

# **Komparace a hodnocení povrchu polymeru dotykovým a bezdotykovým systémem**

Bc. Jitka Vopatová

---

Diplomová práce  
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jitka Vopatová**  
Osobní číslo: **T12470**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Komparace a hodnocení povrchu polymeru  
dotykovým a bezdotykovým systémem**

Zásady pro vypracování:

- 1) Popište základní parametry jakosti povrchu s uvažováním normy ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288.
- 2) Popište vhodné matematické metody pro hodnocení jakosti povrchu.
- 3) Srovnání kontaktních a bezkontaktních principů snímání jakosti povrchu.
- 4) Nasnímání textury povrchu polymerních dílů kontaktně a bezkontaktně.
- 5) Vyhodnocení výsledků a jejich matematické zpracování.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1) BUMBÁLEK, Leoš. KOLEKTIV. Kontrola a měření. 1. vyd. Praha: Informatorium, 2009, 206 s. ISBN 978-80-7333-072-9.

2) TŮMOVÁ, Olga. Metrologie a hodnocení procesů. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 231 s. ISBN 978-80-7300-249-7.

3) ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Březen 1999. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1999.

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

5) KUREKOVÁ, Eva, Peter GABKO a Martin HALAJ. Technické meranie [online]. 1. vydání. Bratislava: Ing. Peter Juriga - Grafické štúdio, 2005 [cit. 2013-11-25]. ISBN 80-89112-04-8. Dostupné z:

<http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/obsah.htm>

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Pata

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014

  
doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
děkan



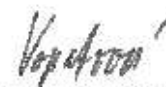
  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
ředitel ústavu

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 25. 4. 2014



<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevyjádřeně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy a užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zaměřuje na měření povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem a komparace jejich výsledků. Teoretická část je zaměřena na všeobecné termíny, definice a principy hodnocení drsnosti povrchu. Praktická část se potom zabývá měřením povrchu polymerů kontaktním a bezkontaktním způsobem. Výsledky jsou následně vyhodnoceny vhodnými matematickými metodami s využitím parametrických metod teorie hypotéz a porovnány za účelem jakosti povrchu, zda má na měření vliv typ metody.

Klíčová slova:

Jakost povrchu, teorie hypotéz, bezkontaktní měření, kontaktní měření.

## **ABSTRACT**

This thesis is focused on surface measuring with contact and non-contact method and to compare obtained results. The theoretical part is aimed to the general terms, definitions and principles for the assessment of surface roughness. The practical part is concerned with measuring of surface contact of the polymer by contact and non-contact method. The obtained results are analyzed by suitable mathematical methods using parametric methods of theory of hypotheses and they are compared for the purpose of surface quality to examine the influence of chosen method for measurement.

Keywords:

Surface quality, the theory of hypotheses, non-contact measurement, contact measurement.

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za ochotu, cenné rady a pomoc při řešení diplomové práce.

Motto:

*„Výsledek měření je vždy více či méně přesný „odhad“ skutečné hodnoty měřené veličiny.“*

*Dr. O. Seycek*

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU</b> .....	<b>12</b>
1.1 PROFIL POVRCHU .....	12
1.1.1 Drsnost povrchu .....	13
1.1.2 Vlnitost povrchu .....	13
1.1.3 Tvar povrchu .....	13
1.2 FILTRACE .....	13
1.3 STŘEDNÍ ČÁRA.....	14
1.4 SCHÉMA MĚŘÍCÍ DRÁHY SNÍMAČE .....	15
1.5 PROCES FILTRACE PRO URČENÍ PROFILU DRSNOSTI .....	15
1.6 ZÁKLADNÍ PARAMETRY TEXTURY POVRCHU.....	16
1.6.1 Výškové parametry.....	17
1.6.2 Délkové parametry .....	20
1.6.3 Tvarové parametry .....	21
1.7 PRAVIDLA PRO POROVNÁNÍ MĚŘENÝCH HODNOT S TOLERANČNÍMI MEZEMI.....	22
1.7.1 Plochy na kontrolovaných prvcích .....	22
1.7.2 Pravidlo maxima .....	23
1.7.3 Pravidlo 16% .....	23
1.7.4 Nejistota měření .....	23
1.8 MATEMATICKÉ METODY PRO VYHODNOCOVÁNÍ POVRCHŮ.....	24
1.8.1 Chyby měření .....	24
1.8.2 Testování hypotéz .....	25
1.8.3 F – test .....	27
1.8.4 T – test.....	27
<b>2 PRINCIP SNÍMANÍ KONTAKTNÍM A BEZKONTAKTNÍM ZPŮSOBEM</b> .....	<b>29</b>
2.1 KONTAKTNÍ SNÍMÁNÍ.....	29
2.2 BEZKONTAKTNÍ SNÍMÁNÍ.....	31
2.2.1 CLA snímač.....	32
2.2.2 Laserový snímač.....	33
2.2.3 Měřicí technika Taylor Hobson.....	34
2.3 VHODNÝ MĚŘÍCÍ SYSTÉM.....	36
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>37</b>
<b>3 PŘÍPRAVA VZORKŮ A MĚŘENÍ DRSNOSTI</b> .....	<b>38</b>



3.1	VZORKY .....	38
3.2	ÚPRAVA VZORKŮ .....	40
3.3	MIKROSKOP S OKULÁROVOU KAMEROU AM423B .....	41
3.4	MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU .....	41
3.4.1	Taylor & Hobson - Talysurf CLI 500.....	41
3.4.2	Přenosný drsnoměr Mitutoyo SJ – 301 .....	50
<b>4</b>	<b>STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH PARAMETRŮ.....</b>	<b>52</b>
4.1	POSTUP VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT .....	53
4.2	ZJIŠTĚNÍ VYCHÝLENÝCH HODNOT .....	54
4.3	TEST NORMALITY .....	55
4.4	F – TEST.....	58
4.5	T – TEST.....	60
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>63</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>66</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>72</b>

## ÚVOD

Měření a hodnocení struktury povrchu představuje specifickou samostatnou část metrologie. Vývoj měření a hodnocení struktury povrchu zaznamenaly v uplynulých několika letech výrazný kvalitativní technický pokrok. Jak na přípravě metodiky hodnocení struktury povrchu, normalizace parametrů drsnosti a podmínek hodnocení, tak i na přípravě softwaru pro praktické vyhodnocování kontrolovaného profilu povrchu.

Výrobci měřicí techniky nabízejí široký sortiment přístrojů, které pokrývají celou aplikační oblast. Od jednoduchých dílenských měřidel, až po měřicí systémy určené pro laboratorní měření a analýzy, jež vyhodnocují parametry měření základního profilu, drsnosti povrchu, vlnitosti a tvaru.

Texturu povrchu je možné zkoumat kontaktním nebo bezkontaktním způsobem, proto cílem diplomové práce bylo statisticky porovnat povrchy naměřené oběma způsoby a zjistit zda se výsledky shodují.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

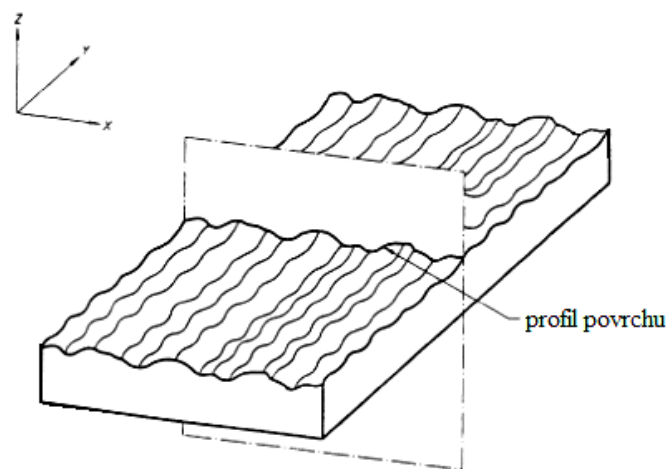
## 1 HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU

Povrch průmyslových součástek nebo obrobků si můžeme představit jako fyzickou hranici mezi obrobkem a okolním prostředím. Reálný povrch obrobku definují mezinárodní normy ISO jako soubor charakteristických vlastností, které fyzicky existují a oddělují vlastní obrobek od okolního prostředí. [13]

Jakost povrchu, neboli drsnost povrchu, velmi výrazně ovlivňuje životnost a spolehlivost součástky. Drsnost povrchu ovlivňuje průběhy chemických a fyzikálních jevů, které provázejí činnost funkčního povrchu dané součásti. [1]

### 1.1 Profil povrchu

Nerovnosti na povrchu vznikají po libovolných technologických operacích, které se velmi obtížně posuzují. Proto je potřeba získat profil, který je základním zdrojem informací pro posuzování textury povrchu.



Obrázek 1: Profil povrchu [5]

Obecný povrch lze rozdělit na tři komponenty, které odlišuje vlnová délka:

- ◆ drsnost,
- ◆ vlnitost,
- ◆ tvar. [1]

### 1.1.1 Drsnost povrchu

Jsou to jemné nerovnosti, které se dají také nazývat jako mikronerovnosti. Drsnost povrchu se vytváří nepravidelnostmi s poměrně malým rozestupem, které jsou výsledkem výrobního procesu. Drsnost povrchu může být také ovlivněna mechanismem tvoření třísky, která svým vytvářením vytrhává částičky materiálu, což ovlivňuje jeho náhodný charakter.



Obrázek 2: Drsnost povrchu [12]

### 1.1.2 Vlnitost povrchu

Vlnitost povrchu se dá také jinak nazývat jako makronerovnosti. Je to rozlehlejší periodická nerovnost, na které je vytvořena drsnost. Vlnitost nejčastěji způsobí chvění, deformace obrobku a zpevnění materiálu. Největší vliv na ní má stroj např. nevyváženost brousícího kotouče, malou tuhostí, či nepřesností vodících částí.



Obrázek 3: Vlnitost povrchu [12]

### 1.1.3 Tvar povrchu

Při vyloučení drsnosti a vlnitosti získáme obecný tvar povrchu. Tyto úchyvky mají za vinu nedostatečnou tuhost, špatnou přímmost vodících ploch, nebo teplo vzniklé během výrobního procesu, které může způsobit deformaci obrobek plochy. [12]



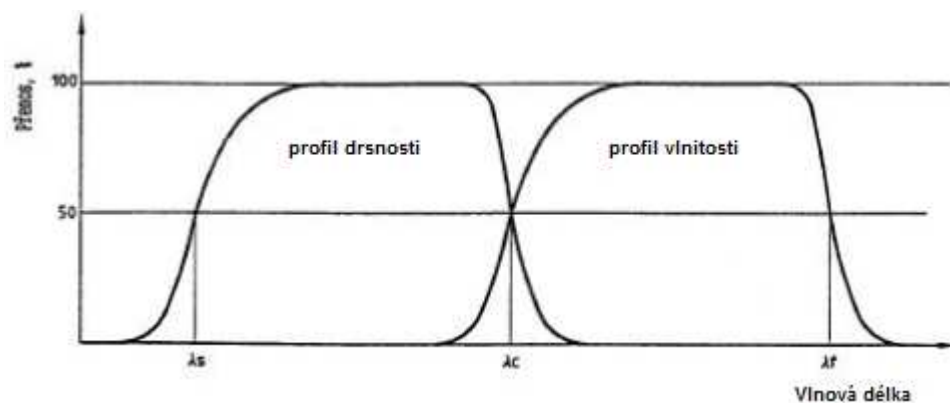
Obrázek 4: Tvar povrchu [12]

## 1.2 Filtrace

Pomocí filtrace se oddělují od profilu dlouhovlnné a krátkovlnné složky. Hodnota, která odděluje tyto složky od profilu, se nazývá vlnová délka filtru – cut-off.

Filtr profilu se dělí na:

- ◆ Filtr  $\lambda_s$  – definuje rozhraní mezi krátkovlnnými složkami a drsností.
- ◆ Filtr  $\lambda_c$  – definuje rozhraní mezi složkami vlnitosti a drsností.
- ◆ Filtr  $\lambda_f$  – definuje rozhraní mezi vlnitostí a dalšími složkami na povrchu. [3]

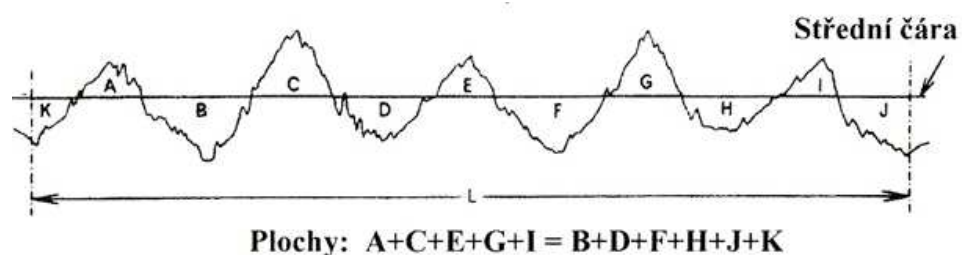


Obrázek 5: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [3]

### 1.3 Střední čára

Střední čára rozděljuje profil přímo uprostřed všech vrcholů a prohlubenin. Tato čára vzniká, pokud součet ploch nad touto čarou je roven plochám pod čarou.

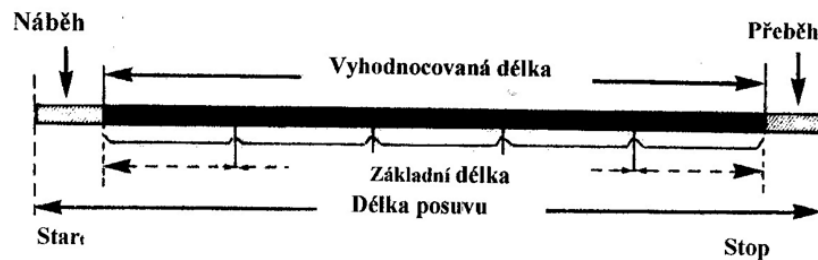
„Pro přesnější určení střední čáry se používá výpočet pomocí metody nejmenších čtverců. Poloha vztážené čáry je určena tak, že součet čtverců úchylek této čáry je minimální; její poloha je jiná než poloha střední čáry podle plochy – je totiž jednoznačně určena.“ [12]



Obrázek 6: Střední čára [12]

## 1.4 Schéma měřicí dráhy snímače

Délka zdvihu, neboli posuvu, je větší než délka vyhodnocovací z důvodu délky na náběh a přeběh měřícího snímače. Na vyhodnocované délce je prováděno samotné měření a může se skládat z několika základních délek, z nichž je výsledek průměr z celkové měřené délky. [12]

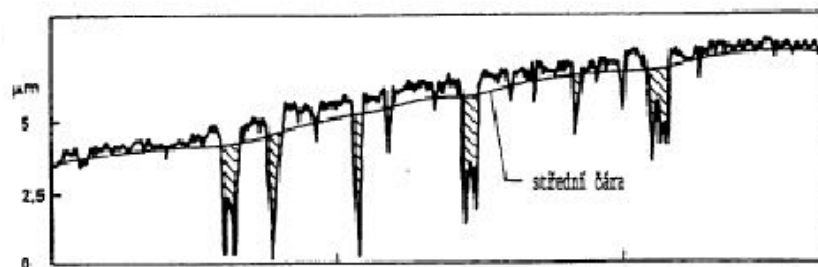


Obrázek 7: Dráhy snímače [12]

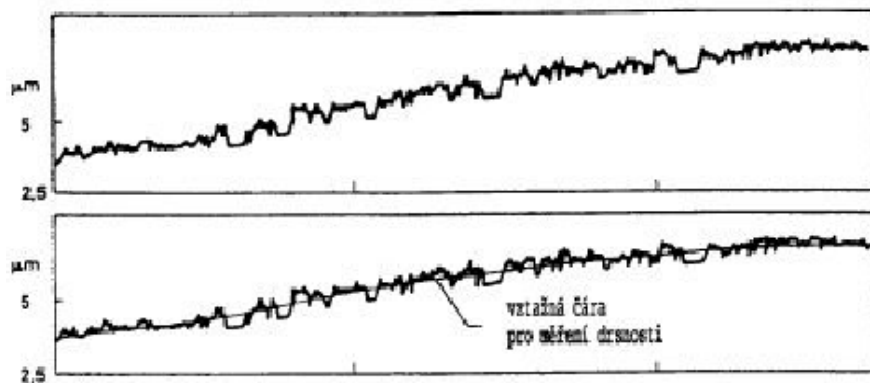
## 1.5 Proces filtrace pro určení profilu drsnosti

První střední čára je určena předběžnou filtrací základního profilu fázově kongovaným filtrem za odpovídající mezní vlnové délky cut-off  $\lambda_c$ . Všechny prohlubeniny, které leží pod střední čarou jsou vypuštěny. V těchto místech je základní profil nahrazen křivkou střední čáry.

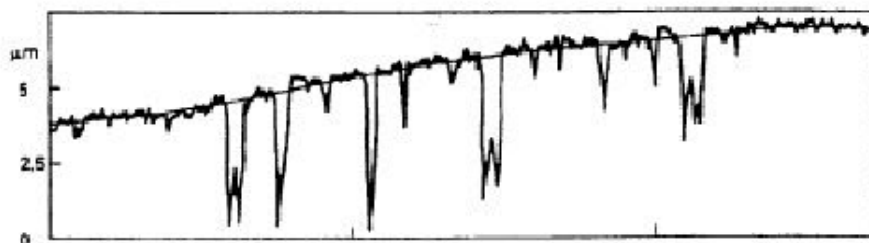
Tentýž filtr je opět použit na upraveném profilu s vypuštěnými prohlubněmi. Takto získaná druhá střední čára je nazývána jako referenční, ke které je provedeno posouzení parametrů profilu. Referenční čára je přenesena na původní základní profil a profil drsnosti. [6]



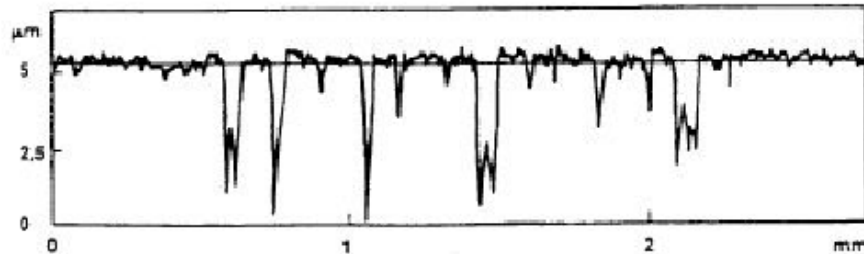
Obrázek 8: Nefiltrovaný základní profil (prohlubně šrafovány) [6]



Obrázek 9: Nefiltrovaný základní profil po potlačení prohlubní [6]



Obrázek 10: Poloha referenční čáry na základním profilu [6]



Obrázek 11: Profil drsnosti podle normy ČSN EN ISO 13565-1 [6]

## 1.6 Základní parametry textury povrchu

Dělí se podle normy ČSN EN ISO 4287 do tří základních skupin:

- ◆ výškové,
- ◆ délkové,
- ◆ tvarové.



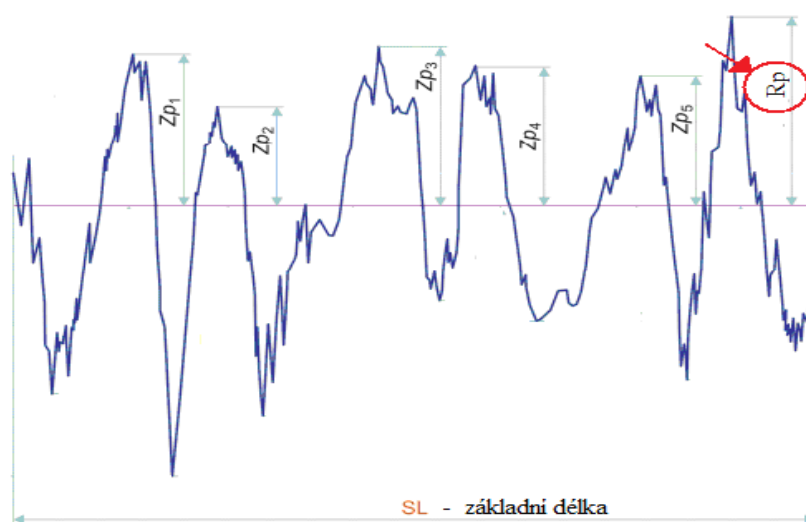
### 1.6.1 Výškové parametry

Výškové nebo-li také amplitudové parametry určující vrcholy nebo prohlubneniny bez ohledu na jejich rozteč.

Dělí se na:

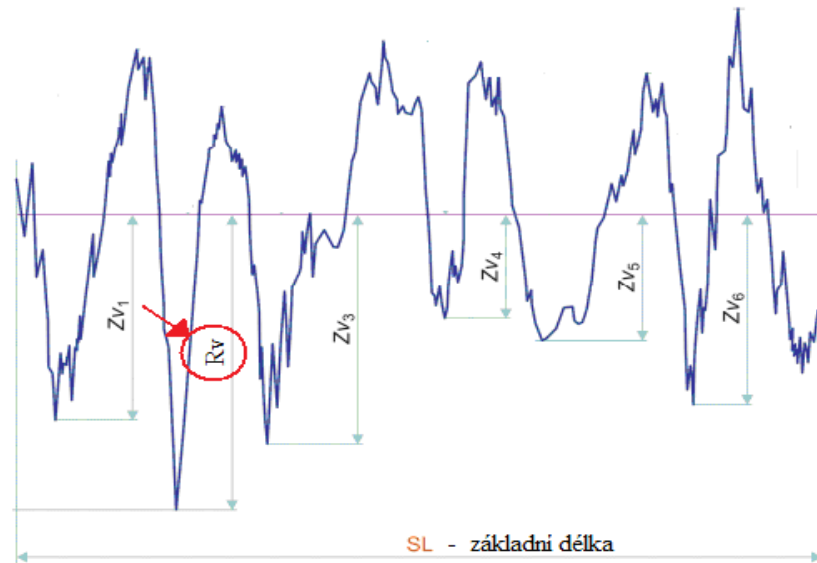
- ◆ Výstupky a prohlubneniny:
  - největší výška výstupku profilu,
  - největší hloubka prohlubně profilu,
  - největší výška profilu,
  - průměrná výška prvků profilu,
  - celková výška profilu.
- ◆ Průměrné hodnoty pořadnic:
  - průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu,
  - průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu,
  - šikmost posuzovaného profilu.

**Největší výška výstupku profilu,  $P_p$ ,  $R_p$ ,  $W_p$**  je výška  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky. [5]



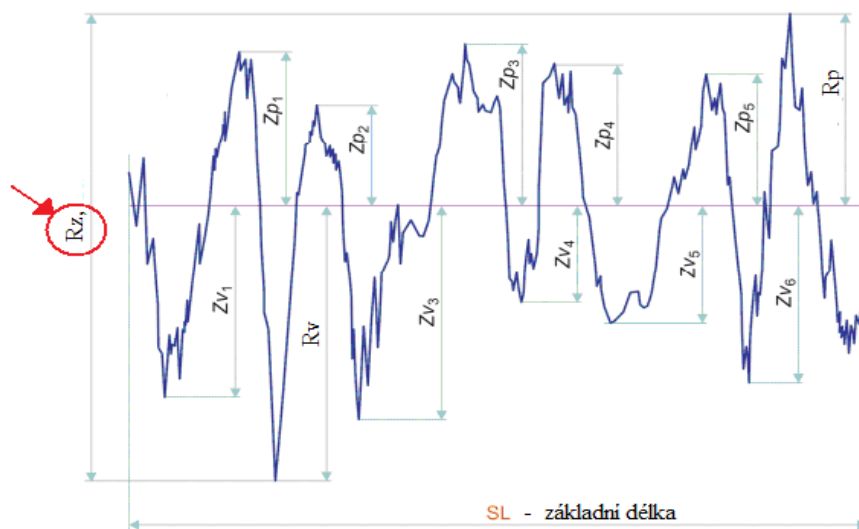
Obrázek 12: Největší výška výstupků profilu [13]

Největší hloubka prohlubně profilu  $P_v$ ,  $R_v$ ,  $W_v$  je hloubka  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [5]



Obrázek 13: Největší hloubka prohlubně profilu [13]

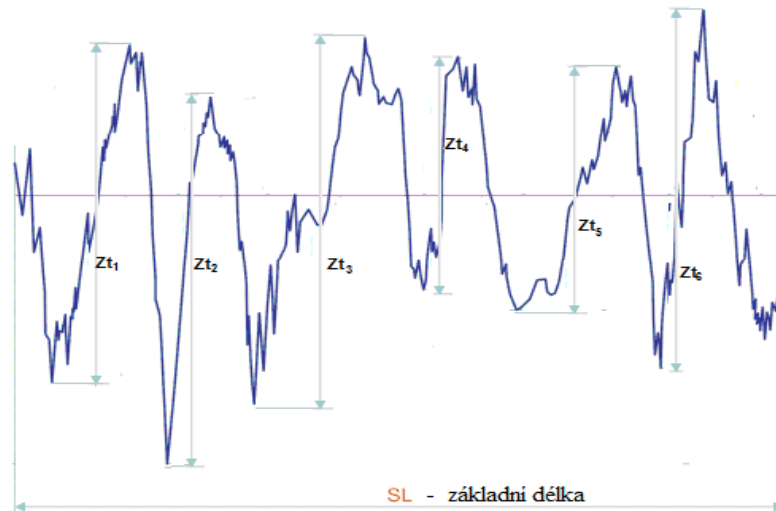
Největší výška profilu,  $P_z$ ,  $R_z$ ,  $W_z$  je součet hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky a výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu. [5]



Obrázek 14: Největší výška výstupků profilu [13]

**Průměrná výška prvků profilu,  $P_c, R_c, W_c$**  je průměrná hodnota výšek  $Z_t$  prvků profilu v rozsahu základní délky. [5]

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i}$$



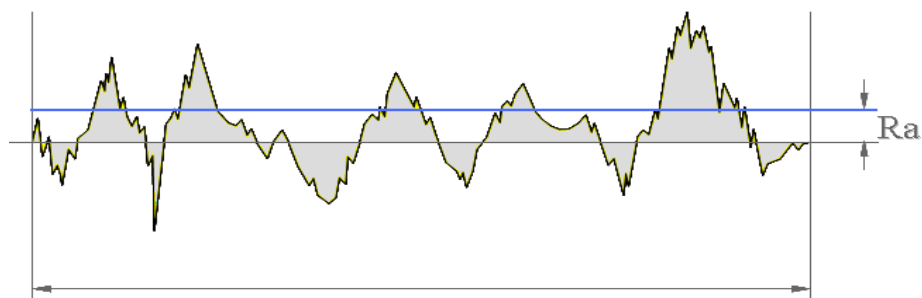
Obrázek 15: Průměrná výška prvků profilu [13]

**Celková výška profilu,  $P_t, R_t, W_t$**  je součet nejnižší prohlubně profilu  $Z_v$  a výšky nejvyššího výstupku profilu v rozsahu vyhodnocované délky. [5]

$$P_t = P_z, R_t \geq R_z, W_t \geq W_z$$

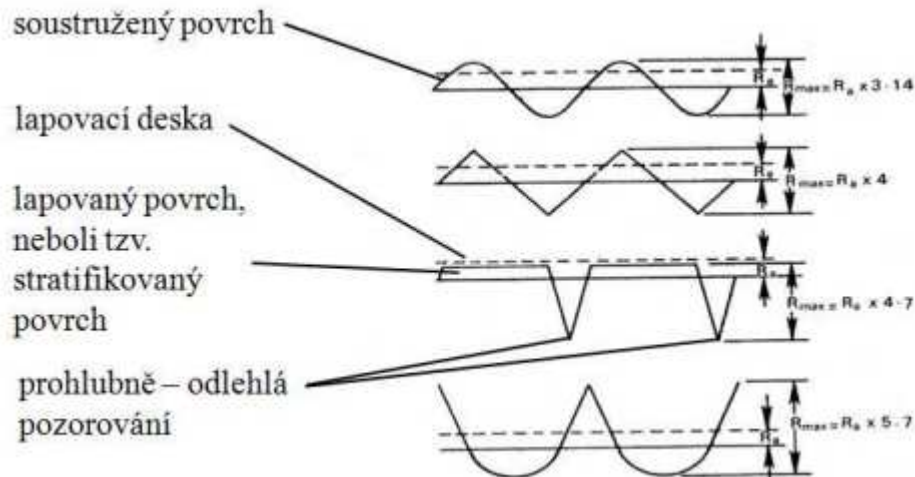
**Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu,  $P_a, R_a, W_a$**  je aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky. [5]

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



Obrázek 16: Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [12]

Parametr  $R_a$  je jeden z nejčastěji měřených parametrů v praxi. Hodnota tohoto parametru však nedává 100% informace o tvaru nepravidelností povrchu, proto není příliš vhodný pro interpretaci výsledků v praxi. [8]



Obrázek 17: Hodnoty  $R_a$  [12]

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

$$P_q, R_q, W_q = \frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx$$

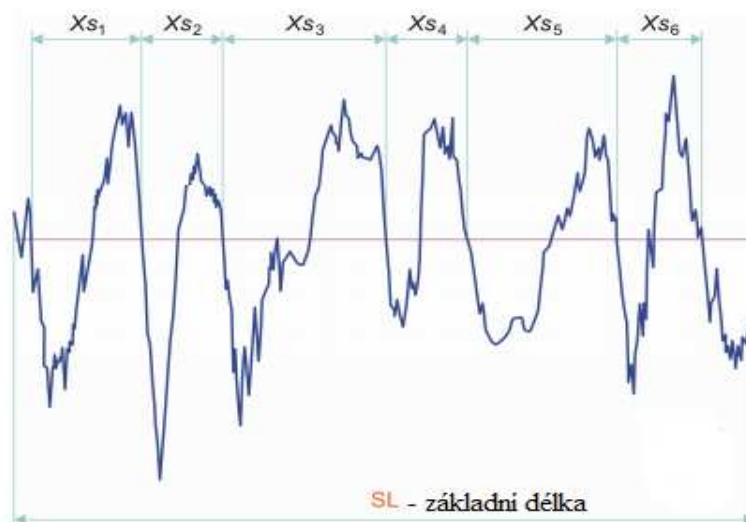
**Šikmost posuzovaného profilu**  $P_{sk}$ ,  $R_{sk}$ ,  $W_{sk}$  je podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic  $Z(x)$  a třetí mocniny hodnoty  $P_q$ ,  $R_q$  nebo  $W_q$  v rozsahu základní délky. [5]

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[ \frac{1}{l} \int_0^l |Z^3(x)| dx \right]$$

### 1.6.2 Délkové parametry

Jsou to parametry v délkovém směru jinak také nazývány jako šířkové parametry. Patří sem průměrná šířka prvků profilu,  $P_{Sm}$ ,  $R_{Sm}$ ,  $W_{Sm}$  je aritmetický průměr šířek  $X_{Si}$  prvků profilu v rozsahu základní délky. [5]

$$P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si}$$

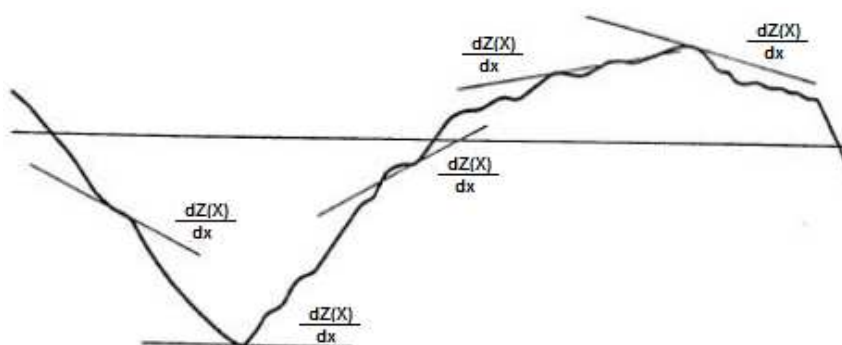


Obrázek 18: Průměrná šířka prvku profilu [13]

### 1.6.3 Tvarové parametry

Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu  $P\Delta q$ ,  $R\Delta q$ ,  $W\Delta q$  je kvadratický průměr sklonu pořadnic  $dZ/dX$  v rozsahu základní délky.

$$P\Delta q, R\Delta q, W\Delta q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^l \left( \frac{dZ}{dX} \right)^2 dx}$$

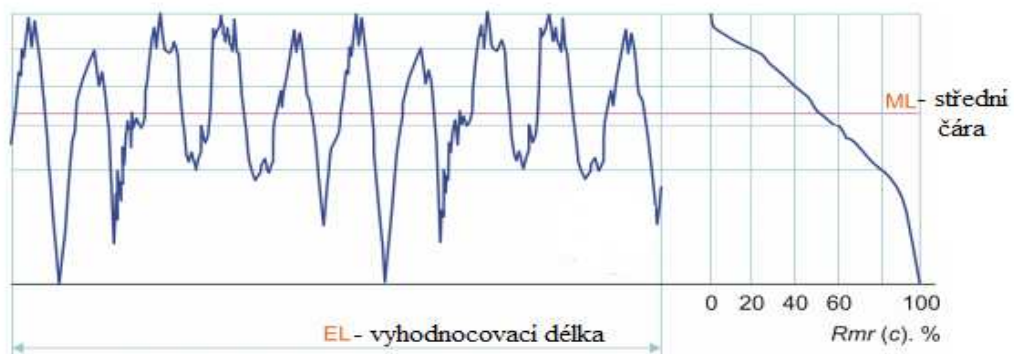


Obrázek 19: Místní sklon [5]

**Materiálový poměr profilu drsnosti (Rmr)** je poměr délky materiálu elementů profilu drsnosti  $Ml$  na dané úrovni  $c$  k vyhodnocované délce: [5]

$$Ml = \sum_{i=1}^n Mi \qquad Rmr = \frac{Ml}{ln}$$

**Křivka materiálového podílu** (Abboby – Firestonova křivka) je grafické znázornění závislosti hodnot relativního podílu materiálu od polohy řezu profilu, výškového rozdílu řezu profilu, který znázorňuje vzdálenost mezi dvěma řezy v určeném materiálovém podílu profilu, relativním materiálovým podílem profilu (Rmr) a rozdělení hustoty odchylek profilu. [5]



Obrázek 20: Hybridní parametry [13]

## 1.7 Pravidla pro porovnání měřených hodnot s tolerančními mezemi

Dělí se na:

- ◆ plochy na kontrolovaných prvcích,
- ◆ pravidlo maxima,
- ◆ pravidlo 16%,
- ◆ nejistota měření.

### 1.7.1 Plochy na kontrolovaných prvcích

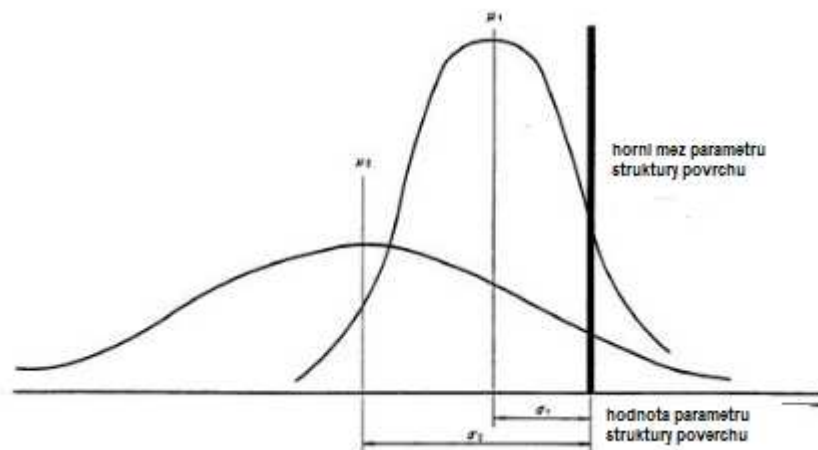
Plochy se kontrolují vizuální zkouškou. V případě homogenního povrchu se hodnoty určené z celého povrchu použijí pro porovnání s požadavky uvedenými na výrobním dokumen-

tu nebo výkresu. Pokud jsou na povrchu jednotlivé plochy s nápadně rozdílnou strukturou, hodnoty parametrů, které jsou určeny pro každou jednotlivou plochu, budou pro porovnání s požadavky specifikovanými na výkresu, nebo ve výrobní dokumentaci použity odděleně. [4]

### 1.7.2 Pravidlo maxima

Pravidlo stanovuje, že při požadavcích specifikovaných největší hodnotou parametru v průběhu kontroly nesmí žádná z naměřených hodnot parametru na kontrolovaném povrchu přesáhnout hodnotu uvedenou ve výkresu nebo výrobní dokumentaci.

Při stanovení největší dovolené hodnoty se značky doplňují o index „max“. [4]



Obrázek 21: Horní mez parametru struktury povrchu [4]

### 1.7.3 Pravidlo 16%

U tohoto pravidla platí, pokud parametry specifikované horní a dolní mezí parametrů, jsou povrchy považovány za vyhovující, jestliže nepřesáhnou více než 16% všech naměřených hodnot vybraných parametrů jak u dolní tak u horní meze.

Při stanovení mezí se používají značky bez indexu „max“. [4]

### 1.7.4 Nejistota měření

Pro dokázání shody nebo neshody se specifikací musí být měřené hodnoty parametrů porovnány se specifikovanými mezními hodnotami s uvažováním nejistot měření. V případě

porovnávání výsledků měření s dolními a horními mezemi jsou nejistoty měření odhadovány bez uvážení nehomogenit povrchu, které jsou již započítané v pravidle 16%. [4]

## 1.8 Matematické metody pro vyhodnocování povrchů

Naměřené veličiny je nutné zpětně ověřovat a kontrolovat. Toho docílíme pomocí testování hypotéz. Mezi nejdůležitější testování hypotéz patří ověřování parametrů normálního rozdělení, neboť patří mezi nejpoužívanější. Pokud naměřené hodnoty mají jiný typ rozdělení je potřeba provést jejich transformaci.

### 1.8.1 Chyby měření

Chyba měření je rozdíl mezi pravdou a naměřenou hodnotou. Hlavní příčinou vzniku chyb může být měřidlo či měřicí systém, kdy jsou dány nespolehlivostí a nedokonalostí měřících přístrojů. Další z příčin může být nerespektování dynamických vlastností nebo osoba, která měření provádí, vyhodnocuje a zároveň jí chybí dostatečná zručnost, zkušenosti nebo kvalifikace.

Chyby dělíme na:

- ◆ hrubé,
- ◆ systematické,
- ◆ náhodné.

Do příčin **hrubých chyb** může spadat vada přístroje, nesprávný způsob zpracování, nesprávně provedené měření, nesprávná manipulace s měřidlem atd. Výsledky měření, které jsou ovlivněny hrubou chybou jsou nepoužitelné. Tyto chyby se musí ze souboru naměřených hodnot vyloučit. V některých případech je možno provést až po otestování podezřelých hodnot, a to z důvodu, že rozhodnutí o vyloučení či nevyloučení podezřelých hodnot ze souboru by mohlo být nesprávné.

**Systematické chyby** vznikají v některém faktoru, který při určitých stejných podmínkách měření ovlivňuje opakovaně, jako je například stejná teplota, osoba nebo přístroj. Sys-



tematická chyba se dá zjistit změnou měřícího přístroje, měřitele nebo provedení měření za jiných podmínek.

**Náhodné chyby** jsou takové chyby, které při stejné měřené veličině, metodě i podmínkách a pečlivosti měření mohou náhodně nabývat různých velikostí. Tyto chyby jsou vzájemně nezávislé a nemají žádné zákonitosti a jsou nepředvídatelné. [19]

### 1.8.2 Testování hypotéz

Koncepci testování hypotéz vytvořili Jerzy Neyman a E. S. Pearson krátce před vypuknutím druhé světové války. Dále ji rozvinul Abraham Wald. Jedná se o rozhodovací proces, v němž proti sobě stojí dvě hypotézy. [3]

Při zpracování musíme zajistit:

- ◆ volbu hladiny významnosti  $\alpha$ ,
- ◆ určit nulovou hypotézu  $H_0$  pro jednostranný test,
- ◆ určit nulovou  $H_0$  i alternativní hypotézu  $H_1$  pro oboustranný test,
- ◆ volbu testovaného kritéria podle druhu testu.

Při testování hypotéz klademe proti sobě nulovou a alternativní hypotézu. Pomocí statistických pravidel sledujeme výsledky náhodného výběru, zda splňují podmínky hypotézy  $H_0$ . Pokud ano, pak tuto hypotézu nezamítáme.

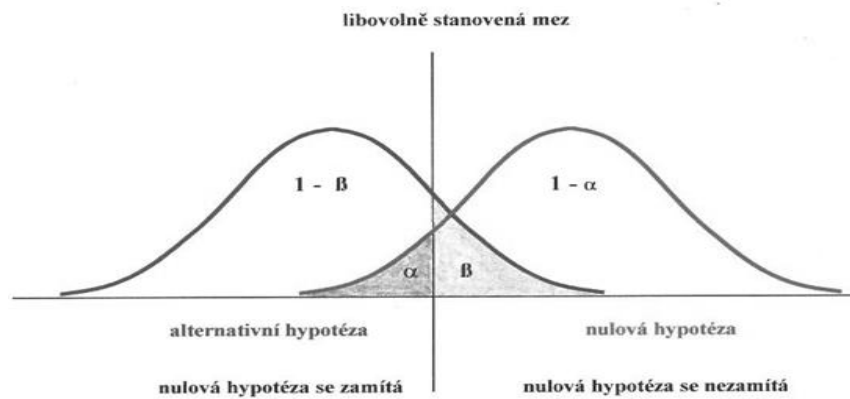
Alternativní hypotéza o parametrech základního souboru je parametr rovný určité hodnotě. Tato hodnota bývá nazývána jako hypotetická. Alternativní hypotéza se rozděluje podle povahy problému na:

- ◆  $H_1 : \mu > \mu_0$
- ◆  $H_1 : \mu < \mu_0$
- ◆  $H_1 : \mu = \mu_0$

První dvě hypotézy specifikují parametr  $\mu$  jednostranně. Třetí hypotéza pouze popírá platnost  $H_0$  bez jakékoli bližší specifikace  $\mu$ .

Testovanou hypotézu přijímáme nebo zamítáme na základě výsledků náhodného výběru. Toto rozhodnutí však může být správné nebo nesprávné. Hodnota testovaného výběru mů-

že spadat s určitou pravděpodobností do oboru, kdy platí  $H_0$  a zároveň  $H_1$ . Nesprávné zamítnutí hypotézy se nazývá chyba prvního druhu, a nesprávné přijetí hypotézy se nazývá chyba druhého druhu. [2]



Obrázek 22: Hypotézy  $H_0$  a  $H_1$ , chyby 1. druhu  $\alpha$ , 2. druhu  $\beta$  [2]

Chyba 1. druhu nastává, pokud hodnota testovaného kritéria padne do kritického oboru, ačkoli platí  $H_0$ . Pravděpodobnost nesprávného zamítnutí hypotézy  $H_0$  se nazývá hladina významnosti  $\alpha$ . Tato hladina se vždy určuje předem a z pravidla se většinou volí 5%, tedy  $\alpha=0,05$ .

Chybě 2. druhu nastává, pokud hodnota testovaného kritéria padá do oboru přijetí, ačkoli platí hypotéza  $H_1$ . Pravděpodobnost nesprávného přijetí hypotézy  $H_0$  se nazývá síla testu a značí se  $\beta$ .

Tabulka 1: Chyba prvního a druhého druhu [14]

		Výsledek testu	
		Nezamítám $H_0$	Zamítám $H_0$
Skutečnost	Platí $H_0$	Správné rozhodnutí Pravděpodobnost rozhodnutí: <b><math>1 - \alpha</math></b> (spolehlivost)	<b>Chyba I. Druhu</b> Pravděpodobnost rozhodnutí: <b><math>\alpha</math></b> (hladina významnosti)
	Platí $H_A$	<b>Chyba II. druhu</b> Pravděpodobnost rozhodnutí: <b><math>\beta</math></b>	Správné rozhodnutí Pravděpodobnost rozhodnutí: <b><math>1 - \beta</math></b> (síla testu)

### 1.8.3 F – test

Test významnosti rozdílu dvou rozptylů. Jsou dány dva výběry o rozsazích  $n_1, n_2$  s rozptyly  $s_1^2, s_2^2$ , vybrané ze dvou základních souborů s rozděleními  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  a  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ . [15]

**Nulová hypotéza:**  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$

**Alternativní hypotéza:**  $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

**Testovací kritérium:** má Fisherovo-Snedecorovo rozdělení  $F(n_1 - 1, n_2 - 1)$ .

$$F = \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_2^2} = \frac{n_1(n_2 - 1) \cdot s_1^2}{n_2(n_1 - 1) \cdot s_2^2}$$

**Závěr:** Jestliže  $F > F_{\frac{\alpha}{2}}(n_1 - 1, n_2 - 1)$ , zamítáme hypotézu  $H_0$  (přijímáme  $H_1$ ). Indexy 1, 2 volíme tak, aby testovací kritérium  $F > 1$ . [7]

### 1.8.4 T – test

Test významnosti rozdílu dvou výběrových průměrů.

Jsou dány dva výběry o rozsazích  $n_1, n_2$  se středními hodnotami  $m_1, m_2$  a disperzemi  $s_1^2, s_2^2$ , které pocházejí ze dvou základních souborů s rozděleními  $N(\mu_1; \sigma_1^2)$  a  $N(\mu_2; \sigma_2^2)$ .

**Nulová hypotéza:**  $H_0: \mu_1 = \mu_2$

**Alternativní hypotéza:**  $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$

**1) Testovací kritérium:** Jestliže můžeme předpokládat  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (prověříme F-testem), které má Studentovo rozdělení  $t(n_1 + n_2 - 2)$ .

$$T = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{n_1 \cdot s_1^2 + n_2 \cdot s_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

**Závěr:** Jestliže  $|T| > t_p$ , zamítneme  $H_0$ . [7]

**2) Testovací kritérium:** Jestliže předpokládáme  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (prověříme F-testem), které má rozdělení složené ze dvou Studentových rozdělení.

$$T = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{(n_2 - 1) \cdot s_1^2 + (n_1 - 1) \cdot s_2^2}} \cdot \sqrt{(n_1 - 1) \cdot (n_2 - 1)}$$

Kritické hodnoty určíme podle vzorce:

$$t_p = \frac{(n_2 - 1) \cdot s_1^2 \cdot t_p(n_1 - 1) + (n_1 - 1) \cdot s_2^2 \cdot t_p(n_2 - 1)}{(n_2 - 1) \cdot s_1^2 + (n_1 - 1) \cdot s_2^2}$$

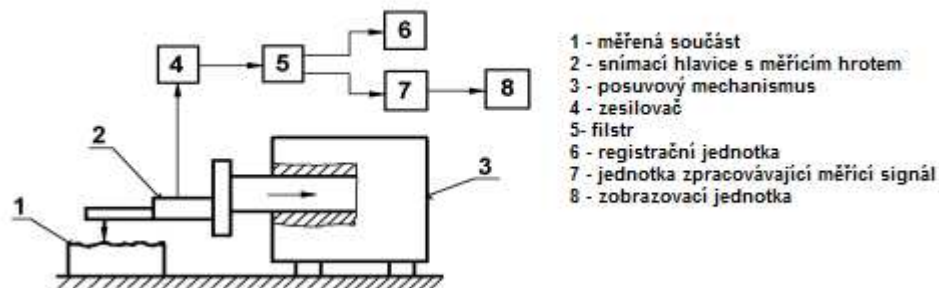
**Závěr:** Jestliže  $|T| > t_p(n_1 + n_2 - 2)$ , zamítneme  $H_0$ . [7]

## 2 PRINCIP SNÍMANÍ KONTAKTNÍM A BEZKONTAKTNÍM ZPŮSOBEM

Standardní dotyková měření struktury povrchu jsou v souvislosti s vývojem nových konstrukčních materiálů a výrobních technologií stále častěji nahrazována nebo doplňována bezdotykovými metodami snímání profilu povrchu.

### 2.1 Kontaktní snímání

Tento způsob měření umožňuje zjistit číselné hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti. Lze ji využít pro spektrální a statistická hodnocení nerovnosti povrchu.



Obrázek 23: Princip měření dotykovým profilometrem [12]

Dotykový profilometr se skládá z elektronické a mechanické části.

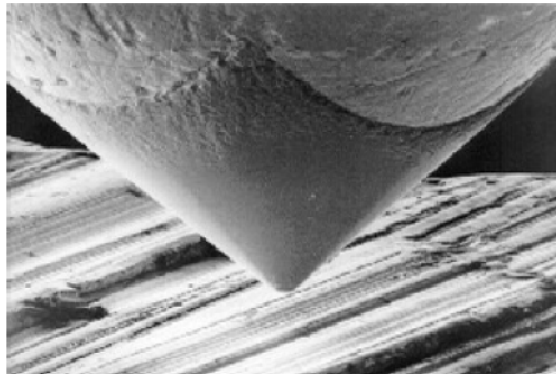
Mechanická část se skládá:

- ◆ ze stolku (slouží k umístění měřené součásti),
- ◆ z ramene se snímacím hrotem (hrot snímá nerovnosti povrchu),
- ◆ z elektromotoru (zajišťuje přímočarý vratný pohyb).

Elektronická část má za úkol transformovat mechanický signál, generovaný snímacím hrotem sledující nerovnosti povrchu měřené plochy, na elektrický signál.

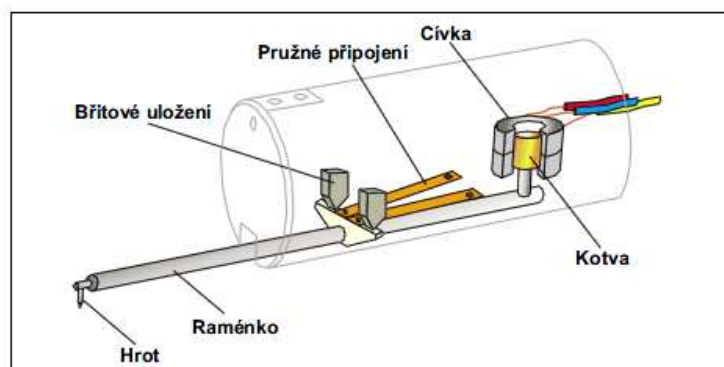
Pohyb snímacího hrotu musí být velmi přesný co do rovnoměrnosti a přímosti. S ohledem na dynamické vlastnosti snímacího systému se musí volit určitá rychlost, aby nedošlo k poškození povrchu a k věrnému snímání nerovnosti. Tvar hrotu je kužel zaoblen

na 2, 5, 10  $\mu\text{m}$  pod úhlem  $90^\circ$ , používaný na měření plastů nebo pod úhlem  $60^\circ$  na měření kovů. [16]



Obrázek 24: Měřící hrot [12]

Pro zpracování vstupního signálu se používají dva druhy snímačů – piezoelektrický, který je vhodný pro přenosné drsnoměry a indukční, vhodný pro přesnější měření. Pro co nejpresnější kopírování profilu je potřeba, při skluzu hrotu, vyvodit měřící sílu. Tato síla se pro indukční snímače pohybuje v jednotkách mN až do 10mN pro piezoelektrické snímače. Při příliš velké síle by se diamantový hrot vryl do povrchu a zkreslil by výsledky měření. [16]



Obrázek 25: Indukční snímač [11]

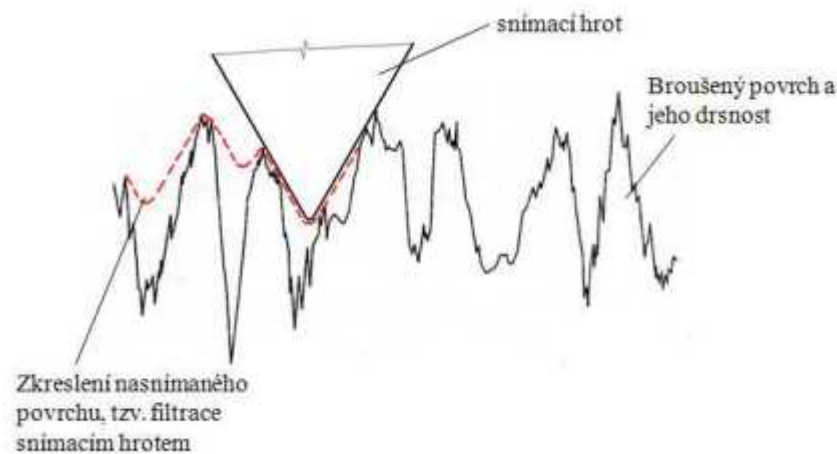
Nevýhody kontaktního způsobu:

- ◆ možnost znehodnocení vzorku při měření,
- ◆ problém vyhodnocení struktury ve 3D,

- ◆ potřeba velká a přístupná plocha pro hrot přístroje,
- ◆ větší nepřesnost měření,
- ◆ daná rychlost – při zvýšení by hrot odskakoval od povrchu,
- ◆ některé povrchy se tímto způsobem nedají měřit,
- ◆ tzv. filtrace snímacím hrotem (obrázek 26).

Výhody kontaktního způsobu:

- ◆ snadná obsluha,
- ◆ rychle měření a přímé čtení výsledků,
- ◆ malé rozměry snímače,
- ◆ tolerance vůči znečištění. [9]



Obrázek 26: Problematika snímání povrchu kontaktním způsobem dle normy ČSN EN ISO 4288 z roku 1999 [8]

## 2.2 Bezkontaktní snímání

Měřicí přístroje uplatňují především optické způsoby snímání povrchu a využívají přesnější a výkonnější pohybové i náhonové uzly. Profil povrchu je snímán mnohem rychleji a především je získán popis textury podstatně větším počtem datových údajů. Programové za-

bezpečení se soustřeďuje nejen na přípravu a provedení vlastního měření, ale především na zpracování a vyhodnocení naměřených hodnot.

Nahrazuje dotykové snímání při měření povrchů citlivých na mechanické poškození měkkých materiálů apod. Kontrolovaný povrch je sledován zaostřenou měřicí hlavou, jejíž programem řízené nastavení je jednoduché a rychlé.

Výhody bezkontaktního snímání:

- ◆ velká rychlost snímání,
- ◆ měření na citlivých materiálech,
- ◆ součást nemůže poškodit snímač.

Nevýhody bezkontaktního snímání:

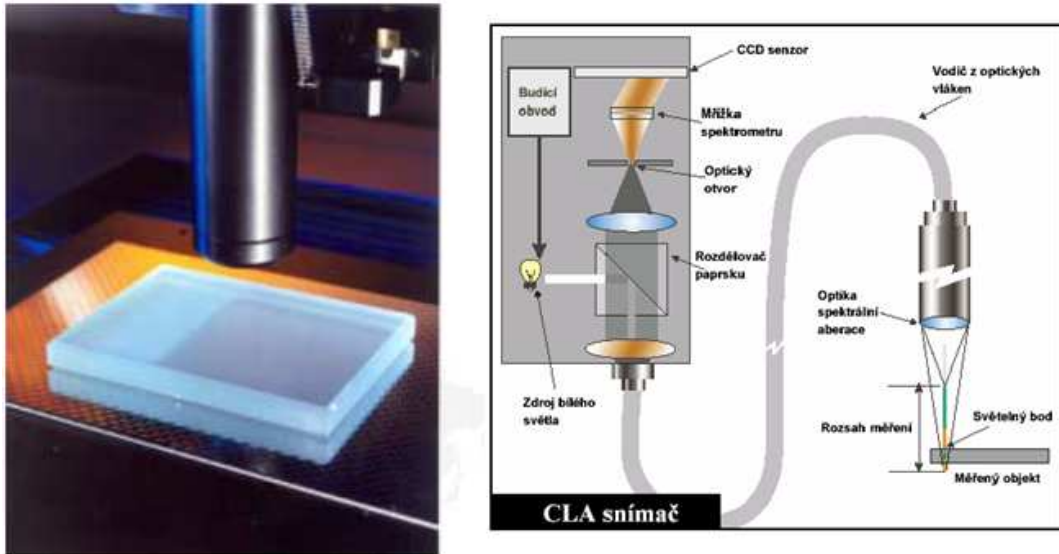
- ◆ snímaný povrch musí být čistý,
- ◆ vysoká cena,
- ◆ umístění na antivibrační podložce,
- ◆ omezení dle tvaru a rozměrů součásti. [9]

### 2.2.1 CLA snímač

Princip snímání je založen na bílém světle, které je rozkládáno a optikou se spektrální aberací je směřováno na kontrolovaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka.

Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr vychýlí světlo na CCD senzor, kde je každému bodu přiřazena prostorová poloha. [11]



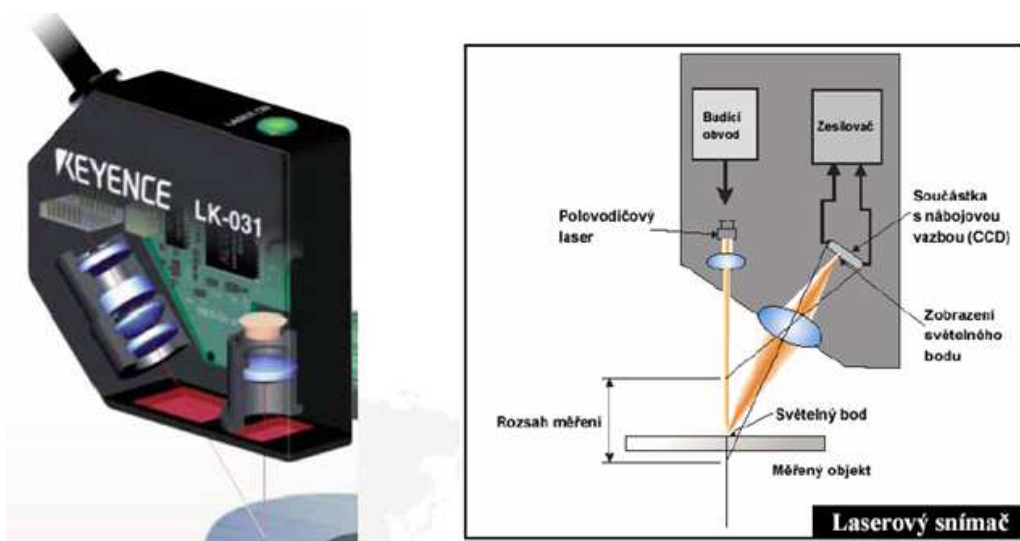


Obrázek 27: Schéma CLA snímače [10]

### 2.2.2 Laserový snímač

Paprsek polovodičového laseru se odrazí od měřeného povrchu do přijímacího optického systému. Paprsek je zaostřen na CCD snímacím poli.

CCD zajišťuje špičkovou hodnotu rozdělení množství světla v bodě paprsku. CCD obrazové prvky na ploše bodu paprsku jsou použity pro určení přesné polohy zaměřeného bodu. [11]



Obrázek 28: Schéma laserového snímače [10]

### 2.2.3 Měřicí technika Taylor Hobson

Výrobce měřicí techniky s dlouholetou tradicí Taylor Hobson Ltd. se soustřeďuje nejen na přípravu vysoce kvalitních systémů a přístrojů na měření textury i tvaru povrchu, ale současně je aktivně zapojen do přípravy i normalizace metodik měření, zpracování výsledků a jejich vyhodnocení formou parametrů. Zvláštní pozornost věnuje i konkrétnímu využití kontrolních postupů a získaných výsledků pro posuzování funkčních vlastností povrchu. V současné době Taylor Hobson nabízí plynule inovovaný komplexní program prostorového hodnocení textury povrchu Talymap, který lze využít u následujících měřicích systémů:

**Form Talysurf PGI** – přístroje s dotykovým snímačem a interferometrickým měřicím systémem. Základními přednostmi přístrojů je velký rozsah měření - horizontálně 200 mm, vertikální zdvih snímače 12,5 mm, mimořádné rozlišení přístroje až 0,8 nm a automatická kalibrace.

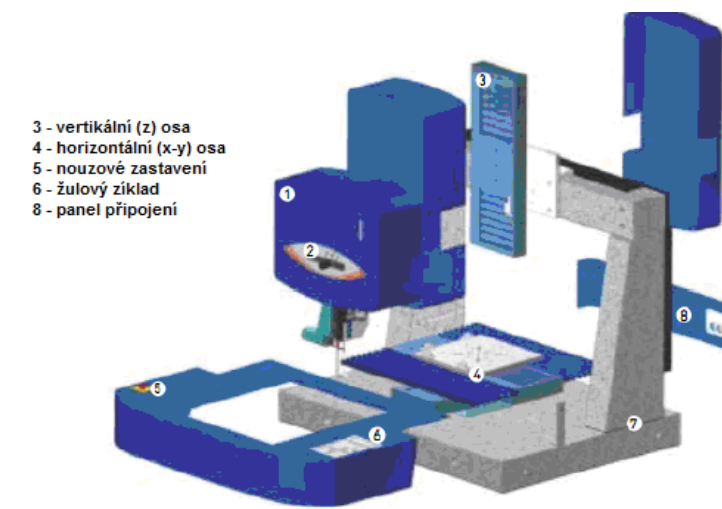
**Talysurf CCI** - interferometrický měřicí systém přístroje pro bezkontaktní kontrolu a analýzy drsnosti, vertikálních převýšení a mikrorozměrů. Unikátní je přesnost měření – rozlišitelnost 0,1Å (10pm) v celém rozsahu měření 100 µm a získání více než jednoho milionu datových bodů z jednoho měření.

**Talysurf CLI** – přístroje CLI jsou vysoce účinnými měřicími prostředky k provádění rychlého prostorového měření a hodnocení povrchu s vysokým rozlišením. Systém CLI nabízí možnosti měření a analýzy povrchu ve třech osách, s využitím dotykové nebo bezdotykové měřicí techniky. Snadno ovladatelné a výkonné měřicí přístroje, vhodné i pro kontrolu velkého počtu součástí, jsou připraveny provádět analýzu dat při hodnocení struktury povrchu z jednoho profilu řezu (2D) i profilu plochy povrchu (3D).

Hlavní předností přístrojů je univerzálnost jejich využití, která vyplývá z možností systému měřit buď indukčním dotykovým způsobem Form Talysurf, nebo bezdotykovým způsobem reprezentovaným laserovou triangulační sondou a CLA konfokálním snímačem. Uvedené tři způsoby měření zajišťují prakticky neomezené možnosti měření struktury povrchu z hlediska jakosti, přesnosti a druhu materiálu součástí. Navíc je systém CLI vybaven automatickým posuvem ve všech osách (X, Y, Z), s rychlostí až do 30 mm/s, což umožňuje rychlé automatické měření. Připravenost přístroje pro kontrolu širokého sortimentu součástí dokumentuje i velikost měřicího prostoru (max. 200 x 200 x 200 mm) a nosnost stolu (max. 20 kg).

Praktickou předností Talysurf CLI je spojení tradičního 2D a prostorového hodnocení 3D do jednoho výkonného přístroje. I když je systém CLI speciálně konstruován pro měření 3D, je současně vybaven mechanickými i analytickými prostředky pro komplexní měření 2D. Lze tak jedním přístrojem monitorovat výzkum a vývoj, provádět studijní analýzy (např. opotřebení), rutinní inspekci i řídit výrobní procesy. Vedle zřejmého ekonomického přínosu má uživatel stále možnost porovnávat výsledky měření se všemi, kteří ještě používají jen tradiční měření 2D. Univerzálnost systému Talysurf CLI zajišťuje možnost využití na jednom přístroji až čtyři různé měřicí hlavy ke kontrole všech kombinací materiálů a kvality povrchů součástí.

Základem programového vybavení přístrojů Talysurf CLI je firemní program Talymap, který zabezpečuje veškeré řídicí, kontrolní, vyhodnocovací i informační služby. Výkonný program pro analýzu dat zahrnuje standardní funkce vyhodnocení struktury povrchu 2D a 3D, včetně vyjmutí profilu 2D z povrchu 3D, měření ploch a objemů, výšky a vzdáleností stupňů, analýzy výstupků, nosného podílu, velikost a hustotu zrn, atd. Významná je vybavenost zařízení pro automatizaci měření. Možnost programování automatického měření dávek součástí zefektivní jejich kontrolu. Použití nabízených měřících postupů nejen urychlí proces analýzy, ale současně zajistí jednotnou formu prezentace výsledků měření. Přístroje Talysurf CLI používají k hodnocení struktury povrchu všeobecně respektované parametry, včetně celého souboru pro prostorové hodnocení povrchu, a přispívají tak k tomu, že se třetí rozměr stává snadno dostupným a srozumitelným v metrologii povrchu. [17]



Obrázek 29: CLI snímač [10]

### 2.3 Vhodný měřicí systém

Důležitým rozhodujícím faktorem, zda měřit dotykovým nebo bezdotykovým systémem, je rozsah měření, rozlišení a rychlosti snímání. Pomocí tabulek 2 a 3 se snadněji stanoví nejvhodnější metoda snímání součástky.[17]

Tabulka 2: Přehled technických údajů [17]

Typ měřidla	Rozsah	Rozlišení	Rychlost
Indukční	0,1 mm	2nm	3 mm/sec
	2,5 mm	40 nm	
CLA	3,0 mm	100 nm	30 mm/sec
CLA	1,0 mm	30 nm	30 mm/sec
CLA	300 μm	10 nm	30 mm/sec
Laser	10 mm	1 μm	30 mm/sec
Laser	30 nm	3 μm	30 mm/sec

Poznámka: U indukčního snímače jsou rozsah a rozlišení volitelná, uvedené hodnoty jsou maximální a minimální

Tabulka 3: Přehled výhod systému [17]

Indukční snímač	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dotykové</li> <li>- vynikající rozlišení</li> <li>- měření vnitřních povrchů</li> <li>- vysoká přesnost</li> </ul>
CLA snímač	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bezdotykové</li> <li>- vynikající rozlišení</li> <li>- rychlé snímání</li> <li>- vysoká přesnost</li> </ul>
Laserový snímač	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bezdotykové</li> <li>- široký rozsah</li> <li>- rychlost kontroly</li> <li>- efektivní cena</li> </ul>

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

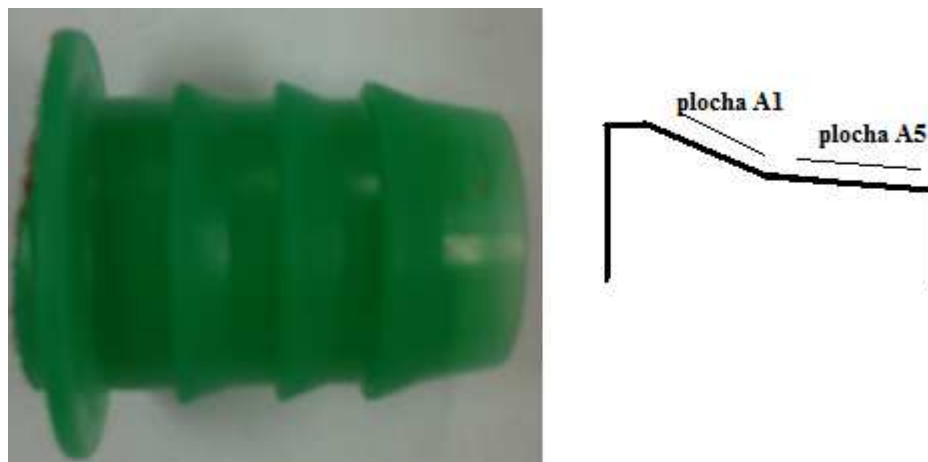
### 3 PŘÍPRAVA VZORKŮ A MĚŘENÍ DRSNOSTI

Před samotným měřením musí proběhnout příprava součástek a kontrola samotných měřených ploch.

#### 3.1 Vzorky

Vzorky se používají v automobilovém průmyslu jako těsnící součástka v palivovém systému.

Na každém vzorku byly měřeny, dotykovým a bezdotykovým systémem, dvě plochy označeny jako A1 a A5.



Obrázek 30: Označení měřených ploch

Měření probíhalo na šesti vzorcích označených:

- ◆ 0210 – 00099A
- ◆ 0210 – 00098A
- ◆ 0210 – 00097A
- ◆ 0210 – T0028 (černý)
- ◆ 0210 – T0028 (zelený)
- ◆ 0210 – T0024A

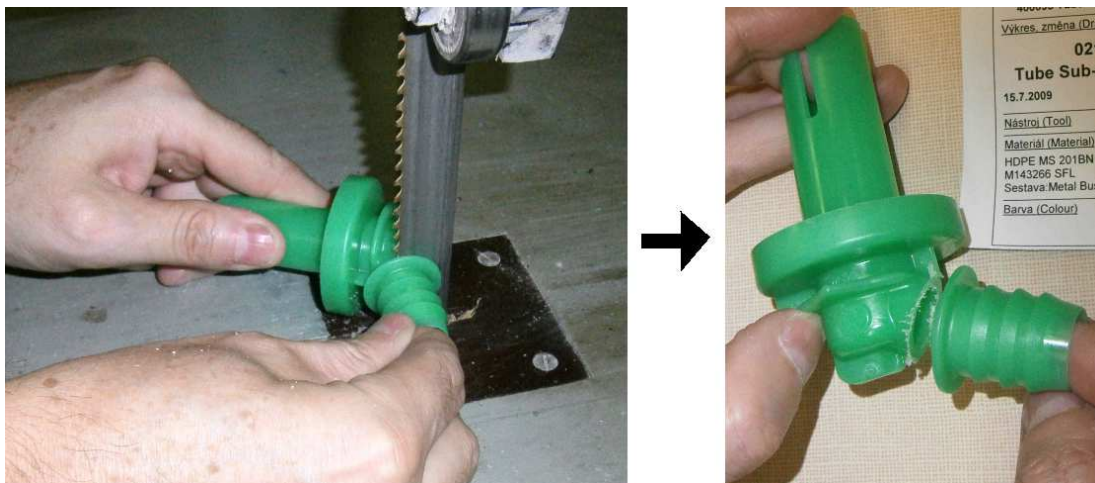


Obrázek 31: Vzorok



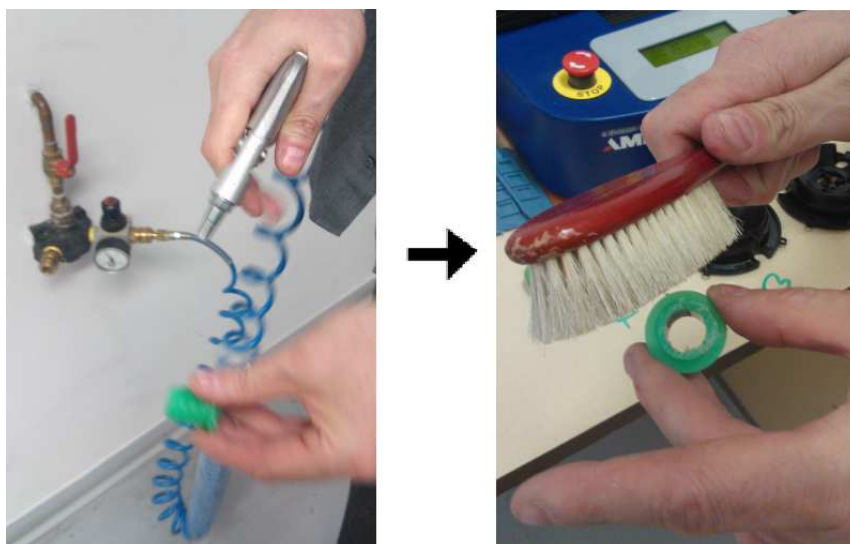
### 3.2 Úprava vzorků

Pro lepší manipulaci a uchycení vzorků do fixační hmoty při samotném měření byly vzorky přeříznuty.



Obrázek 32: Přeříznutí vzorku

Následně musí být vzorek očištěn od veškerých nečistot. Případné nečistoty by mohly zkreslit samotné měření. Vzorky se očistily nejdříve vzduchem a pak kartáčem s jemnými štětinkami.



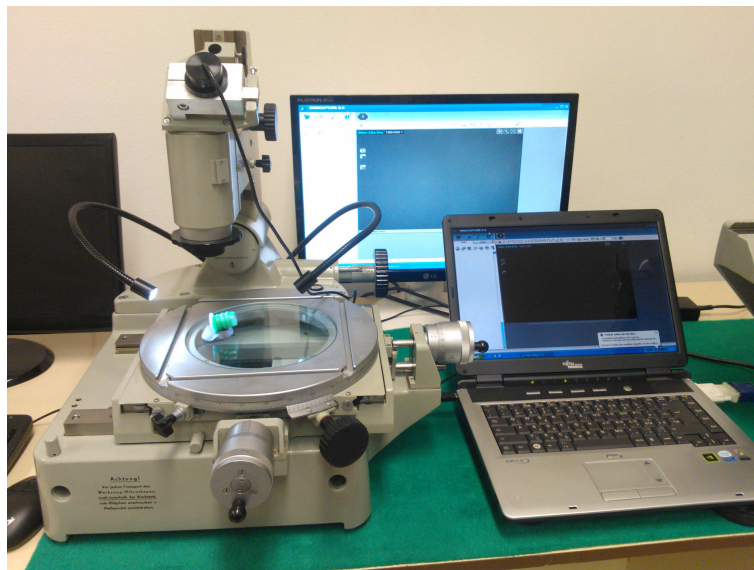
Obrázek 33: Očištění vzorku



### 3.3 Mikroskop s okulárovou kamerou AM423B

Pomocí mikroskopu se zjistilo zda povrch vzorků neobsahuje nečistoty a rýhy, které by ovlivnili měření drsnosti povrchu.

Pod mikroskop byl uchycen vzorek fixační hmotou a dle potřeby nasvícen. Pro snímání bylo použito 50 násobné zvětšení. Dále se naostří povrch vzorku, který je snímám kamerou, která je propojena s výstupem na obrazovku počítače.



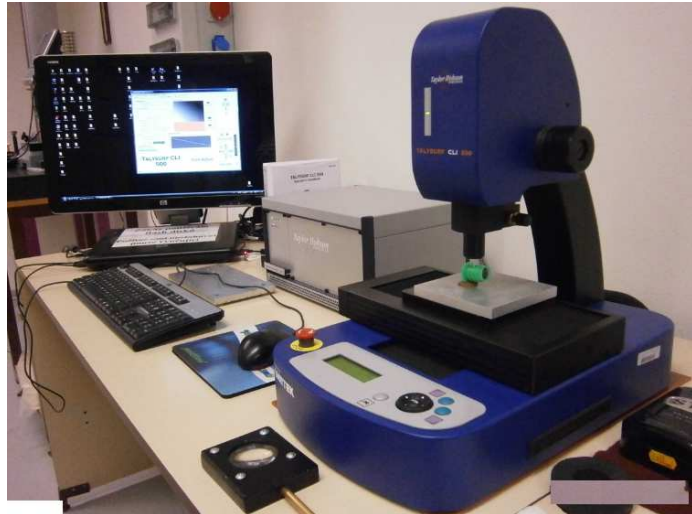
Obrázek 34: Mikroskop s okulárovou kamerou AM423B

### 3.4 Měření drsnosti povrchu

Drsnost povrchu vzorků se měřila bezdotykovým a dotykovým způsobem, aby se jejich výsledky mohly porovnat a vyhodnotit, který z těchto způsobů je přesnější.

#### 3.4.1 Taylor & Hobson - Talysurf CLI 500

Pro měření bezdotykovým způsobem byl použit přístroj Taylor & Hobson se software Talysurf CLI 500. Přístroj Taylor & Hobson je laboratorní měřidlo, které vyžaduje jemné a přesné zacházení, zvláště při manipulaci a usazování vzorku, kdy může dojít k nárazu do čočky přístroje a poškodit ji.



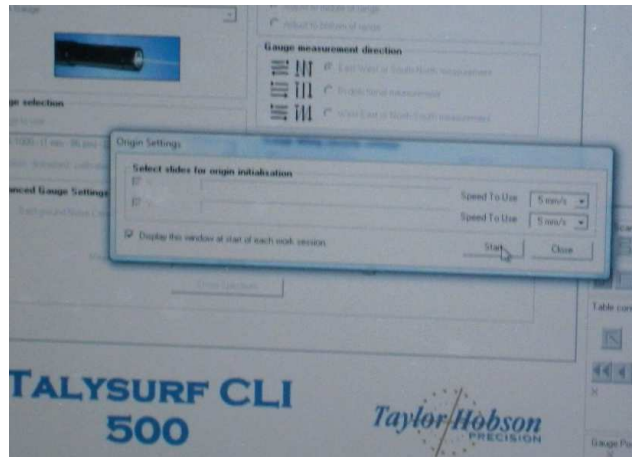
*Obrázek 35: Taylor Hobson Talysurf CLI 500*

Vzorek se nejprve musí pomocí fixační hmoty upevnit k základně. Měřící plocha musí být vodorovná s měřicí čočkou.



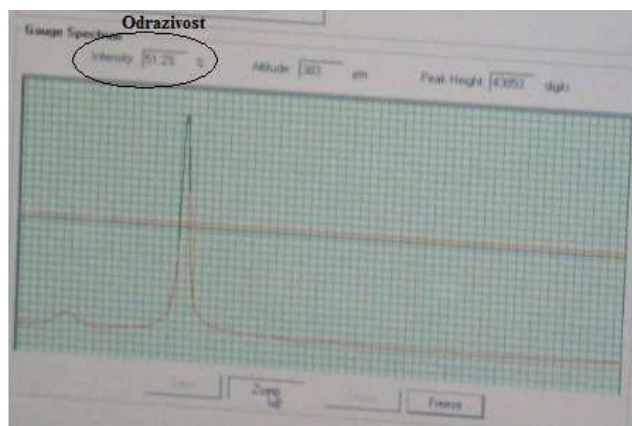
*Obrázek 36: Uchycení vzorku*

Po upevnění měřícího vzorku se spustí software. Prvním krokem je automatická kalibrace přístroje která se po načtení softwaru spustí tlačítkem start.



Obrázek 37: Kalibrace

Následující krok je nastavení odrazivosti. Odrazivost by neměla klesnout po 40%.



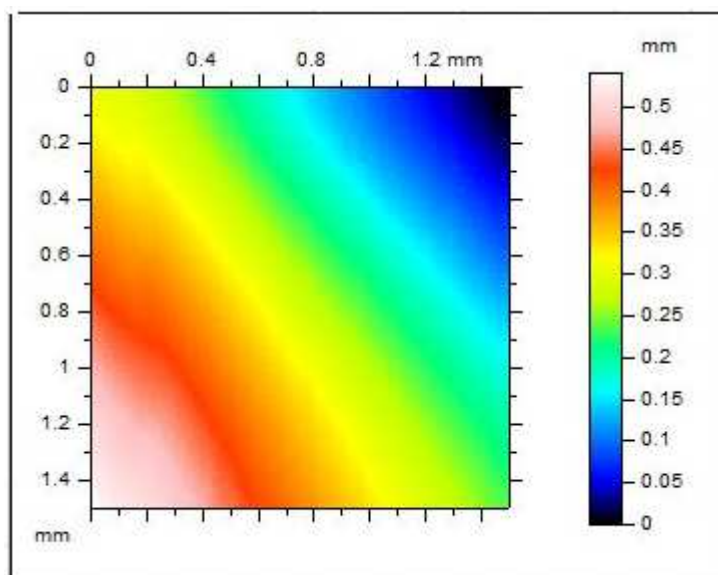
Obrázek 38: Odrazivost

Poslední krok při spuštění samotného měření bylo nastavení snímací plochy. Měřená plocha byla o velikosti 2 mm x 2 mm. Všechny nastavené hodnoty byly dodrženy při měření ostatních vzorků-



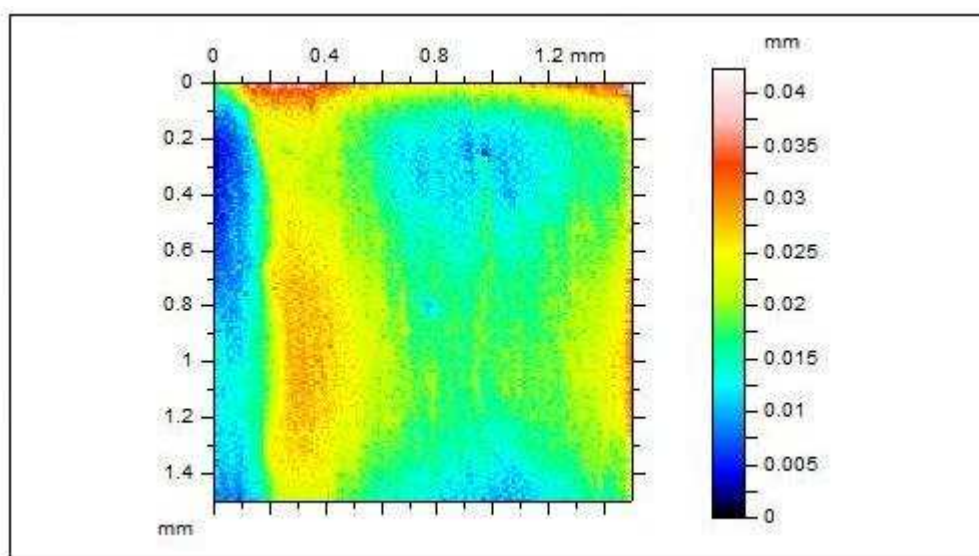
Obrázek 39: Nastavení velikosti snímané plochy

Po dokončení snímání plochy, byl vytvořen v programu TalyMap pracovní soubor s názvem daného vzorku v tomto případě 0210 – T0024A měřená ploch A1.



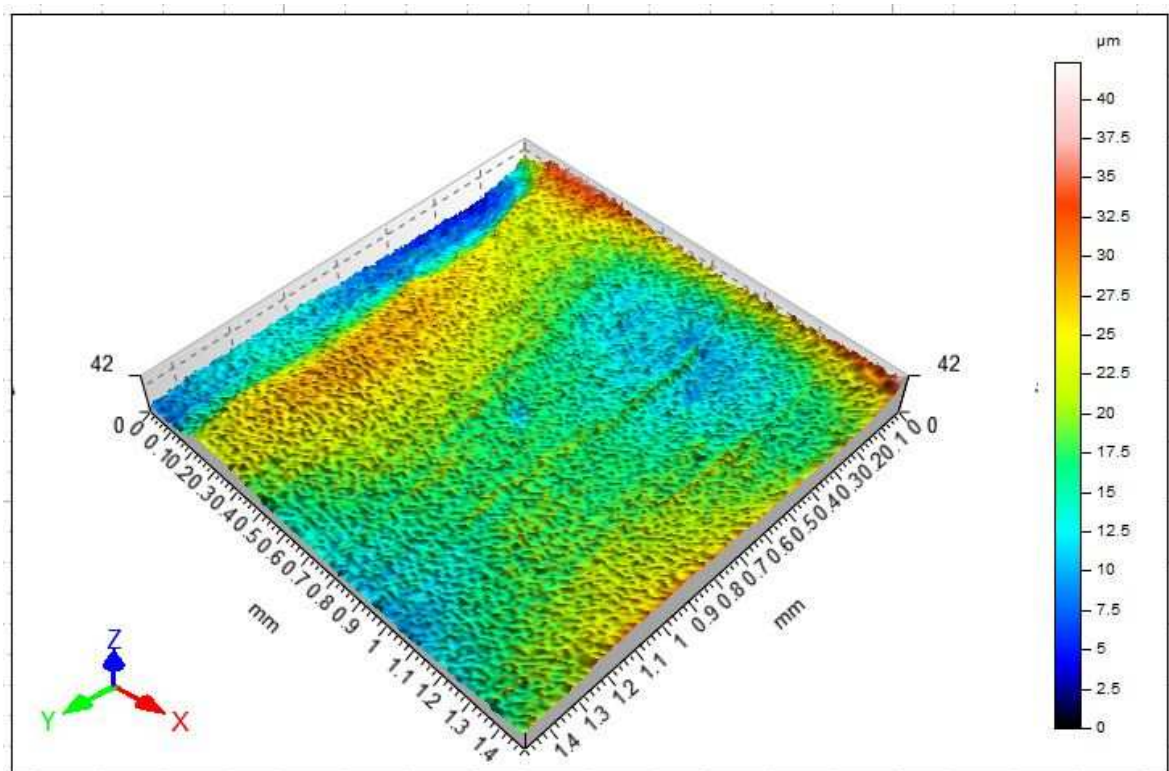
Obrázek 40: Původní vytvořený soubor

U toho vytvořeného souboru se v první řadě vypustil tvar dle normy ČSN EN ISO 4287 a .  
ČSN EN ISO 4288



Obrázek 41: Vypuštění tvaru u vzorku 0210 – T0024A ploch A

Po vypuštění tvaru se nasnímaná plocha převedla do 3D obrazu, ke kterému byly přidáno osa, měřítko a stupnice.



Obrázek 42: 3D obraz vzorku 0210 – T0024A ploch A1

Na takto upravené ploše byl proveden rozbor ploch v příčném a podélném řezu. U všech vzorků proběhlo na plochách A1 50 řezů v příčném a podélném směru a u ploch A5 proběhlo 33 řezů jak v příčném tak podélném směru. Z hlediska jakosti povrchu bylo měření zaměřeno na amplitudové parametry, z nichž se nadále porovnávalo jen Ra a Rz.

První byl proveden příčný řez ze směru západ – východ u plochy A1 vzorku 0210 – T0024A. Z těchto řezů získáme potřebné amplitudové parametry, které jsou zobrazené v tabulce 40. Byl také použit Gausovský filtr v základní délce 0,25 mm a také byly započítány i koncové body.

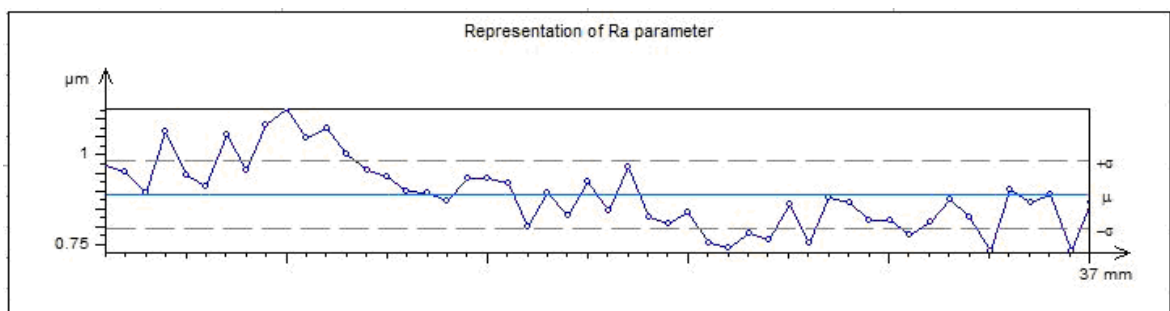


ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	mm	0.00238	0.000437	0.00159	0.00367
Rv	mm	0.00216	0.00035	0.00168	0.00316
Rz	mm	0.00454	0.000669	0.00331	0.00666
Rc	mm	0.00274	0.000325	0.00215	0.00354
Rt	mm	0.00659	0.00146	0.00442	0.0112
Ra	mm	0.000889	9.68e-005	0.000726	0.00113
Rq	mm	0.00112	0.000133	0.000918	0.00149
Rsk		0.358	0.455	-0.497	1.72
Rku		4.07	1.61	2.06	9.36
Ra	mm	0.000982	0.000105	0.000827	0.0012
Material Ratio parameters - Roughness profile					
Rmr	%	3.58	3.69	0.8	20
Rdc	mm	0.00176	0.000186	0.00143	0.00214

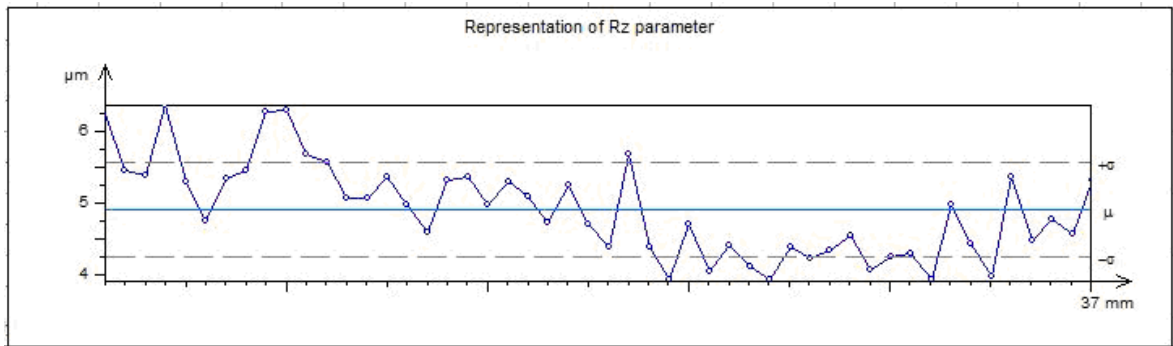
Obrázek 43: Amplitudové parametry v příčném řezu  
u ploch A1 vzorku 0210 – T0024A

Z těchto hodnot byl vytvořen regulační diagram pro parametry Ra a Rz, u kterých byl také použit Gausovský filtr v základní délce 0,25 mm a nastaveno započítávání koncových bodů.

Z regulačních grafů na obrázku 44 a 45 pro Ra a Rz jednoznačně plyne náhodný charakter naměřených dat, tj. hodnot Ra a Rz. Dále je možné vysledovat, že na měřeném povrchu se nevyskytuje žádná hrubá chyba (peak). Dále z grafů je možné vysledovat mírně klesající tendenci hodnot parametrů Ra a Rz.

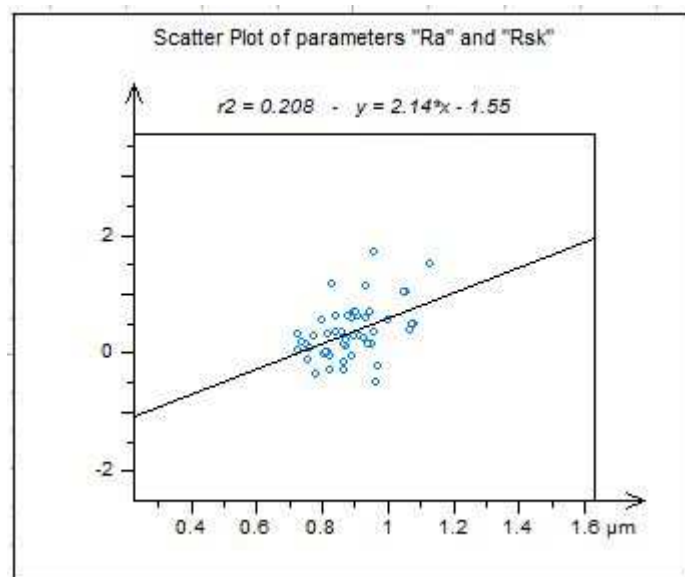


Obrázek 44: Regulační diagram pro parametry Ra pro plochu A1 v příčném  
řezu na vzorku 0210 – T0024A



Obrázek 45: Regulační diagram pro parametry Rz pro plochu A1 v příčném řezu na vzorku 0210 – T0024A

Z amplitudových parametrů byl vytvořen bodový graf zobrazující lineární regresi. Na ose Y leží Ra a na ose X Rsk z toho vyplývá, že čím víc roste Ra tím větší je i Rsk. Tento poměr se řídí se podle rovnice:  $r^2 = 0,208 - y = 2,12x^* - 1,55$



Obrázek 46: Bodový graf pro plochu A1 v příčném řezu na vzorku 0210 – T0024A

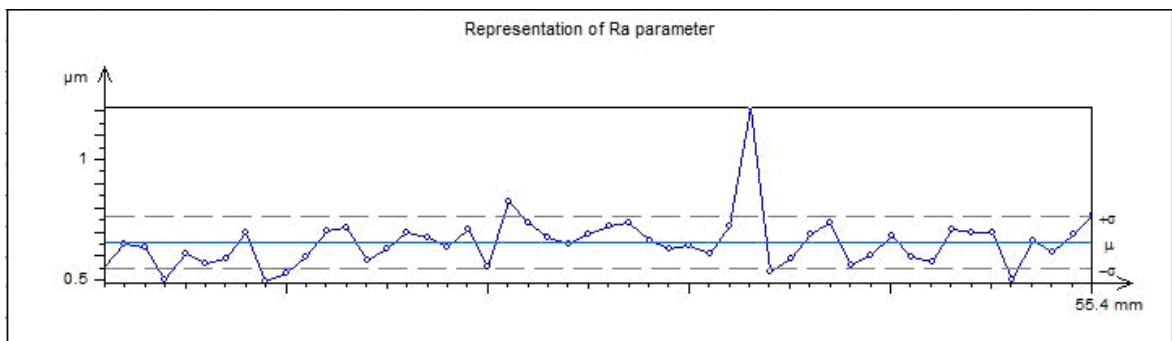
Jako druhý byl proveden podélný řez ze směru sever – jih. u plochy A1 vzorku 0210 – T0024A. V tomto směru postupujeme stejně jako u směru příčném, tj. získáme amplitudové parametry. Z parametru Ra a Rz byl vytvořen regulační diagram. Jak na amplitu-

dové parametry tak i na regulační diagram byl také použit Gaussovský filtr v základní délce 0,25 mm a také byly započítány i koncové body. Nakonec byl v podélném směru vytvořen bodový graf.

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	mm	0.0017	0.000349	0.00112	0.00283
Rv	mm	0.0018	0.000616	0.00106	0.00538
Rz	mm	0.0035	0.00082	0.00254	0.00787
Rc	mm	0.00205	0.000421	0.00146	0.00421
Rt	mm	0.00525	0.00182	0.00333	0.0162
Ra	mm	0.000656	0.000108	0.000489	0.00122
Rq	mm	0.000835	0.000151	0.000622	0.00166
Rsk		-0.208	0.796	-3.7	1.96
Rku		5.15	3.72	2.36	28.1
Ra	mm	0.000847	9e-005	0.000699	0.00117
Material Ratio parameters - Roughness profile					
Rmr	%	6.61	5.99	0.8	20
Rdc	mm	0.00131	0.000165	0.000952	0.00175

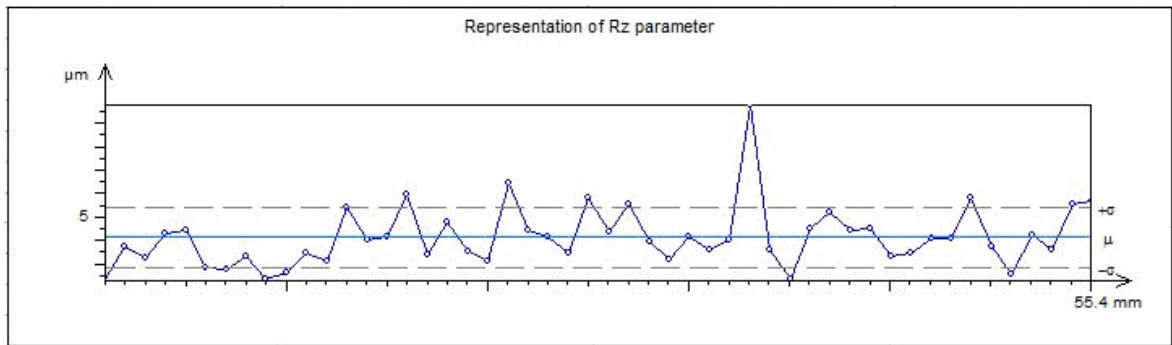
Obrázek 47: Amplitudové parametry v podélném řezu  
u ploch A1 vzorku 0210 – T0024A

Na regulačních diagramech na obrázku 48 a 49 je vidět jeden významný peak, který lze přisoudit k povrchové vadě nebo trhlíně. Po kontrole vzorku pod mikroskopem tato vada byla nalezena.



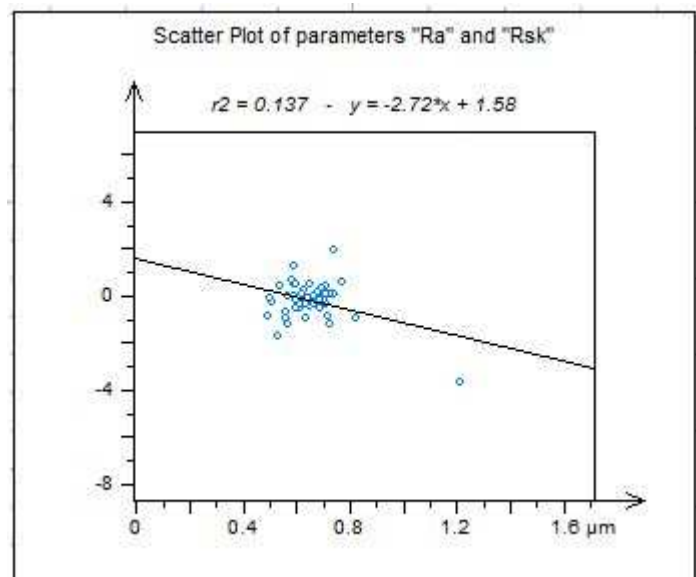
Obrázek 48: Regulační diagram pro parametry Ra pro plochu A1 v podélném  
řezu na vzorku 0210 – T0024A





Obrázek 49: Regulační diagram pro parametry Ra a Rz pro plochu A1 v podélném řezu na vzorku 0210 – T0024A

Na obrázku 50 lze vypočítat, že oproti předchozímu bodovému grafu na obrázku 46, má tento bodový graf klesající tendenci tj. čím menší Ra tím klesá i Rsk. Tato lineární regrese vyplývá z rovnice:  $r2 = 0,173 - y - 2,72x^* - 1,58$



Obrázek 50: Bodový graf pro plochu A1 v podélném řezu na vzorku 0210 – T0024A

### 3.4.2 Přenosný drsnoměr Mitutoyo SJ – 301

Mitutoyo SJ – 301 je přístroj na měření povrchu kontaktním způsobem. Skládá se z LCD dotykového displeje, umožňující snadno čitelné výsledky měření, které se mohou pomocí zabudované tiskárny vytisknout. Nejdůležitější částí přístroje je měřící hrot, který je vyměnitelný podle druhu povrchu.

Tabulka 4: Technické parametry Mitutoyo SJ - 301

Měřené parametry	Ra, Ry, Rz, Rt, Rq, Rv, Sm, S, Pc, R3z, mr, Rpk, Rvk, Rk, Mr1, Mr2, Lo, R, AR, Rx, A1, A2
Rozsah	Ra 0,01 $\mu\text{m}$ - 75 $\mu\text{m}$ Rz 0,02 $\mu\text{m}$ - 300 $\mu\text{m}$
Posuv	0,08; 0,25; 2,5; 8 mm



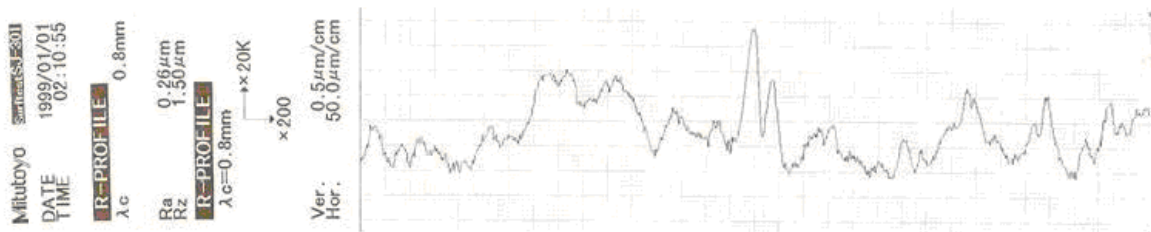
Obrázek 51: Mitutoyo SJ – 301

Před měřením se nejprve musí zkontrolovat, zda je drsnoměru správný měřící hrot na polymery s označením R10. Přístroj se podloží podložkou, aby byl při kalibraci a měření v co nejvíce vodorovné poloze. Přístroj se kalibruje na kalibrační destičce zobrazené na obrázku 52.



Obrázek 52: Kalibrace SJ – 301 pomocí etalonu č . 323995

Dotykovým drsnoměrem Mitutoyo SJ – 301 jsem měřila parametry Ra a Rz jak v podélném, tak i v příčném směru. Tyto parametry byly měřeny na plochách A1 a A5 všech vzorcích. Každé měření proběhlo desetkrát.



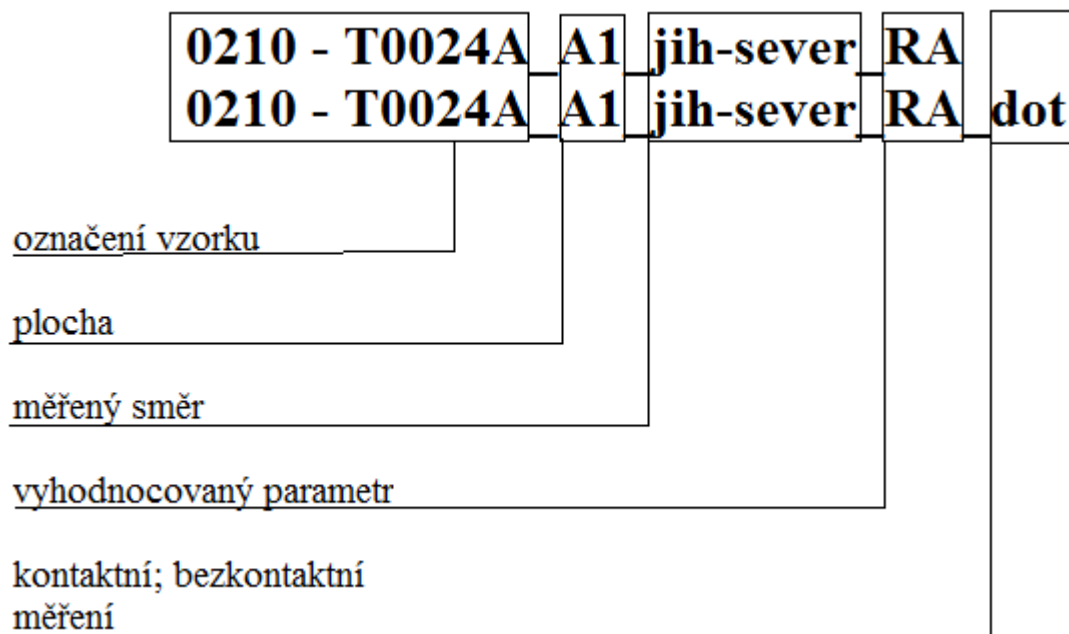
Obrázek 53: Vyhodnocené parametry přístrojem Mitutoyo SJ – 301

#### 4 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH PARAMETRŮ

Získané parametry Ra a Rz získané dotykovým a bezdotykovým měřením bylo nutné převést do programu Minitab 14, kde byly následně naměřená data vyhodnocována.

Naměřená data bezdotykovým způsobem se nejprve z TalyMapu musela převést do Textového editoru. Textový editor byl jediný dostupný program na pracovním počítači u CLA. Jelikož takto uložená data měla místo separátoru tečku, po převedení do programu Minitab, by program tyto data bral jako text a ne jako numerickou hodnotu, proto musely být v textovém editoru veškeré tečky nahrazeny desetinou čárkou.

V Minitabu byla data rozdělena do sloupců podle označení vzorku a podle druhu plochy na kterých se měření provádělo. Každá tato plocha byla rozdělena na příčné a podélné měření s parametry Ra a Rz. Pro lepší představu je rozdělení ukázáno u vzorku 0210 – T0024A na obrázku 54 a 55.



Obrázek 54: Označení vzorků

Worksheet 2 ***				
	C28	C29	C30	C31
	0210-T0024A_5_jih-sever_RA	0210-T0024A_5_jih-sever_RZ	0210-T0024A_5_vychod-zapad_RA	0210-T0024A_5_vychod-zapad_RZ
1	0,280	1,88	0,253	1,24
2	0,300	1,80	0,242	1,20
3	0,292	1,67	0,302	1,38
4	0,280	1,54	0,303	1,77
5	0,303	2,16	0,295	1,80
6	0,289	1,87	0,320	1,79
7	0,348	1,78	0,202	1,28
8	0,238	1,67	0,310	2,09
9	*	1,89	0,256	1,29

Worksheet 2 ***				
	C32	C33	C34	C35
	0210-T0024A_A1_jih-sever_RA	0210-T0024A_A1_jih-sever_RZ	0210-T0024A_A1_vychod-zapad_RA	0210-T0024A_A1_vychod-zapad_RZ
	0,557	2,81	0,972	5,24
	0,650	3,58	0,953	4,45
	0,635	3,21	0,893	4,22
	0,505	3,05	1,070	5,16
	0,610	3,11	0,943	4,03
	0,568	2,82	0,911	4,08
	0,587	2,91	1,060	5,49
	0,699	3,11	0,958	4,63
	0,489	2,65	1,080	6,03

Obrázek 55: Označení vzorků v Minitabu 14

Data naměřená dotykovým systémem byla přidána do stejného sešitu se stejným označením jako data bezdotykového měření s jediným rozdílem. K datům dotykového měření byla přidána zkratka “\_dot“ pro rozeznání mezi daty měřené bezdotykovým a dotykovým způsobem.

#### 4.1 Postup vyhodnocení naměřených dat

Pro srovnání dotykové a bezdotykové metody je potřeba si nejprve položit hypotézy pomocí  $t$  – testu, ke kterému se po dokončení vyhodnocování naměřených hodnot bude vracet. Díky němu se zjistí zda tyto dvě metody měření drsnosti povrchu polymerů se shodují či nikoli.

$T$  – test nemůžeme spočítat ihned a to z důvodu, že nejprve naměřená data musíme zkontrolovat. Poté se spočítá  $f$  – test o rovnosti rozptylů a teprve podle výsledku tohoto testu můžeme spočítat  $t$  – test.

Postup bude znázorněn opět na vzorku 0210 – T0024A, konkrétně na ploše A1 v podélném směru.

Položení hypotéz t - testu:

**Nulová hypotéza:**  $H_0: \mu_{\text{Ra 0210-T0024A\_A1\_jih-sever\_Ra}} = \mu_{\text{Ra 0210-T0024A\_A1\_jih-sever\_RA\_dot}}$

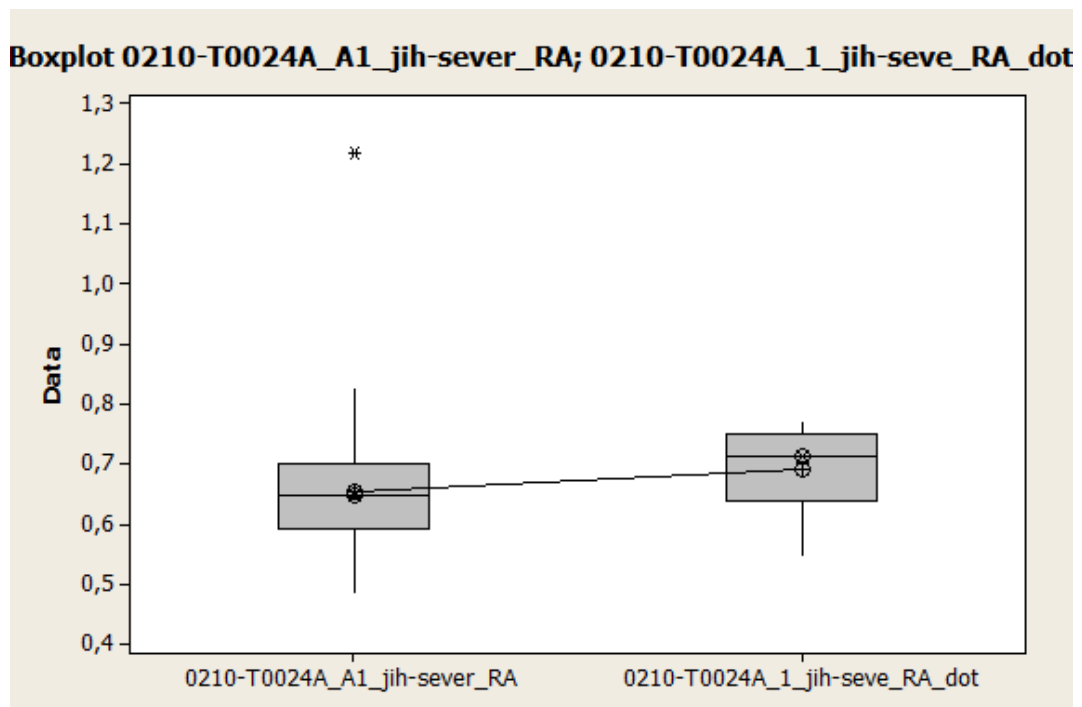
**Alternativní hypotéza:**  $H_1: \mu_{\text{Ra 0210-T0024A\_A1\_jih-sever\_Ra}} \neq \mu_{\text{Ra 0210-T0024A\_A1\_jih-sever\_RA\_dot}}$

s konfidenční úrovní  $1-\alpha = 0,95$  (tj. 5%)

## 4.2 Zjištění vychýlených hodnot

Po vložení veškerých dat do programu Minitab 14 v potřebném formátu a rozdělení jejich kontrola pomocí Boxplotového diagramu. Postup je znázorněn na vzorku 0210 – T0024A na ploše A1 v podélném směru u parametru Ra dotykově a bezdotykově.

Na obrázku 56 můžeme vidět, že u boxplot u bezdotykového měření vykazuje jednu vychýlenou hodnotu. Tato chyba musela být odstraněna, aby se z daty mohlo dál pracovat. Boxplotový diagram dále znázorňuje průměry obou způsobů, které jsou propojeny čárou a druhá hodnota u každého boxplotu znázorňuje medián což je prostřední hodnota měření.



Obrázek 56: Boxplot diagram vzorek 0210 – T0024A plocha A1 v podélném směru dotykovým a bezdotykovým způsobem

### 4.3 Test normality

Data byla dále kontrolována pomocí Kolmogorov-Smirnov testem normality.

Položení hypotéz pro bezdotykové měření:

**Nulová hypotéza:**  $H_0$ : Ra<sub>0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra</sub> pochází ze základního souboru  $N(\mu; \sigma^2)$

**Alternativní hypotéza:**  $H_1$ : Ra<sub>0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra</sub> nepochází ze základního souboru  $N(\mu; \sigma^2)$

s konfidenční úrovní  $1-\alpha = 0,95$  (tj. 5%)

Položení hypotéz pro dotykové měření:

**Nulová hypotéza:**  $H_0$ : Ra<sub>0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra\_dot</sub> pochází ze základního souboru  $N(\mu; \sigma^2)$

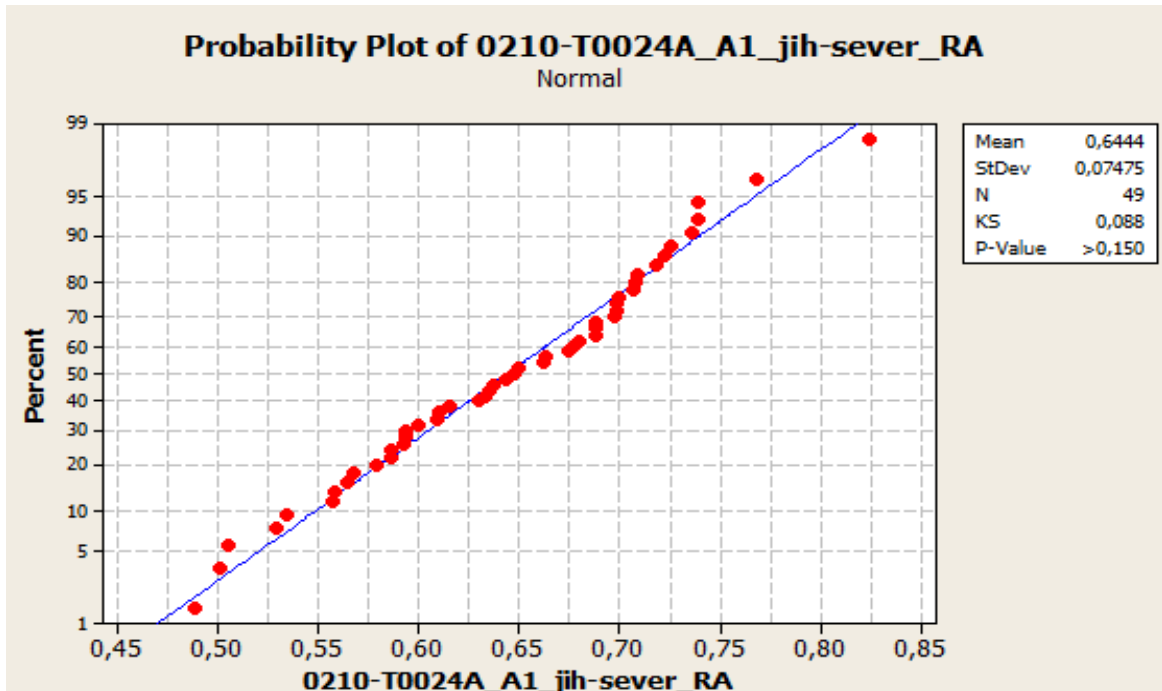
**Alternativní hypotéza:**  $H_1$ : Ra<sub>0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra\_dot</sub> nepochází ze základního souboru  $N(\mu; \sigma^2)$

s konfidenční úrovní  $1-\alpha = 0,95$  (tj. 5%):

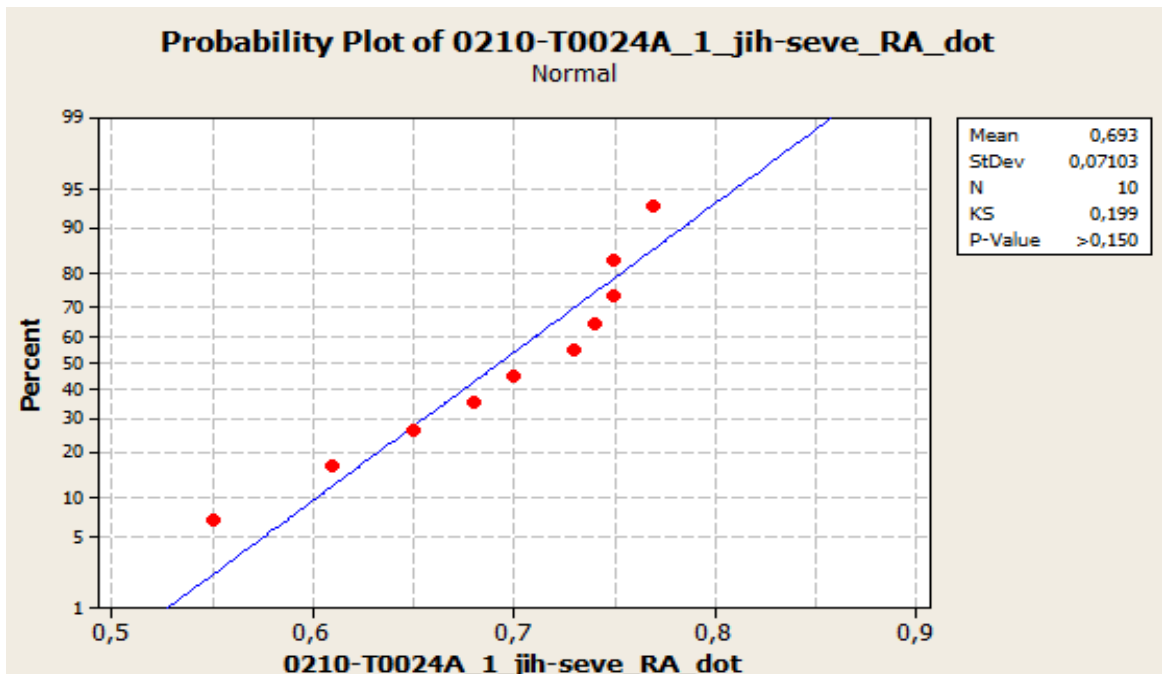
**Testovací kritérium:** Na obrázku 57 a 58 vidíme, že Ra<sub>0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra</sub> a Ra<sub>0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra\_dot</sub> je p – value větší než 0,050.

**Závěr:** U bezdotykového měření nezamítám  $H_0$  s pravděpodobností  $1-\alpha = 0,95$ , že data pocházejí z  $N(\mu; \sigma^2)$ .

U dotykového měření nezamítám  $H_0$  s pravděpodobností  $1-\alpha = 0,95$ , že data pocházejí z  $N(\mu; \sigma^2)$ .



Obrázek 57: Test normality u vzorku 0210 – T0024 na ploše A1 v podélném směru u bezdotykového měření



Obrázek 58: Test normality u vzorku 0210 – T0024 na ploše A1 v podélném směru u dotykového měření



V obrázku 57 a 58 je u bezdotykového i dotykového způsobu  $p$  – value je větší než 0,05. To znamená, že nezamítám normalitu naměřených dat a mohu pokračovat dále ve vyhodnocení parametrickým způsobem.

Tabulka 5: Vyhodnocení testu normalit  $p$  – value u všech vzorků

Vzorek	Směr	Plocha	Ra		Rz	
			bezdot.	dotykově	bezdot.	dotykově
0210-00097A	jih-sever	A5				
0210-00097A	východ- západ	A5				
0210-00097A	jih-sever	A1				
0210-00097A	východ- západ	A1				
0210-00098A	jih-sever	A5				
0210-00098A	východ- západ	A5				
0210-00098A	jih-sever	A1		0,026		
0210-00098A	východ- západ	A1	0,045			
0210-00099A	jih-sever	A5				
0210-00099A	východ- západ	A5				
0210-00099A	jih-sever	A1				
0210-00099A	východ- západ	A1				
0210-T0024A	jih-sever	A5				
0210-T0024A	východ- západ	A5				0,38
0210-T0024A	jih-sever	A1				0,01
0210-T0024A	východ- západ	A1				
0210-T0028čer	jih-sever	A5				
0210-T0028čer	východ- západ	A5				
0210-T0028čer	jih-sever	A1				
0210-T0028čer	východ- západ	A1				
0210-T0028zel	jih-sever	A5				
0210-T0028zel	východ- západ	A5				0,2
0210-T0028zel	jih-sever	A1				
0210-T0028zel	východ- západ	A1				

**Zelená** →  $p$  – value > 0,050 → proto normalitu naměřených dat nezamítám

**červená** →  $p$  – value < 0,050 → proto normalitu naměřených dat zamítám

#### 4.4 F – test

Po kontrole naměřených dat provedeme f– test o rovnosti rozptylů v programu Minitab 14.

Položení hypotéz pro Ra:

**Nulová hypotéza:**  $H_0: \sigma^2_{0210\text{-}T0024A\_A1\_jih\text{-}sever\_Ra} = \sigma^2_{0210\text{-}T0024A\_A1\_jih\text{-}sever\_Ra\_dot}$

**Alternativní hypotéza:**  $H_1: \sigma^2_{0210\text{-}T0024A\_A1\_jih\text{-}sever\_Ra} \neq \sigma^2_{0210\text{-}T0024A\_A1\_jih\text{-}sever\_Ra\_dot}$

s konfidenční úrovní  $1-\alpha = 0,95$  (tj. 5%)

Položení hypotéz pro Rz:

**Nulová hypotéze:**  $H_0: \sigma^2_{0210\text{-}T0024A\_A1\_jih\text{-}sever\_Rz} = \sigma^2_{0210\text{-}T0024A\_A1\_jih\text{-}sever\_Rz\_dot}$

**Alternativní hypotéza:**  $H_1: \sigma^2_{0210\text{-}T0024A\_A1\_jih\text{-}sever\_Rz} \neq \sigma^2_{0210\text{-}T0024A\_A1\_jih\text{-}sever\_Rz\_dot}$

s konfidenční úrovní  $1-\alpha = 0,95$  (tj. 5%)

**Testovací kritérium:** Na obrázku 59 vidíme že pomocí programu Minitam 14 vyšla p – value větší než 0,050.

**Závěr:** Nezamítám  $H_0$  s pravděpodobností  $1-\alpha = 0,95$ .

Method	Test			
	DF1	DF2	Statistic	P-Value
F Test (normal)	48	9	1,11	0,940

Obrázek 59: Výsledek f– testu u vzorku 0210 – T0024A\_A1\_jih-sever\_Ra a 0210 – T0024A\_A1\_jih-sever\_Ra\_dot

Tabulka 6: Vyhodnocení  $f$ -testu  $p$ -value u všech vzorků

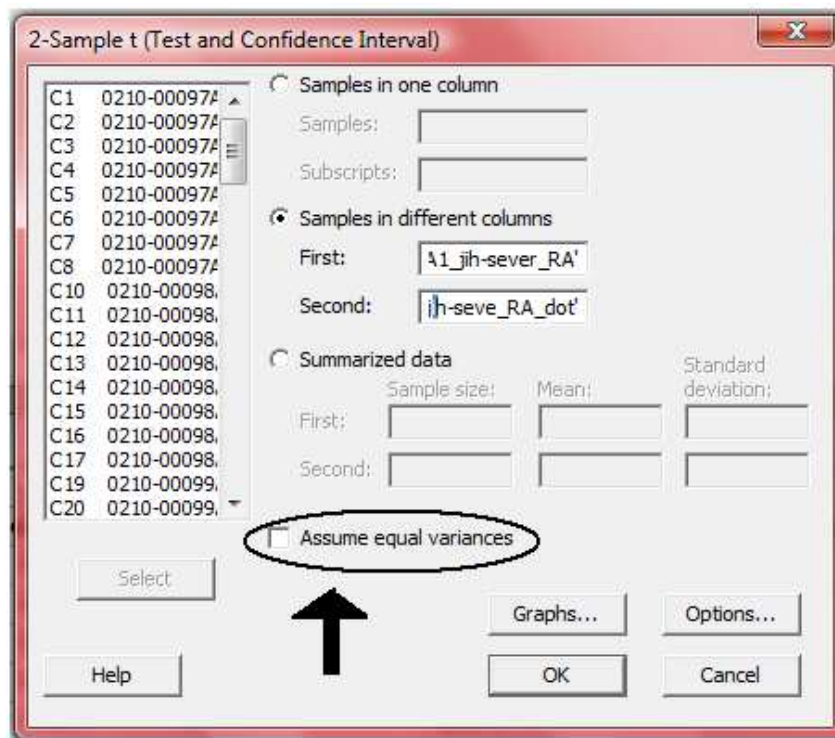
Vzorek	Směr	Plocha	Ra P-value	Rz P-value
0210-00097A	jih-sever	A5	0,001	0,811
0210-00097A	východ- západ	A5	0,110	0,010
0210-00097A	jih-sever	A1	0,001	0,001
0210-00097A	východ- západ	A1	0,001	0,000
0210-00098A	jih-sever	A5	0,218	0,002
0210-00098A	východ- západ	A5	0,000	0,023
0210-00098A	jih-sever	A1	0,026	0,000
0210-00098A	východ- západ	A1	0,000	0,000
0210-00099A	jih-sever	A5	0,000	0,001
0210-00099A	východ- západ	A5	0,343	0,166
0210-00099A	jih-sever	A1	0,067	0,272
0210-00099A	východ- západ	A1	0,001	0,000
0210-T0024A	jih-sever	A5	0,000	0,006
0210-T0024A	východ- západ	A5	0,000	0,173
0210-T0024A	jih-sever	A1	0,940	0,151
0210-T0024A	východ- západ	A1	0,048	0,000
0210-T0028čer	jih-sever	A5	0,488	0,337
0210-T0028čer	východ- západ	A5	0,001	0,000
0210-T0028čer	jih-sever	A1	0,000	0,000
0210-T0028čer	východ- západ	A1	0,000	0,000
0210-T0028zel	jih-sever	A5	0,581	0,000
0210-T0028zel	východ- západ	A5	0,045	0,026
0210-T0028zel	jih-sever	A1	0,000	0,000
0210-T0028zel	východ- západ	A1	0,000	0,000

**Zelená** →  $p$ -value > 0,050 → Nezamítám  $H_0$  s pravděpodobností  $1-\alpha = 0,95$

**červená** →  $p$ -value < 0,050 → Zamítám  $H_0$  ve prospěch  $H_1$  pravděpodobností  $1-\alpha = 0,95$

## 4.5 T – Test

Posledním krokem je vrácení k t – testu, kde byly hypotézy stanoveny na začátku kapitoly 4.1. Výpočet opět probíhal v programu Minitab 14. K propočtu je potřeba výsledku f – testu. V případě, že v testu rozptylů  $H_0$  zamítáme ve prospěch  $H_1$ , v programu Minitab nezaškrtnáme “Assume equal variances“. Pokud  $H_0$  nezamítáme “Assume equal variances“ zaškrtneme.



Obrázek 60: Výsledek rovnosti rozptylů v f – testu

Položení hypotéz pro Ra:

**Nulová hypotéza:**  $H_0: \mu_{\text{Ra 0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra}} = \mu_{\text{Ra 0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra\_dot}}$

**Alternativní hypotéza:**  $H_1: \mu_{\text{Ra 0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra}} \neq \mu_{\text{Ra 0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Ra\_dot}}$

s konfidenční úrovní  $1-\alpha = 0,95$  (tj. 5%)

Položení hypotéz pro Rz:

**Nulová hypotéza:**  $H_0: \mu_{\text{Ra 0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Rz}} = \mu_{\text{Ra 0210-TOO24A\_A1\_jih-sever\_Rz\_dot}}$

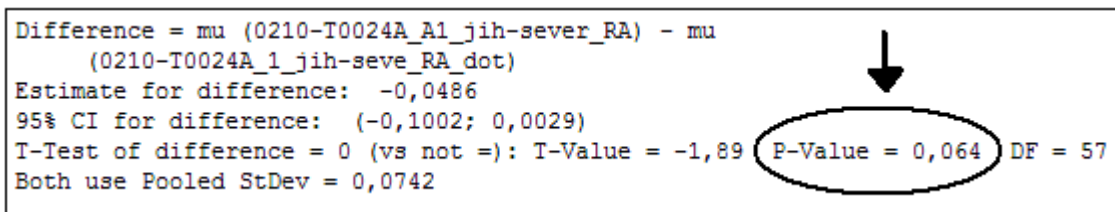
**Alternativní hypotéza:**  $H_1: \mu_{Ra\ 0210-T0024A\_A1\_jih-sever\_Rz} \neq \mu_{Ra\ 0210-T0024A\_A1\_jih-sever\_Rz\_dot}$

s konfidenční úrovní  $1-\alpha = 0,95$  (tj. 5%)

**Testovací kritérium:** Na obrázku 61 vidíme že pomocí programu Minitam vyšla p – value větší než 0,050.

**Závěr:** Nezamítám  $H_0$  s pravděpodobností  $1-\alpha = 0,95$ .

Při měření RA dílu 0210 – 0024A v podélném směru záleží na tom, zda budu měřit hodnotu Ra dotykově či bezdotykově.



```
Difference = mu (0210-T0024A_A1_jih-sever_RA) - mu
(0210-T0024A_1_jih-seve_RA_dot)
Estimate for difference: -0,0486
95% CI for difference: (-0,1002; 0,0029)
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1,89 P-Value = 0,064 DF = 57
Both use Pooled StDev = 0,0742
```

Obrázek 61: Výsledek  $f$  – testu u vzorku 0210 – T0024A\_A1\_jih-sever\_Ra  
a 0210 – T0024A\_A1\_jih-sever\_Ra\_dot

Na dané typy povrchu jak je vidět z tabulky 7 není vhodné využít kontaktní způsob měření, protože z 25 měření pouze pět měření u parametru Ra a také pět měření u parametru Rz došlo k nezamítnutí nulové hypotézy. Jinými slovy je možné konstatovat, že na povrchy, které jsme měřily a vyhodnocovaly má statisticky významný vliv měřidlo.

Tabulka 7: Vyhodnocení  $t$  – testu  $p$  – value u všech vzorků

Vzorek	Směr	Plocha	Ra P-value	Rz P-value
0210-00097A	jih-sever	A5	0,000	0,000
0210-00097A	východ- západ	A5	0,816	0,276
0210-00097A	jih-sever	A1	0,000	0,000
0210-00097A	východ- západ	A1	0,000	0,000
0210-00098A	jih-sever	A5	0,000	0,000
0210-00098A	východ- západ	A5	0,013	0,002
0210-00098A	jih-sever	A1	0,342	0,003
0210-00098A	východ- západ	A1	0,006	0,012
0210-00099A	jih-sever	A5	0,005	0,637
0210-00099A	východ- západ	A5	0,044	0,001
0210-00099A	jih-sever	A1	0,000	0,006
0210-00099A	východ- západ	A1	0,000	0,000
0210-T0024A	jih-sever	A5	0,000	0,210
0210-T0024A	východ- západ	A5	0,407	0,492
0210-T0024A	jih-sever	A1	0,064	0,000
0210-T0024A	východ- západ	A1	0,000	0,000
0210-T0028čer	jih-sever	A5	0,055	0,120
0210-T0028čer	východ- západ	A5	0,000	0,000
0210-T0028čer	jih-sever	A1	0,000	0,000
0210-T0028čer	východ- západ	A1	0,000	0,000
0210-T0028zel	jih-sever	A5	0,023	0,001
0210-T0028zel	východ- západ	A5	0,000	0,000
0210-T0028zel	jih-sever	A1	0,000	0,000
0210-T0028zel	východ- západ	A1	0,000	0,000

**Zelená** →  $p$  – value  $> 0,050$  → Nezamítám  $H_0$  s pravděpodobností  $1-\alpha = 0,95$

**červená** →  $p$  – value  $< 0,050$  → Zamítám  $H_0$  ve prospěch  $H_1$  pravděpodobností  $1-\alpha = 0,95$

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo porovnání výsledků naměřených hodnot parametrů jakosti povrchů polymerních vzorků snímaných kontaktním a bezkontaktním způsobem. Snímání povrchu vzorků bylo prováděno bezkontaktním měřidlem Talysurf CLI 500 a kontaktním měřidlem

Mitutoyo SJ – 301. Byly zjišťovány parametry Ra a Rz.

Dále pomocí programu Minitab 14 bylo provedeno statistické vyhodnocení výsledků:

- ◆ nalezení hrubých chyb,
- ◆ test normality,
- ◆ f – test,
- ◆ t – test.

Pomocí t– testu bylo zjištěno, že pouze 5 hodnot u parametru Ra a 5 hodnot u parametru Rz z celkových 25 se shoduje, což je pouze čtvrtina výsledků. Z toho vyplývá, že dotykovou metodou přístrojem Mitutoyo SJ – 301 není schopen zaznamenat profil povrchu polymerů tak přesně jako metodou bezdotykovou z důvodu filtrace hrotem.

Měřidlo Mitutoyo SJ – 301 slouží pouze jako dílenský přístroj, proto je vhodný pouze k orientačnímu měření. U polymerů jsou výsledky získány tímto měřidlem nevypovídající a nepoužitelné k dalšímu zpracování. Oproti tomu bezdotykový přístroj Talysurf CLI je laboratorní přístroj, který mnohem přesněji vyhodnocuje jakost povrchu.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] BUMBÁLEK, Leoš. KLEKTIV. *Kontrola a měření*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 2009, 206 s. ISBN 978-80-7333-072-9.
- [2] TŮMOVÁ, Olga. *Metrologie a hodnocení procesů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2009, 231 s. ISBN 978-80-7300-249-7.
- [3] WHITEHOUSE, D a D WHITEHOUSE. *Handbook of surface and nanometrology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011, xxiii, 975 p. ISBN 978-142-0082-012.
- [4] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [5] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [6] ČSN EN ISO 13565-1. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [7] BASELIDES, Adam. *Bezkontaktní způsoby měření textury povrchů*. 2013. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Pata, Dr
- [8] JURENA, Pavel. *Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem*. 2011. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Pata, Dr.
- [9] KONEČNÝ, Jan. *Hodnocení struktury povrchu bezkontaktní metodou*. 2013. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=68527](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=68527). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. JIŘÍ PERNIKÁŘ, CSc.
- [10] TOMANEC, Libor. *Hodnocení jakosti obrobeného povrchu dle ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288*. 2012. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce doc. Ing. Vladimír Pata, Dr.
- [11] PATA, Vladimír. *Moderní metody hodnocení textury povrchu*. Přednáška T6JM Jakost a metrologie. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [12] PATA, Vladimír. *Hodnocení textury povrchu*. Přednáška T6JM Jakost a metrologie. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.



- [13] [Http://www.kam.sjf.stuba.sk/](http://www.kam.sjf.stuba.sk/). [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebica/13s.pdf>
- [14] ADAMEC, Václav. *Testy statistických hypotéz* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://user.mendelu.cz/urban/doc/gacr/genstat-testovani-hypotez.pdf>
- [15] *Testování statistických hypotéz* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~oti73/cdpast1/KAP11/KAP12.HTM>
- [16] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie 1. část* [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [17] NOVÁK, Zdeněk. PROSTOROVÉ MĚŘENÍ A HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU PŘÍSTROJI TAYLOR HOBSON Ltd. [online]. [cit. 2014-03-30]. 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)
- [18] Mitutoyo CZ - 17001. [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.cz/ebook/index-cz.html#/539/zoomed>
- [18] SCHOVÁNEK, Petr a Vítězslav HAVRÁNEK. Chyby a nejistoty měření. [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/pext2-nejistoty.pdf>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Třírozměrný prostor
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
$H_0$	Nulová hypotéza [ $\mu\text{m}$ ]
$H_1$	Alternativní hypotéza
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
$l_r$	Základní délka profilu drsnosti
$l_n$	Vyhodnocovaná délka profilu drsnosti
$l_t$	Celková délka snímání
maximum	Maximální hodnota nacházející se ve výběrovém souboru
mean	Odhad aritmetického průměru výběrového souboru
minimum	Minimální hodnota nacházející se ve výběrovém souboru
$n$	Počet základních dělek
$p$	Hladina významnosti
$P_a$	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
$P_c$	Průměrná výška profilu
$P_{mr(c)}$	Materiálový poměr profilu
$P_p$	Největší výška výstupků profilu
$P_q$	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
$P_v$	Největší hlouhka profilu
P – value	P – hodnota
$P_z$	Největší výška profilu
$R_a$	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu

---

range	Variační rozpětí výběrového souboru
Rc	Průměrná výška prvku profilu
Rku	Špičatost posuzovaného profilu
Rmr	Materiálový poměr profilu
Rp	Největší výška profilu
Rq	Průměrná kvadratická úchylka profilu
Rsm	Průměrná šířka prvků profilu
Rt	Celková výška profilu
Rv	Největší prohlubeň profilu
Rz	největší výška profilu
Wc	Průměrná výška prvků profilu
Wmr(c)	Materiálový poměr profilu
Wp	Největší výška výstupku profilu
Wq	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
Wv	největší hloubka profilu
X, Y, Z	Osy v daných směrech
Zp	Výška výstupku profilu
Zt	Výška prvku profilu
Zv	Hloubka prohlubně profilu
$\alpha$	Chyba 1. druhu
1 - $\alpha$	Konfidenční úroveň
$\beta$	Chyba 2. druhu
1 - $\beta$	Síla testu
$\mu$	Průměr výběrového souboru

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Profil povrchu [5]</i> .....	12
<i>Obrázek 2: Drsnost povrchu [12]</i> .....	13
<i>Obrázek 3: Vlnitost povrchu [12]</i> .....	13
<i>Obrázek 4: Tvar povrchu [12]</i> .....	13
<i>Obrázek 5: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [3]</i> .....	14
<i>Obrázek 6: Střední čára [12]</i> .....	14
<i>Obrázek 7: Dráhy snímače [12]</i> .....	15
<i>Obrázek 8: Nefiltrovaný základní profil (prohlubně šrafovány ) [6]</i> .....	15
<i>Obrázek 9: Nefiltrovaný základní profil po potlačení prohlubní [6]</i> .....	16
<i>Obrázek 10: Poloha referenční čáry na základním profilu [6]</i> .....	16
<i>Obrázek 11: Profil drsnosti podle normy ČSN EN ISO 13565-1 [6]</i> .....	16
<i>Obrázek 12: Největší výška výstupků profilu [13]</i> .....	17
<i>Obrázek 13: Největší hloubka prohlubní profilu [13]</i> .....	18
<i>Obrázek 14: Největší výška výstupků profilu [13]</i> .....	18
<i>Obrázek 15: Průměrná výška prvků profilu [13]</i> .....	19
<i>Obrázek 16: Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [12]</i> .....	19
<i>Obrázek 17: Hodnoty Ra [12]</i> .....	20
<i>Obrázek 18: Průměrná šířka prvku profilu [13]</i> .....	21
<i>Obrázek 19: Místní sklon [5]</i> .....	21
<i>Obrázek 20: Hybridní parametry [13]</i> .....	22
<i>Obrázek 21: Horní mez parametru struktury povrchu [4]</i> .....	23
<i>Obrázek 22: Hypotézy <math>H_0</math> a <math>H_1</math>, chyby 1. druhu <math>\alpha</math>, 2. druhu <math>\beta</math> [2]</i> .....	26
<i>Obrázek 23: Princip měření dotykovým profilometrem [12]</i> .....	29
<i>Obrázek 24: Měřící hrot [12]</i> .....	30
<i>Obrázek 25: Indukční snímač [11]</i> .....	30
<i>Obrázek 26: Problematika snímání povrchu kontaktním způsobem dle normy ČSN EN ISO 4288 z roku 1999 [8]</i> .....	31
<i>Obrázek 27: Schéma CLA snímače [10]</i> .....	33
<i>Obrázek 28: Schéma laserového snímače [10]</i> .....	33
<i>Obrázek 29: CLI snímač [10]</i> .....	35
<i>Obrázek 30: Označení měřených ploch</i> .....	38

<i>Obrázek 31: Vzorky</i> .....	39
<i>Obrázek 32: Přeříznutí vzorku</i> .....	40
<i>Obrázek 33: Očištění vzorku</i> .....	40
<i>Obrázek 34: Mikroskop s okulárovou kamerou AM423B</i> .....	41
<i>Obrázek 35: Taylor Hobson Talysurf CLI 500</i> .....	42
<i>Obrázek 36: Uchycení vzorku</i> .....	42
<i>Obrázek 37: Kalibrace</i> .....	43
<i>Obrázek 38: Odrazivost</i> .....	43
<i>Obrázek 39: Nastavení velikosti snímané plochy</i> .....	43
<i>Obrázek 40: Původní vytvořený soubor</i> .....	44
<i>Obrázek 41: Vypuštění tvaru u vzorku 0210 – T0024A ploch A</i> .....	44
<i>Obrázek 42: 3D obraz vzorku 0210 – T0024A ploch A1</i> .....	45
<i>Obrázek 43: Amplitudové parametry v příčném řezu u ploch A1 vzorku 0210 – T0024A</i> .....	46
<i>Obrázek 44: Regulační diagram pro parametry Ra pro plochu A1 v příčném řezu na vzorku 0210 – T0024A</i> .....	46
<i>Obrázek 45: Regulační diagram pro parametry Rz pro plochu A1 v příčném řezu na vzorku 0210 – T0024A</i> .....	47
<i>Obrázek 46: Bodový graf pro plochu A1 v příčném řezu na vzorku 0210 – T0024A</i> .....	47
<i>Obrázek 47: Amplitudové parametry v podélném řezu u ploch A1 vzorku 0210 – T0024A</i> .....	48
<i>Obrázek 48: Regulační diagram pro parametry Ra pro plochu A1 v podélném řezu na vzorku 0210 – T0024A</i> .....	48
<i>Obrázek 49: Regulační diagram pro parametry Ra a Rz pro plochu A1 v podélném řezu na vzorku 0210 – T0024A</i> .....	49
<i>Obrázek 50: Bodový graf pro plochu A1 v podélném řezu na vzorku 0210 – T0024A</i> .....	49
<i>Obrázek 51: Mitutoyo SJ – 301</i> .....	50
<i>Obrázek 52: Kalibrace SJ – 301 pomocí etalonu č. 323995</i> .....	51
<i>Obrázek 53: Vyhodnocené parametry přístrojem Mitutoyo SJ – 301</i> .....	51
<i>Obrázek 54: Označení vzorků</i> .....	52
<i>Obrázek 55: Označení vzorků v Minitabu 14</i> .....	53
<i>Obrázek 56: Boxplot diagram vzorek 0210 – T0024A plocha A1 v podélném směru dotykovým a bezdotykovým způsobem</i> .....	54

<i>Obrázek 57: Test normality u vzorku 0210 – T0024 na ploše A1 v podélném směru u bezdotykového měření .....</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 58: Test normality u vzorku 0210 – T0024 na ploše A1 v podélném směru u dotykového měření.....</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek 59: Výsledek f – testu u vzorku 0210 – T0024A_A1_jih-sever_Ra a 0210 – T0024A_A1_jih-sever_Ra_dot .....</i>	<i>58</i>
<i>Obrázek 60: Výsledek rovnosti rozptylů v f – testu.....</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek 61: Výsledek f – testu u vzorku 0210 – T0024A_A1_jih-sever_Ra a 0210 – T0024A_A1_jih-sever_Ra_dot .....</i>	<i>61</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 1: Chyba prvního a druhého druhu [14] .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabulka 2: Přehled technických údajů [17] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 3: Přehled výhod systému [17] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 4: Technické parametry Mitutoyo SJ - 301 .....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 5: Vyhodnocení testu normality <math>p</math> – value u všech vzorků .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabulka 6: Vyhodnocení <math>f</math> – testu <math>p</math> – value u všech vzorků .....</i>	<i>59</i>
<i>Tabulka 7: Vyhodnocení <math>t</math> – testu <math>p</math> – value u všech vzorků .....</i>	<i>62</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA I: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 0210 – 00099A

PŘÍLOHA II: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 0210 – 00098A

PŘÍLOHA III: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 0210 – 00097A

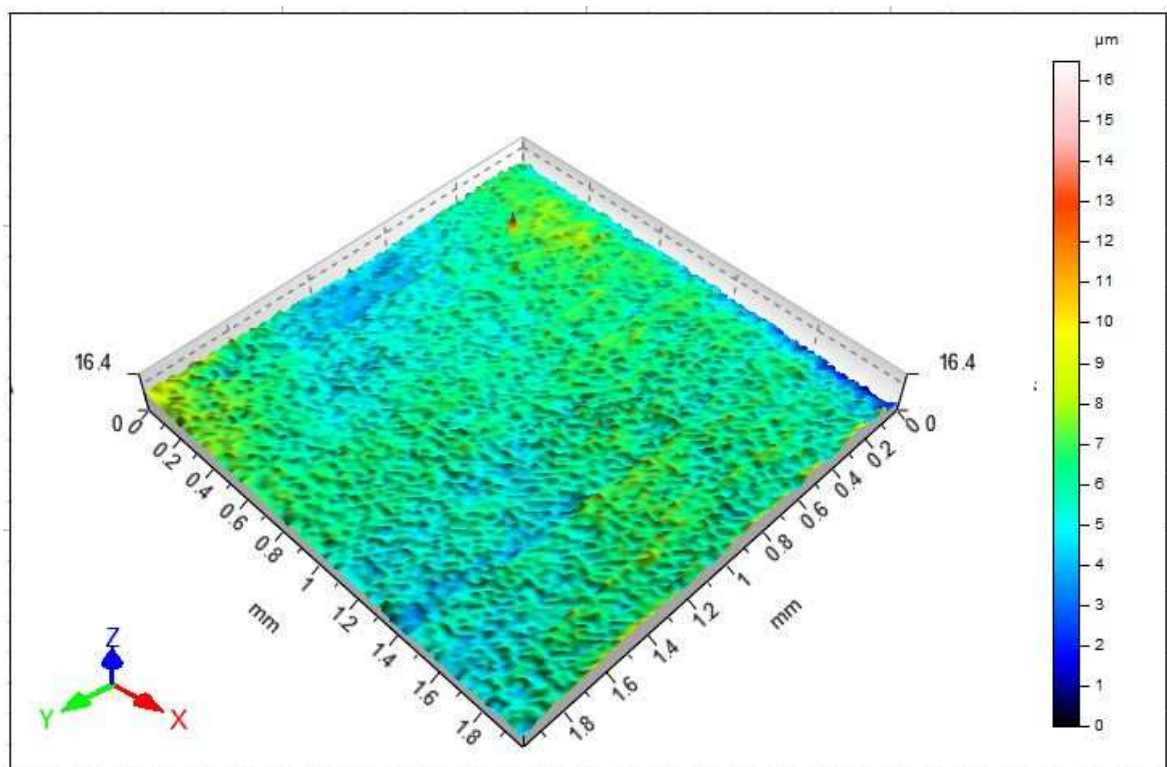
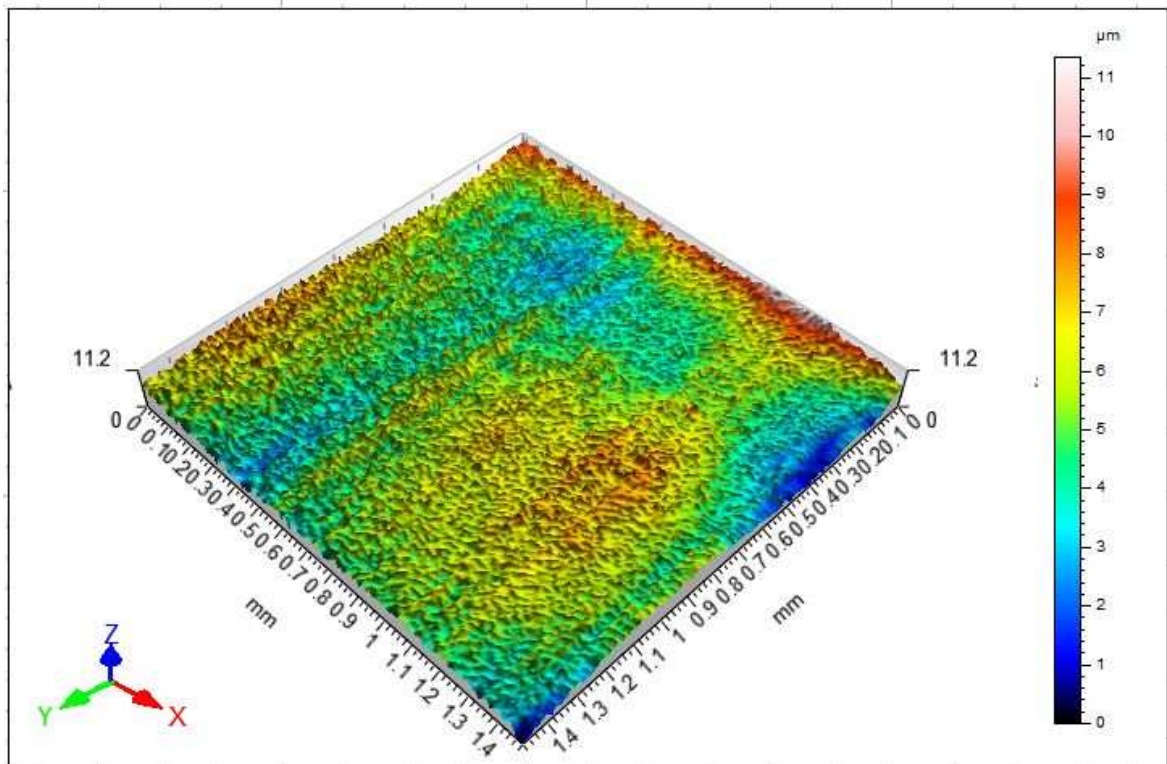
PŘÍLOHA IV: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 0210 – T0028A (ČERNÝ)

PŘÍLOHA V: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 0210 – T0028A (ZELENÝ)

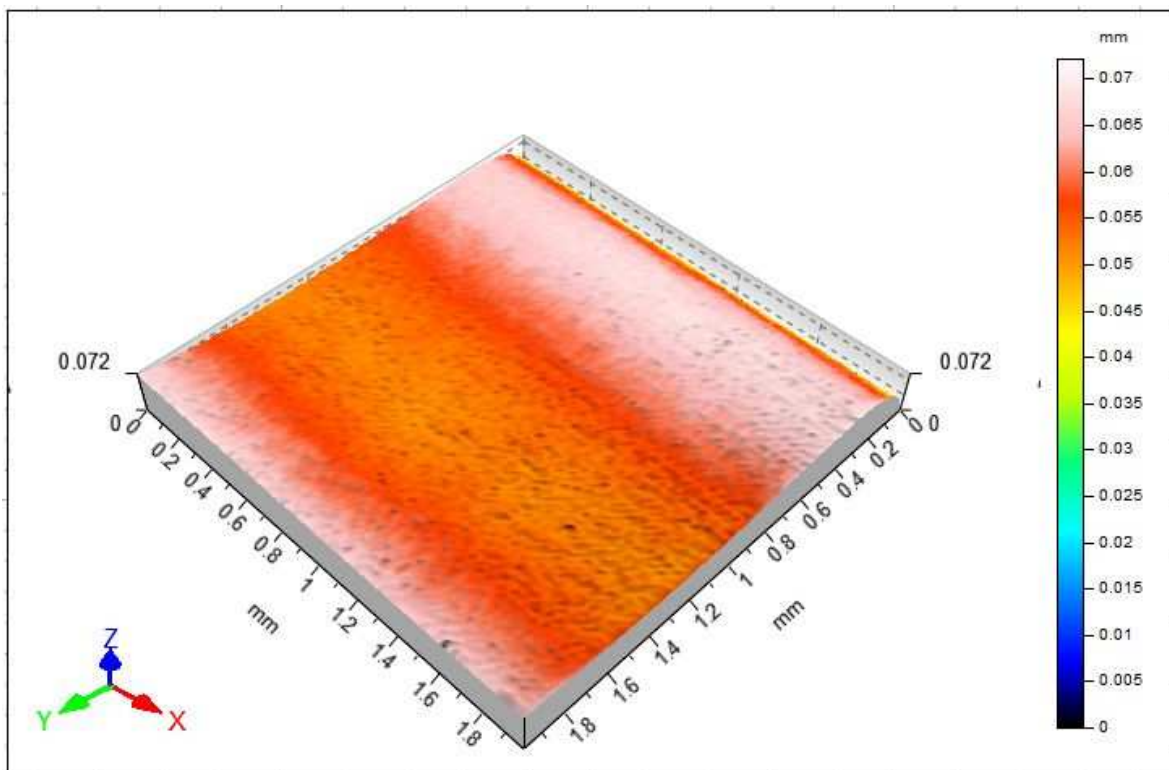
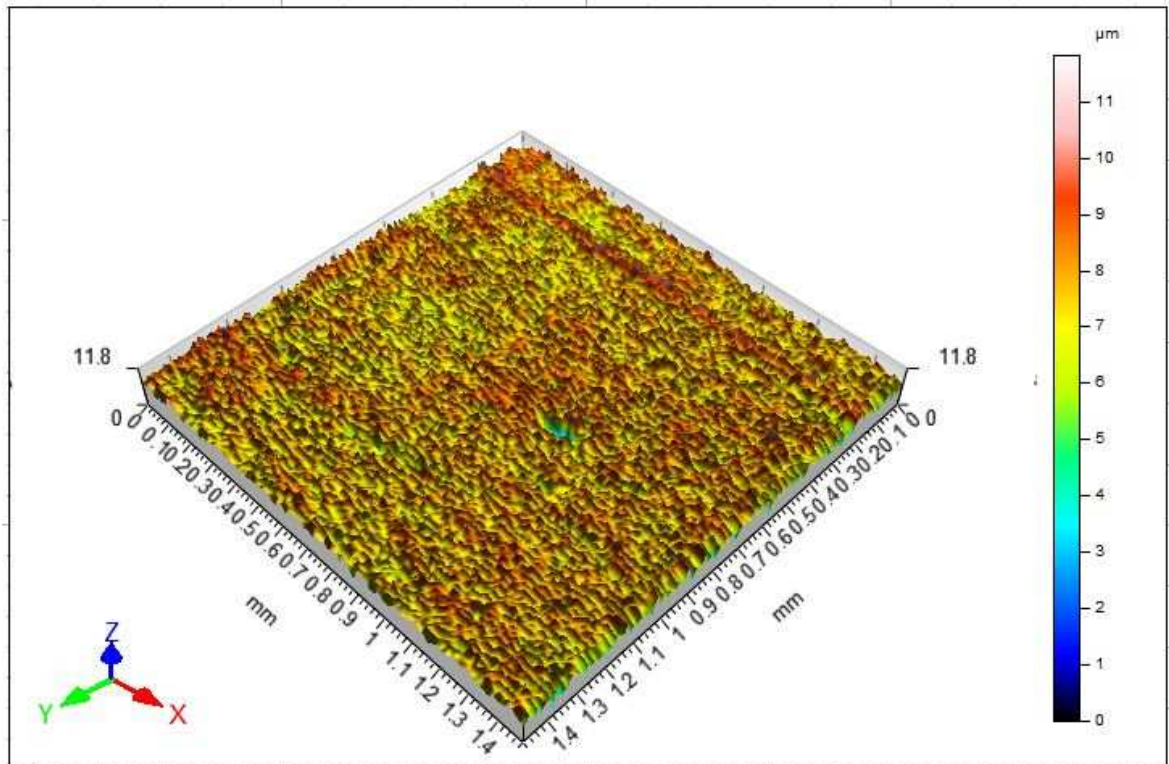
PŘÍLOHA IV: VEŠKERÁ NAMĚŘENÁ DATA JSOU PŘILOŽENA  
V ELEKTRONICKÉ PODOBĚ NA CD



# PŘÍLOHA I: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 VZRORKU 0210 – 00099A

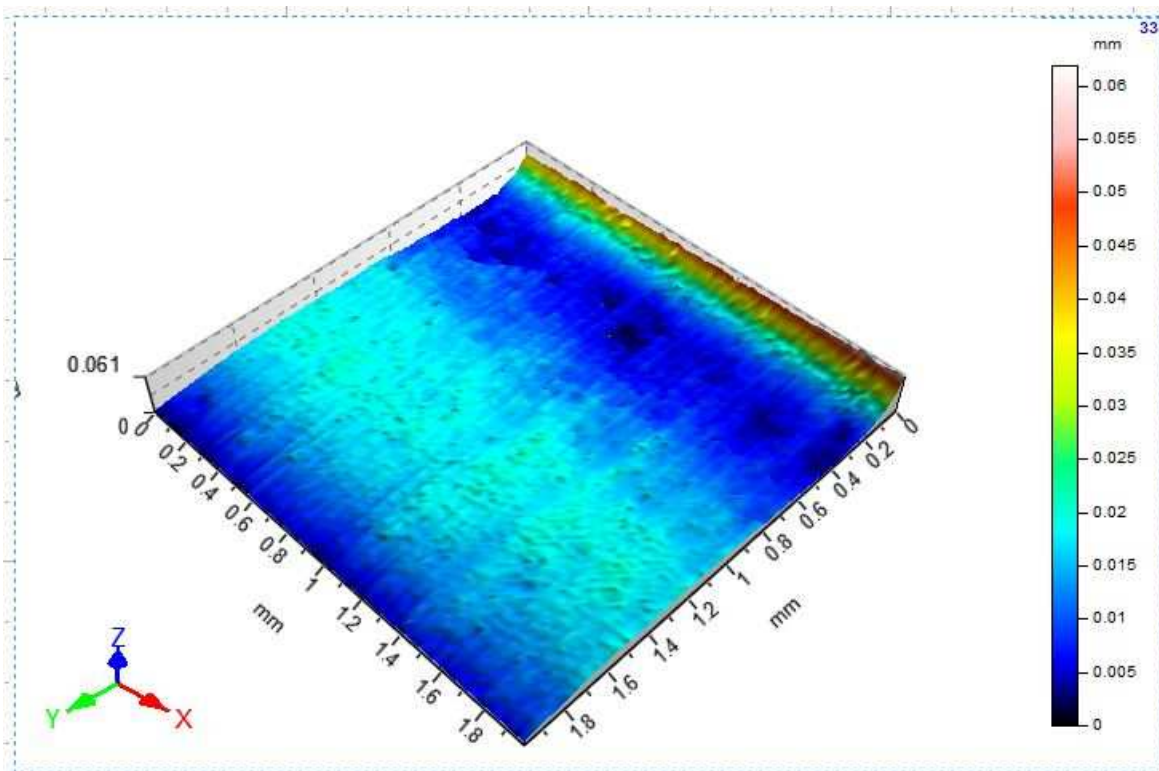
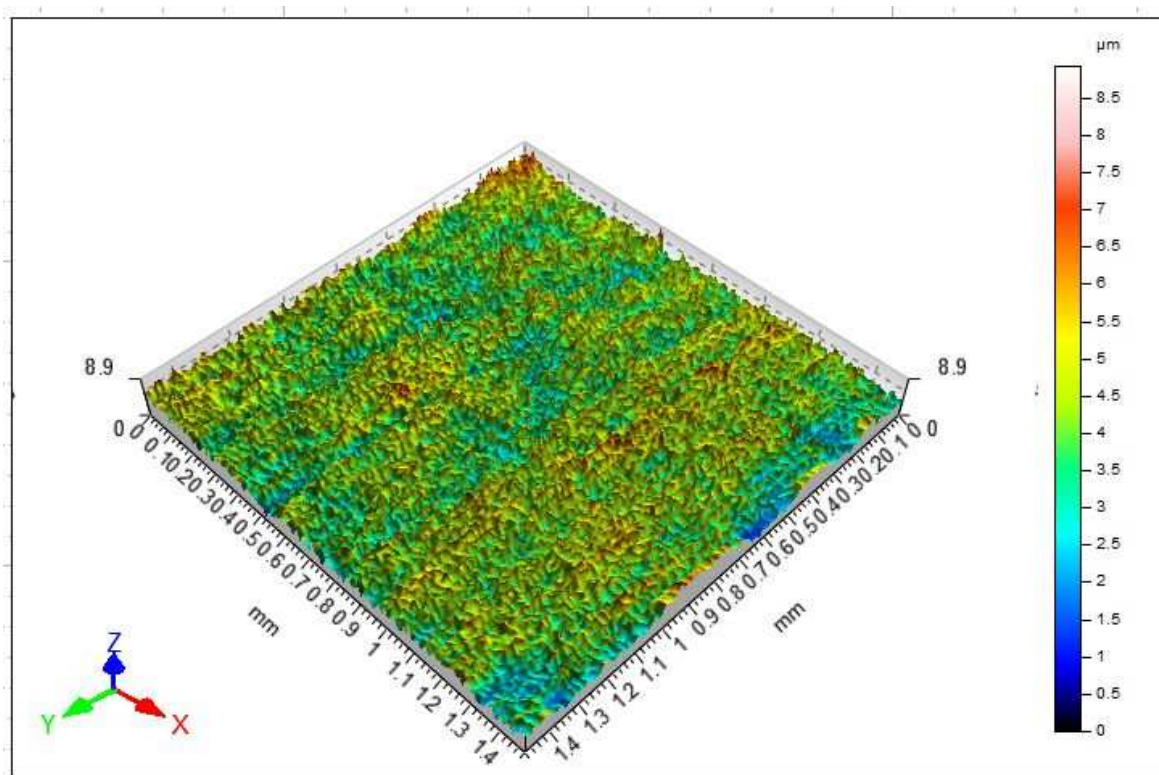


## PŘÍLOHA II: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 VZRORKU 0210 – 00098A



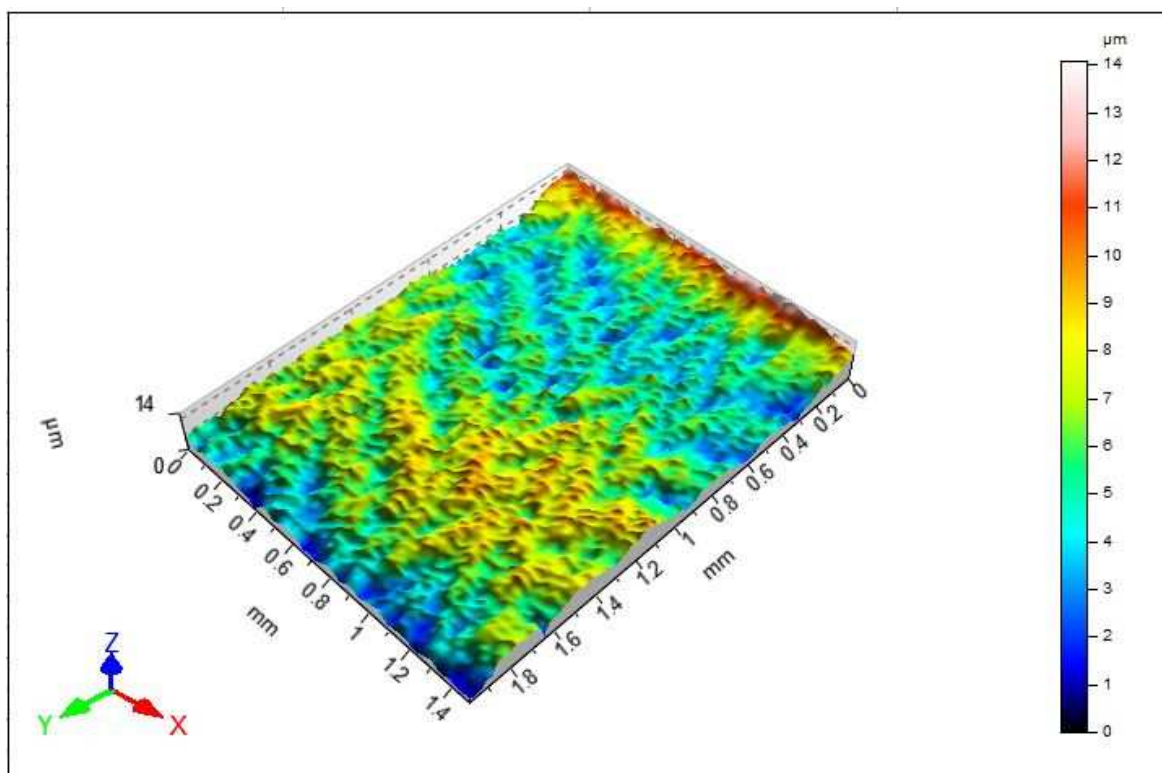
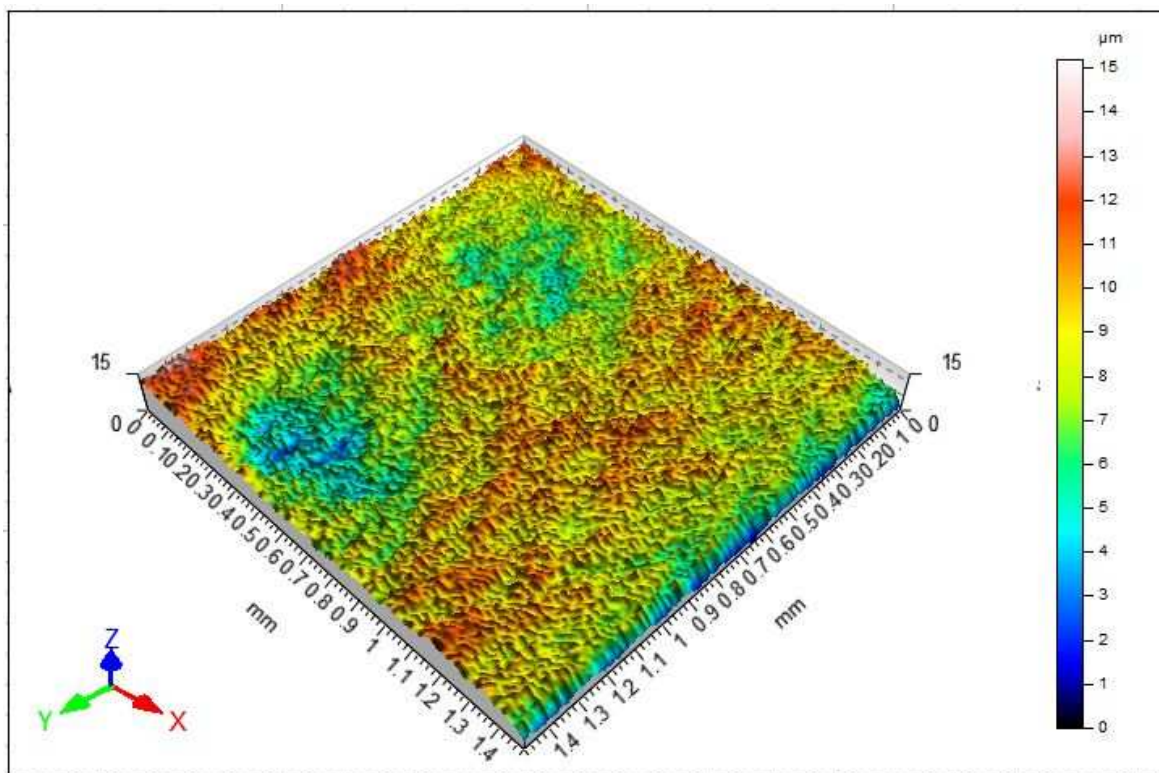
# PŘÍLOHA III: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 VZRORKU

0210 – 00097A





**PŘÍLOHA IV: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 VZRORKU  
0210 – T0028A (ČERNÝ)**



**PŘÍLOHA V: 3D OBRAZ PLOCHY A1 A A5 VZRORKU 0210 – T0028A  
(ZELENÝ)**

