

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Vliv termické modifikace na kvalitu povrchu dřeviny Padouk po
rovinném frézování**

Bakalářská práce

Autor: Pavel Břejcha

Vedoucí práce: doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavel Brejcha

Dřevařství

Název práce

Vliv termické modifikace na kvalitu povrchu dřeviny Padouk po rovinném frézování

Název anglicky

Effect of thermal modification on wood surface quality Padouk after flat milling

Cíle práce

Cílem práce je zjišťování vlivu termické modifikace dřeva na kvalitu povrchu při rovinném frézování tropické dřeviny Padouk. Kvalitu povrchu při rovinném frézování budeme zkoumat v závislosti na změně teploty termické modifikace.

Metodika

Charakteristika procesu obrábění frézováním, termické modifikace vybrané dřeviny. Termická modifikace bude provedena teplotami 160, 180, a 210°C. Hodnoty termicky upravených vzorků budou porovnány s referenčními tělesy bez termické modifikace. Termická úprava proběhne patentovanou metodou Thermowood. Statistické zpracování výsledků a jejich interpretace v grafické a textové podobě. Stanovení podmínek, které jsou z hlediska kvality obrábění povrchu pro frézování tepelně modifikovaného dřeva optimální. Popis změn vlastností dřeva při tepelné modifikaci.

Doporučený rozsah práce

35 – 45 stránek

Klíčová slova

kvalita povrchu, frézování, technická modifikace, tropické dřeviny

Doporučené zdroje informací

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

KAČÍKOVÁ, D., KAČÍK, F., Chemické a mechanické změny dřeva při termické úpravě. Technická univerzita vo Zvolene. 2011. ISBN 978-80-228-2249-7.

KVIETKOVÁ, M. Obrábění dřeva. CARTER Praha. 2015. 295 s., ISBN 978-80-213-2604-0.

LISIČAN, J., Obrábanie a delenie drevných materiálov. Zvolen. Technická univerzita vo Zvolene, 1988, 412s.

MAYES, D., OKSANEN, O. Thermowood(r) Handbook. Fínsko Dostupné na:

http://www.thermowood.fi/data.php/200312/795460200312311156_tw_handbook.pdf. (28. 8. 2013).

NUTSCH, W., Příručka pro truhláře. 2. přeprac. Vyd. Praha. Europa-Sobotáles cz, 2006. ISBN 80-86706-14-1.

SVOREŇ, J., Drevárske stroje. Část' II. Technická univerzita vo Zvolene. 2006. 149s.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Monika Sarvašová Kvietková, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Miroslav Sedlecký, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 23. 2. 2019

doc. Ing. Milan Gaff, PhD.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vliv termické modifikace na kvalitu povrchu dřeviny Padouk po rovinném frézování vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Moniky Sarvašové Kvietkové, PhD., a čerpal informace jen ze zdrojů uvedených v seznamu zdrojů.

Jsem si vědom, že souhlasím se zveřejněním bakalářské dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Malechově dne 18. 4. 2019

Podpis autora

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí mé bakalářské práce doc. Ing. Monice Sarvašové Kvietkové, PhD. za její ochotu, trpělivost, čas a cenné rady, kterými mě provázela během tvorby bakalářské práce.

Obsah

1 Úvod	10
2 Cíl práce	11
3 Frézování.....	12
3.1 Charakteristika frézování	12
3.2 Metody frézování	13
3.3 Rozdělení podle vzájemného pohybu obrobku a pohybu nástroje	15
3.4 Technologické způsoby frézování.....	16
3.5 Rozdělení frézovacích nástrojů (fréz)	20
3.6 Geometrie nástroje.....	23
3.7 Materiály pro výrobu řezných nástrojů	23
3.8 Kinematika frézování	24
3.9 Kvalita frézovaného povrchu.....	28
4 Padouk	30
5 Termicky modifikované dřevo.....	32
5.1 Definice termicky upraveného dřeva	32
5.2 Způsoby výroby termicky upraveného dřeva	33
5.3 Thermo-S	36
5.4 Thermo-D.....	37
6 Metodika	38
6.1 Výběr a příprava vzorků pro výzkum	38
6.2 Stanovení hustoty	39
6.3 Stanovení vlhkosti	39
6.4 Charakteristika obráběcího stroje (svislé spodní frézky)	40
6.5 Charakteristika podávacího zařízení	41
6.6 Charakteristika frézovací hlavy	42
6.7 Charakteristika kontaktního profilometru	43

6.8 Statistické zpracování dat	44
7 Výsledky	45
8 Závěr	48

Seznam obrázků

Obr. 1 Válcové frézování.....	13
Obr. 2 Kuželové frézování (kónickou frézou)	13
Obr. 3 Čelní frézování	14
Obr. 4 Čelně – kuželové frézování.....	14
Obr. 5 Frézování sousledné a nesousledné	15
Obr. 6 Srovnávací frézka	16
Obr. 7 Tloušťkovací frézka.....	17
Obr. 8 Profily frézování kotoučovými frézami	18
Obr. 9 Profily stopkových fréz.....	18
Obr. 10 Frézování drážek	19
Obr. 11 Frézování reliéfu	19
Obr. 12 Celistvá kotoučová fréza	20
Obr. 13 Fréza se vsazenými zuby	20
Obr. 14 Složená fréza.....	21
Obr. 15 Sada fréz	21
Obr. 16 Geometrie nástroje	23
Obr. 17 Kinematický model frézování.....	24
Obr. 18 Ukázka vytrhaných vláken při frézování	28
Obr. 19 Kinematika nerovností frézovaného povrchu	28
Obr. 20 Padouk	30
Obr. 21 Kořenové náběhy	31
Obr. 22 Ukázka termicky modifikovaného dřeva.....	33
Obr. 23 Fáze výroby ThermoWood	34
Obr. 24 Použití Thermo-S	36
Obr. 25 Použití Thermo-D	37
Obr. 26 Vzorok pro měření kontaktním profilometrem.....	38
Obr. 27 Svislá spodní frézka FVS.....	40
Obr. 28 Schéma nastavení otáček svislé spodní frézky FVS.....	40
Obr. 29 Podávací zařízení STEFF 2034.....	41
Obr. 30 Frézovací hlava	42
Obr. 31 Kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra	43
Obr. 32 Princip indukčního snímače.....	43

Seznam grafů

Graf 1 Vztah mezi Ra a teplotou termické modifikace	45
Graf 2 Vztah mezi Wa a teplotou termické modifikace	46

Seznam tabulek

Tab. 1 Kvalita obrobeného povrchu	29
Tab. 2 Průběh termické modifikace	38
Tab. 3 Hustota vzorků	39
Tab. 4 Vyhodnocení testovaných faktorů na základě hodnoty „P“	44
Tab. 5 Ra - Duncanův test	46
Tab. 6 Wa - Duncanův test	47

Abstrakt

Bakalářská práce s názvem „Vliv termické modifikace na kvalitu povrchu dřeviny Padouk po rovinném frézování“ se zabývá vlivem termické modifikace dřeva na kvalitu jeho povrchu po obrábění rovinným frézováním. Tato práce je rozdělena do pěti částí: charakteristika frézování, charakteristika tropické dřeviny padouk, charakteristika termicky modifikovaného dřeva, metodika výzkumu a výsledky výzkumu. Pro termickou modifikaci vzorků byly použity teploty 160 °C, 180 °C a 210 °C, které byly porovnány s referenčními tělesy, u kterých nebyla termická modifikace provedena. Z výsledků mého výzkumu vyplynulo, že termická modifikace má vliv na kvalitu povrchu po rovinném frézování.

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

Abstract

The bachelor thesis called "Influence of thermal modification on the quality of woody surface Padouk after plane milling" is focused on the influence of thermal modification of wood on the quality of its surface after surface milling. This thesis is divided into five parts: characteristics of milling, characteristics of tropical woody species padouk, characteristics of thermally modified wood, methodology of research and research results. Temperatures of 160 ° C, 180 ° C and 210 ° C were used for thermal modification of the samples and samples were compared with reference samples for which no thermal modification has been performed. The results of my research showed that the influence of thermal modification has an impact on surface quality after plane milling.

Keywords: surface quality, milling, technical modification, tropical woody plant

1 Úvod

Dřevo, přírodní materiál, který nás všechny a všude obklopuje, je to obnovitelný zdroj a lesy se podílí na funkci fotosyntézy. Historie dřeva je delší než existence lidstva. Již před třemi miliony lety využívali pravěcí lidé dřevo ke stavbě primitivních příbytků a výrobě prvních nástrojů. Postupem času se dřevo začalo využívat v čím dál větší míře a dnes není problém stavět gigantické dřevěné stavební konstrukce. Lidé se snažili už od počátků prodlužovat životnost dřeva. Jedním z dřívějších rozšířených způsobů se stalo opalování. V důsledku opálení dřeva vznikla na jeho povrchu zuhelnatělá vrstva, která sloužila ke konzervaci. Tato metoda se dá pokládat za předchůdce dnešní termické úpravy dřeva (Thermowoodu). Dnes se k prodlužování životnosti nepoužívá plamen, ale využívá se vysoké teploty, která modifikuje dřevo. Termicky upravené dřevo se vyznačuje zvýšenou trvanlivostí a nalézá tak uplatnění hlavně při exteriérovém použití. Proces opracování termicky upraveného dřeva je velmi podobný jako u neupraveného masivního dřeva. Využívají se základní postupy obrábění. Mezi hlavní procesy obrábění patří také frézování. V dnešní době, kdy se dostávají do popředí CNC technologie, je frézování hlavním způsobem opracování materiálu. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl popisovat proces frézování modifikovaného dřeva a následnou kvalitu obrábění.

2 Cíl práce

Cílem této práce je zjištění vlivu termické modifikace dřeva na kvalitu obrábění povrchu po rovinném frézování dřeviny padouk pomocí kontaktní metody. Kvalitu povrchu po rovinném frézování budeme zkoumat v závislosti na změně teploty termické modifikace. Hodnocena bude termicky upravená tropická dřevina padouk, u které se posoudí vliv termické modifikace na kvalitu obráběného povrchu v závislosti na změně teploty při termické modifikaci.

3 Frézování

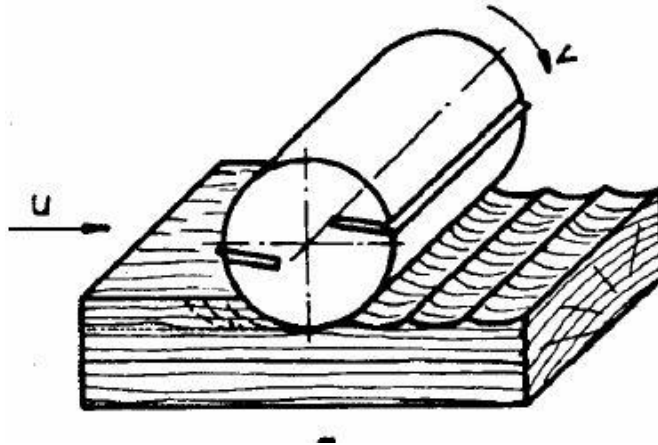
3.1 Charakteristika frézování

Frézování patří k procesům třískového obrábění dřeva, kdy dochází k úběru vrstvy materiálu z obrobku ve formě třísek. Obráběcí stroje se nazývají frézky a obráběcí nástroje se nazývají frézy. Při obrábění se nástroj (fréza) otáčí kolem své osy, což je hlavním pohybem při procesu frézování, a po jejím obvodě se postupně zařezává svými ostřími do obrobku. Obrobek je nejčastěji posouván proti nástroji, a to kolmo na jeho osu otáčení (vedlejší pohyb procesu frézování). V některých případech je však posouván nástroj vůči obrobku, který je pevně upnutý (frézování horní ruční frézou). Účelem frézování je opracování dílce třískotvorným procesem na jeho požadovaný tvar, rozměr a povrchovou kvalitu. Dle použitých nástrojů jsme schopni obrábět plochy rovinné, nepravidelné, šikmé, profilové, drážky, polodrážky a jiné. V praxi se frézování řadí mezi jednu z nejpoužívanějších technologií obrábění dřeva (Lisičan, 1988).

3.2 Metody frézování

Válcové frézování

Osa otáčení nástroje (frézy) je rovnoběžná s obráběnou plochou, řezné klíny nástroje opisují válcovou plochu. Nástrojem je válcová fréza (Kvietková, 2015).



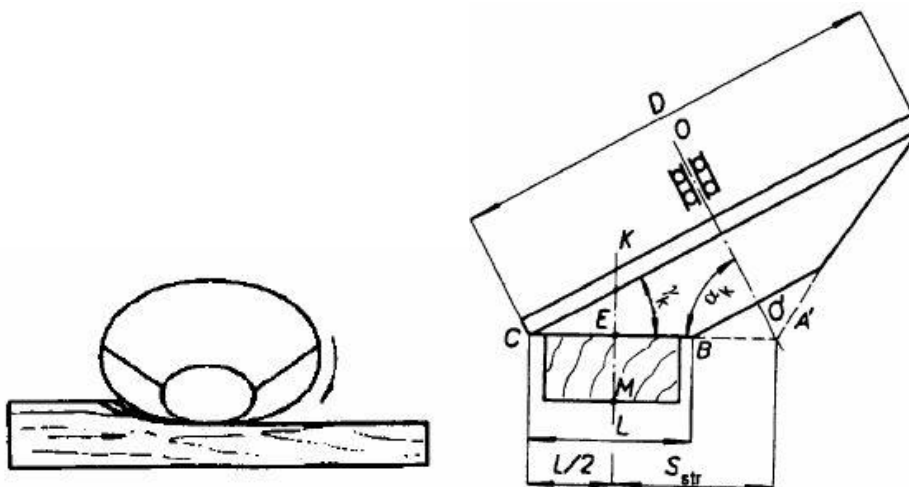
Obr. 1 Válcové frézování

(Liščan, 1988)

u – směr posuvu obrobku, v – řezná rychlost

Kuželové

Při kuželovém frézování je osa otáčení nástroje (frézy) skloněna k obráběné ploše pod určitým úhlem. Řezné klíny nástroje tak opisují kuželovitou plochu (Kvietková, 2015).

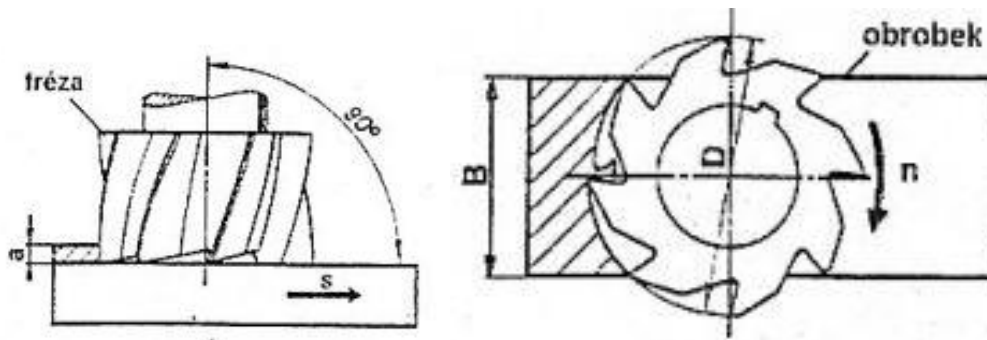


Obr. 2 Kuželové frézování (kónickou frézou)

(Liščan, 1988)

Čelní

Osa otáčení nástroje je kolmá k obráběnému povrchu (Obr. 3). Řezné klíny nástroje opisují válcovou plochu a boční řezné klíny se chovají obdobně jako při válcovém frézování, a to kolmo ke směru vláken dřeva. Čelní frézování se využívá u některých tvarových a stopkových fréz (Kvietková, 2015).

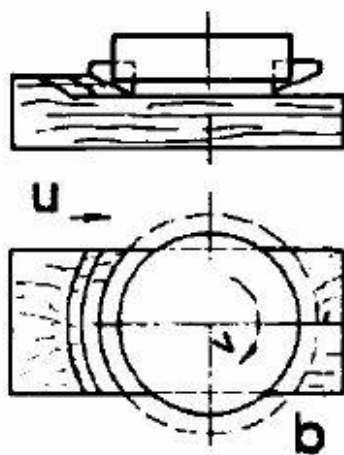


Obr. 3 Čelní frézování

<https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=45753&revision=-1&instance=2>
(4. 11. 2017)

Čelně – kuželové

Osa otáčení nástroje je kolmá k obráběnému materiálu podobně jako u čelního způsobu frézování s tím rozdílem, že jsou řezné klíny nástroje skloněné k obráběnému povrchu pod určitým úhlem (Kvietková, 2015).



Obr. 4 Čelně – kuželové frézování

(Lišičan, 1988)

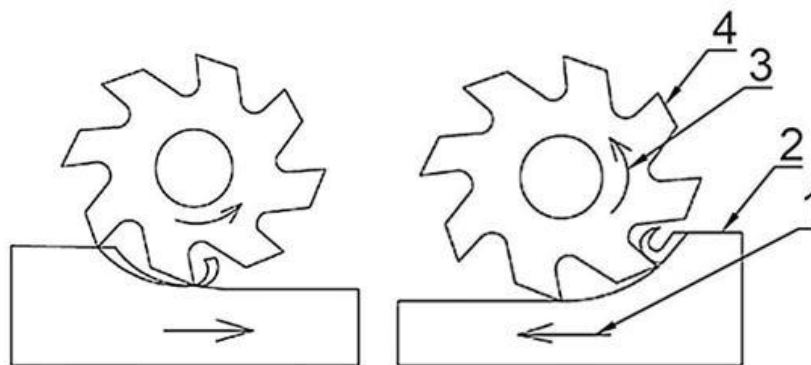
3.3 Rozdělení podle vzájemného pohybu obrobku a pohybu nástroje

Frézování nesousledné

Při nesousledném frézování (Obr. 5 vpravo) je obrobek posouván proti směru otáčení frézy. Tloušťka třísky při vniknutí nože do materiálu je nulová a tloušťka třísky je maximální, když nástroj opouští obrobek. Jedná se o plynulejší a klidnější způsob frézování, kdy není nástroj silně rázově namáhán (Kvietková, 2015). K odříznutí třísky dochází až po určitém skluzu řezné hrany po ploše vytvořené předcházejícím záběrem zubu. Toto je doprovázené vyššími silovými účinky a deformací, které mají za následek zvýšené opotřebování řezné hrany. Složka řezné síly působí nepříznivě, protože směřuje nahoru a odtahuje obrobek od upínacího stolu (Barcík a kolektiv, 2013).

Frézování sousledné

Při sousledném frézování (Obr. 5 vlevo) je obrobek posouván ve směru otáčení frézy. Tloušťka třísky při vniknutí nástroje do obrobku je maximální, když nástroj obrobek opouští, tak má tříska nulovou tloušťku. Obrobená plocha se vytváří ve chvíli, kdy zub frézy vychází ze záběru. Řezné síly působící směrem dolů pomáhají upnutí obrobku na stole frézky. Výhodou při tomto druhu frézování je hladší povrch než u nesousledného frézování. Nevýhodou sousledného frézování je, že jsou nože silně rázově namáhány. Nejedná se tedy o tak klidné frézování jako u nesousledného frézování (Kvietková, 2015).



Obr. 5 Frézování sousledné a nesousledné
(Barcík a kolektiv, 2013)

1 – směr posuvu obrobku, 2 – obrobek, 3 – řezný pohyb, 4 – fréza

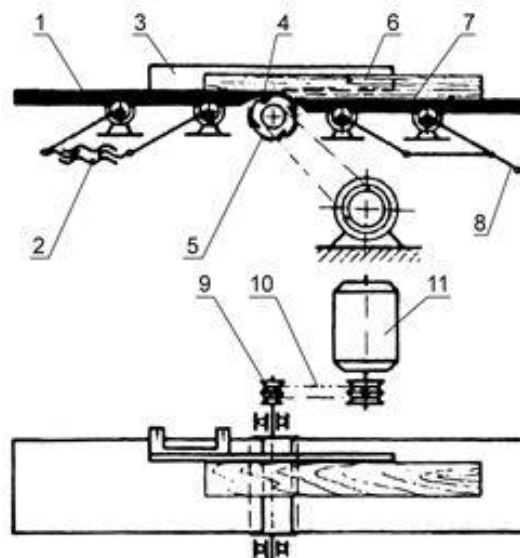
3.4 Technologické způsoby frézování

Rovinné

Rovinné frézování je proces, během kterého opracováváme plochy dílce tak, abychom dosáhli po obrábění požadované rovné plochy (srovnávání – srovnávací frézky) a požadované tloušťky (tloušťkování – tloušťkovací frézka) (Mikolášik, 1981).

- **Srovnávání**

Srovnávání spočívá ve vytvoření jedné základní plochy na nerovném dílci. Nejčastěji se srovnává plocha a následně podle nastaveného pravítka pod úhlem 90° i boční plocha. Tímto postupem se zajišťuje vzájemná kolmost dvou sousedních ploch. Podle nově vytvořené rovné plochy jsme dále schopni pokračovat v dalších operacích obrábění. Srovnávací frézka (srovnávačka) se skládá z předního stolu, zadního stolu, nožové hlavy a pravítka. Zadní stůl je zpravidla pevný a není výškově nastavitelný. Díky přednímu stolu, který je výškově nastavitelný, si můžeme volit rozdíl výšky předního a zadního stolu a tím pádem i tloušťku ubírané třísky. Při opracování křivějšího dílce je nutno použít opakovaného úběru. Opakování úběru je závislé na podmínkách, jako například křivost dílce a drsnost obráběného povrchu (Lisičan, 1996).

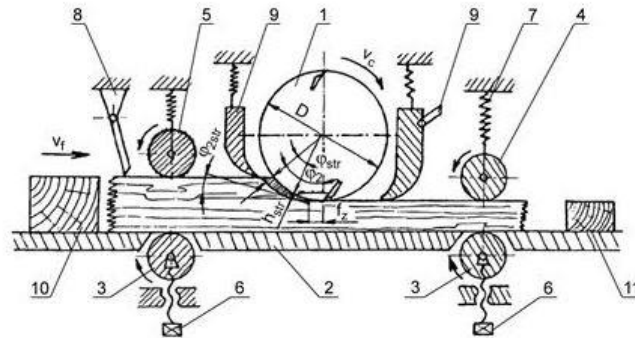


Obr. 6 Srovnávací frézka
(Barčík, 2009)

1 – zadní stůl, 2 – mechanismus výškového přestavování zadního stolu, 3 – vodící pravítka, 4 – nůž, 5 – nožový hřídel, 6 – materiál, 7 – přední stůl, 8 – mechanismus výškového přestavování předního stolu, 9, 10 – řemenový převod, 11 - elektromotor

- **Tloušťkování**

Operace nejčastěji následující po srovnávání se nazývá tloušťkování. Dílec položíme srovnanou plochou na stůl tloušťkovací frézky, která ho pomocí podávacího válce posune do řezu a nožová hlava umístěná nad stolem provede frézování na požadovanou tloušťku (Kvietková, 2015).



Obr. 7 Tloušťkovací frézka
(Barcík, 2009)

1 – nožový hřídel, 2 – stůl, 3 – podpěrné válce, 4 – horní podávací válec (zadní – hladký), 5 – podávací válec (přední – rýhovaný), 6 – mechanismus výškového přestavování spodních podpěrných válců, 7 – přitlačné pružiny, 8 – ochranná patka proti zpětnému vrhu, 9 – přední a zadní přitlačná lišta, 10 – materiál před opracováním, 11 – materiál po opracování

Křivoploché

Plochy svírající se základní vodorovnou plochou úhel jiný než 0° nebo 90° nazýváme šikmé plochy. Způsob křivoplochého frézování je ovlivněn hlavně velikostí šikmé plochy, počtem obráběných prvků (sériová výroba x kusová výroba) a mírou vybavenosti dílny (Kotěšovec, 1981).

Způsoby křivoplochého frézování:

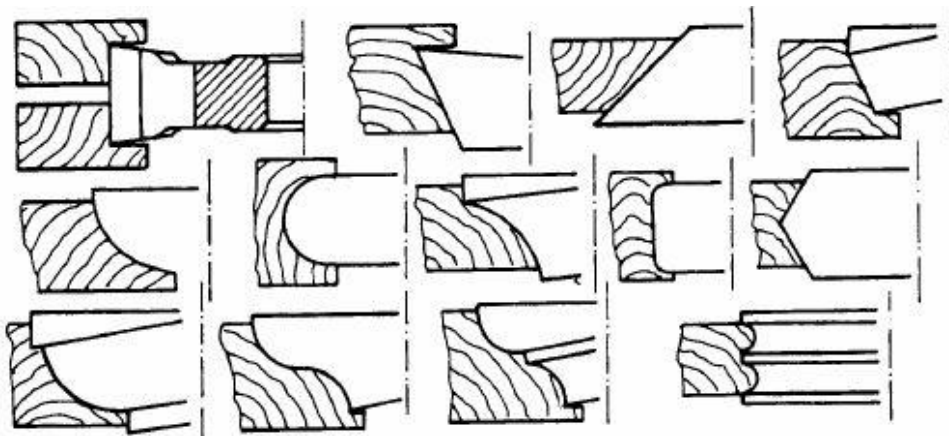
- frézování použitím úhlových fréz,
- frézování pomocí orýsování,
- frézování za použití zvláštních podložek ustavujících polohu obrobku,
- frézování s použitím sklopného svěráku,
- frézování za pomoci vyklonění vřeteníku (Kotěšovec, 1981).

Profilovací

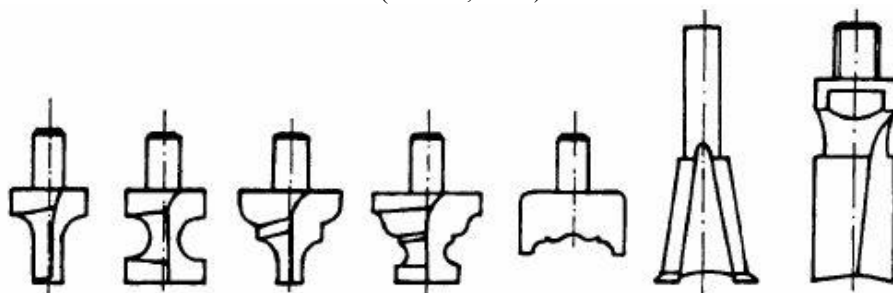
Profil tvoří tvarové plochy, které jsou vytvořené ze základních geometrických ploch, např. kruhy, čtverce, obdélníky. Mohou být také tvořeny křivkou. Mohou být jednoduché i složitější. Na frézování profilových ploch se využívají stopkové profilové frézy nebo kotoučové profilovací frézy. Je také možné si nakombinovat různé tvarové kotoučové frézy a vytvořit tak sestavu fréz (využívá se na spodních svislých frézách) (Kotěšovec, 1981).

Způsoby profilovacího frézování:

- frézování tvarových ploch pomocí orýsování,
- frézování tvarových ploch pomocí tvarových fréz,
- frézování tvarových ploch za použití otočného stolu,
- frézování tvarových ploch pomocí kopírování (Kotěšovec, 1981).



Obr. 8 Profily frézování kotoučovými frézami
(Lisičan, 1996)



Obr. 9 Profily stopkových fréz
(Lisičan, 1996)

Speciální

Pojmem speciální frézování je myšleno frézování drážek (Obr. 10) a reliéfů do plochy (Obr. 11). Frézování drážek můžeme rozdělit na frézování drážek průběžných (pero a drážka – palubky) a neprůběžných (Lisičan, 1976). Drážky průběžné i neprůběžné jsou velmi podobné. Jediný rozdíl je v jejich zhotovení. Průběžné drážky je možné frézovat válcovými čelními i kotoučovými frézami. Neprůběžné drážky je možné zhotovit pouze drážkovacími frézami. U rybinového spoje existují dva způsoby frézování. Při frézování prvním způsobem je rybinovitá drážka frézována jednou frézou. U druhého způsobu je nutné vyfrézovat pravoúhlo průchozí drážku s přídatkem na dně a šířce drážky a poté dokončit drážku jednostrannou úhlovou frézou s požadovaným úhlem (Svoreň, 2006).



Obr. 10 Frézování drážek

<https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=45753&revision=-1&instance=2>
(4. 11. 2018)



Obr. 11 Frézování reliéfu

<https://www.eurourban.cz/drevena-lisovana-lista-9023-50x7-propletana-trat>
(4. 11. 2018)

3.5 Rozdělení frézovacích nástrojů (fréz)

Podle provedení frézovacího nástroje

Celistvé

Jedná se o frézy s otvorem (kotoučové) nebo se stopkou (stopkové frézy). Jsou specifické tím, že ostří a tělo celého nástroje je vyrobeno z jednoho materiálu. Tyto frézy mají výrazně kratší životnost z důvodu úbytku materiálu při ostření.



Obr. 12 Celistvá kotoučová fréza

<https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=39658&revision=-1&instance=2>
(29. 1. 2019)

Se vsazenými zuby

V těle nástroje (frézy) jsou pevně osazeny břity z tvrdého materiálu. Na výrobu těchto břitů se používají nejčastěji slinuté karbidy, rychlořezná ocel nebo stelity. Tento typ fréz je používán především u drážkovacích fréz.



Obr. 13 Fréza se vsazenými zuby

<https://www.pilanamarket.cz/> (29. 1. 2019)

Složené

Tyto frézy se obvykle skládají z několika rozebíratelných částí. K tělu frézy je vyměnitelným způsobem připevněna nosná část břitů, díky které je možné břity měnit a nastavovat. Tyto frézy se nejčastěji používají k vytváření profilů.



Obr. 14 Složená fréza

https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/14882/content_uni_hlava.jpg,

(29. 1. 2019)

Sada fréz

Sada je složena z několika fréz vzájemně upnutých na stejném trnu frézky. Tyto frézy jsou nejčastěji používány k frézování profilů a kontraprofilů oken a dveří. U tohoto provedení se stanovují maximální otáčky podle frézy s nejnižšími maximálními otáčkami (Nutsch, 2006).



Obr. 15 Sada fréz

<https://www.pilanamarket.cz/> (29. 1. 2019)

Podle počtu břítů

- **jednobřité,**
- **vícebřité.**

Podle způsobu upnutí

- **stopkové,**
- **nástrčné.**

Podle způsobu otáčení

- **pravořezné** – otáčejí se ve směru hodinových ručiček,
- **levořezné** – otáčejí se proti směru hodinových ručiček,
- **frézy souměrné a korunkové** – možnost použití v obou směrech otáčení.

Podle ploch, na kterých leží řezné hrany

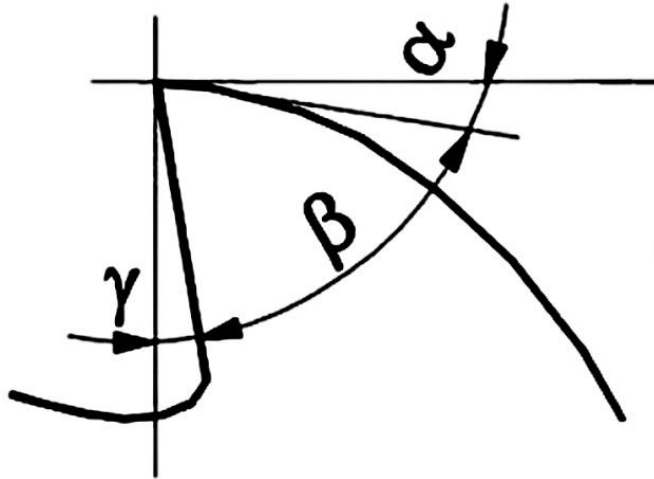
- **válcové** – s břitem na válcové ploše,
- **kuželové** – s břitem jen na kuželové ploše,
- **čelní** – s břity na čelní ploše,
- **tvárové** – kombinace uvedených typů.

Podle technologického hlediska

- **frézy pro frézování rovinných ploch,**
- **frézy pro frézování tvarových ploch,**
- **kopírovací frézy** (Kvietková, 2015).

3.6 Geometrie nástroje

Geometrie nástroje má zásadní vliv na kvalitu obrábění, proto je důležité pro daný materiál použít nástroj s vhodnou geometrií.



Obr. 16 Geometrie nástroje
(Kvietková, 2015)

α – úhel hřbetu uzavřený řezným povrchem a hřbetovou plochou (úhel $\alpha = 10 - 15^\circ$)

β – úhel břitu je uzavřený čelní plochou a plochou hřbetovou (úhel $\beta = 10 - 15^\circ$)

γ – úhel čela je uzavřený čelní plochou a rovinou π , kolmou na obrobenou plochu (úhel $\gamma = 10 - 15^\circ$)

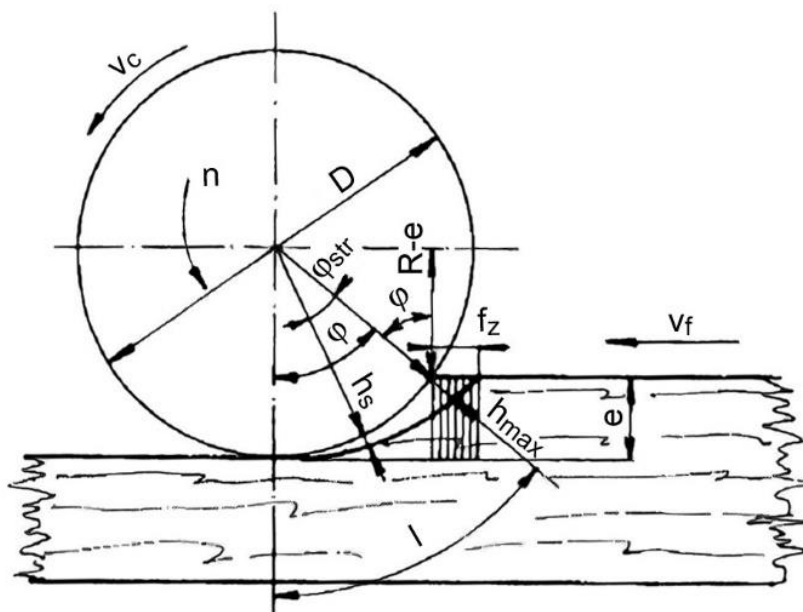
Součet všech tří úhlů α, β, γ je roven 90°

3.7 Materiály pro výrobu řezných nástrojů

- **uhlíkaté nástrojové oceli** – ostří se zahřívá na 250°C , označení např.: **U 8 A** (U – uhlík, 8 – % uhlíku, A – vysokojakostní)
- **slitinové legované oceli** – ohřev je do 350°C , obsahují přídavné prvky (chrom, dusík, titan, vanad)
- **slinuté karbidy (SK)** – ohřev do 900°C , spěkaný kov Wolfram (Barcík a kolektiv, 2013).

3.8 Kinematika frézování

Základními reznými podmínkami jsou: řezná rychlost (v_c), posuvná rychlost (v_f), otáčky nástroje (n), maximální tloušťka (h_{max}), tloušťka odřezané vrstvy (h_s), hloubka řezu (e), posuv na zub (f_z) a průměr nástroje (frézy) (D) (Obr. 17).



Obr. 17 Kinematický model frézování
(Barčík, 2009)

Dráhou břitu obrobku je cykloida, vlivem větších průměrů frézovacích nástrojů je řezná rychlost v poměru k rychlosti posuvu velmi vysoká. Můžeme tedy s dostatečnou přesností předpokládat, že na úseku záběru břitu jeho řezná dráha tvoří kružnici (Prokeš, 1982).

Pojem „řezné podmínky“ lze definovat jako souhrn všech činitelů ovlivňujících proces frézování. Znalost jednotlivých podmínek obrábění a jejich propojení pomáhá k co nejproduktivnějšímu a hospodárnějšímu frézování. Proces frézování však nemalou mírou ovlivňují další činitelé jako: geometrie rezného nástroje, opracováváný materiál, tvar, rozměr průřezu třísky a další (Lisičan 1988).

Faktory ovlivňující proces frézování

Geometrie řezného nástroje

Geometrie řezného nástroje značně ovlivňuje kvalitu opracovaného povrchu, rozměrovou a tvarovou přesnost obráběného dílce. Má také vliv na velikost jednotlivých složek řezných sil (Barcík, 2009).

Druh obráběného materiálu

Dalším faktorem je druh obráběného materiálu, který je určen třídou obrobitelnosti materiálu. Obrobitelnost materiálu je stanovena na základě jeho druhu a způsobu obrábění (Lisičan 1988).

Hloubka řezu

Je vzdálenost mezi obrobenou a obráběnou plochou ve směru posuvu. Může být také měřena na odfrézovaném materiálu, a to ve směru kolmém na směru posuvu a hlavní pohyb (Barcík, 2009).

Tuhost obráběcí soustavy

K maximálnímu využití parametrů obráběcího stroje a nástroje nemůže dojít, pokud není dokonale zajištěna tuhost nástroje, obrobku a obráběcího zařízení. Důležité je tedy zajištění správné tuhosti soustavy (Prokeš, 1982).

Řezný materiál

Lepší řezné materiály umožňují obrábění vyššími řeznými rychlostmi, aniž by docházelo k předčasnému zkracování životnosti nástroje. Ideální podmínky (řezná rychlost, hloubka řezu a posuv) jsou stanovené v normách na základě druhu řezného materiálu, obrobitelnosti materiálu, druhu a způsobu opracování (Barcík, 2009).

Řezná rychlost

Rychlost řezného pohybu je rychlost počítaná zjednodušeně jako obvodová rychlost bodů ostří na obvodu nástroje (frézy).

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

v_c – řezná rychlost [m/s]

D – průměr nástroje (frézy) [mm]

n – otáčky nástroje [ot/min]

Posuvná rychlost

Je vzdálenost (dráha), kterou urazí obrobek za 1 min. při pohybu do záběru. Zvětšování posuvu zvětšuje řezný odpor, v tomto případě nezáleží na jiných vlivech.

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

v_f – posuvná rychlost [m/min]

f – posuv na otáčku frézy [mm]

f_z – posuv na řeznou hranu frézy [mm]

z – počet řezných hran fréz [-]

Posuv na zub

Posuv na zub je základní jednotkou posuvového pohybu. Je to délka dráhy obrobku za dobu jedné otáčky nástroje dělená počtem zubů nástroje.

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

f_z – posuv na zub [mm]

v_f – posuvná rychlost [m/min]

n – otáčky frézovacího nástroje [ot/min]

z – počet zubů [-] (Kvietková, 2015).

Délka třísky

$$l = 2R\sqrt{\frac{e}{R}} = \sqrt{e \cdot D} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

e- hloubka úběru [mm]

R – poloměr řezné kružnice nožového hřídele [mm]

l – délka třísky [mm]

a – nominální délka třísky [mm]

D – průměr nástroje (frézy) [mm]

Střední nominální tloušťka třísky

$$h_{stu} = \frac{f_z \cdot e}{l} = \frac{v_f \cdot 1000}{n \cdot z} \sqrt{\frac{e}{D}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

R – poloměr řezné kružnice nožového hřídele [mm]

e – hloubka úběru [mm]

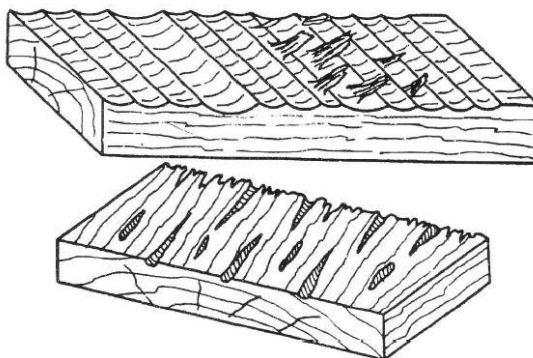
l – délka třísky [mm]

a – nominální délka třísky [mm]

D – průměr nástroje (frézy) [mm] (Barcík, 2009).

3.9 Kvalita frézovaného povrchu

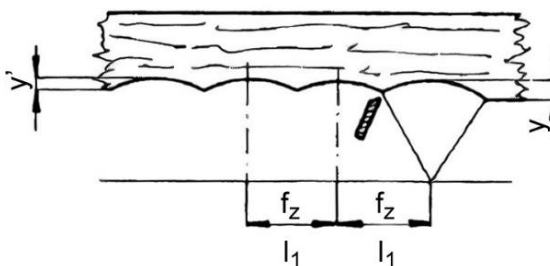
Drsnost frézovaného povrchu je technického a kinematického původu. Mezi technologické příčiny drsnosti se řadí například přezání cév a ročních kruhů, vlhkost a pravidelnost vláken dřeva (frézování proti vláknům a po vláknech) druhu dřeva a další (Lisičan, 1988).



Obr. 18 Ukázka vytrhaných vláken při frézování

(Barcík, 2009)

Přesnost nastavení nožů v nožové hlavě a přesnost broušení fréz jsou hlavní technické příčiny drsnosti opracovaného povrchu. Nepřesnosti se projevují vytrháváním dřevních vláken vlivem otupených břitů a nepravidelností šířky vlnek frézovaného povrchu (Lisičan, 1988).



Obr. 19 Kinematika nerovností frézovaného povrchu

(Barcík, 2009)

Hloubka kinematické nerovnosti y je

$$y = \frac{f_z^2}{4.D} \Rightarrow f_z = \sqrt{4.D.y} \text{ [mm]} \quad (6)$$

D - průměr kružnice nožového hřídele (hlavy) [mm]

f_z – posuv na zub [mm] (Barcík, 2009)

Tab. 3 Kvalita obrobeného povrchu
(Barčík, 2009)

	fz [mm]	hst [mm]	v_f [m.min ⁻¹]
jemné frézování	0,3 - 0,8	0,014 - 0,04	5,4 - 7,2
střední frézování	0,8 - 2,5	0,04 - 0,16	7,2 - 4,5
hrubé frézování	2,5 - 5	0,16 - 0,4	45 - 90

(Hodnoty uvedené v tabulce náleží parametrům: frekvence otáčení nástroje $n = 4500$ ot/min a pro počet nožů $z = 4$)

Vliv různých činitelů na kvalitu frézování

Kvalita obrobeného povrchu závisí na následujících parametrech:

- řezná rychlost,
- posuvná rychlost,
- posuv na zub,
- obráběný materiál,
 - vlhkost,
 - anatomie,
 - hustota,
 - průběh vláken,
- obráběcí nástroj,
 - úhel ostří,
 - úhel hřbetu,
 - úhel čela (Barčík, Homola, 2004).

Frézování patří k nečastějším způsobům opracování materiálů. V dnešní době se velmi rozšířilo používání počítačově řízených obráběcích CNC zařízení, díky kterým je možné dosáhnout velmi přesného a kvalitního opracování. Frézováním je v současnosti opracováváno stále více materiálů. Patří sem kovy, plasty, dřevo, ale i materiály na bázi dřeva, například aglomerované materiály. Jedním z materiálů, který je opracováván frézováním, je i termicky modifikované dřevo. Jedná se o materiál vycházející z rostlého dřeva, přičemž některé jeho vlastnosti mohou být odlišné. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl posoudit vliv termicky modifikovaného dřeva padouk na kvalitu povrchu obráběného procesem rovinného frézování. Proto se v kapitole 4 zabývám charakteristikou tropické dřeviny padouk.

4 Padouk



Obr. 20 Padouk

<https://www.dobrepero.cz/z-ceho-vyrabime/padouk-africky/> (18. 3. 2019)

Botanické názvy: *Pterocarpus soyauxii* Taub., *Pterocarpus osun* Craib.

Čeleď: Leguminosae / Papilionatae

Obchodní názvy: padouk africký, červený padouk, korál africký

Místní názvy: camwood, arakpa, osun, muengé, mbé, epion

Tropická dřevina padouk se podle známé literatury vyskytuje především v tropických nížinných deštných lesích v západní Africe: Nigérie, Kamerun, Gabon, Kongo, Zair, Angola. Jádrové dřevo padouku je zářivě korálově červené až červenohnědé. Bělové dřevo je bělavé až krémové, šířka běli je 3 až 10 cm. Textura tropické dřeviny padouk je vlivem střídavé točitosti a barevných zón pruhovaná (radiální řez), vlnitá (radiální řez), pommelé (tangenciální řez), lesklá, hrubě rýžkovaná a velmi dekorativní. Výřezy určené pro krájení dýhy je nutno intenzivně napařit (nejméně 48 hodin). Dýhy je nutné skladovat stále přikryté, aby nedocházelo k barevným změnám vlivem rychlého tmavnutí. Padouk je v Evropě používán od 17. století (Wagenführ, 2002).

Strom vysoký 35 – 40 m s tenkými velmi vysoko vybíhajícími kořenovými náběhy. Kmen padouku je rovný válcovitý 15 – 20 m dlouhý. Průměrná tloušťka kmene je 70 – 100 cm. Kůra, která je šedohnědá a velmi vláknitá, jemně popraskaná, má tloušťku 5 – 8 mm a ulamuje se v úzkých tenkých podélných proužcích. Na záseku je kůra žltorůžová. Z ní je vylučován latex, který je zpočátku načervenalý, ale po čase zčerná a ztvrdne. Běl je dobře odlišná, bělavá a velmi tlustá. Je bezcenná, proto bývá odstraňována. Čerstvé jádrové dřevo je růžově korálové až svítivě červené. V Nigérii má mnohdy purpurovou barvu. Postupem času se tyto barvy mění a přecházejí podle svého původu do všech odstínů mezi červenohnědou, tmavěhnědou a hnědofialovou barvou (Grün, 1971).

Mechanické vlastnosti: pevnost v tahu napříč vláken 51 Kp/cm², pevnost v tlaku ve směru vláken 675 – 720 Kp/cm², pevnost v ohybu 1230 Kpa/cm², houževnatost 0,50 Kp/cm². Dřevo je dobře štípatelné, dosti pružné a ohebné (Grün, 1971).

Trvanlivost: Jádrové dřevo padouku je velmi trvanlivé. Je velmi odolné vůči plísním, středně odolné vůči termitům a imunní proti napadení hmyzem.



Obr. 21 Kořenové náběhy

https://cs.wikipedia.org/wiki/K%C5%99%C3%ADdlok#/media/File:Andaman_padauk_10.JPG

(18. 3. 2019)

Během mého výzkumu byla použita tropická dřevina padouk, která byla termicky modifikována. Navazující kapitola 5 je proto věnována charakteristice termické modifikace dřeva.

5 Termicky modifikované dřevo

5.1 Definice termicky upraveného dřeva

Již po staletí je známo, že díky opalování povrchu dřeva v otevřeném ohni se stává dřevo odolnější při použití v exteriéru. Dokonce i Vikingové tuto metodu používali na výrobu venkovních konstrukcí a plotů (ThermoWoodHandbook,2003). Termicky upravené dřevo je používáno nejčastěji ve Finsku, ale i v západní Evropě. Prvopočátky tohoto upraveného dřeva sahají do 90. let minulého století. První pokusy s termickou úpravou dřeva jsou známy již od 30. let 20. století v Německu (ITWA, 2019). Dřevo tepelně modifikované je považováno za ekologickou alternativu k chemicky impregnovaným dřevěným materiálům. K modifikaci dřeva dochází zvýšenými teplotami v rozmezí od 160 °C do 240 °C. Pro termicky modifikované dřevo je charakteristické, že po jeho úpravě získává zápach velmi podobný karamelu (Reinprecht, 2008). Termodřevo je v současnosti vyráběno ve dvou variantách: pro použití v exteriéru (Thermo-D) nebo pro použití v interiéru (Thermo-S). U prvního typu je požadována vysoká odolnost a stabilita z důvodů vystavení výrobků exteriérovým podmínkám. U metody Thermo-S je důležitý vzhled a stabilita materiálu. Vysoká úroveň odolnosti a rozměrová stabilita zaručuje, že v tomto materiálu probíhají jen minimální rozměrové změny. Termodřevo má redukovanou tepelnou vodivost, a proto se při vzrůstu teploty méně zahřívá (Kačíková, Kačík, 2011).

Voda volná se vyskytuje v mezibuněčných prostorech, kde vyplňuje lumeny dřeva, což je prostor mezi základní stavební jednotkou dřeva. Voda vázaná se vyskytuje v buněčných stěnách a má významný vliv na mechanické vlastnosti dřeva. Mez nasycení buněčných stěn nebo mez hygroskopicity je rozmezí mezi vodou volnou a vodou vázanou. Jedná se o mez, při které jsou stěny plně nasyceny vodou a lumeny zůstávají suché. Vnitřní prostor buňky nazýváme lumen. Nejčastěji se tato hranice pohybuje okolo 30 %. Mez hygroskopicity je závislá na druhu dřeva a množství pryskyřice, které dané dřevo obsahuje. U listnatých dřevin je důležité, zda se jedná o dřevinu roztroušeně nebo kruhovitě pórovitou (Horáček, 1998)

Thermowood se vyznačuje lepšími izolačními vlastnostmi, než dřevo sušené v komoře. Při vysokých teplotách dochází ve dřevě k rozkladu sacharidů a je tak výrazně snížena možnost napadení houbami. V případě takto termicky upraveného dřeva není zapotřebí použití jakýchkoliv chemických prostředků na ochranu proti škůdcům (Prokom, 2019).

U termicky upraveného dřeva nesmí docházet k přímému kontaktu s půdou. Při termické úpravě Thermo-D jsou všechny pozitivní vlastnosti značně zlepšeny oproti úpravě Thermo-S (FTWA, 2019).



Obr. 22 Ukázka termicky modifikovaného dřeva

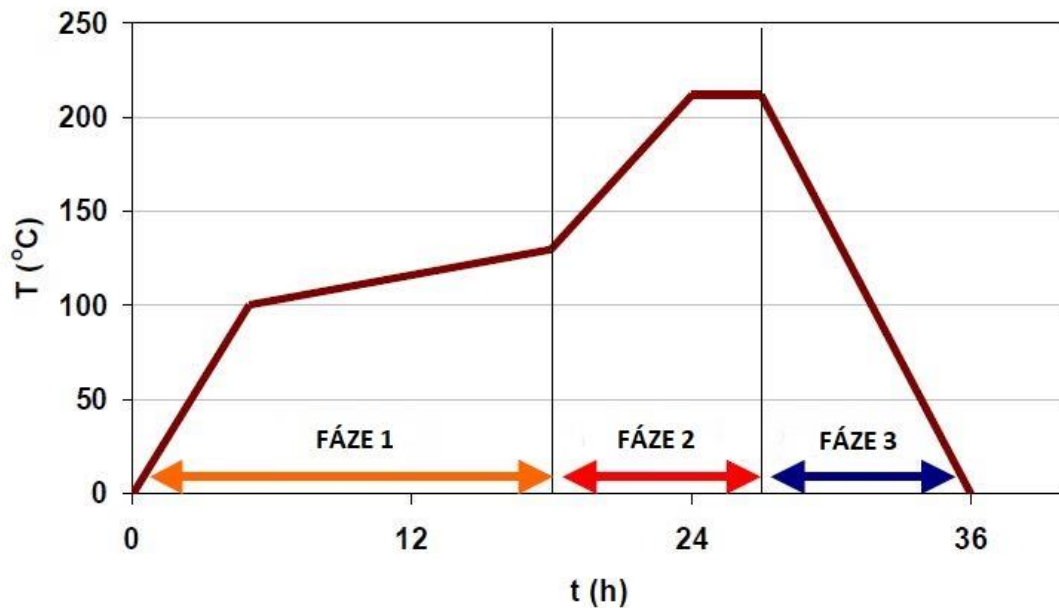
(https://www.google.cz/search?q=thermowood&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUK EwjpiO_l6ffgAhUQZFAKHVt_BsQQ_AUIDigB&biw=1517&bih=694&dpr=0.9#imgrc=Ok6o2loG1skfWM:
(10. 3. 2019)

5.2 Způsoby výroby termicky upraveného dřeva

Horký vzduch

Jedním z hlavních způsobů je úprava ve vzduchu a páře. Průběh úpravy je rozdělen na tři etapy. Celý proces trvá přibližně 36 hodin. Během první etapy je teplota dřeva rychle zvýšena na 100 °C. Po dosažení této teploty je rychlost růstu teploty zpomalena a následně dochází k sušení dřeva téměř k nulové hodnotě jeho vlhkosti. Výsledkem této etapy je suché dřevo neobsahující vodu volnou ani vodu vázanou. Během druhé etapy je navozena maximální teplota, která je udržována přibližně dvě až tři hodiny. Podle rozdílu velikosti maximální teploty se dělí na Thermo-D (Durability – trvanlivost) dřevo, které nachází své uplatnění především v exteriéru. Maximální použitá teplota u jehličnatých dřevin je 212 °C a u listnatých dřevin 200 °C. Thermo-S (Stability - stabilita, stálost) nachází své uplatnění především v interiérovém prostředí s konečnou vlhkostí okolo 6 – 8 % podle evropského standardu EN 113. Maximální teploty dosahované při této úpravě jsou u smrku 190 °C a u listnatých dřevin 185 °C. V průběhu třetí etapy dochází k ochlazení a ustálení vlhkosti na hodnotu okolo 5 – 6 %. (Prokom, 2019;Reinprecht a Vidholdová, 2008; FTWA, 2019)

ThermoWood® process



Obr. 23 Fáze výroby ThermoWood
(ThermoWoodHandbook, 2003)

Vodní pára

Dalším způsobem je úprava ve vodní páře, která bývá uváděna jako Platowood (Providing Lasting Advanced Timber Option). S používáním této metody se začalo kolem roku 2000 v Nizozemsku. Během tohoto způsobu úpravy se nedosahuje zvláště vysokých teplot, ale podíl na reakci má i tlak. Tato metoda má o jednu etapu více než ThermoWood. Využití Platowoodu je zejména v exteriéru. Hlavní jeho výhodou je tvarová stabilita. Během působení tepla dochází ve stavbě dřeva ke změně a snížení koeficientu teplotní roztažnosti. Dochází i ke snížení hygroskopicity. Délka celého procesu je několik dní - od 10 do 13. Maximální teplota dosahuje 190 °C (Reinprecht a Vidholdová, 2008; Platowood; 2016 Horáček, 1998). Teplota hydrotermické úpravy je okolo 170 °C a trvá zpravidla několik hodin. V průběhu této úpravy je vlhkost poměrně vysoká a může dosahovat až 20 %. Při procesu je odbourávána hemicelulóza, což je trvalá změna a mění se díky ní chemické a fyzikální vlastnosti dřeva. Dále je dřevo sušeno na vlhkost 8 - 10 % po dobu několika týdnů. V průběhu třetí etapy je teplota stejná jako v první, ale působí zde atmosférický tlak 0,1 MPa. V poslední, čtvrté etapě navlhčíme dřevo a dosáhneme tak 5% vlhkosti. (Reinprecht a Vidholdová, 2008)

Inertní prostředí

Tento způsob vznikl ve Francii a modifikace probíhá v inertním prostředí RetificatedWood. Hlavním prvkem je dusík a kyslík, jehož množství je sníženo na 2 % při teplotách vysokých až 260 °C. Díky internímu prostředí dusíku s minimálním množstvím kyslíku je možné využívat takovýchto vysokých hodnot, aniž by docházelo k výraznému zhoršení ohybových vlastností a pevnosti. U předešlých dvou způsobů není důležitá vlhkost vstupního materiálu. V tomto případě by mělo upravované dřevo být předsušeno na vlhkost 12 %. Délka trvání procesu je od 8 do 12 hodin (Reinprecht a Vidholdová, 2008)

Oleje

Poslední metodou je úprava dřeva v rostlinných olejích. Tato metoda má původ v Německu a je nazývána OHT-Wood (OHT - Oil Heat Treatment). Upravovaný materiál je vložen do impregnačního kotle s olejem o teplotě 200 - 220 °C. Doba ohřívání záleží na parametrech tělesa. Nejdůležitější věcí je ohřev celého objemu. Ve středové části materiálu by neměla teplota klesnout po dobu 2 hodin pod 180 °C. Při tomto procesu se vyskytuje pouze omezené množství kyslíku z důvodů oxidace. Olej proniká i do buněčných stěn dřeva, a proto má takto upravené dřevo horší protipožární odolnost. Délka celého procesu trvá od 24 do 36 hodin. (Reinprecht a Vidholdová, 2008)

5.3 Thermo-S

Písmeno „S“ v „Thermo-S“ znamená „stabilitu“. Vedle vzhledu je stabilita klíčovou vlastností při konečném použití produktů v této třídě zpracování. Průměrné tangenciální bobtnání a sesychání způsobené vlhkostí pro dřevo ošetřené Thermo-S je 6 - 8 %. Thermo-S třída ThermoWood je klasifikována jako relativně trvanlivá podle normy EN 113; tj. jeho přirozená odolnost vůči rozkladu splňuje požadavky třídy 3 (<https://www.thermowood.fi/>, 2. 3. 2019).

Vhodná použití Thermo-S

Thermo-S Softwood

- stavební prvky,
- nábytek,
- zahradní nábytek,
- sauna a vybavení koupelen,
- komponenty dveří a oken.

Thermo-S Hardwood

- bytové vybavení,
- nábytek,
- podlahy,
- sauna a vybavení koupelen,
- zahradní nábytek.



Obr. 24 Použití Thermo-S

http://www.cwo-wood.cz/cs/zahradni_nabytek_borovice_thermowood (21. 3. 2019)

5.4 Thermo-D

Písmeno „D“ v „Thermo-D“ znamená „trvanlivost“. Kromě vzhledu je biologická trvanlivost klíčovou vlastností při konečném použití produktů v této třídě zpracování. Průměrné tangenciální bobtnání a smrštění způsobené vlhkostí pro dřevo ošetřené třídou Thermo-D je 5 - 6 %. Třída Thermo-D ThermoWood je klasifikována jako trvanlivá podle normy EN 113; tj. jeho přirozená odolnost vůči rozkladu splňuje požadavky třídy 2 (<https://www.thermowood.fi/>, 2. 3. 2019).

Vhodná použití Thermo-D

Thermo-D Softwood

- obklady,
- sauna a vybavení koupelen,
- podlahy,
- zahradní nábytek.

Thermo-D Hardwood

- venkovní obložení budov,
- exteriérové dveře,
- sauna a vybavení koupelen,
- podlahy,
- zahradní nábytek.



Obr. 25 Použití Thermo-D

<https://fasady-terasy-thermowood.cz/zajimavosti/proc-se-hodi-drevo-thermowood-na-fasady-a-obklady-domu-b94.html> (21. 3. 2019)

V kapitole 6 jsou popsány postupy, metody a využití stroje a zařízení, které byly použity během mého výzkumu.

6 Metodika

6.1 Výběr a příprava vzorků pro výzkum

Pro výzkum ve své bakalářské práci jsem si vybral tropickou dřevinu padouk. Tato dřevina byla dovezena z tropických deštných lesů ve formě fošen. Následně jsem zhotovil vzorky o rozměrech 20 x 100 x 450 mm. Tyto vzorky jsem rozdělil do čtyř skupin podle teploty jejich následné termické úpravy. V první skupině byly vzorky bez tepelné úpravy (20 °C). Ve zbylých třech skupinách byly vzorky určené k úpravě procesem Thermowood (160 °C, 180 °C a 210 °C). Proces termické modifikace probíhal v komoře Katres. Po dokončení termické úpravy jsem frézoval vzorky na svislé spodní frézce. Ofrézovanou boční plochu vzorku jsem označil a vzorek oříznul na formátovací pile tak, aby byla zachována frézovaná plocha určená pro následné zjišťování drsnosti. Drsnost jsem měřil na kontaktním profilometru. Tímto způsobem jsem postupoval u všech vzorků.

Tab. 4 Průběh termické modifikace

	čas [h]	teplota [°C]	čas [h]	teplota [°C]	čas [h]	teplota [°C]
ohřev	10	0 - 160	11,7	0 - 180	15,1	0 - 210
termování	3	160	3	180	3	210
ochlazování	2,3	160 - 50	4,1	180 - 50	45	210 - 50
celkový čas termické modifikace	15,3		18,8		22,6	



Obr. 26 Vzorky pro měření kontaktním profilometrem

6.2 Stanovení hustoty

Stanovení hustoty u vzorků proběhlo v souladu s normou ČSN EN ISO 323 (1994)

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

m_w – hmotnost zkušební tělesa při vlhkosti w [kg]

V_w – objem zkušební tělesa při vlhkosti w [m³]

δw - hustota zkušební tělesa při vlhkosti w [kg/m³]

a_w, b_w, l_w – rozměry zkušební tělesa při vlhkosti w [m]

Tab. 3 Hustota vzorků

teplota [°C]	20	160	180	210
hustota [g/cm ³]	0,64	0,623	0,622	0,612

6.3 Stanovení vlhkosti

Stanovení vlhkosti u vzorků proběhlo v souladu s normou ČSN EN ISO 322 (1994). Hmotnostní vlhkost dřeviny padouk byla stanovena jako procentuální podíl hmotnosti vody, kterou obsahoval vlhký vzorek, a hmotnosti vzorku, který byl vysušený.

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} * 100 \quad [\%] \quad (8)$$

W – vlhkost [%]

m^1 – hmotnost zkušební tělesa ve vlhkém stavu [g]

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

Zkušební tělesa byla před zahájením termické úpravy uložena v klimatizované komoře, kde byla stálá vlhkost 8 %. Před samotnou termickou modifikací byla vlhkoměrem naměřena vlhkost, která dosahovala hodnoty 8 %.

6.4 Charakteristika obráběcího stroje (svislé spodní frézky)

Pro frézování vzorků mého výzkumu byla použita svislá spodní frézka typu FVS – ED, APT Line II; Tuttlingen, Německo). Tento stroj je určen pro obrábění masivního rostlého materiálu, ale i aglomerovaných deskových materiálů. U této frézky je možné ručně přenastavit klínové řemeny a nastavit tak požadované otáčky stroje a tím i řeznou rychlost nástroje. Pro všechny vzorky byl nastaven úběr 1 mm.

Základní parametry používané svislé spodní frézky:

Příkon: 4 kW

Proudová soustava: 360/220 V

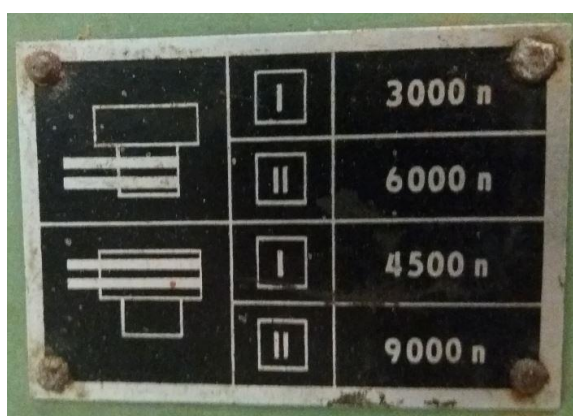
Kmitočet: 50 Hz

Otáčky: 3000, 4500, 6000, 9000 [ot/min]

Rok výroby: 1975



Obr. 27 Svislá spodní frézka FVS



Obr. 28 Schéma nastavení otáček svislé spodní frézky FVS

6.5 Charakteristika podávacího zařízení

Při frézování během výzkumu bylo používáno podávací zařízení od firmy MAGGI – typ STEFF 2034 které bylo osazeno na svislé spodní frézce FVS. Toto podávací zařízení je určeno pro posuv masivního rostlého materiálu i aglomerovaných deskových materiálů. U tohoto zařízení lze dosáhnout čtyř podávacích rychlostí.

Základní parametry používaného podávacího zařízení:

Příkon: 0,6 – 0,8 kW

Motor: 400 V

Otáčky: 1400/2800 [ot/min]

Podávací rychlost: 4, 8, 11, 22 [m/min]

Rok výroby: 2005



Obr. 29 Podávací zařízení STEFF 2034

6.6 Charakteristika frézovací hlavy

Pro tento výzkum byla použita frézovací hlava o rozměrech 125 x 45 x 30 mm. Frézovací hlava je osazena dvěma noži, které byly vyrobeny na zakázku speciálně pro tento výzkum. Do řezu vcházel pouze jeden nůž, druhý byl kratší a sloužil k vyvažování frézy.

Základní parametry frézovacích nožů:

Výrobce: Maximus

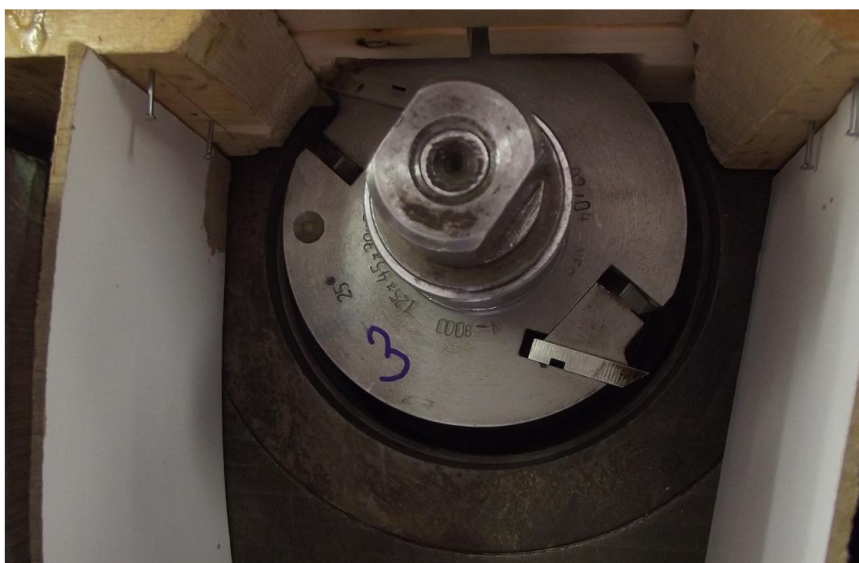
Typ: Special 55

Úhel ostří (β): 45°

Šířka nože: 45 mm

Tvrdost nástroje: 62 HRC

Materiál dle ČSN: 19 855



Obr. 30 Frézovací hlava
(Kubš, 2013)

6.7 Charakteristika kontaktního profilometru

K měření drsnosti povrchu jsem při svém výzkumu používal kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra. Měření parametrů kvality proběhlo podle normy ČSN EN ISO 4288 (1999) a ČSN EN ISO 4287 (1999).

Základní parametry kontaktního profilometru:

Horizontální délka snímání: 50 mm

Úchylka přesnosti na 50 mm: 0,4 μm

Chyba měření: $\pm 2 \%$

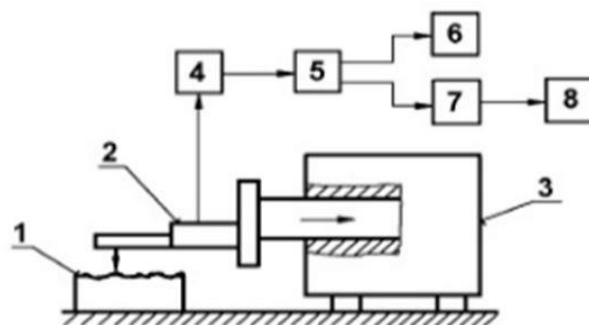
Filtr: Gauss

Základní délka (L_c): 2,5 mm

Délka rozběhu: 0,30 mm



Obr. 31 Kontaktní profilometr FORM TALYSURF 50 Intra



Obr. 32 Princip indukčního snímače

<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1103> (20. 30. 2019)

1 – měřený vzorek, 2 – snímací hlavice s měřícím hrotem, 3 – posuvný mechanismus, 4 – zesilovač, 5 – filtr, 6 – registrační jednotka, 7 – jednotka zpracovávající měřicí signál, 8 – zobrazovací jednotka

6.8 Statistické zpracování dat

Při statistickém zpracování naměřených dat bylo úkolem vyhodnotit jednotlivé hodnoty sledovaných vzorků. K vyhodnocení byl použit software STATISTICA 12 a Microsoft EXCEL 2016. Před samotným zpracováním analýz bylo zapotřebí nejprve vyloučit odlehlé výsledky. Po nalezení odlehlých výsledků bylo nutné provést opravné měření na dané části vzorku, která vykazovala odlišné hodnoty. K posouzení naměřených hodnot jakosti byla použita statistická metoda Anova a Duncanův test. Tato testování byla provedena na zvolené hladině významnosti $\alpha = 0,05 = 5 \%$.

Tab. 4 Vyhodnocení testovaných faktorů na základě hodnoty „P“
(Gaff a Gaborik, 2009)

Hodnota P	Statistická významnost faktoru
$\emptyset P < 0,05$	vliv faktoru je statisticky významný
$\emptyset P > 0,05$	vliv faktoru není statisticky významný
$\emptyset P = 0,05$	vliv faktoru se nachází na hranici statistické významnosti
$\emptyset P = 0$	faktor působí
$\emptyset P < 0,001$	vliv faktoru je statisticky velmi významný
$\emptyset 0,001 < P < 0,01$	vliv faktoru je statisticky středně významný
$\emptyset 0,01 < P < 0,05$	vliv faktoru je statisticky málo významný

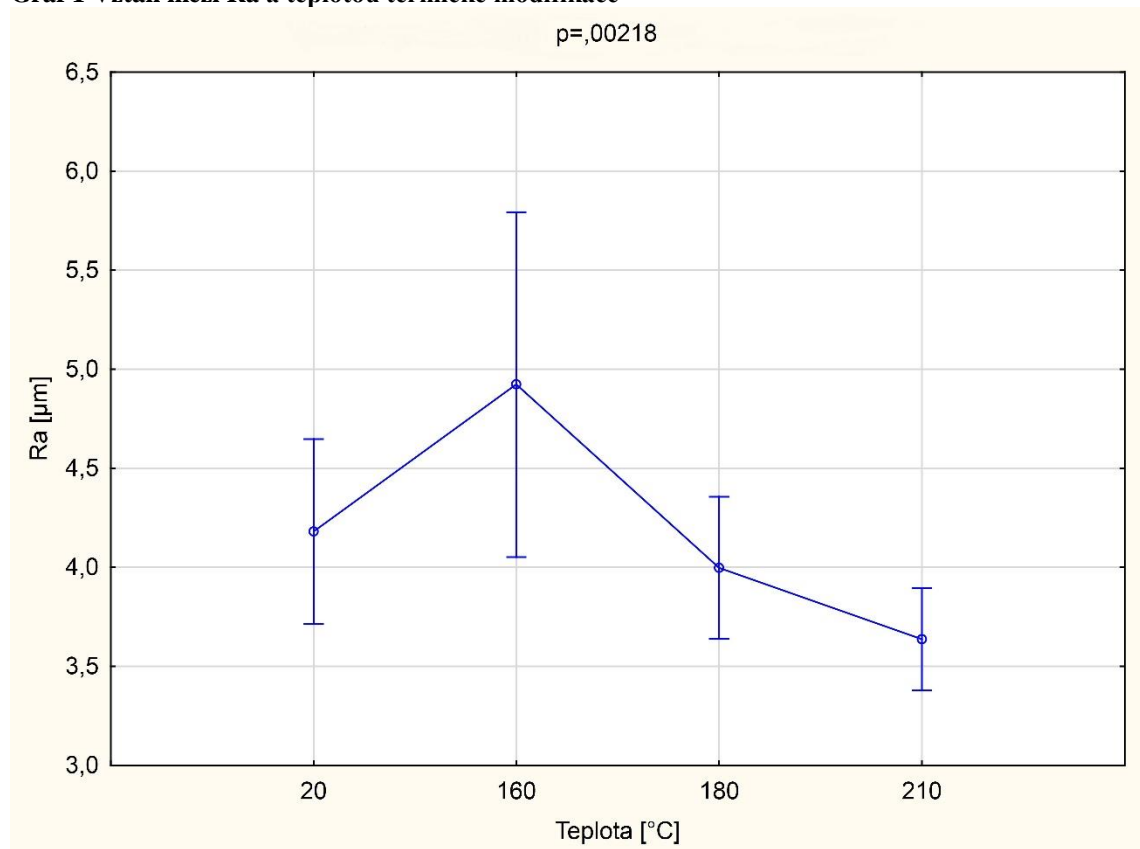
7 Výsledky

Během výzkumu v mé bakalářské práci jsem se zabýval vlivem termické modifikace na kvalitu povrchu dřeviny padouk po rovinném frézování. Mnou zkoumaným předmětem byla tedy jakost povrchu. Jakost povrchu se zpravidla vyhodnocuje za pomoci profilu drsnosti a vlnitosti. Pro vyhodnocení těchto profilů je nejběžnější použití průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti R_a [μm] a průměrné aritmetické úchylky vlnitosti W_a [μm].

Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti „ R_a “

Z grafu 1 je patrné, že maximální hodnoty průměrné aritmetické drsnosti R_a 4,9229 μm bylo během měření dosaženo u vzorků termicky modifikovaných při teplotě 160 °C. Naopak minimální hodnoty průměrné aritmetické drsnosti bylo dosaženo u vzorků termicky modifikovaných při 210 °C, a to 3,6366 μm . Teplota termické modifikace má tedy významný vliv na drsnost povrchu při rovinném frézování dřeva.

Graf 1 Vztah mezi R_a a teplotou termické modifikace



V tabulce 5 jsou výsledky Duncanova testu. Červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty. V tomto případě byl tedy nejvíce statisticky významný rozdíl drsnosti mezi vzorky termicky modifikovanými při 160 °C a 210 °C.

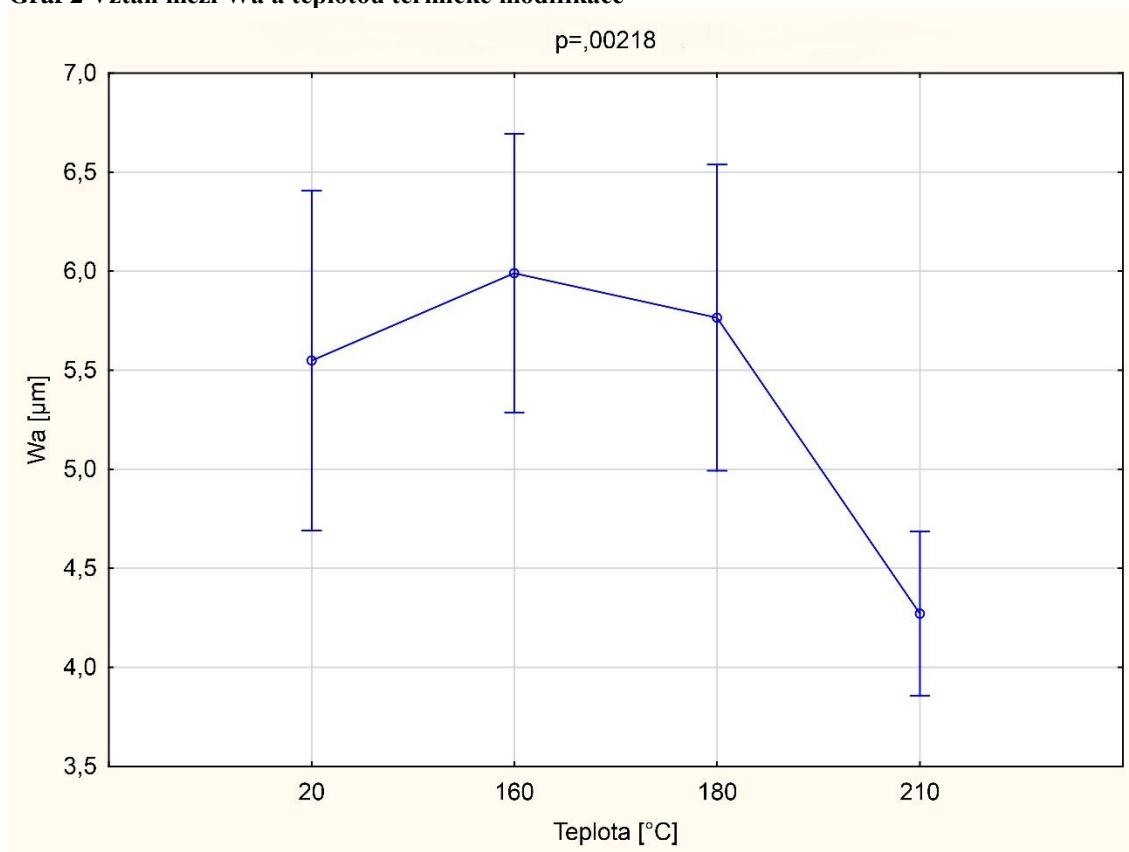
Tab. 5 Ra - Duncanův test

	teplota termické modifikace [°C]	[1] 4,1802	[2] 4,9229	[3] 3,9972	[4] 3,6366
[1]	20		0,056007	0,637873	0,188545
[2]	160	0,056007		0,022958	0,001728
[3]	180	0,637873	0,022958		0,353387
[4]	210	0,188545	0,001728	0,353387	

Průměrná aritmetická úchylka profilu vlnitosti „Wa“

Z grafu 2 je patrné, že maximální hodnoty průměrné aritmetické vlnitosti Wa 5,9902 µm bylo během měření dosaženo u vzorků termicky modifikovaných při teplotě 160 °C. Naopak minimální hodnoty průměrné aritmetické drsnosti bylo dosaženo u vzorků termicky modifikovaných při 210 °C a to 4,2712 µm. Teplota termické modifikace má tedy významný vliv na vlnitost povrchu při rovinném frézování dřeva.

Graf 2 Vztah mezi Wa a teplotou termické modifikace



V tabulce 6 jsou červeně vyznačeny statisticky významné hodnoty. V tomto případě byl tedy nejvíce statisticky významný rozdíl vlnitosti mezi vzorky termicky modifikovanými při 160 °C a 210 °C.

Tab. 6 Wa - Duncanův test

	teplota termické modifikace [°C]	[1] 5,5491	[2] 5,9902	[3] 5,7657	[4] 4,2712
[1]	20		0,41747	0,670044	0,011937
[2]	160	0,41747		0,658711	0,001341
[3]	180	0,670044	0,658711		0,004609
[4]	210	0,011937	0,001341	0,004609	

8 Závěr

V mé bakalářské práci byly shrnuty poznatky o procesu frézování dřeva, tropické dřevině padouk, termické modifikaci dřeva a vlivu termické modifikace dřeva na kvalitu obrábění povrchu po rovinném frézování. Z výsledků dosažených během mého výzkumu se ukázalo, že teplota termické modifikace má vliv na drsnost i na vlnitost povrchu obráběného rovinným frézováním. Největší rozdíly kvality povrchu byly mezi vzorky termicky modifikovanými při teplotě 160 °C a 210 °C.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, frézování patří mezi nejčastěji používané způsoby obrábění materiálů. V dnešní době jsou technologie na vysoké úrovni a je tak možné dosáhnout velmi přesného opracování jak dřeva, tak i ostatních materiálů. Dle mého názoru bude mít obrábění frézováním stále větší a větší uplatnění.

Dřevo je v poslední době stále více využíváno a jeho modifikacemi se dosahuje širšího uplatnění. Tomu nahrává také fakt, že v současné době je kladen velký důraz na ekologii a využívání obnovitelných zdrojů. Díky termické modifikaci má dřevo schopnost odolávat degradačním vlivům povětrnosti, plísní, hub a ostatním vlivům. Navzdory těmto výhodám má takto upravené dřevo sníženou svoji pevnost, proto nelze používat do nosných konstrukcí. Je možné, že za nějakou dobu bude proces termické modifikace inovován tak, aby termicky modifikované dřevo neztrácelo svoji pevnost a mohlo být použito i v nosných konstrukcích.

Seznam použité literatury a zdrojů

- BARCÍK, Š.** *Technika pre výrobu nábytku*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN: 978-80-228-2055-4.
- BARCÍK, Š., HOMOLA, T.** *Vplyv vybraných parametrov na kvalitu obrobeného povrchu pri rovinnom frézování juvenilního borovicového dřeva*. In: Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva, Zvolen, 2004, ISBN 80-228-1385-0
- BARCÍK, Š., KVIETKOVÁ, M., BOMBA, J., SIKLIENKA, M.** *Dřevoobráběcí nástroje - údržba a provozování: vysokoškolská učebnice*. 1. vyd. Praha: Powerprint, 2013. ISBN 978-80-87415-80-1.
- CIHLÁŘ, M.** *Bakalářská práce, Thermowood a jeho vlastnosti ve vztahu k impregnaci ochrannými látkami*, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016.
- DVOŘÁK, O.** *Bakalářská práce, Analýza procesu frézování termicky modifikovaného dřeva*, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016.
- FINNFOREST**, ThermoWood® Handbook, [online], Publikováno 2002 [cit. 2019-3-18] Dostupné z: <http://www.vandormaeltimber.com/TW%20handbook%20FF.pdf>
- GRÜN, K.** *Lexikon tropických dřevin*. Praha: Výzkumný a vývojový ústav dřevařský, 1971. Práce VVÚD.
- HORÁČEK, P.** *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998. 128 s. ISBN 80-7157-347-7.
- JAMSA, S., VIITANIEMI, P.:** *Heat treatment of wood. Better durability, without chemicals*. Nordiske Trebeskyttelsedager, 1998, 51s.
- KAČÍKOVÁ, D., KAČÍK, F.** *Chemické a mechanické zmeny dřeva pri termickej úprave*. Zvolen. Technická univerzita vo Zvolene, 2011, ISBN 978-80-228-2249-7.
- KOLMANN, F. 1955.** *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Springer-Verlag, Berlin.
- KOTĚŠOVEC, V.** *Ortogonalní řezání - frézování dřeva*. Nakladatelství technické literatury Praha, 1981, 211s.
- KUBŠ, J.** *Diplomová práce, Vliv vybraných faktorů na energetickou náročnost rovinného frézování termicky modifikovaného dřeva*, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013.
- KVIETKOVÁ, M.** *Obrábění dřeva*, CARTER Praha, 2015. 295 s. ISBN 978-80-213-2604-0.
- LISIČAN, J.** *Obrábanie a delenie drevných materiálov*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1988, 412s.

- LISIČAN, J. a kol.** *Teória a technika spracovania dreva*. Zvolen: MATCENTRUM, 1996, 626s. ISBN: 80-967315-6-4
- MAYES, D., OKSANEN, O.** Thermowood(r) Handbook. Finsko Dostupné na: <http://www.thermowood.fi/data.php/200312/795460200312311156_tw_handbook.pdf.
- MIKOLÁŠIK, E.** *Drevárske stroje a zaridenia*. 1 zväzok, ALFA Bratislava, 1981.
- NUTSCH, W.**, Příručka pro truhláře. 2. přeprac. Vyd. Praha. Europa-Sobotáles cz, 2006. ISBN 80-86706-14-1.
- PROKEŠ, S.** *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. SNTL / ALFA Bratislava, 1982.
- REINPRECHT, L.; VIDHOLDOVÁ Z.** *Termodrevo – príprava, vlastnosti a aplikácie*. Vyd. Zvolen: TU Zvolen, 2008. 89 s. ISBN 978-80-228-1920-6
- SANDAK, J., NEGRI, M.** *Wood surface roughness – what is it?*. In: Proceeding of the 17th international wood machinig Seminar, Rosenheim. 2005.
- SEDLICKÝ, M.** *Vliv druhu materiálu nástroje na kvalitu opracovaného povrchu při podélném frézování dřeva a materiálů na bázi dřeva*, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017.
- SVOREŇ, J.** *Drevarské stroje. Část II*. Technická univerzita vo Zvolene, ES 2006, 149s.
- WAGENFÜHR, R.** *Holzatlas*, München, Deutsche Gessellschaft für Holzforschung, 2007 Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, ISBN-10: 3-446-40649-2, 816s.

Normy:

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

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

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

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

Webové zdroje:

Čelní frézování[online]. [cit. 2017-11-4].

Dostupné z: <<https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=45753&revision=-1&instance=2>

Frézování drážek [online]. [cit. 2017-11-4].

Dostupné z: <<https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=45753&revision=-1&instance=2>

Frézování reliéfu www.eurourban.cz [online]. [cit. 2018-11-4].

Dostupné z: <<https://www.eurourban.cz/drevena-lisovana-lista-9023-50x7-propletena-trat>

Kotoučová a stopková fréza www.pilanamarket.cz [online]. [cit. 2019-1-29].

Dostupné z: <<https://www.pilanamarket.cz/>

Fréza s upnutými zuby www.pilanamarket.cz [online]. [cit. 2019-1-29].

Dostupné z: <<https://www.pilanamarket.cz/>

Sestava dvou kotoučových fréz www.pilanamarket.cz [online]. [cit. 2019-1-29].

Dostupné z: <<https://www.pilanamarket.cz/>

Složená fréza www.pilanamarket.cz [online]. [cit. 2019-1-29].

Dostupné z: <<https://www.pilanamarket.cz/>

Padouk www.dobrepero.cz [online]. [cit. 2019-3-18].

Dostupné z: <<https://www.dobrepero.cz/z-ceho-vyrabime/padouk-africky/>

Kořenové náběhy cs.wikipedia.org [online]. [cit. 2019-3-18]

Dostupné z:

<https://cs.wikipedia.org/wiki/K%C5%99%C3%ADdlok#/media/File:Andaman_padauk_10.JPG

Thermo Wood Handbook 2003 asiakas.kotisivukone.com [online]. [cit. 2019-3-18]

Dostupné z:

<https://asiakas.kotisivukone.com/files/en.thermowood.palvelee.fi/downloads/tw_handbook_080813.pdf

ITWA (International ThermoWood Asociation) [online]. *ThermoWood Handbook*. [cit. 2019-02-08].

Dostupné z: <<http://www.thermowood.fi/brochurestexts>

Prokom. [online]. *Povrchová úprava materiálu ThermoWood*. Opava: prokom [cit. 2019-02-08].

Dostupné z: <<http://www.prokom.cz/thermowood-tepelneupravene-drevo/nater-owatrol-aquadecks-na-thermowood-tepelne-upravene-drevo.pdf>

FTWA (Finnish ThermoWood Asociation). [online]. *ThermoWood*. Helsinki: Finnish ThermoWood Asociation, [cit. 2019-02-11].

Dostupné z:

<https://asiakas.kotisivukone.com/files/en.thermowood.kotisivukone.com/tiedostot/thermo_eng.pdf

International Thermo Wood Association www.thermowood.fi [online]. [cit. 2019-3-2].

Dostupné z: <<https://www.thermowood.fi>

Použití Thermo-S www.cwo-wood.cz [online]. [cit. 2019-3-21].
Dostupné z: <http://www.cwo-wood.cz/cs/zahradni_nabytek_borovice_thermowood

Použití Thermo-D fasady-terasy-thermowood.cz [online]. [cit. 2019-3-21].
Dostupné z: <<https://fasady-terasy-thermowood.cz/zajimavosti/proc-se-hodi-drevo-thermowood-na-fasady-a-obklady-domu-b94.html>