

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav základního zpracování dřeva



**Kvalita povrchu při frézování dřeva  
a použitelnost pro nanášení nátěrových hmot**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

2016/2017

Bc. Pavel Lysáček

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Kvalita povrchu při frézování dřeva a použitelnost pro nanášení nátěrových hmot

vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce prof. Ing. Miroslavu Rouskovi, CSc. za jeho ochotu a cenné rady při tvorbě této práce. Také bych rád poděkoval doc. Ing. Emilu Svobodovi, CSc. za možnost měření na přístroji Taylor Hobson – Talysurf CLI 1000. V neposlední řadě děkuji rodině za podporu a trpělivost při mém studiu na této škole.

**Jméno:** Pavel Lysáček

**Název práce:** Kvalita povrchu při frézování dřeva a použitelnost pro nanášení nátěrových hmot

### **Abstrakt**

Práce hodnotí kvalitu povrchu při 6000 a 9000 otáčkách hřídele za minutu. Byly zde použity rychlosti posuvu obrobku od 10 do 40 m/min, pro nanášení nátěrové hmoty a bližšímu zkoumání byly vybrány rychlosti posuvu 10 a 20 m/min. Pro hodnocení kvality povrchu byly použity dva přístroje s různými metodami hodnocení povrchu. Drsnoměr Mitutoyo SJ - 201 P zastupuje kontaktní měření a Talysurf CLI 1000 je pro měření bezkontaktní. Oba tyto přístroje byly použity před i po nanášení nátěrové hmoty a snaží se prokázat, který povrch je vhodnější pro nanášení vodou ředitelných nátěrových hmot ve stavebně truhlářské výrobě.

**Klíčová slova:** Talysurf CLI 1000, Mitutoyo SJ - 201 P, frézování povrchu, kvalita povrchu, nátěrová hmota

**Name:** Pavel Lysáček

**The name of the work:** The surface quality in milling wood and applicability for applying the paints matter

**Abstract**

The thesis evaluates the surface quality during 6000 and 9000 revolutions of shaft per minute. There were used feed rates of the workpiece from 10 to 40 m/min, there were chosen feed rates 10 and 20 m/min for applying the painting matter and for detailed research. Two instruments with different methods of surface evaluation were used for assessing the surface quality. Roughness tester Mitutoyo SJ - 201 P represents contact measurement and Talysurf CLI 1000 is for the contactless measurement. Both of these instruments were used before and after applying the water-based painting matter in the factory of joinery production.

Keywords: Talysurf CLI 1000, Mitutoyo SJ - 201 P, surface milling, surface quality, painting matter

# Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	CÍL PRÁCE.....	2
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED.....	3
<b>3.1</b>	<b>Problematika rovinného frézování .....</b>	<b>3</b>
3.1.1	Charakteristika frézování .....	3
3.1.2	Kinematika frézování .....	6
3.1.3	Otupení frézovacího nástroje .....	7
3.1.4	Kvalita frézovaného povrchu .....	9
3.1.4.1	Kinematické nerovnosti.....	9
3.1.4.2	Vytrhání svazků dřevních vláken .....	11
3.1.4.3	Vliv činitelů na kvalitu povrchu .....	12
<b>3.2</b>	<b>Problematika hodnocení kvality povrchu .....</b>	<b>14</b>
3.2.1	Metody vyhodnocení kvality povrchu kontaktně .....	15
3.2.1.1	Porovnávací metoda .....	15
3.2.1.2	Indukční snímač.....	16
3.2.1.3	Piezoelektrický snímač .....	16
3.2.1.4	Interferometrický laserový snímač (PGI).....	17
3.2.2	Metody vyhodnocení kvality povrchu bezkontaktně .....	18
3.2.2.1	Vizuální metoda .....	18
3.2.2.2	Porovnávací metoda .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
3.2.2.3	Fotometrické hodnocení.....	18
3.2.2.4	Laserový triangulační snímač (PSD).....	18
3.2.2.5	Konfokální (CLA) snímač.....	19
3.2.3	Základní pojmy měření kvality povrchu.....	20
3.2.3.1	Složky povrchu .....	20
3.2.3.2	Filtry profilu.....	21
3.2.3.3	Souřadnicový systém.....	22
3.2.3.4	Skutečný povrch.....	22
3.2.3.5	Profil povrchu.....	22
3.2.3.6	Profily získané filtrem.....	23
3.2.3.7	Základní parametry .....	23
3.2.3.8	Geometrické parametry .....	25

3.2.3.9	Definice parametrů povrchu .....	25
<b>3.3</b>	<b>Problematika nátěrových hmot .....</b>	<b>28</b>
3.3.1	Rozdělení nátěrových hmot .....	29
3.3.1.1	Podle charakteristických vlastností .....	29
3.3.1.2	Podle způsobu vytvrzování .....	29
3.3.1.3	Podle podmínek použití .....	29
3.3.2	Vodou ředitelné nátěrové hmoty .....	30
<b>4</b>	<b>MATERIÁL A METODY .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Použitý materiál .....</b>	<b>31</b>
4.1.1	Dřevo smrku ztepilého (Picea abies) .....	31
4.1.2	Silnovrstvá vodou ředitelná lazura .....	32
<b>4.2</b>	<b>Použité stroje a přístroje .....</b>	<b>33</b>
4.2.1	Vybavení pro frézování dřeva .....	33
4.2.1.1	Frézovací stand .....	33
4.2.1.2	Obráběcí nástroj .....	35
4.2.2	Vybavení pro měření kvality povrchu .....	35
4.2.2.1	Měřicí zařízení Talysurf CLI 1000 .....	35
4.2.2.2	Drsnoměr Mitutoyo SJ - 201 P .....	37
4.2.3	Vybavení pro nanášení nátěrových hmot .....	38
4.2.3.1	Štětec .....	38
4.2.3.2	Stříkací pistole Bosch PSP 260 .....	38
4.2.4	Přístroje pro určení fyzikálních vlastností vzorků .....	39
4.2.4.1	Bezhratový vlhkoměr HM8-WS25 .....	39
4.2.4.2	Laboratorní váha RADWAG .....	41
<b>4.3</b>	<b>Metodika činností .....</b>	<b>42</b>
4.3.1	Příprava vzorků pro měření .....	42
4.3.2	Určení fyzikálních vlastností vzorků .....	42
4.3.2.1	Objemová hustota dřeva .....	42
4.3.2.2	Vlhkost dřeva .....	42
4.3.3	Frézování vzorků .....	43
4.3.3.1	Parametry frézování .....	43
4.3.4	Hodnocení kvality povrchu frézovaných vzorků .....	44
4.3.5	Nanášení nátěrové hmoty .....	46
4.3.6	Opětovné hodnocení kvality povrchu .....	46

<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY</b> .....	<b>47</b>
<b>5.1</b>	<b>Výpočet fyzikálních vlastností</b> .....	<b>47</b>
5.1.1	Měření vlhkosti .....	47
5.1.2	Vážení vzorků.....	48
5.1.3	Výpočet objemové hustoty.....	48
<b>5.2</b>	<b>Výpočet nánosu nátěrové hmoty</b> .....	<b>49</b>
<b>5.3</b>	<b>Výsledky měření Mitutoyo SJ - 201 P</b> .....	<b>50</b>
5.3.1	Vzorky bez nátěrové hmoty.....	50
5.3.2	Vzorky s nátěrovou hmotou .....	52
5.3.3	Porovnání frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.....	54
5.3.3.1	Parametr profilu drsnosti Ra .....	54
5.3.3.2	Parametr profilu drsnosti Rz .....	55
<b>5.4</b>	<b>Výsledky měření Talysurf CLI 1000</b> .....	<b>57</b>
5.4.1	Vzorky bez nátěrové hmoty.....	57
5.4.2	Vzorky s nátěrovou hmotou .....	59
5.4.3	Porovnání mezních vlnových délek cut-off.....	60
5.4.3.1	Povrch při 6000 ot/min a posuvu 10 m/min .....	61
5.4.3.2	Povrch při 6000 ot/min a posuvu 20 m/min .....	62
5.4.3.3	Povrch při 9000 ot/min a posuvu 10 m/min .....	63
5.4.3.4	Povrch při 9000 ot/min a posuvu 20 m/min .....	64
5.4.4	Porovnání vzorků s různými parametry obrábění.....	67
5.4.4.1	Hodnocení frézovaných vzorků .....	67
5.4.4.2	Hodnocení vzorků s nátěrovou hmotou.....	68
5.4.5	Porovnání frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.....	70
5.4.5.1	3D povrchy před a po nanesení nátěrové hmoty.....	70
5.4.5.2	Parametr profilu drsnosti Ra .....	72
5.4.5.3	Parametr profilu drsnosti Rt.....	74
5.4.5.4	Parametr profilu drsnosti Rz .....	75
5.4.5.5	Parametry profilu drsnosti RSm .....	77
5.4.5.6	Parametr profilu vlnitosti Wa .....	78
5.4.5.7	Parametr profilu vlnitosti Wt .....	79
5.4.5.8	Parametr profilu drsnosti Wz .....	81
5.4.5.9	Parametry vlnitosti WSm .....	82
5.4.6	Porovnání výsledků z použitých měřících zařízení .....	83



6	DISKUZE .....	85
7	ZÁVĚR .....	88
8	SUMMARY .....	89
9	CITOVANÁ LITERATURA.....	90
10	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	93
11	SEZNAM TABULEK.....	96

## 1 Úvod

Aby mohly být dřevoobráběcí firmy v dnešní době konkurenceschopné, musí zvyšovat produktivitu práce. Jedním z činitelů, kterými lze ovlivnit produktivitu práce v takovýchto firmách, je zrychlit obrábění dřeva. Jak je již všeobecně známé, při zvyšování rychlosti posuvu materiálu do stroje klesá kvalita obrobené plochy. Proto se hledá kompromis mezi rychlostí a kvalitou obrábění. Tato práce se zabývá jedním ze způsobů obrábění dřeva, a to frézováním. Frézování dřeva je využíváno v mnoha odvětvích zpracování dřeva. Práce se zaměřuje na kvalitu opracování dřeva, pro stavebně truhlářskou výrobu, hlavně oken a dveří.

I nejkvalitněji obrobené dřevo by se časem, na těchto výrobcích, bez ochrany znehodnotilo. Za účelem ochrany nanášíme na obrobky nátěrovou hmotu. Proto je důležité kvalitu povrchu posuzovat i po nanesení této nátěrové hmoty. Moderní výroby nejčastěji pracují s vodou ředitelnými nátěrovými hmotami. Práce si dává za cíl najít vhodné parametry obrábění pro nanášení nátěrové hmoty bez předchozího broušení.

## **2 Cíl práce**

Cílem této diplomové práce je zjistit kvalitu povrchu při různých parametrech obrábění. Poté ji vyhodnotit a určit povrchy vhodné pro nanášení nátěrové hmoty bez předchozího broušení. Po vyhodnocení frézovaného povrchu, nanést na vybrané povrchy nátěrovou hmotu a opětovně zjistit kvalitu povrchu. Vyhodnocený povrch s nátěrovými hmotami srovnat s povrchem bez nátěrové hmoty. Z těchto výsledků určit, které parametry obrábění jsou vhodné k takovéto povrchové úpravě při udržení určité kvality povrchu.

### **3 Literární přehled**

#### **3.1 Problematika rovinného frézování**

##### **3.1.1 Charakteristika frézování**

Frézováním nazýváme technologickou operaci třískového obrábění, při kterém se materiál odebírá vícebřítým frézovacím nástrojem např. frézovací hlavou, přičemž tvar obrobku může být povrchově rovný nebo profilovaný. Vedlejším produktem frézování je tříska nerovnoměrné tloušťky (Lisičan 1988).

Tento postup obrábění lze zvolit pro tvorbu precisních dimenzí obrobků s hladkým nebo tvarovaným povrchem. Hladký povrch obrobku se dosahuje srovnávacími nebo tloušťkovačkami. Tvarová plocha se tvoří spodními nebo horními frézky. Při této úvaze se frézování dělí na rovinné a tvarové (Drápela 1980).

Prokeš (1978) frézování dělí podle osy otáčení a její polohy, také podle ploch, které opisují břity nástroje při frézování. Dělí se na čtyři druhy frézování Obr. 1.

##### **a) Válcové**

- osa frézovacího prostředku, po které se otáčí, je rovnoběžná s obráběnou plochou.
- břity frézovacího nástroje opisují válcovou plochu.

##### **b) Kuželové**

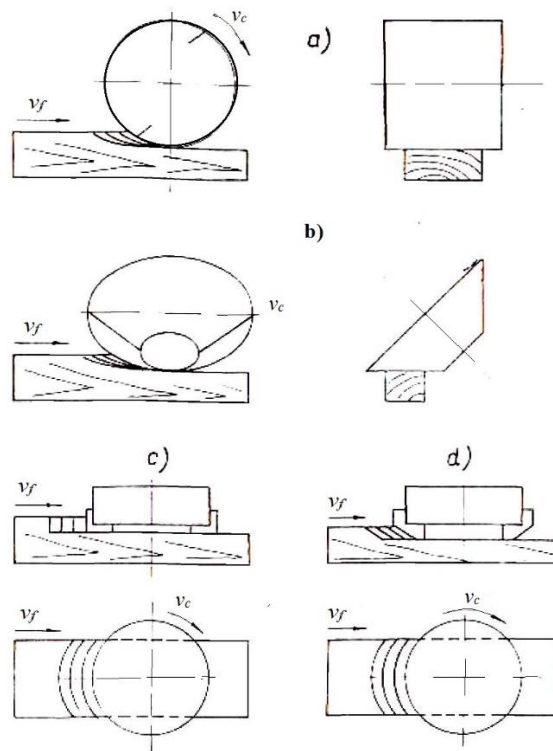
- osa, po které se frézovací prostředek otáčí je nahnuta pod úhlem, k opracovávané ploše.
- břity nástroje na frézování opisují kuželovou plochu, oddělování třísky má principi stejný jako u válcového frézování.

##### **c) Čelní**

- osa, po které se frézovací prostředek otáčí, je kolmá k opracovanému povrchu
- frézovací břity opisují válcovou plochu.
- boční frézovací břity pracují na zásadě válcového frézování zhruba kolmo k orientaci dřevních vláken, břity čelní jsou rovnoběžně s frézovaným povrchem.
- používá se u vybraných tvarových a stopkových fréz.

#### d) Čelně kuželové

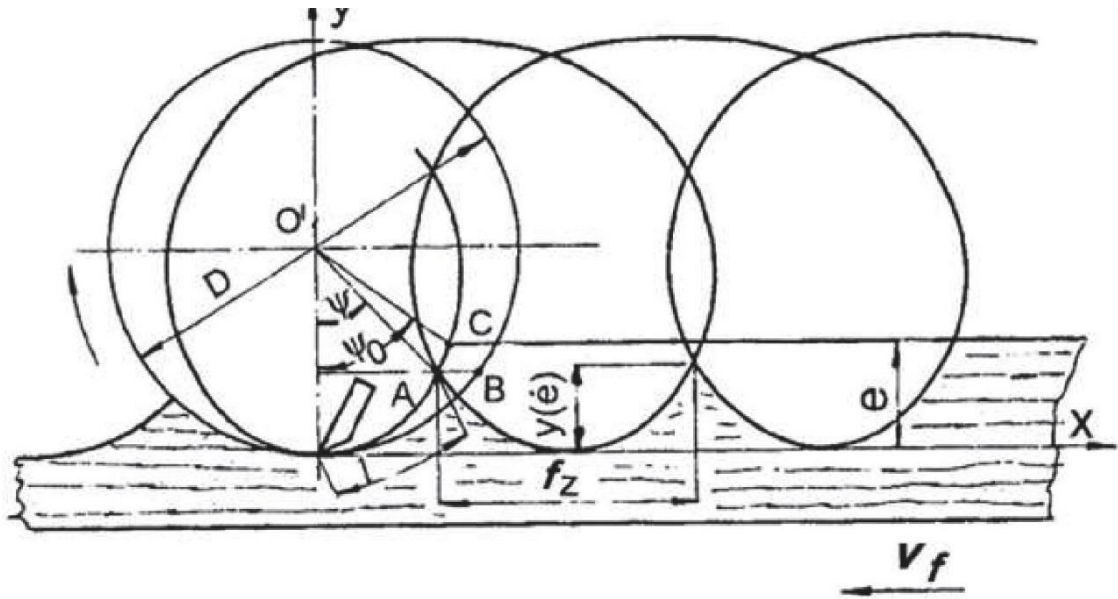
- osa, po které se otáčí frézovací prostředek, je kolmá k frézovanému povrchu, rozdílně od předchozího druhu frézování jsou břity nakloněny, k frézovanému povrchu pod úhlem.
- frézovací břit je zaoblený nebo přímý.



Obr. 1 – Frézování podle polohy osy otáčení, a tvaru ploch opisující břity. (Prokeš, 1978)

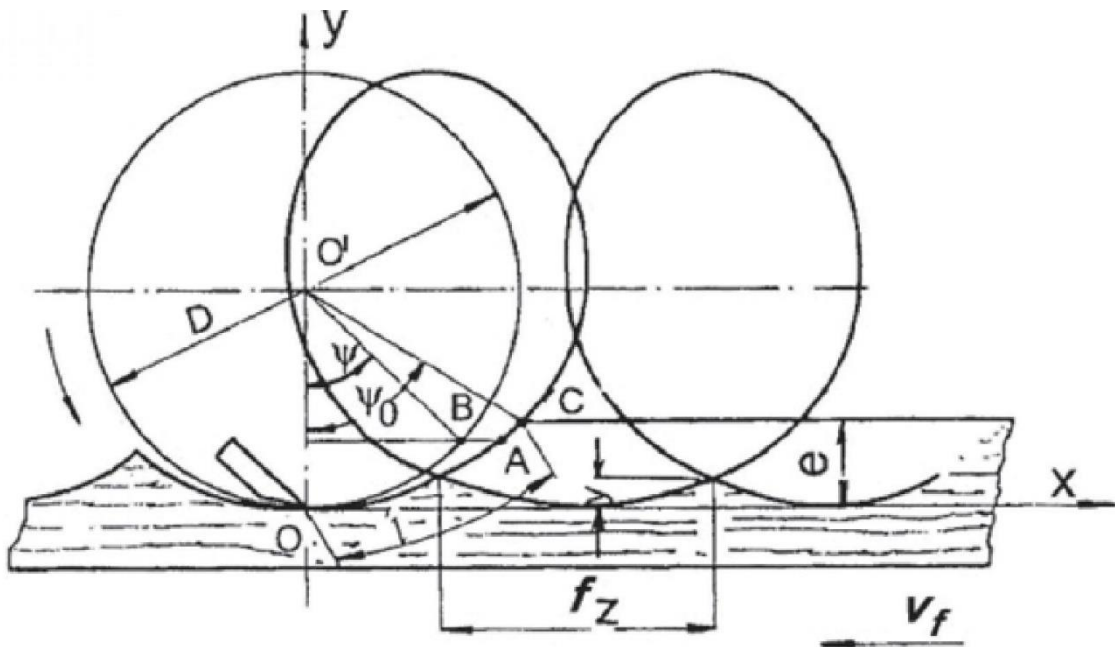
V praxi se při frézování používají také pojmy **sousledné** nebo **nesousledné frézování**.

Při sousledném frézování se obrobek posouvá ve stejném směru jako směr otáčení frézovací hlavy. Trajektorie břitu je popsán na obr. 2.



Obr. 2 – Trajektorie pohybu nástroje při sousledném frézování. (Lisičan, 1988)

Při nesousledném frézování se obrobek pohybuje proti směru otáčení frézovací hlavy. Trajektorie bříty je zobrazena na obr. 3 (Lisičan, 1988).

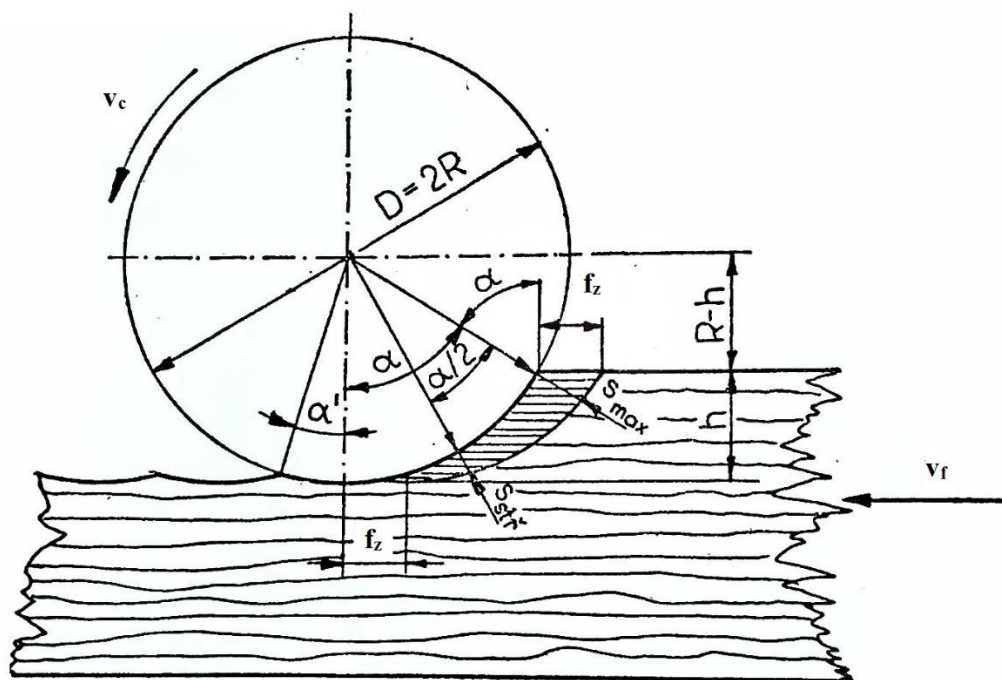


Obr. 3 – Trajektorie pohybu nástroje při nesousledném frézování. (Lisičan, 1988)

### 3.1.2 Kinematika frézování

Na obr. 4. je zobrazena kinematika oddělování třísky při frézování. Při frézování v praxi, vlivem otupení nástroje, vychýlení při chodu vřetene, vybočení břitů od řezné kružnice, v neposlední řadě také odštěpování a heterogenity obráběného materiálu se třísky odlišuje od jmenovitého průřezu.

Břít frézovacího nástroje opisuje cykloidu. U větších průměrů frézovacích prostředků je řezná rychlost s rychlostí posuvu ve velmi vysokém poměru. Proto na části záběru břitu můžeme předpokládat, že dráha vytváří kružnici (Prokeš, 1978).



Obr. 4– Schéma oddělování třísky při válcovém frézování. (Drápela, 1980)

**Hlavní řezný pohyb** – nástroj jej provádí nejčastěji rovnoměrně rotačním pohybem, charakterizovaný je **řeznou rychlostí**.

$$v_c = \frac{\pi * D * n}{60 * 1000} \quad (\text{m.s}^{-1}) \quad (1)$$

$n$  – počet otáček za minutu

$D$  – průměr nástroje

**Vedlejší řezný pohyb** – posuv, který vykonává obvykle obrobek. Značí se  $v_f$  a je dán vzájemným posuvem nástroje a obrobku za časovou jednotku např.  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ .

**Posuv na jeden břit nástroje** (posuv na zub):

$$f_z = \frac{v_f * 1000}{n * z} \quad (\text{mm}) \quad (2)$$

$z$  – počet břitů

**Rychlost posuvu** obráběného materiálu za minutu.

$$v_f = \frac{f_z * n * z}{1000} \quad (\text{m}\cdot\text{min}^{-1}) \quad (3)$$

U větších průměrů frézovacích prostředků, menší tloušťce odebírané vrstvy a malých posuvů, je možné použít prostého vztahu pro výpočet **délky třísky** (4).

$$l = R \sqrt{2 \frac{h}{R}} = \sqrt{h * D} \quad (\text{mm}) \quad (4)$$

$h$  – tloušťka odebírané vrstvy

Teoretická **střední tloušťka třísky**.

$$S_{stř} = \frac{f_z * h}{l} \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

Spojitosť mezi posuvem na jeden břit frézovacího nástroje a rychlostí posuvu.

$$f_z = \frac{v_f * 1000}{n * z} \quad (\text{mm}) \Rightarrow v_f = \frac{n * z * f_z}{1000} \quad (\text{m}\cdot\text{min}^{-1}) \quad (6)$$

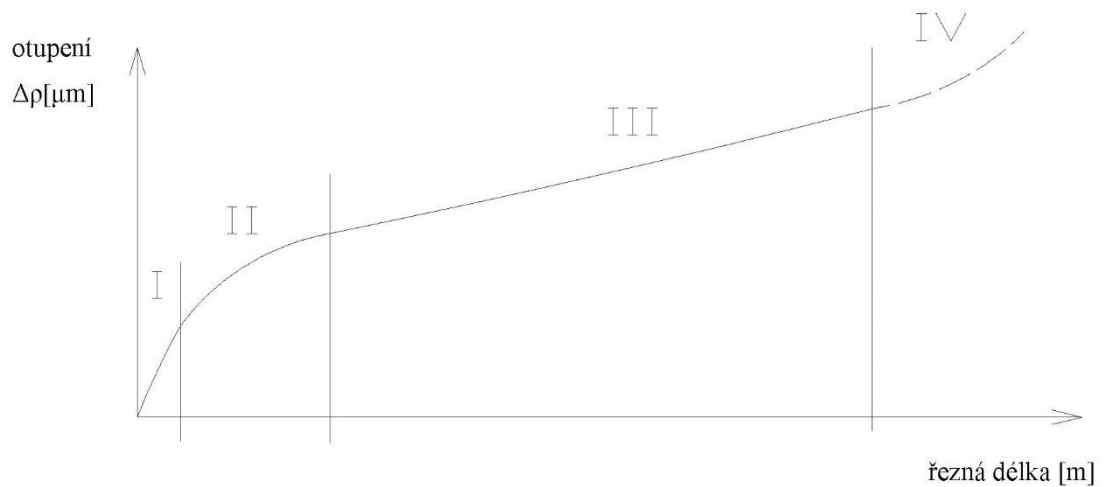
### 3.1.3 Otupení frézovacího nástroje

Pod pojmem otupení nástroje se rozumí změna mikrogeometrie břitu při obrábění. Břit je otupený, pokud dospěje do kritické situace, při které jsou viditelné nežádoucí znaky. Otupený břit pálí materiál, zvětšuje rozměrové nepřesnosti a je potřebné zvýšení síly posuvu.

Otupování je charakterizováno trvanlivostí břitu (čas, po který břit pracuje). Trvanlivost břitu se vyjadřuje v čase (jak zůstane dlouho břit naostřený) a v délkových



jednotkách (po jaké délce vykonané dráhy se otupí). Životnost nástroje je vymezený čas, po který je nástroj schopný plnit svou funkci (násobek trvanlivosti ostří). (Prokeš, 1978)



Obr. 5 – Fáze otupování nástroje. (Varkoček, 1996)

Průběh otupení popsaný v obr. 5 je platný pro břity z nástrojových ocelí, pro slinuté karbidy, stelity a keramické materiály. Můžeme pozorovat 3 fáze:

- I. V této fázi, pokud je břit s jehlou, se jehla ohne nebo odlomí. Tato fáze většinou trvá velmi krátce, průběhem prvního záběru břitu.
- II. Křivka stoupá velmi prudce, ale s degresivním charakterem. Velikost změn závisí na vhodnosti geometrie nástroje, abrazivnosti materiálu obrobku, vhodnosti nástroje pro daný druh obrobku, vznikající teplotě, tlaku břitu na obrobek a vhodnosti řezných podmínek (Prokeš, 1978).
- III. Probíhá lineární křivka, proces se stabilizuje a změny mikrogeometrie postupují značně pomaleji. Někteří autoři uvádějí, že toto období končí znovu prudkým růstem otupení (obr. 5 čárkovaná křivka). Tento jev není ale platný obecně (Prokeš, 1978).

Zjišťování opotřebení lze provádět zrakovým posouzením obrobené plochy, obtížností posuvu obrobku a podle rozměrové nepřesnosti. Další metodou je přímé pozorování mikroskopem. Metodu však lze použít jen u břitů s krátkou řeznou dráhou (pilové listy), břit s delší řeznou dráhou není stejnoměrně opotřeben, při pohledu z boku jde vidět jen nejmenší opotřebení. Větší zvětšení se dá použít jen u naostřených břitů, u otupených se musí použít malého zvětšení.

Metoda otisku, měkké olovo se vylisuje do komolého kuželíku, dva takovéto kuželíky se hladkou stranou přiloží na sebe do snímacího přípravku. Kuželíky s přípravkem se vtisknou na břit, kuželíky se oddělí a vzniklé profily se pozorují na mikroskopu. Výhodou je, že měření lze provádět přímo na stroji, dostačující preciznost a použití pro jakýkoliv úhel a profil břítu. Příprava je ale dost pracná.

Metoda světelné štěrbinové dvojitého Schmalzovým mikroskopem je vhodná pouze pro menší zvětšení, jelikož může dojít ke zkreslení. Proužková metoda využívá toho, že s rostoucím opotřebením se zvětšuje šířka odraženého světla od zaoblené řezné hrany. Výhodou je rychlost a přesnost. Pro značně přesné zjištění opotřebenění břítu lze použít registrační profilometr, kde se nerovnost sleduje diamantovým hrotem (Prokeš, 1978)

### **3.1.4 Kvalita frézovaného povrchu**

Kvalitu obráběného povrchu můžeme posuzovat podle kinematických nerovností (vzdálenost a hloubka vlnek) nebo podle vytrhávání vláken dřeva.

#### **3.1.4.1 Kinematické nerovnosti**

Tyto nerovnosti obráběného povrchu jsou výsledkem mnoha faktorů. Nejdůležitější jsou počet otáček frézovacího nástroje, rychlost posuvu obráběného materiálu, počet břitů jejich odchylky od řezné kružnice a průměr nástroje, v neposlední řadě také preciznosti vedení materiálu do řezu (Drápela, 1980).

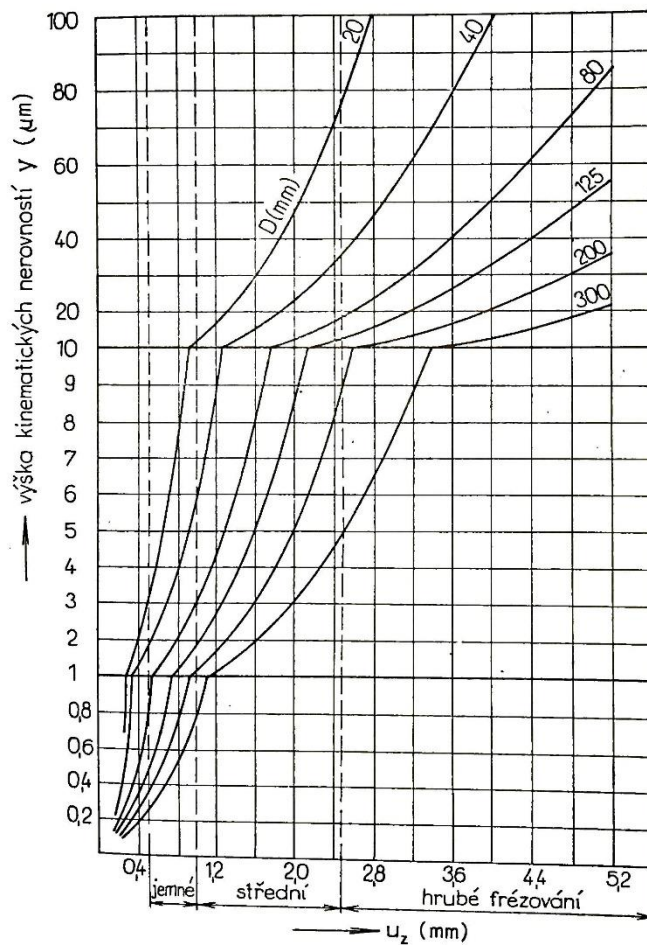
Z praktického hlediska lze zanedbat sousledné či nesousledné frézování při posuzování kinematických nerovností. Prokluz břítu, který může nastat při nesousledném frézování otupeným břitem a mohl by ovlivnit výšku nerovností, lze také zanedbat (Prokeš 1978).

Pro výpočet intervalu vrcholů vlnek lze použít vzorec pro posuv na jeden břit.

$$f_z = \frac{v_f * 1000}{n * z} \quad (\text{mm}) \quad (7)$$

Po vzdálenosti vlnek, je pro kvalitu obrábění také důležité posuzovat hloubku vlnek. Hloubka vlnek se mění s různými průměry nástroje a posuv na břit  $u_z$ . Určení

hloubky vlnek a vzdálenosti vrcholů vlnek lze s dostačující přesností určit podle nomogramu na obr. 6.



Obr. 6 – Nomogram pro určení intervalu vrcholů a hloubky vlnek. (Drápela, 1980)

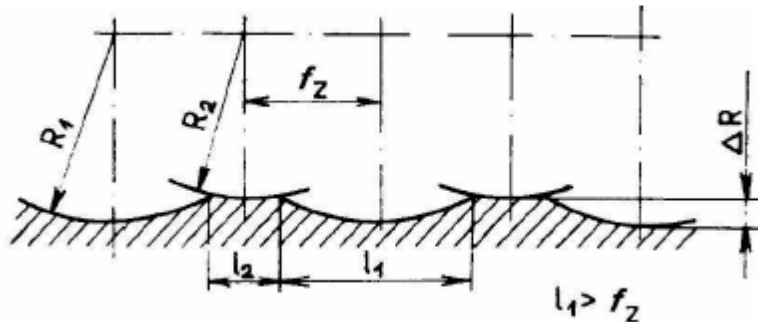
Za podmínky, že břity u vícebřitých nástrojů jsou přesně na řezné kružnici, je použit vzorec pro výpočet teoretické hloubky vlnky (8).

$$y = \frac{f_z^2}{4 * D} \quad (\text{mm}) \quad (8)$$

U vícebřitých fréz je pro velikost kinematických nerovností odchylka břitů od řezné kružnice. V praxi je téměř nemožné dosáhnout větší přesnosti seřízení jako 0,02 mm. V případě, že se vychýlí jeden břit a má větší řeznou kružnici, ostatní břity nezabírají a fréza se chová jako jednobřítá. Při známé přesnosti seřízení frézovacího nástroje můžeme požit pro stanovení potřebného posuvu vzorec pro mezní posuv (9) (Drápela, 1980).

$$v_{f\text{ mez}} = \frac{n * z}{1000} * \sqrt{D * \tau} \quad (\text{m.min}^{-1}) \quad (9)$$

$\tau$  = odchylka břitu od poloměru řezné kružnice.

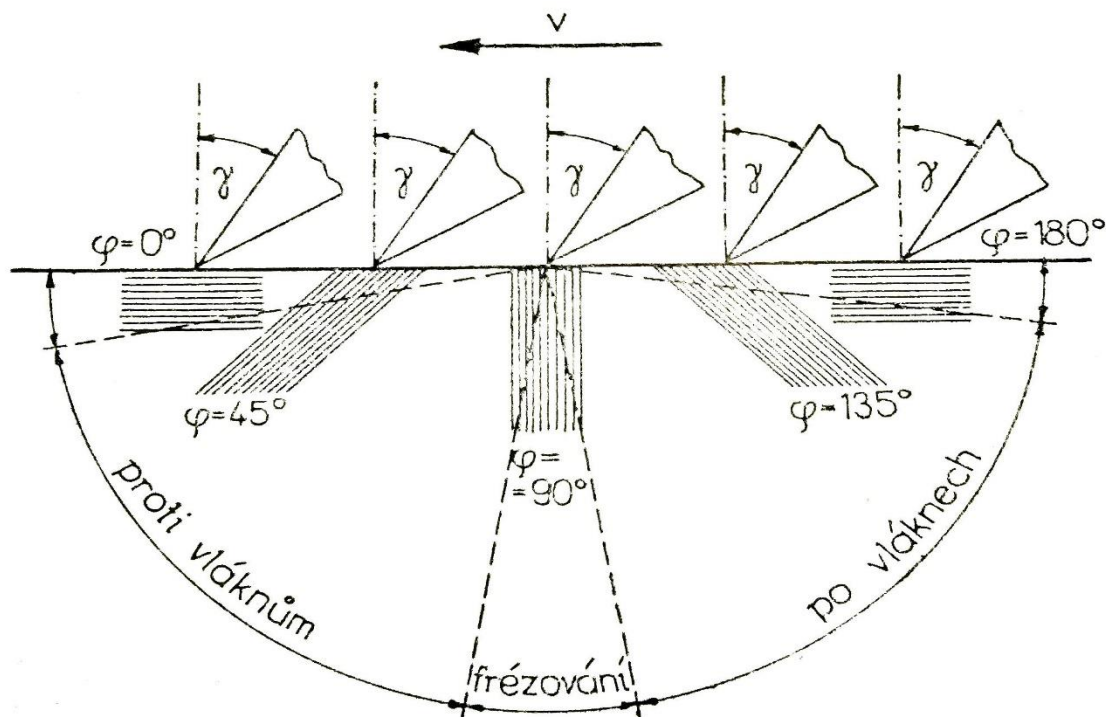


Obr. 7 – Povrch obrobku při odchylce břitů od řezné kružnice. (Lisičan, 1996)

### 3.1.4.2 Vytrhání svazků dřevních vláken

Vytrhávání svazků dřevních vláken závisí hlavně na směru dřevních vláken, na velikosti odebírané třísky, na geometrii břitu, u frézovacích hlav také na podobě a stavu lamače třísek. Nejméně vhodný úhel dotyku  $\varphi$  je  $30^\circ - 60^\circ$  obrábění proti vláknům obr. 8. Povrch měkkých dřevin s velkými rozdíly letního a jarního dřeva je při stejných frézovacích podmínkách více vytrháván než povrch tvrdých dřevin se stejnoměrnou strukturou.

Nejčastěji vznikají tzv. koncové odlomky v místech, kde nástroj opouští obrobek. Všeobecně platí, čím je větší úhel řezu, posuv na břit a otupení nástroje, tím jsou odlomky větší. Zanedbatelné jsou odlomky a vyštípnutí do délky 0,2 mm. Zmenšováním posuvu na břit pod 0,1 mm se délka odlomků nezmenšuje.



Obr. 8 – Úhel dotyku nástroje s dřevními vlákny. (Drápela, 1980)

### 3.1.4.3 Vliv činitelů na kvalitu povrchu

Typickými faktory, které určují jakost opracování u obráběného materiálu, jsou: mechanické vlastnosti, druh materiálu, orientace vláken ke směru pohybu břitu, vlhkost materiálu. Druh a vlastnosti obráběného materiálu je možné považovat za nositele podmínek frézování.

Další kategorií, faktorů ovlivňující kvalitu povrchu při obrábění, jsou parametry obrábění, řezná a posuvná rychlost. Kvalita povrchu a rychlostní parametry při obrábění jsou ovlivněny nástrojem (materiál, geometrie, ...) a konstrukcí stroje (Nemec, 1986). Nerovnosti ovlivněné těmito faktory se nazývají kinematické nerovnosti, popsané v kapitole 3.1.4.1.

#### 3.1.4.3.1 Vlhkost dřeva

Vlhkost dřeva se rozumí množství vody, které se nachází ve dřevě. Vyjadřuje se poměrem hmotnosti vody k hmotnosti absolutně suchého dřeva, hovoříme tedy o absolutní vlhkosti. Nejčastější vyjádření vlhkosti dřeva je v % (Požgaj, 1997).

Vztah pro výpočet absolutní vlhkosti:

$$w_{abs} = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (\%) \quad (10)$$

$m_0$  – hmotnost dřeva v absolutně suchém stavu (hmotnost dřeva po vysušení při teplotě  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ )

$m_w$  – hmotnost dřeva při vlhkosti  $w$ .

### **Měření vlhkosti dřeva**

Hmotnostní (gravimetrická) metoda

- Spočívá v přímém zjištění skutečného množství vody ve dřevě. Vážením se zjistí hmotnost vlhkého a hmotnost vysušeného dřeva. Sušení se provádí v sušárně při teplotě  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  za určitý čas. Z hmotnosti před vysušením a po vysušení se vypočítá vlhkost podle vzorce (10).

Elektrické vlhkoměry

- Přístroj, jehož činnost spočívá v měření některé elektrické veličiny dřeva, která je ovlivněna vlhkostí dřeva.

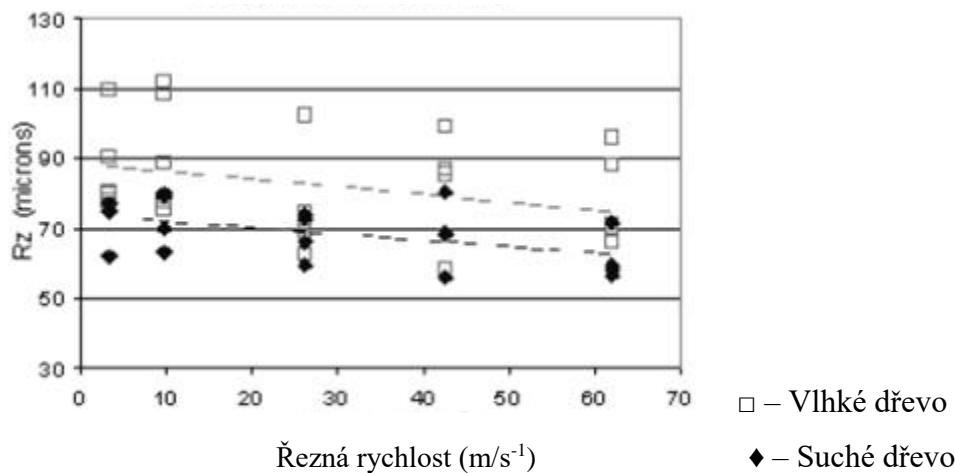
### **Vliv vlhkosti dřeva na kvalitu opracování**

Vlhkost dřeva v rozsahu  $8 \pm 2\%$  podstatně neovlivňuje kvalitu opracované plochy (Nemec, 1986). Nejhorší výsledky má opracovaná plocha dřeva s vlhkostí 30% (Lisičan, 1996).

Na vlhkosti dřeva je závislá jeho pružnost, tvrdost a pevnost. Snižováním vlhkosti se dřevo stává křehčím, to může mít za následek poškození frézovaného povrchu vyštípáním. V opačném případě, kdy má dřevo vyšší vlhkost, se kvalita zhoršuje v důsledku snížené pevnosti dřeva.

Rozdílné chování letního a jarního dřeva při měnící se vlhkosti způsobuje povrchové nerovnosti. Ty jsou vysvětleny tím, že vlhké jarní dřevo je pružnější než dřevo letní, proto vystupuje na povrch plochy. (Nemec, 1986)

Costes (2002) uvádí příklad rozdílnosti v drsnosti povrchu při frézování suchého a vlhkého dřeva ( $w = 55\%$ ) na obr. 9.



Obr. 9 – Graf závislosti vlhkosti na drsnosti frézoaného povrchu. (Costes, 2002)

### 3.2 Problematika hodnocení kvality povrchu

Především v druhovýrobě k hlavním kritériím obráběcího procesu patří drsnost povrchu. Dřevo je hodně proměnlivý materiál, proto i kvalita stejné řezné plochy různorodá. Vady při hodnocení obrobeného povrchu je vhodné rozdělit na vady způsobené nástrojem a ostatní vady.

Vady způsobené nástrojem je možné rozdělit, na vady pravidelně se opakující (kinematické nerovnosti) a vady nahodilé. Ostatní vady jsou místa po vypadlých sucích, smolníky, trhliny ve dřevě a jsou následkem kvality a stavu obráběného materiálu. Do ostatních vad také patří místa, která jsou poškozena podávacím zařízením např. vrypy po podávacích válcích, zamačkané třísky a ostatních nečistot do povrchu atd. (Kotěšovec, 1981).

Cílem měření kvality povrchu je popsat geometrické a fyzikální vlastnosti povrchu, a jejich vztah k funkčním požadavkům. Rozlišujeme dvě metody:

#### a) Kontaktní metoda

- Je nejběžnější metoda pro hodnocení kvality povrchu.
- Spočívá v záznamu povrchu mechanickým hrotem, u kterého se odchylky zapisují citlivým systémem na elektrický signál.
- Nejdůležitější částí je hrot z diamantu, ten má dané parametry normou ČSN EN ISO 3274.

- Nevýhodou tohoto způsobu je, že snímač může zanechat na měřeném povrchu škrábance.
- Výhodou je, že povrch nemusí být zbaven všech nečistot, mohou být měřeny i součástky, které nejsou ve vodorovné poloze.

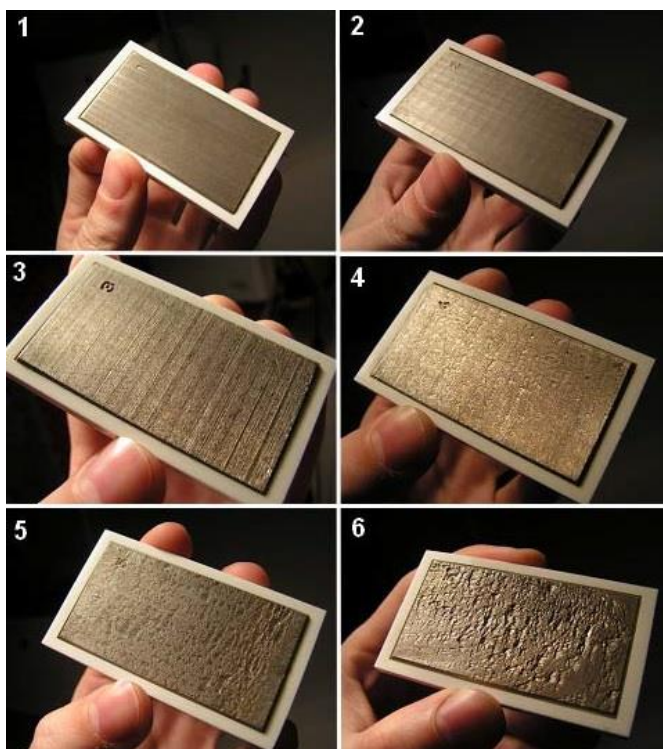
#### b) Bezkontaktní metoda

- Díky velké přesnosti se v dnešní době stále častěji používají.
- Snímací hrot je nahrazen paprskem elektromagnetického záření.
- Možnost měření větší části než u kontaktních metod.
- Fotometrické hodnocení, laserový triangulační snímač (PSD), konfokální CLA snímač

### 3.2.1 Metody vyhodnocení kvality povrchu kontaktně

#### 3.2.1.1 Porovnávací metoda

Při této metodě se povrch hodnotí pohledem a dotykem, kombinuje tedy kontaktní i bezkontaktní způsob. Pro hodnocení se musí vytvořit porovnávací stupnice (etanoly) uvedeny na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** S těmito etanoly se porovnává obrobený povrch a určí se jeho kvalita. Metoda je závislá na lidském faktoru.

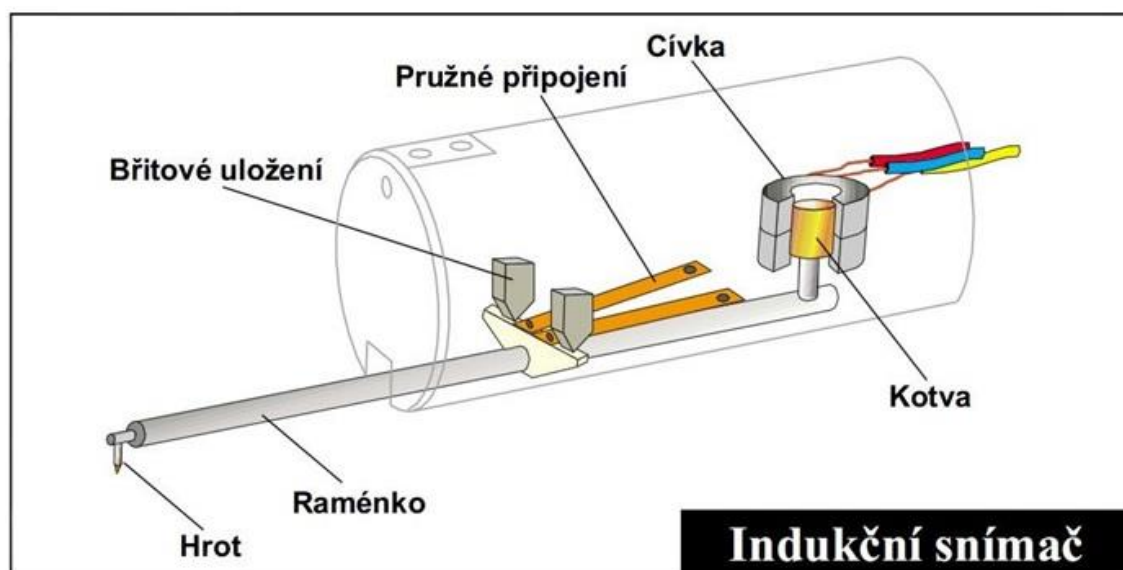


Obr. 10 – Vzorkovnice frézovaných povrchů drsnosti. (ČSN EN ISO 25178-2)



### 3.2.1.2 Indukční snímač

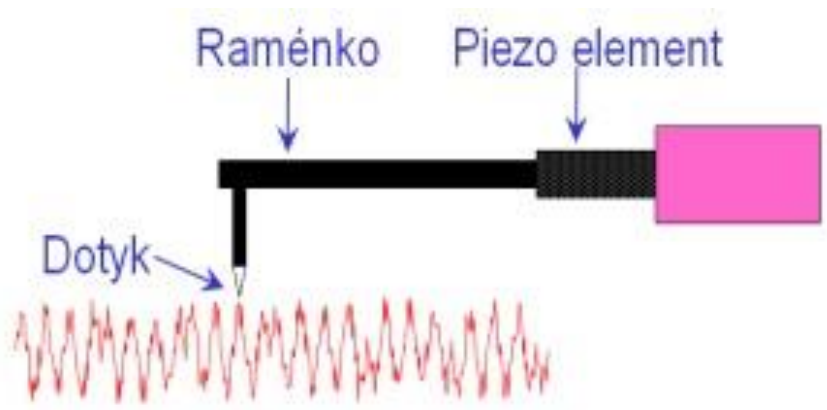
Přístroj je založen na principu pákového systému, na jedné straně je měřicí zařízení ze dvou cívek a jednoho magnetu, na straně druhé je hrot pohybující se po povrchu obrobku. Cívky indikují změnu magnetického pole a převádí jej na elektrický signál, ten je zaznamenán v podobě digitálních dat. Malá měřicí síla minimalizuje nebezpečí poškození měřeného povrchu.



Obr. 11 – Popis indukčního snímače. (ČSN EN ISO 4288)

### 3.2.1.3 Piezoelektrický snímač

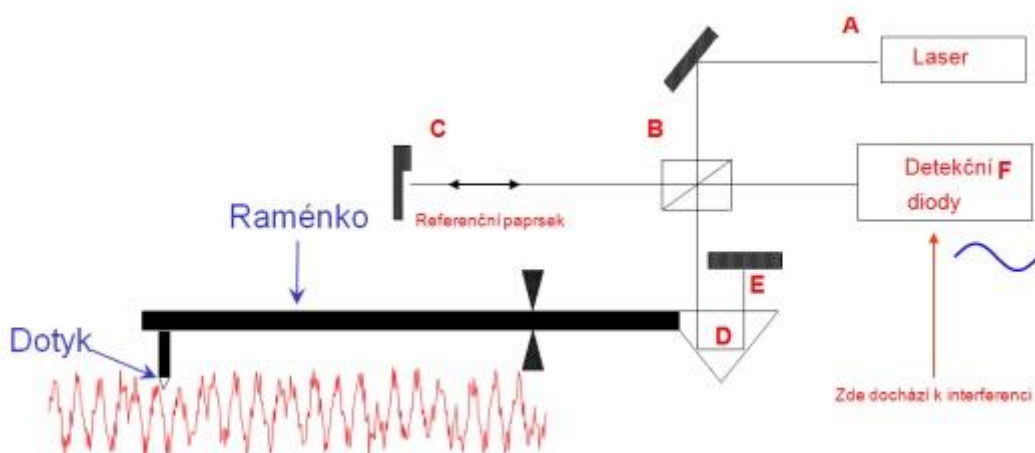
Snímač používá piezoelektrický jev, kdy je krystal schopen generovat elektrické napětí při deformaci. Vhodný pro malé přenosné přístroje, stačí mu jednoduchá elektronika. Má výbornou odezvu na vysokých frekvencích, proto je ideální pro malý zdvih snímače. Nevýhodou tohoto snímače je malý rozsah, malou odezvu na nízkých frekvencích a je citlivý na teplotu a vlhkost.



Obr. 12 – Popis piezoelektrického snímače (Svatoš, 2009)

### 3.2.1.4 Interferometrický laserový snímač (PGI)

Tento snímač patří dnes mezi velmi přesné a moderní dotykové snímače. Světlo o určité vlnové délce je z laseru posláno přes zrcadlo do dělicího zrcadla. V dělicím zrcadle se paprsek rozdělí na referenční a měřící vlnu. Měřící vlna se od zrcadla předmětu vrátí zpět a v interferometru se s referenčním paprskem, odraženým od pevného zrcadla, nechá interferovat. Vlnové délky paprsku měřícího se ve funkci interference posunou a mění fázi k paprsku referenčnímu. Detekční dioda snímá interferované světlo a každé zatmění je jedna vlnová délka. Změna intenzity paprsku je zaznamenána jako pohyb předmětu. Snímač se vyznačuje vysokou přesností a linearitou, velkým rozsahem a rozlišením.



Obr. 13 – Princip interferometrického snímače při měření drsnosti. (Svatoš, 2009)

## **3.2.2 Metody vyhodnocení kvality povrchu bezkontaktně**

### **3.2.2.1 Vizuální metoda**

Nejjednodušší a také nejstarší metoda je založena na vnímání povrchu lidským okem. Metoda je používána jen velmi málo, protože sní nelze dosáhnout velkých přesností. Za pomoci lupy nebo jen okem se na povrchu sledují stopy po obrábění, trhliny, škrábance atd.



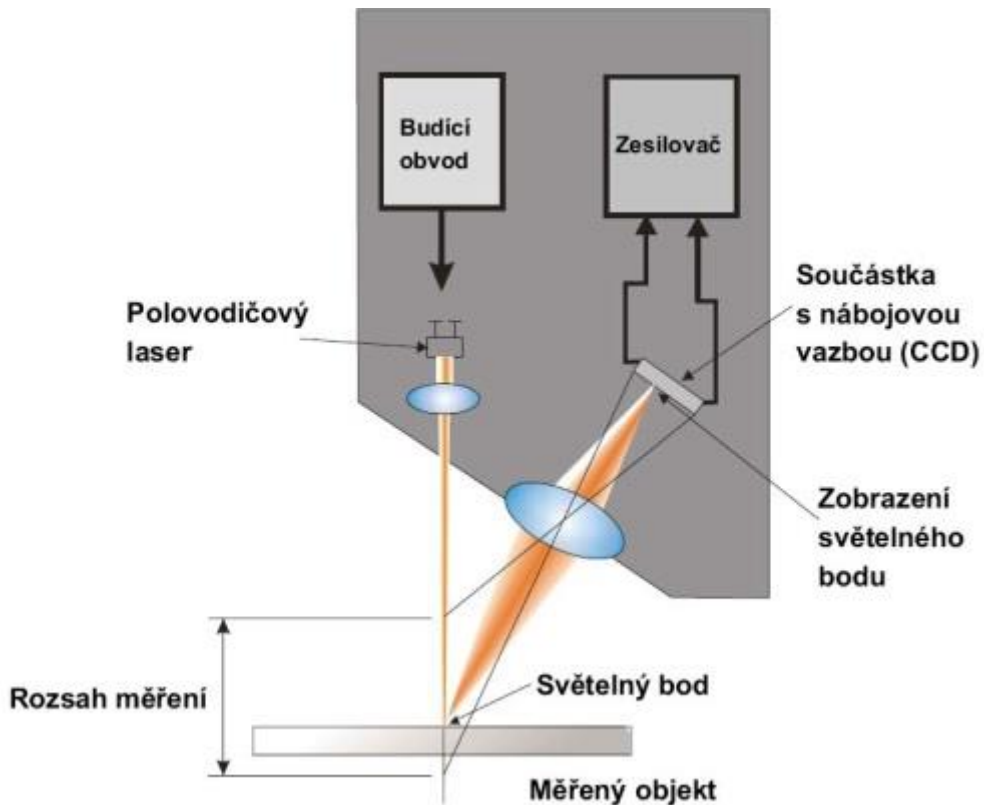
*Obr. 14 – Vizuální metoda kontroly*

### **3.2.2.2 Fotometrické hodnocení**

Velmi jednoduchá metoda založena na snímkování povrchu. Vzorek se vloží pod snímkovací kameru a vzniklé snímky se prostřednictvím softwaru vyhodnotí. Nevýhodou je nerovnoměrné osvětlení, uprostřed je vzorek osvětlen více než na okrajích. Za pomoci této metody lze určit jen hloubku a šířku vlnky.

### **3.2.2.3 Laserový triangulační snímač (PSD)**

Snímač povrchu je založen na principu triangulační metody. Laserový paprsek vyvolaný polovodičovým laserem je vysílán na měřený povrch, od povrchu se odrazí pod nějakým úhlem podle výšky nerovností. Odražený paprsek se snímá na CCD (Charge Coupled Device) snímacím poli. Paprsek se mění s texturou povrchu a přináší různé rozptylové modely.

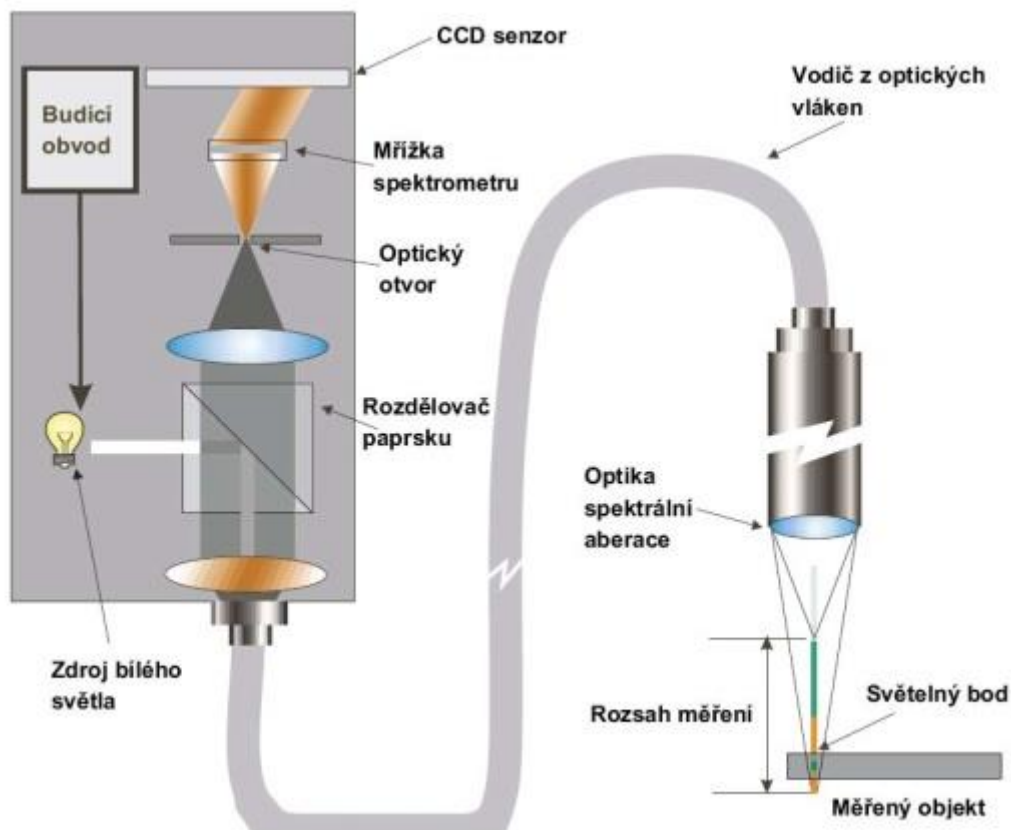


Obr. 15 – Laserový triangulační přístroj (schéma) (Taylor Hobson precision, 2004)

Výhodou je vysoká rychlost, nízká cena a dokáže snímat hrany až do 90 deg. Snímá jen v omezeném rozlišení a nedokáže zaznamenat zastíněné oblasti.

#### 3.2.2.4 Konfokální (CLA) snímač

Bílé světlo je rozloženo podle vlnových délek a pomocí optiky se spektrální aberací je orientováno na měřený povrch. Na povrchu se v každém místě zaostří jen jedna vlnová délka, poté světlo prochází přes štěrbinu, která propustí jen zaostřené vlnové délky. Každá vlnová délka má vzdálenost, při které se zaostří. Spektrometr vychýlí vlnovou délku na CCD senzor, kde je jí přiřazena poloha v prostoru (souřadnice X, Y a Z). Nespornou výhodou je vysoké rozlišení při rychlém snímání s velkou přesností.



Obr. 16 – Schéma konfokálního snímače CLA. (Taylor Hobson precision, 2004)

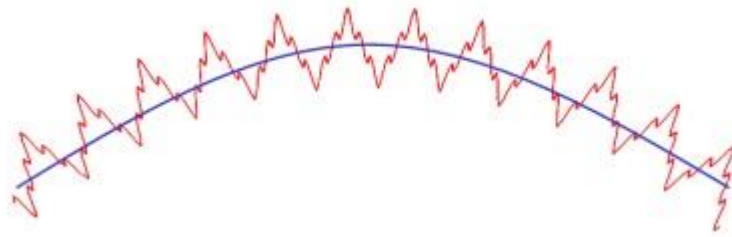
### 3.2.3 Základní pojmy měření kvality povrchu

Měřicí přístroj vytvoří reálný profil povrchu, filtry poté tento profil rozdělí na profil drsnosti a vlnitosti. Kvůli dalšímu vyhodnocení a pochopení funkce přístrojů na měření kvality povrchu je potřeba znát určité pojmy. Použité definice jsou převzaty z normy ČSN EN ISO 4287.

#### 3.2.3.1 Složky povrchu

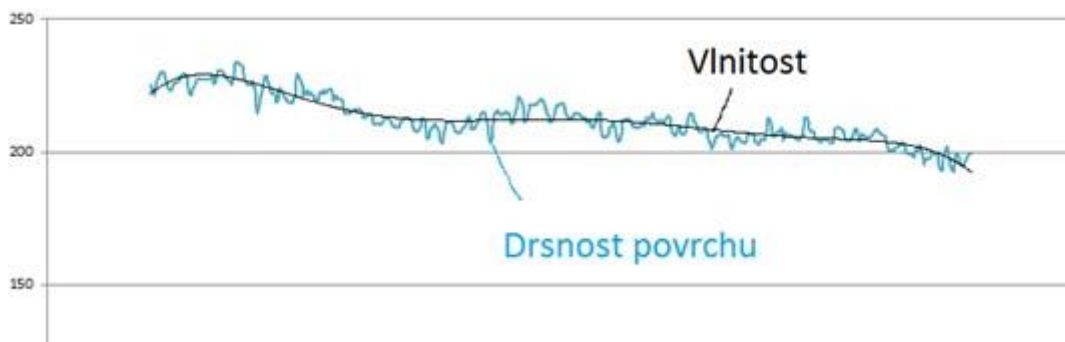
Na reálném povrchu obrobku rozlišujeme tři typy nerovností, které se zde objevují v určité kombinaci.

- a) **Tvarové nerovnosti povrchu:** (obr. 17) Jde o nerovnosti povrchu obrobku, nejčastěji jsou způsobeny křivou vodící plochou stroje, nebo nedostatečným upnutím.



Obr. 17 – Tvar povrchu

**b) Drsnost povrchu:** (obr. 18) Mikronerovnosti povrchu vznikající působením řezného nástroje nebo brusiva. Procedura výroby na povrchu zanechává stopy, periodicky nebo náhodně. Nerovnostmi ostří nástroje, vytrháváním mikročástic vznikají jemné složky struktury povrchu.



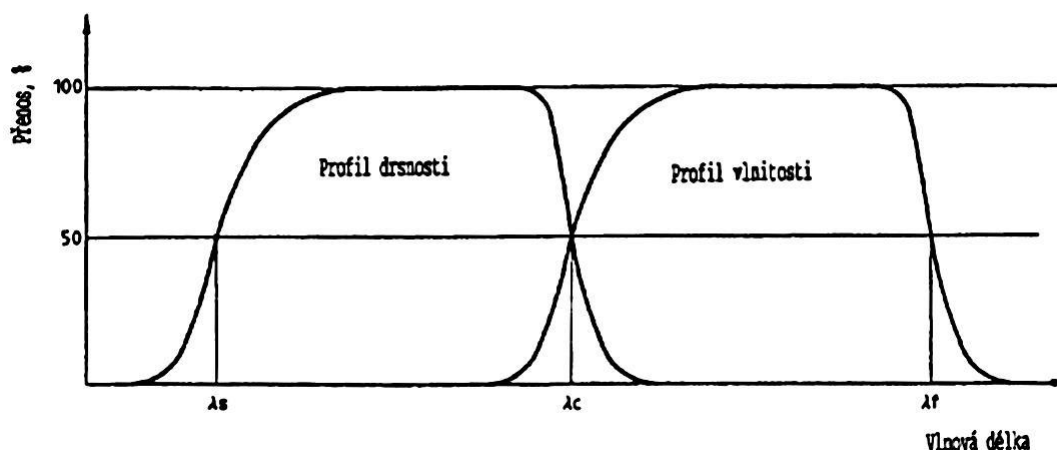
Obr. 18 – Profil drsnosti a vlnitosti.

**c) Vlnitost povrchu:** (obr. 18) Makronerovnost, na kterou je superponována drsnost, popisuje periodicky se opakující nerovnost. Podstatně menší než tvarové nerovnosti od povrchu. Vlnitost je nejčastěji připisována vlastnostem obráběcího stroje a nástroje, např. házivost hřídele, nedostatečná tuhost apod.

### 3.2.3.2 Filtry profilu

Rozděluje profil na dlouhovlnné a krátkovlnné složky. Přístroje pro měření drsnosti, vlnitosti a základního profilu jsou používány tři filtry:

- 1)  $\lambda_s$  **filtr profilu** – definuje rozhraní mezi profilem drsnosti a kratšími vlnami na povrchu obrobku (obr. 19)
- 2)  $\lambda_c$  **filtr profilu** – definuje rozhraní mezi profilem drsnosti a vlnitosti (obr. 19)
- 3)  $\lambda_f$  **filtr profilu** – definuje rozhraní mezi profilem vlnitosti a delšími vlnami na povrchu obrobku (obr. 19)



Obr. 19 – Charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti. (ČSN EN ISO 4287)

### 3.2.3.3 Souřadnicový systém

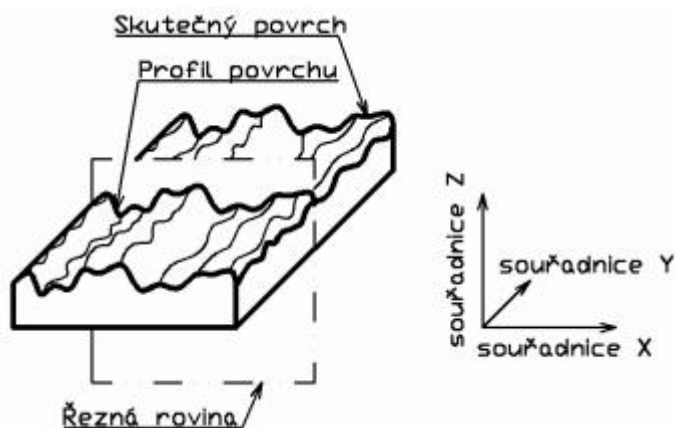
- Souřadnicový systém, ve kterém jsou dané parametry povrchu (obr. 20).

### 3.2.3.4 Skutečný povrch

- Povrch vymezující obrobek a oddělující ho od okolí (obr. 20).

### 3.2.3.5 Profil povrchu

- Profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a řezné roviny (obr. 20). Řezná rovina je obvykle kolmá k rovině rovnoběžné se skutečným povrchem ve vhodném směru.

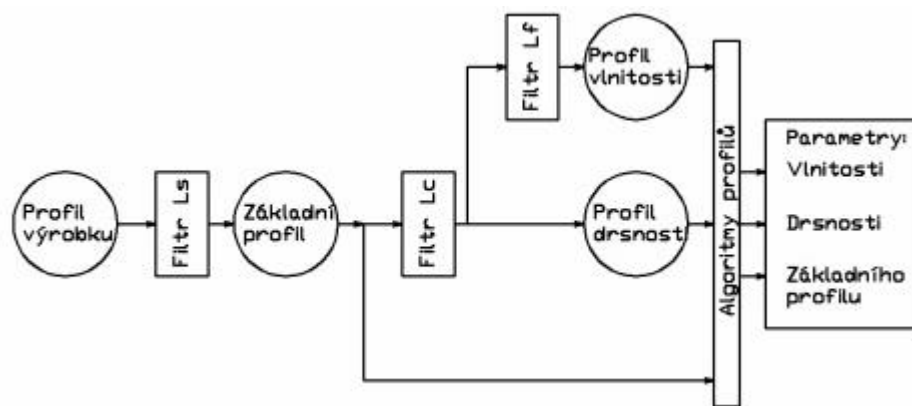


Obr. 20 – Profil povrchu. (ČSN EN ISO 4287)

### 3.2.3.6 Profily získané filtrem

Pomocí filtrů popsaných v kapitole 3.2.3.2, jsou získány profily povrchu :

- 1) **Základní profil** – potlačení krátkovlnných složek profilu, filtrem  $\lambda_s$ .
- 2) **Profil drsnosti** – vyvozený ze základního profilu potlačení dlouhovlnných složek použitím filtru  $\lambda_c$ . obr. 19
- 3) **Profil vlnitosti** – odvozen postupnou aplikací na základní profil, filtru  $\lambda_f$  potlačujícím dlouhovlnné složky a filtru  $\lambda_c$  potlačující krátkovlnné složky



Obr. 21 – Schéma hodnocení struktury povrchu. (ČSN EN ISO 4287)

### 3.2.3.7 Základní parametry

Pro správné hodnocení povrchu je značně významná volba parametru základní délky, ta ovlivňuje, jaké hodnoty nerovnosti charakterizují povrch. Aby byly měřené parametry statisticky významné, musí být základní délka dostatečně velká. Volba vhodných základních délek je doporučen v normě ČSN EN ISO 4288. Délky pro drsnost ( $l_r$ ) a pro vlnitost ( $l_n$ ) mají shodnou číselnou hodnotu jako vlnové délky profilového filtru  $\lambda_c$  a  $\lambda_f$  (Novák, 2011).

**Základní délka** – ( $l_p$ ,  $l_r$ ,  $l_w$ ) délka ve směru osy X, použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících povrch

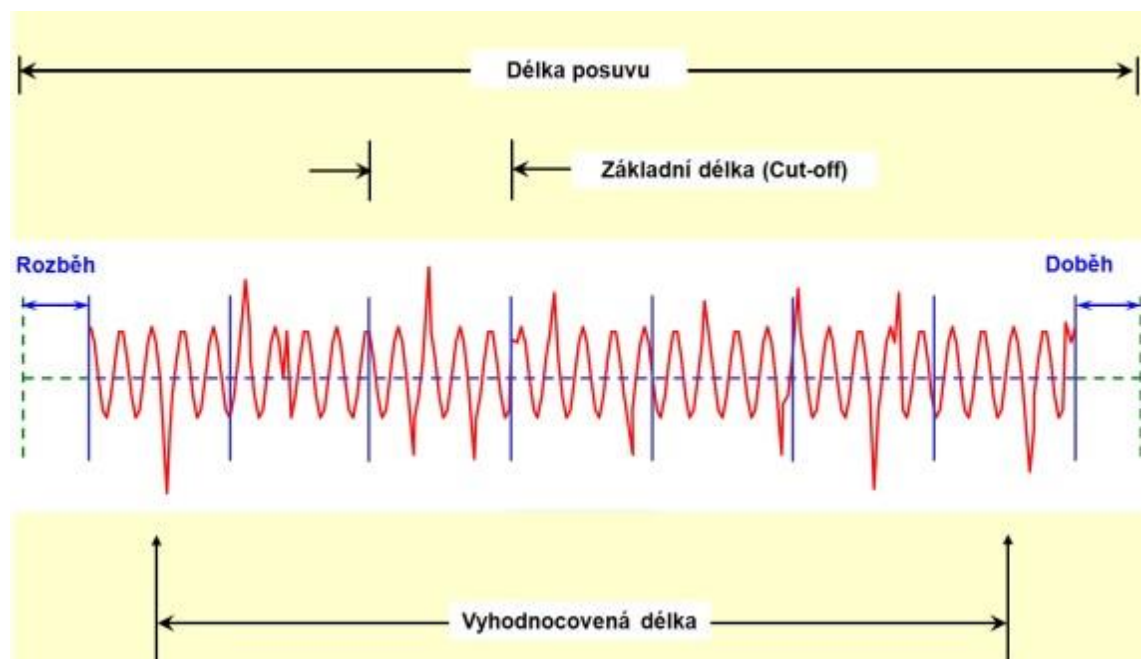
**Vyhodnocovaná délka** - ( $l_n$ ) délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného povrchu. Výsledek měření je průměr ze základních délek.

**Délka snímání** – dráha měřícího snímače, odpovídá vyhodnocované délce s rozběhem a doběhem.



**Mezní vlnová délka cut-off** – Pro kontrolu struktury povrchu je významná správná volba mezní vlnové délky (cut-off). Mezní vlnová délka (cut-off) je funkcí profilometru, která upravuje převod profilu povrchu na odpovídající elektrický signál v rozmezí základní délky. Vlnové délky v měřeném signálu závisí na nerovnostech povrchu. Měřicí systém odřezává nerovnosti s roztečí 0,25 mm, což je označováno mezní vlnovou délkou (cut-off). Při volbě mezní vlnové délky je rozhodující charakter struktury kontrolovaného povrchu.

Zpravidla existuje jedna hodnota mezní vlnové délky, která nejlépe odpovídá charakteristice povrchu. Např. mezní vlnová délka 0,8 mm může být použita pro téměř všechny povrchy, ale nemusí být zcela vyhovující pro hodnocení některých specifických vlastností povrchu. Proto je vhodné při volbě mezní vlnové délky zvažovat i účel připravovaného měření. Frekvence signálu (tvarových kmitů) závisí nejen na roztečích nerovností, ale i posuvové rychlosti snímače (MM Průmyslé spektrum , 2002).



Obr. 22 – Grafické zobrazení délek

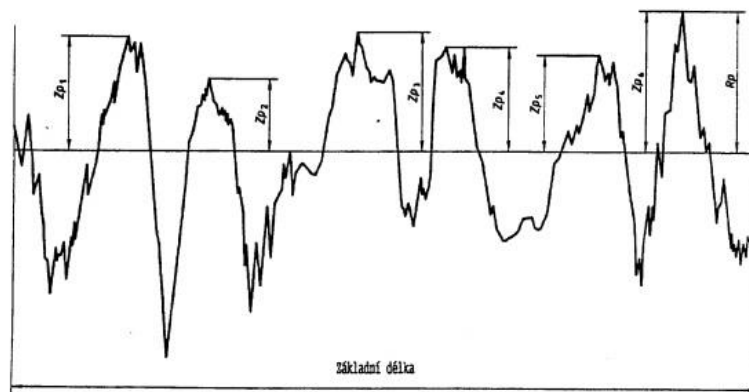
### 3.2.3.8 Geometrické parametry

- **P-parametr:** vypočítaný ze základního profilu
- **R-parametr:** vypočítaný z profilu drsnosti
- **W-parametr:** vypočítaný z profilu vlnitosti
- **S-parametr:** (amplitudové parametry) vypočítaný z 3D měření, definice podobná jako u 2D jen délka je plocha a osa je rovina
- **Výstupek profilu:** část posuzovaného profilu směřující z povrchu ven a spojující dva protilehlé body na průřezu profilu a osy X
- **Prohlubeň profilu:** část posuzovaného profilu směřující dovnitř, spojující dva přilehlé body na průřezu profilu s osou X
- **Omezení výšky/rozteče:** nejmenší výška a nejmenší rozteč výstupků a prohlubní posuzovaného profilu

První velké písmeno v symbolu parametru určuje typ profilu, např. parametr  $R_a$  je vypočítaný z profilu drsnosti apod.

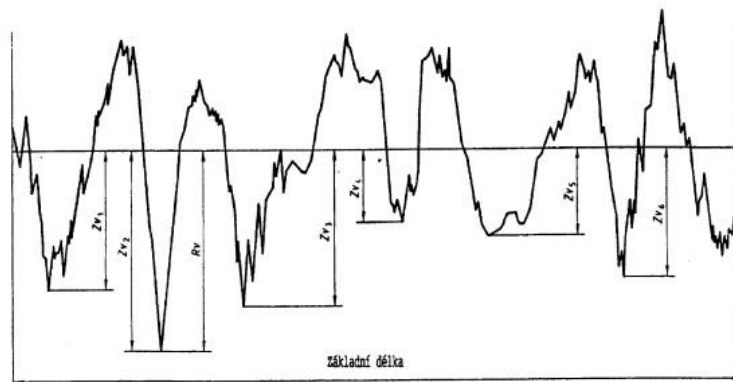
### 3.2.3.9 Definice parametrů povrchu

- **Největší výška výstupku:** ( $P_p$ ,  $R_p$ ,  $W_p$ ) výška nejvyššího výstupku profilu ( $Z_p$ ) v rozsahu základní délky (viz obr. 23).



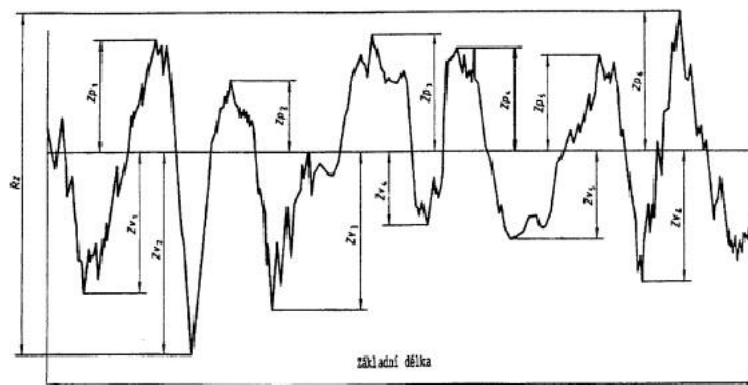
Obr. 23 – Největší výška výstupku na profilu drsnosti. (ČSN EN ISO 4287)

- **Největší hloubka prohlubně:** ( $P_v$ ,  $R_v$ ,  $W_v$ ) hloubka nejnížší prohlubně v rozsahu základní délky (viz obr. 24).



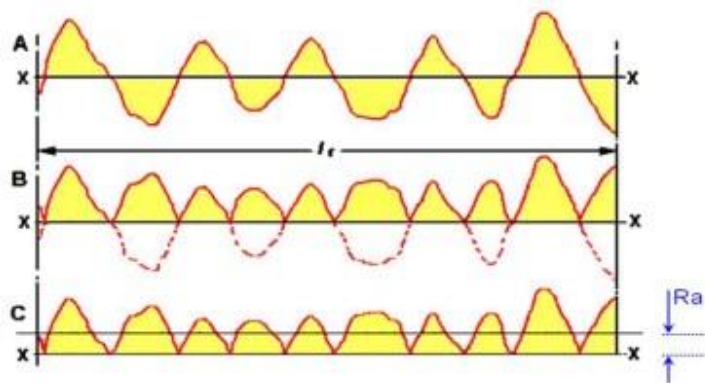
Obr. 24 – Největší hloubka prohlubně na profilu drsnosti. (ČSN EN ISO 4287)

- **Největší výška profilu:** ( $P_z$ ,  $R_z$ ,  $W_z$ ) součet výšky nejvyššího výstupku a nejnížší prohlubně v rozsahu základní délky (viz obr. 25).



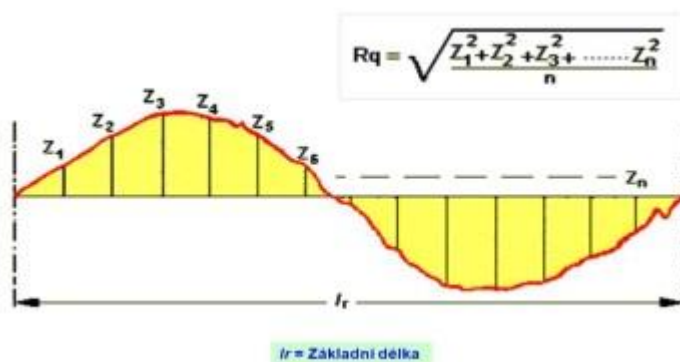
Obr. 25 – Největší výška profilu na profilu drsnosti. (ČSN EN ISO 4287)

- **Průměrná výška profilu:** ( $P_c$ ,  $R_c$ ,  $W_c$ ) aritmetický průměr výšek v rozsahu základní délky.
- **Celková výška profilu:** ( $P_t$ ,  $R_t$ ,  $W_t$ ) součet nejvyššího výstupku a nejnížší hloubky prohlubně v rozsahu vyhodnocované délky.
- **Průměrná aritmetická úchylka profilu:** ( $P_a$ ,  $R_a$ ,  $W_a$ ) nejčastěji používaná charakteristika drsnosti povrchu, parametr je získán jako aritmetický průměr absolutních hodnot v rozsahu základní délky.



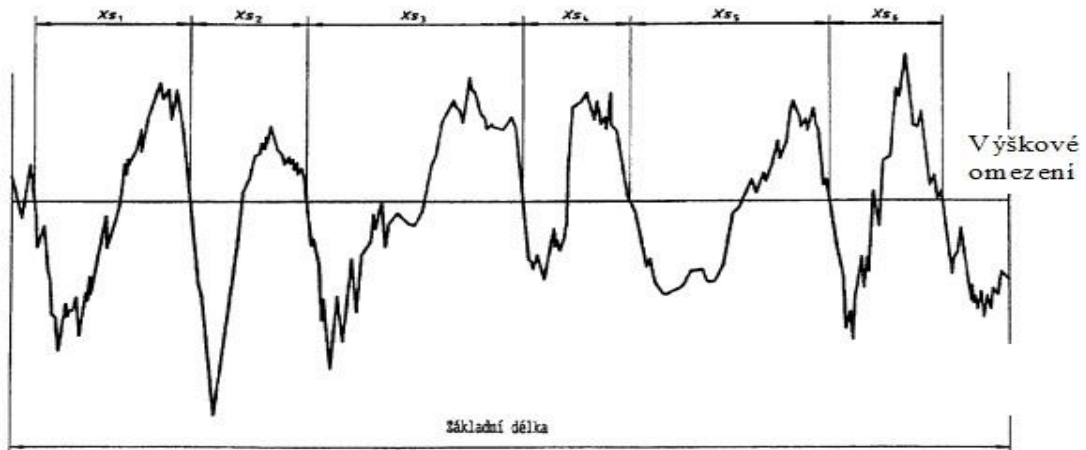
Obr. 26 – Vyjádření aritmetické úchylky  $R_a$ .

- **Průměrná kvadratická úchylka profilu:** ( $P_q$ ,  $R_q$ ,  $W_q$ ) kvadratický průměr pořadnic  $Z(x)$  v rozmezí základní délky.



Obr. 27 – Vyjádření aritmetické úchylky  $R_q$ .

- **Průměrná šířka prvku profilu:** (PSm, RSm, WSm) aritmetický průměr šířek  $X_s$  v rozmezí základní délky (viz **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**). Omezení výšek je 10 % Pz, Rz, nebo Wz, omezení roztečí je 1 % základní délky, pokud není určeno jinak (ČSN EN ISO 4287).



Obr. 28 – Šířka prvků profilu. (ČSN EN ISO 4287)

### 3.3 Problematika nátěrových hmot

Nátěrová hmota tvoří na dřevě povrchovou úpravu, která má za úkol vylepšit povrchové vlastnosti dřeva, chránit výrobek před okolními vlivy a prodloužit životnost výrobku. Povrchovou úpravou lze výrobku vylepšit estetickou hodnotu nebo naopak znehodnotit celý výrobek.

Cíle povrchové úpravy:

- Určit konečný vzhled výrobku. Zdůraznění kresby dřeva, nebo zachování přírodního vzhledu transparentními nátěrovými hmotami. Zakrytí povrchu dřeva pigmentovými nátěrovými hmotami.
- Prodloužit životnost výrobku ze dřeva jeho ochranou. Dřevo se musí chránit proti vlhkosti, povětrnostním vlivům a mechanickému poškození. Ochranou se nejen prodlouží životnost výrobku, ale také se rozšíří možnosti použití dřeva.

Požadavky na nátěrovou hmotu se mění podle prostředí, ve kterém bude chráněný výrobek umístěn, funkci výrobku a nároky na vzhled. Nároky lze uspokojit nejen druhem nátěrové hmoty, ale také technologií aplikace (Zemiar, 2009).

### 3.3.1 Rozdělení nátěrových hmot

Nátěrové hmoty lze rozdělit podle mnoha kritérií, zde jsou uvedeny nejpoužívanější:

#### 3.3.1.1 Podle charakteristických vlastností

- **Transparentní:** – tvoří na povrchu průhledný až průsvitný film
  - obsahují filmotvornou složku a organické rozpouštědlo, nebo jen filmotvornou složku (fermeže)
  - patří sem vodou ředitelné emulze, laky, penetrační laky, politury a fermeže
  - jemné přibarvování se provádí pomocí rozpustných barviv, nebo mikronizovaných pigmentů
- **Pigmentové:** – tvoří na povrchu neprůhledný film (např. emaily)
  - disperze jemně rozptýlených pigmentů a plniv v pojivu filmotvorné složky
  - podle krycí schopnosti nebo objemu disperze je dělíme na tmely, základní barvy, krycí barvy, a emaily

#### 3.3.1.2 Podle způsobu vytvrzování

- **Chemickou reakcí:** – při vytvrzování probíhají chemické děje např. oxidace, polykondenzace, polymerizace
- **Fyzikálním způsobem:** – vytvrzení probíhá odpaření rozpouštědla nebo ztuhnutím roztavené látky
  - filmotvorná složka nátěrové hmoty se chemicky nemění
  - zahrnujeme zde vodouředitelné disperze, lihové, polymerizační laky
- **Kombinace obou předchozích způsobů:** – patří sem nátěrové hmoty epoxidové a polyuretanové

#### 3.3.1.3 Podle podmínek použití

- **Vnitřní (interiérové):** – určené jen pro interiér
- **Venkovní (exteriérové):** – mohou být trvale vystavené povětrnostním podmínkám
- **Speciální:** – pro speciální použití (vysoká teplota, používání chemikálii)  
(Zemiar, 2009)

### 3.3.2 Vodou ředitelné nátěrové hmoty

V dřevařském průmyslu mají největší význam vodní disperze na bázi akrylátových pryskyřic. Úspěšně se aplikují při povrchové úpravě nábytku a stavebně truhlářských výrobků. Kromě akrylátových pryskyřic se používají také např. polyvinylacetátové. Tyto pryskyřice (pojiva) jsou rozpuštěné nebo rozptýlené ve vodě s malým obsahem organických rozpouštědel koalescentů.

Při vytvrzování se uplatňuje fyzikální způsob, odpaření vody a částečné vsáknutí do dřeva. Vodou ředitelné nátěrové hmoty se vyznačují horší stabilitou při skladování, kvůli vysokému povrchovému napětí vody dochází k problémům při smáčení dřevěného povrchu. (Zemiar, 2009)

Vodou ředitelné nátěrové hmoty se v mnoha směrech liší od ostatních nátěrových hmot. Zde je popis některých jejich odlišností:

- Působením vody bobtnají dřevní vlákna, je vhodné základní vrstvu nanést o hmotnosti 60–80 g/m<sup>2</sup>.
- Minimální teplota prostředí pro nanášení vodou ředitelných nátěrových hmot je 20 °C při intenzivním větrání.
- Na dokončovanou plochu je potřeba nanášet menší množství nátěrové hmoty, z důvodu vyššího obsahu sušiny.
- Voda, ve vodou ředitelných nátěrových hmotách, působí korozivně, proto je potřeba používat nanášecí zařízení z nerezové oceli nebo plastu.
- Delší doma zasychání než u lihových nebo nitrocelulóзовých nátěrových hmot. Může nastat dolepovací efekt, již zaschlá povrchová úprava po zatížení začne dolepovat.
- Obtížné broušení, zalepují brusný papír a tím může docházet k zahřívání. (Tesařová, 2014)

#### Mezi výhody patří:

- Výborná přilnavost na povrch dřeva a výborná plnivost.
- Nátěrový film je pružný, odolný vodě a organickým rozpouštědlům.
- Vodou ředitelné nátěrové hmoty je možné použít v závislosti na chemickém složení na povrchovou úpravu širokého spektra dřevařských výrobků (Zemiar, 2009).

## 4 Materiál a metody

### 4.1 Použitý materiál

Práce je zaměřena na kvalitu frézovaného povrchu a jeho použitelnost pro nanášení nátěrových hmot. Toto téma je velmi rozsáhlé a má mnoho činitelů (druh materiálu, typ obráběcího nástroje a obráběcího stroje), pro zjednodušení je vztahováno ke stavebně truhlářské výrobě (dále jen STV). V současné době se zatím v STV nejčastěji využívají dřeviny jehličnaté. V experimentu byl použit smrk, jako nejběžnější zástupce.

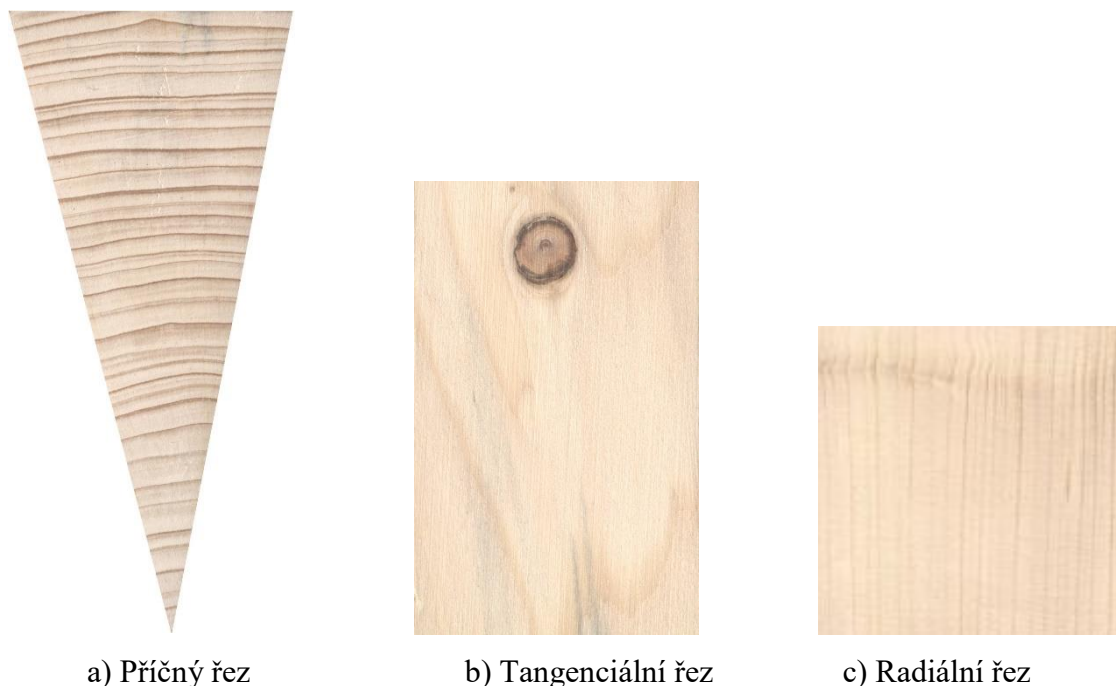
#### 4.1.1 Dřevo smrku ztepilého (*Picea abies*)

Smrk se přiřazuje do skupiny jehličnatých dřevin bělových (nemá jádro). Dřevina s největší plošnou reprezentací v České republice až 53,2%. Smrkové dřevo je v celém průřezu kmene jednotně zbarveno, není zde jádro a běl s barevnou odlišností jen u čerstvě pokáceného dřeva lze odlišit vyztřelé dřevo. Barva dřeva je žlutobílá až žlutohnědá. Letokruhy jsou patrné a jejich přechod mezi jarním a letním dřevem je pozvolný. Smrkové dřevo obsahuje pryskyřici, ale pryskyřičné kanálky jsou drobné zřetelné pouze na podélném řezu v podobě svislých tmavších pásků.

Smrkové dřevo je, pro Českou republiku, nejvýznamnější užitné dřevo s velkým rozsahem použití. Použití jak ve stavebnictví (např. střešní a mostní konstrukce, stožáry, atd.), tak v truhlářské či stavebně truhlářské výrobě (např. překližky, okna, dveře, atd.), nebo také na chemické a polochemické zpracování (např. buničina, dřevovláknité a dřevotřískové desky, atd.) (Šlezingerová, 2002).

Dřevo smrku se řadí mezi lehká s hustotou  $\rho_0 = 420 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  a  $\rho_{12} = 450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , také mezi měkká dřeva s tvrdostí 26 Mpa. Pórovitost je u smrku 35%. (Horáček, 2001)





Obr. 29 – Makroskopická stavba smrkového dřeva na různých řezech. (Vavrčík, 2002)

#### 4.1.2 Silnovrstvá vodou ředitelná lazura

Pro pokus byla použita vodou ředitelná silnovrstvá lazura od výrobce BALAKRYL a prodávaná pod názvem Telux. Lazura je určená pro nátěry dřevěných prvků jak v interiéru tak exteriéru např. okna, dveře, zahradního nábytku. Díky UV filtru je dřevo chráněno před slunečním zářením. Snadno se aplikuje díky dobrému rozlivu a má výbornou přilnavost k podkladu. Vytvořený povrch je voděodolný a pružný. (Balakryl.cz, 2015)



Obr. 30 – Použitá nátěrová hmota Balakryl Telux (Balakryl.cz, 2015)

## 4.2 Použité stroje a přístroje

### 4.2.1 Vybavení pro frézování dřeva

Pro první část práce (frézování dřeva) byl použit zkušební stand od firmy TOS Svitavy. Stand je vybaven válcovou frézou s šesti noži.

#### 4.2.1.1 Frézovací stand

Zkušební stand pro frézování je vybaven pohonnou jednotkou od firmy Lenze s příkonem 12kW. Jednotka je řízena přes frekvenční měnič (obr. 31), díky tomu lze měnit plynule otáčky v rozsahu 4000 až do 14200 ot.min<sup>-1</sup>. Pohyb obroku je zajištěný třemi válci, dva válce jsou podávací (rýhované) a jeden pogumovaný odebírací (obr. 31). Díky dalšímu frekvenčnímu měniči lze plynule měnit posuvnou rychlost od 4 až do 100 m.min<sup>-1</sup>, a tím nastavit jakýkoliv úběr na zub. Hřídel, na kterou se upevňuje frézovací nástroj, lze nastavit na obrábění dílce z horní strany nebo ze strany spodní.



a)



b)



c)

*Obr. 31 – Části frézovacího stroje a) frekvenční měniče, b) podávací valce, c) odebírací válec.*

Ovládání stroje je zajištěno přes ovládací panel uprostřed s dotykovým displejem (obr. 32). Na pravé straně jsou potenciometry pro plynulé přestavování rychlosti posuvu a otáček nástroje. Druhá strana je s tlačítky pro, centrální STOP (v případě nehody nebo nějakého nebezpečí), a tlačítka na zapnutí, vypnutí obrábění a posuvu.



*Obr. 32 – Ovládací panel stroje.*



#### 4.2.1.2 Obráběcí nástroj

Pro frézování vzorků byla použita válcová fréza od Benmet s.r.o. s výměnnými noži (obr. 33). Fréza je osazena šesti noži Pilana HS 19 824 10 x 30 x 3 mm, řezné úhly jsou  $\alpha=25^\circ$ ,  $\beta=38^\circ$ ,  $\gamma=27^\circ$ . Průměr nástroje je 125 mm s průměrem otvoru pro hřídel 40 mm, šířka frézy je 100 mm.



Obr. 33 – Fréza Benmet osazená ve standu.

### 4.2.2 Vybavení pro měření kvality povrchu

#### 4.2.2.1 Měřicí zařízení Talysurf CLI 1000

K provádění rychlého prostorového měření ve vysokém rozlišení, jsou Talysurf CLI vysoce účinné. CLI systém umožňuje měření ve třech osách, s použitím dotykového nebo bezdotykového systému. Přístroj se snadno ovládá, proto je vhodný i pro kontrolu velkého počtu součástí.

Přístroj Talysurf vyniká univerzálností použití díky možnosti použití více snímačů, dotykového indukčního snímače (kapitola 3.2.1.2), bezdotykové laserové triangulační sondy (kapitola 3.2.2.3) a CLA konfokálním snímačem (kapitola 3.2.2.4).

Tyto způsoby měření zabezpečují takřka neomezené možnosti měření kvality povrchu bez závislosti na použitém materiálu.

Pro praktické využití Talysurf CLI je velkou předností spojení 2D a 3D prostorového hodnocení. Jedním přístrojem je proto možné monitorovat výzkum provádět rutinní inspekce apod.

Talysurf CLI je vybaven firemním programem Talymap, ten zabezpečuje všechny kontrolní řídicí a vyhodnocovací služby. Program vykonává vyhodnocovací funkce struktury povrchu 2D a 3D, včetně vyjmutí 2D profilu z 3D povrchu. Významným prvkem je vybavenost zařízení pro automatizaci měření, tato možnost zefektivní kontrolu a zajistí jednotnou formu prezence výsledků. (Novák , 2007)

### **Talysurf CLI 1000**

- použitý k hodnocení povrchu v této práci
- měřicí prostor 100x100x100 mm

*Tab. 1 – Parametry měření CLA senzorem.*

Snímač		Plocha měření	Krok	Rychlost měření
Typ	Rozsah			vpřed/vzad
Konfokální	800 $\mu\text{m}$	12,5 mm x 12,5 mm	20 $\mu\text{m}$ x 20 $\mu\text{m}$	2 mm.s <sup>-1</sup> /30 mm.s <sup>-1</sup>

### **Program Talymap**

Program využívají přístroje CCI, CLI, a Talyrond. Program od výrobce měřících zařízení Taylor Hobson zpracovává prostorovou charakteristiku povrchu ze získaných dat. Umožňuje více způsoby zobrazit sledovaný povrch, např. axonometrická projekce s volitelným úhlem pohledu, barevným rozlišením výšek, a s nastavením zvětšení vybrané části nebo celku. Při analýze řady profilů program zajistí rychlé opakování operace, nebo grafické dokumentace. Talymap umožní cílenou a podrobnou analýzu různých povrchů s využitím různých měření, filtrací a úprav tvaru.

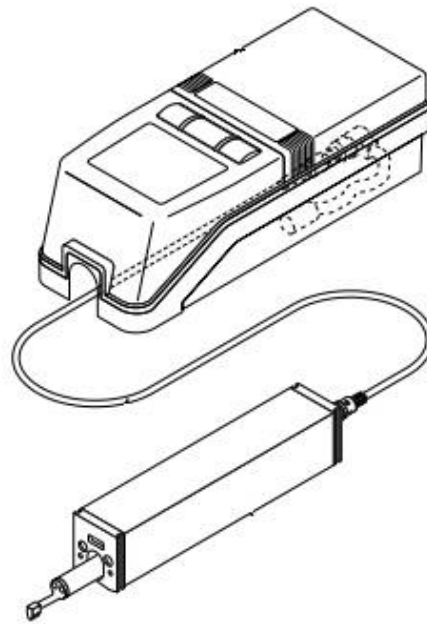
#### 4.2.2.2 Drsnoměr Mitutoyo SJ - 201 P

Měří normované parametry včetně vyhodnocování. Přístroj je přenosný, a proto vhodný i k dílenskému využití. Měření je prováděno v souladu s normami ISO, JIS, ASME, VDA, DIN.

Přístroj je velmi robustní, proto velmi odolný i v těžkých podmínkách. Skládá se ze dvou částí:

1. Detektor – vyjmutelná část s měřícím hrotem
2. Zobrazovací jednotka – krabička s displejem

V tomto případě budeme přístrojem měřit hodnoty drsnosti Ra a Rz . Rozsah snímače je 350  $\mu\text{m}$ , snímací hrot je vyroben z diamantu o poloměru 2  $\mu\text{m}$ , přítlačná síla hrotu je 0,75 mN.



Obr. 34 – Mitutoyo SJ - 201 P (Corporation, 2003)

### 4.2.3 Vybavení pro nanášení nátěrových hmot

#### 4.2.3.1 Štětec

Pro nanesení základní (napouštěcí) vrstvy, byl použit štětec s dřevěnou rukojetí a světlou čínskou štetinou. Takto štetina se získává z čínských prasat a může být v provedení světlá, šedá a černá.



*Obr. 35 – Použitý štětec*

#### 4.2.3.2 Stříkací pistole Bosch PSP 260

Elektrická stříkací pistole pro hobby, ale i méně náročné profesionální použití. Vyznačuje se univerzálním použitím hustšího i řidšího média. Plynulá regulace množství nánosu umožňuje přizpůsobení jakémukoliv materiálu. Nanášení je velmi rychlé díky čerpadlu zajišťující výkon maximálně 260 g/min.

Technické údaje: Příkon – 60 W

Maximální tlak – 160 bar

Viskozita kapaliny maximálně – 80 DIN-s

Obsah nádoby – 0,75 l

Hmotnost – 1,2 kg



*Obr. 36 – Použitá stříkáčková pistole Bosch PSP 260*

#### **4.2.4 Přístroje pro určení fyzikálních vlastností vzorků**

##### **4.2.4.1 Bezhratový vlhkoměr HM8-WS25**

Přístroj od Rakouské firmy MERLIN, typ WS25 je určen pro hrubě opracované řezivo. Podle dřeviny a střední objemové hmotnosti musí být na voliči nastaven stupeň 1-6 podrobný přehled dřevin v tab. 2. Měřicí plocha má velikost 67x42 mm, tato plocha musí při měření celá ležet na měřeném vzorku. Při měření se musí sledovat měřený materiál, vyvarovat se cizorodým látkám ve dřevě (kov, písek, smolníky) mohou způsobit odchylku od měření (MERLIN Technology GmbH, 1999).



Tab. 2 – Přehled polohy snímače u druhu dřeva a jeho objemové hmotnosti. (MERLIN Technology GmbH, 1999)

Dřevo-druhy	střední objemová hmotnost g/cm <sup>3</sup>	Poloha spínače
Abachi	0,35	1
Javor	0,60	5
Bříza	0,60	5
Hrušeň	0,65	6
Buk, Habr	0,65	6
Douglaska	0,50	3
Olše	0,50	3
Tis	0,65	6
Dub	0,65	6
Jasan	0,65	6
Osika	0,40	2
Smrk - řídké letokruhy	0,35	1
Smrk - standart	0,45	2
Smrk - jemné letokruhy	0,50	3
Hemlock	0,45	2
Hickory	0,75	6
Borovice	0,45	2
Borovice jemné letokruhy	0,55	4
Třešeň	0,55	4
Modřín řídké letokruhy	0,49	3
Modřín	0,55	4
Modřín jemné letokruhy	0,60	5
Lípa	0,50	3
Mahagon	0,55	4
Meranti	0,50	3
Ořech	0,60	5
Okumé	0,40	2
Oregon, Pine	0,55	4
Topol,	0,45	2
Ramin	0,55	4
Jilm červený	0,60	5
Jedle řídké letokruhy	0,37	1
Jedle	0,40	2
Jilm	0,60	5
Cedr	0,50	3

#### 4.2.4.2 Laboratorní váha RADWAG

Váhy jsou vybaveny výborně čitelným LCD displejem, dají se připojit k síti nebo počítači. Mohou být vybaveny protiprůvanovým rámečkem, pro zajištění co nejpřesnějších výsledků. Tyto váhy také disponují interní automatickou kalibrací, ta reaguje na změnu teploty nebo uplynutí časového intervalu. (RADWAG BALANCES & SCALES, 2016)

##### Technické parametry:

Maximální kapacita	200/2000 g
Minimální zátěž	20 mg
Rozsah táry	- 2000 g
Rozměr misky	128 x 128 mm
Provozní teplota	+ 10 ÷ + 40 °C
Čas stabilizace	2 s / 1,5 s
Citlivost kolísání	2 ppm /°C při teplotě +10 ÷ +40 °C
Komunikační rozhraní	2 × RS 232, USB-A, USB-B, WiFi
Kalibrace	interní (automatická)
Displej	LCD (podsvícený)



Obr. 37 – Použitá laboratorní váha RADWAG.

### 4.3 Metodika činností

#### 4.3.1 Příprava vzorků pro měření

Materiál pro experimentální vzorky je smrk ztepilý popsán v kapitole 4.1.1. Materiál určený k experimentu byl skladován jako velký hranol, proto byla potřeba ho rozřezat na menší hranolky. Po rozřezání vznikl hranolek o rozměrech 65 x 65 x 2500 mm. Při výběru vzorků byl kladený důraz, aby vzorky byly bez vad, jako jsou suky, praskliny.

#### 4.3.2 Určení fyzikálních vlastností vzorků

##### 4.3.2.1 Objemová hustota dřeva

Závisí na hmotnosti a objemu, proto je ovlivněna druhem dřeviny a jeho vlhkostí. Pro porovnávání výsledků a při teoretických výpočtech je používána hustota v absolutně suchém stavu  $\rho_0$ . Pro tento experiment je důležitější znát hustotu vztaženou k vlhkosti  $\rho_w$ , při frézování.

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (11)$$

$m_w$  = hmotnost při určité vlhkosti

$V_w$  = objem vzorku při určité vlhkosti

##### 4.3.2.2 Vlhkost dřeva

Aby bylo možné vypočítat u vzorků hustotu vztaženou k vlhkosti je potřeba stanovit absolutní vlhkost dřeva  $w$ . K zjištění této vlhkosti byl použit vlhkoměr popsán v kapitole 4.2.4.1.

#### Postup práce s vlhkoměrem

- Měření se započalo po ofrézování vzorků
- Přístroj se zapnut tlačítkem ON, a nastavil se voliči na hodnotu 2 pro smrk standard  $0,45\text{g/cm}^3$
- Zapnutý přístroj se položil na vzorek v podélném směru
- Po několika vteřinách se na displeji objevila hodnota vlhkosti v %
- Toto měření se opakovalo minimálně třikrát na ploše hranolu

### 4.3.3 Frézování vzorků

Před započítím frézování na standu je potřeba udělat přípravné kroky.

- Nabroušení výměnných nožů a následné osazení do frézy provedené ve firmě TOS Svitavy.
- Osazení nástroje do stroje a připevnění ochranných krytů.
- Před započítím frézování je důležité stroj ocejchovat. Při cejchování se určuje postavení frézovacího nástroje k obrobku, v tomto případě nad obrobkem s nesousledným frézováním. Následně stroj automaticky určí krajní hodnoty frézky. V dalším kroku se zadá průměr nástroje (125mm) a minimální hodnoty výšky frézy a posuvných válců.
- Po ocejchování stroje se nastaví tlak (2,5Mpa) a přítlak (1mm) přítlačných válců.
- Po vykonání všech předchozích bodu stačí nastavit potřebnou výšku frézování podle vzorku.
- Spuštění frézovací jednotky a nastavení potenciometrem požadované otáčky.
- Spuštění posuvu a nastavení potenciometrem požadovanou rychlost.
- Zahájení frézování.

Po ofrézování hranolku je z jeho konce odříznut vzorek o délce 200 mm. Vzorek je popsán pořadím, rychlostí otáček a posuvu, šipkou vyznačující směr vzorku do řezu. Po vytvoření takového vzorku se odnese do laboratoře.

#### 4.3.3.1 Parametry frézování

Pro experiment byly vybrány parametry:

- Otáčky nástroje 6000 a 9000 ot.min<sup>-1</sup>
- Rychlost posuvu, u každé rychlosti otáček nástroje, v rozmezí od 10 do 40 m.min<sup>-1</sup>
- Odebíraná vrstva o tloušťce 2mm

Pro porovnávání s jinými výzkumy a literaturou byly vypočítány hodnoty řezné rychlosti  $v_c$  ze vzorce (1), a posuv na zub ze vzorce (2). Všechny tyto hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 – Tabulka s vybranými a vypočtenými hodnotami.

Rychlost otáček hřídele $n$ (ot.min-1)	Řezná rychlost $vc$ (m.s-1)	Rychlost posuvu $vf$ (m.min-1)	Úběr na zub $fz$ (mm)
6000	39,25	10	0,278
		20	0,556
		30	0,833
		40	1,111
9000	58,875	10	0,185
		20	0,370
		30	0,556
		40	0,741

#### 4.3.4 Hodnocení kvality povrchu frézovaných vzorků

##### Talysurf CLI 1000

Měření bylo provedeno na povrchu vzorků na ploše 12,5mm x 12,5 mm s krokem 20  $\mu\text{m}$  v obou osách.

Vyhodnocení naměřených dat 3D povrchu bylo provedeno programem **Talymap Platinum** podle standardní metodiky s těmito kroky:

1. **Vyrovnání plochy** – Levelling – vyrovnání plochy podle zvolené oblasti.
2. **Odstranění tvaru** – Form removal – odstranění tvaru je prováděno polynomem 3. řádu.
3. **Stanovení prahu (pásma) citlivosti** – Thresholding – zahrnutí odpovídajícího spektra dat do analýz;
4. **Výšková korekce dat** – získání základní plochy pro stanovení parametrů drsnosti.
5. **Zobrazení parametrů 3D** – zobrazení vybraných parametrů 2D drsnosti povrchu
6. **Filtrace mezi vlnitostí a drsností.**
7. **Zobrazení plochy drsnosti a vlnitosti.**

Tento postup byl při stanovení 2D parametrů na začátku doplněn o krok:

**Výběr profilu** – Extract Profile – z naměřené plochy byl náhodně vybrán jeden profil pro další analýzu.

2D parametry drsnosti povrchu

**Ra** – průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti – [ $\mu\text{m}$ ]

**Rq** – průměrná kvadratická úchylka profilu drsnosti – [ $\mu\text{m}$ ]

**Rz** – největší výška profilu drsnosti (na základní délce) – [ $\mu\text{m}$ ]

**Rt** – celková výška profilu drsnosti (na vyhodnocované délce) – [ $\mu\text{m}$ ]

**RSm** – průměrná šířka prvků profilu drsnosti – [mm]

2D parametry vlnitosti povrchu

**Wa** – průměrná aritmetická úchylka profilu vlnitosti [ $\mu\text{m}$ ]

**Wq** – průměrná kvadratická úchylka profilu vlnitosti [ $\mu\text{m}$ ]

**Wz** – největší výška profilu vlnitosti (na základní délce) [ $\mu\text{m}$ ]

**Wt** – celková výška profilu vlnitosti (na vyhodnocované délce) [ $\mu\text{m}$ ]

**WSm** – průměrná šířka prvků profilu vlnitosti [mm]

3D parametry povrchu

**Sa** – průměrná aritmetická úchylka základní plochy [ $\mu\text{m}$ ]

**Sz** – výška z deseti bodů na povrchu [ $\mu\text{m}$ ]

**St** – celková výška úchylky plochy [ $\mu\text{m}$ ]

**Mitutoyo SJ - 201 P**

- Zapnutí přístroje
- Propojení přístroje se stolním počítačem a otevření programu, který z dat vytvoří protokol o kontrole. Pro zrychlení lze tento krok vynechat a odečítat hodnoty z displeje měřidla.
- Přiložení měřicí části s hrotem na měřený vzorek.
- Měření bylo prováděno dvakrát v podélném a dvakrát v příčném směru.
- Uložení vytvořeného protokolu nebo odečtení požadovaných hodnot z displeje.
- **Ra** – průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti – [ $\mu\text{m}$ ]
- **Rz** – největší výška profilu drsnosti (na základní délce) – [ $\mu\text{m}$ ]
- Práce s takto získanými výsledky.

#### **4.3.5 Nanášení nátěrové hmoty**

Postup aplikace nátěrové hmoty byl použit, podle technického listu pro Balakryl Telux dostupný na balakryl.cz. Povrch by se měl natřít co nejdříve od skončení obrábění, aby nedošlo k jeho degradaci. Také by dřevo mělo mít maximálně 12% vlhkosti. Obě tyto podmínky byly splněny je proto možné začít s nánosem.

1. Důkladně rozmíchat nátěrovou hmotu.
2. První nátěr za použití štětce popsaného v kapitole 4.2.3.1 – Použita byla vodou zředěná nátěrová hmota v poměru 2:1 (dva díly lazury a jeden díl vody).
3. 24 hodin ponechání ve větrané místnosti do plného zaschnutí.
4. Přebroušení povrchu brusnou houbou o zrnitosti 280.
5. Nános nátěrové hmoty stříkáním za použití pistole Bosch popsané v kapitole 4.2.3.2
6. Ponechání minimálně 4 hodiny zaschnout, poté opětovné přebroušení.
7. Druhý nános stříkací pistolí Bosch.

Teplota povrchu nesmí klesnout pod 15°C a relativní vlhkost nesmí být větší než 75%. Povrchová úprava se prováděla u vybraných vzorků.

#### **4.3.6 Opětovné hodnocení kvality povrchu**

Stejný postup jako v kapitole (hodnocení kvality povrchu u frézovaných vzorků).

## 5 Výsledky

### 5.1 Výpočet fyzikálních vlastností

#### 5.1.1 Měření vlhkosti

Podle postupu v metodice (kapitola 4.3.2.2) byly naměřeny hodnoty uvedené v tab. 4.

Tab. 4 – Naměřené hodnoty vlhkosti přístrojem MERLIN HM8-WS25.

Hranol	Měření 1	Měření 2	Měření 3
1	9,8%	9,5%	10,0%
2	9,4%	9,7%	8,9%
3	8,7%	9,4%	9,7%
4	8,8%	9,0%	9,1%
5	9,6%	9,8%	9,5%
6	9,5%	9,8%	9,8%
7	9,6%	9,7%	9,9%
8	8,4%	8,3%	8,7%
9	9,0%	9,8%	8,2%
10	8,5%	8,6%	9,0%
11	9,1%	9,3%	8,9%
12	8,1%	8,6%	8,3%
13	9,4%	9,7%	9,9%
14	8,9%	9,4%	9,6%
Průměr	9,2%		



### 5.1.2 Vážení vzorků

Hmotnost vzorků byla zvážena na laboratorní váze RADWAG (kapitola 4.2.4.2).

Tab. 5 – Tabulka naměřených hodnot hmotností vzorků.

6000_40		6000_30		6000_20		6000_10		9000_40		9000_30		9000_20		9000_10	
VZ	m (g)	VZ	m (g)	VZ	m (g)	VZ	m (g)	VZ	m (g)	VZ	m (g)	VZ	m (g)	VZ	m (g)
1	179,31	1	198,64	1	266,85	1	185,31	1	187,57	1	189,46	1	176,34	1	254,34
2	186,57	2	185,29	2	175,64	2	183,26	2	164,39	2	174,12	2	194,27	2	185,16
3	185,29	3	176,38	3	156,52	3	181,54	3	168,95	3	185,23	3	157,28	3	197,89
4	174,35	4	195,32	4	174,31	4	188,46	4	184,74	4	196,32	4	211,41	4	175,21
5	195,28	5	195,38	5	158,23	5	181,72	5	176,51	5	175,21	5	176,14	5	164,37
6	185,32	6	174,34	6	175,84	6	184,42	6	178,84	6	186,31	6	189,52	6	184,73
7	174,95	7	186,24	7	174,56	7	174,56	7	187,93	7	195,16	7	164,38	7	146,87
8	183,29	8	195,34	8	188,32	8	189,23	8	196,24	8	188,32	8	184,56	8	164,32
9	182,94	9	184,48	9	179,35	9	217,64	9	197,67	9	174,56	9	173,52	9	199,64
10	194,87	10	197,21	10	182,36	10	207,47	10	194,82	10	185,49	10	156,37	10	187,51
11	205,71	11	203,75	11	212,38	11	211,31	11	207,49	11	172,58	11	204,37	11	215,87
12	172,38	12	209,47	12	195,38	12	220,58	12	187,64	12	181,37	12	196,47	12	186,34
13	184,64	13	186,23	13	158,47	13	210,12	13	147,25	13	194,42	13	142,37	13	167,58
14	187,92	14	174,59	14	152,84	14	218,65	14	186,34	14	191,71	14	174,73	14	156,65
15	169,25	15	182,46	15	156,76	15	182,46	15	168,27	15	182,34	15	194,24	15	197,68
16	195,38	16	189,34	16	175,49	16	209,14	16	174,85	16	186,32	16	187,19	16	172,47
17	176,28	17	176,35	17	207,46	17	199,53	17	192,54	17	206,18	17	167,26	17	184,25
18	206,32	18	186,58	18	208,64	18	204,27	18	207,48	18	199,98	18	207,31	18	245,78
19	176,38	19	179,43	19	204,85	19	183,67	19	210,76	19	208,45	19	196,54	19	214,74
20	185,84	20	183,67	20	210,61	20	179,39	20	174,65	20	211,84	20	185,49	20	168,27
Průměrná hodnota								187,3755 (g)							

### 5.1.3 Výpočet objemové hustoty

Objemová hustota je vypočítána podle vzorce číslo (11). Vypočítaná hustota je při průměrné vlhkosti dřeva naměřené v tab. 4, což je 9,2 %. Hmotnost při této vlhkosti je uvedena v tabulce tab. 5, průměrně tato hodnota vychází 187,3755 g. Objem vzorku se vypočítal z jeho rozměrů 6,7 x 3 x 20 cm, při vlhkosti 9,2 % vychází 402 cm<sup>3</sup>.

$$\rho_{9,2} = \frac{m_{9,2}}{V_{9,2}} = \frac{187,3755}{402} = 0,4661 \text{ g/cm}^3$$

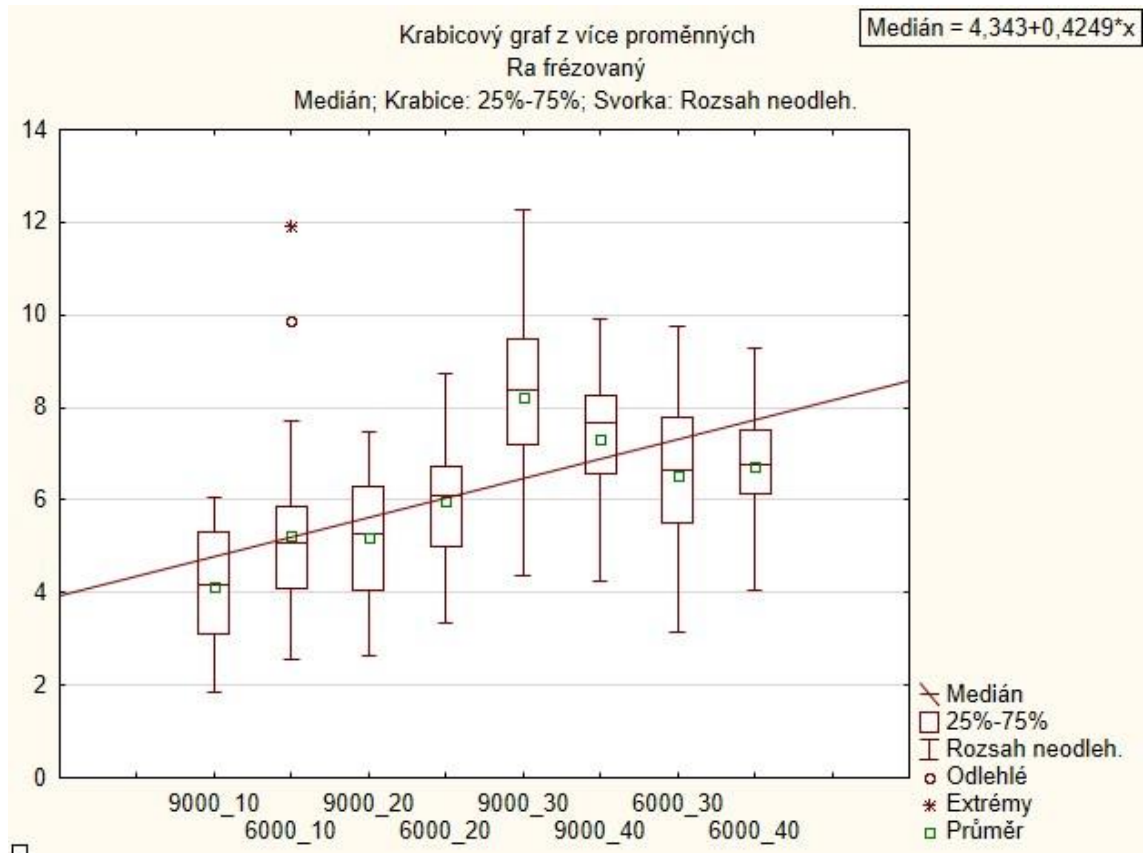
## 5.2 Výpočet nánosu nátěrové hmoty

Tab. 6 – Tabulka navážených hodnot před nánosem nátěrové hmoty a po něm, výpočet vydatnosti nánosu.

9000_10			6000_10			9000_20			6000_20			9000_30		
vzorek	váha (g)	s NH (g)	vzorek	váha (g)	s NH (g)	vzorek	váha (g)	s NH (g)	vzorek	váha (g)	s NH (g)	vzorek	váha (g)	s NH (g)
1	254,34	255,71	1	185,31	186,15	1	176,34	178,24	1	266,85	267,52	1	189,46	190,35
2	185,16	186,16	2	183,26	183,99	2	194,27	196,01	2	175,64	176,58	2	174,12	175,14
3	197,89	198,31	3	181,54	182,28	3	157,28	159,42	3	156,52	157,59	3	185,23	186,46
4	175,21	176,42	4	188,46	189,34	4	211,41	212,94	4	174,31	175,36	4	196,32	197,47
5	164,37	165,4	5	181,72	182,35	5	176,14	178,34	5	158,23	159,3	5	175,21	176,24
6	184,73	185,79	6	184,42	185,2	6	189,52	191,47	6	175,84	176,74	6	186,31	187,32
7	146,87	148,01	7	174,56	175,41	7	164,38	166,27	7	174,56	175,38	7	195,16	196,34
8	164,32	166,08	8	189,23	189,9	8	184,56	186,71	8	188,32	189,34	8	188,32	189,41
9	199,64	200,76	9	217,64	218,25	9	173,52	175,2	9	179,35	180,25	9	174,56	175,24
10	187,51	188,49	10	207,47	208,43	10	156,37	158,64	10	182,36	183,76	10	185,49	187
11	215,87	216,47	11	211,31	212,57	11	204,37	205,86	11	212,38	213,46	11	172,58	173,84
12	186,34	187,35	12	220,58	221,12	12	196,47	198,54	12	195,38	196,51	12	181,37	182,62
13	167,58	168,34	13	210,12	211,13	13	142,37	144,67	13	158,47	159,16	13	194,42	195,32
14	156,65	157,49	14	218,65	219,15	14	174,73	176,12	14	152,84	153,96	14	191,71	192,78
15	197,68	198,71	15	182,46	183,38	15	194,24	196,28	15	156,76	157,73	15	182,34	183,43
16	172,47	173,64	16	209,14	210,43	16	187,19	188,94	16	175,49	176,51	16	186,32	187,31
17	184,25	185,37	17	199,53	200,41	17	167,26	168,89	17	207,46	207,49	17	206,18	207,17
18	245,78	246,84	18	204,27	205	18	207,31	209,42	18	208,64	209,64	18	199,98	201
19	214,74	215,34	19	183,67	184,26	19	196,54	198,57	19	204,85	205,13	19	208,45	209,71
20	168,27	169,74	20	179,39	180,14	20	185,49	189,48	20	210,61	211,74	20	211,84	212,75
Aritmetický průměr	188,48	189,52		195,64	196,44		181,99	184,00		185,74	186,66		189,27	190,35
Rozdíl	1,0375			0,808			2,0125			0,9145			1,0765	
Nános (Kg/m <sup>2</sup> )	77,43			60,30			150,19			68,25			80,34	

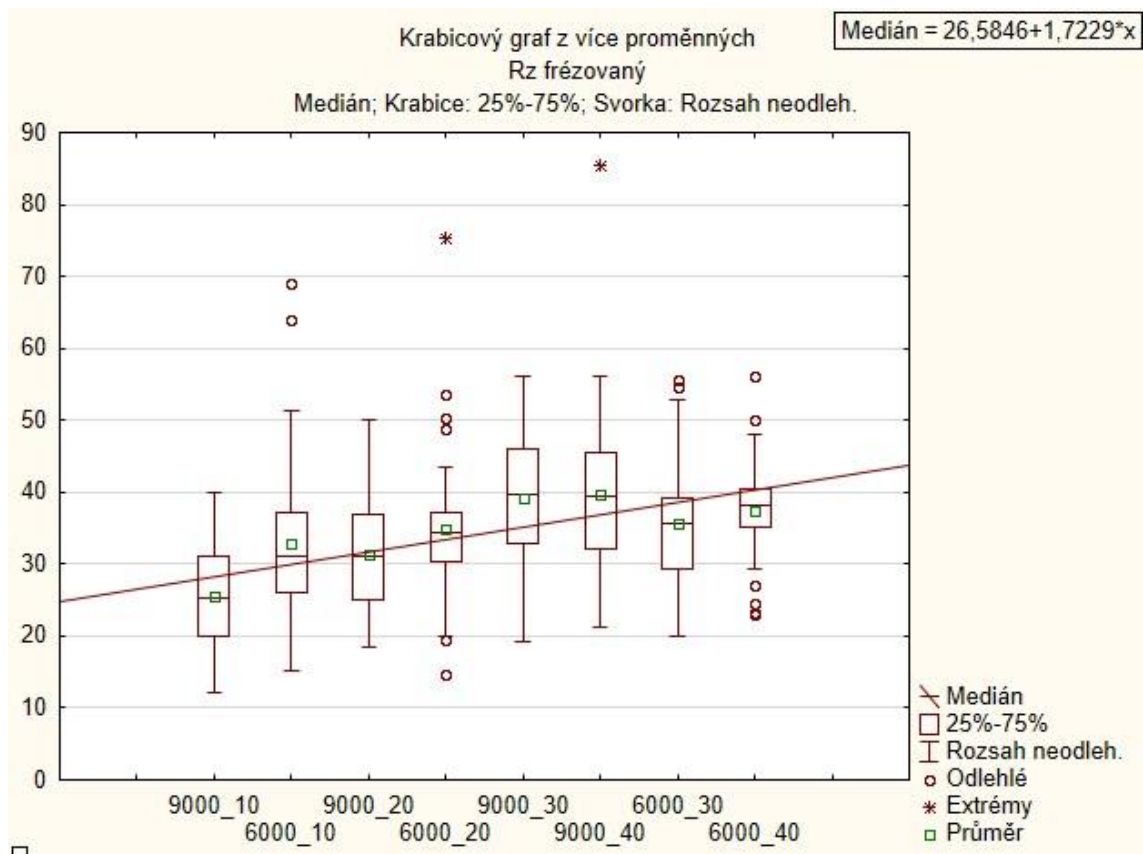
## 5.3 Výsledky měření Mitutoyo SJ - 201 P

### 5.3.1 Vzorky bez nátěrové hmoty



Obr.38 – Krabicový graf s naměřenými hodnotami Ra bez nátěrové hmoty při různých parametrech obrábění.

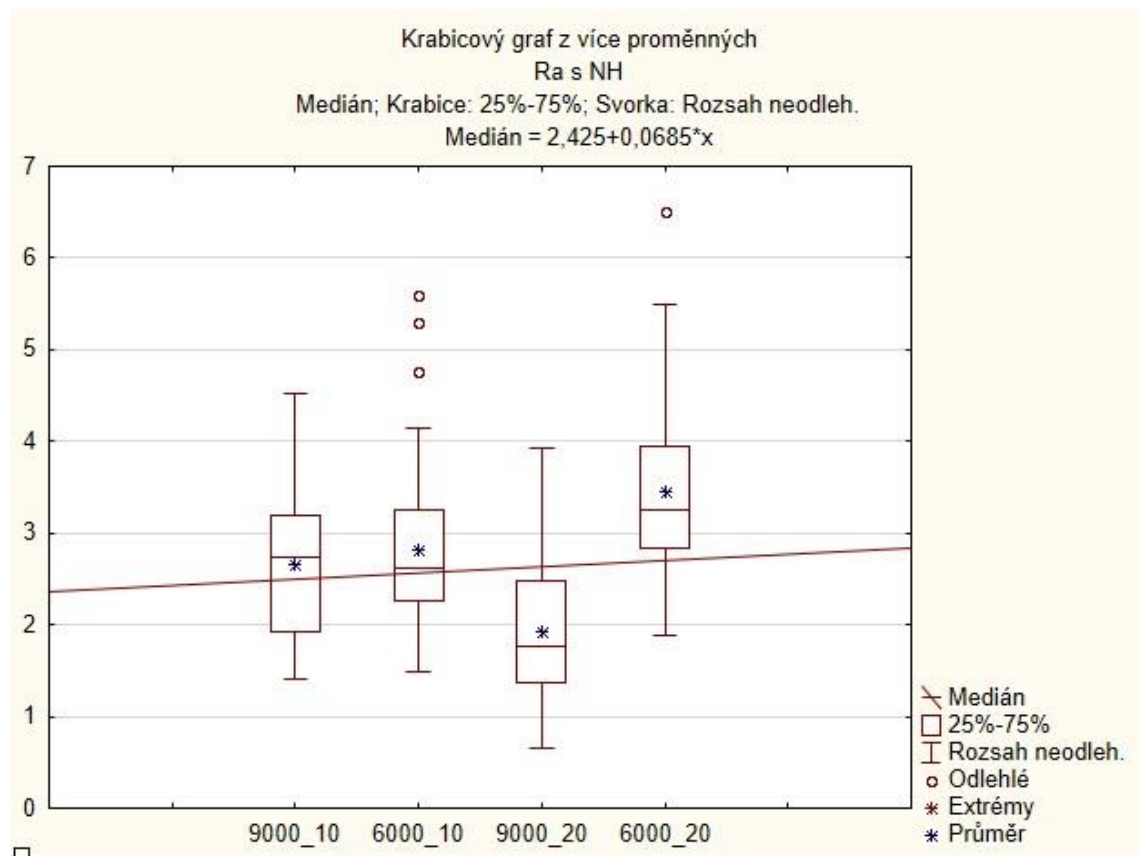
Každý z měřených parametrů frézování obsahuje 42 hodnot. Díky krabicovému grafu je vidět rozpětí naměřených dat. U parametru obrábění 6000 ot/min a posuvu 10 m/min se dokonce vyskytují odlehlé a extrémní hodnoty. Graf je proložený lineární přímkou, která sice stoupá se zvětšujícím se úběrem na zub, ale průměry ani mediány se u některých hodnot příliš nepřibližují. Největší vychýlení od přímky je u parametrů frézování 9000 ot/min a posuvu 30 m/min.



Obr. 39 – Krabicový graf s naměřenými hodnotami Rz bez nátěrové hmoty při různých parametrech obrábění.

Hodnoty Rz se k proložené lineární přímce přibližují lépe než hodnoty Ra v předchozím grafu. Na rozdíl od předchozího grafu se zde ale vyskytuje velké množství odlehlých a extrémních hodnot.

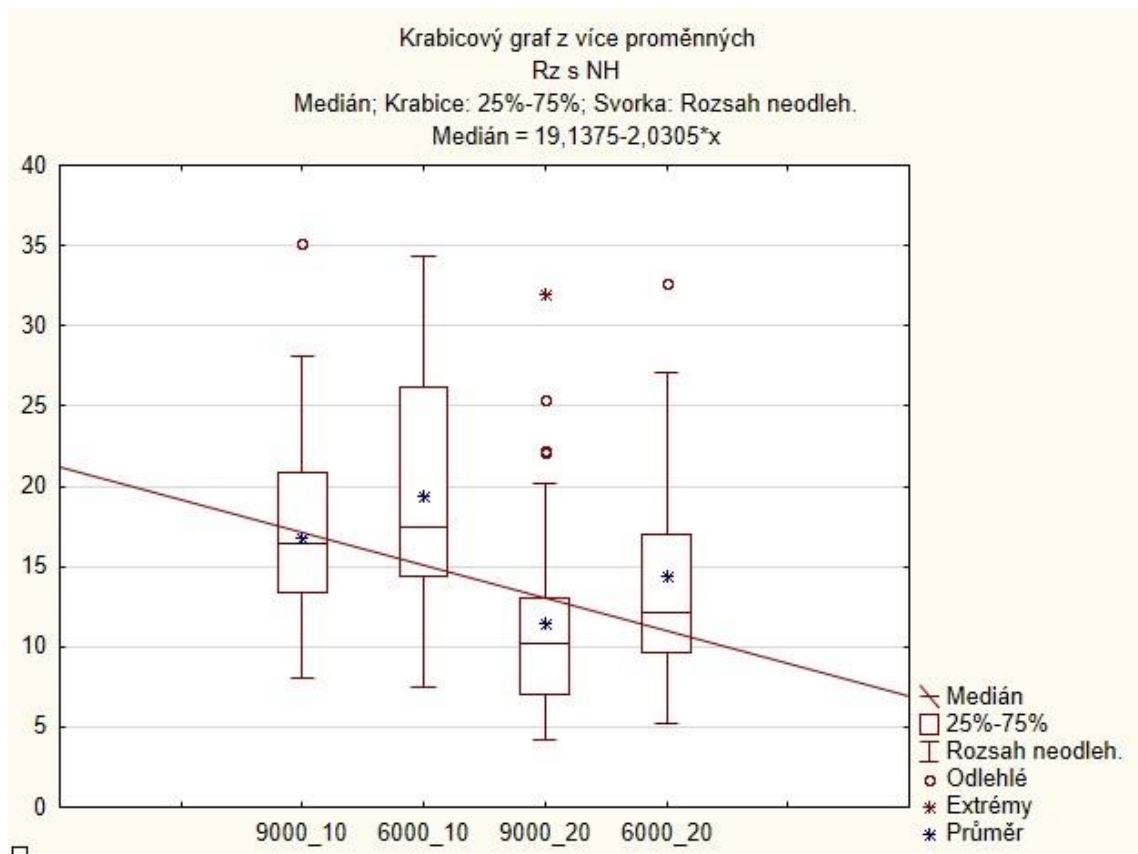
### 5.3.2 Vzorčky s nátěrovou hmotou



Obr. 40 – Krabicový graf s naměřenými hodnotami Ra s nátěrovou hmotou při různých parametrech obrábění.

Ve výše uvedeném krabicovém grafu jsou hodnoty drsnosti Ra po nanesení nátěrové hmoty. Opět se zde vyskytují odlehlé hodnoty, ale rozpětí hodnot se po nanesení nátěrové hmoty zmenšilo. Po proložení grafu lineární přímkou je možné sledovat, že je její sklon zmenšil, díky tomu je možné uvažovat, že se hodnoty drsnosti Ra v rámci různých parametrů obrábění sjednotily.

U parametru obrábění 9000 ot/min a 20 m/min je velké zlepšení kvality. Hodnoty drsnosti jsou zde oproti ostatním parametrům velmi nízké.



Obr. 41 – Krabicový graf s naměřenými hodnotami Rz s nátěrovou hmotou při různých parametrech obrábění.

Na první pohled u krabicového grafu (obr. 41) je proložena lineární přímka v opačném sklonu. Také u parametru obrábění 9000 ot/min a 20m/min je zde hodnota Rz velmi malá oproti zbylým parametrům.

### 5.3.3 Porovnání frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou

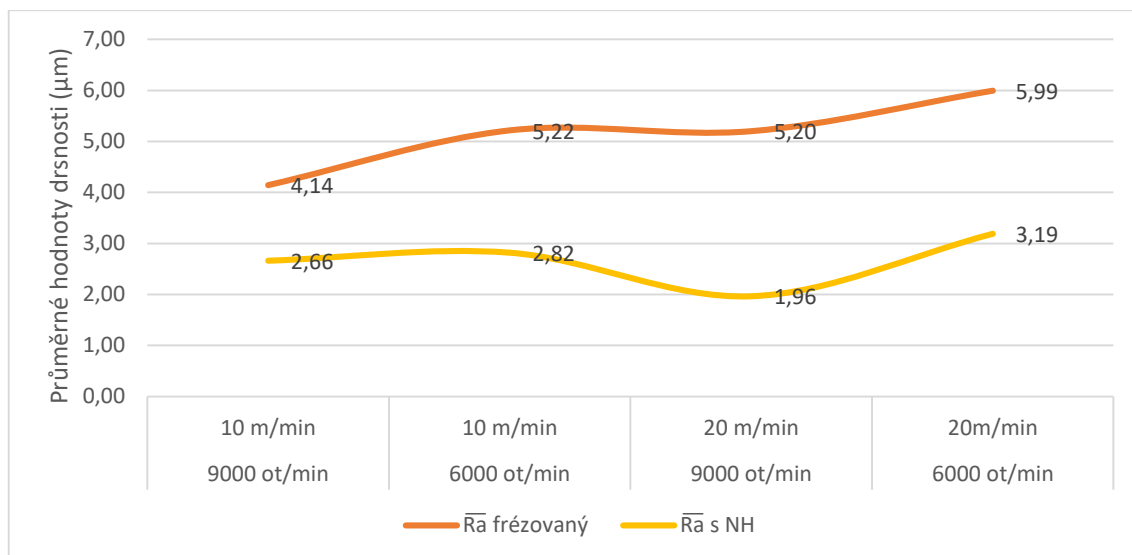
#### 5.3.3.1 Parametr profilu drsnosti Ra

Tab. 7 – Tabulka popisné statistiky pro vzorky bez nátěrové hmoty.

9000_10		6000_10		9000_20		6000_20	
Stř. hodnota	4,14	Stř. hodnota	5,22	Stř. hodnota	5,20	Stř. hodnota	5,99
Chyba stř. hodnoty	0,20	Chyba stř. hodnoty	0,27	Chyba stř. hodnoty	0,20	Chyba stř. hodnoty	0,21
Medián	4,17	Medián	5,06	Medián	5,26	Medián	6,10
Modus	3,80	Modus	3,42	Modus	3,29	Modus	
Směr. odchylka	1,30	Směr. odchylka	1,78	Směr. odchylka	1,32	Směr. odchylka	1,38
Rozptyl výběru	1,68	Rozptyl výběru	3,17	Rozptyl výběru	1,73	Rozptyl výběru	1,90
Rozdíl max-min	4,18	Rozdíl max-min	9,34	Rozdíl max-min	4,83	Rozdíl max-min	5,37
Minimum	1,86	Minimum	2,56	Minimum	2,63	Minimum	3,36
Maximum	6,04	Maximum	11,90	Maximum	7,46	Maximum	8,73
Součet	174,08	Součet	219,09	Součet	218,43	Součet	251,69
Počet	42	Počet	42	Počet	42	Počet	42

Tab. 8 – Tabulka popisné statistiky pro vzorky s nátěrovou hmotou.

9000_10		6000_10		9000_20		6000_20	
Stř. hodnota	2,66	Stř. hodnota	2,82	Stř. hodnota	1,96	Stř. hodnota	3,19
Chyba stř. hodnoty	0,12	Chyba stř. hodnoty	0,14	Chyba stř. hodnoty	0,12	Chyba stř. hodnoty	0,23
Medián	2,75	Medián	2,62	Medián	1,78	Medián	2,67
Modus	1,77	Modus	2,01	Modus	1,02	Modus	1,63
Směr. odchylka	0,79	Směr. odchylka	0,92	Směr. odchylka	0,76	Směr. odchylka	1,50
Rozptyl výběru	0,63	Rozptyl výběru	0,84	Rozptyl výběru	0,59	Rozptyl výběru	2,26
Rozdíl max-min	3,12	Rozdíl max-min	4,11	Rozdíl max-min	3,27	Rozdíl max-min	6,31
Minimum	1,41	Minimum	1,49	Minimum	0,66	Minimum	1,06
Maximum	4,53	Maximum	5,60	Maximum	3,93	Maximum	7,37
Součet	111,75	Součet	118,39	Součet	82,49	Součet	133,93
Počet	42	Počet	42	Počet	42	Počet	42



Obr. 42 – Graf porovnávající průměrné hodnoty Ra před a po nanesení nátěrové hmoty.

Z grafu výše uvedeného je vidět jak se hodnoty vyvíjely jak po nanesení nátěrové hmoty, tak v rámci změny parametrů obrábění. Hodnoty po nanesení nátěrové hmoty v zásadě kopírují průběh křivky s hodnotami bez nátěrové hmoty, samozřejmě s určitým snížením. Výchylka je u průměrné hodnoty drsnosti Ra pro parametry obrábění 9000 ot/min a posuvu 20 m/min po nanesení nátěrové hmoty, tento jev byl patrný již u krabicového grafu v předchozí kapitole.

### 5.3.3.2 Parametr profilu drsnosti Rz

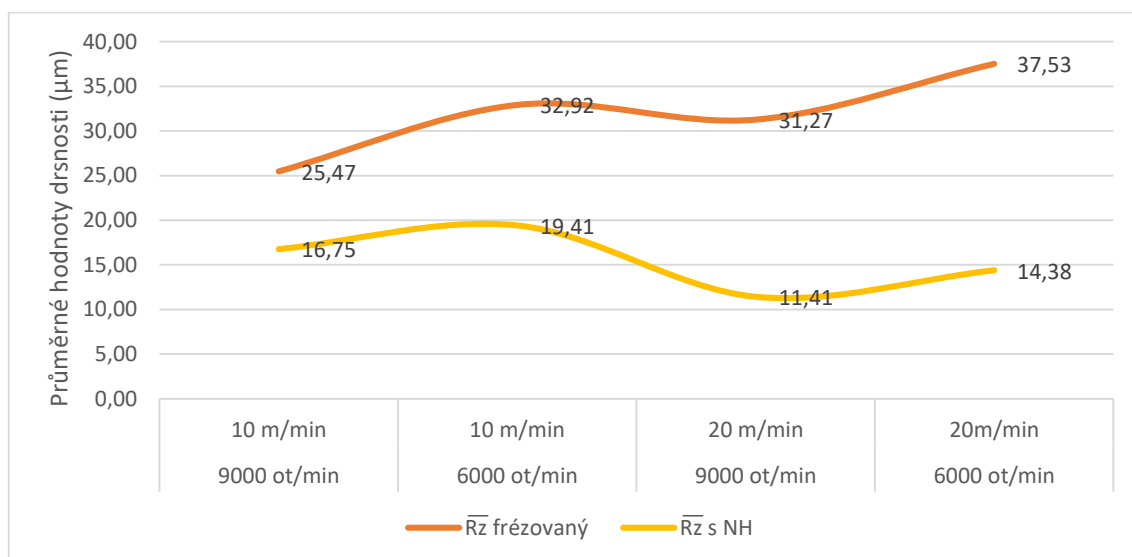
Tab. 9 – Tabulka statistického popisu hodnot pro vzorky bez nátěrové hmoty.

9000_10		6000_10		9000_20		6000_20	
Stř. hodnota	25,47	Stř. hodnota	32,92	Stř. hodnota	31,27	Stř. hodnota	34,99
Chyba stř. hodnoty	1,16	Chyba stř. hodnoty	1,69	Chyba stř. hodnoty	1,21	Chyba stř. hodnoty	1,55
Medián	25,17	Medián	31,06	Medián	31,03	Medián	34,39
Modus		Modus	25,40	Modus	36,91	Modus	
Směr. odchylka	7,49	Směr. odchylka	10,95	Směr. odchylka	7,86	Směr. odchylka	10,04
Rozptyl výběru	56,05	Rozptyl výběru	119,98	Rozptyl výběru	61,75	Rozptyl výběru	100,81
Rozdíl max-min	27,76	Rozdíl max-min	53,83	Rozdíl max-min	31,57	Rozdíl max-min	60,59
Minimum	12,23	Minimum	15,30	Minimum	18,50	Minimum	14,76
Maximum	39,99	Maximum	69,13	Maximum	50,07	Maximum	75,35
Součet	1069,55	Součet	1382,83	Součet	1313,53	Součet	1469,62
Počet	42	Počet	42	Počet	42	Počet	42



Tab. 10 – Tabulka statistického popisu hodnot pro vzorky s nátěrovou hmotou.

9000_10		6000_10		9000_20		6000_20	
Stř. hodnota	16,75	Stř. hodnota	19,41	Stř. hodnota	11,41	Stř. hodnota	14,38
Chyba stř. hodnoty	0,90	Chyba stř. hodnoty	1,08	Chyba stř. hodnoty	0,94	Chyba stř. hodnoty	0,99
Medián	16,46	Medián	17,48	Medián	10,21	Medián	12,11
Modus		Modus	12,07	Modus	11,84	Modus	
Směr. odchylka	5,84	Směr. odchylka	7,02	Směr. odchylka	6,09	Směr. odchylka	6,44
Rozptyl výběru	34,09	Rozptyl výběru	49,35	Rozptyl výběru	37,14	Rozptyl výběru	41,50
Rozdíl max-min	27,04	Rozdíl max-min	26,80	Rozdíl max-min	27,85	Rozdíl max-min	27,36
Minimum	8,10	Minimum	7,50	Minimum	4,14	Minimum	5,26
Maximum	35,14	Maximum	34,30	Maximum	31,99	Maximum	32,62
Součet	703,69	Součet	815,02	Součet	479,37	Součet	604,12
Počet	42	Počet	42	Počet	42	Počet	42



Obr. 43 – Graf porovnávající průměrné hodnoty Rz před a po nanesení nátěrové hmoty.

## 5.4 Výsledky měření Talysurf CLI 1000

### 5.4.1 Vzorčky bez náterové hmoty

Tab. 11 – Tabulka naměřených hodnot frézovaných vzorků s mezní vlnovou délkou 0,8 mm.

cut-off 0,8 (mm)	6000 ot/min				9000 ot/min				
	10 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	
Ra (μm)	2,04	2,42	1,55	2,68	0,896	1,29	1,57	2,19	Drsnost
$\overline{Ra}$ (μm)	2,23		2,115		1,093		1,88		
Rt (μm)	23,3	27,7	15,6	23,2	8,74	12	16,3	22,5	
$\overline{Rt}$ (μm)	25,5		19,4		10,37		19,4		
Rz (μm)	12,5	13,5	8,46	13	5,18	6,3	8,77	12,4	
$\overline{Rz}$ (μm)	13		10,73		5,74		10,585		
RSm (mm)	0,274	0,262	0,237	0,311	0,199	0,234	0,236	0,264	
$\overline{RSm}$ (mm)	0,268		0,274		0,2165		0,25		
Wa (μm)	1,68	1,87	3,78	2,52	0,799	1,6	1,86	2,45	
$\overline{Wa}$ (μm)	1,775		3,15		1,1995		2,155		
Wt (μm)	9,48	11,3	21,8	18,3	4,54	9,9	12,8	14,6	
$\overline{Wt}$ (μm)	10,39		20,05		7,22		13,7		
Wz (μm)	3,72	5,05	7,5	6,06	2,12	3,73	4,32	5,65	
$\overline{Wz}$ (μm)	4,385		6,78		2,925		4,985		
WSm (mm)	1,33	1,19	2,26	1,46	1,28	1,42	1,63	1,61	
$\overline{WSm}$ (mm)	1,26		1,86		1,35		1,62		
Sa (μm)	3,68		3,97		3,9		4,94		Z profilu drsnosti
Sz (μm)	55,5		60,4		70,8		77,3		
St (μm)	58,2		66,1		80,4		87,9		
Sa (μm)	3,49		4,74		6		5,58		Z profilu vlnitosti
Sz (μm)	23,2		28,3		37,9		38,4		
St (μm)	26,7		32,8		45,3		56,2		

Tab. 12 – Tabulka naměřených hodnot frézovaných vzorků s mezní vlnovou délkou 2,5 mm.

cut-off 2,5 (mm)	6000 ot/min				9000 ot/min				
	10 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	
Ra (μm)	2,62	3,39	2,85	3,72	1,27	1,92	2,38	2,88	Drsnost
$\overline{Ra}$ (μm)	3,005		3,285		1,595		2,63		
Rt (μm)	26,7	31,5	27,3	31,6	9,44	15,6	18,4	23,9	
$\overline{Rt}$ (μm)	29,1		29,45		12,52		21,15		
Rz (μm)	20,3	23	16,8	24,3	8,12	11,2	13,9	18,9	
$\overline{Rz}$ (μm)	21,65		20,55		9,66		16,4		
RSm (mm)	0,281	0,323	0,582	0,431	0,35	0,408	0,282	0,403	
$\overline{RSm}$ (mm)	0,302		0,5065		0,379		0,3425		
Wa (μm)	0,922	0,847	2,16	1,66	0,336	0,905	0,885	1,28	Vlnitost
$\overline{Wa}$ (μm)	0,8845		1,91		0,6205		1,0825		
Wt (μm)	4,85	4,38	9,24	7,33	1,63	4,06	4,35	6,32	
$\overline{Wt}$ (μm)	4,615		8,285		2,845		5,335		
Wz (μm)	3,1	2,55	7,22	3,58	1,16	2,9	2,38	4,32	
$\overline{Wz}$ (μm)	2,825		5,4		2,03		3,35		
WSm (mm)	3,81	2,68	3,03	3,81	2,63	3,18	2,44	2,65	
$\overline{WSm}$ (mm)	3,245		3,42		2,905		2,545		
Sa (μm)	4,48		5,18		5,28		5,81		Z profilu drsnosti
Sz (μm)	52,9		55,4		69,8		75,2		
St (μm)	53,8		57,7		75,2		78,6		
Sa (μm)	2,34		2,8		4,19		4,21		Z profilu vlnitosti
Sz (μm)	11,6		15		15,7		8,39		
St (μm)	14,7		17,7		31,3		40,6		

### 5.4.2 Vzorčky s náterovou hmotou

Tab. 13 – Tabulka naměřených hodnot vzorků s náterovou hmotou s mezní vlnovou délkou 0,8 mm.

cut-off 0,8 (mm)	6000 ot/min				9000 ot/min				
	10 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	
Ra (μm)	0,3	0,299	0,39	0,501	0,288	0,341	0,396	0,362	Drsnost
$\overline{Ra}$ (μm)	0,2995		0,4455		0,3145		0,379		
Rt (μm)	3,48	3,32	4,06	6,11	2,63	2,62	3,59	3,17	
$\overline{Rt}$ (μm)	3,4		5,085		2,625		3,38		
Rz (μm)	1,77	1,55	2,31	2,59	1,7	1,62	2,06	1,95	
$\overline{Rz}$ (μm)	1,66		2,45		1,66		2,005		
RSm (mm)	0,21	0,227	0,163	0,23	0,17	0,185	0,197	0,242	
$\overline{RSm}$ (mm)	0,2185		0,1965		0,1775		0,2195		
Wa (μm)	0,691	0,592	1,76	1,1	0,718	0,502	0,45	0,795	Vlnitost
$\overline{Wa}$ (μm)	0,6415		1,43		0,61		0,6225		
Wt (μm)	3,04	3,13	7,03	5,19	3,6	2,38	2,45	3,92	
$\overline{Wt}$ (μm)	3,085		6,11		2,99		3,185		
Wz (μm)	1,27	1,18	3,1	2,02	1,06	1,02	1,01	1,24	
$\overline{Wz}$ (μm)	1,225		2,56		1,04		1,125		
WSm (mm)	2,26	1,74	2,66	2,47	2,91	2,07	1,71	3,01	
$\overline{WSm}$ (mm)	2		2,565		2,49		2,36		
Sa (μm)	0,608		0,892		0,778		0,748		Z profilu drsnosti
Sz (μm)	15,4		22,7		17,8		11,4		
St (μm)	18,5		28		21,6		12,8		
Sa (μm)	2,89		2,98		4,59		1,5		Z profilu vlnitosti
Sz (μm)	15,7		16,1		22,7		9,59		
St (μm)	16,7		17,8		23,5		10,4		

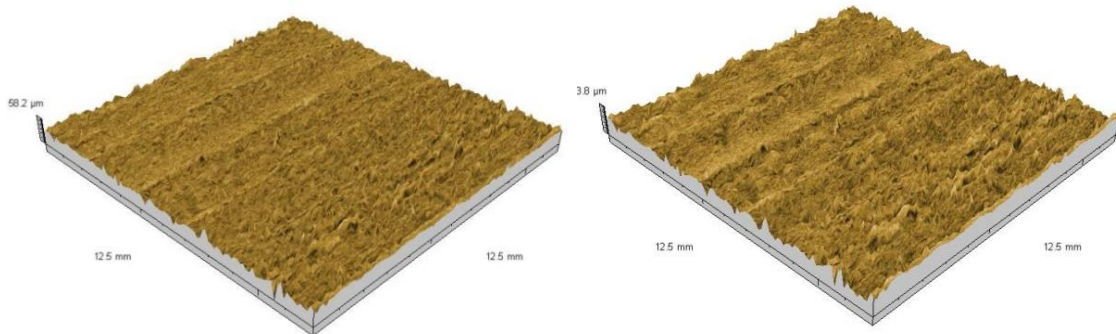
Tab. 14 – Tabulka naměřených hodnot vzorků s nátěrovou hmotou s mezní vlnovou délkou 2,5 mm.

cut-off 2,5 (mm)	6000 ot/min				9000 ot/min				
	10 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	10 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	20 m/min <sup>-1</sup>	
Ra (μm)	0,525	0,581	0,882	0,903	0,467	0,528	0,529	0,575	Drsnost
$\overline{Ra}$ (μm)	0,553		0,8925		0,4975		0,552		
Rt (μm)	5,27	4,57	5,08	7,34	3,38	3,9	3,99	4,24	
$\overline{Rt}$ (μm)	4,92		6,21		3,64		4,115		
Rz (μm)	3,87	3,59	4,32	5,46	2,81	3,34	3,37	3,32	
$\overline{Rz}$ (mm)	3,73		4,89		3,075		3,345		
RSm (mm)	0,522	0,414	0,501	0,625	0,3	0,309	0,312	0,371	
$\overline{RSm}$ (μm)	0,468		0,563		0,3045		0,3415		
Wa (μm)	2,424	0,318	1,24	0,878	0,559	0,283	0,239	0,603	Vlnitost
$\overline{Wa}$ (μm)	1,371		1,059		0,421		0,421		
Wt (μm)	2,16	1,7	4,62	3,15	2,08	1,34	1,1	2,61	
$\overline{Wt}$ (μm)	1,93		3,885		1,71		1,855		
Wz (μm)	1,24	1,16	3,75	2,27	1,32	0,83	0,74	1,47	
$\overline{Wz}$ (μm)	1,2		3,01		1,075		1,105		
WSm (mm)	2,56	2,63	3,04	3,93	3,96	2,78	4,06	3,98	
$\overline{WSm}$ (mm)	2,595		3,485		3,37		4,02		
Sa (μm)	1,4		2,01		2,05		1,32		Z profilu drsnosti
Sz (μm)	17,1		20,9		20,6		12		
St (μm)	19,4		23,8		22,2		13,1		
Sa (μm)	2,31		1,79		3,3		0,885		Z profilu vlnitosti
Sz (μm)	7,09		9,37		10,2		4,5		
St (μm)	12,3		12,1		18,5		6,21		

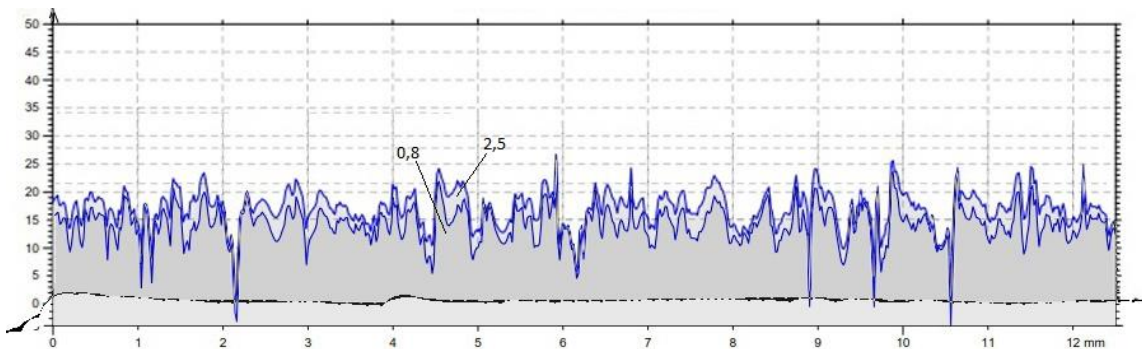
### 5.4.3 Porovnání mezních vlnových délek cut-off

Při hodnocení naměřených výsledků v programu Talymap, byly použity dvě mezní vlnové délky cut-off 0,8 a 2,5, protože by jinak musely být udělány předběžné testy pro určení této hodnoty.

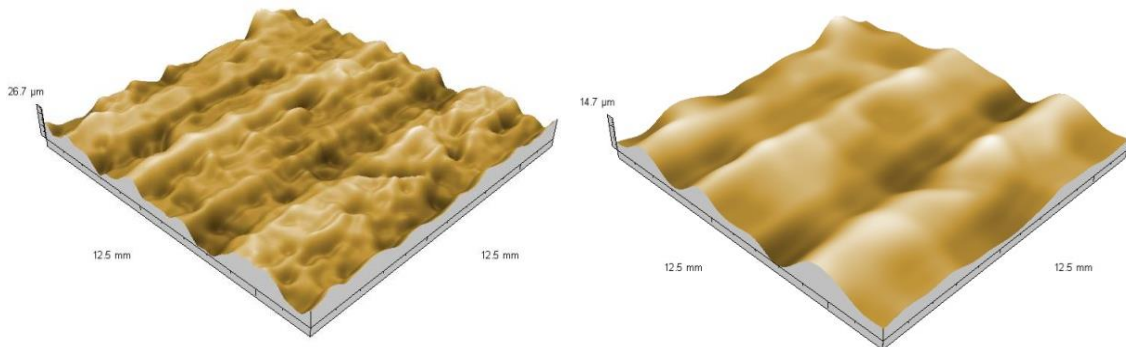
### 5.4.3.1 Povrch při 6000 ot/min a posuvu 10 m/min



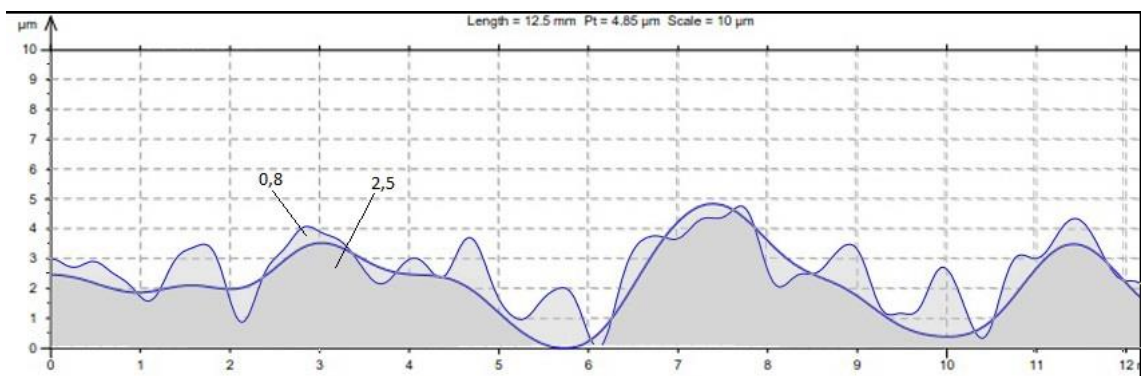
Obr. 44 – Naměřený 3D povrch drsnosti pro mezní vlnové délky 0,8 (vlevo) a 2,5 (vpravo).



Obr. 45 – Profily drsnosti pro mezní vlnové délky cut-off 0,8 a 2,5 mm.

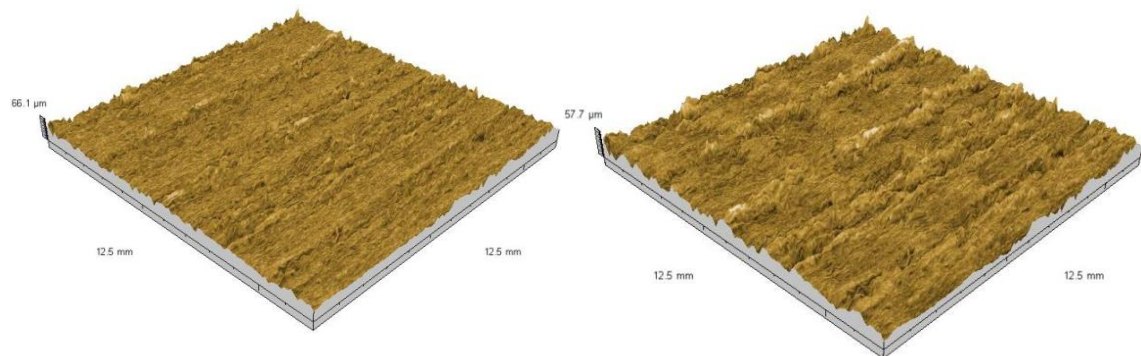


Obr. 46 – Naměřený 3D povrch vlnitosti pro mezní vlnové délky 0,8 (vlevo) a 2,5 (vpravo).

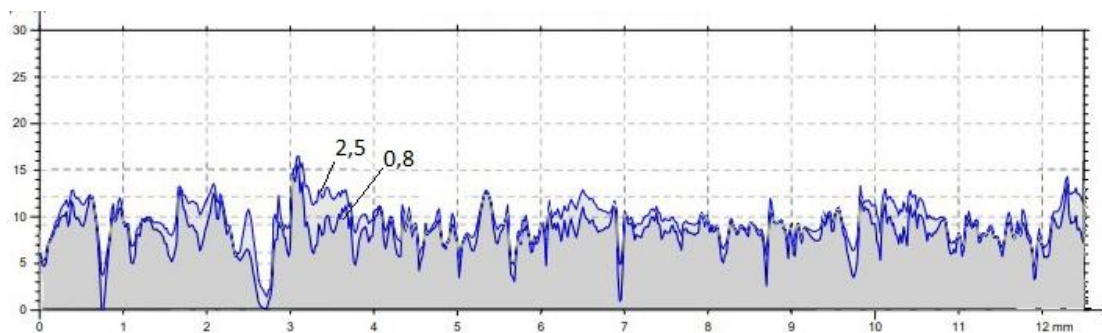


Obr. 47 – Profily vlnitosti pro mezní vlnové délky cut-off 0,8 a 2,5 mm.

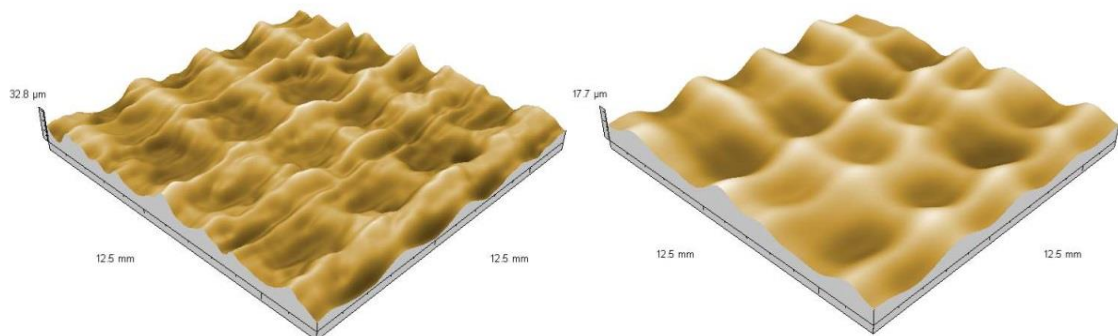
### 5.4.3.2 Povrch při 6000 ot/min a posuvu 20 m/min



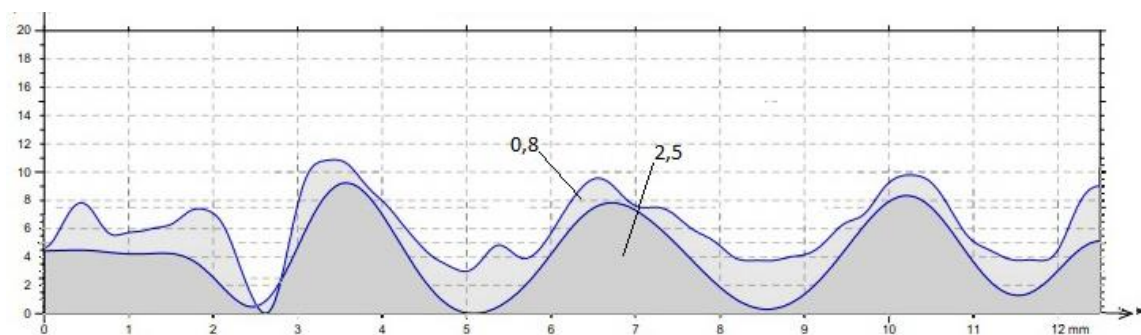
Obr. 48 – Naměřený 3D povrch drsnosti pro mezní vlnové délky 0,8 (vlevo) a 2,5 (vpravo).



Obr. 49 – Profily drsnosti pro mezní vlnové délky cut-off 0,8 a 2,5 mm.



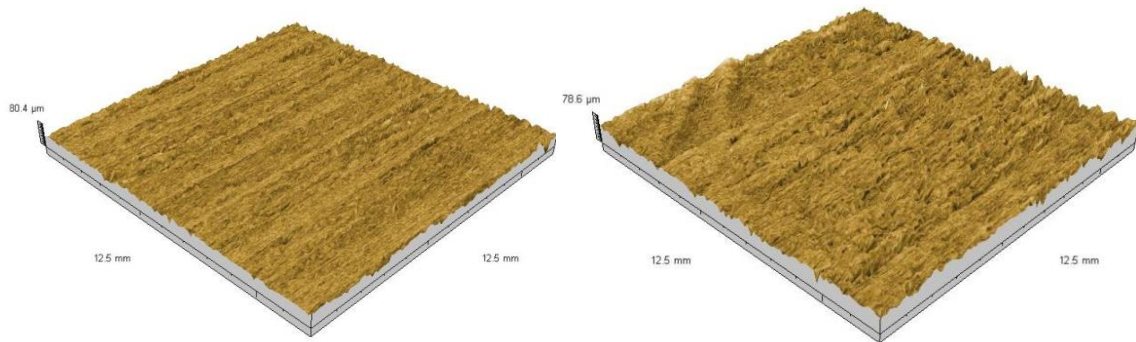
Obr. 50 – Naměřený 3D povrch vlnitosti pro mezní vlnové délky 0,8 (vlevo) a 2,5 (vpravo).



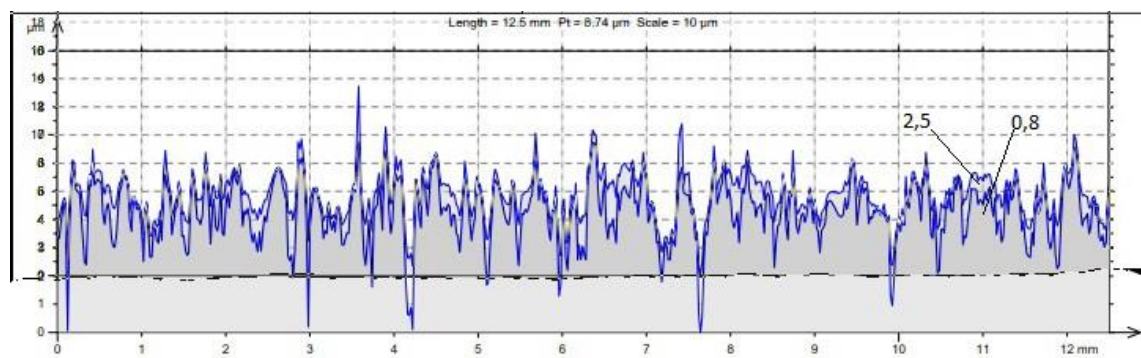
Obr. 51 – Profily vlnitosti pro mezní vlnové délky cut-off 0,8 a 2,5 mm.



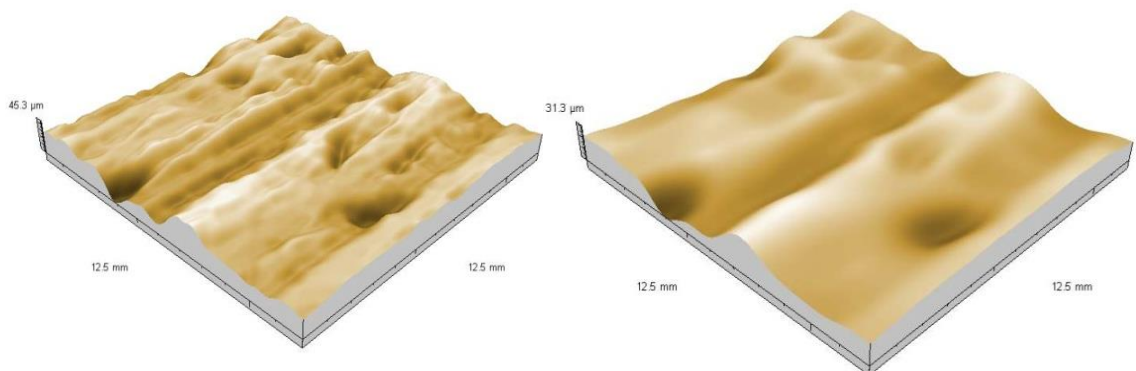
### 5.4.3.3 Povrch při 9000 ot/min a posuvu 10 m/min



Obr. 52 – Naměřený 3D povrch drsnosti pro mezní vlnové délky 0,8 (vlevo) a 2,5 (vpravo).

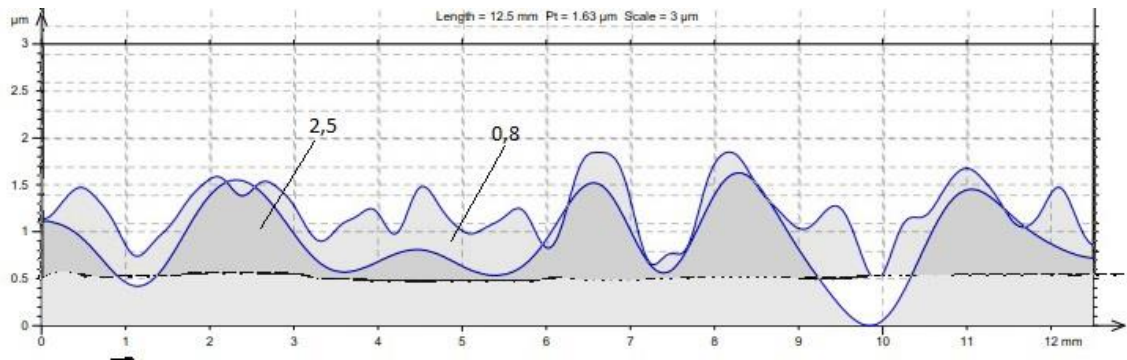


Obr. 53 – Profily drsnosti pro mezní vlnové délky cut-off 0,8 a 2,5 mm.



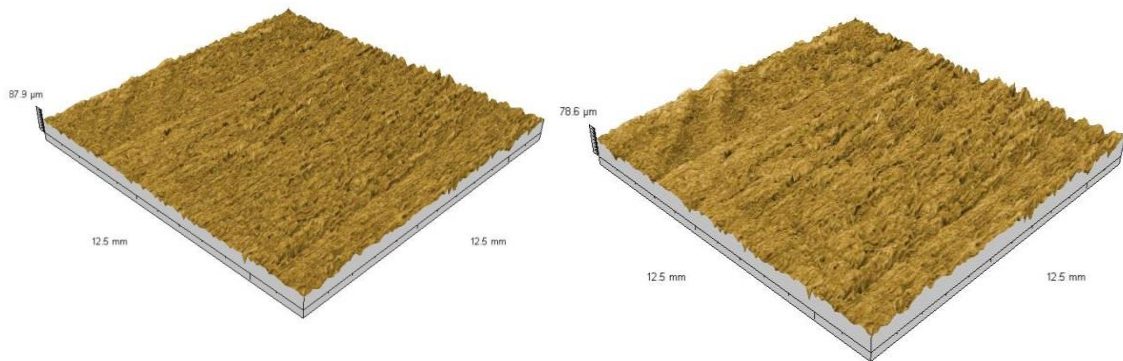
Obr. 54 – Naměřený 3D povrch vlnitosti pro mezní vlnové délky 0,8 (vlevo) a 2,5 (vpravo).



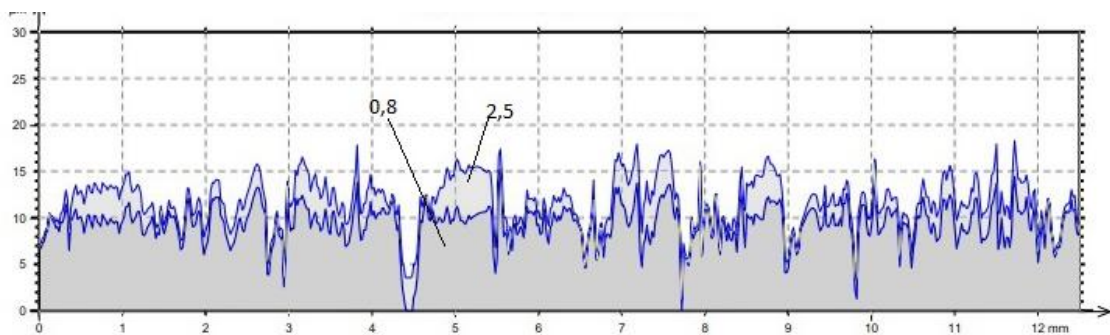


Obr. 55 – Profily vlnitosti pro mezní vlnové délky cut-off 0,8 a 2,5 mm.

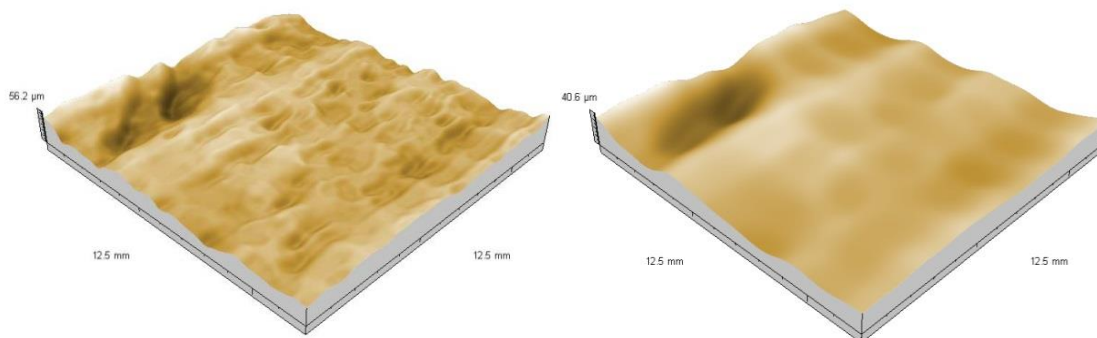
#### 5.4.3.4 Povrch při 9000 ot/min a posuvu 20 m/min



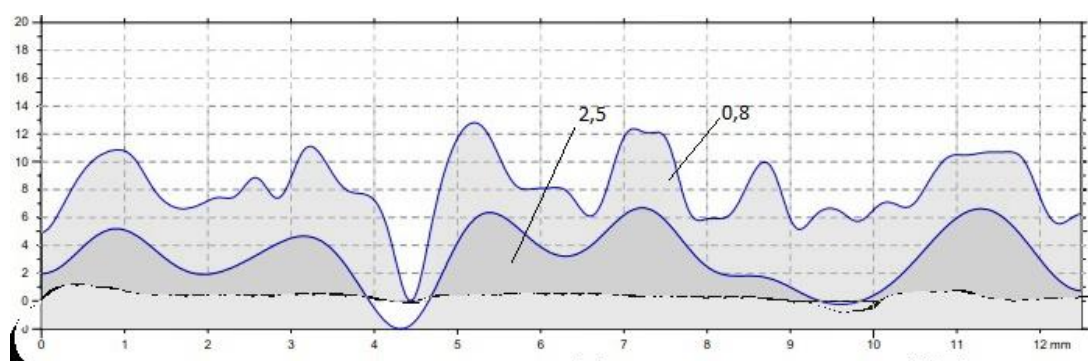
Obr. 56 – Naměřený 3D povrch drsnosti pro mezní vlnové délky 0,8 (vlevo) a 2,5 (vpravo).



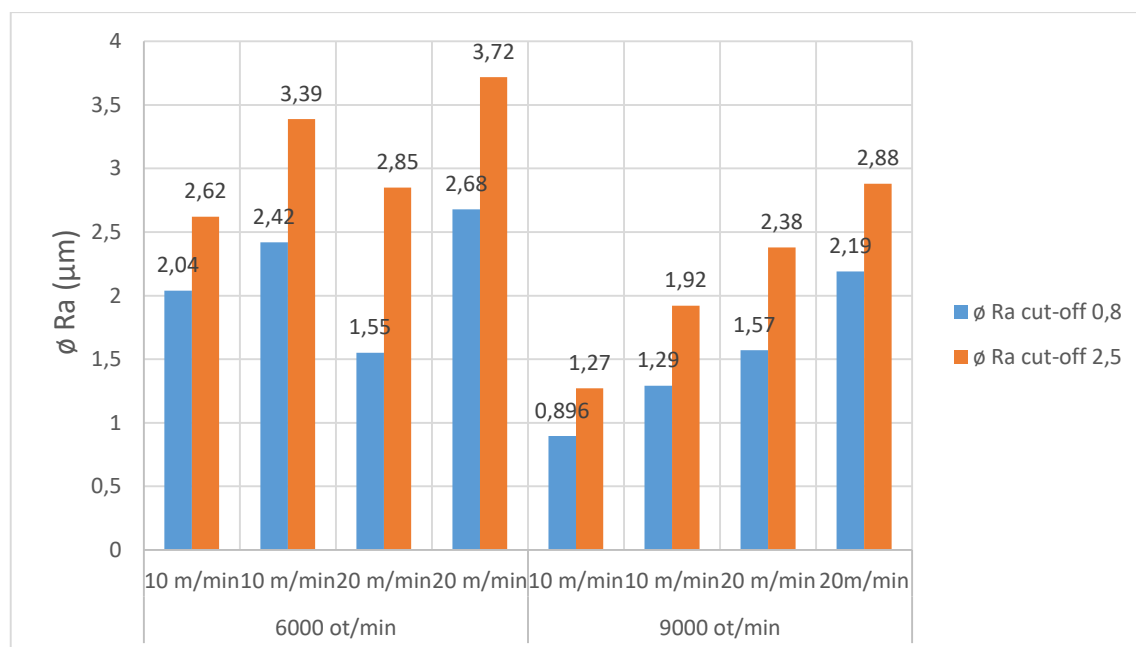
Obr. 57 – Profily drsnosti pro mezní vlnové délky cut-off 0,8 a 2,5 mm.



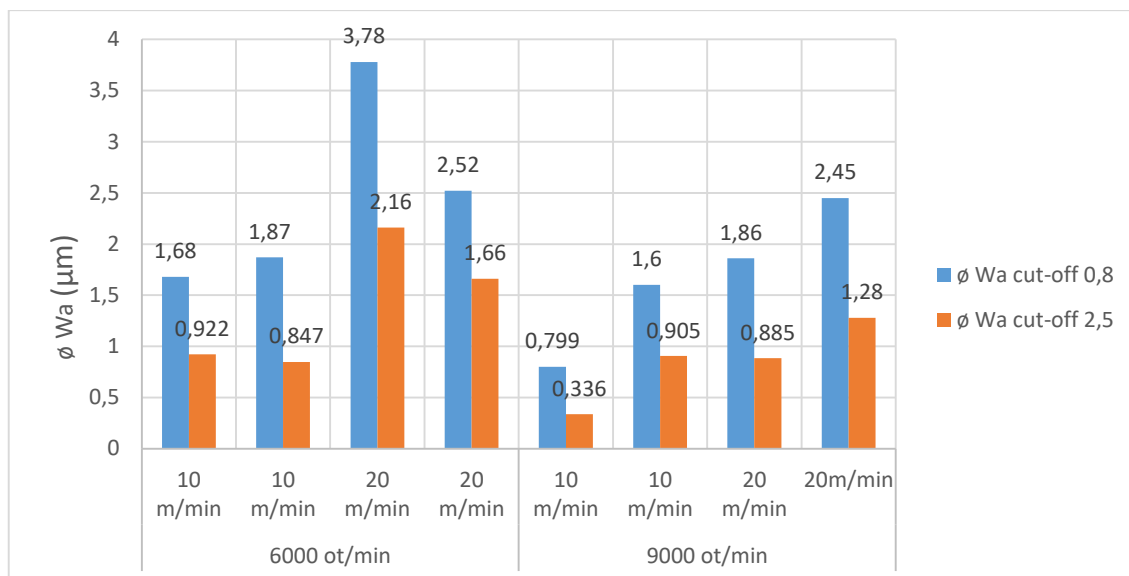
Obr. 58 – Naměřený 3D povrch vlnitosti pro mezní vlnové délky 0,8 (vlevo) a 2,5 (vpravo).



Obr. 59 – Profily vlnitosti pro mezní vlnové délky cut-off 0,8 a 2,5 mm.



Obr. 60 – Graf porovnání průměrů výsledných hodnoty Ra při různé mezní vlnové délce cut-off.



Obr. 61 – Graf porovnání průměrů výsledných hodnot  $W_a$  při různé mezní vlnové délce cut-off.

Z výše uvedených materiálů získaných měřením je zřejmé jak důležité je správně vybrat mezní vlnovou délku cut-off. Při testování těchto vzorků je byly hodnoty cut-off vybrány podle nejčastěji používaných. Pro přesnější výběr této hodnoty, by musel být proveden předběžný test za účelem získání této hodnoty a posléze její používání. Na uvedených 3D modelech naměřených povrchů jsou zřejmé rozdíly povrchu při cut-off 0,8 a 2,5 mm.

Při pohledu na modely vlnitosti je možné říct, že při cut-off 0,8 zde zůstávají hodnoty drsnosti. Tento jev je možné pozorovat i na 2D profilu vlnitosti, kde v porovnání s cut-off 2,5 je na profilu cut-off 0,8 více výstupků, které příliš neodpovídají teorii, že vlnitost způsobují břity nástroje.

Po přezkoumání 3D modelů drsnosti je jev opačný. Na modelech pro cut-off 2,5 jsou viditelné vlnky, nejvíce na povrchu při parametrech 6000 ot/min a posuvu 10 m/min (obr. 44). Z grafů také vyplývá, že při mezní hodnotě vlnové délky cut-off 0,8 mm se drsnost  $R_a$  a vlnitost  $W_a$  zvětšuje, u cut-off 2,5 mm je tomu naopak.

Aby bylo možné říci, že je povrch čistě vlnitý nebo drsný, cut-off by se muselo vybrat někde mezi hodnotami 0,8 a 2,5 mm. V této práci byla po konzultaci vybrána hodnota cut-off 2,5. Dle úsudku je sice v povrchu drsnosti vidět zbytky vlnitosti, ale to je zanedbatelné oproti viditelné drsnosti na povrchu vlnitosti. Z uvedených důvodů, ale také protože použitý drsnoměr Mitutoyo SJ - 201 P měří jen s mezní vlnovou délkou cut-off 2,5, je dále pracováno jen s hodnotami při cut-off 2,5.

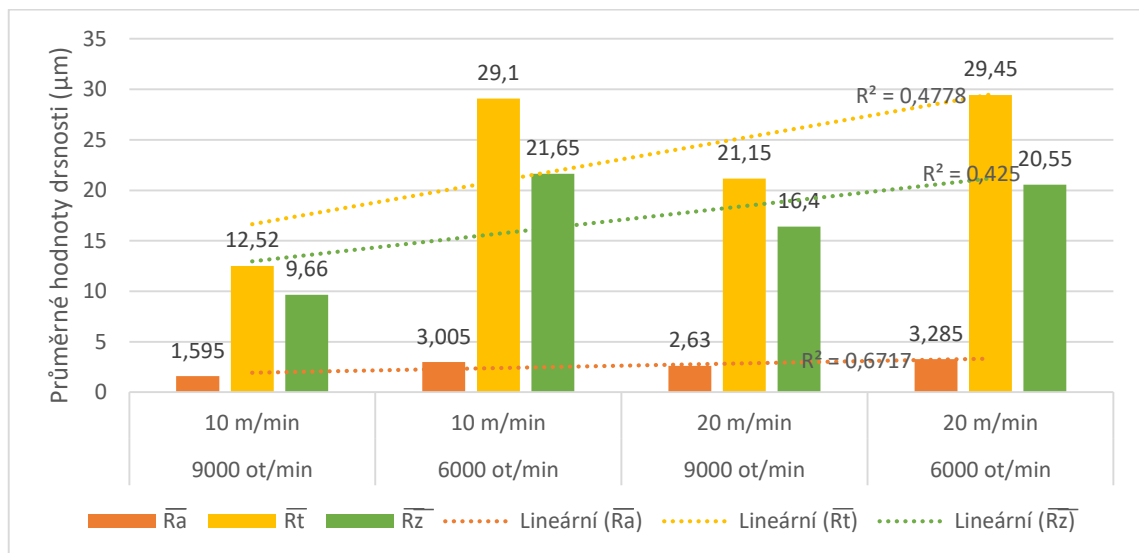
#### 5.4.4 Porovnání vzorků s různými parametry obrábění

Z předchozí kapitoly vyplynulo, že pro další hodnocení budou využity data s mezní vlnovou délkou cut-off 2,5 mm. Pro lepší orientaci zde byla vložena tabulka s vybranými parametry frézování.

Tab. 15 – Vybrané parametry frézování.

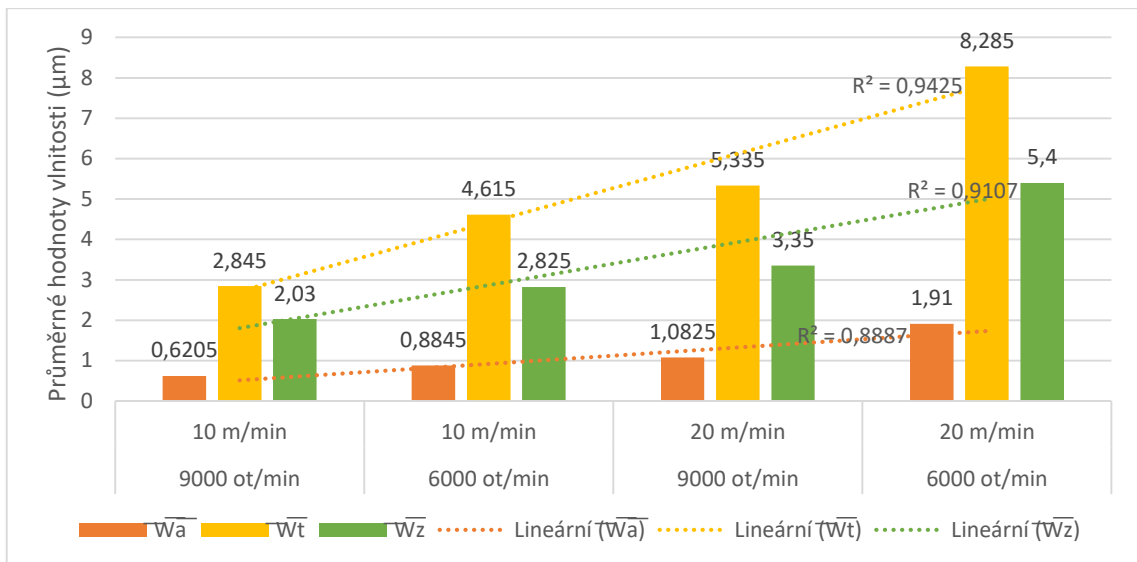
Rychlost otáček hřídele $n$ (ot.min-1)	Řezná rychlost $v_c$ (m.s-1)	Rychlost posuvu $v_f$ (m.min-1)	Úběr na zub $f_z$ (mm)
6000	39,25	10	0,278
		20	0,556
9000	58,875	10	0,185
		20	0,370

##### 5.4.4.1 Hodnocení frézovaných vzorků



Obr. 62 – Porovnání naměřených hodnot drsnosti u frézovaných vzorků při různých parametrech obrábění.

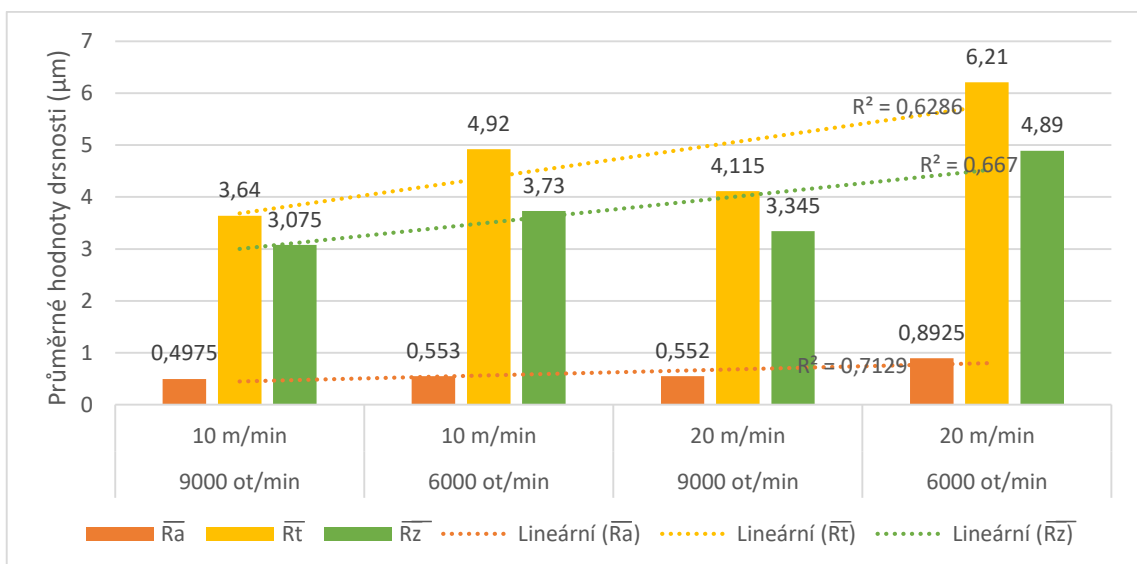
Hodnoty v grafu jsou seřazeny podle velikosti úběru na zub, tato hodnota se využívá k přehlednému porovnání parametrů obrábění. Tab. 15 udává přepočtené hodnoty frézování. Při pohledu na graf je jasné, že hodnoty drsnosti nejsou seřazeny, jak by se teoreticky očekávalo. Parametry 10 m/min při 6000 ot/min jsou větší, i když mají úběr na zub menší než frézování při 20 m/min a 9000 ot/min. Po proložení grafu lineární spojnicí trendu, sice přímka stoupá se stoupajícím úběrem na zub, ale podle hodnoty R odpovídá zhruba z poloviny.



Obr. 63 – Porovnání naměřených hodnot vlnitosti u frézovaných vzorků při různých parametrech obrábění.

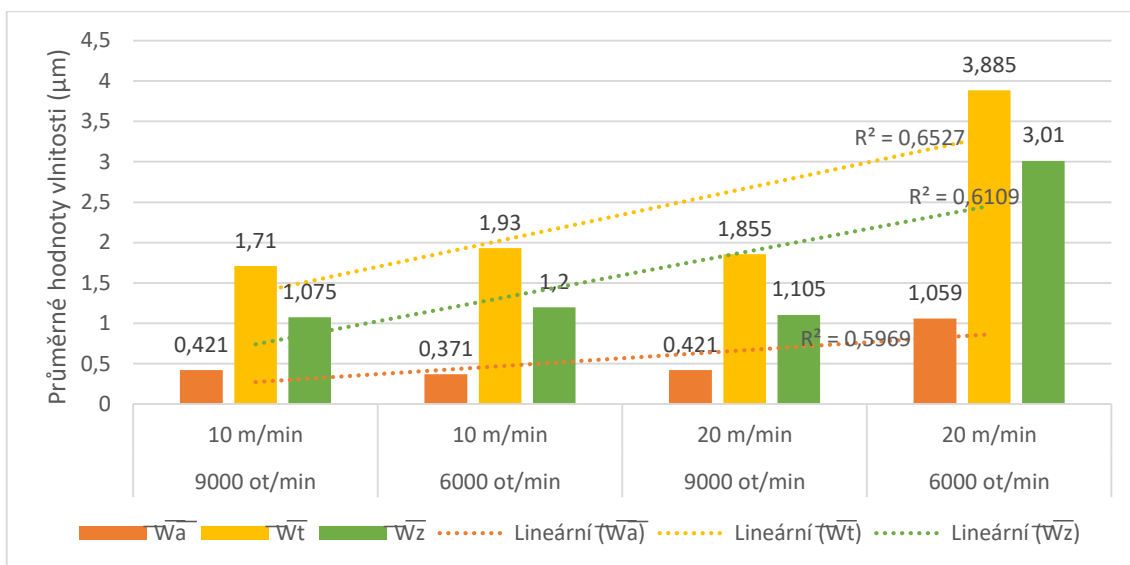
Ve výše uvedeném grafu jsou opět hodnoty seřazeny podle velikosti úběru na zub. Po proložení lineární spojnicí trendu je jasné, že všechny hodnoty mají zvyšující se průběh. Hodnota R se blíží k 1, takže se hodnoty blíží k ideální přímce. Z grafu tedy vyplývá, při zvyšujícím se úběrem na zub se zvětšuje také vlnitost povrchu.

#### 5.4.4.2 Hodnocení vzorků s nátěrovou hmotou



Obr. 64 – Graf srovnání naměřených hodnot drsnosti u vzorků s nátěrovou hmotou při různých parametrech obrábění.

Vzorky ve výše uvedeném grafu jsou opět seřazeny podle velikosti úběru na zub. Hodnoty drsnosti jsou opět velmi vyrovnané jako při frézovaných vzorcích. Po proložení dat lineární spojnicí trendu je vidět, že hodnoty stoupají jen mírně. Podle čísla R ve spojnicí trendu se naměřené hodnoty této přímce blíží asi z 60 %.



Obr. 65 – Graf srovnání naměřených hodnot vlnitosti u vzorků s nátěrovou hmotou při různých parametrech obrábění.

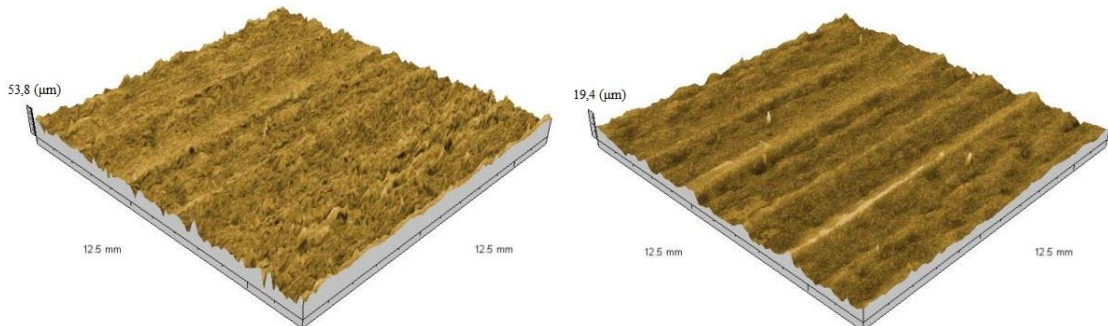
Z uvedeného grafu je patrné, že hodnoty po nanesení nátěrové hmoty už nemají tak jasný stoupající trend podle velikosti úběru na zub. Lineární spojnice trendu sice pořád stoupá, ale podle čísla spolehlivosti R se naměřené hodnoty k této přímce blíží jen z poloviny.



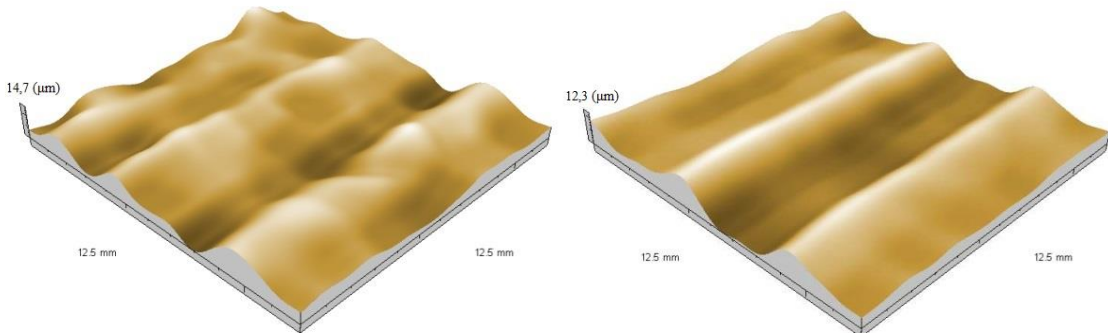
## 5.4.5 Porovnání frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou

### 5.4.5.1 3D povrchy před a po nanesení nátěrové hmoty

6000 ot/min a posuv 10 m/min

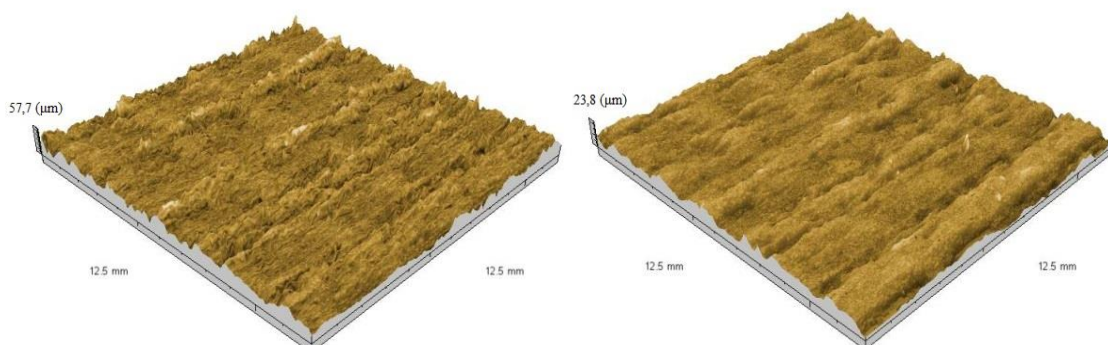


Obr. 66 – 3D povrch drsnosti pro 6000 ot/min a posuv 10 m/min, před nátěrem (vlevo) po nátěru (vpravo).

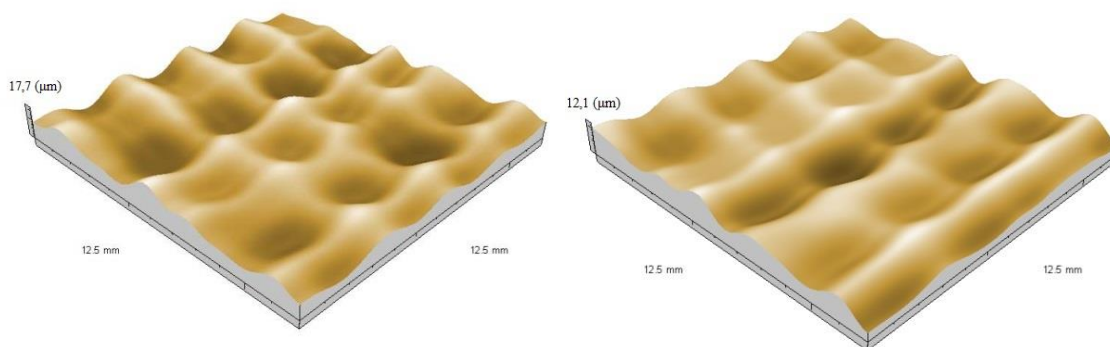


Obr. 67 – 3D povrch vlnitosti pro 6000 ot/min a posuv 10 m/min, před nátěrem (vlevo) po nátěru (vpravo).

6000 ot/min a posuv 20 m/min

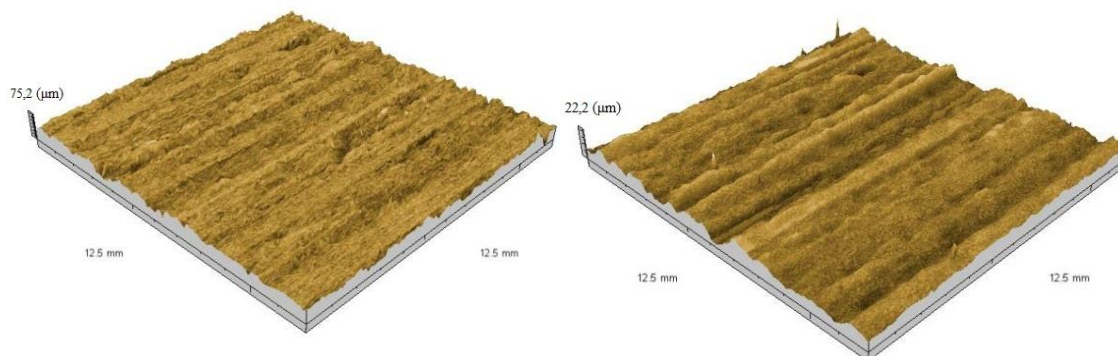


Obr. 68 – 3D povrch drsnosti pro 6000 ot/min a posuv 20 m/min, před nátěrem (vlevo) po nátěru (vpravo).

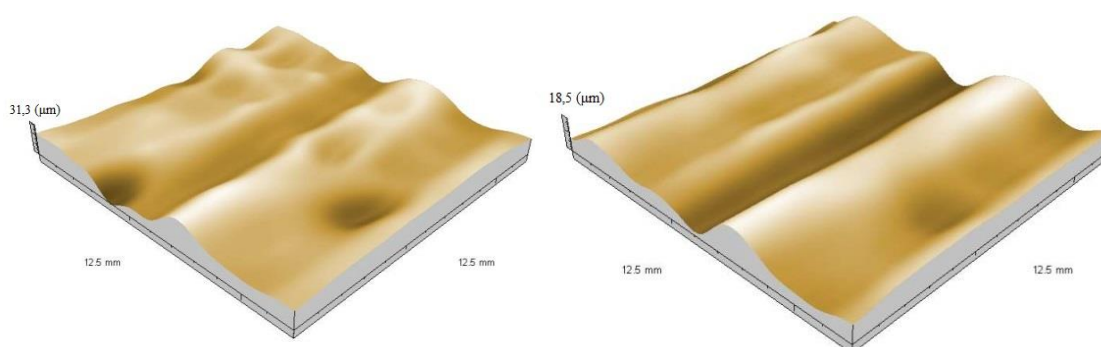


*Obr. 69 – 3D povrch vlnitosti pro 6000 ot/min a posuv 20 m/min, před nátěrem (vlevo) po nátěru (vpravo).*

**9000 ot/min a posuvu 10 m/min**



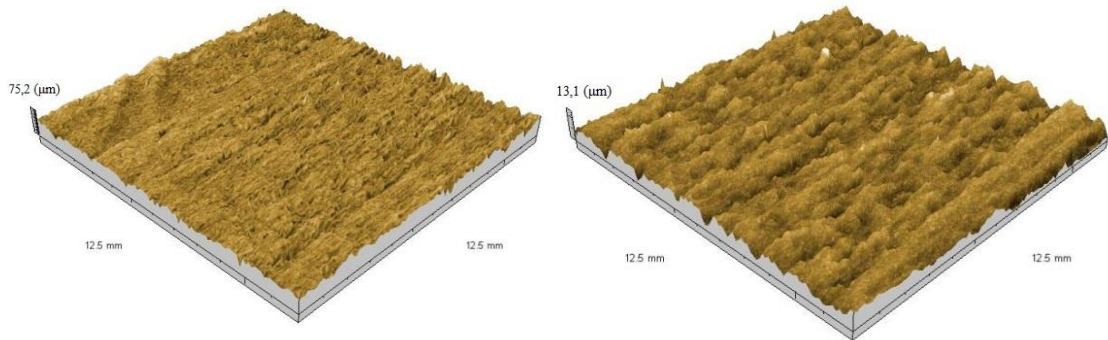
*Obr. 70 – 3D povrch drsnosti pro 9000 ot/min a posuv 10 m/min, před nátěrem (vlevo) po nátěru (vpravo).*



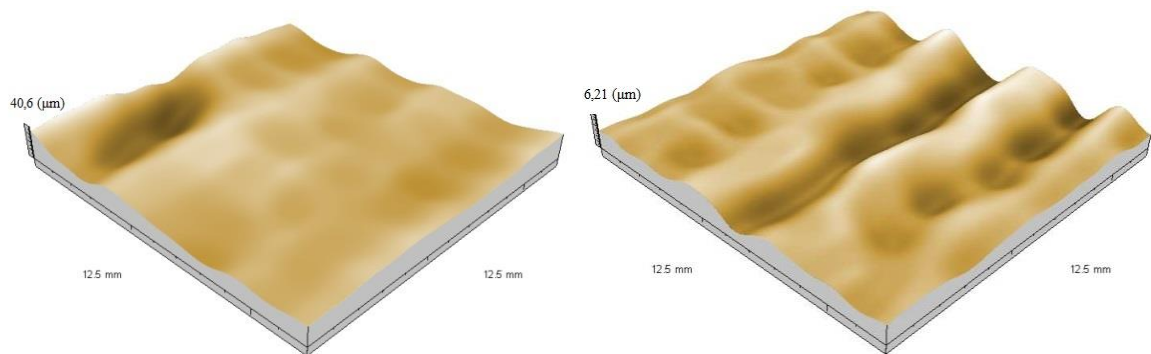
*Obr. 71 – 3D povrch vlnitosti pro 9000 ot/min a posuv 10 m/min, před nátěrem (vlevo) po nátěru (vpravo).*



### 9000 ot/min a posuv 20 m/min



Obr. 72 – 3D povrch drsnosti pro 9000 ot/min a posuv 20 m/min, před nátěrem (vlevo) po nátěru (vpravo).



Obr. 73 – 3D povrch vlnitosti pro 9000 ot/min a posuv 20 m/min, před nátěrem (vlevo) po nátěru (vpravo).

#### 5.4.5.2 Parametr profilu drsnosti Ra

Parametr je blíže popsán v kapitole 3.2.3.9 Definice parametrů povrchu.

Tab. 16 – Naměřené průměrné hodnoty Ra u frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.

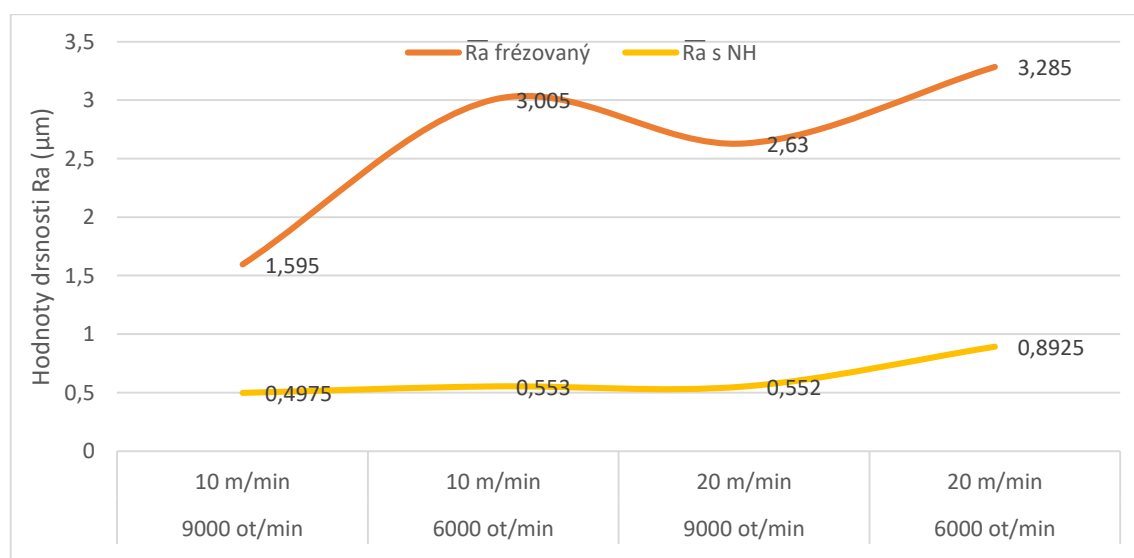
	9000 ot/min_10 m/min	6000 ot/min_10 m/min	9000 ot/min_20 m/min	6000 ot/min_20 m/min
Ra frézovaný ( $\mu\text{m}$ )	1,595	3,005	2,63	3,285
Ra s NH ( $\mu\text{m}$ )	0,4975	0,553	0,552	0,8925
Procentuální rozdíl	68,81%	81,60%	79,01%	72,83%

Tab. 17 – Dvouvýběrový párový t-test hodnoty Ra frézovaného povrchu a povrchu s NH.

	Ra frézovaný	Ra s NH
Stř. hodnota	2,62875	0,62375
Rozptyl	0,546956	0,032773
Pozorování	4	4
Pears. korelace	0,697531	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	3	
t Stat	6,396989	
P(T<=t) (1)	0,003869	0,004 < 0,05
t krit (1)	2,353363	6,4 > 2,35
P(T<=t) (2)	0,007737	0,008 < 0,05
t krit (2)	3,182446	6,4 > 3,18

Po vyhodnocení párového t-testu v tab. 17. byla nulová hypotéza zamítnuta. Proto můžeme říct, že se hodnota Ra po nanesení nátěrové hmoty statisticky významně změnila. V tab. 16. je tato změna vypočítaná procentuálně. Snížení hodnoty Ra u profilu drsnosti bylo průměrně o 75 %.

Na Grafu uvedeném pod textem je vidět jak se hodnota Ra snížila, ale také se hodnota po nanesení nátěrové hmoty sjednotila v rámci různých parametrů frézování.



Obr. 74 – Graf porovnání hodnot drsnosti Ra, před a po nanesení nátěrové hmoty.

### 5.4.5.3 Parametr profilu drsnosti Rt

Parametr je blíže popsán v kapitole 3.2.3.9 Definice parametrů povrchu.

Tab. 18 – Naměřené průměrné hodnoty Rt u frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.

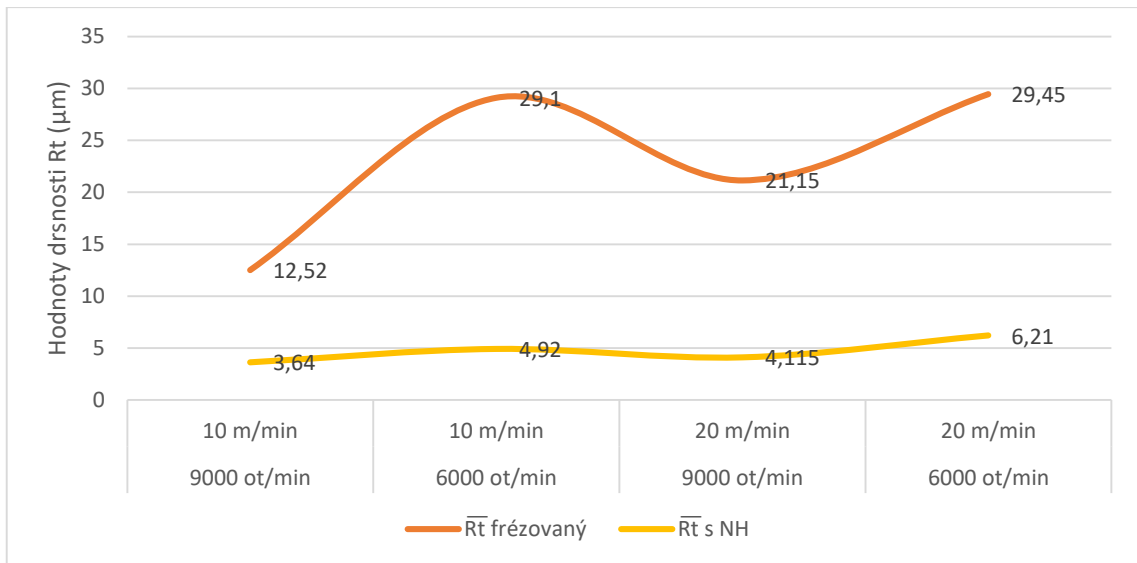
	9000 ot/min _ 10 m/min	6000 ot/min _ 10 m/min	9000 ot/min _ 20 m/min	6000 ot/min _ 20 m/min
Rt frézovaný ( $\mu\text{m}$ )	12,52	29,1	21,15	29,45
Rt s NH ( $\mu\text{m}$ )	3,64	4,92	4,115	6,21
Procentuální rozdíl	70,93%	83,09%	80,54%	78,91%

Tab. 19 – Dvouvýběrový párový t-test průměrné hodnoty Rt frézovaného povrchu a povrchu s NH.

	Rt frézovaný	Rt s NH
Stř. hodnota	23,055	4,72125
Rozptyl	64,01777	1,264173
Pozorování	4	4
Pears. korelace	0,862148	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	3	
t Stat	5,197534	
P(T<=t) (1)	0,006918	0,007 < 0,05
t krit (1)	2,353363	5,2 > 2,35
P(T<=t) (2)	0,013837	0,014 < 0,05
t krit (2)	3,182446	5,2 > 3,18

Z výše uvedené tabulky párového t-testu vyšla nulová hypotéza opět zamítnutím. Hodnota drsnosti povrchu Rt se po nanesení nátěrové hmoty statisticky významně změnila. Z tab. 18 je možné vyčíst, že průměrná hodnota Rt se změnila průměrně o 78 %.

Z níže uvedeného grafu je možné vyčíst, jak se hodnoty měnily u různých parametrů obrábění, a porovnání před a po nanesení nátěrové hmoty. Jak bylo již uvedeno hodnoty  $R_t$  se snížily, na grafu je patrné že se i sjednotily v rámci změn parametrů obrábění.



Obr. 75 – Graf porovnávací průměrné hodnoty  $R_t$  před a po nanesení nátěrové hmoty.

#### 5.4.5.4 Parametr profilu drsnosti $R_z$

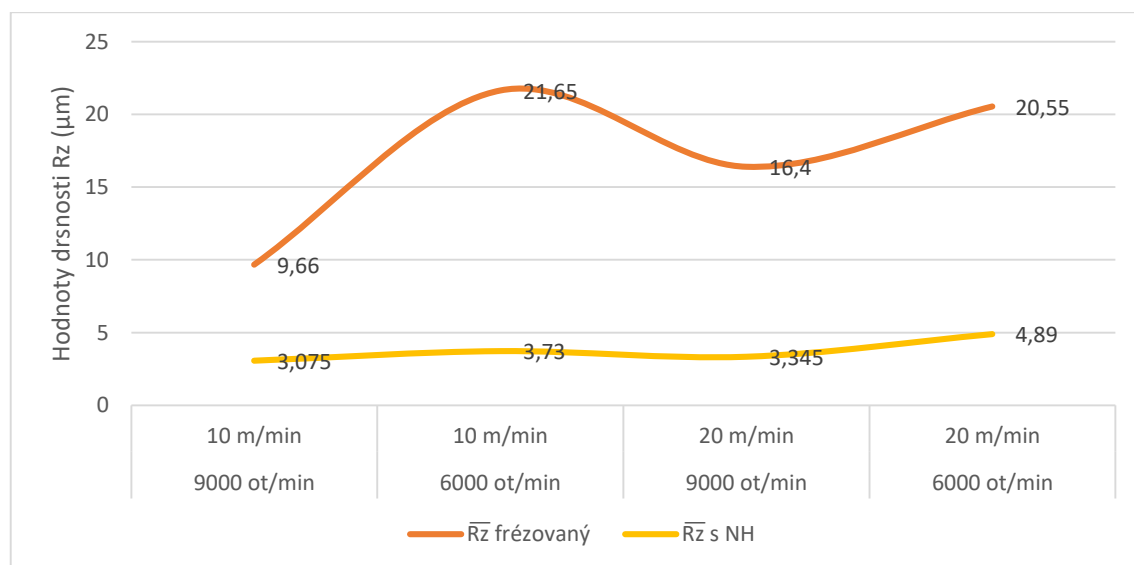
Tab. 20 – Naměřené průměrné hodnoty  $R_z$  u frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.

	9000 ot/min _ 10 m/min	6000 ot/min _ 10 m/min	9000 ot/min _ 20 m/min	6000 ot/min _ 20 m/min
$R_z$ frézovaný (µm)	9,66	21,65	16,4	20,55
$\bar{R}_z$ s NH (µm)	3,075	3,73	3,345	4,89
Procentuální rozdíl	68,17%	82,77%	79,60%	76,20%

Tab. 21 – Dvouvýběrový párový t-test průměrné hodnoty Rz frézovaného povrchu a povrchu s NH.

	$Rz$ frézovaný	$Rz$ s NH
Stř. hodnota	17,065	3,76
Rozptyl	29,48123	0,63975
Pozorování	4	4
Pears. korelace	0,702214	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	3	
t Stat	5,429288	
P(T<=t) (1)	0,006131	0,006 < 0,05
t krit (1)	2,353363	5,43 > 2,35
P(T<=t) (2)	0,012263	0,012 < 0,05
t krit (2)	3,182446	5,43 > 3,18

Párový t-test průměrné hodnoty Rz znovu vyvrátil nulovou hypotézu. U vzorků bez nátěrové hmoty a s nátěrovou hmotou je statisticky významný rozdíl v hodnotě drsnosti Rz. Procentuálně se u povrchu Rz snížily hodnoty po nanesení nátěrové hmoty průměrně o 76 %. Z grafu na obr. 76 je zřejmé jak se hodnoty snížily a za povšimnutí stojí srovnání hodnot v rámci změny parametrů obrábění, kde se křivka vyrovnala.



Obr. 76 – Graf porovnávající průměrné hodnoty Rz před a po nanesení nátěrové hmoty.

### 5.4.5.5 Parametry profilu drsnosti RSm

Tab. 22 – Naměřené průměrné hodnoty RSm u frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.

	9000 ot/min _ 10 m/min	6000 ot/min _ 10 m/min	9000 ot/min _ 20 m/min	6000 ot/min _ 20 m/min
$\overline{RSm}$ frézovaný ( $\mu\text{m}$ )	0,379	0,302	0,3425	0,5065
$\overline{RSm}$ s NH (mm)	0,3045	0,468	0,3415	0,563
Procentuální rozdíl	19,66%	-54,97%	0,29%	-11,15%

Tab. 23 – Dvouvýběrový párový t-test průměrné hodnoty RSm frézovaného povrchu a povrchu s NH.

	$\overline{RSm}$ frézovaný	$\overline{RSm}$ s NH
Stř. hodnota	0,3825	0,41925
Rozptyl	0,007823	0,014084
Pozorování	4	4
Pears. korelace	0,552945	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	3	
t Stat	-0,72425	
P(T<=t) (1)	0,260642	0,26 > 0,05
t krit (1)	2,353363	0,72 < 2,35
P(T<=t) (2)	0,521284	0,52 > 0,05
t krit (2)	3,182446	0,72 < 3,18

Nulová hypotéza u parametrů drsnosti RSm se potvrdila. Díky tomu lze říct, že parametr RSm se po nanesení nátěrové hmoty statisticky významně nezmění.

### 5.4.5.6 Parametr profilu vlnitosti $W_a$

Tab. 24 – Naměřené průměrné hodnoty  $W_a$  u frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.

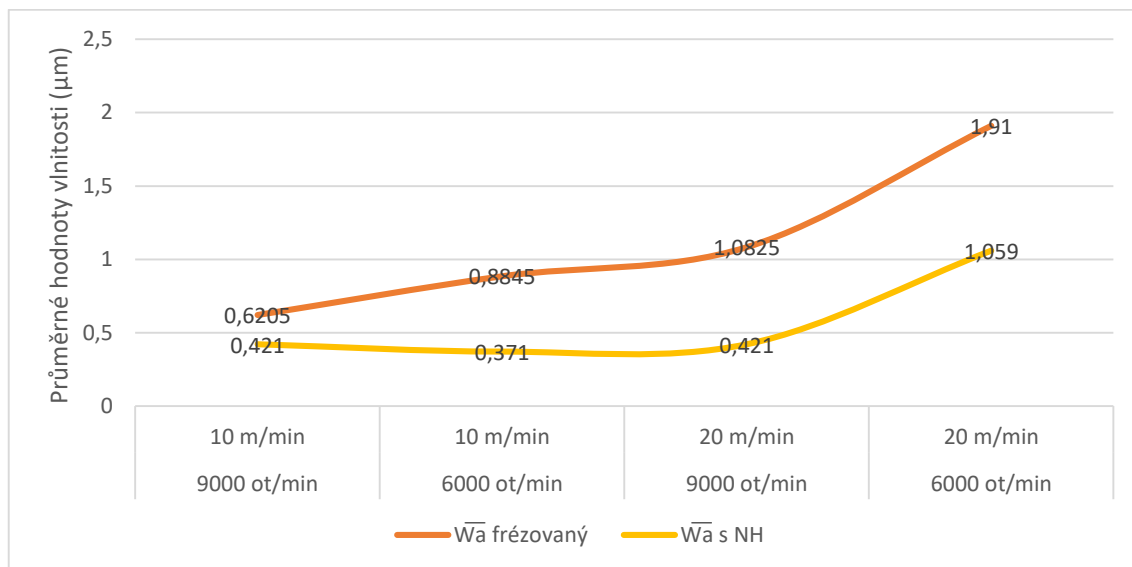
	9000 ot/min _ 10 m/min <sup>-1</sup>	6000 ot/min _ 10 m/min <sup>-1</sup>	9000 ot/min _ 20 m/min <sup>-1</sup>	6000 ot/min _ 20 m/min <sup>-1</sup>
$\bar{W}_a$ frézovaný ( $\mu\text{m}$ )	0,6205	0,8845	1,0825	1,91
$\bar{W}_a$ s NH ( $\mu\text{m}$ )	0,4975	0,553	0,552	0,8925
Procentuální rozdíl	19,82%	37,48%	49,01%	53,27%

Tab. 25 – Dvouvýběrový párový t-test průměrné hodnoty  $W_a$  frézovaného povrchu a povrchu s NH.

	$\bar{W}_a$ frézovaný	$\bar{W}_a$ s NH
Stř. hodnota	1,124375	0,62375
Rozptyl	0,31013	0,032773
Pozorování	4	4
Pears. korelace	0,974468	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	3	
t Stat	2,616641	
P(T<=t) (1)	0,039615	0,04 < 0,05
t krit (1)	2,353363	2,35 < 2,62
P(T<=t) (2)	0,07923	0,08 > 0,05
t krit (2)	3,182446	3,18 > 2,6

Z grafu (obr. 77) je patrné jak se povrch z hlediska vlnitosti změnil po nanesení nátěrové hmoty. V rámci změny parametrů obrábění se moc nezměnil, kopíruje křivku naměřenou bez nátěrové hmoty. Pokles vlnitosti po nanesení nátěrové hmoty, ale byl zaznamenán, podle tab. 24 je průměrné procento snížení hodnot  $W_a$  40 %. Z výsledků párového t-testu jsou hodnoty  $W_a$  před a po nanesení nátěrové hmoty u jednostranného testu statisticky významně rozdílné. Naopak tomu je při oboustranném testu, který říká, že rozdíl hodnot před a po nanesení nátěrové hmoty je statisticky nevýznamný a je možné je brát, že jsou stejné.

Z již popsaného grafu je zřetelné, že čím větší byla vlnitost  $W_a$ , tím větší bylo její snížení po nanesení nátěrové hmoty.



Obr. 77 – Graf porovnávající průměrné hodnoty  $W_a$  před a po nanesení nátěrové hmoty.

#### 5.4.5.7 Parametr profilu vlnitosti $W_t$

Tab. 26 – Naměřené průměrné hodnoty  $W_t$  u frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.

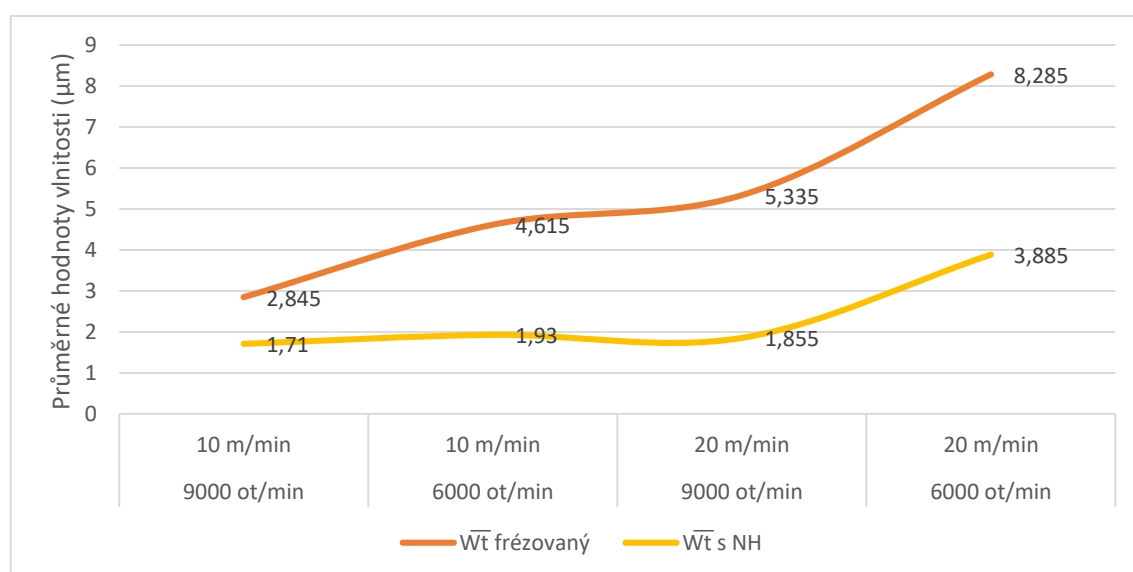
	9000 ot/min _ 10 m/min	6000 ot/min _ 10 m/min	9000 ot/min _ 20 m/min	6000 ot/min _ 20 m/min
$W_t$ frézovaný	2,845	4,615	5,335	8,285
$W_t$ s NH	1,71	1,93	1,855	3,885
Procentuální rozdíl	39,89%	58,18%	65,23%	53,11%



Tab. 27 – Dvouvýběrový párový t-test průměrné hodnoty  $W_t$  frézovaného povrchu a povrchu s NH.

	$W_t$ frézovaný	$W_t$ s NH
Stř. hodnota	5,27	2,345
Rozptyl	5,1347	1,062383
Pozorování	4	4
Pears. korelace	0,916674446	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	3	
t Stat	4,22725307	
P(T<=t) (1)	0,012106745	0,012 < 0,05
t krit (1)	2,353363435	2,35 < 4,23
P(T<=t) (2)	0,02421349	0,024 < 0,05
t krit (2)	3,182446305	3,18 < 4,23

Průměrná hodnota  $W_t$  se po nanesení nátěrové hmoty snížila průměrně o 54 % (tab. 26). Po vyhodnocení párovým t-testem v tab. 27, se toto snížení ukázalo jako statisticky významné. Na grafu uvedeném pod textem je zřejmé jak se hodnoty  $W_t$  po nanesení nátěrové hmoty snížila. Za povšimnutí také stojí, že se data v rámci různých frézovacích parametrů nezměnila a kopírují křivku s frézovanými vzorky.



Obr. 78 – Graf porovnávající průměrné hodnoty  $W_t$  před a po nanesení nátěrové hmoty.

#### 5.4.5.8 Parametr profilu drsnosti $W_z$

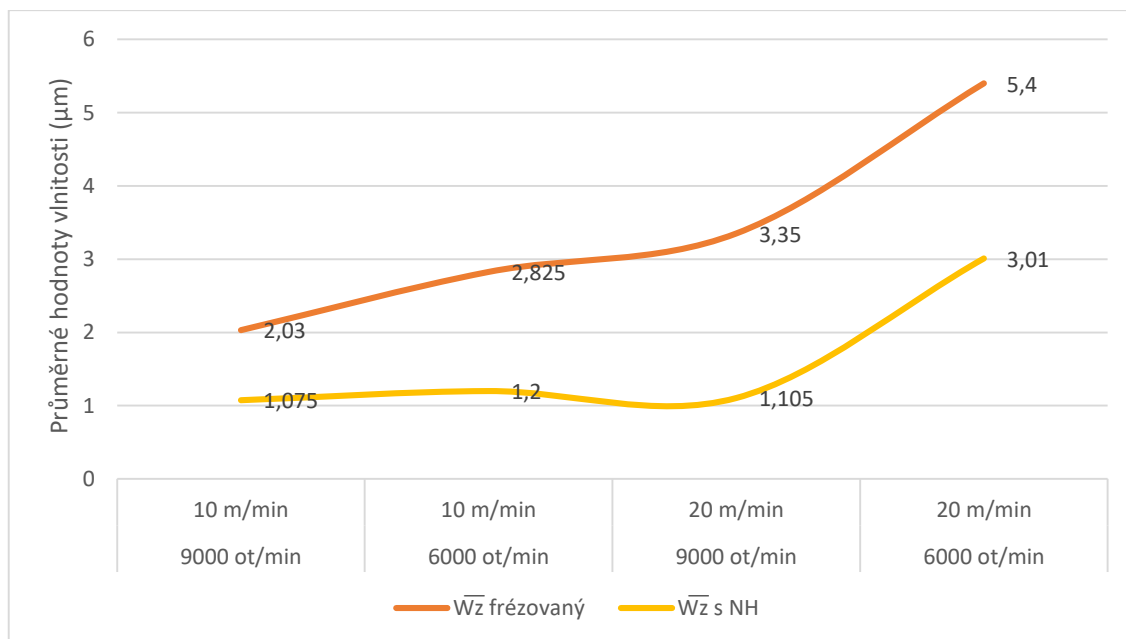
Tab. 28 – Naměřené průměrné hodnoty  $W_z$  u frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.

	9000 ot/min_10 m/min	6000 ot/min_10 m/min	9000 ot/min_20 m/min	6000 ot/min_20 m/min
$\bar{W}_z$ frézovaný	2,03	2,825	3,35	5,4
$\bar{W}_z$ s NH	1,075	1,2	1,105	3,01
Procentuální rozdíl	47,04%	57,52%	67,01%	44,26%

Tab. 29 – Dvouvýběrový párový t-test průměrné hodnoty  $W_z$  frézovaného povrchu a povrchu s NH.

	$W_z$ frézovaný	$W_z$ s NH
Stř. hodnota	3,40125	1,5975
Rozptyl	2,07000625	0,889575
Pozorování	4	4
Pears. korelace	0,931966689	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	3	
t Stat	5,49985396	
P(T<=t) (1)	0,005915233	0,006 < 0,05
t krit (1)	2,353363435	2,35 < 5,5
P(T<=t) (2)	0,011830466	0,012 < 0,05
t krit (2)	3,182446305	3,18 < 5,5

Z tabulky párového t-testu je zřejmé, že data naměřeny před nanesením nátěrové hmoty se statisticky významně liší od dat naměřených po nanesení nátěrové hmoty. Hodnota vlnitosti  $W_z$  je nižší průměrně o 54 %. Graf na obr. 79 ukazuje, jak se hodnoty snížily po nanesení nátěrové hmoty, ale také jak se mění v rámci změn parametrů obrábění. V rámci změn parametrů obrábění data kopírují vývoj jen frézovaných vzorků.



Obr. 79 – Graf porovnávající průměrné hodnoty  $W_t$  před a po nanesení nátěrové hmoty.

#### 5.4.5.9 Parametry vlnitosti $W_{Sm}$

Tab. 30 – Naměřené průměrné hodnoty  $W_{Sm}$  u frézovaného povrchu a povrchu s nátěrovou hmotou.

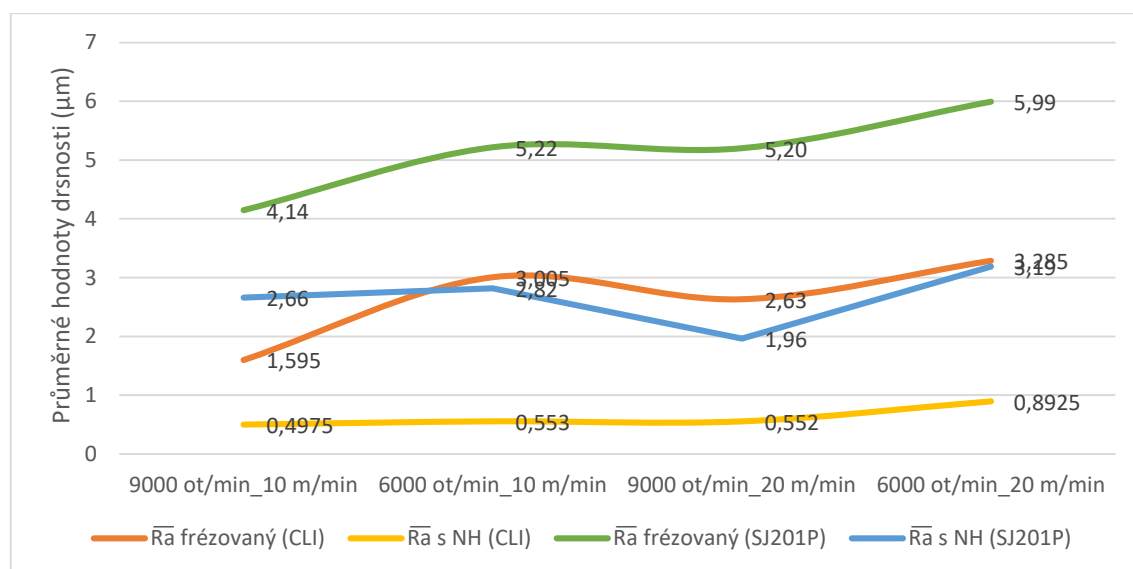
	9000 ot/min_10 m/min	6000 ot/min_10 m/min	9000 ot/min_20 m/min	6000 ot/min_20 m/min
$\overline{W}_{Sm}$ frézovaný	2,905	3,245	2,545	3,42
$\overline{W}_{Sm}$ s NH	3,37	2,595	4,02	3,485
Procentuální rozdíl	-16,01%	20,03%	-57,96%	-1,90%

Tab. 31 – Dvouvýběrový párový t-test průměrné hodnoty WSm frézovaného povrchu a povrchu s NH.

	W <sub>Sm</sub> frézovaný	W <sub>Sm</sub> s NH
Stř. hodnota	3,02875	3,3675
Rozptyl	0,149723	0,345442
Pozorování	4	4
Pears. korelace	-0,64057	
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	3	
t Stat	-0,76393	
P(T<=t) (1)	0,250248	0,25 > 0,05
t krit (1)	2,353363	2,35 > 0,76
P(T<=t) (2)	0,500496	0,50 > 0,05
t krit (2)	3,182446	3,18 > 0,76

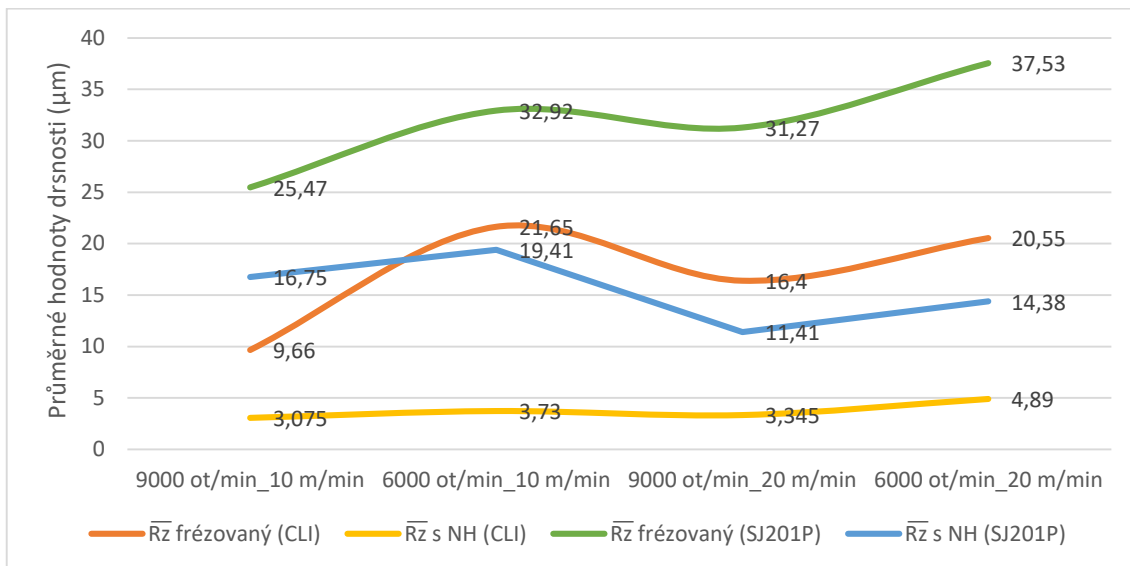
Párový t-test vyšel pro hodnoty vlnitosti W<sub>Sm</sub> nezamítaví pro nulovou hypotézu. Výsledek znamená, že hodnoty W<sub>Sm</sub> před nanesením a po nanesení nátěrové hmoty je stejný, tedy se statisticky významně nezměnil.

#### 5.4.6 Porovnání výsledků z použitých měřicích zařízení



Obr. 80 – Graf porovnání hodnot drsnosti Ra naměřených na Talysurf CLI 1000 a Mitutoyo SJ - 201 P.

Výše uvedený graf ukazuje rozdíl mezi naměřenými hodnotami Ra na Talysurf CLI 1000 a drsnoměrem Mitutoyo SJ - 201 P. Je patrné že hodnoty naměřené na drsnoměru jsou vyšší než hodnoty z Talysurfu. Rozdíl je patrný jak u vzorků s nátěrovou hmotou tak bez ní. Graf uvedený pod textem srovnává naměřené hodnoty Rz z těchto měřících zařízení. Průběh hodnot je obdobný jako u parametru Ra.



Obr. 81 – Graf porovnání hodnot drsnosti Rz naměřených na Talysurf CLI 1000 a Mitutoyo SJ - 201 P.

## 6 Diskuse

Po výpočtu fyzikálních vlastností dřeva požitého na vzorky se zjistilo, že dřevo má hustotu 0,466 g/cm<sup>3</sup> při vlhkosti 9,2 %. Tyto hodnoty se v praxi běžně vyskytují, proto s nimi není potřeba dále počítat. Počet vzorků byl stanoven na 20 kusů od každého parametru obrábění.

Měření bylo prováděno nejprve na drsnoměru Mitutoyo SJ - 201 P. Podle naměřených hodnot bylo možné odhadnout, které parametry obrábění se použijí k nanesení nátěrové hmoty a dalšímu výzkumu. K tomuto hodnocení byl použit krabicový graf na obr.38 a obr. 39. Podle těchto grafů je možné určit vhodné parametry obrábění pro další práci. Krabice naměřených hodnot Ra jsou u prvních 4 parametrů položeny níže než u zbytku. V grafu pro hodnoty drsnosti Rz (obr. 39) tento jev není tak výrazný, ale pořád je možné říci, že jsou vhodné pro další použití. Díky těmto výsledkům byly pro další použití vybrány vzorky s parametry obrábění 6000 otáček hřídele za min s rychlostí posuvu 10 a 20 m/min-1, a 9000 ot/min s rychlostí posuvu 10 a 20 m/min.

Od každého parametru obrábění uvedeného v předchozím odstavci byl vybrán jeden vzorek a poslán na Univerzitu obrany do laboratoře s měřicím zařízením Talysurf CLI 1000, zde byly podrobeny bližšímu zkoumání. Výsledky měření na přístroji Talysurf jsou v kapitole 5.4. Při tomto měření byla data vyhodnocena při mezních vlnových délkách cut-off 0,8 a 2,5 mm. Po projití výsledků po přepisu do tabulek bylo zřejmé, že hodnoty se u různých mezních vlnových délkách liší. Srovnání těchto rozlišností je uvedeno v kapitole 5.4.3. Při tomto porovnávání bylo zjištěno, že při cut-off 0,8 mm je nižší drsnost ale vyšší vlnitost, u cut-off 2,5 mm je tomu obráceně. Nejpravděpodobněji je to dáno tím, že při cut-off 0,8 mm na povrchu vlnitosti zůstává i drsnost a naopak při cut-off 2,5 mm zůstávají na povrchu drsnosti zbytky vlnitosti. Tento jev je dobře pozorovatelný na obr. 44 – obr. 59, kde jsou povrchy zobrazeny ve 3D společně s 2D profilem daného povrchu. Díky tomuto vyhodnocení byla vybrána pro další práci hodnota cut-off 2,5 mm. Tato hodnota není sice ideální ale k tomuto výzkumu lépe odpovídající.

Po výběru mezní vlnové délky se zhodnotil povrch bez nátěrové hmoty v kapitole 5.4.4.1. Potvrdila se zde praxe z nomogramu na Obr. 6 kde se se zvyšujícím se úběrem na zub zvyšují kinetické nerovnosti. Ve výsledcích této práce vycházejí všechny naměřené hodnoty se zvyšujícím se úběrem na zub vyšší, kromě malých odchylek, které mohou být dány materiálem.

Na takto změřený frézovaný povrch byla nanese náterová hmota stříkáním. Jako náterová hmota byla použita vodou ředitelná silnovrstvá lazura. Před prvním nánosem povrch obrobku nebyl broušený, ale při technologickém postupu nanášení náterové hmoty bylo použito mezi jednotlivými vrstvami přebroušení. Po dokončení nánosu náterové hmoty se povrch opět změřil drsnoměrem a přístrojem Talysurf.

Naměřené hodnoty, před a po nánosu náterové hmoty, z drsnoměru spolu byly konfrontovány v kapitole 5.3.3. Pro získání lepšího přehledu o datech byla sestavena popisná statistika ke každému parametru obrábění. Pro grafické porovnání byly sestrojeny grafy (obr. 42 a obr. 43) s průměrnými hodnotami naměřených dat. Na první pohled je v těchto grafech patrné razantní zlepšení kvality u parametru obrábění 9000 ot/min s posuvem 20 m/min. Jev by se mohl vysvětlit tím, že tato sada vzorků byla frézována mezi prvními a není zde takové opotřebení nástroje. Takovéto vysvětlení, ale nevysvětlí, tak velký rozdíl hodnot mezi naměřenými drsnostmi povrchu před a po nanese náterové hmoty. Další možné vysvětlení dá tabulka tab. 6 kde jsou vypočítané velikosti nánosu náterové hmoty, u parametru obrábění 9000 ot/min a posuvu 20 m/min je nános přibližně dvakrát větší než u zbytku.

3D výstup z Talysurf CLI 1000 před a po nanese náterové hmoty je zobrazen v kapitole 5.4.5.1. Obrázky jsou zde vedle sebe a je proto velmi snadné tyto povrchy spolu srovnávat. Při takovémto srovnání je patrné jak náterová hmota na povrchu vzorku působí, i bez dalších dat. Na povrchu drsnosti se náterovou hmotou zalejí malé nerovnosti a je vidět vyhlazení. Na 3D povrchu drsnosti s náterovou hmotou je možné pozorovat průběžné prohlubně, ty jsou nejspíše výsledkem nepřesného určení mezní vlnové délky (jsou to ještě zbytky vlnitosti). Také na 3D povrchu vlnitosti jsou pozorovatelné změny, některé prohlubně (tmavá místa) se po nanese náterové hmoty vytratily.

Naměřené hodnoty přístrojem Talysurf, před nánosem náterové hmoty, také po nánosu náterové hmoty, jsou jednotlivě popsány a zhodnoceny mezi sebou od kapitoly 5.4.5.2 dále. Celkový pohled na změnu drsnosti před nánosem a po nánosu je takový, všechny parametry drsnosti se statisticky významně snížily asi o 75 %. Dále je u parametrů drsnosti pozorovatelné sjednocení hodnot mezi různými parametry obrábění. Náterová hmota má nejspíše vlastnost vyrovnávat drsnosti povrchu do určité velikosti. V tomto případě drsnost  $R_a$  u otáček hřídele 6000 ot/min a rychlosti posuvu 20 m/min už nejspíše tuto mez překračuje, protože povrch není srovnaný jako u ostatních parametrů.

Po podrobném srovnání každého parametru vlnitosti povrchu, je celkový dojem takový že na vlnitost nemá nátěrová hmota zásadní vliv. Tento jev je podle statistiky u parametru  $W_a$  (nejpoužívanější parametr pro srovnávání výsledků), výsledek byl ovšem velmi těsný a zde použitá statistika nemá dostatek dat, aby se to dalo tvrdit s určitostí. Další data jako  $W_z$  a  $W_t$  mají opačné výsledky a vychází, že jsou významně zlepšeny. Další jev pro vlnitost lze pozorovat ze všech grafů, ale i tabulek jednotlivých parametrů. Pokud je vlnitost malá nátěrová hmota ji sníží jen mírně, zatím co pokud je větší vlnitost, nátěrová hmota ji může snížit zhruba o 1  $\mu\text{m}$ . Lze si to uvědomit i v tabulce 20 pro  $W_a$ , hodnota před nánosem nátěrové hmoty u obrábění 9000 ot/min a posuvu 10 m/min je 0,62  $\mu\text{m}$ , po nánosu se zmenší na 0,49  $\mu\text{m}$  což je asi o 19,8 %, na rozdíl od toho při obrábění 6000 ot/min a posuvu 20 m/min (nejhorší povrch z této sady) je před nátěrovou hmotou parametr  $W_a$  1,91  $\mu\text{m}$ , po nánosu se zmenší na 0,89  $\mu\text{m}$ , tedy o 53 %. Vysvětlení může být mnoho, například zmenšení velké vlnitosti broušením mezi jednotlivými nánosy nátěrové hmoty.

U parametrů  $R_{Sm}$ ,  $W_{Sm}$  tedy aritmetickém průměru šířek  $X_s$ , nebyla prokázána závislost na nanesení nátěrové hmoty.

Při porovnání výsledků naměřené drsnosti z použitých měřících zařízení, vyjdou grafy zobrazeny ve výsledcích (kapitola 5.4.6). Hodnoty z drsnoměru jak  $R_a$  tak  $R_z$  jsou přibližně jedenkrát vyšší než hodnoty naměřeny na Talysurfu. Jsou zde sice překrývající se křivky, ale jedny hodnoty pochází z povrchu bez nátěrové hmoty (Talysurf) a druhé z povrchu s nátěrovou hmotou (drsnoměr). Asi nejlepší vysvětlení pro tento jev je otupení nástroje a různé způsoby měření (kontaktní x bezkontaktní). Otupením nástroje je myšleno, že vzorky pro měření na Talysurf CLL 1000 byli v počtu jednoho kusu a byli vybrány na začátku obrábění. Vzorky pro měření drsnoměrem byly v počtu 20 ks pro každý obráběcí parametr což znamená 160 vzorků, při každém vzorku se frézoval celý hranol přibližně dvoumetrový, z toho je jasné že se otupení musí někde objevit.



## 7 Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena na kvalitu povrchu pro nanášení nátěrové hmoty. V první části byl povrch vyhodnocen bez nátěrové hmoty. Pro frézování byla použita rychlost posuvu od 10 do 40 m/min při dvou rychlostech otáčení hřídele 6000 ot/min a 9000 ot/min. Po přeměření vzorků drsnoměrem Mitutoyo SJ - 201 P, byly k dalšímu hodnocení vybrány vzorky s rychlostí posuvu 10 a 20 m/min, při obou otáčkách hřídele. Data z přístroje Talysurf CLI 1000 i drsnoměru Mitutoyo SJ - 201 P potvrdily klesající kvalitu povrchu se stoupajícím úběrem na zub. Na vybrané vzorky byla nanášena vodou ředitelná nátěrová hmota. Vzorky po přeměření vykazovaly razantní zvýšení kvality povrchu z hlediska drsnosti a vlnitosti.

Z výsledků práce je patrné jak nátěrová hmota zlepšuje kvalitu povrchu, ale jen při podkladu, který je v určité kvalitě, tato přesná kvalita nebyla stanovena. Přibližně by se dala ale stanovit mezi parametry obrábění 9000 ot/min s posuvem 20 m/min a 6000 ot/min s posuvem 20 m/min. V praxi by se mohly pro nanášení nátěrové hmoty bez broušení použít frézované povrchy při 9000 ot/min posuvu 10, 20 m/min a 6000 ot/min jen s rychlostí posuvu 10 m/min. Při 6000 ot/min a posuvu 20 m/min je pravděpodobné, že na povrchu budou vidět vlnky.

## 8 Summary

This diploma thesis focuses on surface quality for applying the painting matter. In the first part was the surface evaluated without painting matter. I used the feed rate from 10 to 40 m/min for milling. All with the rotation speed of shaft about 6000 rot/min and 9000 rot/min. After the measurement of our examples by roughness tester called Mitutoyo SJ - 201 P we also used examples with feed rates 10 and 20 m/min with both revolutions of the shaft for next research. Data from the device Talysurf CLI 1000 and roughness tester Mitutoyo SJ - 201 P confirmed the declining quality of the surface with increasing removal of the tooth. For selected samples was applied the water-borne painting matter. These examples after the research showed us enormous increasing the quality of surface in terms of roughness and waviness.

From the research we can see that painting matter improves the surface quality, but just with the base in some quality, this exactly quality was not determined. Nevertheless it should be approximately between 9000 rot/min with feed 20 m/min and 6000 rot/min with feed 20 m/min. In practice should be possible to use for painting matters milled surfaces with 9000 rot/min and feed 10, 20 m/min. and 6000 rot/min just with the feed speed 10 m/min. It is probable that we can see waviness on the surface for 6000 rot/min and feed 20 m/min.

## 9 Citovaná literatura

BALAKRYL.CZ, , 2015. *Technický list Balakryl Telux* [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: [http://uloziste.primalex.cz/gallery/technicky\\_list\\_telux\\_cz\\_2016\\_mail.pdf](http://uloziste.primalex.cz/gallery/technicky_list_telux_cz_2016_mail.pdf)

CORPORATION, Mitutoyo, 2003. *SJ - 201 User's Manual* [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: [https://archive-resources.coleparmer.com/Manual\\_pdfs/59770-10.pdf](https://archive-resources.coleparmer.com/Manual_pdfs/59770-10.pdf)

COSTES, J. a P. LARRICQ, 2002. *Towards high cutting speed in wood milling*. 59. *Annals of Forest Science*, s. 857-865.

ČSN EN ISO 25178-2, 2012. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu.

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

ČSN EN ISO 4288:, 1999. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování povrchu.

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

HORÁČEK, P., 2001. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. 1. vydání dotisk. Brno: MZLU, 128 s.

KOTĚŠOVEC, Vladimír, 1981. *Ortogonální řezání - frézování dřeva*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury. Práce Výzkumného a vývojového ústavu dřevařského v Praze.

LISIČAN, J., 1988. *Obrábanie a delenie drevných materiálov*. 3.vyd. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska.

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

MERLIN TECHNOLOGY GMBH, 1999. Návod k obsluze HM8. [Http://www.drekoma.cz](http://www.drekoma.cz) [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: [http://www.drekoma.cz/images/dokumenty/navod\\_k\\_obsluze\\_hm8.pdf](http://www.drekoma.cz/images/dokumenty/navod_k_obsluze_hm8.pdf)

MM PRŮMYSLÉ SPEKTRUM , 2002. Měříte správně strukturu povrchu?. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: Vogel Publishing, (11), 54 [cit. 2017]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/merite-spravne-strukturu-povrchu-2.html>

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

NOVÁK , Z. , 2007. *Prostorové měření a hodnocení textury povrchupřístroji Taylor Hobson Ltd.* [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: [http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/2\\_Novak\\_3D\\_mereni\\_textury.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf)

NOVÁK, V., 2011. *Vysokorychlostní frézování dřeva - vliv nástroje a parametrů obrábění na kvalitu obrobene plochy*. Disertační práce . Brno: Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta., s. 116. Disertační práce.

POŽGAJ, Alexander, 1997. *Štruktúra a vlastnosti dreva*. 2. vyd. Bratislava: Príroda. ISBN 8007009604.

PROKEŠ, S., 1978. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva 2*. Přepřac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

RADWAG BALANCES & SCALES, 2016. Prospekt PS.R2. <Http://www.vahy-radwag.cz> [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: <http://www.vahy-radwag.cz/admin/files/ModuleItem/1368-Prospekt-PS.pdf>

SVATOŠ, M., 2009. *Kvalita povrchu při frézování*. Bakalářská práce. Brno : MZLU.

ŠLEZINGEROVÁ, J. a L. GANDELOVÁ, 2002. *Stavba dřeva*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita., 187 s.

TAYLOR HOBSON PRECISION, 2004. Talysurf CLI. <Http://www.f-di.hu> [online]. [cit. 2017]. Dostupné z: [http://www.f-di.hu/cli\\_systems.pdf](http://www.f-di.hu/cli_systems.pdf)

TESAŘOVÁ, Daniela, 2014. *Povrchové úpravy dřeva*. 1. vyd. Praha: Grada. Profi & hobby. ISBN 9788024747156.

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

VAVRČÍK, H. a KOL., 2002. *Lexikon dřev* [online]. Dostupné na <http://wood.mendelu.cz>: citováno 8. března 2017 [cit. 2017].

ZEMIAR, J. a KOL, 2009. *Technológia výroby nábytku*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolení, Katedra nábytku a drevárskych výrobkou, s. 283.

## 10 Seznam obrázků

OBR. 1 – FRÉZOVÁNÍ PODLE POLOHY OSY OTÁČENÍ, A TVARU PLOCH OPISUJÍCÍ BŘITY. (PROKEŠ, 1978) ..	4
OBR. 2 – TRAJEKTORIE POHYBU NÁSTROJE PŘI SOUSLEDNÉM FRÉZOVÁNÍ. (LISIČAN, 1988) .....	5
OBR. 3 – TRAJEKTORIE POHYBU NÁSTROJE PŘI NESOUSLEDNÉM FRÉZOVÁNÍ. (LISIČAN, 1988).....	5
OBR. 4– SCHÉMA ODDĚLOVÁNÍ TŘÍSKY PŘI VÁLCOVÉM FRÉZOVÁNÍ. (DRÁPELA, 1980).....	6
OBR. 5 – FÁZE OTUPOVÁNÍ NÁSTROJE. (VARKOČEK, 1996).....	8
OBR. 6 – NOMOGRAM PRO URČENÍ INTERVALU VRCHOLKŮ A HLOUBKY VLNEK. (DRÁPELA, 1980) .....	10
OBR. 7 – POVRCH OBROBKU PŘI ODCHYLCE BŘITŮ OD ŘEZNÉ KRUŽNICE. (LISIČAN, 1996) .....	11
OBR. 8 – ÚHEL DOTYKU NÁSTROJE S DŘEVNÍMI VLÁKNY. (DRÁPELA, 1980).....	12
OBR. 9 – GRAF ZÁVISLOSTI VLHKOSTI NA DRSNOSTI FRÉZOANÉHO POVRCHU. (COSTES, 2002) .....	14
OBR. 10 – VZORKOVNICE FRÉZOVANÝCH POVRCHŮ DRSNOSTI. (ČSN EN ISO 25178-2) .....	15
OBR. 11 – POPIS INDUKČNÍHO SNÍMAČE. (ČSN EN ISO 4288) .....	16
OBR. 12 – POPIS PIEZOELEKTRICKÉHO SNÍMAČE (SVATOŠ, 2009).....	17
OBR. 13 – PRINCIP INTERFEROMETRICKÉHO SNÍMAČE PŘI MĚŘENÍ DRSNOSTI. (SVATOŠ, 2009).....	17
OBR. 14 – VIZUÁLNÍ METODA KONTROLY .....	18
OBR. 16 – LASEROVÝ TRIANGULAČNÍ PŘÍSTROJ (SCHÉMA) (TAYLOR HOBSON PRECISION, 2004) .....	19
OBR. 17 – SCHÉMA KONFOKÁLNÍHO SNÍMAČE CLA. (TAYLOR HOBSON PRECISION, 2004) .....	20
OBR. 18 – TVAR POVRCHU .....	21
OBR. 19 – PROFIL DRSNOSTI A VLNITOSTI. ....	21
OBR. 20 – CHARAKTERISTIKA PROFILU DRSNOSTI A VLNITOSTI. (ČSN EN ISO 4287).....	22
OBR. 21 – PROFIL POVRCHU. (ČSN EN ISO 4287).....	22
OBR. 22 – SCHÉMA HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU. (ČSN EN ISO 4287).....	23
OBR. 23 – GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ DÉLEK .....	24
OBR. 24 – NEJVĚTŠÍ VÝŠKA VÝSTUPKU NA PROFILU DRSNOSTI. (ČSN EN ISO 4287) .....	25
OBR. 25 – NEJVĚTŠÍ HLOUBKA PROHLUBNĚ NA PROFILU DRSNOSTI. (ČSN EN ISO 4287).....	26
OBR. 26 – NEJVĚTŠÍ VÝŠKA PROFILU NA PROFILU DRSNOSTI. (ČSN EN ISO 4287) .....	26
OBR. 27 – VYJÁDŘENÍ ARITMETICKÉ ÚCHYLKY RA. ....	27
OBR. 28 – VYJÁDŘENÍ ARITMETICKÉ ÚCHYLKY RQ.....	27
OBR. 29 – ŠÍŘKA PRVKŮ PROFILU. (ČSN EN ISO 4287) .....	28
OBR. 30 – MAKROSKOPICKÁ STAVBA SMRKOVÉHO DŘEVA NA RŮZNÝCH ŘEZECH. (VAVRČÍK, 2002) .....	32
OBR. 31 – POUŽITÁ NÁTĚROVÁ HMOTA BALAKRYL TELUX (BALAKRYL.CZ, 2015) .....	32
OBR. 32 – ČÁSTI FRÉZOVACÍHO STROJE A) FREKVENČNÍ MĚNIČE, B) PODÁVACÍ VALCE, C) ODEBÍRACÍ VÁLEC. ....	34
OBR. 33 – OVLÁDACÍ PANEL STROJE.....	34
OBR. 34 – FRÉZA BENMET OSAZENÁ VE STANDU.....	35
OBR. 35 – MITUTOYO SJ - 201 P (CORPORATION, 2003) .....	37
OBR. 36 – POUŽITÝ ŠTĚTEC .....	38
OBR. 37 – POUŽITÁ STŘÍKACÍ PISTOLE BOSCH PSP 260 .....	39

OBR. 38 – POUŽITÁ LABORATORNÍ VÁHA RADWAG. ....	41
OBR.39 – KRABICOVÝ GRAF S NAMĚŘENÝMI HODNOTAMI RA BEZ NÁTĚROVÉ HMOTY PŘI RŮZNÝCH PARAMETRECH OBRÁBĚNÍ. ....	50
OBR. 40 – KRABICOVÝ GRAF S NAMĚŘENÝMI HODNOTAMI RZ BEZ NÁTĚROVÉ HMOTY PŘI RŮZNÝCH PARAMETRECH OBRÁBĚNÍ. ....	51
OBR. 41 – KRABICOVÝ GRAF S NAMĚŘENÝMI HODNOTAMI RA S NÁTĚROVOU HMOTOU PŘI RŮZNÝCH PARAMETRECH OBRÁBĚNÍ. ....	52
OBR. 42 – KRABICOVÝ GRAF S NAMĚŘENÝMI HODNOTAMI RZ S NÁTĚROVOU HMOTOU PŘI RŮZNÝCH PARAMETRECH OBRÁBĚNÍ. ....	53
OBR. 43 – GRAF POROVNÁVAJÍCÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY RA PŘED A PO NANESENÍ NÁTĚROVÉ HMOTY. ....	55
OBR. 44 – GRAF POROVNÁVAJÍCÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY RZ PŘED A PO NANESENÍ NÁTĚROVÉ HMOTY. ....	56
OBR. 45 – NAMĚŘENÝ 3D POVRCH DRSNOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY 0,8 (VLEVO) A 2,5 (VPRAVO). ....	61
OBR. 46 – PROFILY DRSNOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY CUT-OFF 0,8 A 2,5 MM. ....	61
OBR. 47 – NAMĚŘENÝ 3D POVRCH VLNITOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY 0,8 (VLEVO) A 2,5 (VPRAVO). ....	61
OBR. 48 – PROFILY VLNITOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY CUT-OFF 0,8 A 2,5 MM. ....	61
OBR. 49 – NAMĚŘENÝ 3D POVRCH DRSNOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY 0,8 (VLEVO) A 2,5 (VPRAVO). ....	62
OBR. 50 – PROFILY DRSNOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY CUT-OFF 0,8 A 2,5 MM. ....	62
OBR. 51 – NAMĚŘENÝ 3D POVRCH VLNITOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY 0,8 (VLEVO) A 2,5 (VPRAVO). ....	62
OBR. 52 – PROFILY VLNITOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY CUT-OFF 0,8 A 2,5 MM. ....	62
OBR. 53 – NAMĚŘENÝ 3D POVRCH DRSNOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY 0,8 (VLEVO) A 2,5 (VPRAVO). ....	63
OBR. 54 – PROFILY DRSNOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY CUT-OFF 0,8 A 2,5 MM. ....	63
OBR. 55 – NAMĚŘENÝ 3D POVRCH VLNITOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY 0,8 (VLEVO) A 2,5 (VPRAVO). ....	63
OBR. 56 – PROFILY VLNITOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY CUT-OFF 0,8 A 2,5 MM. ....	64
OBR. 57 – NAMĚŘENÝ 3D POVRCH DRSNOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY 0,8 (VLEVO) A 2,5 (VPRAVO). ....	64
OBR. 58 – PROFILY DRSNOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY CUT-OFF 0,8 A 2,5 MM. ....	64
OBR. 59 – NAMĚŘENÝ 3D POVRCH VLNITOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY 0,8 (VLEVO) A 2,5 (VPRAVO). ....	65
OBR. 60 – PROFILY VLNITOSTI PRO MEZNÍ VLNOVÉ DÉLKY CUT-OFF 0,8 A 2,5 MM. ....	65
OBR. 61 – GRAF POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ VÝSLEDNÝCH HODNOTY RA PŘI RŮZNÉ MEZNÍ VLNOVÉ DÉLCE CUT-OFF. ....	65
OBR. 62 – GRAF POROVNÁNÍ PRŮMĚRŮ VÝSLEDNÝCH HODNOT WA PŘI RŮZNÉ MEZNÍ VLNOVÉ DÉLCE CUT-OFF. ....	66
OBR. 63 –POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT DRSNOSTI U FRÉZOVANÝCH VZORKŮ PŘI RŮZNÝCH PARAMETRECH OBRÁBĚNÍ. ....	67
OBR. 64 – POROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT VLNITOSTI U FRÉZOVANÝCH VZORKŮ PŘI RŮZNÝCH PARAMETRECH OBRÁBĚNÍ. ....	68
OBR. 65 – GRAF SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT DRSNOSTI U VZORKŮ S NÁTĚROVOU HMOTOU PŘI RŮZNÝCH PARAMETRECH OBRÁBĚNÍ. ....	68

OBR. 66 – GRAF SROVNÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT VLNITOSTI U VZORKŮ S NÁTĚROVOU HMOTOU PŘI RŮZNÝCH PARAMETRECH OBRÁBĚNÍ.....	69
OBR. 67 – 3D POVRCH DRSNOSTI PRO 6000 OT/MIN A POSUV 10 M/MIN, PŘED NÁTĚREM (VLEVO) PO NÁTĚRU (VPRAVO). .....	70
OBR. 68 – 3D POVRCH VLNITOSTI PRO 6000 OT/MIN A POSUV 10 M/MIN, PŘED NÁTĚREM (VLEVO) PO NÁTĚRU (VPRAVO). .....	70
OBR. 69 – 3D POVRCH DRSNOSTI PRO 6000 OT/MIN A POSUV 20 M/MIN, PŘED NÁTĚREM (VLEVO) PO NÁTĚRU (VPRAVO). .....	70
OBR. 70 – 3D POVRCH VLNITOSTI PRO 6000 OT/MIN A POSUV 20 M/MIN, PŘED NÁTĚREM (VLEVO) PO NÁTĚRU (VPRAVO). .....	71
OBR. 71 – 3D POVRCH DRSNOSTI PRO 9000 OT/MIN A POSUV 10 M/MIN, PŘED NÁTĚREM (VLEVO) PO NÁTĚRU (VPRAVO). .....	71
OBR. 72 – 3D POVRCH VLNITOSTI PRO 9000 OT/MIN A POSUV 10 M/MIN, PŘED NÁTĚREM (VLEVO) PO NÁTĚRU (VPRAVO). .....	71
OBR. 73 – 3D POVRCH DRSNOSTI PRO 9000 OT/MIN A POSUV 20 M/MIN, PŘED NÁTĚREM (VLEVO) PO NÁTĚRU (VPRAVO). .....	72
OBR. 74 – 3D POVRCH VLNITOSTI PRO 9000 OT/MIN A POSUV 20 M/MIN, PŘED NÁTĚREM (VLEVO) PO NÁTĚRU (VPRAVO). .....	72
OBR. 75 – GRAF POROVNÁNÍ HODNOT DRSNOSTI RA, PŘED A PO NANESENÍ NÁTĚROVÉ HMOTY.....	73
OBR. 76 – GRAF POROVNÁVAJÍCÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY RT PŘED A PO NANESENÍ NÁTĚROVÉ HMOTY. 75	
OBR. 77 – GRAF POROVNÁVAJÍCÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY RZ PŘED A PO NANESENÍ NÁTĚROVÉ HMOTY. 76	
OBR. 78 – GRAF POROVNÁVAJÍCÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY WA PŘED A PO NANESENÍ NÁTĚROVÉ HMOTY. ....	79
OBR. 79 – GRAF POROVNÁVAJÍCÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY WT PŘED A PO NANESENÍ NÁTĚROVÉ HMOTY. ....	80
OBR. 80 – GRAF POROVNÁVAJÍCÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY WT PŘED A PO NANESENÍ NÁTĚROVÉ HMOTY. ....	82
OBR. 81 – GRAF POROVNÁNÍ HODNOT DRSNOSTI RA NAMĚŘENÝCH NA TALYSURF CLI 1000 A MITUTOYO SJ - 201 P.....	83
OBR. 82 – GRAF POROVNÁNÍ HODNOT DRSNOSTI RZ NAMĚŘENÝCH NA TALYSURF CLI 1000 A MITUTOYO SJ - 201 P.....	84



## 11 Seznam tabulek

TAB. 1 – PARAMETRY MĚŘENÍ CLA SENZOREM. ....	36
TAB. 2 – PŘEHLED POLOHY SNÍMAČE U DRUHU DŘEVA A JEHO OBJEMOVÉ HMOTNOSTI. (MERLIN TECHNOLOGY GMBH, 1999).....	40
TAB. 3 – TABULKA S VYBRANÝMI A VYPOČTENÝMI HODNOTAMI. ....	44
TAB. 4 – NAMĚŘENÉ HODNOTY VLHKOSTI PŘÍSTROJEM MERLIN HM8-WS25. ....	47
TAB. 5 – TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT HMOTNOSTÍ VZORKŮ.....	48
TAB. 6 – TABULKA NAVÁŽENÝCH HODNOT PŘED NÁNOSEM NÁTĚROVÉ HMOTY A PO NĚM, VÝPOČET VYDATNOSTI NÁNOSU. ....	49
TAB. 7 – TABULKA POPISNÉ STATISTIKY PRO VZORKY BEZ NÁTĚROVÉ HMOTY. ....	54
TAB. 8 – TABULKA POPISNÉ STATISTIKY PRO VZORKY S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	54
TAB. 9 – TABULKA STATISTICKÉHO POPISU HODNOT PRO VZORKY BEZ NÁTĚROVÉ HMOTY.....	55
TAB. 10 – TABULKA STATISTICKÉHO POPISU HODNOT PRO VZORKY S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	56
TAB. 11 – TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT FRÉZOVANÝCH VZORKŮ S MEZNÍ VLNOVOU DÉLKOU 0,8 MM.....	57
TAB. 12 – TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT FRÉZOVANÝCH VZORKŮ S MEZNÍ VLNOVOU DÉLKOU 2,5 MM.....	58
TAB. 13 – TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT VZORKŮ S NÁTĚROVOU HMOTOU S MEZNÍ VLNOVOU DÉLKOU 0,8 MM.....	59
TAB. 14 – TABULKA NAMĚŘENÝCH HODNOT VZORKŮ S NÁTĚROVOU HMOTOU S MEZNÍ VLNOVOU DÉLKOU 2,5 MM.....	60
TAB. 15 – VYBRANÉ PARAMETRY FRÉZOVÁNÍ. ....	67
TAB. 16 – NAMĚŘENÉ PRŮMĚRNÉ HODNOTY RA U FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	72
TAB. 17 – DVOUVÝBĚROVÝ PÁROVÝ T-TEST HODNOTY RA FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NH. ....	73
TAB. 18 – NAMĚŘENÉ PRŮMĚRNÉ HODNOTY RT U FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	74
TAB. 19 – DVOUVÝBĚROVÝ PÁROVÝ T-TEST PRŮMĚRNÉ HODNOTY RT FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NH.....	74
TAB. 20 – NAMĚŘENÉ PRŮMĚRNÉ HODNOTY RZ U FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	75
TAB. 21 – DVOUVÝBĚROVÝ PÁROVÝ T-TEST PRŮMĚRNÉ HODNOTY RZ FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NH.....	76
TAB. 22 – NAMĚŘENÉ PRŮMĚRNÉ HODNOTY RSM U FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	77
TAB. 23 – DVOUVÝBĚROVÝ PÁROVÝ T-TEST PRŮMĚRNÉ HODNOTY RSM FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NH.....	77

TAB. 24 – NAMĚŘENÉ PRŮMĚRNÉ HODNOTY WA U FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	78
TAB. 25 – DVOUVÝBĚROVÝ PÁROVÝ T-TEST PRŮMĚRNÉ HODNOTY WA FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NH. ....	78
TAB. 26 – NAMĚŘENÉ PRŮMĚRNÉ HODNOTY WT U FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	79
TAB. 27 – DVOUVÝBĚROVÝ PÁROVÝ T-TEST PRŮMĚRNÉ HODNOTY WT FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NH. ....	80
TAB. 28 – NAMĚŘENÉ PRŮMĚRNÉ HODNOTY WZ U FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	81
TAB. 29 – DVOUVÝBĚROVÝ PÁROVÝ T-TEST PRŮMĚRNÉ HODNOTY WZ FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NH. ....	81
TAB. 30 – NAMĚŘENÉ PRŮMĚRNÉ HODNOTY WSM U FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NÁTĚROVOU HMOTOU. ....	82
TAB. 31 – DVOUVÝBĚROVÝ PÁROVÝ T-TEST PRŮMĚRNÉ HODNOTY WSM FRÉZOVANÉHO POVRCHU A POVRCHU S NH. ....	83