

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

**LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ FAKULTA**

Ústav základního zpracování dřeva



**Lesnická  
a dřevařská  
fakulta**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Optimalizace parametrů obrábění na CNC stroji**

zadání

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Optimalizace parametrů obrábění na CNC stroji** zpracoval sám a uvedl jsem všechny použité prameny. Souhlasím, aby moje bakalářská práce byla zveřejněna v souladu s §47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a uložena v knihovně Mendelovy univerzity v Brně, zpřístupněna ke studijním účelům ve shodě s Vyhláškou rektora MENDELU o archivaci elektronické podoby závěrečných prací.

Autor kvalifikační práce se dále zavazuje, že před sepsáním licenční smlouvy o využití autorských práv díla s jinou osobou (subjektem) si vyžádá písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuje se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla dle řádné kalkulace.

V Brně, dne: 2. 5. 2015

.....  
podpis studenta

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Vítu Novákovi Ph.D. za ochotu, cenné rady, připomínky, poskytnutí mnoha podkladů a metodické vedení práce.

Dále bych rád poděkovat panu doc. Ing. Emilu Svobodovi, CSc. s pomocí při měření v praktické části práce a všem, kteří mě podporovali v době mého studia.

**Jméno**

Martin Pokorný

**Název práce**

Optimalizace parametrů obrábění na CNC stroji

**Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá měřením kvality povrchu obrobenou frézováním pomocí CNC stroje. Popisuje charakteristiku CNC stroje, problematiku frézování a metody vyhodnocení kvality povrchu, dále je zde proveden experiment na vybraném materiálu na bázi dřeva a to na překližce. Druhá půlka práce je zaměřena na samotný experiment, jako je příprava vzorků, nastavení CNC stroje na frézování a 2D a 3D vyhodnocení kvality přístrojem Talysurf CLI 1000. V závěru práce jsou vyhodnoceny výsledky a diskuse.

Klíčová slova: frézování, kvalita povrchu, měření, CNC stroj

**Name**

Martin Pokorný

**Title of work**

Optimization of the machining parameters for CNC machine

**Abstrakt**

The bachelor thesis deals with measuring surface quality machined by milling on the CNC machine. It describes the CNC machine characteristics, the milling issue and the surface quality evaluation methods. Furthermore, the experiment of selected wood-based materials on the plywood is performed. The second part of this work is focused on the experiment itself such as a preparation of the samples, the CNC machine settings for milling and the 2D/3D evaluation of quality using Talysurf CLI 1000 device. The evaluation and discussion of the results are found in the conclusion.

Key words: milling, surface quality, gauging, CNC machine

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>LITERÁRNÍ PŘEHLED</b> .....	<b>10</b>
3.1	CHARAKTERISTIKA CNC STROJE .....	10
3.2	FREZOVÁNÍ .....	11
3.3	KINEMATIKA FRÉZOVÁNÍ .....	12
3.4	VZNIK TRÍSKY .....	15
3.5	PROCES OTUPENÍ .....	16
3.6	METODY HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU.....	17
3.6.1	VIZUÁLNÍ METODA.....	17
3.6.2	POROVNÁVACÍ METODA .....	18
3.6.3	DOTYKOVÉ METODY .....	18
3.6.3.1	ABSOLUTNÍ INDUKČNÍ SNÍMAČ .....	19
3.6.3.2	PIEZOELEKTRICKÝ SNÍMAČ .....	20
3.6.3.3	INTERFEROMETRICKÝ LASEROVÝ SNÍMAČ .....	20
3.6.4	BEZDOTYKOVÉ METODY .....	21
3.6.4.1	FOTOMETRICKÉ HODNOCENÍ .....	21
3.6.4.2	LASEROVÝ TRIANGULAČNÍ SNÍMAČ (PSD) .....	22
3.6.4.3	KONFOKÁLNÍ SNÍMAČ (CLA) .....	23
3.6.4.4	ATOMIC FORCE MICROSCOP- AFM .....	23
3.7	ZÁKLADNÍ POJMY .....	25
3.8	ZÁKLADNÍ PARAMETRY POVRCHU.....	28
3.8.1	VÝŠKOVÉ PARAMETRY .....	29
3.8.2	DÉLKOVÉ PARAMETRY .....	31
<b>4</b>	<b>MATERIÁL A METODIKA</b> .....	<b>32</b>
4.1	POUŽITÝ MATERIÁL NA BÍZI DŘEVA.....	32
4.1.1	PŘEKLIŽKA.....	32
4.2	PŘÍPRAVA VZORKŮ .....	33
4.3	VYHODNOCENÍ VZORKŮ POMOCÍ TALYSURF CLI 1000.....	36
<b>5</b>	<b>VÝSLEDKY</b> .....	<b>38</b>

5.1	PŘEKLIŽA A .....	39
5.2	PŘEKLIŽA B.....	43
5.3	PŘEKLIŽKA C .....	47
5.4	POROVNÁNÍ PRŮMĚRNÝCH HODNOT PARAMETRŮ.....	51
<b>6</b>	<b>DISKUSE .....</b>	<b>53</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>56</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK .....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>61</b>
	<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>63</b>
	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>63</b>

# 1 ÚVOD

V moderní době patří mezi CNC obrábění mezi nejvíce používané a oblíbené způsoby zpracování kovových a nekovových materiálů, materiálů na bázi dřeva a hlavně také i dřevo. Příčina vzniku CNC obráběcího stroje bylo to, aby při jednoduchých i složitých výrobcích usnadnil práci, dosáhl požadovaného tvaru, přesnosti i jakosti povrchu a to za nejkratší možnou dobu a minimální náklady. Můžeme je rozdělit do několika druhů podle vykonávané práce jako např. CNC soustruhy, frézky, brusky, obráběcí centra atd. V této práci je zaměřeno hlavně na CNC frézování materiálu na bázi dřeva.

Operace frézování je jedním z nejdůležitějších a nejrozšířenějších metod ve výrobě nábytku a také hlavně v celém dřevozpracujícím průmyslu. Princip frézování je založen na využití vícebřitého nástroje, kde jednotlivé břity vstupují při obrábění do záběru a postupně i ze záběru vystupují. U kvality frézování záleží na drsnosti, vlnitosti, druhu materiálu, vlhkosti dřeva a dále na posuvné a řezné rychlosti.

Dříve při výrobě řeziva vznikalo velké množství odpadů (piliny, štěpky, odřezky atd.), které se maximálně využívaly na palivo. V dnešní době už z odpadu řeziva vznikají konstrukční materiály na bázi dřeva. Začaly se vyrábět kompozitní a aglomerované materiály. Díky tomuto kroku zpracování pilin, štěpek, odřezků atd. se zvýšila výtěžnost.

Kvalitu ofrézovaného materiálu můžeme zjistit několika různými způsoby a to metodou vizuální, porovnávací, dotykovou a bezdotykovou. K hodnocení povrchu můžeme využít prostorové 3D měření. Toto měření nám dává velké množství informací o dějích působení během obrábění jako např. působení řezného nástroje, nestabilitu nástroje, otupení nástroje. Tyto parametry kontrolujeme pomocí vlnitosti a drsnosti profilu.



## 2 CÍL PRÁCE

Dílčím cílem této bakalářské práce je posoudit problematiku obrábění, respektive frézování. Dále je vysvětlena problematika kinematiky frézování, vznik třísky při frézování, otupování nástroje a metody vyhodnocení kvality povrchu.

Hlavním cílem je vyhodnotit kvalitu povrchu materiálu na bázi dřeva ofrézovanou na CNC stroji. Vyhodnocení materiálu na bázi dřeva je prováděno na multisenzorovém souřadnicovém přístroji Talysurf CLI 1000 od firmy Taylor Hobson. Výsledkem vyhodnocení budou 2D a 3D výstupy s konkrétními hodnotami.

## 3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 3.1 Charakteristika CNC stroje

Je to numericky řízený obráběcí stroj, u kterého je pracovní proces řízen číslicově. Informace o dráze, směru a smyslu pohybu pracovních prvků, řezných podmínek se zaznamenává do NC programu (neboli G kód).

CNC je zkratka anglického „Computer Numerical Control“, tedy můžeme říci „počítačem řízené obráběcí stroje“, tedy obráběcí stroje využívající počítač, k tomu, aby dokázaly obrábět dle předem připravených technologických NC programů. CNC stroje se definují vysokou přesností, vysokými obráběcími rychlostmi a flexibilními možnostmi použití. Obrábíme na nich obrobky z masivního dřeva, materiálu na bázi dřeva, skla a plasty. Tento materiál CNC dovede řezat, vrtat, frézovat, brousit a z části také jiné operace, např. montážní práce. K přednostem patří vysoká manipulační schopnost (výměna nástroje, obrábění ve více osách, manipulace s dílcem apod.), provádět úkony podle posloupnosti zadaného programu, opětovné obrábění bez nutnosti nastavení stroje, ale může se upravit zadaný program. Hlavní výhodou je opracování nástrojem ve více osách, vysoká přesnost a spolehlivost, rychlá výměna nástroje, jednoduché upevnění dílce při opracování, omezení lidské činnosti a ponechání její práce při oblasti manipulace a tvorby programu. (Král, Šrajec, 2008)

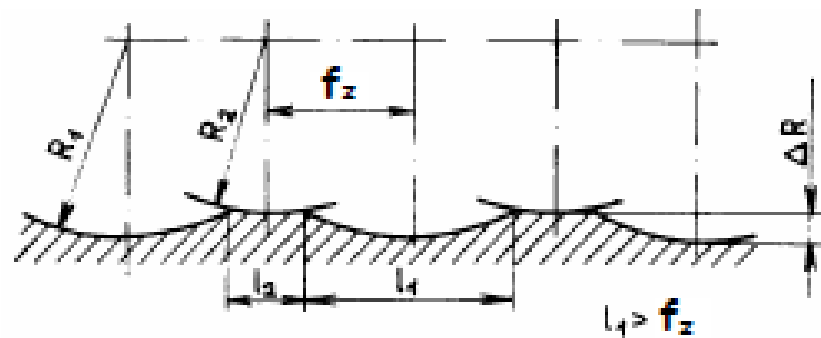
**Jednoprofesní CNC obráběcí stroj:** je charakteristický tím, že pro třískovou technologii obrábění používá jeden druh práce.

**Obráběcí centra:** jsou stroje řízené číslicově, které dělají různé druhy operací, pracují v automatickém cyklu, mají automatickou výměnu nástrojů a obrobku a pracují v bezobslužném provozu.

**Víceúčelové obráběcí centra:** jsou to obráběcí CNC stroje splňující definici jednoprofesního obráběcího CNC stroje a obráběcího centra, které je vybaveno obrábět mimo deskových a skříňkových i rotační součásti a také vyměňovat skupinu nástrojů, jako třeba operační hlavu. (Marek, 2006)

## 3.2 Frézování

Frézováním se rozumí obrábění frézou, frézovací hlavou apod., kdy tloušťka třísky se mění během záběru od nuly do  $h_{\max}$ : posuv je kolmý k ose otáčení nástroje. Tento způsob obrábění se volí k dosažení hladkého povrchu a přesných rozměrů obrobku (srovnávačkami, tloušťkovačkami) nebo k vytvoření tvarových ploch (spodní frézky, vrchní frézky, vícestranné frézky). (Prokeš, 1984)

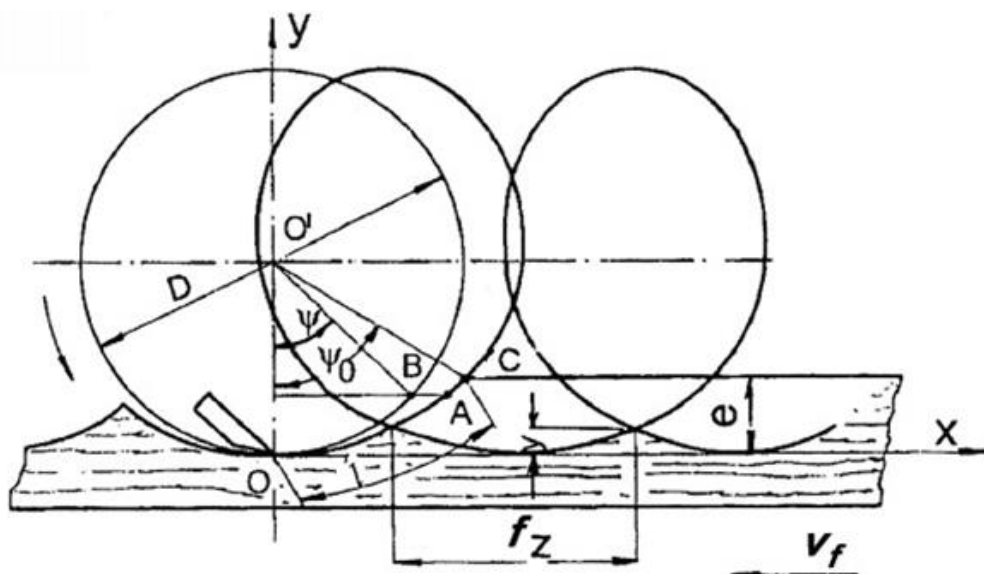


Obr. 3.1 Schéma oddělování třísky při válcovém frézování (Svatoš, 2009)

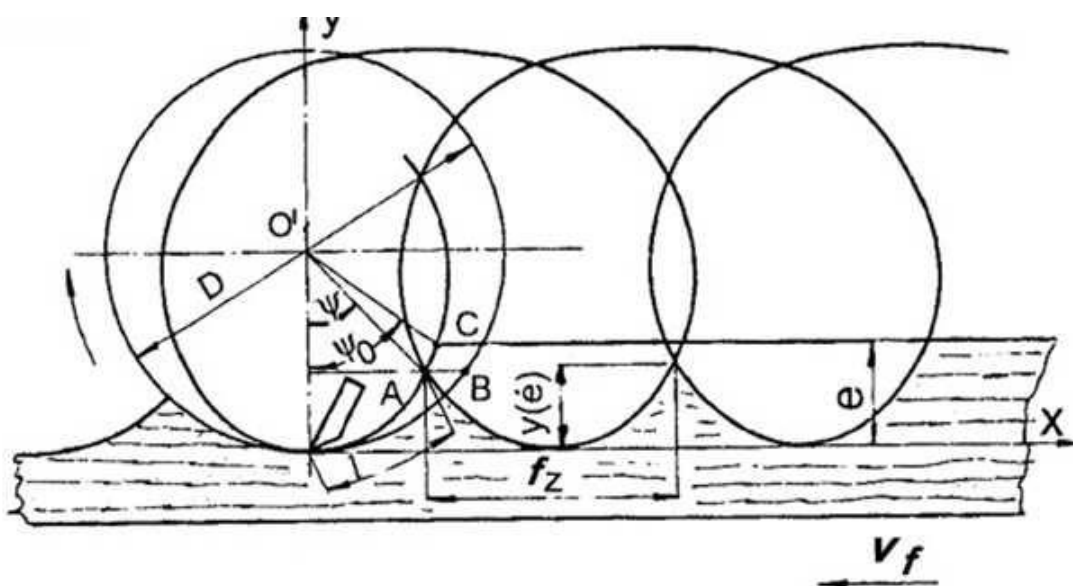
Frézování se užívá na opracování dílce řezáním na požadovanou kvalitu, rozměr a tvar. Frézování je velmi rozšířenou metodou obrábění dřeva. Kvalita povrchu obrobku je ovlivněna několika faktory a to druhem materiálu, otáčkami, rychlostí posuvu, počtem břitu a geometrií rezného nástroje.

Frézování je výrobní metoda obrábění, při které je odebírán materiál obrobku zuby vícebřitého nástroje, který se otáčí kolem své osy. Posuv obrobku probíhá převážně ve směru kolmém k této ose nástroje. (Rousek a kol., 2003)

Podle směru otáčení nástroje vzhledem ke svému posuvu se rozlišují dva typy frézování, a to frézování sousledné a nesousledné. Při nesousledném frézování se nástroj otáčí proti směru pohybu obrobku. Naopak je tomu při sousledném frézování, kdy se nástroj otáčí ve směru posuvu obráběného materiálu. Každý zub přitom vykonává dráhu tvaru cykloidy (viz obr. 3.2 a obr. 3.3). U některých nástrojů, zvláště větších průměrů je řezná rychlost v poměru k posuvové rychlosti velmi vysoká, takže můžeme s malou chybou předpokládat, že dráha břitu je kruhová. (Svatoš, 2009)



Obr. 3.2 Nesousledné frézování (Uhlíř, 2010)

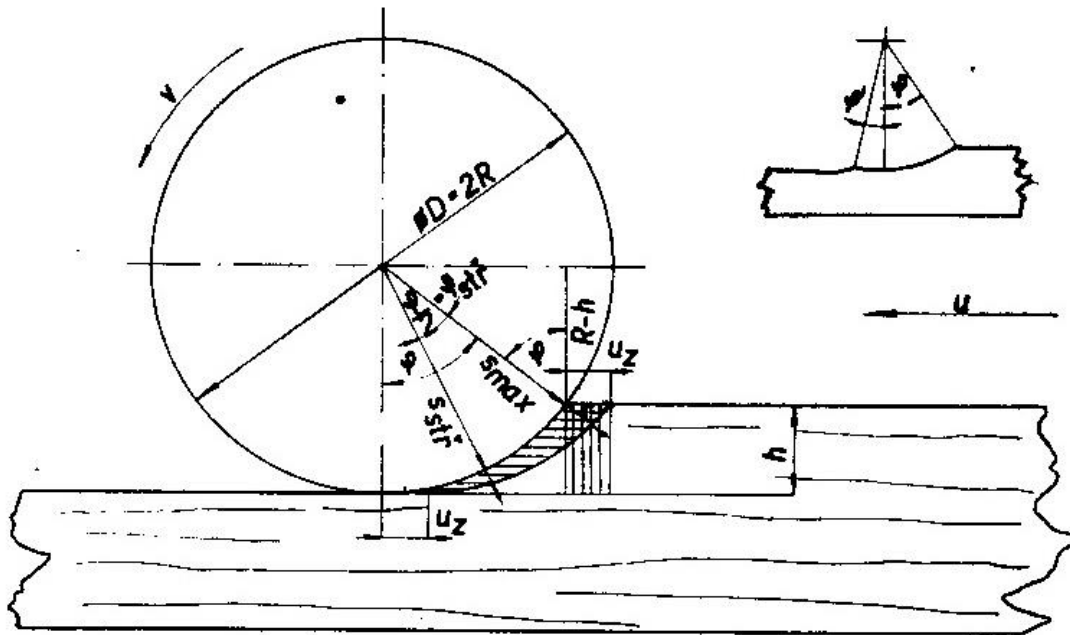


Obr. 3.3 Sousledné frézování (Uhlíř, 2010)

### 3.3 Kinematika frézování

Kinematiku oddělování třísky při frézování znázorňuje obr. 3.4. V praxi se však skutečný průřez třísky může odlišovat od nominálního průřezu vlivem otupení břitu, nepřesnosti chodu vřetene, odchylek břitu od řezné kružnice, nepravidelností chodu podávacího zařízení a především vlivem odštipování a nesterodnosti obrobku. Dráha břitu obrobku tvoří cykloidu; řezná rychlost je však u větších průměrů frézovacích ná-

strojů v poměru k rychlosti posuvu velmi vysoká, takže na úseku záběru břitu můžeme s dostatečnou přesností předpokládat, že jeho řezná dráha tvoří kružnici. Břit je během jediné otáčky v záběru na délce oblouku  $l$ , který přísluší středovému úhlu  $\varphi' + \varphi$ . Úhel  $\varphi'$  je velmi malý, proto se při výpočtu délky třísky  $l$  většinou uvažuje s úhlem  $\varphi$ . (Prokeš, 1978)



Obr. 3.4 Schéma oddělování třísky při válcovém frézování (Prokeš, 1978)

Teoretická délka třísky

$$l = R \cdot \sqrt{2 \frac{h}{R}} = \sqrt{D \cdot h} \text{ [mm]}$$

$D$  ... průměr nástroje [mm]

$R$  ... poloměr nástroje [mm]

$h$  ... tloušťka odebírané vrstvy [mm]

Střední tloušťka třísky

$$h_{stř} = f_z \cdot \varphi_{stř} \text{ [mm]}$$

Řezná rychlost

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

D ... průměr nástroje [mm]

n ... otáčky nástroje [ $\text{min}^{-1}$ ]

Posuv na zub:

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} \text{ [mm]}$$

z ... počet břitů

$v_f$  ... velikost posuvu

Posuv na otáčku:

$$f_n = \frac{v_f}{n} \text{ [mm]}$$

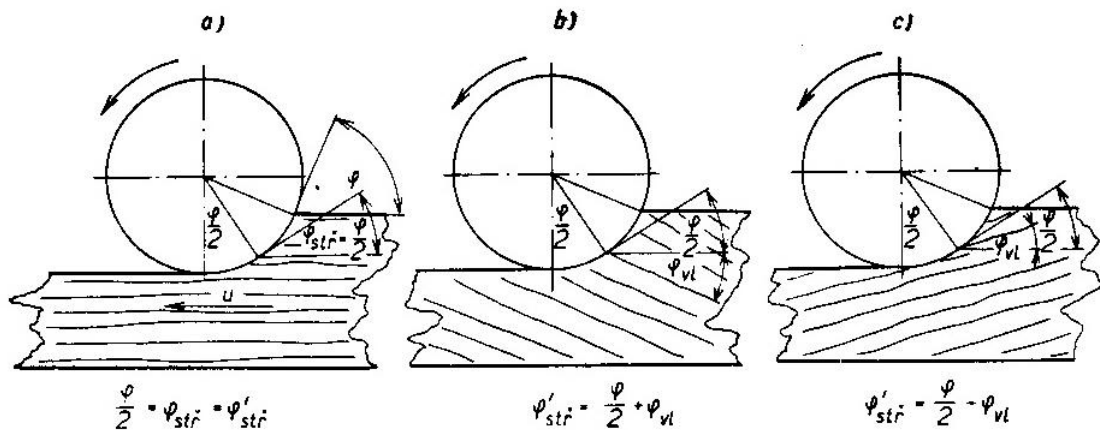
Velikost posuvu:

$$v_f = f_z \cdot z_{eff} \cdot n \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$$

Hloubka vlnky

$$y = \frac{f_z^2}{4 \cdot D} \text{ [mm]}$$

## Střední úhel styku



Obr. 3.5 Určení úhlu dřevních vláken při frézování (Prokeš, 1978)

a) podélně příčné b) proti vláknům c) po vláknech

Směr dřevních vláken souhlasí se směrem posuvu

$$\varphi'_{stř} = \varphi_{stř} = \frac{\varphi}{2}$$

Směr dřevních vláken nesouhlasí se směrem posuvu

$$\varphi'_{stř} = \frac{\varphi}{2} \pm \varphi_{vl}$$

$\varphi_{vl}$  ...úhel, který svírá směr posuvu se směrem dřevních vláken

### 3.4 Vznik třísky

Při prvním styku břitu s obrobkem se hmota obrobku nejprve více nebo méně deformuje (podle své pružnosti, stupně otupení břitu, velikostí úhlů řezu atd.) a po překročení určitého napětí v těsném okolí břitu nastává oddělování hmoty obrobku. V dalším průběhu tvoření třísky lze pozorovat vznik trhlin. Jejich umístění a směr vzhledem k okamžité poloze a směru pohybu břitu závisí na orientaci stavby obrobku a na dalších vlivech. (Prokeš, 1982)

Na oddělování třísky, jejich vlastností a konečnou formu po odlétnutí od nástroje mají vliv zejména:

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

### 3.5 Proces otupování nástroje

Otupování je postupná změna mikrogeometrie břítu během řezání, kdy nástroj ztrácí schopnost řezat. Je způsobeno tím, že se z břítu oddělují částičky kovu. Nástroj je tupý tehdy, když břit dospěl do určitého kritického stavu, který je provázen nepřístupným zhoršením jakosti povrchu obrobku, nežádoucím zvýšením řezné síly, pálením a rozměrovými nepřesnostmi obrobku. (Prokeš, 1982)

S procesem otupování souvisí ještě dva pojmy, a to:

- a) **Trvanlivost břítu**- doba, po kterou naostřený břit pracuje. Trvanlivost několika břitů nástroje závisí na trvanlivosti jednotlivých břitů. Trvanlivost se tedy vyjadřuje jednotkami času (počítáme pouze dobu, po kterou je břit v záběru) a délkovými jednotkami (řeznou dráhou). (Prokeš, 1982)
- b) **Životnost nástroje**- násobek trvanlivosti ostří a vyjadřuje se tedy délkovými jednotkami a časem. Mezi pro životnost nástroje je ukončení požadované schopnosti plnit svou funkci. (Prokeš, 1982)

Průběh procesu otupování břítu je znázorněn na obr. 3.6. Tento průběh je platný jak pro břity z nástrojové oceli, tak pro stelity, slinuté karbidy i keramické materiály. (Prokeš, 1982)

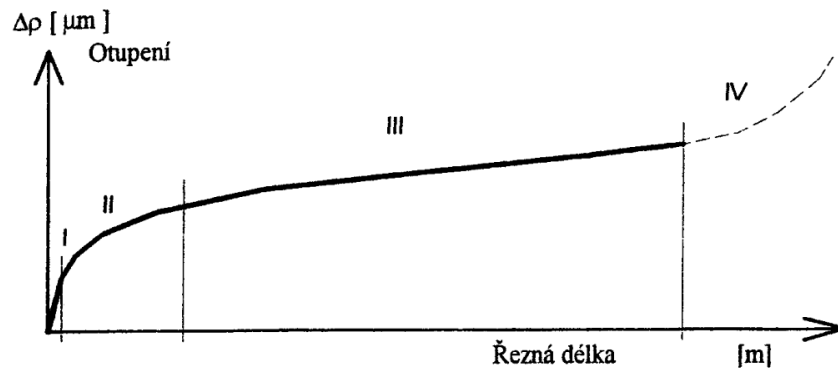
Můžeme rozeznat tři výrazné intervaly. V prvním intervalu se u břitů s jehlou, viditelnou pouhým okem nebo při malém zvětšení, jehla ohne nebo odlomí. Je to velmi krátký časový úsek, většinou během prvního záběru břítu. (Prokeš, 1982)

Ve druhém intervalu křivka prudce stoupá, má však degresivní charakter. (Prokeš, 1982)



Ve třetím intervalu je průběh křivky lineární, proces opotřebení se stabilizuje a změny mikrogeometrie probíhají většinou mnohem pomaleji. V některých případech byl zjištěn periodický nepravidelný průběh otupování, pozorujeme-li otupování pouze na jednom místě břitu. (Prokeš, 1982)

Na daném obrázku můžeme vidět i čtvrtý interval, kde má nárůst otupení regresivní průběh, což ale není experimentálně dokázáno. (Varkoček, Rousek, Holopírek, 2004)



Obr. 3.6 Průběh otupení břitu (Varkoček, Rousek, Holopírek, 2004)

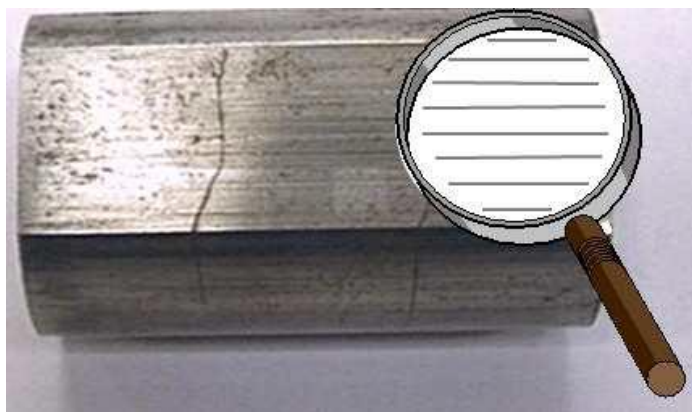
### 3.6 Metody hodnocení kvality povrchu

Obor zabývající se mírami pro stanovení velikosti různých technických a fyzikálních veličin a jejich měřením se nazývá metrologie. Metrologie má zmapovat a zaznamenávat geometrické a fyzikální vlastnosti měřeného povrchu. Podle těchto parametrů můžeme vyhodnotit jejich vliv a vlastnosti povrchu hotového výrobku.

Měření parametrů struktury povrchu můžeme měřit různými metodami. Každá metoda má svoje výhody a nevýhody. Metody hodnocení povrchu rozdělujeme na 4 základní skupiny a to na vizuální, porovnávací, dotykovou a bezdotykovou.

#### 3.6.1 Vizuální metoda

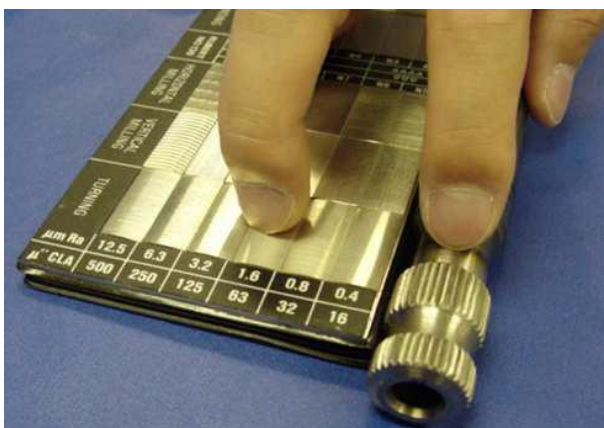
Vizuální metoda je nejjednodušší metoda, ve které hodnotíme povrch výrobku pouhým okem, nebo za pomoci lupy. Hledáme vady, trhliny, defekty, škrábance, stopy po obrábění, hodnotíme drsnost a kvalitu povrchu.



Obr. 3.7 Vizualní metoda (Svatoš, 2009)

### 3.6.2 Porovnávací metoda

Jedná se o spojení vizuální a dotykové metody, kdy k vyhodnocení povrchu používáme speciálních měrek (etalonů). Metoda spočívá v porovnávání měřeného vzorku s etalony. Pro kvalitnější posouzení povrchu provádíme porovnávání na více místech. I tato metoda je velmi zatížená lidským faktorem, avšak je přesnější než metoda vizuální. (Uhlíř, 2010)



Obr. 3.8 Porovnávací vzorkovnice drsnosti (Svatoš, 2009)

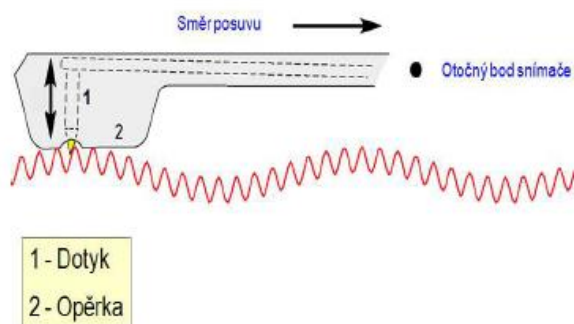
### 3.6.3 Dotykové metody

Tyto metody jsou již poněkud přesnější a vyvinutější oproti předchozím dvěma metodám. Přístroje sloužící pro toto měření se nazývají drsnoměry. Většinou se skládají z nějaké posuvové a měřící jednotky, raménka a různého typu snímače. Nevýhodou

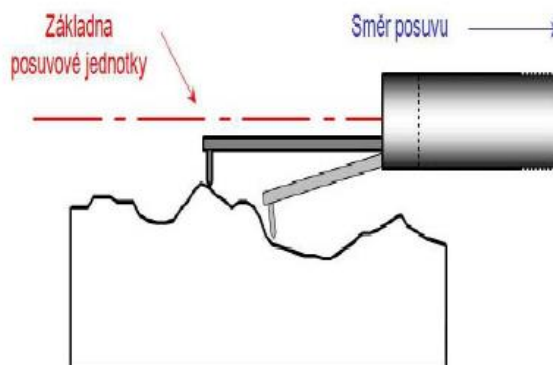
těchto snímačů je, že při vyvinutí větší působící síly mohou způsobit na povrchu snímaného vzorku škrábance nebo nevratný defekt. (Svatoš, 2009)

### 3.6.3.1 Absolutní indukční snímač

Metoda je založena na pákovém systému, kde na jedné straně je hrot uložený na břitech a na druhé straně páky se nachází měřicí zařízení skládající se ze dvou cívek a jednoho magnetu. Cívky jsou schopny indikovat změnu magnetického pole a převést na elektrický signál, který je posléze zaznamenán v podobě digitálních dat. Hrot tedy opisuje měřený povrch a tím mění polohu magnetu mezi cívkami. Lze zaznamenávat vlnitost i drsnost povrchu. Povrchu se dotýká pouze hrot. Povinností pro přesné měření je vyrovnat páku se základnou posuvné jednotky a dostat magnet do neutrální polohy mezi cívkami. (Jurena, 2011)



Obr. 3.9 Schéma principu relativního indukčního snímače (Jurena, 2011)



Obr. 3.10 Schéma principu absolutního indukčního snímače (Jurena, 2011)

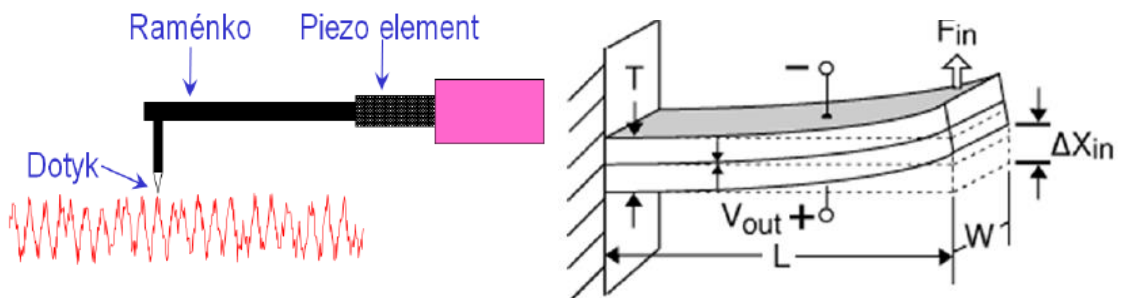
### 3.6.3.2 Piezoelektrický snímač

Tento typ snímače využívá piezoelektrického jevu, který spočívá v tom, že uvnitř některých polykrystalických dielektrik vzniká vlivem mechanické deformace elektrická polarizace, čímž se na povrchu tvoří zdánlivé náboje, které mohou na přiložených elektrodách vázat nebo uvolňovat náboje skutečné. Jakmile napětí zmizí, dostává se dielektrikum do původního stavu.

VUT Brno 2014: Vědecké články [citováno 20. 3. 2014]

Dostupné na: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka03-05.htm>

Princip snímání je, že hrot opisuje povrch připojený na raménku, které je spojeno s piezoelektrickým snímačem a ten indikuje nerovnosti povrchu. Převážně se používá jako kapesní snímač. Je ideální pro malý zdvih snímače a má dobrou odezvu na vysokých frekvencích. Jeho nevýhody jsou, že jeho rozsah je poměrně malý a je náchylný na teplotu a vlhkost.

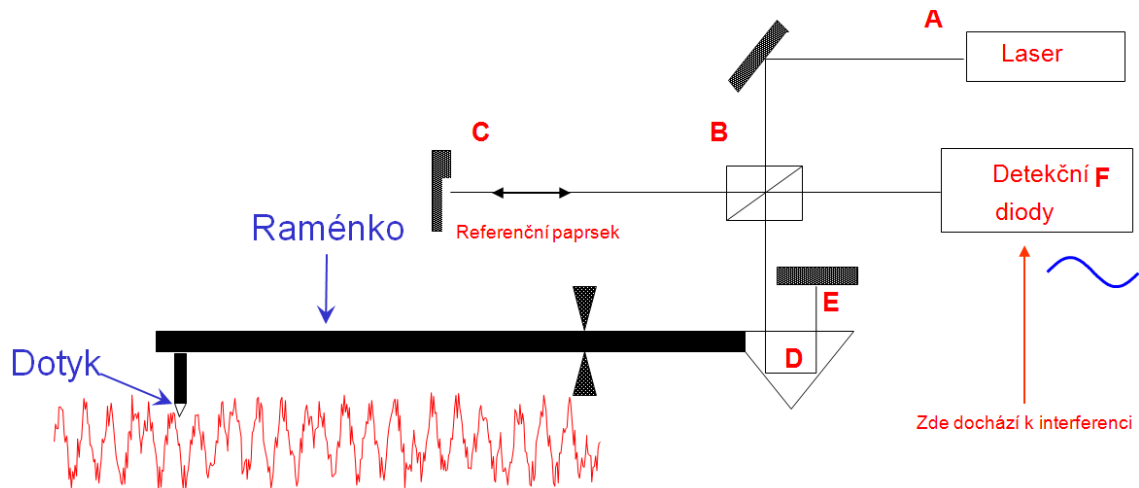


Obr. 3.11 Princip činnosti piezoelektrického snímače (Svatoš, 2009)

### 3.6.3.3 Interferometrický laserový snímač

V dnešní době patří mezi jeden z nejpřesnějších a nejmodernějších dotykových snímačů. Jako jednotka délky se využívá vlnová délka světla. Světelná vlna vyslaná z laseru se od předmětu odrazí zpět a spočítají se vlnové délky, které se vejdou do proběhnuté dráhy světla. Měřící paprsek vráceným zrcadlem předmětu se nechá s interferometru interferovat s referenčním paprskem odraženým od pevného zrcadla.

Vlnové délky paprsku se v místě interference posouvají a mění fázi k referenčnímu paprsku. Fotodioda snímá intenzitu interferovaného světla- každé zatmění je jedna vlnová délka. Mezi výhody snímače patří vysoká přesnost, vysoké rozlišení a automatická kalibrace. (Svatoš, 2009)



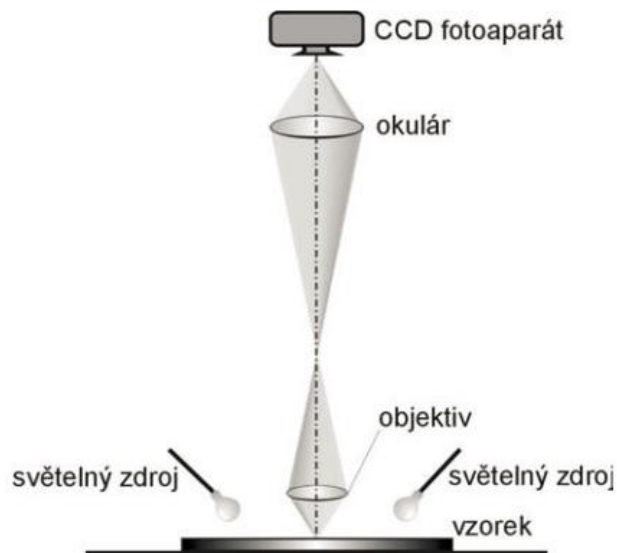
Obr. 3.12 Princip laserového interferometrického snímače (Svatoš, 2009)

### 3.6.4 Bezdotykové metody

Dnes více rozšířené metody hodnocení povrchu. Zde také rozlišujeme jako u dotykové metody různé typy snímačů. U bezdotykové metody nedochází ke kontaktu zařízení se zkoumaným povrchem.

#### 3.6.4.1 Fotometrické hodnocení

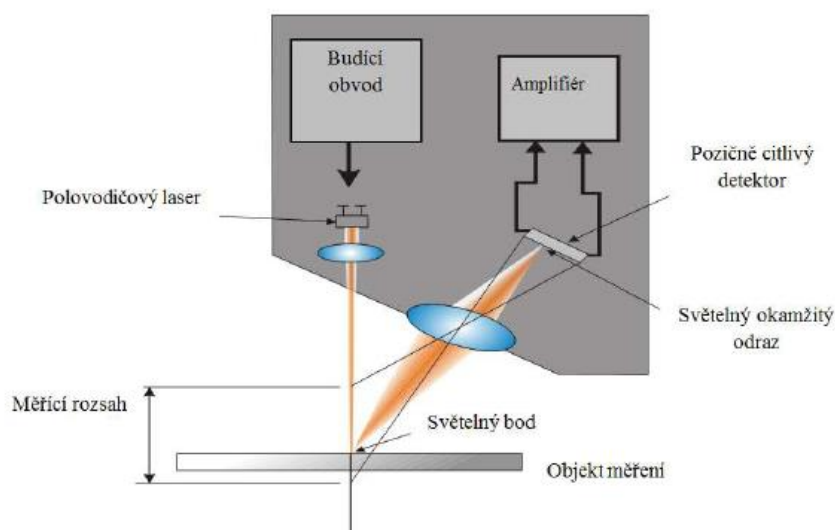
Jedná se poměrně o jednoduchou a ne moc drahou metodu, která snímá povrch pomocí digitálního fotoaparátu (CCD čipu). Obraz je převeden do digitálních dat. Poté snímky jsou vyhodnoceny softwarem za aplikace odpovídajícího měřítka. Touto metodou lze vyhodnotit hloubku a šířku vlnky. Nevýhodou je nelineární přenos jasu. Hodnota jasu na obrazu vstupu neodpovídá hodnotě signálu na výstupu. Je nutné tedy provést korekci, která upraví přenos jasů na lineární. (Zmeškal, 2001)



Obr. 3.6 Schéma měřící soustavy (Zmeškal, 2001)

### 3.6.4.2 Laserový triangulační snímač (PSD)

Snímač je založen na principu triangulační metody. Laserový svazek je vyslán pod úhlem na měřený povrch a odražen od objektu nazpátek. Změna úhlu ve snímači se projeví jako změna místa na detektoru, kam svazek dopadne. PSD (Position Sensitive Device) je to fotocitlivý prvek, u kterého se mění proud v závislosti na místě dopadu laserového paprsku. Na rovný povrch dopadá paprsek doprostřed detektoru. Při nerovnosti povrchu mění dopad paprsku na detektor, který změny vyhodnotí a zpracuje v podobě počítačových dat. (Svatoš, 2009)

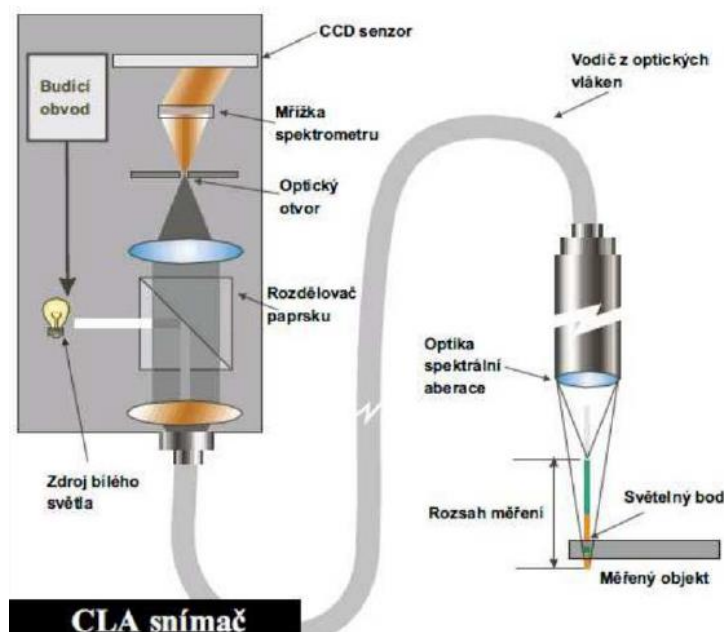


Obr. 3.7 Laserový triangulační snímač (Svatoš, 2009)

### 3.6.4.3 Konfokální snímač (CLA)

Základem konfokálního mikroskopu je, že netvoří obraz vcelku, ale bod po bodu pomocí řádkování. Optické body jsou pak snímány v rovině XY a přesném definovaném posuvu snímače v ose Z i jednotlivé optické řezy. (Uhlíř, 2010)

U této metody se setkáváme s vysíláním bílého světla, které je rozkládáno a za pomoci spektrální aberace je směřováno na měřený povrch. Optika světlo rozloží podle vlnových délek a na každém bodě povrchu je jen určitá vlnová délka. Vlnovou délku poté snímá CCD snímač, který ke každé vlně přiřadí souřadnice (X, Y, Z). Výhoda této metody je rychlost snímání a vysoké rozlišení. (Svoboda, 2011)



Obr. 3.8 Princip CLA snímače (Svoboda, 2011)

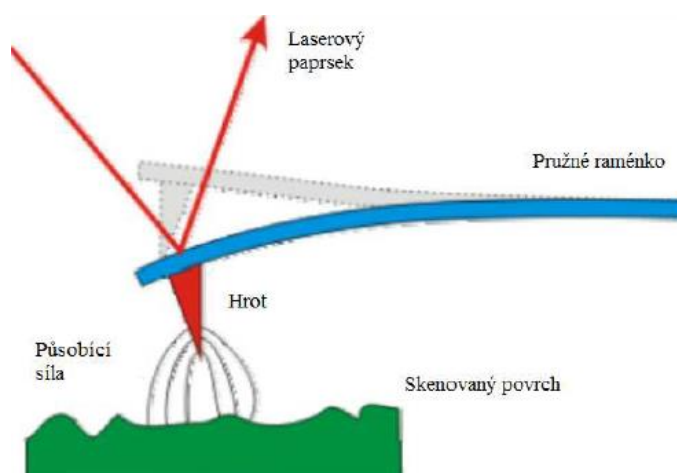
### 3.6.4.4 Atomic Force Microscop- AFM (Mikroskopie atomové síly)

Jedná se o jeden z nejmodernějších snímačů, který dokáže provádět chemickou identifikaci jednotlivých atomů na povrchu pevných látek využívající techniku AFM. Má 4 režimy snímání a to kontaktní, bezkontaktní, pokleповý a dynamický. Nejvíce používaný režim je bezkontaktní, v němž není mezi hrotem a vzorkem přímý mechanický kontakt. Hrot se vzorkem na sebe působí skrze Van der Waalsovou a elektrostatickou sílu. Jelikož tato síla je velmi malá, musíme nosník rozkmitat a místo ohnutí se měří

velikost amplitudy a ne ohnutí ramene. Tato metoda se nazývá FM-AFM (Frequency Modulated AFM). Pružné raménko je rozkmitáno silou na vlastní frekvenci raménka a jeho vyšších harmonických frekvencích. Měření je fázový posuv kmitání, způsobený atomárními silami. Nevýhodou je ovlivnitelnost měření, pomalé měření.

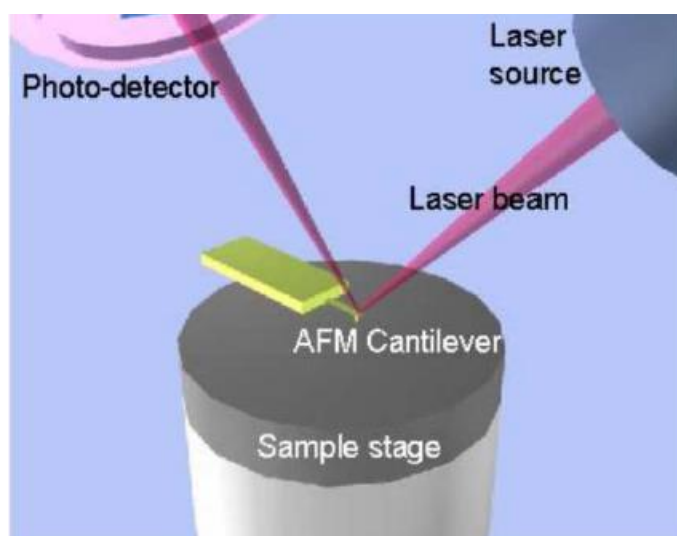
VUT Brno 2014: Vědecké články [citace 28. 3. 2014]

Dostupná na: [http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM\\_mikroskopie.pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM_mikroskopie.pdf)



Obr. 3.9 AMF hrot

([http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM\\_mikroskopie.pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM_mikroskopie.pdf))



Obr. 3.10 AMF snímání

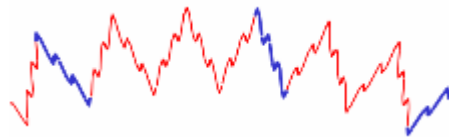
([http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM\\_mikroskopie.pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM_mikroskopie.pdf))



### 3.7 Základní pojmy

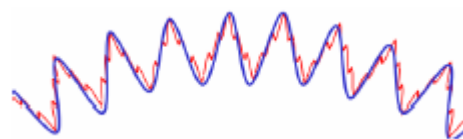
Pro řádné vyhodnocení výsledků je potřeba znát několik základních pojmů, které nám také pomohou nastavit a použít přístroj na měření. Mezi tyto základní pojmy řadíme různé typy profilů, filtrů, parametrů. Všechny pojmy jsou převzaty z norem ČSN EN ISO, které jsou uvedené v přehledu použité literatury.

**Drsnost** – nejmenší nerovnosti vznikají v procesu výroby, např. působení řezného nástroje. Drsnost je důsledkem metody dokončování působením obráběcího stroje. Řezný nástroj zanechává na povrchu stopy; uspořádání stop má periodicky nebo náhodný charakter. Působením „odtrhávání“ mikročástic materiálu při obrábění, zbytků nárůstků na břitě a malých vad na špičce nástroje vznikají i jemnější složky struktury povrchu.



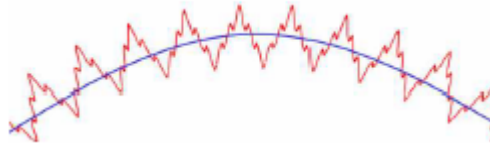
Obr. 3.11 Rozlišení drsnosti povrchu

**Vlnitost** – značí rozměrnější nerovnosti, na které je superponována drsnost; většinou jsou způsobeny kmitáním nebo deformací obrobku, příp. pnutí v materiálu součásti. Vlnitost je přisuzována především vlastnostem obráběcího stroje, např. nevyváženosti brousícího kotouče, nepřesnostem vodících šroubů, nedostatečné tuhosti.



Obr. 3.12 Rozlišení vlnitosti povrchu

**Tvar** – je charakterizován největšími nerovnostmi profilu povrchu, které vznikají bez ohledu na drsnost a vlnitost. Úchyly tvaru povrchu nejčastěji způsobuje nedostatečné tuhé upnutí obráběné součásti nebo úchyly vodících ploch strojů. Deformace součásti při vyšších teplotách řezání.



Obr. 3.2013 Rozlišení tvaru povrchu

Jednotlivé typy nerovností je potřeba měřit a hodnotit samostatně. K členění povrchu na složky podle rozteče nerovností se používá řada filtrů. Základem kvalitního měření je zvolení správného filtru. Podle ČSN EN ISO 11562 se určují druhy filtrů takto:

- filtr  $\lambda_s$  – rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln
- filtr  $\lambda_c$  – rozhraní mezi drsností a vlnitostí
- filtr  $\lambda_f$  – rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln

Pro nestrannou kontrolu povrchu je správná hodnota základní délky. Musí být dostatečně velká, aby byla statisticky významná. Výběr základních délek doporučuje norma ČSN EN ISO 4288 :

- **základní délka**  $l_p$ ,  $l_r$ ,  $l_w$  – délka, na které jsou měřeny jednotlivé parametry
- **vyhodnocovaná** délka  $l_n$  – délka pro vyhodnocení povrchu, výsledek měření je průměrná hodnota ze všech délek
- **délka snímání**, je to dráha měřicího hrotu,  $L$  – odpovídá vyhodnocované délce zvětšené o krátký rozběh ( $L_r$ ) a doběh ( $L_d$ ), tyto parametry mají vyloučit mechanické a elektrické nestabilní režimy měřicího systému.
- **mezní vlnová délka cut-off** – je to parametr měřicího systému, je stejně důležitý jako základní délka. Základní délka je fyzikální veličina (délka kontrolovaného povrchu), mezní vlnová délka (cut-off) je funkcí profilometru, který opravuje převod profilu povrchu na odpovídající elektrický signál v rozmezí základní délky. Na nerovnosti povrchu závisí vlnová délka a měření signálu. Při použití filtru, který vyloučí vlnové délky větší než 0,25 mm, zůstanou v nitrovaném signálu zastoupeny jen nerovnosti s roztečí 0,25 mm a menší. Měřicí systém odřezává nerovnosti s roztečí 0,25, což je označováno mezní vlnovou délkou. Charakteristice povrchu nejlépe odpovídá jedna hodnota mezní vlnové délky. Třeba mezní vlnová délka 0,8 mm může se použít téměř na všechny povrchy, ale

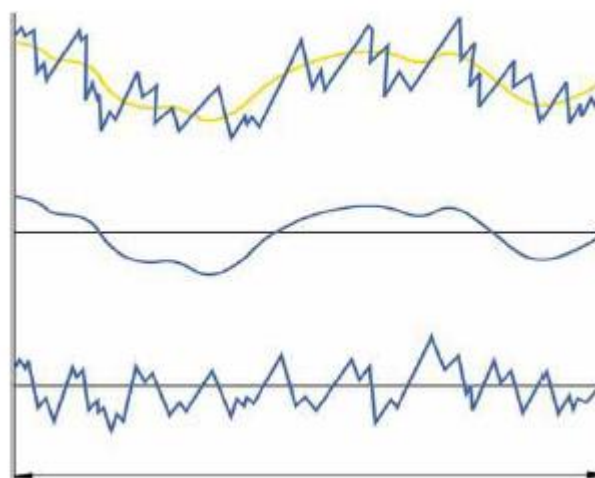
nemusí vždy být tím správným řešením pro hodnocení některých vlastností povrchu. (Svatoš, 2009)



Obr. 3.14 Délky definovány pro měření struktury povrchu (Svatoš, 2009)

Podle normy ČSN EN ISO 4287 můžeme rozdělit na 3 typy profilů povrchu:

- **základní profil** (P – profil) – profil vzniklý aplikací filtru  $\lambda_s$  pro odfiltrování krátkovlnných složek.
- **Profil drsnosti** (R – profil) – profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru  $\lambda_c$ .
- **Profil vlnitosti** (W – profil) – profil odvozený postupnou aplikací profilu  $\lambda_f$  a filtru profilu  $\lambda_c$  na základní profil, potlačující dlouhodobé složky filtrem profilu  $\lambda_f$  a krátkovlnné složky filtrem profilu  $\lambda_c$  profil je záměrně pozměněn.



Obr. 3.15 Tři typy profilů povrchu dle ČSN EN ISO 4287

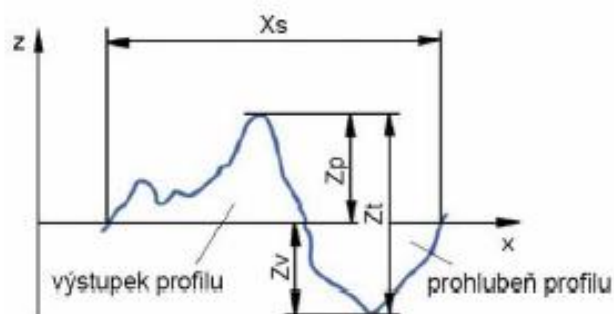
### 3.8 Základní parametry povrchu

#### 2D měření:

- **P** – parametr = parametr vypočítaný ze základního profilu
- **R** – parametr = parametr vypočítaný z profilu drsnosti
- **W** – parametr = parametr vypočítaný z profilu vlnitosti

S-parametr = parametr vypočítaný z 3D měření (parametry mají skoro stejné definice jako u 2D měření, změní se akorát pojmy jako délka na plochu a osa na rovinu)

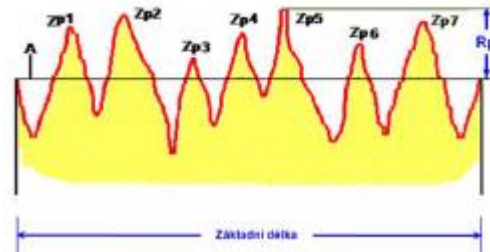
- **Výstupek profilu, p** – část povrchu, která směřuje ven z posuzovaného profilu a spojuje dva přilehlé body na průsečiku profilu s osou X (výstupek směřuje z materiálu do okolního prostředí).
- **Prohlubeň profilu, v** – část směřující dovnitř posuzovaného profilu, která spojuje dva přilehlé body na průsečiku s osou X (prohlubeň směřuje z okolí do materiálu)
- **Výška výstupku profilu,  $Z_p$**  – vzdálenost mezi osou X a nejvyšším bodem výstupku
- **Hloubka prohlubně profilu,  $Z_v$**  – vzdálenost mezi osou X a nejnižším bodem prohlubně profilu
- **Výška prvku profilu,  $Z_t$**  – součet výšky výstupku profilu  $Z_p$  a hloubky prohlubně profilu  $Z_v$ .
- **Šířka prvku profilu,  $X_s$**  – délka osy X protínající prvek profilu



Obr. 3.16 Základní prvky profilu (Novák, 2011)

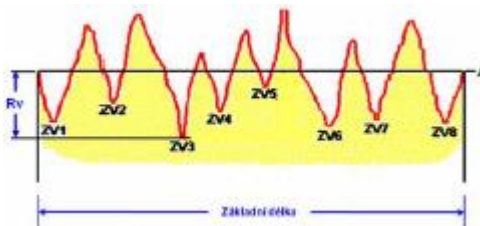
### 3.8.1 Výškové parametry

Největší výška výstupku profilu  $P_p$ ,  $R_p$ ,  $W_p$  – výška  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky.



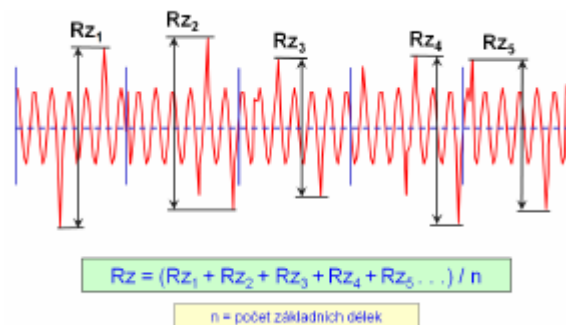
Obr. 3.17 Největší výška výstupku profilu (Svatoš, 2009)

Největší hloubka prohlubně profilu  $P_v$ ,  $R_v$ ,  $W_v$  – hloubka  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.



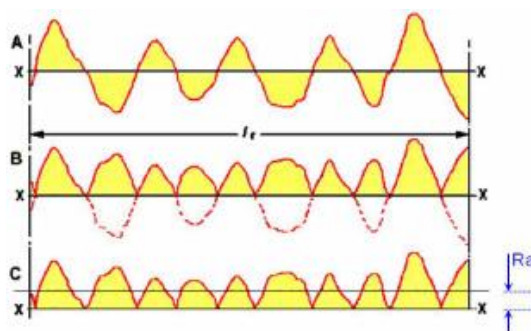
Obr. 3.18 Největší hloubka výstupku profilu (Svatoš, 2009)

Největší výška profilu  $P_z$ ,  $R_z$ ,  $W_z$  – je součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu ( $R_p$ ) a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně ( $R_v$ ) v rozsahu základní délky.



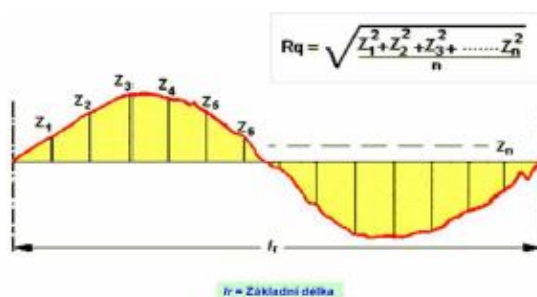
Obr. 3.19 Největší výška profilu (Svatoš, 2009)

**Průměrná aritmetická úchylka profilu**  $P_a$ ,  $R_a$ ,  $W_a$  – je jednou z nejpoužívanějších charakteristik drsnosti povrchu. Jedná se o přednostní výškový parametr, který je získáván jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  od střední čáry v rozsahu základní délky.



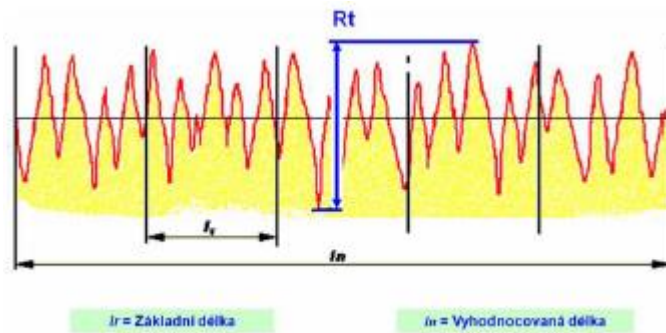
Obr. 3.20 Průměrná aritmetická úchylka profilu (Svatoš, 2009)

**Průměrná kvadratická úchylka profilu**  $P_q$ ,  $R_q$ ,  $W_q$  – kvadratický průměr souřadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky.



Obr. 3.21 Průměrná kvadratická úchylka profilu (Svatoš, 2009)

**Celková výška profilu**  $P_t$ ,  $R_v$ ,  $W_t$  – součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocené délky.

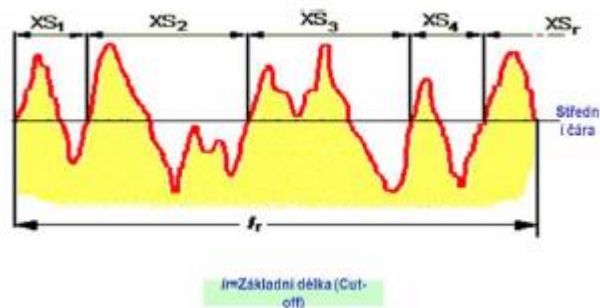


Obr. 3.22 Celková výška profilu (Svatoš, 2009)

**Průměrná výška prvků profilu**  $P_c$ ,  $R_c$ ,  $W_c$  – průměrná hodnota  $Z_t$  prvku profilu v rozsahu základní délky.

### 3.8.2 Délkové parametry

**Průměrná šířka prvků profilu**  $P_{Sm}$ ,  $R_{Sm}$ ,  $W_{Sm}$  – základní charakteristika drsnosti povrchu v podélném směru získaná jako aritmetický průměr šířek  $X_s$  prvků profilu v rozsahu základní délky.



Obr. 3.30 Průměrná šířka prvků profilu (Svatoš, 2009)

## 4 MATERIÁL A METODIKA

### 4.1 Použitý materiál na bázi dřeva

#### 4.1.1 Překližka

Při vzájemném křížovém slepení tenkých velkoplošných dýh vznikne překližka. Tento materiál má odstraněny některé nežádoucí vlastnosti masivního dřeva. Jedná se o to, že materiál není anizotropní a je u něj sníženo sesychání a bobtnání. Použitím různých dřevin, počtem vrstev a tloušťkou jednotlivých dýh, případně i volbou lepidla je možno vyrobit překližku rozmanitého elastického vzhledu a mechanických a fyzikálních vlastností s nižší nebo vysokou odolností proti působení vlhkosti. Některé druhy překližek jsou určeny pro přímý styk s vlhkostí, jiné jsou určeny jen pro suché prostředí v interiéru. (Böhm a kol., 2012)

Byla použita buková překližka o tloušťce 18 mm.



Obr. 4.1 Překližka (Böhm a kol., 2012)

Překližky se používají na velké množství výrobků. V první polovině minulého století, když byly lepeny překližky hlavně kostním klijem, tedy nevlhkovzdorným lepidlem, používaly se překližky jen v interiéru- především na plošné dílce nábytku. Počátkem padesátých let 20. století se začaly používat syntetická termoreaktivní lepidla, která mají vyšší odolnost vůči působení vlhkosti. Používají se překližky s foliovaným nebo



nefoliovaným povrchem ve vlhkém a vnějším prostředí, především ve stavebnictví a na obaly. Stavební překližky jsou používány jako stavební dílce, např. součást střešních vazníků, šalování, bednění. Dále se používají v automobilovém a speciálním průmyslu. (Böhm a kol., 2012)

## 4.2 Příprava vzorků

Z vybraného materiálu na bázi dřeva překližky byla hodnocena kvalita povrchu po ofrézování. Frézování vzorků překližky bylo provedeno v dílnách Mendelovy Univerzity v Brně na CNC stroji Homag Venture 13M (Obr. 4.2). CNC Homag Venture je pětiosé CNC obráběcí centrum pro obrábění dřeva a materiálu na bázi dřeva. Hlavní vřeteno má výkon 15 kW a počet otáček můžeme nastavit od intervalu 0 až 30000 ot.min<sup>-1</sup>. Vřeteno je používáno na uchycení nástrojů, které jsou nachystány k výměně v 12místném talířovém měniči (Obr. 4.4). CNC je vybaven řídicím centrem Power Control PC 85, které můžeme vidět na obr. 4.3. Mimo frézování lze na stroji také řezat, vrtat a olepovat boční plochy tvarových dílců.



Obr. 4.2 CNC obráběcí centrum



Obr. 4.3 Řídicí systém CNC obráběcího centra

Talířový 12místný měnič, ve kterém jsou uloženy nástroje, agregáty a zařízení připraveny k automatické výměně na hlavním vřetenu.



Obr. 4.4 Talířový měnič

Vstupní parametry CNC stroje při frézování:

- otáčky hřídele → 16000 a 18000 ot.min<sup>-1</sup>
- velikost posuvu → 3,2 a 3,6 m.min<sup>-1</sup>
- úběr → 2 mm

Použitý nástroj:

- průměr → 19 mm
- celková délka nástroje → 151 mm
- délka ostří → 50 mm
- počet nožů → 2ks (tvrdokovové žiletky)
- úhly nožů nástroje →  $\alpha = 35^\circ$ ,  $\beta = 36^\circ$ ,  $\gamma = 19^\circ$



Obr. 4.5 Stopková fréza

Z obou vybraných materiálu na bázi dřeva překližky byly vyrobeny dílce, kde překližka měla rozměry 500× 140× 18 mm. Připravené dílce byly sousledně a nesousledně ofrézovány při 16000 a 18000 ot.min<sup>-1</sup>, kdy jsme udělali šest opakování. Dále byly nařezány vzorkové hranolky, jejich parametry můžeme vidět v následující tabulce. Vše je prováděno v dílnách Mendelovy Univerzity v Brně.

Tab. 4.1 Parametry hranolků

Materiál				Příčný rozměr [mm]	Délka [mm]	Otáčky [ot.min-1 ]	Frézování
Překližka	A1	A2	A3	30×18	150	16000	nesousledně
Překližka	B1	B2	B3	30×18	150	16000	sousledně
Překližka	C1	C2	C3	30×18	150	18000	nesousledně

Za pomoci formátovací pily byly z velkého vzorku nařezány vzorky malé rozděleny dle jednotlivých podmínek, na kterých byla dále vyhodnocena kvalita frézovaného povrchu přístrojem Taylor Hobson Talysurf CLI 1000.



Obr. 4.6 Formátovací pila



Obr. 4.7 Ukázka vzorků nařezaných na formátovací pile pro měření kvality povrchu na přístroji Talysurf CLI 1000

### 4.3 Vyhodnocení vzorků pomocí Talysurf CLI 1000

Přístroj Talysurf CLI 1000 je používán k rychlému prostorovému měření, následnému vyhodnocení povrchu a to s vysokým rozlišením. Systém CLI je schopen prostoro-rově měřit ve všech třech osách (x, y, z). K měření můžeme použít jak dotykové, tak i bezdotykové metody měření. Na přístroji můžeme měřit profil řezu (2D) i plošné měření (3D).

Talysurf je schopen měřit 3 možnými způsoby a to dotykovým způsobem Form Talysurf, nebo bezdotykovým způsobem laserovou triangulační sondou a CLA konfo-kálním snímačem.

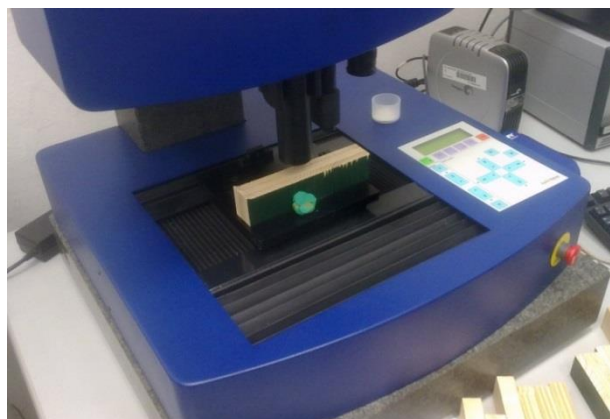
Je schopen posuvu ve všech třech osách s maximální rychlostí posuvu s použitím CLA sondy 30 mm/s a 3 mm/s, s použitím dotykového indukčního snímače.

NOVÁK Zdeněk. PROSTOROVÉ MĚŘENÍ A HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU PŘÍSTROJI TAYLOR HOBSON Ltd. [online]. [cit. 8. 4. 2014] dostupné na: [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)

Vyhodnocení kvality povrchu probíhalo na přístroji Taylor Hobson Talysurf CLI 1000, který můžeme vidět na obr 4.8. Ze vzorku vyhodnocujeme plochu o velikosti 25 mm x 25 mm. K vyhodnocení 2D parametrů můžeme využít 4 profily. K vyhodnocení 3D parametrů využíváme celý snímaný povrch.



Obr. 4.8 Měřicí přístroj Talysurf CLI 1000 s výkonným počítačem



Obr. 4.9 Snímání vzorku na přístroji Talysurf CLI 1000

## 5 VÝSLEDKY

Na vyhodnocovaných vzorcích byly zjišťovány tyto parametry.

S-parametr – amplitudní parametr povrchu

R-parametr – parametr vypočítaný z profilu drsnosti

W-parametr – parametr vypočítaný z profilu vlnitosti

Sa, Ra, Wa – průměrná aritmetická úchylka profilu

St, Rt, Wt – celková výška profilu

Sz, Rz, Wz – největší výška profilu

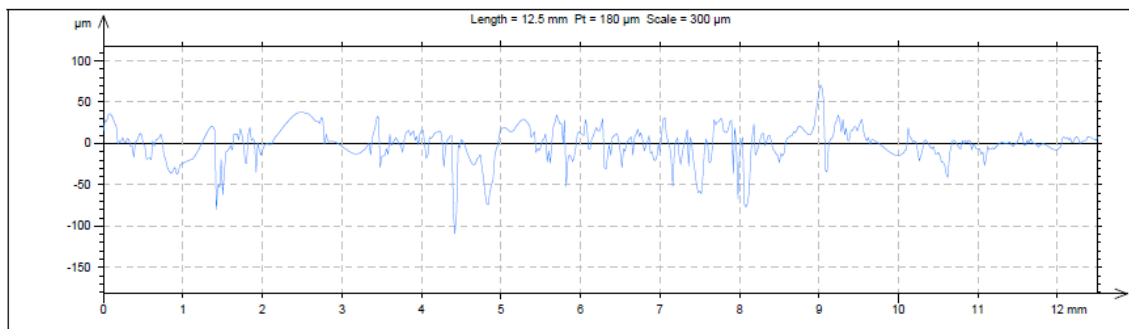
RSm, WSm – průměrná šířka prvků profilu

- u potřebných parametrů byl použit Gaussův filtr 2,5

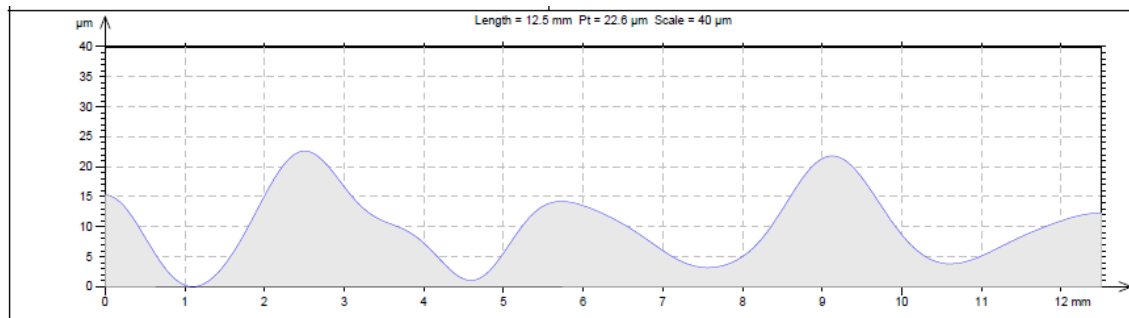
Důkladný přehled těchto parametrů je uveden výše v kapitole 3.6 Základní parametry povrchu.

Pro vyhodnocení byl vybrán pro názornost jenom jeden řez od každého vzorku se všemi zjištěnými parametry (kvůli velkému množství dat). Všechny data jsou vložena jako příloha na CD.

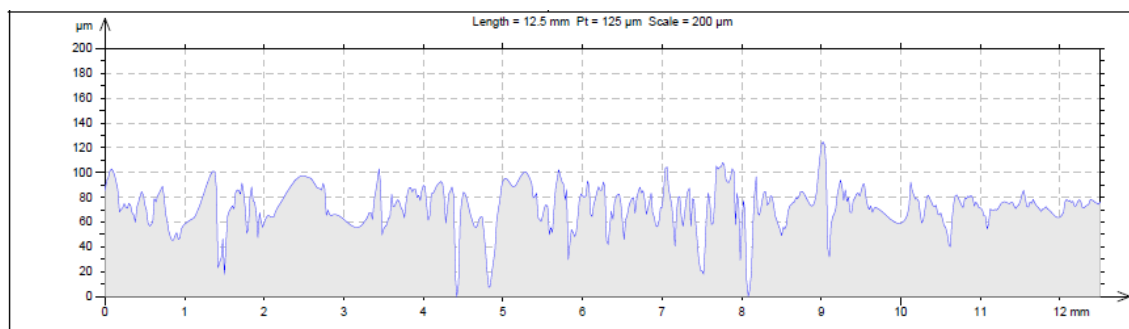
## 5.1 Překližka A



Obr. 5.1 Základní profil 2D



Obr. 5.2 Profil vlnitosti 2D



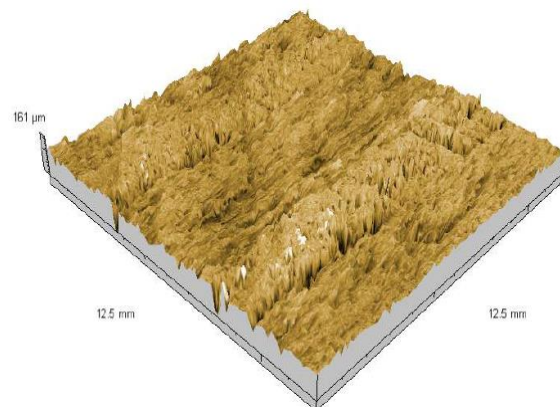
Obr. 5.1 Profil drsnosti 2D

Roughness Parameters, Gaussian filter, 2.5 mm

$R_a = 14.9 \mu\text{m}$   
 $R_a$ : Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.  
 $R_t = 125 \mu\text{m}$   
 $R_t$ : Total Height of roughness profile.  
 $R_z = 101 \mu\text{m}$   
 $R_z$ : Maximum Height of roughness profile.  
 $RSm = 0.303 \text{ mm}$   
 $RSm$ : Mean Width of the roughness profile elements.

Waviness Parameters, Gaussian filter, 2.5 mm

$W_a = 4.85 \mu\text{m}$   
 $W_a$ : Arithmetic Mean Deviation of the waviness profile.  
 $W_t = 22.4 \mu\text{m}$   
 $W_t$ : Total Height of waviness profile.  
 $W_z = 17 \mu\text{m}$   
 $W_z$ : Maximum Height of waviness profile.  
 $WSm = 2.55 \text{ mm}$   
 $WSm$ : Mean Width of the waviness profile elements.



Obr. 5.4 Základní parametry drsnosti a vlnitosti

Obr. 5.5 Povrch vzorku 3D

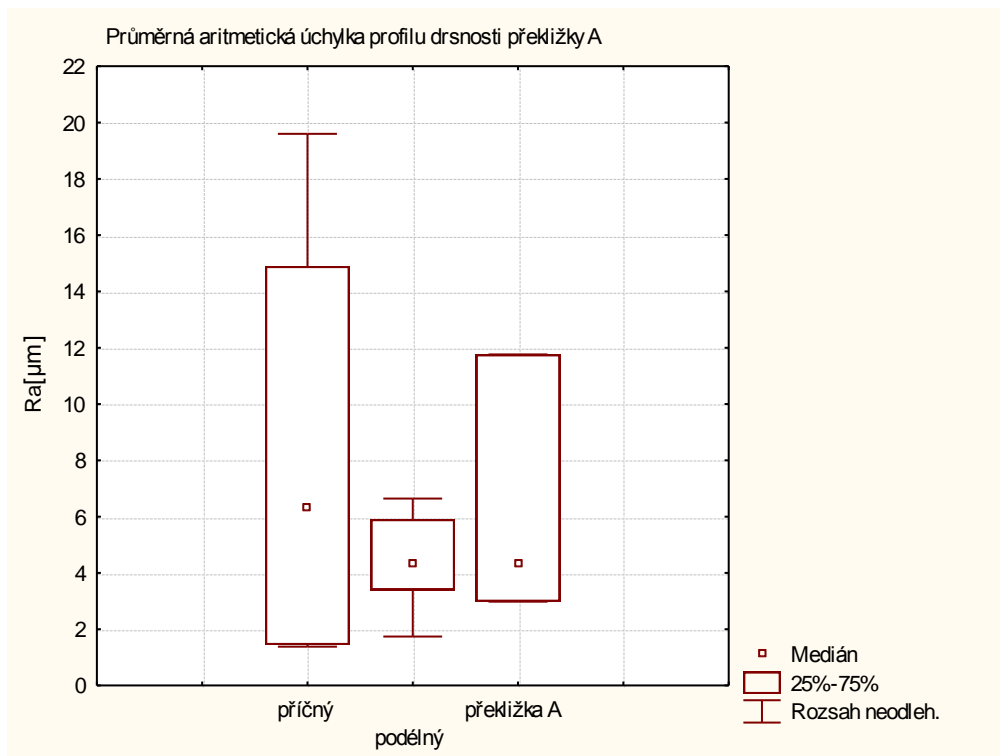
Tab. 5.1 Přehled parametrů překližky A

Překližka A (nesousledné frézování, 16000 ot.)												
	A1				A2				A3			
	příčný		podélný		příčný		podélný		příčný		podélný	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
parametry ze základní plochy												
<b>Sa [μm]</b>	17				8,47				8,37			
<b>Sz [μm]</b>	160				71,8				76,9			
<b>St [μm]</b>	161				72,5				78,1			
parametry drsnosti												
<b>Ra [μm]</b>	14,9	19,6	6,64	5,91	1,38	8,29	3,39	4,21	1,44	4,31	4,43	1,74
<b>Rt [μm]</b>	125	189	48,6	44,2	8,17	77,4	37,5	29,5	14,3	37,6	33,4	41,5
<b>Rz [μm]</b>	101	136	37,2	39,7	7,43	65,7	27,8	22	8,68	25,9	25,6	9,46
<b>RSm [mm]</b>	0,303	0,476	0,717	0,396	0,373	0,332	0,51	0,88	0,46	0,265	0,855	0,785
parametry vlnitosti												
<b>Wa [μm]</b>	4,85	6,28	2,38	2,13	0,407	2,32	1,88	2,32	0,43	2,34	1,82	1,38
<b>Wt [μm]</b>	22,4	41,9	11,7	10,5	1,68	10,9	8,02	10,8	2,13	11,2	8,27	14,6
<b>Wz [μm]</b>	17	21,7	8,19	7,4	1,19	7,67	5,68	7,65	1,47	7,37	6,22	4,12
<b>WSm [mm]</b>	2,55	2,36	2,32	3,86	2,95	4,72	2,7	2,3	2,01	2,98	2,31	3,16

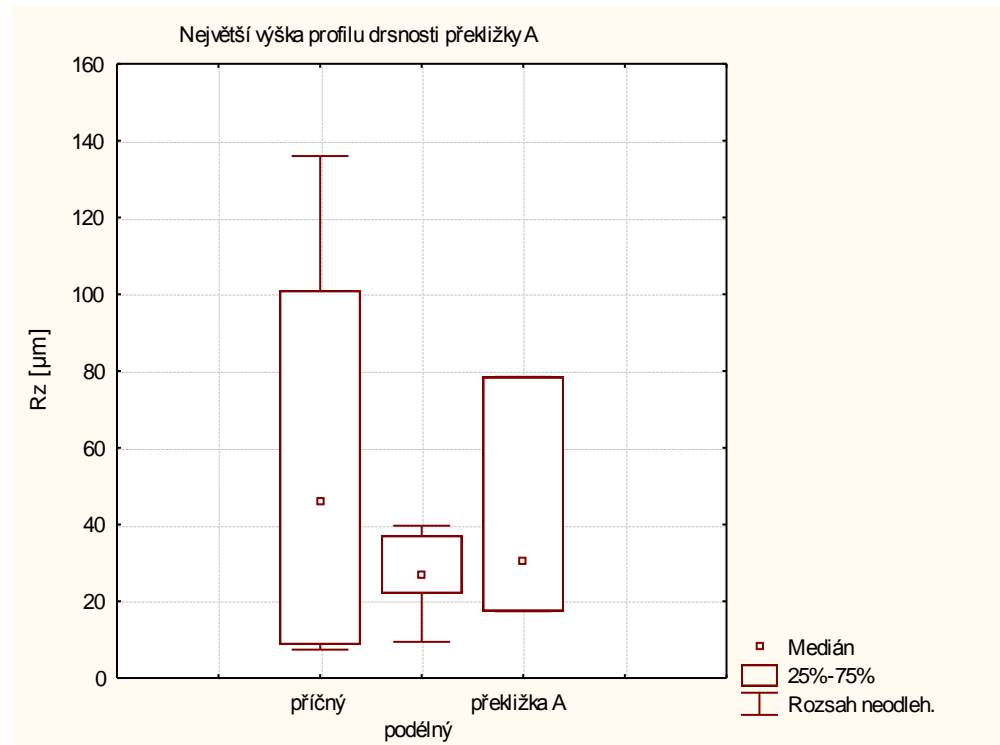
Tab. 5.2 Průměr a směrodatná odchylka hodnot překližky A

	A1		A2		A3	
	průměr	sm.odch.	průměr	sm.odch.	průměr	sm.odch.
parametry drsnosti						
<b>Ra [μm]</b>	11,763	5,739	4,318	2,514	2,980	1,395
<b>Rt [μm]</b>	101,700	59,770	38,143	25,073	31,700	10,446
<b>Rz [μm]</b>	78,475	41,904	30,733	21,509	17,410	8,345
<b>RSm [mm]</b>	0,473	0,154	0,524	0,216	0,591	0,240
parametry vlnitosti						
<b>Wa [μm]</b>	4,503	1,733	1,732	0,786	1,493	0,701
<b>Wt [μm]</b>	25,333	12,589	7,850	3,745	9,050	4,580
<b>Wz [μm]</b>	15,630	6,018	5,548	2,642	4,795	2,246
<b>WSm [mm]</b>	2,410	0,634	3,168	0,926	2,615	0,472

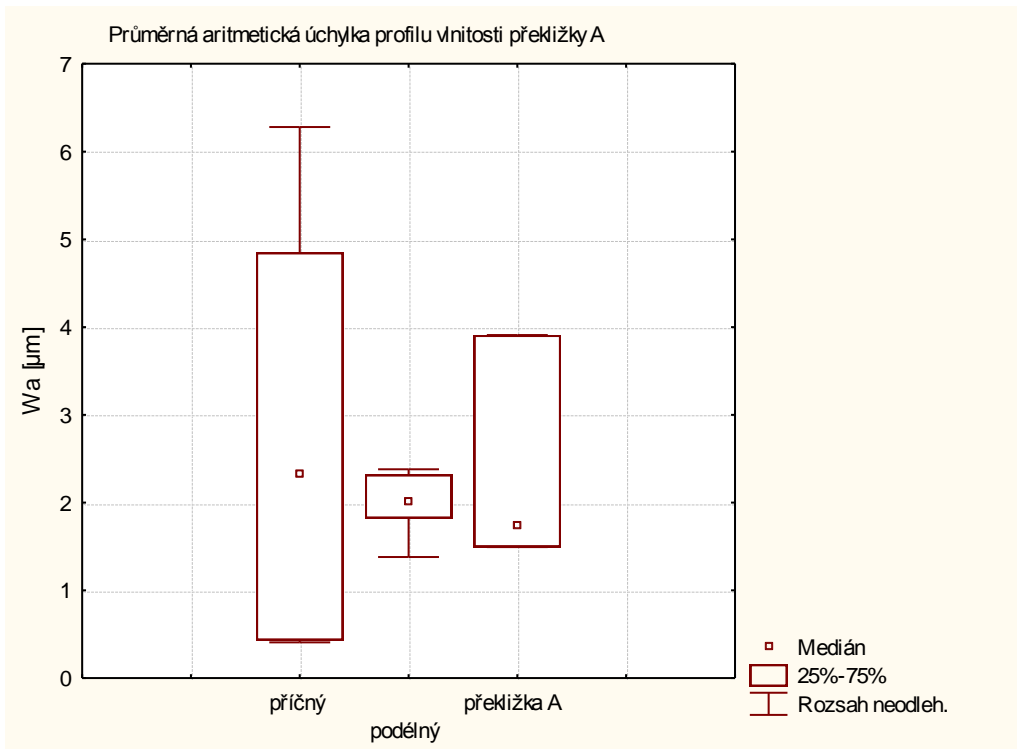




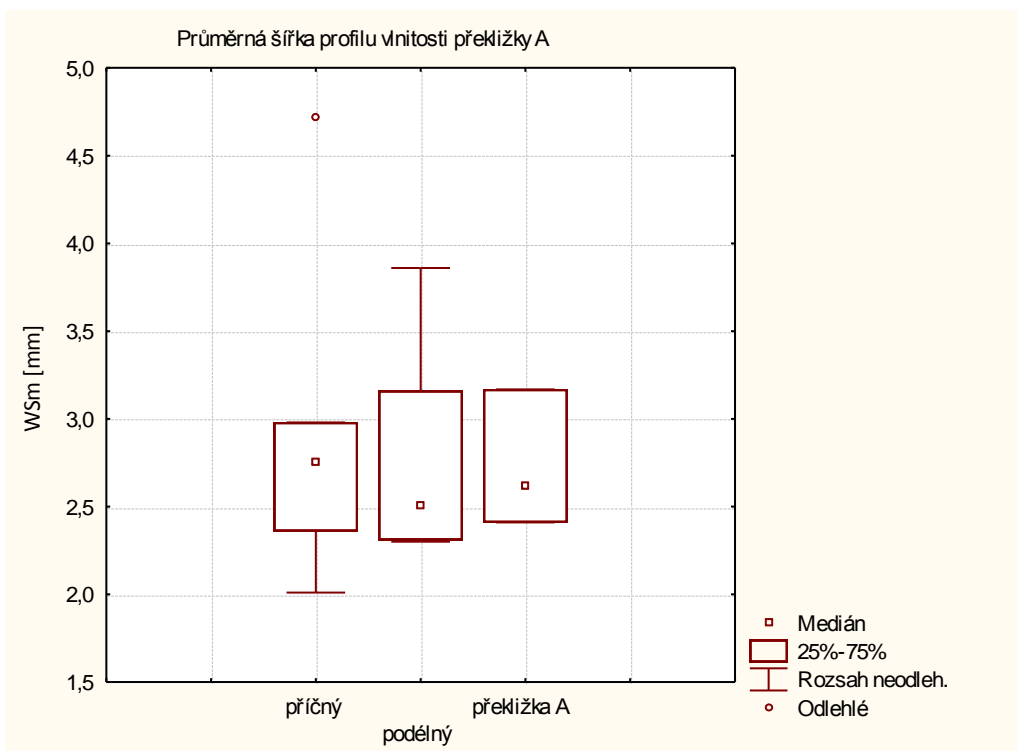
Graf 5.1 Průměrná aritmetická úchylna profilu drsnosti Ra překlížky A



Graf 5.2 Největší výšky profilu drsnosti Rz překlížky A

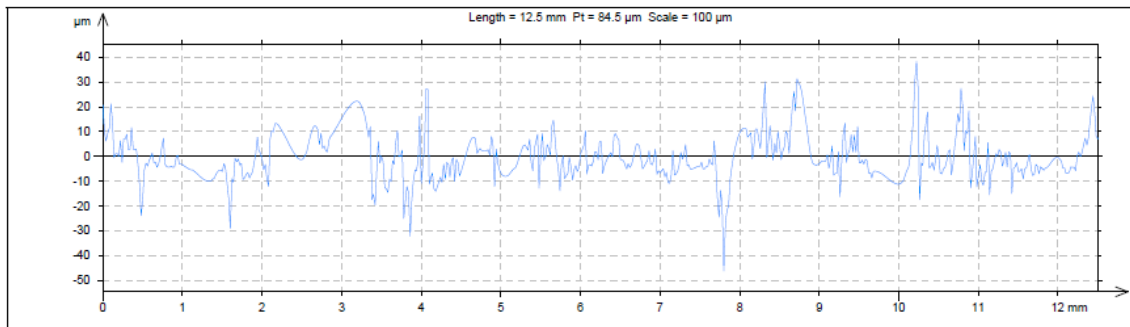


Graf 5.3 Průměrná aritmetická úchylna profilu vlnitosti  $W_a$  překlížky A

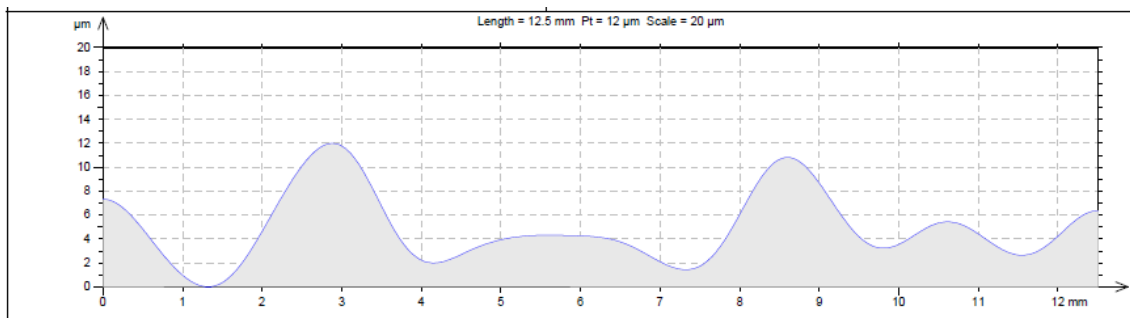


Graf 5.4 Průměrná šířka profilu vlnitosti  $W_{Sm}$  překlížky A

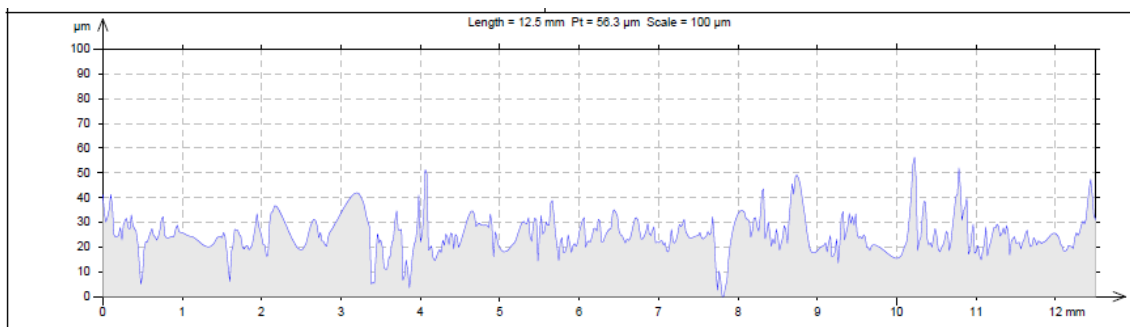
## 5.2 Překližka B



Obr. 5.6 Základní profil 2D



Obr. 5.7 Profil vlnitosti 2D



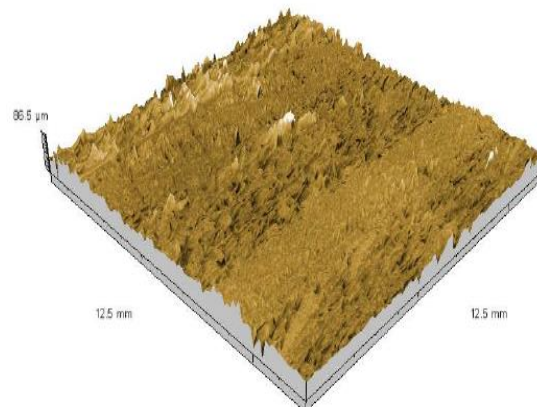
Obr. 5.8 Profil drsnosti 2D

Roughness Parameters, Gaussian filter, 2.5 mm

$R_a = 5.63 \mu\text{m}$   
 $R_a$ : Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.  
 $R_t = 55.3 \mu\text{m}$   
 $R_t$ : Total Height of roughness profile.  
 $R_z = 44.7 \mu\text{m}$   
 $R_z$ : Maximum Height of roughness profile.  
 $RSm = 0.332 \text{ mm}$   
 $RSm$ : Mean Width of the roughness profile elements.

Waviness Parameters, Gaussian filter, 2.5 mm

$W_a = 2.72 \mu\text{m}$   
 $W_a$ : Arithmetic Mean Deviation of the waviness profile.  
 $W_t = 12.1 \mu\text{m}$   
 $W_t$ : Total Height of waviness profile.  
 $W_z = 7.93 \mu\text{m}$   
 $W_z$ : Maximum Height of waviness profile.  
 $WSm = 2.89 \text{ mm}$   
 $WSm$ : Mean Width of the waviness profile elements.



Obr. 5.9 Základní parametry drsnosti a vlnitosti

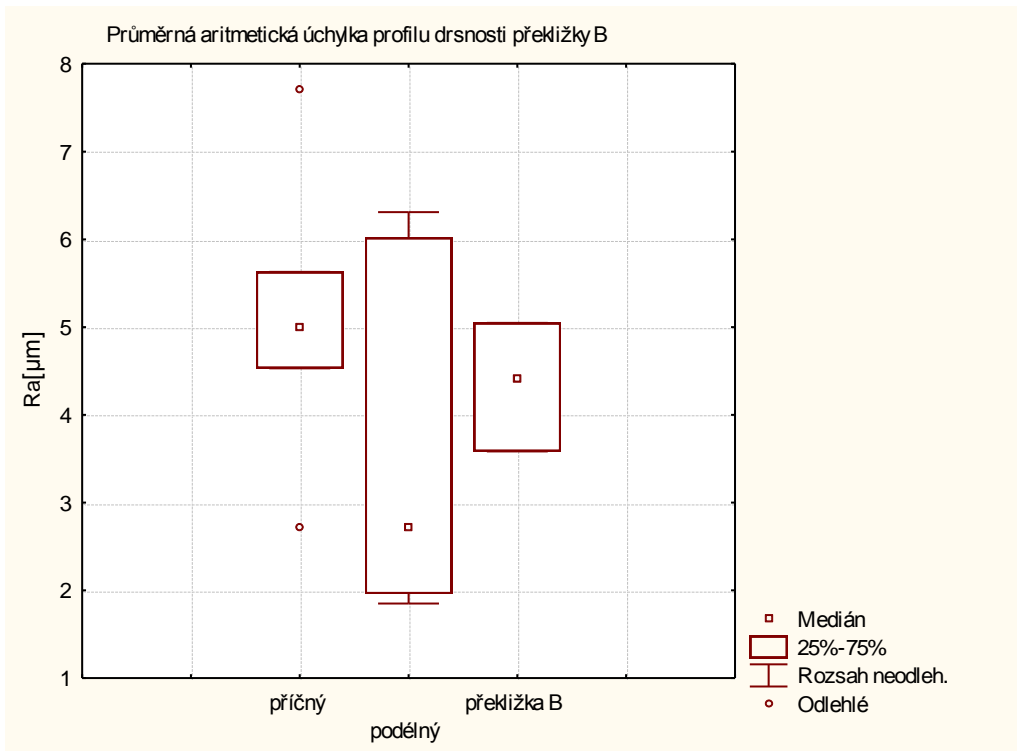
Obr. 5.10 Povrch vzorku 3D

Tab. 5.3 Přehled parametrů překližky B

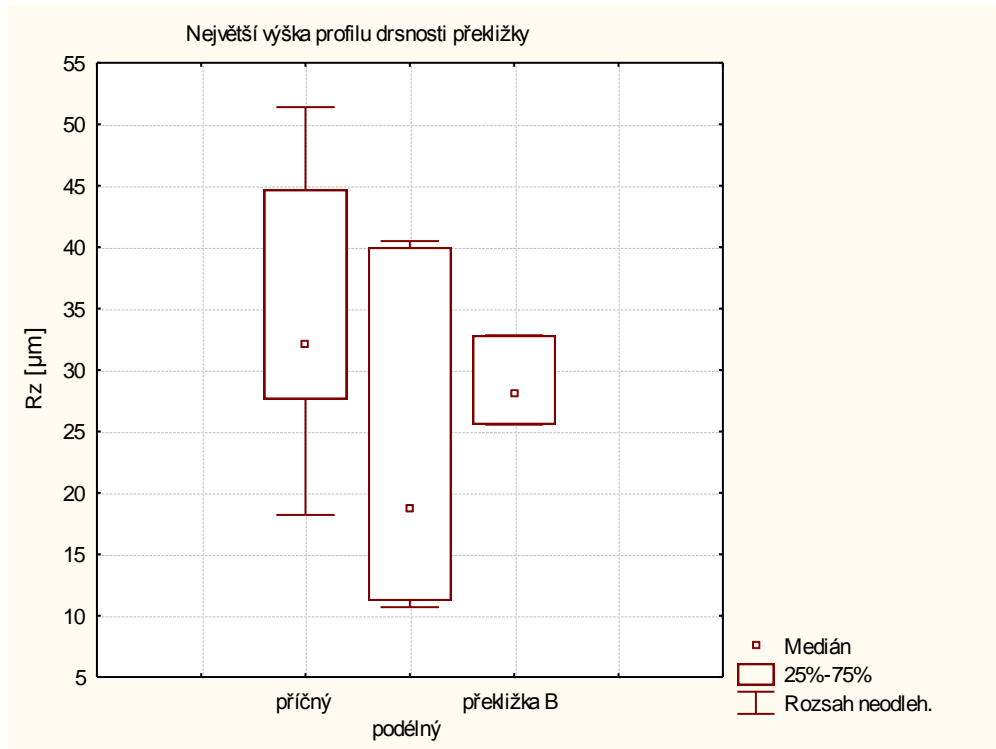
Překližka B (sousedné frézování, 16000 ot.)												
	B1				B2				B3			
	příčný		podélný		příčný		podélný		příčný		podélný	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
parametry ze základní plochy												
<b>Sa [μm]</b>	8,35				8,04				7,25			
<b>Sz [μm]</b>	85,9				91,2				69,4			
<b>St [μm]</b>	86,5				91,6				69,6			
parametry drsnosti												
<b>Ra [μm]</b>	5,63	4,53	1,85	2,32	5,13	2,73	6,31	6,02	4,87	7,7	3,12	1,96
<b>Rt [μm]</b>	55,3	29,2	12,9	27,8	39,2	22,3	60,3	56,7	45,7	56,7	30,4	24,4
<b>Rz [μm]</b>	44,7	27,6	10,7	19,2	32,6	18,2	40,5	40	31,7	51,4	18,1	11,2
<b>RSm [mm]</b>	0,332	0,437	0,322	0,332	0,488	0,298	0,422	0,457	0,413	0,312	0,513	0,631
parametry vlnitosti												
<b>Wa [μm]</b>	2,72	2,43	0,65	1,02	0,948	0,578	2,77	1,76	2,31	1,49	0,835	0,724
<b>Wt [μm]</b>	12,1	8,16	2,94	4,19	4,51	2,95	16	10,2	9,76	7,23	3,91	4,24
<b>Wz [μm]</b>	7,93	6,04	2,19	3,72	3,36	1,9	9,26	6,36	7,41	6,16	2,58	2,84
<b>WSm [mm]</b>	2,89	2,35	2,55	4,89	1,61	2,17	3,41	2,31	2,81	2,7	2,44	2,91

Tab. 5.4 Průměr a směrodatná odchylka hodnot překližky B

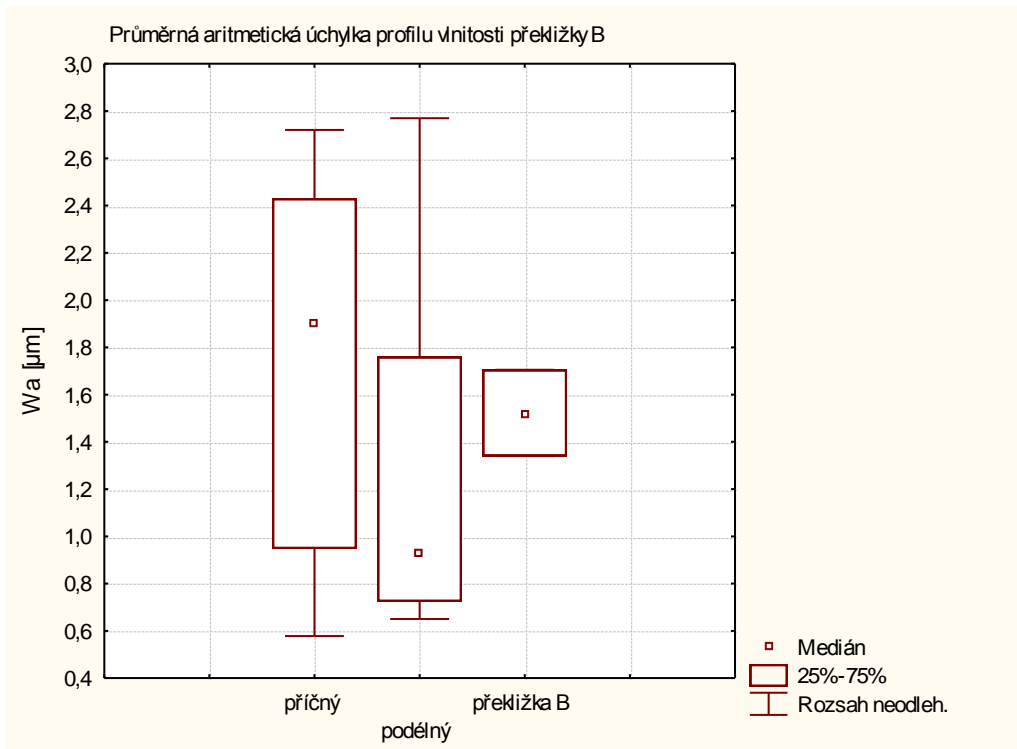
	B1		B2		B3	
	průměr	sm.odch.	průměr	sm.odch.	průměr	sm.odch.
parametry drsnosti						
<b>Ra [μm]</b>	3,583	1,556	5,048	1,407	4,413	2,162
<b>Rt [μm]</b>	31,300	15,258	44,625	15,160	39,300	12,698
<b>Rz [μm]</b>	25,550	12,568	32,825	9,005	28,100	15,342
<b>RSm [mm]</b>	0,356	0,047	0,416	0,072	0,467	0,118
parametry vlnitosti						
<b>Wa [μm]</b>	1,933	0,886	1,514	0,842	1,340	0,632
<b>Wt [μm]</b>	7,733	3,593	8,415	5,144	6,285	2,387
<b>Wz [μm]</b>	5,387	2,191	5,220	2,833	4,748	2,087
<b>WSm [mm]</b>	2,597	1,012	2,375	0,652	2,715	0,175



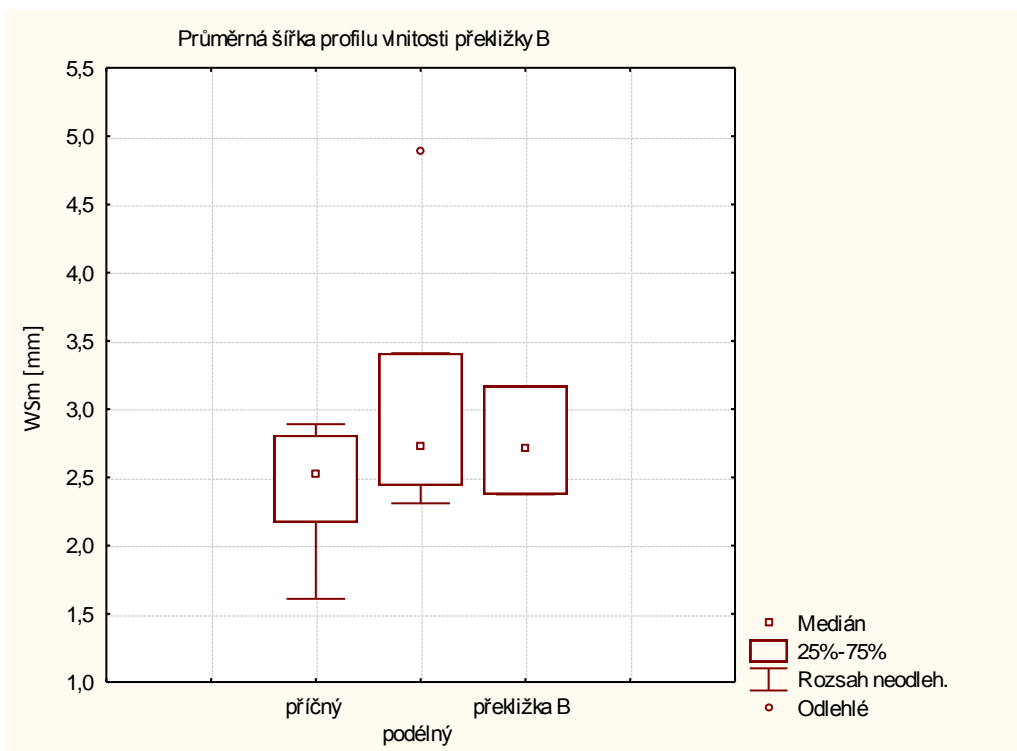
Graf 5.5 Průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti Ra překližky B



Graf 5.6 Největší výšky profilu drsnosti Rz překližky B

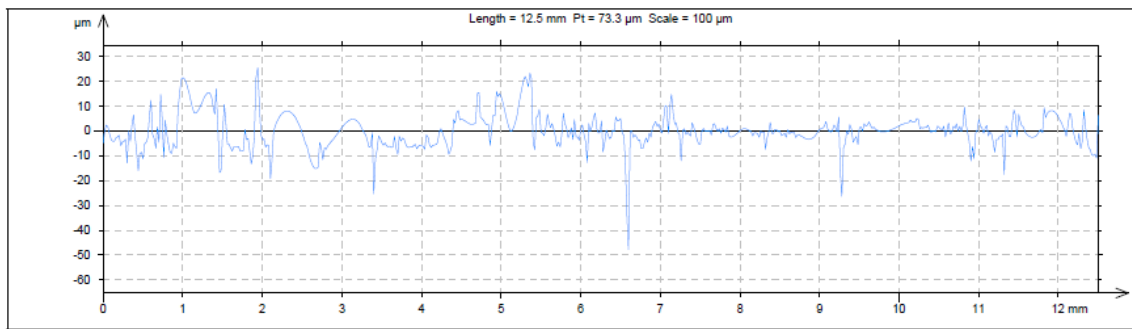


Graf 5.7 Průměrná aritmetická úchylna profilu vlnitosti  $W_a$  překližky B

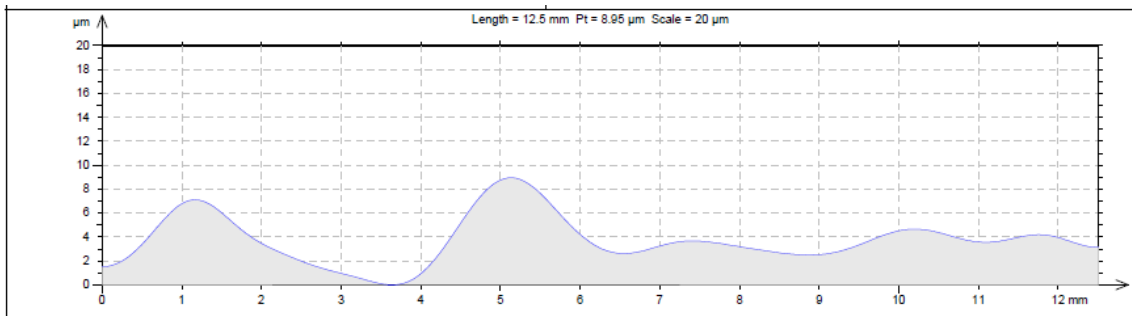


Graf 5.8 Průměrná šířka profilu vlnitosti  $W_{Sm}$  překližky B

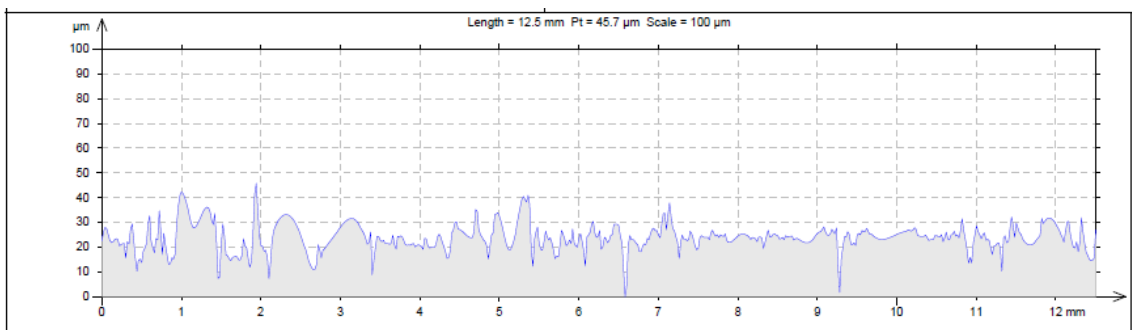
### 5.3 Překližka C



Obr. 5.11 Základní profil 2D



Obr. 5.12 Profil vlnitosti 2D



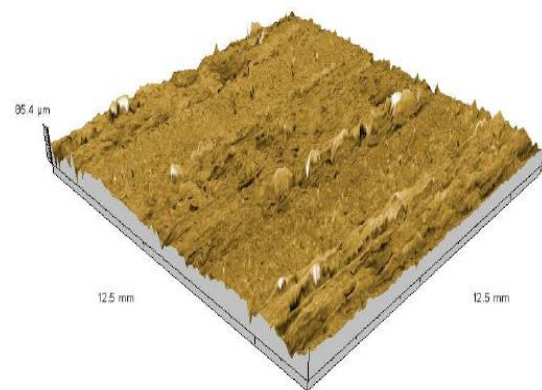
Obr. 5.13 Profil drsnosti 2D

Roughness Parameters, Gaussian filter, 2.5 mm

$R_a = 4.15 \mu\text{m}$   
 $R_a$ : Arithmetic Mean Deviation of the roughness profile.  
 $R_t = 43.4 \mu\text{m}$   
 $R_t$ : Total Height of roughness profile.  
 $R_z = 34.4 \mu\text{m}$   
 $R_z$ : Maximum Height of roughness profile.  
 $RSm = 0.35 \text{ mm}$   
 $RSm$ : Mean Width of the roughness profile elements.

Waviness Parameters, Gaussian filter, 2.5 mm

$W_a = 1.88 \mu\text{m}$   
 $W_a$ : Arithmetic Mean Deviation of the waviness profile.  
 $W_t = 9.18 \mu\text{m}$   
 $W_t$ : Total Height of waviness profile.  
 $W_z = 5.78 \mu\text{m}$   
 $W_z$ : Maximum Height of waviness profile.  
 $WSm = 4.21 \text{ mm}$   
 $WSm$ : Mean Width of the waviness profile elements.



Obr. 5.2 Základní parametry drsnosti a vlnitosti

Obr. 5.3 Povrch vzorku 3D

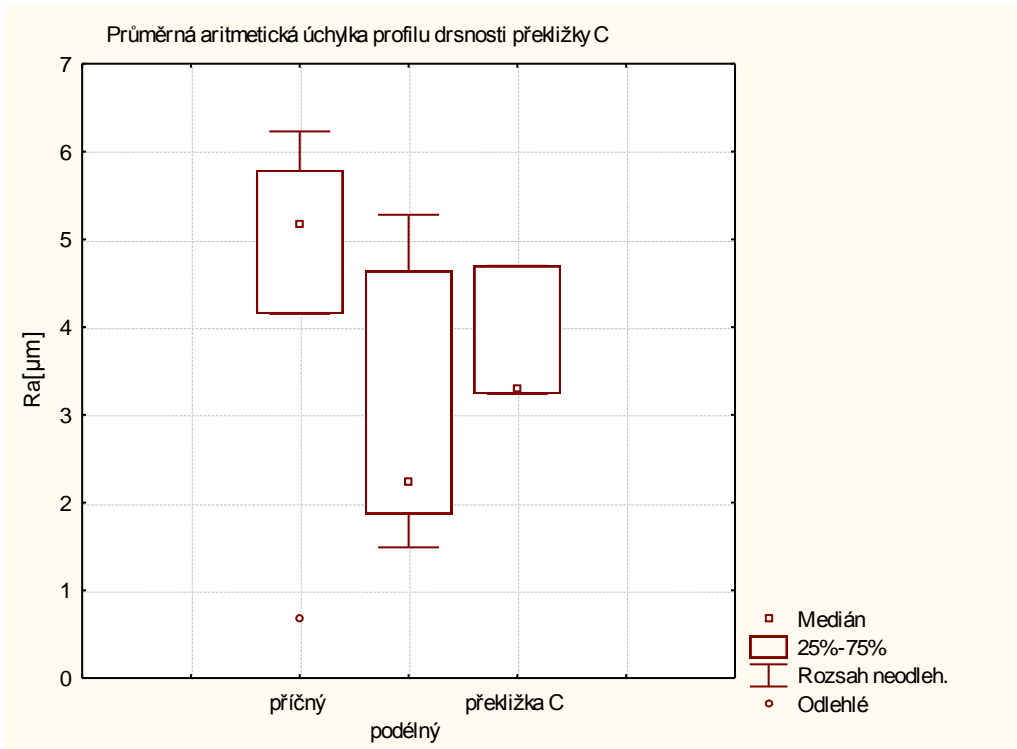
Tab. 5.5 Přehled parametrů překližky C

Překližka C (nesousledné frézování, 18000 ot.)												
	C1				C2				C3			
	napříč		podélný		napříč		podélný		napříč		podélný	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
parametry ze základní plochy												
<b>Sa [μm]</b>	8,01				7,05				7,45			
<b>Sz [μm]</b>	85,2				68,8				68,3			
<b>St [μm]</b>	85,4				68,8				68,6			
parametry drsnosti												
<b>Ra [μm]</b>	4,15	4,6	2,33	1,87	6,23	5,79	5,28	1,49	0,69	5,74	4,64	2,16
<b>Rt [μm]</b>	43,4	55,4	14,6	17,8	46,4	61,6	46,6	47,1	6,19	36,4	48	22,8
<b>Rz [μm]</b>	34,4	30,2	12,5	11,2	34,4	42,6	34,9	10	4,08	28,9	32,4	14,2
<b>RSm [mm]</b>	0,35	0,498	0,722	0,33	0,467	0,279	0,432	0,807	0,519	0,364	0,338	0,752
parametry vlnitosti												
<b>Wa [μm]</b>	1,88	1,98	1,05	0,528	2,35	1,31	2,03	1,35	0,17	1,73	1,77	1,25
<b>Wt [μm]</b>	9,18	9,33	4,93	2,33	9,15	5,26	9,34	12,6	1,1	7	7,57	7,19
<b>Wz [μm]</b>	5,78	7,33	3,4	1,86	7,12	4,42	6,57	3,33	0,55	4,85	5,89	3,47
<b>WSm [mm]</b>	4,21	1,97	2,51	2,06	2,65	2,33	3,08	3,49	1,81	3,62	3,29	2,37

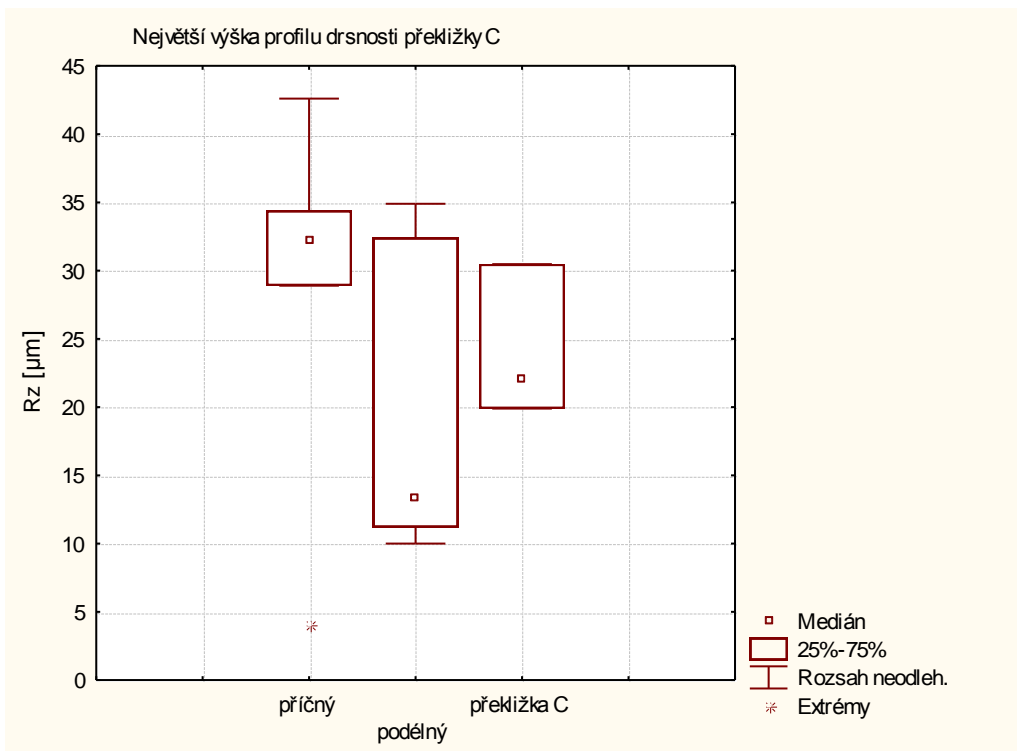
Tab. 5.6 Průměr a směrodatná odchylka hodnot překližky C

	C1		C2		C3	
	průměr	sm.odch.	průměr	sm.odch.	průměr	sm.odch.
parametry drsnosti						
<b>Ra [μm]</b>	3,238	1,160	4,698	1,882	3,308	1,991
<b>Rt [μm]</b>	32,800	17,171	50,425	6,457	28,348	15,595
<b>Rz [μm]</b>	22,075	10,342	30,475	12,260	19,895	11,402
<b>RSm [mm]</b>	0,475	0,157	0,496	0,193	0,493	0,165
parametry vlnitosti						
<b>Wa [μm]</b>	1,637	0,601	1,760	0,445	1,230	0,645
<b>Wt [μm]</b>	7,813	2,959	9,088	2,601	5,715	2,672
<b>Wz [μm]</b>	5,503	2,109	5,360	1,546	3,690	2,006
<b>WSm [mm]</b>	2,897	0,903	2,888	0,438	2,773	0,720

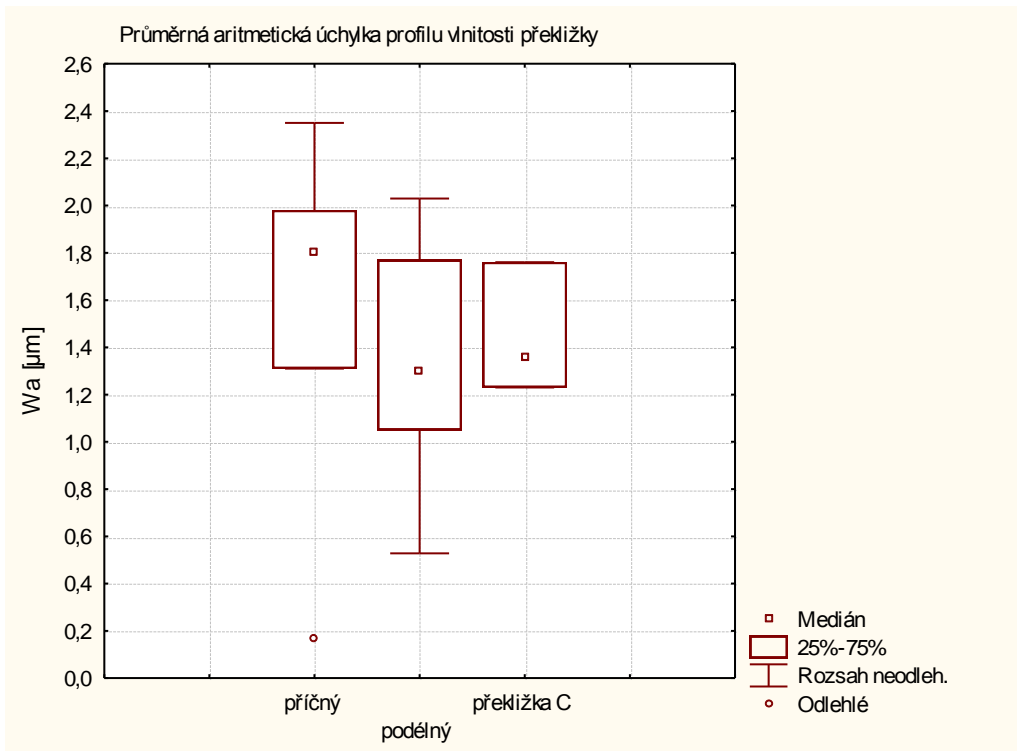




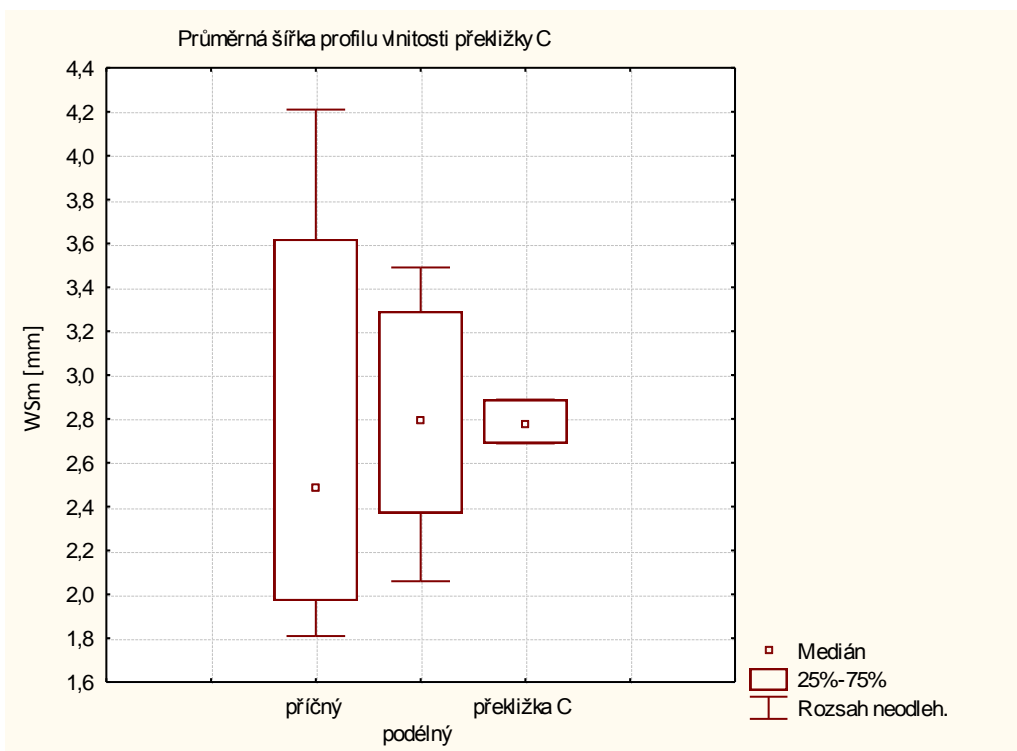
Graf 5.9 Průměrná aritmetická úchylna profilu drsnosti Ra překlížky C



Graf 5.10 Největší výšky profilu drsnosti Rz překlížky C

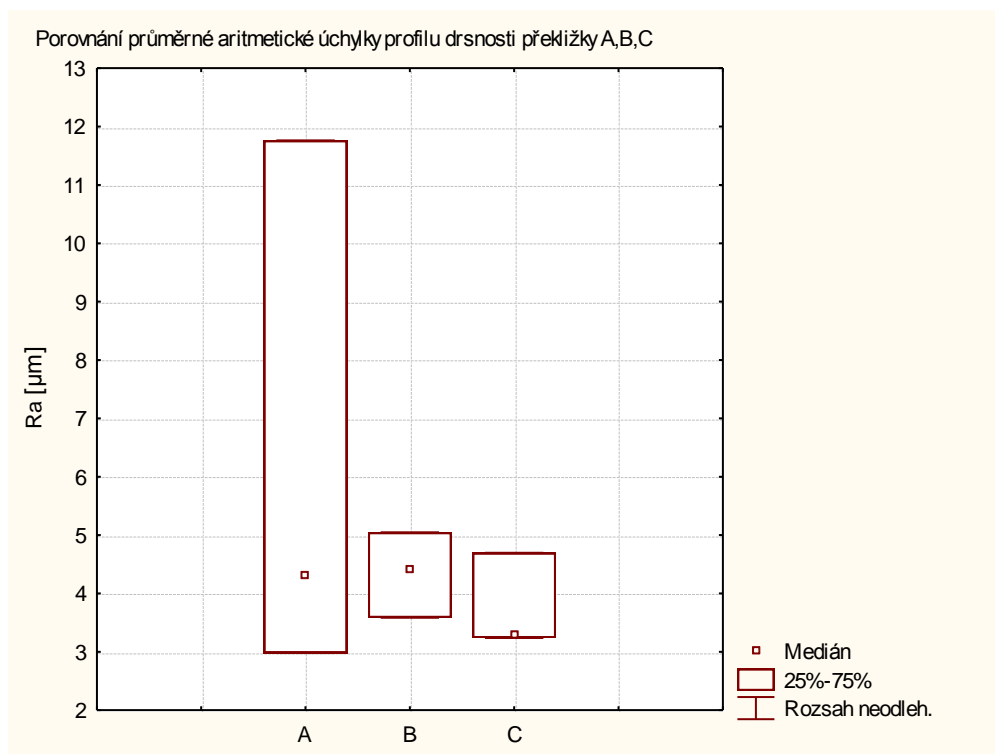


Graf 5.11 Průměrná aritmetická úchylka profilu vnitosti Wa překližky C

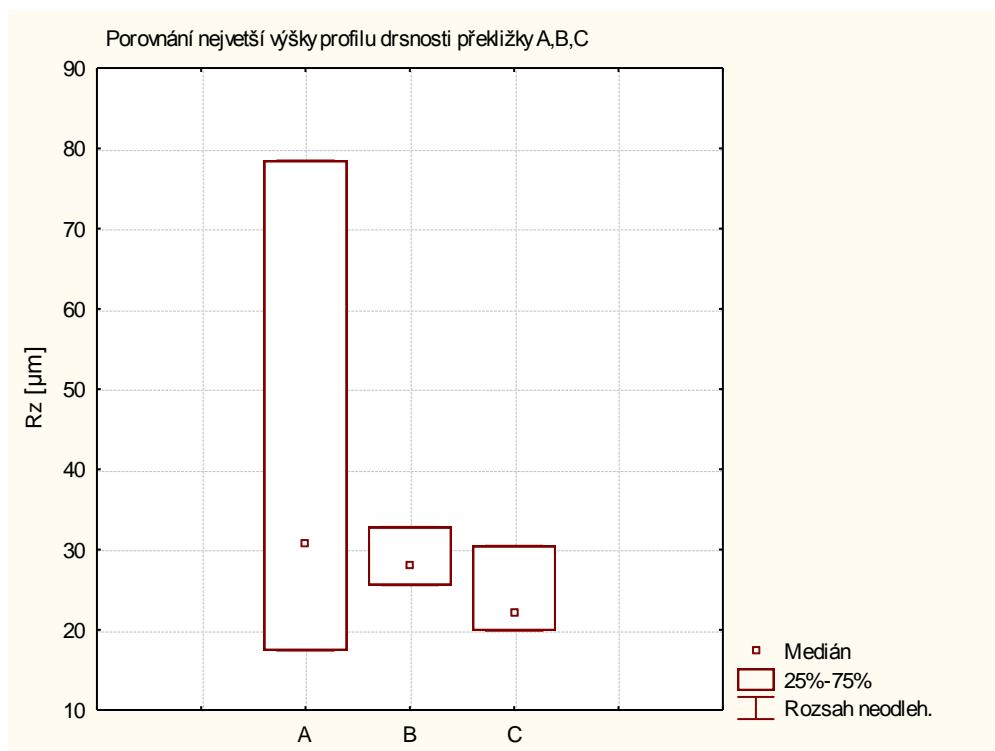


Graf 5.12 Průměrná šířka profilu vnitosti WSm překližky C

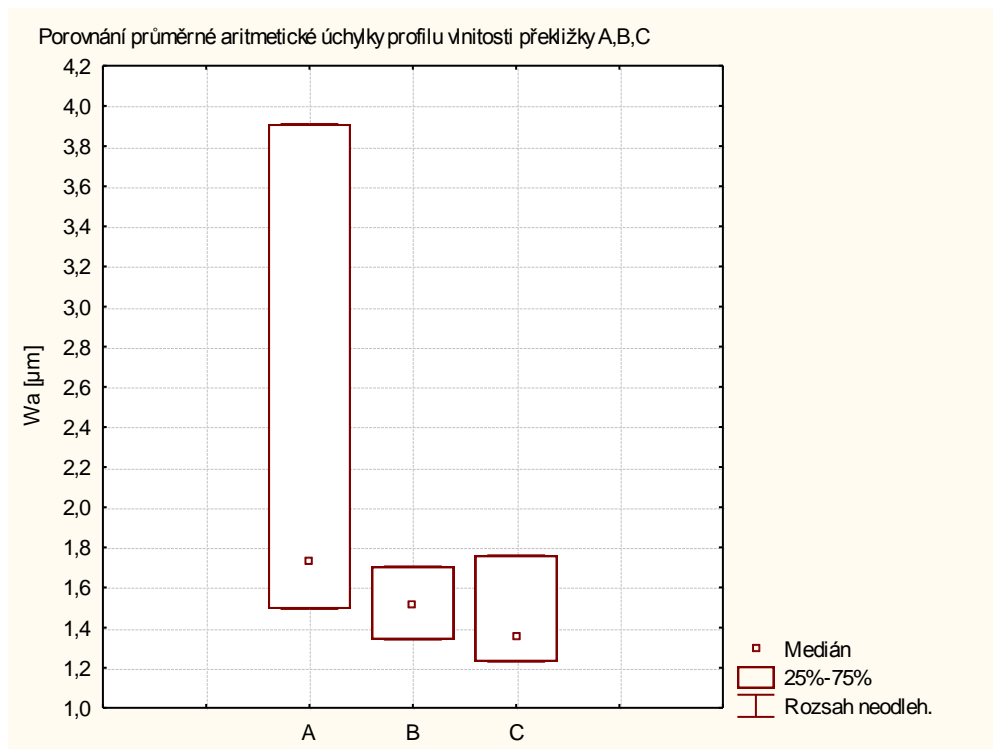
## 5.4 Porovnání průměrných hodnot parametrů



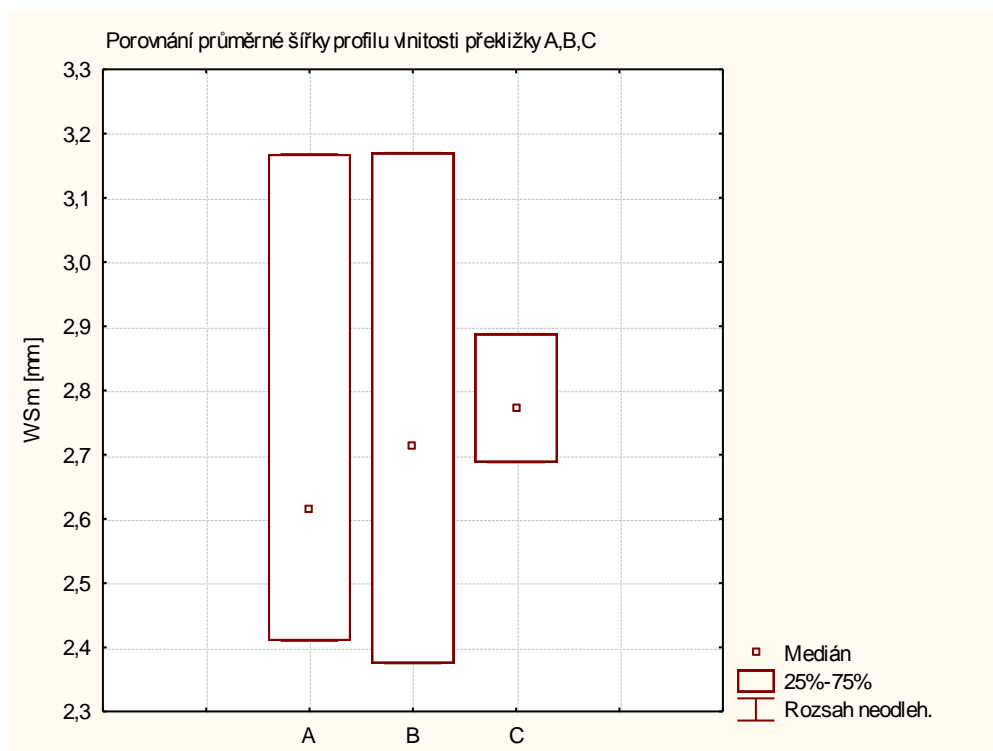
Graf 5.13 Porovnání průměrné aritmetické úchytky profilu drsnosti Ra překlížky A, B, C



Graf 5.14 Porovnání největší výšky profilu drsnosti Rz překlížky A, B, C



Graf 5.15 Porovnání průměrné aritmetické úchytky  $W_a$  profilů překližky A, B, C



Graf 5.16 Porovnání průměrné šířky profilu vnitosti  $W_{Sm}$  překližky A, B, C

## 6 DISKUSE

Pro větší přehled byla sestavena tabulka 6.1, kde najdeme průměrné hodnoty všech parametrů pro jednotlivá měření.

Tab. 6.1 Průměrné hodnoty

	Překližka			parametry drsnosti
	A	B	C	
<b>Ra [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	6,35	4,35	3,75	
<b>Rt [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	57,18	38,41	37,19	
<b>Rz [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	42,21	28,83	24,15	
<b>RSm [mm]</b>	0,53	0,41	0,49	
<b>Wa [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	2,38	1,52	1,45	parametry vlnitosti
<b>Wt [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	14,08	7,48	7,54	
<b>Wz [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	8,66	5,12	4,85	
<b>WSm [mm]</b>	2,73	2,75	2,78	

Veškeré parametry drsnosti a vlnitosti byli dosaženy při následujících parametrech frézování:

### Překližka A

- otáčky  $16\ 000\ \text{min}^{-1}$ , velikost posuvu  $3,2\ \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , posuv na jeden břit  $0,2\ \text{mm}$ , nesousledné frézování

### Překližka B

- otáčky  $16\ 000\ \text{min}^{-1}$ , velikost posuvu  $3,2\ \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , posuv na jeden břit  $0,2\ \text{mm}$ , sousledné frézování

### Překližka C

- otáčky  $18\ 000\ \text{min}^{-1}$ , velikost posuvu  $3,6\ \text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , posuv na jeden břit  $0,2\ \text{mm}$ , nesousledné frézování

Na veškeré měření byla použita stopková fréza se stejnými parametry, průměr frézy  $19\ \text{mm}$  se dvěma břity. Břity byly použity úplně nové, takže u nich nemohlo dojít ke dřívějšímu otupení.

Z tabulky 6.1 můžeme vidět, jak se parametry při různém nastavení frézování liší. Podle Uhlíře (2010) lze proces frézování, tedy konkrétní nastavené parametry frézování,

dobře sledovat pomocí parametrů vlnitosti a na parametrech drsnosti se pak více projevuje samotná anatomická stavba jednotlivých dřevin.

Na grafech 5.1- 5.15 si můžeme všimnout rozdíly mezi podélným a příčným směrem. V grafech je ukázána i průměrná hodnota podélného a příčného směru dohromady. Podélný směr má ve většině případů menší hodnoty. Menší hodnoty dokazují při hodnocení kvality povrchu, že podélné řezy jsou kvalitněji opracované, než příčné.

Průměrná aritmetická úchylka drsnosti  $R_a$  je největší u vzorku A (6,35  $\mu\text{m}$ ) a nejmenší u vzorku C (3,75  $\mu\text{m}$ ). Celková výška profilu drsnosti v rozpětí vyhodnocené délky  $R_t$  je největší ve vzorku A (57,18  $\mu\text{m}$ ) a nejmenší ve vzorku C (37,19  $\mu\text{m}$ ). Výška profilu drsnosti v rozsahu základní délky  $R_z$  je největší u vzorku A (42,21  $\mu\text{m}$ ) a nejmenší u vzorku C (24,15  $\mu\text{m}$ ). Největší průměrná šířka prvků profilu drsnosti  $R_{Sm}$  je u vzorku A (0,53 mm) a nejmenší u vzorku B (0,41 mm).

Průměrná aritmetická úchylka vlnitosti  $W_a$  je u vzorku A (2,38  $\mu\text{m}$ ) a nejmenší u vzorku C (1,45). U celkové výšky profilu vlnitosti v rozsahu vyhodnocení délky  $W_t$  je největší u vzorku A (14,08  $\mu\text{m}$ ) a nejmenší u vzorku B (7,48  $\mu\text{m}$ ). Největší výška profilu vlnitosti v rozsahu základní délky  $W_z$  je největší vzorek A (8,66  $\mu\text{m}$ ) a nejmenší vzorek C (4,85). Průměrná šířka prvků vlnitosti  $W_{Sm}$  je největší u vzorků C (2,78 mm) a nejmenší u vzorku A (2,73 mm). V průměrné šířce prvků vlnitosti  $W_{Sm}$  jsou jen minimální rozdíly mezi vzorky.

Na základě grafů můžeme pozorovat, že na kvalitu povrchu má zajisté vliv způsobu frézování, a to frézování sousledné a nesousledné, jelikož ostatní parametry frézování byli u vzorku A i B stejné. Zde můžeme vidět, že největší hodnoty a největší rozsah hodnot má překližka A, za to nejmenší hodnoty a rozsah hodnot má překližka C. Porovnání překližek A a B nám vychází, že lepší kvalitu povrchu má překližka B. V celkovém porovnání vzorků má nejlepší kvalitu povrchu překližka B. Výrazný rozdíl mezi směry je akorát u překližky A, jeden z možných důvodů může být nepřesné uchycení desky a malého úběru při frézování. Podíváme-li se na parametry překližky, ve většině případů je příčný směr větší jak podélný, ale nejsou to takové rozdíly.

## 7 ZÁVĚR

V předkládané bakalářské práci vycházíme z prací autorů, kteří se problematikou frézování a vyhodnocení kvality povrchu několik desítek let zabývali. Podrobně byl zpracován různými autory literární přehled, který se zabývá charakteristikou CNC stroje, procesem frézování, metodou hodnocení kvality povrchu (vizuální, porovnávací, dotyková a bezdotyková metoda) a základními pojmy a parametry povrchu.

Parametry pro frézování byly zvoleny libovolně. Materiál na bázi dřeva a to překližka byla frézována sousledně a nesousledně při otáčkách  $16000 \text{ ot.min}^{-1}$  a velikosti posuvu  $3,2 \text{ m.min}^{-1}$  a nesousledně při otáčkách  $18000 \text{ ot.min}^{-1}$  a velikosti posuvu  $3,6 \text{ m.min}^{-1}$ .

Měření kvality povrchu pomocí 3D prostorové charakteristiky na přístroji Talysurf CLI 1000, který umožňuje zpracování velkého množství dat. V práci je vybráno několik obrázků, které znázorňují základní profil, profil vlnitosti a profil drsnosti obroběného materiálu. Nové získané výsledky povrchu frézovaného materiálu na bázi dřeva na CNC stroji a změn volených parametrů frézování byly vyhodnoceny a přehledně uvedeny do uvedených tabulek a grafů.

## 8 SUMMARY

Presented bachelor work is based on the works of authors who dealt with the problem of milling work and the assessing the quality of a surface for several tens of years. The detailed literary review dealing with the characterization of CNC machines, the process of milling, the method of the assessing the quality of surface (visual, by touch and non-touch methods), and the basic surface ideas and parameters, was processed by various authors.

The parameters of milling were chosen randomly. Materials based on wood, bio-board and plywood were synchronously and non-synchronously milled at 16000 rotations per minute and feed rate 3,2 meters per minute and non-synchronously milled at 18000 rotations per minute and feed rate 3,6 meters per minute.

Measurement of the surface quality with the help of 3D space characterization was carried out with the Talysurf CLI 1000 machine, which enables the elaboration of large amount of data. It was chosen several pictures which represent the basic profile, the waviness profile, and the roughness profile of the machined material. Newly acquired results of the wooden material surface milled with the help of CNC machine and the changes of selected milling parameters were evaluated and written down into tables and graphs clearly.



## 9 SEZNAM LITERATURY

### Literatura:

JURENA, Pavel; 2011, *Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem*, Zlín

KRÁL, Pavel a Jan ŠRAJER. *CNC obráběcí centra*. 1. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008, 79 s.

NOVÁK, Vít, *Vliv změn parametrů frézování na kvalitu povrchu dřeva* Brno, 2011. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta.

PROKEŠ, Stanislav. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. 2.vyd. /. Praha: SNTL, 1978, 583 s.

PROKEŠ, S., 1982. *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva*. 3. nezm. vyd. Praha, Státní nakladatelství technické literatury, 584 s.

PROKEŠ, Stanislav. *Technologie pro 3. a 4. ročník středních průmyslových škol dřevařských*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1984, 159 s.

ROUSEK, Miroslav, KOLAŘÍK, KLEPÁRNÍK, . *Osvojovací měření na standu pro vysokorychlostní obrábění dřeva*. Konference obrábění dřeva, TU Zvolen, 2003

SVATOŠ, Michal. *Kvalita povrchu při frézování* Brno, 2009. Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta. BC.

SVOBODA, Emil. *Podmínky měření na Talysurf CLI 1000*. Brno, 2011.

UHLÍŘ, Pavel. *Kvalita povrchu při vysokorychlostním frézování* Brno, 2010. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta.

VARKOČEK, J., ROUSEK, M., HOLOPÍREK, J., 2004. *Dělení, obrábění a tváření materiálů*. 2. nezm. vyd. Brno, Mendelova univerzita v Brně, 123 s., ISBN 80-7157-759-6.

### Internetové zdroje:

BÖHM, Martin, Jan REISNER a Jan BOMBA. *Materiály na bázi dřeva* [online]. Vydání: první. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra

zpracování dřeva, 2012 [cit. 7. 4. 2014]. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z:  
<http://drevene-materialy.fld.czu.cz>

NOVÁK Zdeněk. PROSTOROVÉ MĚŘENÍ A HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU  
PŘÍSTROJI TAYLOR HOBSON Ltd. [online]. [cit. 8. 4. 2014] dostupné na:  
[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)

MAREK J., 2006: *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 1. vydání, Feng, 284 s.  
*MM průmyslové spektrum* [online]. 2011 [cit. 20. 3. 2014]. Dostupné na:  
<http://www.mmspektrum.com/>

VUT Brno 2014: Vědecké články [citováno 20. 3. 2014]

Dostupné na: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka03-05.htm>

VUT Brno 2014: Vědecké články [citace 28. 3. 2014]

Dostupná na: [http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM\\_mikroskopie.pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM_mikroskopie.pdf)

ZMEŠKAL, Oldřich, Martin NEŽÁDAL a Ondřej SEDLÁK. *Využití fraktální analýzy při  
hodnocení kvality tisku* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2001  
[cit. 10. 4. 2014]. Dostupné z:  
[http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download/stud01\\_pard01.pdf](http://www.fch.vutbr.cz/lectures/imagesci/download/stud01_pard01.pdf)

### **Normy:**

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

ČSN EN ISO 4288 - *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu:  
Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*

ČSN EN ISO 11562 - *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu:  
Profilová metoda – Metrologické charakteristiky fázové korigovaných filtrů*

## SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

### Zkratky a značky k obrábění:

$\alpha$  = úhel hřbetu [°]

$\beta$  = úhel ostří [°]

$\gamma$  = úhel čela [°]

$\delta$  = úhel řezu [°]

$\varphi_{\text{stř}}$  = střední úhel řezu [°]

$h$  = tloušťka odebírané vrstvy [mm]

$h_{\text{stř}}$  = střední tloušťka třísky [mm]

$f_z$  = posuv na zub [mm]

$f_n$  = posuv na otáčku [mm]

$v_f$  = velikost posuvu [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]

$n$  = otáčky nástroje [ $\text{min}^{-1}$ ]

$z$  = počet zubů

$y$  = hloubka vlnek [mm]

$R$  = poloměr nástroje [mm]

$D$  = průměr nástroje [mm]

$v_c$  = řezná rychlost [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]

### Zkratky a značky k hodnocení povrchu:

$P$  = parametr vypočítaný ze základního profilu [ $\mu\text{m}$ ]

$R$  = parametr vypočítaný z profilu drsnosti [ $\mu\text{m}$ ]

$W$  = parametr vypočítaný z profilu vlnitosti [ $\mu\text{m}$ ]

$S$  = parametr vypočítaný z prostorového měření [ $\mu\text{m}$ ]

$p$  = výstupek profilu [ $\mu\text{m}$ ]

$v$  = prohlubeň profilu [ $\mu\text{m}$ ]

$l$  = základní délka [ $\mu\text{m}$ ]

$l_n$  = vyhodnocovaná délka [ $\mu\text{m}$ ]

cutt-off = mezi vlnová délka [ $\mu\text{m}$ ]

$L$  = délka snímání [ $\mu\text{m}$ ]

$Z(x)$  = hodnota souřadnice  $Z$  na ose  $x$  [ $\mu\text{m}$ ]

$Z_p$  = výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $Z_v$  = hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $Z_t$  = výška prvku profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $X_s$  = šířka prvku profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $P_p, R_p, W_p$  = největší výška výstupku profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $P_v, R_v, W_v$  = největší hloubka prohlubně profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $P_z, R_z, W_z$  = největší výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $P_c, R_c, W_c$  = průměrná výška prvků profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $P_t, R_t, W_t$  = celková výška profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $P_a, R_a, W_a$  = průměrná aritmetická úchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $P_q, R_q, W_q$  = průměrná kvadratická úchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ]  
 $P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm}$  = průměrná šířka prvků profilu [mm]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Schéma oddělování třísky při válcovém frézování (Svatoš, 2009) .....	11
Obr. 3.2 Nesousledné frézování (Uhlíř, 2010).....	12
Obr. 3.3 Sousedné frézování (Uhlíř, 2010).....	12
Obr. 3.4 Schéma oddělování třísky při válcovém frézování (Prokeš, 1978) .....	13
Obr. 3.5 Určení úhlu dřevních vláken při frézování (Prokeš, 1978) .....	15
Obr. 3.6 Průběh otupení břitu (Varkoček,Rousek,Holopíre, 2004).....	15
Obr. 3.7 Vizuální metoda (Svatoš, 2009) .....	18
Obr. 3.8 Porovnávací vzorkovnice drsnosti (Svatoš, 2009) .....	18
Obr. 3.9 Schéma principu relativního indukčního snímače (Jurena, 2011).....	19
Obr. 3.10 Schéma principu absolutního indukčního snímače (Jurena, 2011) .....	19
Obr. 3.11 Princip činnosti piezoelektrického snímače (Svatoš, 2009) .....	20
Obr. 3.12 Princip laserového interferometrického snímače (Svatoš, 2009) .....	21
Obr. 3.13 Schéma měřicí soustavy (Zmeškal, 2001).....	22
Obr. 3.14 Laserový triangulační snímač (Svatoš, 2009).....	22
Obr. 3.15 Princip CLA snímače (Svoboda, 2011) .....	23
Obr. 3.16 AMF hrot ( <a href="http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM_mikroskopie.pdf">http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM_mikroskopie.pdf</a> ) .....	24
Obr. 3.17 AMF snímání ( <a href="http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM_mikroskopie.pdf">http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM_mikroskopie.pdf</a> ) .....	24
Obr. 3.18 Rozlišení drsnosti povrchu .....	25
Obr. 3.19 Rozlišení vlnitosti povrchu .....	25
Obr. 3.20 Rozlišení tvaru povrchu.....	26
Obr. 3.21 Délky definovány pro měření struktury povrchu (Svatoš, 2009) .....	27
Obr. 3.22 Tři typy profilů povrchu dle ČSN EN ISO 4287 .....	27
Obr. 3.23 Základní prvky profilu (Novák, 2011) .....	28
Obr. 3.24 Největší výška výstupku profilu (Svatoš, 2009).....	29
Obr. 3.25 Největší hloubka výstupku profilu (Svatoš, 2009).....	29
Obr. 3.26 Největší výška profilu (Svatoš, 2009) .....	29
Obr. 3.27 Průměrná aritmetická úchylka profilu (Svatoš, 2009).....	30
Obr. 3.28 Průměrná kvadratická úchylka profilu (Svatoš, 2009) .....	30
Obr. 3.29 Celková výška profilu (Svatoš, 2009) .....	31
Obr. 3.30 Průměrná šířka prvků profilu (Svatoš, 2009) .....	31
Obr. 4.1 Překližka (Böhm a kol., 2012).....	32

Obr. 4.2 CNC obráběcí centrum .....	33
Obr. 4.3 Řídicí systém CNC obráběcího centra.....	34
Obr. 4.4 Talířový měnič.....	34
Obr. 4.5 Stopková fréza .....	35
Obr. 4.6 Formátovací pila .....	36
Obr. 4.7 Nařezané vzorky překližky .....	36
Obr. 4.8 Měřicí přístroj Tylysurf CLI 1000 s výkonným počítačem.....	37
Obr. 4.9 Snímání vzorku.....	37
Obr. 5.1 Základní profil 2D .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 5.2 Profil vlnitosti 2D .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 5.3 Profil drsnosti 2D.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 5.4 Základní parametry drsnosti a vlnitosti .....	39
Obr. 5.5 Povrch vzorku 3D.....	39
Obr. 5.6 Základní profil 2D .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 5.7 Profil vlnitosti 2D .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 5.8 Profil drsnosti 2D.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 5.9 Základní parametry drsnosti a vlnitosti .....	47
Obr. 5.10 Povrch vzorku 3D.....	47
Obr. 5.11 Základní profil 2D .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 5.12 Profil vlnitosti 2D .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 5.13 Profil drsnosti 2D.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Obr. 5.14 Základní parametry drsnosti a vlnitosti .....	47
Obr. 5.15 Povrch vzorku 3D.....	47

Pozn.: Obrázky bez označení – vlastní tvorba autora, autorské označení v závorce.

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 5.1 Průměrná aritmetická úchylna profilu drsnosti překližky A	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Graf 5.2 Největší výška profilu drsnosti překližky A.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Graf 5.3 Průměrná aritmetická úchylna profilu vlnitosti překližky A	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Graf 5.4 Průměrná šířka profilu vlnitosti Překližky A....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Graf 5.5 Průměrná aritmetická úchylna profilu drsnosti překližky B	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Graf 5.6 Největší výšky profilu drsnosti překližky B.....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Graf 5.7 Průměrná aritmetická úchylna profilu vlnitosti překližky B .....	46
Graf 5.8 Průměrná šířka profilu vlnitosti překližky B .....	46
Graf 5.9 Průměrná aritmetická úchylna profilu drsnosti překližky C	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Graf 5.10 Největší výšky profilu drsnosti překližky C...	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Graf 5.11 Průměrná aritmetická úchylna profilu vlnitosti překližky C .....	50
Graf 5.12 Průměrná šířka profilu vlnitosti překližky C .....	50
Graf 5.13 Porovnání průměrné aritmetické úchylny profilu drsnosti překližky .....	51
Graf 5.14 Porovnání největší výšky profilu drsnosti překližky .....	51
Graf 5.15 Porovnání průměrné aritmetické úchylny profilu vlnitosti překližky .....	52
Graf 5.16 Porovnání průměrné šířky profilu vlnitosti překližky .....	52

## SEZNAM TABULEK

Tab. 4.1 Parametry hranolků.....	35
Tab. 5.1 Přehled parametrů překližky A.....	40
Tab. 5.2 Průměr a směrodatná odchylka hodnot překližky A .....	40
Tab. 5.3 Přehled parametrů překližky B .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Tab. 5.4 Průměr a směrodatná odchylka hodnot překližky B.....	40
Tab. 5.5 Přehled parametrů překližky B .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>
Tab. 5.6 Průměr a směrodatná odchylka hodnot překližky B.....	40
Tab. 6.1 Průměrné hodnoty.....	53

## PŘÍLOHY

CD

