ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

KATEDRA ZÁKLADNÍHO ZPRACOVÁNÍ DŘEVA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv technologicko-technických a materiálových faktorů rovinného frézování termicky modifikovaného březového dřeva na kvalitu opracování povrchu

Bc. Lukáš Kaplan

vedoucí práce: doc. Ing. Milan Gaff, Ph.D.

ČZU v Praze 2015

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra základního zpracování dřeva

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lukáš Kaplan

Dřevařské inženýrství

Název práce

Vliv technologicko – technických a materiálových faktorů rovinného frézování termicky modifikovaného březového dřeva na kvalitu opracování povrchu

Název anglicky

Influence of technological, technical and material factors of planar milling of thermally modified birch wood on surface shaping quality

---

Cíle práce

Cílem práce je experimentální měření vlivu základních parametrů procesu rovinného frézování při různých teplotách termicky upraveného dřeva na kvalitu povrchu plochy z pohledu její nerovinnosti a drsnosti.

Metodika

1/ Úvod

2/ Cíl a metodika práce

3/ Analýzy současného stavu rovinného frézování ve vztahu ke kvalitě opracování povrchu termicky modifikovaného dřeva

4/ Experimentální sledování

5/ Zhodnocení experimentálních výsledků a diskuse

6/ Závěr

Doporučený rozsah práce

45 – 55 stran textu

Klíčová slova

řezná a posuvná rychlost, frézování, termo-wood, nerovinnost, drsnost

---

Doporučené zdroje informací

Beňo, J. 1999: Teória rezania kovov, Vienala, Košice, 1999, ISBN 80-70099-429-0

Káčiková, D., Kačik, F. 2011: Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave, ES, TU Zvolen, 71 s.

Lisičan, J. 1996: Teória a technika spracovania dreva, Zvolen, Matcentrum, 1996, 625 s. , ISBN 80-967315-6-4

Ľubčenko, V. I. 1986: Rezanie drevesiny i drevesnych materialov, Lesnaja promyšlennosť, Moskva, 1986

Odborné články k dané problematice

Prokeš, S. 1982: Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva, 3. vyd., Praha – SNTL, 1982, 584 s.

Reinprecht, L., Vidholdová, Z. 2008: Termodrevo – Priprava, vlastnosti a aplikace, TU Zvolen, 2008

Předběžný termín obhajoby

2015/06 (červen)

Vedoucí práce

Ing. Milan Gaff, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 5. 11. 2014

Ing. Milan Gaff, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 3. 2015

prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan

V Praze dne 08. 04. 2015

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv technologicko-technických a materiálových faktorů rovinného frézování termicky modifikovaného březového dřeva na kvalitu opracování povrchu vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Milana Gaffa, Ph.D., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, 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 14. dubna 2015

…….....

Bc. Lukáš Kaplan

Poděkování:

Děkuji vedoucímu práce *doc. Ing. Milanu Gaffovi, Ph.D.* za ochotu a odbornou pomoc při zpracování mé diplomové práce. Zároveň bych chtěl poděkovat *Ing. Monice Kvietkové, Ph.D.* za konzultace, které mi ulehčily zpracování této práce.

Abstrakt

KAPLAN, Lukáš: Vliv technologicko-technických a materiálových faktorů rovinného frézování termicky modifikovaného březového dřeva na kvalitu opracování povrchu. [Diplomová práce]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra základního zpracování dřeva. Vedoucí diplomové práce *doc. Ing. Milan Gaff, Ph.D.* Praha: FLD ČZU, 2015.

Cílem diplomové práce bylo zjištění vlivu různých řezných a posuvných rychlostí i stupně termické úpravy březového dřeva na kvalitu opracovaného povrchu, konkrétně na střední aritmetickou úchylku profilu drsnosti a vlnitosti. Práce analyzuje termickou úpravu dřeva, popisuje současné poznatky z oblasti frézování dřeva a zabývá se měřením kvality opracovaného povrchu. Následně práce popisuje použitou metodiku experimentálních zkoušek tak, aby byly splněné vytýčené cíle. V závěrečné části jsou graficky i statisticky zpracované dosažené výsledky získané analýzou naměřených hodnot.

Z výsledků práce vyplývá vliv různých parametrů procesu frézování a materiálových charakteristik na hodnoty střední aritmetické úchylky profilu drsnosti a vlnitosti. Tyto výsledky jsou dobře využitelné v praxi v procesu obrábění termicky upraveného dřeva.

Klíčová slova:

frézování, řezná rychlost, posuvná rychlost, povrch, ThermoWood

Abstract

KAPLAN, Lukáš: Influence of technological, technical and material factors of planar milling of thermally modified birch wood on surface shaping quality. [Diploma thesis]. Czech University of Life Sciences Prague, Faculty of Forestry and Wood Sciences, Departement of Wood Processing. Thesis supervisor: *doc. Ing. Milan Gaff, Ph.D.* Prague: FLD ČZU, 2015.

The main purpose of this Diploma thesis was a study of how various cutting and translation speeds and also different birch wood thermal treatment degrees influence the quality of shaped surface. The main subject of the thesis is monitoring of the influence of cutting and translation speed as well as the influence of various birch wood thermal treatment degrees on shaped surface quality, which is more precisely measured by means of the middle arithmetic deviation of the surface profile roughness and undulation. The underlying focus of the thesis is the thermal wood treatment analysis, the description of the present knowledge about wood milling and the shaped surface quality measurement. Subsequently, the thesis describes the experiment methodology used, which enables the fulfilment of all intended goals. The final part of the thesis shows the graphical and statistical processing of results obtained by means of measurement analysis. At the end of the thesis are displayed the complete summary and recommendations for practical application of collected results.

From the results of the Diploma thesis arises the degree of influence of various milling process factors and of material characteristics on the values of middle arithmetic deviation of profile roughness and undulation. These outcomes can be used in practice. Differently put, their practical application is realisable during the process of thermal wood treatment.

Key words:

milling, cutting speed, translation speed, surface, ThermoWood

Obsah

1. Úvod ..... - 17 -
2. Cíl práce ..... - 19 -
3. Dřevo a termicky upravované dřevo ..... - 20 -
3.1 Dřevo a životní prostředí ..... - 20 -
3.2 Dřevo jehličnatých stromů ..... - 20 -
3.3 Dřevo listnatých stromů mírného pásma ..... - 21 -
3.4 Exotické dřeviny ..... - 21 -
4. Trvanlivost a užitkové vlastnosti dřeva ..... - 22 -
4.1 Trvanlivost dřeva a jeho odolnost vůči dřevokazným houbám ..... - 23 -
4.2 Trvanlivost dřeva vůči dřevokaznému hmyzu ..... - 23 -
5. *ThermoWood* – termicky neboli tepelně upravené dřevo ..... - 24 -
5.1 *ThermoWood* jako ochranná známka ..... - 25 -
5.2 Charakteristika tepelně upraveného dřeva ..... - 26 -
6. Výrobní proces *ThermoWood* ..... - 27 -
6.1 Principy výroby ..... - 27 -
6.1.1 Princip technologie úpravy prostřednictvím atmosféry vzduchu ..... - 30 -
6.1.2 Princip technologie úpravy prostřednictvím vodní páry ..... - 32 -
6.1.3 Princip technologie úpravy v prostředí inertních plynů ..... - 33 -
6.1.4 Princip technologie úpravy v olejích ..... - 33 -
7. Aplikace *ThermoWood* výrobků ..... - 34 -
7.1 *ThermoWood* v interiérech ..... - 35 -
7.2 *ThermoWood* v exteriérech ..... - 36 -
8. Rozbor problematiky rovinného frézování ..... - 37 -
8.1 Druhy frézování ..... - 37 -
8.1.1 Frézování válcové ..... - 39 -
8.1.2 Frézování kuželové ..... - 39 -
8.1.3 Frézování čelní ..... - 40 -
8.1.4 Frézování čelní - kuželové ..... - 41 -
9. Technologické způsoby frézování ..... - 42 -
10. Kinematika pro proces frézování ..... - 44 -
10.1 Názvosloví opracovávaného předmětu ..... - 48 -

11. Nástroje pro obrábění ..... - 49 -
11.1 Rozdělení nástrojů k frézování dřeva ..... - 49 -
11.2 Geometrie břitu ..... - 51 -
11.3 Základní nástroje používané k rovinnému frézování při obrábění dřeva ..... - 52 -
12. Teorie drsnosti a vlnitosti opracované plochy ..... - 54 -
12.1 Pojem kvalita ..... - 54 -
12.2 Faktory ovlivňující kvalitu opracovaného povrchu ..... - 54 -
12.3 Pojem drsnost dle ČSN 49 0231 ..... - 56 -
12.4 Struktura povrchu dle ČSN EN ISO 4287 ..... - 56 -
12.4.1 Povrchy a profily ..... - 56 -
12.4.2 Názvy geometrických parametrů ..... - 58 -
12.4.3 Střední čáry ..... - 58 -
12.4.4 Délky ..... - 58 -
12.4.5 Výšky a šířky profilu ..... - 59 -
12.4.6 Parametry profilu povrchu ..... - 59 -
12.4.7 Posuzování povrchu ..... - 63 -
12.5 Zjišťování kvality opracovaného povrchu ..... - 64 -
12.6 Vznik vlnitosti opracovávaného povrchu ..... - 67 -
13. METODIKA ..... - 71 -
13.2 Metodika experimentálních prací ..... - 72 -
13.2.1 Příprava vzorků ..... - 73 -
13.2.2 Klimatizace vzorků ..... - 73 -
13.2.3 Termická úprava vzorků ..... - 74 -
13.2.4 Obrábění vzorků ..... - 76 -
13.2.4.1 Jednovřetenová spodní frézka ..... - 76 -
13.2.4.2 Podávací zařízení ..... - 78 -
13.2.4.3 Frézovací hlava ..... - 79 -
13.2.4.4 Frézovací nástroj ..... - 80 -
13.3. Měření opracovaného povrchu ..... - 82 -
13.3.1 Snímání povrchu ..... - 82 -
13.3.2 Nastavení hodnot snímacího zařízení dle ČSN ISO 4288 ..... - 84 -
13.3.3 Měření a získání naměřených hodnot ..... - 85 -
14. Vyhodnocení experimentálně získaných dat ..... - 87 -

14.1 Vyhodnocení změn průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa ..... - 87 -
14.1 Vyhodnocení změn průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra ..... - 93 -
15. Zhodnocení výsledků ..... - 98 -
15.1 Doporučení pro vědu ..... - 99 -
15.2 Doporučení pro praxi ..... - 99 -
Závěr ..... - 100 -
Seznam použité literatury ..... - 102 -

Seznam značek a zkratek

a_p – *tloušťka vrstvy odebíraného materiálu (hloubka řezu)* ..... *[mm]*

B – šířka frézované plochy ..... *[mm]*

D – průměr řezné kružnice ..... *[mm]*

f – rychlost posuvu obrobku ..... *[m.min^{-1}]*

f_o – *posuv na otáčku* ..... *[mm]*

f_z – *posuv na zub* ..... *[mm]*

$h_{ch\text{-}max}$ – *maximální tloušťka třísky* ..... *[mm]*

$H_{ch\text{-}0}$ – *minimální tloušťka třísky* ..... *[mm]*

$H_{ch\text{-}str}$ – *střední tloušťka třísky* ..... *[mm]*

L – teoretická délka třísky ..... *[mm]*

m – čára výstupků profilu ..... *[-]*

n – otáčky ..... *[min^{-1}]*

O_1, O_2, O_3 – *první, druhá a třetí otáčka nástroje* ..... *[-]*

P_a, R_a, Wa – *průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu* ..... *[µm]*

P_p, R_p, W_p – *nejvyšší výška výstupků profilu* ..... *[µm]*

P_{sk}, R_{sk}, Wsk – *šikmost posuzovaného profilu* ..... *[µm]*

P_{ku}, R_{ku}, W_{ku} – *špičatost posuzovaného profilu* ..... *[µm]*

P_q, R_q, W_q – *průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu* ..... *[µm]*

P_c, R_c, W_c – *průměrná výška prvků profilu* ..... *[µm]*

P_v, R_v, W_w – *největší hloubka prohlubně profilu* ..... *[µm]*

P_z, R_z, W_z – *největší výška profilu* ..... *[µm]*

R_1 – *poloměr řezné kružnice prvního nože* ..... *[mm]*

R_2 – *poloměr řezné kružnice druhého nože* ..... *[mm]*

R_t - *největší hloubka drsnosti posuzovaného profilu* ..... *[µm]*

v_c – *řezná rychlost* ..... *[m.s^{-1}]*

v_f – *posuvná rychlost* ..... *[m.min^{-1}]*

z – počet zubů ..... *[-]*

X_s – *šířka prvku profilu* ..... *[μm]*

Z_t – *výška prvku profilu* ..... *[μm]*

Z_p – *výška výstupku profilu* ..... *[μm]*

Z_v – *hloubka prohlubně profilu* ..... *[μm]*

α – úhel hřbetu ..... *[°]*

β – úhel břitu ..... *[°]*

γ – úhel čela ..... *[°]*

δ – řezný úhel ..... *[°]*

φ – úhel styku dřevních vláken s nástrojem ..... *[°]*

τ – hloubka vlny ..... *[μm]*

Ψ – středový úhel mezi dvěma břity ..... *[°]*

ω – rozestup zubů frézy ..... *[mm]*

ω_1 – *úhlová rychlost frézy* ..... *[s^{-1}]*

Seznam obrázků

Obr. 1 Řezy březovým kmenem - příčný, radiální, tangenciální (Klement et al., 2009)..... - 29 -

Obr. 2 Vzorek březového dřeva upraveného teplotou 210 °C..... - 30 -

Obr. 3 Schéma výroby ThermoWoodu (Reinprecht a Vidholdová, 2008) ..... - 30 -

Obr. 4 Použití ThermoWoodu v interiéru ..... - 35 -

Obr. 5 Použití ThermoWoodu v exteriéru..... - 36 -

Obr. 6 Protiběžné frézování (ČSN ISO 3002/1) ..... - 38 -

Obr. 7 Souběžné frézování (ČSN ISO 3002/1)..... - 38 -

Obr. 8 Válcové frézování (Prokeš, 1982) ..... - 39 -

Obr. 9 Frézování kuželové (Prokeš, 1982) ..... - 40 -

Obr. 10 Frézování čelní (Prokeš, 1982) ..... - 40 -

Obr. 11 Frézování čelní-kuželové (Prokeš, 1982) ..... - 41 -

Obr. 12 Základní typy frézování ve dřevozpracujícím průmyslu (Prokeš, 1982) ..... - 43 -

Obr. 13 Prvky teoretického výpočtu tloušťky a délky třísky válcového frézování s přímou řeznou hranou (Prokeš, 1982) ..... - 44 -

Obr. 14 Základní plochy na předmětu při jeho obrábění..... - 48 -

Obr. 15 Drážkovací fréza s výměnnými žiletkovými noži ..... - 50 -

Obr. 16 Úhlová geometrie břitu ..... - 51 -

Obr. 17 Frézovací válec s výměnnými žiletkovými noži ..... -52 -

Obr. 18 Frézovací hlava s výměnnými žiletkovými noži..... - 53 -

Obr. 19 Profil povrchu (ČSN EN ISO 4287) ..... - 57 -

Obr. 20 Hodnocená délka (ČSN 49 0231)..... - 58 -

Obr. 21 Prvek profilu (ČSN EN ISO 42 87) ..... -59 -

Obr. 22 Největší výška výstupků profilu (na příkladu profilu drsnosti) (ČSN EN ISO 42 87)..... - 60 -

Obr. 23 Největší hloubka prohlubní profilu (na příkladu profilu drsnosti)..... - 60 -

Obr. 24 Největší výška profilu (na příkladu profilu drsnosti) (ČSN EN ISO 42 87) ..- 61 -

Obr. 25 Výška prvků profilu (na příkladu profilu drsnosti) (ČSN EN ISO 42 87) .....- 62 -

Obr. 26 Největší hloubka drsnosti .....- 62 -

Obr. 27 Vývojový diagram pro posuzování povrchu (ČSN EN ISO 42 87).....-64 -

Obr. 28 Přehled kontrolních metod povrchu (Afjehi et al., 2006).....- 65 -

Obr. 29 Dotykový měřicí přístroj Taylor-Hobson Intra 2. .....- 67 -

Obr. 30 Profil ofrézovaného povrchu válcovou frézou (Lisičan, 1984) .....- 68 -

Obr. 31 Povrch opracovaný frézou s nerovnoměrným osazením nožů (Lisičan, 1984) .....

.....- 69 -

Obr. 32 Povrch opracovaný frézou - kde byl v činnosti pouze jeden nůž (Lisičan, 1984)

.....- 69 -

Obr. 33 Šířka vlnek při frézování (Lisičan, 1984) .....- 71 -

Obr. 34 Blokové schéma kombinací obrábění.....- 73 -

Obr. 35 Výkres vzorku .....- 74 -

Obr. 36 Vzorky připravené před experimentem.....- 76 -

Obr. 37 Jednovřetenová spodní frézka FVS s podávacím zařízením.....- 78 -

Obr. 38 Jednovřetenová spodní frézka FVS při frézování.....- 78 -

Obr. 39 Podávací zařízení Steff umístěné na jednovřetenové spodní frézce .....- 80 -

Obr. 40 Frézovací hlava Staton na hřídeli frézky.....- 81 -

Obr. 41 Frézovací hlava Staton osazena noži – po skončení procesu obrábění .....- 81 -

Obr. 42 Naostřené frézovací nástroje – nože před jejich použitím .....- 82 -

Obr. 43 Měřící aparatura na ocelolitinovém stole.....- 83 -

Obr. 44 Detailní pohled na měření.....- 84 -

Obr. 45 Snímací raménko umístěné ve snímači.....- 84 -

Obr. 46 Nezpracovaný profil .....- 86 -

Obr. 47 Změněný profil.....- 87 -

Obr. 48 Vliv řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa ..... *- 89 -*

Obr. 49 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa ..... *- 89 -*

Obr. 50. Vliv termické úpravy březového dřeva na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa ..... *- 90 -*

Obr. 51 Vliv řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa pro jednotlivé stupně úpravy ..... *- 91 -*

Obr. 52 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa pro jednotlivé řezné rychlosti ..... *- 91 -*

Obr. 53 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa u jednotlivých stupňů úprav ..... *- 92 -*

Obr. 54 Vliv posuvné a řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa u jednotlivých stupňů úprav ..... *- 92 -*

Obr. 55 Vliv řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra ..... *- 95 -*

Obr. 56 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra ..... *- 95 -*

Obr. 57 Vliv termické úpravy na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra ..... *- 96 -*

Obr. 58 Vliv řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra pro jednotlivé stupně úpravy ..... *- 97 -*

Obr. 59 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra pro jednotlivé stupně úpravy ..... *-97 -*

Obr. 60 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra u jednotlivých stupňů úprav ..... *- 98 -*

Obr. 61 Vliv posuvné a řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra u jednotlivých stupňů úprav ..... *- 98 -*

Seznam tabulek

Tab. 1 Parametry ovlivňující obrábění (z pohledu zařízení) ..... *- 72 -*

Tab. 2 Parametry ovlivňující obrábění (z pohledu materiálu) ..... *- 72 -*

Tab. 3 Časy fází pro jednotlivé tepelné úpravy ..... *- 76 -*

Tab. 4 Technické parametry jednovřetenové spodní frézky ..... *- 78 -*

Tab. 5 Technické parametry podávacího zařízení ..... *- 79 -*

Tab. 6 Technické parametry frézovací hlavy ..... *- 80 -*

Tab. 7 Technické parametry výměnného nože ..... *- 82 -*

Tab. 8 Doporučené hodnoty cut-off (ČSN ISO 4288) ..... *- 85 -*

Tab. 9 Celkové nastavení měření ..... *- 85 -*

Tab. 10. Trojfaktorová analýza rozptylu hodnotící účinek vplyvu jednotlivých faktorů, dvoj- až trojfaktorových interakcí pro průměrnou aritmetickou úchylku profilu vlnitosti ..... *- 88 -*

Tab. 11. Trojfaktorová analýza rozptylu hodnotící účinek vplyvu jednotlivých faktorů a dvoj- až trojfaktorových interakcí pro průměrnou aritmetickou úchylku profilu drsnosti Ra ..... *- 94 -*

1. Úvod

Dřevo je surovina, kterou člověk využívá již od začátku své existence. V počátcích bylo používáno zejména k energetickým účelům, následně jako konstrukční materiál jak pro příbytky lidí, tak pro zvířata. V neposlední řadě bylo také základním materiálem pro výrobu nábytku. Ke všem výše uvedeným účelům se dřevo využívá dodnes a vzhledem k jeho dobré dostupnosti po celém světě lze přepokládat, že jej budeme využívat i v budoucnosti.

Pro výrobu nábytku využíváme zejména přírodní dřevo. Odpad vznikající během procesu obrábění dále používáme pro výrobu nejrůznějších aglomerovaných materiálů, jako jsou například dřevotřískové desky. Pro výrobu nábytku potřebujeme vysoce kvalitní sortimenty vstupní suroviny. I přes snahu o pěstování dřeva v co nejlepší kvalitě a udržení jeho kvality i během procesu základního zpracování vzniká dřevní hmota, která nesplňuje požadavky nejen pro výrobu nábytku, ale ani pro konstrukční použití.

Vzhledem ke stoupajícím cenám surovin hledáme možnosti, jak využívat surovinu nižší kvality i druhy dřeva, které se zatím standardně nevyužívají. Za účelem využití a zhodnocení méně kvalitní suroviny vznikla metoda termické úpravy přírodního dřeva. Termickou úpravou dřeva dochází ke změnám jeho vlastností, které můžeme ocenit zejména při použití v exteriérech, jako například pro obložení budov, konstrukce stavebních výplní atp.

V současné době probíhá výzkum možností využití různých druhů dřevin právě pro proces termické úpravy. Termicky upravené dřevo se snažíme zpracovávat za pomocí stejných technických a technologických postupů jako dřevo přírodní. Pro jeho efektivní využití potřebujeme procesem obrábění dosáhnout odpovídající kvality opracovaného povrchu.

Při obrábění dřeva má největší vliv na výslednou kvalitu proces rovinného frézování. Vhodně zvolenými parametry v procesu rovinného frézování můžeme značně vylepšit kvalitu opracovaného povrchu, snížit energetickou náročnost obrábění a v neposlední řadě snížit náročnost opracování, které je následně prováděno.

Špatně zvolenými parametry můžeme naopak snížit výslednou kvalitu nebo daný obrobek úplně znehodnotit. Proto musíme velice obezřetně a pozorně vyhodnocovat jednotlivé parametry, které do procesu vstupují. Stejně tak musíme vyhodnocovat i proces jako celek.

V této diplomové práci je vyhodnoceno měření kvality opracovaného povrchu při rovinném frézování přírodního březového dřeva a březového dřeva termicky upraveného ve čtyřech stupních termické úpravy (160 °C, 180 °C, 210 °C a 240 °C). Březové dřevo bylo vybráno z důvodu jeho malého dosavadního využívání ve dřevozpracujícím průmyslu. Výsledky práce by měly přispět k získání dalších poznatků o rovinném frézování v souvislosti se stupněm termické úpravy.

2. Cíl práce

Cílem této diplomové práce je určení vlivu různých řezných a posuvných rychlostí i různé termické úpravy březového dřeva na kvalitu opracovaného povrchu.

Zejména jde o určení změn kvality opracovaného povrchu při různých parametrech procesu obrábění (řezných a posuvných rychlostech) u přírodního březového dřeva a u jeho termických úprav, při různých teplotních stupních (160 °C, 180 °C, 210 °C a 240 °C termické úpravy). Sledovanými charakteristikami, z důvodu jejich výrazné důležitosti, jsou hodnoty *Ra* (střední aritmetická úchylka profilu drsnosti neboli drsnost povrchu) a *Wa* (střední aritmetická úchylka profilu vlnitosti neboli vlnitost povrchu).

Na základě získaných výsledků vybereme nejvhodnější parametry obrábění z pohledu kvality opracovaného povrchu pro možné využití v praxi.

3. Dřevo a termicky upravované dřevo

3.1 Dřevo a životní prostředí

Dřevo je oblíbenou a často využívanou přírodní surovinou. Většinou se používá jako užitkové, pro výrobu dřevěných výrobků, a také slouží jako palivo.

Tak je tomu v řadě oblastí světa, kde nejsou k dispozici některá ušlechtilá paliva jako v Evropě. Využití dřeva na palivo bylo v minulosti velmi časté a i dnes existují na světě snahy o podstatně větší využití tohoto materiálu právě v této oblasti. Při spalování dřevní hmoty dochází jen k malému zatížení životního prostředí.

Při řízeném lesním hospodářství je dřevo nevyčerpatelným zdrojem. Díky jeho přírůstu se zásoby hmoty stále obnovují. Při zpracování se užívají zejména takové druhy dřeva, které mají vhodné rozměry, dobré vlastnosti, jsou dobře opracovatelné a trvanlivé.

V současné době je na les nahlíženo jako na prvek životního prostředí, který má na Zemi především mimoprodukční funkce (vodohospodářské, protierozní, klimatické, rekreační apod.). Les má také funkci produkční (produkce dřeva, plodů a zvěře). Většina zemí světa se snaží, aby se v lesích hospodařilo trvale udržitelným způsobem, tj. aby nedocházelo k poškozování lesa, odlesňování a aby byly trvale zajištěny všechny jeho produkční i mimoprodukční funkce (Corbett, 2001).

3.2 Dřevo jehličnatých stromů

Někdy se nesprávně označuje jako měkké, přestože může být tvrdší než u dřevin listnatých. Všechny druhy tohoto dřeva mají společný původ. Všechny totiž pocházejí z jehličnatých stromů. Vesměs bývají stále zelené, s výjimkou modřínu a několika dalších druhů. Surovina je dobře dostupná, obvykle nepříliš drahá a většinou vhodná ke zhotovování stavebních konstrukcí, stavebně-truhlářských výrobků a některých druhů nábytku.

Předpokladem pěkného vzhledu a kvalitní povrchové úpravy výrobků je pečlivý výběr dřeva. Ve srovnání se dřevem z většiny listnatých stromů má jehličnaté dřevo nižší hmotnost, menší trvanlivost a menší odolnost vůči škůdcům a houbám. Tři výjimky tvoří dřevo americké borovice bahenní, cedru libanonského a tisu červeného (Corbett, 2001).

3.3 Dřevo listnatých stromů mírného pásma

Tyto stromy rostou mimo tropický pás v Evropě, Asii, Severní Americe a v dalších oblastech severní polokoule. Poskytuje surovinu široké škály vlastností, která vyhoví snad všem požadavkům a nejrůznějším účelům (Corbett, 2001).

V našich zeměpisných šířkách se setkáváme s mnoha druhy listnatých dřevin. Pro výrobu nábytku často využíváme například dub (*Quercus*) a buk (*Fagus*). V našich lesích nacházíme i sortimenty méně ceněných dřevin s horšími mechanickými a estetickými vlastnostmi. Mezi takové dřeviny řadíme například topol (*Papulus*) nebo břízu (*Betula*). Právě březové dřevo by mohlo najít častější využití díky zlepšení jeho odolnosti termickou úpravou.

3.4 Exotické dřeviny

Exotické dřeviny tropického pásma se v poslední době staly citlivým problémem, neboť velkým rozsahem těžby dochází k vymýcení velkých ploch deštných lesů na celém světě. To ovšem neznamená, že neexistují oblasti tropických lesů, které jsou spravovány odpovědně (Corbett, 2001).

Dřevo exotických stromů má často velice dobré mechanické vlastnosti a i jeho odolnost vůči biotickým i abiotickým činitelům je ve srovnání s běžnými dřevinami několikanásobně vyšší.

4. Trvanlivost a užitkové vlastnosti dřeva

Dřevo i materiály na jeho bázi jsou přírodním konstrukčním materiálem, nalézajícím pro své výhodné mechanické a fyzikální vlastnosti široké uplatnění ve stavebnictví již v minulosti, ale také v současné době a pravděpodobně i v budoucnosti. Bohužel vzhledem k jeho chemické skladbě a anatomické struktuře je trvanlivost dřeva i výrobků z něj značně omezená. Dřevo je napadáno a postupně destruováno celou řadou biotických škůdců (houby, plísně, hmyz, cizopasné rostliny) i abiotickými činiteli (oheň, povětrnost, záření atd.), přičemž dřevokazné houby, protože ničí základní stavební prvky dřeva (celulózu[1] a/nebo lignin[2]) jsou jedním z nejvýznamnějších škůdců dřeva.

Trvanlivost dřeva patří k důležitým kritériím výběru, pokud mají výrobky sloužit venku i v místnostech s vysokou vlhkostí a kondenzací páry, tedy v kuchyních či koupelnách. Materiál vyrobený z bělové vrstvy mnoha druhů dřeva snadno podléhá hnilobě, nebo ho napadají zbarvující houby. U některých druhů hniloba často napadá i jádrové dřevo. Odolností vůči hnilobě naopak vyniká řada exotických druhů dřeva s vysokým obsahem přírodních olejů, např. tis červený nebo cedr libanonský. Také vyšší obsah tříslovin zvyšuje trvanlivost, např. u jádra dubu (Corbett, 2001).

[1] Celulóza je hlavní stavební látkou rostlinných primárních buněčných stěn a spolu s ligninem a hemicelulózami se podílí na stavbě sekundárních buněčných stěn; celulóza je nejrozšířenějším biopolymerem na zemském povrchu.
[2] Důležitá stavební složka dřeva zabezpečující dřevnatění jeho buněčných stěn, po celulóze druhou nejčastější organickou sloučeninou na Zemi, tvoří 25 % rostlinné biomasy.

4.1 Trvanlivost dřeva a jeho odolnost vůči dřevokazným houbám

Dřevo je nutné chránit před dřevokaznými houbami. Většinou postačí ochrana vysušením a udržováním nízké vlhkosti. Veškeré dřeviny jsou schopny odolávat i naopak zcela ponořené ve vodě. Nejpříznivější podmínky pro napadení houbami začínají při vlhkosti přes 20 %.

Napadení dřeva houbami má různé projevy, méně nebezpečné je napadení dřevo-zbarvujícími houbami. Další houby jsou dřevokazné, tyto houby již nepůsobí pouze na vzhled dřeva, ale ovlivní i jeho mechanické vlastnosti. Tyto houby způsobují hnilobu a trouchnivost.

Podle Reinprechta a Vidholdové (2008) se trvanlivost/odolnost dřeva hodnotí pomocí pěti tříd (1. – 5. třída trvanlivosti). Experimentální hodnocení trvanlivosti vychází z laboratorních zkoušek v mykologické laboratoři a také z polních zkoušek v kontaktu s terénem. Běl téměř všech druhů dřeva je vůči hnilobě netrvanlivá.

4.2 Trvanlivost dřeva vůči dřevokaznému hmyzu

Dřevo může podlehnout poškození také hmyzem. Toto poškození je označováno jako „požerky“. Pro některé druhy dřevokazného hmyzu je dřevo útočištěm během jednoho z jejich životních cyklů, pro jiné druhy je i potravou.

Poškození hmyzem se dle hloubky dělí na:

1) ***Povrchové.***
2) ***Mělké.***
3) ***Hluboké.***

Suché dřevo nejčastěji napadají nejrůznější druhy červotočů. Abychom předešli napadení dřeva jak dřevokazným hmyzem, tak i dřevokaznými houbami, snažíme se dřevo chránit. V dnešní době se nejčastěji využívá konstrukční a chemická ochrana dřeva. Jednou z nově se rozšiřujících metod je i termická úprava dřeva.

5. *ThermoWood* – termicky neboli tepelně upravené dřevo

Termicky upravené dřevo nazýváme „termodřevo“ (dále jen termodřevo). Průmyslově se vyrábí již více než 10 let. Jeho výrobu zavedli v mnoha zemích západní Evropy jako odezvu na měnící se legislativu chemického ošetření dřeva. Průkopníkem výroby termodřeva bylo Finsko s výrobky označenými *ThermoWood*. Později se začalo vyrábět i v Holandsku, Rakousku, Německu a Francii.

Výroba tohoto materiálu na bázi dřeva nepřímo navazuje na poznatky našich dávných předků na zvýšení trvanlivosti kol, záhlaví stropních trámů a jiných dřevěných výrobků, které se nejdříve ošetřily plamenem za vzniku karbonizované vrstvy. Praktické poznatky o zvýšené trvanlivosti tepelně upraveného dřeva se potvrdily také v množství vědeckých prací v průběhu třicátých až sedmdesátých let 20. století. Ve Forest Products Research Laboratory v Madisonu ve Spojených státech amerických byla vyvinuta technologie na výrobu tepelně upraveného dřeva „Staybwood“, do praxe však nebyla nikdy uvedena (Reinprecht a Vidholdová, 2008).

Termická úprava dřeva je metoda, během které se využívá působení prostředí vysoké teploty na dřevní hmotu. Tento způsob ochrany dřeva byl využíván již od pradávna. V historii se například opalovaly části kůlů, které přicházely do kontaktu se zemí, tímto způsobem byla zvýšena jejich odolnost proti napadením zejména dřevokaznými houbami. Termická úprava dřeva dnešního typu byla známá již ve dvacátých letech dvacátého století. Vlastní termická úprava byla ale velice problematická a technologicky náročná. Moderní technologie tento problém vyřešily a v devadesátých letech 20. století se ve Finsku začala modifikace dřeva provádět průmyslově (Novák, 2011).

Termodřevo je technickým materiálem na bázi dřeva, u kterého dochází k úpravě dřevní struktury za pomocí vysokých teplot a vlhkosti, což kladně působí hlavně na jeho odolnost. *ThermoWood* je v dnešní době vyráběn zejména ze smrkového dřeva, borového dřeva a dřeva březového. Uplatnění najde zejména jako surovina pro obložení budov, teras domů atp.

5.1 *ThermoWood* jako ochranná známka

ThermoWood je ochrannou známkou výrobků ze dřeva, které jsou vyráběny pomocí speciálního procesu pocházejícího z Finska. Konkrétně se jedná o dřevo, které prošlo termickou modifikací; za použití vysoké teploty dochází v buněčných stěnách dřeva k zesíťování monomerů, čímž vznikne polymerická struktura, která se vyznačuje jinými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Dřevo je trvanlivější, výrobky z něj je možné vystavit náročným klimatickým podmínkám v exteriérech a má rovněž typickou barvu a zvýšenou rozměrovou stabilitu.

První metoda tepelné modifikace dřeva z roku 1946 od Američana Stamma se komerčně neuplatnila. Procesem docházelo k zhoršení mechanických vlastností dřeva a navíc nebyl bezpečný, protože hrozilo vznícení materiálu přímo ve výrobní komoře. Ani metoda vyvinutá v sedmdesátých letech v Německu nebyla komerčně využita. Metoda našla své uplatnění v dřevozpracujícím průmyslu až v devadesátých letech dvacátého století. V té době bylo cílem výzkumu eliminovat sorpční vlastnosti dřeva, tj. maximálně omezit příjem vlhkosti dřevem. Tím pádem by nedocházelo k jeho rozměrovým změnám a zvýšila by se odolnost vůči dřevokazným houbám.

V roce 1994 si firma Finnforest patentovala speciální metodu úpravy dřeva za použití vysoké teploty. Tento typ termicky modifikovaného dřeva se vyrábí pod značkou *ThermoWood*. Od roku 2000 existuje sdružení International *ThermoWood* Association. Ochrannou známku *ThermoWood*® mohou používat pouze členové sdružení. Ti rovněž spolupracují na normalizaci, kontrole kvality a výzkumu s cílem podpořit využití produktů *ThermoWood*.(ThermoWood, 2011).

5.2 Charakteristika tepelně upraveného dřeva

Při termické úpravě dřeva dochází ke změnám jeho vzhledu. Podle druhu dřeva, délky a intenzity ošetření dochází k více nebo méně výrazným změnám barvy. Jeho tmavě hnědý odstín připomíná tvrdé dřeviny. Vliv na výslednou tmavost odstínu má hlavně použitá teplota.

Tepelně upravené dřevo se liší svou buněčnou strukturou od dřeva běžného. Ta se projevuje jeho větší stabilitou při vystavení stejnému typu klimatických podmínek. Co se týče rozměrových změn, ty jsou v porovnání s dřevem neupraveným přibližně poloviční. Díky zvýšené době trvanlivosti termodřeva není potřeba jej za účelem ochrany po dobu více než třiceti let jakkoliv chemicky ošetřovat. Navíc je *ThermoWood* lepším tepelným izolantem než dřevo přírodní.

Další charakteristikou termodřeva je to, že během ošetřovacího procesu je z něj odstraněna (vytěsněna) veškerá pryskyřice. Z toho vyplývá možnost snadnější aplikace povrchové úpravy a odstranění problémů s průnikem pryskyřice na povrch přes nátěr. Kombinace všech vyjmenovaných vlastností *ThermoWood* snižuje náklady spojené s údržbou. Nikde však není zaznamenána zvýšená odolnost dřeva vůči UV záření. *ThermoWood* šedne stejně tak jako dřevo tepelně neupravené. (Tepelně upravené dřevo: *ThermoWood*, 2010).

Celý tento proces provádíme zejména kvůli zvýšení jeho užitných vlastností a zlepšení jeho odolnosti v interiérech a zejména v exteriérovém použití.

6. Výrobní proces *ThermoWood*

Výrobní proces – termická úprava probíhá v rozsahu teplot 160 - 240 °C. Během výroby *ThermoWoodu* se mění vnitřní uspořádání a s tím spojené fyzikální vlastnosti dřeva. Různé stupně termické úpravy dřeva jsou vhodné pro různé použití, konkrétní způsoby využití jsou závislé i na výsledné barvě. Čím vyšší je teplota úpravy, tím tmavší odstín upravené dřevo získává. Termická úprava dřeva nějak nezatěžuje životní prostředí, jelikož tento proces vyžaduje pouze vodní páru a teplo. (Výrobní proces *ThermoWood*: tepelně upravené profily, 2013).

Při výrobě *ThermoWoodu* se nepoužívají toxické chemikálie, ale jen teplo (resp. také vodní pára), což je ekologicky výhodné z pohledu výroby i aplikace tohoto dřevěného materiálu. *ThermoWood* se vyznačuje zvýšenou trvanlivostí ve vnitřních i vnějších expozicích oproti neupravenému dřevu. Dnes se doporučuje pro vnitřní prostory – obklady, podlahy, kuchyňský nábytek, sauny apod., ale i pro některé venkovní zařízení. Je vhodný zejména do 3. třídy odolnosti bez kontaktu s terénem – obklady vnějších fasád, oplocení nad úroveň terénu, zahradní nábytek izolovaný od terénu, plastové podložky apod., popř. až do 4. třídy odolnosti – terasy, dětská hřiště, protihlukové bariéry, výztuže vodních kanálů apod. (Reinprecht a Vidholdová, 2008).

6.1 Principy výroby

Termické úpravě dřeva můžeme podrobit jak vzduchosuché, tak i mokré dřevo. V procesu výroby se tepelná energie dodává buď z elektrických výhřevných těles, nebo z tepelných olejových zásobníků. Plyny unikající ze dřeva je možno využít na energetické účely spalováním, čímž se souběžně také zabezpečuje ekologická stránka výrobního procesu, tj. nedochází ke znečišťování životního prostředí (Reinprecht a Vidholdová, 2008).

Výroba termodřeva se dá realizovat různými druhy technologií. Podle Reinprechta a Vidholdové (2008) se v Evropě používají nejvíce tyto technologie:

1) Příprava v atmosféře vzduchu – ***ThermoWood.***
2) Příprava v prostředí vodní páry – ***PlatoWood.***
3) Příprava v prostředí inertních plynů – ***RetificatedWood.***
4) Příprava v olejích – ***OHTWood, RoyalWood.***

Na výrobu termodřeva se používají jehličnany – borovice a smrk i listnáče – bříza, osika aj., kterých podíl ale postupně klesá.

- **Borovice**

Borovice má ráda suché prostředí chudé na živiny, avšak nejlépe roste na vlhčejších stanovištích.

Borovicové dřevo má rovná vlákna a hrubou texturu. Je-li vystaveno poměrně nízkým teplotám termické úpravy, získá odstín bukového dřeva, zatímco při vyšších teplotách se zbarví do tmavě-hnědé. Borovicové dřevo se snadno dělí a snadno opracovává všemi nástroji. Velké množství pryskyřice obsažené v přírodním dřevu by mohlo ztěžovat jeho zpracování. Při tepelném zpracování je pryskyřice z borovicového dřeva odstraněna nebo ve dřevu krystalizuje, čímž se dřevo stává snadněji zpracovatelné a aplikace konečných úprav je jednodušší.

- **Smrk**

Díky nízkému obsahu pryskyřice ve smrkovém dřevu je ve velkém rozsahu používáno jako řezivo, dřevovina a buničina. Jedná se o dřevo vhodné pro mnoho účelů použití. Jeho dřevo je používáno pro vnitřní i venkovní konstrukce. V dřevařském průmyslu se využívá například na překližky, v potravinářském průmyslu jako balicí materiál. Eliminace pryskyřice v průběhu tepelného zpracování ještě rozšířila možnosti použití smrkového dřeva v interiérech.

Tepelně upravené smrkové dřevo je lehké; barva se různí od odstínů podobných buku po hnědou. Smrkové dřevo se snadno mechanicky opracovává. Finální povrchy mají pěkný lesk a hodí se pro mnoho druhů povrchových úprav.

- **Bříza**

Bříza bělokorá patří mezi tvrdé listnaté dřeviny (Klement et al., 2009). Pro těžbu je vhodná ve stáří 60 až 80 let (může však dosahovat stáří až 300 let). Možnosti jejího zpracování jsou limitovány pouze jejím rozšířením v lesích.

Barva přírodního dřeva je bílá s nádechem do červena a hranice letokruhů jsou nevýrazné. Hustota dřeva v absolutně suchém stavu je 460 – 800 kg.m^{-3}. Sesychání: 0,6 % podélné; 5,3 % radiální; 7,8 % tangenciální; 14,2 % objemové (Klement, et al., 2009).

Obr. 1 Řezy březovým kmenem – příčný, radiální, tangenciální (Klement et al., 2009)

Tepelně upravené březové dřevo se nejlépe hodí jako materiál na venkovní obklady, dále jako podlahovina, pro dekoraci interiéru i výrobu dekoračních prvků. Díky své hustotě se březové dřevo snadno opracovává.

Vzhled tepelně upraveného březového dřeva se různí – od jemných, světle hnědých protažených vláken po dřevo s malými tečkami a vlnitou texturou.

Březové dřevo zpracovávané při poměrně nízkých teplotách získává bukový odstín, avšak odolává také velmi vysokým teplotám, kdy získává sytý,

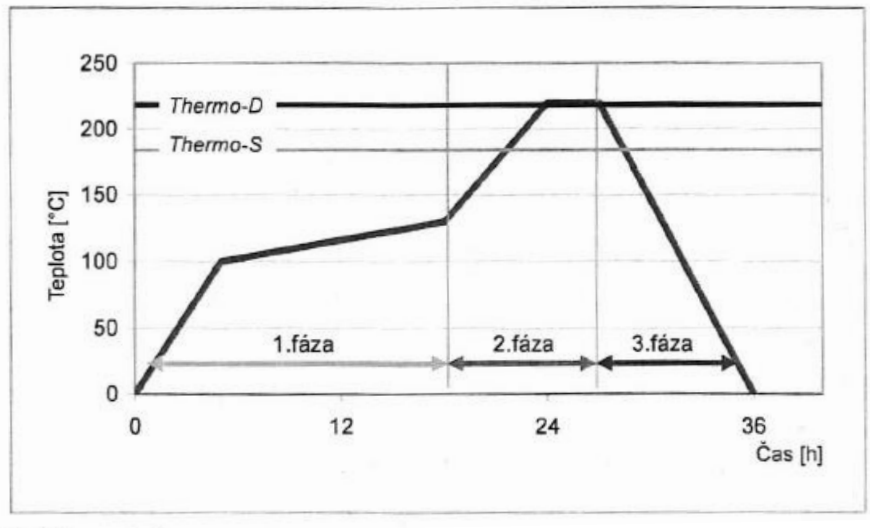
kávově hnědý odstín, který mu propůjčuje vzhled některých tropických druhů (obr. 2).

Březové dřevo má velké množství suků – jsou-li suky zdravé, nejsou překážkou pro výše uvedené použití. Odstíny se liší v závislosti na úhlu pohledu na různé části dřeva a odrazu na povrchu dřeva. Pro zdůraznění vzhledu březového dřeva je možné použít různé povrchové úpravy (Tepelně upravené dřevo: Suroviny).

Obr. 2 Vzorek březového dřeva upraveného teplotou 210 °C

6.1.1 Princip technologie úpravy prostřednictvím atmosféry vzduchu

Stejně jako Reinhold a Vidholdová (2008), tak i další dostupné zdroje informací - např. Barcík a Gašparík (2014) - uvádějí stejný tří-etapový postup (obr. 3.):



Obr. 3 Schéma výroby ThermoWoodu (Reinprecht a Vidholdová, 2008)

1. **Zvýšení teploty a zvlhčení**

Teplota se v komoře rychle zvyšuje na 100 °C za působení vodní páry. Potom pozvolna stoupá na úroveň 130 °C. Jako sušící medium se používá horký vzduch nebo horká pára. V průběhu této etapy se dřevo vysuší na přibližně nulovou vlhkost.

Tato fáze je časově nejnáročnější. Dochází ke snížení relativní vlhkosti dřeva téměř na nulovou vlhkost. Celková doba této fáze je závislá na relativní vlhkosti vstupního materiálu, který termicky upravujeme. (Výrobní proces *ThermoWood*: tepelně upravené profily, 2013)

2. **Tepelná úprava**

Ve druhé etapě se teplota zvýší na úroveň 180 až 215 °C, případně na 240 °C v průběhu dvou až tří hodin. Výška teploty a čas jejího působení jsou dané požadavky na klasifikační třídu *ThermoWood* materiálu.

Během této fáze probíhá samotná úprava materiálu. V závislosti na požadovaném stupni úpravy je zvyšována teplota v komoře až na konečnou teplotu (např. 240°C). Následně je tato teplota udržována po celou dobu procesu tj. dvě až tři hodiny, v závislosti na konkrétním nastavení procesu. (Výrobní proces *ThermoWood*: tepelně upravené profily, 2013)

3. **Chlazení a úprava vlhkosti**

V poslední etapě se tepelně upravené dřevo postupně ochlazuje a při teplotě 80-90 °C se postupně kondicionuje.

V tomto stupni se dřevo postupně ochlazuje až na teplotu srovnatelnou s teplotou okolního prostředí. Pokud by výstupní teplota materiálu byla výrazně vyšší než teplota okolního prostředí, mohlo by docházet k poškození suroviny. Spolu se snižováním teploty je prováděno i vlhčení tak, abychom materiál zvlhčili na vlhkost vhodnou k jeho následnému zpracování, tj. cca 10 – 12 % relativní vlhkosti. Dle konkrétního stupně termické úpravy materiálu je dlouhá i tato třetí fáze, zpravidla trvá 5 až 15 hodin. (Výrobní proces *ThermoWood*: tepelně upravené profily, 2013)

Dřevo lze termicky upravovat i za pomocí jiných postupů, které jsou popsány v dalších kapitolách.

6.1.2 Princip technologie úpravy prostřednictvím vodní páry

Plato-technologie se skládá ze čtyř tepelných etap realizovaných při normálním a zvýšeném tlaku. Doba trvání celého procesu závisí především na druhu dřeva a jeho tloušťce.

1. Hydrotermolýza

Hydrotermická úprava čerstvého nebo vzduchosuchého dřeva při teplotě 150–190 °C, při zvýšeném tlaku 0,6–1 MPa, v době trvání 4–5 hodin s použitím vodní páry (jestliže jde o vzduchosuché dřevo), nebo horkého vzduchu (jestliže zpracováváme čerstvé dřevo). Toto se děje v tlakové nádobě a vlhkost dřeva se podstatně nemění (Reinprecht a Vidholdová, 2008).

2. Sušení

Dřevo se suší v klasické sušící komoře po dobu 3-5 dní, popř. i déle (do 3 týdnů).

3. Tvrzení

Třetí fází je stabilizace dřeva, tzv. jeho tvrzení. Trvá po dobu 12–16 hodin při teplotě 150–190 °C a při atmosférickém tlaku 0,1 MPa, ale za omezeného přístupu vzduchu.

4. Kondicionování

Jde o opětovné zvlhčení dřeva v sušící komoře. Tato etapa trvá cca tři dny.

6.1.3 Princip technologie úpravy v prostředí inertních plynů

Retifikované dřevo se připravuje v inertním prostředí dusíku při poměrně vysokých teplotách až 260 °C podle licenčního Retifikačního procesu (NOW – New Option Wood, Francie).

Princip je založený na postupném zvyšování teploty dřeva až na 210–260 °C v inertním prostředí dusíku, kdy podíl kyslíku musí být menší než 2 %. Dřevo přitom mírně pyrolyzuje[3]. Termooxidační reakce ve dřevě probíhají jen v malé míře, čímž se víceméně zachová jeho původní pevnost. Před samotným retifikačním procesem je třeba dřevo předsušit na 12 % vlhkost (Reinprecht a Vidholdová, 2008).

6.1.4 Princip technologie úpravy v olejích

Termická úprava dřeva olejem se děje za sníženého tlaku a při poměrně nízké teplotě 60–90 °C. Tato technologie se dříve používala pouze na sušení dřeva. Použitý olej nevniká do buněčných stěn dřeva a po ukončení procesu se z impregnačního kotle odsává ve vakuu. Tento proces zpracování dřeva se dnes používá jen ojediněle, protože existují dokonalejší způsoby zpracování termodřev (Reinprecht a Vidholdová, 2008).

Termicky upravené dřevo nachází různé druhy použití. Jeho uplatnění je limitováno mnoha faktory. Tato omezení jsou popsána v následujících kapitolách.

[3] Pyrolýza - (řecky pýr = oheň, lysis = rozpuštění) je fyzikálně-chemický děj, řadící se do relativně široké skupiny termických procesů.

7. Aplikace *ThermoWood* výrobků

Uplatnění materiálů a výrobků z *ThermoWoodu* v praxi je ovlivněno třemi hlavními faktory:

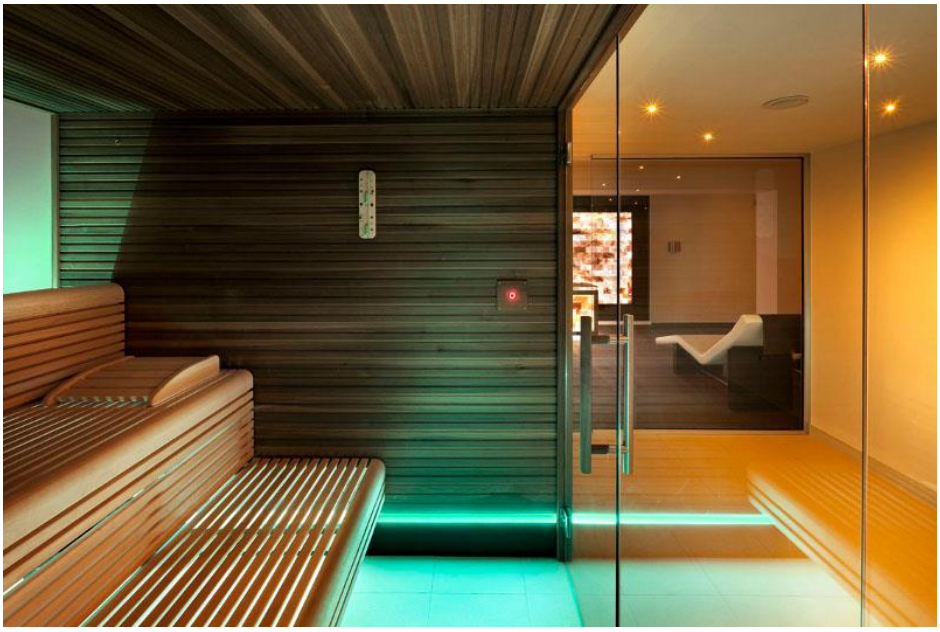
- **Vlastnosti** – jsou výsledkem jeho speciální úpravy při vysoké teplotě. Při změnách vlhkosti vzduchu je rozměrově stabilnější než neopracované dřevo, má nižší tepelnou vodivost. Naopak jeho mechanické vlastnosti jsou v porovnání s nezpracovaným dřevem daleko horší (tahová a ohybová pevnost, rázová houževnatost), proto se nedoporučuje pro nosné prvky konstrukcí.

- **Ekologie** – tento výrobek, stejně jako dřevo samotné, nevytváří negativní dopady na životní prostředí v průběhu výroby, při použití ani při jeho likvidaci. Určité negativa ale existují. Řadíme k nim těžbu dřeva, mechanické zpracování, spotřebu energie, výstavbu závodů pro zpracování dřeva, přepravu surovin a výrobků a další činnosti spojené s procesem výroby. Tato negativa ale nacházíme ve všech odvětvích zpracovatelského průmyslu.

- **Ekonomika** – tato stránka byla donedávna dominantou pro každý výrobek při jeho zavedení na trh. Nesmí se však zapomínat na to, že v poslední době se přikládá stále větší důraz na ekologickou a environmentální stránku výrobků.

7.1 *ThermoWood* v interiérech

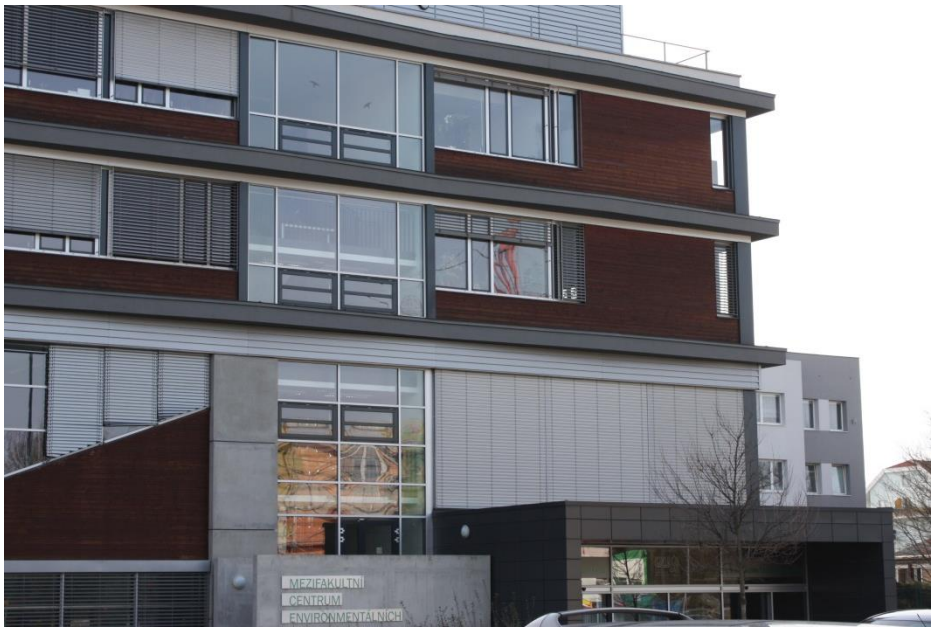
V interiérech se *ThermoWood* uplatňuje hlavně pro obklady, parkety a vnitřní panely (obr. 4).



Obr. 4 Použití ThermoWoodu v interiéru (http://www.archistarwebinar.com/wp-content/uploads/2012/04/Sauna-Vision-Toulipier-Trattato-Thermowood.jpg 2015.09.04 9.30)¨

7.2 *ThermoWood* v exteriérech

Nejlepší vlastnosti *Thermowoodu* pro venkovní použití jsou dlouhodobá trvanlivost, vynikající odolnost proti hnilobě, rozkladu a povětrnostním vlivům, což zvyšuje životnost oproti tepelně neošetřenému dřevu. Proto najde využití zejména jako materiál na obklady budov (obr. 5).



Obr. 5 Použití ThermoWoodu v exteriéru

Ke každému účelu použití, jak přírodního, tak i termicky upraveného dřeva, potřebujeme určitou kvalitu opracovaného povrchu. Vzhledem k častému využití termicky upraveného dřeva v exteriérech sledujeme jeho kvalitu zejména kvůli použití následných povrchových úprav. Pro dosažení požadované kvality opracovaného povrchu musíme správně nastavit procesy frézování.

8. Rozbor problematiky rovinného frézování

Člověk se snažil o obrábění dřeva různými způsoby již od počátku své existence. Nejprve se používaly jednoduché nástroje, následně základní stroje, kde zdrojem síly byla lidská síla. K velkému ulehčení práce došlo, když se začala využívat síla vody a větru a s ní spojený transmisní pohon. Celý vývoj dospěl až k dnešnímu pohonu elektromotory a obrábění nejrůznějšími moderními stroji včetně strojů CNC[4].

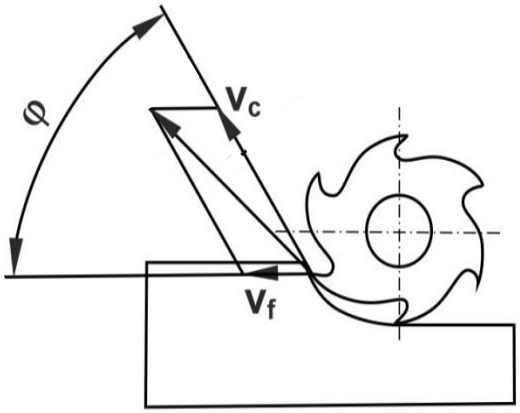
8.1 Druhy frézování

Pojmem frézování rozumíme obrábění nástrojem rotujícím kolem vlastní osy (frézovací hlava, frézovací válec atp.). Frézování můžeme provádět jako souběžné (posuv je ve směru rotace nástroje) nebo jako protiběžné (posuv je proti směru rotace nástroje), eventuálně jako frézování čelní (osa obráběného materiálu je v ose nástroje). Během tohoto procesu se mění tloušťka třísky následovně:

1) **Protiběžné frézování** (obr. 6) – od minimální tloušťky třísky po maximální.
2) **Čelní frézování** - vzájemná kombinace ostatních.
3) **Souběžné frézování** (obr. 7) – od maximální tloušťky po minimální.

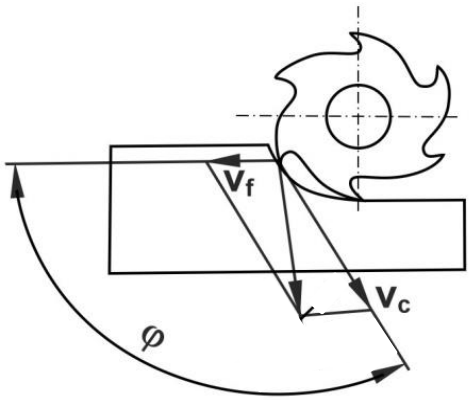
V nejběžnějších procesech frézování dřeva se jedná o frézování protiběžné. S tímto se setkáváme nejčastěji u srovnávacích a tloušťkovacích frézek a také i u čtyřstranných obráběcích center, kde probíhá srovnávání i tloušťkování.

[4] CNC - Computer Numeric Control – číslicové řízení strojů za pomoci počítače.



Obr. 6 Protiběžné frézování (ČSN ISO 3002/1)

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost, φ – úhel styku dřevních vláken s nástrojem.



Obr. 7 Souběžné frézování (ČSN ISO 3002/1)

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost, φ – úhel styku dřevních vláken s nástrojem

Při protiběžném frézování řezná síla směřuje do materiálů, což dovoluje snížení upínacích sil. Nástroje tím pádem vykazují menší chvění a je možné zvýšit posuvnou rychlost, čímž dojde ke zvýšení výkonu zařízení.

Během procesu souběžného frézování dochází k rázovému namáhání břitů, což způsobuje jejich rychlé otupení. Toto rázové namáhání můžeme relativně snížit umístění břitů na nástroji do šroubovice.

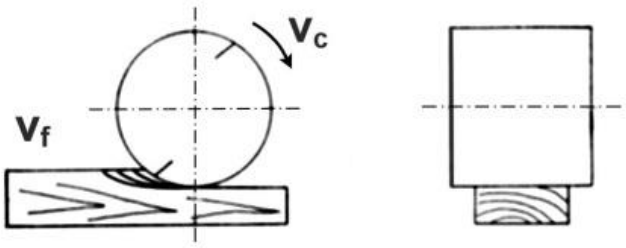
Podle polohy osy otáčení nástroje a jeho břitů vůči opracovanému povrchu rozdělujeme frézování na:

1) **Frézování válcové.**
2) **Frézování kuželové.**

3) **Frézování čelní.**
4) **Frézování čelní kuželové.**

8.1.1 Frézování válcové

Proces obrábění, během kterého je osa rotace nástroje rovnoběžná s obráběnou plochou (obr. 8).



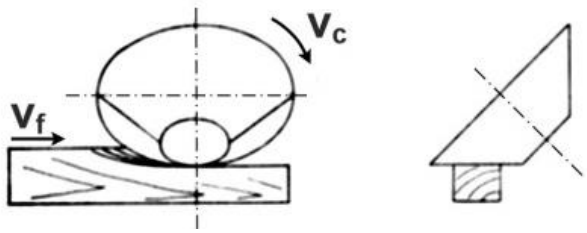
Obr. 8 Válcové frézování (Prokeš, 1982)

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost

V tomto procesu jsou nože na nástroji rozloženy na jeho obvodu a opisují kružnici. Osa rotace je rovnoběžná s opracovanou plochou. Tříska je odřezávána břity, které jsou umístěny na obvodu frézy. Velikost posuvu na jedno otočení frézy je dána vzdáleností posuvu bodu cykloidy[5] (Lipták, 1979).

8.1.2 Frézování kuželové

V tomto procesu obrábění – frézování je osa rotace nástroje vůči obráběné ploše skloněna pod úhlem 10° až 12°.



Obr. 9 Frézování kuželové (Prokeš, 1982)

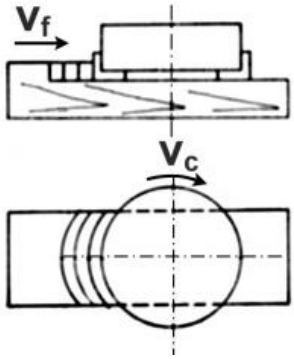
v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost

[5] Cykloida je křivka vytvořená bodem na kružnici, která se otáčí (valí) po přímce.

Dle tvrzení Krjaževa může být čelní frézování velice efektivní. V porovnání s frézováním válcovým můžeme až třikrát zvýšit posuvnou rychlost. Toto je zapříčiněno tvorbou krátké třísky. V tomto procesu frézování můžeme dosáhnout velmi dobrých kvalit opracovaného povrchu.

8.1.3 Frézování čelní

V principu frézování čelního (obr. 10) je osa rotace vůči opracovávané ploše kolmá. Břity opisují kružnici, boční břity se vyznačují stejnou kinematikou jako při válcovém frézování. Břity, které jsou umístěné zejména na čele nástroje, jsou rovnoběžné s opracovávanou plochou a odebírají většinu materiálů z obrobku. Tento princip frézování je nejčastější u stopkových fréz a stopkových nástrojů pro CNC stroje.



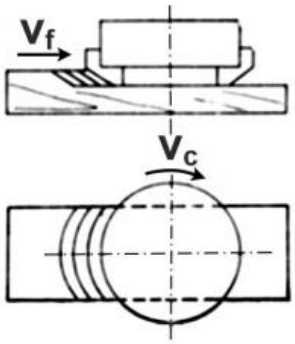
Obr. 10 Frézování čelní (Prokeš, 1982)

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost

V tomto případě vychází dráha cykloidy z pohybu zubů umístěných na čele nástroje a najdeme ji v rovině rovnoběžné s rovinou obrobené plochy. Pokud je průměr frézy roven šířce opracovávané plochy, jedná se o plné frézování (Lipták, 1979).

8.1.4 Frézování čelní - kuželové

Tento druh frézování je jakýmsi průnikem předchozích dvou typů frézování. Osa rotace nástroje je stejně jako u frézování čelního vůči opracované ploše kolmá. Umístění břitů je na obvodu nástroje stejně jako u čelního frézování jen s tím rozdílem, že jsou břity skloněny v určitém úhlu vůči ploše opracovaného povrchu.



Obr. 11 Frézování čelní - kuželové (Prokeš, 1982)

v_c – řezná rychlost, v_f – posuvná rychlost

Při tomto druhu frézování dochází k podélnému až příčnému frézování, což nepříznivě ovlivňuje kvalitu opracovaného povrchu, zejména jeho drsnost. Vzhledem k výše uvedenému je nezbytné, aby šířka opracované plochy byla maximálně poloviční vzhledem k průměru nástroje. Tento druh frézování je ale z energetického hlediska o 20–30 % efektivnější než frézování válcové (Prokeš, 1982).

9. Technologické způsoby frézování

Z pohledu praxe můžeme v procesu frézování rozlišovat různé technologické postupy. Mezi základní způsoby řadíme:

1) **Rovinné frézování**

Do této skupiny řadíme nejčastěji srovnávání a tloušťkování. Během procesu srovnávání tvoříme na křivém dílci jednu rovnou plochu. Při tloušťkování dáváme dílci již konkrétní rozměr – tloušťku. Dílec je podáván po stole, vůči kterému je v požadovaném rozměru umístěn frézovací válec. Osa válce je rovnoběžná s plochou stolu.

Dále sem můžeme zařadit obrábění stopkovými frézami, čelními frézami a další.

2) **Křivo-ploché frézování**

Tento způsob slouží k vytvoření zakřivených ploch vůči jedné rovině obrobku. Toto je v dnešní době nejčastěji prováděno na kopírovacích frézách s válcovými frézami a CNC strojích za pomocí stopkových fréz.

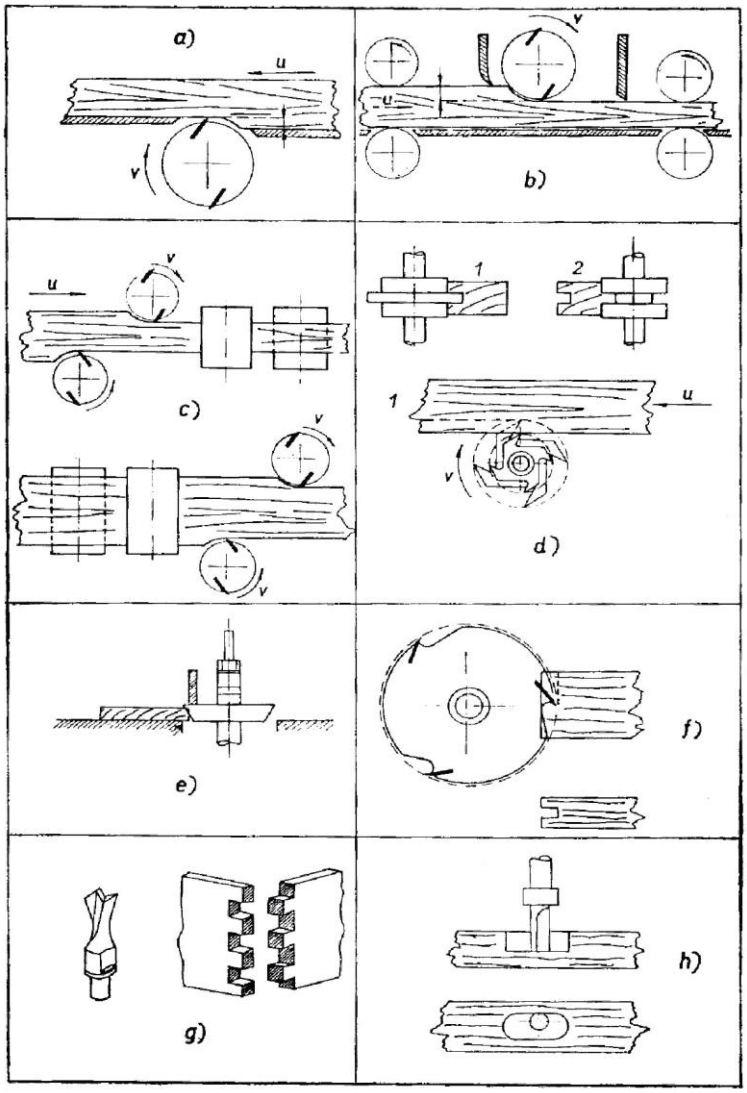
3) **Profilovací frézování**

Profilovací frézování neboli profilování nejčastěji provádíme kotoučovými frézami s noži v požadovaném tvaru. Obrábění probíhá vedením obrobku na stole frézky, podél pravítka. Dalším způsobem je profilování vrchní frézkou se stopkovou frézou opatřenou vodícím ložiskem, nebo stopkovou frézou na CNC obráběcím centru.

4) **Speciální frézování**

Do této skupiny řadíme další způsoby frézování, jako je například tvorba reliéfu.

Další rozdělení druhů frézování je podle Prokeše (1982) následující:

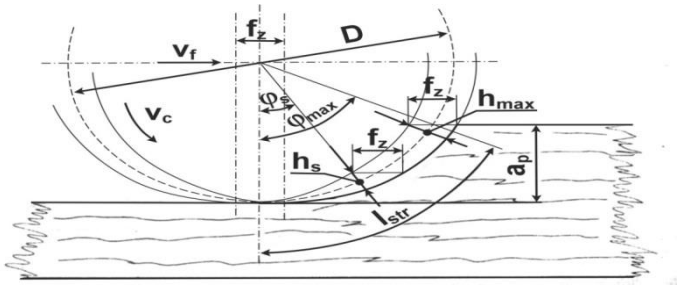


Obr. 12 Základní typy frézování ve dřevozpracujícím průmyslu (Prokeš, 1982)

a – srovnávání (nožovým hřídelem), b – tloušťkování, c – dvojstranné frézování, d – frézování pera (1) a drážky (2), e – frézování úhlovou frézou, f – čepování, g – frézování spojů rybinovací frézou, h – frézování vrchní frézou

10. Kinematika pro proces frézování

Nástroj během procesu obrábění vykonává rotační pohyb, obrobek vykonává pohyb přímočarý, za těchto podmínek se břit pohybuje po cykloidě. Vzhledem k tomu, že je řezná rychlost v parametrech obrábění vždy hodně vysoká a posuvná rychlost relativně nízká, můžeme tento pohyb zjednodušit na pohyb břitů po kružnici.



Obr. 13 Prvky teoretického výpočtu tloušťky a délky třísky válcového frézování s přímou řeznou hranou (Prokeš, 1982)

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

Pro výpočet jednotlivých parametrů obrábění používáme následující základní vzorce:

Teoretická délka třísky:

$$L = \frac{D}{2}.arctg(\varphi + \varphi') = \frac{\pi.D.(\varphi + \varphi')}{360°} \approx 0{,}0175.R.\varphi \qquad [mm] \qquad (1)$$

Kde: D – průměr řezné kružnice [mm]

R – poloměr řezné kružnice [mm]

φ – úhel styku dřevních vláken s nástrojem [°]

φ' - posunutý úhel styku dřevních vláken s nástrojem [°]

Přičemž platí:

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

Kde: f_z – posuv na zub [mm/zub]

D – průměr řezné kružnice [mm]

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

Kde: D – průměr řezné kružnice [mm]

R – poloměr řezné kružnice [mm]

a_p - hloubka řezu [mm]

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

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

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

Kde: D – průměr řezné kružnice [mm]

R – poloměr řezné kružnice [mm]

φ – úhel styku dřevních vláken s nástrojem [°]

φ' - posunutý úhel styku dřevních vláken s nástrojem [°]

Výpočet řezné rychlosti (Peschel et al., 2002):

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

Kde: a_p - hloubka řezu [mm]

D – průměr řezné kružnice [mm]

f_z – posuv na zub [mm/zub]

L – teoretická délka třísky [mm]

n – otáčky frézy [min^{-1}]

z – počet zubů [-]

Výpočet teoretické maximální tloušťky třísky:

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

Kde: f_z – posuv na zub [mm/zub]

φ – úhel styku dřevních vláken s nástrojem [°]

h_{ch-str} – střední tloušťka odebírané třísky [mm]

Výpočet řezné rychlosti (Peschel et al., 2002):

$$v_c = \frac{\pi.n.z}{1000} \quad [m/min] \quad (7)$$

Kde: D – průměr řezné kružnice - nástroje [mm]

n – otáčky frézy [min^{-1}]

Výpočet posuvné rychlosti (Peschel et al., 2002):

$$v_f = \frac{f_z.n.z}{1000}$$ [m/min] *(8)*

Kde: f_z – posuv na zub [mm/zub]

n – otáčky frézy [min^{-1}]

z – počet zubů [ks]

Výpočet posuvu na zub (Peschel et al., 2002):

$$f_z = \frac{v_f.1000}{n.z}$$ [mm] *(9)*

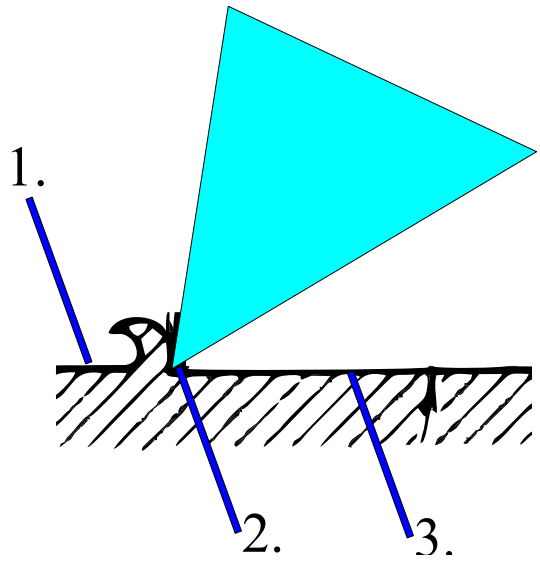
Kde: v_f – posuvná rychlost [m/min]

n – otáčky frézy [min-1]

z – počet zubů [ks]

10.1 Názvosloví opracovávaného předmětu

Na opracovávaném předmětu nacházíme tři základní plochy (obr. 14):



Obr. 14 Základní plochy na předmětu při jeho obrábění

1) **Obráběná plocha** – toto je základní vstupní plocha, která je při obrábění odstraněna.
2) **Řezná plocha** – tuto plochu nalézáme během obrábění v blízkosti břitu.
3) **Obrobená plocha** – plocha vzniklá jako výsledek obrábění.

11. Nástroje pro obrábění

Nástrojem rozumíme těleso, jehož součástí je jeden eventuálně několik břitů (Lisičan, 1996). Nástroj je předmět, který slouží k oddělení požadovaného množství materiálu z opracovávaného předmětu. Výsledkem opracování nástrojem má být vznik nové plochy, která odpovídá požadavkům na kvalitu pro konkrétní typ opracování.

11.1 Rozdělení nástrojů k frézování dřeva

Rozdělení jednotlivých frézovacích nástrojů podle Prokeše (1982):

1) **Kružec.**
2) **Dlabací fréza.**
3) **Vrchní fréza.**
4) **Rybinová fréza.**
5) **Nožová hřídel.**
6) **Nožová hlava.**
7) **Čepovací kotouč.**
8) **Souprava pro frézování pera.**
9) **Dělená nastavitelná fréza.**
10) **Složený nástroj.**
11) **Drážkovací SK fréza.**
12) **Drážkovací kružec.**

Nástroje můžeme podle Prokeše (1982) dělit i dle směru jejich rotace a to na pravotočivé a levotočivé. Pravotočivost nebo levotočivost nástroje se posuzuje při předním pohledu na hnací element zařízení (elektromotor, hřídel atp.). Převážná většina frézovacích nástrojů v dřevařském průmyslu je pravotočivá.

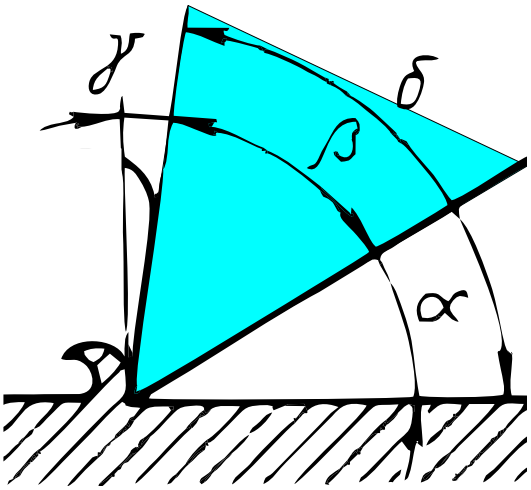
V dnešní době se čím dál častěji setkáváme s nástroji, kde jsou nože řešeny jako výměnné žiletkové (obr. 15). Tyto nože se znovu neostří. Každý takovýto nůž má jednu až čtyři řezné hrany - počet řezných hran na noži určuje, kolikrát můžeme nůž otočit a použít ostrou hranu.

Obr. 15 Drážkovací fréza s výměnnými žiletkovými noži

Celý proces obrábění je značně ovlivněn i geometrií břitu.

11.2 Geometrie břitu

Vlastní obrábění – probíhá částmi břitu, které dopadají na opracovávanou plochu, oddělují třísku a tím tvoří novou plochu (obr. 16).



Obr. 16 Úhlová geometrie břitu

- **α – úhel hřbetu –** úhel svíraný mezi opracovanou plochou a hřbetovou plochou břitu,
- **β – úhel břitu –** úhel mezi čelní plochou a plochou hřbetu břitu,
- **γ – úhel čela –** úhel mezi rovinou π (rovina kolmá k opracované ploše) a plochou čela nástroje.

Součet úhlů nástroje ($\alpha + \beta + \gamma$) je roven 90°

Součet úhlů břitu a hřbetu dává δ (úhel řezu):

$$\alpha + \beta = \delta = 90 - \gamma \qquad (10)$$

$$\gamma = 90 - \delta = 90 - (\alpha + \beta) \qquad (11)$$

11.3 Základní nástroje používané k rovinnému frézování při obrábění dřeva

Základní druhy používaných nástrojů se odvíjí od šířky, kterou potřebujeme obrábět. Základní dva typy nástrojů jsou frézovací válce (obr. 17) a frézovací hlavy (obr. 18). Frézovací hlavy mají větší průměr než je jejich šířka a frézovací válce mají naopak větší šířku než je jejich průměr. Frézovací hlavy se využívají zejména pro boční plochy obráběného materiálu, zatímco frézovací válce se používají na hlavních plochách obrobků. V dnešní době se v praxi čím dál častěji setkáváme s žiletkovými nástroji.

Obr. 17 Frézovací válec s výměnnými žiletkovými noži

Obr. 18 Frézovací hlava s výměnnými žiletkovými noži

12. Teorie drsnosti a vlnitosti opracované plochy

12.1 Pojem kvalita

Za kvalitu můžeme podle Lisičana (1980) považovat vlastnosti pojmenované výrobcem, spotřebitelem a cenovými orgány. Z pohledu této práce budeme hodnotit kvalitu ve smyslu opracované plochy a její tvarovou přesnost. Toto hodnocení je důležité pro další opracování povrchu, povrchovou úpravu atp.

Z hlediska kvality opracovaného povrchu hodnotíme zejména dvě nejdůležitější veličiny, hodnoty *Ra* (střední aritmetická úchylka profilu drsnosti neboli drsnost povrchu) a *Wa* (střední aritmetická úchylka profilu vlnitosti neboli vlnitost povrchu).

Pod pojmem drsnost povrchu rozumíme nerovnosti v rovině mikroskopických změn na povrchu, vlnitostí potom nazýváme změny makroskopické. Vlnitostí jsou pravidelně opakující se vyvýšeniny a prohlubně zpravidla totožného průběhu a velikosti. Jako další změny můžeme vyhodnocovat například rýhy, vytrhaná vlákna, odštípnutí atp.

Na výslednou kvalitu má vliv mnoho jednotlivých faktorů i jejich vzájemné interakce.

12.2 Faktory ovlivňující kvalitu opracovaného povrchu

Během procesu obrábění působí na obráběný předmět zejména síly předávané z nástroje. Působením těchto sil dochází k oddělování třísky a vlastnímu obrábění. Celý tento proces není pouze o vlastním/samotném břitu a obrobku, ale ovlivňují jej i další parametry.

Mezi základní parametry řadíme parametry technologické, jako jsou řezná rychlost, posuvná rychlost a velikost úběru. Druhým nejdůležitějším parametrem

je úhlová geometrie nastavení nástroje, kam řadíme například úhel břitu, úhel čela a úhel hřbetu nástroje.

Jako další parametry můžeme označit typ a kvalitu strojního zařízení, na kterém proces probíhá, druhy použitých přídavných zařízení a maziv a v neposlední řadě jsou to i vibrace mezi nástrojem, obrobkem a strojním zařízením.

Níže jsou uvedeny jedny z nejdůležitějších parametrů a důvody jejich vlivu na kvalitu opracovaného povrchu:

- **Anatomická stavba dřeva** – dřevo je přírodní materiál charakteristický svojí anatomickou stavbou, díky tomu se nejedná o dokonale homogenní materiál, a není tedy možné dosáhnout zvlášť nízkých hodnot parametrů drsnosti.

- **Struktura povrchu** – během obrábění (resp. frézování) jsou jednotlivé elementy dřeva děleny nástrojem. Díky specifické kresbě dřevních vláken je specifická i mikrogeometrie povrchu.

- **Vlhkost dřeva** – změna vlhkosti materiálu před procesem obrábění i po něm má nemalé následky na výslednou kvalitu opracované plochy. Změnou vlhkosti může dojít ke „zvedání vláken“, což je vlastně zvětšení rozměru již přeřezaných vláken, a tím s tím spojené značné zhoršení drsnosti povrchu. Pozn.: této vlastnosti se často využívá před povrchovými úpravami nábytku. Výrobky se namáčí právě proto, aby se vlákna zvedla a následně jemně přebrousila. Tímto se zamezuje zvednutí vláken během povrchových úprav.

- **Pórovitost dřeva** – pórovitost dřeva má na kvalitu povrchu nezanedbatelný vliv. Můžeme ji označit i za rozhodující vlastnost, která je blízce spjatá s hustotou dřeva. Ta má na kvalitu také velký vliv. Tyto vlastnosti musíme vzít v potaz zejména z důvodu možných deformací povrchu při zjišťování a hodnocení kvality povrchu kontaktní metodou.

- V neposlední řadě sem z hlediska stroje a nástroje musíme zařadit kinematiku procesu obrábění a vlastnosti stroje.

Další faktory – K dalším faktorům řadíme teplotu a vlhkost prostředí, konečnou povrchovou úpravu, chemický a biologický rozklad a poškození povrchu hmyzem (Sandak a Negri, 2005).

12.3 Pojem drsnost dle ČSN 49 0231

Drsnost povrchu je v dřevozpracujícím průmyslu charakterizována vytrháním vláken, chlupatostí a vlnkami způsobenými nástrojem, makrostavbou dřeva nebo dřevěných materiálů, popř. vyštípáním vrtaných nebo dlabaných otvorů. Stanoví se bez nerovností způsobených anatomickou stavbou dřeva (pórů) (ČSN 49 0231).

Specifickým druhem drsnosti je odštípnutí dekorační vrstvy nebo okrajů vrtaných, popř. dlabaných otvorů (ČSN 49 0231).

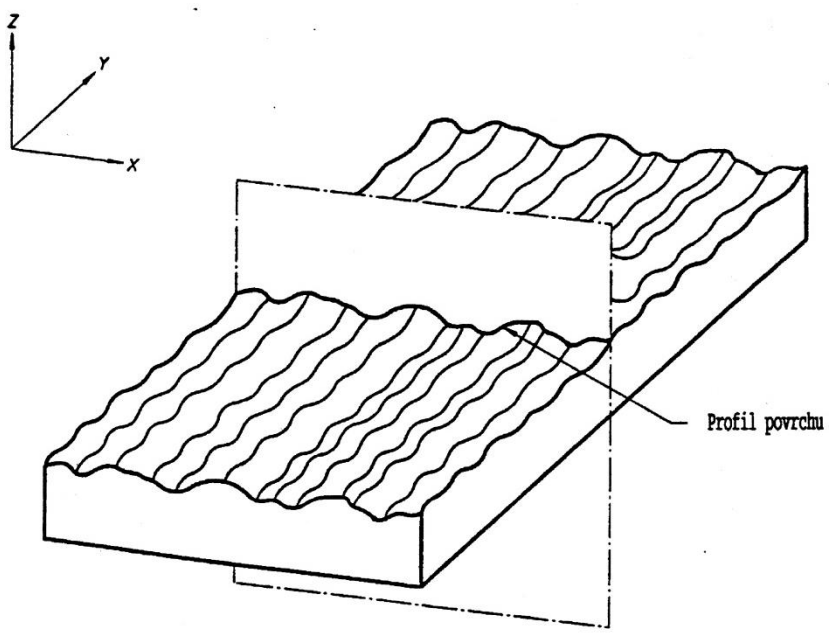
12.4 Struktura povrchu dle ČSN EN ISO 4287

Veškeré měření a hodnocení většinou probíhá v pravoúhlém souřadnicovém systému, ve kterém osy tvoří pravotočivou kartézskou soustavu. Osa X ve směru snímání je souběžná se střední čárou, osa Y také leží na skutečném povrchu a osa Z směřuje z povrchu. (ČSN EN ISO 42 87).

12.4.1 Povrchy a profily

skutečný povrch – povrch omezující těleso a oddělující ho od okolního prostředí,

- **profil povrchu (obr. 19)** – profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny. V praxi se obvykle volí rovina kolmá k rovině se skutečným povrchem ve vhodném směru.



Obr. 19 Profil povrchu (ČSN EN ISO 4287)

Další terminologie povrchu:

- **geometrický povrch** – ideální povrch, kterého v praxi nelze dosáhnout,
- **základní povrch** – od tohoto povrchu vyhodnocujeme parametry drsnosti a vlnitosti,
- **kolmý řez** – kolmý řez vůči základnímu povrchu,
- **skutečný profil** – profil tvořený průsečnicí roviny kolmé na skutečný povrch,
- **geometrický profil** – profil tvořený průsečnicí roviny kolmé na geometrický povrch,
- **příčný a podélný profil** – profily tvořené průsečnicemi roviny kolmé na skutečný povrch buď příčně, nebo podélně - dle konkrétního typu profilu.

12.4.2 Názvy geometrických parametrů

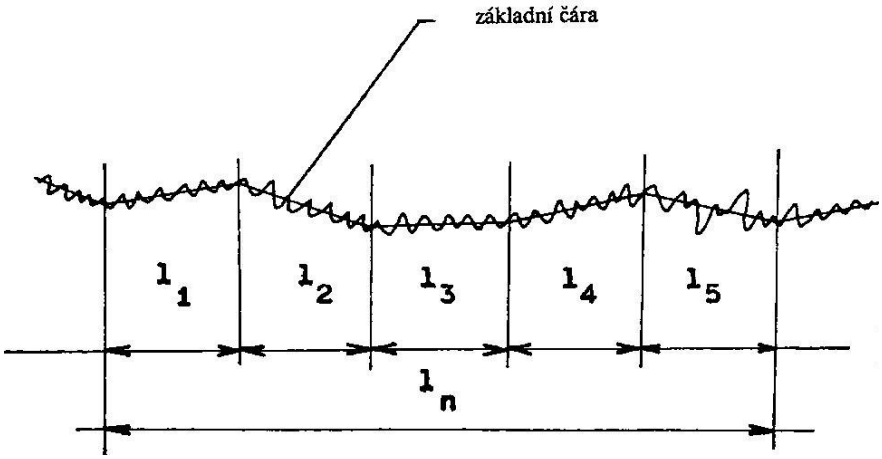
- **P-parametr** - parametr vypočtený ze základního profilu,
- **R-parametr** – parametr vypočtený z profilu drsnosti,
- **W-parametr** – parametr vypočtený z profilu vlnitosti.

12.4.3 Střední čáry

- **střední čára profilu drsnosti** – čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λc,
- **střední čára profilu vlnitosti** - čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λf,
- **střední čára základního profilu** – čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu.

12.4.4 Délky

- **základní délka lp, lr,lw,** – délka ve směru osy X, používaná pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil,
- **hodnocená délka ln (obr. 20)** – délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu.

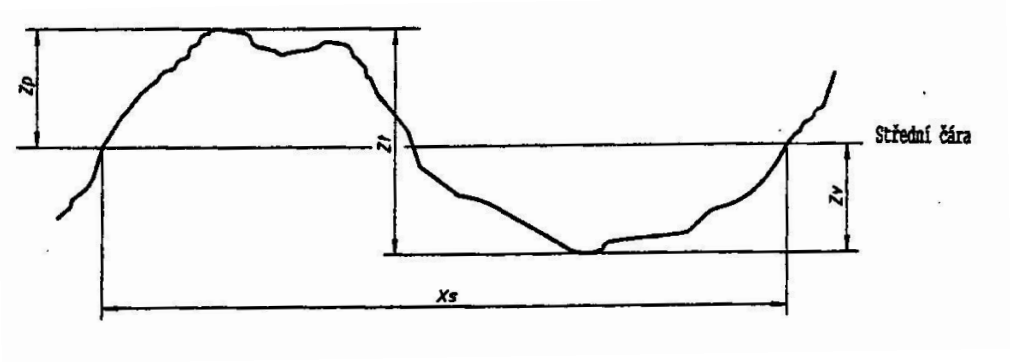


Obr. 20 Hodnocená délka (ČSN 49 0231)

ln – hodnocená délka, $l_1 = l_2 = l_3 = l_4 = l_5$ – základní délky

12.4.5 Výšky a šířky profilu

- **výška výstupku profilu Zp** – vzdálenost mezi osou X a nejvyšším bodem výstupku profilu (obr. 21),
- **hloubka prohlubně profilu Zv** – vzdálenost mezi osou X a nejnižším bodem výstupku profilu (obr. 21),
- **výška prvku profilu Zt** – součet výšky výstupku profilu a hloubky prohlubně prvku profilu (obr. 21),
- **šířka prvku profilu Xs** – délka úseku osy X protínající prvek profilu (obr. 21).

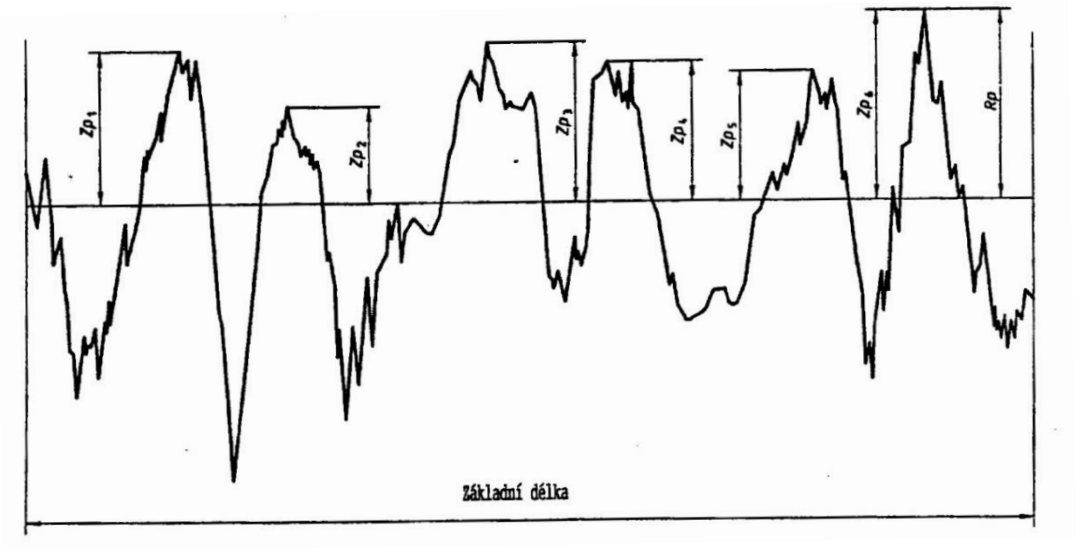


Obr. 21 Prvek profilu (ČSN EN ISO 42 87)

Xs – šířka prvku profilu, *Zp* – výška výstupků profilu, Zv – hloubka prohlubně profilu, Zt – výška prvku profilu

12.4.6 Parametry profilu povrchu

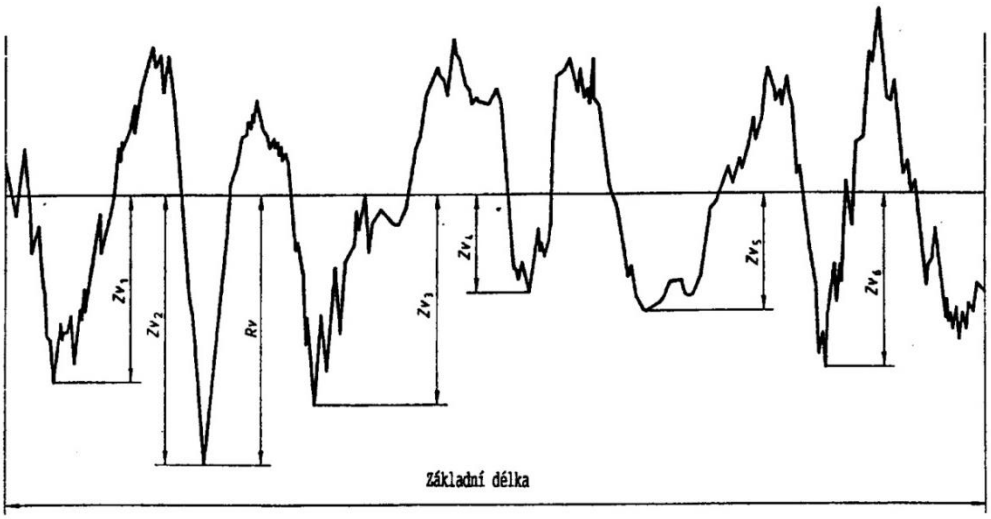
- **největší výška výstupků profilu Pp Rp, Wp** – výška Zp nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky (obr. 22),



Obr. 22 Největší výška výstupků profilu (na příkladu profilu drsnosti) (ČSN EN ISO 42 87)

Zp – výška výstupků profilu

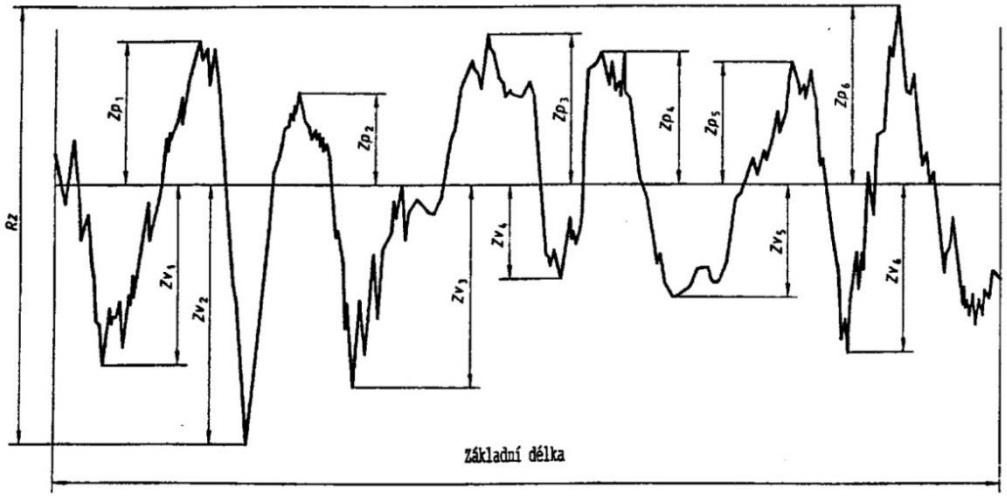
- **největší hloubka prohlubně profilu Pv, Rv, Wv** – hloubka Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky (obr. 23),



Obr. 23 Největší hloubka prohlubní profilu (na příkladu profilu drsnosti)

Zv – hloubka prohlubně profilu

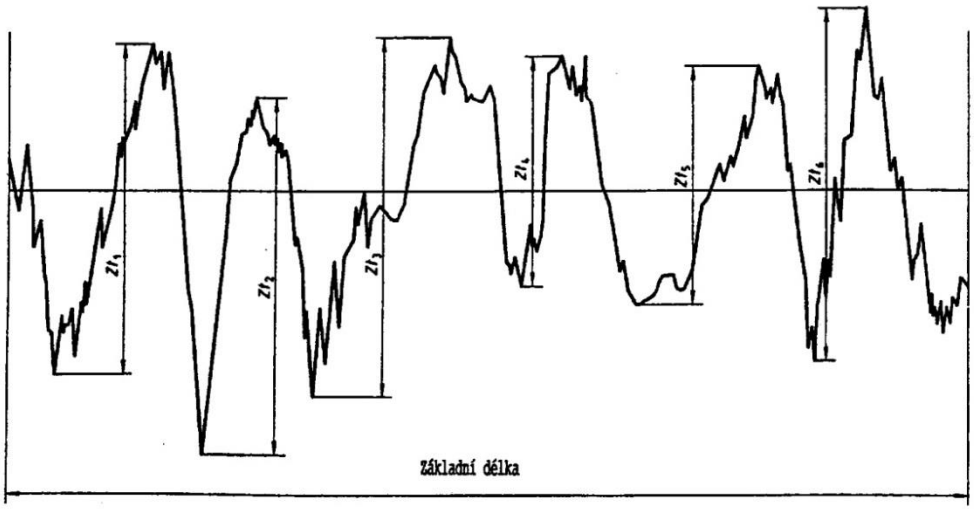
- **největší výška profilu Pz, Rz, Wz** – součet výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky (obr. 24),



Obr. 24 Největší výška profilu (na příkladu profilu drsnosti) (ČSN EN ISO 42 87)

Zp – výška výstupků profilu, *Zv* – hloubka prohlubně profilu

- **průměrná výška prvků profilu Pc, Rc, Wc** – průměrná hodnota výšek Zt prvků profilu v rozsahu základní délky (obr. 25),



Obr. 25 Výška prvků profilu (na příkladu profilu drsnosti) (ČSN EN ISO 42 87)

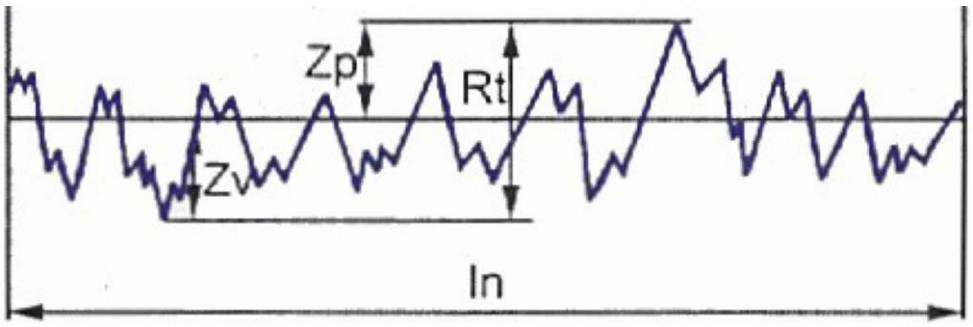
- **průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Pa, Ra, Wa –** aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic Z (x) v rozsahu základní délky**,**

$$Pa, Ra, Wa = \frac{1}{l}\int_0^1 |Z(x)|dx \qquad (12)$$

Kde:

l = lp, lr případně lw

- **největší hloubka drsnosti posuzovaného profilu Rt** (obr. 26),



Obr. 26 Největší hloubka drsnosti

ln – vyhodnocovaná délka, *Rt* - největší hloubka drsnosti posuzovaného profilu, *Zp* – výška výstupků profilu, *Zv* – hloubka prohlubně profilu

- **průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu, Pq, Rq, Wq** – kvadratický průměr pouřadnic Z(x), v rozsahu základní délky,

$$Pq, Rq, Wq = \sqrt{\frac{1}{l}\int_0^1 |Z^2(x)|\,dx} \qquad (13)$$

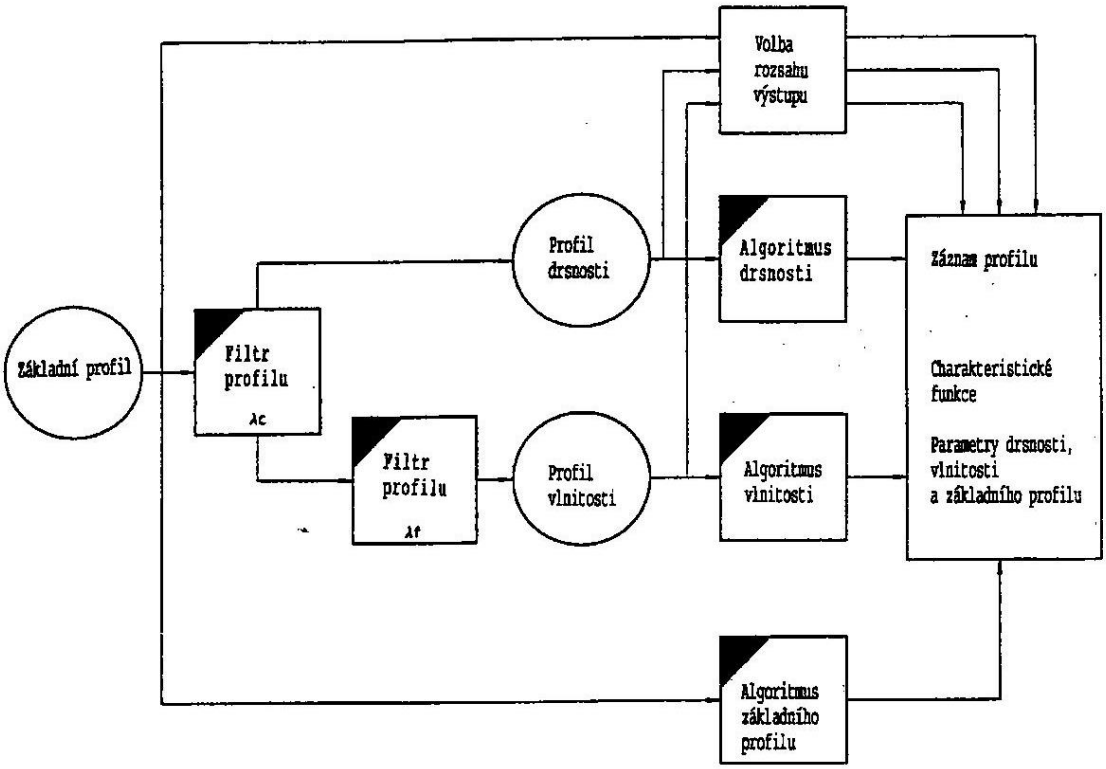
Kde:

l = lp, lr případně lw

- **šikmost posuzovaného profilu, Psk Rsk, Wsk** – podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic Z(x) a třetí mocniny hodnoty Pq, Rq nebo Wq v rozsahu základní délky,
- **špičatost posuzovaného profilu, Pku, Rku, Wku** – podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic Z(x) a čtvrté mocniny hodnoty Pq, Rq nebo Wq v rozsahu základní délky.

12.4.7 Posuzování povrchu

Posuzování povrchu se provádí v postupu dle vývojového diagramu (obr. 27).



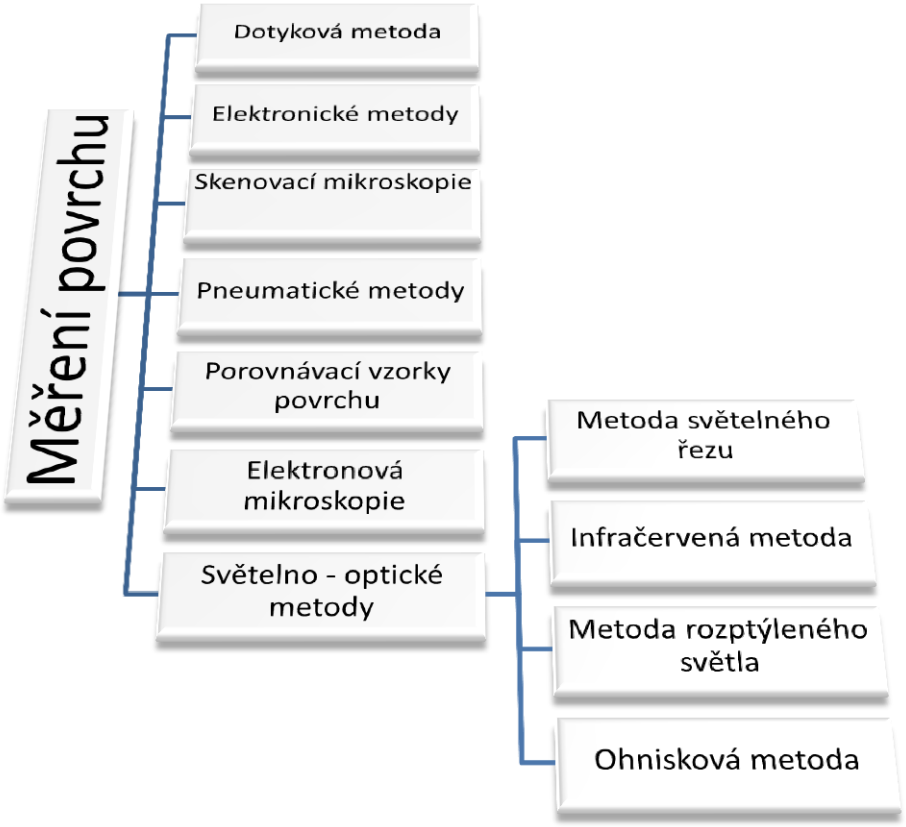
Obr. 27 Vývojový diagram pro posuzování povrchu (ČSN EN ISO 42 87)

Dle výše uvedeného diagramu postupujeme vždy, když hodnotíme kvalitu opracovaného povrchu. Jednotlivé metody zjišťování kvality jsou popsány v následující kapitole.

12.5 Zjišťování kvality opracovaného povrchu

Kvalitu opracovaného povrchu můžeme zjišťovat mnoha způsoby od empirických metod, kdy dotykem porovnáváme drsnost zkoumaného povrchu s referenční drsností, až po dnes velice moderní sofistikované a technicky velmi náročné metody.

Přehled měřících metod, které se využívají ke kontrole drsnosti, v závislosti na měřícím principu (obr. 28):



Obr. 28 Přehled kontrolních metod povrchu (Gaff, 2003)

Z dostupné literatury a norem v této oblasti můžeme specifikovat některá zařízení následovně:

1) Porovnávací mikroskop – jedná se v zásadě o dva mikroskopy, které jsou spojeny v jeden celek. Tento celek nám potom umožňuje sledování dvou vzorků najednou. Toto byla dříve často používaná metoda.

2) Pneumatické měření – při změně nerovnosti povrchu se mění tlak, zaznamenávaný manometrem. Tato metoda je známá již od padesátých let minulého století. U nás nebyla tato metoda často využívána, i když její přesnost je velice dobrá. Největší výhodou této metody je to, že měřený povrch nepřichází do mechanického kontaktu s měřidlem.

3) Měřící mikroskop – přeměření výstupků a prohlubní na šikmém řezu povrchem pod mikroskopem.

4) Dvojitý mikroskop – úzký pásek světla ze zdroje dopadá na povrch pod úhlem 45°. V okuláru sledujeme obraz profilu povrchu v rovině skloněné pod úhlem 45°.

5) Interferenční mikroskop – v zorném poli okuláru se sleduje soustava interferenčních pásků, které jsou deformované tvarem zkoumaného povrchu, kde je λ vlnová délka. Princip je založen na fázovém rozdělení toku paprsků a jeho následném sloučení.

6) Elektromechanické metody – mezi tři nejpoužívanější snímače pro tuto metodu patří: piezoelektrický, elektromagnetický a elektroindukční snímač.

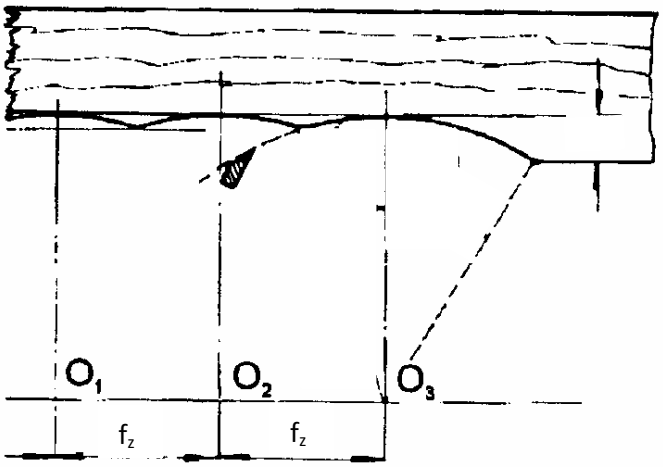
Z důvodu relativní jednoduchosti tohoto zařízení, jeho dobré přesnosti a také příznivé pořizovací ceně a provozních nákladů se dnes v praxi nejčastěji setkáváme s měřením povrchu za pomocí dotykových metod. Mezi vedoucí značky v této oblasti se v současné době řadí značky jako Mitutoyo a Taylor-Hobson (obr. 29). Tato dotyková měřící zařízení můžeme doplnit o nejrůznější příslušenství, jako je například stojan atp.

Obr. 29 Dotykový měřicí přístroj Taylor-Hobson Intra 2

Drsnost opracované plochy je způsobena zejména parametry nástroje, stroje a vlastnostmi opracovávaného materiálu. Další ne méně významnou sledovanou vlastností povrchu opracovaného rotačním nástrojem je vlnitost.

12.6 Vznik vlnitosti opracovávaného povrchu

Frézování je proces, kde se setkává rotační pohyb nástroje, například frézovací hlavy, a přímočarý pohyb obráběného dílce. Jak bylo vysvětleno v kapitole Kinematika procesu frézování, břity vykonávají pohyb po cykloidě. Tato vzájemná interakce pohybů způsobuje na opracovaném povrchu nerovnosti vlnitého tvaru. Pokud pracujeme s frézovací hlavou, která je správně osazena jednou dvojicí břitů, tyto břity opisují kružnici. Při nesprávném osazení nožů jsou břity zatíženy různě a dochází k jejich enormnímu zatěžování, což vede ke snížení kvality opracovaného povrchu a zvětšení hodnot vlnitosti. Na obrázku 30 můžeme vidět profil ofrézovaného povrchu válcovou frézou s jedním nožem.

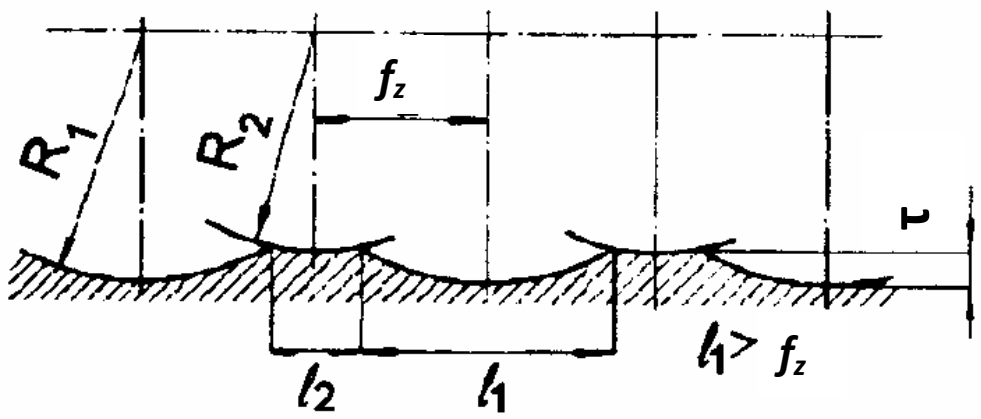


Obr. 30 Profil ofrézovaného povrchu válcovou frézou (Lisičan, 1984)

O_1, O_2, O_3 – první, druhá a třetí otáčka nástroje, f_z – posuv na zub

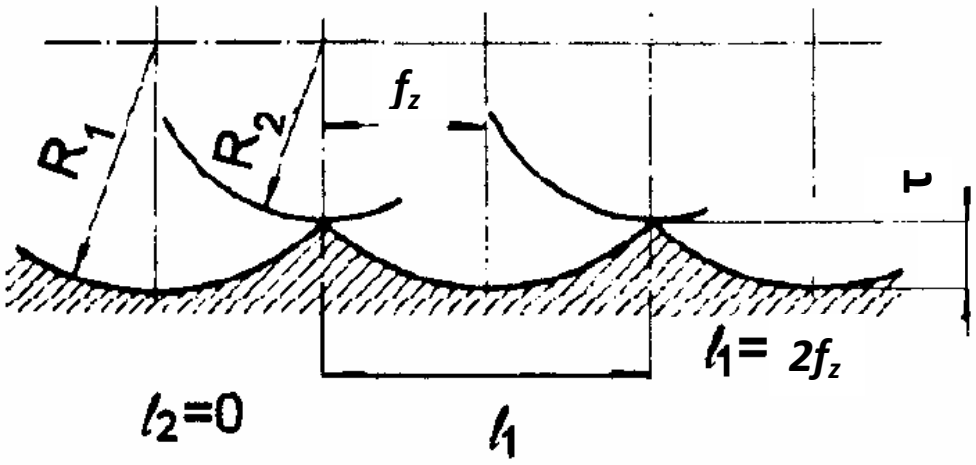
Základní pojmy ve vlnitosti povrchu jsou tedy hloubka profilu vlny a její délka. Pokud jsou řezné podmínky nastaveny pro dva nože, snažíme se je osadit do frézovací hlavy tak, aby jejich namáhání bylo rovnoměrné. Toto je možné pouze při jejich dobrém naostření a vyvážení.

V praxi jen těžko dokážeme nože osadit s větší přesností než 0,02 mm (Lisičan, 1984). Toto má za následek snížení kvality opracované plochy a nerovnoměrnost výsledného profilu (obr. 31). Pokud je nepřesnost osazení nožů ještě větší, jeden z nožů nemusí být vůbec zapojen do třískotvorného procesu (obr. 32).



Obr. 31 Povrch opracovaný frézou s nerovnoměrným osazením nožů (Lisičan, 1984)

R_1 – poloměr řezné kružnice prvního nože, R_2 – poloměr řezné kružnice druhého nože, l_1 – délka vlny prvního nože,l_2 – délka vlny druhého nože, f_z – posuv na zub, τ – hloubka vlny



Obr. 32 Povrch opracovaný frézou kde byl v činnosti pouze jeden nůž (Lisičan, 1984)

R_1 – poloměr řezné kružnice prvního nože, R_2 – poloměr řezné kružnice druhého nože, l_1 – délka vlny prvního nože,l_2 – délka vlny druhého nože, f_z – posuv na zub, τ – hloubka vlny

Pro práci obou nožů ve dvojnožové hlavě musí být splněna podmínka minimální posuvné rychlosti:

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

Pokud je nepřesné nastavení nožů, začne dvojnožová hlava pracovat pouze jedním nožem právě když:

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

Kde: D – nominální průměr nástroje [mm]

Ψ – středový úhel mezi dvěma břity [°]

Při z > 2 a běžných hodnotách τ > 0,02 mm budou (podle Buglaje) pracovat všechny nože při f_{min} > 60 m.min^{-1}, čemuž odpovídá:

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

Matematický vztah pro výšku vlnky stanovil Čebyšej v roce 1874:

$$e'(y_{max}) = \frac{\omega.f^2}{\omega_1^2.8R} \quad \text{[mm]} \quad (17)$$

Kde: ω – rozestup zubů frézy [mm]

ω_1 – úhlová rychlost frézy [s^{-1}]

f – rychlost posuvu obrobku [m.min^{-1}]

R – poloměr frézy [mm]

Pro hloubku cykloidálního profilu vlny existuje i přesnější vztah:

$$e'(y_{max}) = R.\left(1 - \cos\frac{90 f_z}{0{,}5 f_z \pm \pi R}\right) \quad \text{[mm]} \quad (18)$$

Podle vztahu 18 je hloubka vlnek cca o 5 % menší než podle Čebyšejovy rovnice.

V technické praxi se nejčastěji používá vztah:

$$e'(y_{max}) = \frac{f_z^2}{4D} \quad [\text{mm}] \quad (19)$$

Výpočet šířky vlnek:

Za předpokladu jednotného řezného poloměru u všech břitů nástroje a rovnoměrného posuvu obrobku se šířka vlnek určí aplikací rovnice (vztahující se k obr. 33):

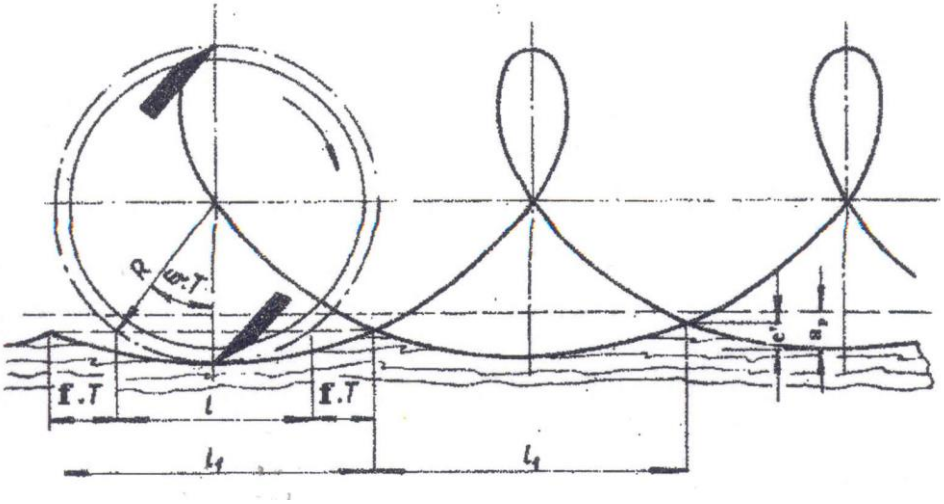
$$\frac{l_1}{2} = \frac{l}{2} + f.T = R.sin\omega_1.T + f.T \quad [\text{mm}] \quad (20)$$

z čehož:

$$l_1 = l + 2f.T = 2(R.sin\omega_1 T + f.T) \quad [\text{mm}] \quad (21)$$

Při rovnoměrné šířce můžeme napsat:

$$l_1 = f_z = \frac{1000.f}{n.z} \quad [\text{mm}] \quad (22)$$



Obr. 33 Šířka vlnek při frézování (Lisičan, 1984)

l_1 – šířka vlnky, R – poloměr řezné kružnice

K ověření výše uvedených teorií proběhl experiment, jehož výsledky jsou popsány v dalších kapitolách.

13. METODIKA

Během procesu obrábění byly měněny vybrané parametry (řezná rychlost, posuvná rychlost), které měly vliv na kvalitu opracovaného povrchu. Základním parametrem byl použitý materiál - bříza bělokorá (*Betula pendula*). Pro experiment bylo použito březové dřevo přírodní i termicky upravené při čtyřech různých teplotách úprav. Dále byla v průběhu experimentu měněna řezná i posuvná rychlost. Velikost úběru materiálu byla po celou dobu nastavena na 0,6 mm. Základní parametry jsou uvedeny v tabulkách č. 1 a č. 2.

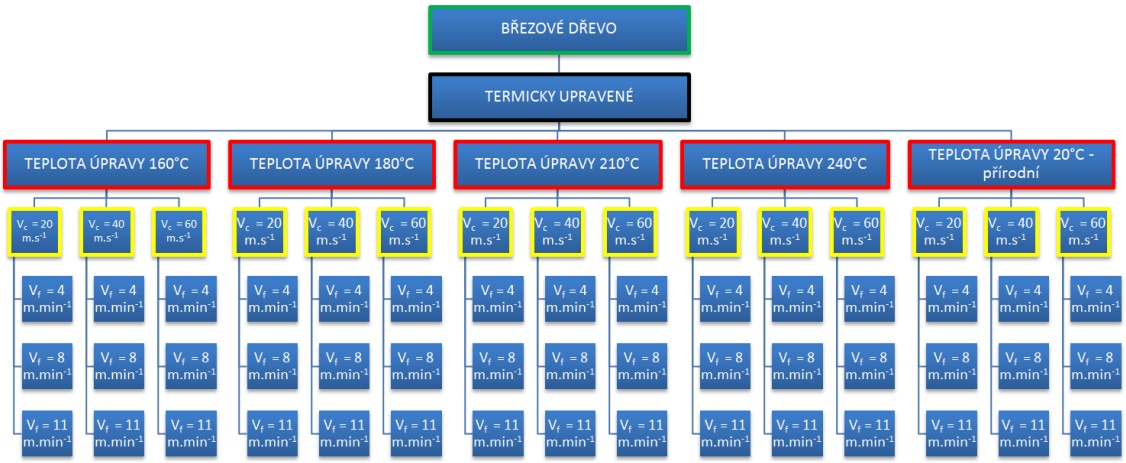
Tab. 1 Parametry ovlivňující obrábění (z pohledu zařízení)

PARAMETR	HODNOTA
Řezná rychlost	20; 40; 60 $m.s^{-1}$
Posuvná rychlost	4; 8; 11 $m.min^{-1}$
Úhel ostří nože	45°
Úhel čela nože	15°

Tab. 2 Parametry ovlivňující obrábění (z pohledu materiálu)

PARAMETR	HODNOTA
Vzorky I.	březové dřevo – rostlé – TW 20 °C
Vzorky II.	březové dřevo TW 160 °C
Vzorky III.	březové dřevo TW 180 °C
Vzorky IV.	březové dřevo TW 210 °C
Vzorky V.	březové dřevo TW 240 °C

Měření probíhalo v různých kombinacích výše uvedených parametrů. Konkrétní kombinace zobrazuje blokové schéma (obr. 34):



Obr. 34 Blokové schéma kombinací obrábění

Na základě cíle práce jsme rozdělili metodiku práce do následujících bodů:

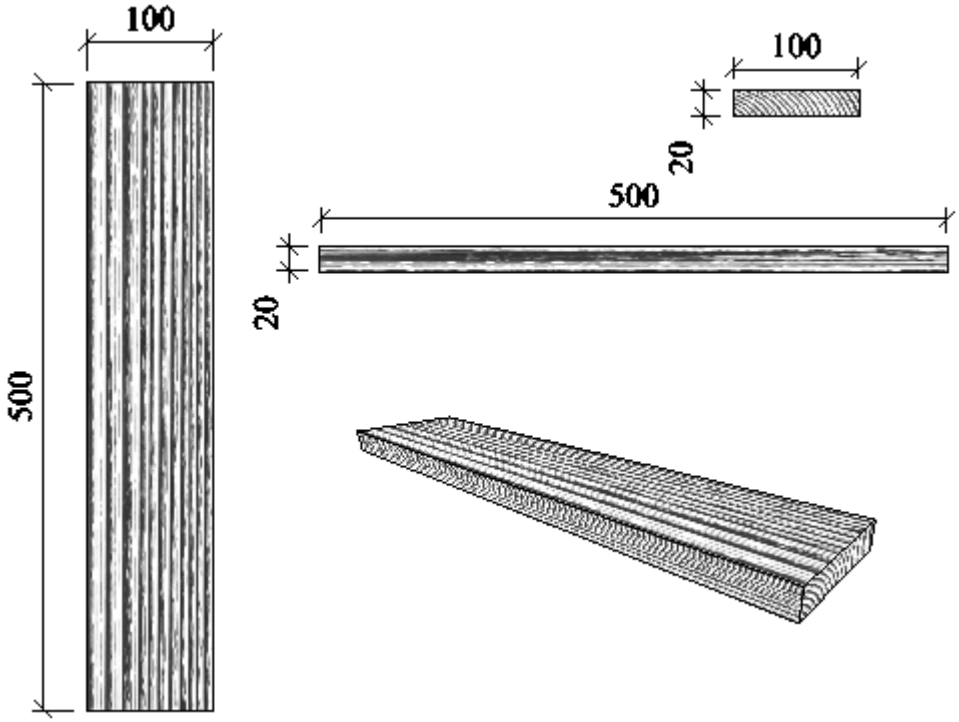
1. **Materiál a jeho příprava.**
2. **Klimatizace vzorků.**
3. **Termická úprava.**
4. **Obrábění.**
5. **Měření.**
6. **Vyhodnocení.**

13.2 Metodika experimentálních prací

Přípravu, měření a veškerý výzkum jsme prováděli v odborných dílnách a laboratořích Fakulty lesnické a dřevařské na České zemědělské univerzitě v Praze.

13.2.1 Příprava vzorků

Pro účely experimentu bylo použito dřevo břízy bělokoré (*Betula pendula*). Na kotoučové pile byla rozřezána vzduchosuchá (o relativní vlhkosti dřeva 16 %) neomítaná prkna na přířezy, které byly následně ofrézovány na tloušťku 20 mm a šířku 100 mm (obr. 35). Poté byly zkráceny na délku 500 mm tak, aby byly vyloučeny vady dřeva.



Obr. 35 Výkres vzorku

13.2.2 Klimatizace vzorků

Po zhotovení přírodních i termicky upravených vzorků proběhla jejich klimatizace v laboratořích ČZU v Praze. Vzorky byly proloženy tak, aby byl zajištěn volný přístup vzduchu ze všech jejich stran, při teplotě 23 °C a relativní vlhkosti vzduchu 40 %. Takto byly vzorky ponechány 90 dní, tím bylo dosaženo rovnovážné relativní vlhkosti 8 %. Vlhkost byla zjištěna váhovou metodou, vypočtena podle vzorce:

$$W = \frac{m_1 - m_0}{m_0} . 100\ \%$$ (23)

kde:

m_1 - hmotnost zkušebního tělesa ve vlhkém stavu [g]

m_0 - hmotnost zkušebního tělesa ve vysušeném stavu [g]

W - vlhkost [%]

13.2.3 Termická úprava vzorků

V experimentu bylo hodnoceno jak přírodní březové dřevo (pro statistické výpočty označováno jako upravené - při teplotě 20 °C), tak i termicky upravené. Jednotlivé vzorky byly upraveny při teplotách termické úpravy 160 °C, 180 °C, 210 °C, 240 °C. Termická úprava byla provedena u firmy TIMLESS TIMBER, s.r.o., Velká nad Veličkou, na zařízení Timeless Timber Tec od finského výrobce Hitwood. Jedná se o komoru 103/6200 s elektrickým příkonem 300 kW. Kapacita zařízení je cca 10 m^3 v závislosti na rozměrech upravovaného materiálu. Materiál je v komoře proložen kovovými deskami, které zajišťují stabilizaci dřeva a přenos tepla do upravovaného materiálu.

Termická úprava probíhala standardní metodou, *ThermoWood*, tedy ve vzduchové atmosféře, bez přidání jiných látek. Proces této úpravy probíhá trojfázově:

1. **Ohřev.**
2. **Termická úprava.**
3. **Chlazení.**

Délky trvání jednotlivých fází při teplotách úprav 160 °C, 180 °C, 210 °C a 240 °C jsou zobrazeny v následující tabulce (tab. 3):

Tab. 3 Časy fází pro jednotlivé tepelné úpravy

Teplota úpravy [°C]	Fáze [hodin]		
	1.	2.	3.
160	4	5	2
180	5	5	2,5
210	6	5	3
240	7	5	3,5

Na každý vzorek byla následně napsána teplota, kterou byl daný vzorek upraven. Dále byly všechny vzorky, včetně přírodních, označeny šipkou, která udávala směr a horní stranu pro rovinné frézování (obr. 36).

Obr. 36 Vzorky připravené před experimentem

13.2.4 Obrábění vzorků

Každý vzorek byl ofrézovaný jedním nástrojem – nožem při třech různých řezných rychlostech (20 $m.s^{-1}$, 40 $m.s^{-1}$ a 60 $m.s^{-1}$) a třech různých posuvných rychlostech (4 $m.min^{-1}$, 8 $m.min^{-1}$ a 11 $m.min^{-1}$). Řezné rychlosti byly při konstantním průměru nástroje dány otáčkami vřetene. Jednotlivé kombinace zobrazuje blokové schéma ad. Metodika.

13.2.4.1 Jednovřetenová spodní frézka

Jako základní strojní zařízení nám sloužila jednovřetenová spodní frézka typ FVS (obr. 37 a 38).

Jedná se o stroj celolitinové konstrukce, základ stroje tvoří stojan skříňového tvaru, ve kterém jsou uloženy poháněcí a ovládací mechanismy.

Stroj je osazen hnacím dvourychlostním elektromotorem o výkonu 5,2 kW při 1 440 min^{-1} / 2 880 min^{-1}, otáčky je možné měnit přepínačem, který je umístěný na hlavním ovládacím panelu. Převod hnací síly z elektromotoru na hnaný vřeteník je zajišťován dvojicí klínových řemenů. Díky dvoustupňové řemenici je zajištěna možnost další změny otáček. Z výše uvedeného vyplývá možnost volby ze čtveřice otáček v rozsahu 3 000 min^{-1} – 9 000 min^{-1}. Vzhledem k omezení maximálních otáček na námi použitém nástroji na 8 000 min^{-1} jsme pro účely měření volili otáčky 3 000 min^{-1}, 4 500 min^{-1} a 6 000 min^{-1}.

Nástroj je osazen na hřídeli o průměru 30 mm x 275 mm, kde je doplněn rozpěrnými kroužky a fixován dlouhou maticí. Ke správnému vedení obrobku před i za nástrojem jsme použili litinové pravítko s odsávacím hrdlem, osazené dřevěnými kluznými prvky. Nastavení vzdálenosti pravítka od vrcholu nože určovalo velikost úběru materiálu a s tím související třísku. K odsávacímu hrdlu na pravítku jsme použili, pro zajištění odpovídající hygieny práce a kvality obrábění, mobilní odsávací zařízení.

Pro účely měření jsme nastavili pravítko dle požadovaného úběru 0,6 mm na jedno protažení obrobku strojem. Nastavení jsme provedli za pomocí odzkoušení a přeměření vstupního a výstupního materiálu posuvným měřítkem.

Tab. 4 Technické parametry jedno-vřetenové spodní frézky

Zařízení	Jednovřetenová spodní frézka
Výrobce	Československé hudební nástroje
Typ	FVS
Rok výroby	1975
Připojovací napětí	380 V
Kmitočet	50 Hz
Příkon	5,2 kW
Otáčky elektromotoru	1440; 2880 min^{-1}
Otáčky vřetene	3 000; 4 500; 6 000; 9 000 min^{-1}

Obr. 37 Jednovřetenová spodní frézka FVS s podávacím zařízením

Obr. 38 Jednovřetenová spodní frézka FVS při frézování.

13.2.4.2 Podávací zařízení

Pro přesné nastavení posuvné rychlosti a vedení obráběného materiálu po pracovním stole podél pravítka bylo použito podávací zařízení Maggi Steff 2034 (obr. 39). Jednalo se o válečkové podávací zařízení s odpruženými pogumovanými válečky. Zařízení bylo osazeno dvourychlostním elektromotorem, díky kterému bylo možné volit podávací – posuvnou rychlost.

Převod hnací síly z elektromotoru na podávací válečky byl realizován za pomoci převodových kol a řetězového převodu. Díky možnosti vzájemné záměny dvou převodových kol o různém průměru poskytuje toto zařízení možnost volby dalších dvou rychlostí. Tyto změny se prováděly při vypnutém a odstaveném zařízení po demontáži ochranného krytu. Celé zařízení bylo připevněno na stojanu, který umožňoval přesné umístění dle potřeb tohoto způsobu obrábění.

Tab. 5 Technické parametry podávacího zařízení

Zařízení	Podavač
Výrobce	Maggi
Typ	Steff 2034
Rok výroby	2005
Připojovací napětí	380 (V)
Kmitočet	50 (Hz)
Příkon	0,6 / 0,8 kW (kW)
Otáčky elektromotoru	1 400 / 2 800 min^{-1}
Podávací rychlost	4; 8; 11; 22 $m.min^{-1}$

Obr. 39 Podávací zařízení Steff umístěné na jednovřetenové spodní frézce

13.2.4.3 Frézovací hlava

Pro proces obrábění jsme použili frézovací hlavu Staton (obr. 45 a 46), v hlavě byly použity jako nástroj výměnné nože Maximus. Hlava měla úhel čela 15°. Tento úhel byl zvolen z důvodu jeho nejčastějšího využití v praxi (Kotlínová, 2005). Přesné parametry frézovací hlavy udává tabulka č. 6.

Tab. 6 Technické parametry frézovací hlavy

Nástroj	Frézovací hlava
Výrobce	STATON
Rok výroby	2004
Průměr nástroje bez nožů	125 mm
Průměr nástroje včetně nožů	133 mm
Pracovní šířka nástroje	45 mm
Průměr upínacího otvoru	30 mm
Počet nožů	2
Maximální přípustné otáčky	8000 min^{-1}
Úhel čela nože	15°
Posuv	MAC – strojní

Obr. 40 Frézovací hlava Staton na hřídeli frézky

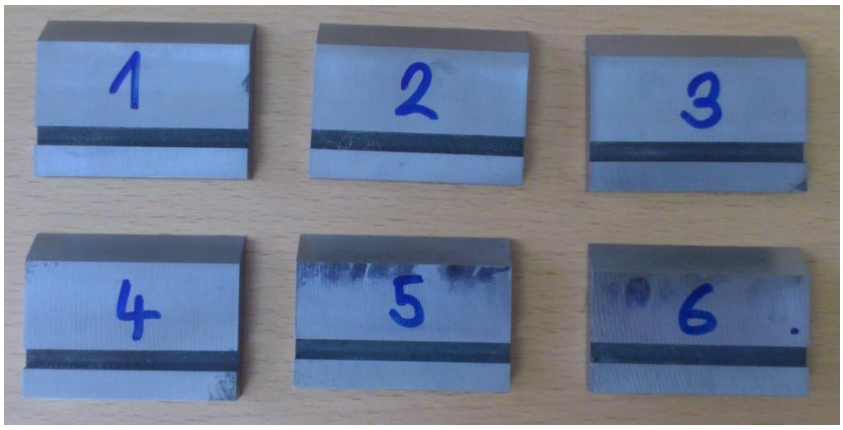
Obr. 41 Frézovací hlava Staton osazena noži po skončení procesu obrábění

13.2.4.4 Frézovací nástroj

Jako nástroj pro vlastní proces obrábění jsme použili výměnné nože výrobce Maximus, typ Special 55 (obr. 42). V kontaktu s materiálem byl vždy pouze jeden z dvojice osazených nožů. Druhý nůž osazený ve frézovací hlavě sloužil pouze jako vyvažovací. Pro účely měření jsme používali celkem pět nožů. Šestý nůž měl vyvažovací funkci a byl zároveň rezervním pro případ poškození nebo zničení jednoho z používaných nástrojů. Jednotlivé nože jedna až pět (obr. 42) jsme postupně osazovali do frézovací hlavy dle potřeb pro měření jednotlivých tepelně modifikovaných vzorků. Přesné parametry nástroje udává tabulka č. 7.

Tab. 7 Technické parametry výměnného nože

Nástroj	Výměnný nůž pro frézovací hlavy
Výrobce	Maximus
Typ	Special 55
Šířka nože	45 (mm)
Úhel ostří (β)	45 (°)
Materiál dle ČSN	19 855
Přísady	C 0,7; Cr 4,2; W 18; V 1,5 %
Tvrdost nástroje	62 HRC



Obr. 42 Naostřené frézovací nástroje – nože před jejich použitím

13.3. Měření opracovaného povrchu

13.3.1 Snímání povrchu

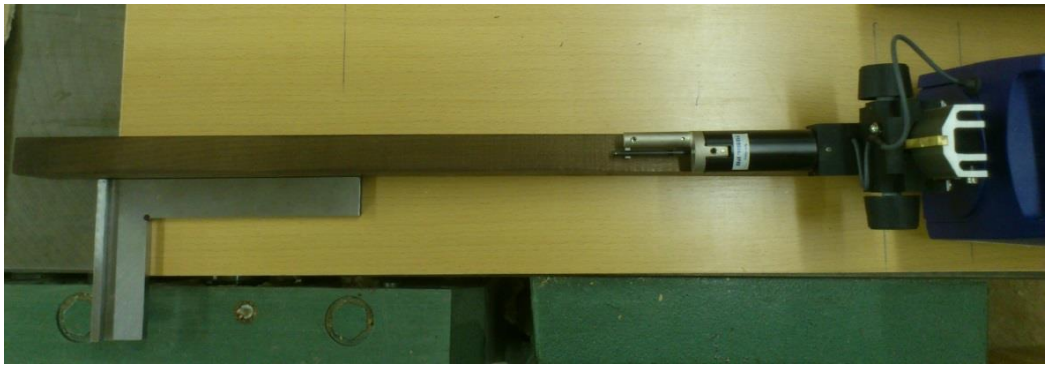
Měření probíhalo na ocelolitinovém stole, aby byla zajištěna co možná největší přesnost měření (obr. 43 a 44). Měřicí přístroj Talysurf Intra 2 od výrobce Taylor Hobson (*Velká Británie*) byl posazen na připraveném měřícím přípravku, kam se na přesné místo umísťoval i měřený vzorek. Přesné umístění konkrétního vzorku bylo ověřeno úhelnicí. Podélná osa měřeného vzorku byla rovnoběžné s dráhou pojezdu měřícího zařízení.

Ke snímání kvality opracovaného povrchu, konkrétně tedy měření drsnosti a vlnitosti, jsme použili dotykový přístroj typ Taylor Hobson - Form Talysurf Intra 2 (obr. 44). Povrch je snímán raménkem s diamantovým hrotem.

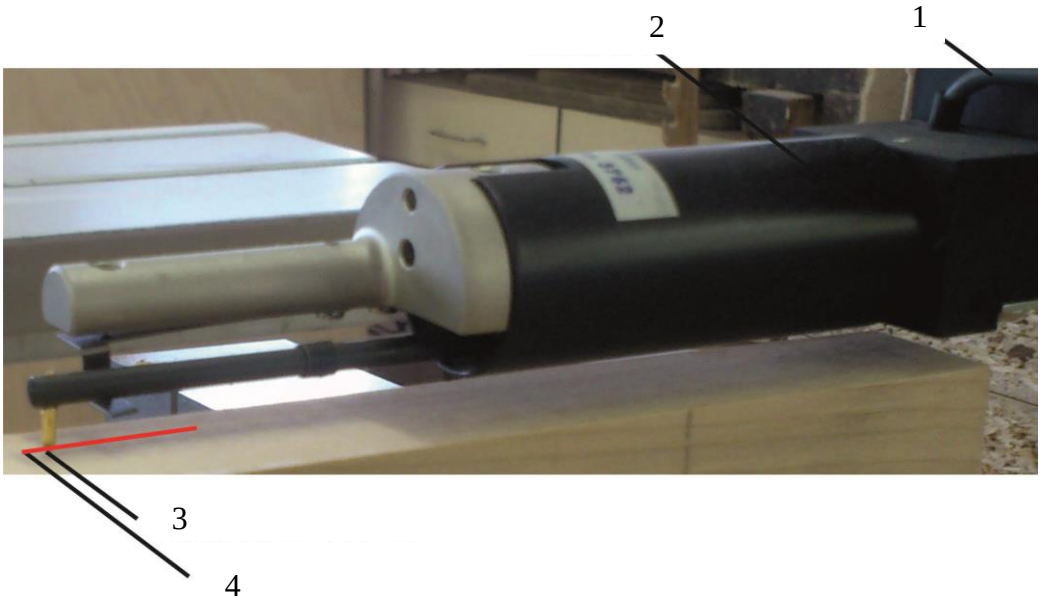
Raménko je vloženo v indukčním snímači (obr. 44), který převádí strukturu povrchu do elektronické podoby. Raménko je uloženo ve snímači za pomoci břitového uložení a zároveň je zasazeno do pouzdra, které přenáší jeho pohyby na kotvu obklopenou cívkou. Tato cívka indukuje napětí, které je dále převedeno do datového toku sběrnice USB.

Dosednutí měřícího ramínka na měřenou plochu bylo zajištěno za pomoci originálního příslušenství měřidla – výškově stavitelného adaptéru, který nám umožňoval nastavení dle výšky vzorku.

Obr. 43 Měřící aparatura na ocelolitinovém stole



Obr. 44 Detailní pohled na měření



Obr. 45 Snímací raménko umístěné ve snímači

1 – datový výstup, 2 - snímač, 3 – diamantový hrot, 3 – snímaný povrch (dráha hrotu)

13.3.2 Nastavení hodnot snímacího zařízení dle ČSN ISO 4288

Jedním ze základních parametrů měření je základní délka. Nastavení pojezdové délky jsme provedli odhadem v rozsahu, který je uveden v tabulkách normy ČSN ISO 4288 (tab. 8).

Tab. 8 Doporučené hodnoty cut-off (ČSN ISO 4288)

RSm (mm)	Rz (µm)	Ra (µm)	lc – cut-off (mm)	lr – základní délka (mm)	L – pojezdová délka (mm)
0,013 - 0,04	do 0,1	do 0,02	0,08	0,08	0,4
0,04 - 0,13	0,1 - 0,5	0,02 - 0,1	0,25	0,25	1,25
0,13 - 0,4	0,5 - 10	0,1 - 2,0	0,8	0,8	4
0,4 - 1,3	10. - 50	2. - 10	2,5	2,5	12,5
1,3 - 4,0	nad 50	nad 10	8	8	40

Po několika zkušebních měřeních jsme dle normy nastavili parametry měřícího zařízení. Jelikož norma udává doporučené hodnoty pojezdové délky (hodnotu L), pro větší přesnost jsme ji nastavili delší. Místo 12,5 mm tedy 15 mm. Celkové nastavení zařízení udává tabulka č. 9. Jedním z dalších nastavovaných parametrů byla pojezdová rychlost. Po několika zkušebních měřeních jsme došli k závěru, že pojezdové rychlosti 1 $mm.s^{-1}$ i 2 $mm.s^{-1}$ vykazují podobné hodnoty odchylek měření. Pro větší přesnost jsme zvolili menší pojezdovou rychlost, tedy 1 $mm.s^{-1}$. Délka rozjezdu byla pro zvolenou pojezdovou rychlost nastavena na 3 mm.

Tab. 9 Celkové nastavení měření

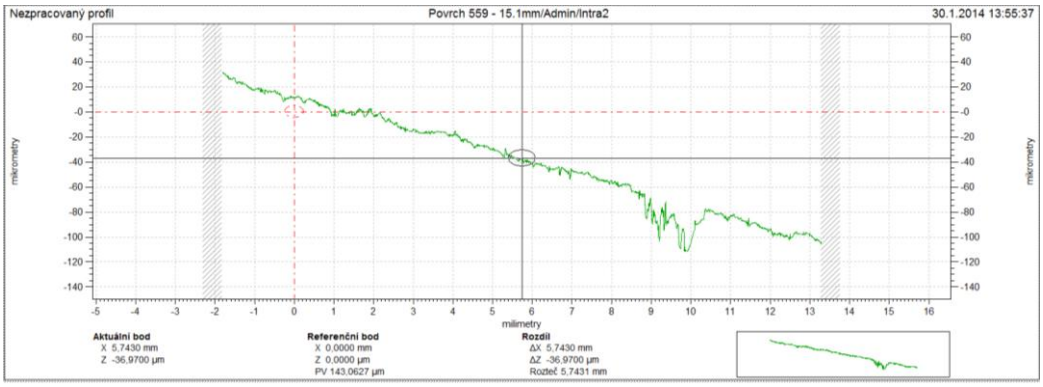
PARAMETR	HODNOTA
Základní délka lc	2,5 mm
Pojezdová délka L	15 mm
Rychlost pojezdu	1 $mm.s^{-1}$
Přechod - délka rozjezdu	3 mm

13.3.3 Měření a získání naměřených hodnot

Za pomoci programu Ultra byl vysunut snímač s raménkem do požadované polohy. Vertikální poloha raménka byla nastavena vždy ručně. Toto nastavení bylo prováděno s největší opatrností tak, aby nedošlo k poškození měřícího hrotu. Vertikální umístění raménka bylo vždy ve středu rozsahu snímače. Pokud raménko zasáhlo do omezovače polohy, měření se muselo opakovat.

Následovalo spuštění měřícího zařízení – posuv raménka po povrchu a snímání jeho polohy za pomoci snímače. Posuvné zařízení posouvalo snímač zvolenou rychlostí po měřeném povrchu. Měřená data byla on-line přesouvána přes datovou sběrnici USB do připojeného notebooku.

Naměřená data byla zobrazena na displeji notebooku v podobě grafu, který se nazýval „Nezpracovaný profil“ (obr. 46). Graf byl následně uložen v paměti notebooku. Takto zaznamenaná data byla připravena pro vyhodnocení. Z každého měření vznikl tedy samostatný soubor, který obsahoval záznam daného povrchu.

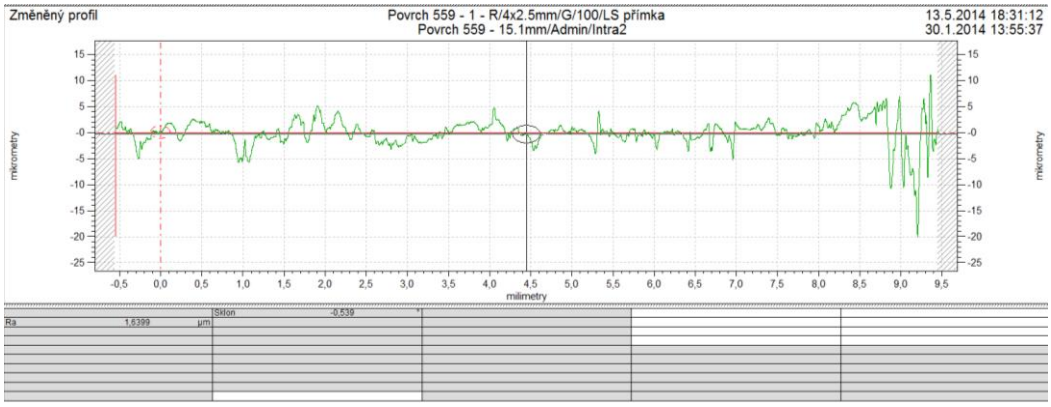


Obr. 46 Nezpracovaný profil

Po dokončení měření byla sbalena měřící aparatura a k získání naměřených dat sloužil pouze notebook s potřebnými soubory a program Ultra. Před vyhodnocením jsme ve výše zmiňovaném programu nastavili veškeré veličiny, které jsme pro účely výzkumu potřebovali hodnotit, konkrétně tedy Ra

– střední aritmetickou úchylku profilu drsnosti a Wa – střední aritmetickou úchylku profilu vlnitosti.

Vyhodnocením vznikl další soubor, který nesl stejné označení jako soubor původní, jen se jmenoval „Změněný profil“. V tomto souboru byl zobrazen analyzovaný graf (obr. 47) i požadované hodnoty. Tyto hodnoty jsme zaznamenali do připravené tabulky v MS Excel.



Obr. 47 Změněný profil

Následně jsme provedli statistické vyhodnocení takto získaných hodnot.

14. Vyhodnocení experimentálně získaných dat

Veškeré naměřené hodnoty byly shromážděny v tabulkovém programu MS Excel. Z tohoto programu byly následně exportovány do programu. Statistica 12, kde proběhlo jejich statistické vyhodnocení.

14.1 Vyhodnocení změn průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa

K vyhodnocení naměřených hodnot jsme použili trojfaktorovou analýzu rozptylu, hodnotící účinek jednotlivých faktorů i účinek dvoj- a trojfaktorových interakcí.

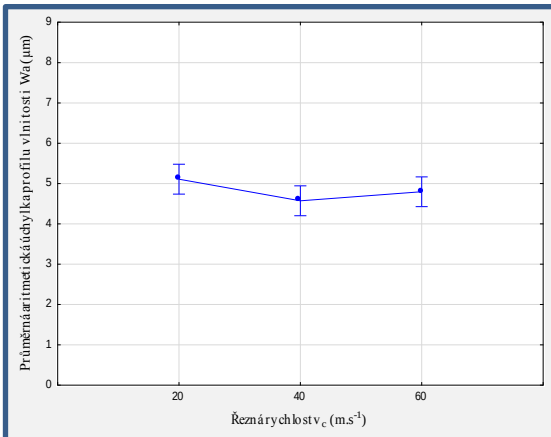
Výsledky trojfaktorové analýzy rozptylu pro hodnoty Wa (střední aritmetickou úchylku profilu vlnitosti) jsou uvedené v tabulce č. 10. Na základě hladin statistické významnosti „P“ uvedených v tabulce č. 10 můžeme konstatovat, že Posuvnou rychlost můžeme považovat za faktor statisticky významný, působící na hodnoty sledované charakteristiky. Faktor Úprava můžeme statisticky na základě uvedených výsledků považovat za středně významně působící. Řeznou rychlost a dvojfaktorové interakce řezné rychlosti a úpravy, řezné rychlosti a úpravy, posuvné rychlosti a úpravy a veškeré trojfaktorové interakce můžeme na základě hladiny významnosti „P“ považovat za statisticky nevýznamné.

Tab 10. Trojfaktorová analýza rozptylu hodnotící účinek vlivu jednotlivých faktorů a dvoj- až trojfaktorových interakcí pro průměrnou aritmetickou úchylku profilu vlnitosti

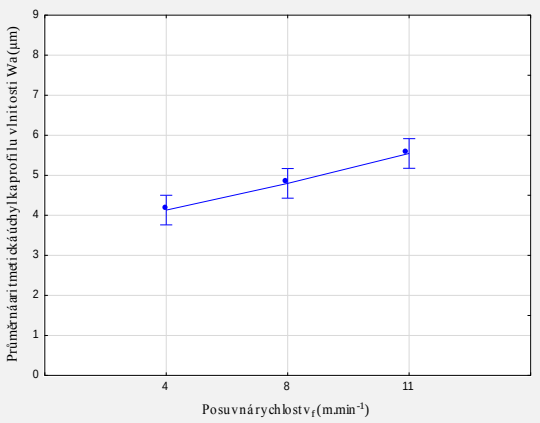
Sledovaný faktor	suma čtverců	stupně volnosti	rozptyl	F-test	p - úroveň statistické významnosti
Abs. člen	8383,342125	1	8383,342	1970,573	0,000000
řezná rychlost	17,44461871	2	8,722	2,050	0,130417
posuvná rychlost	120,021415	2	60,011	14,106	0,000001
úprava	34,4760672	4	8,619	2,026	0,090605
řezná rychlost*posuvná rychlost	29,64446673	4	7,411	1,742	0,140502
řezná rychlost*úprava	16,02156812	8	2,003	0,471	0,876476
posuvná rychlost*úprava	27,33134261	8	3,416	0,803	0,600280
řezná rychlost*posuvná rychlost*úprava	49,17066253	16	3,073	0,722	0,770941
Chyba	1340,094148	315	4,254		

Z údajů uvedených na obrázku č. 48 znázorňujícím účinek řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky vlnitosti Wa vyplývá, že řezná rychlost nemá statisticky významný vliv na hodnoty sledované charakteristiky.

Naopak účinek posuvné rychlosti na hodnoty sledované charakteristiky můžeme na základě hodnot z obrázku č. 49 považovat za středně významně statisticky působící. Z hodnot uvedených v grafu je zřejmé, že s růstem posuvné rychlosti rostou i hodnoty sledované charakteristiky.

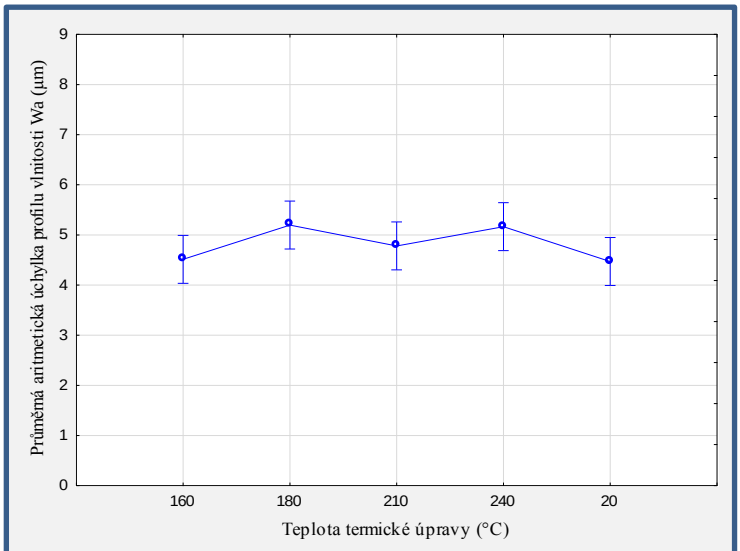


Obr. 48 Vliv řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa.



Obr. 49 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa.

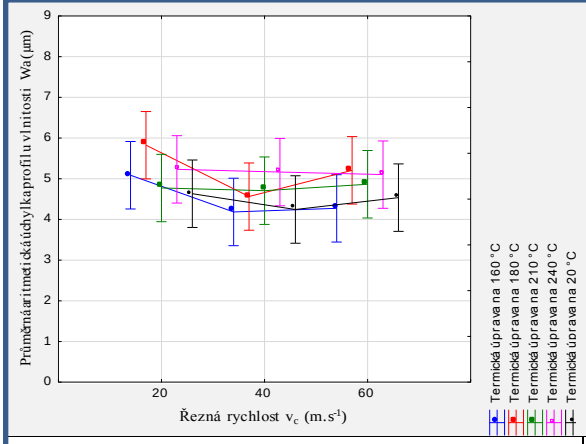
Z hodnot vyplývajících z obrázku č. 50 jsou patrné vyšší hodnoty aritmetické úchylky profilu vlnitosti u termicky upraveného dřeva v rozsahu 160–240 °C, než u dřeva přírodního – s úpravou 20 °C. Tyto rozdíly jsou ale tak malé, že byly na hranici statistické významnosti. Z níže uvedeného grafu tedy vyplývá, že na výslednou vlnitost obráběného materiálu nemá termická úprava březového dřeva vliv.



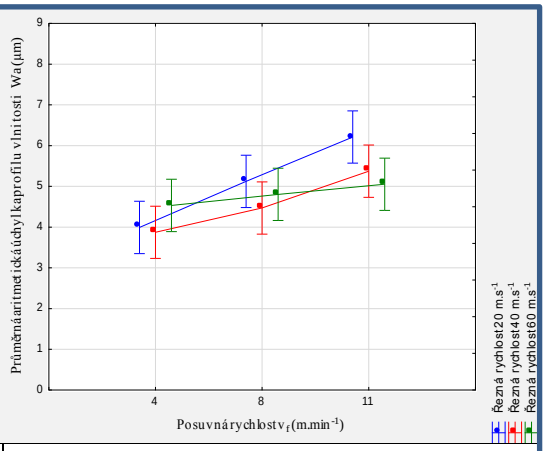
Obr. 50. Vliv termické úpravy březového dřeva na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa.

Obrázek č. 51 vypovídá o poklesu průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti při zvýšení řezné rychlosti z 20 $m.s^{-1}$ na 40 $m.s^{-1}$. Tato tendence ale nepokračuje a při zvýšení této rychlosti na 60 $m.s^{-1}$ se rozdíl ukázal jako statisticky nevýznamný. Z grafu dále vyplývá, že se neprokázal účinek termické úpravy na hodnoty sledované charakteristiky.

Na obrázku č. 52 můžeme pozorovat postupný růst hodnot sledované veličiny spojený se zvyšující se posuvnou rychlostí. Se zvyšováním řezné rychlosti se vliv posuvné rychlosti na hodnoty sledované veličiny snižuje.



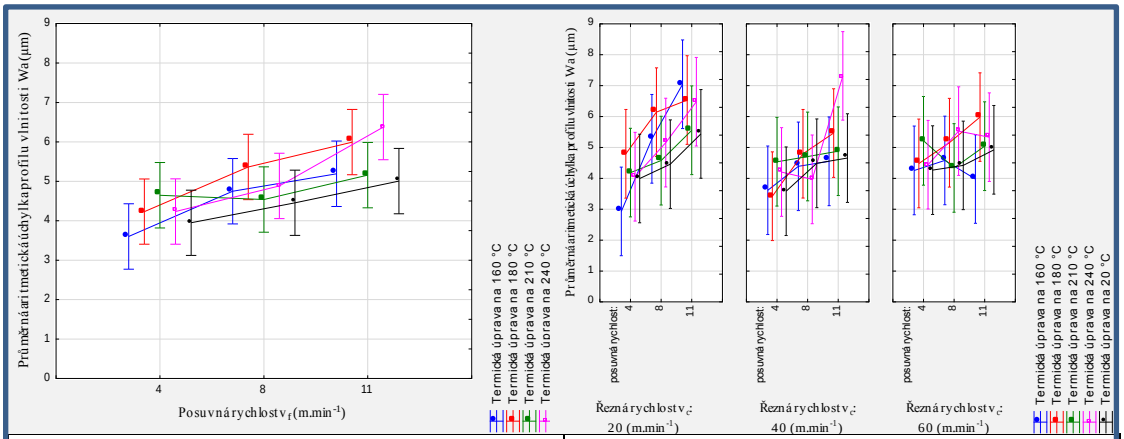
Obr. 51 Vliv řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa pro jednotlivé stupně úpravy.



Obr. 52 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa pro jednotlivé řezné rychlosti.

Na obrázku č. 53 je patrný růst průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti se zvyšující se posuvnou rychlostí. Tento růst je patrný u všech stupňů termické úpravy. Naměřená data prokazují, že termická úprava dřeva zhoršuje výsledné hodnoty sledované veličiny. S ohledem na rozsah měření není možné blíže určit rozdíl vlivu jednotlivých termických úprav na výslednou hodnotu sledované veličiny.

Z obrázku č. 54 je patrné, že vyšší posuvná rychlost má vždy negativní vliv na vlnitost obráběného materiálu (tzn. hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti zvyšuje). Se vzrůstající řeznou rychlostí se ale efekt tohoto vlivu snižuje. Ze zjištěných hodnot nelze jednoznačně určit rozdíly vlivu jednotlivých stupňů termických úprav.



Obr. 53 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa u jednotlivých stupňů úprav.

Obr. 54 Vliv posuvné a řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti Wa u jednotlivých stupňů úprav.

Z uvedených grafů a tabulek můžeme konstatovat zjevný vliv řezné rychlosti na hodnoty sledované veličiny. Hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu vlnitosti se stoupající řeznou rychlostí klesaly. Naopak při zvyšování posuvné rychlosti můžeme pozorovat zvyšování hodnot sledované veličiny.

Pro kvalitní obrábění je nutné, aby řezná rychlost byla dostatečně vysoká vzhledem k rychlosti posuvu obráběného materiálu, protože při vyšších posuvných rychlostech dochází ke snížení výsledné kvality opracovaného povrchu.

14.1 Vyhodnocení změn průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra

K vyhodnocení naměřených hodnot jsme použili, stejně jako v případě hodnocení hodnot střední aritmetické úchylky profilu vlnitosti, trojfaktorovou analýzu rozptylu, hodnotící účinek jednotlivých faktorů i účinek dvoj- a trojfaktorových interakcí.

Výsledky trojfaktorové analýzy rozptylu pro hodnoty střední aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra jsou uvedené v tabulce číslo 11. Na základě hodnoty hladin významnosti „P“ uvedených v tabulce můžeme konstatovat, že Posuvná rychlost, Řezná rychlost i Úprava zkušebních těles mohou být považovány za faktory statisticky významně působící na hodnoty sledované charakteristiky.

Za významně působící dvojfaktorové interakce můžeme na základě výsledků uvedených v tabulce považovat kombinaci faktorů Řezné rychlosti a Úpravy.

Dvojfaktorové interakce řezné rychlosti a posuvné rychlosti, posuvné rychlosti a úpravy a trojfaktorovou interakci řezné rychlosti, posuvné rychlosti a úpravy můžeme na základě hladiny významnosti „P“ považovat za statisticky nevýznamné.

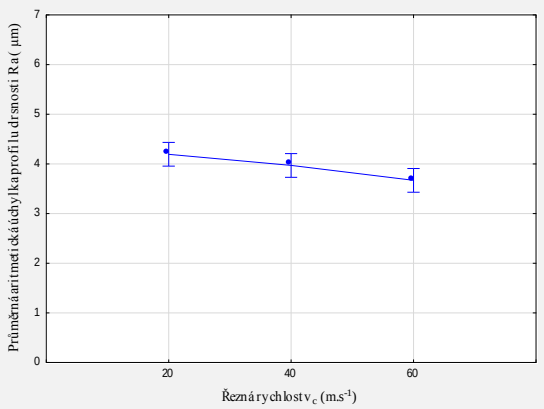
Tab 11. Trojfaktorová analýza rozptylu hodnotící účinek vlivu jednotlivých faktorů a dvoj- až trojfaktorových interakcí pro průměrnou aritmetickou úchylku profilu drsnosti Ra

Sledovaný faktor	suma čtverců	stupně volnosti	rozptyl	F-test	p - úroveň statistické významnosti
Abs. člen	5600,796349	1	5600,796	3166,235	0,000
řezná rychlost	16,62418579	2	8,312	4,699	0,010
posuvná rychlost	69,40116547	2	34,701	19,617	0,001
úprava	18,55872854	4	4,640	2,623	0,035
řezná rychlost*posuvná rychlost	7,324690529	4	1,831	1,035	0,389
řezná rychlost*úprava	32,67742712	8	4,085	2,309	0,020
posuvná rychlost*úprava	8,368323831	8	1,046	0,591	0,785
řezná rychlost*posuvná rychlost*úprava	19,45018179	16	1,216	0,687	0,807
Chyba	557,2078748	315	1,769		

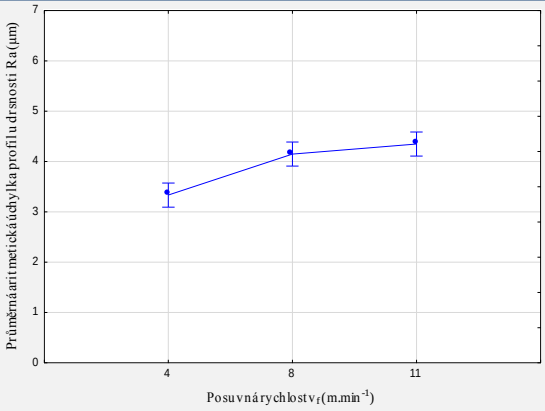
Z údajů uvedených na obrázku č. 55 znázorňujícím účinek řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky drsnosti Ra vyplývá, že řezná rychlost má statisticky významný, nicméně spíše slabší, vliv na hodnoty sledované charakteristiky. Se zvyšováním řezné rychlosti klesá hodnota průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra.

Účinek posuvné rychlosti na hodnoty sledované charakteristiky můžeme na základě hodnot z obrázku 56 považovat také za statisticky významný. Z hodnot uvedených v grafu je zřejmé, že s růstem posuvné rychlosti rostou i hodnoty sledované charakteristiky.

Vliv zvyšování posuvné rychlosti na sledovanou charakteristiku je významnější než vliv řezné rychlosti. Negativní vliv rychlosti posuvu je možné kompenzovat vyšší řeznou rychlostí.

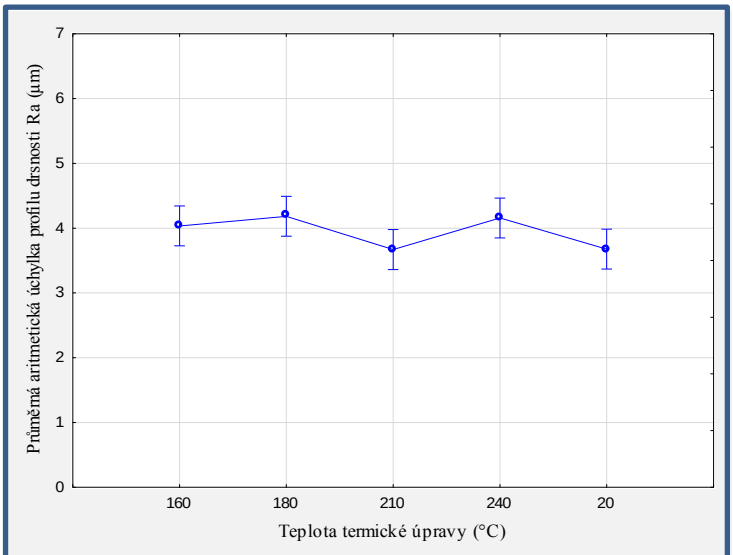


Obr. 55 Vliv řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra.



Obr. 56 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra.

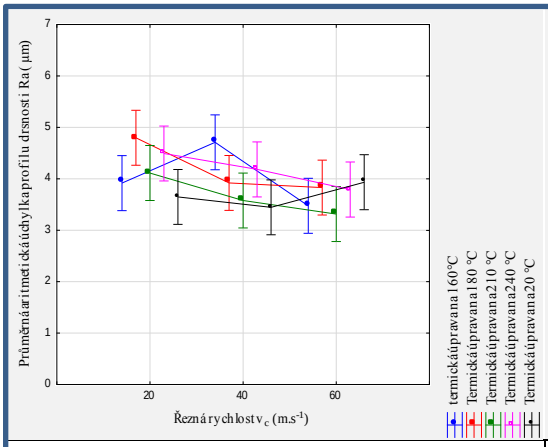
Z hodnot vyplývajících z obrázku 57 jsou patrné naměřené vyšší hodnoty aritmetické úchylky profilu drsnosti u dřeva termicky upraveného v rozsahu 160–240 °C. Tyto rozdíly jsou ale tak malé, že byly na hranici statistické významnosti. Z níže uvedeného grafu vyplývá, že na výslednou drsnost obráběného materiálu nemá termická úprava březového dřeva vliv.



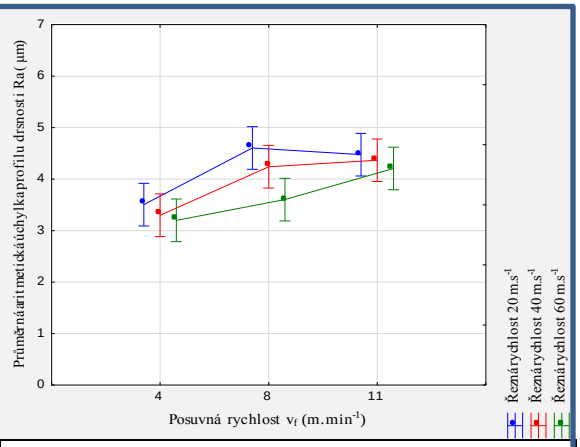
Obr. 57 Vliv termické úpravy na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra.

Na obrázku 58 můžeme pozorovat změny hodnot průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti při změnách posuvné rychlosti při různých řezných rychlostech. Posuvná rychlost je statisticky významnou veličinou. Kvalita opracovaného povrchu se se zvyšováním posuvné rychlosti snižuje, a drsnost povrchu tedy stoupá. Termická úprava nad 160 °C výsledné parametry drsnosti zhoršuje. Statisticky významný vliv teploty termické úpravy březového dřeva jsem nezaznamenal.

Z obrázku 59 je patrné, že s narůstající řeznou rychlostí klesá výsledná dosažená drsnost obráběného povrchu.



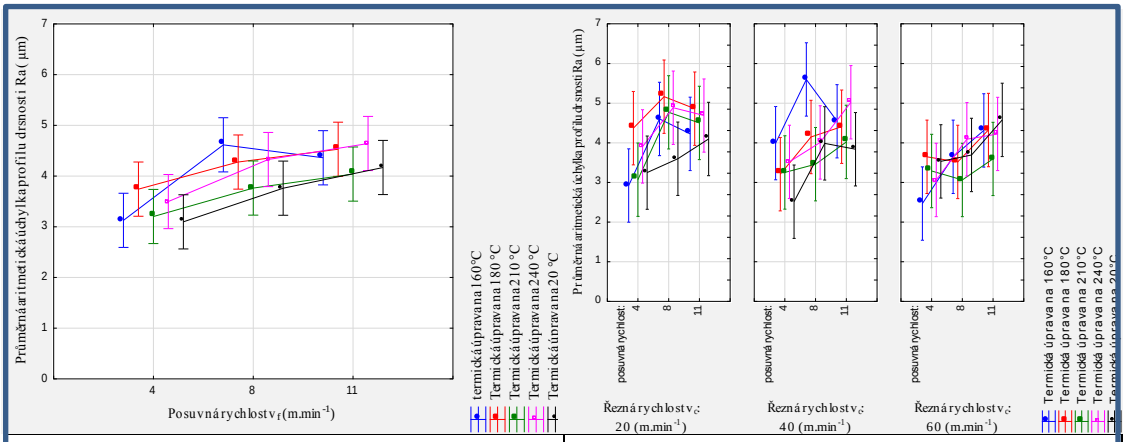
Obr. 58 Vliv řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra pro jednotlivé stupně úpravy.



Obr. 59 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra pro jednotlivé stupně úpravy.

Z obrázku 60 je patrné, že termická úprava při teplotě vyšší než 160 °C vždy zhoršuje výsledný parametr drsnosti bez ohledu na použitou posuvnou rychlost. Konkrétní použitá teplota termické úpravy nemá statisticky významný vliv na výsledné hodnoty drsnosti.

Obrázek 61 dokládá, že s narůstající posuvnou rychlostí se výsledná drsnost zhoršuje, a to při každé použité řezné rychlosti.



Obr. 60 Vliv posuvné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra u jednotlivých stupňů úprav.

Obr. 61 Vliv posuvné a řezné rychlosti na hodnoty průměrné aritmetické úchylky profilu drsnosti Ra u jednotlivých stupňů úprav.

15. Zhodnocení výsledků

Z uvedených dat vyplývá, že vzrůstající posuvná rychlost má negativní vliv jak na hodnoty drsnosti, tak na hodnoty vlnitosti. Naopak s narůstající řeznou rychlostí dosáhneme lepších výsledných parametrů drsnosti i vlnitosti.

Termická úprava dřeva v rozsahu teplot 160–240 °C zhoršuje jeho parametry v obou sledovaných charakteristikách (tedy jak hodnoty střední aritmetické úchylky profilu drsnosti, tak hodnoty střední aritmetické úchylky profilu vlnitosti), a to bez ohledu na použitou teplotu termické úpravy.

Negativní vliv posuvné rychlosti na obě sledované veličiny (tedy jak hodnoty střední aritmetické úchylky profilu drsnosti, tak na hodnoty střední aritmetické úchylky profilu vlnitosti) lze částečně kompenzovat použitím vyšších řezných rychlostí obrábění. Zároveň ale z výše uvedeného vyplývá, že vyšší řezná rychlost může pozitivně více ovlivnit výslednou vlnitost obráběného materiálu, zatímco její vliv na zlepšení parametru drsnosti je sice prokazatelný, ale projevuje se ve výrazně menším rozsahu.

15.1 Doporučení pro vědu

Z vědeckého hlediska můžeme práci považovat za přínosnou a rozšiřující dosavadní poznatky v oblasti obrábění termicky modifikovaného dřeva. Pro další výzkum by bylo vhodné:

1) **Rozšířit měření na další druhy dřevin**
    - **o nejrozšířenější dřeviny v našich zeměpisných šířkách,**
    - **pro zjištění zda i u jiných druhů dřevin nemá termická úprava vliv na kvalitu opracovaného povrchu.**
2) **Rozšířit parametry obrábění například použitím vyšších řezných rychlostí (kde je z výše uvedeného předpoklad vyšší kvality opracovaného povrchu)**
    - **například pro řeznou rychlost 90 $m.s^{-1}$ z důvodu častého využití této řezné rychlosti v obráběcích centrech.**
3) **Zjistit vliv různých druhů nástrojů na kvalitu opracovaného povrchu.**

15.2 Doporučení pro praxi

Pro praxi je práce přínosem zejména ve zjištění vhodných parametrů obrábění termicky modifikovaného dřeva. Z práce pro praxi vyplývá:

1) **Termická úprava dřeva nemá zásadní vliv na kvalitu opracovaného povrchu.**
2) **Řezná rychlost má vliv na kvalitu opracovaného povrchu, pokud chceme dosáhnout vyšší kvality opracovaného povrchu, musíme volit vyšší řezné rychlosti (60 $m.s^{-1}$ nebo vyšší).**
3) **Posuvná rychlost má vliv na kvalitu opracovaného povrchu, pro dosažení vyšší kvality musíme nastavit parametry obrábění tak, aby posuvná rychlost byla nižší (4 $m.min^{-1}$ nebo menší).**

Závěr

V této diplomové práci jsou shrnuty současné poznatky v oblastech frézování dřeva a jeho termické úpravy. Cílem práce bylo zjistit vliv jednotlivých parametrů obrábění a různého stupně termické úpravy březového dřeva na kvalitu opracovaného povrchu. K hodnocení kvality byly vybrány nejdůležitější parametry, kterými jsou drsnost a vlnitost opracovaného povrchu. Z hodnocených parametrů byla posuzována řezná rychlost, posuvná rychlost a stupeň termické úpravy.

Ke zjišťování těchto hodnot proběhl v dílnách a laboratořích výzkum. Po zpracování a vyhodnocení naměřených údajů můžeme konstatovat, že kvalita opracovaného povrchu je závislá jak na řezné rychlosti, tak na rychlosti posuvné i na termické úpravě dřeva.

Čím je řezná rychlost vyšší, tím je vyšší kvalita opracovaného povrchu. Posuvná rychlost působí na kvalitu opracovaného povrchu obráceně, tedy se stoupající posuvnou rychlostí se snižuje kvalita opracovaného povrchu. Termická úprava v intervalu 160–240 °C výsledné parametry zkoumaných veličin vždy zhorší.

Z pohledu výrobního procesu je tedy nutné si nejprve definovat, jakých výsledných parametrů drsnosti a vlnitosti chceme dosáhnout. Pokud jsou výstupní hodnoty nedostatečné, je možné dosáhnout zlepšení snížením posuvné rychlosti, která ale bude mít negativní vliv na výrobní kapacitu. Obdobného výsledku můžeme dosáhnout zvýšením řezné rychlosti, v tomto případě ale za vyšších energetických nároků při výrobě. Navíc je důležité zdůraznit, že vyšší řezná rychlost ovlivní více parametr vlnitosti než parametr drsnosti. Použitím termicky upraveného březového dřeva v intervalu úprav 160–240 °C zhoršíme vždy oba sledované parametry, tedy jak vlnitost, tak i drsnost. Teoreticky je tedy možné zlepšení obou sledovaných charakteristik i tím, že nebudeme používat termicky upravené dřevo nad 160 °C, ale toto řešení pravděpodobně nebude vhodné s ohledem na další kvalitativní charakteristiky získané termickou úpravou.

Při přechodu výroby na použití termicky upraveného dřeva (přinejmenším v použitých teplotách úprav 160–240 °C) dojde tedy buď ke snížení dosažené kvality drsnosti a vlnitosti, nebo ke snížení výrobní kapacity, nebo ke zvýšení energetické náročnosti výroby. S ohledem na záměr používat ThermoWood jako exteriérový materiál nám ale pravděpodobně nebude snížení kvality opracovaného povrchu překážkou.

Houska (2013) ve své diplomové práci popisuje vliv posuvných a řezných rychlostí jako nízký. Zde jsme došli k závěru, že jej naopak nemůžeme zanedbávat a je nutné se touto problematikou dále zabývat.

V této diplomové práci najdeme výsledky, které doplňují současné znalosti zpracování termicky upraveného dřeva. Tyto výsledky najdou využití jak pro vědu, tak i pro praxi ve zpracování právě tohoto dřeva. Závěrem je nutno podotknout, že dřevo je přírodní nehomogenní materiál a na kvalitu opracovaného povrchu má velký vliv jeho stavba i konkrétní podmínky zpracování.

Seznam použité literatury

AFJEHI, S. A.; DURAKBASA, N.; STOUT, K.; OSANNA, P.; RUIZ, J.; 2006. *Meranie drsnosti, vlnitosti a primárneho profilu.*

BALABÁN K.; 1955. *Náuka o dřevě, 1. část, Anatomie dřeva.* Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1955.

BARCÍK, Š.; 2000. *Nábytkárske stroje a zariadenia časť.1.* Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2000. ISBN 80-228-0935-7.

BARCÍK, Š.; 2009. *Technika pre výrobu nábytku.* Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN: 978-80-228-2055-4.

BARCÍK, Š.; GAŠPARÍK, M.; 2014 *Beech thermal treatment*. Bio Resources 1360.

BUDA, J; SOUČEK, J; VASILKO, K.; 1988. *Teória obrábania.* Bratislava: ALFA, 1988. 063-564-88.

CORBETT, S.; 2001 REBO PRODUCTIONS CZ, spol. s r.o. *Práce se dřevem.* USA: Lorenz Books, 2001. ISBN 80-7234--212-6.

CYBERMAN EDUCATIONAL PAGE (EDUCATIONAL MATERIALS); 2007. Department of Mechanical Engineering, Michigan, Technology University. [cit. 2-4-2012] Dostupné z: http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/quality/sfinish/terminology.html

ČSN ISO 3002/1 Rezné nástroje. Základné veličiny pri rezaní a brúsení Časť 1: Geometria aktívnej časti rezných nástrojov. Základné termíny, súradnicové sústavy, nástroje a pracovné úhly, lamače triesky.

ČSN ISO 3002-3 (220014) Rezné nástroje. Základné veličiny pri rezaní a brúsení. Časť 3: Geometrické a kinematické veličiny pri rezaní.

ČSN ISO 3002-4 (220036) Rezné nástroje. Základné veličiny pri rezaní a brúsení. Část 4: Sily, práca a výkon.

ČSN 490231 Přídavky na opracování řeziva a přířezů řeziva, drsnost povrchu výrobků ze dřeva a na bázi dřeva.

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

ČSN EN ISO 3274 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) Struktura povrchu: Profilová metoda - Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů.

GANDELOVÁ, L.; HORÁČEK, P.; ŠLESINGEROVÁ, J.; 2009. *Nauka o dřevě.* Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2009.; ISBN: 978-80-7375-312-2.

HAVRÁNEK, K; BABÁK, S.; 1953. *Strojové obrábanie dreva*. Bratislava: Štátne nakaldatelstvo technickej literatury, 1953

HAJNÍK, I.; 2007. *Zborník referátov z odborného semináre Drevorezné nástroje a obrábanie dreva 2007 - Opotrebenie rezného klína drevoobrábacích nástrojov.* Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007.

JAVOREK, L.; OSVALD, J.; *Kvalita povrchu verzus technologické podmienky.* V: Acta facultatis technicae 1998. Zvolen: Vydavateľstvo TU Zvolen, 1998, ISBN 80-228-0812-1.

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.; 2012. *Vliv technicko - technologických faktorů rovinného frézování přírodního dřeva na kvalitu opracování povrchu.* Praha: Fakulta lesnická a dřevařská - Česká zemědělská univerzita v Praze (2012).

KUNC Z.; *Dřevopříručka*. Praha: Nakladatelství BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-126-8.

LIPTÁK, L. a kol.; 1979, *Technológia výroby - obrábanie*. Bratislava: Vydavateľstvo Alfa.

LISIČAN, J. a kol.; 1996. *Teória a technika pre výrobu nábytku.* Zvolen: MATCENTRUM, 1996. ISBN: 80-967315-6-4

MÁDL, J.; 1988. *Experimentální metody v teorii obrábění.* Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1988. Č. publikace: 6266.

NOVÁK, P.; *Tepelná modifikace dřeva: Úvod do problematiky.* V: *Dřevostavitel: Online svět dřevostaveb* [online]. 2011 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://www.drevostavitel.cz/clanek/tepelna-modifikace-dreva-1-dil

OČKAJOVÁ, A.; 2001. *Zborník referátov z odborného semináru Drevorezné nástroje 2001*, Opotrebenie rezného klína. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2001.

ONDRA, J.; 1998. *Optické metódy pre monitorovanie kvality obrobených povrchov. Kvalita a spoľahlivosť strojov.* 3. medzinárodné vedecké sympózium, 20-21.duben 1998, Nitra.

SIKLIENKA, M.; ŠUSTEK, J.; 2007. *Drevorezné nástroje a obrábanie dreva 2007. Zborník referatov.* Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007. Metodika kvalifikacie nerovnosti při obrobenom povrchu rastlého dreva pomocou laserového profilmetra.

PESCHEL P.; NUTSCH, W.; NENNEWITZ I.; SEIFERT, G.; 2002. *Dřevařská příručka.* Praha: SOBOTÁLES. ISBN 80-85920-84-0

POŽGAJ, A.; CHOVANEC D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M.; 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva.* 2. vydání. Bratislava, Príroda, 1997.

Praktik: *Terasa podle přání*. Praha: Pražská vydavatelská společnost, s.r.o., 2014, XIX, Květen. ISSN 1211-5533.

PROKEŠ, S.; 1970. *Jakost obrobeného povrchu.* Dřevářska technická příručka. STNL, 1970.

PROKEŠ, S.; 1982. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva.* Praha: ALFA, 1982. ISBN: 04-833-82.

PROKEŠ, S.; 1991. *Údržba dřevoobráběcích nástrojů.* Praha: Správa pro výchovu a vzdělávání pracovníků lesního a vodního hospodářství ČR, 1991. ISBN: 80-209-0191-4.

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

SANDAK, J.; NEGRI, M.; 2005. *Wood surface roughness – what is it?* In: Proceedings of the 17th international wood machining Seminar, Rosenheim. 29-30 September 2005, Volume 1.

Tepelně upravené dřevo: Suroviny. V: *www.prokom.cz* [online]. [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: http://www.prokom-sr.sk/thermowood-tepelne-upravene-drevo/suroviny-tepelne-upravene-drevo-thermowood.pdf

Tepelně upravené dřevo: ThermoWood. COPYRIGHT © 2010 - 2015 SVĚTDŘEVA. Svět dřeva: terasy - podlahy - pergoly [online]. 2010 [cit. 2015-02-20]. Dostupné z: http://svetdreva.com/nabidka/materialy/thermowood.

ThermoWood. V: MT nábytek.cz [online]. 2011 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://www.mt-nabytek.cz/slovnik-pojmu/461-thermowood-.htm

Vše o Thermowoodu: Co je to Thermowood. V: www.pechar.cz [online]. 2015 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: http://www.pechar.cz/thermowood

Výrobní proces ThermoWood: tepelně upravené profily. V: *Www.prokom.cz* [online]. Opava, 2013 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood/128-drevene-profily-tepelne-upravene-specialni-technologii-thermowood

10. Přirozená odolnost a trvanlivost dřeva. V: *Drevari.humlak.cz* [online]. [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/11.pdf