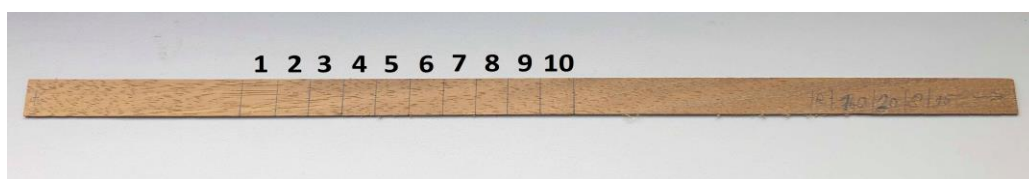
m^0 – hmotnost zkušebního tělesa ve vysušeném stavu [g]

Výsledek byl vyjádřen s přesností na 1,0 %.

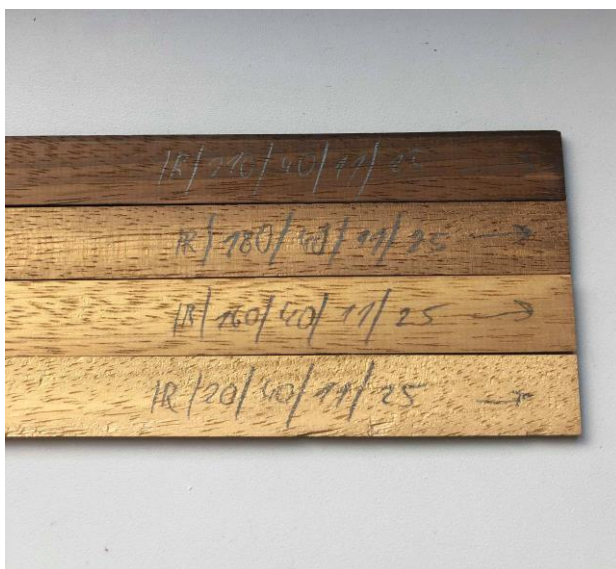
4.6 Příprava zkušebních vzorků

1. Formátování zkušebních vzorků o rozměrech 450x100x18 mm (délka x šířka x tloušťka) pro snadnější manipulaci při obrábění a měření,
2. Termická modifikace na teploty - 20° (netermované dřevo), 160°, 180°, 210°,
3. Obrobení frézou v daném nastavení,
4. Délka frézované strany 450 mm,
5. Úběr materiálu 1 mm,
6. Odebrání a označení vzorku a stanovení aritmetických úchylek R_a a W_a o rozměrech cca 450x3x18 mm (délka x šířka x tloušťka).

Na všech použitých vzorcích byla označena obrobená strana, směr podávání do řezu. Od vyznačeného středu se pak na každou stranu zaznamenalo pět 15 mm dlouhých úseků, celkem tedy deset. Parametry drsnosti (R_a) a vlnitosti (W_a) se získávaly pouze ve středové části označených vzorků (viz obrázky 24 a 25).



Obrázek 24: Naměření a rozdělení vzorku iroko, na 10 oblastí pro následné měření kontaktním profilometrem (Autor, 2019)



Obrázek 25: Popis vzorků obsahující: zkratku dřeviny, tepelnou úpravu, řeznou rychlost, podávací rychlost, úhel a nakonec vyznačení směru posuvu (Autor, 2019)

4.7 Metodika měření průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti (Ra) a vlnitost (Wa).

Měření parametrů drsnosti povrchu (Ra) a vlnitosti povrchu (Wa) se provedlo kontaktní metodou přístrojem FORM TALYSURF 50 Intra od firmy Taylor Hobson a proběhlo na Fakultě lesnické a dřevařské v Praze.

Podle norem ČSN EN ISO 4287 (1999) a ČSN EN ISO 4288 (1999) byla měřena kvalita povrchu.

Označené vzorky (frézovanou stranou a směrem posuvu do řezu) u kterých se zkoumala kvalita povrchu, byly změřeny každý desetkrát.

4.8 Statistické zpracování dat

Software (program) k vyhodnocení jednotlivých sledovaných hodnot:

Microsoft Excel 2016 od americké společnosti Microsoft se sídlem v Redmontu ve státě Washington.

Statistica 12 od firmy Statsoft Inc. nyní sjednocená pod firmou Tibco Software Inc., se sídlem ve spojených státech amerických ve státě California (Palo Alto).

Postup před zpracováním dat:

1. Posouzení rozdělení četností proběhlo pomocí Shapiro-Wilksova testu na hladina významnosti $P = 0,05$ – prokázala se normalita rozdělení.
2. Vyloučit případné odlehlé hodnoty opravným měřením na části vzorku, kde byla chyba odhalena. Vyloučení odlehlých hodnot pomocí Dean-Dixonova testu za pomoci vzorců (9 a 10) :

$$Q_1 = \frac{(x_2 - x_1)}{(x_n - x_1)} \quad (9)$$

$$Q_n = \frac{(x_n - x_{n-1})}{(x_n - x_1)} \quad (10)$$

Kde: Q_1 = minimální hodnota kritérium

Q_n = maximální hodnotu kritérium

x_1 = minimální hodnota

x_n = maximální hodnota

3. Dle statistické metody ANOVA – proběhlo posouzení naměřených hodnot kvality povrchu zastoupených úchylek Ra a Wa. Testování bylo provedeno na zvolené hladině významnosti $P = 0,05$,
4. Seřazení výsledků dle velikosti,
5. Pro vyhodnocení získaných dat byl použit software STATISTICA 12 – za použití jednofaktorové analýzy rozptylu a Duncanova testu.

Tab. 10: Vyhodnocení testovaných faktorů na základě hodnoty “P” (Gaff, Gáborík, 2009)

Hodnota P	Statistická významnost faktoru (vliv faktorů)
$\emptyset P < 0,05$	významný
$\emptyset P > 0,05$	není významný
$\emptyset P = 0,05$	na hranici významnosti
$\emptyset P = 0$	faktor působí
$\emptyset P < 0,001$	velmi významný
$\emptyset 0,001 < P < 0,01$	středně významný
$\emptyset 0,01 < P < 0,05$	málo významný

5 Výsledky a diskuze

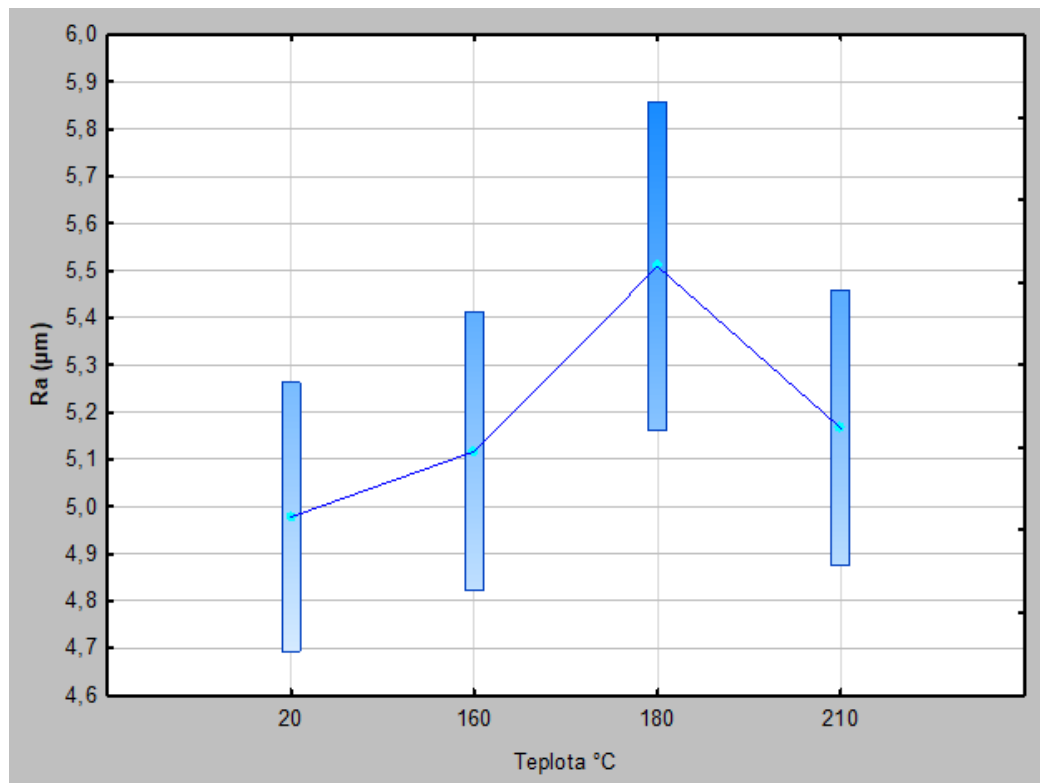
5.1 Průměrná aritmetická úchylna profilu drsnosti (Ra) – kontaktní metoda

V tabulce (č. 11) jsou zaneseny průměrné hodnoty průměrných aritmetických úchylnk profilů drsnosti (Ra) a vlnitosti (Wa), které byly naměřeny u jednotlivých zkušebních těles, včetně směrodatných odchylek.

Tab. 11: Průměrné hodnoty drsnosti a vlnitosti včetně směrodatných odchylek – kontaktní metoda
(Autor, 2019)

	1	2	3	4
Teplota [°C]	20 °C	160 °C	180 °C	210 °C
Ra (μm) Průměr	4,978020	5,116686	5,508999	5,166120
Ra (μm) Chyba	0,144459	0,149971	0,176723	0,147782
Ra (μm) -95,00 %	4,693606	4,821419	5,161063	4,875163
Ra (μm) +95,00 %	5,262434	5,411952	5,856936	5,457077
Ra (μm) Směrodatná odchylka	2,373703	2,464278	2,903858	2,428309
Wa (μm) Průměr	5,004560	5,286252	5,191080	5,341011
Wa (μm) Chyba	0,141618	0,138257	0,145131	0,136946
Wa (μm) -95,00 %	4,725740	5,014050	4,905343	5,071389
Wa (μm) +95,00 %	5,283379	5,558455	5,476817	5,610633
Wa (μm) Směrodatná odchylka	2,327015	2,271787	2,384748	2,25025
N	270	270	270	270

Na obrázku (č. 26) jsou uvedeny průměrné hodnoty naměřených průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti (R_a) jednotlivých zkušebních těles při teplotách 20°, 160°, 180° a 210 °C. Z grafu je patrné, že drsnost zjišťovaná kontaktní metodou dosáhla nejvyšších hodnot při teplotě 180 °C, tento faktor se jeví jako statisticky významný. Přičemž drsnost při zvyšující se teplotě od 20 °C do 180 °C měla stoupající tendenci, kdežto při teplotách vyšších než 180 °C naopak docházelo k jejímu poklesu.



Obrázek 26: Vliv teploty termické modifikace na drsnost povrchu (Autor, 2019)

Pro analýzu vlivu teploty termické modifikace na drsnost povrchu, byl použit programem STATISTICA 12, ve kterém byly jednotlivé výsledky vyhodnoceny pomocí Duncanova testu a jsou zaneseny v tabulce (č. 12). Průměrné hodnoty drsnosti při měření kontaktní metodou jsou u teploty 180 °C vyšší o 10,7 % než u průměrných hodnot referenčních vzorků. Výsledky statistické významnosti prokázali, že statistický významný rozdíl byl zaznamenán mezi referenčními hodnotami (tedy na netermovaných vzorcích) a hodnotami vzorků termicky modifikovaných při teplotě 180 °C. Na vzorcích termicky modifikovaných při teplotách 160 °C a 210 °C nebyl prokázán statisticky významný vliv.

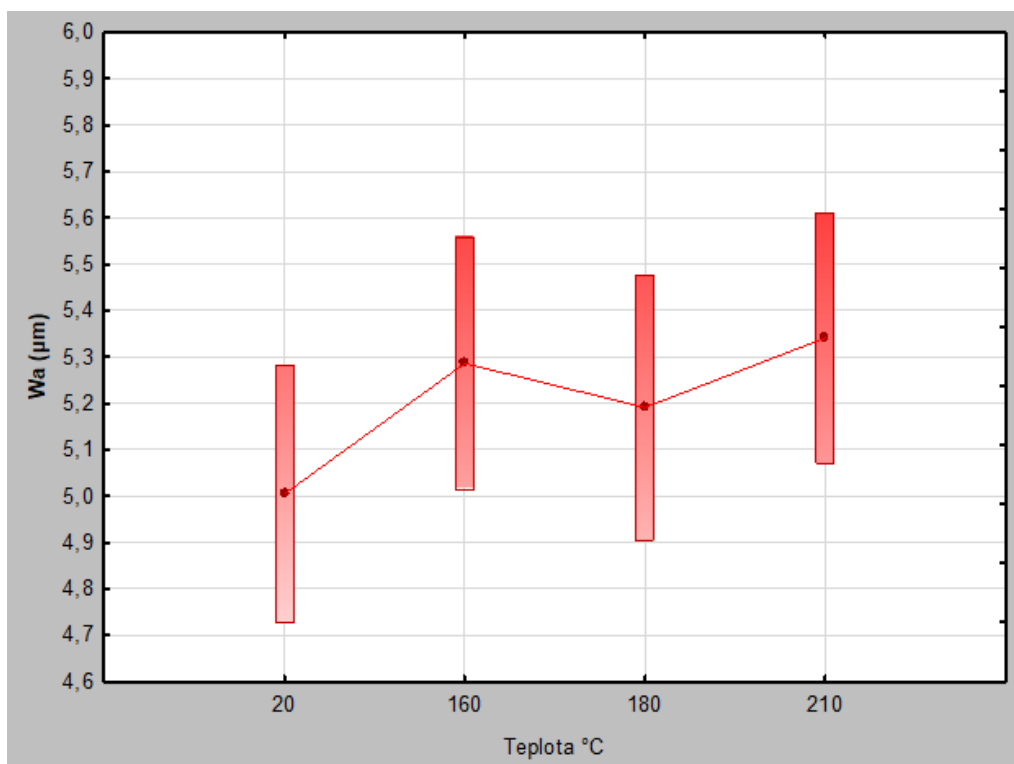
Obdobným výzkumem se zabývali Barcík *et al.* (2014), kteří došli k závěru, že nejvyšší vliv termické modifikace na drsnost povrchu borovicového dřeva je při teplotě 160 °C, Na základě výzkumu Barcík *et al.* (2014) můžeme konstatovat a potvrdit, že teplota (termická modifikace) má vliv na drsnost povrchu v závislosti na materiálu. Kvietková *et al.* (2015), zjišťovali vliv tepelného zpracování bukového dřeva se závěrem, že vliv teploty termicky upraveného dřeva v porovnání s neošetřeným dřevem je na kvalitu povrchu statisticky nevýznamný.

Tab. 12: Porovnání vlivů teploty termické modifikace Duncanovým testem na změnách drsnosti
(Autor, 2019)

	Duncanův test pro parametry Ra [μm]				
	Teplota [°C]	{1} 4,9780	{2} 5,1167	{3} 5,5090	{4} 5,1661
1	20		0,527714	0,025186	0,423526
2	160	0,527714		0,091174	0,821895
3	180	0,025186	0,091174		0,118410
4	210	0,423526	0,821895	0,118410	

5.2 Průměrná aritmetická úchylka profilu vlnitosti (Wa) – kontaktní metoda

Na obrázku (č. 27) jsou uvedeny průměrné hodnoty naměřených průměrných aritmetických úchylek profilu vlnitosti (Wa) jednotlivých zkušebních těles při teplotách 20°, 160°, 180° a 210 °C. Z grafu je patrné, že vlnitost zjišťovaná kontaktní metodou dosáhla nejvyšších hodnot při teplotě 210 °C, (tento faktor se jeví v porovnání s termicky upraveným dřevem při teplotě 160 °C jako statisticky málo významný.) Vlnitost mezi teplotami 20 °C a 160 °C zaznamenala větší nárůst, který by se mohl jevit jako statisticky (středně) významný. U termicky modifikovaného dřeva mezi teplotami 160 °C a 210 °C nebyl zjištěn výrazný rozdíl, naopak u teploty 180 °C došlo k mírnému poklesu vlnitosti.



Obrázek 27: Vliv teploty termické modifikace na vlnitost povrchu (Autor, 2019)

Pro analýzu vlivu teploty termické modifikace na vlnitost povrchu, byl použit programem STATISTICA 12, ve kterém byly jednotlivé výsledky vyhodnoceny pomocí Duncanova testu a jsou zaneseny v tabulce (č. 13). Průměrné hodnoty vlnitosti při měření kontaktní metodou jsou u teploty 210 °C vyšší o 6,7 % než u průměrných hodnot referenčních vzorků. Výsledky statistické významnosti prokázali, že statisticky významný

rozdíl mezi referenčními hodnotami (tedy na netermovaných vzorcích) a hodnotami vzorků termicky modifikovaných při teplotách 160 °C, 180 °C a 210 °C byl zaznamenán s výsledkem středně významným.

Například Gaff a Kaplan (2016) ve svém výzkumu konstatovali, že u březového dřeva nemá termická úprava vliv na vlnitost povrchu a tento faktor byl vyhodnocen na hranici významnosti. Kaplan *et al.* (2018) uvádí, že dubové tepelně modifikované dřevo při 160 °C vykazovalo lepší kvalitu opracovaného povrchu a kvalita se zhoršila s vyššími stupni tepelné úpravy. Netermované dřevo dosáhlo podobných hodnot, jako dřevo tepelně modifikované při vyšších teplotách. Průměrná hodnota vlnitosti při 160 °C vykazovala značný rozdíl než při 20 °C, protože byla o 17,6% nižší, a o 22,7% nižší než na 210 °C.

Tab. 13: Porovnání vlivů teploty termické modifikace Duncanovým testem na změnách vlnitosti
(Autor, 2019)

	Duncanův test pro parametry Wa [μm]				
	Teplota [°C]	{1} 5,0046	{2} 5,2863	{3} 5,1911	{4} 5,3410
1	20		0,182587	0,347959	0,123801
2	160	0,182587		0,632013	0,782919
3	180	0,347959	0,632013		0,481287
4	210	0,123801	0,782919	0,481287	

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo experimentálním způsobem posoudit vliv termické modifikace dřeva Iroko (*Milicia excelsa*) na kvalitu povrchu, zejména na jeho drsnost a vlnitost. Jednotlivé hodnoty drsnosti a vlnitosti byly naměřeny u referenčních vzorků (20 °C) a vzorků termicky upraveného dřeva při teplotách 160, 180 a 210 °C, tak abychom mohli získat potřebné hodnoty k porovnání.

Celková změna drsnosti způsobená vlivem termické modifikace se postupně měnila s rostoucí teplotou. K největší změně drsnosti (R_a) došlo u termicky modifikovaných vzorků při teplotách 180 °C. Statisticky významný rozdíl se projevil pouze u srovnání referenčních vzorků (20 °C) a vzorků termicky upravených při teplotě 180 °C. Tento rozdíl zjištěný pomocí Duncanova testu je v tabulce (č. 12) označen červenou barvou. Na základě zjištěných hodnot můžeme konstatovat, že termická úprava dřeva Iroko (*Milicia excelsa*) má vliv na drsnost povrchu, pouze při teplotách 180 °C.

Dalším cílem zkoumání bylo zhodnotit posouzení vlivu termické modifikace dřeva Iroko (*Milicia excelsa*) na vlnitost povrchu. Porovnáním zjištěných hodnot bylo vyzorováno, že vlnitost mezi teplotami 20 °C a 160 °C zaznamenala větší nárůst, který by se mohl jevit jako statisticky (středně) významný. U termicky modifikovaného dřeva mezi teplotami 160 °C a 210 °C nebyl zjištěn výrazný rozdíl, naopak u teploty 180 °C došlo k mírnému poklesu vlnitosti.

S ohledem na tento výzkum, ve kterém se hodnotila drsnost a vlnitost povrchu termicky upraveného dřeva Iroko (*Milicia excelsa*) nejsou v současnosti publikovány zatím žádné výzkumy se stejnou dřevinou a parametry zkoumání na základě, kterých by se tato práce mohla porovnávat. Například (Barcík *et al.*, 2014 a Kvietková *et al.*, 2015) se ve svých výzkumech zabývali mimo jiné i kvalitou opracovaného povrchu (drsností) termicky upravených dřevin – borovice a buku. Stejně je to s pracemi autorů (Gaff a Kaplan, 2016 a Kaplan *et al.*, 2018), kteří se věnovali problematice vlnitosti povrchu termicky modifikovaných dřevin břízy a dubu.

Seznam použitých zdrojů

Literární zdroje

BARCÍK, Š.; KVIETKOVÁ, M.; BOMBA, J.; SIKLIENKA, M. *Dřevoobráběcí nástroje – údržba a provozování*. Praha: Powerprint, 2013. 355 s. ISBN 978-80-87415-80-1.

BLAŽEJ, A.; ŠUTÝ, L.; KOŠÍK, M.; KRKOŠKA, P.; GOLIS, E. *Chémia dreva*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1975. 224 s.

BONDAR, S. A. *A convoluted convection chambre of periodic actions for drying wood in the environment of combustion products of liquefied or natural gas*. 2015. 45-56 s.

ČUNDERLÍK, I. *Štruktúra dreva*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 82-88 s. ISBN 978-80-228-2061-5.

GAFF, M.; GÁBORÍK, J. *Vlastnosti povrchu dreva modifikovaného reliéfováním*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2009. 81 s. ISBN 978-80-228-2035-6.

GANDELOVÁ, L.; ŠLEZINGEROVÁ, J. *Nauka o dřevě*. 2. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. 91-107 s. ISBN 978-80-7375-966-7.

GSÖLS, I.; RÄTZSCH, M.; LADNER, C. *Interactions between wood and melamine resins – effect on dimensional stability properties and fungal attack*. In: *Proceedings of the first European Conference on Wood Modification, Ghent, Belgium*. 2003. 221-225 s.

HAVELKOVÁ, M.; HIKLOVÁ H. *Mapování povrchu pevných těles se zaměřením na kontaktní profilometrii*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 2014. 48 s. ISBN 978-80-244-4043-9.

HILL, C. A. S. *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. 1. vyd. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, UK. 2006. 239-260 s. ISBN 978-0-470-02172-9.

CHANRION, P.; SCHREIBER J. *Bois traité par haute température*. Éditions CTBA. 2003. 115 s. ISBN 2-85684-053-1.

CHARLES, R.; FRIHART. *Wood Adhesion and Adhesives. Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC Press, New York. 2005. 215-278 s.

CHOW, S.; MUKAI, H. N. *Effect of thermal degradation of cellulose on wood – polymer bonding*. Wood Science, 1972. 4. 4:202-208.

JIROUT F. *Dřevo v přírodě a řemeslech, v živnosti a průmyslu vůbec*. Praha: Obchodní tiskárna Merkur. 1928.

JOSTEN, E. *Dřevo a jeho obrábění*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s. 2010. 336 s. ISBN 978-80-247-2961-9.

KAČÍKOVÁ, D.; KAČÍK, F. *Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011. 71 s. ISBN 978-80-228-2249-7.

KRJAŽEV, N. A. *Cilindričeskoe i koničeskoe frezerovanie drevesiny*. Moskva: Goslesbumizdat. 1963. 200 s.

KVIETKOVÁ, M. *Obrábění dřeva*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 2015. 295 s. ISBN 978-80-213-2604-0.

LIPTÁK, O.; BÉKÉS, J.; HERBANSKÝ, L.; HRUBEC, J.; KISSOCZY, Š.; VALČUHA, Š.; ZONGOR, J. *Technológia výroby – obrábanie*. 1. vyd. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury. 1979. 445 s. ISBN 63-565-79.

LISIČAN, J. *Teória a technika spracovania dreva*. 2. vyd. Zvolen: MATCENTRUM. 1996. 626 s. ISBN 80-967315-6-4.

MAYES, D.; OKSANEN, O. *Thermowood® Handbook*. Finland: Finnish Thermowood Association, c/o Wood Focus Oy. Helsinki. 2003. 66 s. Dostupné z: <https://asiakas.kotisivukone.com/files/en.thermowood.palvelee.fi/downloads/tw_handbook_080813.pdf>(8. 2. 2019).

MILITZ, H.; TJEERDSMA, B. *Heat treatment of wood by the PLATO – process*. In RAPP, A. O. (ed). *Review on heat treatment of wood*. Hamburg: BFH, 2001, 25-36 s. ISBN 3-926301-02-3.

NAVI, P.; SANDBERG, D. *Thermo-Hydro-Mechanical processing of wood*. 1. vyd. Lausanne: EPFL Press, 2012. 357 s. ISBN 978-2-940222-41-1.

PÉTRISSANS, M.; HAKKOU, M.; GÉRARDIN, P.; ZOULALIAN, A. *Investigation of wood wettability changes during heat treatment on the basis of chemical analysis*. *Polymer Degradation and Stability*. 2005. no 89. 1-5 s.

PROKEŠ, S. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. Praha: SNTL, 1982. 584 s. ISBN 04-833-82.

RAPP, A. O.; SAILER, M. *Oil heat treatment of wood in Germany: State of the art*. In RAPP, A. O. (ed). *Review on heat treatment of wood*. Hamburg: BFH, 2001. 45-62 s. ISBN 3-926301-02-3.

REINPRECHT, L. *Ochrana dreva*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2008. 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.

REINPRECHT, L.; VIDHOLDOVÁ, Z. *Termodrevo – príprava, vlastnosti a aplikácie*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2008. 89 s. ISBN 978-80-228-1920-6.

ROČEK, I. *Dřeva tropických oblastí*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 2005. ISBN 80-213-1346-3.

ROHWER, G. J. *Tropické rostliny*. 1. vyd. Praha: Euromedia Group – Knižní klub v Praze. 2002. 288 s. ISBN 80-242-0774-5.

ROUSEK, M.; KOPECKÝ, Z.; CHLEBOVSKÝ, R. *Dodržení kvality obrábění dřeva frézováním ve vazbě na povrchové úpravy. Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva*. 2010. 141-150 s. ISBN 978-80-228-2143-8.

SIKLIENKA, M.; KMINIAK, R. *Delenie a obrábanie dreva*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 2013a. 207 s. ISBN 978-80-228-2618-1.

SYRJÄNEN, T.; OY, K. *Heat treatment of wood in Finland – state of the art. Thermallytreatedwood*. [online] 2001. [cit. 11.2.2019]. Dostupné z: < <http://www.thermallytreatedwood.com/Worldwide/Finland.pdf> >.

TIRYAKI, S.; HAMZAÇEBI, C.; MALKOÇOĞLU, A. *Evaluation of process parameters for lower surface roughness in wood machining by using Taguchi design methodology*. European Journal of Wood and Wood Products. 2015. 537-545 s. ISSN 0018-3768

TSOUMIS, G. *Science and technology of wood – structure, properties, utilization*. Greece: Aristotelian University Thessaloniki. [online] 1991. [cit. 19.2.2019]. Dostupné z: < <https://www.trae.dk/wp-content/uploads/2001/10/science-and-technology-of-wood.pdf> > ISBN 978-3-941300-22-4.

ULRICH, R. B. *Roman Woodworking*. Yale University. 2008. ISBN 978-0-300-1034-0.

VERNOIS, M. *Heat treatment of wood in France – state of the art*. In: *Proceedings of Special Seminar „Review on heat treatment of wood“*. France. [online] 2001. [cit. 17.2.2019]. Dostupné z: < <http://www.westwoodcorporation.com/Library/Technology/France.pdf> >.

VIGUÉ, J. *Praktická kniha o dřevě*. 2.vyd. Dobřeovice: Rebo Productions CZ. 2009. 427 s. ISBN 978-80-255-0205-1.

WHITEHOUSE, D. *Surfaces and their Measurement*. 1. vyd. London: Kogan Page Science. 2004. 395 s. ISBN 1-9039-9660-0.

YASUDA, R.; MINATO, K. *Chemical modification of wood by non-formaldehyde cross-linking reagents*. *Wood Science and technology*. Japan. 1994. 101-110 s. ISSN 0043-7719.

YILDIZ, S.; GEZER, D. E.; YILDIZ, U. C. *Mechanical and chemical behavior of spruce wood modified by heat*. *Building and environment*. Turkey. 2006.

Internetové zdroje

BARCÍK, Š.; GAŠPARÍK, M.; HOUSKA, A.; RAZUMOV, Y. E.; SEDLECKÝ, M.: *Vliv technologických faktorů na kvalitu opracování povrchu při frézování termicky modifikovaného dřeva* [online] 2014. [cit. 21.3.2019] Dostupné z: < https://www.researchgate.net/publication/266911289_Vliv_tecnologickych_faktoru_na_kvalitu_opracovani_povrchu_pri_frezovani_termicky_modifikovaneho_dreva >.

GAFF, M.; KAPLAN, L.: *Vliv posuvné a řezné rychlosti na kvalitu obrábění* [online] 2016. [cit. 22.3.2019] Dostupné z: < https://www.researchgate.net/publication/310199339_Vliv_posuvne_a_rezne_rychlosti_na_kvalitu_obrazeni >.

KVIETKOVÁ, S. M.; GAFF, M.; GAŠPARÍK, M.: *Effect of thermal treatment on surface quality of beech wood after plane milling* [online] 2015. [cit. 22.3.2019] Dostupné z: < https://www.researchgate.net/publication/277248463_Effect_of_thermal_treatment_on_surface_quality_of_beech_wood_after_plane_milling?fbclid=IwAR1GgrLESqbavZVfUB3ImpXvsTjmWr2nMogNKC4r3v36w0KUAV0grfnco_E >.

KAPLAN, L.; KVIETKOVÁ, S. M.; SEDLECKÝ, M.; SIKORA, A.: *The Effect of Thermal Modification of Oak Wood on Waviness Values in the Planar Milling Process, Monitored with a Contact Method* [online] 2018. [cit. 24.3.2019] Dostupné z: < https://www.researchgate.net/publication/322618221_The_Effect_of_Thermal_Modification_of_Oak_Wood_on_Waviness_Values_in_the_Planar_Milling_Process_Monitored_with_a_Contact_Method >.

West African Iroko Timber [online] 2018. [cit. 21.12.2018]. Dostupné z: < <https://www.timbersource.co.uk/hardwood/west-african-range/west-african-iroko-timber> >.

Iroko (Milicia excelsa) [online] 2018. [cit. 26.12.2018]. Dostupné z: < <http://www.woodworkdetails.com/knowledge/wood/species/imported-hardwood/iroko> >.

Iroko / African Teak [online] 2018. [cit. 28.12.2018]. Dostupné z: < <https://www.woodworkerssource.com/iroko-african-teak/iroko-44-lumber.html> >.

Iroko [online] 2019. [cit. 2.1.2019]. Dostupné z: < <http://www.arakolin.cz/cs/dreviny/iroko> >.

Iroko [online] 2019. [cit. 2.1.2019]. Dostupné z: < <http://exoticke-drevo.com/iroko.html> >.

A Tree Made of Stone: Milicia excelsa [online] 2019. [cit. 3.1.2019]. Dostupné z: < <https://www.theseedybusiness.com/blog/a-tree-made-of-stone-milicia-excelsa> >.

Iroko [online] 2019. [cit. 4.1.2019]. Dostupné z: < <https://www.wood-database.com/iroko/> >.

Iroko – Wood Highlight [online] 2019. [cit. 10.1.2019]. Dostupné z: < <http://www.hardwoodweb.com/wp/iroko-wood-highlight/> >.

Modifikované dřevo [online] 2019. [cit. 4.2.2019]. Dostupné z: < <http://www.n-i-s.cz/cz/modifikovane-drevo/page/217/> >.

ThermoWood – Production statistics 2016 – presentations [online] 2019. [cit. 9.2.2019]. Dostupné z: < <http://asiakas.kotisivukone.com/files/en.thermowood.palvelee.fi/uutiset/Productionstatistics2016.pdf> >.

Sandberg, D.; *et al.*: *Wood modification technologies – a review* [online] 2019. [cit. 17.2.2019]. Dostupné z: < <https://iforest.sisef.org/contents/?id=ifor2380-010> >.

ThermoWood [online] 2019. [cit. 23.2.2019]. Dostupné z: < <https://www.thermowood.fi/1> >.

lanadmin: *CELLULOSE, WOOD PULP, IN PROCESSED FOODS* [online] 2019. [cit. 28.2.2019]. Dostupné z: < <http://www.pulp-paperworld.com/press-releases/featured-article/item/4108-cellulose-wood-pulp-in-processed-foods> >.

Chemické složení dřeva [online] 2019. [cit. 1.3.2019]. Dostupné z: <
<http://drevo.celyden.cz/sloen-a-vlastnosti-deva/chemicke-slozeni-dreva/index.html> >.

Tepelně upravené dřevo – termowood [online] 2019. [cit. 3.3.2019]. Dostupné z: <
<http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-termowood/129-thermowood-tepelne-upravene-drevo-vyhody-materialu> >.

Straka, J.: *Obrábění dřeva – prezentace* [online] 2019. [cit. 12.3.2019]. Dostupné z: <
https://www.zsmitusova16.cz/download_file.php?file=1425553808 >.

ELUC: *Kontrola drsnosti povrchu* [online] 2019. [cit. 22.3.2019] Dostupné z: <
<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1102> >.

Zákony, normy a vyhlášky

ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 24 s.

ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 16 s.

ČSN EN ISO 322. *Dosky z dřeva: Zisťovanie vlhkosti*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 7 s.

ČSN EN ISO 323. *Dosky z dřeva: Zisťovanie hustoty*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 7 s.