

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra základního zpracování dřeva



**Vliv tvrdosti termicky modifikovaného dřeva na výslednou
kvalitu frézovaného povrchu**

Diplomová práce

Autor: Bc. Barbora Jelšínová

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Sedlecký, Ph. D.

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Barbora Jelšínová

Dřevařské inženýrství
Dřevařské inženýrství

Název práce

Vliv tvrdosti termicky modifikovaného dřeva na výslednou kvalitu frézovaného povrchu

Název anglicky

Influence of material hardness on final quality of milled surface

Cíle práce

Cílem práce je zjištění, jak tvrdost materiálu ovlivňuje výslednou kvalitu frézovaného povrchu. Zkoumaný materiál bude termicky modifikované dřevo vybraných druhů. Vliv tvrdosti bude zkoumán při proměnných parametrech frézování a rozdílných teplotách termické modifikace.

Metodika

1. Provedení literární rešerše na kvalitu povrchu, frézování a měření tvrdosti.
2. Návrh metodiky samotné práce.
3. Výroba zkušebních vzorků, a změření kvality obrobeneho povrchu a tvrdosti materiálu.
4. Vyhodnocení dat statistickými analýzami a zpracování výsledků
5. Vyhodnocení výsledků, závěr a zhodnocení přínosu pro praxi a vědu.

Doporučený rozsah práce

60-80

Klíčová slova

Kvalita povrchu, frézování, tvrdost, termická modifikace

Doporučené zdroje informací

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*. London: Wiley, 2011. ISBN 978-1-84821-315-9.

LISIČAN, J. – VYSOKÁ ŠKOLA LESNÍCKA A DREVÁRSKA (ZVOLEN, SLOVENSKO). FAKULTA DREVÁRSKA.

Obrábanie a delenie drevných materiálov. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska, 1988.

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE. DREVÁRSKA FAKULTA, – BARCÍK, Š. *Technika pre výrobu nábytku*.

Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-228-2055-4.



Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 27. 2. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 11. 06. 2020

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Vliv tvrdosti termicky modifikovaného dřeva na výslednou kvalitu frézovaného povrchu“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Miroslava Sedleckého, Ph. D., a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 15.6.2020

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Miroslavu Sedleckému, Ph. D. za odborné vedení a podporu při tvorbě diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat mé rodině a přátelům za pomoc a podporu při studiu.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá závislostí mezi tvrdostí a jakostí frézovaného povrchu termicky modifikovaného dřeva. Pro měření byly použity tři tropické dřeviny: meranti, iroko a teak. Jakost obrobeného povrchu byla zhodnocena za pomoci průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti „Ra“ a vlnitosti „Wa“, které byly měřeny kontaktní metodou. Vybrané vlastnosti byly zkoumány jak na neupravených vzorcích, tak na tepelně upravených při teplotách 160, 180 a 210 °C. Dále byly pro porovnávání vybrány různé parametry obrábění, a to: řezná rychlost (20, 30, 40 m/s), podávací rychlost (4, 8, 11 m/min) a úhel γ (15, 20, 25 °). Po zhodnocení závislosti těchto parametrů na tvrdost a jakost povrchu, byla vyhodnocena korelace mezi tvrdostí a jakostí povrchu. Z výzkumu vyplývá, že se neprokázala lineární závislost mezi tvrdostí termicky modifikovaného dřeva a jakostí obráběného materiálu, i když se prokázala závislost mezi teplotou termické modifikace a tvrdostí.

Klíčová slova: kvalita povrchu, frézování, tvrdost, termická modifikace

Abstract

The diploma thesis deals with the dependence between hardness and quality of milled surface of thermally modified wood. Three tropical woody plants were used for measurement: meranti, iroko and teak. The quality of the machined surface was evaluated using the average arithmetic deviations of the roughness profile "Ra" and the corrugation "Wa", which were measured by the contact method. Selected properties were examined on untreated samples and heat treated at temperatures of 160, 180 and 210 °C. For comparison, various machining parameters were selected, namely: cutting speed (20, 30, 40 m/s), feed rate (4, 8, 11 m/min) and tool angle γ (15, 20, 25 °). After evaluating the dependence of these parameters on hardness and surface quality, the correlation between hardness and surface quality was evaluated. The research shows that there was no linear dependence between the hardness of the thermally modified wood and the quality of the material being machined, although the relationship between the temperature of the thermal modification and the hardness was demonstrated.

Keywords: surface quality, milling, hardness, thermal modification

Obsah

1. Úvod.....	13
2. Cíl práce	14
3. Rozbor problematiky.....	15
3.1. Tropické dřeviny.....	15
3.1.1. Meranti (Shorea).....	15
3.1.2. Iroko (Milicia Excelsa).....	16
3.1.3. Teak (Tectona Grandis Linn)	16
3.2. Frézování.....	17
3.2.1. Účel a technologické způsoby frézování	17
3.2.2. Kinematika frézování	22
3.2.3. Nástrojové a pracovní úhly	26
3.2.4. Vznik třísky	27
3.2.5. Otupení frézovacího nástroje.....	28
3.2.6. Kvalita frézovaného povrchu.....	29
3.3. Kvalita povrchu	33
3.3.1. Základní pojmy a definice metrologie povrchu	34
3.3.2. Faktory ovlivňující jakost dřeva.....	40
3.4. Tvrdost.....	41
3.4.1. Statická tvrdost.....	41
3.4.2. Dynamická tvrdost.....	44
3.4.3. Faktory ovlivňující tvrdost dřeva	44
4. Metodika.....	46
4.1. Strojové a přístrojové vybavení	46
4.2. Zjištění hustoty a vlhkosti	50
4.3. Příprava zkušebních vzorků	51
4.4. Tepelné ošetření vzorků.....	52
4.5. Metodika měření průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti a vlnitosti.....	53

4.6. Statistické zpracování dat	54
5. Výsledky a diskuze	55
5.1. Drsnost	55
5.2. Vlnitost	63
5.3. Tvrdost.....	71
5.4. Korelace.....	79
6. Závěr	81
6.1. Celkové shrnutí	81
6.2. Přínos pro vědu a praxi	83
7. Zdroje	84

Přehled použitých zkratk

ANOVA	Analysis of variance (analýza rozptylu)
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
cca	circa (přibližně)
<i>et al.</i>	et alii (a kolektiv)
např.	například
pozn.	poznámka

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obrázek 1: Způsob frézování z hlediska využití (Siklienka a Kminiak, 2013)	18
Obrázek 2: Válcové frézování (Siklienka a Kminiak, 2013)	19
Obrázek 3: Nesousledné frézování (Humár, 2003)	20
Obrázek 4: Sousledné frézování (Humár, 2003)	20
Obrázek 5: Kuželové frézování (Siklienka a Kminiak, 2013)	21
Obrázek 6: Čelní frézování (Siklienka a Kminiak, 2013)	21
Obrázek 7: Čelní-kuželové frézování (Siklienka a Kminiak, 2013)	22
Obrázek 8: Schéma oddělování třísky během válcového frézování (Prokeš, 1978)	23
Obrázek 9: Geometrie řezného klínu	26
Obrázek 10: Fáze otupení nástroje (Vavroček et al., 1996)	28
Obrázek 11: Úhel dotyku nástroje s dřevními vlákny (Drápela, 1980)	29
Obrázek 12: Nomogram pro určení hloubky vlnek a jejich intervalu (Drápela, 1980)	30
Obrázek 13: Povrch obrobku při odchylce břitů od řezné kružnice (Lisičan, 1996)	32
Obrázek 14: Profil povrchu(www1.gantep.edu.tr)	35
Obrázek 15: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti (ČSN EN ISO 4287, 1999)	36
Obrázek 16: Největší výška výstupků profilu (ČSN EN ISO 4287, 1999)	38
Obrázek 17: Největší hloubka prohlubní profilu (ČSN EN ISO 4287, 1999)	38
Obrázek 18: Největší výška profilu (ČSN EN ISO 4287, 1999)	39
Obrázek 19: Frézka FSV	46
Obrázek 20: Podávací zařízení Maggi	47
Obrázek 21: Termokomora Katres (1)	48
Obrázek 22: Termokomora Katres (2)	48
Obrázek 23: Profilometr Form Talysurf 50 Intra	49
Obrázek 24: Tvrdoměr DuraVision	49
Obrázek 25: Kategorizace zkušebních těles	51

Tabulka 1: Tvrdost dřeva podle Janka (www.converter.cz)	43
Tabulka 2: Parametry frézky	46
Tabulka 3: Parametry použitého nástroje.....	47
Tabulka 4: Parametry podávacího zařízení.....	47
Tabulka 5: Parametry formátovací kotoučové pily.....	48
Tabulka 6: Hustota dle stupně opracování ($\text{g}\cdot\text{cm}^3$).....	53
Tabulka 7: Hodnoty korelace	54
Tabulka 8: Vliv termické modifikace na drsnost s využitím Duncanova testu.....	56
Tabulka 9: Vliv řezné rychlosti na drsnost s využitím Duncanova testu.....	58
Tabulka 10: Vliv podávací rychlosti na drsnost s využitím Duncanova testu.....	60
Tabulka 11: Vliv úhlu γ na tvrdost (R_a) s využitím Duncanova testu.....	62
Tabulka 12: Vliv termické modifikace na vlnitost (W_a) s využitím Duncanova testu.....	64
Tabulka 13: Vliv řezné rychlosti na vlnitost (W_a) s využitím Duncanova testu.....	66
Tabulka 14: Vliv podávací rychlosti na vlnitost (W_a) s využitím Duncanova testu.....	68
Tabulka 15: Vliv úhlu γ na vlnitost (W_a) s využitím Duncanova testu.....	70
Tabulka 16: Vliv termické modifikace na tvrdost s využitím Duncanova testu.....	72
Tabulka 17: Vliv řezné rychlosti na tvrdost s využitím Duncanova testu.....	74
Tabulka 18: Vliv podávací rychlosti na tvrdost s využitím Duncanova testu.....	76
Tabulka 19: Vliv úhlu γ na tvrdost s využitím Duncanova testu.....	78
Tabulka 20: Korelace tvrdosti s W_a a R_a	79
Tabulka 21: Korelace tvrdosti s W_a a R_a podle stupně termické modifikace.....	80

1. Úvod

Dřevo hrálo už od počátku v životech lidí důležitou roli. Jeho využití, bylo zastoupeno v mnoha oblastech, jako jsou především: palivové dříví, materiál pro výrobu nástrojů, stavbu přístřeší nebo jako součást zbraní (Gaff, 2009a; Gaff, 2009b).

Během postupného vývoje se použití dřeva rozšířilo i do dalších průmyslových odvětví, a to například: výroba lodí, sportovního vybavení, nábytku, hraček atd. Jeho užitečnost je všestranná, a dokonce i objev a vývoj nových materiálů ho nedokázali nedokázaly vytlačit z některých odvětví. Velkou výhodou je, že ve srovnání s jinými materiály patří dřevo mezi materiály obnovitelné, a přitom má širokou oblast využití jak v jednoduchých a náročnějších interiérech, tak i v různých exteriérových expozicích (Dubovský *et al.*, 1998).

Také je vhodné uvést, že dřevo je z ekologického hlediska mnohem cennější ve srovnání s jinými materiály. Je považováno za materiál s pozitivním dopadem na životní prostředí a jeho životní cyklus je ekologický. Výrobky ze dřeva jsou stále více vystavovány podmínkám s nepříznivými vlivy na jejich některé vlastnosti, což zapříčiňuje různé defekty. Tento problém byl v minulosti řešen především dvěma způsoby, a to použitím tropických dřevin nebo formou ošetření konzervačními činidly (Šefců *et al.*, 2000). Zájem o dřevo se v posledních letech výrazně zvýšil, a proto je nutné vyvinout technologie, které by odstranily nepříznivé vlastnosti dřeva a zvýšily jeho životnost. Existuje mnoho variant, jak dřevo chránit (např. nejrůznějšími nátěrovými hmotami apod.). Jednou z možností, jak vlastnosti dřeva zlepšit, je tepelná úprava dřeva. (Gaff, 2009a; Gaff, 2009b). Vznik nových modifikovaných materiálů ze dřeva a na bázi dřeva souvisí s hledáním nových, nebo inovací dosavadních možností obrábění.

Jednou z velmi používaných technologií obrábění dřeva je frézování. Slouží ke srovnávání křivých ploch, tloušťkování (tloušťkové egalizaci), vytváření tvarových ploch, různých profilů a reliéfů (Siklienka a Kminiak, 2013).

2. Cíl práce

Cílem práce je zjištění, jak tvrdost materiálu ovlivňuje výslednou kvalitu frézovaného povrchu. Zkoumaný materiál bude termicky modifikované dřevo vybraných druhů. Vliv tvrdosti bude zkoumán při proměnných parametrech frézování a rozdílných teplotách termické modifikace. Dále také bude předmětem výzkumu zjištění vlivu výše uvedených proměnných parametrů na kvalitu povrchu (průměrnou aritmetickou úchylku profilu drsnosti Ra a vlnitosti Wa).

3. Rozbor problematiky

3.1. Tropické dřeviny

Tropické dřeviny mají své charakteristické vlastnosti, díky kterým v minulosti byly a stále jsou velmi oblíbené (Pánek, 2015). Při porovnání s tuzemskými dřevinami si můžeme všimnout, že se u nich vyskytuje kontinuální neboli nepřetržitě přirůstání dřeva. To je zapříčiněno tím, že dřeviny vyskytující se v mírném pásu, mají v období zimy tzv. klidovou přestávku, která může být v tropech zapříčiněna pouze obdobím sucha. Pravidelný růst se ve vlhkých oblastech řídí samotnou rostlinou nebo podle srážek (Rohwer, 2002). Dřevo také obsahuje velké množství extraktivních látek. Díky těmto skutečnostem je odolné vůči vlhkosti, hnilobě, parazitům, teplotním změnám a je také velmi husté, tvrdé a odolné vůči oděru (Josten, 2010; Pánek, 2015). Mezi nevýhody lze zařadit např. barevnou nestálost, vlivem vnějších klimatických podmínek (vítr, UV záření apod.) dochází k šedivění dřeva, až k jeho zčernání. Jde však pouze o estetické vady, kterým se dá předcházet vhodnou péčí a úpravou (laky, oleje). Dalšími nevýhodami tropického dřeva je např. vysoká prašnost při zpracovávání (zejména broušení), vysoká cena, udržitelný rozvoj a častěji diskutované ekologické aspekty (Pánek, 2015).

Tropické dřeviny se využívají v exteriéru i interiéru. Používají se k výrobě nábytku, hudebních nástrojů, uměleckých předmětů, ale také pro stavebně-truhlářské účely (např. terasy, okna, schodiště) (Pánek, 2015). Využití jednotlivých druhů závisí na znalostech chování v konkrétních podmínkách a určitých vlastnostech (Vigué, 2009).

3.1.1. Meranti (Shorea)

Meranti je jeden z názvů pro tvrdé tropické dřevo ze stromů rodu Shorea, které rostou v nížinách i vyšších polohách jihovýchodní Asie (Thajsko, Malajsie, Filipíny, Borneo, Sumatra apod.). Dorůstá do výšky 45 m a výše, průměr kmene má okolo 1,5 m (www.veneti.cz). Řadí se mezi jádrové dřeviny. Podle místa výskytu může mít jádro barvu hnědorůžovou až tmavě červenou, jeho barva je na světle proměnlivá, a to jak do světlejších odstínů, tak i do tmavších. Má běl širokou 6–10 cm. Barva běle je šedá až šedorůžová a tmavne do nahnědlých odstínů. Přirůstové zóny nejsou nijak zřetelné. Cévy lze na podélných řezech pozorovat jako malé rýhy.

Dřevní paprsky na podélných řezech utvářejí zřetelná tmavá zrcátka. Pryskyřičné kanálky se nacházejí v tangenciálních svazcích v podélném parenchymu, díky kterým je možné na podélných řezech vidět jemné žilky a světlé proužky na řezech příčných. Texturu má středně hrubou, rovnovláknitou a díky střídavé točivosti vláken je žíhaná. Povrch je lesklý, pokud je dřevo čerstvé, má velmi patrnou charakteristickou aromatickou vůni (Šlezingerová, 2013).

3.1.2. Iroko (*Milicia Excelsa*)

Iroko neboli chlorofora štíhlá je původem ze západní a střední Afriky. Strom dorůstá do výšky 30–40 m a kmen dosahuje v průměru 1–1,5 m (www.exoticke-drevo.com). Patří mezi jádrová dřeva. Jádrové dřevo je okrově žluté a na vzduchu rychle hnědne do barvy starého dubu, do tabákové hnědé barvy, nebo do olivově hnědé barvy. Běl má běložlutou barvu, tloušťku 5-10 cm, od jádrového dřeva dobře odlišitelnou. Struktura dřeva je stejnorodá, spíše hrubá. Cévy má široké a okem dobře viditelné. Dřeňové paprsky jsou velmi jemné, pouhým okem sotva viditelné, vyskytují se na radiálním řezu ve formě zrcátek. Má pruhovanou kresbu, kterou můžeme pozorovat na radiálním řezu. Po odstranění běle je dřevo dobře uchovatelné, velmi trvanlivé a díky obsahu olejnatých pryskyřic i velmi odolné proti vodě, hnilobě, plísním a hmyzu a neztrácí svou odolnost ani při přímém uložení na zem (www.arakolin.cz; www.exoticke-drevo.com).

3.1.3. Teak (*Tectona Grandis* Linn)

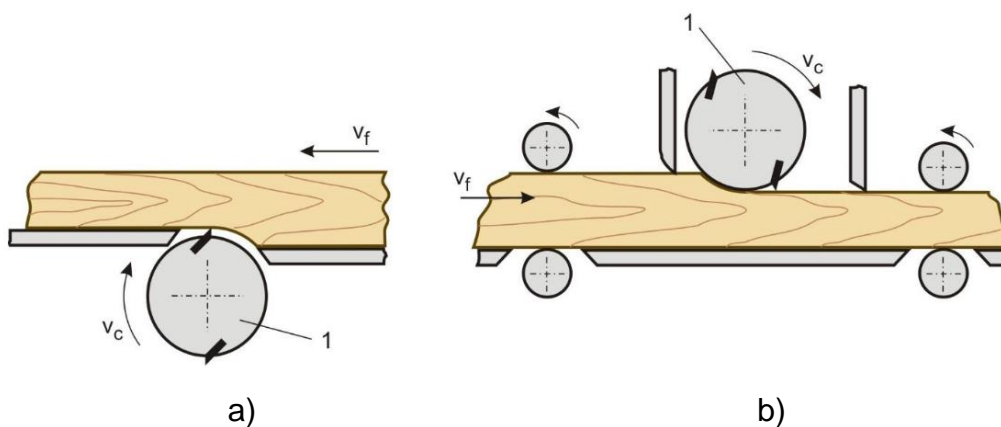
Teak, jinak také teka obrovská, je dřevina původem z jižní a jihovýchodní Asie. Dosahuje výšky 30–40 m (www.arakolin.cz). Barva jádrového dřeva je kolísavá – žlutavá až žlutohnědá, občas hnědo-zelenavá, na světle a vzduchu tmavne do světlehnědé až čokoládově hnědé barvy. Bělové dřevo teaku je zlatavě bílé až světle šedé, s tloušťkou 2-3 cm, je od jádrového dřeva dobře rozlišitelné a pro další využití bezcenné. Struktura dřeva je zpravidla hustá, sourodá s rovnými vlákny. Dřevo obsahuje olejnaté pryskyřice, je tedy na dotek mastné. V cévách můžeme nalézt krystaly kyselého fosforečnanu vápenatého, v jehož důsledku může dřevo působit našedle. Použití teaku je velmi žádoucí. Je považován za jednu z nejcennějších a nejlepších dřevin, jaké vůbec známe. Má vysokou odolnost proti výkyvům vlhkosti, malé sesychání a bobtnání, dlouhou dobu trvanlivosti, vysokou pevnost a poměrně snadné opracování (www.arakolin.cz).

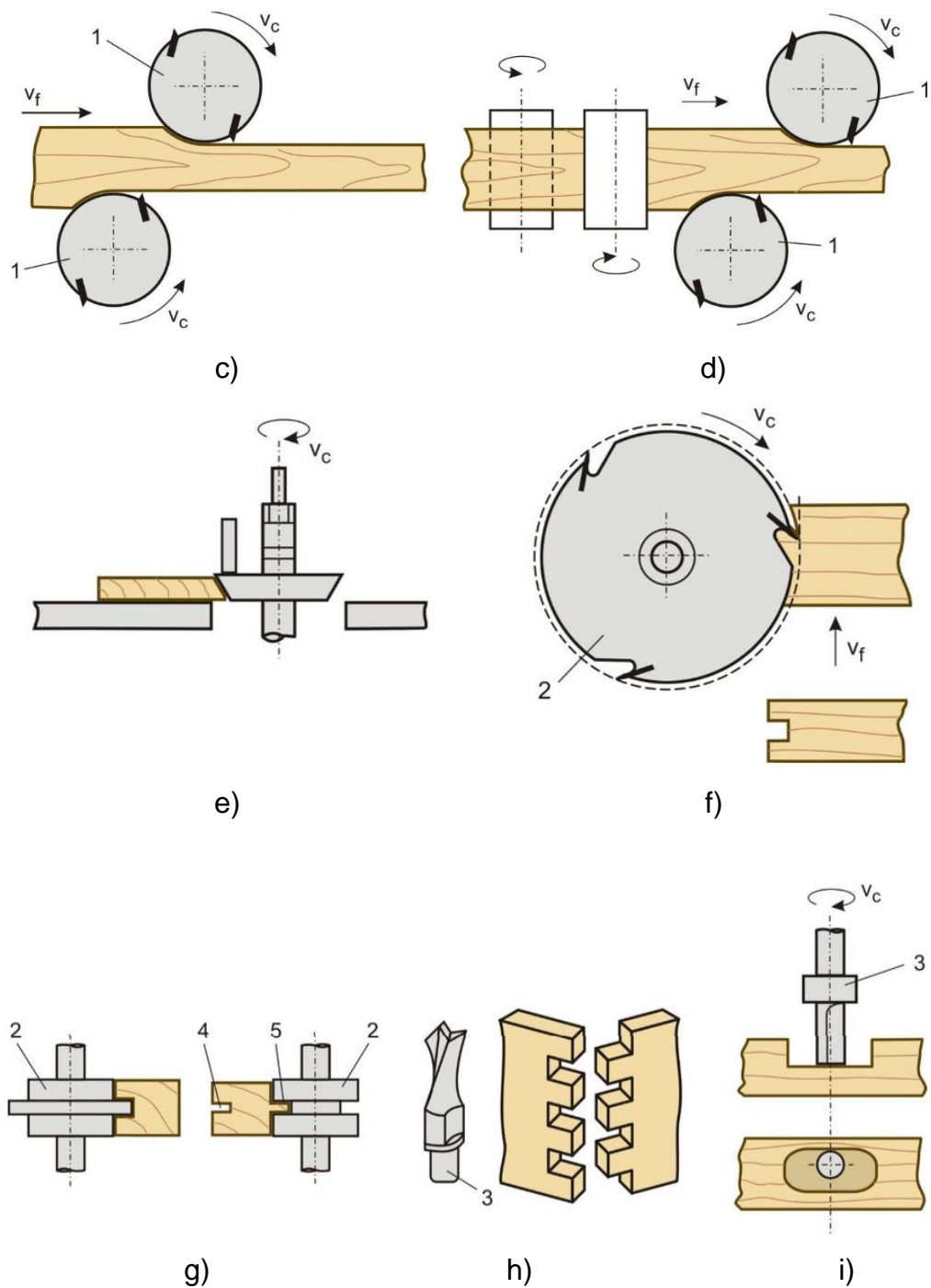
3.2. Frézování

Frézování patří mezi způsoby třískového obrábění rovinných i tvarových, vnitřních i vnějších ploch otáčejícím se nástrojem – frézou. Posuv většinou koná obrobek, a to ve směru kolmém k ose rotace nástroje (Prokeš, 1978). Řezný proces probíhá přerušovaně, vždy jeden zub frézy odřezává krátkou třísku proměnné tloušťky (Humár, 2003). Materiál je v praxi obráběn za různými účely ve všech směrech vzhledem k průběhu dřevních vláken, nejčastěji ovšem v podélném až podélně příčném směru (Prokeš, 1978).

3.2.1. Účel a technologické způsoby frézování

Cílem frézování je získání požadovaného geometrického tvaru obrobku daných rozměrů a vyhovující kvality nebo vytvoření požadovaných tvarových ploch (Prokeš, 1978). Jak uvádí Siklienka a Kminiak (2013) frézování je velmi využívanou technologií obrábění dřeva za účelem srovnávání křivých ploch, tloušťkové egalizace – tloušťkování, vytváření křivých ploch, různých profilů a reliéfů.





Obrázek 1: Způsob frézování z hlediska využití (Siklienka a Kminiak, 2013)

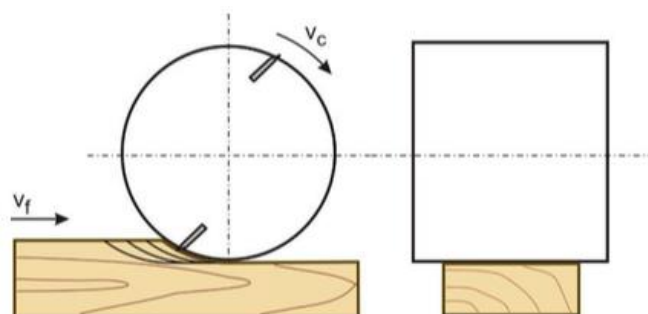
a) srovnávání, b) tloušťkování jednostranné, c) čtyřstranné frézování, d) čtyřstranné frézování,
 e) tvarové frézování, f) čepování, g) frézování drážky a pera, h) frézování spojů rybinovací frézou,
 i) kopírování stopkovou frézou, v_f – posuvná rychlost, v_c – řezná rychlost, 1 – nožová hřídel,
 2 – kotoučková fréza, 3 – stopková fréza, 4 – drážka, 5 – pero

Při procesu frézování je hlavním pohybem řezný pohyb otáčivý, který vykonává vícebřitý nástroj – fréza. Obrobek koná pohyb vedlejší. Ve speciálních případech se obrobek otáčí nebo koná pohyb po prostorové křivce. Vzájemným pohybem nástroje a obrobku vzniká tvar výsledného relativního pohybu – cykloida. Řezný proces probíhá přerušovaně, tříška je odebírána pomocí zubů frézy, které do materiálu vnikají a následně místo řezu znovu opouští (Siklienka a Kminiak, 2013).

Z hlediska polohy osy rotace nástroje vůči obráběnému povrchu a plochy, které nože nástroje během frézování opisují, lze frézování rozdělit do čtyř skupin:

Válcové frézování

Během opracovávání dochází ke kontaktu povrchu obrobku a obvodové strany frézy, jejíž osa je rovnoběžná s obráběnou plochou (Siklienka a Kminiak, 2013). Nože jsou při tomto způsobu umístěné po obvodu frézy a opisují válcovou plochu (Prokeš, 1978).



Obrázek 2: Válcové frézování (Siklienka a Kminiak, 2013)

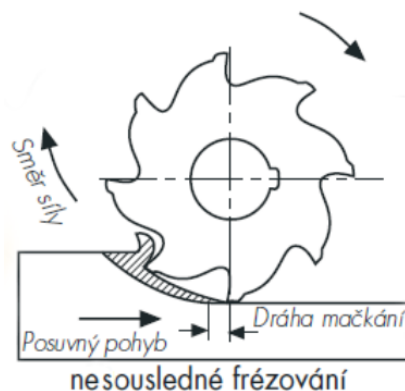
v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost

Frézování válcovými frézami je možno rozdělit do dvou skupin podle způsobu a průběhu vytváření třísky:

a) Nesousledné frézování

Při tomto způsobu odebírání třísek se fréza otáčí vzhledem k posuvu obrobku proti směru. Průřez vznikající třísky se při tom mění od nuly hodnoty do maxima. Nevýhodou nesousledného frézování je, že zuby frézy v začátku řezu spíše prokluzují po již obrobené ploše, následkem toho se zahřívají, rychleji otupují, odírají, což vede k horší jakosti upraveného povrchu. Důsledkem toho, že řezná síla působí směrem vzhůru, tedy proti upínacím silám, se snižuje i řezný výkon.

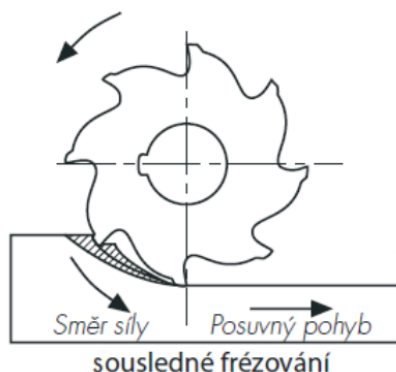
Výhodou tohoto způsobu je menší opotřebení stroje vzhledem k tomu, že je průběh frézování klidný, bez nárazů. Je ideální pro frézování obrobků, které mají tvrdou povrchovou vrstvu, protože zuby do tvrdé vrstvy pronikají zespodu a následně ji odlamují, neotupují se tedy tak rychle.



Obrázek 3: Nesousledné frézování (Humár, 2003)

b) Sousedné frézování

Smysl sousledného frézování spočívá v tom, že se fréza otáčí sousledně se směrem posuvu obrobku. Zuby frézy vnikají do obrobku ve chvíli, kdy je průřez vznikající třísky maximální a končí na obrobené ploše nulovým průřezem. Nevýhodou tohoto způsobu jsou silové nárazy při vnikání zubů frézy do materiálu. Nárazy je možné zmírnit použitím fréz se zkosenými zuby. Působící řezná síla ve směru dolů přitlačuje obrobek k opěrné ploše. Výhodou je vyšší kvalita obrobené plochy oproti nesouslednému frézování.

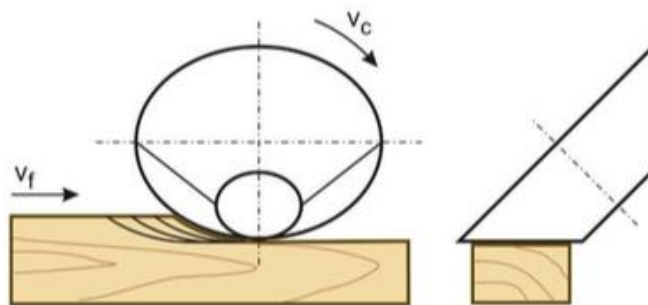


Obrázek 4: Sousedné frézování (Humár, 2003)

Kuželové frézování

Osa rotace je při této metodě obrábění vůči opracovávané ploše skloněna pod určitým úhlem ($10^\circ - 12^\circ$). Nože frézy přitom opisují kuželovou plochu (Prokeš, 1978).

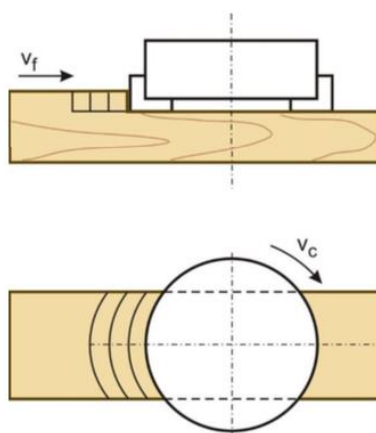
Tato metoda je podle Krjaževa (1963) výrazně produktivnější než válcové frézování, a to díky rychlosti posuvu, která se zvýší až třikrát, a přitom se vytváří malá tloušťka třísky, což zajišťuje jakostní obrobek.



Obrázek 5: Kuželové frézování (Siklienka a Kminiak, 2013)

Čelní frézování

Osa rotace frézy je při tomto způsobu obrábění kolmá k opracovávané ploše. Třísku odebírají nože po obvodu frézy, (stejně jako u frézování pomocí válcových fréz) ale také břity umístěné na čelní ploše nástroje a opisují válcovou plochu (Prokeš, 1978). Ve srovnání s válcovým frézováním je i tato metoda výhodnější, a to z důvodu, že je v řezu více nožů. Stroj je rovnoměrně namáhán a je zajištěn jeho klidný chod.

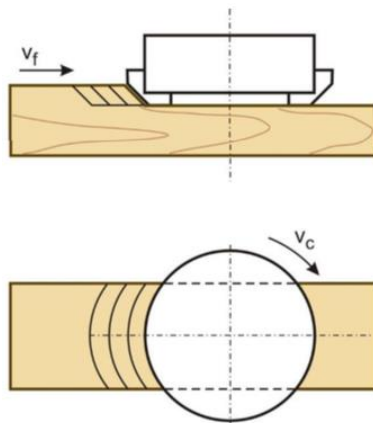


Obrázek 6: Čelní frézování (Siklienka a Kminiak, 2013)

v_f – posuvná rychlost, v_c – řezná rychlost

Frézování pomocí čelně – kuželových fréz

Osa otáčení je v tomto případě stejně jako u čelního frézování kolmá s opracovávanou plochou. Rozdíl spočívá v tom, že jsou řezné hrany vzhledem k obráběnému povrchu skloněné pod určitým úhlem.



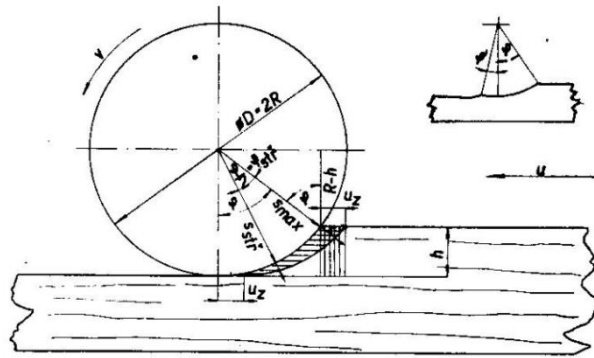
Obrázek 7: Čelní-kuželové frézování (Siklienka a Kminiak, 2013)

v_f – posuvná rychlost, v_c – řezná rychlost

3.2.2. Kinematika frézování

Prokeš (1978) znázorňuje kinematiku oddělování třísky na obrázku 8. Průřez třísky se ovšem může od nominálního průřezu v praxi lišit, a to vlivem otupení břítu, odchylek břitů od řezné kružnice, nepřesnosti chodu vřetena, nepravidelnosti chodu podávacího zařízení, a hlavně vlivem nestejnorodosti a odštípování hmoty obráběného materiálu.

Dráha břítu tvoří cykloidu; vezmeme-li však v úvahu frézovací nástroje s větším průměrem, můžeme vzhledem k výrazně vyšší řezné rychlosti oproti rychlosti posuvu obrobku předpokládat, že na úseku záběru břítu tvoří jeho řezná dráha kružnici. Během jedné otáčky je břit v záběru na délce oblouku l , který náleží středovému úhlu $\varphi' + \varphi$. Při výpočtu třísky l se většinou uvažuje úhel φ , a to proto, že úhel φ' je velmi malý (Prokeš, 1978).



Obrázek 8: Schéma oddělování třísky během válcového frézování (Prokeš, 1978)

Teoretická délka třísky

$$l = R \cdot \sqrt{2 \frac{h}{R}} = \sqrt{D \cdot h} = \frac{f_z \cdot h}{h_{stř}} \quad (1)$$

Kde: l [mm]	-	teoretická délka třísky,
R [mm]	-	poloměr řezné kružnice,
h [mm]	-	tloušťka odebírané vrstvy,
D [mm]	-	průměr řezné kružnice,
f_z [mm]	-	posuv na zub,
$h_{stř}$ [mm]	-	střední tloušťka třísky.

Teoretická střední tloušťka třísky

$$h_{stř} = \frac{f_z \cdot h}{l} \approx \frac{f_z \cdot h}{\sqrt{h \cdot D}} \approx f_z \sqrt{\frac{h}{D}} \approx \frac{v_f \cdot 1000}{n \cdot z} \sqrt{\frac{h}{D}} \quad (2)$$

Kde: $h_{stř}$ [mm]	-	teoretická střední tloušťka třísky,
f_z [mm]	-	posuv na zub,
h [mm]	-	tloušťka odebírané vrstvy,
D [mm]	-	průměr řezné kružnice,
v_f [m/min]	-	rychlost posuvu,
n [min^{-1}]	-	otáčky vřetene,
z [-]	-	počet zubů frézy.

Teoretická maximální tloušťka třísky

$$h_{max} \approx f_z \cdot \sin\varphi \approx 2 \cdot h_{stř} \quad (3)$$

Kde:	h_{max} [mm]	-	teoretická maximální tloušťka třísky,
	f_z [mm]	-	posuv na zub,
	$h_{stř}$ [mm]	-	teoretická střední tloušťka třísky.

Řezná rychlost

Řezná rychlost v_c vyjadřuje rychlost pohybu uvažovaného bodu ostří nože frézy vůči obrobku. Udává počet otáček nástroje za minutu, charakterizuje hlavní řezný pohyb a je dána vztahem:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (4)$$

kde:	v_c [m/min]	-	řezná rychlost,
	D [mm]	-	průměr řezné kružnice,
	n [min^{-1}]	-	otáčky vřetene.

Otáčky vřetene

Otáčky vřetene n udávají rychlost, kterou nůž opracovává materiál a jsou vyjádřeny vztahem:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (5)$$

kde:	n [min^{-1}]	-	otáčky vřetene,
	v_c [m/min]	-	řezná rychlost,
	D [mm]	-	průměr řezné kružnice.

Posuv na zub

Posuv na zub f_z vyjadřuje velikost dráhy, o kterou se posune obrobek během jedné otáčky frézy, charakterizuje vedlejší řezný pohyb a je dán následujícím vztahem:

$$f_z = \frac{v_f}{z \cdot n} \quad (6)$$

kde:	f_z [mm]	-	posuv na zub,
	v_f [m/min]	-	rychlost posuvu,
	z [-]	-	počet zubů frézy,
	n [min ⁻¹]	-	otáčky frézy.

Posuv na otáčku

Posuv na otáčku f_n vyjadřuje velikost dráhy, o kterou se posune obrobek během jedné otáčky frézy a je možné ho vyjádřit vztahem:

$$f_n = \frac{v_f}{n} = f_z \cdot z \quad (7)$$

kde:	f_n [mm]	-	posuv na otáčku,
	v_f [m/min]	-	rychlost posuvu,
	n [min ⁻¹]	-	otáčky frézy,
	f_z [mm]	-	posuv na zub,
	z [-]	-	počet zubů frézy.

Rychlost posuvu

Rychlost posuvu v_f vyjadřuje velikost dráhy, o kterou se obrobek posune vzhledem k fríze za minutu a je vyjádřena vztahem:

$$v_f = f_n \cdot n = f_z \cdot n \cdot z \quad (8)$$

kde:	v_f [m/min]	-	rychlost posuvu,
	f_n [mm]	-	posuv na otáčku,
	n [min ⁻¹]	-	otáčky frízy,
	f_z [mm]	-	posuv na zub,
	z [-]	-	počet zubů frízy.

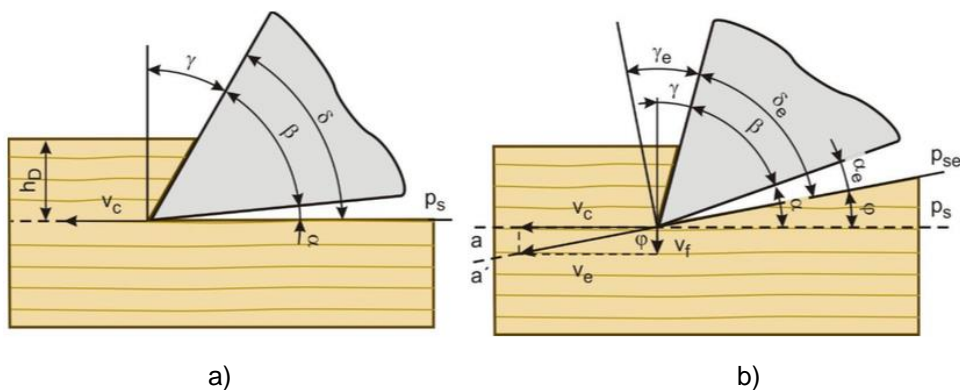
3.2.3. Nástrojové a pracovní úhly

Pro určení geometrické polohy řezné hrany, čela a hřbetu jsou důležité úhly. Úhly můžeme rozdělit do dvou skupin – nástrojové a pracovní (Obrázek 9).

Rozlišujeme:

- úhel hřbetu α – úhel, který svírá rovina řezu a hřbet nástroje,
- úhel řezného klínu β – úhel mezi hřbetem a čelem,
- úhel čela γ – úhel mezi základní rovinou a rovinou čela.

V pracovní souřadnicové soustavě se označení úhlů doplňuje indexem „e“.



Obrázek 9: Geometrie řezného klínu

a) v nástrojové souřadnicové rovině, b) v pracovní souřadnicové rovině

h_D – nominální tloušťka třísky, v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost, v_e – pracovní rychlost,
 ϕ – úhel posuvného pohybu, γ – nástrojový úhel čela, β – nástrojový úhel řezného klínu,
 α – nástrojový úhel hřbetu, δ – nástrojový řezný úhel, γ_e – pracovní úhel čela, α_e – pracovní úhel hřbetu, δ_e – pracovní řezný úhel, P_f – nástrojová základní rovina, P_{re} – pracovní základní rovina

Závislost mezi úhly nástroje:

- součet úhlu hřbetu, řezného klínu a čela v nástrojové souřadnicové soustavě rovin normálových ortogonálních, bočních a zadních je 90° ,
- v praxi bývají úhly hřbetu, čela a řezného klínu ostrými úhly.

3.2.4. Vznik třísky

Obrobek se při prvním styku s řezným nástrojem nejprve méně nebo více deformuje (záleží na jeho pružnosti, velikosti úhlů řezu, stupně otupení břitu atd.) následně, po překonání určitého napětí v blízkém okolí dotyku břitu, dochází k oddělování hmoty obrobku. Vznik trhlin lze pozorovat v dalším průběhu tvoření třísky. Stavba opracovávaného materiálu a další parametry mají vliv na směr a umístění trhlin vzhledem k okamžitému směru pohybu břitu a k jeho poloze (Prokeš, 1982).

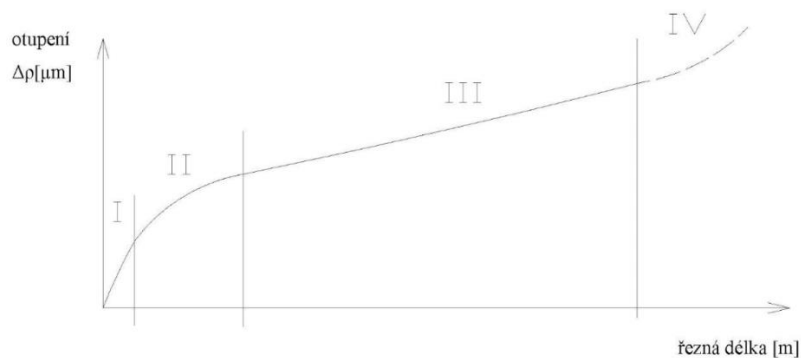
Na oddělování třísky, její konečnou formu po odlétnutí od nástroje a její vlastnosti mají vliv zejména:

- a) druh obráběného materiálu a jeho vlastnosti (např. teplota, vlhkost, objemová hmotnost, mechanické vlastnosti),
- b) směr pohybu břitu vzhledem ke směru letokruhů a dřevních vláken,
- c) geometrie nástroje,
- d) řezné podmínky (posuv na zub, řezná rychlost, tloušťka třísky, hloubka záběru),
- e) metoda obrábění (otevřené nebo zavřené řezání, konstantní tloušťka třísky nebo měnící se od nuly do maxima),
- f) způsob odvádění třísky z místa jejího oddělení (Prokeš, 1982).

3.2.5. Otupení frézovacího nástroje

Otupení nástroje se vyznačuje změnou mikrogeometrie břitu při obrábění. Břit je otupený tehdy, pokud jsou viditelné nežádoucí znaky a nastává kritická situace. Otupený břit zvětšuje rozměrové nepřesnosti, pálí materiál a je nutné zvýšení síly posuvu (Prokeš, 1978).

Trvanlivost břitu je charakterizována právě jeho otupením (časem, po který břit pracuje). Vyjadřuje se v délkových jednotkách (po jak dlouhé dráze se břit otupí) a v čase (jak dlouho zůstane břit naostřený). Čas, po který je nástroj schopný plnit svojí funkci se vyjadřuje jeho životností (násobek trvanlivosti ostří) (Prokeš, 1978).



Obrázek 10: Fáze otupení nástroje (Vavroček et al., 1996)

Obrázek 10 popisuje průběh otupení břitů z nástrojových ocelí, slinuté karbidy, stelity a keramické materiály. Identifikujeme 3 fáze:

- I. Jedná-li se o břit s jehlou, pak se v této fázi jehla ohne nebo odlomí. Tato fáze většinou probíhá prvním záběrem břitu tedy velmi krátce.
- II. Ve druhé fázi stoupá křivka velmi prudce, ale s degresivním charakterem. Velikosti změn závisí na mnoha faktorech jako jsou: geometrie nástroje, vhodnost nástroje pro daný druh obráběného materiálu, abrazivnost materiálu obrobku, tlaku břitu na obrobek, vznikající teplotě a vhodnosti řezných podmínek (Prokeš, 1978).
- III. V této fázi se proces stabilizuje, vidíme lineární křivku, změny mikrogeometrie postupují značně pomaleji. Někteří autoři uvádějí, že po této fázi následuje opět prudký růst otupení (Obrázek 9 čárkovaná křivka). Obecně ale tento jev neplatí.

3.2.6. Kvalita frézovaného povrchu

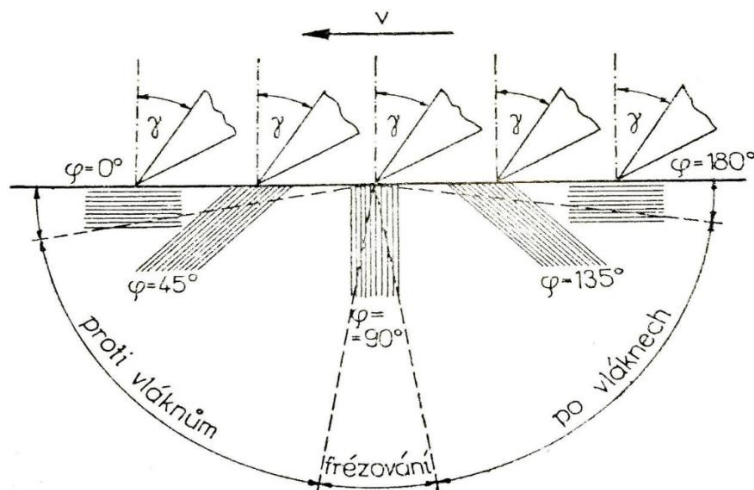
Frézovaný povrch dřeva je z hlediska kvality považován za jeden z nejlepších (Costes and Larricq, 2002; Karagoz et al., 2011).

Obecně můžeme na kvalitu frézovaného povrchu nahlížet z pohledu vytrhávání vláken dřeva nebo z pohledu kinematických nerovností (vzdálenosti a hloubky vlnek) (Drápela, 1980).

3.2.5.1. Vytrhávání svazků dřevních vláken

Vytrhávání svazků dřevních vláken při frézování je ovlivněno především směrem dřevních vláken, velikostí odebírané třísky, geometrií břitu, u frézovacích hlav také podobou a stavem lamače třísek. Jako nejméně vhodný úhel doteku je uváděn úhel obrábění φ 30°- 60° proti vláknům (viz obrázek 11). Také je známo, že oproti dřevinám se stejnoměrnou strukturou, je povrch měkkých dřevin s většími rozdíly mezi jarním a letním dřevem při stejných frézovacích podmínkách více vytrháván (Drápela, 1980).

Vznikají nejčastěji tzv. koncové odlomky, které lze najít v místech, kde nástroj opouští obrobek. Všeobecně lze tvrdit, že čím větší je posuv na břit, úhel řezu, a tudíž i otupení nástroje, tím jsou odlomky větší. Za zanedbatelné považujeme odlomky a vyštípnutí do maximální délky 0,2 mm. Pokud se posuv na břit sníží pod 0,1 mm, pak se i délka odlomků zmenšuje (Drápela, 1980).



Obrázek 11: Úhel dotyku nástroje s dřevními vlákny (Drápela, 1980)

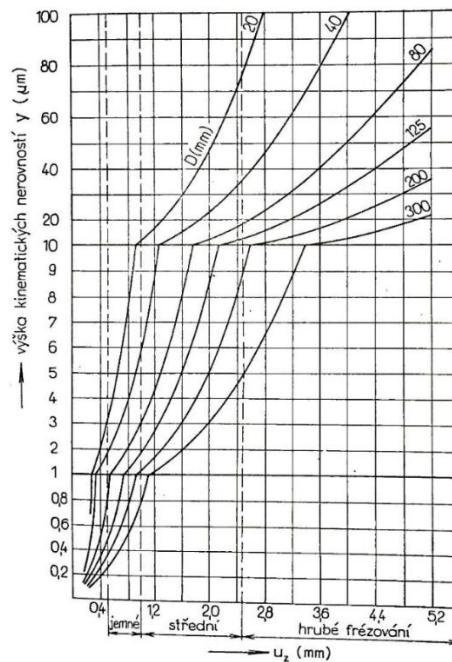
3.2.5.2. Kinematické nerovnosti

Kinematické nerovnosti opracovávaného povrchu mohou být výsledkem mnoha faktorů. Mezi nejdůležitější patří: rychlost posuvu obrobku, počet otáček frézovacího nástroje, průměr nástroje, počet břitů a jejich odchylky od řezné kružnice, také preciznost vedení materiálu do řezu (Drápela, 1980).

Při posuzování kinematických nerovností lze z praktického hlediska zanedbat sousledné či nesouslední frézování. Případný prokluz břitu při nesousledném frézování otupeným břitem, který by mohl ovlivnit výšku nerovností, lze také zanedbat (Prokeš, 1978).

Pokud uvažujeme interval vrcholů vlnek, lze použít vzorec pro posuv na zub.

Pro kvalitu obrábění je kromě vzdálenosti vlnek také důležité uvažovat hloubku vlnek. Tento faktor se mění s různými průměry nástroje a s posuvem na zub. Hloubku vlnek a jejich vzdálenost lze s dostačující přesností určit podle nomogramu na obrázku 12.



Obrázek 12: Nomogram pro určení hloubky vlnek a jejich intervalu (Drápela, 1980)

Teoretická hloubka vlnky

Pro teoretický výpočet hloubky vlnek lze použít rovnici pro kruhovou výseč:

$$y = \frac{1}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - f_z^2} \right) = R - \sqrt{R^2 - \frac{f_z^2}{4}} = \frac{f_z^2}{8 \cdot R} \quad (9)$$

kde: y [mm] - řezná hloubka vlnek,
 D [mm] - průměr řezné kružnice,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 R [mm] - poloměr řezných hran.

Pro hloubku cykloidálního profilu vlnky existuje ale i přesnější výraz:

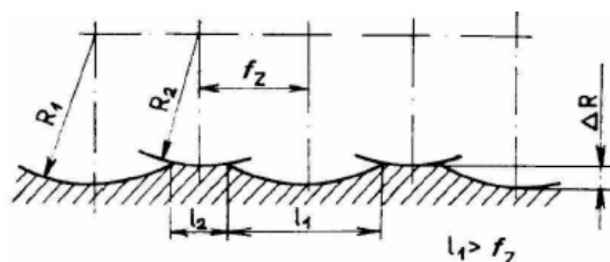
$$y_{max} = \left(1 - \cos \frac{90 \cdot f_z}{0,5 \cdot f_z \cdot z \pm \pi \cdot R} \right) \quad (10)$$

kde: y_{max} [mm] - hloubka profilu vlnky,
 f_z [mm] - posuv na zub,
 z [ks] - počet nožů,
 R [mm] - poloměr řezných hran.

U vícebřitých fréz se může vyskytovat odchylka břitů (Obrázek 13) od řezné kružnice, a to právě pro velikost kinematických nerovností. Dosáhnout větší přesnosti seřízení než 0,02 mm, je v praxi téměř nemožné. Pokud je jeden břit vychýlený, a tedy má větší řeznou kružnici, ostatní břity nezabírají a fréza má tendenci chovat se jako jednobřítá. Při seřízení frézovacího nástroje dle známé přesnosti, lze použít pro stanovení potřebného posuvu vzorec pro mezní posuv (Drápela, 1980).

$$v_{f\text{ mez}} = \frac{n \cdot z}{1000} \cdot \sqrt{D \cdot \tau} \quad (11)$$

- Kde: $v_{f\text{ mez}}$ [m/min] - mezní posuv,
 n [min^{-1}] - otáčky frézy,
 z [ks] - počet nožů,
 D [mm] - průměr řezné kružnice,
 τ [mm] - odchylka břítu od poloměru řezné kružnice.



Obrázek 13: Povrch obrobku při odchylce břitů od řezné kružnice (Lisičan, 1996)

3.3. Kvalita povrchu

Po každém procesu obrábění se na obráběné ploše objevují různé nepravidelnosti povrchu, a to bez ohledu na to, zda se jedná o přírodní nebo tepelně modifikované materiály. To je důvod, proč by měla být věnována pozornost kvalitě povrchu s přihlédnutím na různé kombinace technických a procesních parametrů (Kvietková *et al.*, 2015).

Obrobená plocha může být identifikována celou řadou různých faktorů. Každá metoda obrábění totiž zanechává na opracovaném povrchu materiálu typické nepravidelnosti (vzhled povrchu obrobeného pilou, se liší od povrchu obrobeného frézou nebo jiným procesem opracování), i když jsou rozměry kusů stejné (Prokeš, 1982).

Drsnost povrchu dřeva, zvlnění a odchylka od ideálního geometrického tvaru jsou odchylkami geometrie povrchu. Geometrie povrchu je definována na základě nepravidelností vyplývajících z makroskopických, mikroskopických a submikroskopických prvků. Drsnost povrchu dřeva závisí na jeho vlastní morfologii a na použité metodě obrábění (Aydin a Colakoglu, 2003, 2005; Dornyak, 2003; Temiz *et al.*, 2005).

Finální drsnost obrobeného povrchu závisí na mnoha faktorech procesu, jako jsou: podmínky řezání, geometrie nástroje (tvar), vlastnosti zpracovaného materiálu, stabilita řezného procesu atd. (Wasielewski a Orłowski, 2002; Magoss, 2008). Možnosti posouzení povrchu jsou uvedeny v normě ČSN ISO 4287 (1997). Všechny parametry definované v tomto dokumentu lze použít na vyhodnocení primárního profilu, profilu drsnosti a profilu vlnitosti.

Metod pro vyhodnocování kvality povrchu je mnoho, od málo přesných, jednoduchých až po metody složitější, velmi přesné, můžeme je rozdělit do třech základních skupin a to:

- porovnávací,
- dotykové,
- bezdotykové (Rousek *et al.*, 2010).

Mezi porovnávací metody patří porovnávací metoda a metoda vizuální. Obě jsou metodami jednoduchými. Jelikož jsou založeny na lidském vnímání, jsou značnou mírou subjektivní. V případě provádění porovnávací metody, je povrch hodnocen dotykem, vnímání drsnosti je srovnáváno s porovnávací stupnicí, kde bude nalezen stupeň s podobným povrchem. Hodnocení touto metodou by měli provádět odborníci, kteří mají praktické zkušenosti v oboru a mělo by jich být co nejvíce, tím se částečně snižuje míra nepřesnosti (Rousek *et al.*, 2010; Whitehouse, 2004; Stumbo, 1963).

Poněkud přesnější jsou metody dotykové. K jejich provádění slouží přístroje zvané drsnoměry. Obvykle mají posuvnou a měřicí jednotku, raménko (které se pohybuje jak horizontálně, tak vertikálně) a snímače. Snímače mají jednu nevýhodu a to tu, že mohou na povrchu testovaném vzorku způsobit škrábance nebo jiné defekty (Rousek *et al.*, 2010; Whitehouse, 2004; Stumbo, 1963).

Stále více používané a velmi přesné jsou bezdotykové metody. Mezi ně patří velká řada systémů (elektronové, rastrové, skenovací, laserové, optické, fotometrické hodnocení a jiné) (Rousek *et al.*, 2010; Whitehouse, 2004; Stumbo, 1963).

Vyhodnocení jakosti povrchu probíhá zpravidla za pomoci profilu drsnosti a vlnitosti.

3.3.1. Základní pojmy a definice metrologie povrchu

Profil povrchu, který vytvoří měřicí přístroj, je rozdělen pomocí filtrů na profil drsnosti a profil vlnitosti. Kvůli dobrému pochopení a následnému vyhodnocení měření kvality povrchu, je zapotřebí znát základní pojmy. Definice a termíny pro určování struktury povrchu (drsnosti, vlnitosti a základního profilu) stanovuje mezinárodní norma ČSN EN ISO 4287.

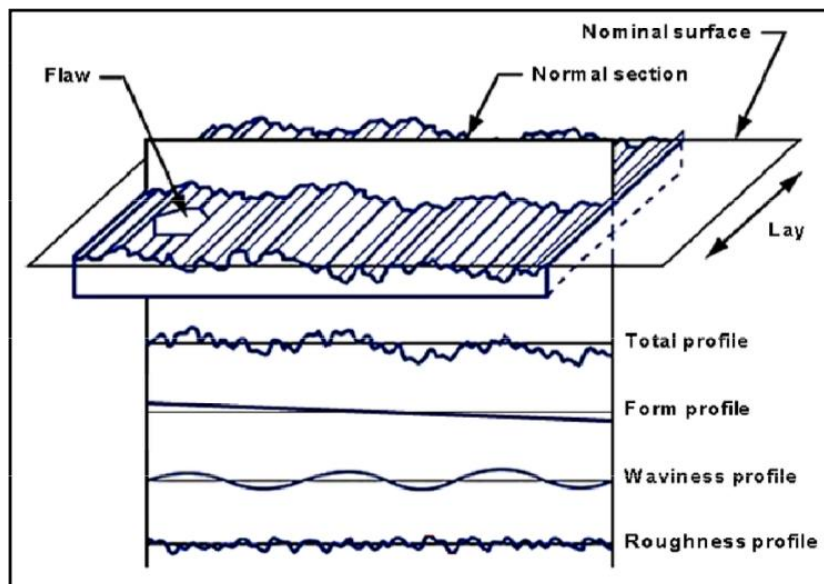
- Složky povrchu

Můžeme rozlišit tři složky reálného povrchu, které se na něm vyskytují v určité kombinaci.

> Tvarové nerovnosti

Jedná se o nerovnosti povrchu opracovávaného materiálu. Často jsou zapříčiněny nedostatečným upnutím obrobku nebo křivou vodící plochou stroje.

- > Drsnost povrchu
Působením nástroje, kterým je materiál obráběn, vnikají na povrchu mikronevlnnosti. Daný proces výroby zanechává na povrchu stopy, které jsou uspořádány periodicky nebo náhodně. Jemné složky struktury povrchu vznikají vytrháváním mikročástic nebo nerovnostmi ostří nástroje.
- > Vlnitost povrchu
Jde o makronevlnnosti a jedná se o nerovnosti periodicky se opakující. Nejčastěji vzniká kvůli vlastnostem obráběcího nástroje a stroje, např. jeho nedostatečná tuhost, házivost hřídele apod.



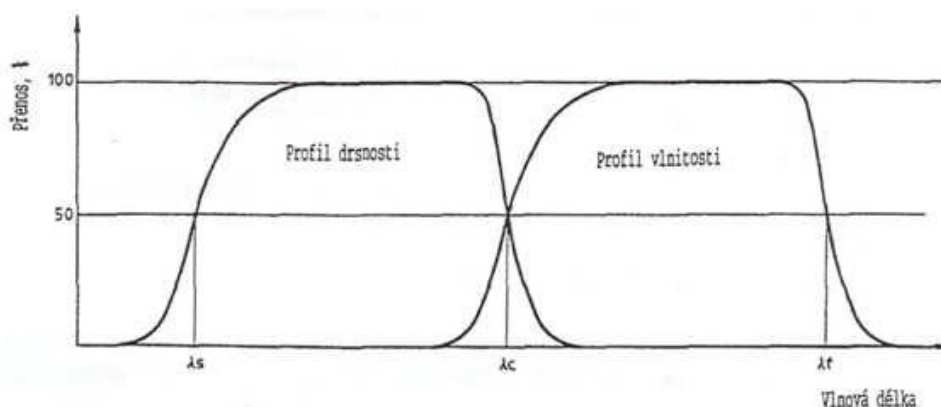
Obrázek 14: Profil povrchu(www1.gantep.edu.tr)

- Filtry profilu
K odvození profilu drsnosti a profilu vlnitosti slouží tedy profil povrchu. Aby mohla být vyhodnocena struktura povrchu, je nutné oddělit jednotlivé složky, a to jejich filtrováním. Oddělení složek se provádí pomocí filtru profilu, který profil separuje na dlouhovlnné a krátkovlnné složky (ČSN EN ISO 4287, 1999).
 - > Filtr profilu λ_s – definuje rozhraní mezi drsností a nejkratšími složkami vln,
 - > filtr profilu λ_c – definuje rozhraní mezi drsností a vlnitostí,
 - > filtr profilu λ_f – definuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln na povrchu obráběného materiálu (ČSN EN ISO 4287, 1999).

- Profily získané filtrem

Za použití filtrů profilu (viz výše), jsou získávány profily povrchu, a to:

- > **základní profil** získáme potlačením krátkovlnných složek profilu použitím filtru λ_s ,
- > **profil drsnosti**, který je odvozen ze základního profilu, a to potlačením dlouhovlnných složek za pomoci použití filtru profilu λ_c a
- > **profil vlnitosti**, jež je vyjádřen díky postupné aplikaci filtru profilu λ_f (filtr profilu potlačující dlouhovlnné složky) a filtru profilu λ_c (filtr profilu potlačující krátkovlnné složky) na základní profil, na jehož základě lze následně vyhodnotit parametry vlnitosti (ČSN EN ISO 4287, 1999).



Obrázek 15: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti (ČSN EN ISO 4287, 1999)

- Parametry jakosti povrchu podle ČSN EN ISO 4287 (1999)

- > **Základní délka** – (l_p , l_r , l_w) vyjadřuje délku ve směru osy X, používá se pro rozpoznání nerovností charakterizujících povrch.
- > **Vyhodnocovací délka** – (l_n) délka ve směru osy X a je používána pro posouzení vyhodnocovaného povrchu. Za výsledek měření se považuje průměr ze základních délek.
- > **Délka snímání** – dráha měřicího snímače odpovídající vyhodnocované délce, a to včetně rozběhu a doběhu.
- > **Mezní vlnová délka (cut-off)** – představuje mezní vlnovou délku filtru profilu.
- > **P-parametr** – parametr vypočítaný ze základního profilu.
- > **R-parametr** – parametr vypočítaný z profilu drsnosti.

- > **W-parametr** – parametr vypočítaný z profilu vlnitosti.
- > **Výstupek profilu** – část, která směřuje z povrchu ven zkoumaného profilu, spojující dva protilehlé body na průsečíku profilu s osou X.
- > **Prohlubeň profilu** – část, která směřuje dovnitř a spojuje dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X.
- > **Hodnota pořadnice** – $Z(x)$ výška posuzovaného profilu v libovolné poloze x.
- > **Výška výstupu profilu** – Z_p vzdálenost mezi nejvyšším bodem výstupku profilu a osou X.
- > **Hloubka prohlubně profilu** – Z_v vzdálenost mezi nejnižším bodem prohlubně profilu a osou X.
- > **Výška prvku profilu** – Z_t součet hloubky prohlubně a výšky výstupku profilu.
- > **Šířka prvku profilu** – X_s délka úseku osy X protínající prvek profilu.
- > **Celková výška profilu** – (P_t, R_t, W_t) součet hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu a výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu v rozsahu vyhodnocované délky.

ČSN EN ISO 4287 (1999) definuje délkové parametry použitím průměrné šířky prvků profilu a výškové parametry využitím průměrné aritmetické úchyly posuzovaného profilu.

Výpočet průměrných aritmetických úchylek posuzovaného profilu (P_a, R_a, W_a) lze provést aritmetickým průměrem absolutních pořadnic $Z(x)$, a to v rozsahu základní délky podle vzorce:

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (12)$$

kde $l = l_p, l_r, \text{případně } l_w$ (ČSN EN ISO 4287, 1999).

Výpočet průměrné šířky profilu (PSm , PSm , WSm) lze uskutečnit jako aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky vzorce:

$$PSm, RSm, Wsm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (13)$$

- Výškové parametry prvku profilu dle ČSN EN ISO 4287 (1999)

Výstupky a prohlubně

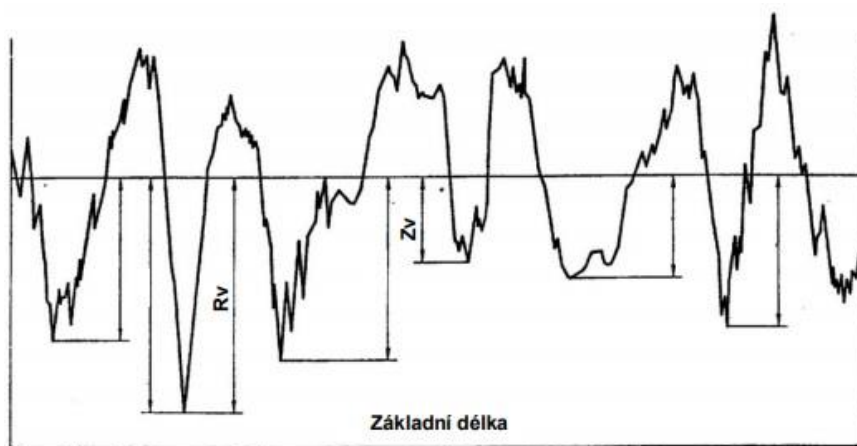
- > **Největší výška výstupku profilu** – (Pp , Rp , Wp) výška výstupu nejvyššího výstupku profilu v rozsahu délky.



Obrázek 16: Největší výška výstupků profilu (ČSN EN ISO 4287, 1999)

Zp – výška výstupků profilu

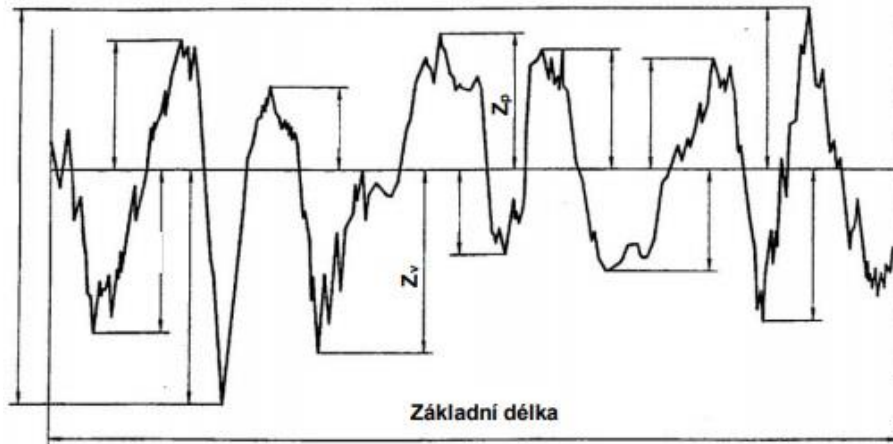
- > **Největší hloubka prohlubně profilu** – (Pv , Rv , Wv) hloubka nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.



Obrázek 17: Největší hloubka prohlubně profilu (ČSN EN ISO 4287, 1999)

Zv – hloubka prohlubně profilu

- > **Největší výška profilu** – (P_z , R_z , W_z) součet výšky výstupu nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.



Obrázek 18: Největší výška profilu (ČSN EN ISO 4287, 1999)

Z_p – výška výstupků profilu, Z_v – hloubka prohlubně profilu

- > **Průměrná výška prvků profilu** – (P_c , R_c , W_c) průměrná hodnota výšek prvků profilu v rozsahu základní délky.
- > **Celková výška profilu** – (P_t , R_t , W_t) součet výšky výstupu nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky.

Průměrné hodnoty pořadnic

- > **Průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu** – (P_a , R_a , W_a) aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic v rozsahu základní délky.
- > **Průměrná kvadratická úchylna posuzovaného profilu** – (P_q , R_q , W_q) kvadratický průměr souřadnic v rozsahu základní délky.
- > **Šikmost posuzovaného povrchu** – (P_{sk} , R_{sk} , W_{sk}) podíl průměrné hodnoty třetích mocnin $Z(x)$ pořadnic a třetí mocniny hodnoty $P_q/R_q/W_q$ v rozsahu základní délky.
- > **Špičatost posuzovaného povrchu** – podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin hodnot pořadnic a čtvrté mocniny hodnoty $P_q/R_q/W_q$ v rozsahu základní délky.

- Délkové a tvarové parametry profilu povrchu podle ČSN EN ISO 4287 (1999)
 - > **Průměrná šířka prvků profilu** – (P_{Sm} , R_{Sm} , W_{Sm}) aritmetický průměr šířek X_s prvků profilu v rozsahu základní délky.
 - > **Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu** – ($P_{\Delta q}$, $R_{\Delta q}$, $W_{\Delta q}$) kvadratický průměr sklonů pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky.
- Křivky a odpovídající parametry profilu povrchu dle ČSN EN ISO 4287 (1999)
 - > **Materiálový poměr profilu (nosný podíl)** – ($P_{mr}(c)$, $R_{mr}(c)$, $W_{mr}(c)$) poměr délky materiálu elementů profilu $MI(c)$ na dané úrovni c , k vyhodnocované délce.
 - > **Křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka)** – křivka představující materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovně.
 - > **Rozdíl výšky úseku profilu** – ($P_{\delta c}$, $R_{\delta c}$, $W_{\delta c}$) svislá vzdálenost mezi úrovněmi dvou úseků daného materiálového poměru.
 - > **Vzájemný materiálový poměr** – (P_{mr} , R_{mr} , W_{mr}) materiálový poměr určený na úrovni části profilu $R_{\delta c}$, vztažený k úrovni C_0 .
 - > **Empirické rozdělení výšek profilu** – hustota pravděpodobnosti pořadnic $Z(x)$ v rozsahu vyhodnocované délky.

3.3.2. Faktory ovlivňující jakost dřeva

Zkušenosti ze zpracování dřeva ukázaly, že vady způsobené obráběním povrchu mohou být ovlivněny různými parametry jako jsou: materiál (druh, vlhkost, stáří, vlnitost a drsnost atd.), nástroj (úhel čela, materiál, otupení břitu atd.), způsob obrábění (technologie, posuvná rychlost, řezná rychlost atd.)

Výzkum, který provedli T. Yang *et al.* (2012) potvrzuje, že druh dřeva má významný vliv na drsnost povrchu. Také dokázali, že u určitých druhů dřeva lze drsnost povrchu řídit změnami metod obrábění.

Philbin a Gordon (2006) a Boucher *et al.* (2007) ve svých výzkumech uvádí, že drsnost povrchu dřeva je určena morfologií povrchu dřeva a metodou povrchového obrábění.

Ve studii Keturakis a Juodeikienė (2007) bylo zjištěno, že se zvýšením posuvné rychlosti obrobku do řezu zároveň také narůstá drsnost povrchu. S narůstající rychlostí posuvu do řezu totiž dochází místo k řezání dřevních vláken k jejich vytrhávání, a to zhoršuje kvalitu povrchu.

Stejný výsledek byl zjištěn ve výzkumu Kviatková *et al.* (2015), kde došli k závěru, že čím vyšší řezná rychlost byla při procesu obrábění použita, tím byla drsnost výsledného povrchu nižší. Také se přesvědčili, že se změnou rychlosti posuvu, v tomto případě zvýšením, se drsnost povrchu březového dřeva zvýšila.

Co se týče vlnitosti, Kaplan *et al.* (2018a; 2018b) ve dvou výzkumech prokázali, že se vzrůstající tepelnou úpravou vykazuje větší hodnoty. Uvádějí, že pokud by mělo být hodnoceno pouze termicky modifikované dřevě, nárůst hodnot vlnění se prokázal jako téměř lineární se zvyšující se teplotou.

3.4. Tvrdost

Tvrdost dřeva odpovídá tlaku či síle, kterou je nutno vyvinout k průniku cizího tělesa. Je to vlastnost, která je rozhodující pro náročnost jeho opracování. Měkké dřevě se zpracovává snadněji než dřevě tvrdé. Čím větší tvrdost dřevě má, tím je jeho opracování energeticky náročnější a více odporuje vniknutí například břitů dřevoobráběcího nástroje. U jednotlivých dřevin se tvrdost dřeva liší a rozhoduje zde zejména struktura buněk a obsah vody. Obecně platí, že s rostoucí vlhkostí dřeva jeho tvrdost klesá a s rostoucí hustotou roste (Požgaj *et al.*, 1997). Dle druhu zatížení, rozlišujeme tvrdost:

- Statickou (během statického zatížení),
- Dynamickou (během dynamického zatížení) (Matovič, 1993).

3.4.1. Statická tvrdost

Statickou tvrdost dřeva lze zjistit prostřednictvím dvou nejrozšířenějších metod, a to podle Brinella anebo podle Janka. Zjišťuje se na radiálních, tangenciálních i čelních plochách dřeva.

Je známo, že je statická tvrdost vyšší na čelních plochách než na plochách bočních, přesněji u jehličnatých dřevin se uvádí tento rozdíl okolo 40 % a u listnatých dřevin okolo 30 %. U dřevin s dobře vyvinutými dřeňovými paprsky je tvrdost na radiální ploše o něco vyšší (o 5-10 %) než na ploše tangenciální. Avšak u většiny dřevin není nutno rozdíly, co se týče tvrdosti, brát v potaz.

Z výsledků naměřených hodnot statické tvrdosti na čelních plochách vzorků při vlhkosti 12 %, lze měřené vzorky rozčlenit do pěti skupin:

- Měkké (s tvrdostí < 40 MPa),
- Středně tvrdé (s tvrdostí 41-80 MPa),
- Tvrdé (s tvrdostí 81-100 MPa),
- Velmi tvrdé (s tvrdostí 101-150 MPa),
- Super tvrdé (s tvrdostí > 150 MPa) (Matovič, 1993).

Hodnoty statické tvrdosti dřeviny závisí na její vlhkosti a hustotě. Hodnoty tvrdosti dřeva jsou tím nižší, čím je její vlhkost vyšší (až do bodu nasycení vláken). Pokud se vlhkost dřeva změní o 1 % (v rozmezí vlhkosti od 0 % do meze nasycení vláken), tak se hodnoty statické tvrdosti změní o 3 %.

$$\delta_{12} = \delta_w(1 + \alpha(w - 12)) \quad (14)$$

Kde:	δ_{12}	-	pevnost dřeva při vlhkosti 12 %,
	δ_w	-	pevnost dřeva při vlhkosti W,
	w	-	vlhkost dřeva v době zkoušení,
	α	-	opravný koeficient (pro naše dřeviny 0,03)

(Matovič, 1993).

- Metoda podle JANKA

Ocelová kulička (půlkulička) s průměrem 11,28 mm, je vtlačována do zkušebního tělesa tak, aby do něj vnikla polovinou své výšky (5,64 mm). Ve dřevě tak vznikne otláčená plocha (100 mm²). Výslednou hodnotou je síla, kterou bylo potřebné vyvinout k zatlačení kuličky. V tabulce 1 vidíme Jankovu stupnici tvrdosti, která byla vytvořena podle průměru výsledků testu.

Tabulka 1: Tvrdost dřeva podle Janka (www.converter.cz)

TVRDOST	Kgxc ^m - ²	DRUH DŘEVA
1.	0 - 350 (velmi měkká)	smrk, borovice, limba, jedle, topoly, vrby, lípy
2.	351 - 500 (měkká)	modřín, douglaska, kleč, jalovec, břiza, olše, jiva, střemcha, teak
3.	501 - 650 (středně tvrdá)	kaštan jedlý, platan, jilmy, líska
4.	651 - 1000 (tvrdá)	dub, ořešák, javor, třešeň, jabloň, jasan, buk, hrušeň, švestka, akát, habr
5.	1001 - 1500 (velmi tvrdá)	dřín, svída, ptačí zob, dub pýřitý, zimostřez
6.	nad 1501 (neobyčejně tvrdá)	eben cejlonský, africký grenadil, guajak a jiné exotické dřeviny

Tvrdost podle Janka je dána vzorcem:

$$H_J = \frac{F}{S} \quad (15)$$

kde: H_J [MPa] - tvrdost dle Janka,
 F [N] - síla potřebná k zatlačení kuličky,
 S [mm²] - plocha otlačená ve dřevě

(www.ldf.mendelu.cz).

- Metoda podle Brinella

Je jednou z nejrozšířenějších metod při určování tvrdosti dřeva. Podstatou je konstantní vlačování ocelové kuličky daného průměru do zkušebního tělesa. Vzorek musí být při zkoušce pevně zajištěn a položen na tuhé podložce, aby nedošlo k jeho posunutí. Povrch tělesa nesmí obsahovat nečistoty nebo cizí tělíka (musí být rovný a hladký). Doba vlačování nesmí být kratší než 2 s a zároveň delší než 8 s, působení zkušební síly trvá 10-15 s (záleží na druhu materiálu). Výsledek je ovlivněn především velikostí působící síly, která je zvolena s ohledem na zkušební materiál a na průměr kuličky (Drastík *et al.*, 2009).

Podle tvrdosti zkušební vzorku je kulička vlačována silou 100 N (u velmi měkkých dřevin), 500 N (u středně tvrdých dřevin) nebo 1000 N (u tvrdých dřevin). Následně se vypočte plocha otlačení z průměru otlačené plochy. Tvrdost je potom dána vztahem:

$$H_B = \frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (16)$$

kde:	H_B [MPa]	-	výsledná tvrdost,
	F [N]	-	síla působící na kuličku,
	D [mm]	-	průměr kuličky,
	d [mm]	-	průměr otlačené plochy.

Zkoušený materiál by měl mít tloušťku minimálně desetinásobek hloubky vtisku, pokud tomu tak není, hrozí ovlivnění výsledků tvrdostí podložky.

3.4.2. Dynamická tvrdost

Dynamická tvrdost se měří na základě vytvořené stopy ve zkušebním tělese, vzniklé upuštěním kuličky o průměru 25 mm z určité výšky (0,5 m). Čím je dřevo měkčí, tím větší vytvoří padající kulička stopu. Test dynamické tvrdosti se obvykle provádí na tangenciální nebo radiální ploše (Matovič, 1993). Dynamická tvrdost je stejně jako statická závislá na vlhkosti materiálu. Při změně vlhkosti zkušebního tělesa o 1 % se dynamická tvrdost změní o 2-3 % (Gandelová *et al.*, 2009).

3.4.3. Faktory ovlivňující tvrdost dřeva

Faktorů, které ovlivňují tvrdost dřeva je mnoho. Můžeme sem zařadit: druh dřeviny a část kmene, jeho makroskopické znaky, chemické složení, vlhkost a anizotropii.

Jádro neobsahuje živé parenchymatické buňky, ztratilo vodivou funkci a lze ho pokládat za fyziologicky mrtvé pletivo. Thyly a jádrové látky zapříčiňují neprůchodnost cév v jádru listnáčů, ale zároveň zvyšují mechanickou funkci dřeva (Šlezingerová, 2002).

Výzkum, který provedli Gunduz *et al.* (2009) rovněž potvrdil tvrzení, že s narůstající teplotou tvrdost zkoumané dřeviny (v tomto případě habru) má klesající tendenci, a to z důvodu úbytku hmotnosti (snížení hustoty dřeva).

Ke stejnému závěru došli ve své studii i Salca a Hiziroglu (2014). Uvádějí, že hodnoty tvrdosti vzorků se se zvyšujícím se časovým a teplotním zpracováním snižují. To může souviset s poškozením struktury buněčné stěny po tepelném zpracování.

Tvrdost, pevnost a pružnost dřeva jsou faktory, na které má velký vliv vlhkost dřeva. Dřevo se stává křehčím, pokud dojde ke snižování jeho vlhkosti. Kvalita dřeva se zhoršuje i v opačném případě, tedy dokud má vyšší vlhkost, a to z důvodu snížené pevnosti dřeva. Rozdíl vlhkosti jarního a letního dřeva může způsobovat povrchové nerovnosti. Vlhké jarní dřevo je pružnější oproti letnímu a díky tomu prostupuje na povrch plochy (Nemec, 1986).

Požgaj *et al.* (1997) uvádějí jako obecnou platnost, že s vyšší hustotou dřeva jeho tvrdost roste a s rostoucí vlhkostí klesá.

4. Metodika

4.1. Strojové a přístrojové vybavení

Frézka FVS

Spodní frézka FVS (ED, APT Line II; Tuttlingen, Německo) je stroj pro obrábění podélného i deskového materiálu, podle použití patřičné frézy lze obrábět masivní i aglomerované materiály. Je možné nastavit požadovanou řeznou rychlost i otáčky stroje pomocí přehození klínových řemenů.

Tabulka 2: Parametry frézky

PROUDOVÁ SOUSTAVA (V)	PŘÍKON (kW)	OTÁČKY (ot/min)	ŘEZNÁ RYCHLOST (m/s)
360/220	4	3000, 4500, 6000, 9000	20, 30, 40, 60



Obrázek 19: Frézka FSV

Tabulka 3: Parametry použitého nástroje

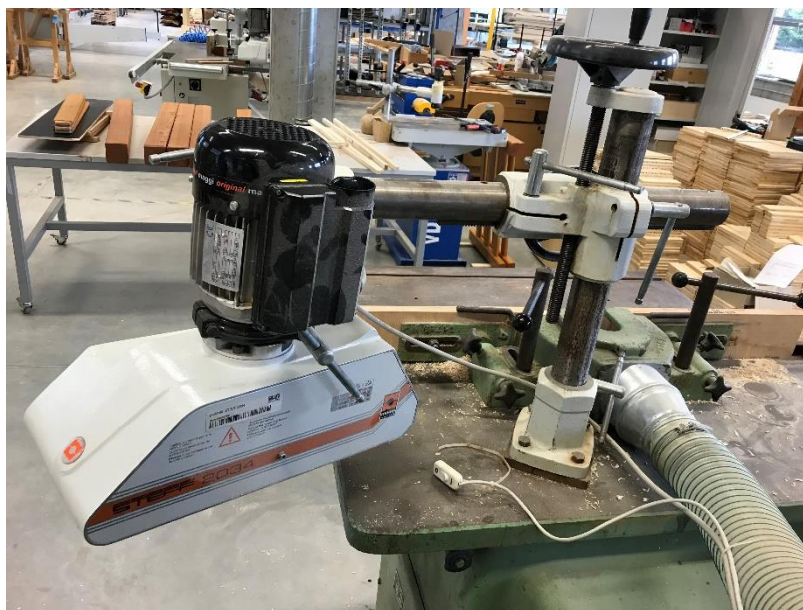
NÁSTROJ	Výměnný nůž pro frézovací hlavy
VÝROBCE	Maximus
TYP	Special 55
ŠÍŘKA NOŽE	45 (mm)
ÚHEL OSTŘÍ (β)	45 ($^{\circ}$)
Materiál dle ČSN	19 855
PŘÍSAKY	C 0,7; Cr 4,2; W 18; V 1,5 %
TVRDOST NÁSTROJE	62 HRC

Podávací zařízení STEFF 2034

Podávací zařízení STEFF 2034 od firmy MAGGI (Itálie) je stroj pro posuv deskového materiálu i podélných dílců. Disponuje čtyřmi fixními rychlostmi vpřed a vzad, je možné je měnit, a to následovně: dosažení prvních dvou rychlostí je možné záměnou ozubených kol, které jsou uloženy za krytem převodovky, dalších dvou rychlostí dosáhneme změnou otočení páčky vypínače na motoru s dvojitým vinutím (1400-2800 ot/min). Stroj je možné nastavit do libovolné pozice, díky univerzálnímu přestavitelnému stojanu.

Tabulka 4: Parametry podávacího zařízení

MOTOR	PŘÍKON (kW)	OTÁČKY (ot/min)	PODÁVACÍ RYCHLOST (m/min)
400	0,6-0,8	1400/2800	4, 8, 11, 22



Obrázek 20: Podávací zařízení Maggi

Formátovací kotoučová pila SCM SI 300 CLASS

Formátovací kotoučová pila SCM SI 300 CLASS (Itálie) je stroj vhodný k řezání masivu i materiálů na bázi dřeva. Má předřez s naklápěním a ponořováním kotouče. Pojezdový pracovní stůl je dlouhý 3200 mm a je zhotoven z hliníkové slitiny s povrchovou úpravou.

Tabulka 5: Parametry formátovací kotoučové pily

VÝKON MOTORU (kW)	OTÁČKY (ot/min)	MAXIMÁLNÍ VÝŠKA ŘEZU (mm)
4 (5)	4000	100

Termokomora

Termokomora od firmy Katres s.r.o. (ČR, Jihlava) je vysokoteplotní sušárna KHT typu A. Je určena k termické modifikaci podle finského patentu Pat.EP-0759137 (1995). Její maximální objem je 0,38 m³, upravovaný materiál může mít maximální váhu 150 kg, maximální dosažitelná teplota termické modifikace je 250 °C a spotřeba energie je 3kWh.



Obrázek 21: Termokomora Katres (1)



Obrázek 22: Termokomora Katres (2)

Kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra

Drsnoměr FORM TALYSURF 50 Intra od firmy Taylor Hobson (Anglie) je kontaktní přístroj pro měření jakosti povrchu s 50 mm horizontální délkou snímání, úchylkou přímosti na 50 mm – 0,4 μm a chybou ± 2 %.



Obrázek 23: Profilometr Form Talysurf 50 Intra

Tvrdoměr DuraVision-30

Tvrdoměr DuraVision-30 od firmy Struers GmbH (Rakousko) je určen pro měření tvrdosti metodami: Brinell, Knoop, Vickers nebo Rockwell. Podle předpokládané tvrdosti materiálu lze přístroj nastavit v rozsahu 250, 500 a 1000 N.



Obrázek 24: Tvrdoměr DuraVision

4.2. Zjištění hustoty a vlhkosti

Zjištění hustoty

Hustota byla zjištěna dle normy ČSN EN 323 (1994).

Výpočet hustoty je dán vztahem:

$$\delta_w = \frac{m_w}{a_w \cdot b_w \cdot l_w} = \frac{m_w}{V_w} \quad (17)$$

kde: δ_w [kg/m³] - hustota zkušební tělesa při dané vlhkosti w,
 m_w [kg] - hmotnost zkušební tělesa při dané vlhkosti w,
 a_w, b_w, l_w [m] - rozměry zkušební tělesa při dané vlhkosti w,
 V_w [m³] - objem zkušební tělesa při dané vlhkosti w.

Zjištění vlhkosti

V případě zjišťování vlhkosti bylo postupováno dle normy ČSN EN 322 (1994). Vlhkost dřeva byla stanovena jako procentuální podíl hmotnosti vody obsažené ve vzorku před jeho vysušením a hmotnosti vzorku ve vysušeném stavu. Výsledek byl stanoven s přesností na 1,0 %.

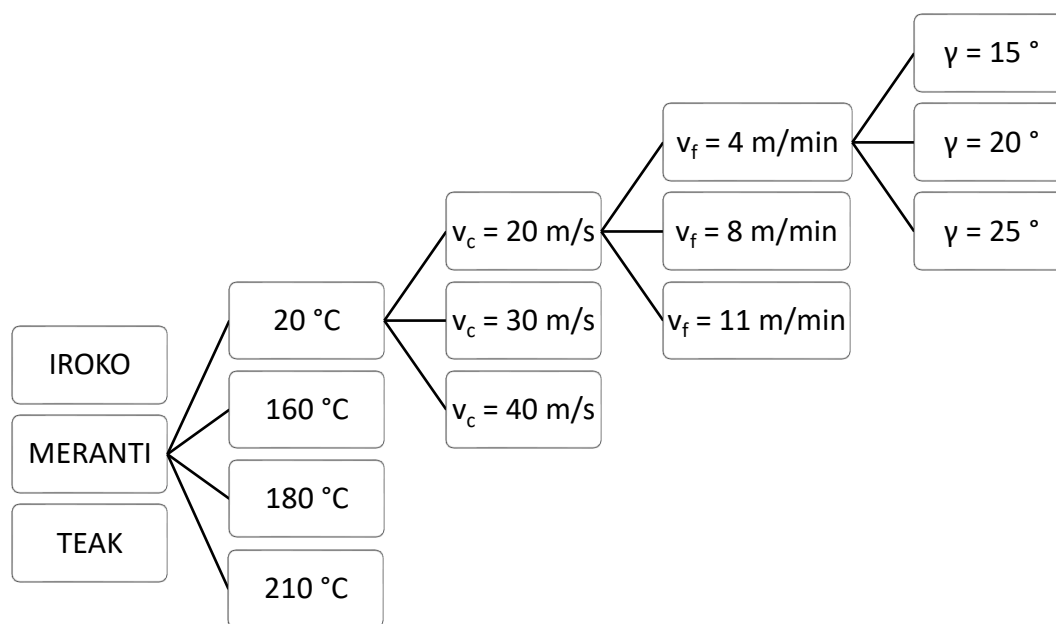
Výpočet vlhkosti je dán vztahem:

$$W = \frac{m^1 - m^0}{m^0} \cdot 100 \quad (18)$$

kde: W [%] - vlhkost,
 m^1 [g] - hmotnost zkušební tělesa ve vlhkém stavu,
 m^0 [g] - hmotnost ve vysušeném stavu.

4.3. Příprava zkušebních vzorků

Vzorky byly připraveny z jedné fošny tak, aby se co nejvíce zamezilo vlivu nehomogenity dřeva v počtu 64 kusů od každé dřeviny, s rozměry 450 x 100 x 20 mm. Byly rozděleny do 4 skupin po 16 kusech pro jednotlivé teploty termické modifikace (viz grafy 1, 2, 3). Takto opracované vzorky byly připraveny na samotné frézování. Frézovaná délka byla při každém nastavení 900 mm (frézou se projelo vždy 2x). Poté se odřízl vzorek a byl vyznačen směr podávání. Ve středu vzorků se vyznačilo 5 míst pro měření tvrdosti, aritmetické úchytky profilu drsnosti Ra a vlnitosti Wa. Všechny parametry byly měřeny ve středu tloušťky materiálu (20 mm od kraje).

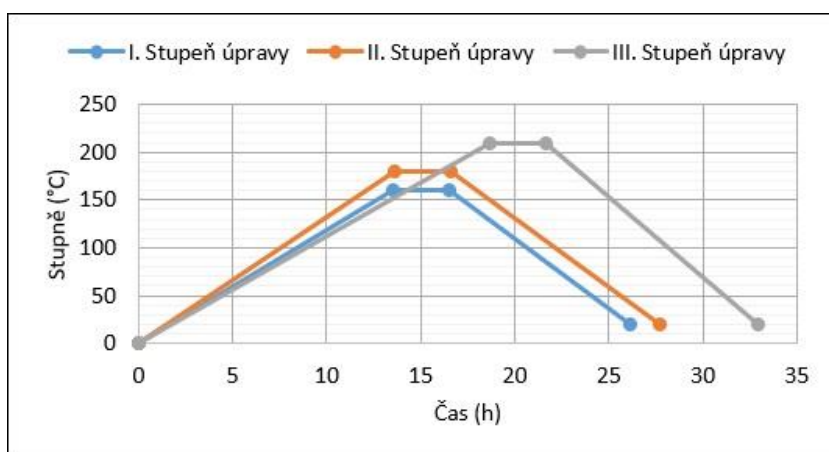


Obrázek 25: Kategorizace zkušebních těles

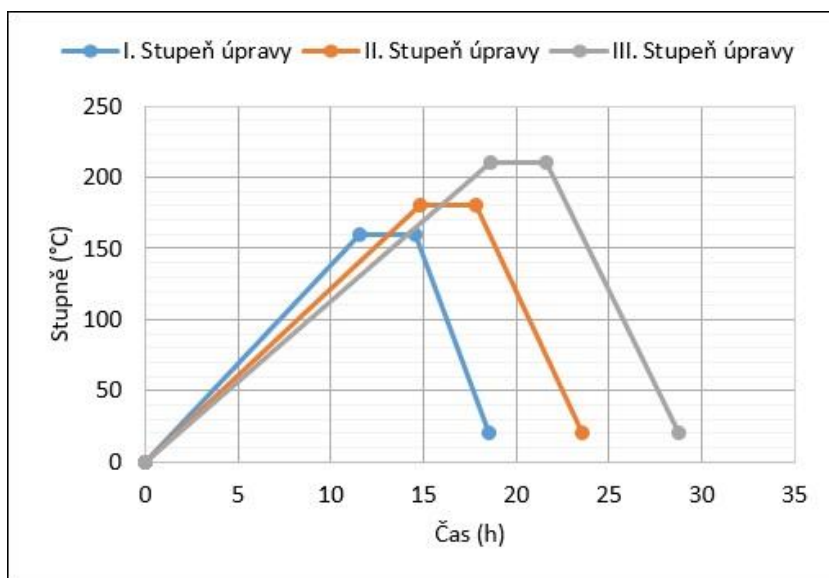
Pozn.: Schéma platí pro všechny kombinace u jednotlivých parametrů

4.4. Tepelné ošetření vzorků

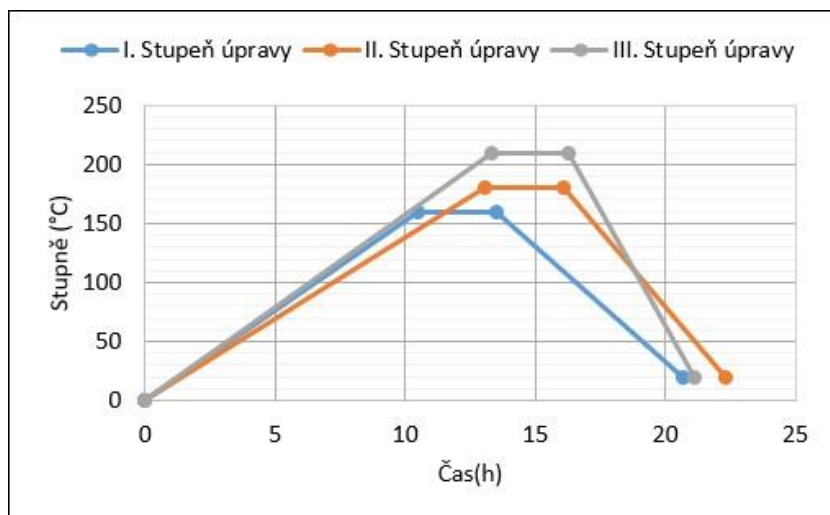
Po přípravě zkušebních vzorků přišla na řadu jejich tepelná modifikace, která byla prováděna metodou Thermowood. Její průběh můžeme vidět na grafech 1, 2 a 3. Pro každý zkoumaný stupeň tepelné úpravy bylo určeno 27 zkušebních těles. První skupina vzorků zůstala tepelně neupravena, druhá byla upravena při 160 °C, třetí při 180 °C a čtvrtá při teplotě 210 °C.



Graf 1: Průběh tepelné modifikace dřeviny meranti



Graf 2: Průběh tepelné modifikace dřeviny iroko



Graf 3: Průběh tepelné modifikace dřeviny teak

Po termické modifikaci byla dle výše uvedeného vztahu (17) vypočítána hustota zkušebních těles rozdělená dle stupně opracování (Tabulka 6).

Tabulka 6: Hustota dle stupně opracování ($g.cm^3$)

Termická modifikace (°C)	Teak	Meranti	Iroko
20	0,653	0,472	0,713
160	0,591	0,425	0,673
180	0,555	0,468	0,660
210	0,600	0,450	0,634

4.5. Metodika měření průměrných aritmetických úchylek profilu drsnosti a vlnitosti

Průměrné aritmetické úchyly profilu drsnosti (R_a) a vlnitosti (W_a) byly měřeny na přístroji FORMTALYSURF 50 Intra, který je součástí vybavení laboratoří Fakulty lesnické a dřevařské v Praze. Měření bylo prováděno dle normy ČSN EN ISO 4287 (1999).

Zkušební tělesa pro měření kvality povrchu měly rozměry přibližně 500x10x18 mm. Byla na nich vyznačena frézovaná strana a směr posuvu. Test byl prováděn proti směru posuvu, tedy ve směru frézování. Jakost povrchu byla měřena na zkušebních tělesech po jejich klimatizaci při standardní vlhkosti 12 % a

teploty vzduchu ($\varnothing = (65 \pm 3) \%$ a $t = (20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$). Každé ze zkušebních těles bylo změřeno pětkrát, celkem tedy proběhlo 540 měření pro každou dřevinu.

Profilometr byl osazen standardním raménkem, které má na konci diamantový hrot ve tvaru kuželu $R = 2 \text{ } \mu\text{m}$.

4.6. Statistické zpracování dat

Následně bylo provedeno statistické zpracování dat, s cílem vyhodnocení hodnot sledovaných proměnných znaků. Pro tento účel byl využit software Microsoft EXCEL 2019 a STATISTICA 12.

Než došlo k samotnému zpracování analýz, bylo zapotřebí posoudit rozdělení četností a vyloučit odlehlé výsledky. Pokud byl nalezen odlehlý výsledek, bylo provedeno opravné měření. Pro posouzení naměřených dat jakosti povrchu (R_a a W_a) byla použita statistická metoda ANOVA. Hladina významnosti byla zvolena ve výši $\alpha = 0,05 = 5 \%$.

Software STATISTICA 12 hodnotí účinky jednotlivých faktorů a jejich vzájemnou kombinaci.

K vyhodnocení vlivu tvrdosti na kvalitu obrobeného povrchu byla použita korelace. Pearsonův korelační koeficient byl zaveden z důvodu možnosti kvantifikace lineárního vztahu náhodných veličin. Nabývá hodnot od -1 do 1. Jeho výsledek je kladný, pokud vyšší hodnoty měřeného faktoru X souvisejí se zvýšením hodnot měřeného faktoru Y. Záporný je v případě, že klesající hodnoty faktoru X souvisí se zvýšením hodnot Y. V Evansonově příručce (1996) jsou hodnoty korelace popsány následovně:

Tabulka 7: Hodnoty korelace

Rozmezí (v absolutní hodnotě)	Závislost
0,00-0,19	velmi slabá
0,20-0,39	slabá
0,40-0,59	střední
0,60-0,79	silná
0,80-1,00	velmi silná

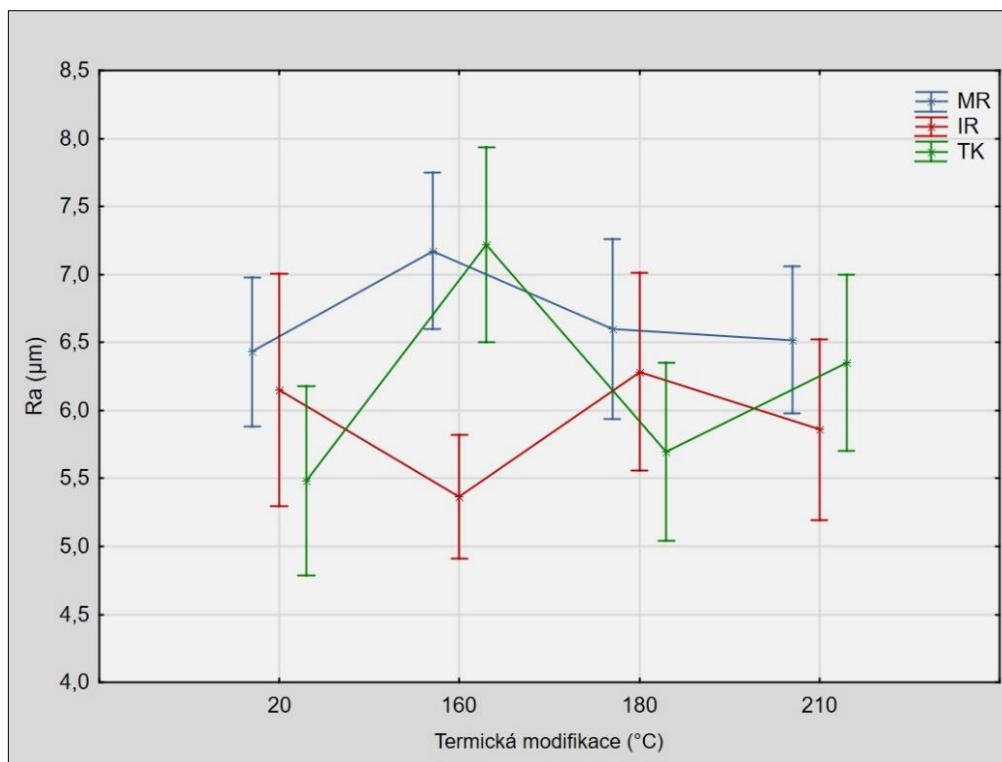
5. Výsledky a diskuze

5.1. Drsnost

Termická modifikace

Průběh vlivu termické modifikace na drsnost (průměrnou aritmetickou úchylku povrchu drsnosti – Ra) je zaznamenán v grafu 4. Podobný průběh vidíme u dřevin meranti a teak, kdy při zvýšení teploty na 160 °C hodnoty narůstají a následně se při navýšení teploty na 180 °C snižují (hodnoty dřeviny iroko mají opačný průběh). Při dalším zvýšení teploty na 210 °C hodnoty dřevin meranti a iroko klesají, oproti tomu u dřeviny teak se hodnota drsnosti zvyšuje.

Statisticky významný rozdíl (viz Tabulka 8) byl prokázán při zvýšení teploty z 20 na 160 °C a ze 160 na 180 °C (iroko a teak). Nejnižší drsnosti, tedy nejlepšího požadovaného výsledku bylo dosaženo u dřeviny iroko, a to při termické modifikaci na 160 °C. Konkrétně byla naměřena hodnota 5,365 μm , což je takřka o 26 % méně, než nejvyšší naměřená hodnota 7,217 μm , která náleží dřevině teak taktéž při termické modifikaci 160 °C.



Graf 4: Vliv termické modifikace na drsnost

Tabulka 8: Vliv termické modifikace na drsnost s využitím Duncanova testu

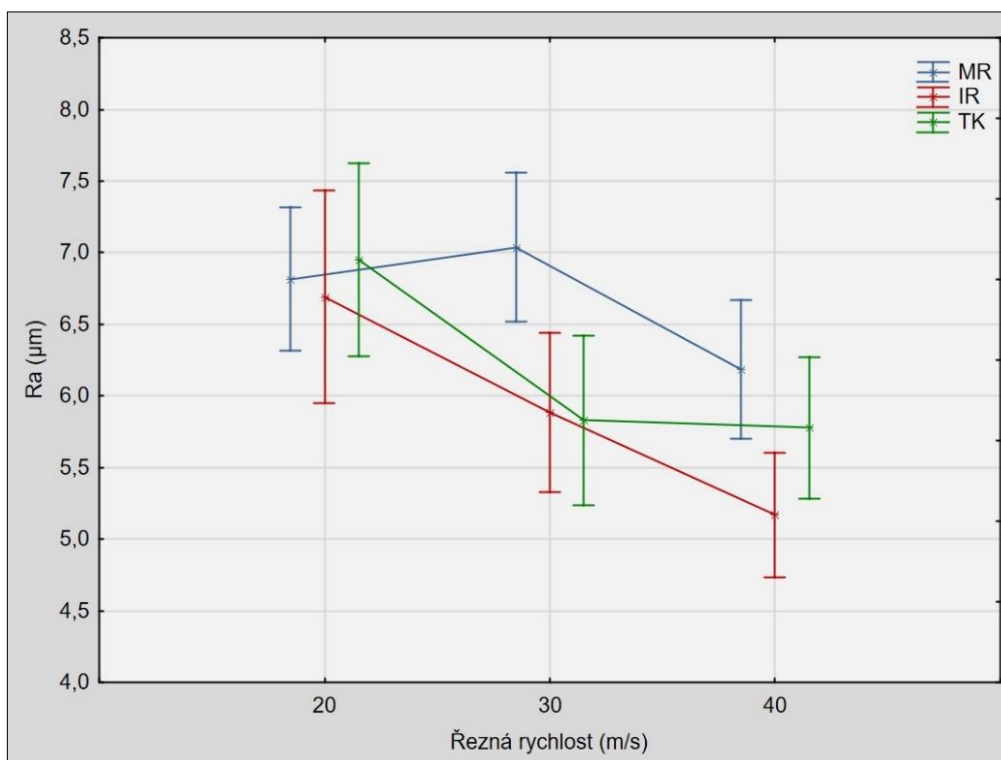
IROKO				
Termická modifikace (°C)	(1)	(2)	(3)	(4)
	6,148	5,365	6,285	5,859
20		0,029	0,690	0,399
160	0,029		0,012	0,150
180	0,690	0,012		0,244
210	0,399	0,150	0,244	
MERANTI				
Termická modifikace (°C)	(1)	(2)	(3)	(4)
	6,430	7,173	6,598	6,519
20		0,081	0,689	0,819
160	0,081		0,139	0,112
180	0,689	0,139		0,840
210	0,819	0,112	0,840	
TEAK				
Termická modifikace (°C)	(1)	(2)	(3)	(4)
	5,481	7,217	5,697	6,350
20		0,000	0,636	0,071
160	0,000		0,001	0,057
180	0,636	0,001		0,151
210	0,071	0,057	0,151	

Výsledky ze studie Gündüz *et al.* (2007) ukázaly, že hodnoty drsnosti povrchu se snižovaly s rostoucí teplotou modifikace a také s dobou ošetření. Vliv termické modifikace na drsnost povrchu zkoumali i Kviťková *et al.* (2015). V jejich výzkumu bylo prokázáno, že tepelné zpracování bukového dřeva nemá žádný vliv na drsnost povrchu po frézování, což je patrné i z našich výsledků. Na drsnost povrchu mají větší vliv jiné faktory, jako např. řezná rychlost (viz níže).

Řezná rychlost

Vliv řezné rychlosti na výslednou jakost povrchu vyjádřenou průměrnou aritmetickou úchylkou profilu R_a je graficky znázorněn na grafu 5. Obecně můžeme tvrdit, že s narůstající řeznou rychlostí dochází k poklesu drsnosti, což platí téměř u všech naměřených hodnot s výjimkou dřeviny meranti, konkrétně při změně řezné rychlosti z 20 na 30 m/s. Zde je však vhodné podotknout, že v tomto případě ojedinělý nárůst hodnoty R_a není statisticky významný, jak můžeme vidět v tabulce 9.

V tabulce 9 vidíme, že byl prokázán statisticky významný rozdíl při zvýšení řezné rychlosti z 30 na 40 m/s (meranti a iroko), dále byl zjištěn při zvýšení řezné rychlosti z 20 na 30 m/s (iroko a teak). Nejnižší hodnota R_a byla naměřena 5,169 μm , což je téměř o 27 % méně, než nejvyšší naměřená hodnota 7,037 μm .



Graf 5: Vliv řezné rychlosti na drsnost

Tabulka 9: Vliv řezné rychlosti na drsnost s využitím Duncanova testu

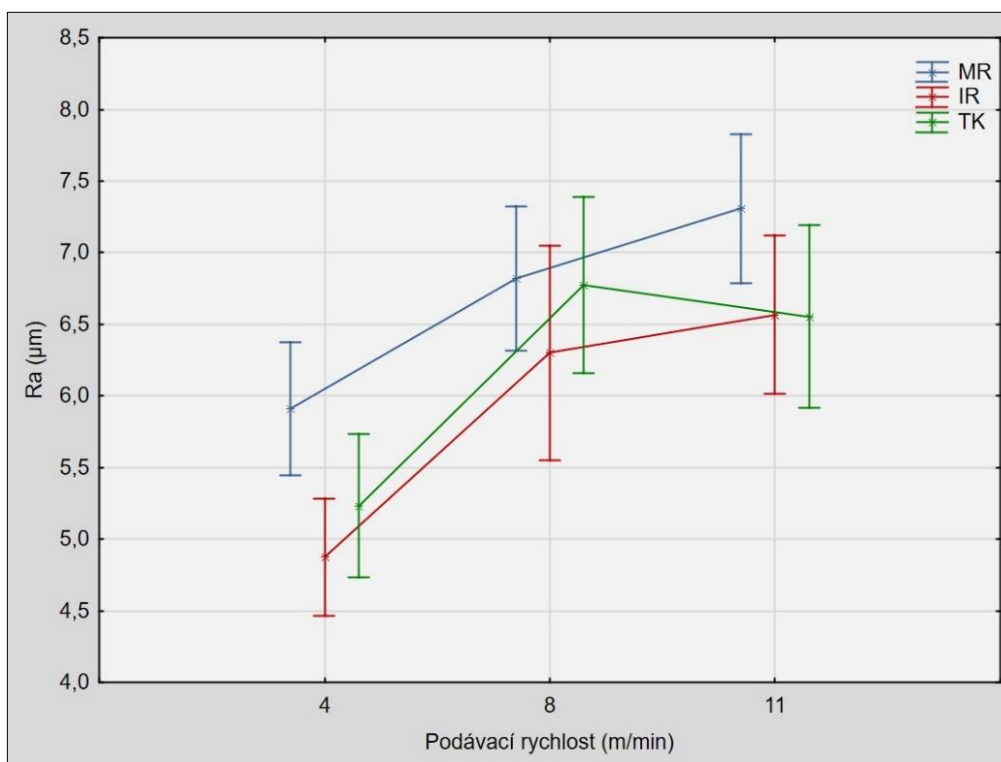
MERANTI			
Řezná rychlost (m/s)	(1)	(2)	(3)
	6,816	7,037	6,187
20		0,511	0,061
30	0,511		0,016
40	0,061	0,016	
IROKO			
Řezná rychlost (m/s)	(1)	(2)	(3)
	6,690	5,884	5,169
20		0,007	0,000
30	0,007		0,016
40	0,000	0,016	
TEAK			
Řezná rychlost (m/s)	(1)	(2)	(3)
	6,952	5,830	5,777
20		0,004	0,004
30	0,004		0,893
40	0,004	0,893	

Snižující se hodnoty drsnosti povrchu se zvyšováním řezné rychlosti potvrzují ve svých výzkumech i Kvietková *et al.* (2015) a Korčok *et al.* (2018). Tuto problematiku zkoumali i Keturakis a Juodeikienė (2007), kteří ve své práci uvedli jako důvod snižování drsnosti povrchu při zvyšování řezné rychlosti fakt, že se zrychluje celý proces obrábění, který je pravidelný a díky tomu nedochází k ničení povrchu dřeva kompresí.

Podávací rychlost

Vliv podávací rychlosti na drsnost (průměrnou aritmetickou úchylku povrchu drsnosti – Ra) má prakticky opačný průběh než řezná rychlost, tzn., že téměř ve všech případech se s narůstáním podávací rychlosti Ra zvyšuje, a to s výjimkou zvýšení podávací rychlosti z 8 na 11 m/min u dřeviny teak.

Z Duncanova testu (Tabulka 10) vyplývá, že statisticky významný rozdíl byl zaznamenán u všech tří dřevin shodně, a to při zvýšení podávací rychlosti ze 4 na 8 m/min. Při následném zvýšení z 8 na 11 m/min se statisticky významný rozdíl ani u jedné z dřevin neprokázal. Nejnižší tedy nejpříjemnější naměřená hodnota byla 4,875 μm , což je téměř o 33 % méně než nejvyšší naměřená hodnota 7,308 μm .



Graf 6: Vliv podávací rychlosti na drsnost

Tabulka 10: Vliv podávací rychlosti na drsnost s využitím Duncanova testu

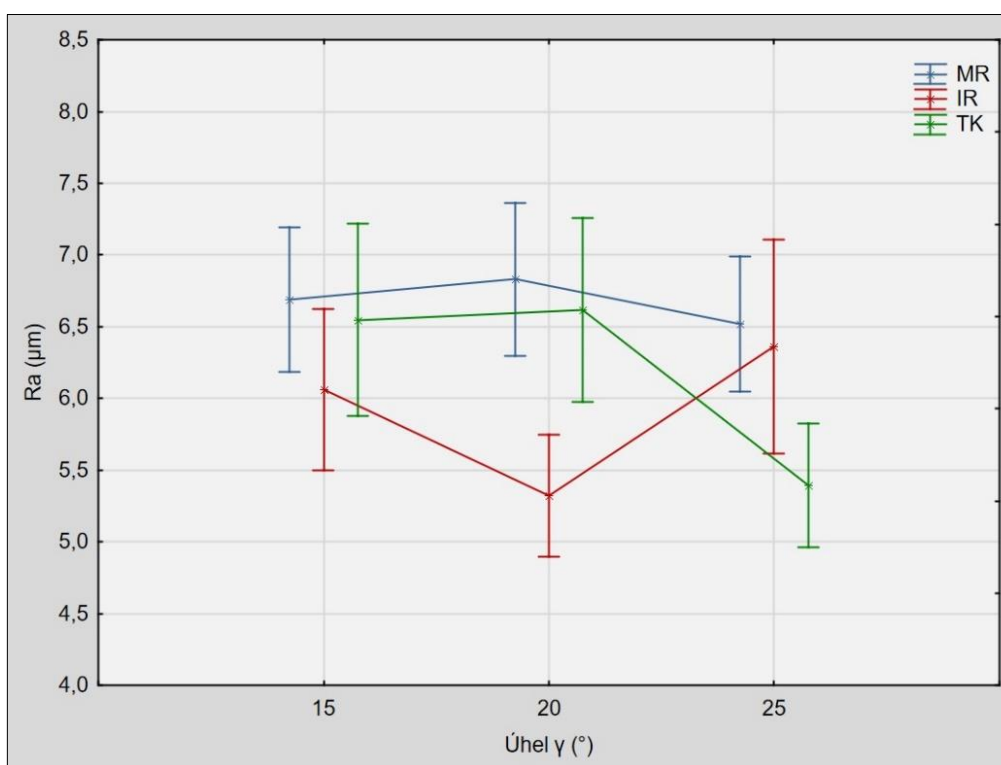
MERANTI			
Podávací rychlost (m/min)	(1)	(2)	(3)
	5,909	6,823	7,308
4		0,007	0,000
8	0,007		0,149
11	0,000	0,149	
IROKO			
Podávací rychlost (m/min)	(1)	(2)	(3)
	4,875	6,301	6,567
4		0,000	0,000
8	0,000		0,370
11	0,000	0,370	
TEAK			
Podávací rychlost (m/min)	(1)	(2)	(3)
	5,233	6,773	6,553
4		0,000	0,001
8	0,000		0,577
11	0,001	0,577	

Vlivu podávací rychlosti na Ra se věnovali Škaljić *et al.* (2009). V tomto výzkumu byl statisticky významný rozdíl zaznamenán při změně podávací rychlosti z 6 na 12 m/min u tří měřených materiálů ze čtyř. Při porovnání podávací rychlosti 6 m/min s rychlostmi 18 a 24 m/min se projevil statisticky významný rozdíl ve všech testovaných případech. Dále se při srovnání podávacích rychlostí 18 a 24 m/min žádný statisticky významný rozdíl neprojevil. Keturakis a Juodeikienė (2007) ve svém výzkumu došli k závěru, že pokud se posuvná rychlost zvyšuje, zvyšuje se i drsnost povrchu. S narůstající rychlostí posuvu do řezu totiž postupně dochází místo k řezání dřevních vláken k jejich vytrhávání, a to zhoršuje kvalitu povrchu. Ke stejnému výsledku došli ve své studii i Pinkowski *et al.* (2016).

Úhel

Vliv úhlu nástroje na Ra (průměrnou aritmetickou úchylku povrchu drsnosti) je zaznamenán v grafu 7. Při změně úhlu γ z 15 na 20 ° se hodnoty drsnosti nepatrně zvýšily a následně při zvětšení úhlu γ na 25 ° došlo k jejich snížení (teak a meranti). Křivka dřeviny iroko má opačný průběh (nejprve klesá a následně roste). Nejideálnější hodnota Ra (nejnižší) byla naměřena 5,32 μm , naopak hodnota nejméně ideální (nejvyšší) byla naměřena 6,831 μm (to je cca o 28 % více).

Statisticky významný rozdíl (Tabulka 11) byl zaznamenán při změně úhlu γ z 15 na 20° (iroko) a taktéž z 20 na 25 ° (iroko a teak). U dřeviny meranti nebyla změna řezného úhlu nástroje nijak významná, to platí i při změně úhlu γ z 15 na 20 ° u dřeviny teak.



Graf 7: Vliv úhlu γ na drsnost (Ra)

Tabulka 11: Vliv úhlu γ na tvrdost (Ra) s využitím Duncanova testu

MERANTI			
Úhel (°)	(1)	(2)	(3)
15	6,690	6,831	6,520
20		0,675	0,613
25	0,675		0,387
	0,613	0,387	
IROKO			
Úhel (°)	(1)	(2)	(3)
15	6,060	5,320	6,362
20		0,013	0,308
25	0,013		0,001
	0,308	0,001	
TEAK			
Úhel (°)	(1)	(2)	(3)
15	6,549	6,618	5,393
20		0,861	0,003
25	0,861		0,003
	0,003	0,003	

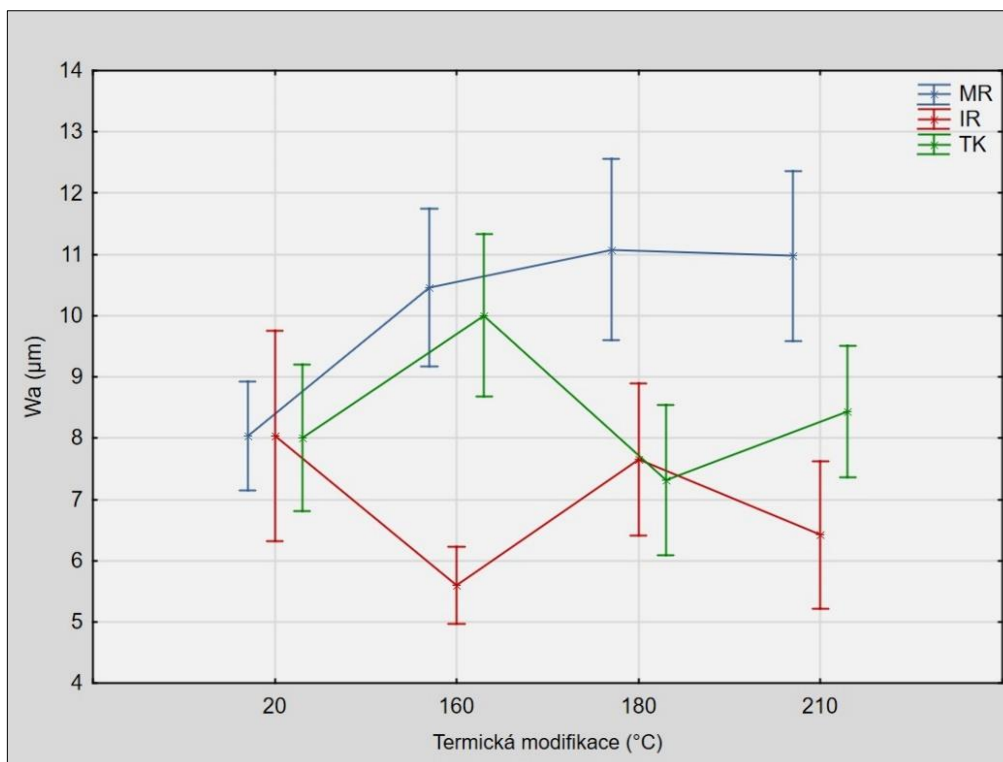
Korčok *et al.* (2018) ve svém výzkumu prokázali, že nejvyšší hodnoty drsnosti byly naměřeny při použití úhlu 15 °, nejnižší při 30 °. Testovali úhel 20 °, ten vykazoval vyšší hodnoty drsnosti než 30 °. Jak již bylo zmíněno, Kaplan *et al.* (2018) ve svém výzkumu prokázali, že úhlová geometrie má jednoznačný vliv na kvalitu povrchu. To jsme potvrdili v některých případech. Musíme brát ovšem v úvahu, že největší nepřímý vliv má řezná rychlost a hlavně, že všechny parametry nastavení působí najednou.

5.2. Vlnitost

Termická úprava

Vliv termické modifikace na vlnitost (reprezentovanou aritmetickou úchylkou profilu vlnitosti – W_a) je graficky zobrazena na grafu 8. U všech tří dřevin vidíme odlišný průběh.

Při pohledu na Duncanův test (Tabulka 12) vidíme, že statisticky významný vliv byl zaznamenán při zvýšení teploty z 20 na 160 °C (u všech tří dřevin) a poté ze 160 na 180 °C (iroko a teak). U dřeviny meranti se dále prokázal statisticky významný rozdíl i mezi referenční teplotou (20 °C) a teplotami 180 a 210 °C. Nejnižší hodnota náleží dřevině iroko při tepelné úpravě 160 °C ve výši 5,597 μm , což je cca o 50 % méně než nejvyšší naměřená hodnota vlnitosti 11,081 μm .



Graf 8: Vliv termické modifikace na vlnitost (W_a)

Tabulka 12: Vliv termické modifikace na vlnitost (W_a) s využitím Duncanova testu

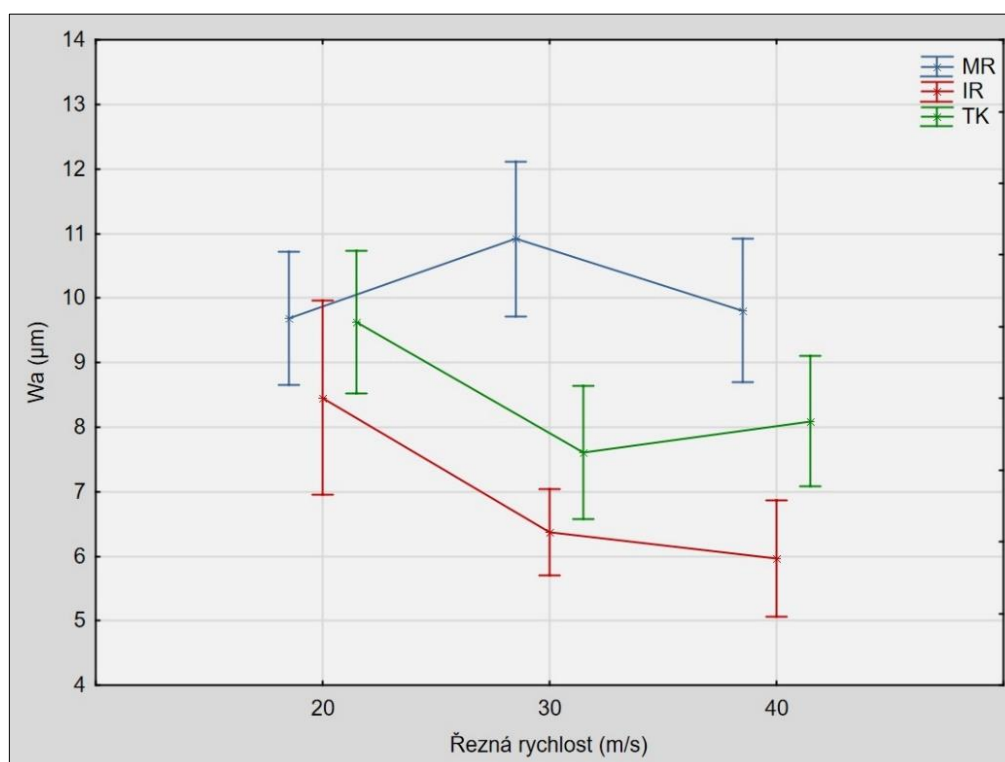
MERANTI				
Termická modifikace (°C)	(1)	(2)	(3)	(4)
	8,035	10,459	11,081	10,978
20		0,006	0,001	0,001
160	0,006		0,508	0,554
180	0,001	0,508		0,906
210	0,001	0,554	0,906	
IROKO				
Termická modifikace (°C)	(1)	(2)	(3)	(4)
	8,032	5,597	7,652	6,422
20		0,001	0,595	0,032
160	0,001		0,006	0,249
180	0,595	0,006		0,086
210	0,032	0,249	0,086	
TEAK				
Termická modifikace (°C)	(1)	(2)	(3)	(4)
	8,006	10,006	7,312	8,440
20		0,023	0,407	0,605
160	0,023		0,002	0,062
180	0,407	0,002		0,206
210	0,605	0,062	0,206	

Vliv teploty termické modifikace se neprojevil jednoznačně, vlnitost je více než čímkoliv jiným ovlivněna hlavně nastavením podávací a řezné rychlosti. Toto potvrzuje ve svém výzkumu i (Sedlecký a Kvietková, 2017). Na základě výsledků, které uvedli ve své studii Gaff *et al.* (2015) lze konstatovat, že tepelné zpracování nemělo významný vliv na vlnitost povrchu (vyjádřenou pomocí W_a) březového dřeva při rovinném frézování. Kaplan *et al.* (2018) ve svém výzkumu došli k jinému závěru, a to, že se vzrůstající teplotou narůstá i zvlnění termicky upraveného dřeva dubu.

Řezná rychlost

V grafu 9 je znázorněný vliv řezné rychlosti na vlnitost povrchu (reprezentovanou aritmetickou úchylkou profilu vlnitosti – W_a). Ve dvou případech (teak a iroko) vidíme pokles vlnitosti s narůstající řeznou rychlostí z 20 na 30 m/s, následně taktéž ve dvou případech křivka vlnitosti stále klesá (meranti a iroko), v dalších dvou případech můžeme pozorovat zvýšení vlnitosti, a to konkrétně u dřeviny meranti při navýšení řezné rychlosti z 20 na 30 m/s a u dřeviny teak při zvýšení řezné rychlosti z 20 na 30 m/s.

Vhodné je si všimnout statisticky významných rozdílů v tabulce 13. Byly prokázány v již zmíněných dvou případech (teak a iroko) při zvýšení řezné rychlosti z 20 na 30 m/s (klesající tendence). Nejnižší (tedy nejideálnější) naměřená hodnota 5,958 μm (tedy nejideálnější) se projevila při řezné rychlosti 40 m/s, což je o 45 % méně, než vykazuje nejvyšší naměřená hodnota 10,92 μm , kterou jsme zaznamenali při řezné rychlosti 30 m/s.



Graf 9: Vliv řezné rychlosti na vlnitost (W_a)

Tabulka 13: Vliv řezné rychlosti na vlnitost (Wa) s využitím Duncanova testu

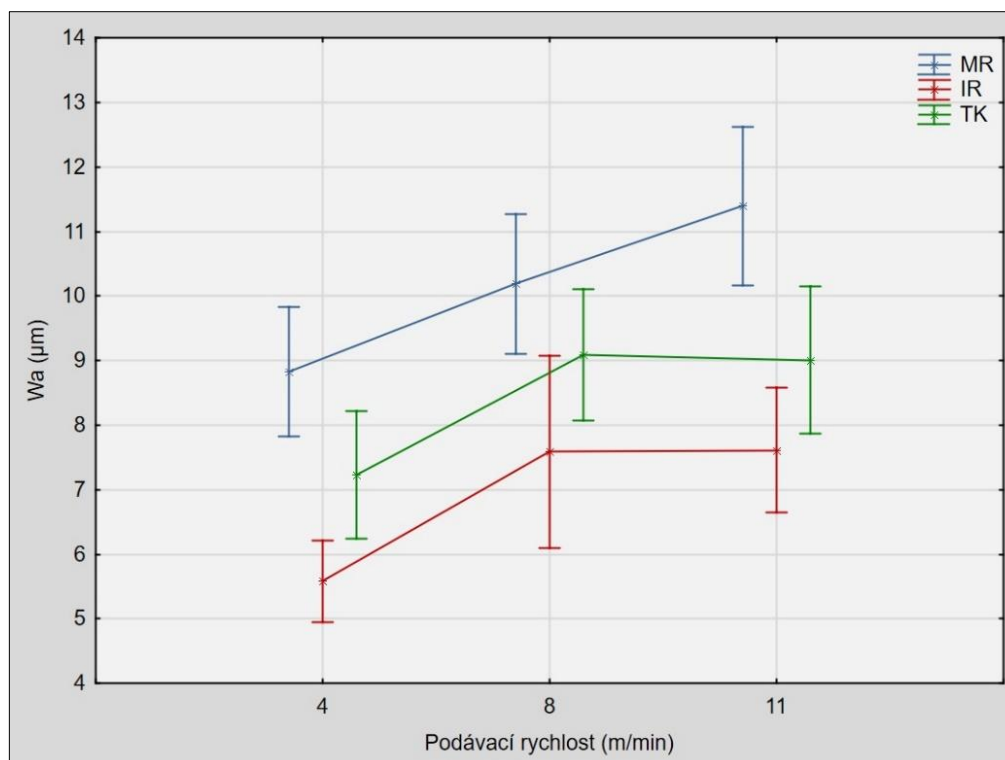
MERANTI			
Řezná rychlost (m/s)	(1)	(2)	(3)
	9,689	10,920	9,807
20		0,126	0,877
30	0,126		0,143
40	0,877	0,143	
IROKO			
Řezná rychlost (m/s)	(1)	(2)	(3)
	8,453	6,367	5,958
20		0,001	0,000
30	0,001		0,510
40	0,000	0,510	
TEAK			
Řezná rychlost (m/s)	(1)	(2)	(3)
	9,626	7,605	8,091
20		0,007	0,034
30	0,007		0,503
40	0,034	0,503	

Snižující se trend potvrzují výzkumy jiných autorů. Gaff *et al.* (2015) dokázali, že s rostoucí řeznou rychlostí se Wa snižuje. Totéž tvrzení dokazuje i výzkum Kviťková *et al.* (2015). Tento předpoklad se nám nepodařilo potvrdit u dřeviny meranti. Jak ale vidíme, rozdíly hodnot mezi zkoumanými rychlostmi se neprokázaly jako statisticky významné. Jak již výše zmiňujeme, Sedlecký a Kviťková (2017) taktéž ve svém výzkumu prokázali, že řezná rychlost má významný vliv na kvalitu povrchu.

Podávací rychlost

Z grafu 10 je vidět, že se téměř ve všech zkoumaných případech s narůstající podávací rychlostí zvyšuje W_a (aritmetická úchylka profilu vlnitosti) s výjimkou nepatrného snížení, a to u dřeviny teak mezi podávacími rychlostmi 8 a 11 m/min.

Statisticky významný rozdíl pozorujeme ve všech třech případech, bereme-li v potaz změnu podávací rychlosti ze 4 na 11 m/s (Tabulka 14). Dále se pak projevil statisticky významný rozdíl při změně řezné rychlosti ze 4 na 8 m/min (iroko a teak). Nejnižší naměřená hodnota je v tomto případě 5,579 μm , což je o 51 % méně, než zjištěná nejvyšší hodnota W_a 11,394 μm .



Graf 10: Vliv podávací rychlosti na vlnitost (W_a)

Tabulka 14: Vliv podávací rychlosti na vlnitost (W_a) s využitím Duncanova testu

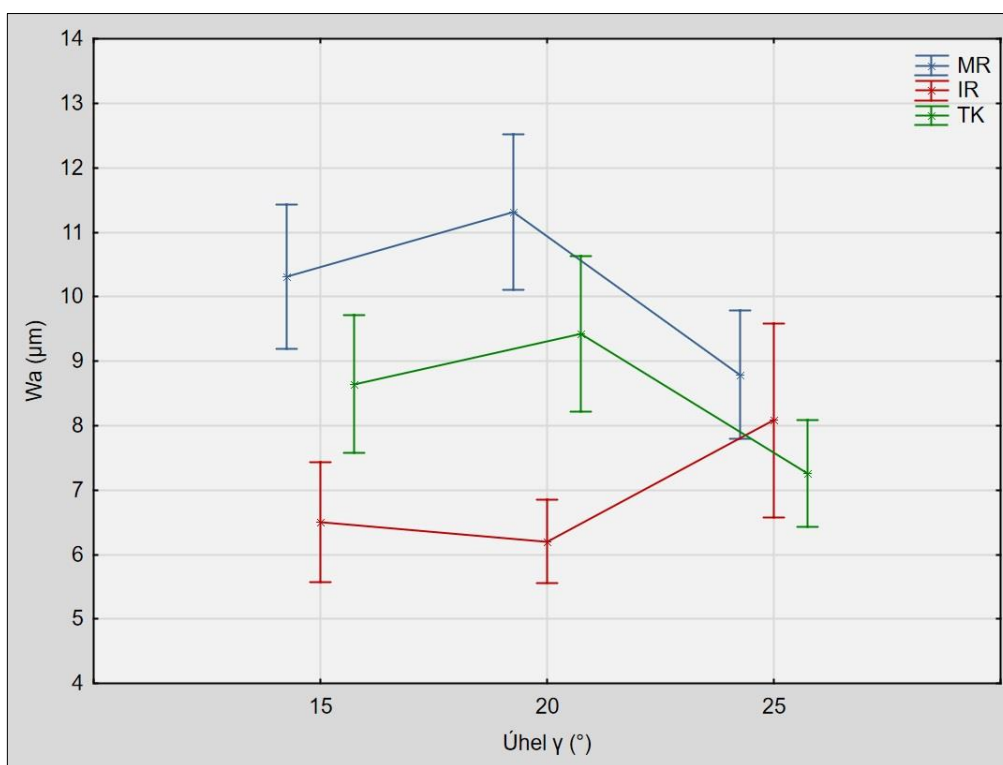
MERANTI			
Podávací rychlost (m/min)	(1)	(2)	(3)
	8,831	10,190	11,394
4		0,073	0,001
8	0,073		0,113
11	0,001	0,113	
IROKO			
Podávací rychlost (m/min)	(1)	(2)	(3)
	5,579	7,585	7,614
4		0,001	0,001
8	0,001		0,962
11	0,001	0,962	
TEAK			
Podávací rychlost (m/min)	(1)	(2)	(3)
	7,227	9,088	9,008
4		0,014	0,014
8	0,014		0,913
11	0,014	0,913	

Rostoucí trend hodnot W_a potvrzují ve svém výzkumu i Gaff *et al.* (2015), kteří došli k závěru, že se zvyšující se podávací rychlostí se hodnota W_a zvyšuje. Kvietková *et al.* (2015) taktéž potvrdili, že hodnota W_a společně se zvyšující se podávací rychlostí roste.

Úhel

Závislost úhlu γ na vlnitost povrchu (reprezentovanou aritmetickou úchytkou profilu vlnitosti – W_a) můžeme pozorovat na grafu 11. Podobného průběhu si můžeme všimnout u dřevin meranti a teak, kde při změně řezného úhlu γ z 15 na 20 ° hodnota vlnitosti roste a následně při zvětšení úhlu γ z 20 na 25 °C klesá. Oproti tomu dřevina iroko vykazuje opačný průběh této závislosti (s první změnou úhlu γ mírně klesá a následně stoupá).

Z tabulky 15 je očividné, že byl zaznamenán statisticky významný rozdíl u všech tří dřevin při změně úhlu γ z 20 na 25 °. Dále pak vidíme statisticky významný rozdíl mezi hodnotami úhlu γ 15 a 25 ° (meranti a iroko). Nejnížší naměřená hodnota je 6,199 μm , tedy o 45 % nižší, než nejvyšší naměřená hodnota 11,316 μm .



Graf 11: Vliv úhlu γ na vlnitost (W_a)

Tabulka 15: Vliv úhlu γ na vlnitost (W_a) s využitím Duncanova testu

MERANTI			
Úhel (°)	(1)	(2)	(3)
15	10,312	11,316	8,786
20		0,186	0,045
25	0,186		0,001
	0,045	0,001	
IROKO			
Úhel (°)	(1)	(2)	(3)
15	6,400	6,199	8,082
20		0,630	0,011
25	0,630		0,003
	0,011	0,003	
TEAK			
Úhel (°)	(1)	(2)	(3)
15	8,642	9,422	7,259
20		0,282	0,057
25	0,282		0,004
	0,057	0,004	

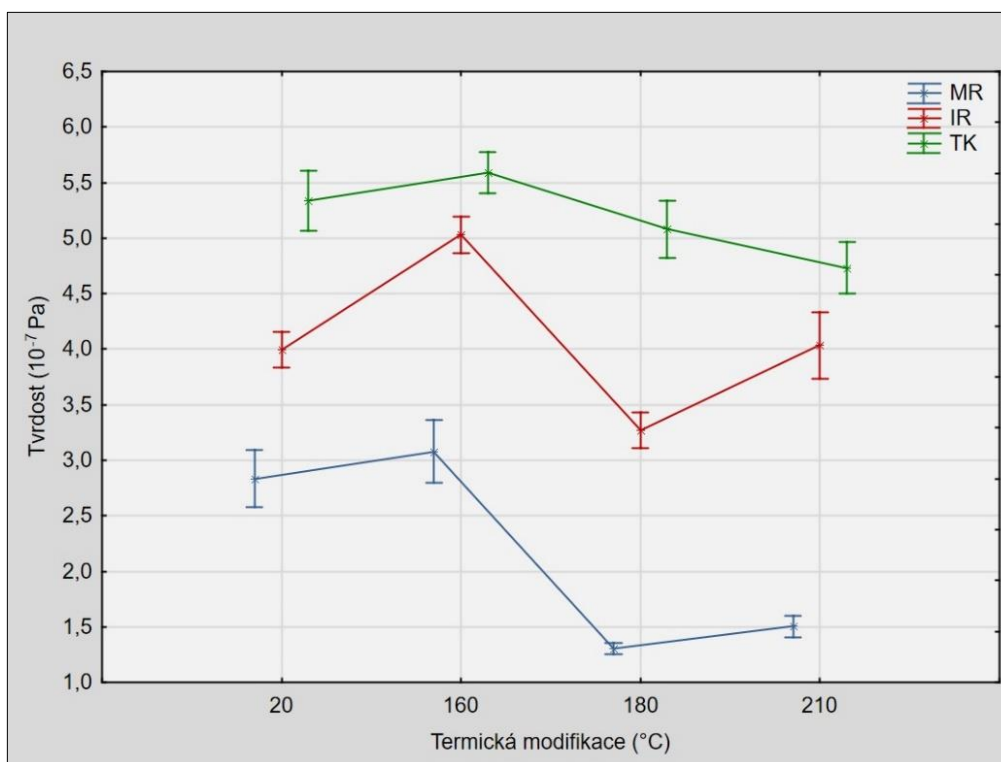
Podobné závislosti definuje ve svém výzkumu i Sedlecký (2018). Kaplan *et al.* (2018) ve svém výzkumu prokázali, že nástroj s úhlem sklonu 25 ° je pro obrábění tepelně upraveného dřeva dubu nevhodnější. Toto tvrzení jsme u dřevin meranti a teak potvrdili. Čím je úhel γ větší, tím snadněji povrch opracovává, tudíž je kvalita povrchu lepší, než kdyby byl zvolen úhel γ menší. Musí však zůstat zachován alespoň takový úhel, aby došlo k porušení obráběného povrchu a ke vzniku třísky. Jinými slovy nelze zvyšovat úhel γ za únosnou hranici pro obrábění. Dále můžeme konstatovat, že změna úhlu γ se projeví spíše u drsnosti než u vlnitosti, a to z toho důvodu, že na vlnitost má ze své podstaty vliv hlavně nastavení otáček vřetene a podávací rychlost.

5.3. Tvrdost

Termická modifikace

Vliv termické modifikace je graficky zobrazen v grafu 12, kde můžeme vidět podobný průběh u všech tří dřevin. U dřeviny teak se nejprve při termické modifikaci na 160 °C tvrdost zvyšuje a následně se hodnoty snižují. U dřeviny iroko a meranti probíhá první a druhá fáze zvyšování teploty obdobně s rozdílem, že při zvýšení teploty ze 180 na 210 °C hodnoty tvrdosti opět narůstají.

Při vyhodnocení Duncanova testu (Tabulka 16), jsme došli k závěrům, že u většiny případů se potvrdil statisticky významný rozdíl. Pouze u dřeviny teak jsme neprokázali statisticky významnou změnu tvrdosti v závislosti na změně teploty z 20 °C na 160 a 180 °C. Ve výzkumu (Shi 2015) nezjistili jednoznačný vliv teploty na tvrdost, ale zjistili závislost mezi dřevinou a tvrdostí. Minimální hodnota tvrdosti byla naměřena ve výši $1,307 \cdot 10^{-7}$ Pa, což je o cca 77 % méně, než maximální naměřená hodnota $5,588 \cdot 10^{-7}$ Pa.



Graf 12: Vliv termické modifikace na tvrdost

Tabulka 16: Vliv termické modifikace na tvrdost s využitím Duncanova testu

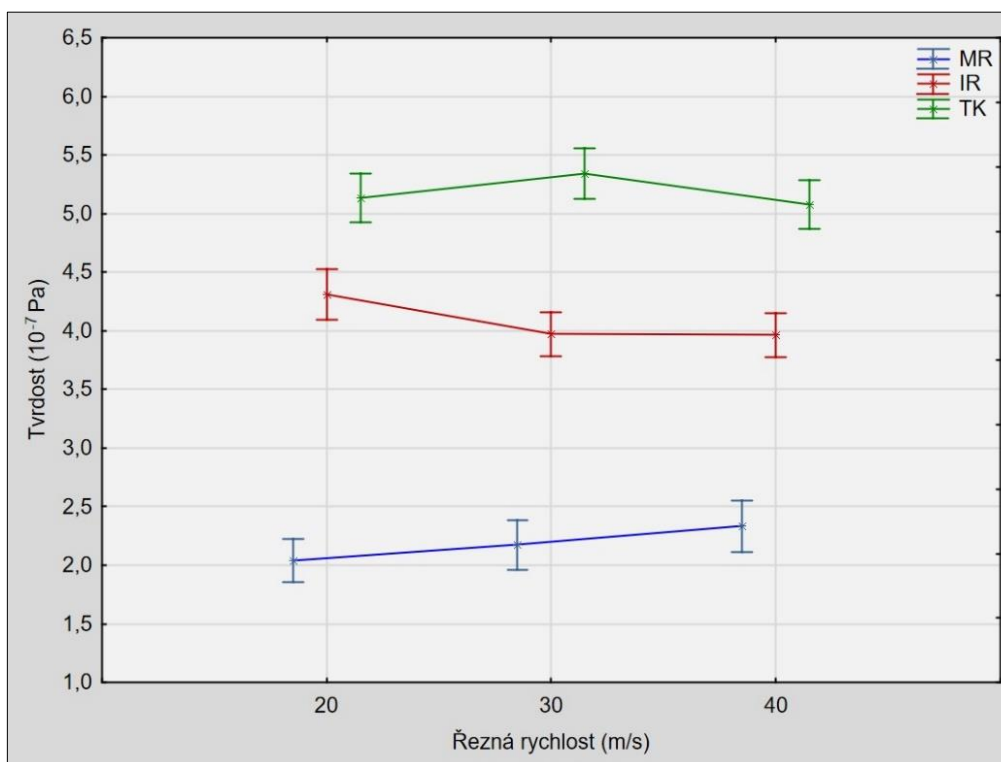
MERANTI				
Termická modifikace (°C)	(1)	(2)	(3)	(4)
	2,833	3,078	1,307	1,506
20		0,010	0,000	0,000
160	0,010		0,000	0,000
180	0,000	0,000		0,034
210	0,000	0,000	0,034	
IROKO				
Termická modifikace (°C)	(1)	(2)	(3)	(4)
	3,995	5,031	3,269	4,034
20		0,000	0,000	0,687
160	0,000		0,000	0,000
180	0,000	0,000		0,000
210	0,687	0,000	0,000	
TEAK				
Termická modifikace (°C)	(1)	(2)	(3)	(4)
	5,339	5,588	5,080	4,730
20		0,067	0,058	0,000
160	0,067		0,000	0,000
180	0,058	0,000		0,010
210	0,000	0,000	0,010	

Ve výzkumu (Korkut 2015) tvrdí, že se zvyšováním teploty se snižuje tvrdost a za toto snížení může snížení hmotnosti a nárůst koncentrace kyseliny mravenčí a octové. Borrega (2011) uvádí, že hlavním nedostatkem tepelně zpracovaného dřeva je snížení jeho mechanických vlastností, a to se děje v důsledku úbytku materiálu v buněčné stěně, degradace hemicelulózy a modifikace molekul s dlouhým řetězcem, což je omezující pro jeho využití na aplikace, kde nejsou kladeny požadavky na dobré mechanické vlastnosti.

Řezná rychlost

V uvedeném grafu 13 si můžeme všimnout, že u všech tří dřevin má vliv řezné rychlosti na tvrdost rozdílný průběh. Průběh křivky u dřeviny meranti má rostoucí tendenci. A to jak při zvýšení řezné rychlosti na 30 m/s (to platí i pro teak), tak i při jejím následném navýšení na 40 m/s. U dřeviny teak při zvýšení řezné rychlosti ze 30 m/s na 40 m/s můžeme pozorovat klesající průběh křivky, stejně tak u dřeviny iroko, která má klesající tendenci v celém svém průběhu.

Z Duncanova testu (Tabulka 17) vyplývá, že se statisticky významný rozdíl ani jedné z testovaných řezných rychlostí neprojevil u všech tří dřevin, z čehož vyplývá, že s rozdílností dřevin se vliv řezné rychlosti na tvrdost mění. Velmi významný statistický rozdíl s hladinou významnosti $P = 0,000$ se projevil při zvýšení řezné rychlosti 20 na 30 m/s, a to u dřeviny iroko. Zřejmý statisticky významný rozdíl se dále projevil u meranti a teaku při navýšení řezné rychlosti z 30 na 40 m/s. Minimální hodnotu zde můžeme vidět ve výši $2,038 \cdot 10^{-7}$ Pa, což je o 62 % méně, než nejvyšší naměřená hodnota $5,341 \cdot 10^{-7}$ Pa.



Graf 13: Vliv řezné rychlosti na tvrdost

Tabulka 17: Vliv řezné rychlosti na tvrdost s využitím Duncanova testu

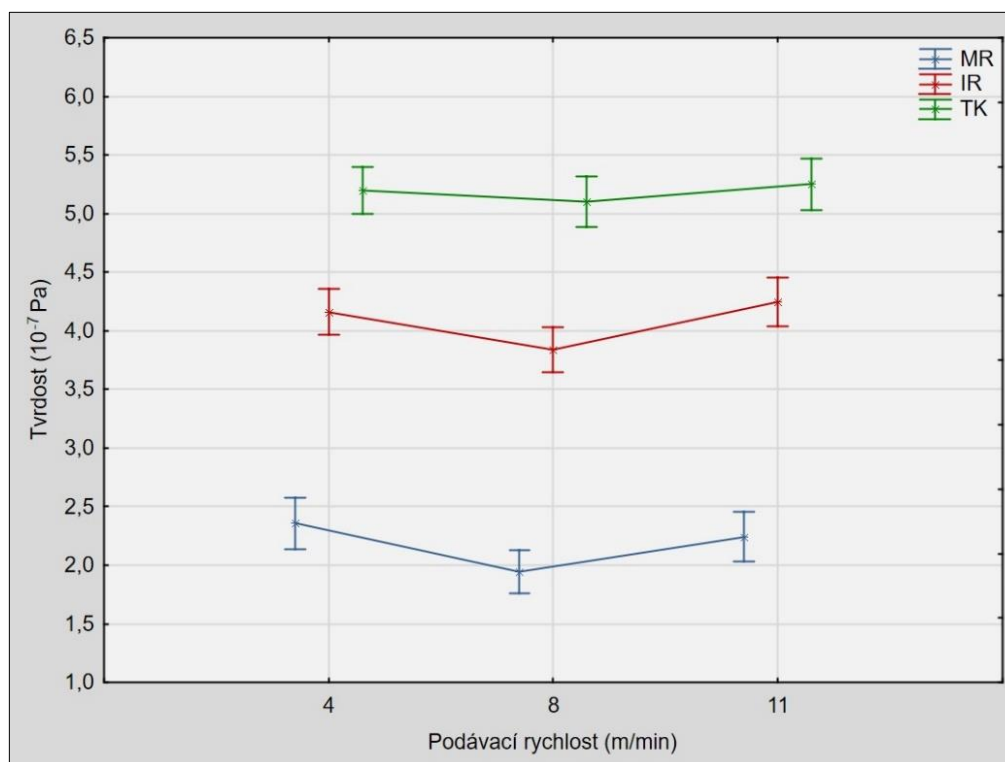
MERANTI			
Řezná rychlost (m/s)	(1)	(2)	(3)
	2,038	2,172	2,332
20		0,101	0,000
30	0,101		0,050
40	0,000	0,050	
IROKO			
Řezná rychlost (m/s)	(1)	(2)	(3)
	4,308	3,974	3,964
20		0,000	0,000
30	0,000		0,911
40	0,000	0,911	
TEAK			
Řezná rychlost (m/s)	(1)	(2)	(3)
	5,136	5,341	5,075
20		0,082	0,605
30	0,082		0,032
40	0,605	0,032	

Z výše uvedeného vyplývá, že nelze hovořit o jasné závislosti mezi řeznou rychlostí a tvrdostí. I když řezná rychlost výslednou tvrdost ovlivňuje, nelze předvídat, jakým způsobem. Z tohoto lze vyvodit závěry, že deformace v oblasti řezu nejsou tak výrazné, aby korespondovaly s řeznou rychlostí a na tvrdost má větší vliv právě morfologická stavba dřeva a jeho hustota.

Podávací rychlost

Závislost podávací rychlosti na tvrdost můžeme vidět graficky zaznamenanou níže v grafu 14, kde si můžeme všimnout stejného průběhu u všech tří dřevin. Nejprve jsme se zvýšením podávací rychlosti ze 4 na 8 m/min zaznamenali snížení hodnot tvrdosti, které se následně se zvýšením podávací rychlosti na 11 m/min zvyšují.

Statisticky významnou změnu tvrdosti můžeme sledovat v případě meranti při změně podávací rychlosti ze 4 na 8 m/min, stejně tak u dřeviny iroko a teak, a to se zvýšením podávací rychlosti z 8 na 11 m/min. Nejnižší naměřená hodnota činí $1,944 \cdot 10^{-7}$ Pa, což je o 63 % méně, než činí nejvyšší naměřená hodnota $5,253 \cdot 10^{-7}$ Pa.



Graf 14: Vliv podávací rychlosti na tvrdost

Tabulka 18: Vliv podávací rychlosti na tvrdost s využitím Duncanova testu

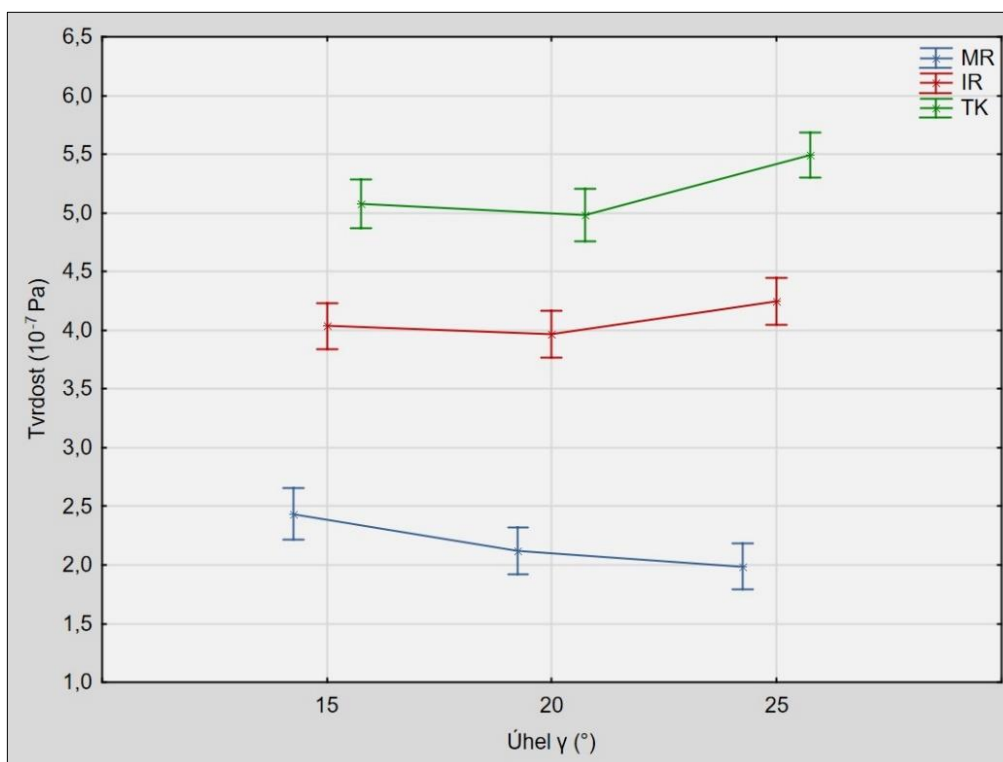
MERANTI			
Podávací rychlost (m/min)	(1)	(2)	(3)
	2,357	1,944	2,242
4		0,000	0,000
8	0,000		0,102
11	0,000	0,102	
IROKO			
Podávací rychlost (m/min)	(1)	(2)	(3)
	4,161	3,838	4,248
4		0,393	0,015
8	0,393		0,001
11	0,015	0,001	
TEAK			
Podávací rychlost (m/min)	(1)	(2)	(3)
	5,198	5,102	5,253
4		0,424	0,000
8	0,424		0,000
11	0,000	0,000	

K celkovému shrnutí můžeme dodat, že u podávací rychlosti se ukázal jednoznačný průběh, ale statisticky významné rozdíly se většinou projeví až při větší změně podávací rychlosti. Z výše zmíněného vyplývá, že tvrdost obrobeneho povrchu se sice měnila, ale ne tak výrazně. Nejnížší hodnoty tvrdosti se ukázaly u podávací rychlosti 8 m/min, a to si vysvětlujeme optimálním nastavením pro tyto dřeviny, což může mít za následek minimální stlačení obráběného materiálu, a tedy i nižší tvrdost.

Úhel

Na následujícím grafu (Graf 15) můžeme vidět vliv úhlu γ na tvrdost povrchu. Se změnou úhlu γ z 15 na 20 ° sledujeme snížení tvrdosti, s následným zvětšením úhlu γ z 20 na 25 ° si můžeme ve dvou případech všimnout nárůstu tvrdosti (teak a iroko), v případě třetí dřeviny (meranti) má toto zvětšení úhlu γ na jeho tvrdost negativní vliv.

Statisticky významný rozdíl pozorujeme u zvětšení úhlu γ z 15 na 25 ° u všech třech dřevin. Pokud se zaměříme na změnu úhlu γ z 20 na 25 °, můžeme si všimnout statisticky významného rozdílu u dřeviny iroko a teak. Ojedinělý, avšak statisticky velmi významný rozdíl s hodnotou $P = 000$ byl prokázán v případě zvětšení úhlu γ z 15 na 20 °, a to u dřeviny meranti.



Graf 15: Vliv úhlu γ na tvrdost

Tabulka 19: Vliv úhlu γ na tvrdost s využitím Duncanova testu

MERANTI			
Úhel (°)	(1)	(2)	(3)
	2,434	2,121	1,988
15		0,000	0,000
20	0,000		0,102
25	0,000	0,102	
IROKO			
Úhel (°)	(1)	(2)	(3)
	4,038	3,966	4,243
15		0,393	0,015
20	0,393		0,001
25	0,015	0,001	
TEAK			
Úhel (°)	(1)	(2)	(3)
	5,076	4,981	5,496
15		0,424	0,000
20	0,424		0,000
25	0,000	0,000	

Úhlová geometrie nástroje má jednoznačný vliv na řezný odpor i na kvalitu povrchu. (Kaplan *et al.*, 2018). Ovlivnění tvrdosti v místě obrobení bude tedy zapříčiněno pravděpodobně řezným odporem, potažmo deformací v místě řezu závislé na změně úhlu.

5.4. Korelace

Tabulky 20 a 21 znázorňují korelaci mezi naměřenými hodnotami tvrdosti a hodnotami vlnitosti (průměrnou aritmetickou úchylku profilu vlnitosti – W_a) a drsnosti (průměrnou aritmetickou úchylku profilu drsnosti – R_a). Přičemž tabulka 20 znázorňuje pouze závislost podle jednotlivých dřevin a tabulka 21 znázorňuje závislost podle dřevin a teploty termické modifikace.

Vliv tvrdosti materiálu se nepodařilo prokázat (viz tabulka 20). U všech hodnot korelačního koeficientu se neprojevil významný rozdíl, jen u dřeviny teak se prokázala velmi slabá závislost mezi tvrdostí a drsností povrchu. V tabulce 21 jsme dále rozdělili dřeviny podle teploty termické modifikace, která má významný vliv na tvrdost materiálu. Ani zde jsme nepotvrdili významnou závislost. Z toho vyplývá, že tvrdost jako taková neovlivňuje přímo výslednou vlnitost a drsnost, ale ovlivňuje kvalitu jako celek, a to především změnou řezného odporu, možností tvorby třísky apod. Kvalitu dále ovlivňuje stavba dřeva, jeho hustota a technicko-technologické parametry obrábění, což jsme zároveň dokázali další částí našeho výzkumu (viz výše).

Z výsledků korelačního koeficientu, který byl ve všech případech záporný, můžeme uvažovat nepřímou úměru mezi tvrdostí a kvalitou obráběného povrchu, ale jen s velmi malou statistickou významností.

Tabulka 20: Korelace tvrdosti s W_a a R_a

Meranti	
Tvrdost na W_a	-0,1002856
Tvrdost na R_a	-0,0206699
Iroko	
Tvrdost na W_a	-0,1396341
Tvrdost na R_a	-0,1326959
Teak	
Tvrdost na W_a	-0,190904
Tvrdost na R_a	-0,2091229

Tabulka 21: Korelace tvrdosti s W_a a R_a podle stupně termické modifikace

	Meranti - 20°	Iroko - 20°	Teak - 20°
Tvrđost na W_a	-0,097	-0,1448	-0,188
Tvrđost na R_a	-0,0153	-0,1342	-0,2074
	Meranti - 160°	Iroko - 160°	Teak - 160°
Tvrđost na W_a	-0,1036	-0,1425	-0,1925
Tvrđost na R_a	-0,0174	-0,1334	-0,2098
	Meranti - 180°	Iroko - 180°	Teak - 180°
Tvrđost na W_a	-0,1062	-0,1432	-0,1932
Tvrđost na R_a	-0,0253	-0,1358	-0,211

6. Závěr

6.1. Celkové shrnutí

Termická modifikace a parametry obrábění jako jsou řezná a podávací rychlost a úhel řezného klínu ovlivňují výslednou kvalitu a tvrdost obrobeného povrchu. Využití materiálů ze dřeva a materiálů na bázi dřeva je čím dál rozšířenější a tím pádem jsou kladeny větší nároky na jeho výslednou kvalitu a mechanické vlastnosti.

Mezi základní výsledky této práce patří informace:

1. O vlivu tvrdosti na kvalitu obrobeného povrchu
 - a. Z výzkumu vyplývá, že tvrdost nemá významný vliv na jednotlivé složky kvality povrchu (aritmetickou úchylku profilu drsnosti Ra a vlnitosti Wa).
 - b. Tato skutečnost se prokázala i po rozdělení dřevin podle stupně termické modifikace. Nejvyšší hodnota korelace (přesto statisticky málo významná) se projevila u dřeviny teak, a to u závislosti mezi tvrdostí a drsností povrchu, kde vykazovala hodnotu -0,2098.

2. O vlivu výše uvedených parametrů obrábění a termické modifikace na drsnost povrchu:
 - a. Termická modifikace se neprokázala jako faktor ovlivňující výslednou drsnost povrchu. Jediný statisticky velmi významný rozdíl se projevila u dřeviny teak s hladinou významnosti $P = 0,000$ při zvýšení teploty z 20 na 160 °C.
 - b. Řezná rychlost se projevila jednoznačně. Čím byla řezná rychlost vyšší, tím se drsnost povrchu povrchu snižovala. To je zapříčiněno zrychlením celého procesu obrábění, který je pravidelný a tím pádem není negativně ovlivněn nepříznivými faktory, jako např. kompresí. U dřeviny iroko se tato závislost projevila lineárně.

- c. Změna podávací rychlosti se projevila jako nejvýraznější faktor ovlivňující drsnost povrchu. Nejnižší hodnota 4,875 μm byla naměřena u dřeviny iroko, což je téměř o 33 % méně, než nejvyšší hodnota 7,308 μm u dřeviny meranti. Se zvyšující se podávací rychlostí zároveň stoupá hodnota drsnosti povrchu. To je způsobeno tím, že dřevní vlákna jsou namísto řezání vytrhávána, a to zhoršuje výslednou kvalitu povrchu.
 - d. Závislost mezi úhlem γ a drsností povrchu se projevila jen v některých případech. Maximální naměřená hodnota je 6,831 μm , což je o 28 % více než minimální hodnota – 5,32 μm . Obě tyto hodnoty byly naměřeny v případě obrábění pod úhlem 20 °.
3. O vlivu výše uvedených parametrů obrábění a termické modifikace na vlnitost povrchu:
- a. Při porovnání vlivu termické modifikace na vlnitost povrchu jsme nedošli k jednoznačným závěrům. Vlnitost povrchu je více ovlivňována jinými parametry.
 - b. Řezná rychlost se projevila jako významný parametr, který ovlivňuje výslednou kvalitu povrchu. S vyšší řeznou rychlostí se vlnitost povrchu snižuje a tím usnadňuje celý proces. Tento jev se nepotvrdil u dřeviny meranti, kde byla zároveň naměřena nejvyšší hodnota vlnitosti - 10,92 μm , a to při řezné rychlosti 30 m/s. Nejnižší hodnota 5,958 μm byla naměřena při řezné rychlosti 40 m/s.
 - c. S rostoucí podávací rychlostí se i vlnitost povrchu zvýšila. Nejvyšší rozdíl se prokázal u dřeviny iroko při změně podávací rychlosti ze 4 na 8 m/min.
 - d. Změna úhlu γ nemá tak zásadní vliv na vlnitost jako nastavení otáček vřetene a podávací rychlost. U dřeviny meranti a teak se jako nejvhodnější prokázal úhel 25 °. Čím je úhel γ větší (do únosné hranice pro obrábění), tím snadněji se povrch opracovává.

4. O vlivu výše uvedených parametrů obrábění a termické modifikace na tvrdost povrchu:
- a. Termická modifikace měla na tvrdost určitý vliv. Při zvýšení teploty z 20 na 160 ° došlo k jejímu nárůstu, avšak při dalším zvýšení na 180 a 210 ° hodnoty tvrdosti poklesly. Důvodem poklesu je snížení hustoty materiálu.
 - b. Co se týče vlivu řezné rychlosti na tvrdost, nelze hovořit o jasné závislosti. Tvrdost je sice ovlivněna, ale nelze předpovědět jakým způsobem.
 - c. Vliv podávací rychlosti vykazuje vzhledem k tvrdosti jednoznačný průběh. Významné rozdíly se projevily až u větších změn podávací rychlosti. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u podávací rychlosti 8 m/min. To si můžeme vysvětlit vhodným nastavením pro tyto dřeviny, kdy dochází k minimálnímu stlačení povrchu materiálu, a to zapříčiňuje i nižší tvrdost.
 - d. Úhlová geometrie nástroje má na tvrdost materiálu vliv ve většině případů. To je způsobeno nejspíše řezným odporem, nebo také deformací v místě řezu závislé na změně úhlu.

6.2. Přínos pro vědu a praxi

Význam práce spočívá zejména v optimalizaci parametrů obrábění pro termicky modifikované dřeviny meranti, teak a iroko. Také je přínosná z hlediska doplnění, porovnání a souhrnu dosavadních informací, týkajících se obrábění termicky modifikovaných dřevin. Získaných poznatků v této oblasti je stále nedostatek, proto je třeba je do budoucna stále rozšiřovat.

7. Zdroje

Literární zdroje

AFJEHI, S. A., DURAKBASA, N., STOUT, K., OSANNA, P., RUIZ, J., 2004: Meranie drsnosti, vlnitosti a primárneho profilu. Modul M 13. s. 374-395.

AYDIN, I., and COLAKOGLU, G. (2003). "Roughness on wood surfaces and roughness measurement methods," Kafkas University Faculty of Forestry Journal 4(1-2), 92-102.

AYDIN, I., and COLAKOGLU, G. (2005). "Effects of surface inactivation, high temperature drying and preservative treatment on surface roughness and colour of alder and beech wood," Applied Surface Science 252(2), 430-440.

BOUCHER, J., MÉAUSOONE, P.-J., MARTIN, P., AUCHET, S., and PERRIN, L. (2007). "Influence of helix angle and density variation on the cutting force in wood-based products machining," Journal of Material Processing Technology 189(1), 211-218.

COSTES, J.-P.; LARRICQ, P. „Towards high cutting speed in wood milling. Annals of Forest Science,“ 2002, roč. 59, č. 9, s. 857-865.

DORNYAK, O. R. (2003). "Modeling of the rheological behavior of wood in compression processes," Journal of Engineering Physics and Thermophysics 76(3), 648-654.

DUBOVSKÝ, J., BABIAK, M., and ČUNDERLÍK, I., 1998: „Textúra, štruktúra a úžitkové Vlastnosti dreva.“ Technická Univerzita vo Zvolene.

DRÁPELA, J., 1980. „Výroba nábytku: technologie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.“

DRASTÍK, F., BARTÁK, J., BEDNÁŘ, B., FURBACHER, I., HERMAN, A., JÍLEK, L., LABÍKOVÁ, R., MACHEK, V., NEUSTUPA J., NOŽIČKA, J., PILOUS, V., ŘEZNÍČEK, J., RUSÍN, K., ŘEZNÍČKOVÁ, J., STEJSKAL, V., SUCHÁNEK, R.,

TREJTNAR J., MÁDL, J., 2009. „Strojnická příručka: vývoj, výpočty, konstrukce, technologie, výroba.“ Praha: Dashöfer. ISBN 80-862-2965- 3.

GAFF, M. 2009a: „Process of tension in wood by embossing and their impact at surface quality. In Annals of Warsaw University of Life Sciences. Forestry and Wood Technology.“ No. 68 (2009), p. 264-269. ISSN 1898-5912.

GAFF, M., 2009b: „The influence of heating of the pressing tool and compression of the embossment surroundings on shape and size stability and quality of unevenly pressed surface of aspen wood. In Annals of Warsaw University of Life Sciences. Forestry and Wood Technology.“ No. 68 (2009), p. 256-263. ISSN 1898-5912.

GAFF, M., GÁBORÍK J., DUDAS, J. 2010: „Dimensional changes aspen wood modified thermo-mechanically. In Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva 2010.“ Chip and chipless woodworking processes 2010: zborník prednášok. - Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. s. 275-280. ISBN 978-80-228-2143

GAFF, M., KVIETKOVÁ, M., GAŠPARÍK, M., KAPLAN, L., & BARCÍK, Š. 2015 Sep 24. „Effect of Selected Parameters on the Surface Waviness in Plane Milling of Thermally Modified Birch Wood.“ BioResources. [Online] 10:4

GAFF, M. PROKEIN, L., 2009: „The influence of selected factors on coefficient of bendability. In Annals of Warsaw University of Life Sciences. Forestry and Wood Technology.“ No. 74 (2011), p. 78-81. ISSN 1898-5912.

GANDELOVÁ, L., HORÁČEK, P., ŠLEZINGEROVÁ. J., 2009. Nauka o dřevě. Vyd. 3., nezměn. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 978-80-7375-312-2.

GUNDUZ, GOKHAN, KORKUT, SULEYMAN, AYDEMIR, DENIZ, & BEKAR, ILTER. (2009). „The density, compression strength and surface hardness of heat treated hornbeam (carpinus betulus l.) Wood.“ *Maderas. Ciencia y tecnología*, 11(1), 61-70.

GÜNDÜZ G, KORKUT S, KORKUT DS. „The effects of heat treatment on physical and technological properties and surface roughness of Camiyani Black

Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) wood. *Bioresour Technol.* 2008;99(7):2275-2280.

HUMÁR, A., 2003. *Technologie I - Technologie obrábění - 1. část.* [online]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru „Strojní inženýrství“ na I. stupni MS studijního programu. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 119 s.

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., 2011: *Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave.* Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011, ISBN 978-80-228-2249-7.

KAPLAN, L.; SEDLECKÝ, M.; SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, M.; SIKORA, A.; (2018a). "The Effect of Thermal Modification of Oak Wood on Waviness Values in the Planar Milling Proces, Monitored with a Contact Methot," *BioResources* 13(1), 1591-1604, DOI: 10.15376/biores.13.1.1591-1604.

KAPLAN, L.; SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, M.; SIKORA, A.; SEDLECKÝ, M.; (2018b). "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* 63(1), 127-140, ISSN: 1336-4561.

KARAGOZ U., SUTCU A., 2011: „Effect of machining parameters on surface quality after face milling of MDF.“ *Wood Research* 57(2): 231-240

KETURAKIS, G., and JUODEIKIENĖ, I. (2007). "Investigation of milled wood surface roughness," *Materials Science (Medžiagotyra)* 13(1), 47-51.

KORČOK, M., KOLEDA, P., BARCÍK, Š., & VANČO, M. 2018 Sep 28. „Effects of Technical and Technological Parameters on the Surface Quality when Milling Thermally Modified European Oak Wood. *BioResources.*“ [Online] 13:4

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

KVIETKOVÁ, M., GAŠPARÍK, M., & GAFF, M. 2015 May 26. „Effect of Thermal Treatment on Surface Quality of Beech Wood after Plane Milling.“ *BioResources*. [Online] 10:3

KVIETKOVÁ, M.; GAŠPARÍK, M.; KAPLAN, L. „Corrugation of Thermally Modified Maple Wood at Milling. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology*.“ 2015, č. 91, s. 111-114. ISSN 1898-5912.

LISIČAN, J. a KOL., 1996. *Teoria a technika spracovanie dreva*. Zvolen: Matcentrum Zvolen, 626 s.

LISIČAN, J., 1988: *Obrábanie a delenie drevných materiálov*. VŠLD, Zvolen, 3rd ed.

MAGOSS, E. (2008). “General regularities of wood surface roughness,” *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 4(1), 81-93.

MATOVIČ, A., 1993. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva a materiálů na bázi dřeva*. Brno, ES VŠZ, 212 s.

NEMEC, L., E. ŠULÁN a J. ZEMIAR, 1986. *Technologia výroby nábytku*. Státní nakladelství technické literatury Praha, 514 s.

PÁNEK, M., (2015). *Vlastnosti dřevostaveb*. stavba.tzb-info.cz. [Online] 19. Říjen 2015. [Citace: 14. duben 2020.] <https://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/13333-tropicke-dreviny-jejich-vyhody-a-problemy-pri-pouziti>.

PHILBIN, P., and GORDON, S. (2006). “Recent research on the machining of wood-based composite materials,” *International Journal of Machining and Machinability of Materials* 1(2), 186-201

PINKOWSKI, G., KRAUSS, A., PIERNIK, M., & SZYMAŃSKI, W. 2016 Apr 25. „Effect of Thermal Treatment on the Surface Roughness of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Wood after Plane Milling. *BioResources*.“ [Online] 11:2

POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M., 1997. *Štruktúra a vlastnosti dřeva*. Brno, ES VŠZ, 212 s.

PROKEŠ, S. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. 2. vyd. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury. 1978. 354 s.

PROKEŠ, S. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. 3. vyd. Praha: SNTL – nakladatelství technické literatury. 1982. 584 s. ISBN 04-833-82.

REINPRECHT, L., VIDHOLDOVÁ, Z., 2008: *Termodrevo – příprava, vlastnosti a aplikácie*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. ISBN 978-80-228-1920-6.

Prof. Ing. Ladislav REINPRECHT, CSc. & Ing. Zuzana VIDHOLDOVÁ, PhD. – *Termodrevo Thermowood* r.2011. str. 17,18

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, roč. 7, č. 1, s. 141-150. ISBN 978-80-228-2143-8.

KAPLAN, L.; SEDLECKÝ, M.; SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, M.; SIKORA, A.; (2018a). "The Effect of Thermal Modification of Oak Wood on Waviness Values in the Planar Milling Proces, Monitored with a Contact Methot," *BioResources* 13(1), 1591-1604, DOI: 10.15376/biores.13.1.1591-1604.

KAPLAN, L.; SARVAŠOVÁ KVIETKOVÁ, M.; SIKORA, A.; SEDLECKÝ, M.; (2018b). "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* 63(1), 127-140, ISSN: 1336-4561.

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

STUMBO, D. A. „Surface texture, measuring methods. *Forest Products Journal*.“ 1963, roč. 12, č. 7, s. 299–303. ISSN 0015-7473.

ŠLEZINGEROVÁ, J., GANDELOVÁ, L., 2002. *Stavba dřeva*. Brno, MZLU, 187 s.

ŠEFCŮ, O., VINAŘ, J., PACÁKOVÁ, M., 2000: Metodika ochrany dřeva. Chlumec nad Cidlinou: Nakladatelství Jalna, 2000, 65 s.

TEMİZ, A., YILDIZ, U. C., AYDIN, I., EIKENES, M., ALFREDSEN, G., and COLAKOGLU, G. (2005). "Surface roughness and colour characteristics of wood treated with preservatives after accelerated weathering test," *Applied Surface Science* 250(1-4), 35-42.

VARKOČEK, Jan, Miroslav ROUSEK a Jindřich HOLOPÍREK, 1996. Dělení, obrábění a tváření materiálů. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

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

WASIELEWSKI, R., and ORLOWSKI, K. (2002). "Hybrid dynamically balanced saw frame drive," *Holz Als Roh- und Werkstoff* 60(3), 202-206. DOI: 10.1007/s00107-002-0290-4

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

T. YANG, W. XUE AND Y. LIU, "Influence of machining methods on wood surface roughness and adhesion strength," *Proceedings of 2012 International Conference on Biobase Material Science and Engineering, Changsha, 2012*, pp. 284-287

Internetové zdroje

Meranti tropické dřevo vlastnosti a charakteristika. Veneti.cz - plníme vaše přání [online]. Copyright © 2020 [cit. 11.06.2020]. Dostupné z: <https://www.veneti.cz/meranti>

ME 472 – Engineering Metrology and Quality Control, Dr. A. Tolga Bozdana. Dostupné na World Wide Web: http://www1.gantep.edu.tr/~bozdana/ME472_8.pdf

IROKO, exotické dřevo IROKO. Exotické dřevo – dřevo, terasy, nábytek, ploty [online]. Dostupné z: <http://www.exoticke-drevo.com/iroko.html>

dřevina teak. ARA Kolín [online]. Copyright © [cit. 11.06.2020]. Dostupné z:
<http://www.arakolin.cz/cs/dreviny/teak-burma>

<https://www.journals.elsevier.com/international-communications-in-heat-and-mass-transfer>

Thermowood Handbook [online]. Helsinki, 2003 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z:
<https://www.thermowood.fi/esitteet-ja-kirjat>. Finnish Thermowood Association.

Tvrđost dřeva. [online]. [cit. 2018-10-10]. Dostupné z:
<http://www.converter.cz/tabulky/tvrđost.htm>

Fyzikální a mechanické vlastnosti: e-learning [online]. [cit. 2020-27-5]. Dostupné z: <http://www.ldf.mendelu.cz/29855-studijni-materi0aly>

Zákony, normy a vyhlášky

ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu, 1999 (014450)

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