

# Hodnocení způsobilosti procesu v oblasti jakosti povrchu

Antonín Beníček

---

Bakalářská práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Antonín BENÍČEK**

Osobní číslo: **T10088**

Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení způsobilosti procesu v oblasti jakosti povrchu**

Zásady pro vypracování:

- 1) Provedení přípravy vzorků pro měření jakosti povrchu.
- 2) Výběr vhodných ploch s uvažováním ČSN EN ISO 4288.
- 3) Výběr vhodných parametrů pro hodnocení jakosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287.
- 4) Statistické zpracování naměřených hodnot.
- 5) Závěr a vyhodnocení včetně doporučení.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] PEŠIČKA, L.: Geometrická specifikace výrobků strojírenské výroby (GPS) – Textura povrchu: Požadavky na drsnost, vlnitost a základní profil povrchu, Praha, ČNI 2006
- [2] ČSN EN ISO 4287.: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999
- [3] ČSN EN ISO 4288.: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999
- [4] Josef Tošenovský.: Ekonomické a technologické hodnocení způsobilosti procesů – Algoritmy a řešené úlohy. 2007

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Vladimír Pata**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **17. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013

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



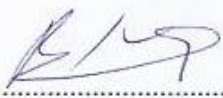
  
prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.  
ředitel ústavu

## 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 3.5.2013



.....

<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 nevydělčně 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 vzdělávacího 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 o 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním měření drsnosti povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem, dále pak hodnocením způsobilosti procesu tohoto parametru. Teoretická část obsahuje zopakování základních pojmů a definic, měření a hodnocení drsnosti povrchu dle norem ČSN EN ISO 4787 a ČSN EN ISO 4788, rovněž také definici analýzy způsobilosti procesu. Praktická část nám ukáže měření drsnosti povrchu obráběných dílů z hliníkové slitiny kontaktní a bezkontaktní metodou, provedeme porovnání obou metod a vyhodnocení způsobilosti procesu z naměřených dat programem „Minitab“ a „Capa“. Závěrem doporučíme vhodný způsob měření drsnosti povrchu určitého okruhu obráběných součástek z hliníkových slitin.

**Klíčová slova:** Jakost povrchu, kontaktní systém snímání jakosti povrchu, bezkontaktní systém snímání jakosti povrchu, hodnocení způsobilosti procesu jednostranných mezí.

## **ABSTRACT**

This bachelor's work presents a comparison of surface roughness measuring by contact and contactless way, further the assessment of process capability of this parameter. The theoretical part includes repetition of basic terms and definitions, measurement and evaluation of surface roughness according to czech standart EN ISO 4787 and EN ISO 4788, also the definition of process capability analysis. The practical part will show us the measurement of surface roughness of machined parts made from aluminum alloy by contact and contactless method, we will compare the two methods and evaluation of process capability from data measured by program „Minitab“ and „Capa“. Finally, we will recommend a suitable way of scanning the surface roughness of the definite range of machined parts made from aluminum alloys.

**Keywords:** Surface quality, contact scanning system of the surface quality, contactless scanning system of the surface quality, evaluation of process capability of unilateral limits.

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za odborné vedení v průběhu vzniku a hlavně pak v praktické části.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/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 JAKOST POVRCHU.....</b>	<b>12</b>
1.1 NORMY ČSN EN ISO ZABÝVAJÍCÍ SE STRUKTUROU POVRCHU.....	12
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE.....	13
1.2.1 Definice geometrických parametrů .....	14
1.2.2 Středící čáry .....	17
1.2.3 Filtr profilu .....	18
1.3 DEFINICE PARAMETRŮ PROFILU POVRCHU.....	19
1.3.1 Výškové parametry (výstupky a prohlubně).....	19
1.3.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic) .....	20
1.3.3 Délkové parametry .....	22
1.3.4 Tvarové parametry .....	22
1.3.5 Křivky a odpovídající parametry .....	22
1.4 METODY KONTROLY STRUKTURY POVRCHU.....	24
1.4.1 Schéma měřicí smyčky .....	24
1.4.2 Měřicí dotyk snímače .....	25
1.5 PRAVIDLA PRO HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU .....	26
1.6 PRAVIDLO 16-TI % A PRAVIDLO MAXIMA .....	26
1.7 POSTUP PRO KONTROLU A MĚŘENÍ PARAMETRŮ PROFILU DRSNOSTI DOTYKOVÝMI PŘÍSTROJI .....	27
<b>2 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE .....</b>	<b>28</b>
2.1 MĚŘICÍ SYSTÉM TALYSURF CLI.....	28
2.1.1 Indukční snímač .....	28
2.1.2 CLA snímač .....	29
2.2 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE TALYSURF CLI .....	29
2.3 MĚŘICÍ PROGRAM TALYMAP .....	30
<b>3 HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PROCESU .....</b>	<b>32</b>
3.1 UKAZATELE ZPŮSOBILOSTI A VÝKONNOSTI PROCESU .....	32
3.1.1 Tolerance typu S.....	33
3.1.2 Hodnocení způsobilosti - parametr $C_s$ .....	34
3.2 STATISTICKÝ SOFTWARE MINITAB .....	35
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>36</b>
<b>4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>	<b>37</b>
<b>5 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU .....</b>	<b>38</b>
5.1 ZPŮSOB VÝBĚRU VZORKŮ A PŘÍPRAVA .....	38
5.1.1 Výroba součástek automobilových klimatizací .....	38
5.1.2 Výběr vhodné součástky .....	39
5.1.3 Výběr ploch z hlediska měření.....	42
5.2 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE A POSTUP MĚŘENÍ.....	42
5.2.1 Kontaktní měřicí přístroj MAHR Perthometer S2 .....	42
5.2.2 Kalibrace měřicího přístroje MAHR Perthometer S2 .....	43



5.2.3	Měření vzorků na přístroji MAHR Perthometer S2 .....	45
5.2.4	Bezkontaktní měřicí přístroj TAYLOR HOBSON Talysurf CLI 500 .....	47
5.2.5	Kalibrace měřicího přístroje Talysurf CLI 500.....	48
5.2.6	Měření vzorků na přístroji Talysurf CLI 500.....	49
<b>6</b>	<b>STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ .....</b>	<b>53</b>
6.1	VYHODNOCENÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ V SOFTWARE MINITAB.....	53
6.1.1	Hodnocení rozptylů parametru Ra .....	53
6.1.2	Hodnocení rozptylů parametru Rz .....	55
6.1.3	Hodnocení dalších parametrů Rt, Rp a Rv .....	56
<b>7</b>	<b>HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PROCESU .....</b>	<b>61</b>
7.1	HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PROCESU V PROGRAMU CAPA 2.2.....	61
7.1.1	Hodnocení způsobilosti procesu – tolerance typu „S“ .....	61
7.1.2	Vyhodnocení způsobilosti parametru Ra .....	62
7.1.3	Vyhodnocení způsobilosti parametru Rz .....	63
7.2	CELKOVÉ ZHODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PROCESU V OBLASTI JAKOSTI POVRCHU.....	63
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>64</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>65</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>68</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>72</b>

## ÚVOD

Požadované zvyšování jakosti při stále větším využití progresivních konstrukčních materiálů (s vesměs zhoršenou obrobiteľnosťou), rozvoji řezných materiálů a obráběcích strojů, vyžaduje mimo jiné i vývoj měřicí techniky a hodnoticích metod.

Charakteristika struktury povrchu, včetně definice parametrů a jejich měření, je součástí norem Geometrické požadavky na výrobky (GPS). Normovaný popis struktury povrchu zahrnuje drsnost, vlnitost a základní profil. Je tedy zřejmé, že profil drsnosti a jeho parametry jsou jen částí charakteristiky struktury povrchu.

Měření a hodnocení struktury povrchu představuje specifickou samostatnou část metrologie, zabezpečovanou jednoúčelovými měřicími přístroji. S touto výlučností je spojena i důležitá skutečnost, že se výrobci měřicí techniky výrazným způsobem podílí jak na přípravě metodiky hodnocení struktury povrchu, včetně normalizace parametrů drsnosti a podmínek hodnocení, tak i na přípravě softwaru pro praktické vyhodnocování kontrolovaného profilu povrchu. [1]

Jednou z důležitých oblastí managementu jakosti je měření procesů. Součástí měření procesů je hodnocení způsobilosti procesů, kterou lze charakterizovat jako schopnost procesů poskytovat výrobky splňující požadovaná kritéria jakosti. Znalost způsobilosti procesu je důležitým podkladem pro plánování a zlepšování jakosti. [2]

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 JAKOST POVRCHU

Struktura povrchu nebo drsnost povrchu je jakost obráběného povrchu. Určuje se podle způsobu obrábění, vzhledu a hloubky stop po nástroji. Je to vlastně to, jak povrch vypadá, jak se klikatí a kterým směrem jdou rýhy, jak hluboké jsou a podobně. Vzhled povrchu je určen způsobem obrábění dané plochy. Struktura povrchu se určuje porovnávacími šablonami subjektivním hodnocením nebo speciálními měřidly objektivním hodnocením. [3]

### Subjektivní hodnocení:

- barva, vzhled, atd.

### Objektivní hodnocení:

1) komparační

2) přímé – kontaktní

– bezkontaktní

Parametry drsností se vyhodnocují na skutečných profilech, které se získávají jako průsečnice kolmé, popř. šikmé roviny se skutečným povrchem. Do drsnosti se nepočítají vady povrchu, tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rysky, trhlinky, důlky apod.) a které vznikají vadami materiálu, poškozením aj. [4]

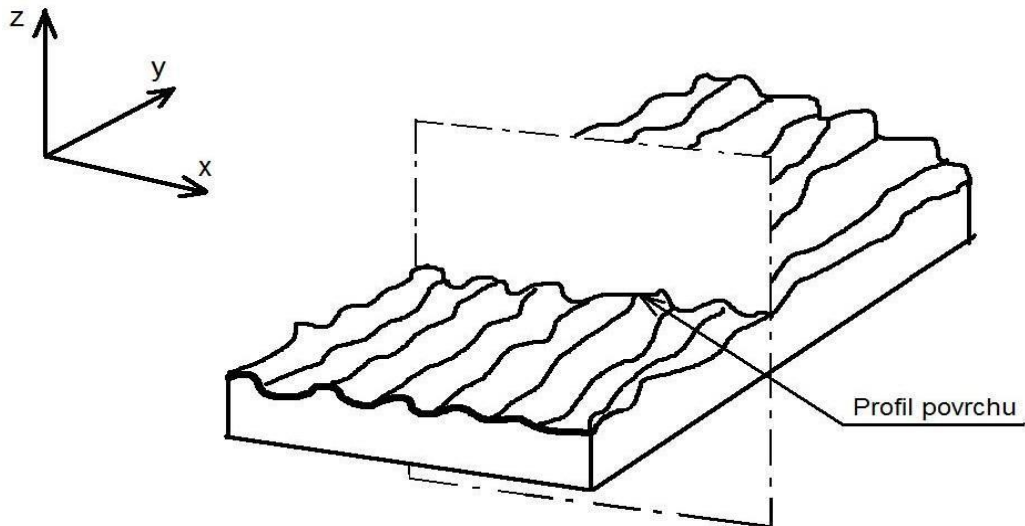
### 1.1 Normy ČSN EN ISO zabývající se strukturou povrchu

**ČSN EN ISO 4287** – tato mezinárodní norma stanoví termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu jako je drsnost, vlnitost a základní profil profilovou metodou. [6]

**ČSN EN ISO 4288** – tato mezinárodní norma stanoví pravidla pro porovnání měřených hodnot s tolerančními mezemi stanovenými pro parametry struktury povrchu v ISO 4287, ISO 12085, ISO 13565-2 a ISO 13565-3. Rovněž také specifikuje standardní pravidla pro výběr mezních vlnových délek cut-off  $\lambda c$  pro parametry profilu drsnosti podle ISO 4287, měřených pomocí dotykových (hrotových) přístrojů podle ISO 3274. [7]

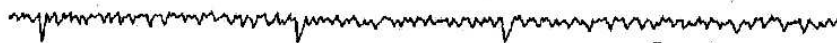
## 1.2 Základní pojmy a definice

Strukturou povrchu, dříve též nazývanou drsností povrchu, se rozumí část geometrických úchylek skutečného povrchu s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností.



Obrázek 1. Profil povrchu [6]

**Mikronerovnost** - jemná nerovnost (*drsnost povrchu*) - je dána stopami, které zanechává řezný nástroj, případně brusivo.



Obrázek 2. Mikronerovnost

**Makronerovnost** - rozlehlejší periodická nerovnost (*vlnitost povrchu*) - nejčastěji způsobují vibrace soustavy: *Stroj - Nástroj - Obrobek - Prostředí*.



Obrázek 3. Makronerovnost

- U obrobených povrchů ploch se tyto nerovnosti navzájem překrývají.
- Vady povrchu způsobené náhodným poškozením (rýhy) nebo vady materiálu (trhliny, póry) se do struktury povrchu nezahrnují. [5]

**TVAR** - obecný tvar povrchu při vyloučení drsnosti a vlnitosti (tyto úchytky mohou být způsobeny nedostatečnou tuhostí, špatnou přímostí vodících ploch, nebo teplem vzniklým během výrobního procesu, které může způsobit deformaci obrobene plochy).



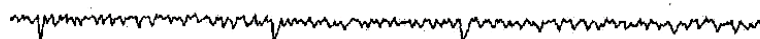
Obrázek 4. Obecný tvar povrchu

**VLNITOST** - je ta část textury, na které je nanesena (vytvořena) drsnost. To může být způsobeno chvěním, deformací obrobku a zpevněním materiálu (je spíše považována za vliv stroje, např. nevyváženosti brousícího kotouče, nepřesností vodících částí nebo malou tuhostí).



Obrázek 5. Vlnitost povrchu

**DRSNOST** - jsou nepravidelnosti, které jsou výsledkem výrobního procesu (je výsledkem vzájemného relativního pohybu mezi nástrojem a obrobkem). Povrch je ale také ovlivněn mechanismem tvoření třísky, což se projevuje například vytrháváním částic materiálu a to ovlivňuje náhodný charakter povrchu. [5]



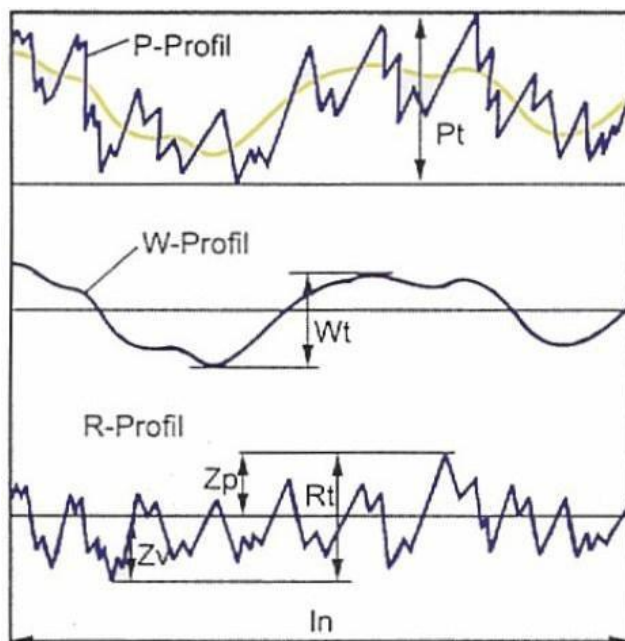
Obrázek 6. Drsnost povrchu

### 1.2.1 Definice geometrických parametrů

**P – parametr:** parametr vypočítaný ze základního profilu. Je to nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými mezními přímkami z nefiltrovaného profilu povrchu uvnitř měřené délky  $l_n$ .

**R – parametr:** parametr vypočítaný z profilu drsnosti. Je to svislá vzdálenost od nejvyšší špičky k nejhlubší rýze filtrovaného profilu drsnosti uvnitř měřené délky  $l_n$ .

**W – parametr:** parametr vypočítaný z profilu vlnitosti. Je to vzdálenost mezi nejvyšším a nejhlubším bodem vyrovnaného profilu vlnitosti (drsnost odfiltrována) uvnitř měřené délky  $l_n$ . [6]

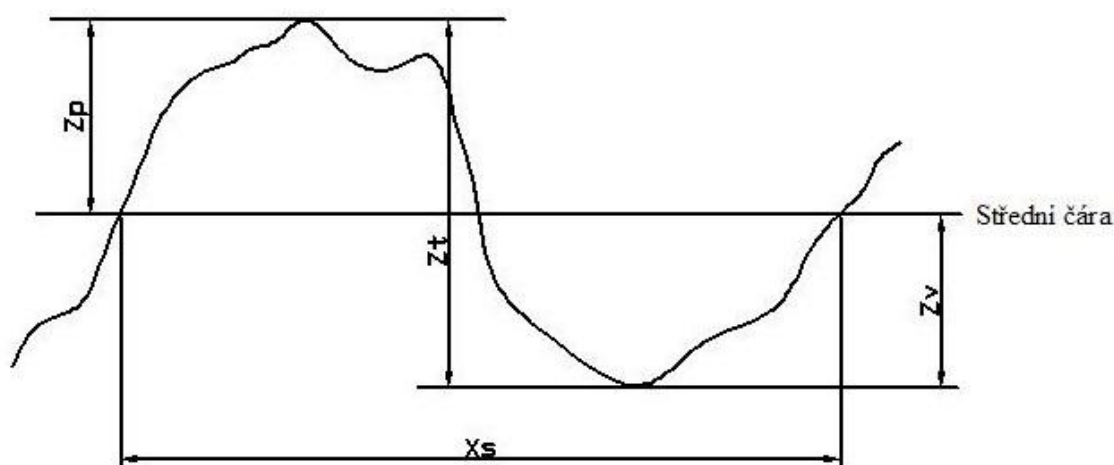
Obrázek 7. Parametry  $P$ ,  $W$  a  $R$ 

**Výstupek profilu:** z povrchu ven směřující z materiálu do okolního prostředí část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou  $X$ .

**Prohlubeň profilu:** dovnitř směřující z okolního prostředí do materiálu část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou  $X$ .

**Omezení výšky a/nebo rozteče:** nejmenší výška a nejmenší rozteč výstupků a prohlubní posuzovaného profilu, které mohou být brány v úvahu.

**Prvek profilu:** výstupek profilu a přilehlá prohlubeň. [6]

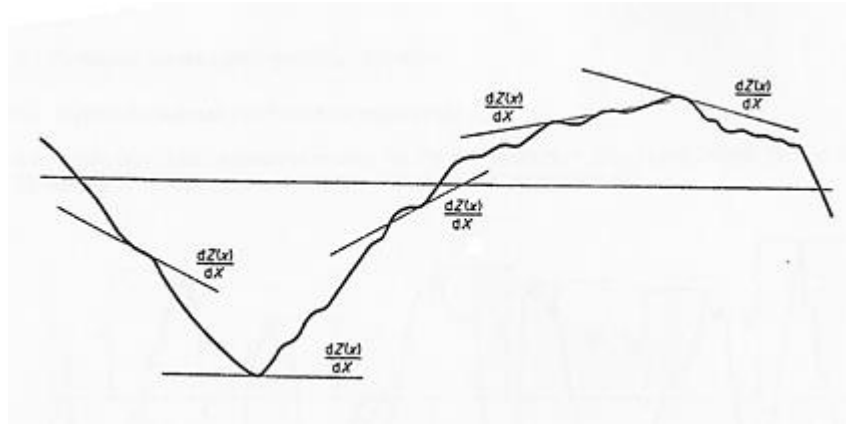


Obrázek 8. Prvek profilu [6]



**Hodnota pořadnice,  $Z(x)$ :** výška posuzovaného profilu v libovolné poloze  $x$ .

**Místní sklon  $dZ/dX$ :** sklon posuzovaného profilu v poloze  $x_i$ .



Obrázek 9. Místní sklon [6]

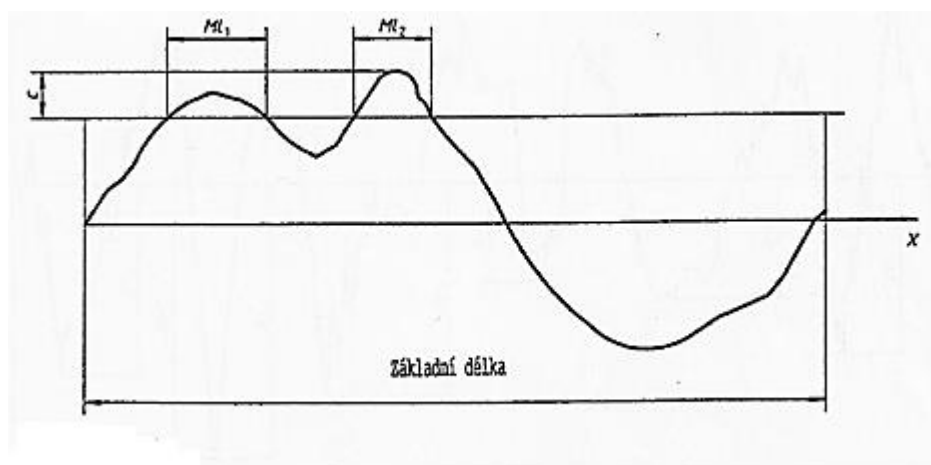
**Výška výstupku profilu,  $Z_p$ :** vzdálenost mezi osou  $X$  a největším bodem výstupku profilu (obrázek 9.).

**Hloubka prohlubně profilu,  $Z_v$ :** vzdálenost mezi osou  $X$  a nejnižším bodem prohlubně profilu (obrázek 9.).

**Výška prvku profilu,  $Z_t$ :** součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu (obrázek 9.).

**Šířka prvku profilu,  $X_s$ :** délka úseku osy  $X$  protínající prvek profilu (obrázek 9.).

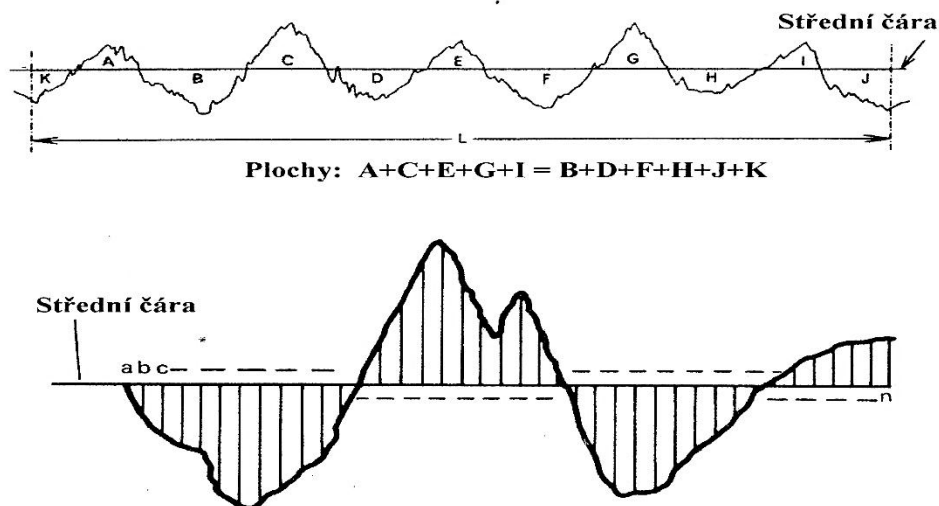
**Materiálová délka profilu na úrovni  $c$ ,  $Ml(c)$ :** součet délek úseků získaných protnutím prvku profilu čarou rovnoběžnou s osou  $X$  v dané úrovni  $c$ . [6]



Obrázek 10. Materiálová délka:  $Ml(c) = Ml_1 + Ml_2$  [6]

### 1.2.2 Středící čáry

**Střední čára** - čára probíhající středem vrcholů a prohlubní, kdy součet ploch ohraničených profilem nerovnosti nad touto čarou je roven součtu ploch pod touto čarou.



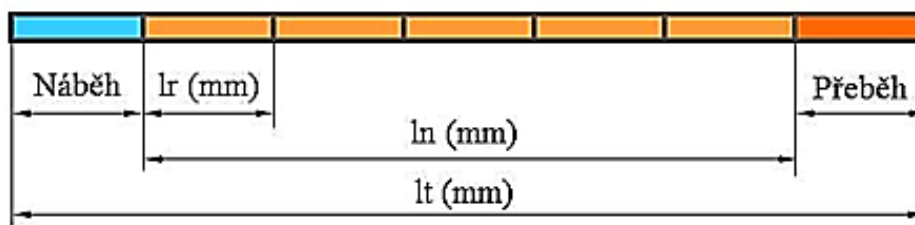
Obrázek 11. Střední čára [5]

Pro přesnější určení střední čáry se používá výpočet pomocí metody nejmenších čtverců. Poloha vztažné 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.

**Základní délka**  $l_r$  (mm) je délka ve směru osy  $X$ , použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil drsnosti.

**Vyhodnocovaná délka**  $l_n$  (mm) je délka ve směru osy  $X$ , použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. [5]

$$\text{Náběh} = l_r \text{ (mm)} \quad \text{Přeběh} = l_r \text{ (mm)} \quad l_n = n \times l_r \text{ (mm)} \quad l_t = l_n + 2 \times l_r \text{ (mm)}$$



- $l_r$  (mm) - základní délka profilu drsnosti
- $l_n$  (mm) - vyhodnocovaná délka profilu
- $l_t$  (mm) - celková délka snímání
- $n$  (-) - počet základních délek /1; 3; 5/

Obrázek 12. Měřicí dráha snímače [5]

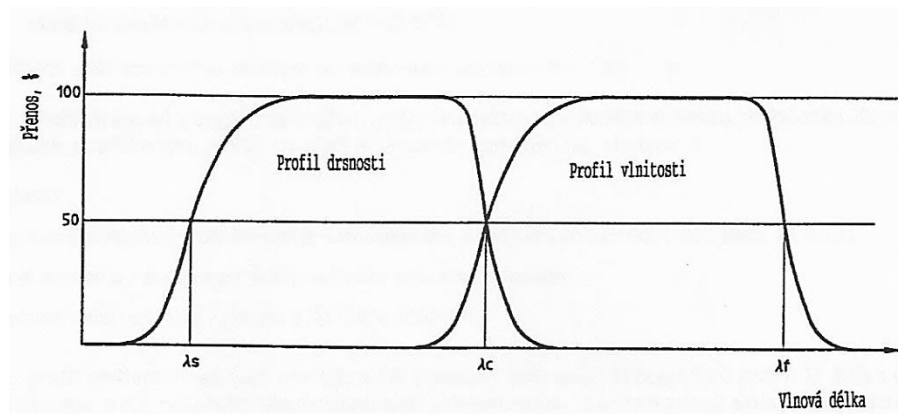
### 1.2.3 Filtr profilu

Filtr rozdělující profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky. V přístrojích pro měření drsnosti, vlnitosti a základního profilu (obrázek 13.) jsou používány tři filtry, definované v ISO 11562. Mají stejné přenosové charakteristiky ale rozdílné hodnoty **Cut-off** - mezní vlnové délky.

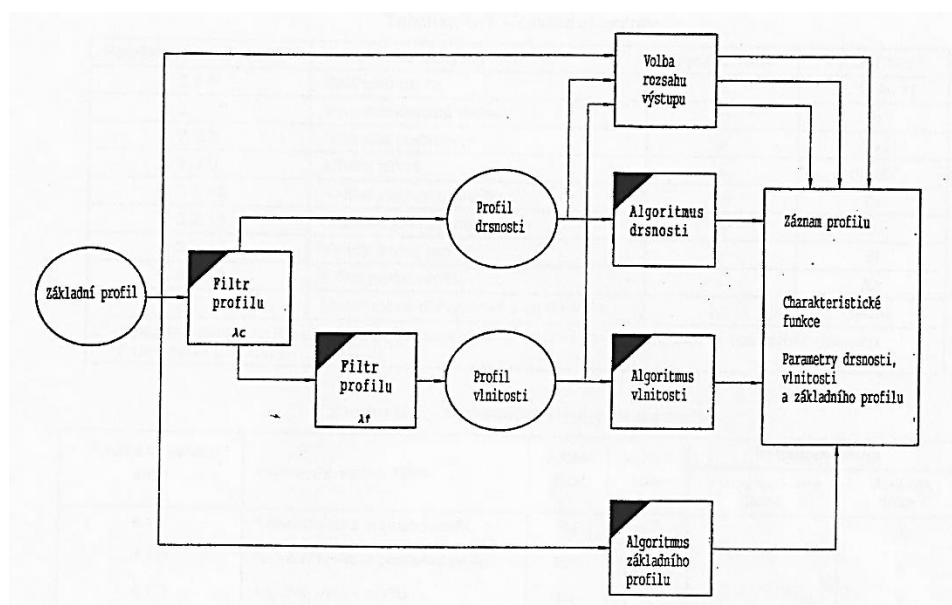
**Filtr profilu  $\lambda_s$ ,  $L_s$**  definuje rozhraní mezi úplně nejkratšími složkami vln přítomnými na povrchu a drsností (obrázek 13.).

**Filtr profilu  $\lambda_c$ ,  $L_c$**  určuje rozhraní mezi složkami drsností a vlnitosti (obrázek 13.).

**Filtr profilu  $\lambda_f$ ,  $L_f$**  definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu (obrázek 13.). [6]



Obrázek 13. Přenosová charakteristika drsnosti a vlnitosti [6]



Obrázek 14. Vývojový diagram pro posuzování povrchu [6]

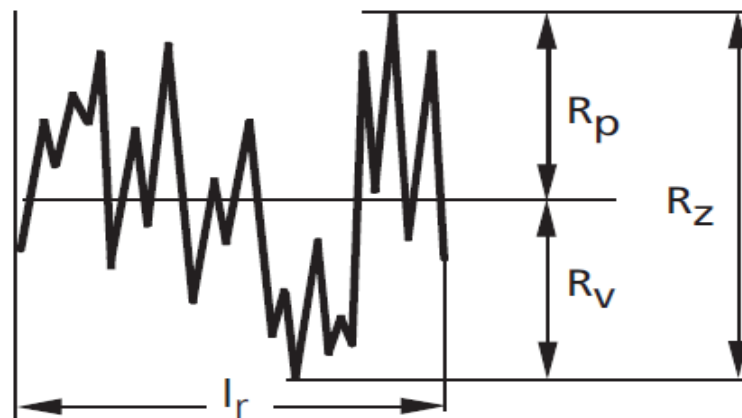
### 1.3 Definice parametrů profilu povrchu

#### 1.3.1 Výškové parametry (výstupky a prohlubně)

**$R_p$**  - největší výška výstupku profilu: výška nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky.

**$R_v$**  - největší hloubka prohlubně profilu: hloubka nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.

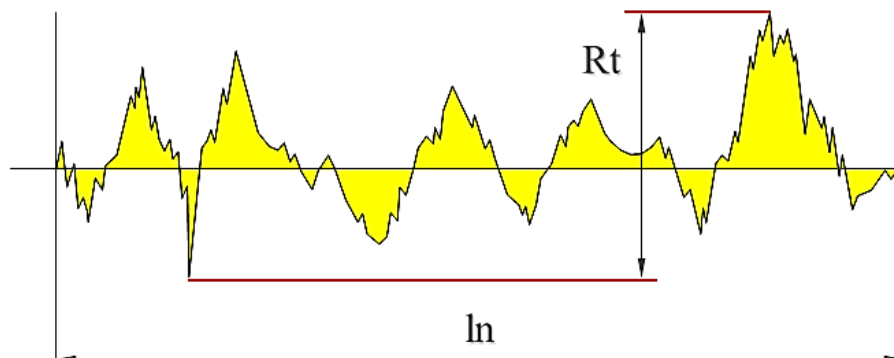
**$R_z$**  - největší výška profilu: součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.



Obrázek 15. Parametry  $R_p, R_v$  a  $R_z$

**$R_t$**  – celková výška profilu: součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky. [6]

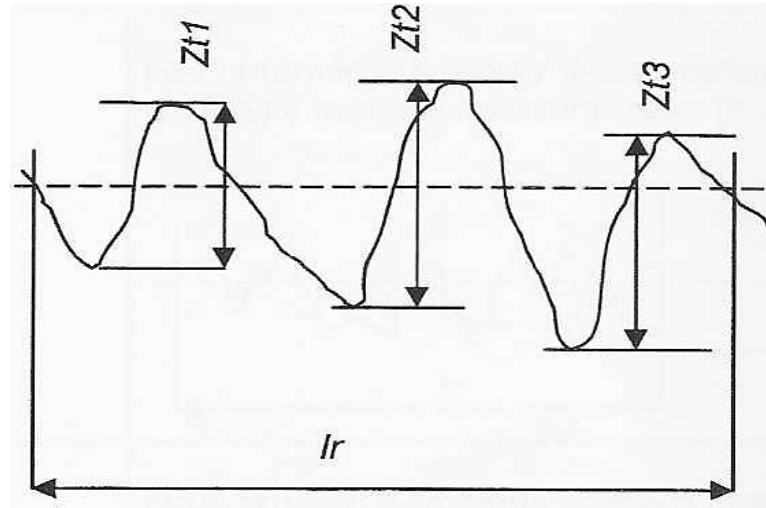
$$R_t = Z_{p_{\max.}} + |Z_{v_{\max.}}| \quad (\mu m)$$



Obrázek 16. Parametr  $R_t$  [5]

**$R_c$**  – průměrná výška prvků profilu: průměrná hodnota výšek prvku profilu  $Z_t$  v rozsahu základní délky.

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad (\mu m)$$

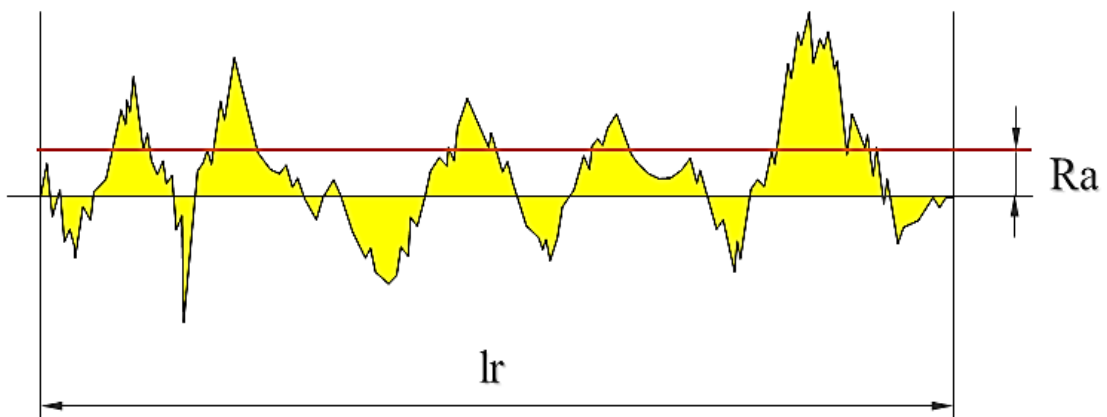


Obrázek 17. Parametr  $R_c$  [6]

### 1.3.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic)

**$R_a$**  – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu: aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky. [6]

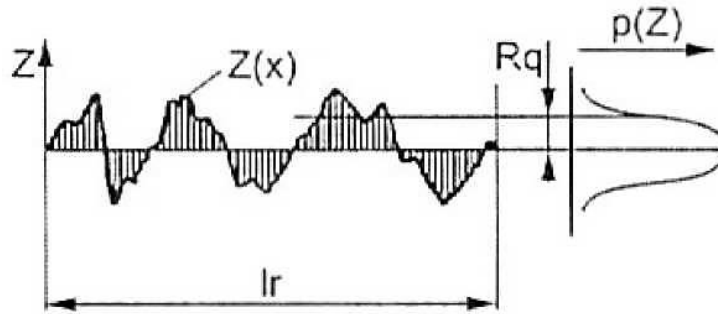
$$R_a = \frac{1}{l_r} \cdot \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (\mu m)$$



Obrázek 18. Parametr  $R_a$  [5]

**$Rq$**  – průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu: kvadratický průměr pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky.

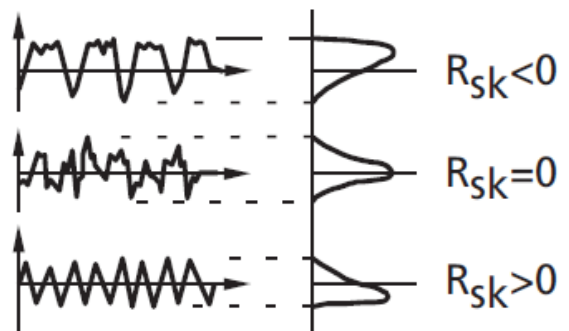
$$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \cdot \int_0^{lr} |Z^2(x)| dx} \quad (\mu m)$$



Obrázek 19. Parametr  $Rq$

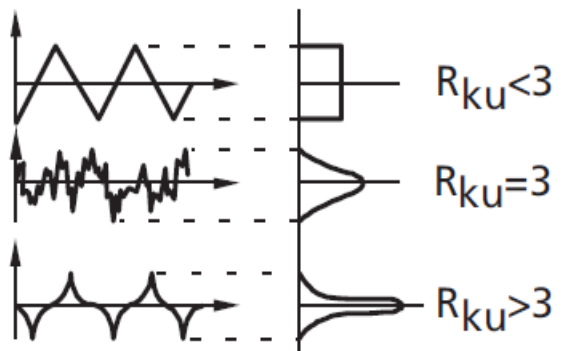
**$Rsk$**  – šikmost posuzovaného profilu: podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic  $Z(x)$  a třetí mocniny hodnoty  $Rq$  v rozsahu základní délky.

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \cdot \left[ \frac{1}{lr} \cdot \int_0^{lr} |Z^3(x)| dx \right] \quad (\mu m)$$



**$Rku$**  – špičatost posuzovaného profilu: podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic  $Z(x)$  a čtvrté mocniny hodnoty  $Rq$  v rozsahu základní délky. [6]

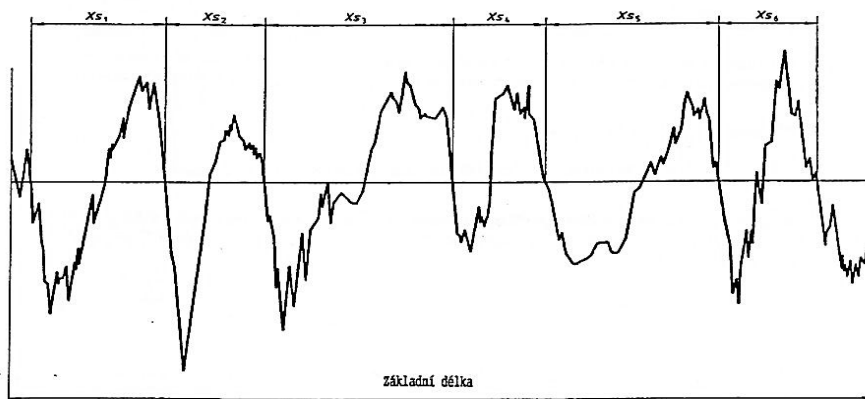
$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \cdot \left[ \frac{1}{lr} \cdot \int_0^{lr} |Z^4(x)| dx \right] \quad (\mu m)$$



### 1.3.3 Délkové parametry

**$RS_m$**  – průměrná šířka prvků profilu: aritmetický průměr šířek  $X_{Si}$  prvků profilu v rozsahu základní délky.

$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si}$$



Obrázek 20. Šířka prvků profilu [6]

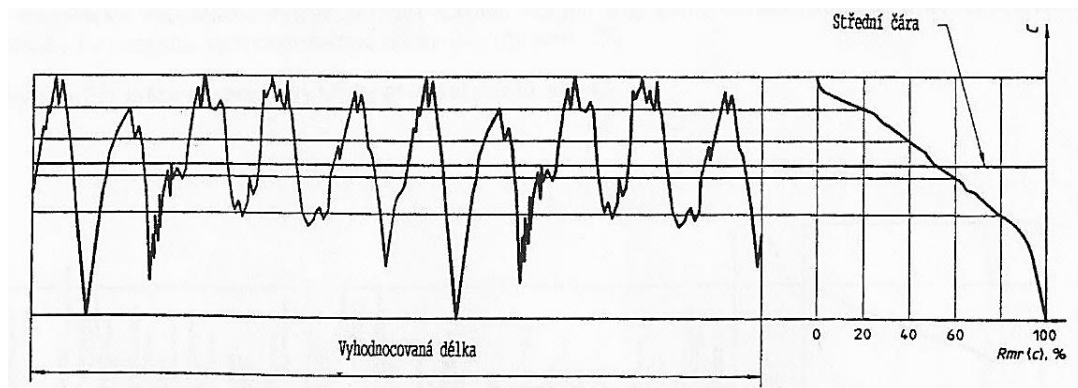
### 1.3.4 Tvarové parametry

**$R\Delta q$**  – průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu: kvadratický průměr sklonů pořadnic  $dZ/dX$  v rozsahu základní délky.

### 1.3.5 Křivky a odpovídající parametry

**$Rmr(c)$**  – materiálový poměr profilu (nosný podíl): poměr délky material element profile  $Ml(c)$  na dané úrovni  $c$ , k vyhodnocované délce.

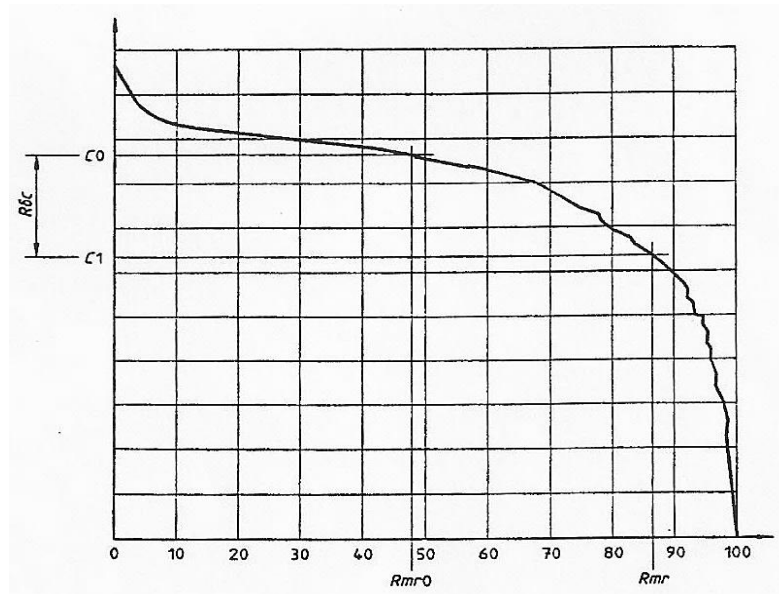
**Abbot–Firestonova křivka** – křivka materiálového poměru profilu (nosný podíl): křivka představující materiálový poměr profile v závislosti na výšce úrovně. [6]



Obrázek 21. Křivka materiálového poměru [6]



**$R\delta$**  – rozdíl úseku profilu: svislá vzdálenost mezi úrovněmi dvou úseků daného materiálového poměru.

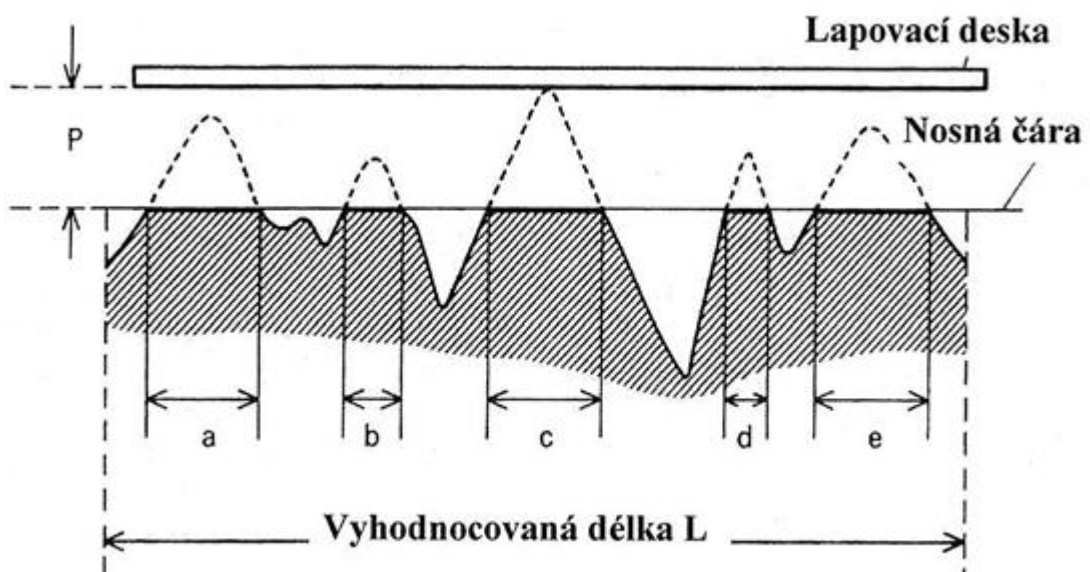


Obrázek 22. Oddělování úrovní části profilu [6]

**$Rmr$**  – vzájemný materiálový poměr: materiálový poměr (vyjadřovaný v %) délky nosné plochy v kterékoliv hloubce profilu k celkové délce profilu.

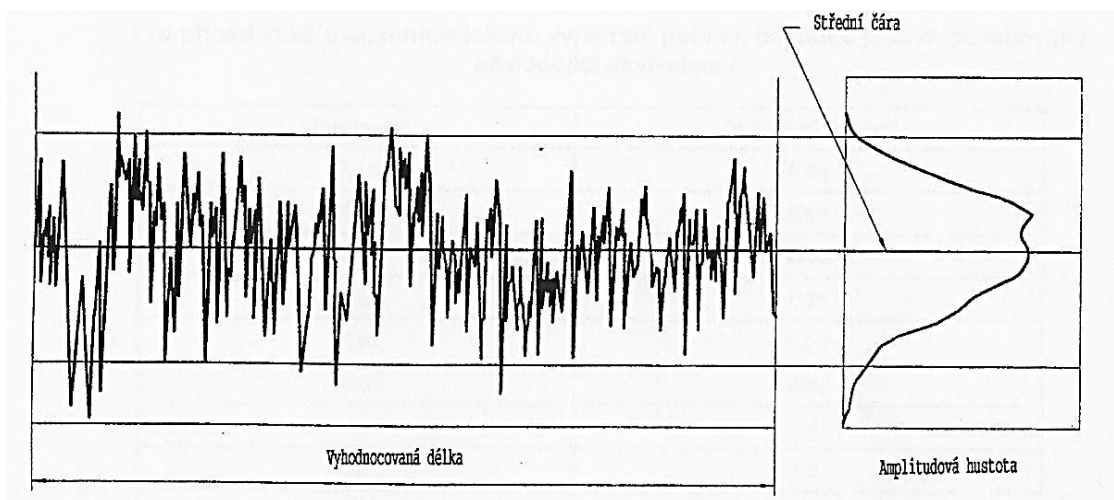
$$Rmr = \frac{a + b + c + d + e}{L} \times 100$$

Jedno z důležitých uplatnění hodnocení povrchu v inženýrské praxi je jeho využití jako dotykové plochy při vzájemném pohybu dvou součástí. [5]



Obrázek 23. Materiálový poměr  $Rmr$  [5]

**Empirické rozdělení výšek profilu:** hustota pravděpodobnosti pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu vyhodnocované délky. [6]



Obrázek 24. Empirické rozdělení výšek profilu [6]

## 1.4 Metody kontroly struktury povrchu

- **Kvalitativní (porovnávací)** – vzorkovnice, mikroskopy
- **Kvantitativní (parametrická)** – profiloměry, interferometry

Pro kontrolu a měření parametrů struktury povrchu se používají laboratorní i dílenské měřicí přístroje a zařízení:

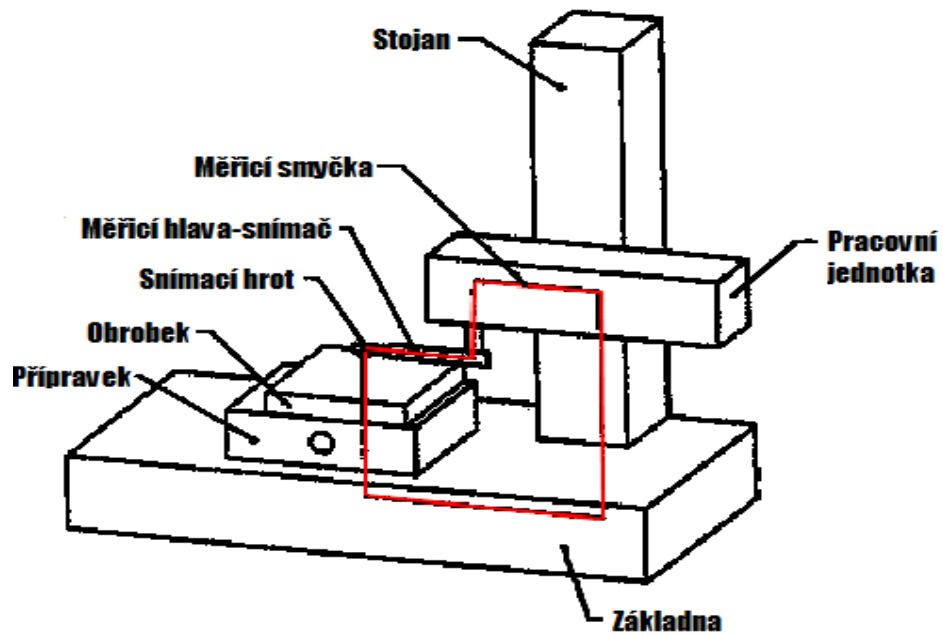
- Mechanické
- Elektricko-mechanické (piezoelektrické, indukční)
- Optické (interferenční, světelné řezy)

### 1.4.1 Schéma měřicí smyčky

**Dotykový přístroj:** měřicí přístroj, který zkoumá povrchy snímacím hrotem a získává úchytky ve formě profilu povrchu, vypočítává parametry a je schopen profil zaznamenat.

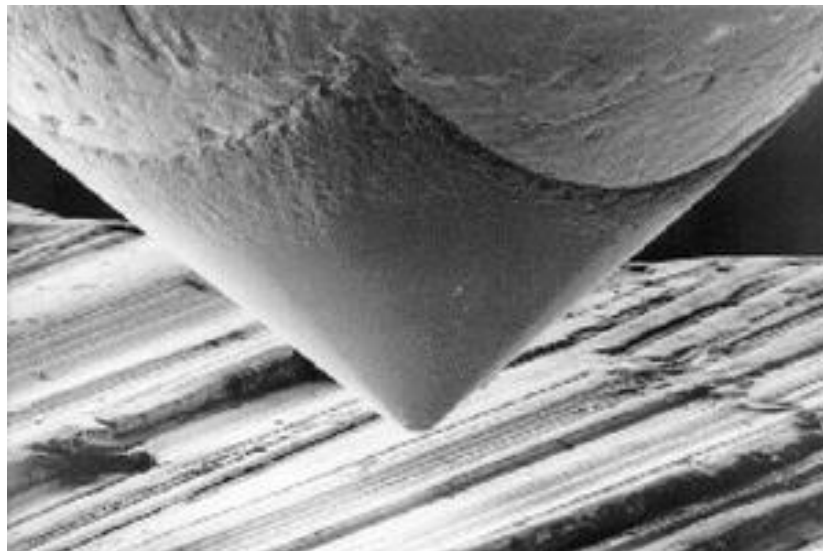
**Měřicí smyčka:** uzavřený řetězec, zahrnující všechny mechanické části propojující měřený objekt a snímací hrot (obrázek 25.).

Nejčastější použití dotykového přístroje je ve strojírenství pro snadnou obsluhu, rychlé měření a přímé čtení výsledků. Výhodou bývá také přenosnost zařízení, malé rozměry snímače a proto se s přístrojem měří přímo na dílně, často i na obráběcích strojích. [5]



Obrázek 25. Schéma měřicí smyčky [5]

#### 1.4.2 Měřicí dotyk snímače



Obrázek 26. Diamantový měřicí hrot [5]

Na obrázku 26. vidíme 50-ti násobně zvětšený diamantový měřicí hrot. Tvar hrotu je kužel, úhel bývá  $90^\circ$ , nebo  $60^\circ$ . Zaoblení hrotu je 2; 5; nebo 10  $\mu\text{m}$ . Síla při kontaktu s měřeným povrchem se používá 0,6 až 2 mN. [5]

## 1.5 Pravidla pro hodnocení struktury povrchu

- 1) Hodnocení sledované plochy provádíme pomocí hodnot získaných z přístroje pro měření parametrů struktury povrchu na sledované ploše a následným porovnáním s hodnotami požadovanými pro funkčnost sledované plochy výkresem nebo výrobní dokumentací. Při hodnocení vycházíme z normy ČSN EN ISO 4288. Sledovaný parametr přitom nabývá hodnoty s určitým rozptylem, s čímž výše citovaná norma počítá a stanovuje proto pravidlo 16-ti %. Podle pravidel normy provedeme kontrolu homogenity povrchu. Je-li struktura povrchu homogenní, hodnoty parametrů určených z celého povrchu měřeného vzorku nebo obrobku budou použity pro porovnání s hodnotami uvedenými na výkrese nebo ve výrobní dokumentaci.
- 2) Je-li povrch obrobku složen z několika různých ploch s různou strukturou, budou hodnoty parametrů hodnoceny na každé ploše odděleně podle výrobní dokumentace nebo dle požadavků na výkrese.
- 3) Není-li specifikován směr měření, obrobek je ustaven tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti ( $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_t$ ). Tento směr bude kolmý k poloze povrchu. Pro izotropní povrchy může být směr libovolný.
- 4) Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické hodnoty, to může být posouzeno vizuálním pozorováním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně. Jsou-li použity speciální postupy měření, musí být popsány ve specifikacích v protokolu o měření.  
[5]

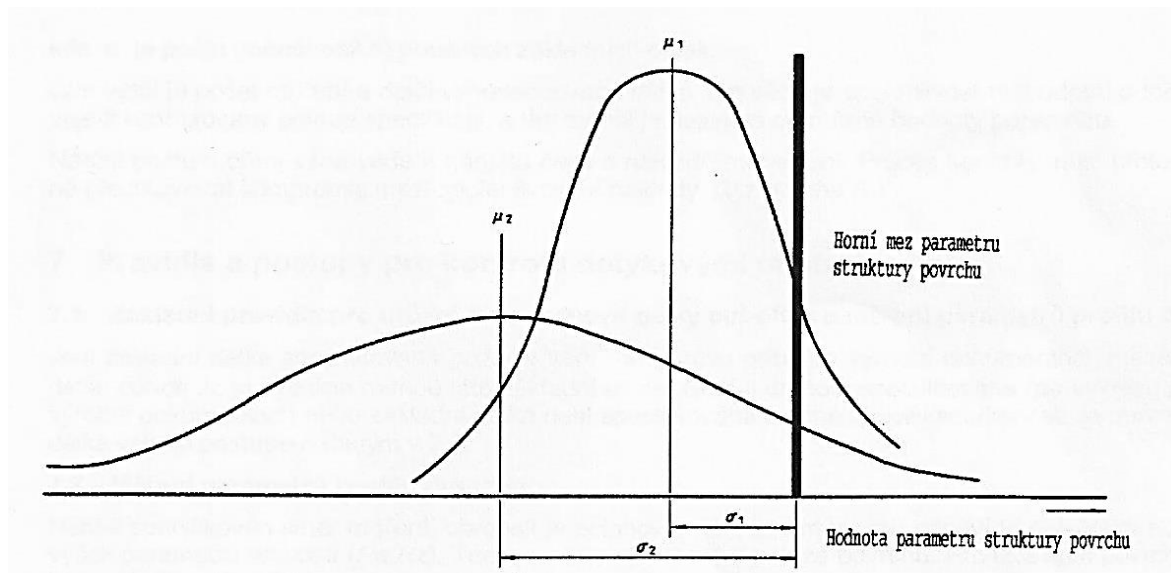
## 1.6 Pravidlo 16-ti % a pravidlo maxima

### *Pravidlo 16-ti %:*

Pro parametry stanovené horní (dolní) mezí parametru platí, že maximálně 16 % všech naměřených hodnot může ležet nad (pod) touto mezí uvedenou na výkrese nebo ve výrobní dokumentaci, horní (dolní) mez parametru je přitom dána jako hodnota součtu (rozdílu) aritmetického průměru a směrodatné odchylky. [5]

**Pravidlo maxima:**

Při požadavcích specifikovaných největší hodnotou parametru nesmí v průběhu kontroly žádná z měřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přestoupit hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci. Při stanovení největší dovolené hodnoty parametru je značka parametru doplněna indexem „max“ (např.  $Rz1,6max$ ). [7]



Obrázek 27. Horní mez parametru struktury povrchu [7]

### 1.7 Postup pro kontrolu a měření parametrů profilu drsnosti dotykovými přístroji

- 1) Odhadne se neznámý parametr profilu drsnosti – vizuálně
- 2) Pro odhadnutý parametr se určí dle tabulky hodnoty „lr“
- 3) Získá se reprezentativní hodnota žádaného parametru měřením

Tabulka 1. Základní délky drsnosti pro měření [7]

$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Základní délka drsnosti „lr“ (mm)	Vyhodnocovaná délka drsnosti „ln“ (mm)
(0.006; 0.02 >	<b>0.08</b>	0.4
(0.02; 0.1 >	<b>0.25</b>	1.25
(0.1; 2 >	<b>0.8</b>	4
(2; 10 >	<b>2.5</b>	12.5
(10; 80 >	<b>8</b>	40

## 2 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

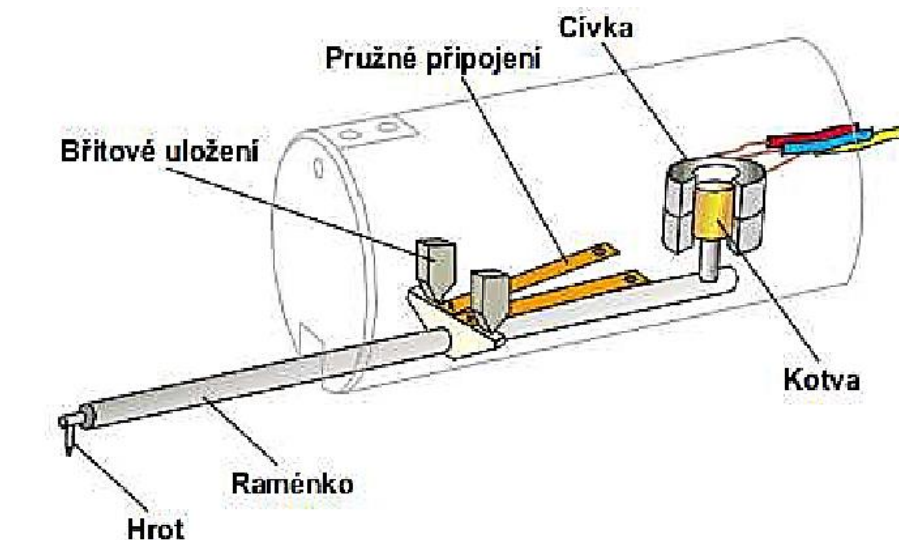
Výrobce měřicí techniky s dlouholetou tradicí Taylor Hobson Ltd. se soustřeďuje nejen na přípravu vysoce kvalitních systémů a přístrojů na měření textury i tvaru povrchu, ale současně je aktivně zapojen do přípravy i normalizace metodik měření, zpracování výsledku a jejich vyhodnocení formou parametrů. 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 Talysurf. [8]

### 2.1 Měřicí systém Talysurf CLI

Talysurf CLI – univerzální systém měření textury povrchu, který je umožněn volbou měření buď indukčním dotykovým způsobem Form Talysurf nebo bezdotykovým způsobem reprezentovaným laserovou triangulační sondou a CLA konfokálním snímačem. Vyniká mimořádnou rychlostí a přesností měření v režimu 2D a 3D. [8]

#### 2.1.1 Indukční snímač

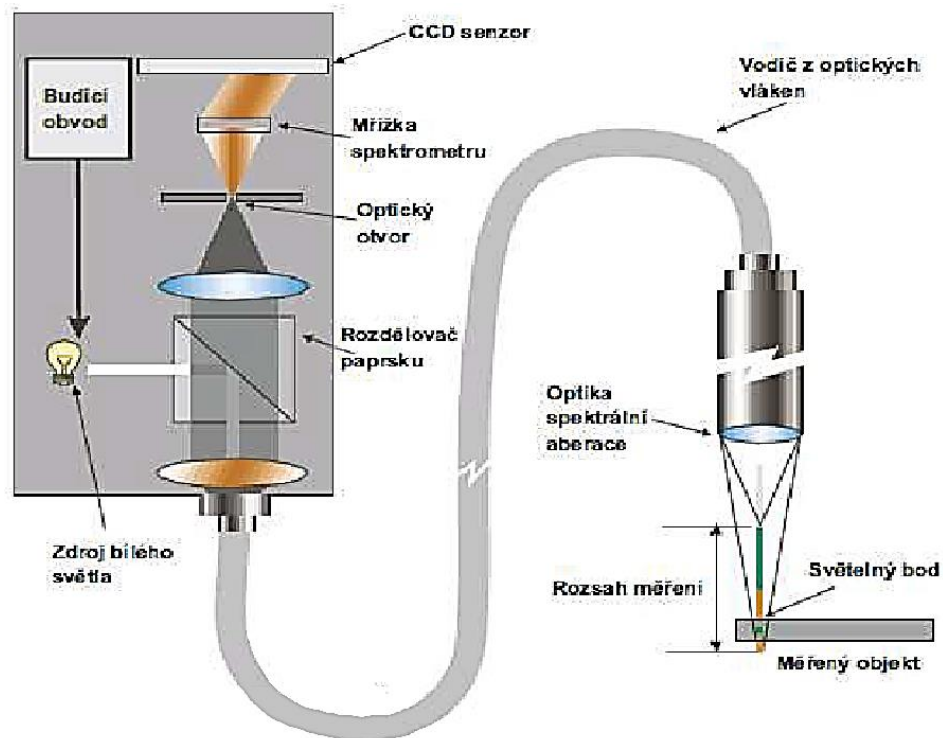
Diamantový hrot na snímacím raménku je posouván po povrchu. Vertikální pohyb hrotu při přechodu výstupků a prohlubní je indukčním měřidlem převáděn na elektrický signál. Pro tento systém, použitý v mnoha dalších přístrojích Taylor Hobson, je charakteristická malá měřicí síla, což minimalizuje nebezpečí poškození měřeného povrchu. [9]



Obrázek 28. Indukční snímač [9]

### 2.1.2 CLA snímač

Bílé světlo je rozkládáno a optikou se spektrální aberací je směřováno na kontrolovaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém době 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. [9]



Obrázek 29. CLA snímač [9]

## 2.2 Měřicí přístroje Talysurf CLI

Přístroje Talysurf 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). [8]



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 (Chromatic Length Aberration – CLA). 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 mechanickým 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. Přístroje Talysurf CLI jsou připraveny ve třech provedeních, což uživateli umožňuje výběr přesně podle svých požadavků. [8]

### 2.3 Měřicí program Talymap

Program Taylor Hobson Talymap zpracovává prostorovou charakteristiku povrchu z dat získaných dotykovým i bezdotykovým měřicím systémem profilometru. Program umožní několika různými způsoby zobrazit sledovaný povrch včetně axonometrické projekce (čárové nebo síťové) s volitelným úhlem pohledu a barevným rozlišením výšek, s nastavitelným zvětšením celku nebo vybrané části povrchu. Dále lze provádět rozměrová měření ve třech osách, inverzi profilu povrchu, simulaci opotřebení povrchu, apod. Práce s programem i vkládání dat k analýze řady profilů program zajistí rychlé opakování stejné operace, úlohy nebo výpočtu včetně grafické dokumentace. [8]

Talymap zajišťuje cílenou a podrobnou analýzu různých povrchů s využitím rozměrových měření (např. objemu prohlubní a výstupků, vzdálenosti a výškových rozdílů dvou bodů, stanovení velikosti úhlu ve vodorovné rovině, apod.) úpravy tvaru a filtrace. Předností programu je, že je připraven nejen pro zpracování měřených dat přístroji Taylor Hobson, ale i pro zpracování měření z většiny komerčních měřicích zařízení struktury povrchu. Tak je zajištěno, že data z měření různými přístroji jsou stejným postupem analyzována a výsledky jsou prezentovány ve stejném formátu, což usnadní jejich porovnání.

Program využívá pro prostorové hodnocení povrchu amplitudové parametry (většina z nich je odvozena z parametrů 2D), dále parametry popisující materiálový poměr povrchu (ISO 13565 – 2), parametry vztažené k rozmístění nerovností (např. hustota výstupků, rozvinutý povrch, apod.) a konečně objemové parametry (zavedené ke kvantifikaci nosného podílu a poměru objemů materiál/dutiny). Celkem program nabízí pro charakteristiku povrchu 120 parametrů v režimu 2D a 40 parametrů pro 3D. Navíc dovoluje vyjmout z hodnoceného povrchu jeden profil a provést jeho hodnocení (2D). Na 3D zobrazený povrch lze v libovolném směru vyznačit jeden profil (čáru), který je následně vyhodnocen funkcemi 2D.

Prostorovou analýzou povrchu se otevírají nové možnosti hodnocení struktury, které byly dvourozměrným měřením nedosažitelné. Přínosným se ukazuje tento detailní prostorový popis povrchu především při posuzování jeho funkčních vlastností jako např. opotřebení, tření, mazání, únavové vlastnosti, těsnění stykových ploch, vhodnost povrchu pro nátěry, apod. Programy Talymap jsou pro prostorové hodnocení připraveny v několika provedeních od nejjednodušší až po rozšířenou verzi, která umožňuje rozsáhlejší hodnocení (např. i frekvenční analýzu, stanovení autokorelační funkce, nosného podílu ve zvolené výšce profilu povrchu, atd.). [8]

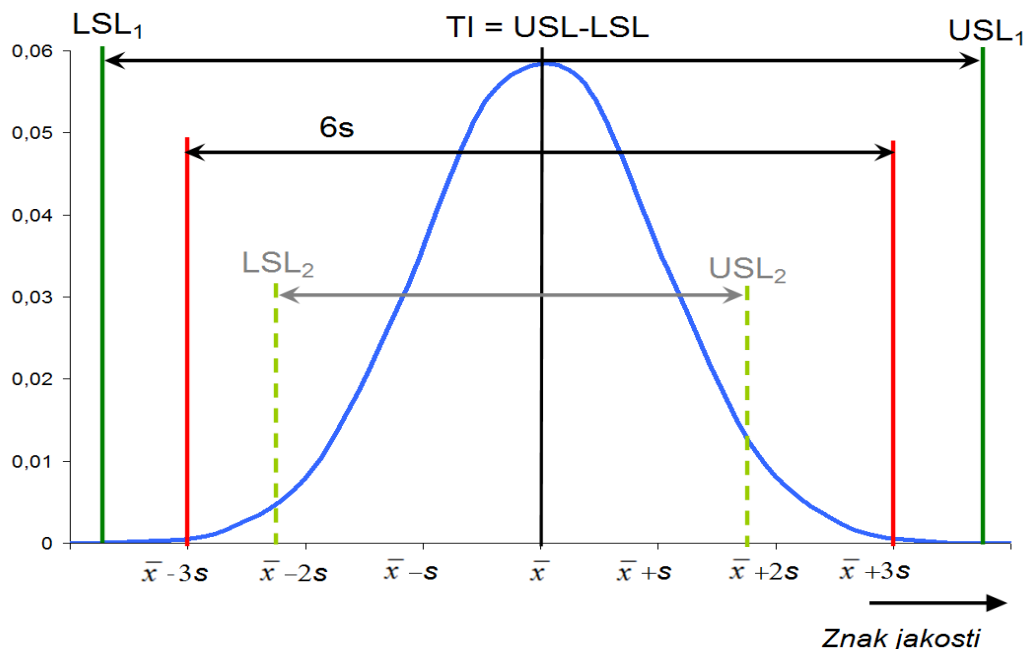
### 3 HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PROCESU

#### 3.1 Ukazatele způsobilosti a výkonnosti procesu

Ukazatele způsobilosti a výkonnosti  $C_p$ ,  $C_{pk}$ ,  $P_p$ ,  $P_{pk}$  byly zavedeny ve snaze popsat stav výrobního procesu, resp. chování sledovaného znaku jakosti, pomocí několika čísel bezrozměrného charakteru. Zadáním těchto čísel se vlastně vyjadřuje požadavek na stav procesu, aby očekávaný počet neshodných výrobků odpovídal požadovanému počtu a aby proces byl ve stabilizovaném stavu, tzn. pro praxi v téměř stavu neměnicím se v průběhu času.  $C_p$ ,  $C_{pk}$ , jejichž použití vyžaduje po sledovaném znaku jakosti, aby mohl být popsán normálním rozdělením  $N(\mu, \sigma^2)$ , kde  $\mu$ , je parametr polohy a  $\sigma^2$  je rozptyl sledovaného znaku. Pro úplnost, zde je jejich vzorec:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}, \quad C_{pk} = \left( \frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right)$$

Jejich zadáním se zcela jednoznačně určuje, jaká má být úroveň tzv. inherentní variability znaku jakosti a dvojrozměrná poloha; tj. střední hodnota sledovaného znaku jakosti, neboť z obou ukazatelů vyplývá pouze míra nacentrování procesu od průměru specificačních mezí, nikoliv to, zdali střední hodnota má být napravo či nalevo od tohoto průměru. [12]



Obrázek 30. Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti  $C_p$  ( $LSL$  – dolní toleranční mez,  $USL$  – horní toleranční mez,  $TI$  – šířka tolerančního pole,  $s(\sigma)$  – směrodatná odchylka)

Lze tedy zadání dvojice  $C_p$ ,  $C_{pk}$  chápat tak, že střední hodnota jakostního znaku se může pohybovat těmito dvěma krajními polohami, aniž by se hodnota  $C_{pk}$ , zmenšovala, protože vždy musí být  $C_p \geq C_{pk}$ , přičemž rovnost nastává jedině tehdy, když proces je přesně centrován na prostředek specifikačního rozmezí. První problém, se kterým se lze v praxi setkat, je již stanovení hodnot pro  $C_p$  a  $C_{pk}$  od konstruktérů či odběratelů produktů z procesu. Mnohdy jsou bohužel tyto hodnoty velice přísné, takže výrobce není schopen se stávající technologií tyto požadavky splnit, protože to mnohdy jednoduše vůbec nejde. Tento problém se často vyskytuje např. u plastových výrobků, kde se objevuje druhý problém, a to jak přesně získat hodnoty sledovaného znaku jakosti. Stanovení požadavků na  $C_p$  a  $C_{pk}$  je jedna strana mince, ale otázka, zdali je vůbec schopen výrobní proces toto splnit, je strana druhá. Aby bylo možno obě strany porovnat, musíme z procesu odebrat nějaké produkty, ty přeměřit a získaná data použít pro zjištění způsobilosti našeho procesu. A to je třetí problém, protože jsme nuceni zpracovat pouze dílčí informaci obsaženou v odebraných produktech, i kdyby produktů byly tisíce. Aby nástroje matematické statistiky byly využity adekvátně, je nutno respektovat splnění některých předpokladů. Je to především normalita získaných dat, kterou je možno ověřit pomocí testů dobré shody a stabilita procesu, což znamená, že poloha procesu  $\mu$  (tj. střední hodnota sledovaného znaku) se v čase nemění a rovněž tak i úroveň variability  $\sigma^2$  lze považovat za stálou v čase. [12]

Pro měření jednostranných mezí lze prakticky použít pouze výpočet parametru  $C_{pk}$ , ovšem ani zde se však nedopátráme objektivního výsledku.

### 3.1.1 Tolerance typu S

U tolerance S je dána jen horní tolerance  $USL = d$  a cílová hodnota  $T = 0$ . Příkladem je přípustná kontaminace potravin, **tolerance pro úpravu drsnosti**, maximální propustnost filtru atd. Ve všech případech je ideální stav  $T = 0$ . Pro tento typ tolerance navrhli autoři v (Pillet a kolektiv) modifikovaný Taguchiho index  $C_{pm}$ . Při jeho konstrukci se vychází z Taguchiho ztrátové funkce pro tuto toleranci. [13]

Vzorec má tvar:

$$C_s = \frac{\textit{tolerance}}{1,46\sqrt{s^2 + \bar{x}^2}}$$

### 3.1.2 Hodnocení způsobilosti - parametr $C_s$

Index způsobilosti  $C_s$  pro jednostrannou toleranci typu  $S$ , je-li  $T = 0$ ,  $d = 10$  a dané výsledky měření. Ve obou případech je stejná variabilita dat, jen centrování se zhoršuje (jak je zřejmé z obrázků). Porovnání indexu  $C_s$  s indexem  $C_{pk}$ :

**Příklad** (ilustrační):  $T = 0$ ,  $USL = 10$ , výsledky měření:

a) zadány hodnoty: 7,7,8,8,8,8,8,8,8,8,9,9

Pak  $C_{pk} = 1,1$ , ale speciální index  $C_s = 0,85$

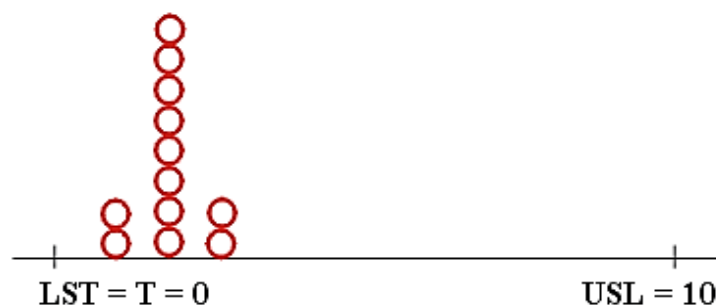


Obrázek 31. Tolerance typu  $S$ : dobré centrování [13]

b) zadány hodnoty: 1,1,2,2,2,2,2,2,2,2,3,3

V tomto případě došlo k přiblížení k cílové hodnotě při stejném rozptylu.

Pak  $C_{pk} = 1,1$  (beze změn), ale  $C_s = 3,3$



Obrázek 32. Tolerance typu  $S$ : špatné centrování [13]

V praxi se většinou považuje za způsobilý proces hodnota indexů způsobilosti  $\geq 1,33!$ , Uvedenou situaci (centrování) dobře charakterizuje  $C_s$ , zatímco  $C_{pk}$  se chová právě opačně. [13]

### 3.2 Statistický software Minitab

Statistický software Minitab poskytuje nástroje, které potřebujete k analýze dat a pro následné informované rozhodování při zdokonalování Vašeho podniku. Jeho výkon a jednoduše používání z něj učinily vedoucí software na světě v oblasti jednak zlepšování kvality a jednak výuky statistiky. [10]

Minitab je balík statistických metod určených pro analýzy dat. Byl vyvinut na Pensylvánské státní universitě (Pensylvania State University) týmem vědců v roce 1972. Jmenovitě Barbarou F. Ryan, Thomasem A. Ryan, Jr. a Brian L. Joiner. Minitab začal jako zjednodušená verze OMNITABu, programu na statistické analýzy od NIST.

Program je určen pro uživatele jak z oblasti praxe, tak z vysokých škol. Software nabízí řešení pro uživatele všech úrovní znalostí statistiky. Původně byl určen pro podporu výuky statistiky.

Minitab je distribuován společností Minitab Inc., soukromou společností se sídlem ve Státě Colledy v Pensylvánii, s pobočkami v Coventry, Anglie - Minitab Ltd., v Paříži, Francie - Minitab SARL a v Sydney, Austrálie - Minitab Pty.

Dnes je Minitab častou používán ve spojení s implementací Six Sigma a jiných, na statistice založených metod procesního zlepšování.

Minitab 16 - poslední verze softwaru, existuje v 7 jazykových verzích: anglické, francouzské, německé, japonské, korejské, čínské a španělské.

Minitab Inc. vytváří dva další produkty, které doplňují Minitab 16. Quality Trainer; vzdělávací balík pro výuku statistických nástrojů a postupů v kontextu zlepšování kvality, který je navázaný na Minitab 16 tak, aby rozvíjel uživatelovu statistickou znalosti a dovednosti v užívání software Minitab; a Quality Companion 3, integrovaný nástroj pro řízení Six Sigma a Lean projektů, který umožňuje kombinovat projektovému managementu data Minitabu s řídicími nástroji a dokumentací. [11]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 4 CÍLE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

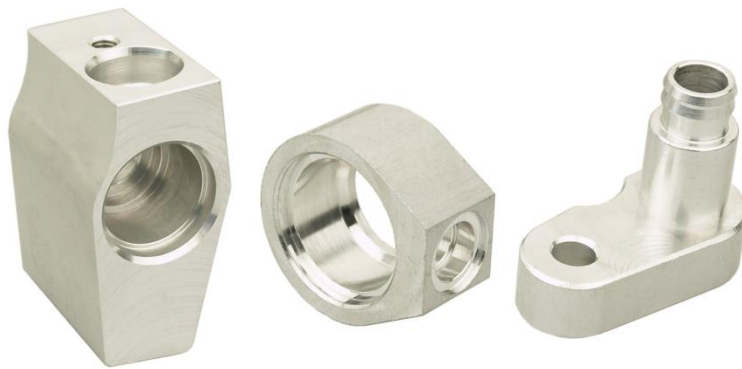
Cílem bakalářské práce je vyhodnotit způsobilost měření drsnosti povrchu obráběného povrchu součástky z hliníkové slitiny kontaktní a bezkontaktní metodou. Vybereme konkrétní druh součástky, zvolíme vhodné plochy pro měření drsnosti, provedeme vlastní měření kontaktní a bezkontaktní metodou a vyhodnotíme způsobilost obou metod. Závěrem doporučíme vhodnou metodu měření drsnosti pro vybraný povrch součástky.

## 5 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

### 5.1 Způsob výběru vzorků a příprava

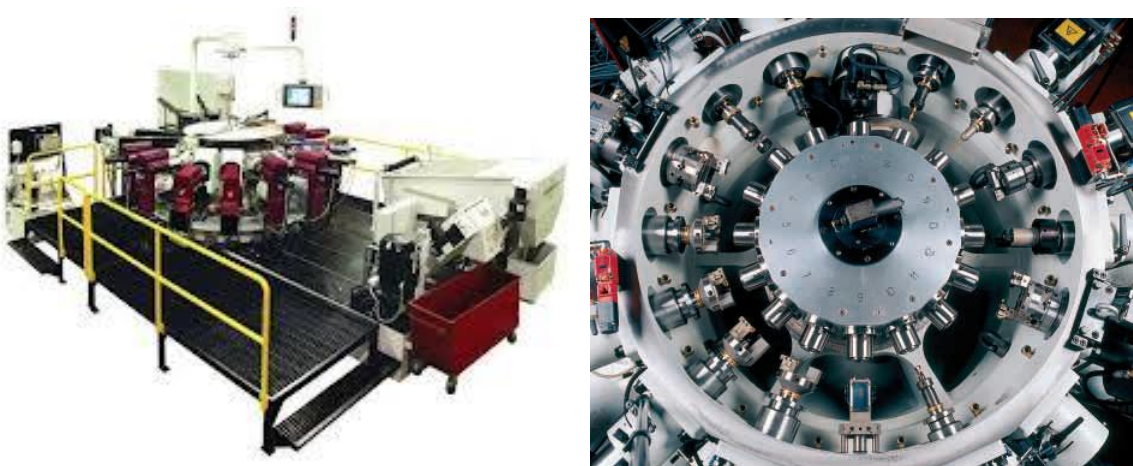
#### 5.1.1 Výroba součástek automobilových klimatizací

Jedná se o součástky, které slouží k rozebíratelným spojením různých sestav automobilových klimatizací, proto musí některé plochy, sloužící jako těsnící, splňovat určitá kritéria na jakost povrchu, jakou je maximální drsnost povrchu těchto ploch.



Obrázek 33. Spojovací součástky automobilových klimatizací

Součástky jsou vyráběny třískovým obráběním z hliníkové slitiny EN AW 6061 T6 čelním frézováním na stroji Hydromat HB 32/16 švýcarské firmy Pfiffner. Na obrázku 34. je pohled do útrobu stroje Hydromat, jehož vedlejší obráběcí pohyb (posuv) zajišťuje hydraulika.



Obrázek 34. Transferový hydraulický stroj Hydromat HB 32/16

### 5.1.2 Výběr vhodné součástky

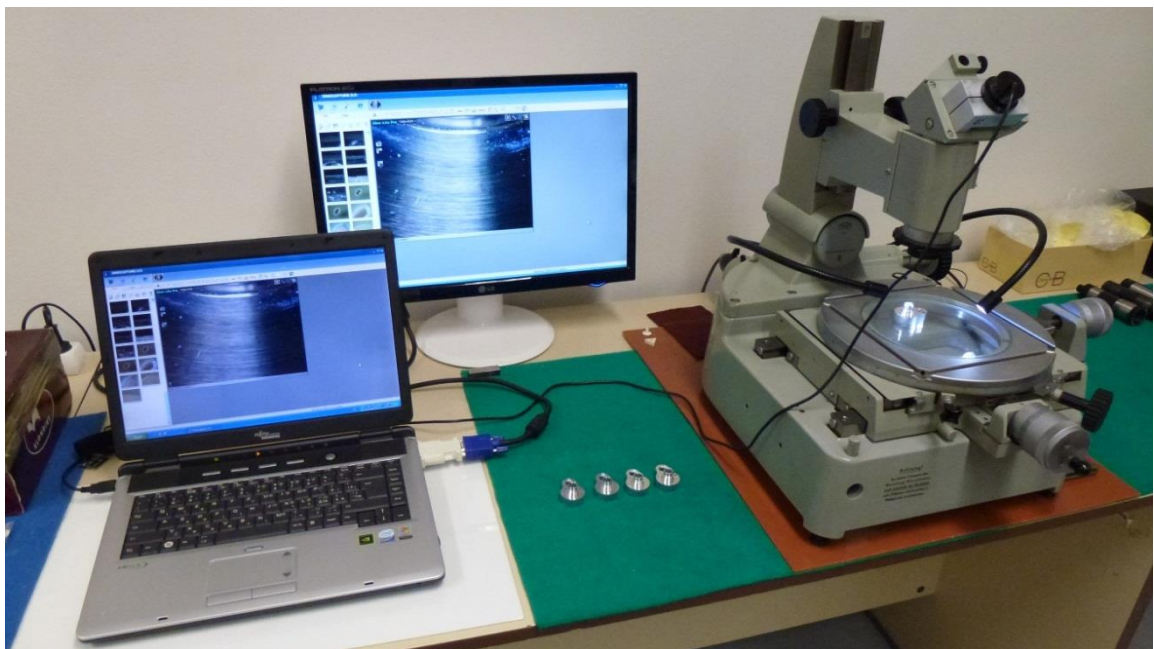
Parametry struktury povrchu nejsou použitelné pro popis vad povrchu. Z toho důvodu vady povrchu, tj. rýhy a póry, nesmí být při kontrole struktury povrchu uvažovány. Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické hodnoty, to může být posouzeno vizuálním pozorováním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně. [7]

Vybereme vzorky součástek č.1



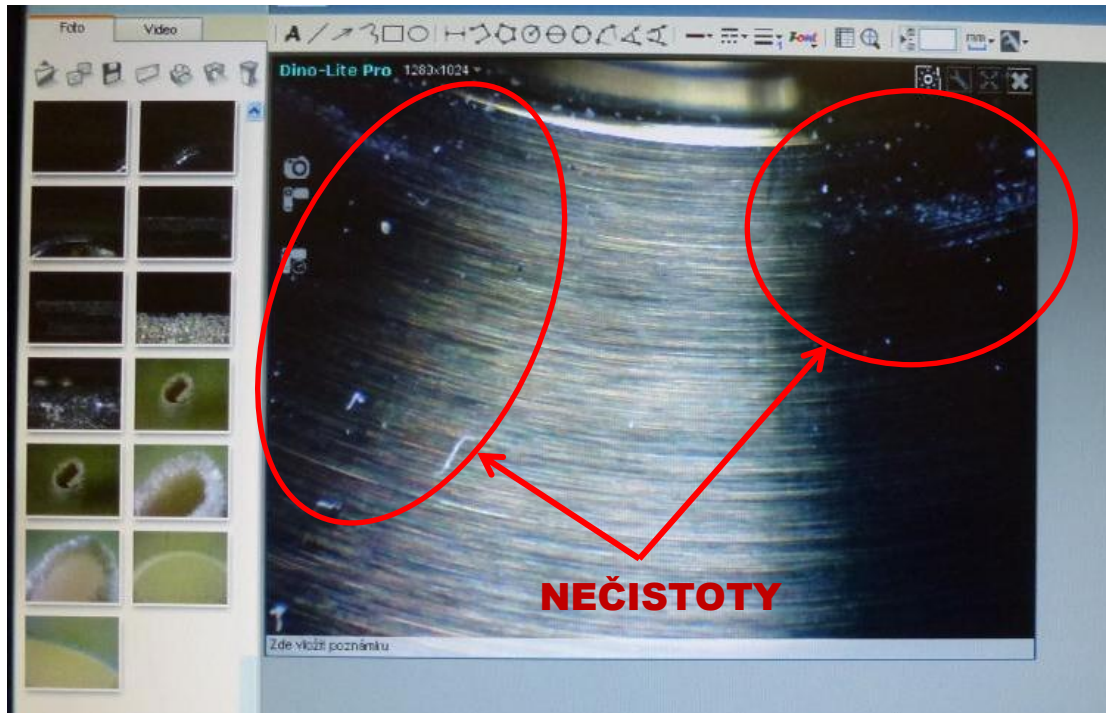
Obrázek 35. Vzorky součástek č.1

Měření začínáme tzv. dílenským mikroskopem Carl Zeiss Jena, který je doplněn digitálním okulárem Dinocapture 2.0.



Obrázek 36. Mikroskop Carl Zeiss Jena s příslušenstvím

Zvolíme správnou velikost zvětšení (10x) pro daný povrch a uděláme dostatečný počet snímků pro označení nepoškozených ploch pro měření samotné drsnosti povrchu.



Obrázek 37. Snímek obráběné plochy

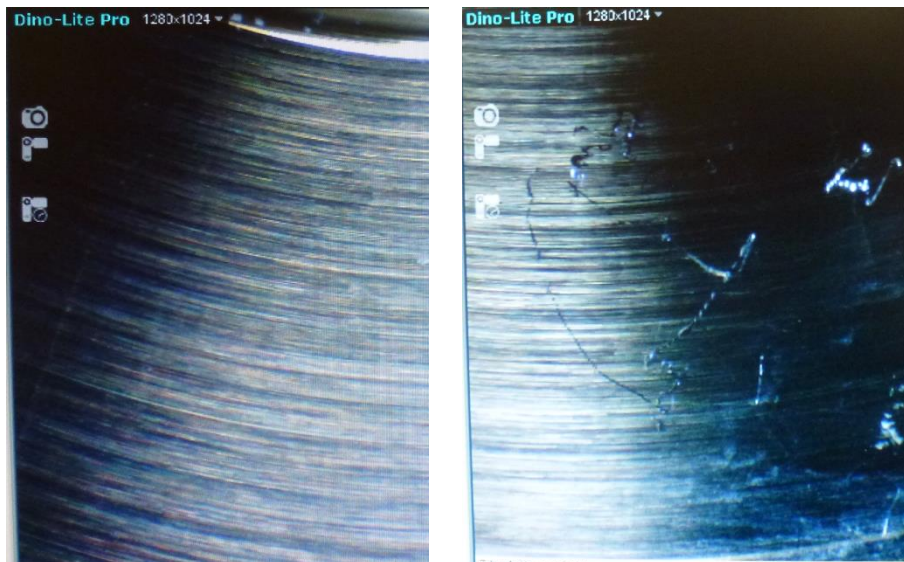
Již na první fotografii je zřejmé, že na povrchu součástky je celá řada nečistot, které nejsou pouhým okem patrné, proto je nutné přistoupit k čištění vzorku. Součástku povrchově omyjeme a také odmastíme technickým lihem, poté ofoukáme filtrovaným tlakovým vzduchem (v žádném případě neutíráme!).



Obrázek 38. Čištění součástky



Provedeme opětovnou kontrolu povrchu pod mikroskopem. Zjistíme ovšem, že většina povrchu plochy je poškozená (rýhy, škrábance, tukance), které opět nebyly rozeznatelné pouhým okem a které vznikly zřejmě při odebrání vyrobených dílů ze stroje.



Obrázek 39. Nepoškozený a poškozený povrch plochy

Protože výběr ploch vhodných pro objektivní měření drsnosti povrchu u součástky č.1 byl velmi pracný, přistoupili jsme k přípravě součástky č.2.



Obrázek 40. Vzorčky součástek č.2

Postup přípravy byl obdobný jako u součástky č.1 s tím rozdílem, že se součástkou č.2 bylo zacházeno opatrněji již hned po vyrobení - tedy vyjmutí ze stroje, tudíž byla kvalita povrchu mnohem lepší. Na 25 zkoumaných vzorcích byl pouze u jednoho dílu nepatrně poškozen povrch.

### 5.1.3 Výběr ploch z hlediska měření



Obrázek 41. Měřené plochy

Na obrázku 41. vidíme určené oblasti pro dráhu snímání při měření drsnosti povrchu. Určili jsme čtyři oblasti na každém vzorku (celkem 25 vzorků) pro dostatečné množství dat při konečné vyhodnocování způsobilosti procesu v oblasti jakosti povrchu. Směr dráhy jsme stanovili příčně na směr obrábění. Drsnost povrchu po čelním frézování (nebo soustružení) nabývá největších hodnot právě v tomto směru.

## 5.2 Použité měřicí přístroje a postup měření

### 5.2.1 Kontaktní měřicí přístroj MAHR Perthometer S2

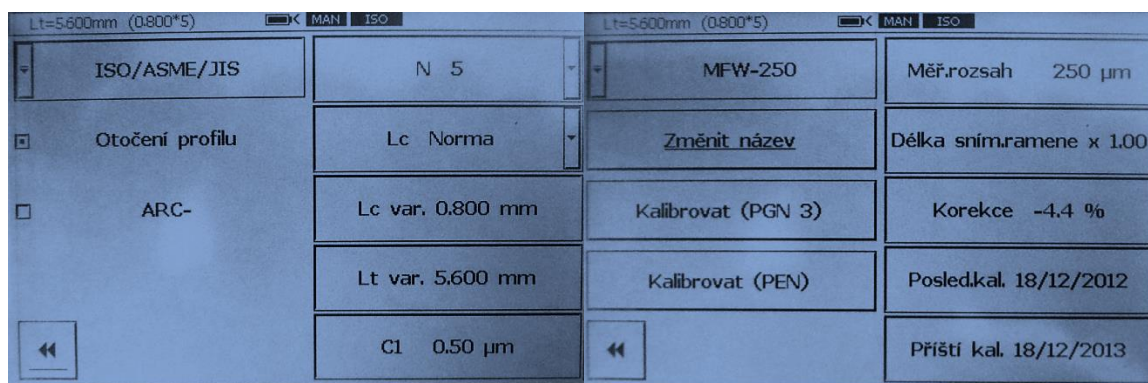
Kontaktní měření drsnosti povrchu na připravených vzorcích jsme prováděli na přístroji MAHR Perthometer S2, na kterém je možné měřit všechny parametry drsnosti normované podle DIN, ISO 12085, JIS, ASME a parametry Motif. Ve spojení se snímačem MFW-250 vzniká výkonný, robustní systém měření drsnosti, který lze využít jak v blízkosti výrobního procesu, tak i v měrovém středisku. Perthometer S2 umožňuje také zobrazení charakteristických křivek, diagramů profilu a protokolů měření i provádění statistických vyhodnocení.



Obrázek 42. Měřicí přístroj MAHR Perthometer S2

### 5.2.2 Kalibrace měřicího přístroje MAHR Perthometer S2

Nejprve zkontrolujeme správné sestavení přístroje, který se skládá z vyhodnocovací jednotky Perthometer S2 s tiskárnou, posuvové jednotky Marsurf GD25 a snímacím raménkem s hrotem MFV-250. Na vyhodnocovací jednotce nastavíme požadované parametry.

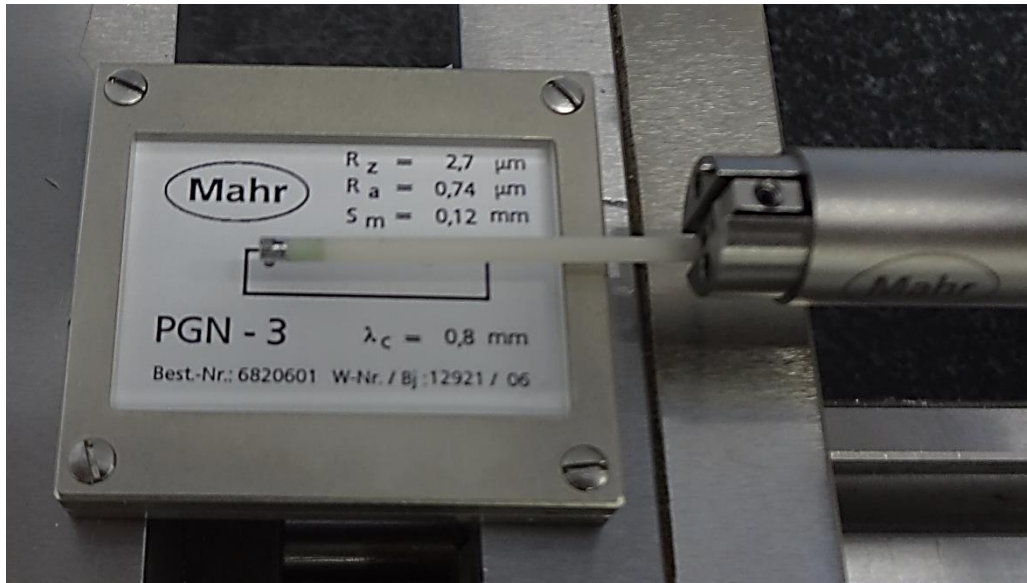


Obrázek 43. Nastavení parametrů přístroje

Skutečné kalibrování přístroje se provádí jednou ročně příslušným kalibračním střediskem, my pouze provedeme kontrolu přesnosti kalibrace, která se provádí vždy před každým měřením drsnosti povrchu součástek.

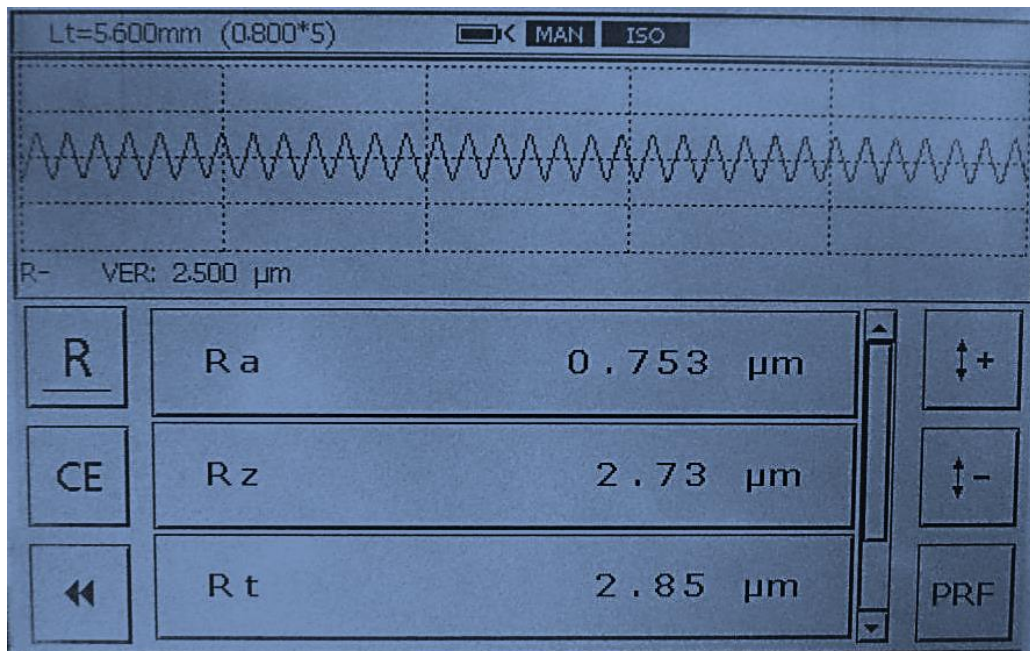


Připravíme si kalibrační destičku PNG-3 od firmy Mahr, kde jsou pevně stanoveny hodnoty  $R_z = 2,7 \mu\text{m}$ ,  $R_a = 0,74 \mu\text{m}$ , cut-off  $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$  (obrázek 44.).



Obrázek 44. Kalibrační destička (etalon)

Provedeme samotné měření na nastavené celkové délce dráhy  $l_t = 5,6 \text{ mm}$  ( $0,8 \text{ mm} \times 5$ ), dle odhadu parametrů (tabulka 1.) je vyhodnocovaná délka  $l_n = 4 \text{ mm}$ .



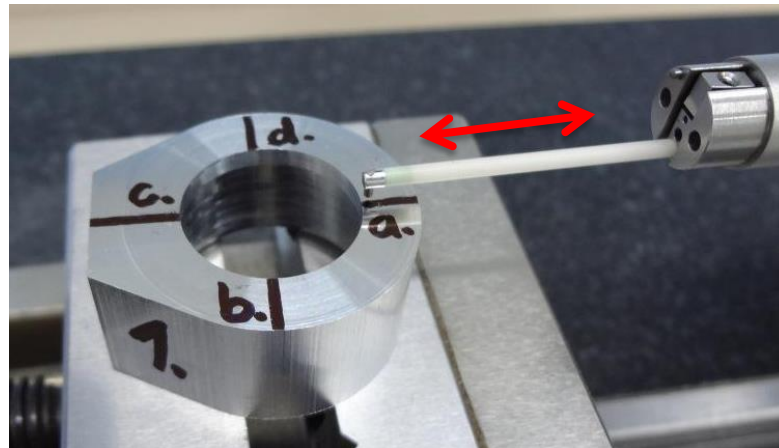
Obrázek 45. Výsledek kalibrace

Z kontrolního měření kalibrační destičky vidíme, že odchylky od stanovených parametrů jsou minimální a přístroj je tedy připraven pro měření vybraných vzorků. Na obrázku 45. je také vidět pilovitý tvar profilu vytvořený na kalibrační destičce (etalonu).



### 5.2.3 Měření vzorků na přístroji MAHR Perthometer S2

Kalibrační destičku nahradíme připravenými vzorky a provádíme měření drsnosti v určených oblastech (obrázek 46.) opět na dráze  $l_t = 5,6 \text{ mm}$  ( $0,8 \text{ mm} \times 5$ ) a nastavením přístroje dle normy ISO 4287.

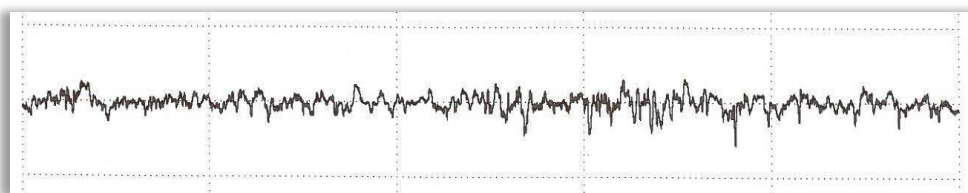


Obrázek 46. Měření drsnosti povrchu na vzorku č.1

Začínáme měřením oblasti „a“, pak pokračujeme otáčením dílu proti směru hodinových ručiček a měříme postupně další oblasti „b“, „c“ a „d“. Na obrázku 47. vidíme kompletní přehled parametrů změřených povrchů čtyř oblastí vzorku č.1, vytištěné přímo přístrojem.

1)	a.	b.	c.	d.
	<b>Mahr</b> Perthometer S2 V2.08	<b>Mahr</b> Perthometer S2 V2.08	<b>Mahr</b> Perthometer S2 V2.08	<b>Mahr</b> Perthometer S2 V2.08
	Datum 18/12/2012 as 09:18	Datum 18/12/2012 as 09:20	Datum 18/12/2012 as 09:21	Datum 18/12/2012 as 09:23
	T0 MFW-250 250* 0	T0 MFW-250 250* 0	T0 MFW-250 250* 0	T0 MFW-250 250* 0
	Lt 5.600 mm	Lt 5.600 mm	Lt 5.600 mm	Lt 5.600 mm
	Ls GS 2.5 µm	Ls GS 2.5 µm	Ls GS 2.5 µm	Ls GS 2.5 µm
	Lc GS 0.800 mm	Lc GS 0.800 mm	Lc GS 0.800 mm	Lc GS 0.800 mm
	Ra 0.203 µm	Ra 0.154 µm	Ra 0.160 µm	Ra 0.214 µm
	Rq 0.262 µm	Rq 0.199 µm	Rq 0.200 µm	Rq 0.275 µm
	Rz 1.54 µm	Rz 1.24 µm	Rz 1.17 µm	Rz 1.58 µm
	RzJ ***** µm	RzJ ***** µm	RzJ ***** µm	RzJ ***** µm
	Rmax 2.00 µm	Rmax 1.51 µm	Rmax 1.39 µm	Rmax 1.78 µm
	Rp 0.67 µm	Rp 0.54 µm	Rp 0.56 µm	Rp 0.81 µm
	Rv 0.88 µm	Rv 0.70 µm	Rv 0.61 µm	Rv 0.77 µm
	Rpk 0.24 µm	Rpk 0.22 µm	Rpk 0.21 µm	Rpk 0.31 µm
	Rk 0.64 µm	Rk 0.46 µm	Rk 0.53 µm	Rk 0.63 µm
	Rvk 0.39 µm	Rvk 0.23 µm	Rvk 0.19 µm	Rvk 0.29 µm
	Mr1 9.0 %	Mr1 13 %	Mr1 10 %	Mr1 13 %
	Mr2 2.00 µm	Mr2 89 %	Mr2 91 %	Mr2 88 %
	Rt 1.11 µm	Rt 1.51 µm	Rt 1.46 µm	Rt 1.85 µm
	R3z 1.23 µm	R3z 0.86 µm	R3z 0.90 µm	R3z 1.19 µm
	RPC(0.5,-0.5) 23 /c	RPC(0.5,-0.5) 13 /c	RPC(0.5,-0.5) 7.5 /c	RPC(0.5,-0.5) 38 /c
	Rmr(0.10,5.0) 2.1 %	Rmr(0.10,5.0) 1.7 %	Rmr(0.10,5.0) 1.8 %	Rmr(0.10,5.0) 2.6 %
	Rmr(-0.10,5.0) 11 %	Rmr(-0.10,5.0) 11 %	Rmr(-0.10,5.0) 12 %	Rmr(-0.10,5.0) 9.3 %
	Rmr(0.20,5.0) 0.9 %	Rmr(0.20,5.0) 0.1 %	Rmr(0.20,5.0) 0.3 %	Rmr(0.20,5.0) 1.2 %
	Pmr(0.10,5.0) 2.9 %	Pmr(0.10,5.0) 1.8 %	Pmr(0.10,5.0) 2.2 %	Pmr(0.10,5.0) 2.0 %
	Pmr(-0.10,5.0) 7.1 %	Pmr(-0.10,5.0) 11 %	Pmr(-0.10,5.0) 18.4 %	Pmr(-0.10,5.0) 8.5 %
	Pmr(0.20,5.0) 1.4 %	Pmr(0.20,5.0) 0.7 %	Pmr(0.20,5.0) 1.0 %	Pmr(0.20,5.0) 0.8 %
	RSm 63 µm	RSm 89 µm	RSm 73 µm	RSm 65 µm
	S 26 µm	S 27 µm	S 21 µm	S 24 µm
	Rdq 0.072	Rdq 0.053	Rdq 0.058	Rdq 0.075
	Rsk -0.41	Rsk -0.08	Rsk 0.090	Rsk 0.167
	Rku 4.105	Rku 3.656	Rku 3.018	Rku 3.251
	Rdc(10,5.0) -0.09 µm	Rdc(10,5.0) -0.08 µm	Rdc(10,5.0) -0.08 µm	Rdc(10,5.0) -0.11 µm
	Pdc(10,5.0) -0.27 µm	Pdc(10,5.0) -0.09 µm	Pdc(10,5.0) -0.13 µm	Pdc(10,5.0) -0.13 µm
	Pa 0.704 µm	Pa 0.327 µm	Pa 0.286 µm	Pa 0.264 µm
	Pt 16.4 µm	Pt 13.2 µm	Pt 2.59 µm	Pt 2.44 µm
	Wt 0.83 µm	Wt 0.30 µm	Wt 0.65 µm	Wt 0.41 µm
	Rx 1.91 µm	Rx 1.67 µm	Rx 1.67 µm	Rx 1.85 µm

Obrázek 47. Výsledky měření vzorku č.1



Obrázek 48. Křivka profilu drsnosti povrchu vzorku č.1

Vzhledem k tomu, že předepsané výkresové hodnoty testovaného povrchu součástky máme určeny parametricky Ra1,6/Rz6,3  $\mu\text{m}$  maximálně, jsou výsledky měření drsnosti všech 25 vzorků velmi uspokojivé jak co do velikosti hodnot, tak do vyrovnanosti, jak je vidět v tabulce 2.

Tabulka 2. Kompletní výsledky parametrů Ra a Rz z Perthometru S2

díl č.	Ra [ $\mu\text{m}$ ]				Rz [ $\mu\text{m}$ ]			
	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.
1	0,203	0,154	0,160	0,214	1,540	1,240	1,170	1,580
2	0,197	0,191	0,180	0,174	1,450	1,490	1,280	1,270
3	0,165	0,174	0,147	0,155	1,260	1,190	1,010	1,200
4	0,225	0,207	0,200	0,202	1,690	1,580	1,400	1,490
5	0,201	0,203	0,203	0,187	1,530	1,410	1,450	1,390
6	0,154	0,148	0,157	0,150	1,190	1,040	1,210	1,170
7	0,201	0,211	0,204	0,213	1,610	1,640	1,460	1,600
8	0,194	0,190	0,143	0,202	1,450	1,410	1,050	1,450
9	0,197	0,183	0,138	0,196	1,440	1,460	0,970	1,380
10	0,135	0,160	0,151	0,157	0,830	1,120	1,030	1,280
11	0,211	0,177	0,139	0,194	1,440	1,290	0,810	1,390
12	0,152	0,157	0,153	0,193	1,190	1,170	1,110	1,340
13	0,177	0,188	0,205	0,137	1,290	1,510	1,490	1,040
14	0,218	0,157	0,186	0,175	1,620	1,130	1,360	1,310
15	0,202	0,192	0,165	0,196	1,610	1,340	1,250	1,420
16	0,217	0,187	0,164	0,177	1,570	1,560	1,310	1,380
17	0,183	0,180	0,159	0,184	1,380	1,280	1,210	1,460
18	0,165	0,165	0,188	0,160	1,430	1,160	1,370	1,190
19	0,181	0,163	0,173	0,179	1,220	1,180	1,220	1,410
20	0,179	0,158	0,177	0,153	1,460	1,180	1,350	1,140
21	0,197	0,253	0,217	0,240	1,580	1,430	1,330	1,490
22	0,215	0,150	0,192	0,168	1,400	1,050	1,380	1,210
23	0,226	0,161	0,183	0,224	1,760	1,170	1,370	1,760
24	0,203	0,193	0,190	0,201	1,370	1,390	1,360	1,480
25	0,180	0,193	0,193	0,139	1,200	1,490	1,340	0,830

#### 5.2.4 Bezkontaktní měřicí přístroj TAYLOR HOBSON Talysurf CLI 500

Bezkontaktní měření povrchu vzorků provedeme na měřicím přístroji Talysurf CLI 500 od firmy TAYLOR HOBSON. Je to nejmenší provedení přístrojů Talysurf CLI (měřicí prostor 50x50x50 mm, délka posuvu 50 mm) charakterizované ekonomickou a prostorovou efektivností. Je určen především pro měření malých součástí. Pro instalaci přístroje stačí půdorysná plocha stolu 500x310 mm. Talysurf CLI 500 je připraven automaticky provádět měřicí operace a uvolnit pracovní kapacitu operátora.

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 objemu, výšky a vzdálenosti stupňů, analýzy výstupku, 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 měřicích postupů nejen urychlí proces analýzy, ale současně zajistí jednotnou formu prezentace výsledku 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. [8]

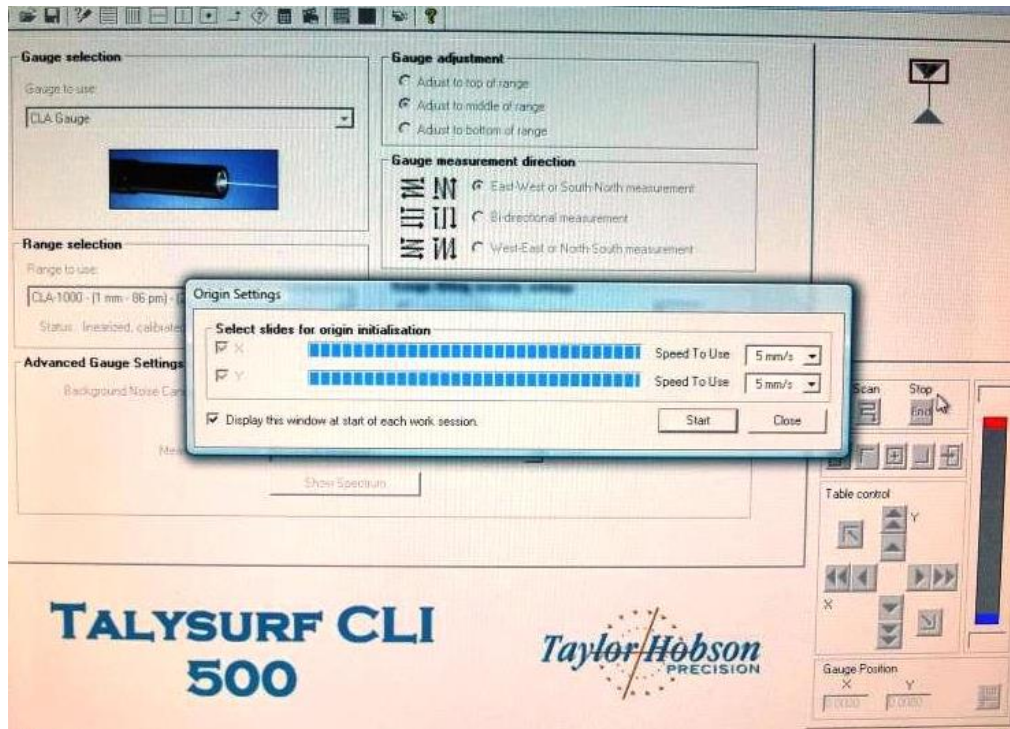


Obrázek 49. Přístroj Talysurf CLI 500 s příslušenstvím

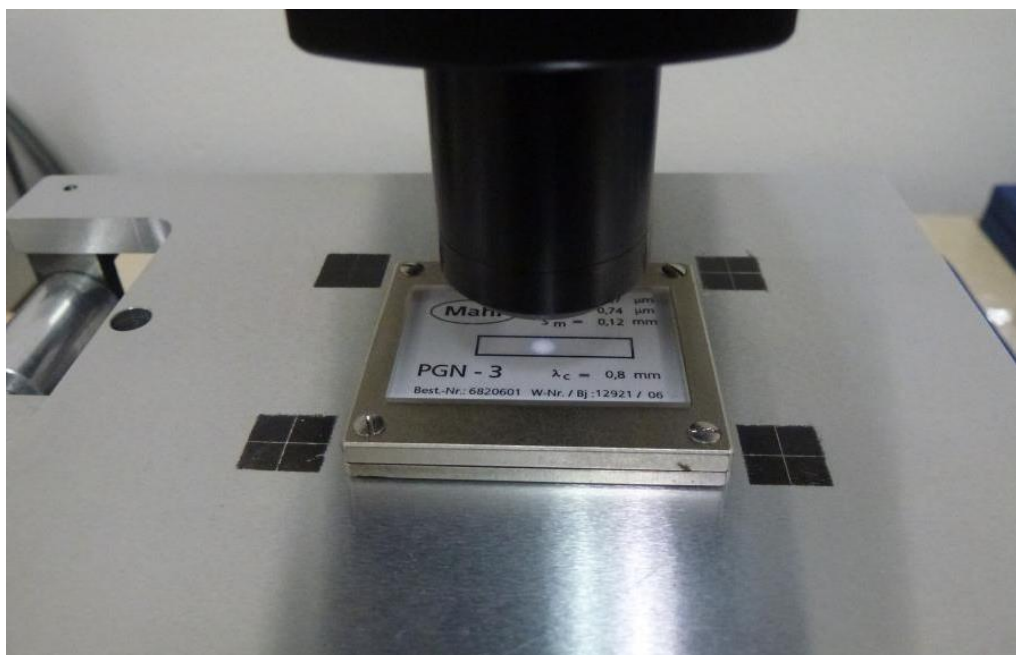


### 5.2.5 Kalibrace měřicího přístroje Talysurf CLI 500

Přestože si tento přístroj provádí vlastní automatickou kalibraci před započítím měření (obrázek 50.), provedli jsme ještě zkušební ověření kalibrace na etalonu MAHR PNG-3 (obrázek 51.).

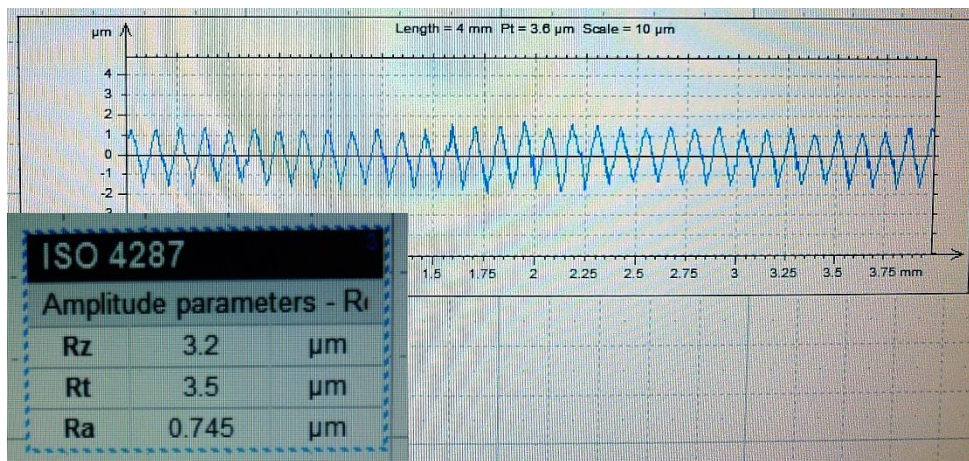


Obrázek 50. Vlastní kalibrace přístroje Talysurf CLI 500



Obrázek 51. Ověření kalibrace etalonem PNG-3

Ačkoliv je etalon PNG-3 uzpůsoben a určen pro kontaktní měřicí přístroje, výsledky kontrolního měření jsou velmi dobré (obrázek 52.), i zde je vidět charakteristický pilovitý tvar profilu vytvořený na povrchu etalonu. Přístroje Talysurf CLI kalibraci etalonem nevyžadují.



Obrázek 52. Výsledek kontrolního měření etalonu

### 5.2.6 Měření vzorků na přístroji Talysurf CLI 500

Po kalibraci začneme s vlastním měřením drsnosti povrchu na určených oblastech a směru měření jako v případě měření na přístroji MAHR Perthometer S2 (obrázek 41.). Pro požadavky specifikované horní mezí parametru budou použity ty jednotlivé plochy na povrchu, u nichž je zřejmé, že mají největší hodnoty parametru. [7]

Vzorek součástky připravíme na stavitelnou plochu přístroje a začneme vytvořením programu v software Talymap. Nastavíme vzorkovací frekvenci 50 Hz, poté režim měření a směr měření. Dále pak nastavíme odrazivost na měřeném vzorku, nejlépe 50 % a více.



Obrázek 53. Nastavení odrazivosti

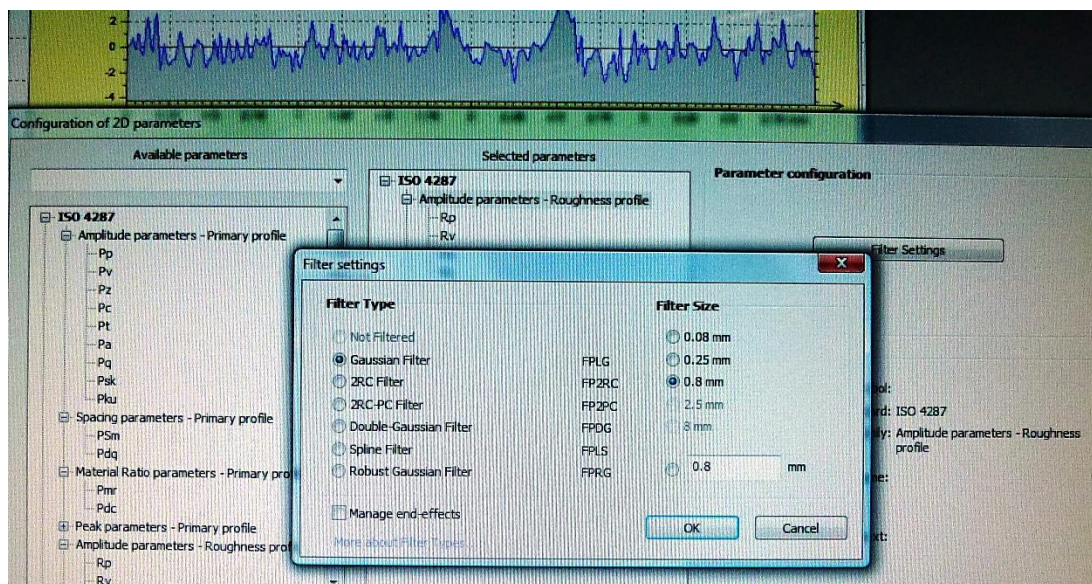


Následně nastavíme rychlost měření na 200  $\mu\text{m}/\text{sec}$ . Odhadované parametry měření použijeme stejné jako při měření kontaktním způsobem, tedy vyhodnocovaná délka  $l_n = 4 \text{ mm}$  a zbyvající nastavení dle normy ISO 4287 (obrázek 54.).



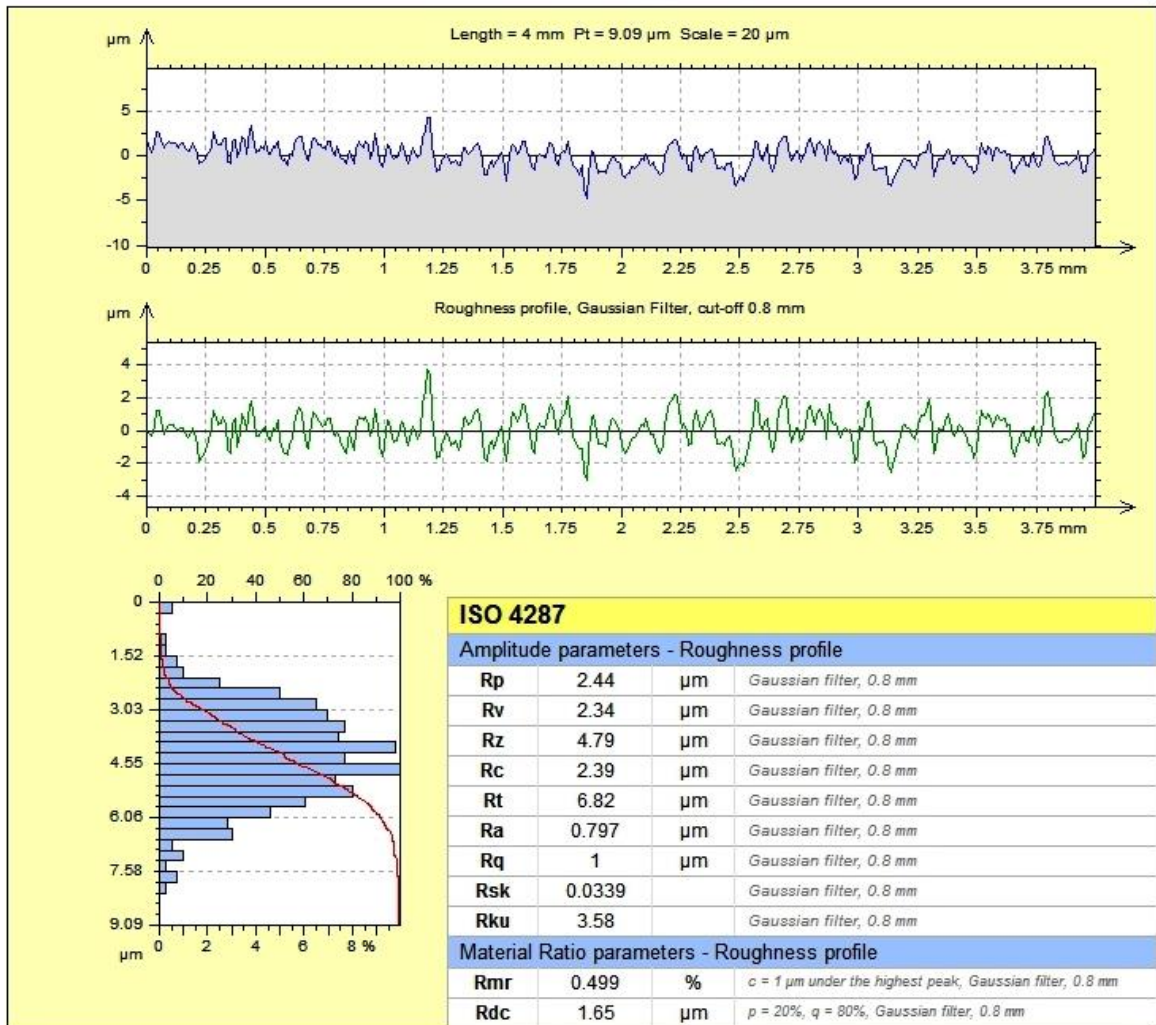
Obrázek 54. Nastavení parametrů měření

Nyní již nasnímáme hrubá data, se kterými budeme dále pracovat. Metodou nejmenších čtverců data vyrovnáme, výsledkem je křivka, ze které provedeme analýzu. Dále použijeme Gaussův filtr, základní délku  $l_r = 0,8 \text{ mm}$  a započítáme koncové efekty, vyjde nám tedy  $l_t = 5,6 \text{ mm}$  ( $0,8 \text{ mm} \times 5$ ). Vybereme parametry a zpracování dat v software Talysurf dokončíme (obrázek 55.).



Obrázek 55. Nastavení programu Talysurf pro zpracování dat po měření

Na obrázku 56. jsou zpracovány výsledky změřené drsnosti povrchu oblasti „a“ vzorku č.1. Vidíme zde křivku profilu povrchu, materiálovou křivku a vybrané parametry.



Obrázek 56. Vyhodnocené parametry prvního měření softwarem Talymap

Již po prvních měřeních a následných vyhodnocení zjišťujeme, že výsledky předepsaných parametrů drsnosti povrchu již tak uspokojivé nejsou a mají hodnoty 3 - 4x vyšší než tomu bylo u dotykového přístroje Perthometer S2, jak je vidět v tabulce 3.

Tabulka 3. Kompletní výsledky parametrů Ra a Rz z Talysurfu CLI 500

díl č.	Ra [ $\mu\text{m}$ ]				Rz [ $\mu\text{m}$ ]			
	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.
1	0,797	0,694	0,379	0,691	4,790	4,080	2,290	4,750
2	0,724	0,628	0,347	0,680	4,350	4,160	2,370	4,080
3	0,703	0,674	0,339	0,796	4,540	3,900	2,230	5,000
4	0,782	0,876	0,307	0,562	5,000	5,930	1,930	3,570
5	0,756	0,934	0,333	0,783	4,530	5,700	2,340	4,090
6	0,711	0,832	0,298	0,670	4,260	4,700	1,970	3,760
7	1,360	0,700	0,351	0,811	8,510	4,670	2,070	4,480
8	0,845	0,758	0,447	0,560	5,440	5,480	2,720	3,650
9	0,706	0,512	0,393	0,512	4,690	3,750	2,270	3,520
10	0,591	0,831	0,387	0,413	4,700	5,060	2,230	3,180
11	0,721	0,526	0,262	0,488	4,480	3,290	1,490	3,360
12	0,963	0,723	0,423	0,441	5,320	4,490	2,660	2,760
13	0,407	0,459	0,790	0,416	2,460	3,110	4,420	2,500
14	0,490	0,530	0,402	0,353	3,120	3,840	2,870	2,510
15	0,409	0,440	0,616	0,452	2,590	2,940	3,940	2,930
16	0,398	0,447	0,553	0,381	2,530	3,140	3,580	2,360
17	0,441	0,470	0,588	0,448	2,600	3,760	3,650	3,270
18	0,362	0,490	0,679	0,491	2,070	3,200	4,340	2,930
19	0,776	0,814	0,335	0,517	4,560	5,980	2,150	3,420
20	0,718	0,808	0,343	0,465	4,830	4,890	2,290	2,940
21	0,777	0,538	0,454	0,553	4,790	3,260	2,680	3,110
22	0,695	0,398	0,337	0,624	4,530	2,190	2,070	3,620
23	0,767	0,770	0,474	0,377	4,950	4,750	2,830	2,620
24	0,512	0,724	0,485	0,428	4,020	4,520	3,090	3,350
25	0,679	0,647	0,512	0,423	3,820	4,380	3,300	2,670



## 6 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

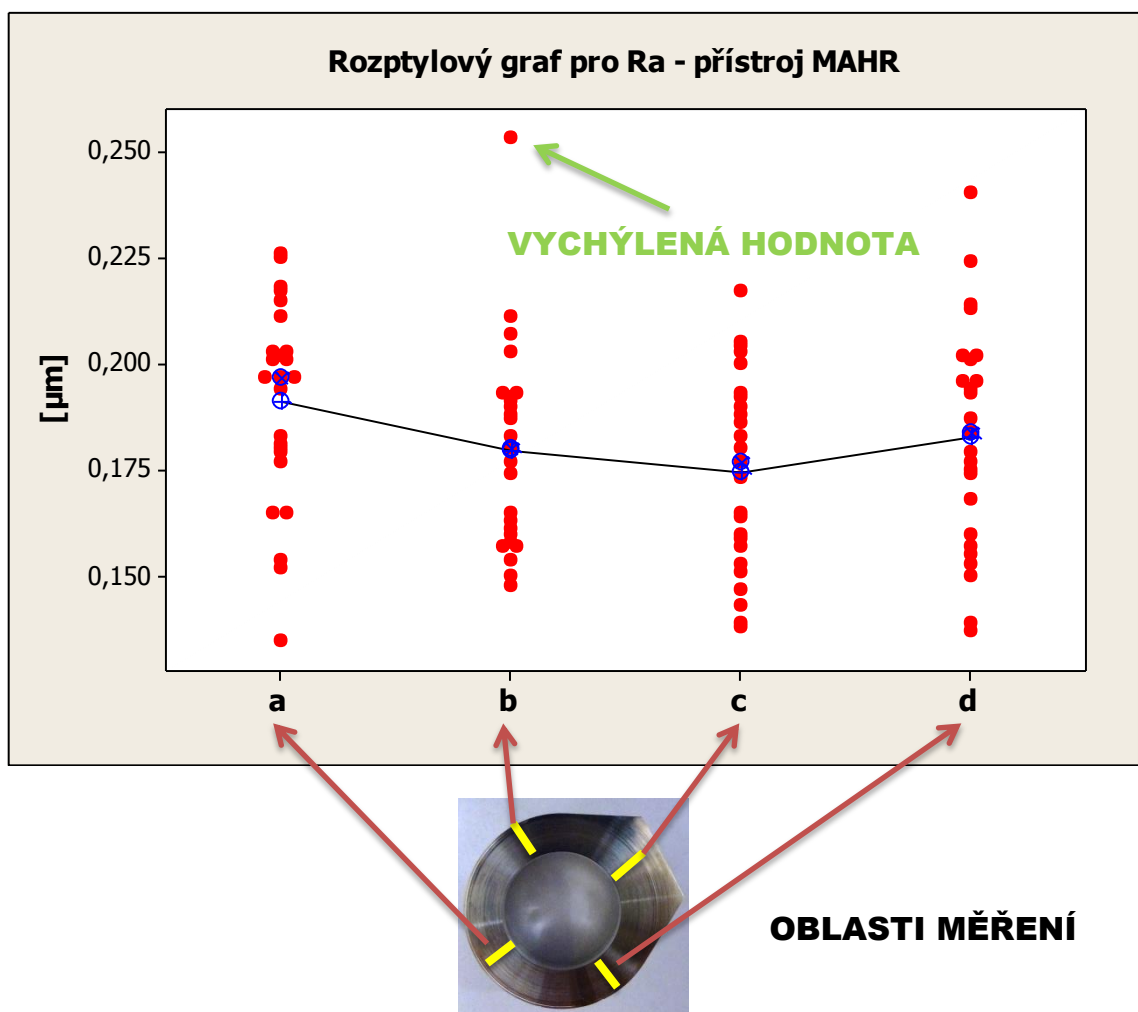
K vyhodnocení výsledků měření jsme použili statistický software MINITAB ve verzi 16.

### 6.1 Vyhodnocení vybraných parametrů v software MINITAB

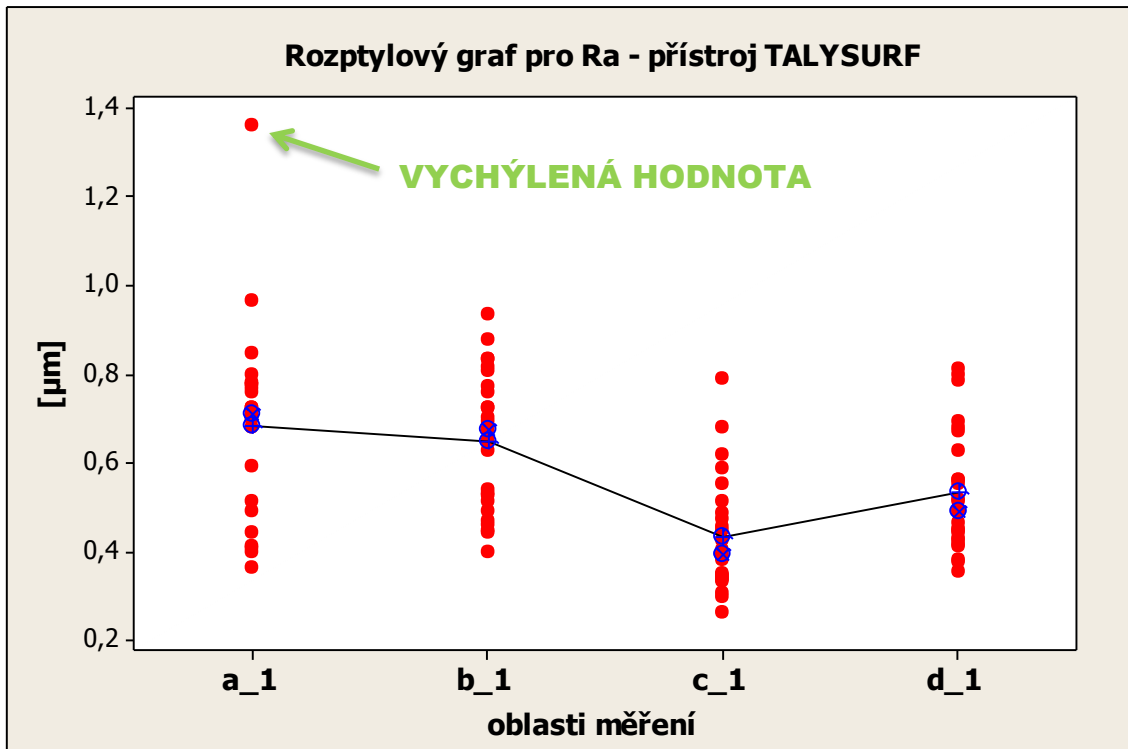
Ke statistickému vyhodnocení použijeme rozptylové grafy z programu MINITAB. Z veškerých zjištěných dat jsme pro následující hodnocení vybrali parametry drsnosti Ra, Rz, Rt, Rp a Rv. Ve vytvořených rozptylových grafech snadno zjistíme vychýlené hodnoty a také citlivost obou použitých přístrojů bezkontaktního a kontaktního měření. Dále pak ještě získané výsledky obou přístrojů porovnáme.

#### 6.1.1 Hodnocení rozptylů parametru Ra

Nejčastěji předepsaná hodnota pro těsnící plochy spojovacích součástek bývá právě parametr Ra, vyhodnotíme jej tedy jako první. V grafech porovnáváme vybrané oblasti měření.

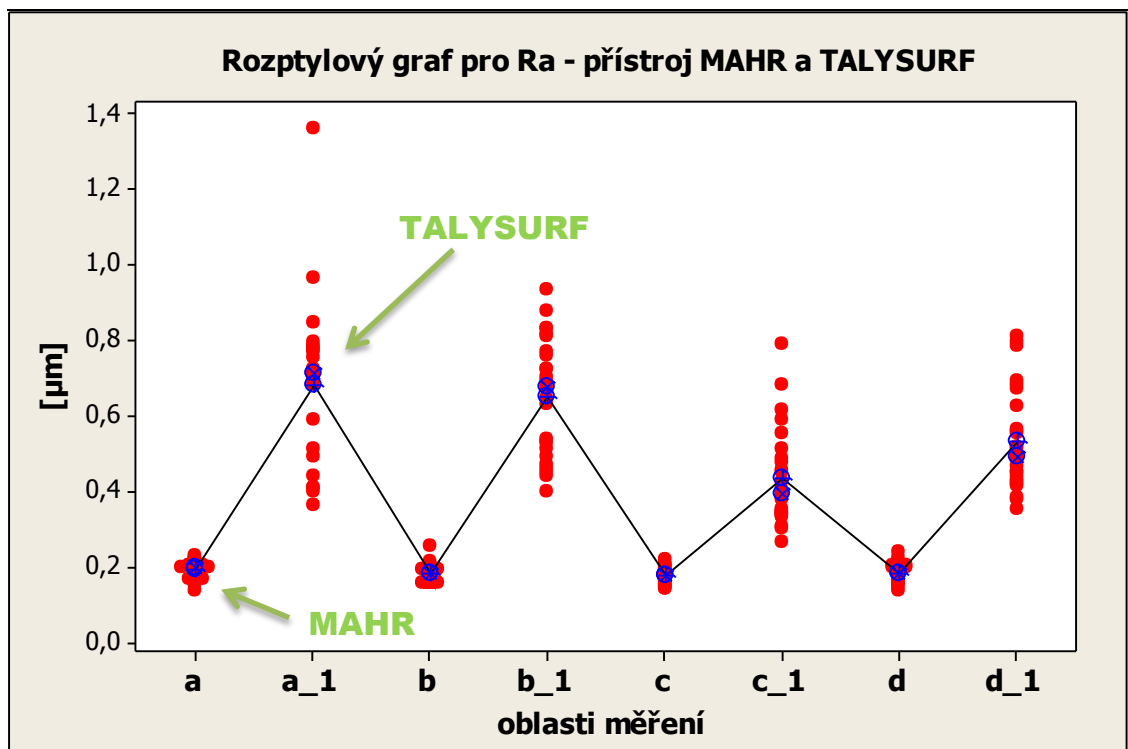


Obrázek 57. Rozptyl kontaktního měření drsnosti Ra v různých oblastech



Obrázek 58. Rozptyl bezkontaktního měření drsnosti Ra v různých oblastech

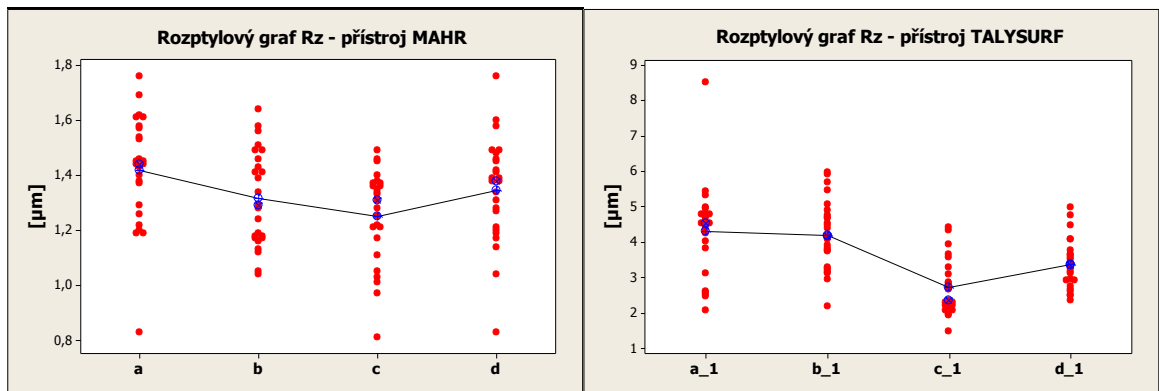
Na obrázcích 57. a 58. vidíme rozptyl naměřených parametrů Ra, který je vcelku vyhovující až na některé vychýlené hodnoty. Obrázek 59. nám jasně znázorňuje, jak velká je citlivost bezkontaktního přístroje TALYSURF oproti kontaktnímu přístroji MAHR.



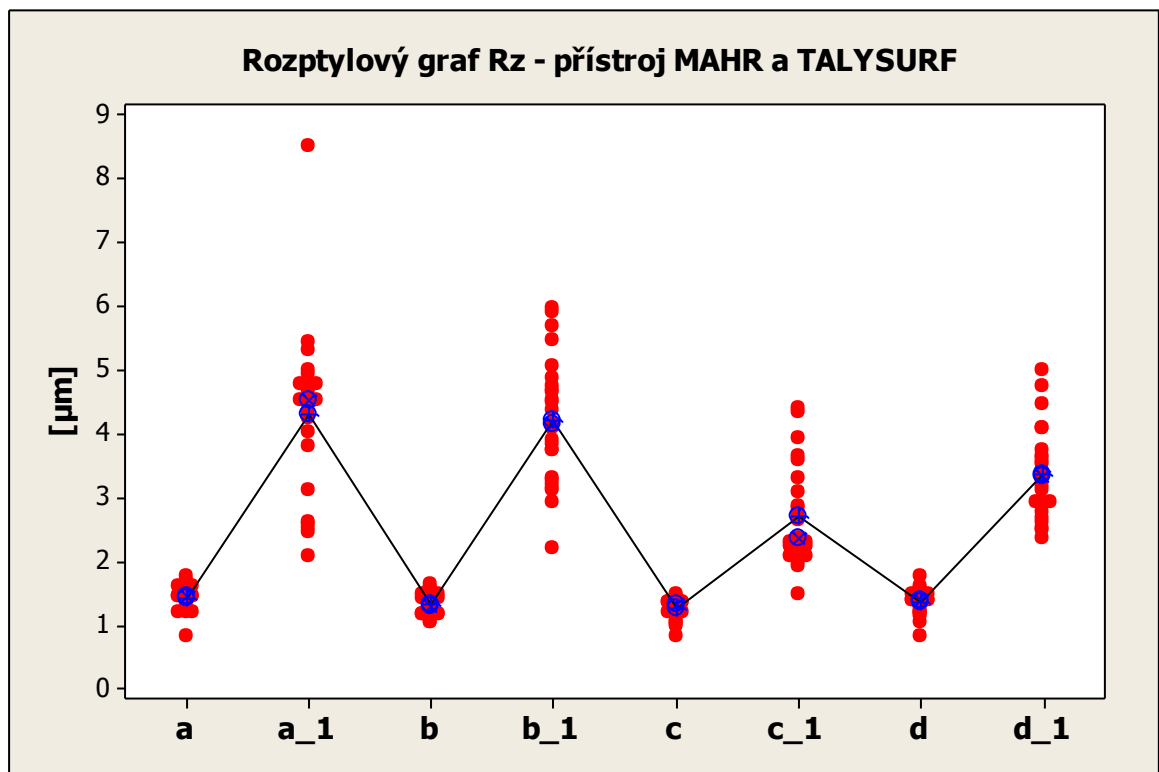
Obrázek 59. Porovnání parametru Ra z přístrojů MAHR a TALYSURF

### 6.1.2 Hodnocení rozptylů parametru Rz

Dalším nejčastěji používaným parametrem je parametr Rz, provedeme jeho porovnání.



Obrázek 60. Rozptylové grafy parametru Rz

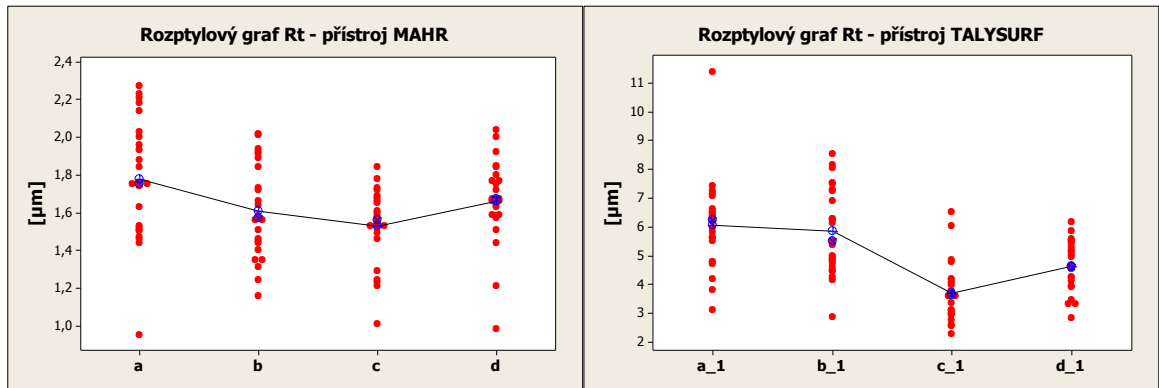


Obrázek 61. Porovnání parametru Rz z přístrojů MAHR a TALYSURF

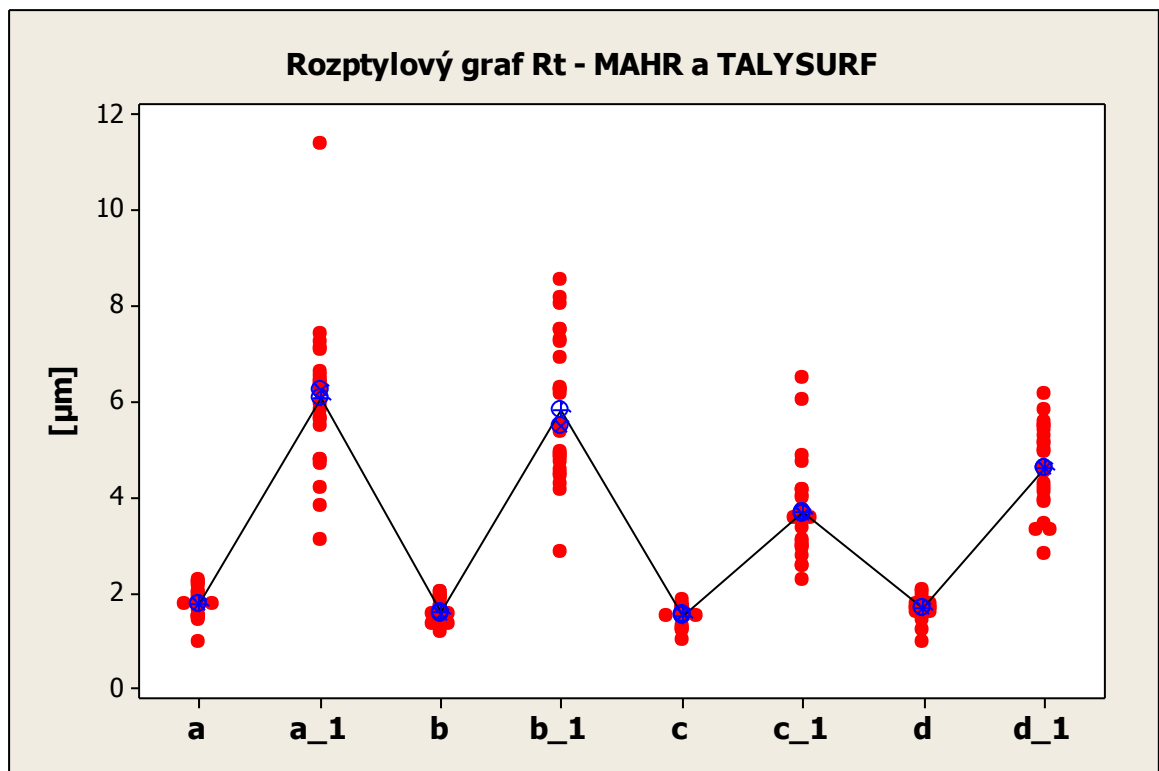
Na obrázku 61. opět vidíme patrný rozdíl v citlivosti obou přístrojů (oblasti: a, b, c, d – MAHR, oblasti: a\_1, b\_1, c\_1, d\_1 - TALYSURF). Při hodnocení všech vybraných parametrů bylo rovněž zjištěno, že oblast „c“ vykazuje o něco nižší hodnoty, příčinou je patrně další operace provedená na testované součástce a tou je vrtání bočního otvoru pod povrchem oblasti „c“ (obrázek 41.).

### 6.1.3 Hodnocení dalších parametrů Rt, Rp a Rv

Významnými parametry jsou rovněž Rt, Rp a Rv, provedeme postupně rozbor jejich rozptylů.

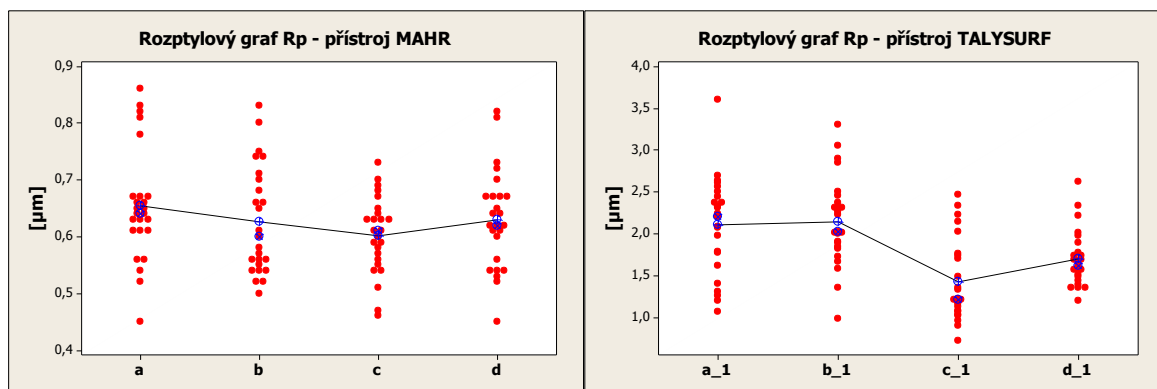


Obrázek 62. Rozptylové grafy parametru Rt

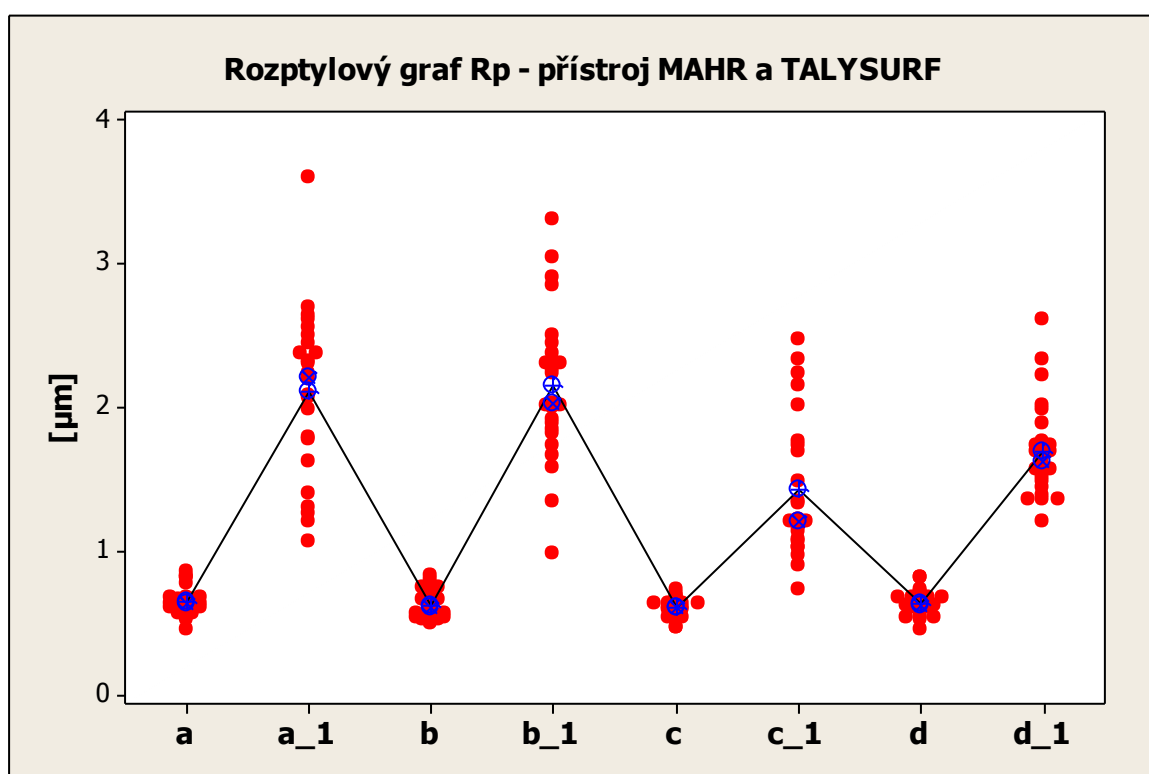


Obrázek 63. Porovnání parametru Rt z přístrojů MAHR a TALYSURF

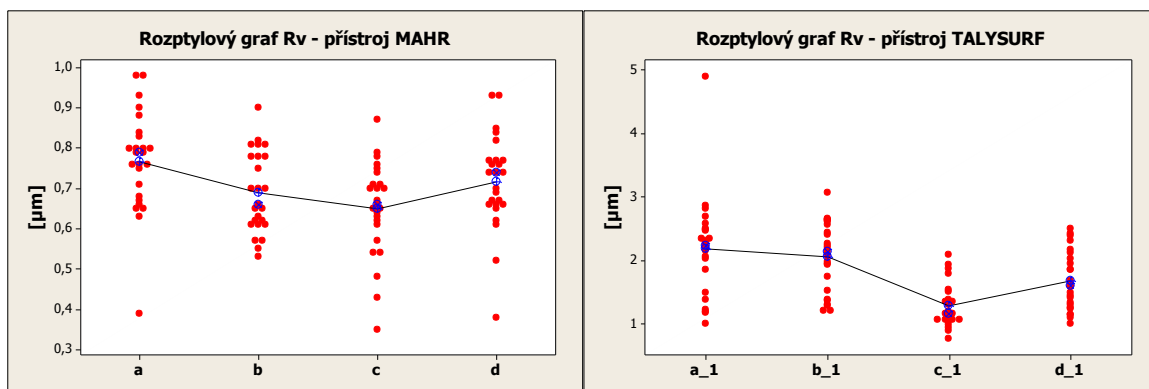
Opět zjišťujeme výskyt vychýlených hodnot (obrázek 62.) a rozdíl citlivosti obou přístrojů (obrázek 63.).



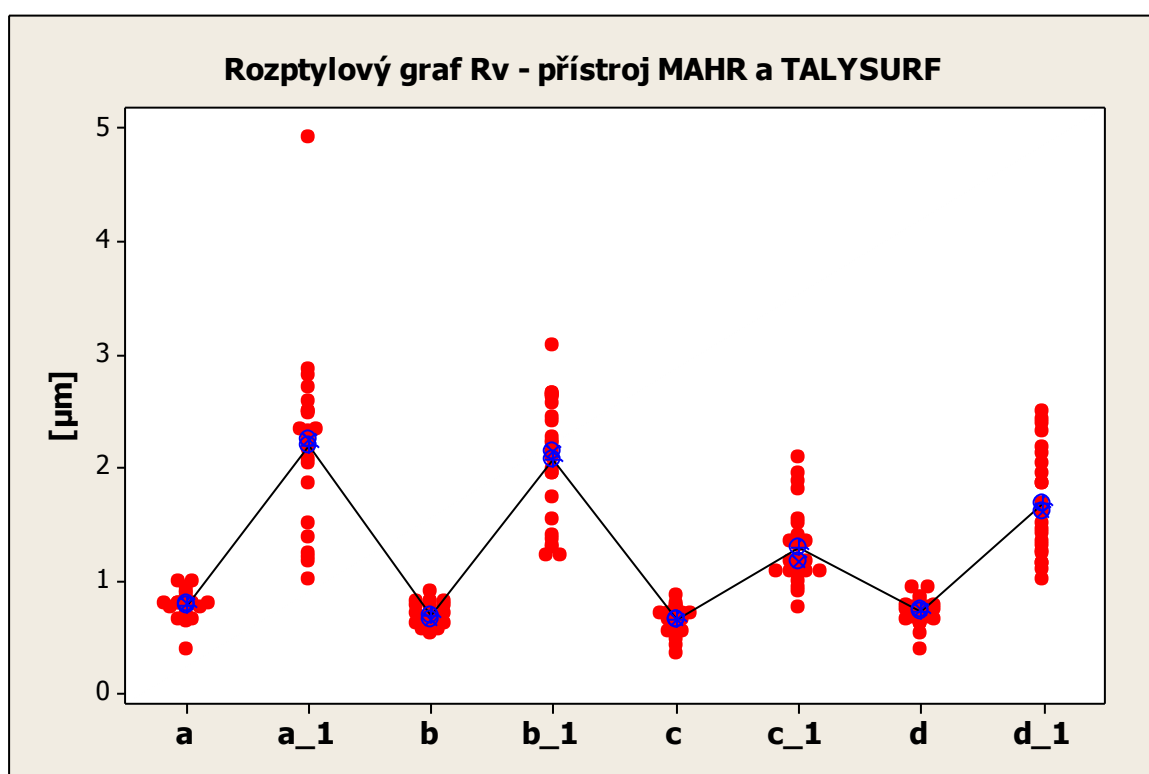
Obrázek 64. Rozptylové grafy parametru Rp



Obrázek 65. Porovnání parametru Rp z přístrojů MAHR a TALYSURF



Obrázek 66. Rozptylové grafy parametru Rv



Obrázek 67. Porovnání parametru Rv z přístrojů MAHR a TALYSURF

Tabulka 4. Kompletní výsledky parametrů Rt, Rp a Rv z Perthometru S2

díl č.	Rt [ $\mu\text{m}$ ]				Rp [ $\mu\text{m}$ ]				Rv [ $\mu\text{m}$ ]			
	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.
1	2,00	1,51	1,46	1,85	0,67	0,54	0,56	0,81	0,88	0,70	0,61	0,77
2	1,75	1,89	1,53	1,59	0,65	0,60	0,63	0,60	0,80	0,90	0,65	0,67
3	1,75	1,35	1,21	1,44	0,61	0,56	0,47	0,54	0,65	0,62	0,54	0,66
4	2,21	1,84	1,60	1,67	0,86	0,80	0,65	0,67	0,84	0,78	0,75	0,82
5	1,84	1,72	1,66	1,75	0,63	0,75	0,67	0,61	0,90	0,66	0,78	0,77
6	1,47	1,24	1,58	1,77	0,52	0,50	0,60	0,56	0,68	0,55	0,62	0,61
7	2,14	2,02	1,84	1,84	0,81	0,83	0,59	0,67	0,80	0,81	0,87	0,93
8	1,75	2,01	1,23	1,72	0,61	0,66	0,51	0,70	0,83	0,75	0,54	0,74
9	1,76	1,94	1,53	1,66	0,65	0,68	0,54	0,64	0,79	0,78	0,43	0,74
10	0,95	1,35	1,24	1,67	0,45	0,54	0,55	0,62	0,39	0,57	0,48	0,66
11	1,88	1,40	1,01	1,57	0,67	0,58	0,46	0,73	0,76	0,70	0,35	0,66
12	1,52	1,46	1,29	1,51	0,56	0,56	0,54	0,64	0,63	0,61	0,57	0,70
13	1,46	1,92	1,69	1,21	0,64	0,70	0,70	0,52	0,65	0,81	0,79	0,52
14	2,23	1,31	1,61	1,64	0,64	0,56	0,73	0,62	0,98	0,57	0,63	0,69
15	2,03	1,58	1,49	1,66	0,63	0,65	0,59	0,67	0,98	0,70	0,66	0,76
16	1,93	1,91	1,52	1,68	0,78	0,74	0,61	0,61	0,79	0,82	0,70	0,77
17	1,63	1,56	1,65	1,77	0,61	0,66	0,57	0,62	0,76	0,62	0,64	0,85
18	1,96	1,56	1,78	1,63	0,63	0,54	0,63	0,54	0,80	0,63	0,74	0,65
19	1,44	1,57	1,57	1,92	0,56	0,52	0,58	0,67	0,66	0,65	0,65	0,74
20	1,74	1,45	1,56	1,58	0,66	0,57	0,64	0,53	0,80	0,61	0,71	0,62
21	2,18	1,66	1,72	2,00	0,82	0,61	0,63	0,65	0,76	0,81	0,70	0,84
22	1,51	1,16	1,68	1,59	0,66	0,52	0,68	0,54	0,75	0,53	0,70	0,67
23	2,27	1,44	1,73	2,04	0,83	0,55	0,61	0,82	0,93	0,61	0,76	0,93
24	1,50	1,64	1,55	1,80	0,67	0,74	0,69	0,72	0,71	0,65	0,67	0,76
25	1,53	1,73	1,53	0,98	0,54	0,71	0,63	0,45	0,67	0,78	0,71	0,38

Tabulka 5. Kompletní výsledky parametrů Rt, Rp a Rv z Talysurfu CLI 500

díl č.	Rt [ $\mu\text{m}$ ]				Rp [ $\mu\text{m}$ ]				Rv [ $\mu\text{m}$ ]			
	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.
1	5,82	8,54	3,06	5,84	2,44	1,67	1,22	2,33	2,34	2,41	1,07	2,42
2	7,08	6,25	2,76	5,57	2,08	2,01	1,21	1,77	2,28	2,14	1,16	2,31
3	6,20	4,85	3,58	5,51	2,21	1,91	1,19	2,62	2,34	1,98	1,04	2,39
4	6,44	8,06	2,54	4,54	2,69	3,31	1,03	1,89	2,32	2,62	0,90	1,68
5	7,43	8,17	3,36	4,96	2,32	3,05	1,02	2,22	2,21	2,65	1,32	1,86
6	5,51	6,91	3,98	4,57	2,24	2,45	0,90	1,58	2,03	2,26	1,07	2,18
7	11,4	6,28	2,26	5,28	3,60	2,03	1,13	1,98	4,91	2,64	0,94	2,50
8	7,15	7,49	3,66	6,17	2,56	2,85	1,33	1,69	2,87	2,63	1,39	1,95
9	5,96	4,45	2,98	5,50	2,20	2,01	1,21	1,39	2,49	1,74	1,07	2,13
10	5,62	7,53	2,99	4,62	2,64	2,50	1,07	1,74	2,06	2,56	1,16	1,44
11	6,33	4,97	3,09	5,16	1,78	1,35	0,73	1,74	2,70	1,94	0,76	1,61
12	6,30	5,50	3,68	3,94	2,50	2,26	1,35	1,49	2,82	2,23	1,31	1,26
13	4,79	4,16	6,51	3,30	1,26	1,82	2,34	1,36	1,17	1,29	2,09	1,14
14	6,25	5,36	3,58	5,13	1,62	1,89	1,74	1,36	1,50	1,95	1,13	1,15
15	4,20	4,47	4,76	4,56	1,20	1,58	2,15	1,62	1,38	1,36	1,80	1,30
16	4,72	4,84	4,16	2,81	1,31	1,84	2,23	1,36	1,23	1,30	1,35	1,00
17	3,80	4,27	4,86	4,13	1,40	2,37	1,70	1,68	1,20	1,39	1,94	1,59
18	3,09	4,59	6,03	3,30	1,07	2,00	2,47	1,69	1,00	1,21	1,87	1,24
19	6,38	7,26	3,74	4,61	2,07	2,90	0,97	1,57	2,50	3,08	1,19	1,85
20	7,24	6,15	2,94	4,21	2,61	2,23	1,20	1,44	2,22	2,66	1,09	1,50
21	5,66	4,73	3,75	4,27	2,31	1,73	1,17	1,51	2,48	1,53	1,51	1,60
22	6,53	2,87	2,58	3,90	2,37	0,98	1,08	1,60	2,16	1,21	0,99	2,03
23	6,63	6,26	4,17	5,41	2,37	2,31	1,49	1,20	2,58	2,44	1,35	1,42
24	6,48	7,29	3,63	5,01	1,79	2,31	2,02	2,01	2,24	2,21	1,07	1,34
25	4,78	4,93	4,04	3,45	1,98	2,30	1,76	1,57	1,85	2,08	1,54	1,09



## 7 HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI PROCESU

V poslední kapitole se budeme věnovat hodnocení způsobilosti procesu v oblasti předepsané jakosti obrobených ploch, abychom se přesvědčili o rozdílnosti výsledků měření na kontaktním a bezkontaktním přístroji a jejich celkovém dopadu na výslednou způsobilost ve výrobním procesu. Pro hodnocení jsme použili softwarový program „Capa 2.2“, který je pro tento účel velmi vhodný.

### 7.1 Hodnocení způsobilosti procesu v programu Capa 2.2

Program Capa je program pro komplexní numerické a grafické hodnocení způsobilosti výrobního procesu. Je připraven tak, aby nejen počítal všechny nejdůležitější indexy způsobilosti a to ve všech, prakticky se vyskytujících situacích, ale také aby provedl komplexní zhodnocení sledovaného technologického procesu. Toto hodnocení probíhá ve třech etapách:

- Hodnocení stability procesu, které je rovnocenné použití regulačního diagramu. Testování normality a úrovně centrování procesu, test krajních hodnot na odlehlost.
- Volba a výpočet vhodného indexu podle výsledků testování a typu použité tolerance.
- Testování vypočítaných indexů speciálními testy a vyvození závěrů, plynoucích z vypočítaných hodnot, zejména způsobilosti, očekávané zmetkovitosti a míry robustnosti procesu. [13]

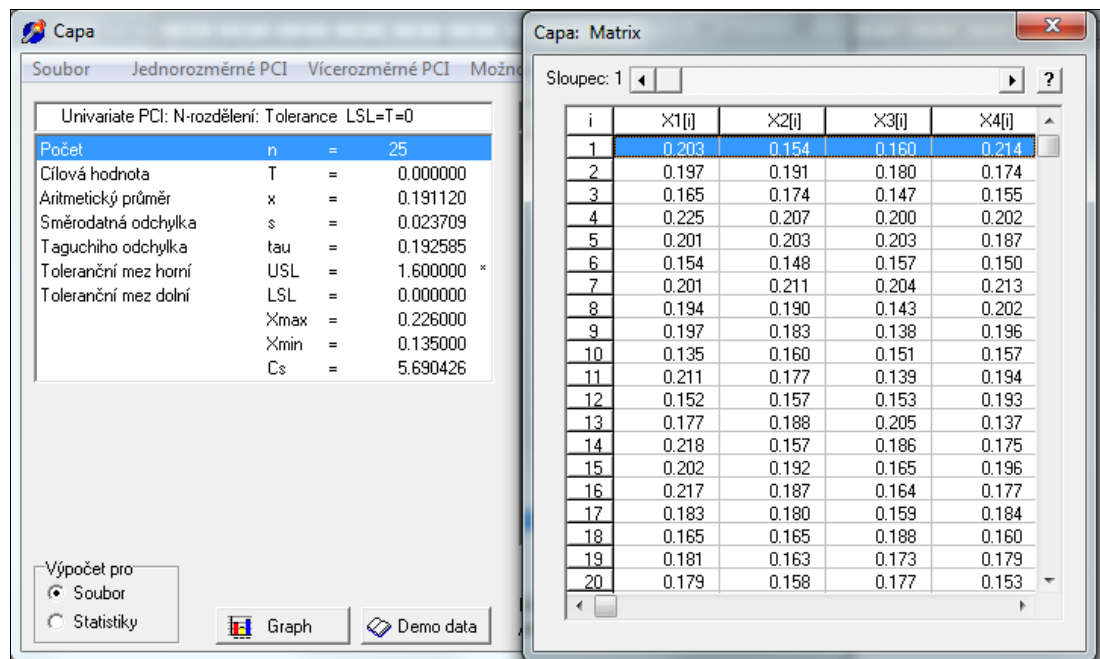
#### 7.1.1 Hodnocení způsobilosti procesu – tolerance typu „S“

Vedle všech klasických indexů, používaných pro normální rozdělení, nabízí capa poprvé také celou řadu metod pro jiná než normální rozdělení, stejně jako hodnocení způsobilosti procesů, u kterých je sledováno několik ukazatelů kvality. Použité numerické metody doplňují také názorné grafické prostředky. [13]

Protože se v našem případě jedná o způsobilost drsnosti povrchu, což je jednostranná tolerance typu „S“ (cílová hodnota  $T=0$ ), použili jsme v tomto případě index způsobilosti „Cs“, který je pro tento účel nejvhodnější. Indexy „Cp“ a „Cpk“ by nám neukázali pravdivé vyhodnocení, protože jsou vytvořeny spíše pro centrování procesů.

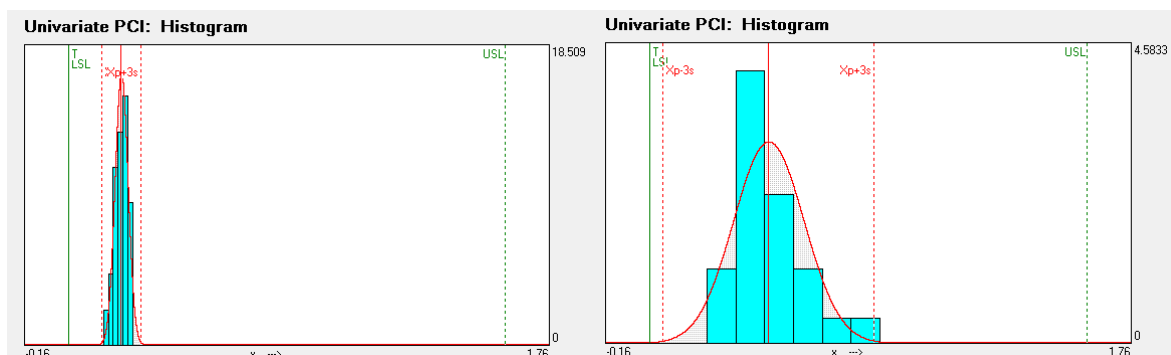
### 7.1.2 Vyhodnocení způsobilosti parametru Ra

Jako první jsme vyhodnotili index způsobilosti  $C_s$  výkresově předepsaného parametru Ra1,6. Do programu Capa jsme vložili nejprve data naměřené kontaktním přístrojem MAHR Perthometer S2 postupně z oblastí „a = X1, b = X2, c = X3, d = X4“.



Obrázek 68. Vložená data v programu Capa

Poté si vybereme potřebné parametry pro výpočet indexu způsobilosti  $C_s$ : jednorozměrné PCI / PCI pro N rozdělení / LSL = T = 0. Následně ještě zadáme horní toleranční mez - pro parametr drsnosti Ra předepsanou hodnotu 1,6 a program již nám po výpočtu zobrazí požadované hodnoty. Zcela stejný postup volíme také pro výpočet způsobilosti z naměřených hodnot získaných bezkontaktním přístrojem TALYSURF. V programu si můžeme zobrazit také průběh rozdělení hodnot, tzv. histogram.



Obrázek 69. Histogram drsností Ra z přístroje MAHR a TALYSURF

### 7.1.3 Vyhodnocení způsobilosti parametru Rz

Dalším parametrem jakosti povrchu z hlediska pozdější použitelnosti pro tlakové těsnící spoje je výkresově určený parametr drsnosti povrchu Rz6,3. Jako v předchozím případě zadáme naměřená data do programu Capa z měřených oblastí „a, b, c, d“ a opět naměřené výsledky jak z přístroje MAHR, tak z přístroje TALYSURF. Nastavení programu a konečná fáze pro vyhodnocení indexu způsobilosti Cs je rovněž identická jako v případě parametru drsnosti Ra, pouze pro parametr Rz zadáme horní toleranční mez hodnotu 6,3.

## 7.2 Celkové zhodnocení způsobilosti procesu v oblasti jakosti povrchu

V tabulce 6. již máme znázorněny všechny výsledky vyhodnocení způsobilosti obou parametrů Ra a Rz.

Tabulka 6. Výsledky hodnocení způsobilosti parametrů Ra, Rz

Měřená poloha	HODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI - index Cs			
	Ra-MAHR	Ra-TALYSURF	Rz-MAHR	Rz-TALYSURF
a(X1)	5,69	1,53	3,01	0,96
b(X2)	6,04	1,64	3,25	1,00
c(X3)	6,22	2,42	3,42	1,53
d(X4)	5,93	1,99	3,17	1,25

Jak jsme již při hodnocení prve naměřených výsledků drsností zaznamenali značný rozdíl mezi přístrojem kontaktním a bezkontaktním, tak se nám tyto výsledky odrazily také ve vyhodnocení způsobilosti měřených parametrů. Pokud se výsledky vyhodnocení z přístroje MAHR tváří jako velmi uspokojivé, u výsledků z přístroje TALYSURF je to právě naopak. Dle norem pro automobilový průmysl je přípustný index způsobilosti výrobního procesu klíčových znaků (ve většině případů jsou to rozměry a drsnosti povrchu těsnících ploch) stanoven pro počáteční výrobu vyšší než 1,67 a pro dlouhodobou více jak 1,33. Pokud celkově zhodnotíme výsledky způsobilostí z programu Capa, tak zjistíme, že index způsobilosti procesu naměřených drsností povrchu parametrů Ra a Rz z přístroje TALYSURF jsou nevyhovující jak pro prvotní předsériovou (vyznačeno žlutě), tak i pro sériovou výrobu (vyznačeno červeně) a to nejvíce u parametru drsnosti povrchu Rz.

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, zda výroba součástek do automobilových klimatizací, konkrétně těsnících ploch vyráběných čelním frézováním, je způsobilá při měření jakosti povrchu vybranou metodou, která se standardně ve strojírenství používá, tedy metodou kontaktní a zdali nastane nějaká podstatná změna, pokud změníme měřicí metodu pro obrobený povrch na metodu bezkontaktní.

Jestliže zhodnotíme výsledky měření z kontaktního přístroje MAHR Perthometer S2, tak s těmito může být plně spokojen jak výrobce, tak zákazník testovaných součástek, poněvadž předepsaná drsnost  $Ra_{1,6}/Rz_{6,3}$  se pohybuje kolem hodnot  $Ra=0,2$  a  $Rz=1,3$ , což jsou vynikající hodnoty. Následné hodnocení způsobilosti procesu z naměřených dat nám rovněž dává výborné výsledky, protože index způsobilosti  $C_s$  se pohybuje kolem hodnoty 6,0 u parametru drsnosti  $Ra$  a kolem hodnoty 3,3 u parametru  $Rz$ , což s přehledem převyšuje index způsobilosti určený zákazníkem, který bývá ve většině případů předepsán hodnotou 1,33, respektive 1,67 pro předseriovou výrobu.

Pokud jsme ale provedli obdobná měření na bezkontaktním přístroji Talysurf CLI 500 od výrobce Taylor Hobson, situace se rapidně změnila. Naměřené hodnoty jsou náhle 3 - 4x vyšší než u kontaktního přístroje, takže někdy balancujeme na hranici tolerance, což se samozřejmě projevilo i v hodnocení způsobilosti, kdy hlavně u parametru  $Rz$  dostáváme index způsobilosti nižší než 1,33. To je u klíčového znaku určeného zákazníkem neakceptovatelné a technologie výroby obráběného povrchu pro předepsanou drsnost musí být upravena.

Závěr je tedy takový, že námi zvolené měření drsnosti povrchu vyráběných součástek z hliníkových slitin do automobilových klimatizací kontaktním způsobem je nevyhovující a jednoznačně pro tyto účely doporučujeme mnohem citlivější bezkontaktní přístroj např. přístroj Talysurf řady CLI. Protože je cena takového přístroje mnohonásobně vyšší než cena drsnoměru s kontaktním snímáním, můžeme využít k měření kritických drsností povrchu také služeb laboratoře FAI UTB Zlín, kde je přístroj Talysurf CLI 500 k dispozici.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] *Pokrok v měření a hodnocení struktury povrchu*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 11. 4. 2001, 2001, č. 4, [cit. 2013-1-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/pokrok-v-mereni-a-hodnoceni-struktury-povrchu.html>>.
- [2] ALEŠ, Zdeněk; LEGÁT Václav. Analýza způsobilosti procesů a výrobních zařízení. *Systémy řízení jakosti – cvičení* [online]. [cit. 2013-1-14]. Katedra jakosti a spolehlivosti strojů, TF, ČZU Praha. Dostupný z WWW: <Analýza způsobilosti procesů a výrobních zařízení>.
- [3] *Struktura povrchu* [online]. [cit. 2013-1-14]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Struktura\\_povrchu#Hodnoty](http://cs.wikipedia.org/wiki/Struktura_povrchu#Hodnoty)>.
- [4] KARÁSEK, Jiří. Geometrické vlastnosti povrchu. *Metrologie a montáž - přednáška č.10* [online]. [cit. 2013-1-14]. Katedra obrábění a montáže, FS, TU Liberec. Dostupný z WWW: <[http://www.technomat.cz/data/katedry/kom/KOM\\_MM\\_PR\\_10\\_CZE\\_Karasek\\_Geometricke\\_vlastnosti\\_povrchu.pdf](http://www.technomat.cz/data/katedry/kom/KOM_MM_PR_10_CZE_Karasek_Geometricke_vlastnosti_povrchu.pdf)>.
- [5] PEŠIČKA, Ladislav. Geometrická specifikace výrobků strojírenské výroby (GPS). Praha: ČNI, 2006. 49 s.
- [6] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999.
- [7] ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999.
- [8] NOVÁK, Zdeněk. Prostorové měření a hodnocení textury povrchu přístroji Taylor Hobson Ltd. [online]. Brno, Dostupný z WWW: <[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)>.
- [9] *Talysurf CLI* [online]. 2004 [cit. 2013-1-14]. Dostupné z WWW: <[http://www.imeco-th.cz/Download/Prospekty/CLI%20\(CZ\).pdf](http://www.imeco-th.cz/Download/Prospekty/CLI%20(CZ).pdf)>.
- [10] *Statistický software Minitab* [online]. [cit. 2013-1-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.scacp.cz/cz/software/statisticky-software-minitab/>>.

- [11] *Minitab* [online]. [cit. 2013-1-14]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Minitab>>.
- [12] MICHÁLEK, Jiří. Jak správně interpretovat ukazatele způsobilosti a výkonnosti výrobního procesu [online]. [cit. 2013-1-14]. Ústav teorie informace a automatizace, AV ČR, Praha. Dostupný z WWW: <<http://www.statspol.cz/request/request2006/sbornik/michalek.pdf>>.
- [13] TOŠENOVSKÝ, Josef. Algoritmy a řešené úlohy. *Ekonomické a technologické hodnocení způsobilosti procesů*. Vydání první, Dům techniky Ostrava 2007. ISBN 978-80-02-01882-7.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

2D	Dvourozměrný prostor
3D	Třírozměrný prostor
C <sub>p</sub> , C <sub>pk</sub>	Indexy způsobilosti výrobního procesu
C <sub>s</sub>	Index způsobilosti procesu tolerancí typu „S“
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
λ <sub>c</sub>	Filtr profilu
l <sub>n</sub>	Vyhodnocovaná délka profilu drsnosti [mm]
l <sub>r</sub>	Základní délka profilu drsnosti [mm]
l <sub>t</sub>	Celková délka snímání [mm]
R <sub>a</sub>	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm]
R <sub>p</sub>	Největší výška profilu [μm]
R <sub>t</sub>	Celková výška profilu [μm]
R <sub>v</sub>	Největší prohlubeň profilu na základní délce profilu [μm]
R <sub>z</sub>	Největší výška profilu [μm]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Profil povrchu [6] .....	13
Obrázek 2. Mikronerovnost .....	13
Obrázek 3. Makronerovnost .....	13
Obrázek 4. Obecný tvar povrchu .....	14
Obrázek 5. Vlnitost povrchu .....	14
Obrázek 6. Drsnost povrchu .....	14
Obrázek 7. Parametry $P, W$ a $R$ .....	15
Obrázek 8. Prvek profilu [6] .....	15
Obrázek 9. Místní sklon [6] .....	16
Obrázek 10. Materiálová délka: $Mlc = Ml1 + Ml2$ [6].....	16
Obrázek 11. Střední čára [5] .....	17
Obrázek 12. Měřicí dráha snímače [5].....	17
Obrázek 13. Přenosová charakteristika drsnosti a vlnitosti [6] .....	18
Obrázek 14. Vývojový diagram pro posuzování povrchu [6] .....	18
Obrázek 15. Parametry $Rp, Rv$ a $Rz$ .....	19
Obrázek 16. Parametr $Rt$ [5] .....	19
Obrázek 17. Parametr $Rc$ [6].....	20
Obrázek 18. Parametr $Ra$ [5] .....	20
Obrázek 19. Parametr $Rq$ .....	21
Obrázek 20. Šířka prvků profilu [6].....	22
Obrázek 21. Křivka materiálového poměru [6] .....	22
Obrázek 22. Oddělování úrovní části profilu [6].....	23
Obrázek 23. Materiálový poměr $Rmr$ [5].....	23
Obrázek 24. Empirické rozdělení výšek profilu [6] .....	24
Obrázek 25. Schéma měřicí smyčky [5] .....	25
Obrázek 26. Diamantový měřicí hrot [5].....	25
Obrázek 27. Horní mez parametru struktury povrchu [7] .....	27
Obrázek 28. Indukční snímač [9].....	28
Obrázek 29. CLA snímač [9].....	29
Obrázek 30. Charakteristiky potřebné pro stanovení indexu způsobilosti $C_p$ .....	32
Obrázek 31. Tolerance typu $S$ : dobré centrování [13].....	34
Obrázek 32. Tolerance typu $S$ : špatné centrování [13].....	34



Obrázek 33. Spojovací součástky automobilových .....	38
Obrázek 34. Transferový hydraulický stroj .....	38
Obrázek 35. Vzorčky součástek č.1 .....	39
Obrázek 36. Mikroskop Carl Zeiss Jena s příslušenstvím .....	39
Obrázek 37. Snímek obráběné plochy .....	40
Obrázek 38. Čištění součástky .....	40
Obrázek 39. Nepoškozený a poškozený povrch plochy .....	41
Obrázek 40. Vzorčky součástek č.2.....	41
Obrázek 41. Měření plochy .....	42
Obrázek 42. Měřicí přístroj MAHR Perthometer S2 .....	43
Obrázek 43. Nastavení parametrů přístroje .....	43
Obrázek 44. Kalibrační destička (etalon) .....	44
Obrázek 45. Výsledek kalibrace .....	44
Obrázek 46. Měření drsnosti povrchu na vzorku č.1 .....	45
Obrázek 47. Výsledky měření vzorku č.1 .....	45
Obrázek 48. Křivka profilu drsnosti povrchu vzorku č.1 .....	46
Obrázek 49. Přístroj Talysurf CLI 500 s příslušenstvím .....	47
Obrázek 50. Vlastní kalibrace přístroje Talysurf CLI 500 .....	48
Obrázek 51. Ověření kalibrace etalonem PNG-3 .....	48
Obrázek 52. Výsledek kontrolního měření etalonu .....	49
Obrázek 53. Nastavení odrazivosti .....	49
Obrázek 54. Nastavení parametrů měření.....	50
Obrázek 55. Nastavení programu Talymap pro zpracování dat po měření .....	50
Obrázek 56. Vyhodnocené parametry prvního měření softwarem Talymap.....	51
Obrázek 57. Rozptyl kontaktního měření drsnosti Ra v různých oblastech.....	53
Obrázek 58. Rozptyl bezkontaktního měření drsnosti Ra v různých oblastech .....	54
Obrázek 59. Porovnání parametru Ra z přístrojů MAHR a TALYSURF .....	54
Obrázek 60. Rozptylové grafy parametru Rz .....	55
Obrázek 61. Porovnání parametru Rz z přístrojů MAHR a TALYSURF .....	55
Obrázek 62. Rozptylové grafy parametru Rt .....	56
Obrázek 63. Porovnání parametru Rt z přístrojů MAHR a TALYSURF.....	56
Obrázek 64. Rozptylové grafy parametru Rp .....	57
Obrázek 65. Porovnání parametru Rp z přístrojů MAHR a TALYSURF .....	57

---

Obrázek 66. Rozptylové grafy parametru $R_v$ .....	58
Obrázek 67. Porovnání parametru $R_v$ z přístrojů MAHR a TALYSURF .....	58
Obrázek 68. Vložená data v programu Capa .....	62
Obrázek 69. Histogram drsností $R_a$ z přístroje MAHR a TALYSURF .....	62

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1. Základní délky drsnosti pro měření [7] .....	27
Tabulka 2. Kompletní výsledky parametrů Ra a Rz z Perthometru S2 .....	46
Tabulka 3. Kompletní výsledky parametrů Ra a Rz z Talysurfu CLI 500 .....	52
Tabulka 4. Kompletní výsledky parametrů Rt, Rp a Rv z Perthometru S2 .....	59
Tabulka 5. Kompletní výsledky parametrů Rt, Rp a Rv z Talysurfu CLI 500 .....	60
Tabulka 6. Výsledky hodnocení způsobilosti parametrů Ra, Rz .....	63

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Konstrukční výkres součástky č.2

Příloha P II: Souhrn všech dat získaných v praktické části (elektronická příloha)

# PŘÍLOHA P I: KONSTRUKČNÍ VÝKRES SOUČÁSTKY Č.2

