



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

# HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU BEZKONTAKTNÍ METODOU

MICROSTRUCTURE OF THE SURFACE NON-CONTACT METHOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

JAN KONEČNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Doc. Ing. JIŘÍ PERNIKÁŘ, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a  
robotiky Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Jan Konečný

kteřý/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Hodnocení struktury povrchu bezkontaktní metodou**

v anglickém jazyce:

#### **Microstructure of the surface non-contact method**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nový bezkontaktní profiloměr Talysurf CCI může vyhodnocovat všechny normované parametry struktury povrchu, navíc vyhodnocuje topografii, t.j. parametry ve 3D souřadné soustavě.

Úkolem práce je vyhodnotit rozdíly zadaných parametrů od výsledků dotykových přístrojů.

Cíle bakalářské práce:

Vyhodnotit možnosti bezkontaktního hodnocení struktury povrchu na přístroji fy Taylor Hobson typ Talysurf CCI

Seznam odborné literatury:

1. KRSEK, Aleš, OSANA, Herbert, KURIC, Ivan, PROSTREDNIK, Daniel. Strojárska metrológia a riadenie kvality. Bratislava: STU, 2002. ISBN 80-227-1025-3.
2. FIALA, Alois. Statistické řízení procesů a nástroje pro řízení a zlepšování procesů. Brno: VUT v Brně, 1997. ISBN 80-214-0895-2
3. PERNIKÁŘ, Jiří, TYKAL, Miroslav. Strojírenská metrologie II: 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180s. ISBN 80-214-3338-8.
4. ČSN EN ISO 4287: 1997, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu
5. ČSN EN ISO 4288: 1997, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 27.11.2012

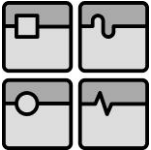
L.S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

|   |  |        |
|---|--|--------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 4 |
|   | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE                           |        |

### **Abstrakt**

Struktura povrchu je definována parametry z profilu základního, profilu drsnosti a profilu vlnitosti. V praxi se používá mnoho různých typů profiloměrů. Základním požadavkem je kompatibilita jednotlivých výsledků. Úkolem práce je srovnání kontaktního a bezkontaktního snímání profilu.

### **Klíčová slova**

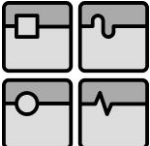
Struktura povrchu, drsnost, vlnitost, základní délka, střední čára profilu, prvek profilu.

### **Abstract**

Surface structure is defined by the parameters of the basic profile, profile, roughness and waviness profile. In practice, uses many different types of profilometer. Above requirements is an essential compatibility of the individual results. Aim of this work is the comparison of contact and non-contact scanning profile.

### **Key words**

Surface structure, roughness, waviness, basic distance, mean line profile, the profile element.

|   |  |        |
|---|--|--------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 5 |
|   | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE                           |        |

**Bibliografická citace:**

KONEČNÝ, J. *Hodnocení struktury povrchu bezkontaktní metodou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 39 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pernikář, CSc..

**Čestné prohlášení**

Já, Jan Konečný, prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Hodnocení struktury povrchu bezkontaktní metodou“ vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce. Vycházel jsem ze svých znalostí, odborných konzultací, z použitých pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

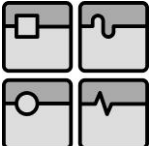
V Brně dne 29.5.2013

.....

Jan Konečný

## Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| Úvod.....   | 7         |
| <b>1. ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE .....</b>                               | <b>8</b>  |
| 1.1 Obecné termíny.....   | 8         |
| 1.2 Názvy geometrických parametrů .....                                 | 11        |
| 1.3 Definice parametrů profilu povrchu.....                             | 13        |
| <b>2. HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU PODLE ČSN EN ISO 4288 .....</b>       | <b>18</b> |
| 2.1 Pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi..... | 18        |
| 2.2 Hodnocení parametrů .....   | 20        |
| 2.3 Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji.....           | 21        |
| 2.3.1 Postup pro neperiodický profil drsnosti .....                     | 21        |
| 2.3.2 Postup pro periodický profil drsnosti .....                       | 22        |
| 2.4 Zjednodušený postup pro kontrolu drsnosti podle přílohy A .....     | 24        |
| <b>3. PŘÍSTROJE NA HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU .....</b>                | <b>25</b> |
| 3.1 Dotykové .....  | 25        |
| 3.2 Optické .....   | 27        |
| 3.2 Srovnání dotykové a optické metody.....                             | 31        |
| <b>4. ZÁVĚR .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>Seznam použitých zdrojů .....</b>                                    | <b>37</b> |
| <b>Seznam obrázků.....</b>  | <b>38</b> |
| <b>Seznam tabulek.....</b>  | <b>39</b> |

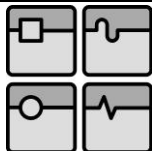
|   |  |        |
|---|--|--------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 7 |
|   | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE                           |        |

## Úvod

Každé těleso, má povrch a tento povrch má nějakou strukturu. Naším úkolem je tuto strukturu nějakým způsobem kvantifikovat a zhodnotit z hlediska požadovaných vlastností. Ve strojírenství dělíme povrchy na funkční, a nefunkční. U nefunkčních povrchů nám z pravidla na jejich kvalitě nezáleží, protože bývá dostatečná už z výroby, takže povrchy není potřeba dále upravovat. Funkční povrchy jsou pro nás důležité, plní ve stroji či na součásti důležité role (spoje, kluzné, vodící). Z tohoto důvodu je potřeba je brousit, leštit, lapovat.

Při kontrole jakosti povrchu se používají dvě metody, dotyková a bezkontaktní. Dotykové měření se provádí skluzem diamantového hrotu po povrchu a zaznamenávání výškových rozdílů. Principů pro bezkontaktní vyhodnocování kvality povrchu existuje celá řada. Na základě pokynů vedoucího bakalářské práce byla tato práce zaměřena na popsání optické interferenční metody, které je využito v konstrukci přístroje Talysurf CCI.

Cílem této práce má být vyhodnotit možnosti hodnocení struktury povrchu na přístroji Taylor Hobson typ Talysurf CCI a porovnat s výsledky dotykového přístroje. Podle pokynů vedoucího je uvedený cíl plněn takto: V kapitole 1 jsou uvedeny základní pojmy a definice podle normy ČSN EN 4287. V kapitole 2 je uvedeno hodnocení struktury povrchu podle ČSN EN ISO 4288. V kapitole 3 jsou popsány dotykové přístroje a optické přístroje využívající metodu WLSI, dále je v této kapitole srovnání výsledků jednoho měření mezi těmito přístroji.



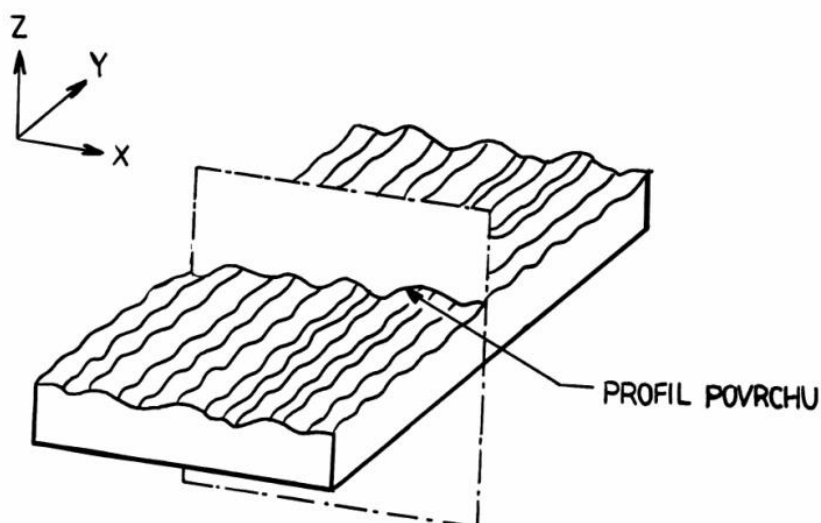
## 1. ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE

Norma ČSN EN ISO 4287 stanovuje termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu profilovou metodou.

### 1.1 Obecné termíny

**Souřadnicový systém** – pro definování parametrů struktury povrchu se obvykle využívá pravouhlý souřadnicový systém, kde osa X ve směru snímání je rovnoběžná se střední čarou, osa Y leží také na skutečném povrchu ve směru nerovností periodického povrchu, osa Z směřuje z povrchu do okolního prostředí.[4]

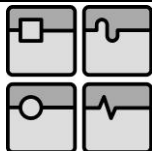
**Profil povrchu** – profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a roviny kolmé k rovině rovnoběžné se skutečným povrchem (profil v rovině XZ).[4]



Obr. 1.1 Profil povrchu [4]

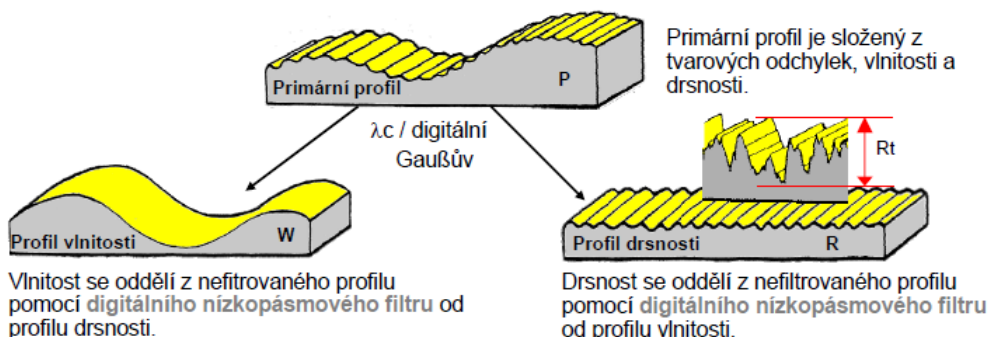
**Filtr profilu** – je to filtr rozdělující profily na krátkovlnné a dlouhovlnné složky.[4] V přístrojích jsou používány tři filtry, a to pro měření drsnosti (R), vlnitosti (W) a základního profilu (P). Filtr na rozhraní složek drsnosti a vlnitosti se značí  $\lambda_c$ .





### Filtr drsnosti $\lambda_c$

Pomocí filtru drsnosti se z primárního profilu separuje profil drsnosti od profilu vlnitosti.



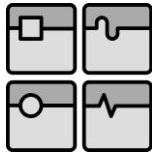
Obr. 1.2 Filtr profilu drsnosti [-]

**Základní profil** – viz ISO 3274. Je základem pro hodnocení parametrů základního profilu. Základní profil získáme dotykovým snímáním povrchu. Zobrazen na Obr. 1.2 jako Primární profil.

**Profil drsnosti** – odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu  $\lambda_c$ . Použitím filtru je profil úmyslně pozměněn. Je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti.[4] Zobrazen na Obr. 1.2. Profilem drsnosti jsou nepravidelnosti, které vznikly ve výrobním procesu vlivem vzájemného relativního pohybu mezi nástrojem a obrobkem. Drsnost povrchu ovlivňuje mechanismus tvoření třísky, který se může projevit například vytrháváním částic materiálu a tím ovlivnit náhodný charakter povrchu.

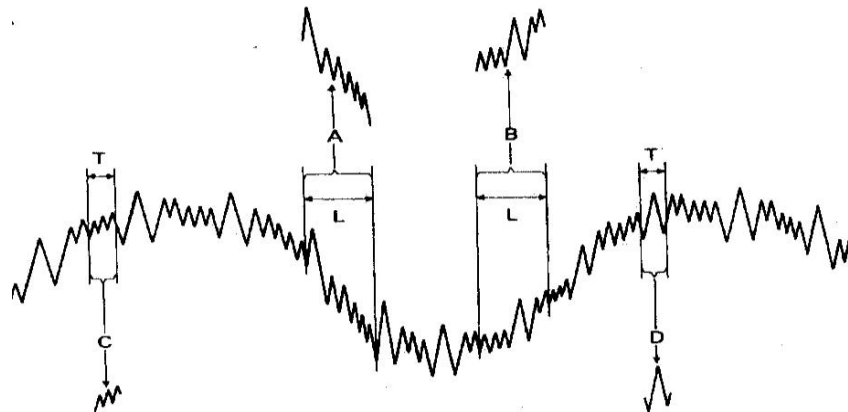
**Profil vlnitosti** – profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu potlačující dlouhovlnné složky  $\lambda_f$  a krátkovlnné složky  $\lambda_c$  na základní profil. Aplikací filtru je profil záměrně pozměněn.[4] Zobrazen na Obr. 1.2. Na profilu vlnitosti je nanesen profil drsnosti. Vlnitost může být způsobena chvěním, deformací obrobku a zpevněním materiálu, proto je považována za vliv stroje a soustavy. Příčinou bývá nevyváženost brousícího kotouče, nepřesnost vodících částí nebo malá tuhost.

*Pro zjednodušení se dále budeme zabývat pouze profilem drsnosti R.*



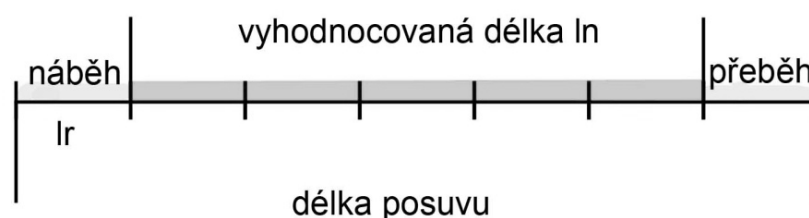
**Střední čára profilu drsnosti** – čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu  $\lambda_c$ . [4] Součet ploch nad střední čarou profilu je roven součtu ploch pod střední čarou profilu, proto střední čára probíhá středem výstupků a prohlubní. Pro přesnější určení střední čáry se používá její výpočet pomocí metody nejmenších čtverců, kdy poloha vztážné čáry je určena tak, že součet čtverců úchylek této čáry je minimální. Její poloha je jiná než poloha střední čáry podle plochy, ta je totiž jednoznačně určena.

**Základní délka  $l_r$**  – délka ve směru osy X, použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil (jsou na ní snímány parametry). Základní délky drsnosti  $l_r$  jsou číselně rovné vlnové délce profilového filtru  $\lambda_c$ . Základní délka pro základní profil  $l_p$  se rovná vyhodnocované délce. [4] Na přístrojích se nastavuje jako „cut-off“ a jejím určením se zabýváme v kapitole 2.3. Vliv různých hodnot základní délky můžeme vidět na obr. 1.3.

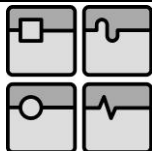


Obr. 1.3 Vliv různých základních délek

**Vyhodnocovaná délka  $l_n$**  – délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu (je na ní provedeno měření), může obsahovat jednu nebo více základních délek. [4] Výsledné parametry jsou potom průměrem z této vyhodnocované délky.



Obr. 1.4 Příklad vyhodnocované délky



## 1.2 Názvy geometrických parametrů

**P-** parametr: parametr vypočítaný ze základního profilu

**R-** parametr: parametr vypočítaný z profilu drsnosti

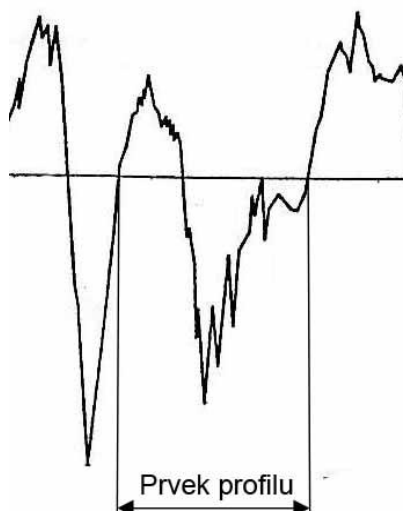
**W-** parametr: parametr vypočítaný z profilu vlnitosti

Následující parametry mohou být vypočítávány pro jakýkoliv profil. První velké písmeno v symbolu parametru určuje typ vyhodnocovaného profilu.[4]

**Výstupek profilu** – z povrchu ven směřující část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X.[4]

**Prohlubeň profilu** – dovnitř (do materiálu) směřující část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X.[4]

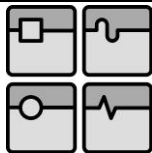
**Prvek profilu** – prvkem profilu se myslí výstupek a přilehlá prohlubeň profilu. Určuje-li se počet prvků profilu na délce několika po sobě jdoucích základních délek, výstupky a prohlubně jsou brány pouze jednou na začátku každé základní délky.[4]



Obr. 1.5 Prvek profilu

**Výška prvku profilu  $Z_t$**  – součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu.[4]

**Šířka prvku profilu  $X_s$**  – délka úseku osy X protínající prvek profilu.[4]



### 1.3 Definice parametrů profilu povrchu

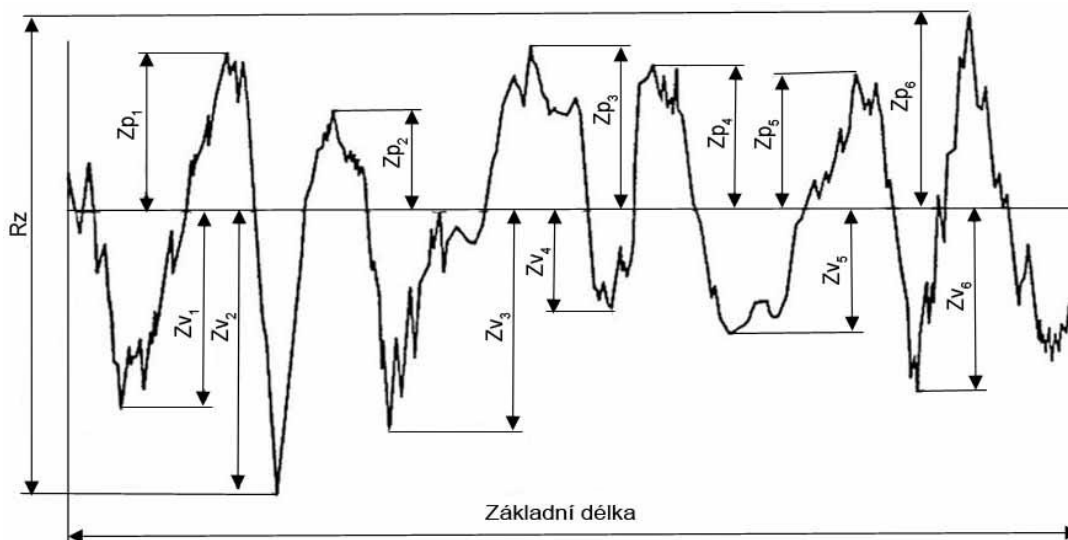
Parametry profilu povrchu dělíme na výškové, délkové a tvarové. Výškové (amplitudové) parametry určují pouze velikost vrcholů, prohlubní nebo obojího bez ohledu na rozteč. Délkové (frekvenční) parametry se určují pouze po roztečích nepravidelností podél plochy. Tvarové (hybridní) parametry jsou určeny kombinací výškových a délkových parametrů.

#### Výškové parametry

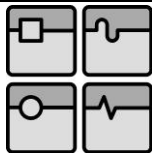
**Největší výška výstupku profilu  $R_p$**  – výška  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky měřená od střední čáry profilu.[4]

**Největší hloubka prohlubně profilu  $R_v$**  – hloubka  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky měřená od střední čáry profilu.[4]

**Největší výška profilu  $R_z$**  – součet největší výšky  $Z_p$  a nejnižší hloubky  $Z_v$  v rozsahu základní délky.[4]

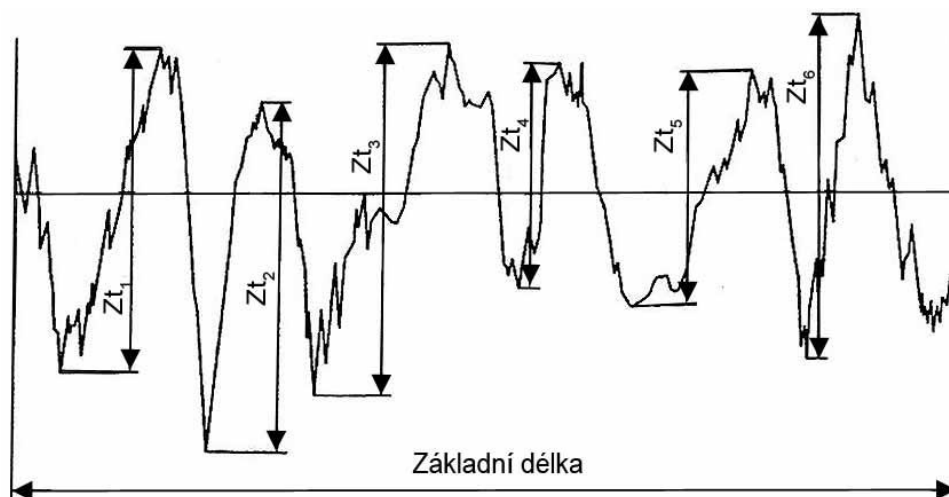


Obr. 1.6 Výšky profilu [4]



**Průměrná výška prvků profilu  $R_c$**  – Průměrná hodnota výšek  $Z_t$  prvků profilu v rozsahu základní délky. Tento parametr vyžaduje omezení výšky a rozteče, není-li stanoveno jinak, tak výškové omezení bude 10% a omezení rozteče bude 1% základní délky, obě podmínky musí být splněny.[4]

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i} \quad (1.1)[4]$$



Obr. 1.7 Průměrná výška prvků profilu [4]

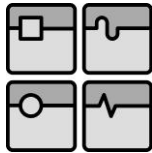
**Celková výška profilu  $R_t$**  – Celková výška profilu je součet nejvyššího výstupku  $Z_p$  a nejnižší prohlubně  $Z_v$  profilu v rozsahu vyhodnocované délky  $l_n$ . Ve standardním případě je  $R_z$  rovno  $R_t$ . V tomto případě je doporučováno použití  $R_t$ . [4]

**$R_{max}$**  – největší výška prvku profilu  $Z_t$  na vyhodnocované délce. Tento parametr se využívá především u velmi namáhaných součástí, protože rozdíl výšek představuje mikrovryp, ve kterém vzniká trhлина.

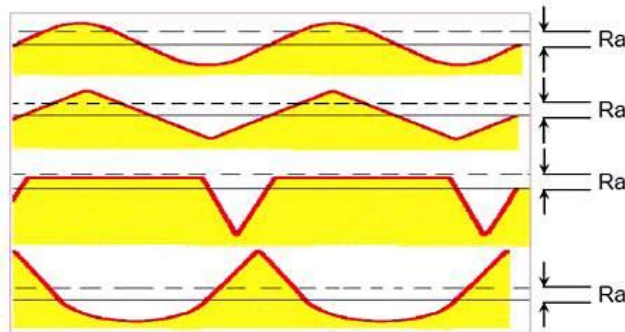
**Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu  $R_a$**  – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky.[4]

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (1.2)[4]$$

Tímto způsobem se povrch popisuje nejčastěji, avšak nám o charakteristice neříká téměř nic. Z obrázku 1.8 plyne, že parametr  $R_a$  je nevhodný k popisu charakteristiky



povrchu, poněvadž nerozlišuje mezi výstupky a prohlubněmi různých tvarů a velikostí. Parametr  $R_a$  je vhodný pro řízení a regulaci výrobního procesu, neboť změna hodnoty  $R_a$  bývá výsledkem změny parametrů vstupujících do procesu, jako jsou břitové destičky, rychlost, posuv, mazivo atd.[8]



Obr. 1.8  $R_a$  pro různé povrchy [8]

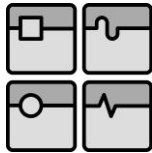
### Délkové parametry

**Průměrná šířka prvků profilu  $RS_m$**  – aritmetický průměr šířek  $X_s$  prvků profilu v rozsahu základní délky.[4]

$$RS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (1.3)[4]$$

Tento parametr vyžaduje omezení výšky a rozteče, není-li stanoveno jinak, tak výškové omezení bude 10% a omezení rozteče bude 1% základní délky, obě podmínky musí být splněny.[4]

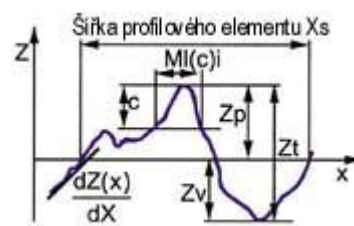
**Omezení výšky a rozteče** – nejmenší výška a nejmenší šířka výstupků a prohlubní posuzovaného profilu, které mohou být brány v úvahu. Nejmenší výška výstupků a prohlubní profilu je obvykle specifikována v procentech  $R_z$  nebo jiných výškových parametrů a nejmenší rozteč v procentech základní délky.[4]



### Křivky a odpovídající parametry

**Křivka materiálového poměru profilu** – křivka představující materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovně. Tato křivka může být interpretována jako vzor funkce kumulativní pravděpodobnosti hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu vyhodnocované délky.[4]

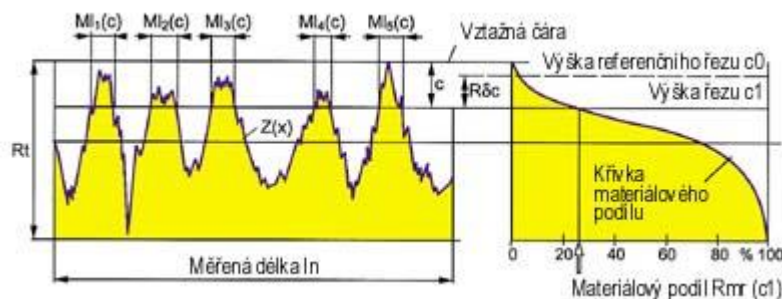
**Materiálová délka profilu na úrovni  $c$   $MI(c)$**  – součet délek úseků získaných protnutím prvků profilu čarou rovnoběžnou s osou  $X$  v dané úrovni  $c$  (Obr. 1.9).[9]



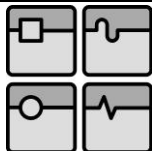
Obr. 1.9  $MI(c)$  [9]

**Materiálový poměr profilu  $Rmr(c)$**  – poměr délky materiálu elementů profilu  $MI(c)$  na dané úrovni  $c$ , k vyhodnocované délce  $ln$  v procentech.[4] Křivka materiálového podílu udává podíl materiálu jako funkci (výšky) řezu. Zvaný také nosný podíl. Je doporučeno měřit nosný podíl v jedné výšce řezu relativně k výšce referenčního řezu  $c_0$ . Výška referenčního řezu je dána posunutím vztahné čáry do profilu k definovanému materiálovému podílu (tzv. umělý záběh).

$$Rmr(c) = \frac{100}{ln} \sum_{i=1}^n MI_i(c) = \frac{MI(c)}{ln} \quad (1.4)[4]$$



Obr. 1.10 Materiálový poměr profilu [9]



### Veličiny nosného podílu

Definovány podle DIN EN ISO 13565, zobrazeny na Obr. 1.11.

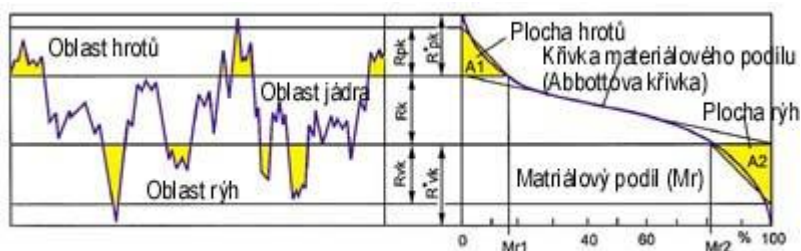
**Hloubka jádra drsnosti  $R_k$**  – hloubka profilu jádra drsnosti

**Redukovaná výška výstupků  $R_{pk}$**  – střední výška výstupků profilu, vyčnívající z profilu jádra drsnosti.[6]

**Redukovaná hloubka prohlubní  $R_{vk}$**  – střední hloubka prohlubní profilu, zasahující z profilu jádra drsnosti do materiálu.[6]

**Podíl materiálu nad povrchem jádra  $Mr_1$**  – úroveň vyjádřená v procentech, určená průsečíkem přímky oddělující vyčnívající výstupky od jádra profilu drsnosti (je určován linií řezu, která vymezuje profil jádra drsnosti ke straně bez materiálu).[6]

**Podíl materiálu pod profilem drsnosti  $Mr_2$**  – úroveň vyjádřená v procentech, určená průsečíkem přímky oddělující vyčnívající prohlubně do jádra profilu drsnosti (je určován linií řezu, která vymezuje profil jádra drsnosti ke straně do materiálu).[6]







Obr. 1.11 Veličiny nosného podílu [9]

### Výpočet náhradní přímky

Náhradní přímka je vypočítávána pro střední oblast křivky materiálového poměru, která obsahuje 40% měřených bodů profilu. Tato „střední oblast“ leží v místě, kde sečna křivky materiálového poměru, mající délku 40% materiálového poměru, má nejmenší sklon. Určí se pohybem sečny s délkou úsečky  $dMr=40\%$  po křivce materiálového poměru, počínaje od polohy  $Mr=0\%$ . Sečna pro  $dMr=40\%$ , mající nejmenší sklon, stanovuje „střední oblast“ křivky materiálového poměru pro výpočet náhradní přímky. Je-li více oblastí se stejným nejmenším sklonem sečny, potom se vybere oblast, která je první v pořadí. Náhradní přímka je potom vypočítávána pro tuto střední oblast, pomocí odchylky nejmenších čtverců ve směru pořadnic profilu.[6]



|   |   |  |         |
|---|---|--|---------|
|   |   | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 17 |
|  |  | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE                           |         |

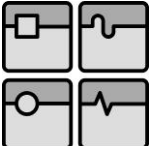
### Výpočet parametrů Rvk a Rpk

Plochy nad a pod oblastí křivky materiálového poměru, která stanovuje jádro drsnosti  $R_k$ , jsou na obrázku 1.11 žlutě, to odpovídá ploše řezu výstupků a prohlubní, které přesahují jádro profilu. Parametry  $R_{pk}$  a  $R_{vk}$  jsou každý vypočítáván jako výška pravoúhlého trojúhelníku, sestrojeného tak, aby měl stejnou plochu jako „plocha výstupků“ nebo „plocha prohlubní“. Pravoúhlý trojúhelník odpovídající „ploše výstupků A1“ má za základnu  $Mr_1$  a pravoúhlý trojúhelník odpovídající „ploše prohlubní A2“ má za základnu  $100\% - Mr_2$ . [6]

Parametry podle této části normy ISO 13565 mají být počítány jen v případě, má-li křivka materiálového poměru esovitý tvar a má tedy jen jeden inflexní bod. Ze zkušeností je to vždy případ lapovaných, broušených a honovaných povrchů. [6]

**Rozdíl výšky úseku profilu  $R_{\delta c}$**  – svislá vzdálenost mezi úrovněmi dvou úseků daného materiálového poměru. [4]

**Vzájemný materiálový poměr  $R_{mr}$**  – materiálový poměr určený na úrovni části profilu  $R_{\delta c}$ , vztažený k úrovni  $c_0$ . [4]

|   |  |         |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 18 |
|   | <b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>                    |         |

## **2. HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU PODLE ČSN EN ISO 4288**

Odhad parametrů je vypočítáván pomocí dat naměřených na jedné základní délce. Odhad průměrných hodnot parametrů je vypočítáván vyčíslením aritmetického průměru odhadu parametru ze všech jednotlivých základních délek. Když je pro parametry profilu drsnosti použit normalizovaný počet pěti základních délek, není potřebné doplňovat symbol parametru indexem. Pro parametr hodnocený na jiném počtu základních délek, musí být tento počet u značky parametru uveden jako index (Rz1, Rz3...).[5]

Pro křivky a odpovídající parametry je odhad hodnoty parametru vypočítáván pomocí naměřených dat z jedné křivky, která byla počítána na základě vyhodnocované délky.[5]

### **2.1 Pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi**

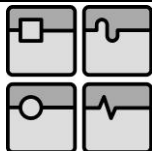
#### **Plochy na kontrolovaných prvcích**

Struktura povrchu kontrolovaných obrobků se může jevit jako homogenní, nebo může být na jednotlivých plochách zcela rozdílná. To může být zjištěno vizuální zkouškou povrchu. V případech, kdy se struktura povrchu jeví homogenní, hodnoty parametrů určené z celého povrchu budou použity pro porovnání s požadavky uvedenými na výkresu, nebo ve výrobní dokumentaci.[5]

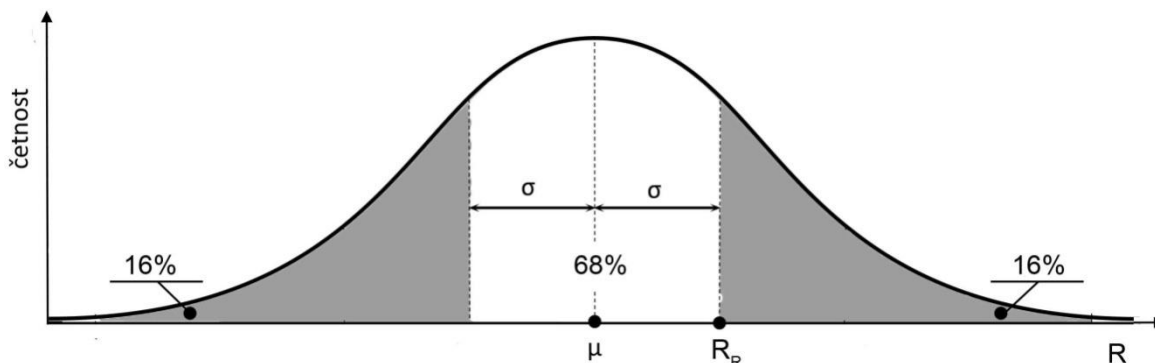
#### **Pravidlo 16%**

Pro požadavky specifikované horní mezí parametru jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16% všech naměřených hodnot vybraných parametrů, zjišťovaných na vyhodnocované délce přesahuje hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci.[5]

Pro požadavky specifikované dolní mezí parametru, jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16% všech naměřených hodnot vybraných parametrů, zjišťovaných na vyhodnocované délce, je menších než hodnota uvedená na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci.[5]



Při stanovení horní a dolní meze parametru bude použita značka parametru bez indexu „max“.



Obr. 2.1 Gaussovo rozložení pravděpodobnosti

$$R_R = \mu + \sigma \doteq \bar{x} + s \quad (2.1)$$

$R_R$  – je reprezentativní hodnota pro nekonečný počet měření, v praxi je dostatečný počet měření  $n=50$ . Výsledky měření se řídí zákonem normálního rozložení.

### 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“.[5]

### Nejistota měření

Pro dokázání shody nebo neshody se specifikací musí být měřené hodnoty parametrů porovnávány se specifikovanými mezními hodnotami s uvažováním nejistot měření podle pravidel daných v ISO 14253-1. V případě porovnání výsledků měření s horními a dolními mezemi jsou nejistoty měření odhadovány bez uvažování nehomogenního povrchu, které už jsou započítány s přídavkem 16%. [5]

## 2.2 Hodnocení parametru

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. Pro rozhodnutí, zda povrch obrobku je, či není ve shodě se specifikací, je použit soubor jednotlivých hodnot parametru struktury povrchu, z nichž každý je určen na vyhodnocované délce.[5]

Spolehlivost rozhodnutí, zda kontrolovaný povrch vyhovuje či nevyhovuje specifikaci, a přesnost průměrné hodnoty parametru struktury povrchu získané na témže povrchu, závisí na počtu základních délek ve vyhodnocované délce, na které byly jednotlivé hodnoty parametru struktury povrchu získány a také na počtu vyhodnocovaných délek, tj. na počtu měření na povrchu.[5]

Pokud se vyhodnocovaná délka pro parametry profilu drsnosti dle ISO 4287 nerovná pěti základním délkám, je jejich horní a dolní mez přepočítána a vztažena k vyhodnocované délce rovnající se pěti základním délkám. Na obrázku 2.1 každé znázorněné  $\sigma$  se rovná  $\sigma_s$ . Vztah mezi  $\sigma_n$  a  $\sigma_s$  je dán rovnicí 2.2]

$$\sigma_s = \sigma_n \sqrt{n/5} \quad (2.2)[5]$$

kde  $n$  je počet (menší než 5) použitých základních délek.[5]

Čím je větší počet měření a delší vyhodnocovaná délka, tím větší je spolehlivost rozhodnutí o tom, vyhovuje-li kontrolovaný povrch specifikaci, a tím menší je nejistota průměrné hodnoty parametru. Nárůst počtu měření vede k nárůstu času a nákladů na měření. Proces kontroly musí proto nezbytně představovat kompromis mezi spolehlivostí a náklady.[5]

|  |  |  |         |
|--|--|--|---------|
|  |  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 21 |
|  |  | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE                           |         |

### 2.3 Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji

Je-li základní délka specifikována požadavkem na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci, mezní vlnová délka cut-off  $\lambda_c$  je vybrána jako tato základní délka. Není-li drsnost nebo základní délka specifikována v dané specifikaci drsnosti, je mezní vlnová délka volena následujícím způsobem.[5]

Není-li specifikován směr měření, obrobek je polohován tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti ( $R_a$ ,  $R_z$ ). Tento směr bude kolmý ke stopám po nástroji na povrchu. Pro izotropní povrchy může být směr řezu libovolný.[5]

Měření je prováděno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické hodnoty, to lze posoudit vizuálním pozorováním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně. Pro určení hodnot parametrů profilu drsnosti je potřeba nejprve pohledem rozhodnout, zda profil drsnosti je periodický nebo neperiodický. Na základě tohoto určení, pokud není určeno jinak, následuje postup specifikovaný v 2.3.1 nebo 2.3.2. Jsou-li použity speciální postupy měření, musí být popsány ve specifikacích a v protokolu o měření.[5]

#### 2.3.1 Postup pro neperiodický profil drsnosti [5]

- a) Odhadne se neznámý parametr profilu drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  libovolným způsobem, například vizuální prohlídkou, pomocí srovnávacích vzorků, grafickou analýzou celkového profilu atd.
- b) Odhadne se základní délka z tabulky 2.1, 2.2 nebo 2.3 pro  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{sm}$  odhadnuté v kroku a)
- c) Měřícím přístrojem, s nastavenými hodnotami základní délky odhadnuté v kroku b), se získá reprezentativní měření  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$ .
- d) Porovnávají se naměřené hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  s rozsahem těchto hodnot v tabulce 2.1, 2.2 nebo 2.3 odpovídající odhadnuté základní délce. Jsou-li měřené hodnoty mimo rozsah hodnot

pro odhadnutou základní délku, potom se nastaví přístroj na větší, případně menší základní délku, než je základní délka indikovaná měřenou hodnotou. Potom se měří reprezentativní hodnota při použití této nastavené základní délky a opět se porovná s hodnotami v tabulce 2.1, 2.2 nebo 2.3. V tomto případě by měla být dosažena kombinace měřené hodnoty a základní délky navrhovaná v tabulce 2.1, 2.2 nebo 2.3.

- e) Získají se reprezentativní hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  pro jednu nastavenou kratší základní délku. Není-li tato nastavená kratší základní délka hodnocena v předcházejícím kroku d). Pohledem se zkontroluje, zda výsledná kombinace  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  a základní délky je uvedena v tabulkách 2.1, 2.2 nebo 2.3.
- f) Jestliže jen závěrečné nastavení podle kroku d) odpovídá tabulce 2.1, 2.2 nebo 2.3, potom nastavená základní délka a hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  jsou správné. Jestliže krok e) také předpokládá kombinaci danou v tabulce 2.1, 2.2 nebo 2.3, potom tato nastavená kratší základní délka odpovídající hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  jsou správné.
- g) Získá se reprezentativní měření žádaných parametrů použitím hodnoty mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích.

### **2.3.2 Postup pro periodický profil drsnosti [5]**

- a) Na povrchu s neznámou drsností se graficky odhadne parametr  $R_{Sm}$ .
- b) Pro odhadnutý parametr  $R_{Sm}$  se použitím tabulky 2.3 určí doporučená hodnota mezní vlnové délky cut-off.
- c) Je-li to nezbytné (ve sporném případě), změří se hodnota  $R_{Sm}$  za použití hodnoty mezní vlnové délky cut-off, určená podle b)
- d) Jestliže hodnota  $R_{Sm}$  z kroku c) odpovídá podle tabulky 2.3 menší nebo větší hodnotě mezní vlnové délky cut-off, než v kroku b), použije se menší nebo větší hodnota mezní vlnové délky.

- e) Získá se reprezentativní měření žádaných parametrů při použití hodnoty mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích.

**Tab. 2.1 Základní délky drsnosti pro neperiodické profily [5]**

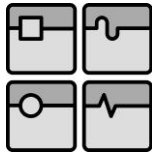
| Ra                       | Základní délka drsnosti $l_r$ | Vyhodnocovaná délka drsnosti $l_n$ |
|--------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| $\mu\text{m}$            | mm                            | mm                                 |
| $(0,006) < Ra \leq 0,02$ | 0,08                          | 0,4                                |
| $0,02 < Ra \leq 0,1$     | 0,25                          | 1,25                               |
| $0,1 < Ra \leq 2$        | 0,8                           | 4                                  |
| $2 < Ra \leq 10$         | 2,5                           | 12,5                               |
| $10 < Ra \leq 80$        | 8                             | 40                                 |

**Tab. 2.2 Základní délky drsnosti pro neperiodické profily [5]**

| Rz Rz1max                       | Základní délka drsnosti $l_r$ | Vyhodnocovaná délka drsnosti $l_n$ |
|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| $\mu\text{m}$                   | mm                            | mm                                 |
| $(0,025) < Rz, Rz1max \leq 0,1$ | 0,08                          | 0,4                                |
| $0,1 < Rz, Rz1max \leq 0,5$     | 0,25                          | 1,25                               |
| $0,5 < Rz, Rz1max \leq 10$      | 0,8                           | 4                                  |
| $10 < Rz, Rz1max \leq 50$       | 2,5                           | 12,5                               |
| $50 < Rz, Rz1max \leq 200$      | 8                             | 40                                 |

**Tab. 2.3 Základní délky drsnosti pro měření R-parametrů periodických profilů a RSm periodických a neperiodických profilů [5]**

| RSm                     | Základní délka drsnosti $l_r$ | Vyhodnocovaná délka drsnosti $l_n$ |
|-------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| $\mu\text{mm}$          | mm                            | mm                                 |
| $0,013 < RSm \leq 0,04$ | 0,08                          | 0,4                                |
| $0,04 < RSm \leq 0,13$  | 0,25                          | 1,25                               |
| $0,13 < RSm \leq 0,4$   | 0,8                           | 4                                  |
| $0,4 < RSm \leq 1,3$    | 2,5                           | 12,5                               |
| $1,3 < RSm \leq 4$      | 8                             | 40                                 |



## 2.4 Zjednodušený postup pro kontrolu drsnosti podle přílohy A

### Vizuální zkouška

Vizuální kontrolou povrchů na obrobku se vyberou takové, u nichž je zřejmá zbytečná kontrola mnohem přesnější metodou, např. protože drsnost je zřejmě lepší nebo zřejmě horší, než drsnost specifikovaná nebo protože je přítomna vada, která ovlivňuje funkci povrchu. Jestliže vizuální zkouška neumožňuje přijmout rozhodnutí, může být provedeno porovnání hmatem nebo vizuálně pomocí srovnávacích vzorků.[5]

### Zkouška měřením

Jestliže zkouška porovnáním neumožňuje přijmout rozhodnutí, mělo by být provedeno měření na té části povrchu, na které lze na základě vizuálního pozorování očekávat kritické hodnoty.[5]

Kde symbol uvedeného parametru neobsahuje index „max“, povrch bude přijat a postup zkoušky zastaven, jestliže:

- první měřená hodnota nepřesáhne 70% specifikované hodnoty;
- první tři měřené hodnoty nepřesáhnou specifikovanou hodnotu;
- ne více než jedna z prvních šesti měřených hodnot nepřesáhne specifikovanou hodnotu;
- ne více než dvě z prvních dvanácti měřených hodnot nepřesáhnou specifikovanou hodnotu;

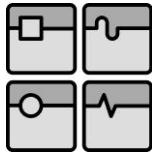
v každém jiném případě bude povrch zamítnut.[5]

Někdy, například před odmítnutím nákladných obrobků, může být provedeno více než 12 měření, například 25 měření s ne více než čtyřmi hodnotami přesahujícími specifikovanou hodnotu.[5]

Kde symbol uvedeného parametru obsahuje index „max“, je obvykle měřeno alespoň třikrát, buď na té části povrchu, kde jsou očekávány největší hodnoty (vidíme-li zvláště hluboké rýhy) nebo na stejnoměrně rozložených místech povrchu, který vytváří dojem homogenity.[5]

Nejspolehlivější výsledky kontroly drsnosti jsou dosahovány pomocí měřících přístrojů, proto má být kontrola kritických součástí prováděna od samého počátku pomocí měřících přístrojů.[5]





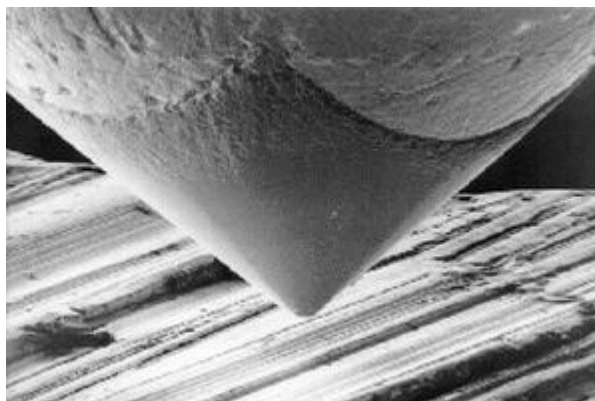
### 3. PŘÍSTROJE NA HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU

#### 3.1 Dotykové

Dotykové snímání povrchu je založeno na skluzu diamantového hrotu po povrchu vzorku a vyhodnocování jeho rozdílů výšky při konstantní rychlosti. Jedná se o v praxi nepoužívanější způsob hodnocení struktury povrchu. Vyrábí se jak laboratorní přístroje připojené na počítač, tak dílenské přístroje (i přenosné přístroje „do kapsy“). Dílenské však z pravidla umí vyhodnocovat jen základní parametry drsnosti. Přístroje připojené na počítač potřebují vyhodnocovací software, díky kterému zvládnou vyhodnotit nejen strukturu povrchu, ale i jeho rozměry.

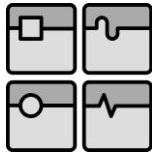
**Měřící snímač** – Diamantový hrot ve tvaru kužele s vrcholovým úhlem  $90^\circ$  nebo  $60^\circ$  a zaoblením ve špičce 2, 5 nebo  $10\mu\text{m}$ .

Tento diamantový hrot je osazen na rameni uloženém ve vlastním těle přístroje. V závislosti na druhu aplikace můžeme rameno vyměnit za jiné, vhodnější svým uložením hrotu ve smyslu posunutí hrotu až na okraj, zúžení ramene pro malé otvory, zahnutí ramene pro měření dna zahloubení atd.



Obr. 3.1 Diamantový hrot

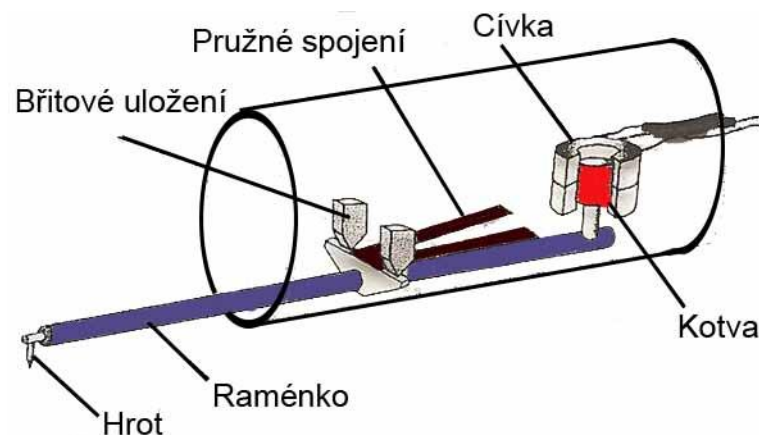
**Zpracování vstupního signálu** – Používají se dva druhy snímačů, piezoelektrický, vhodný pro přenosné drsnoměry a indukční (Obr. 3.3), vhodný pro přesnější měření. Při skluzu hrotu po povrchu je na něj potřeba vyvodit měřící sílu, aby co nejpřesněji kopíroval profil. Tato síla se pohybuje v jednotkách mN pro indukční snímače a až do 10mN pro piezoelektrické snímače. Kdyby byla příliš velká, tak se diamantový hrot vryje do povrchu a zkreslí výsledek měření.



### Provedení přístrojů



Obr. 3.2 zleva SURTRONIC 25, Surfcom 130 a Surfcom 2000 [11]



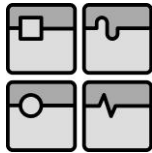
Obr. 3.3 Schéma indukčního snímače

### Nevýhody dotykového snímání povrchu

- Nevýhodou dotykového snímání povrchu je problém s vyhodnocením struktury ve 3D, tu mohou vyhodnotit pouze laboratorní přístroje, kdy se vyhodnocuje plocha 1x1mm. V ose Y se provádí řezy ve vzdálenosti 4 $\mu$ m (250 řezů), to trvá zhruba půl hodiny.
- Rychlost snímání není možné zvýšit, neboť by hrot od povrchu odskakoval.

### Výhody dotykového snímání povrchu

- Mezi hlavní výhody dotykového snímání povrchu patří jednoduchost, a to jak z principu snímání, tak z konstrukčního hlediska. Proto jsou přístroje pro hodnocení povrchu levné a kompaktní.
- Možnost připojení na počítač a pomocí vyhodnocovacího softwaru vyhodnotit různé parametry včetně rozměrů součástí.



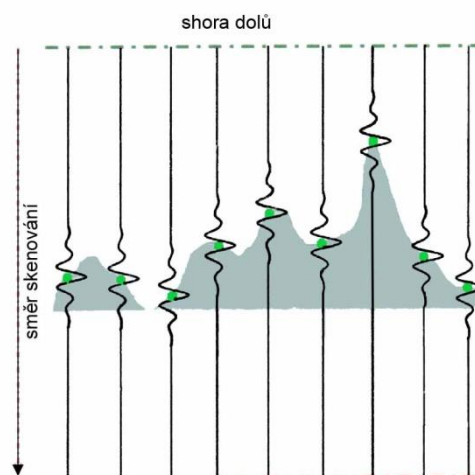
- Můžeme měřit vnitřní povrchy.
- Dílenské přístroje se mohou používat přímo ve výrobě i na velkých kusech – např. rotory turbín.

### 3.2 Optické

Pro optické snímání povrchu existuje více druhů technických řešení, my se ale budeme zabývat bezdotykovým 3D profilometrem Talysurf CCI Lite od firmy Taylor Hobson, který využívá koherenční skenovací interferometrie CSI, u nás známé jako WLSI (White Light Scanning Interferometry). Přesný výklad pojmů, metrologických charakteristik a teoretická východiska k přístrojům toho to typu lze nalézt v normě ISO/DIS 25178-604.[7]

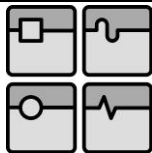
#### Princip měření

U metody WLSI dochází k určení topografické mapy povrchu určením polohy interferenčních proužků během skenování optické dráhy. Při měření se objektiv profilu zaostří na povrch (zaostřuje se pomocí interferenčních proužků), měřený povrch se vyrovná kolmo k optické ose a skenováním v pravidelných vzdálenostech se sejmou, a do paměti uloží průběhy interferenčních signálů (interferogramy) pro každý jednotlivý pixel kamery.[7]



Obr. 3.4 Interferogramy [7]

Analýzou amplitudy a fáze interferenčních signálů lze různými metodami určit polohu maxima modulační obálky interferogramu, určující výškovou souřadnici

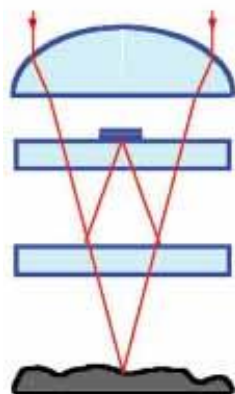


odpovídajícího bodu povrchu. Metoda analýzy interferogramů musí s co největší citlivostí určit polohu interferenčních proužků a současně eliminovat rušivé vlivy jako jsou mechanické vibrace, fotonický šum atd. Přístroj Talysurf CCI Lite využívá korelační algoritmus k vyhledávání koherentních vrcholů a fázové polohy interferenčního modelu.[7]

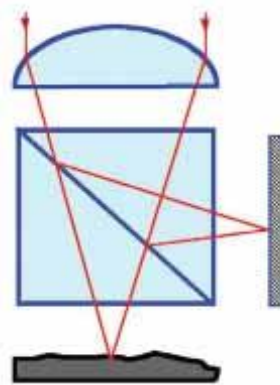
### Konstrukce a jednotlivé části

Samotný profilometr se skládá ze základny, na které je umístěn posuvný a sklopný stolek, nad ním je svisle posuvná měřicí hlava s otočným karuselem pro interferenční objektivu, další optické prvky, skener a kamera. Základna bývá vybavena antivibračními prvky nebo je postavena na antivibračním stole.[7]

Interferenční objektivy jsou dvoupraskové s vnitřním referenčním zrcátkem. Mohou být standardního provedení, s dlouhou pracovní vzdáleností (LWD), nebo s extra dlouhou pracovní vzdáleností (SLWD). Objektiv je seřízen tak, aby nejsilnější interference nastávala v tom výškovém řezu povrchu, na který je objektiv optimálně opticky zaostřen. Konkrétní konstrukce interferenčního objektivu závisí na požadavcích (hlavně na zvětšení a pracovní vzdálenosti). Další důležitou metrologickou charakteristikou interferenčního objektivu je maximální úhel od povrchu odraženého paprsku, který je ještě objektivem zachytitelný. Tento úhel je ovlivněn zvětšením objektivu a jeho konstrukcí. Hlavní konfigurace jsou Mirau (zvětšení 10x, 20x, 50x a 100x) a Michelson (zvětšení 2,5x a 5x).[7]



Obr. 3.5 Mirau [10]



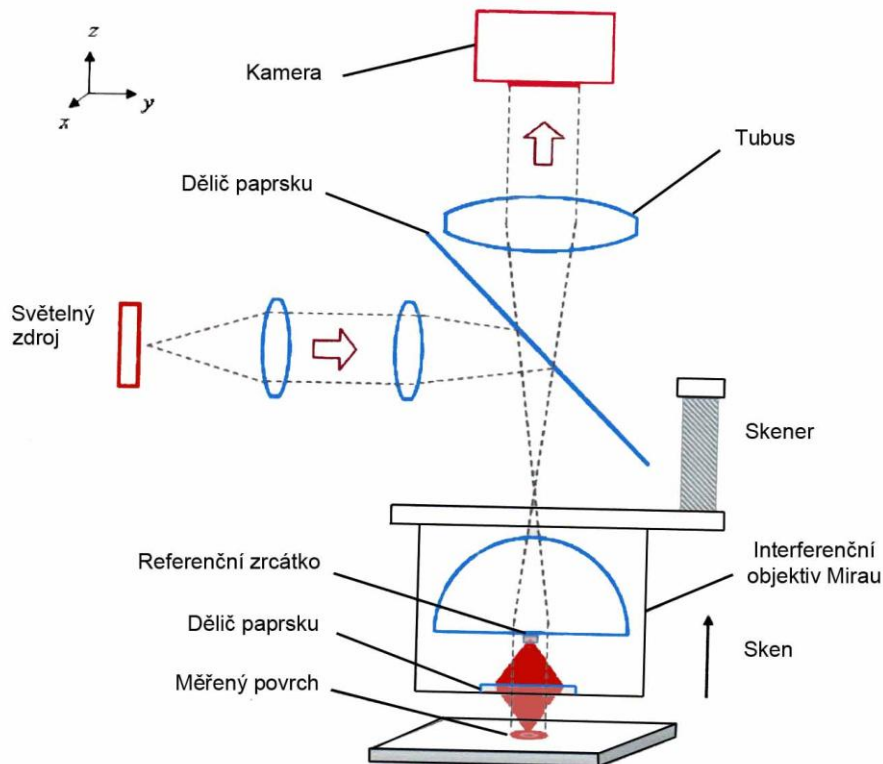
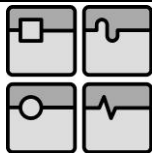
Obr. 3.6 Michelson [10]

Skenování je plynulý posuv interferenčního objektivu podél jeho optické osy (Z), během něhož se v pravidelných vzdálenostech snímá promítnutý interferenční signál

(obr. 3.7). Dráha skenu mezi dvěma snímky kamery se nazývá rozteč skenu. Obvykle bývá 4 až 8 snímků na vzdálenost odpovídající jednomu interferenčnímu proužku. Je zde extrémní požadavek na plynulost a rovnoměrnost skenování, protože právě rozteč skenování je u WLSI profiloměrů míronosnou veličinou, ze které se odvozují příslušné výškové souřadnice bodů povrchu.[7]

Mezi požadavky kladené na kameru profiloměru patří její rozlišení, rychlost přenosu dat, velký odstup signálu od šumu, vhodná spektrální citlivost a stabilita všech jejích parametrů. Normy doporučují čtvercový formát, a to z důvodů zrychlení numerických operací a také proto, že když se vzorek otočí o 90°, kamera snímá pořád stejnou část povrchu a poskytuje konzistentní výsledky. S větším rozlišením kamery získáme více detailů, a možnost odstranění optického zoomu ke změně optického pole. Pro rychlost skenování je určující rychlost přenosu dat, která roste se snižujícím rozlišením kamery. Kamery s vysokým rozlišením mohou být vybaveny vyrovnávací pamětí, která rychlost přenosu dat podstatně zvýší. Přístroj používá kameru o rozlišení 1024x1024 bodů a čas měření se pohybuje obvykle mezi 5 až 40 vteřinami.[7][10]

Jako světelný zdroj se používá zelená LED s vysokou životností (lze volit i modrou a bílou). K úpravě spektrální charakteristiky se používají filtry. Od světelného zdroje se vyžaduje rovnoměrné osvětlení celého měřeného pole.[10]



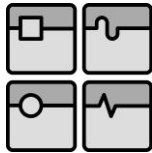
Obr. 3.7 Schéma konstrukce [7]

### Nevýhody optického snímání povrchu

- Mezi hlavní nevýhody bezkontaktních profiloměrů patří jejich cena, která je v porovnání s kontaktními vysoká.
- Potřeba jejich umístění na antivibrační podložce, umístění přístrojů se volí v dostatečné vzdálenosti od zdrojů vibrací.
- Omezení dle tvaru a rozměrů součástí.

### Výhody optického snímání povrchu

- Výhodou těchto přístrojů je snímání povrchu ve 3D, kdy získáme úplný obraz povrchu ve vysokém rozlišení.
- Rychlost snímání pohybující se okolo 30mm/s.
- Vertikální rozlišení 0,01nm.
- K uloženému záznamu měření se lze kdykoli vrátit a vyhodnotit i jiné parametry.



### 3.3 Srovnání dotykové a optické metody

Podle pokynů vedoucího bakalářské práce bylo provedeno srovnání demonstrativního měření soustruženého vzorku ze vzorníku drsností povrchu Zbrojovky Brno z roku 1956 o hodnotě  $R_a = 1,6\mu\text{m}$ .

#### Dotykové

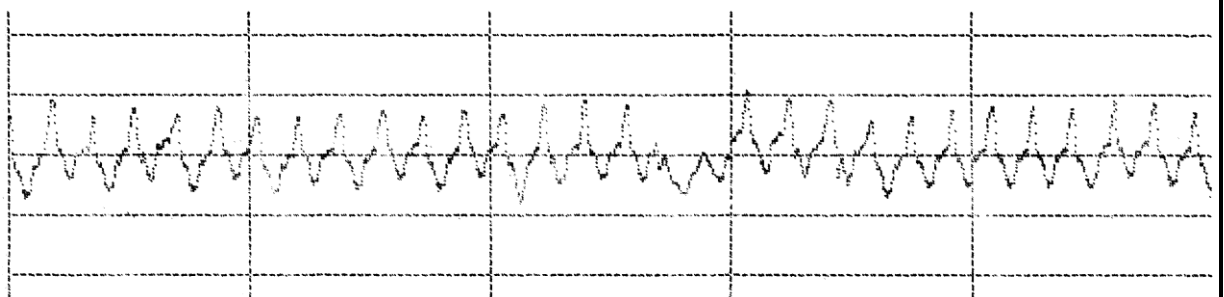
Dotykové měření bylo provedeno na přístroji Mitutoyo surfest 201 series 178 a jeho konfigurace byla: zaoblení hrotu  $5\mu\text{m}$ , přitlačná síla  $4\text{mN}$ , vrcholový úhel  $90^\circ$ , základní délka  $0,8\text{mm}$ , vyhodnocovaná délka  $5 \times 0,8 = 4\text{mm}$ , rychlost snímání  $0,5\text{m/s}$ .

Postup pro kontrolu povrchu dotykovými přístroji je popsán v podkapitole 2.3.

Záznam profilu drsnosti je na Obr. 3.9 a změřené hodnoty uvedené v Tab. 3.1.

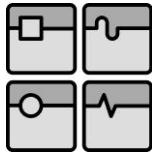


Obr. 3.8 Dotykové měření



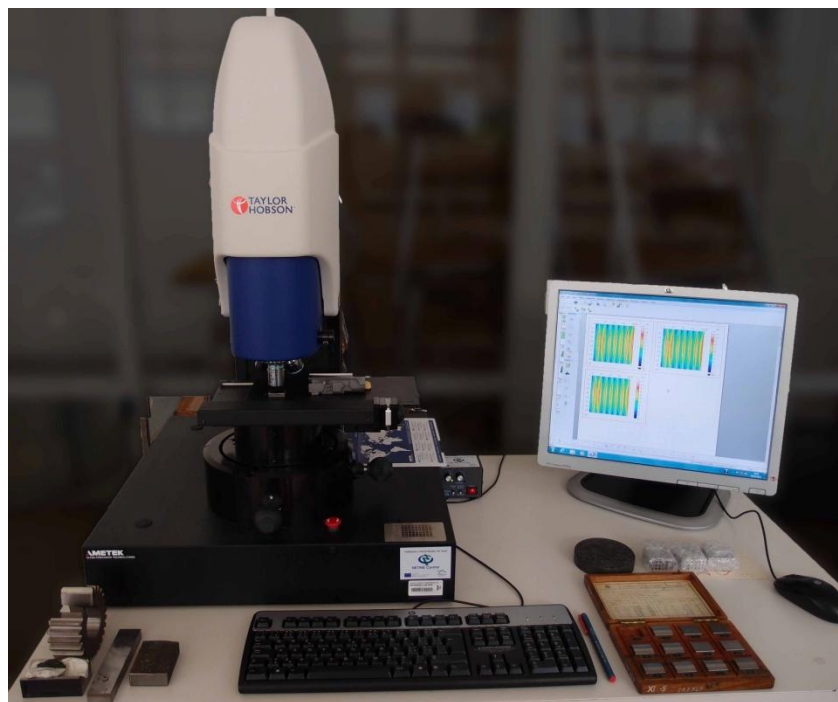
Obr. 3.9 Záznam profilu drsnosti



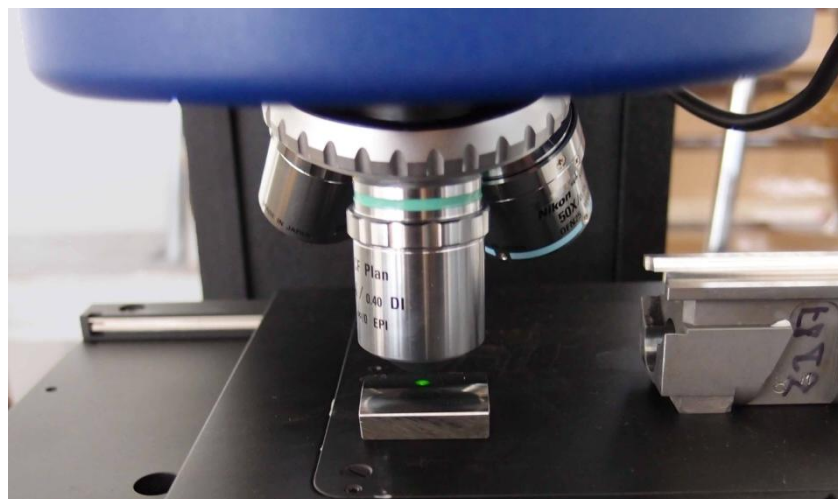


### Optické

Bezkontaktní měření bylo provedeno na přístroji Talysurf CCI Lite a jeho konfigurace byla: objektiv Mirau, zvětšení 20x, snímané pole 0,83x0,83mm  
Po vložení vzorku pod objektiv jsme ručně zaostřili na povrch a našli vrchol vzorku (soustružený vzorek má rádius, hledali jsme místo nejbližší objektivu). Na sejmutém povrchu (Obr. 3.12) je patrný rádius vzorku, který jsme následně odfiltrovali, což je výhodné pro další zpracovávání snímku.

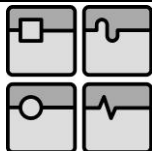


Obr. 3.10 Talysurf CCI

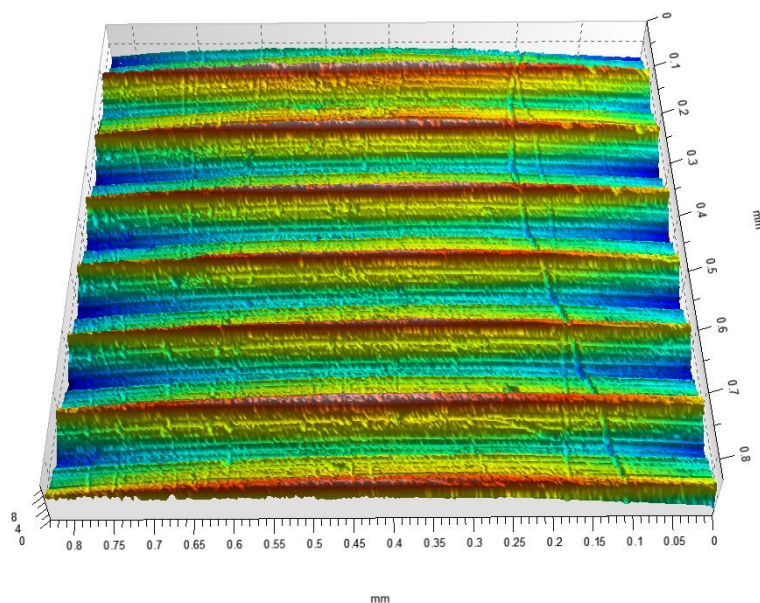


Obr. 3.11 Objektiv Mirau 20x



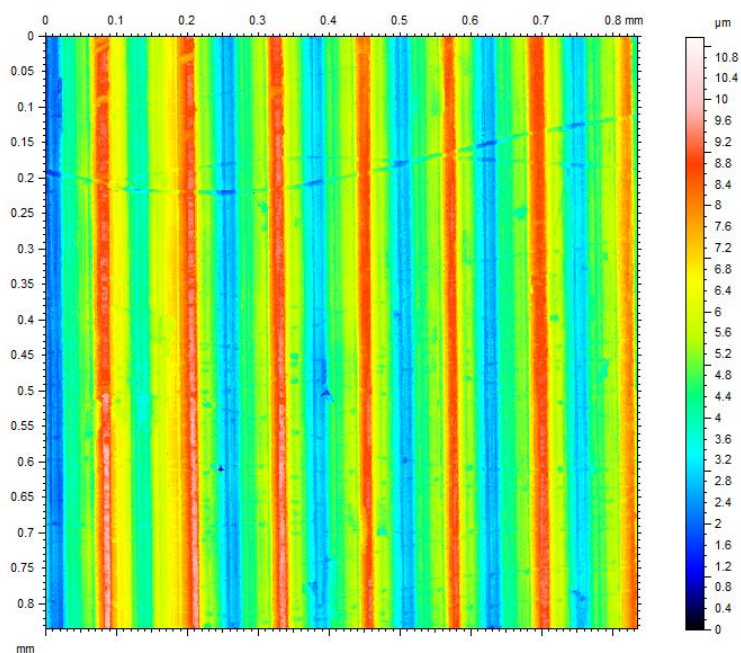


## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

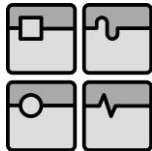


Obr. 3.12 3D profil povrchu

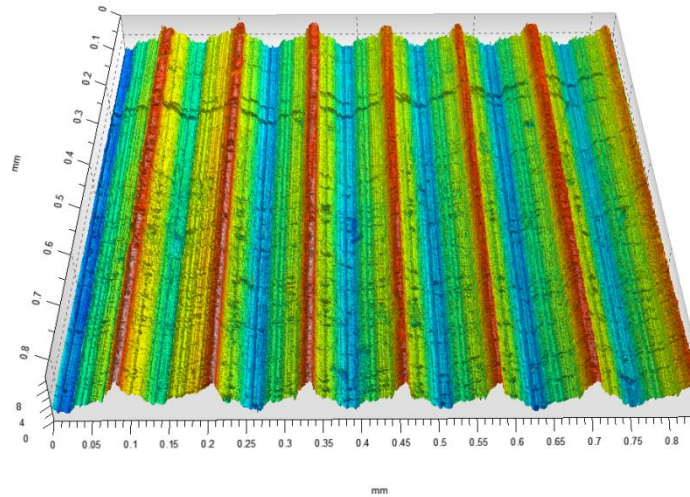
Odfiltrováním poloměru nám vznikne rovinná plocha, kterou jsme otočili o 90° (Obr. 3.13, 3.14). Vprostřed této plochy jsme udělali řez pro měření parametrů (Obr. 3.15). Na obrázku 3.17 jsou vykresleny všechny profily po celé délce snímku (1 délkový pixel = 1 profil povrchu, tzn. 1024 profilů), červeně jsou nejvyšší a nejnižší profily, modře je aktuální (první) profil.



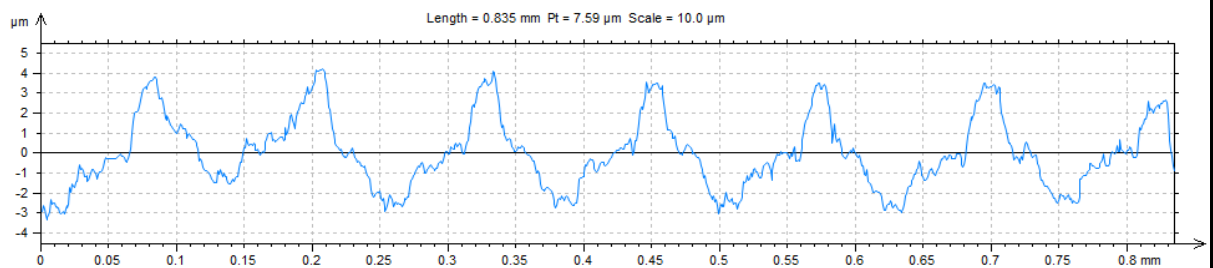
Obr. 3.13 Barevné rozlišení výšek



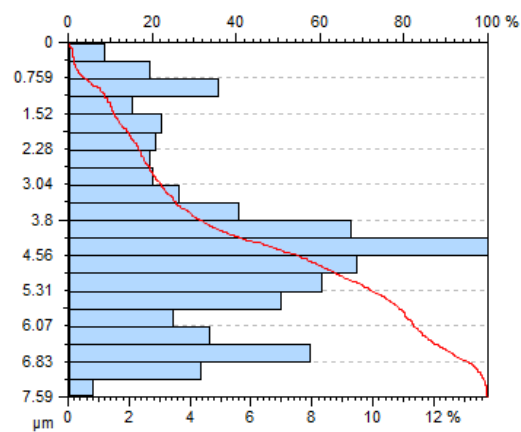
# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



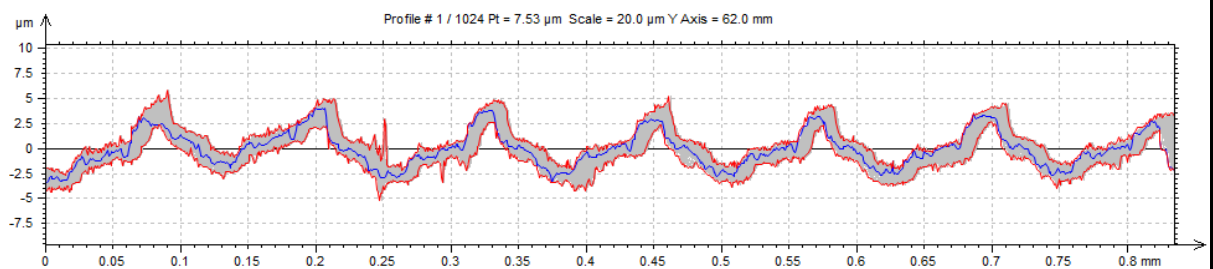
Obr. 3.14 3D povrch po odfiltrování válcovitosti



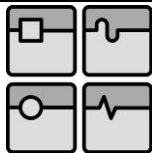
Obr. 3.15 Měřený profil drsnosti



Obr. 3.16 Abbottova křivka



Obr. 3.17 Profily drsnosti po délce snímku



Z předcházejících snímků je vidět, že možnosti bezkontaktního hodnocení kvality povrchu jsou obrovské. Z jednoho měření lze získat velké množství dat, která jsou k dispozici pro další zpracování. Vypočítané parametry pro měřený profil drsnosti jsou zpracovány a porovnány v tabulce 3.1. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami je značný a nejspíše bude způsoben výběrem místa hodnocení, které není stoprocentně shodné.

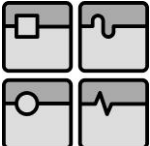
Tab. 3.1 Srovnání změřených parametrů

|                 | Ra<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rq<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rp<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rt<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rv<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rz<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rc<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rmr<br>[%] |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| Mitutoyo<br>201 | 1,51                    | 1,90                    | 4,6                     | 9,4                     | -                       | -                       | -                       | -          |
| Talysurf<br>CCI | 1,37                    | 1,76                    | 4,11                    | 7,44                    | 3,33                    | 7,44                    | 4,69                    | 10,4       |
| Rozdíl          | 0,14                    | 0,14                    | 0,49                    | 1,96                    | -                       | -                       | -                       | -          |

Tabulka 3.2 se vztahuje k obrázku 3.17, kdy jsou vyhodnoceny parametry po celé délce snímku. Hodnoty naměřené dotykovým přístrojem nespádají do rozmezí hodnot vypočítaných po celé délce snímku optického přístroje.

Tab. 3.2 Hodnoty parametrů po délce snímání

|                    | Ra<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rq<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rp<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rt<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rv<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rz<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rc<br>[ $\mu\text{m}$ ] | Rmr<br>[%] |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|
| Střední<br>hodnota | 1,40                    | 1,79                    | 4,25                    | 7,71                    | 3,46                    | 7,71                    | 4,54                    | 8,80       |
| Min                | 1,34                    | 1,70                    | 3,66                    | 7,15                    | 3,08                    | 7,15                    | 2,56                    | 0,61       |
| Max                | 1,46                    | 1,86                    | 5,61                    | 10,2                    | 4,89                    | 10,2                    | 7,14                    | 14,1       |

|   |  |         |
|---|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 36 |
|   | <b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>                    |         |

#### 4. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vyhodnotit rozdíly mezi výsledky dotykových a bezdotykových přístrojů na hodnocení struktury povrchu. Tento cíl byl dle pokynů vedoucího bakalářské práce splněn takto:

V kapitole 1 jsou uvedeny základní pojmy a definice podle normy ČSN EN ISO 4287.

V kapitole 2 je uvedeno hodnocení struktury povrchu podle ČSN EN ISO 4288.

V kapitole 3 jsou popsány dotykové přístroje a optické přístroje využívající metodu WLSI, dále je v této kapitole srovnání výsledků jednoho měření mezi těmito přístroji. Toto měření je pouze ilustrativní a ukazuje, že dotykový přístroj změřil hodnoty vyšší, než bezdotykový. To může být způsobeno výběrem místa hodnocení, které se úplně neshoduje a to ze dvou důvodů. U kontaktního přístroje se obtížně vybírá a jeho délka je 5 krát 0,8mm, takže se po délce snímání objeví více vad povrchu ovlivňujících výsledky. U optického přístroje je délka snímání pouze 0,8mm. Pro objektivní zhodnocení rozdílů měření by bylo potřeba provést nejméně 50 jednotlivých měření na více vzorcích.

Lze říci, že dotykové přístroje se spíše hodí pro technickou praxi kvůli jejich jednoduchosti konstrukce, variabilitě provedení, ceně a v případě kapesních přístrojů i možnosti měřit v terénu. Jejich nevýhodou je rychlost snímání, kterou není možno zvýšit. Naproti tomu mohou měřit strukturu povrchu i v místech, kde to není s bezkontaktním přístrojem možné, a to díky vyměnitelnému raménku s hrotem. Bezkontaktní profilometry se hodí hlavně do laboratoří pro zkoumání 3D povrchu a jeho vlastností, kdy můžeme novou součást podrobit expertíze na bezkontaktním profilometru a dále pak hlídat určité parametry dotykovými přístroji.

|  |  |         |
|--|--|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 37 |
|  | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE                           |         |

### Seznam použitých zdrojů

1. KRSEK, Aleš, OSANA, Herbert, KURIC, Ivan, PROSTREDNIK, Daniel. Strojárska metrologia a riadenie kvality. Bratislava: STU, 2002. ISBN 80-227-1025-3.
2. FIALA, Alois. Statistické řízení procesů a nástroje pro řízení a zlepšování procesů. Brno: VUT v Brně, 1997. ISBN 80-214-0895-2
3. PERNIKÁŘ, Jiří, TYKAL, Miroslav. Strojírenská metrologie II: 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 180s. ISBN 80-214-3338-8.
- [4]. ČSN EN ISO 4287: 1997, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu
- [5]. ČSN EN ISO 4288: 1997, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu
- [6]. ČSN EN ISO 13565-2: 1999, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda: povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 2: výškové charakteristiky využívající křivku lineárního poměru materiálu
- [7]. KLEIN, František. Optické interferenční profiloměry WLSI. [online] Vydáno: listopad 2012. Dostupné z: [http://www.imeco-th.cz/imeco\\_th\\_cz\\_5.htm](http://www.imeco-th.cz/imeco_th_cz_5.htm)
- [8]. NOVÁK, Zdeněk. Zvýšení kvality hodnocení textury povrchu. *MM Průmyslové spektru* [online]. Vydáno: 22.11.2011. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com>
- [9]. Drsnost povrchu dle DIN EN ISO [online]  
<http://www.hommel-etamic.cz/technicke-informace>
- [10]. Prospekty profiloměrů dostupné z: [http://www.imeco-th.cz/imeco\\_th\\_cz\\_5.htm](http://www.imeco-th.cz/imeco_th_cz_5.htm)
- [11]. Prospekty profiloměrů dostupné z: <http://www.zeiss.cz/>

### Seznam obrázků

|  |     |
|--|-----|
| Obr. 1.1 Profil povrchu [4] .....                            | 8   |
| Obr. 1.2 Filtr profilu drsnosti .....                        | 9   |
| Obr. 1.3 Vliv různých základních délek .....                 | 10  |
| Obr. 1.4 Příklad vyhodnocované délky .....                   | 110 |
| Obr. 1.5 Prvek profilu .....                                 | 121 |
| Obr. 1.6 Výšky profilu.....                                  | 12  |
| Obr. 1.7 Průměrná výška prvků profilu .....                  | 13  |
| Obr. 1.8 Ra pro různé povrchy .....                          | 104 |
| Obr. 1.9 MI(c).....  | 115 |
| Obr. 1.10 Materiálový poměr profilu .....                    | 15  |
| Obr. 1.11 Veličiny nosného podílu .....                      | 16  |
| Obr. 2.1 Gaussovo rozložení pravděpodobnosti .....           | 109 |
| Obr. 3.1 Diamantový hrot.....                                | 11  |
| Obr. 3.2 zleva SURTRONIC 25, Surfcom 130 a Surfcom 2000..... | 26  |
| Obr. 3.3 Schéma indukčního snímače .....                     | 26  |
| Obr. 3.4 Interferogramy.....                                 | 10  |
| Obr. 3.5 Mirau .....   | 28  |
| Obr. 3.6 Michelson.....                                      | 28  |
| Obr. 3.7 Schéma konstrukce.....                              | 30  |
| Obr. 3.8 Dotykové měření .....                               | 31  |
| Obr. 3.9 Záznam profilu drsnosti .....                       | 10  |
| Obr. 3.10 Talysurf CCI .....                                 | 32  |
| Obr. 3.11 Objektiv Mirau 20x .....                           | 32  |
| Obr. 3.12 3D profil povrchu .....                            | 33  |
| Obr. 3.13 Barevné rozlišení výšek .....                      | 33  |
| Obr. 3.14 3D povrch po odfiltrování válcovitosti .....       | 34  |
| Obr. 3.15 Měřený profil drsnosti .....                       | 34  |
| Obr. 3.16 Abbottova křivka.....                              | 34  |
| Obr. 3.17 Profily drsnosti po délce snímku .....             | 34  |

### Seznam tabulek

|  |     |
|--|-----|
| Tab. 2.1 Základní délky drsnosti pro neperiodické profily [5] .....  | 23  |
| Tab. 2.2 Základní délky drsnosti pro neperiodické profily [5] .....  | 23  |
| Tab. 2.3 Základní délky drsnosti pro měření R-parametrů periodických profilů a RSm periodických a neperiodických profilů [5] ..... | 23  |
| Tab. 3.1 Srovnání změřených parametrů .....  | 355 |
| Tab. 3.2 Hodnoty parametrů po celé délce snímání .....   | 355 |