



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**HODNOCENÍ DRSNOSTI POVRCHU KONTAKTNÍ A
BEZKONTAKTNÍ METODOU**

CONTACT AND NON-CONTACT METHOD OF SURFACE ROUGHNESS EVALUATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Magda Špačková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka: **Magda Špačková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce: **doc. Ing. Róbert Jankových, CSc.**
Akademický rok: 2015/16

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 drsnosti povrchu kontaktní a bezkontaktní metodou

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování výsledků měření vybraných profilových parametrů drsnosti povrchu určených vzorků kontaktním přístrojem a přístrojem Talysurf CCI Lite.

Cíle bakalářské práce:

1. Metrologie textury povrchu - přehled metod.
2. Analýza rozdílů výsledků hodnocení profilových parametrů drsnosti povrchu kontaktní a bezkontaktní metodou.
3. Doporučení pro praxi.

Seznam literatury:

Bumbálek, B., Odvody, V. a Ošťádal B. (1989): Drsnost povrchu. Praha, SNTL, 04-252-89.

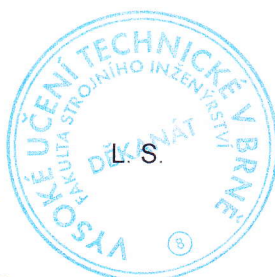
Whitehouse, D. J. (1994): Handbook of Surface Metrology. Bristol, Institute of Physics Publishing Ltd, ISBN 0-7503-0039-6.

Whitehouse, D. J. (2004): Surfaces and their Measurement. London, Kogan Page Ltd, ISBN 1-9039-9660-0.

Normy o výpočtu a analýze profilových parametrů drsnosti.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 30. 11. 2015



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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce obsahuje přehled metod hodnocení profilových parametrů drsnosti povrchu. Bezkontaktním přístrojem Talysurf CCI Lite a kontaktním přístrojem Taylor Hobson Surtronic 25 bylo provedeno měření dvanácti vzorků. Na základě těchto měření byla provedena analýza rozdílů výsledků hodnocení vybraných profilových parametrů. V závěru práce jsou uvedena doporučení pro praxi při použití kontaktních a bezkontaktních přístrojů pro hodnocení drsnosti povrchu.

Klíčová slova

metrologie textury povrchu, drsnost povrchu, cutt-off, kontaktní metoda, bezkontaktní metoda

ABSTRACT

This bachelor's thesis includes an overview of surface roughness profile parameters' evaluation methods. Measurement of twelve samples was carried out using a Talysurf CCI Lite non-contact instrument, and a Taylor Hobson Surtronic 25 contact profiler. An analysis of differences in results of evaluation of selected profile parameters was performed based on these measurements. The conclusions of this thesis include practical recommendations for use of contact and non-contact instruments for surface roughness evaluation.

Key words

metrology of surface texture, surface roughness, cut-off, contact method, non-contact method

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠPAČKOVÁ, M. Hodnocení drsnosti povrchu kontaktní a bezkontaktní metodou. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 80 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Róbert Jankových, CSc..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....

Špačková Magda

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Róbertu Jankových, CSc. za trpělivost, cenné připomínky a rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu během studia.

Obsah

ÚVOD	15
1. Historie hodnocení drsnosti povrchu	16
2. Metrologie struktury povrchu	17
2.1 Struktura povrchu	17
2.2 Metody měření struktury povrchu	17
3. Vybrané parametry drsnosti povrchu	18
3.1 Výškové parametry	19
3.1.1 Parametr R_p	19
3.1.2 Parametr R_v	20
3.1.3 Parametr R_z	20
3.1.4 Parametr R_c	21
3.1.5 Parametr R_t	21
3.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty souřadnic)	22
3.2.1 Parametr R_a	22
3.2.2 Parametr R_q	22
3.2.3 Parametr R_{sk}	23
3.2.4 Parametr R_{ku}	23
3.3 Délkové parametry	23
3.3.1 Parametr R_{sm}	23
3.4 Pravidla a postupy při měření dotykovými přístroji	24
3.4.1 Neperiodický profil drsnosti [4]	24
3.4.2 Periodický profil drsnosti [4]	24
3.5 Volba základní délky (cut-off)	25
4. Použité měřicí přístroje	26
4.1 Taylor Hobson Talysurf CCI Lite	26
4.2 Taylor Hobson Surtronic 25	27
5. Použité měřené vzorky	29
5.1 Technologie použité k výrobě vzorků	30
5.1.1 Lapování	30
5.1.2 Broušení	30
5.1.3 Soustružení	30
5.1.4 Frézování	30

6. Výsledky měření.....	32
6.1 Vzorek 0,05 – 341.....	33
6.2 Vzorek 0,2 – 299.....	38
6.3 Vzorek 0,8 – 467.....	40
6.4 Vzorek 1,6 – 248.....	42
6.5 Vzorek 3,2 – 258.....	44
6.6 Vzorek 6,3 – 377.....	46
6.7 Vzorek 3,2 – 43.....	48
6.8 Vzorek 3,2 – 287.....	50
6.9 Vzorek 12,5 – 20.....	52
6.10 Vzorek 12,5 – 124	54
6.11 Vzorek 12,5 – 10	56
6.12 Vzorek 25 – 37	58
7. Srovnání hodnot parametru R_q s měřením v roce 1958.....	60
ZÁVĚR.....	61
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	63
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	64
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67
SEZNAM PŘÍLOH	68
Příloha A - Zpracovaná měření	69

ÚVOD

S rozvojem vědy a techniky a s uplatňováním jejich výsledků má stále větší význam problematika kvality povrchu strojních součástí. Pod pojmem kvalita z hlediska technologie výroby je třeba rozumět přesnost rozměrů, přesnost geometrických tvarů, polohy a drsnosti povrchu. K těmto parametrům přistupuje také sledování chemických a fyzikálních změn vlastností materiálů v povrchové vrstvě obrobené součásti, vzniklých v důsledku vlastního procesu řezání. Sledování, hodnocení a využívání znalostí o drsnosti povrchu vede ke zvyšování kvality, a tedy i efektivnosti výroby strojních součástí. [1]

Na základě analýzy zadání a ve smyslu pokynů vedoucího práce byl text bakalářské práce rozdělen do 7 kapitol a závěru.

Kapitola 1 zahrnuje historii hodnocení drsnosti povrchu, v kapitole 2 je uveden pojem struktura povrchu a metody jejího měření. Kapitola 3 obsahuje popis vybraných výškových a délkových parametrů drsnosti povrchu. V kapitole 4 jsou popsány měřicí přístroje a v páté kapitole měřené vzorky a technologie jejich výroby. Analýza jednotlivých měření všech dvanácti vzorků je uvedena v kapitole 6. V sedmé kapitole jsou srovnány hodnoty parametru Rq , získané současnými přístroji, s výsledky z roku 1958.

1. Historie hodnocení drsnosti povrchu

V třicátých letech se v technicky vyspělých státech začaly projevovat snahy o vytvoření spolehlivého systému hodnocení drsnosti funkčních povrchů průmyslových součástí pomocí měřicích přístrojů. Tyto snahy vycházely z požadavků vyměnitelnosti součástí a také z toho, aby dříve používaná zraková a hmatová kontrola drsnosti byla nahrazena přesnějším číselným měřením. [1]

První měřicí přístroje určené k hodnocení drsnosti povrchu vyjadřovaly drsnost hodnotami, získávanými přejížděním snímacího hrotu po zkoumaném povrchu kolmo na stopy vzniklé obráběním. Tyto přístroje dokázaly zprvu pouze odečítání hodnot některých parametrů, avšak například první model přístroje Taylor Hobson Talysurf (obr. 1.1) byl vybaven i zapisovacím zařízením a dokázal vyhodnotit průměrné hodnoty drsnosti a také zaznamenával naměřené křivky profilu. [1]



Obrázek 1.1 Jeden z prvních přístrojů Taylor Hobson Talysurf [6]

Svoji historii má také střední čára profilu a její stanovení je velmi významné, protože se k ní vztahují všechny parametry drsnosti povrchu. Bylo navrhováno mnoho způsobů určení střední čáry profilu, avšak zvítězil ten, kde jsou grafy profilu nerovnosti vyhodnocovány pomocí přímkové střední čáry, proložené profilem tak, aby splňovala kritérium nejmenších čtverců. [1], [11]

V současné době jsou metody měření parametrů struktury povrchu a vyhodnocování drsnosti posunuty do odlišných oblastí. K tomuto účelu se používají digitální měřicí přístroje a také bezdotykové přístroje, které dokáží vytvořit 3D model a vyhodnotit desítky parametrů drsnosti a vlnitosti povrchu.

2. Metrologie struktury povrchu

Pojem metrologie struktury povrchu obvykle vyvolá dojem o drsném povrchu, který má podle všeho pravidelné trojúhelníkové nebo sinusové tvary vln. Tyto charakteristické rysy povrchu odpovídají stopě nástroje, vytvořené při obrábění. [12]

2.1 Struktura povrchu

Struktura povrchu je definována jako opakované nebo náhodně uspořádané odchylky od geometrického tvaru, které tvoří třírozměrnou topografii povrchu. [5]

Strukturu povrchu lze charakterizovat pomocí stop po obrábění, drsnosti, vlnitosti, nedokonalostí (např. prohlubeniny, rýhy, škrábance, trhliny, póry, dutiny), odchylek tvaru na posuzované ploše povrchu. [6]

Do roku 2011 byl termín „surface texture“ v příslušných normách překládán jako struktura povrchu, poté se do roku 2013 používal pojem textura povrchu, avšak nyní je v příslušných normách rovněž používán termín struktura povrchu. [6]

V této bakalářské práci je používán v této souvislosti termín struktura povrchu.

2.2 Metody měření struktury povrchu

Nejstarším způsobem hodnocení struktury povrchu je vizuálně-srovnávací metoda. Proveďte se vizuální prohlídka či přejetí prstem po povrchu a následně se porovnává hodnocený povrch se srovnávacími vzorky.

Dříve byla rovněž používána metoda pneumatická, kde bylo měřeno množství unikajícího vzduchu z měřicí hlavy, která byla těsně přiložena k měřenému povrchu. [13]

Kontaktní metoda využívá zpravidla kuželový diamantový hrot se zakulacenou špičkou, který se dotýká referenčního povrchu a snímá jej. Poté data převede do vyhodnocovacího obvodu přístroje, případně rovněž do počítače, kde jsou automaticky nebo v příslušném programu zpracovány. [13]

Existuje mnoho metod bezkontaktního měření struktury povrchu, k nimž patří koherenčně korelační interferometrie, která využívá vybrané vlastnosti světla. Část paprsku světla ze zdroje prochází čočkou objektivu a další část polopropustným zrcadlem, kde je odražen na referenční zrcadlo, poté zpět na polopropustné zrcadlo a snímač obrazu. Zrcadlem propuštěné světlo dopadá na povrch měřené součásti. Odtud je část světla odražena na snímač, kde proběhne interference se světlem, které je odraženo na snímač zdroje. [13]

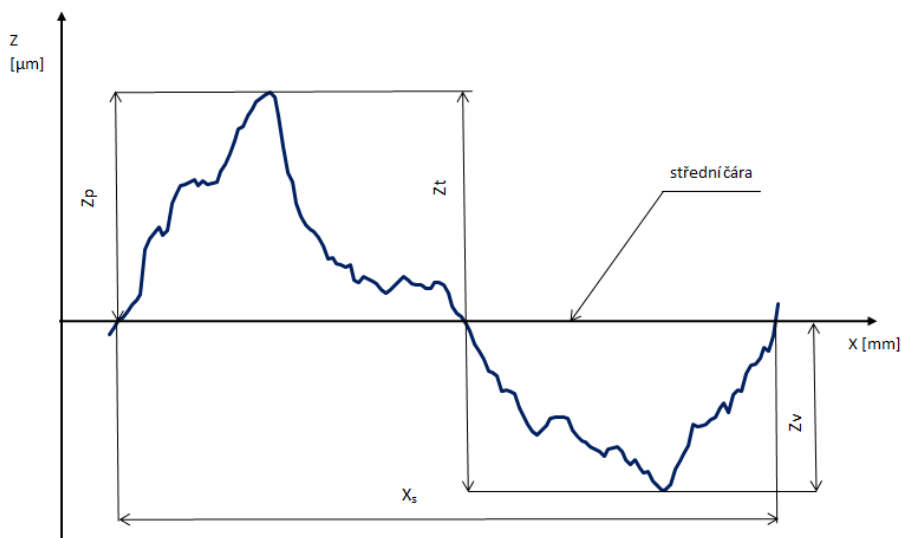
3. Vybrané parametry drsnosti povrchu

V následující tabulce 3.1 je uveden přehled vybraných parametrů drsnosti používaných v této bakalářské práci.

Tabulka 3.1 Parametry drsnosti (upraveno dle [3])

výškové parametry	R_p	Největší výška výstupku profilu	$[\mu\text{m}]$
	R_v	Největší hloubka prohlubně profilu	$[\mu\text{m}]$
	R_z	Největší výška profilu	$[\mu\text{m}]$
	R_c	Průměrná výška prvků profilu	$[\mu\text{m}]$
	R_t	Celková výška profilu	$[\mu\text{m}]$
výškové parametry (průměrné hodnoty souřadnic)	R_a	Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu	$[\mu\text{m}]$
	R_q	Průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu	$[\mu\text{m}]$
	R_{sk}	Šikmost posuzovaného profilu	$[-]$
	R_{ku}	Špičatost posuzovaného profilu	$[-]$
délkové parametry	R_{Sm}	Průměrná šířka prvků profilu	$[\text{mm}]$

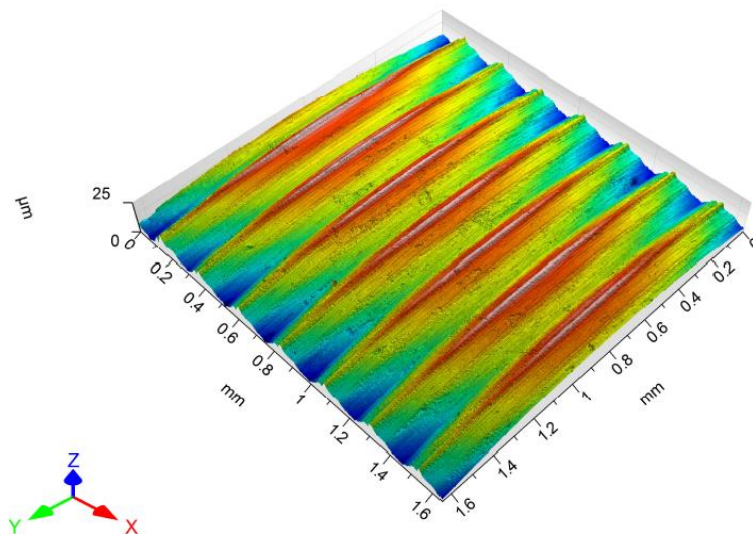
Prvek profilu tvoří výstupek profilu a přilehlá prohlubeň (obr. 3.1). Výstupek profilu lze popsat parametrem Z_p , prohlubeň profilu Z_v . Součet těchto parametrů dává výšku prvku profilu Z_t . Šířku profilu lze charakterizovat jako délku úseku osy X, která protíná prvek profilu. [3]



Obrázek 3.1 Prvek profilu

Základní délka (l_r) je délka ve směru osy X, která se používá k rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil. Vyhodnocovaná délka (l_n) slouží k posouzení vyhodnocovaného profilu. Obecně platí, že vyhodnocovaná délka je rovna pěti základním délkám. [3]

Vybrané parametry jsou charakterizovány na reálném povrchu, a to na vzorku 3,2 - 258, který byl vysoustružen.

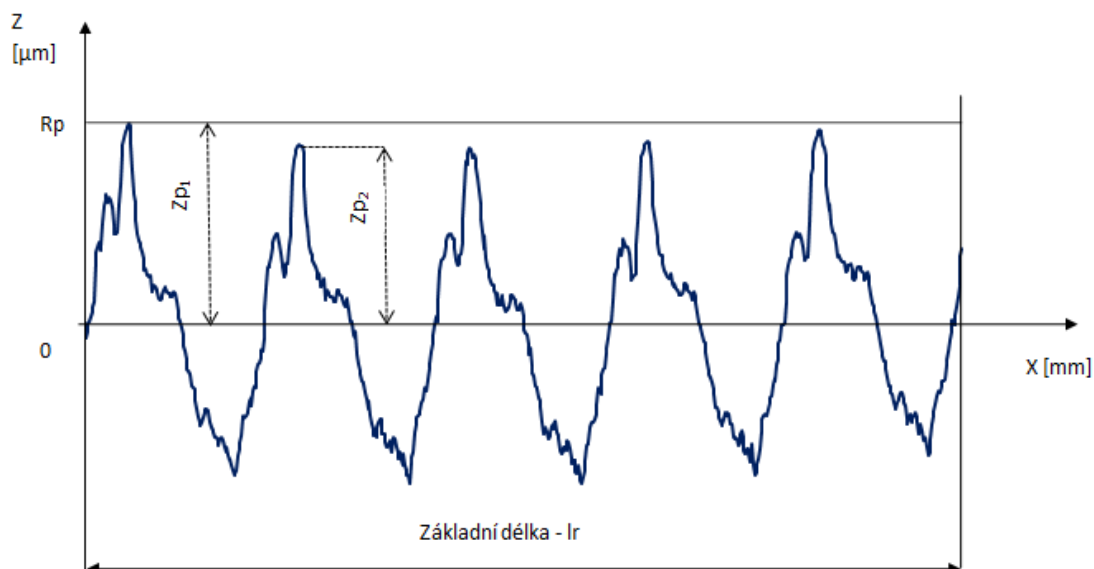


Obrázek 3.2 3D model vzorku 3,2 - 258

3.1 Výškové parametry

3.1.1 Parametr R_p

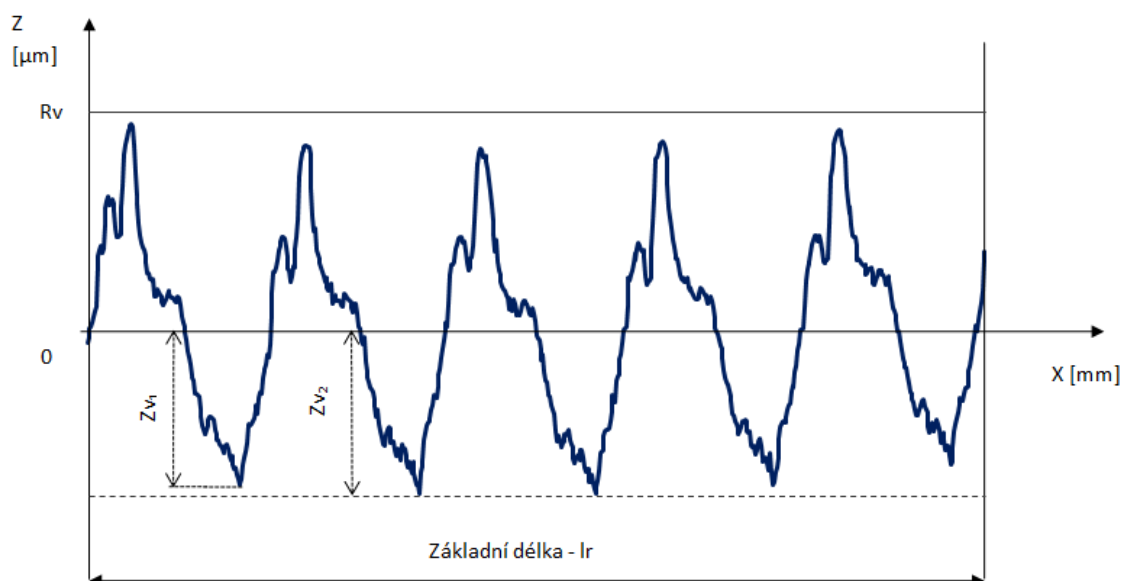
Největší výška výstupku profilu R_p [μm] je charakterizována výškou Z_p nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky. [3]



Obrázek 3.1.1 Největší výška výstupku profilu

3.1.2 Parametr R_v

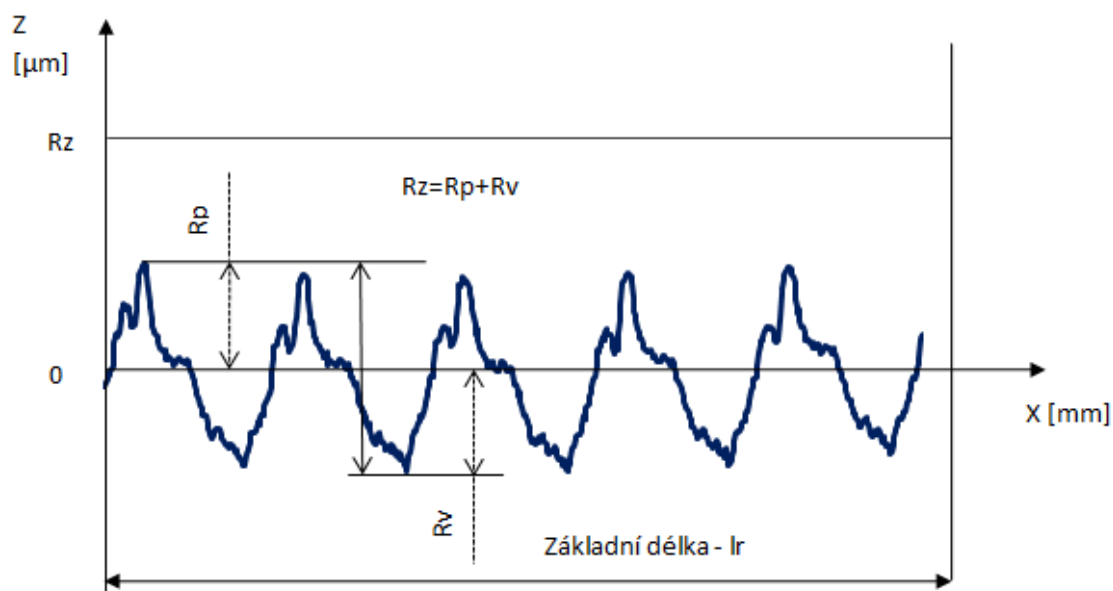
Největší hloubka prohlubně profilu R_v [μm] je charakterizována jako hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [3]



Obrázek 3.1.2 Největší hloubka prohlubně profilu

3.1.3 Parametr R_z

Největší výška profilu R_z [μm] je součet výšky nejvyššího výstupku profilu Z_p a hloubky nejnižší prohlubně profilu Z_v v rozsahu základní délky. [3]

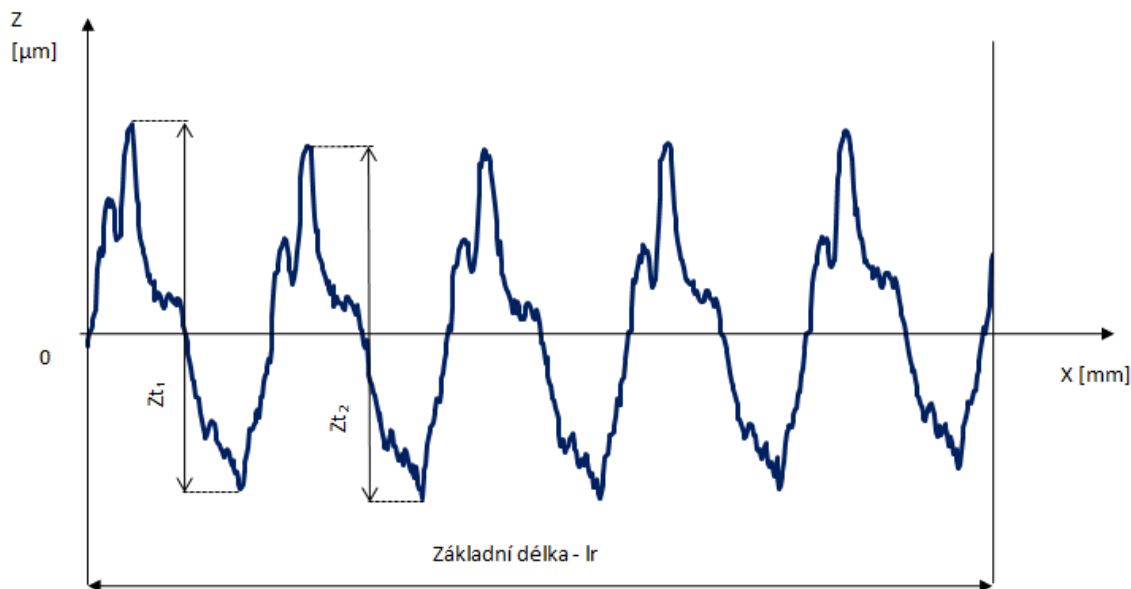


Obrázek 3.1.3 Největší výška profilu

3.1.4 Parametr R_c

Průměrná výška prvků profilu R_c [μm] je průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky.

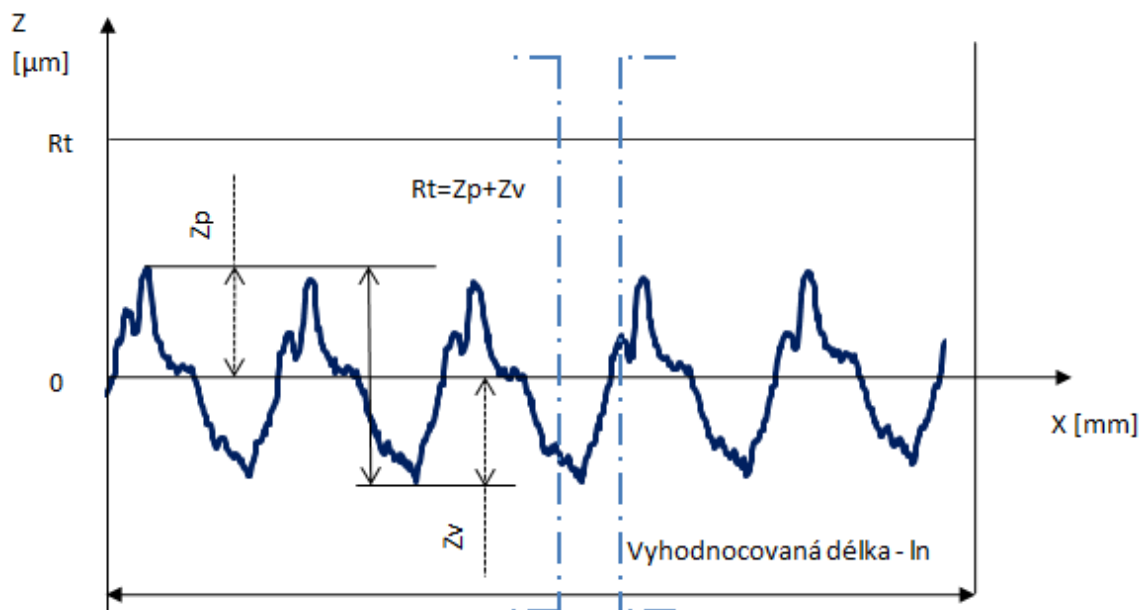
$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad (1.1)$$



Obrázek 3.1.4 Průměrná výška prvků profilu

3.1.5 Parametr R_t

Celková výška profilu R_t [μm] je součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu hloubky a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky. [3]



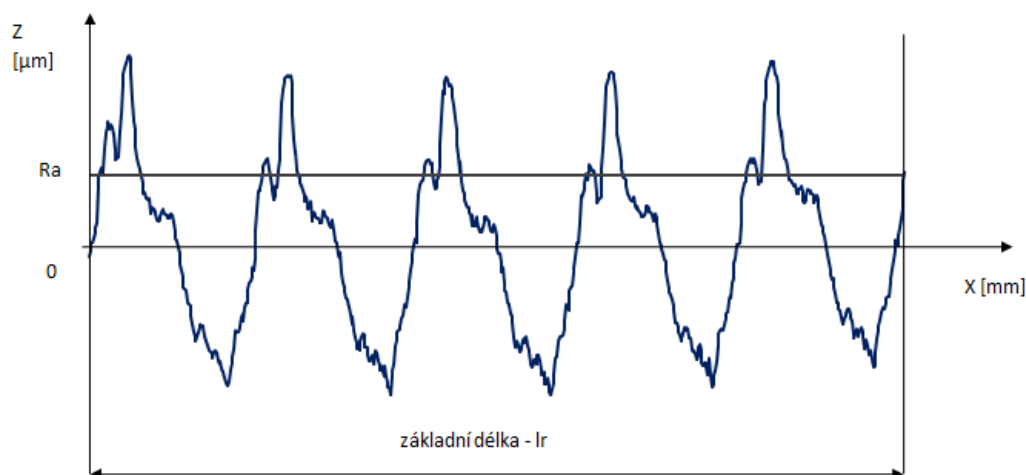
Obrázek 3.1.5 Celková výška profilu

3.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty souřadnic)

3.2.1 Parametr R_a

Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu R_a [μm] je aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. [3]

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

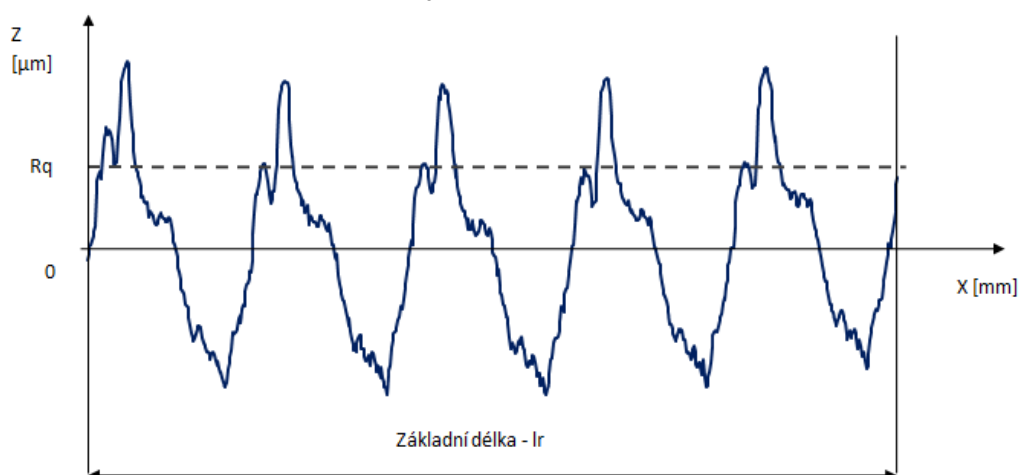


Obrázek 3.2.1 Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu

3.2.2 Parametr R_q

Průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu R_q [μm] je kvadratický průměr souřadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. [3]

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l Z^2(x) dx} \quad 1 \quad (1.3)$$



Obrázek 3.2.2 Průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu

¹ V normě ČSN EN ISO 4287 je nesprávně zapsaná absolutní hodnota $|Z^2(x)|$.

3.2.3 Parametr Rsk

Šikmost posuzovaného profilu Rsk je podíl průměrné hodnoty třetích mocnin souřadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky. [3]

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z(x)^3 dx \right]^2 \quad (1.4)$$

3.2.4 Parametr Rku

Špičatost posuzovaného profilu Rku je podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin souřadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky. [3]

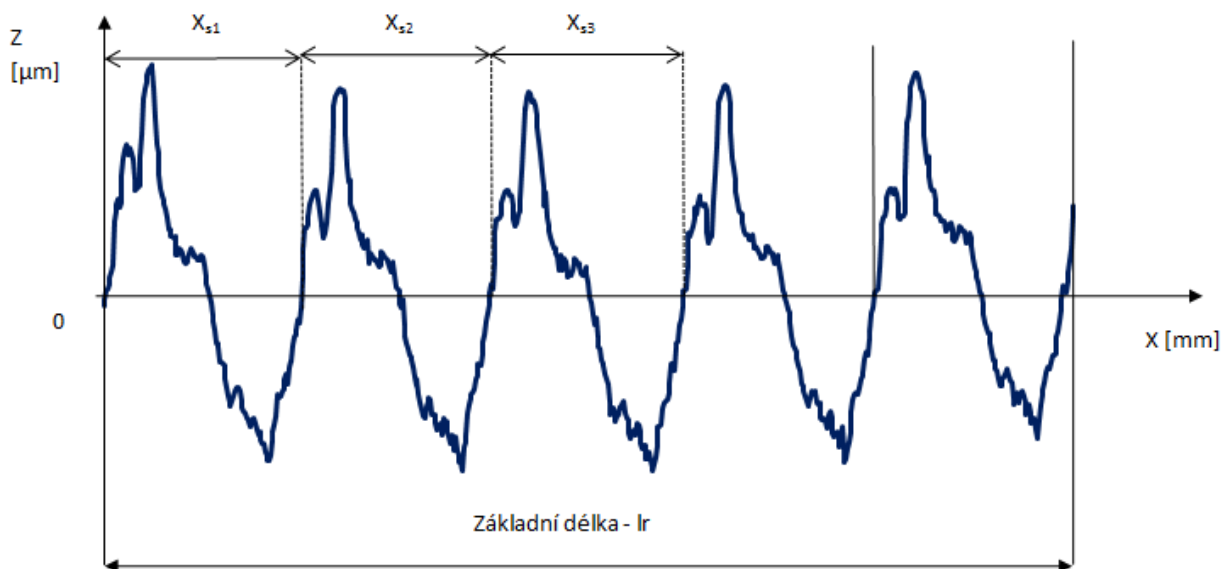
$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} Z(x)^4 dx \right]^3 \quad (1.5)$$

3.3. Délkové parametry

3.3.1 Parametr Rsm

Průměrná šířka prvků profilu Rsm [mm] je aritmetický průměr šířek Xs prvků profilu v rozsahu základní délky. [3]

$$Rsm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (1.6)$$



Obrázek 3.3.1 Průměrná šířka prvků profilu

² V normě ČSN EN ISO 4287 je nesprávně zapsaná absolutní hodnota $|Z(x)^3|$

³ V normě ČSN EN ISO 4287 je nesprávně zapsaná absolutní hodnota $|Z(x)^4|$.

3.4 Pravidla a postupy při měření dotykovými přístroji

Jestliže není základní délka specifikovaná ve výrobní dokumentaci či výkresu, volí se podle postupu uvedeného níže. [4]

Pokud není směr měření specifikován, pak je obrobek polohován tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti (R_a , R_z). Tento směr je kolmý k poloze povrchu. [4]

Měření se provede na části povrchu, na které lze čekat kritické hodnoty; lze posoudit vizuálním pozorováním. Na této části povrchu jsou jednotlivá měření rozdělena rovnoměrně, aby byly získány nezávislé výsledky. [4]

Při určování hodnot parametrů profilu drsnosti je nutné se nejprve rozhodnout, jestli je profil drsnosti periodický nebo neperiodický. Na základě tohoto rozhodnutí se zvolí jedna ze dvou možností postupu kontroly. Jsou-li použity jiné postupy měření, je třeba je popsat ve specifikacích a v protokolu o měření. [4]

3.4.1 Neperiodický profil drsnosti [4]

- Libovolným způsobem se odhadne neznámý parametr profilu drsnosti R_a , R_z , R_{z1max} nebo R_{sm} , pomocí tabulky 3.2 se zvolí základní a vyhodnocovaná délka.
- Měřicím přístrojem se provede reprezentativní měření s nastavenými hodnotami, určenými v bodě a).
- Porovnají se naměřené hodnoty s rozsahem hodnot v tabulce 3.2. Pokud jsou hodnoty mimo rozsah odhadnuté délky, je nutné zvolit jinou základní délku. Opakuje se měření a srovnání, dokud není dosaženo kombinace měřených hodnot a hodnot uvedených v tabulce 3.2.

3.4.2 Periodický profil drsnosti [4]

- Graficky se odhadne hodnota parametru R_{sm} , s použitím tabulky 3.2 se určí doporučená hodnota základní délky.
- Provede se měření s nastavenými hodnotami, které byly určeny v bodě a).
- Vyhodnotí se změřené hodnoty parametru R_{sm} a ověří se správnost volby základní délky, popřípadě se měření zopakuje.
- Pokud je možnost volby, volí se menší hodnota základní délky.

V této bakalářské práci bylo vždy použito kritérium volby základní délky (cut-off) podle aritmetického průměru hodnot parametrů R_a , R_z , případně R_{sm} v souladu s principy stanovenými normou [4].

3.5 Volba základní délky (cut-off)

V následující tabulce 3.2 jsou přehledně uvedena pravidla pro volbu základní délky (cut-off) v souladu s normou [4].

Tabulka 3.2 Pravidla pro výběr základní délky drsnosti (upraveno dle [4])

R_a [μm] $R_z, R_{z1\text{max}}$ [μm] R_{Sm} [mm]	Základní délka drsnosti (cut-off) l_r [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti $l_n = 5 \times l_r$ [mm]
$0,006 < R_a \leq 0,02$ $0,025 < R_z, R_{z1\text{max}} \leq 0,1$ $0,013 < R_{Sm} \leq 0,04$	0,08	0,4
$0,02 < R_a \leq 0,1$ $0,1 < R_z, R_{z1\text{max}} \leq 0,5$ $0,04 < R_{Sm} \leq 0,13$	0,25	1,25
$0,1 < R_a \leq 2$ $0,5 < R_z, R_{z1\text{max}} \leq 10$ $0,13 < R_{Sm} \leq 0,4$	0,8	4,00
$2 < R_a \leq 10$ $10 < R_z, R_{z1\text{max}} \leq 50$ $0,4 < R_{Sm} \leq 1,3$	2,5	12,5
$10 < R_a \leq 80$ $50 < R_z, R_{z1\text{max}} \leq 200$ $1,3 < R_{Sm} \leq 4$	8,00	40

4. Použité měřicí přístroje

4.1 Taylor Hobson Talysurf CCI Lite

Taylor Hobson Talysurf CCI Lite (obr. 4.1), dále v práci jen TH CCI, je bezdotykový 3D profilometr založen na principu koherenční korelační interferometrie popsané v kapitole 2.2. Přístroj je vybaven snímačem obrazu o rozlišení 1024x1024 pixelů a obsahuje tři objektivy typu Mirau se zvětšením 10x, 20x a 50x. [8]

V této práci byly všechny vzorky měřeny objektivem se zvětšením 10x, z důvodu následného porovnání jednotlivých měření.

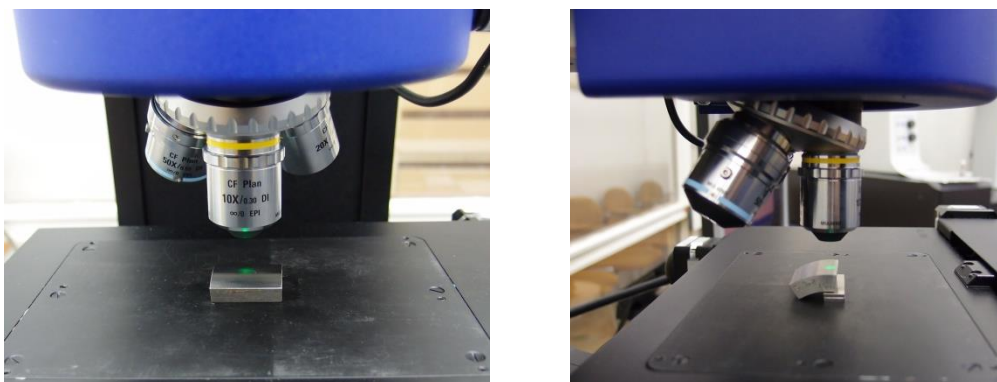
Naměřená data jsou zpracovávána pomocí připojeného počítače v softwaru TalyMap, který umožňuje různé úpravy modelu povrchu, jako například vyrovnání povrchu, odstranění tvaru, interpolace nenaměřených bodů atd., vyhodnocování různých parametrů struktury povrchu a export dat v různých formátech sloužící k dalšímu zpracování. [8]



Obrázek 4.1 Taylor Hobson Talysurf CCI Lite

Kalibrace přístroje je prováděna softwarově, vertikální měření se kalibruje pomocí stupňovitých standardů, příčná kalibrace se realizuje pomocí etalonu se soustřednými kružnicemi. Navíc je nezbytné, aby byly odstraněny chyby způsobené nepřesnostmi referenčního zrcadla objektivu, čehož se dosáhne korekcí základny pomocí přesného plochého zrcadla. [8]

Měření jednotlivých vzorků bylo vždy provedeno na třech místech, uprostřed vzorku, vpravo a vlevo. Některé vzorky, které byly zaoblené, musely být podloženy, aby měřený povrch byl vždy kolmý k paprsku světla. Na obr. 4.2 lze vidět měření uprostřed a vpravo s pomocí podložek. Identicky bylo měření provedeno vlevo pomocí shodných podložek tak, aby měření proběhlo přesně 5 mm od kraje vzorku.

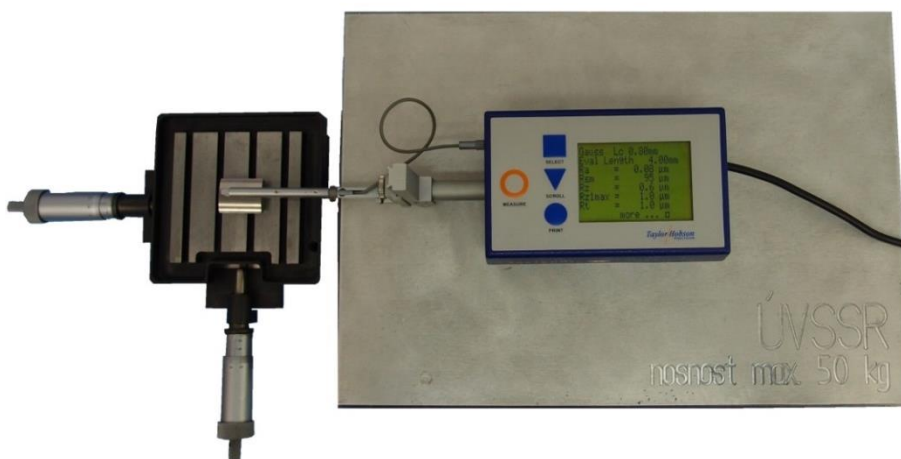


Obrázek 4.2 Princip měření (měření uprostřed vzorku, měření vpravo s podložením)

4.2 Taylor Hobson Surtronic 25

Taylor Hobson Surtronic 25 (obr. 4.3), dále v práci jen TH S25, je přenosný kompaktní přístroj sloužící k měření základního profilu povrchu a k následnému výpočtu příslušných parametrů. Lze ho použít v dílně i v laboratoři. Dokáže vyhodnotit tyto parametry: R_a , R_z , R_t , R_p , R_{mr} , RP_c , R_v , R_{z1max} , R_{sk} , R_{da} . Konstrukčně se jedná o základní typ kontaktního přístroje. [7], [11]

Výsledky měření se zobrazují na LCD displeji nebo mohou být převedeny na připojenou tiskárnu nebo do počítače k dalšímu zpracování.

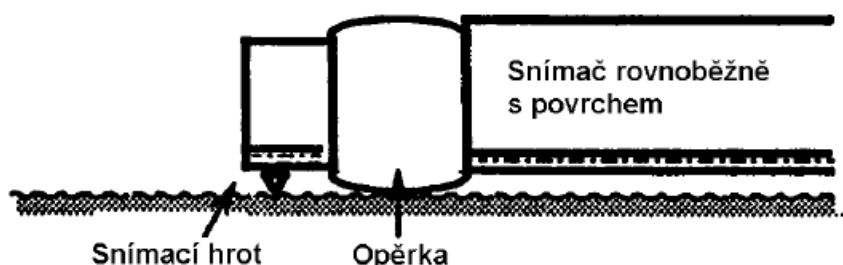


Obrázek 4.3 Taylor Hobson Surtronic 25

Horní část posunové jednotky je tvořena membránovým ovládacím panelem a displejem s tekutými krystaly. Jednotka obsahuje elektroniku, řídící cyklus měření, který zpracovává měřená data a předává výsledky měření na displej nebo na výstup

RS 232 (připojení tiskárny nebo počítače pro další analýzu). V jednotce je umístěn také motor posouvající snímač po měřeném povrchu. Měřicí zdvih vždy začíná v krajní vnější poloze snímače. Po skončení měření se snímač vrací do výchozí polohy, aby byl připraven k dalšímu měření. Délka posuvu se určuje výběrem základní délky (cut-off) a hodnocené délky. [7]

Snímač, který pracuje na principu čidla s proměnným magnetickým odporem, se opěrkou opírá o měřený povrch, přičemž zakřivený tvar opěrky vyčnívá přes spodní stranu snímače v blízkosti snímacího hrotu (obr. 4.4). Při posuvu snímače po povrchu dochází k relativnímu pohybu snímacího hrotu vzhledem k opěrce a tento pohyb je převeden na odpovídající elektrický signál. Poloměr zaoblení opěrky je mnohem větší, než je rozteč drsnosti povrchu. To umožňuje přejíždět po povrchu bez praktického vlivu drsnosti a vytvoření základny reprezentující obecný tvar povrchu. [7]



Obrázek 4.4 Snímač opřený opěrkou o povrch [7]

Existuje několik různých typů snímačů, které jsou konstrukčně uzpůsobeny pro různé aplikace. Snímače se odlišují v poloměrech špiček snímacích hrotů, v rozměrech těles nebo v poloze a tvaru opěrky. Hroty všech snímačů bývají kvůli malému opotřebení z diamantu. Opěrky standardních snímačů jsou vyrobeny z červeného rubínu. [7]

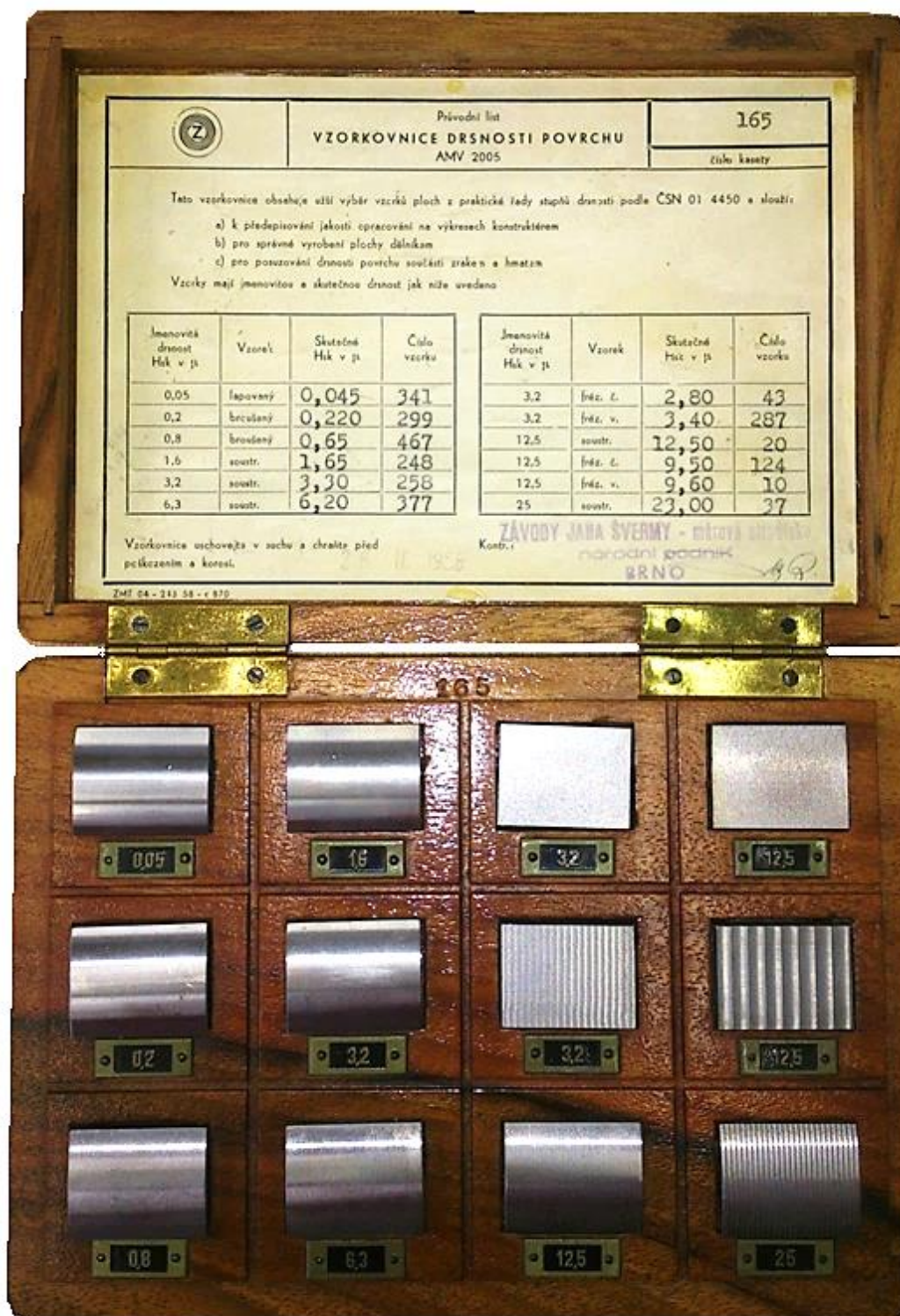
K dalším specifikacím přístroje patří také rychlost posuvu 1 mm/s, délka posuvu 0,25 - 25 mm a nastavení hodnoty základní délky (cut-off) na hodnoty 0,25 mm; 0,8 mm a 2,5 mm, možnost volby vyhodnocované délky různých hodnot a volitelný rozsah. [7]

Seřízení ve vertikálním směru lze realizovat otáčením potenciometru, který je uložen v otvoru vedle snímače. Kalibrace v horizontálním směru není pro uživatele dostupná. [7]

K této bakalářské práci byl použit přenos dat do počítače a následné zpracování v programu. Pro potřeby práce byl výrobcem poskytnut software TalyProfile Lite – volně stažitelná verze 6.2.7106, 2014/06/16. Hrot použitý k měření měl poloměr zaoblení špičky 2 μm nebo 5 μm dle požadavků normy [2].

5. Použité měřené vzorky

Měření byla provedena na vzorcích ze vzorkovnice drsnosti povrchu z roku 1958, která byla vyrobena ve Zbrojovce Brno. Obsahuje 12 vzorků, které jsou dále popsány v kapitole 5.1. Vzorkovnice byla využívána jako porovnávací sada pro vizuálně-srovnávací metodu hodnocení struktury povrchu.



Obrázek 5.1 Vzorkovnice drsnosti povrchu

5.1 Technologie použité k výrobě vzorků

Jednotlivé vzorky byly v roce 1958 vyrobeny různými metodami (tab. 5.1), které jsou uvedeny v samotné vzorkovnici a dále popsány v dalších kapitolách.

Tabulka 5.1 Přehled technologie výroby vzorků

	lapovaný	broušený	soustružený	frézovaný čelně	frézovaný válcově
vzorek	0,05 – 341	0,2 – 299 0,8 - 467	1,6 – 248 3,2 – 258 6,3 – 377 12,5 – 20 25 - 37	3,2 – 43 12,5 - 124	3,2 – 287 12,5 - 10

5.1.1 Lapování

Lapování patří k dokončovací metodě obrábění, kterou je dosahováno nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu obrobené plochy. Používá se pro dokončování vnějších i vnitřních rovinných, válcových i tvarových ploch. Lapování je prováděno na funkčních plochách měřidel (např. koncové měrky, kalibry), důležitých závitových spojení, ozubeních, součástech motorů automobilů apod. Lapováním lze dokončovat měkké i tvrdé materiály, ručně v kusové výrobě nebo strojně v sériové a hromadné výrobě. [10]

5.1.2 Broušení

Broušení lze charakterizovat jako obrábění mnohobřítým nástrojem, který je tvořen ze zrn brusiva spojenými pojivem. Z hlediska historie patří k nejstarším metodám obrábění materiálů, které člověk využíval již v prehistorických dobách k výrobě nebo úpravě životně důležitých pomůcek, především k ostření pracovních nástrojů a zbraní. Nyní je broušení hlavní metodou dokončovacího obrábění ve strojírenské výrobě. [10]

5.1.3 Soustružení

Soustružení je obráběcí metoda, která je používána pro zhotovení součástí rotačních tvarů, většinou pomocí jednobřítých nástrojů různého provedení. Soustružení představuje nejjednodušší způsob obrábění a je nejpoužívanější metodu obrábění ve strojírenské praxi. Soustružením lze obrábět vnější a vnitřní plochy, válcové, kuželové a tvarové plochy, rovinné čelní plochy a zápichy. Na soustruzích lze také vrtat, vyvrtávat, vystružovat, řezat závit, vroubkovat, válečkovat, hladit, leštit. [9]

5.1.4 Frézování

Frézování je obráběcí metoda, kde břity rotujícího nástroje odebírají materiál obrobku. Posuv nejčastěji koná obrobek. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou být realizovány ve všech směrech.

Řezný proces je přerušovaný, tzn., že každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky.

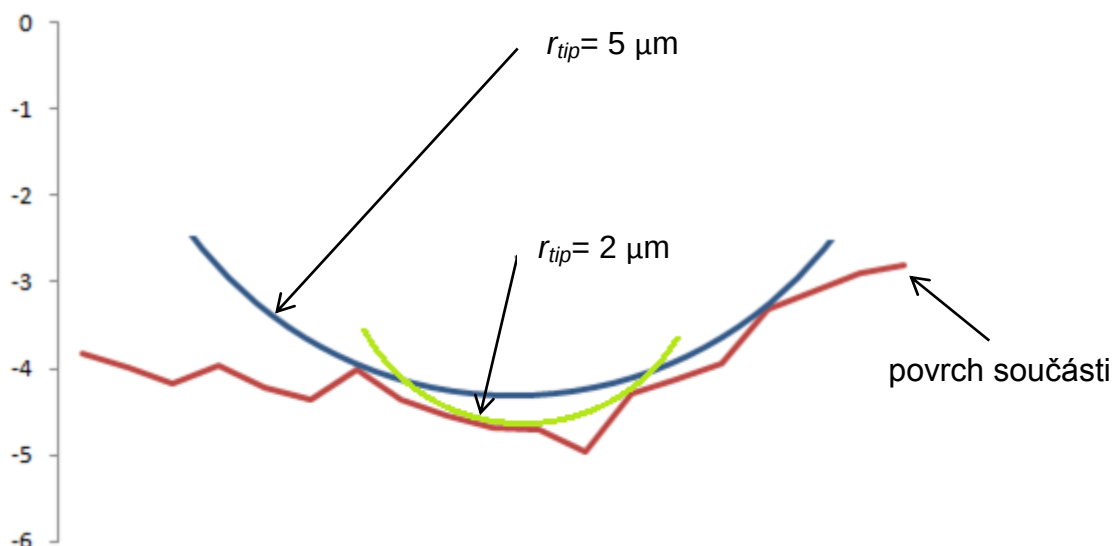
Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišuje frézování čelní (frézování čelem nástroje) a frézování válcové (frézování obvodem nástroje). Od těchto základních způsobů jsou odvozovány některé další způsoby, jako je frézování okružní a planetové. [9]

Čelní frézování je uplatňováno při práci s čelními frézami, jejichž břity jsou vytvořeny na obvodě i čele nástroje. Podle polohy osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozlišuje symetrické (osa nástroje prochází středem frézované plochy) a nesymetrické frézování (osa nástroje je mimo střed frézované plochy). Při čelním frézování pracuje fréza současně sousledně i nesousledně. [9]

Válcové frézování bývá převážně uplatňováno při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy se nachází pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo k ose frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozlišuje frézování sousledné (sousměrné) a nesousledné (protisměrné, nesousměrné). [9]

6. Výsledky měření

Na obr. 6.1 je znázorněn princip měření s využitím snímacího hrotu o poloměru zaoblení špičky 2 μm a 5 μm .



Obrázek 6.1 Princip měření 5 μm a 2 μm hrotem

Je patrné, že 5 μm poloměr zaoblení špičky snímacího hrotu r_{tip} nedokáže zachytit všechny prohlubně tak, jak by měl, proto byl u méně drsných vzorků použit hrot 2 μm (obr. 6.1). V souladu s normou [2] byl hrot s poloměrem zaoblení 2 μm použit u vzorků, u jejichž měření bylo zvoleno cut-off 0,25 mm, viz tabulka 6.1.

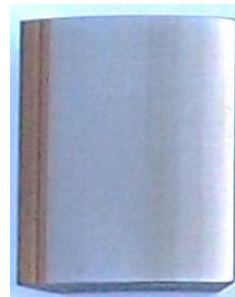
Tabulka 6.1 Vztah mezi cut-off a poloměrem zaoblení špičky snímacího hrotu, upraveno dle [2]

cut-off [mm]	r_{tip} – největší hodnota [μm]
0,08	2
0,25	2
0,8	2 ⁴
2,5	5
8	10

⁴ Pro povrchy s hodnotami $R_a > 0,5 \mu\text{m}$, nebo $R_z > 3 \mu\text{m}$, může být použit $r_{tip} = 5 \mu\text{m}$ bez znatelných rozdílů ve výsledku měření. [2]

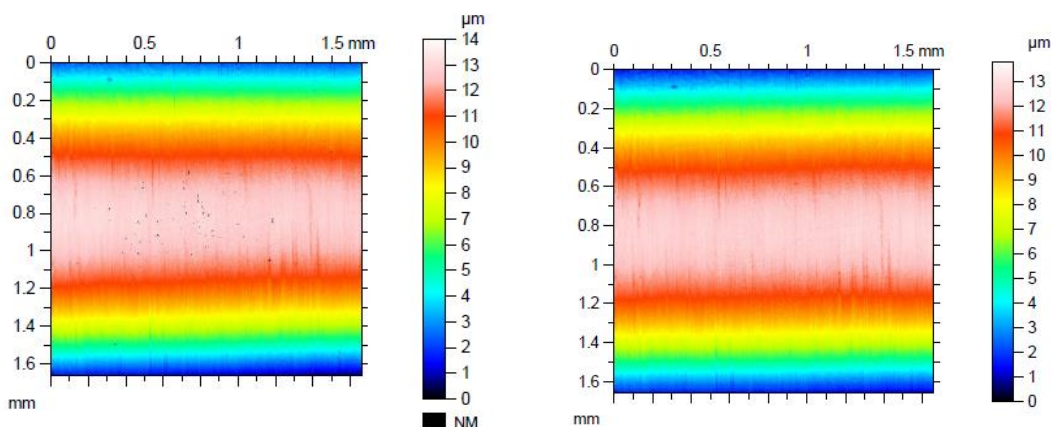
6.1 Vzorek 0,05 – 341

Povrch vzorku 0,05 - 341, dále jen vzorek 341, je lapovaný, proto je zde dosaženo nejvyšší rozměrové přesnosti a nejmenší drsnosti povrchu z celé vzorkovnice. Obr. 6.1.1 znázorňuje reálnou fotografii vzorku 0,05 – 341.



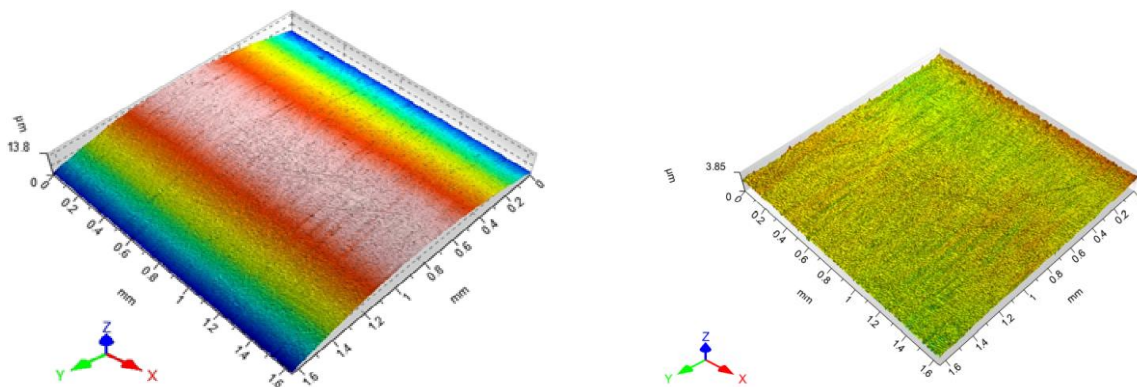
Obrázek 6.1.1 Vzorek 0,05 - 341

Bezkontaktní měření probíhalo na přístroji Taylor Hobson Talysurf CCI (popsán v kapitole 4.1). Po nastavení přístroje a spuštění měření se exportují data do programu TalyMap Gold v. 6 (dále jen TalyMap), kde vznikne model analyzovaného povrchu s barevným vyjádřením hodnot výškové souřadnice, viz sloupcová stupnice (obr 6.1.2 - vlevo). Další funkcí programu TalyMap je možné dopočítat neměřené body a vyrovnat povrch (obr 6.1.2 - vpravo).



Obrázek 6.1.2 vlevo – model povrchu, vpravo – model po vyrovnání

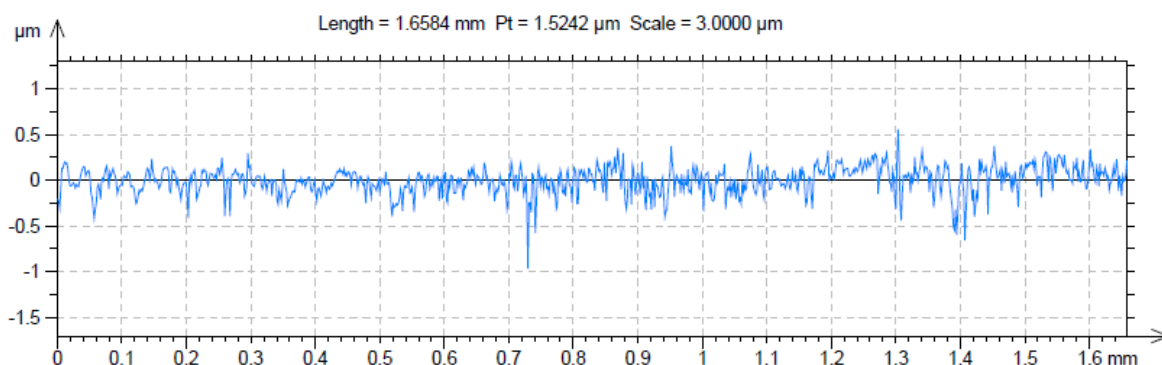
Dále je v programu TalyMap vytvořen 3D model analyzovaného povrchu (obr. 6.1.3 – vlevo) a následně odstraněn tvar kvůli vyhodnocení parametrů (obr. 6.1.3 – vpravo).



Obrázek 6.1.3 vlevo - 3D model povrchu, vpravo – 3D model po odstranění tvaru

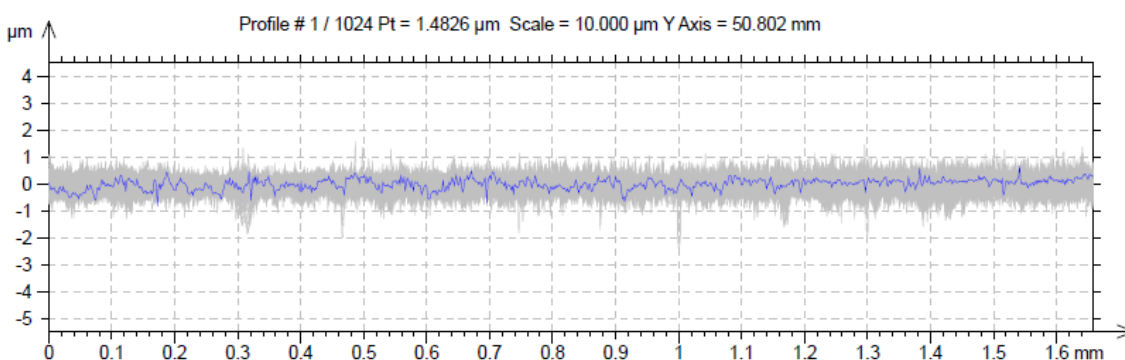
Obr. 6.1.3 - vlevo znázorňuje 3D model povrchu vzorku 341, kde lze vidět kromě charakteristického lapovaného povrchu také určité množství drobných nedokonalostí, způsobených téměř 60-ti letým používáním. Dle parametru R_a (neperiodický profil) při měření vpravo a vlevo bylo zvoleno cut-off 0,8 mm a uprostřed 0,25 mm. Rozdílná volba cut-off byla vynucena používáním vzorku po mnoho let.

Z posledního modelu (obr. 6.1.3 – vpravo) je extrahován charakteristický profil vzorku (obr. 6.1.4). Z tohoto modelu je možné vytvořit 1024 základních profilů, jejichž hromadný graf je uveden na obr. 6.1.5. Z těchto 1024 základních profilů jsou vypočteny všechny parametry.



Obrázek 6.1.4 Charakteristický základní profil vzorku

Dle obr. 6.1.4 lze konstatovat, že základní profil vzorku 341 odpovídá lapovanému povrchu s relativně kvalitní kontaktní plochou bez výrazných výstupků s určitým počtem relativně hlubokých prohlubní.



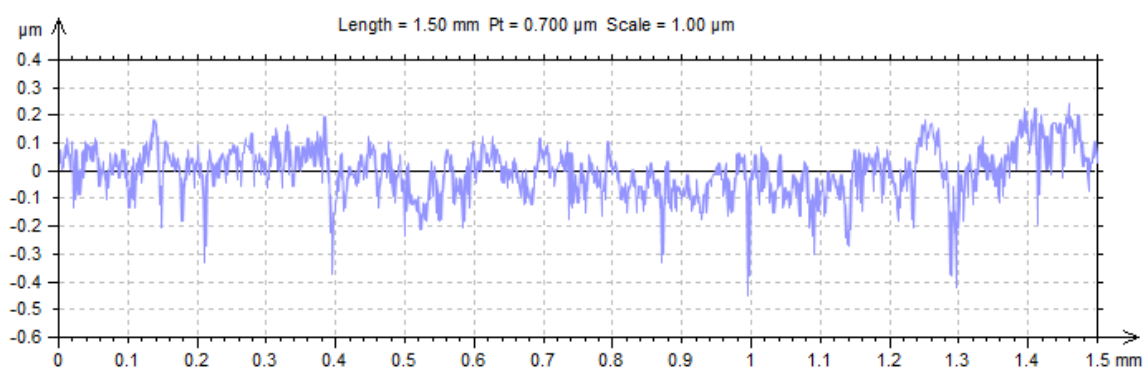
Obrázek 6.1.5 Charakteristický hromadný graf základních profilů

V tabulce 6.1.1 je uvedena ukázka hodnocení parametrů drsnosti ze středu vzorku 341. Shodným způsobem byly vyhodnoceny parametry drsnosti na pravé a levé straně vzorku. Z těchto tří měření byly vypočteny výsledné hodnoty parametrů - aritmetický průměr, výběrová směrodatná odchylka a maximální hodnoty měření. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.1.3 ve sloupcích označených CCI.

Tabulka 6.1.1 Vyhodnocení parametrů drsnosti – střed vzorku 341- CCI

ISO 4287						
Context			Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile						
Rp	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	0.40503	0.069057	0.23679	0.62966
Rv	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	0.51408	0.074684	0.33919	0.98215
Rz	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	0.91911	0.10271	0.60536	1.4023
Rc	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	0.32294	0.030099	0.25248	0.45323
Rt	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	1.3965	0.25801	0.82432	2.9767
Ra	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	0.098313	0.007523	0.079372	0.13148
Rq	μm	Gaussian filter, 0.25 mm	0.13278	0.010068	0.10848	0.18732
Rsk		Gaussian filter, 0.25 mm	-0.64591	0.32014	-2.1695	0.51299
Rku		Gaussian filter, 0.25 mm	5.9770	1.4004	3.4755	14.134
Spacing parameters - Roughness profile						
RSm	mm	Gaussian filter, 0.25 mm	0.014255	0.0012799	0.011118	0.019617

Kontaktní měření bylo provedeno přístrojem Taylor Hobson Surtronic 25 (popsán v kapitole 4.2). Měření uprostřed vzorku bylo nejdříve provedeno s poloměrem zaoblení špičky snímacího hrotu 5 μm. Ve smyslu normy [2] (tab. 6.1) a obr. 6.1, tento hrot nedokáže s dostatečnou přesností změřit tento povrch, proto byl použit hrot s poloměrem zaoblení špičky 2 μm. Dle naměřených hodnot (tab. 6.1.2) bylo zvoleno cut-off = 0,25 mm. Data po změření byla exportována do programu TalyProfile Lite, kde byl vytvořen charakteristický profil vzorku (obr. 6.1.6).



Obrázek 6.1.6 Charakteristický profil vzorku

Z charakteristického profilu vzorku jsou opět vyhodnoceny jednotlivé parametry drsnosti (tab. 6.1.2).

Na rozdíl od bezkontaktního měření, kde přístroj provede vyhodnocení parametrů z 1024 základních profilů je v tomto případě provedeno vyhodnocení parametrů pouze z jednoho základního profilu. Proto bylo u kontaktního přístroje provedeno měření každého vzorku na všech třech místech (uprostřed, vpravo a vlevo) desetkrát s posuvem v daném směru vždy o 1 mm. Z celkem třiceti základních profilů jsou nakonec vypočteny výsledné hodnoty parametrů - aritmetický průměr, výběrová směrodatná odchylka a maximální hodnoty měření. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.1.3 ve sloupcích označených S25.

Tabulka 6.1.2 Vyhodnocení parametrů drsnosti – střed vzorku 341 - S25

ISO 4287			
Amplitude parameters - Roughness profile			
Rp	0.158	μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rv	0.354	μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rz	0.512	μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rc	0.186	μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rt	0.580	μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Ra	0.0519	μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rq	0.0712	μm	Gaussian filter, 0.25 mm
Rsk	-0.982		Gaussian filter, 0.25 mm
Rku	6.24		Gaussian filter, 0.25 mm
Spacing parameters - Roughness profile			
RSm	0.017	mm	Gaussian filter, 0.25 mm

V tabulce 6.1.3 jsou uvedeny hodnoty výškových parametrů a délkového parametru *Rsm*, které byly získány měřením oběma přístroji (CCI a S25). Ve třetím sloupci „aritmetických průměrů“ je uveden poměr hodnot v procentech získaných bezkontaktním a kontaktním přístrojem (CCI/S25). Další sloupce obsahují výběrové směrodatné odchylky hodnot parametrů a také jejich poměr v procentech. V posledních třech sloupcích tabulky jsou jako doplňkový údaj uvedené maximální hodnoty všech parametrů a jejich poměr v procentech.

Tabulka 6.1.3 Výsledky měření vzorku 0,05 - 341

Parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	Poměr	CCI	S 25	poměr
Rp [μm]	0,564	0,136	413%	0,144	0,017	822%	1,519	0,183	830%
Rv [μm]	0,683	0,297	230%	0,162	0,103	157%	1,485	0,545	272%
Rz [μm]	1,247	0,433	288%	0,229	0,117	196%	2,702	0,725	373%
Rc [μm]	0,391	0,149	263%	0,067	0,039	170%	0,830	0,248	335%
Rt [μm]	1,440	0,587	245%	0,286	0,150	191%	3,271	0,917	357%
Ra [μm]	0,109	0,045	239%	0,012	0,010	114%	0,146	0,073	202%
Rq [μm]	0,149	0,064	232%	0,017	0,016	104%	0,227	0,106	213%
Rsk	-0,666	-1,023	65%	0,478	0,381	125%	0,847	-0,548	-155%
Rku	6,558	6,238	105%	2,454	1,743	141%	26,991	9,380	288%
Rsm [mm]	0,016	0,015	103%	0,002	0,002	98%	0,028	0,020	139%

Dle tabulky 6.1.3 lze konstatovat, že dle očekávání vychází hodnoty výškových parametrů drsnosti (kromě parametru šikmosti *Rsk*) značně vyšší u bezkontaktního měření. Parametr *Rp* (největší výška výstupku profilu) je více než

čtyřnásobně vyšší u bezkontaktního měření. Parametr R_v (největší hloubka prohlubně profilu) je více než dvojnásobně vyšší a parametr R_z (součet R_p a R_v) je téměř trojnásobně vyšší, podobně jako parametr R_t , který je téměř 2,5x vyšší. Hodnoty parametrů R_c , R_a , R_q (průměrné hodnoty souřadnic) jsou více než dvojnásobné u bezkontaktního měření. Parametr R_{sk} (šikmost posuzovaného profilu) může nabývat kladných i záporných hodnot, proto mohou být i procentuální poměry záporné. Parametr R_{ku} (špičatost posuzovaného profilu) je srovnatelný u obou metod měření. Délkový parametr R_{sm} (průměrná šířka prvků profilu) je také srovnatelný (103%).

Procentuální poměry aritmetických průměrů hodnot jednotlivých parametrů drsnosti, získaných bezkontaktním měřením k hodnotám, získaných kontaktním měřením se pohybují od 65% (R_{sk}) po 413% (R_p).

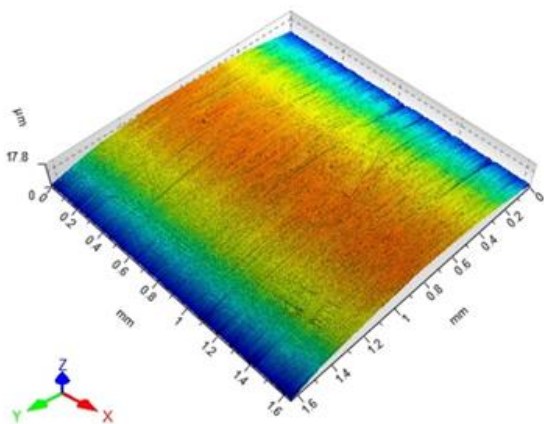
Ještě větší rozdíly naměřených hodnot lze pozorovat v procentuálních poměrech maximálních hodnot. Zde se procentuální poměry hodnot pohybují od - 155% (R_{sk}) až po 830% (R_p).

Při srovnání hodnot výběrových směrodatných odchylek jednotlivých parametrů drsnosti lze konstatovat, že jejich procentuální poměry se pohybují od 98% (R_{sm}) do 822% (R_p), což způsobuje výrazný rozdíl ve variabilitě. Největší rozdíl lze vidět opět u parametru R_p , což je velmi pravděpodobně způsobeno technickým omezením kontaktního měření tohoto povrchu.

V následujících částech této kapitoly jsou závěry z analýzy dalších vzorků napsány z důvodu úspornosti textu již jen ve zkrácené podobě. Pro přehlednost jsou začátky podkapitol uvedeny vždy na nové straně. Hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti z každého místa měření jsou uvedeny v příloze A – Zpracovaná měření. V práci je dále používán aritmetický průměr z měření na všech třech místech (vpravo, uprostřed a vlevo).

6.2 Vzorek 0,2 – 299

Vzorek 0,2 – 299 je broušený. Na 3D modelu (obr. 6.2.1) a také na fotografii vzorku (obr. 6.2.2) lze vidět opotřebení způsobené dlouholetým používáním.



Obrázek 6.2.1 3D model vzorku 0,2 – 299



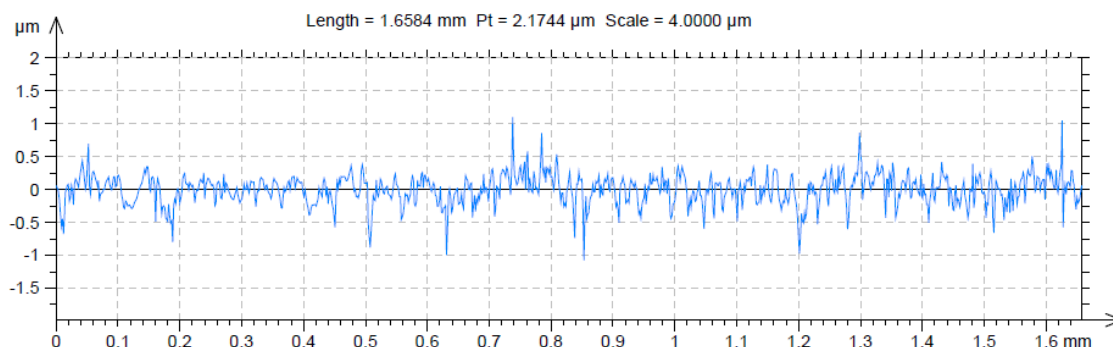
Obrázek 6.2.2 Fotografie vzorku 0,2 - 299

Bezkontaktní měření bylo provedeno na ploše přibližně 1,6 x 1,6 mm. Při zvolení cut-off = 0,8 mm by dle normy [4] měla být vyhodnocovaná délka 4 mm. Protože CCI dokáže změřit 1024 základních profilů, je možné požadavek na vyhodnocovanou délku s velkou rezervou splnit tak, že měřená délka bude ve skutečnosti 1024 x 1,6 mm = 1638 mm (vyhodnocovaná délka byla 0,8 mm x 1024).

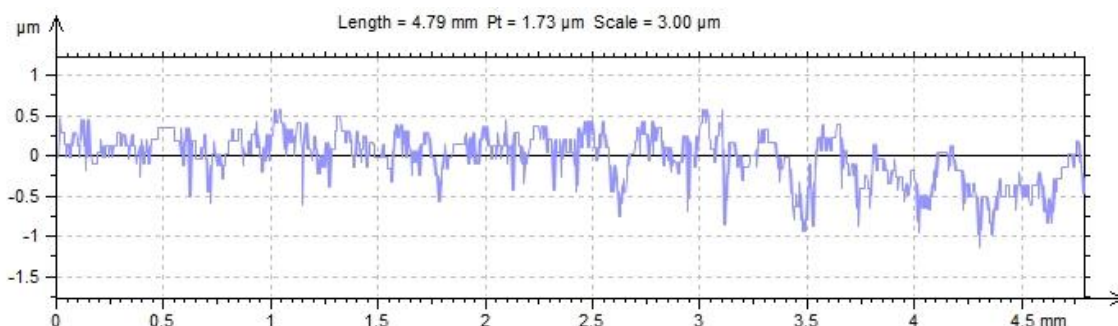
Na obr. 6.2.3 je znázorněn charakteristický profil, získaný měřením na CCI a na obr. 6.2.4 je znázorněn charakteristický profil, získaný měřením pomocí přístroje S25. Dle obou obrázků lze konstatovat, že se jedná o neperiodický povrch, proto bylo u tohoto měření použito kritérium volby cut-off dle hodnot parametrů R_a a R_z .

Kontaktní měření bylo nejprve provedeno hrotem s poloměrem zaoblení špičky 5 μm , ale kvůli požadavku normy [2] bylo následně provedeno s poloměrem zaoblení špičky 2 μm .

Výsledky měření oběma přístroji jsou uvedeny v tabulce 6.2.1.



Obrázek 6.2.3 Charakteristický profil vzorku 0,2 - 299 - CCI



Obrázek 6.2.4 Charakteristický profil vzorku 0,2 - 299 – S25

Na základě tabulky 6.2.1 lze konstatovat, že při měření bezkontaktní metodou vychází vyšší hodnoty téměř všech parametrů. U výškových parametrů, jako jsou R_p , R_v a R_z , lze vidět srovnatelné hodnoty získané kontaktní a bezkontaktní metodou. Maximální rozdíly hodnot u aritmetického průměru těchto parametrů jsou do 39% (R_p). Průměrnou šířku prvků profilu (R_{sm}) zkresluje nepravidelnosti, které lze vidět u charakteristického profilu vzorku (obr. 6.2.3 a 6.2.4).

Procentuální poměry aritmetických průměrů se pohybují od 44% (R_{sm}) po 182% (R_{sk}), výběrové směrodatné odchylky v rozmezí 91% (R_a) až 627% (R_{ku}) a maximální hodnoty od -227% (R_{sk}) po 746% (R_{ku}).

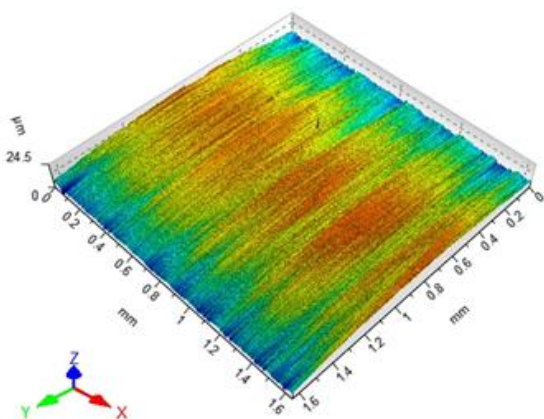
Největší rozdíly aritmetických průměrů lze vidět u parametru šikmosti (82%) a špičatosti (65%). U nejpoužívanějšího parametru R_a je hodnota získaná přístrojem CCI menší než hodnota získaná přístrojem S25 (95%).

Tabulka 6.2.1 Výsledky měření vzorku 0,2 - 299

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	0,759	0,546	139%	0,212	0,082	260%	2,620	0,676	387%
R_v [μm]	1,148	0,898	128%	0,334	0,095	352%	3,097	1,073	289%
R_z [μm]	1,907	1,445	132%	0,428	0,138	310%	4,960	1,670	297%
R_c [μm]	0,602	0,513	117%	0,108	0,045	242%	1,187	0,577	206%
R_t [μm]	1,943	1,885	103%	0,429	0,235	182%	5,302	2,350	226%
R_a [μm]	0,195	0,205	95%	0,024	0,026	91%	0,307	0,242	127%
R_q [μm]	0,257	0,259	99%	0,032	0,030	106%	0,402	0,303	133%
R_{sk}	-0,900	-0,495	182%	0,561	0,265	212%	0,301	-0,133	-227%
R_{ku}	5,819	3,527	165%	4,057	0,647	627%	37,144	4,977	746%
R_{sm} [mm]	0,020	0,046	44%	0,010	0,008	126%	0,043	0,056	76%

6.3 Vzorek 0,8 – 467

Vzorek č. 0,8 – 467, dále jen vzorek 467, je také broušený, proto jsou výsledky podobné vzorku 0,2 – 299. Je zde také opět vidět mnohaleté používání.



Obrázek 6.3.1 3D model vzorku 0,8 – 467



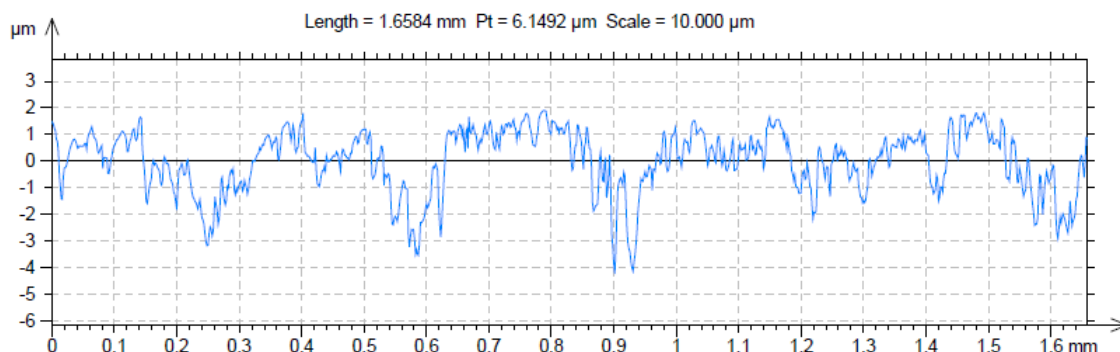
Obrázek 6.3.2 Fotografie vzorku 0,8 - 467

Bezkontaktní měření bylo provedeno na vyhodnocované ploše přibližně 1,6 x 1,6 mm. Měřená délka u kontaktního měření byla zvolena 4,8 mm, vyhodnocovaná délka 4 mm. Protože se jedná o neperiodický profil, byl parametr R_a a R_z hlavním kritériem volby cut-off pro oba způsoby měření, a to 0,8 mm.

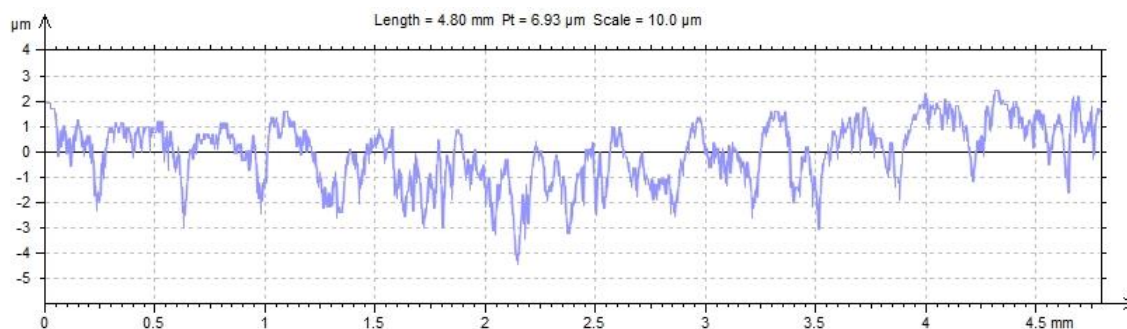
Poloměr zaoblení špičky hrotu byl použit 5 μm v souladu s požadavky normy [2], ve které je dáno, že pokud je parametr R_a větší než 0,5 μm a R_z větší než 3 μm (tab. 6.1), pak může být použit hrot s poloměrem zaoblení špičky 5 μm bez znatelných rozdílů ve výsledku měření.

Obr. 6.3.3 a obr. 6.3.4 znázorňují charakteristické profily povrchu vzorku 467, kde lze opět vidět, že je profil neperiodický.

V tabulce 6.3.1 jsou uvedeny výsledky měření.



Obrázek 6.3.3 Charakteristický profil vzorku 0,8 - 467 – CCI



Obrázek 6.3.4 Charakteristický profil vzorku 0,8 - 467 – S25

Dle tabulky 6.3.1 lze konstatovat, že aritmetické průměry výškových parametrů se liší minimálně. Ovšem u maximálních hodnot lze vidět o dost větší rozdíly hodnot. Dle očekávání jsou výškové parametry opět vyšší u bezkontaktního měření.

Procentuální poměry aritmetických průměrů se pohybují v rozmezí 62% (R_{sm}) až 131% (R_p), maximální hodnoty od -135% (R_{sk}) po 319% (R_p). Procentuální poměr výběrových směrodatných odchylek jsou od 81% (R_{sm}) po 244% (R_p).

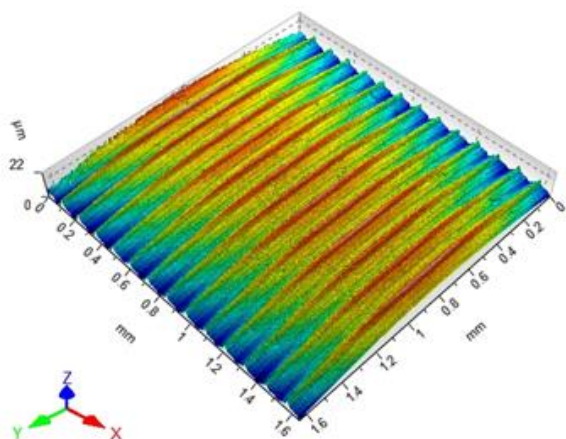
Největší rozdíl lze pozorovat u délkového parametru R_{sm} , kde je hodnota vyšší u kontaktního měření. Tento rozdíl je pravděpodobně způsoben tím, že při zpracování neperiodického profilu je poloha středních čar odlišná u obou přístrojů. K dalšímu velkému rozdílu se řadí výškový parametr R_p , který lze bezkontaktní metodou změřit pravděpodobně objektivněji.

Tabulka 6.3.1 Výsledky měření vzorku 0,8 - 467

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	1,828	1,400	131%	0,397	0,163	244%	5,218	1,633	319%
R_v [μm]	3,607	2,919	124%	0,522	0,365	143%	5,093	3,473	147%
R_z [μm]	5,436	4,318	126%	0,627	0,448	140%	9,222	5,083	181%
R_c [μm]	2,063	1,750	118%	0,383	0,174	219%	3,545	2,040	174%
R_t [μm]	5,485	5,479	100%	0,624	0,624	100%	9,222	6,557	141%
R_a [μm]	0,874	0,686	127%	0,097	0,065	149%	1,056	0,802	132%
R_q [μm]	1,091	0,861	127%	0,111	0,076	146%	1,379	1,004	137%
R_{sk}	-0,861	-0,796	108%	0,357	0,202	176%	0,697	-0,516	-135%
R_{ku}	3,511	3,515	100%	1,048	0,573	183%	9,704	4,627	210%
R_{sm} [mm]	0,043	0,069	62%	0,011	0,014	81%	0,091	0,087	105%

6.4 Vzorek 1,6 – 248

Vzorek 1,6 – 248 je na rozdíl od předešlých vzorků soustružený, to lze vidět i na 3D modelu vzorku (obr. 6.4.1).



Obrázek 6.4.1 3D model vzorku 1,6 – 248



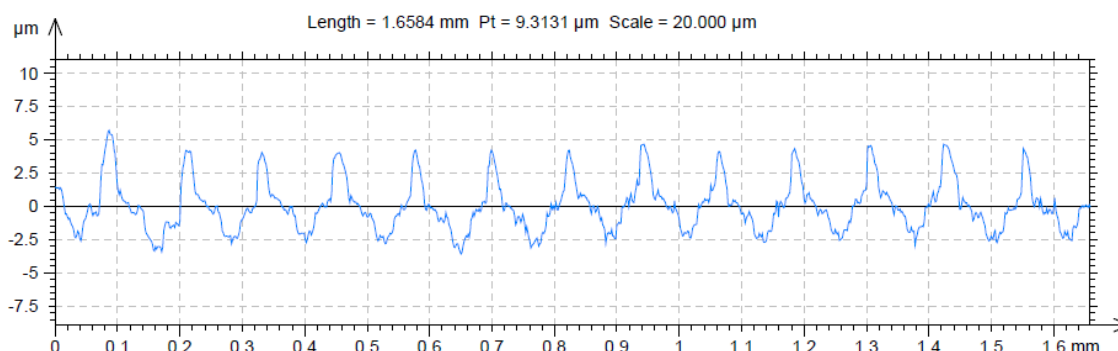
Obrázek 6.4.2 Fotografie vzorku 1,6 - 248

Bezkontaktní měření bylo provedeno opět na ploše 1,6 x 1,6 mm. U kontaktního měření byla měřená délka 1,5 mm, což odpovídá zvolenému cut-off 0,25 mm ve smyslu normy [4]. Cut-off bylo zvoleno dle hodnoty parametru R_{sm} , protože se jedná o periodický profil (obr. 6.4.3).

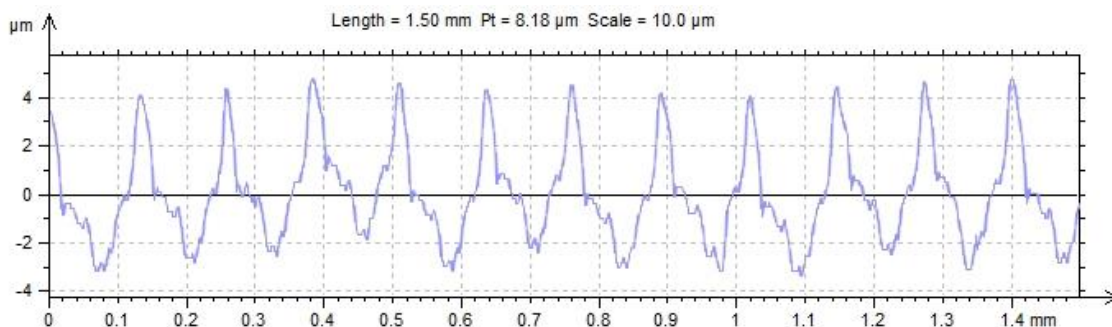
Měření kontaktním přístrojem bylo provedeno pomocí hrotu o poloměru zaoblení špičky 2 μm hrotu, z důvodu požadavku normy [2]. Nejprve bylo však měření provedeno s 5 μm zaoblením špičky stejně jako u předchozích měření.

Výsledky měření oběma přístroji jsou uvedeny v tabulce 6.4.1.

Na obr. 6.4.3 a 6.4.4 lze vidět pravidelný – periodický profil, který je téměř totožný u obou způsobů měření.



Obrázek 6.4.3 Charakteristický profil vzorku 1,6 - 248 – CCI



Obrázek 6.4.4 Charakteristický profil vzorku 1,6 - 248 – S25

Dle tabulky 6.4.1 lze vidět, že výškové parametry (R_p , R_z , R_c) jsou u bezkontaktní metody nižší než u kontaktní metody měření. Při bližším pohledu lze vidět, že hodnoty všech výškových parametrů jsou velmi podobné a srovnatelné. Rozdíly jsou způsobeny pravděpodobně jinou polohou středních čar.

Procentuální poměry aritmetických průměrů se pohybují v rozmezí od 75% (R_{sm}) do 108% (R_{sk}), maximálních hodnot od 87% (R_{sm}) do 126% (R_t). Procentuální poměr výběrově směrodatné odchylky je 39% (R_p) až 170% (R_v).

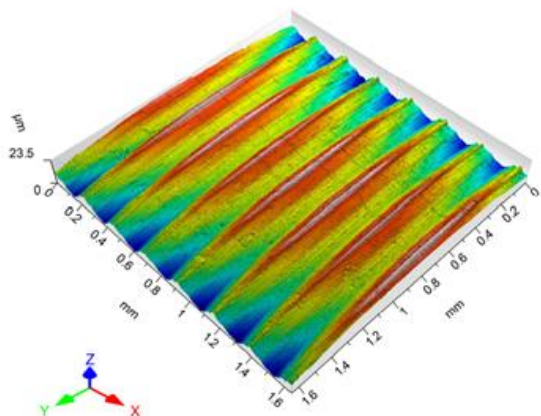
Největší rozdíl je vidět u parametru R_{sm} (poměr 75%), kdy programy odlišně vypočítaly polohu střední čáry a tím došlo k výpočtu jiných hodnot R_{sm} .

Tabulka 6.4.1 Výsledky měření vzorku 1,6 - 248

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	4,282	4,512	95%	0,123	0,318	39%	4,812	5,107	94%
R_v [μm]	2,786	2,674	104%	0,095	0,056	170%	3,419	2,880	119%
R_z [μm]	7,068	7,187	98%	0,164	0,328	50%	7,999	7,873	102%
R_c [μm]	4,572	5,718	80%	0,412	0,628	66%	6,107	6,763	90%
R_t [μm]	7,793	7,759	100%	0,376	0,300	125%	10,755	8,557	126%
R_a [μm]	1,315	1,347	98%	0,018	0,033	53%	1,388	1,450	96%
R_q [μm]	1,764	1,787	99%	0,023	0,046	51%	1,900	1,923	99%
R_{sk}	0,807	0,750	108%	0,049	0,100	49%	0,960	0,897	107%
R_{ku}	3,120	2,969	105%	0,101	0,216	47%	3,573	3,417	105%
R_{sm} [mm]	0,075	0,099	75%	0,008	0,011	69%	0,102	0,117	87%

6.5 Vzorek 3,2 – 258

Vzorek 3,2 – 258 je stejně jako předešlý vzorek soustružený, proto jsou výsledky podobné.



Obrázek 6.5.1 3D model vzorku 3,2 – 258



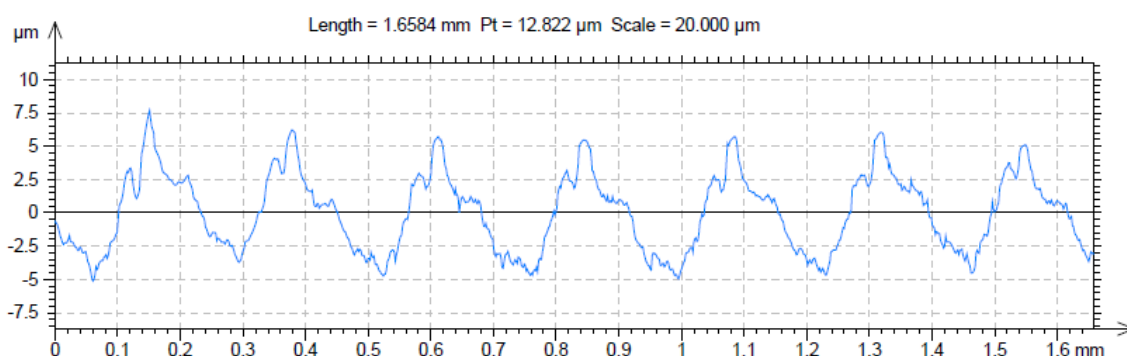
Obrázek 6.5.2 Fotografie vzorku 3,2 - 258

Bezkontaktní měření bylo opět provedeno na ploše 1,6 x 1,6 mm. Cut-off bylo zvoleno 0,8 mm. U kontaktního měření byla měřená délka 4,8 mm, což odpovídá hodnotě cut-off 0,8 mm, dle hodnoty parametru R_{sm} .

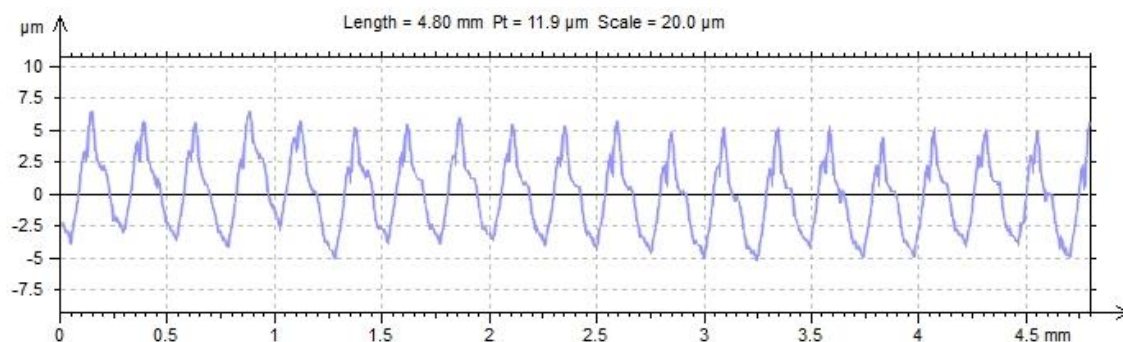
Kontaktní měření bylo provedeno s poloměrem zaoblení špičky hrotu 5 μm , dle požadavku normy [2].

Výsledky měření obou přístrojů jsou uvedeny v tabulce 6.5.1.

Na charakteristických profilech vzorku 3,2 – 258 (obr. 6.5.3 a 6.5.4) lze vidět jednotlivé výstupky periodického profilu, které jsou typické pro soustružení.



Obrázek 6.5.3 Charakteristický profil vzorku 3,2 - 258 – CCI



Obrázek 6.5.4 Charakteristický profil vzorku 3,2 - 258 – S25

Dle tabulky 6.5.1 lze konstatovat, že u výškových parametrů lze vidět jen minimální rozdíly u obou způsobů měření.

Procentuální poměry aritmetických průměrů se pohybují od 89% (R_{sk}) po 114% (R_v), u maximálních hodnot 96% (R_{sm}) do 156% (R_v) a u výběrových směrodatných odchylek od 71% (R_a) do 350% (R_{sm}).

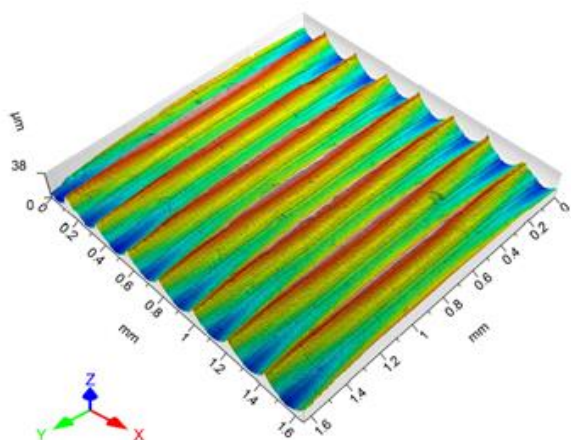
Největší rozdíl lze vidět u výškového parametru R_v (největší hloubka prohlubně profilu), a to pouhých 14% a dále pak u parametru R_z (13%), který je součtem R_p a R_v . Nejmenší rozdíl je u parametru R_{ku} (1%).

Tabulka 6.5.1 Výsledky měření vzorku 3,2 - 258

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	6,047	5,404	112%	0,208	0,155	134%	6,944	5,640	123%
R_v [μm]	5,083	4,453	114%	0,324	0,098	329%	7,234	4,637	156%
R_z [μm]	11,130	9,858	113%	0,392	0,207	189%	13,162	10,147	130%
R_c [μm]	10,071	9,023	112%	0,976	0,304	321%	11,740	9,443	124%
R_t [μm]	11,166	10,464	107%	0,452	0,364	124%	13,837	11,100	125%
R_a [μm]	2,457	2,191	112%	0,034	0,048	71%	2,563	2,253	114%
R_q [μm]	2,852	2,553	112%	0,049	0,056	87%	2,981	2,623	114%
R_{sk}	0,176	0,197	89%	0,067	0,052	127%	0,316	0,263	120%
R_{ku}	2,072	2,101	99%	0,070	0,042	165%	2,280	2,160	106%
R_{sm} [mm]	0,222	0,240	92%	0,024	0,007	350%	0,237	0,246	96%

6.6 Vzorek 6,3 – 377

Vzorek 6,3 – 377 je také soustružený, což lze pozorovat na 3D modelu vzorku (obr. 6.6.1), kde jsou vidět charakteristické rysy soustružení.



Obrázek 6.6.1 3D model vzorku 6,3 – 377



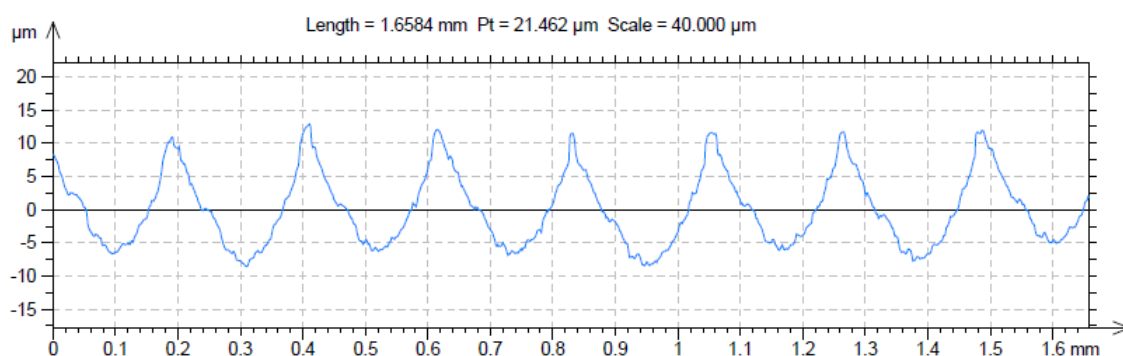
Obrázek 6.6.2 Fotografie vzorku 6,3 - 377

Bezkontaktní měření bylo provedeno na ploše 1,6 x 1,6 mm. Zvolené cut-off bylo 0,8 mm. U kontaktního přístroje S25 byla měřená délka 4,8 mm a cut-off, stejně jako u bezkontaktního měření, zvoleno 0,8 mm dle hodnoty parametru R_{sm} .

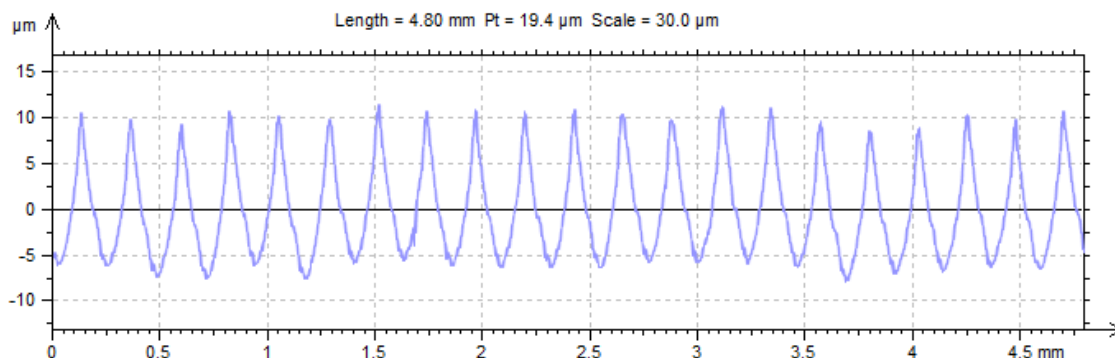
Poloměr zaoblení špičky snímacího hrotu u kontaktního způsobu měření byl dle požadavku normy [2] opět 5 μm .

V tabulce 6.6.1 jsou uvedeny výsledky měření oběma přístroji.

Na charakteristickém profilu vzorku 6,3 – 377 (obr. 6.6.3 a 6.6.4) lze vidět jednotlivé pravidelné stopy vzniklé obráběním – soustružením.



Obrázek 6.6.3 Charakteristický profil vzorku 6,3 - 377 – CCI



Obrázek 6.6.4 Charakteristický profil vzorku 6,3 - 377 – S25

Dle tabulky 6.6.1 lze konstatovat, že výsledky obou metod měření jsou téměř totožné. Ve srovnání s ostatními vzorky ze sady má tento vzorek nejlepší shodu výsledků měření oběma přístroji v porovnání aritmetických průměrů, ale také i maximálních hodnot měření.

Procentuální poměry aritmetických průměrů jsou v rozmezí 90% (R_{sk}) po 112% (R_p), u maximálních hodnot 96% (R_{sm}) až 129% (R_v) a u výběrových směrodatných odchylek od 77% (R_{sk}) do 662% (R_{sm}).

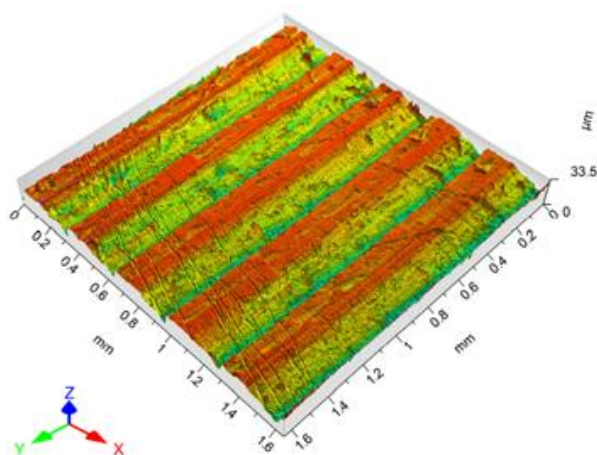
Největší rozdíly lze vidět dle očekávání u výškového parametru R_p , kde je rozdíl ve výsledcích obou metod 12%, naopak nejlepších (100%) výsledků je překvapivě dosaženo u parametru R_{ku} . V porovnání všech parametrů jsou rozdíly výsledků do 12%.

Tabulka 6.6.1 Výsledky měření vzorku 6,3 - 377

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	12,768	11,363	112%	0,315	0,215	146%	14,831	11,733	126%
R_v [μm]	7,846	7,140	110%	0,260	0,213	123%	9,569	7,443	129%
R_z [μm]	20,614	18,507	111%	0,479	0,304	157%	23,467	18,967	124%
R_c [μm]	19,501	17,613	111%	0,774	0,258	300%	21,131	18,067	117%
R_t [μm]	20,682	19,223	108%	0,451	0,449	100%	23,749	20,067	118%
R_a [μm]	4,688	4,406	106%	0,065	0,056	116%	4,856	4,493	108%
R_q [μm]	5,606	5,269	106%	0,078	0,060	131%	5,854	5,357	109%
R_{sk}	0,517	0,577	90%	0,041	0,053	77%	0,630	0,644	98%
R_{ku}	2,238	2,232	100%	0,053	0,053	100%	2,426	2,323	104%
R_{sm} [mm]	0,215	0,227	95%	0,009	0,001	662%	0,219	0,229	96%

6.7 Vzorek 3,2 – 43

Vzorek 3,2 – 4,3 je vyroben odlišnou technologií než předchozí vzorky, a to čelním frézováním.



Obrázek 6.7.1 3D model vzorku 3,2 – 43



Obrázek 6.7.1 Fotografie vzorku 3,2 - 4,3

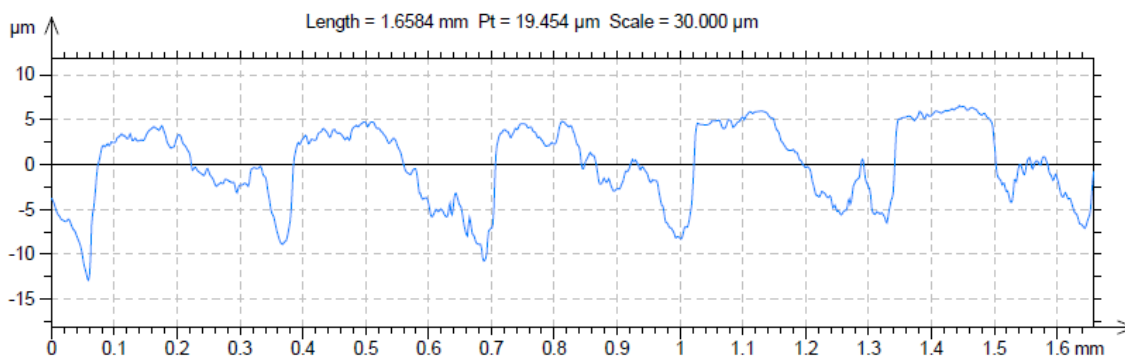
Na 3D modelu vzorku (obr. 6.7.1) lze vidět opotřebení způsobené pravděpodobně dlouhodobým používáním. Toto opotřebení pak může způsobovat patrné rozdíly měření.

Bezkontaktní měření bylo provedeno na ploše 1,6 x 1,6 mm. Cut-off bylo zvoleno 0,8 mm. U kontaktního měření je měřená délka 4,8 mm a odpovídající cut-off 0,8 mm dle hodnot parametru Rsm .

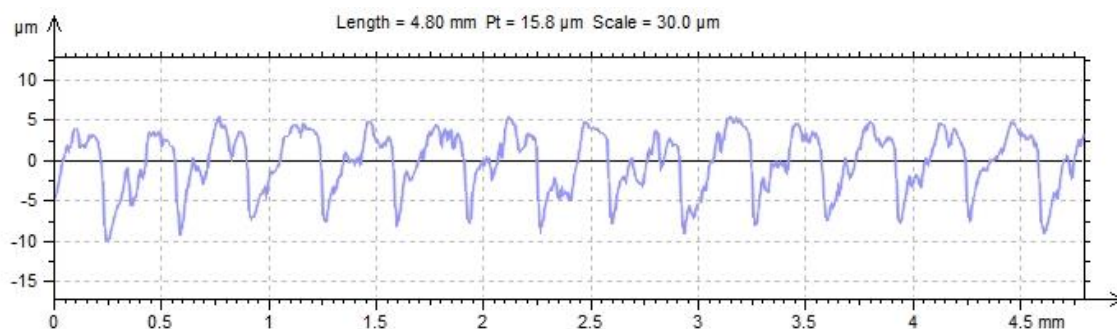
Poloměr zaoblení špičky snímacího hrotu byl pro kontaktní měření 5 μm dle požadavku normy [2].

Výsledky obou metod měření jsou zaznamenány v tabulce 6.7.1.

Na charakteristických profilech vzorku 3,2 – 43 (obr. 6.7.3 a 6.7.4) lze také vidět dlouholeté opotřebení a pravděpodobně jiný směr měření u jednotlivých metod měření.



Obrázek 6.7.3 Charakteristický profil vzorku 3,2 – 43 – CCI



Obrázek 6.7.4 Charakteristický profil vzorku 3,2 – 43 – S25

Dle tabulky 6.7.1 lze konstatovat, že výškové parametry jsou dle očekávání vyšší u bezkontaktní metody měření.

Procentuální poměry aritmetických průměrů se pohybují od 80% (R_{sk}) do 122% (R_c), u výběrových směrodatných odchylek 124% (R_{sk}) až 304% (R_v) a u maximálních hodnot od 21% (R_{sk}) do 201% (R_p).

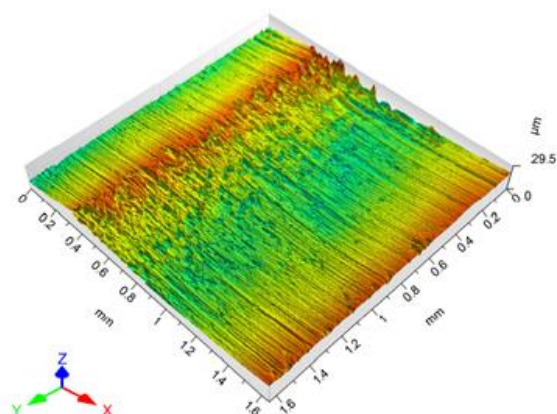
Největší rozdíl u aritmetických průměrů lze vidět u parametru R_c (22%) a nejmenší rozdíl u parametru R_t (2%). U maximálních hodnot je největší rozdíl v parametru R_p (101%) a nejmenší rozdíl u parametru R_{sm} (13%).

Tabulka 6.7.1 Výsledky měření vzorku 3,2 – 43

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	6,111	5,276	116%	0,629	0,213	296%	11,224	5,573	201%
R_v [μm]	9,773	8,654	113%	1,095	0,360	304%	13,996	9,367	149%
R_z [μm]	15,883	13,937	114%	1,318	0,453	291%	21,863	14,800	148%
R_c [μm]	12,736	10,401	122%	2,438	1,221	200%	19,104	12,067	158%
R_t [μm]	15,892	15,603	102%	1,319	0,612	216%	21,863	16,667	131%
R_a [μm]	3,794	3,229	117%	0,287	0,151	190%	4,635	3,417	136%
R_q [μm]	4,330	3,757	115%	0,272	0,133	205%	5,096	3,933	130%
R_{sk}	-0,406	-0,508	80%	0,138	0,111	124%	-0,073	-0,345	21%
R_{ku}	2,018	2,214	91%	0,245	0,165	149%	2,945	2,473	119%
R_{sm} [mm]	0,228	0,241	94%	0,071	0,034	207%	0,329	0,291	113%

6.8 Vzorek 3,2 – 287

Vzorek 3,2 – 287 byl vyroben technologií válcového frézování.

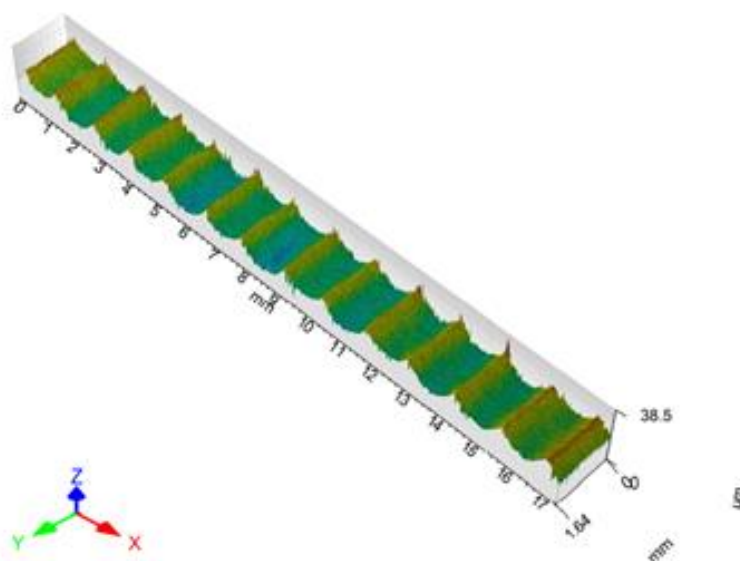


Obrázek 6.8.1 3D model vzorku 3,2 – 287



Obrázek 6.8.2 Fotografie vzorku 3,2 – 287

Protože na 3D modelu vzorku (obr. 6.8.1) byl znatelný pouze jeden výstupek a vyhodnocovaná délka nesplňovala požadavek normy [4], musel být vytvořen 3D model (obr. 6.8.3), pomocí operátoru sešití, kde se bezkontaktně provede čtrnáct měření a poté se v programu TalyMap provede ruční sešití jednotlivých měření.

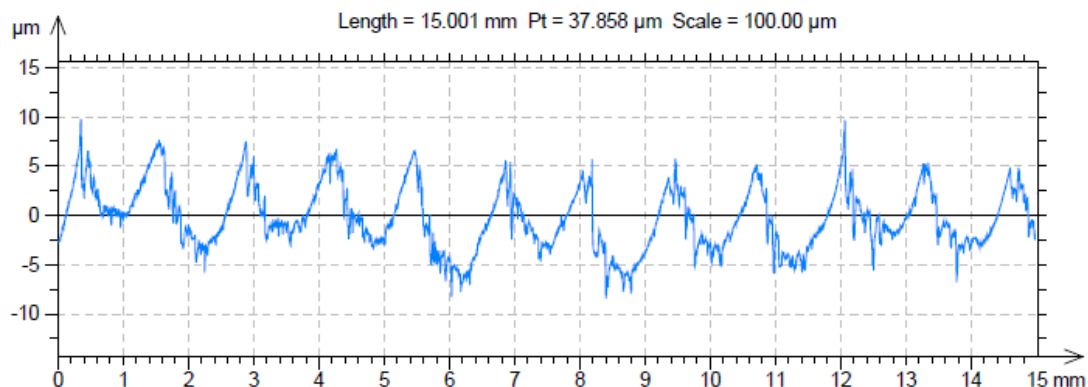


Obrázek 6.8.3 3D model sešitého vzorku 3,2 - 287

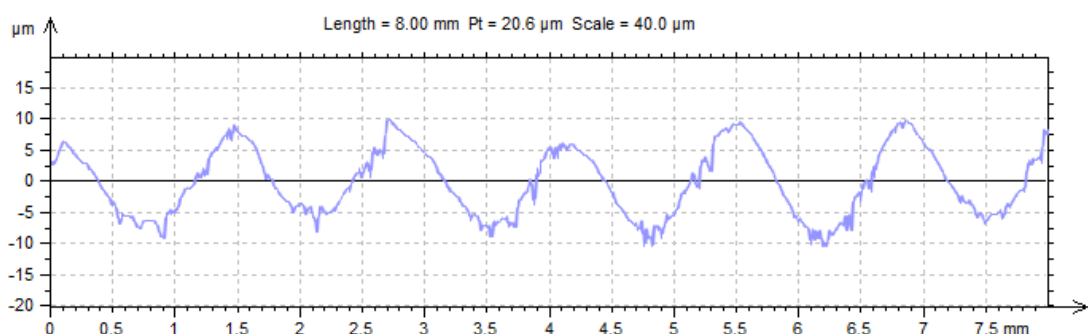
Pro zvolené cut-off 2,5 mm je třeba měřená délka 15 mm, která se bohužel nepodařila dodržet u kontaktní metody měření, proto jsou u výsledků patrně větší rozdíly. Měření bylo provedeno na 3 základních délkách, namísto požadovaných pěti základních délek.

V tabulce 6.8.1 jsou uvedeny výsledky měření oběma způsoby.

Na charakteristických profilech vzorku (obr. 6.8.4 a obr. 6.8.5) lze vidět nepravidelné odchylky způsobené pravděpodobně dlouholetým používáním.



Obrázek 6.8.4 Charakteristický profil vzorku 3,2 - 287 – CCI



Obrázek 6.8.5 Charakteristický profil vzorku 3,2 - 287 – S25

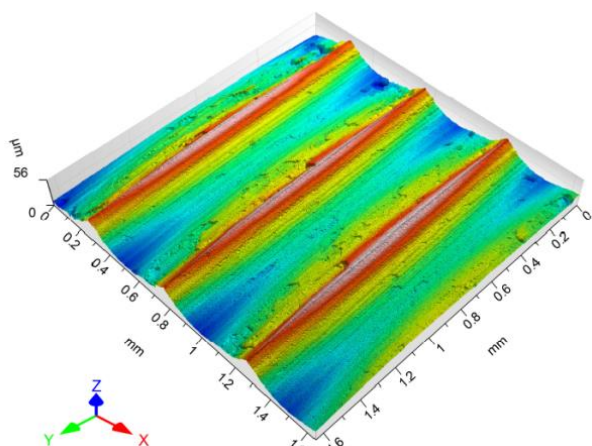
Dle tabulky 6.8.1 lze konstatovat, že i přes nedodržení vyhodnocované délky měření dle [4] u kontaktního způsobu vychází překvapivě nevelké rozdíly v měření. Největším rozdílem u aritmetických průměrů měření je parametr R_{sk} , u maximálních hodnot měření je to parametr R_{ku} .

Tabulka 6.8.1 Výsledky měření vzorku 3,2 - 287

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	11,118	9,434	118%	0,780	0,558	140%	14,918	10,267	145%
R_v [μm]	8,508	8,699	98%	0,531	0,666	80%	11,650	9,953	117%
R_z [μm]	19,625	18,130	108%	1,062	0,794	134%	25,667	19,300	133%
R_c [μm]	12,308	14,025	88%	1,181	2,869	41%	15,744	17,967	88%
R_t [μm]	22,735	19,147	119%	2,258	0,971	232%	36,900	20,667	179%
R_a [μm]	3,713	4,449	83%	0,126	0,228	55%	4,006	4,823	83%
R_q [μm]	4,443	5,047	88%	0,132	0,239	55%	4,772	5,410	88%
R_{sk}	0,437	0,244	179%	0,347	0,180	193%	0,663	0,439	151%
R_{ku}	2,430	1,737	140%	0,179	0,068	265%	3,357	1,853	181%
R_{sm} [mm]	0,594	0,974	61%	0,112	0,254	44%	0,961	1,363	71%

6.9 Vzorek 12,5 – 20

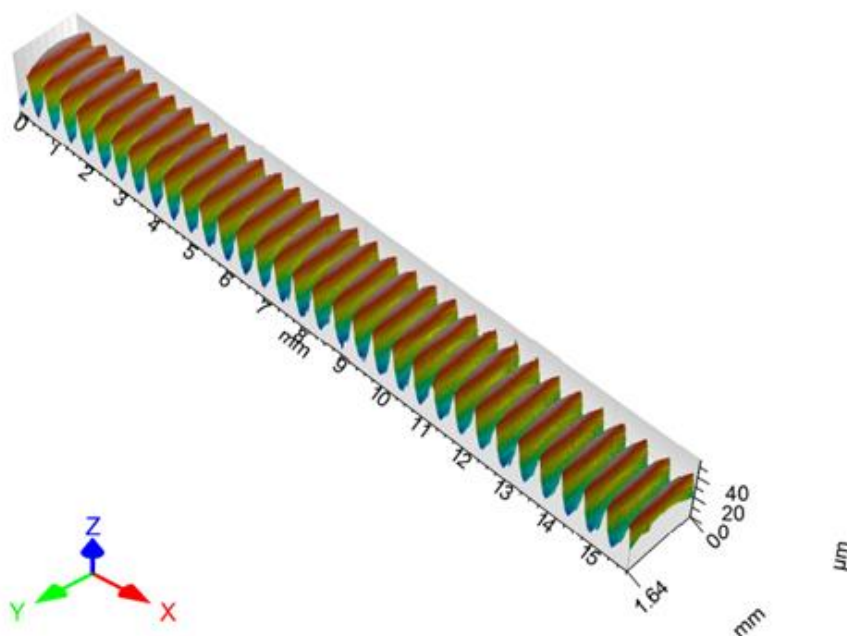
Vzorek 12,5 – 20 je vyroben soustružením, což lze vidět na 3D modelu vzorku (obr. 6.9.1) i na fotografii vzorku (obr. 6.9.2).



Obrázek 6.9.1 3D model vzorku 12,5 – 20

Obrázek 6.9.2 Fotografie vzorku 12,5 - 20

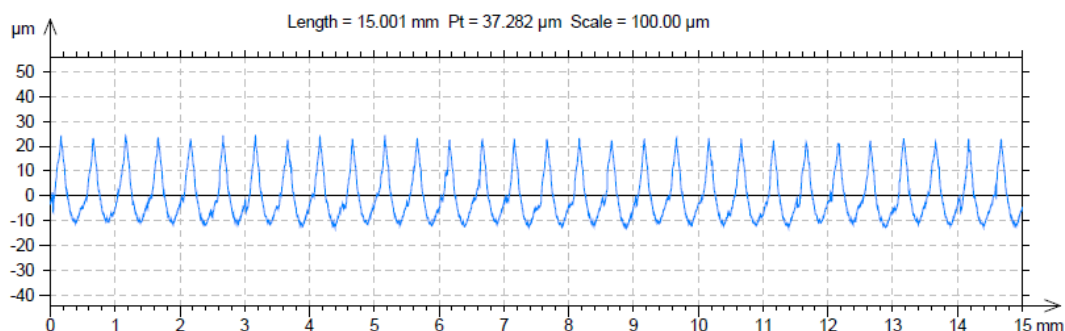
U bezkontaktního měření bylo provedeno sešití patnácti vzorků, z důvodu měřené délky 15mm pro zvolení cut-off 2,5 mm. U kontaktního měření se nepodařilo dodržet tuto délku, protože přístroj S25 opakovaně vykazoval poruchu při délce měření 15 mm.



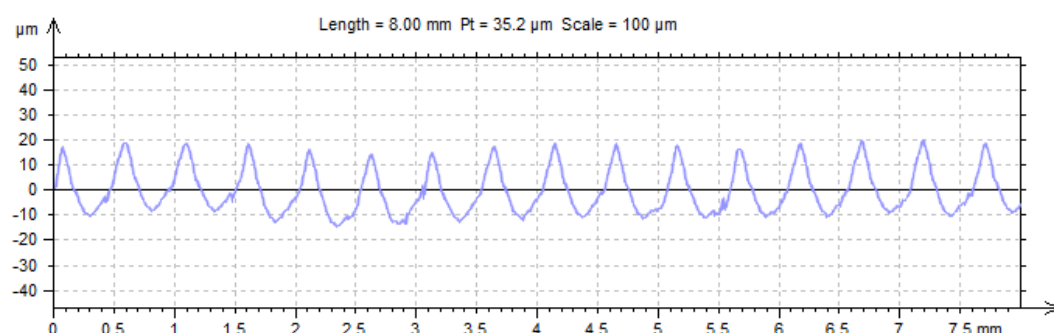
Obrázek 6.9.3 3D model sešitého vzorku 12,5 - 20

Výsledky obou měření jsou uvedeny v tabulce 6.9.1.

Na charakteristických profilech vzorku (obr. 6.9.4 a 6.9.5) lze vidět charakteristické stopy po soustružení.



Obrázek 6.9.4 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 20 – CCI



Obrázek 6.9.5 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 20 – S25

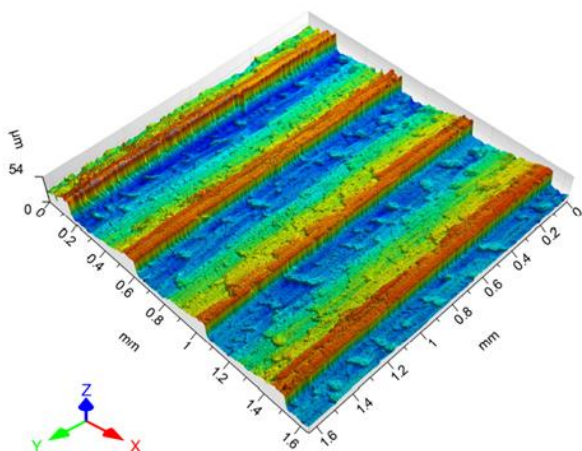
Dle tabulky 6.9.1 lze konstatovat, že výsledky jsou srovnatelné u obou typů měření. Dle očekávání jsou téměř všechny parametry vyšší u bezkontaktního měření. Největší rozdíl aritmetických průměrů lze vidět u parametru R_{sk} (26%) naopak nejmenší rozdíl lze vidět u parametru R_{sm} , kde je rozdíl pouze 1%. U maximálních hodnot je největším rozdílem parametr R_t (35%) a nejmenším rozdílem opět parametr R_{sm} (2%).

Tabulka 6.9.1 Výsledky měření vzorku 12,5 - 20

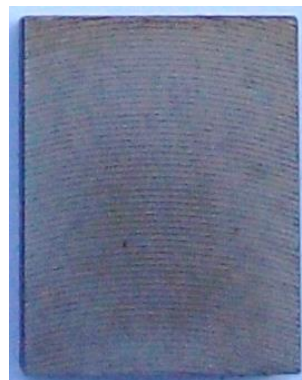
parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
$R_p [\mu m]$	23,223	20,133	115%	0,280	0,326	86%	24,324	20,667	118%
$R_v [\mu m]$	12,736	12,250	104%	0,396	0,419	95%	14,879	12,967	115%
$R_z [\mu m]$	35,959	32,383	111%	0,521	0,543	96%	38,664	33,500	115%
$R_c [\mu m]$	33,338	29,793	112%	0,976	1,608	61%	34,909	31,100	112%
$R_t [\mu m]$	37,762	33,040	114%	1,303	0,792	165%	46,334	34,400	135%
$R_a [\mu m]$	8,184	7,821	105%	0,058	0,131	44%	8,346	7,980	105%
$R_q [\mu m]$	9,809	9,190	107%	0,191	0,122	156%	9,983	9,340	107%
R_{sk}	0,762	0,606	126%	0,023	0,031	75%	0,812	0,661	123%
R_{ku}	2,400	2,124	113%	0,043	0,062	71%	2,494	2,233	112%
$R_{sm} [mm]$	0,486	0,492	99%	0,016	0,031	54%	0,506	0,515	98%

6.10 Vzorek 12,5 – 124

Vzorek 12,5 – 124 byl vyroben čelním frézováním. Stopy po frézování jsou vidět i pouhým okem.



Obrázek 6.10.1 3D model vzorku 12,5 – 124



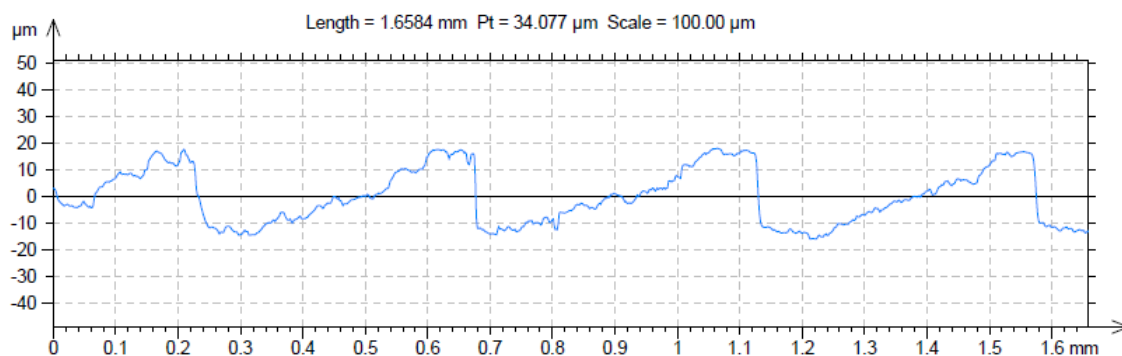
Obrázek 6.10.2 Fotografie vzorku 12,5 - 124

Bezkontaktní měření bylo provedeno na ploše 1,6 x 1,6 mm. Zvolené cut-off 0,8 mm se shoduje se zvoleným cut-off u kontaktního způsobu měření, kde byla měřená délka určena 4,8 mm.

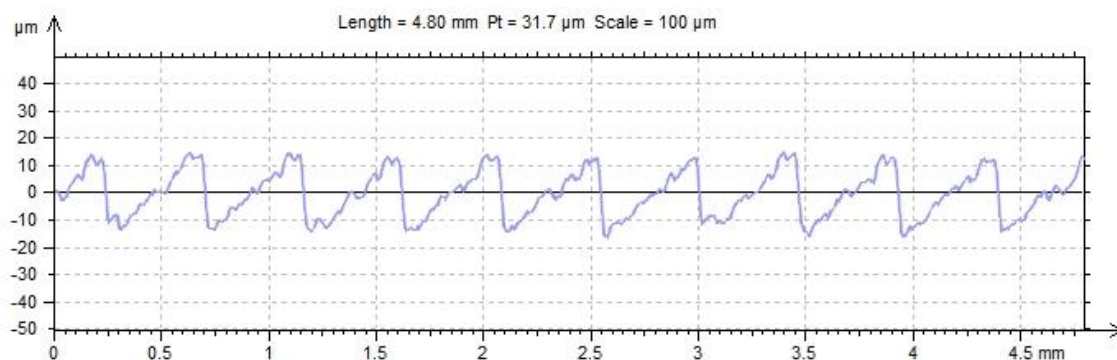
Poloměr zaoblení špičky snímacího hrotu pro kontaktní měření bylo 5 μm dle požadavku normy [2].

V tabulce 6.10.1 jsou uvedeny výsledky obou způsobů měření.

Na charakteristických profilech vzorku (obr. 6.10.3 a 6.10.4) lze vidět jednotlivé stopy vzniklé čelním frézováním, které nejsou symetrické, ale mají určitý směr, který odpovídá směru obrábění.



Obrázek 6.10.3 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 124 – CCI



Obrázek 6.10.4 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 124 – S25

Dle tabulky 6.10.1 lze konstatovat, že všechny výškové parametry jsou dle očekávání vyšší u bezkontaktního způsobu měření, podobně jako u předchozích výsledků.

Procentuální poměry aritmetických průměrů se pohybují od 92% (R_{sm}) do 252% (R_{sk}), u výběrových směrodatných odchylek 84% (R_{sk}) až 487% (R_z) a u maximálních hodnot od 123% (R_{sm}) do 210% (R_{sk}).

Největší rozdíly aritmetických průměrů měření lze vidět u parametru R_{sk} (152%), nejmenší rozdíl je u parametru R_{sm} (8%) a R_{ku} (8%). Největší rozdíly u maximálních hodnot měření lze pozorovat u parametru R_{sk} (110%), nejmenší pak opět u parametru R_{ku} (19%).

Tabulka 6.10.1 Výsledky měření vzorku 12,5 - 124

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	19,189	13,623	141%	0,942	0,285	331%	24,376	14,600	167%
R_v [μm]	14,550	13,067	111%	1,252	0,414	303%	21,183	14,300	148%
R_z [μm]	33,740	26,700	126%	1,606	0,330	487%	42,898	28,167	152%
R_c [μm]	23,210	19,250	121%	6,957	2,605	267%	41,075	24,033	171%
R_t [μm]	33,790	28,173	120%	1,616	0,555	291%	42,898	29,900	143%
R_a [μm]	7,840	6,316	124%	0,275	0,165	166%	8,577	6,813	126%
R_q [μm]	9,436	7,606	124%	0,300	0,164	182%	10,497	8,127	129%
R_{sk}	0,398	0,158	252%	0,073	0,087	84%	0,639	0,304	210%
R_{ku}	2,083	1,936	108%	0,109	0,063	172%	2,509	2,110	119%
R_{sm} [mm]	0,280	0,304	92%	0,109	0,053	207%	0,501	0,408	123%

6.11 Vzorek 12,5 – 10

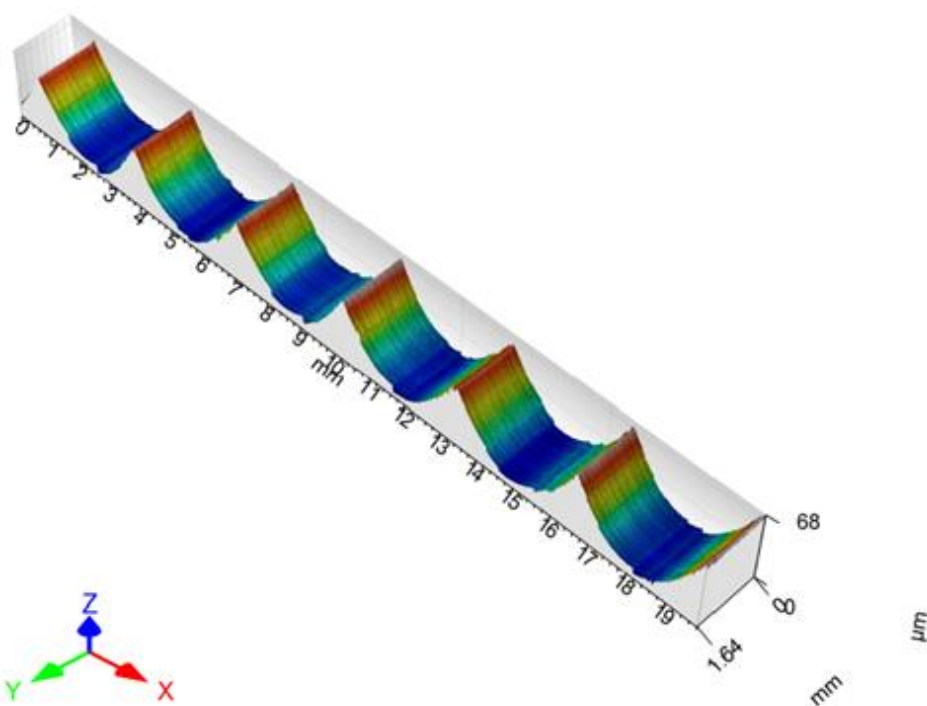
Vzorek č. 12,5 – 10 byl vyroben válcovým frézováním, stejně jako vzorek 3,2 - 287. Na obr. 6.11.1 je fotografie uvedeného vzorku.



Obrázek 6.11.1 Fotografie vzorku 12,5 – 10

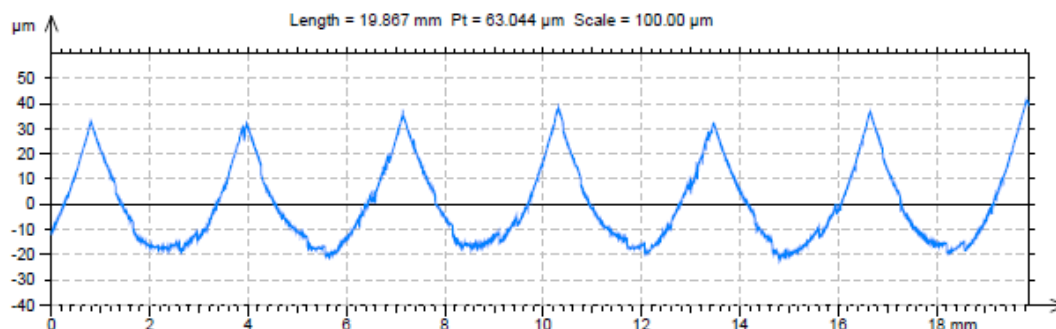
Bezkontaktní měření muselo být pomocí operátoru sešito (obr. 6.11.2) z důvodu volby cut-off 8 mm. Naměřená plocha byla přibližně 20 mm x 1,6 mm.

Zvolené cut-off 8 mm by mělo mít dle normy [4] vyhodnocovanou délku 40 mm, ale to není možné zrealizovat, protože vzorek má pouze 25 mm. U kontaktního měření se povedlo vyhodnotit vzorek na délce 24 mm (3x cut-off).

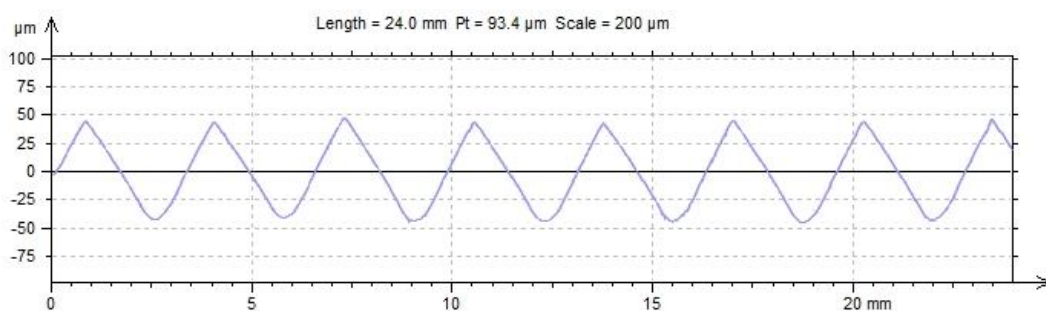


Obrázek 6.11.2 3D model vzorku 12,5 – 10

Na charakteristických profilech vzorku (obr. 6.11.3 a 6.11.4) lze pozorovat výsledky dlouholetého používání a významného opotřebení vzorku 10.



Obrázek 6.11.3 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 10 – CCI



Obrázek 6.11.4 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 10 – S25

V tabulce 6.11.1 lze pozorovat, že téměř všechny parametry jsou vyšší u kontaktního měření. Největší rozdíl byl u parametru R_{sk} (623%). Výškové parametry jsou překvapivě vyšší i při uvažování maximálních hodnot měření. Tato chyba měření kontaktním přístrojem může být způsobena velikostí opěrky, která se propadá do jednotlivých prohlubní profilu vzorku a tím dochází ke zvětšování výškových parametrů.

Tabulka 6.11.1 Výsledky měření vzorku 12,5 - 10

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	36,872	40,633	91%	0,442	0,713	62%	38,506	41,500	93%
R_v [μm]	18,329	33,910	54%	0,729	0,521	140%	22,128	34,867	63%
R_z [μm]	55,201	74,553	74%	0,867	1,008	86%	58,881	76,033	77%
R_c [μm]	49,089	71,637	69%	3,516	0,906	388%	56,347	72,933	77%
R_t [μm]	56,013	75,373	74%	0,893	1,063	84%	59,888	76,767	78%
R_a [μm]	12,747	20,190	63%	0,087	0,270	32%	13,051	20,633	63%
R_q [μm]	15,047	23,010	65%	0,091	0,278	33%	15,383	23,467	66%
R_{sk}	0,816	0,113	723%	0,012	0,027	43%	0,862	0,149	578%
R_{ku}	2,429	1,675	145%	0,023	0,017	129%	2,514	1,697	148%
R_{sm} [mm]	2,831	3,180	89%	0,248	0,009	2667%	3,208	3,193	100%

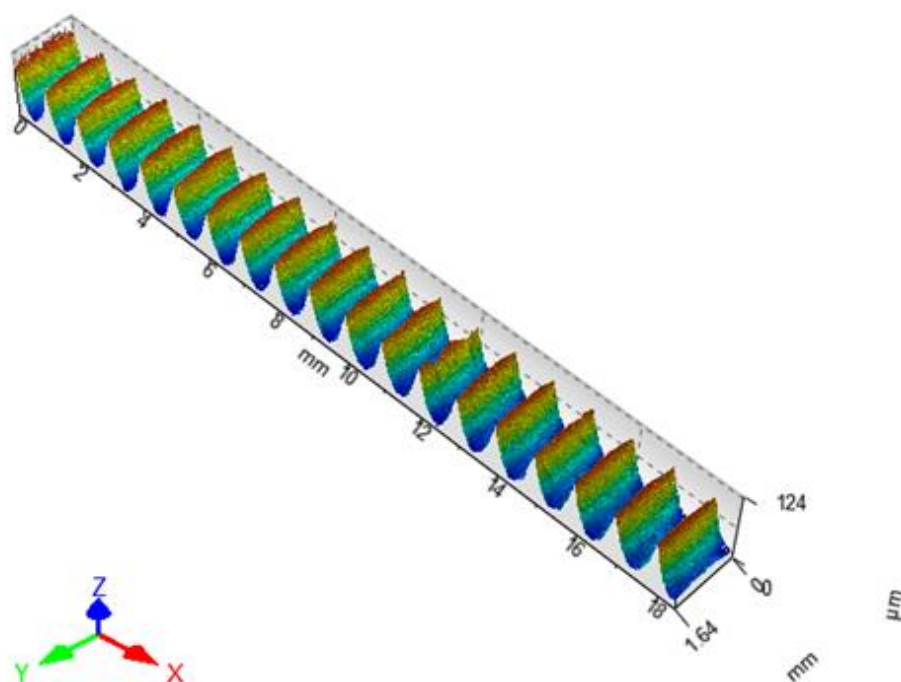
6.12 Vzorek 25 – 37

Vzorek 25 – 37 má z celé sady nejvyšší drsnost. Byl vyroben soustružením, jehož stopy lze vidět i pouhým okem na fotografii vzorku 37 (obr. 6.12.1).



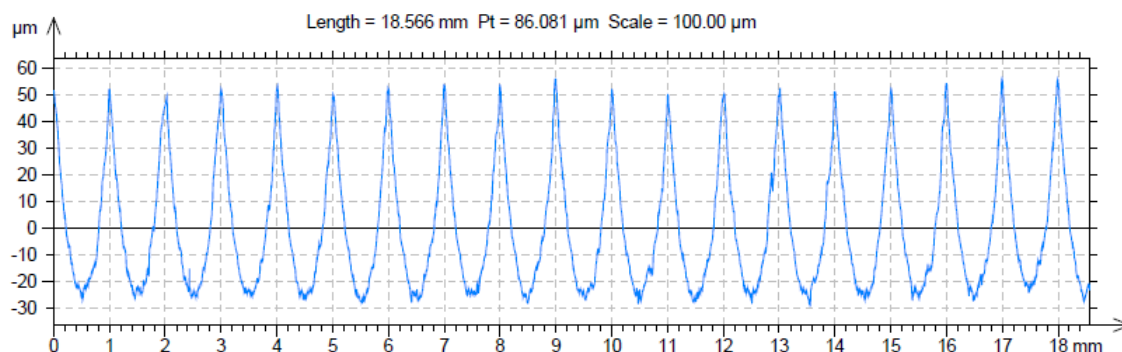
Obrázek 6.12.1 Fotografie vzorku 25 - 37

U bezkontaktní metody měření bylo provedeno sešití patnácti měření, aby měřená délka byla 15 mm a zvolené cut-off 2,5mm, stejně jako u kontaktní metody měření.

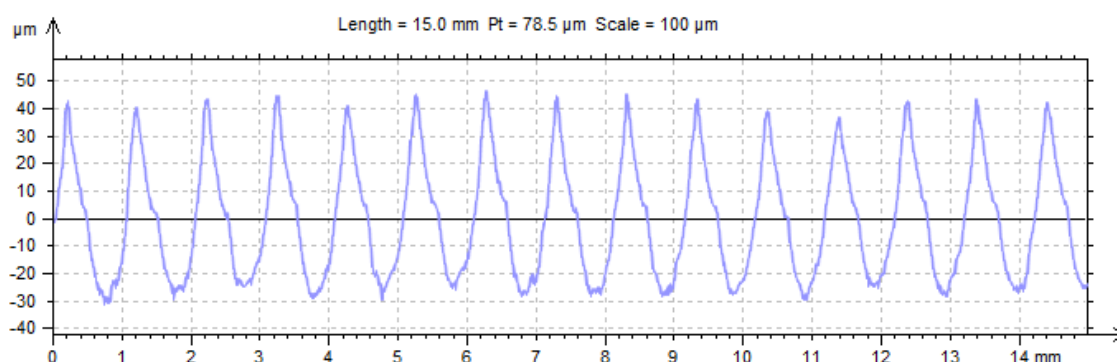


Obrázek 6.12.2 3D model vzorku 25 - 37

Na charakteristických profilech vzorku (obr. 6.12.3 a 6.12.4) lze pozorovat velice pravidelné stopy po obrábění, které vznikají při soustružení.



Obrázek 6.12.3 Charakteristický profil vzorku 25 - 37 – CCI



Obrázek 6.12.4 Charakteristický profil vzorku 25 - 37 – S25

V tabulce 6.12.1 lze vidět vyšší hodnoty výškových parametrů (kromě parametru R_v , který je i při uvažování nejvyšších hodnot nižší). Největší rozdílem aritmetických průměrů je parametr R_{sk} (75%). Téměř stejných výsledků je dosaženo u parametru R_{sm} (99%) a parametru R_q (99%).

Tabulka 6.12.1 Výsledky měření vzorku 25 - 37

parametr	aritmetický průměr			výb. sm. odchylka			maximum		
	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr	CCI	S 25	poměr
R_p [μm]	55,220	48,440	114%	0,654	1,106	59%	57,802	50,033	116%
R_v [μm]	27,588	30,127	92%	0,646	0,658	98%	30,435	31,133	98%
R_z [μm]	82,808	78,557	105%	0,954	0,959	99%	86,887	80,100	108%
R_c [μm]	80,183	76,403	105%	1,168	1,133	103%	83,823	78,067	107%
R_t [μm]	87,631	82,107	107%	2,811	1,735	162%	104,661	85,300	123%
R_a [μm]	19,753	20,550	96%	0,125	0,426	29%	20,105	21,100	95%
R_q [μm]	23,145	23,340	99%	0,125	0,333	38%	23,533	23,833	99%
R_{sk}	0,737	0,421	175%	0,018	0,061	30%	0,772	0,493	157%
R_{ku}	2,358	1,889	125%	0,036	0,086	43%	2,434	2,000	122%
R_{sm} [mm]	0,996	1,009	99%	0,016	0,013	130%	1,006	1,023	98%

7. Srovnání hodnot parametru R_q s měřením v roce 1958

V tabulce 7.1 jsou uvedeny výsledné hodnoty měření současnými přístroji a také výsledky změřené kontaktní metodou v roce 1958, kdy byla vzorkovnice vyrobena. Tabulka 7.1 se věnuje parametru R_q , dříve značeného jako H_{sk} .

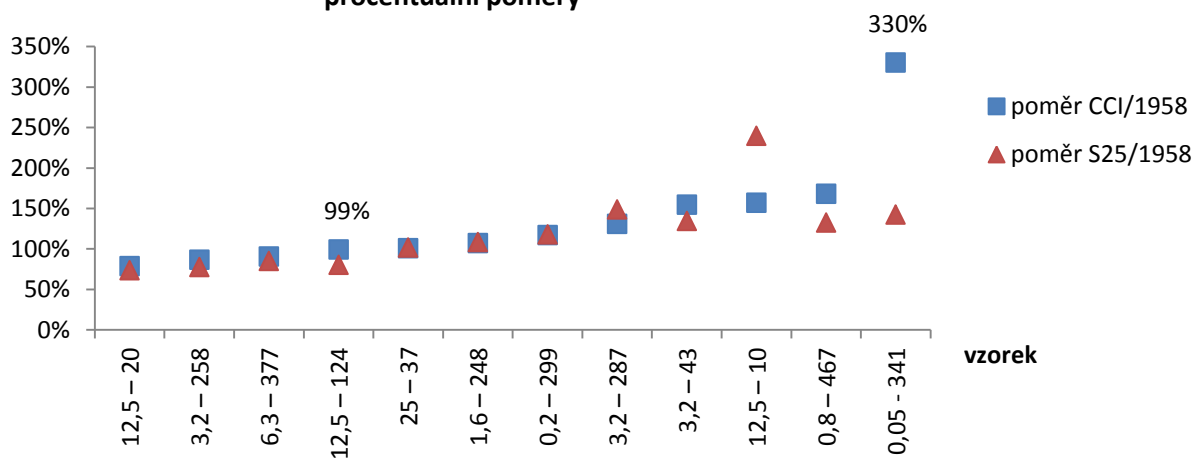
Tabulka 7.1 Srovnání parametru R_q

Vzorek	CCI	S 25	rok 1958	poměr CCI/1958	poměr S25/1958
0,05 - 341	0,149	0,064	0,045	330%	142%
0,2 - 299	0,257	0,259	0,22	117%	118%
0,8 - 467	1,091	0,861	0,65	168%	132%
1,6 - 248	1,764	1,787	1,65	107%	108%
3,2 - 258	2,852	2,553	3,3	86%	77%
6,3 - 377	5,606	5,269	6,2	90%	85%
3,2 - 43	4,330	3,757	2,8	155%	134%
3,2 - 287	4,443	5,047	3,4	131%	148%
12,5 - 20	9,809	9,190	12,5	78%	74%
12,5 - 124	9,436	7,606	9,5	99%	80%
12,5 - 10	15,047	23,010	9,6	157%	240%
25 - 37	23,145	23,340	23	101%	101%

Z tabulky 7.1 lze vidět, že jednotlivé metody měření se u většiny vzorků značně liší od hodnot naměřených v roce 1958. To je pravděpodobně způsobeno především odlišnou technologií měření, použitým měřicím hrotem a také se zde projevuje mnoholeté používání vzorků.

V grafu 7.1, kde je znázorněno srovnání výsledků procentuálních poměrů. Lze konstatovat, že nejmenší rozdíly procentuálních poměrů jsou u vzorku 12,5 - 124 (soustružený) a naopak největší rozdíly jsou patrné u vzorku 0,05 - 341 (lapovaný).

Srovnání metod měření parametru R_q
procentuální poměry



Graf 7.1 Srovnání metod měření parametru R_q

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce řeší problematiku hodnocení drsnosti funkčních povrchů strojírenských součástí s využitím profilové metody při kontaktním a bezkontaktním měření parametrů struktury povrchu.

Kapitola 1 pojednává o historii hodnocení drsnosti povrchu, objasňuje některé dřívější používané metody měření parametrů struktury povrchu a jejich nahrazení současnými moderními přístroji.

První cíl práce – přehled metod je splněn v kapitole 2, kde jsou uvedeny základní termíny a definice metrologie struktury povrchu a jednotlivé metody měření, mezi které patří také kontaktní a bezkontaktní způsob měření využívající profilovou metodu.

Kapitola 3 obsahuje popis vybraných výškových a délkových profilových parametrů drsnosti povrchu, které jsou předmětem zkoumání této bakalářské práce. Všechny parametry jsou v souladu s normou ČSN EN ISO 4287 objasněny na změřeném reálném základním profilu povrchu soustruženého vzorku. V této části je také objasněn postup měření povrchu a vyhodnocování parametrů drsnosti ve smyslu normy ČSN EN ISO 4288. V této kapitole je rovněž uvedena tabulka volby základní délky drsnosti (cut-off), která vznikla na základě tabulek 1, 2 a 3 normy ČSN EN ISO 4288 a může posloužit jako praktická pomůcka při hodnocení drsnosti povrchu v praxi.

Pro splnění cílů práce byl použit bezdotykový 3D profilometr Taylor Hobson Talysurf CCI Lite. Konstrukce tohoto přístroje je založena na využití koherenční rastrovací interferometrie a patří ve své třídě mezi špičkové měřicí přístroje. Druhým použitým přístrojem byl kontaktní profilometr Taylor Hobson Surtronic 25, který je zástupcem skupiny základních dílenských měřicích přístrojů. Technický popis uvedených přístrojů je v kapitole 4.

Kapitola 5 je zaměřena na charakteristiku měřených vzorků ze vzorkovnice Zbrojovky Brno, vyrobené v roce 1958. Tato vzorkovnice obsahuje 12 kovových vzorků různých povrchů, z nichž jeden je lapovaný, dva broušené, pět soustružených a čtyři frézované. V této části jsou stručně popsány technologie výroby jednotlivých vzorků.

Druhý cíl práce je splněn v kapitole 6, která obsahuje přehledy výsledků měření a jejich analýzy.

Největší rozdíly v hodnotách parametrů drsnosti získaných na základě měření oběma přístroji byly zjištěny u lapovaného povrchu (vzorek 0,05 - 341). Procentuální poměry aritmetických průměrů hodnot jednotlivých parametrů drsnosti, získaných bezkontaktním měřením k hodnotám, získaných pomocí kontaktního přístroje se pohybují od 65% (*Rsk*) do 413% (*Rp*).

Nejlepší shody hodnot parametrů drsností, zjištěných bezkontaktním a kontaktním přístrojem, byly u většiny soustružených a některých frézovaných povrchů vzorků. Maximální rozdíl aritmetických průměrů soustruženého vzorku označeného 6,3 - 377 byl pouze 12% (R_p).

Výjimku tvoří frézovaný vzorek (12,5 – 10), u kterého byly na rozdíl od všech ostatních měření vždy vyšší hodnoty parametrů drsnosti u kontaktního způsobu měření. Tento paradox je velmi pravděpodobně způsoben tím, že se opěrka měřicího raménka kontaktního přístroje propadala při probíhající měření do jednotlivých prohlubní vzorku, čímž docházelo ke zvětšování výškových parametrů. Procentuální poměry aritmetických průměrů (CCI/S25) pak byly v rozmezí od 54% (R_v) do 91% (R_p), bez uvažování parametru šikmosti a špičatosti.

V kapitole 7 je nad rámec zadání provedeno porovnání hodnot parametru R_q jednotlivých vzorků, které jsou srovnány s uvedenou hodnotou ve vzorkovnici z roku 1958. Parametr R_q je jediným parametrem uváděným na vzorkovnici a je možné ho srovnat s hodnotami získanými pomocí přístroje TH CCI. Nejlepší shody hodnot parametrů bylo dosaženo u soustruženého vzorku (12,5 – 124), kde rozdíl hodnot byl pouze 1%. Největší rozdíl (230%) byl u lapovaného vzorku (0,05 – 341).

Všechny soubory dat měření získaných bezkontaktní i kontaktní metodou jsou k dispozici v laboratoři ÚVSSR a nejsou v bakalářské práci přiložena jako příloha z důvodu velikosti dat. Celkově bylo provedeno přes 700 dílčích měření oběma způsoby. Tato hodnota samozřejmě zahrnuje i nepovedená měření. Celkový čas měření všech vzorků se pohyboval okolo 80-ti hodin, samotná analýza dat trvala přibližně 100 hodin.

Třetím a posledním cílem práce bylo vytvořit doporučení pro praxi. Z analýz všech vzorků je patrné, že nejlepších shod výsledků je dosaženo při měření soustružených periodických povrchů. Měření bylo provedeno na dvou různých třídách přístrojů, a to na špičkovém optickém přístroj TH CCI, který dokáže změřit téměř všechny druhy povrchů a na základním typu kontaktních měřidel TH S25, který je vhodný spíše pro dílenské účely.

Pravděpodobně nejpřesnější výsledky měření je možné dosahovat bezkontaktními metodami. Avšak u tohoto způsobu měření je největším praktickým omezením nutnost měření pouze v laboratorních podmínkách. Na základě provedených experimentů je možné doporučit, aby výsledky měření získané jednoduchými kontaktními přístroji na lapovaných površích a površích, které neumožňují spolehlivé vedení opěrky snímacího raménka, byly ověřeny na dokonalejších přístrojích.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Bumbálek, B., Odvody, V. a Ošťádal B., *Drsnost povrchu*. Praha, SNTL 1989.
- [2] ČSN EN ISO 3274. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999
- [3] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999
- [4] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999
- [5] ČSN EN ISO 8785. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Nedokonalosti povrchu - Termíny, definice a parametry*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000
- [6] JANKOVÝCH, Róbert. *Metrologie textury povrchu* [přednáška]. Brno, 2013
- [7] TAYLOR HOBSON Ltd. *Surtronic 25*, příručka uživatele, 2004
- [8] TAYLOR HOBSON. *Talysurf CCI Lite – bezdotykový 3D profilometr* [pdf]. 2008, 8s.
- [9] TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část. *Ústav strojírenské technologie* [online]. ©2003 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [10] TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 3. část. *Ústav strojírenské technologie* [online]. ©2005 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-3cast.pdf
- [11] Whitehouse, D. J., *Handbook of Surface Metrology*. Bristol, Institute of Physics Publishing Ltd 1994. ISBN 0-7503-0039-6.
- [12] Whitehouse, D. J., *Surfaces and their Measurement*. London, Kogan Page Ltd 2004. ISBN 1-9039-9660-0.
- [13] WHITEHOUSE, David J. Surface metrology. *Measurement Science and Technology*. 1997-09-01, vol. 8, issue 9, s. 955-972. DOI: 10.1088/0957-0233/8/9/002. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/09570233/8/i=9/a=002?-key=crossref.e708d5fd86e839c1a130fcfc3f9867>

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1.1 Jeden z prvních přístrojů Taylor Hobson Talysurf [6]	16
Obrázek 3.1 Prvek profilu	18
Obrázek 3.2 3D model vzorku 3,2 - 258	19
Obrázek 3.1.1 Největší výška výstupku profilu	19
Obrázek 3.1.2 Největší hloubka prohlubně profilu	20
Obrázek 3.1.3 Největší výška profilu.....	20
Obrázek 3.1.4 Průměrná výška prvků profilu	21
Obrázek 3.1.5 Celková výška profilu.....	21
Obrázek 3.2.1 Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu	22
Obrázek 3.2.2 Průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu	22
Obrázek 3.3.1 Průměrná šířka prvků profilu	23
Obrázek 4.1 Taylor Hobson Talysurf CCI Lite	26
Obrázek 4.2 Princip měření (měření uprostřed vzorku, měření vpravo s podložením)	27
Obrázek 4.3 Taylor Hobson Surtronic 25.....	27
Obrázek 4.4 Snímač opřený opěrkou o povrch [7].....	28
Obrázek 5.1 Vzorkovnice drsnosti povrchu.....	29
Obrázek 6.1 Princip měření 5 μm a 2 μm hrotem	32
Obrázek 6.1.1 Vzorek 0,05 - 341	33
Obrázek 6.1.2 vlevo – model povrchu, vpravo – model po vyrovnání.....	33
Obrázek 6.1.3 vlevo - 3D model povrchu, vpravo – 3D model po odstranění tvaru .	33
Obrázek 6.1.4 Charakteristický základní profil vzorku	34
Obrázek 6.1.5 Charakteristický hromadný graf základních profilů	34
Obrázek 6.1.6 Charakteristický profil vzorku.....	35
Obrázek 6.2.1 3D model vzorku 0,2 – 299	38
Obrázek 6.2.2 Fotografie vzorku 0,2 - 299	38
Obrázek 6.2.3 Charakteristický profil vzorku 0,2 - 299 - CCI	38
Obrázek 6.2.4 Charakteristický profil vzorku 0,2 - 299 – S25	39
Obrázek 6.3.1 3D model vzorku 0,8 – 467	40
Obrázek 6.3.2 Fotografie vzorku 0,8 - 467	40
Obrázek 6.3.3 Charakteristický profil vzorku 0,8 - 467 – CCI	40
Obrázek 6.3.4 Charakteristický profil vzorku 0,8 - 467 – S25	41
Obrázek 6.4.1 3D model vzorku 1,6 – 248	42
Obrázek 6.4.2 Fotografie vzorku 1,6 – 248	42
Obrázek 6.4.3 Charakteristický profil vzorku 1,6 - 248 – CCI	42
Obrázek 6.4.4 Charakteristický profil vzorku 1,6 - 248 – S25	43
Obrázek 6.5.1 3D model vzorku 3,2 – 258	44
Obrázek 6.5.2 Fotografie vzorku 3,2 - 258	44
Obrázek 6.5.3 Charakteristický profil vzorku 3,2 - 258 – CCI	44
Obrázek 6.5.4 Charakteristický profil vzorku 3,2 - 258 – S25	45
Obrázek 6.6.1 3D model vzorku 6,3 – 377	46
Obrázek 6.6.2 Fotografie vzorku 6,3 - 377	46

Obrázek 6.6.3 Charakteristický profil vzorku 6,3 - 377 – CCI	46
Obrázek 6.6.4 Charakteristický profil vzorku 6,3 - 377 – S25	47
Obrázek 6.7.1 3D model vzorku 3,2 – 43	48
Obrázek 6.7.1 Fotografie vzorku 3,2 - 4,3	48
Obrázek 6.7.3 Charakteristický profil vzorku 3,2 – 43 – CCI	48
Obrázek 6.7.4 Charakteristický profil vzorku 3,2 – 43 – S25	49
Obrázek 6.8.1 3D model vzorku 3,2 – 287	50
Obrázek 6.8.2 Fotografie vzorku 3,2 – 287	50
Obrázek 6.8.3 3D model sešitého vzorku 3,2 - 287	50
Obrázek 6.8.4 Charakteristický profil vzorku 3,2 - 287 – CCI	51
Obrázek 6.8.5 Charakteristický profil vzorku 3,2 - 287 – S25	51
Obrázek 6.9.1 3D model vzorku 12,5 – 20	52
Obrázek 6.9.2 Fotografie vzorku 12,5 - 20	52
Obrázek 6.9.3 3D model sešitého vzorku 12,5 - 20	52
Obrázek 6.9.4 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 20 – CCI	53
Obrázek 6.9.5 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 20 – S25	53
Obrázek 6.10.1 3D model vzorku 12,5 – 124	54
Obrázek 6.10.2 Fotografie vzorku 12,5 - 124	54
Obrázek 6.10.3 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 124 – CCI	54
Obrázek 6.10.4 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 124 – S25	55
Obrázek 6.11.1 Fotografie vzorku 12,5 – 10	56
Obrázek 6.11.2 3D model vzorku 12,5 – 10	56
Obrázek 6.11.3 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 10 – CCI	57
Obrázek 6.11.4 Charakteristický profil vzorku 12,5 - 10 – S25	57
Obrázek 6.12.1 Fotografie vzorku 25 - 37	58
Obrázek 6.12.2 3D model vzorku 25 - 37	58
Obrázek 6.12.3 Charakteristický profil vzorku 25 - 37 – CCI	59
Obrázek 6.12.4 Charakteristický profil vzorku 25 - 37 – S25	59
 Tabulka 3.1 Parametry drsnosti (upraveno dle [3])	18
Tabulka 3.2 Pravidla pro výběr základní délky drsnosti (upraveno dle [4])	25
Tabulka 5.1 Přehled technologie výroby vzorků	30
Tabulka 6.1 Vztah mezi cut-off a poloměrem zaoblení špičky snímacího hrotu, upraveno dle [2]	32
Tabulka 6.1.1 Vyhodnocení parametrů drsnosti – střed vzorku 341 - CCI	35
Tabulka 6.1.2 Vyhodnocení parametrů drsnosti – střed vzorku 341 – S25	36
Tabulka 6.1.3 Výsledky měření vzorku 0,05 - 341	36
Tabulka 6.2.1 Výsledky měření vzorku 0,2 - 299	39
Tabulka 6.3.1 Výsledky měření vzorku 0,8 - 467	41
Tabulka 6.4.1 Výsledky měření vzorku 1,6 - 248	43
Tabulka 6.5.1 Výsledky měření vzorku 3,2 - 258	45
Tabulka 6.6.1 Výsledky měření vzorku 6,3 - 377	47

Tabulka 6.7.1 Výsledky měření vzorku 3,2 – 43	49
Tabulka 6.8.1 Výsledky měření vzorku 3,2 - 287	51
Tabulka 6.9.1 Výsledky měření vzorku 12,5 - 20	53
Tabulka 6.10.1 Výsledky měření vzorku 12,5 - 124	55
Tabulka 6.11.1 Výsledky měření vzorku 12,5 - 10	57
Tabulka 6.12.1 Výsledky měření vzorku 25 - 37	59
 Graf 7.1 Srovnání metod měření parametru Rq.....	 60

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Z_p	Výstupek profilu	[μm]
Z_v	Prohlubeň profilu	[μm]
Z_t	Výška prvku profilu	[μm]
l_r	základní délka (cut-off)	[mm]
l_n	vyhodnocovaná délka	[mm]
x_s	šířka prvku profilu	[mm]
R_p	Největší výška výstupku profilu	[μm]
R_v	Největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
R_z	Největší výška profilu	[μm]
R_c	Průměrná výška prvků profilu	[μm]
R_t	Celková výška profilu	[μm]
R_a	Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu	[μm]
R_q	Průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu	[μm]
R_{sk}	Šikmost posuzovaného profilu	[-]
R_{ku}	Špičatost posuzovaného profilu	[-]
R_{Sm}	Průměrná šířka prvků profilu	[mm]
r_{tip}	poloměr zaoblení špičky snímacího hrotu	[μm]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – Zpracovaná měření

Příloha A - Zpracovaná měření

Vzorek 0,05 – 341

<i>levá</i>	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,25</i>			
parametr	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	0,666	0,158	0,292	1,251	0,136	0,008	0,124	0,152
<i>Rv [μm]</i>	0,757	0,164	0,415	1,362	0,306	0,077	0,191	0,413
<i>Rz [μm]</i>	1,423	0,228	0,847	2,238	0,442	0,081	0,318	0,556
<i>Rc [μm]</i>	0,466	0,099	0,269	1,250	0,145	0,018	0,121	0,167
<i>Rt [μm]</i>	1,502	0,246	0,912	2,371	0,599	0,137	0,380	0,860
<i>Ra [μm]</i>	0,117	0,009	0,090	0,157	0,045	0,004	0,039	0,051
<i>Rq [μm]</i>	0,159	0,012	0,123	0,203	0,065	0,008	0,055	0,079
<i>Rsk</i>	-0,480	0,422	-2,315	1,062	-1,192	0,443	-1,890	-0,555
<i>Rku</i>	6,159	1,641	3,281	16,057	7,228	2,125	3,810	10,900
<i>Rsm [mm]</i>	0,016	0,003	0,012	0,032	0,016	0,002	0,013	0,021

<i>střed</i>	<i>bezkontaktní - 0,25</i>				<i>kontaktní - 0,25</i>			
parametr	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	0,405	0,069	0,237	0,630	0,138	0,026	0,130	0,207
<i>Rv [μm]</i>	0,514	0,075	0,339	0,982	0,337	0,156	0,257	0,773
<i>Rz [μm]</i>	0,919	0,103	0,605	1,402	0,475	0,177	0,394	0,980
<i>Rc [μm]</i>	0,323	0,030	0,252	0,453	0,167	0,060	0,150	0,340
<i>Rt [μm]</i>	1,397	0,258	0,824	2,977	0,601	0,179	0,530	1,060
<i>Ra [μm]</i>	0,098	0,008	0,079	0,131	0,049	0,017	0,043	0,098
<i>Rq [μm]</i>	0,133	0,010	0,108	0,187	0,069	0,025	0,062	0,142
<i>Rsk</i>	-0,646	0,320	-2,170	0,513	-1,159	0,389	-2,040	-0,718
<i>Rku</i>	5,977	1,400	3,476	14,134	6,236	1,870	4,370	9,500
<i>Rsm [mm]</i>	0,014	0,001	0,011	0,020	0,014	0,002	0,014	0,020

<i>pravá</i>	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,25</i>			
parametr	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	0,621	0,204	0,271	2,677	0,135	0,019	0,128	0,190
<i>Rv [μm]</i>	0,777	0,248	0,348	2,111	0,248	0,077	0,190	0,450
<i>Rz [μm]</i>	1,398	0,355	0,724	4,465	0,383	0,091	0,318	0,640
<i>Rc [μm]</i>	0,383	0,072	0,219	0,785	0,134	0,040	0,115	0,237
<i>Rt [μm]</i>	1,420	0,355	0,724	4,465	0,561	0,134	0,450	0,830
<i>Ra [μm]</i>	0,110	0,019	0,077	0,151	0,042	0,010	0,035	0,068
<i>Rq [μm]</i>	0,154	0,028	0,102	0,290	0,058	0,015	0,048	0,098
<i>Rsk</i>	-0,871	0,692	-4,477	0,967	-0,719	0,312	-1,270	-0,371
<i>Rku</i>	7,537	4,322	3,483	50,783	5,250	1,234	3,560	7,740
<i>Rsm [mm]</i>	0,016	0,003	0,012	0,033	0,015	0,003	0,013	0,021

Vzorek 0,2 – 299

levá parametr	bezkontaktní - 0,8				kontaktní - 0,8			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	0,801	0,178	0,401	1,493	0,568	0,063	0,500	0,696
Rv [μm]	1,034	0,217	0,656	2,462	0,965	0,101	0,836	1,150
Rz [μm]	1,835	0,297	1,160	3,238	1,533	0,089	1,360	1,670
Rc [μm]	0,649	0,124	0,411	1,321	0,513	0,035	0,455	0,571
Rt [μm]	1,876	0,310	1,209	4,262	1,931	0,120	1,750	2,100
Ra [μm]	0,208	0,023	0,153	0,333	0,209	0,015	0,184	0,234
Rq [μm]	0,267	0,028	0,199	0,429	0,264	0,018	0,233	0,292
Rsk	-0,568	0,339	-2,310	0,485	-0,455	0,245	-0,734	0,012
Rku	4,048	1,243	2,139	15,316	3,403	0,362	2,700	3,920
Rsm [mm]	0,020	0,020	0,014	0,040	0,036	0,005	0,030	0,046

střed parametr	bezkontaktní - 0,8				kontaktní - 0,8			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	0,751	0,256	0,404	4,329	0,442	0,069	0,351	0,543
Rv [μm]	1,011	0,348	0,539	3,990	0,804	0,088	0,653	0,949
Rz [μm]	1,762	0,485	1,020	7,934	1,248	0,140	1,010	1,490
Rc [μm]	0,566	0,088	0,348	1,118	0,487	0,046	0,415	0,557
Rt [μm]	1,802	0,485	1,096	7,934	1,677	0,320	1,280	2,330
Ra [μm]	0,191	0,025	0,139	0,321	0,173	0,032	0,135	0,219
Rq [μm]	0,246	0,034	0,176	0,410	0,223	0,038	0,178	0,278
Rsk	-0,654	0,519	-5,379	0,220	-0,753	0,234	-1,280	-0,418
Rku	4,686	4,697	2,388	55,170	4,212	0,949	3,440	6,540
Rsm [mm]	0,020	0,004	0,013	0,050	0,058	0,007	0,043	0,066

pravá parametr	bezkontaktní - 0,8				kontaktní - 0,8			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	0,726	0,203	0,342	2,039	0,628	0,112	0,406	0,790
Rv [μm]	1,400	0,439	0,595	2,837	0,924	0,096	0,832	1,120
Rz [μm]	2,126	0,502	1,072	3,709	1,554	0,184	1,240	1,850
Rc [μm]	0,591	0,114	0,351	1,122	0,540	0,054	0,444	0,604
Rt [μm]	2,152	0,492	1,163	3,709	2,046	0,266	1,830	2,620
Ra [μm]	0,188	0,024	0,142	0,267	0,234	0,031	0,174	0,272
Rq [μm]	0,258	0,035	0,185	0,367	0,289	0,036	0,224	0,338
Rsk	-1,477	0,826	-4,878	0,197	-0,277	0,316	-0,970	0,008
Rku	8,724	6,232	3,171	40,947	2,965	0,628	2,350	4,470
Rsm [mm]	0,020	0,004	0,013	0,038	0,043	0,010	0,030	0,054

Vzorek 0,8 – 467

<i>levá</i> parametr	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	2,274	0,667	1,422	10,136	1,362	0,179	1,090	1,630
<i>Rv [μm]</i>	3,503	0,427	2,508	4,738	2,651	0,414	1,900	3,230
<i>Rz [μm]</i>	5,777	0,715	4,658	13,718	4,013	0,554	3,160	4,860
<i>Rc [μm]</i>	2,257	0,297	1,212	3,525	1,680	0,131	1,500	1,880
<i>Rt [μm]</i>	5,902	0,716	4,777	13,718	5,301	0,668	4,560	6,510
<i>Ra [μm]</i>	0,916	0,063	0,773	1,091	0,646	0,058	0,586	0,746
<i>Rq [μm]</i>	1,138	0,080	0,952	1,587	0,805	0,077	0,702	0,933
<i>Rsk</i>	-0,633	0,317	-1,200	1,810	-0,689	0,184	-1,000	-0,368
<i>Rku</i>	3,004	0,844	2,142	14,698	3,274	0,365	2,420	3,650
<i>Rsm [mm]</i>	0,042	0,007	0,024	0,070	0,064	0,009	0,050	0,074

<i>střed</i> parametr	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	1,652	0,295	1,006	2,805	1,489	0,172	1,180	1,720
<i>Rv [μm]</i>	3,791	0,631	1,939	5,894	3,080	0,372	2,480	3,610
<i>Rz [μm]</i>	5,442	0,627	3,632	7,572	4,567	0,444	3,810	5,250
<i>Rc [μm]</i>	2,037	0,524	1,067	4,433	1,839	0,236	1,470	2,190
<i>Rt [μm]</i>	5,456	0,613	3,688	7,572	5,415	0,719	4,280	6,460
<i>Ra [μm]</i>	0,858	0,134	0,614	1,100	0,738	0,084	0,595	0,888
<i>Rq [μm]</i>	1,084	0,142	0,789	1,338	0,924	0,091	0,768	1,100
<i>Rsk</i>	-1,001	0,490	-1,980	0,365	-0,832	0,232	-1,400	-0,563
<i>Rku</i>	4,060	1,386	1,917	8,025	3,552	0,804	2,960	5,690
<i>Rsm [mm]</i>	0,046	0,017	18961,000	0,136	0,071	0,013	0,051	0,090

<i>pravá</i> parametr	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	1,559	0,229	1,099	2,714	1,348	0,138	1,130	1,550
<i>Rv [μm]</i>	3,528	0,508	1,390	4,648	3,025	0,309	2,650	3,580
<i>Rz [μm]</i>	5,087	0,538	2,759	6,377	4,374	0,346	3,980	5,140
<i>Rc [μm]</i>	1,896	0,327	1,114	2,676	1,731	0,156	1,520	2,050
<i>Rt [μm]</i>	5,098	0,542	2,759	6,377	5,720	0,485	5,200	6,700
<i>Ra [μm]</i>	0,847	0,094	0,619	0,976	0,674	0,053	0,611	0,772
<i>Rq [μm]</i>	1,050	0,112	0,711	1,213	0,853	0,061	0,790	0,978
<i>Rsk</i>	-0,949	0,263	-1,482	-0,084	-0,866	0,191	-1,180	-0,618
<i>Rku</i>	3,468	0,914	1,792	6,388	3,719	0,550	2,830	4,540
<i>Rsm [mm]</i>	0,040	0,009	0,022	0,067	0,074	0,019	0,050	0,097

Vzorek 1,6 – 248

levá parametr	bezkontaktní - 0,25				kontaktní - 0,25			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	4,628	0,148	4,338	5,423	4,726	0,401	3,960	5,190
Rv [μm]	2,765	0,068	2,638	3,098	2,724	0,046	2,650	2,830
Rz [μm]	7,393	0,180	7,062	8,460	7,450	0,410	6,680	7,950
Rc [μm]	4,691	0,405	3,508	6,133	5,626	0,598	4,540	6,380
Rt [μm]	8,033	0,305	7,473	9,979	8,177	0,301	7,760	8,630
Ra [μm]	1,324	0,015	1,281	1,412	1,379	0,045	1,290	1,460
Rq [μm]	1,807	0,022	1,767	1,984	1,833	0,057	1,770	1,950
Rsk	0,932	0,040	0,837	1,089	0,792	0,133	0,505	0,931
Rku	3,392	0,121	3,145	3,839	3,117	0,307	2,550	3,560
Rsm [mm]	0,071	0,007	0,053	0,097	0,098	0,012	0,078	0,112

střed parametr	bezkontaktní - 0,25				kontaktní - 0,25			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	4,311	0,108	4,082	4,651	4,229	0,383	3,540	4,780
Rv [μm]	2,778	0,147	2,549	3,991	2,778	0,071	2,670	2,940
Rz [μm]	7,089	0,182	6,748	8,293	7,010	0,400	6,350	7,580
Rc [μm]	4,726	0,421	3,506	6,263	5,917	0,729	4,490	6,910
Rt [μm]	7,872	0,548	7,298	13,244	7,585	0,304	7,090	8,150
Ra [μm]	1,296	0,022	1,230	1,371	1,374	0,033	1,320	1,420
Rq [μm]	1,741	0,026	1,656	1,852	1,804	0,055	1,713	1,860
Rsk	0,799	0,067	0,250	0,975	0,670	0,131	0,416	0,808
Rku	3,172	0,110	2,899	3,826	2,842	0,235	2,400	3,180
Rsm [mm]	0,079	0,008	0,055	0,106	0,108	0,014	0,088	0,130

pravá parametr	bezkontaktní - 0,25				kontaktní - 0,25			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	3,907	0,112	3,704	4,362	4,582	0,169	4,800	5,350
Rv [μm]	2,816	0,071	2,636	3,169	2,520	0,050	2,730	2,870
Rz [μm]	6,723	0,129	6,452	7,244	7,101	0,173	7,560	8,090
Rc [μm]	4,298	0,409	3,088	5,925	5,610	0,556	5,070	7,000
Rt [μm]	7,473	0,276	6,819	9,041	7,514	0,295	7,820	8,890
Ra [μm]	1,326	0,015	1,289	1,380	1,289	0,020	1,410	1,470
Rq [μm]	1,743	0,021	1,701	1,863	1,725	0,024	1,890	1,960
Rsk	0,688	0,041	0,590	0,816	0,789	0,037	0,832	0,953
Rku	2,797	0,072	2,656	3,054	2,948	0,106	3,150	3,510
Rsm [mm]	0,074	0,008	0,053	0,103	0,092	0,009	0,083	0,110

Vzorek 3,2 – 258

<i>levá</i> parametr	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	6,028	0,213	5,394	6,859	5,244	0,085	5,070	5,350
<i>Rv [μm]</i>	5,482	0,380	4,900	7,351	4,324	0,080	4,160	4,490
<i>Rz [μm]</i>	11,510	0,381	10,537	13,137	9,569	0,123	9,340	9,740
<i>Rc [μm]</i>	9,820	1,317	4,842	11,638	8,665	0,272	8,240	8,980
<i>Rt [μm]</i>	11,510	0,381	10,537	13,137	10,180	0,246	9,840	10,700
<i>Ra [μm]</i>	2,475	0,042	2,290	2,581	2,050	0,037	2,010	2,100
<i>Rq [μm]</i>	2,876	0,067	2,610	3,014	2,408	0,036	2,360	2,460
<i>Rsk</i>	0,004	0,083	-0,331	0,138	0,213	0,072	0,108	0,314
<i>Rku</i>	1,999	0,081	1,666	2,150	2,190	0,039	2,130	2,250
<i>Rsm [mm]</i>	0,214	0,031	0,105	0,236	0,237	0,009	0,222	0,245

<i>střed</i> parametr	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	5,753	0,239	5,285	6,684	5,480	0,210	5,220	5,820
<i>Rv [μm]</i>	5,152	0,296	4,735	8,049	4,678	0,082	4,590	4,860
<i>Rz [μm]</i>	10,905	0,431	10,286	13,690	10,155	0,202	9,870	10,400
<i>Rc [μm]</i>	9,808	0,975	6,401	11,954	9,351	0,241	9,070	9,780
<i>Rt [μm]</i>	10,905	0,431	1,286	13,690	10,880	0,434	10,400	11,800
<i>Ra [μm]</i>	2,488	0,034	2,364	2,620	2,376	0,033	2,310	2,410
<i>Rq [μm]</i>	2,883	0,048	2,770	3,038	2,740	0,053	2,640	2,790
<i>Rsk</i>	0,053	0,084	-0,134	0,269	0,136	0,056	0,053	0,203
<i>Rku</i>	1,950	0,075	1,780	2,279	1,939	0,058	1,850	2,020
<i>Rsm [mm]</i>	0,222	0,023	0,140	0,237	0,242	0,005	0,232	0,246

<i>pravá</i> parametr	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	6,361	0,174	6,034	7,290	5,489	0,171	5,220	5,750
<i>Rv [μm]</i>	4,615	0,294	4,285	6,304	4,357	0,133	4,200	4,560
<i>Rz [μm]</i>	10,975	0,366	10,467	12,658	9,851	0,297	9,430	10,300
<i>Rc [μm]</i>	10,585	0,635	6,113	11,628	9,053	0,399	8,560	9,570
<i>Rt [μm]</i>	11,083	0,546	10,528	14,685	10,331	0,411	9,680	10,800
<i>Ra [μm]</i>	2,409	0,027	2,336	2,487	2,148	0,075	2,080	2,250
<i>Rq [μm]</i>	2,796	0,032	2,722	2,892	2,511	0,080	2,440	2,620
<i>Rsk</i>	0,471	0,033	0,337	0,541	0,241	0,029	0,190	0,272
<i>Rku</i>	2,267	0,054	2,084	2,412	2,173	0,031	2,120	2,210
<i>Rsm [mm]</i>	0,229	0,018	0,118	0,238	0,241	0,007	0,230	0,246

Vzorek 6,3 – 377

levá parametr	bezkontaktní - 0,8				kontaktní - 0,8			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	13,067	0,201	12,607	14,654	11,520	0,244	11,300	12,100
Rv [μm]	7,676	0,288	7,219	9,811	7,254	0,181	7,040	7,530
Rz [μm]	20,743	0,413	19,950	23,626	18,790	0,325	18,400	19,300
Rc [μm]	20,046	0,726	13,631	21,887	17,830	0,306	17,500	18,400
Rt [μm]	20,905	0,337	20,316	23,626	19,360	0,412	18,700	19,800
Ra [μm]	4,772	0,063	4,641	4,928	4,446	0,034	4,380	4,490
Rq [μm]	5,752	0,061	5,639	5,946	5,317	0,040	5,240	5,370
Rsk	0,695	0,032	0,617	0,772	0,578	0,054	0,475	0,665
Rku	2,327	0,043	2,215	2,467	2,251	0,057	2,170	2,380
Rsm [mm]	0,216	0,010	0,143	0,222	0,226	0,001	0,223	0,228

střed parametr	bezkontaktní - 0,8				kontaktní - 0,8			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	12,188	0,448	11,127	15,714	11,050	0,299	10,500	11,400
Rv [μm]	8,065	0,320	7,382	9,495	7,064	0,275	6,630	7,420
Rz [μm]	20,253	0,635	18,677	24,389	18,100	0,383	17,600	18,700
Rc [μm]	18,683	0,672	13,223	20,765	17,220	0,349	16,800	17,800
Rt [μm]	20,266	0,623	18,677	24,389	18,960	0,763	18,400	20,800
Ra [μm]	4,689	0,096	4,403	4,909	4,357	0,084	4,210	4,490
Rq [μm]	5,538	0,129	5,149	5,913	5,196	0,089	5,030	5,320
Rsk	0,430	0,066	0,288	0,617	0,552	0,053	0,453	0,618
Rku	2,077	0,061	1,925	2,383	2,178	0,056	2,090	2,260
Rsm [mm]	0,214	0,007	0,160	0,218	0,228	0,002	0,225	0,230

pravá parametr	bezkontaktní - 0,8				kontaktní - 0,8			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	13,049	0,295	12,362	14,124	11,520	0,103	11,400	11,700
Rv [μm]	7,796	0,174	7,330	9,402	7,101	0,182	6,870	7,380
Rz [μm]	20,845	0,389	20,095	22,386	18,630	0,206	18,300	18,900
Rc [μm]	19,773	0,924	14,813	20,741	17,790	0,120	17,600	18,000
Rt [μm]	20,874	0,393	20,216	23,231	19,350	0,172	19,000	19,600
Ra [μm]	4,603	0,038	4,507	4,732	4,416	0,051	4,350	4,500
Rq [μm]	5,529	0,044	5,416	5,703	5,293	0,051	5,230	5,380
Rsk	0,426	0,025	0,361	0,501	0,600	0,053	0,506	0,650
Rku	2,309	0,056	2,158	2,430	2,266	0,048	2,180	2,330
Rsm [mm]	0,215	0,010	0,161	0,218	0,227	0,001	0,225	0,228

Vzorek 3,2 – 43

<i>levá</i> parametr	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	5,296	0,659	4,318	10,169	5,574	0,172	5,350	5,820
<i>Rv [μm]</i>	9,230	0,979	6,822	12,931	8,819	0,357	8,430	9,650
<i>Rz [μm]</i>	14,526	1,167	12,192	19,954	14,410	0,401	14,000	15,400
<i>Rc [μm]</i>	12,421	1,946	6,565	18,366	10,530	1,069	8,570	12,300
<i>Rt [μm]</i>	14,549	1,170	12,197	19,954	16,500	0,503	15,600	17,200
<i>Ra [μm]</i>	3,466	0,175	2,986	4,038	3,319	0,145	3,070	3,520
<i>Rq [μm]</i>	3,928	0,167	3,452	4,400	3,882	0,123	3,660	4,040
<i>Rsk</i>	-0,406	0,157	-0,787	-0,063	-0,502	0,093	-0,657	-0,366
<i>Rku</i>	2,054	0,259	1,552	3,065	2,223	0,141	1,990	2,420
<i>Rsm [mm]</i>	0,215	0,078	0,069	0,326	0,234	0,031	0,184	0,279

<i>střed</i> parametr	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	5,719	0,539	4,917	10,172	5,391	0,179	5,130	5,650
<i>Rv [μm]</i>	9,655	0,961	7,794	14,380	8,594	0,301	8,260	9,190
<i>Rz [μm]</i>	15,373	1,102	13,239	20,135	13,970	0,362	13,700	14,700
<i>Rc [μm]</i>	12,651	2,661	5,273	19,047	11,130	1,170	9,130	12,500
<i>Rt [μm]</i>	15,376	1,103	13,239	20,135	15,400	0,653	14,300	16,300
<i>Ra [μm]</i>	3,542	0,332	2,801	4,514	3,223	0,136	2,970	3,390
<i>Rq [μm]</i>	4,037	0,285	3,349	4,939	3,738	0,118	3,510	3,890
<i>Rsk</i>	-0,480	0,134	-0,853	-0,173	-0,472	0,100	-0,583	-0,325
<i>Rku</i>	2,157	0,299	1,449	3,187	2,185	0,149	1,990	2,380
<i>Rsm [mm]</i>	0,239	0,077	0,071	0,339	0,267	0,032	0,214	0,310

<i>pravá</i> parametr	<i>bezkontaktní - 0,8</i>				<i>kontaktní - 0,8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	7,318	0,689	6,096	13,331	4,863	0,287	4,470	5,250
<i>Rv [μm]</i>	10,433	1,345	7,820	14,678	8,549	0,422	7,720	9,260
<i>Rz [μm]</i>	17,751	1,686	14,284	25,501	13,430	0,596	12,400	14,300
<i>Rc [μm]</i>	13,136	2,706	7,190	19,900	9,544	1,424	7,790	11,400
<i>Rt [μm]</i>	17,752	1,686	14,284	25,501	14,910	0,679	14,000	16,500
<i>Ra [μm]</i>	4,373	0,355	3,592	5,352	3,145	0,174	2,900	3,340
<i>Rq [μm]</i>	5,026	0,363	4,276	5,951	3,650	0,157	3,460	3,870
<i>Rsk</i>	-0,333	0,124	-0,810	0,016	-0,551	0,141	-0,784	-0,343
<i>Rku</i>	1,844	0,176	1,502	2,582	2,235	0,205	1,980	2,620
<i>Rsm [mm]</i>	0,230	0,060	0,115	0,323	0,223	0,041	0,166	0,284

Vzorek 3,2 – 287

levá parametr	bezkontaktní - 2,5				kontaktní - 2,5			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	7,385	0,727	6,385	11,054	9,539	0,373	8,820	10,100
Rv [μm]	6,331	0,660	4,909	10,351	8,473	0,647	7,690	9,950
Rz [μm]	13,716	1,106	11,605	19,183	18,010	0,762	16,800	19,400
Rc [μm]	6,690	0,746	4,923	8,967	14,280	2,371	10,300	17,600
Rt [μm]	16,635	2,753	12,609	31,320	19,010	0,948	17,900	20,700
Ra [μm]	2,366	0,154	2,041	2,660	4,405	0,146	4,250	4,710
Rq [μm]	2,874	0,166	2,515	3,204	4,988	0,148	4,830	5,310
Rsk	0,622	0,888	0,216	0,808	0,285	0,166	-0,036	0,452
Rku	2,614	0,270	2,269	4,379	1,739	0,058	1,630	1,850
Rsm [mm]	0,439	0,093	0,207	0,757	1,037	0,203	0,718	1,360

střed parametr	bezkontaktní - 2,5				kontaktní - 2,5			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	7,458	0,643	6,157	11,355	9,212	0,631	8,210	10,300
Rv [μm]	5,775	0,494	4,585	7,804	8,896	0,645	8,040	10,200
Rz [μm]	13,233	0,887	11,526	18,724	18,100	0,616	17,200	19,000
Rc [μm]	7,761	0,977	5,597	10,740	13,592	3,097	9,720	18,100
Rt [μm]	16,025	1,754	12,984	30,537	19,070	0,974	18,000	20,600
Ra [μm]	2,432	0,098	2,137	2,752	4,392	0,273	3,920	4,800
Rq [μm]	2,884	0,108	2,570	3,265	4,994	0,275	4,500	5,380
Rsk	0,529	0,080	0,155	0,805	0,189	0,226	-0,184	0,451
Rku	2,378	0,147	2,100	2,961	1,742	0,069	1,640	1,830
Rsm [mm]	0,633	0,132	0,357	1,061	0,891	0,270	0,471	1,330

pravá parametr	bezkontaktní- 2,5				kontaktní - 2,5			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	18,511	0,971	16,652	22,344	9,551	0,669	8,400	10,400
Rv [μm]	13,417	0,438	12,524	16,796	8,727	0,706	7,620	9,710
Rz [μm]	31,927	1,194	29,941	39,094	18,280	1,002	16,500	19,500
Rc [μm]	22,472	1,819	16,757	27,526	14,204	3,140	9,840	18,200
Rt [μm]	35,545	2,267	32,465	48,842	19,360	0,991	17,300	20,700
Ra [μm]	6,340	0,125	6,051	6,606	4,549	0,265	4,080	4,960
Rq [μm]	7,572	0,123	7,295	7,846	5,160	0,293	4,650	5,540
Rsk	0,159	0,074	0,007	0,376	0,258	0,148	0,020	0,414
Rku	2,298	0,121	2,072	2,729	1,730	0,076	1,630	1,880
Rsm [mm]	0,711	0,111	0,448	1,065	0,993	0,288	0,636	1,400

Vzorek 12,5 – 20

<i>levá</i> parametr	<i>bezkontaktní -2,5</i>				<i>kontaktní - 2,5</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	23,849	0,221	23,310	25,045	20,720	0,230	20,400	21,000
<i>Rv [μm]</i>	12,694	0,414	12,096	14,231	12,480	0,612	12,000	13,900
<i>Rz [μm]</i>	36,543	0,493	35,521	38,747	33,190	0,719	32,500	34,800
<i>Rc [μm]</i>	33,944	0,962	30,519	35,248	31,610	0,919	29,200	32,500
<i>Rt [μm]</i>	38,017	1,282	36,101	46,792	33,710	1,014	32,900	35,500
<i>Ra [μm]</i>	8,204	0,069	8,046	8,392	8,092	0,118	7,880	8,210
<i>Rq [μm]</i>	9,842	0,053	9,724	9,990	9,490	0,111	9,290	9,630
<i>Rsk</i>	0,775	0,024	0,717	0,824	0,572	0,034	0,522	0,622
<i>Rku</i>	2,426	0,041	2,318	2,514	2,072	0,056	1,990	2,150
<i>Rsm [mm]</i>	0,485	0,015	0,433	0,504	0,506	0,016	0,460	0,514

<i>střed</i> parametr	<i>bezkontaktní - 2,5</i>				<i>kontaktní - 2,5</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	22,259	0,276	21,678	23,323	19,740	0,395	19,300	20,300
<i>Rv [μm]</i>	12,799	0,427	12,260	15,256	11,900	0,394	11,100	12,400
<i>Rz [μm]</i>	35,059	0,607	34,265	37,888	31,630	0,442	31,100	32,700
<i>Rc [μm]</i>	32,472	1,045	28,146	34,557	28,850	0,898	27,400	29,800
<i>Rt [μm]</i>	36,684	1,414	35,144	47,864	32,460	0,636	31,400	33,300
<i>Ra [μm]</i>	8,172	0,052	8,030	8,296	7,559	0,105	7,350	7,700
<i>Rq [μm]</i>	9,778	0,475	9,670	9,946	8,891	0,105	8,690	9,040
<i>Rsk</i>	0,737	0,016	0,697	0,768	0,688	0,026	0,652	0,743
<i>Rku</i>	2,346	0,039	2,262	2,433	2,224	0,058	2,130	2,310
<i>Rsm [mm]</i>	0,485	0,018	0,408	0,504	0,491	0,025	0,460	0,520

<i>pravá</i> parametr	<i>bezkontaktní 2,5</i>				<i>kontaktní - 2,5</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	23,562	0,343	22,729	24,605	19,940	0,353	19,400	20,700
<i>Rv [μm]</i>	12,715	0,346	12,149	15,149	12,370	0,250	11,800	12,600
<i>Rz [μm]</i>	36,276	0,463	35,504	39,356	32,330	0,467	31,500	33,000
<i>Rc [μm]</i>	33,597	0,919	28,630	34,922	28,920	3,007	21,100	31,000
<i>Rt [μm]</i>	38,584	1,214	36,502	44,346	32,950	0,725	31,900	34,400
<i>Ra [μm]</i>	8,177	0,052	8,075	8,349	7,812	0,172	7,500	8,030
<i>Rq [μm]</i>	9,808	0,046	9,712	10,012	9,189	0,151	8,930	9,350
<i>Rsk</i>	0,776	0,030	0,725	0,843	0,559	0,032	0,517	0,618
<i>Rku</i>	2,427	0,050	2,338	2,535	2,077	0,071	1,990	2,240
<i>Rsm [mm]</i>	0,488	0,016	0,411	0,510	0,480	0,050	0,352	0,512

Vzorek 12,5 – 124

levá parametr	bezkontaktní - 0,8				kontaktní - 0,8			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	21,267	1,146	18,635	24,906	12,780	0,269	13,700	14,600
Rv [μm]	14,733	1,309	12,583	21,786	12,300	0,397	13,200	14,400
Rz [μm]	36,000	1,614	32,458	45,594	25,070	0,321	27,300	28,300
Rc [μm]	25,340	7,221	9,558	45,594	18,060	3,337	15,900	25,300
Rt [μm]	36,017	1,607	32,458	45,594	26,450	0,428	28,700	29,900
Ra [μm]	7,341	0,325	6,403	8,359	6,036	0,151	6,550	7,060
Rq [μm]	8,986	0,381	8,115	10,411	7,254	0,126	7,940	8,360
Rsk	0,266	0,079	0,085	0,456	0,123	0,070	0,025	0,239
Rku	2,313	0,132	2,004	2,843	1,763	0,043	1,900	2,020
Rsm [mm]	0,256	0,100	0,090	0,507	0,288	0,061	0,249	0,422

střed parametr	bezkontaktní - 0,8				kontaktní - 0,8			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	18,079	0,846	16,703	25,361	13,940	0,272	13,600	14,400
Rv [μm]	15,096	1,284	12,526	21,410	13,760	0,427	13,300	14,500
Rz [μm]	33,175	1,586	30,745	42,320	27,720	0,308	27,400	28,300
Rc [μm]	19,443	6,146	9,394	38,090	18,590	1,662	14,900	20,200
Rt [μm]	33,269	1,620	30,775	42,320	29,170	0,492	28,400	30,000
Ra [μm]	8,039	0,274	7,312	8,738	6,598	0,123	6,330	6,770
Rq [μm]	9,688	0,280	8,953	10,615	7,952	0,123	7,660	8,050
Rsk	0,431	0,080	0,252	0,731	0,097	0,101	-0,042	0,255
Rku	1,990	0,101	1,799	2,404	1,974	0,041	1,910	2,040
Rsm [mm]	0,248	0,107	0,101	0,512	0,276	0,037	0,228	0,334

pravá parametr	bezkontaktní - 0,8				kontaktní - 0,8			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	18,222	0,834	17,038	22,861	14,150	0,314	13,800	14,800
Rv [μm]	13,821	1,164	11,458	20,353	13,140	0,417	12,400	14,000
Rz [μm]	32,044	1,618	29,008	40,779	27,310	0,360	27,000	27,900
Rc [μm]	24,846	7,504	9,180	39,542	21,100	2,817	17,300	26,600
Rt [μm]	32,084	1,623	29,008	40,779	28,900	0,744	27,800	29,800
Ra [μm]	8,141	0,225	7,502	8,635	6,313	0,221	5,870	6,610
Rq [μm]	9,632	0,239	9,013	10,464	7,612	0,244	7,210	7,970
Rsk	0,496	0,061	0,341	0,730	0,252	0,089	0,144	0,417
Rku	1,946	0,093	1,778	2,279	2,072	0,105	1,960	2,270
Rsm [mm]	0,336	0,121	0,081	0,483	0,348	0,059	0,281	0,467

Vzorek 12,5 – 10

<i>levá</i> parametr	<i>bezkontaktní - 8</i>				<i>kontaktní - 8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	35,765	0,491	34,091	37,013	36,060	0,863	34,400	37,100
<i>Rv [μm]</i>	17,654	0,599	16,534	20,700	29,430	0,343	28,700	29,900
<i>Rz [μm]</i>	53,419	0,830	51,422	56,297	65,520	1,041	63,800	67,000
<i>Rc [μm]</i>	45,655	4,699	28,652	54,748	62,640	1,215	60,700	64,200
<i>Rt [μm]</i>	54,362	0,751	52,711	57,408	66,810	0,905	65,600	68,200
<i>Ra [μm]</i>	12,339	0,132	12,059	12,604	17,940	0,350	17,400	18,500
<i>Rq [μm]</i>	14,530	0,141	14,224	14,792	20,370	0,356	19,800	20,900
<i>Rsk</i>	0,805	0,013	0,716	0,854	0,019	0,037	-0,066	0,065
<i>Rku</i>	2,426	0,024	2,340	2,508	1,644	0,023	1,610	1,670
<i>Rsm [mm]</i>	2,712	0,309	1,604	3,208	3,146	0,005	3,140	3,150

<i>střed</i> parametr	<i>bezkontaktní - 8</i>				<i>kontaktní - 8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	37,786	0,420	36,305	39,533	48,040	0,357	47,500	48,700
<i>Rv [μm]</i>	19,285	0,902	18,093	24,232	40,870	0,823	39,800	42,400
<i>Rz [μm]</i>	57,071	0,989	54,539	61,911	88,910	0,929	88,000	90,800
<i>Rc [μm]</i>	54,897	3,812	29,871	58,117	87,970	0,915	86,300	89,200
<i>Rt [μm]</i>	57,190	1,027	54,712	61,911	89,670	0,968	88,100	90,900
<i>Ra [μm]</i>	13,068	0,065	12,849	13,488	23,750	0,246	23,500	24,200
<i>Rq [μm]</i>	15,493	0,067	15,256	15,969	27,210	0,233	27,000	27,700
<i>Rsk</i>	0,850	0,009	0,770	0,912	0,292	0,026	0,259	0,332
<i>Rku</i>	2,430	0,018	2,313	2,544	1,725	0,020	1,690	1,750
<i>Rsm [mm]</i>	3,112	0,310	1,099	3,219	3,228	0,018	3,200	3,260

<i>pravá</i> parametr	<i>bezkontaktní - 8</i>				<i>kontaktní - 8</i>			
	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>ar. prům.</i>	<i>v. sm. od.</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Rp [μm]</i>	37,066	0,414	35,726	38,971	37,800	0,919	35,800	38,700
<i>Rv [μm]</i>	18,047	0,687	17,031	21,452	31,430	0,397	31,100	32,300
<i>Rz [μm]</i>	55,112	0,783	53,408	58,435	69,230	1,054	67,200	70,300
<i>Rc [μm]</i>	46,714	2,037	32,899	56,177	64,300	0,587	63,500	65,400
<i>Rt [μm]</i>	56,486	0,900	54,892	60,345	69,640	1,317	67,300	71,200
<i>Ra [μm]</i>	12,834	0,065	12,660	13,060	18,880	0,215	18,500	19,200
<i>Rq [μm]</i>	15,118	0,065	14,950	15,389	21,450	0,246	21,000	21,800
<i>Rsk</i>	0,792	0,012	0,760	0,819	0,028	0,018	0,002	0,050
<i>Rku</i>	2,432	0,026	2,376	2,492	1,657	0,009	1,640	1,670
<i>Rsm [mm]</i>	2,671	0,126	1,853	3,197	3,165	0,005	3,160	3,170

Vzorek 25 – 37

levá parametr	bezkontaktní - 2,5				kontaktní - 2,5			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	55,845	0,665	54,516	57,296	49,950	1,439	48,000	51,500
Rv [μm]	27,744	0,625	26,574	30,096	30,180	0,939	29,200	31,600
Rz [μm]	83,589	0,780	82,103	86,997	80,130	0,577	79,300	80,700
Rc [μm]	80,707	1,324	70,494	83,450	78,070	0,658	77,200	79,100
Rt [μm]	88,536	1,943	85,374	97,573	83,920	1,307	82,000	85,800
Ra [μm]	19,762	0,113	19,484	20,039	20,750	0,855	19,700	21,800
Rq [μm]	23,138	0,113	22,872	23,384	23,630	0,499	23,000	24,400
Rsk	0,736	0,020	0,690	0,769	0,443	0,099	0,310	0,554
Rku	2,363	0,043	2,273	2,449	1,939	0,201	1,710	2,180
Rsm [mm]	0,994	0,018	0,861	1,002	1,002	0,005	0,998	1,010

střed parametr	bezkontaktní - 2,5				kontaktní - 2,5			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	53,426	0,620	52,544	58,009	45,470	1,079	44,400	47,200
Rv [μm]	27,513	0,701	26,327	30,242	28,210	0,536	27,400	29,100
Rz [μm]	80,939	1,081	79,450	85,211	73,660	1,473	72,100	76,300
Rc [μm]	78,660	1,187	73,465	84,070	71,290	1,344	69,400	73,400
Rt [μm]	84,714	3,383	81,478	111,420	77,710	2,680	75,200	83,900
Ra [μm]	19,764	0,175	19,386	20,281	18,380	0,199	18,000	18,600
Rq [μm]	23,135	0,178	22,769	23,692	21,280	0,253	20,800	21,600
Rsk	0,727	0,022	0,676	0,769	0,450	0,037	0,393	0,496
Rku	2,308	0,037	2,219	2,379	2,010	0,030	1,960	2,070
Rsm [mm]	0,996	0,014	0,913	1,006	1,012	0,012	0,981	1,020

pravá parametr	bezkontaktní				kontaktní - 2,5			
	ar. prům.	v. sm. od.	min	max	ar. prům.	v. sm. od.	min	max
Rp [μm]	56,389	0,679	54,879	58,101	49,900	0,800	49,100	51,400
Rv [μm]	27,508	0,614	26,172	30,968	31,990	0,498	31,100	32,700
Rz [μm]	83,897	1,000	81,722	88,452	81,880	0,827	80,800	83,300
Rc [μm]	81,182	0,992	73,829	83,948	79,850	1,398	77,000	81,700
Rt [μm]	89,642	3,108	85,573	104,990	84,690	1,219	82,500	86,200
Ra [μm]	19,732	0,088	19,540	19,994	22,520	0,225	22,200	22,900
Rq [μm]	23,161	0,085	22,996	23,522	25,110	0,247	24,800	25,500
Rsk	0,747	0,013	0,717	0,780	0,369	0,047	0,291	0,428
Rku	2,405	0,029	2,344	2,475	1,718	0,025	1,680	1,750
Rsm [mm]	0,999	0,017	0,876	1,009	1,013	0,020	0,967	1,040