

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Snímání a hodnocení drsnosti povrchu kontaktním a bezkontaktním  
způsobem

Autor: **Bc. Tomáš FAIMAN**

Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk POSPĚCH, Ph.D.**

Akademický rok 2014/2015

# **Zadání diplomové práce**

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Zdeňku Pospěchovi Ph.D. za rady a připomínky při vypracování diplomové práce. Poděkování patří i panu Ing. Miroslavu Zetkovi Ph.D. a panu Ing. Janu Kutlwašerovi za praktické poznámky a spolupodílení se na měřící části diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat paní Ing. Ivaně Zetkové za poskytnuté rady ohledně zařízení InfinityFocus.

Poděkování patří mé rodině a blízkým za podporu při studiu.

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

|                      |  |                              |                                 |
|----------------------|--|------------------------------|---------------------------------|
| <b>AUTOR</b>         | Příjmení<br>Bc. Faiman   | Jméno<br>Tomáš               |                                 |
| <b>STUDIJNÍ OBOR</b> | 2303T004 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“               |                              |                                 |
| <b>VEDOUCÍ PRÁCE</b> | Příjmení (včetně titulů)<br>Ing. Pospěch, Ph.D.                          | Jméno<br>Zdeněk              |                                 |
| <b>PRACOVISŤE</b>    | ZČU - FST - KTO  |                              |                                 |
| <b>DRUH PRÁCE</b>    | <b>DIPLOMOVÁ</b>   | <del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del> | <b>Nehodící se<br/>škrtněte</b> |
| <b>NÁZEV PRÁCE</b>   | Snímání a hodnocení drsnosti povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem |                              |                                 |

|                |         |                |     |                    |      |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|
| <b>FAKULTA</b> | strojní | <b>KATEDRA</b> | KTO | <b>ROK ODEVZD.</b> | 2015 |
|----------------|---------|----------------|-----|--------------------|------|

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

|               |    |                     |    |                      |    |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|
| <b>CELKEM</b> | 96 | <b>TEXTOVÁ ČÁST</b> | 79 | <b>GRAFICKÁ ČÁST</b> | 17 |
|---------------|----|---------------------|----|----------------------|----|

|  |   |
|--|---|
| <b>STRUČNÝ POPIS<br/>(MAX 10 ŘÁDEK)</b><br><br><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL<br/>POZNATKY A PŘÍNOSY</b>           | <p>Diplomová práce je zaměřena na porovnání parametrů drsnosti povrchu mezi kontaktní a bezkontaktní metodou u vzorků s různým opracováním. Teoretická část obsahuje principy a popis uvedených metod a postupy pro měření drsnosti povrchu. Dále normy, základní termíny a definice, filtraci a hodnocení drsnosti povrchu. Teoretická část je zúročena v praktické části, která popisuje porovnání vybraných parametrů u jednotlivých vzorků.</p> |
| <b>KLÍČOVÁ SLOVA</b><br><br><b>ZPRAVIDLA<br/>JEDNOSLOVNÉ POJMY,<br/>KTERÉ VYSTIHUJÍ<br/>PODSTATU PRÁCE</b> | <p>Parametry, drsnost, filtr, profil, délky, povrch, dotyková metoda, bezdotyková metoda, vzorky, porovnání</p>   |

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

|                          |  |                       |                                   |
|--------------------------|--|-----------------------|-----------------------------------|
| <b>AUTHOR</b>            | <b>Surname</b><br>Bc. Faiman   | <b>Name</b><br>Tomáš  |                                   |
| <b>FIELD OF STUDY</b>    | 2303T004 “Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“                     |                       |                                   |
| <b>SUPERVISOR</b>        | <b>Surname (Inclusive of Degrees)</b><br>Ing. Pospěch, Ph.D.                         | <b>Name</b><br>Zdeněk |                                   |
| <b>INSTITUTION</b>       | ZČU - FST - KTO  |                       |                                   |
| <b>TYPE OF WORK</b>      | <b>DIPLOMA</b>   | <b>BACHELOR</b>       | <b>Delete when not applicable</b> |
| <b>TITLE OF THE WORK</b> | Scanning and evaluation of the surface roughness by contact and non - contact method |                       |                                   |

|                |                        |                   |                             |                     |      |
|----------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|------|
| <b>FACULTY</b> | Mechanical Engineering | <b>DEPARTMENT</b> | Technology of Metal Cutting | <b>SUBMITTED IN</b> | 2015 |
|----------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|------|

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

|                |    |                  |    |                       |    |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|
| <b>TOTALLY</b> | 96 | <b>TEXT PART</b> | 79 | <b>GRAPHICAL PART</b> | 17 |
|----------------|----|------------------|----|-----------------------|----|

|   |   |
|---|---|
| <b>BRIEF DESCRIPTION</b><br><b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b> | The thesis is focused on comparison of the parameters of the surface roughness between contact and non-contact method for samples with different type of processing. The theoretical part contains of principles and description the methods and procedures for the measurement of the surface roughness. Further standards, basic terms and definitions, filtering and evaluation of the surface roughness. The theoretical part is applied in the practical part which describes a comparison of the selected parameters for each the sample. |
| <b>KEY WORDS</b>  | Parameters, roughness, filter, profile, lengths, surface, contact method, non- contact method, samples, comparison  |

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| Přehled použitých zkratk a symbolů.....                                     | 8  |
| 1 Úvod.....   | 10 |
| 1.1 Cíle diplomové práce.....   | 11 |
| 2 Metody snímání povrchu.....   | 12 |
| 2.1 Dotykové metody .....   | 12 |
| 2.1.1 Měřicí zařízení včetně komponent a příslušenství .....                | 13 |
| 2.1.2 SW Turbo Wave.....  | 18 |
| 2.1.3 Zásady, pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji.....     | 20 |
| 2.2 Bezdotykové metody .....  | 23 |
| 2.2.1 Základní komponenty měřicího zařízení InfinityFocus G4 .....          | 23 |
| 2.2.2 SW Alicona .....  | 26 |
| 2.2.3 Základní pravidla a postupy při práci s bezdotykovými přístroji.....  | 26 |
| 3 Hodnocení drsnosti povrchu.....   | 29 |
| 3.1 Základní a další související normy pro hodnocení drsnosti povrchu ..... | 31 |
| 3.2 Základní termíny a definice .....                                       | 32 |
| 3.2.1 Povrch.....   | 32 |
| 3.2.2 Souřadnicový systém.....  | 33 |
| 3.2.3 Nerovnosti .....  | 33 |
| 3.2.4 Profil.....   | 34 |
| 3.2.5 Filtr profilu .....   | 36 |
| 3.2.6 Střední čáry .....  | 39 |
| 3.2.7 Délky .....   | 39 |
| 3.3 Základní parametry.....   | 39 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.3.1 | Názvy geometrických parametrů .....                   | 39 |
| 3.3.2 | Definice parametrů profilu povrchu .....              | 41 |
| 3.4   | Další parametry.....                                  | 44 |
| 3.4.1 | Hodnocení struktury povrchu pomocí metody motif ..... | 44 |
| 3.4.2 | Parametry křivky lineárního poměru materiálu .....    | 45 |
| 3.4.3 | Parametry pravděpodobnostní křivky materiálu .....    | 46 |
| 4     | Návrh a realizace vlastního experimentu .....         | 47 |
| 4.1   | Analýza procesu .....                                 | 47 |
| 4.2   | Návrh experimentu .....                               | 48 |
| 4.3   | Provedení zkoušek ve stanoveném pořadí.....           | 49 |
| 4.4   | Analýza výsledků .....                                | 58 |
| 4.5   | Závěry.....   | 72 |
| 5     | Závěr.....  | 74 |
| 6     | Zdroje .....  | 76 |
| 7     | Přílohy .....   | 79 |

## Přehled použitých zkratk a symbolů

|            |  |                   |
|------------|--|-------------------|
| GPS        | Geometrické požadavky na výrobky       |                   |
| RTI        | Regionální technologický institut      |                   |
| KTO        | Katedra technologie obrábění           |                   |
| ČSN        | Česká státní norma                     |                   |
| EN         | Evropská norma                         |                   |
| ISO        | Mezinárodní organizace pro normalizaci |                   |
| SW         | Software                               |                   |
| IFM        | InfinityFocus G4                       |                   |
| 2D         | Dvourozměrný                           |                   |
| 3D         | Trojrozměrný                           |                   |
| lr         | Základní délka                         | [mm]              |
| lt         | Snímaná délka                          | [mm]              |
| ln         | Vyhodnocovaná délka                    | [mm]              |
| P profil   | Základní profil povrchu                | [-]               |
| R profil   | Profil drsnosti                        | [-]               |
| W profil   | Profil vlnitosti                       | [-]               |
| Ra         | Průměrná aritmetická úchylka profilu   | [ $\mu\text{m}$ ] |
| RSm        | Průměrná šířka prvků profilu           | [mm]              |
| Pt, Rt, Wt | Celková výška profilu                  | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Rz         | Největší výška profilu                 | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Rq         | Průměrná kvadratická úchylka profilu   | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Rk         | Hloubka jádra drsnosti                 | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Rpk        | Redukovaná výška výstupků              | [ $\mu\text{m}$ ] |



|             |  |                   |
|-------------|--|-------------------|
| Rvk         | Redukovaná hloubka prohlubní   | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Mr1         | Materiálový podíl  | [%]               |
| Mr2         | Materiálový podíl  | [%]               |
| $\lambda_c$ | Filtr určující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti (cut-off) | [mm]              |
| $\lambda_f$ | Filtr určující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami            | [mm]              |
| $\lambda_s$ | Filtr určující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami            | [mm]              |

# 1 Úvod

Jakost povrchu součástí či dílů je důležitým parametrem zajišťující funkčnost i estetiku výrobků. Jedním ze základních parametrů jakosti je drsnost povrchu. Jedná se o souhrn nerovností s relativní malou vzdáleností, které vznikají při výrobě. Největší vliv na drsnost povrchu má řezná rychlost, posuv, tvar nástroje a atd. Do drsnosti nejsou započítávány vady povrchu (rysky, trhlinky, atd.), které se vyskytují ojediněle. S drsností povrchu souvisí vlnitost a základní profil. Tyto tři prvky mají zásadní vliv na chování a vlastnosti součásti v provozu. Metodika objektivního hodnocení drsnosti povrchu má delší historii. Mezi nejstarší patří sinusový model nerovností, kdy byl využíván pro hodnocení drsnosti povrchu parametr  $H_{sk}$ . V dalším vývoji byl zaveden parametr  $R_a$  s dalšími parametry. Využívána byla i metoda posuzování pomocí zraku a hmatu pomocí porovnávacích vzorků. V současné době jsou používány pro hodnocení drsnosti povrchu geometrická specifikace produktu, tzv. GPS normy. Nerovnosti na povrchu představují složitý útvar, který je velmi těžké posuzovat. To je řešeno redukcí do roviny řezu rovinou kolmou k povrchu. V rovině řezu je získán profil, který je základem pro posuzování struktury povrchu. Tato normalizovaná metoda je ošetřena sadou norem, které jsou dále zmíněny.

Vývoj měření a hodnocení struktury povrchu zaznamenal technický pokrok z důvodu neustále se zvyšujícími se nároky na přesnost, jakost a funkčnost. Výrobci přístrojů se zabývají i programy pro hodnocení drsnosti povrchu a novými postupy i metodami hodnocení drsnosti povrchu. Výsledkem vývoje pak je zvyšování technické úrovně stávajících zařízení, ale i příprava nových metodik, postupů, zařízení a systémů pro hodnocení struktury povrchu. Výrobci zařízení pro hodnocení struktury povrchu nabízejí dílenská zařízení i laboratorní.

Drsnost povrchu lze měřit dvěma způsoby. Dotykovou metodou a bezdotykovou metodou. V této práci bylo provedeno měření drsnosti povrchu bezdotykovou metodou pomocí zařízení InfinityFocus G4 i dotykovou metodou pomocí zařízení Hommel-Etamic T8000. K hodnocení drsnosti povrchu se využívá stále více parametrů, aby bylo hodnocení objektivní a parametry podávaly o měřeném povrchu dostatečnou vypovídací hodnotu. Ovšem, jak se budou lišit hodnoty parametrů mezi kontaktní a bezkontaktní metodou, není známo. Proto vznikl požadavek z regionálního technologického institutu (RTI) na provedení experimentu.

## **1.1 Cíle diplomové práce**

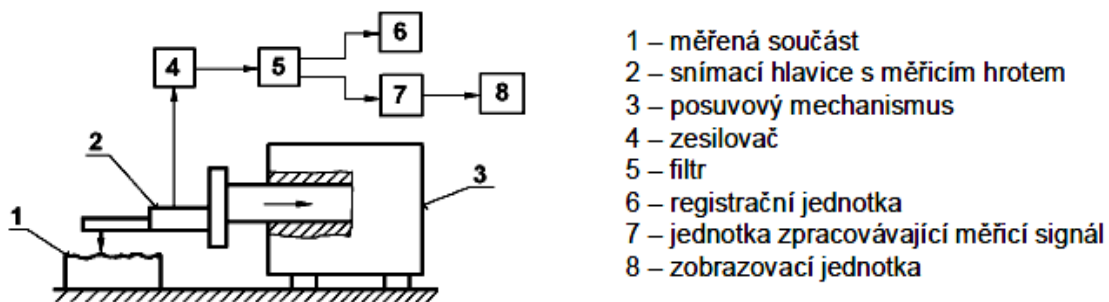
Hlavním cílem diplomové práce je porovnat parametry drsnosti povrchu mezi kontaktním zařízením Hommel-Etamic T8000 a bezkontaktním zařízením InfiniteFocus G4 u součástí různých tvarů a rozdílných opracování. Dalšími úkoly jsou: popsat a uvést principy uvedených metod, zjistit normy, které se zabývají touto problematikou, zmínit základní termíny a definice drsnosti povrchu, uvést jednotlivé skupiny parametrů včetně jejich představitelů, zajistit vzorky a změřit drsnost povrchu.

## 2 Metody snímání povrchu

Obecně lze rozdělit metody snímání povrchu na metody **kvalitativní** a **kvantitativní** a metody **dotykové** a **bezdotykové**. Vzhledem k tomu, že je tato práce zaměřena na snímání a hodnocení drsnosti povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem využitím kontaktního zařízení Hommel-Etamic T8000 a bezkontaktního zařízení InfinityFocus G4, budou zde pouze uvedeny a popsány principy těchto zařízení včetně výhod a nevýhod.

### 2.1 Dotykové metody

Jedná se o dotykový přístroj, který je podle normy (ČSN EN ISO 3274) definován jako měřicí přístroj, který zkoumá povrchy diamantovým snímacím hrotem a získává úchytky ve formě profilu povrchu, vypočítává parametry a je profil schopen zaznamenat. Výsledkem je protokol o měření. Na následujícím obrázku lze vidět jednoduché schéma této metody. [5]

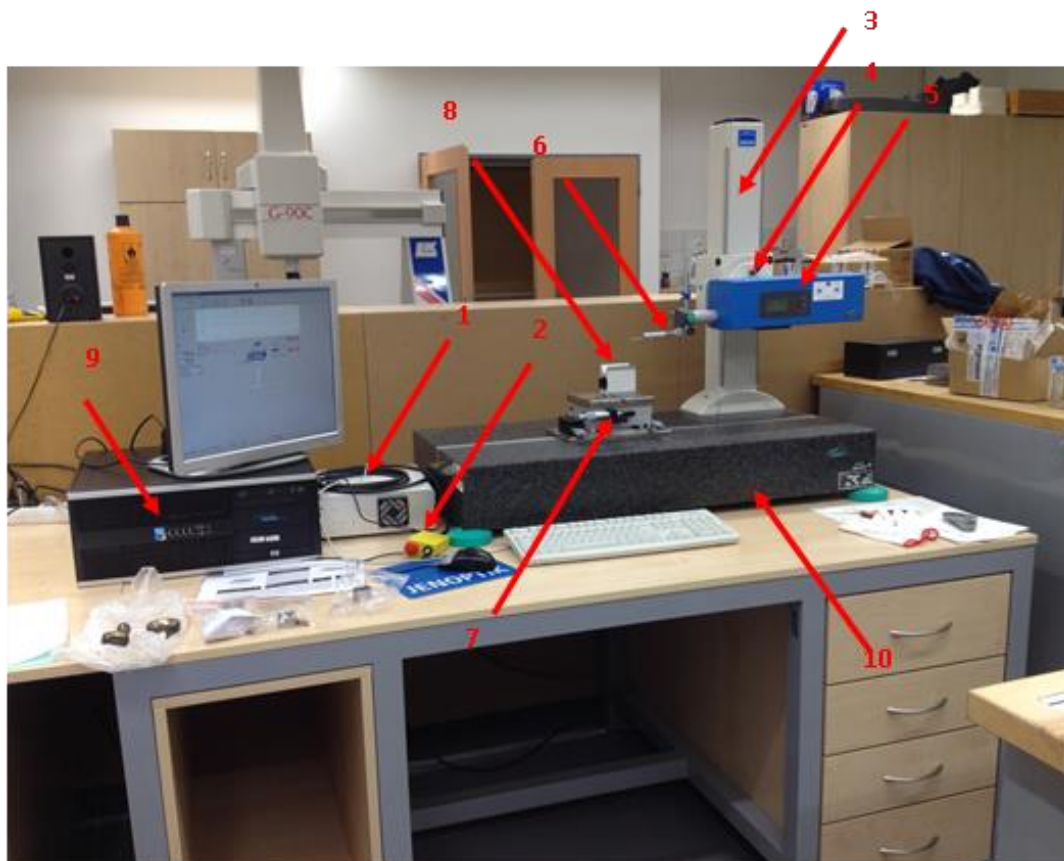


Obr. 2.1-1 Schéma dotykového profilometru [15]

Dotykový profilometr se skládá z částí mechanické a snímací elektronické. Mechanická část se skládá ze stolku, ramínka se snímacím hrotem a elektromotorku. Elektronická část transformuje mechanický signál generovaný snímacím hrotem sledujícím nerovnosti kontrolovaného povrchu na elektrický signál, který se zpracovává ve formě grafického záznamu. Měřicí základnou je buď přesná přímá dráha snímače, pak se jedná o snímání absolutní nebo dráha generovaná opěrnou patkou klouzající po měřeném povrchu, poté se jedná o měření relativní. [15]

### 2.1.1 Měřicí zařízení včetně komponent a příslušenství

Pomocí dotykového měřicího zařízení lze měřit drsnost, vlnitost a profil na různých součástech díky své charakteristické konstrukci. Na následujícím obrázku lze vidět celé pracoviště s kontaktním přístrojem včetně komponent a dalších pomůcek. Dále budou popsány hlavní komponenty.



Obr. 2.1-2 Pracoviště s profilometrem HOMMEL-ETAMIC T8000

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1 – Zdroj wavepower                     | 6 – Snímač s diamantovým dotekem |
| 2 – Bezpečnostní tlačítko               | 7 – Mikrometrický stolek MT1     |
| 3 – Svislý sloup wavelift               | 8 – Prisma                       |
| 4 – Manuální naklápací jednotka         | 9 – Vyhodnocovací počítač        |
| 5 – Posuvová lineární jednotka waveline | 10 – Základna (granitová deska)  |

### **Svislý sloup wavelift**

Na sloupu je umístěna naklápěcí jednotka a lineární posuvová jednotka waveline. Sloup s jednotkami je uchycen k základně. Svislý sloup má stabilní a uzavřenou konstrukci. Tím je zamezeno působení vnějších vlivů a nedochází tak ke zkreslení naměřených hodnot.

### **Posuvová lineární jednotka waveline**

Jedná se o komponentu posunující snímač podél referenčního vedení a převádějící vodorovnou polohu špičky snímacího hrotu na vodorovné souřadnice profilu. Posuvová jednotka je charakterizována největší volitelnou délkou snímání. Tato komponenta se skládá z pinoly, snímače, diamantového hrotu a displeje s klávesnicí. Na následujícím obrázku je zobrazena posuvová lineární jednotka waveline. [5]



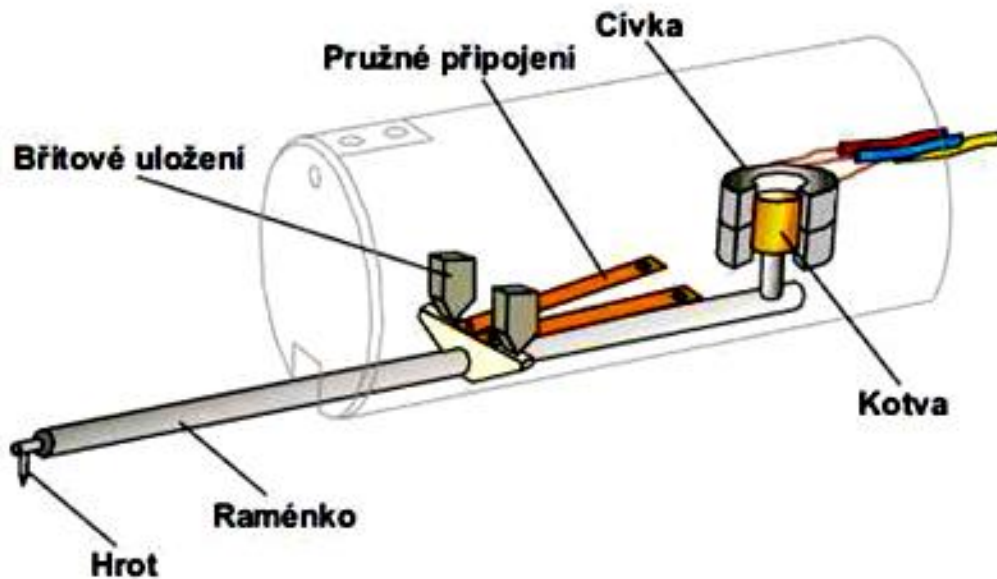
Obr. 2.1-3 Posuvová lineární jednotka waveline

### **Snímač s diamantovým dotekem**

**Snímač** – díl, obsahující snímací prvek se snímacím hrotem a převodník. Snímací prvek přenáší posunutí snímacího hrotu na převodník. [5]

Dotykový přístroj pro měření drsnosti povrchu využívá následující snímač:

- **Elektromagnetický** (viz Obr. 2.1-4) – mechanický signál je převáděn na elektrický signál pomocí elektromagnetické indukce. [4]

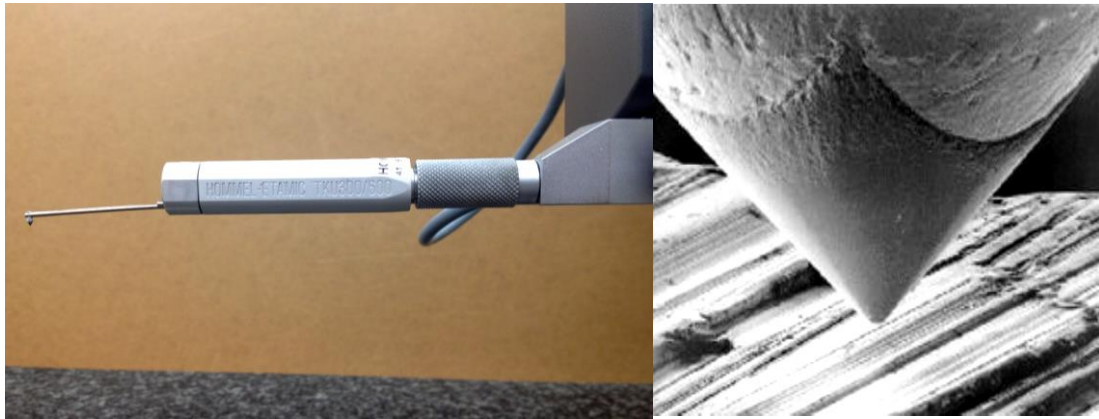


Obr. 2.1-4 Schéma indukčního systému měření povrchu kontaktním způsobem [4]

Hlavní a významnou součástí dotykového profilometru je **diamantový hrot**, sestávající ze jmenovitě správného kruhového kužele s definovaným vrcholovým úhlem a jmenovitě kulové špičky definovaného poloměru. Norma ČSN EN ISO 3274 definuje základní parametry diamantového hrotu. Diamantový hrot je umístěn na konci raménka, které je uloženo v těle přístroje. Raménko lze v závislosti na aplikaci vyměnit za jiné. [5]

#### **Základní parametry diamantového hrotu:**

- Tvar snímacího hrotu – kužel s kulovou špičkou
- Vrcholový úhel kužele –  $60^\circ$ ,  $90^\circ$
- Poloměr zaoblení špičky – 2, 5 a 10  $\mu\text{m}$
- Statická měřicí síla ve střední poloze hrotu – 0,00075 N
- Mezní vlnová délka filtru profilu – 0,08 – 8 mm [5]



Obr. 2.1-5 Diamantový hrot se snímačem a detail snímacího hrotu [4]

Součástí měřicího přístroje je sada TASTER TKU 300/600 B-Set s výměnnými doteky a snímači (viz Obr. 2.1-6). Jak už bylo zmíněno, v závislosti na aplikaci lze výměnný dotek vyměnit za jiný.



Obr. 2.1-6 Sada TASTER TKU 300/600 B-Set

Základní specifikaci měřicího zařízení HOMMEL-ETAMIC T8000 a parametry, které lze měřit a následně vyhodnotit lze vidět na Obr. 2.1-7.






| Typ přístroje             |  | T8000                  |                 |                   |             |                |
|---------------------------|--|------------------------|-----------------|-------------------|-------------|----------------|
| Posuvový přístroj         | Maximální dráha / mm   | Posuvová rychlost mm/s | Přesnost vedení | Měřicí systém     | Rozlišení   | Přesnost osy X |
| Waveline 120              | 120  | 0,01 - 3,00            | ≤0,4 μm/120 mm  | Lineární pravítka | 0,01/0,1 μm | ±1,0μm         |
| Měřicí sloupce            | Výškový posuv mm   | Posuvová rychlost mm/s |                 |                   |             |                |
| Wavelift 400 Manual       | 400  | Manual                 |                 |                   |             |                |
| Wavelift 400              | 400  | 0,1 - 12,0             |                 |                   |             |                |
| Naklápací jednotka        | Rozsah přestavení  | Jemné stavění          | Opakovatelnost  |                   |             |                |
| S jemným stavěním         | ±45,0  | ±5,0                   | -               |                   |             |                |
| S hrubým stavěním         | ±45,0  | -                      | -               |                   |             |                |
| Granitové desky           | Rozměry D x Š x V (mm)   | Hmotnost (kg)          |                 |                   |             |                |
| 1000                      | 1000x500x140   | 150                    |                 |                   |             |                |
| Parametry                 |  |                        |                 |                   |             |                |
| Drsnost ISO 4287          | Ra, Rz, Rmax, Rt, Rq, Rsk, lmo, lo, Rdq, da, ln, La, Lq, Rz-ISO, R3z, Rpm, Rp3z, R3zm, Rp, D, R <sub>Pc</sub> , RSm, Rpm/R3z, lr, Rku, tpif, tpia, tpip, tpic, Rt/Ra, Rz1, Rz2, Rz, Rz4, Rz5, Rmr, Rmr%, Api |                        |                 |                   |             |                |
| Rk ISO 13565-1 až 13565-3 | Rpk*, Rpk, Rk, Rvk*, Rvk, Mr1, Mr 2, A1, A2, Vo (70 %) 0,01*, Rv / Rk, Rvq, Rmq  |                        |                 |                   |             |                |
| Primární profil ISO 4287  | Pt', Pp, Pz, Pa, Pq, Psk, PSm, Pdq, lp, Pku, tpa', tpa, tpab, tpac, Pmr0, Apa, APa%, Pmr, Pmr%   |                        |                 |                   |             |                |
| Vlnitost ISO 4287         | Wt', Wp, Wz, Wa, Wq, Wsk, WSm, Wdq, Wdc, lw, Wku, WD1t', WD1p, WD1z, WD1a, WD1q, WD1sk, WD1Sm, WD1dq, WD1lw, WD1Pc, WD2t', WD2p, WD2z, WD2a, WD2q, WD2sk, WD2Sm, WD2dq, WD2lw, WD2ku, WD2Pc                  |                        |                 |                   |             |                |
| Vlnitost podle VDA 2007   | WDc, WDt, WDSm   |                        |                 |                   |             |                |
| Motif DIN EN ISO 12085    | R, Rx, AR, Nr, W, Wx, AW, Nw, Wte, Tpa' (CR, CL, CF)   |                        |                 |                   |             |                |
| JIS B - 0601              | Rz-JIS; Rmax-JIS   |                        |                 |                   |             |                |

Obr. 2.1-7 Specifikace měřicího zařízení HOMMEL-ETAMIC T8000 [20]

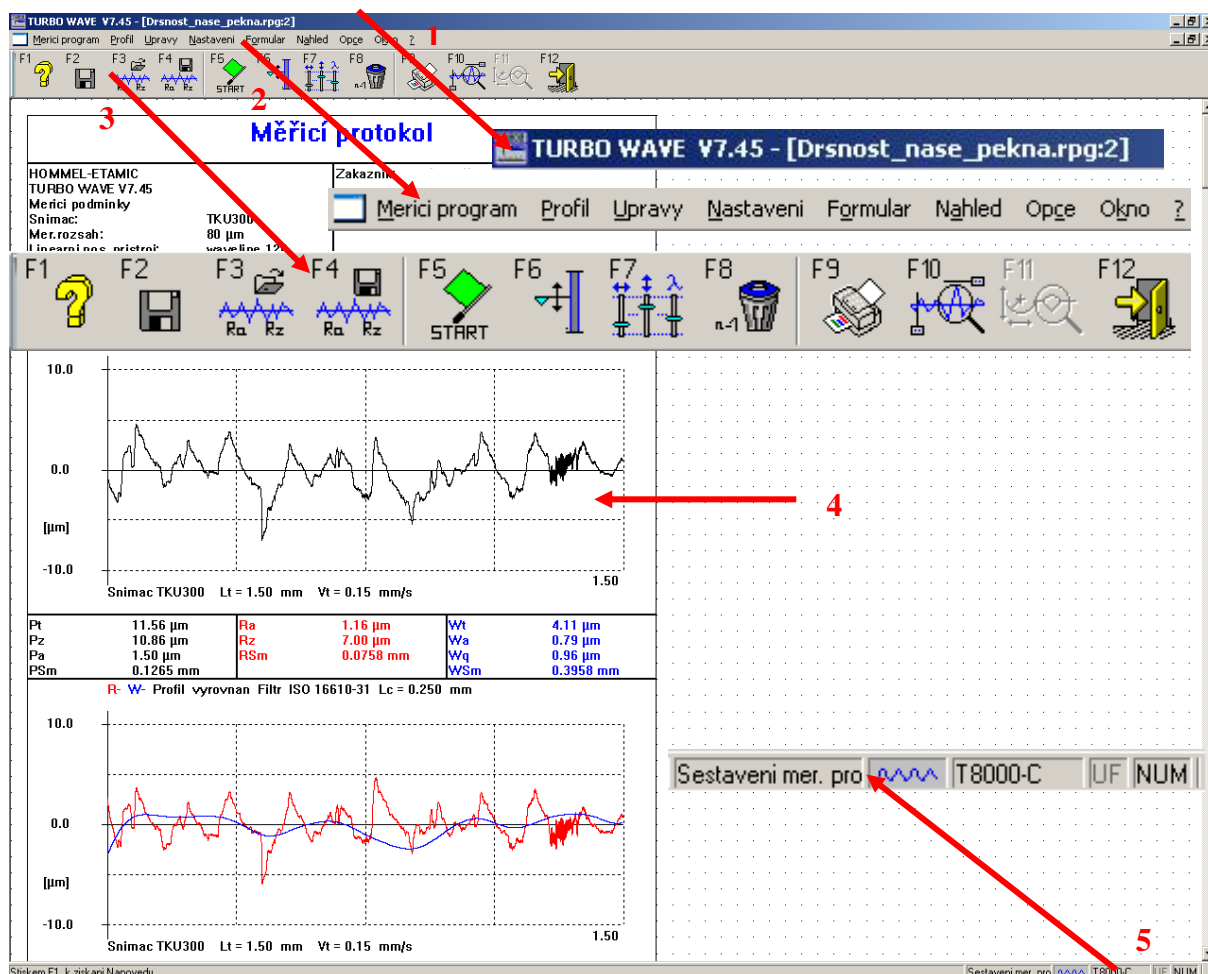
### 2.1.2 SW Turbo Wave

Pomocí SW Turbo Wave v7.45 lze provést základní nastavení měřícího zařízení, vytvoření programu, samotné měření drsnosti povrchu a následné vyhodnocení s výstupním protokolem o měření. Tento SW pracuje v prostředí Windows 32bit. Umožňuje snadné programování a široké možnosti vyhodnocení drsnosti povrchu. SW je v českém jazyku a je velice přehledný z hlediska uživatelského. Spravuje celkem tři uživatelské režimy s různými funkčními obory (viz Obr. 2.1-8).

|   |  |
|---|--|
|    | <p><b><u>Úroveň I</u></b></p> <p><b>Vytvoření programu měření / Měření / Vyhodnocení</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Kompletní rozsah funkcí TURBO WAVE</li><li>• Vytvářet nové měřicí programy, přizpůsobovat a optimalizovat</li><li>• Ochrana heslem</li><li>• Obsahuje kompletní rozsah funkcí úrovně II</li></ul> |
|  | <p><b><u>Úroveň II</u></b></p> <p><b>Měření / Vyhodnocení:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Měření</li><li>• Analýza existujících profilů a parametrů</li><li>• Fourierova analýza (volitelně)</li><li>• Ochrana heslem</li><li>• Obsahuje všechny funkce úrovně III</li></ul>  |
|  | <p><b><u>Úroveň III</u></b></p> <p><b>Měření:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Provádět měření s existujícím měřicím programem</li><li>• Vytisknout protokol z měření</li><li>• Změna podmínek měření [21]</li></ul>  |

Obr. 2.1-8 Uživatelské režimy [21]

Po spuštění programu se otevře okno (viz Obr. 2.1-9), které lze rozdělit z hlediska uživatelského do několika částí: úvodní (titulní) lišta, lišta hlavního menu, lišta základních funkcí, pracovní plocha s protokolem a lišta statusu.



Obr. 2.1-9 Uživatelské okno

### 1 – Úvodní (titulní) lišta

Titulní lišta zobrazuje název programu včetně verze programu a jméno programu, který byl vytvořen.

### 2 – Lišta hlavního menu

Lišta hlavního menu nabízí uživateli volbu jednotlivých příkazů, které si sám podle potřeby vybere.

### 3 – Lišta základních funkcí

Lišta základních funkcí zobrazuje celkem 12 tlačítek (F1 – F12) se symboly představující konkrétní funkci. Každý symbol funkce se zobrazuje podle zvoleného uživatelského režimu.

#### 4 – Pracovní plocha

Na pracovní ploše se zobrazí po založení programu formulář měření a lze ihned po měření kontrolovaného povrchu vidět základní profil z měřeného povrchu. Dále je možné otevřít a vidět formulář měření z předchozího měření, které bylo uloženo. Formulář měření lze upravovat podle potřeby uživatele.

#### 5 – Lišta statusu

Lišta statusu informuje uživatele o vkládání příkazů a označení typu měřicího zařízení (T 8000).

##### 2.1.3 Zásady, pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji

Základní pravidla, postupy a definice pro kontrolu povrchu předepisují konkrétně normy ČSN EN ISO 4288 a ČSN EN ISO 4287. Budou zde uvedeny jen nejzákladnější informace, další informace lze dohledat ve zmíněných normách. Norma ČSN EN ISO 4288 předepisuje orientaci kontrolovaného vzorku pro měření následujícím způsobem. Na povrchu vzorku jsou viditelné stopy nástroje po technologickém procesu. Tyto stopy nástroje musí být kolmo na směr snímání. Tím je zajištěno, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti v případě periodického povrchu. Pokud se jedná o neperiodický povrch, není nutné předchozí podmínku dodržet a měření lze provést libovolně v kterémkoliv řezu. Před měřením je tedy nutné pohledem nejprve rozhodnout, zda se jedná o periodický či neperiodický povrch. Na základě tohoto rozhodnutí následuje postup každý jiný pro typ povrchu. Význam pojmů periodický a neperiodický povrch je vysvětlen v podkapitole 3.2.

##### **Pro povrchy s neperiodickým profilem drsnosti je použit následující postup:**

Odhadne se neznámý parametr drsnosti ( $R_a$ ,  $R_z$  nebo  $R_{sm}$ ) vizuálně nebo srovnáním pomocí srovnávacích vzorků. Poté se odhadne základní délka z tabulek 2.1-1, 2.1-2 nebo 2.1-3 pro neznámé parametry. Měřicím přístrojem s nastavenými hodnotami odhadnutých délek se získá reprezentativní měření pro odhadnuté parametry. Tyto hodnoty parametrů se porovnají s rozsahem hodnot uvedených v tabulkách. Jsou-li měřené hodnoty mimo rozsah dle tabulek, musí být přístroj nastaven na větší či menší délky. Tím je dosaženo správné kombinace. V případě, že jsou naměřené hodnoty v rozsahu dle tabulek, jedná se o správné nastavení a tedy správné hodnoty. [23]

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

Tab. 2.1-1 Základní délky drsnosti pro měření  $Ra$  pro neperiodické povrchy [23]

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

1)  $Rz$  je použito při měření  $Rz, Rv, Rp, Rc, a Rt$   
2)  $Rz1max.$  je použito jen při měření  $Rz1max., Rv1max., Rp1max. a Rc1max.$

Tab. 2.1-2 Základní délky drsnosti pro měření  $Rz$  pro neperiodické povrchy [23]

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

Tab. 2.1-3 Základní délky drsnosti pro měření  $Rsm$  pro periodické a neperiodické povrchy [23]

### Pro povrchy s periodickým profilem drsnosti je použit následující postup:

Na povrchu s neznámou drsností se odhadne parametr Rsm. Pro odhadnutý parametr použitím tabulky 2.1-3 se určí hodnota mezní vlnové délky cut-off (základní délky). Jestli-že hodnota Rsm odpovídá dle tabulky menší nebo větší hodnotě mezní vlnové délky cut-off, použije se větší nebo menší hodnota mezní vlnové délky cut-off. Tím se získá reprezentativní měření žádaných parametrů při použití hodnoty mezní vlnové délky. [23]

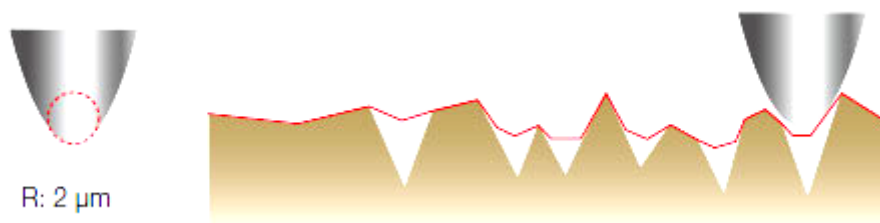
Dotykové metody mají své výhody i nevýhody.

#### Výhody dotykových metod:

- Diamantový hrot odsune nečistoty na povrchu, není-li povrch dostatečně očištěn
- Měření vnitřních povrchů a součástí, které nejsou ve vodorovné poloze
- Jednoduchost, přesnost
- Velice rozšířené, všeobecné uznání výsledků

#### Nevýhody dotykových metod:

- Možnost znehodnocení kontrolované součásti
- Omezená rychlost snímání
- Nemožnost měřit mikronerovnost – omezení rádiusem špičky diamantového hrotu



Obr. 2.1-10 Snímací hrot - omezení rádiusem špičky [17]

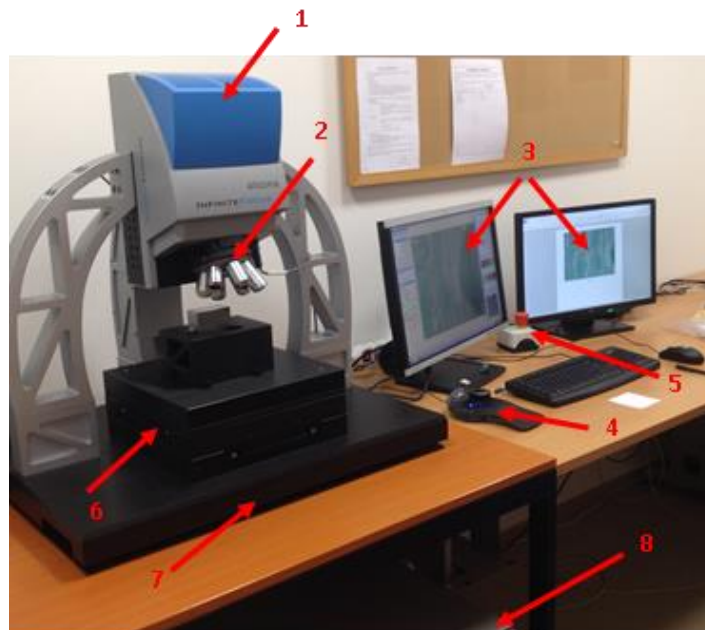
- Možnost přichycení snímacího hrotu k měřenému adheznímu povrchu a následné poškození hrotu [17]

## 2.2 Bezdotykové metody

Princip bezdotykové metody je založen na využití světelného paprsku, který je promítán na drsný povrch. Nerovnosti na kontrolovaném povrchu vzniklé po obrábění rozptýlí světelný paprsek a určí rozptyl světla. U hladkého povrchu se světlo rozptyluje především v zrcadlovém směru, zatímco u ideálně hladkého povrchu nedojde k žádnému rozptylu světla. Čím je drsnost větší, zrcadlová složka klesá a tím se rozptylové složky zvyšují. Je-li výška nerovností menší než vlnová délka rozptýleného světla, používá se k určení drsnosti povrchu vektor difrakce a skalární Bechmannova teorie. Pro parametry se využívá Gaussova rozdělení, kde se získají přesné elektromagnetické okrajové podmínky z důvodu obtížné získání analytické hodnoty drsnosti z rozptylu světla. [18]

### 2.2.1 Základní komponenty měřicího zařízení InfinityFocus G4

Jedná se o optický měřicí přístroj, který umožňuje měřit plošnou drsnost, profilovou drsnost, tvar profilu, měření úhlu na břitu, zaoblení břitu a další atributy. Měří v mikro až nano rozsahu. Vertikální rozlišení je až s přesností 10 nm. *Princip měření je založen na snímání objektu objektivem s velmi malou hloubkou ostrosti a postupnou změnou zaostřené vzdálenosti. Příslušný software z nasnímaných 2D obrazů následně složí 3D obraz měřeného předmětu a měření se provádí přímo na tomto obrazu.* [26] Na následujícím obrázku lze vidět pracoviště bezdotykového zařízení. Dále budou popsány hlavní komponenty.



Obr. 2.2-1 Pracoviště se zařízením InfinityFocus G4



- |                                     |                                  |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| 1 – Svislá posuvová jednotka        | 5 – Bezpečnostní tlačítko        |
| 2 – Otočná hlava s objektivy        | 6 – Pohyblivý stolek             |
| 3 – Zobrazovací jednotky (monitory) | 7 – Základna                     |
| 4 – Ovladač                         | 8 – Zdroj, vyhodnocovací počítač |

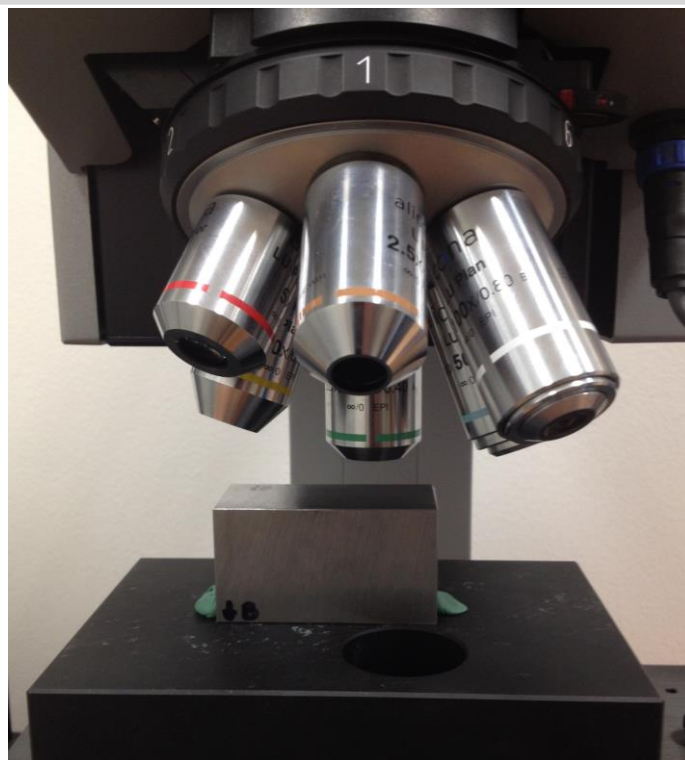
### **Svislá posuvová jednotka**

Jedná se o komponentu, ke které je uchycena otočná hlava s objektivy. Zajišťuje posuv ve svislém směru – přiblížení a oddálení od vzorku a tím nastavení hloubky ostrosti měřeného povrchu.

### **Otočná hlava s objektivy**

Na otočné hlavě jsou uchyceny celkem 6 objektivů s různým přiblížením měřeného povrchu. K měření drsnosti povrchu je používán pouze jeden objektiv dle základního nastavení.

|       |        |        |        |        |       |
|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 2,5x  | 5x     | 10x    | 20x    | 50x    | 100x  |
| 8.8mm | 23.5mm | 17.5mm | 13.0mm | 10.1mm | 3.5mm |

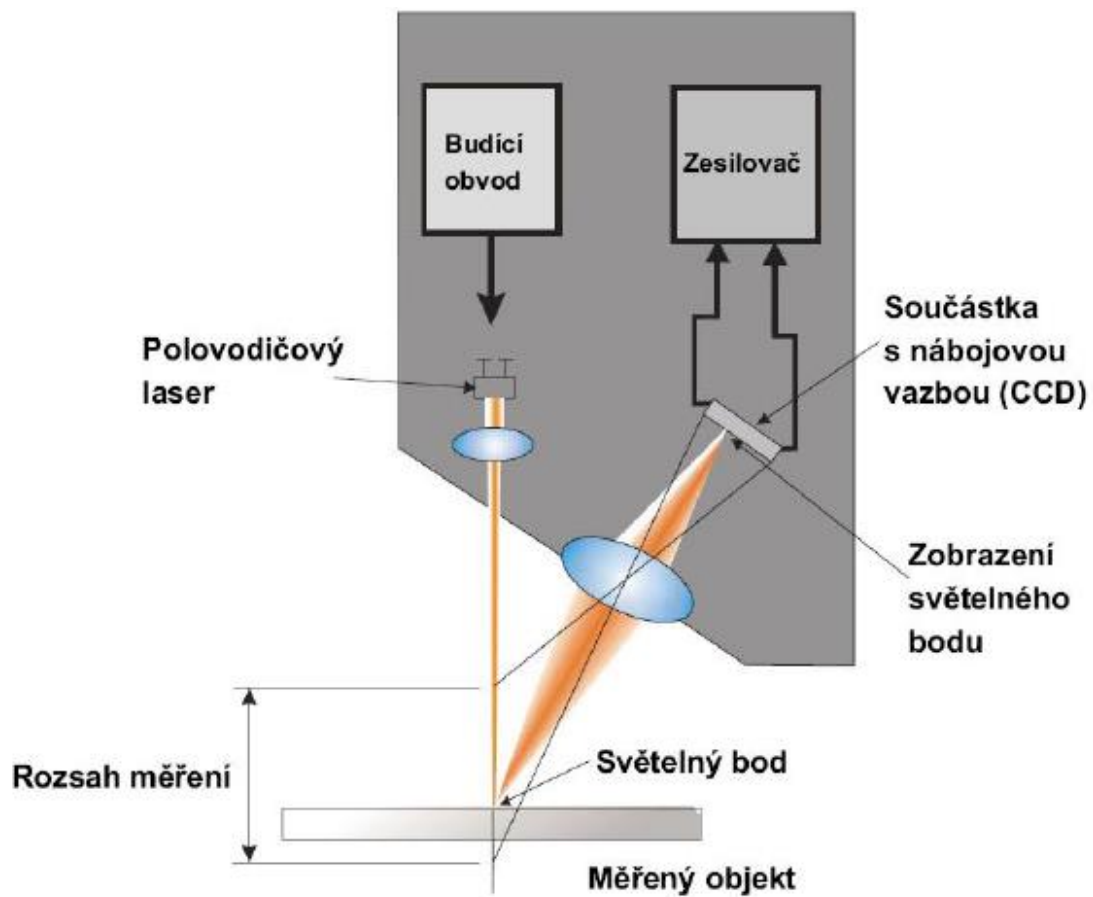


Obr. 2.2-2 Otočná hlava s objektivy a pracovními vzdálenostmi



### Zařízení InfinityFocus G4 využívá následující bezdotykový snímač:

- **Laserový snímač** (viz Obr. 2.2-3) – princip je následující. Paprsek laseru se odrazí od kontrolovaného povrchu do optického přijímacího systému. Poté je paprsek zaostřen na obrazovou matici. Obrazová matice zajišťuje kvalitní hodnotu rozdělení množství světla v bodě paprsku. Obrazové prvky matice jsou použity pro určení polohy zaměřeného bodu. [4]



Obr. 2.2-3 Schéma laserového snímače [18]

Základní specifikace zařízení InfinityFocus G4 viz výrobce.

### 2.2.2 SW Alicona

Jedná se o SW dodávaný přímo od výrobce zařízení a pracuje v prostředí windows. Pomocí něj lze měřit a vyhodnocovat plošnou, ale i profilovou drsnost. Kromě drsnosti lze měřit i další atributy např. vlnitost, opotřebení nástrojů, závity, úhly, atd. Na rozdíl od předchozí metody není nutné zde vytvářet a sestavovat protokol o měření. SW je velmi dobře propracovaný a záleží na operátorovi, co chce měřit a vyhodnocovat, dle toho si zvolí funkce v SW a může měřit a následně vyhodnocovat. SW umožňuje velmi široké vyhodnocení drsnosti, ale i dalších atributů. Z hlediska uživatelského je SW formován jako SW u dotykové metody případně jako podobným SW u dalších zařízení pro měření drsnosti povrchu.

### 2.2.3 Základní pravidla a postupy při práci s bezdotykovými přístroji

V případě zařízení InfinityFocus G4 jsou základní termíny, definice a postupy předepsány normou ČSN EN ISO 25178, pokud se jedná o plošnou drsnost. Vzhledem k tomu, že je hlavním cílem porovnat parametry mezi uvedenými zařízeními u součástí rozdílných tvarů a drsností, je nutné měřit a následně vyhodnocovat profilovou drsnost, protože zařízení Hommel-Etamic T8000 neumí měřit plošnou drsnost. Z tohoto důvodu se bude měřit profilová drsnost na zařízení InfinityFocus, aby mohlo dojít k porovnání parametrů. Z toho plyne, že i pro toto zařízení platí normy ČSN EN ISO 4288 a ČSN EN ISO 4287 a je nutné z nich vycházet. Opět je nutné vycházet z tabulek, viz podkapitola 2.1-3, kdy se pro odhadnutou drsnost Ra a Rz nastaví vertikální a laterální rozlišení. Dále je nutné zadat délky z tabulek dle odhadnutých parametrů a následuje provedení zkušebního skenu. Pokud není odhad správný, je nutné změnit nastavení. V opačném případě se zobrazí na monitoru snímek měřeného povrchu, který je nutno dále upravit, aby mohl být povrch vyhodnocen. Nejprve je nutné povrch vyrovnat a to pomocí funkce **Form Removal**. Po vyrovnání je nutné proložit měřený povrch rovinou, aby nedošlo ke zkreslení výsledků, protože zařízení si odečítá hodnoty od své virtuální roviny, a proto je třeba mu rovinu dodefinovat. Po tomto úkonu je proveden řez kolmý na stopy po nástroji na měřeném povrchu. Po tomto kroku lze vidět výsledné hodnoty parametrů včetně grafického průběhu profilu přímo na monitoru. Nyní záleží na operátorovi, co chce vyhodnocovat a dle toho se mu zobrazí dané hodnoty včetně grafického průběhu profilu na monitoru.



Obr. 2.2-4 Skutečný nasnímaný povrch



Obr. 2.2-5 Vyrovnaný nasnímaný povrch

Bezdotykové metody mají své výhody a nevýhody.

**Výhody bezdotykových metod:**

- Vysoká rychlost snímání (obousměrně)
- Nedestruktivnost kontrolovaného povrchu
- Možnost měřit mikronerovnost (nejsou omezeny rádiusem špičky jako dotykové metody)



Obr. 2.2-6 Měření mikronerovnosti laserem [17]

- Možnost měřit měkké, adhezní a citlivé materiály
- Nedochozí k takovému opotřebení měřidla jako u dotykových metod

**Nevýhody bezdotykových metod:**

- Možnost ztráty dat (paprsek se neodrazí zpět do detektoru správně)
- Vliv okolního prostředí (světlo, vibrace)
- Nutnost důkladného očištění kontrolovaného povrchu
- Odrazivost od měřeného povrchu (černý těleso, stříbrný těleso, ...)

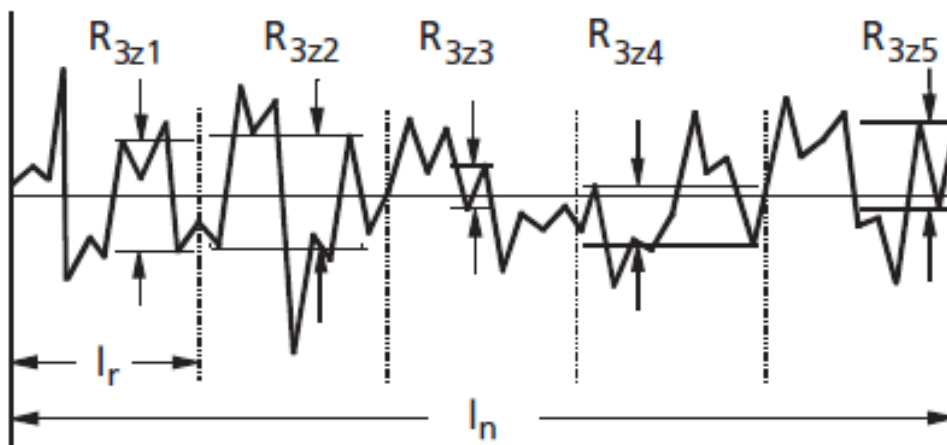
### 3 Hodnocení drsnosti povrchu

Před samotným hodnocením drsnosti povrchu je nutné uvést normy, které specifikují parametry a charakteristiky drsnosti povrchu (viz kapitola 3.1). Kromě těchto norem souvisí s drsností povrchu další normy. Jedná se například o normy pro značení drsnosti povrchu, filtraci dat, pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu a další (viz kapitola 3.1).

Základní parametry profilu povrchu lze rozdělit podle normy **ČSN EN ISO 4287** do jednotlivých skupin na: **výškové parametry, délkové parametry, tvarové parametry, křivky a odpovídající parametry** (viz podkapitola 3.3.2). Další parametry lze rozdělit podle normy **ČSN EN ISO 12085** pomocí metody motif na: **motif drsnosti a motif vlnitosti** (viz podkapitola 3.4.1). Normy **ČSN EN ISO 13565-2** a **ČSN EN ISO 13565-3** stanovují **parametry křivky lineárního poměru materiálu** (viz podkapitola 3.4.2) a **parametry pravděpodobnostní křivky materiálu** (viz podkapitola 3.4.3). Z důvodu nepřekročení rozsahu budou uvedeny jen základní představitele jednotlivých skupin.

Kromě 2D hodnocení struktury povrchu se používá i 3D hodnocení struktury povrchu. Základním zdrojem informací o struktuře povrchu je plocha. Plošné hodnocení drsnosti povrchu využívá informací získaných z 2D hodnocení struktury povrchu rozšířené o další poznatky pro celkový popis plochy měřeného povrchu vzorku či součásti. 3D hodnocení struktury povrchu předepisuje norma **ČSN EN ISO 25178**. Základní termíny, definice a parametry pro 3D hodnocení struktury povrchu předepisuje norma **ČSN EN ISO 25178-2**. V praktické části této práce se bude dále pracovat s parametry pro 2D hodnocení drsnosti povrchu, proto zde nebudou z důvodu dodržení rozsahu práce uvedeny 3D parametry. Tyto 3D parametry včetně základních termínů a definic lze najít ve výše zmíněné normě (**ČSN EN ISO 25178-2**).

Výše uvedené parametry jsou normalizované a vycházejí z aktuálně platných **GPS norem**. Kromě těchto normalizovaných parametrů, existují i nenormalizované parametry, které jsou velmi používány výrobci. Jedná se především o automobilový průmysl, kde k hodnocení struktury povrchu používají vlastní parametry. Hlavním důvodem je utajení vlastního know-how. Výrobci si tedy vytvářejí vlastní podnikové normy. Například podniková norma **N31007 Daimler Benz** stanovuje parametr **R3z** představující aritmetický průměr pěti jednotlivých drsností R3z1 až R3z5 jako vyhodnocení vzdálenosti třetích nejvyšších špiček a rýh uvnitř jednotlivých základních délek  $l_r$ . Měření **R3z** požaduje zadání jedné vertikální a horizontální hladiny řezu. [11]



Obr. 3-1 Parametr R3z [12]

### **3.1 Základní a další související normy pro hodnocení drsnosti povrchu**

#### **Norma určená pro značení drsnosti povrchu:**

ČSN EN ISO 1302, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Označování struktury povrchu v technické dokumentaci výrobků [22]

#### **Normy specifikující parametry a charakteristiky drsnosti povrchu:**

ČSN EN ISO 4287, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu [2]

ČSN EN ISO 12085, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Parametry metody motif [8]

ČSN EN ISO 13565-2, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 2: Výškové charakteristiky využívající křivku lineárního materiálového poměru [9]

ČSN EN ISO 13565-3, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 3: Výškové charakteristiky využívající pravděpodobnostní křivku materiálu [10]

ČSN EN ISO 25178-2, Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu [28]

#### **Další související normy pro hodnocení drsnosti povrchu:**

ČSN EN ISO 4288, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu [23]

ČSN EN ISO 3274, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů [5]

ČSN EN ISO 13565-1, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 1: Filtrace a všeobecné podmínky měření [24]

ČSN EN ISO 16610-21, Geometrické specifikace produktu (GPS) – Filtrace – Část 21: Lineární profilové filtry: Gaussovy filtry [25]

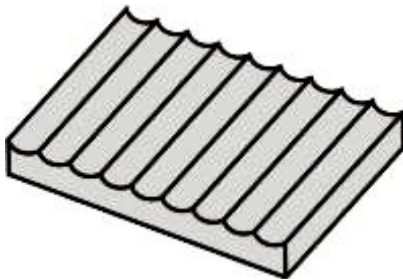
## 3.2 Základní termíny a definice

### 3.2.1 Povrch

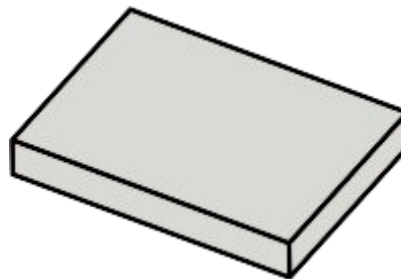
*Povrch je hranice, která odděluje objekt od jiného objektu nebo prostředí [1]*

**Skutečný povrch** - vznikne procesem výroby a nese s sebou stopy tohoto procesu [1]

**Geometrický povrch** - jeho tvar a rozměry jsou určeny výkresem nebo jinou technickou dokumentací a nezahrnuje drsnost [1]



Obr. 3.2-1 Skutečný povrch [1]

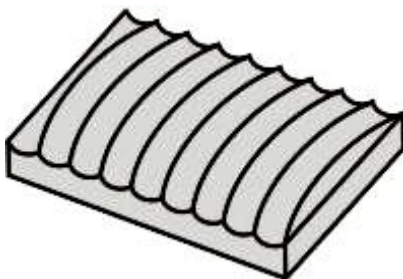


Obr. 3.2-2 Geometrický povrch [1]

**Základní povrch** - reprezentace skutečného povrchu získaná měřicím přístrojem [1]

**Periodický povrch** - vzniká při soustružení, frézování, vrtání, broušení apod., tedy v případě, kdy nástroj vytváří na povrchu součásti rýhy v určitém směru. U periodického povrchu je důležité zvolit směr snímání kolmo na směr nerovností, kvůli naměření správných hodnot. Při pohybu snímače ve směru nerovností by se naměřily menší hodnoty a povrch by se jevil lepším, než ve skutečnosti je. [1]

**Aperiodický povrch** - vzniká při odlévání, kování apod., v tomto případě nástroj nevytváří nerovnosti s význačným směrem. U aperiodického povrchu na směru snímání nezáleží. [1]



Obr. 3.2-3 Periodický povrch [1]



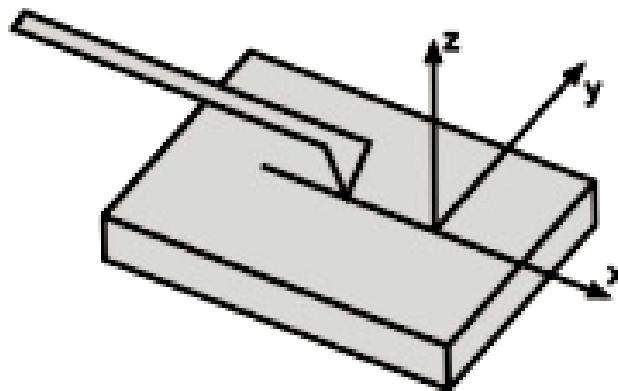
Obr. 3.2-4 Aperiodický povrch [1]



### 3.2.2 Souřadnicový systém

Souřadnicový systém, ve kterém jsou definovány parametry struktury povrchu. Obvykle je využíván pravoúhlý souřadnicový systém, ve kterém osy tvoří pravotočivou kartézskou soustavu:

- osa X ve směru snímání je souběžná se střední čarou
- osa Y také leží na skutečném povrchu a je kolmá na osu X
- osa Z směřuje z povrchu (z materiálu do okolního prostředí)
- rovina řezu je rovina X-Z [2]



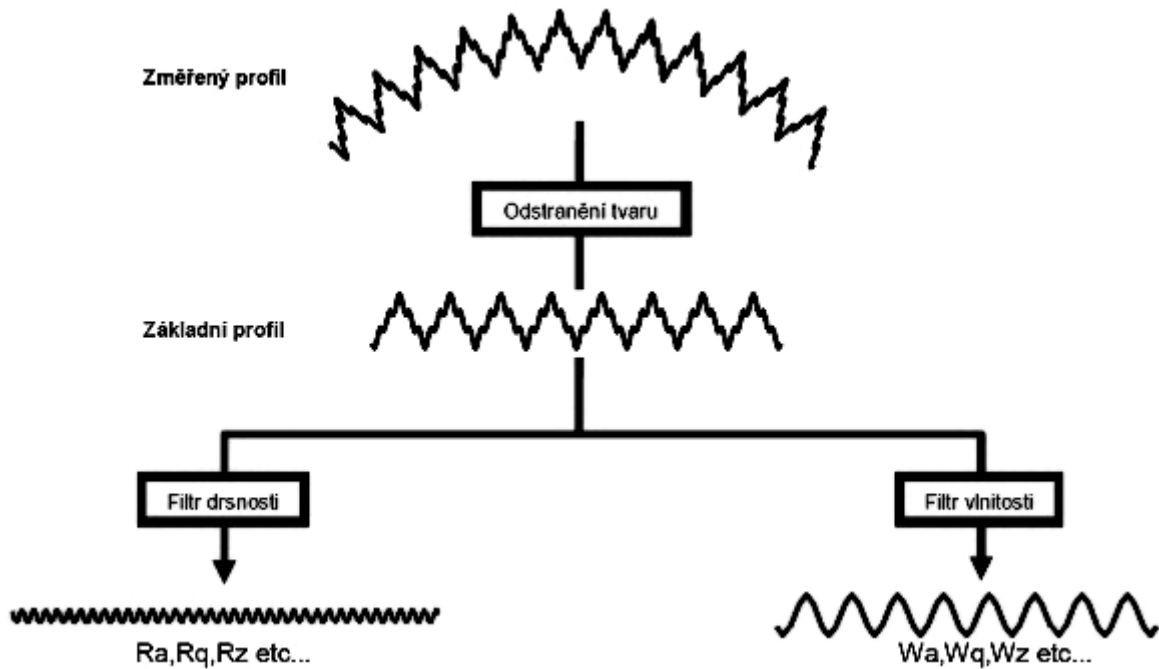
Obr. 3.2-5 Souřadnicový systém [1]

### 3.2.3 Nerovnosti

**Tvar** - obecný tvar povrchu při vyloučení drsnosti a vlnitosti. Tyto úchytky mohou být způsobeny nedostatečnou tuhostí, špatnou přímostí vodících ploch nebo teplem vzniklým během výrobního procesu, které může způsobit deformaci obrobek. [3]

**Drsnost** je nejmenší nerovnost, která vzniká při procesu výroby působením rezného nástroje, který zanechává na povrchu stopy, které mohou mít periodický nebo aperiodický tvar. [1]

**Vlnitost** je rozměrnější nerovnost, na které je superponována drsnost. Vzniká působením obráběcího stroje na obrobek, např. kmitáním, nedostatečnou tuhostí, nepřesností uložení atd. [1]

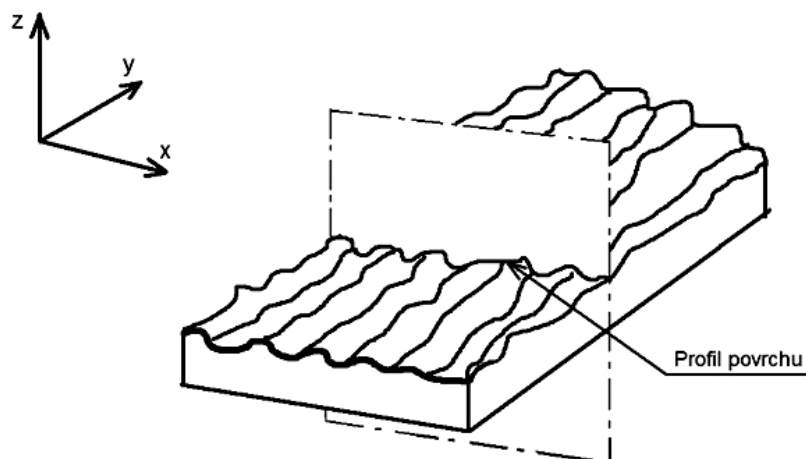


Obr. 3.2-6 Princip dělení nerovností povrchu na drsnost a vlnitost[4]

### 3.2.4 Profil

*Zdrojem informace o struktuře povrchu je profil, což je dvourozměrný obraz trojrozměrného povrchu, který vznikne průnikem povrchu s rovinou řezu. Rovina řezu je samozřejmě pouze imaginární a reprezentuje směr odečítání a směr pohybu snímače. [1]*

**Profil povrchu** – profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny [2]



Obr. 3.2-7 Profil povrchu [2]

**Snímaný profil** – geometrické místo středů snímacího hrotu, který je charakterizován ideálním geometrickým tvarem, jmenovitými rozměry a jmenovitou snímací silou, vyvozenou v rovině řezu při posuvu snímacího hrotu přes povrch [5]

**Referenční profil** – dráha, po které se snímač, podél vedení pohybuje v rovině řezu [5]

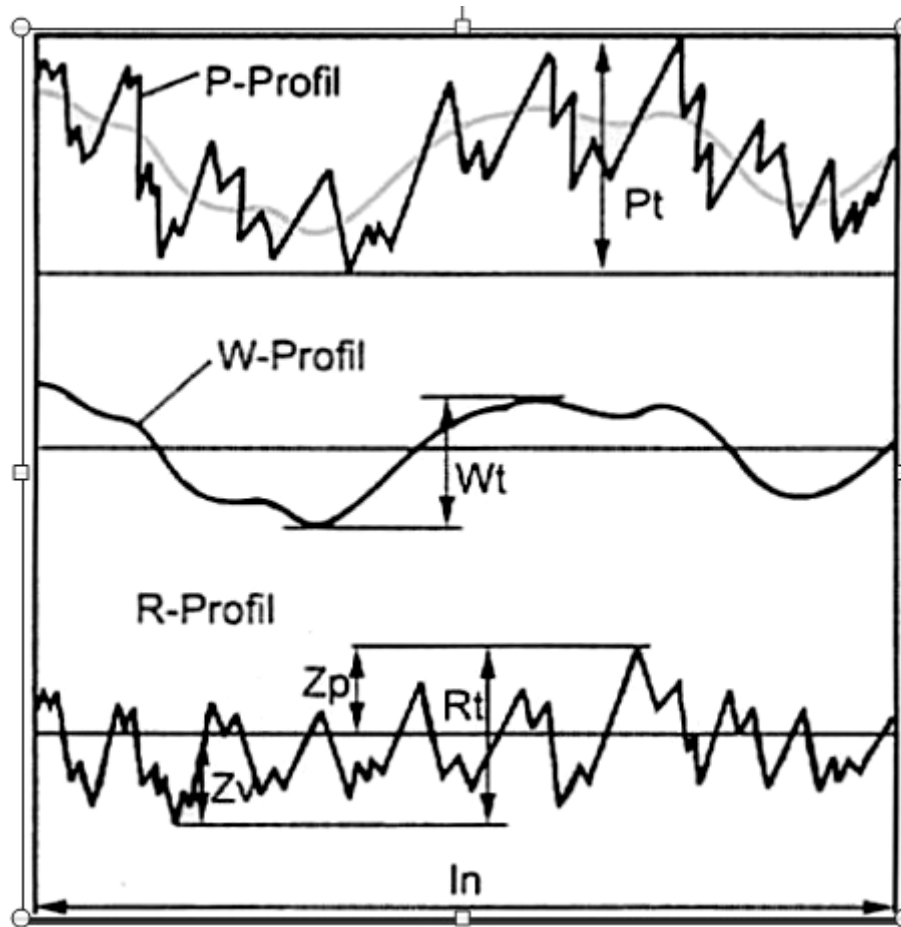
**Úplný profil** – číslíková forma snímaného profilu vzhledem k referenčnímu profilu se vzájemně přiřazenými svislými a vodorovnými souřadnicemi [5]

**Zbytkový profil** – základní profil získaný snímáním ideálně hladkého a rovného povrchu [5]

**Základní profil** – úplný profil po aplikaci krátkovlnného filtru  $\lambda_s$ . Základní profil reprezentuje základnu pro číslíkové zpracování profilu pomocí filtrů profilu a pro výpočet parametrů profilu podle normy ČSN EN ISO 4287. Je charakterizován svislými a vodorovnými číslíkovými kroky, které se mohou lišit od číslíkových kroků použitých u úplného profilu. Základní profil je základem pro hodnocení parametrů základního profilu. Tvar získaný specifikovaným typem metody nejmenších čtverců není částí základního profilu a měl by být vyloučen před filtrací. V případě kružnice by měla být také velikost poloměru zahrnuta do optimalizace metodou nejmenších čtverců a ne udržována napevno na jmenovité hodnotě. Jmenovitý tvar je odstraněn před získáním základního profilu. Základní profil bývá nazýván jako P profil (primární profil). [5]

**Profil drsnosti** – profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu  $\lambda_c$ . Přenosové pásmo pro profil drsnosti je definováno filtry profilu  $\lambda_s$  a  $\lambda_c$ . Profil drsnosti je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti a bývá nazýván jako R profil. [2]

**Profil vlnitosti** – profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu  $\lambda_f$  a filtru profilu  $\lambda_c$  na základní profil potlačující dlouhovlnné složky filtrem profilu  $\lambda_f$  a krátkovlnné složky filtrem profilu  $\lambda_c$ . Jmenovitý tvar by nejprve měl být odstraněn z celkového profilu využitím metody nejmenších čtverců před aplikací  $\lambda_f$  profilového filtru pro oddělení profilu vlnitosti. Pro kruhový jmenovitý tvar je doporučeno poloměr zahrnout do optimalizace metodou nejmenších čtverců a nemá být udržován na pevné jmenovité hodnotě. Přenosové pásmo pro profil vlnitosti je definováno filtry profilu  $\lambda_c$  a  $\lambda_f$ . Profil vlnitosti je základem pro hodnocení parametrů profilu vlnitosti a bývá nazýván jako W profil. [2]

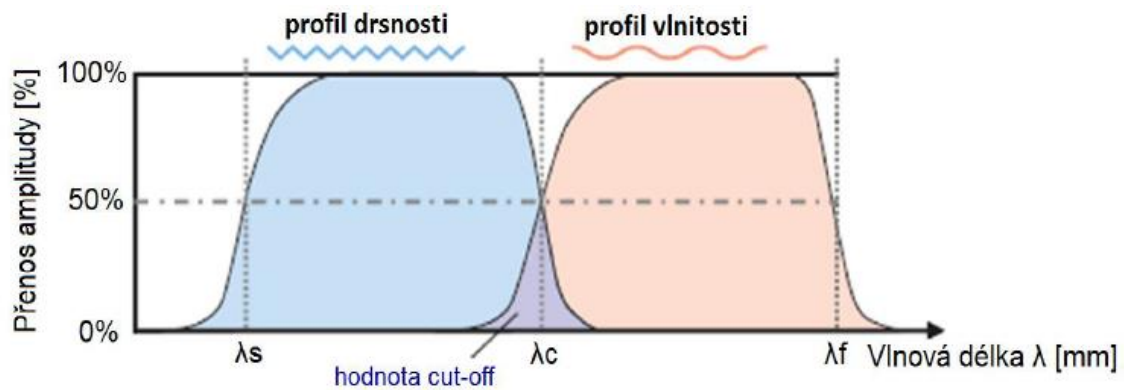


Obr. 3.2-8 Základní profil, profil drsnosti, profil vlnitosti [4]

### 3.2.5 Filtr profilu

Filtr rozdělující profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky. V přístrojích pro měření drsnosti, vlnitosti a základního profilu jsou používány tři filtry. Mají stejné přenosové charakteristiky, ale rozdílné hodnoty mezní vlnové délky cut-off viz Obr. 3.2-9. [2]

- **filtr profilu  $\lambda_s$**  – filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu [2]
- **filtr profilu  $\lambda_c$**  – filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti [2]
- **filtr profilu  $\lambda_f$**  – filtr definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu [2]



Obr. 3.2-9 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [29]

**Vlnová délka cut-off** – vlnová délka sinusového profilu, jejíž 50% amplitudy je přeneseno profilovým filtrem.[25] *Pro kontrolu struktury povrchu je dále významná správná volba mezní vlnové délky (cut-off). Jedná se o parametr měřicího přístroje, který je ekvivalentní a stejně důležitý jako základní délka. Zatímco základní délka je fyzikální veličinou (délka kontrolovaného povrchu), mezní vlnová délka (cut-off) je funkcí profilometru, která upravuje převod profilu povrchu na odpovídající elektrický signál v rozmezí základní délky. Vlnové délky v měřeném signálu závisí na nerovnostech povrchu. Při použití krátkovlnného filtru, který vyloučí vlnové délky větší než 0,25 mm, zůstanou v nitrovaném signálu zastoupeny jen nerovnosti s roztečí 0,25 mm a menší, což je podmínkou k získání základní délky 0,25 mm. Měřicí systém odřezává nerovnosti s roztečí 0,25 mm, což je označováno mezní vlnovou délkou (cut-off). Při volbě mezní vlnové délky je rozhodující charakter struktury kontrolovaného povrchu.*[13]

Mezní vlnová délka má být volena od 2,5 do 8 násobku vzdálenosti stop (rýh) vzniklých po opracování, aby v jedné základní délce ležely nejméně 2 rýhy.

Obrobený povrch obsahuje soubor nerovností tvořících strukturu povrchu, lišících se svými roztečemi a majících rozdílný vliv na funkci povrchu. Proto je nezbytné při jejich analýze provést jejich separaci. Separace je provedena filtrováním. Postupné úpravy lze vidět na Obr. 3.2-6. [14]

Před měřením drsnosti povrchu u dotkových metod je nutné zvolit diamantový hrot se správným poloměrem zaoblení špičky. Je nutné respektovat podmínky předepsané normou ČSN EN ISO 3274, viz Obr. 3.2-10.

Norma ČSN EN ISO 16610 předepisuje 3 základní typy filtrů. Více v praktické části.

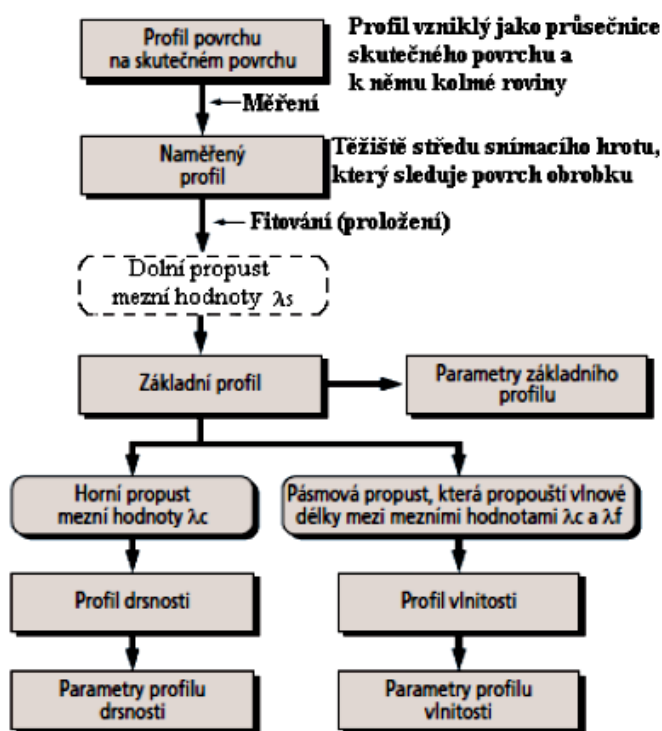
| VZTAH MEZI MEZNÍ VLNOVOU DÉLKOU (cut-off) DRSNOSTI $\lambda_c$ , POLOMĚREM ZAOLBENÍ ŠPIČKY SNÍMACÍHO HROTU $r_{tip}$ A POMĚREM MEZNÍCH VLNOVÝCH DÉLEK (cut-off) DRSNOSTI $\lambda_c/\lambda_s$ |                               |                       |   |  |
|--|-------------------------------|-----------------------|---|--|
| $\lambda_c$ (mm)   | $\lambda_s$ ( $\mu\text{m}$ ) | $\lambda_c/\lambda_s$ | $r_{tip}$ ( $\mu\text{m}$ )<br>Největší hodnota | Největší rozteč bodů profilu ( $\mu\text{m}$ ) |
| 0,08   | 2,5                           | 30                    | 2   | 0,5  |
| 0,25   | 2,5                           | 100                   | 2   | 0,5  |
| 0,8  | 2,5                           | 300                   | 2 <sup>1)</sup>                                 | 0,5  |
| 2,5  | 8                             | 300                   | 5 <sup>2)</sup>                                 | 1,5  |
| 8  | 25                            | 300                   | 10 <sup>2)</sup>                                | 5  |

<sup>1)</sup> Pro povrchy s hodnotami  $Ra > 0,5 \mu\text{m}$  nebo  $Rz > 3 \mu\text{m}$  se může použít  $r_{tip} = 5 \mu\text{m}$  bez znatelných rozdílů ve výsledku měření.  
<sup>2)</sup> Pro hodnoty mezní vlnové délky (cut-off)  $\lambda_s = 2,5 \mu\text{m}$  a  $8 \mu\text{m}$  je téměř jisté, že útlum charakteristiky daný mechanickou filtrací snímacím hrotem s doporučeným poloměrem zaoblení špičky bude ležet mimo definované pásmo přenosu. Avšak malé změny poloměru zaoblení nebo tvaru hrotu budou mít zanedbatelný vliv na hodnoty parametrů vypočítaných z měřeného profilu.  
Považuje-li se za nezbytné použít pro některou aplikaci jiný poměr hodnot cut-off musí být tento poměr udán

Obr. 3.2-10 Vztah mezi mezní vlnovou délkou drsnosti, poloměrem zaoblení špičky hrotu a poměrem mezních vlnových délek drsnosti [14]

Parametry drsnosti povrchu jsou získány filtrací podle Obr. 3.2-11. Norma ČSN EN ISO 16610-21 specifikuje metrologické charakteristiky Gaussova filtru pro filtraci profilů. Váhová funkce Gaussova filtru je dána vztahem:

$$h(t) = \frac{1}{\alpha\lambda_c} e^{-\pi(t/\alpha\lambda_c)^2} \quad [16]$$



Obr. 3.2-11 Postup získání parametrů drsnosti povrchu [30]

### 3.2.6 Střední čáry

*Střední čáry jsou čáry, od kterých jsou odměřovány pořadnice profilu.* [1]

**Střední čára profilu drsnosti** – čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu  $\lambda_c$  [2]

**Střední čára profilu vlnitosti** – čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu  $\lambda_f$  [2]

**Střední čára základního profilu** – čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu [2]

### 3.2.7 Délky

**Základní délka ( $l_p$ ,  $l_r$ ,  $l_w$ )** – délka ve směru osy X, použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil. Základní délka pro drsnost  $l_r$  a pro vlnitost  $l_w$  jsou číselně rovné charakteristické vlnové délce profilového filtru  $\lambda_c$ , případně  $\lambda_f$ . Základní délka pro základní profil  $l_p$  se rovná vyhodnocované délce. [2]

**Vyhodnocovaná délka ( $l_n$ )** – délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Může obsahovat jednu nebo více základních délek. [2]

**Celková délka ( $l_t$ )** – délka pohybu snímače během kterého se snímají úchylky tvaru povrchu [1]

## 3.3 Základní parametry

### 3.3.1 Názvy geometrických parametrů [2]

**P – parametr** – parametr vypočítaný ze základního profilu [2]

**R – parametr** – parametr vypočítaný z profilu drsnosti [2]

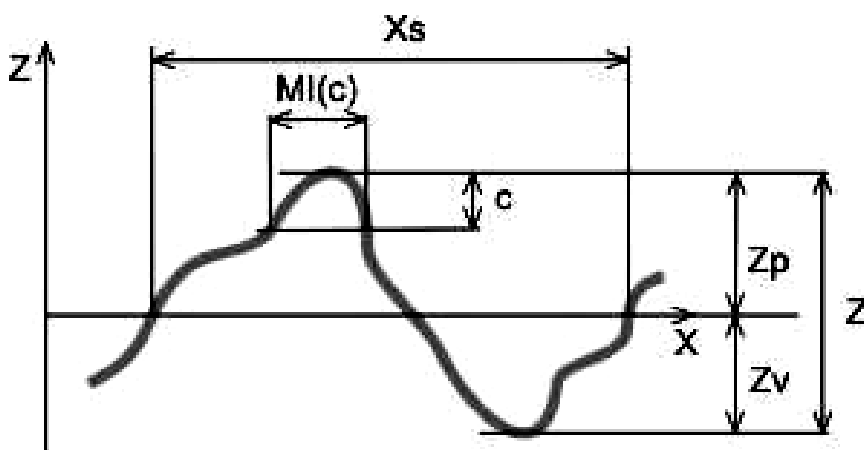
**W – parametr** – parametr vypočítaný z profilu vlnitosti [2]

**Výstupek profilu** – z povrchu ven směřující (z materiálu do okolního prostředí) část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku s osou X [2]

**Prohlubeň profilu** – dovnitř směřující (z okolního prostředí do materiálu) část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X [2]

**Omezení výšky a/nebo rozteče** – nejmenší výška a nejmenší rozteč výstupků a prohlubní posuzovaného profilu, které mohou být brány v úvahu. Nejmenší výška výstupků a prohlubní profilu je obvykle specifikována v procentech  $P_z$ ,  $R_z$ ,  $W_z$  nebo jiných výškových parametrů a nejmenší rozteč v procentech základní délky. [2]

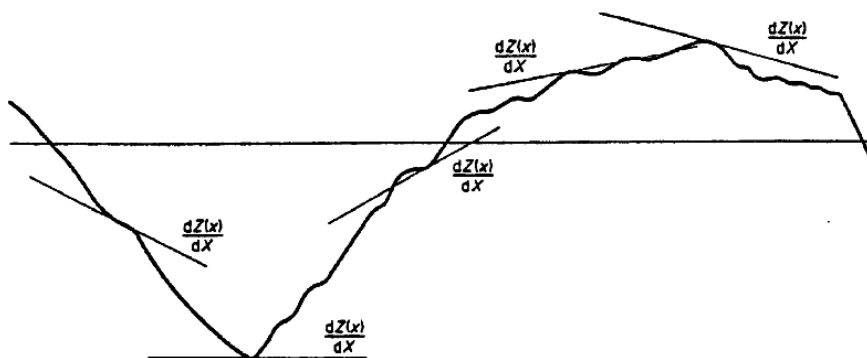
**Prvek profilu** - výstupek profilu a přilehlá prohlubeň. Kladná nebo záporná část posuzovaného profilu na začátku nebo na konci základní délky by byly vždy považovány za výstupek profilu nebo za prohlubeň profilu. Určuje-li se počet prvků profilu na délce několika po sobě jdoucích základních délek, výstupky a prohlubně posuzovaného profilu na začátku nebo na konci každé základní délky jsou brány v úvahu jen jednou na začátku každé základní délky. [2]



Obr. 3.3-1 Prvek profilu [1]

**Hodnota pořadnice  $Z(x)$**  – výška posuzovaného profilu v libovolné poloze  $x$ . Výška se považuje za zápornou, leží-li pořadnice pod osou  $X$  a kladná naopak. [2]

**Místní sklon  $dZ/dX$**  – sklon posuzovaného profilu v poloze  $x_i$  [2]



Obr. 3.3-2 Místní sklon [2]



**Výška výstupku profilu  $Z_p$**  – vzdálenost mezi osou X a nejvyšším bodem výstupku profilu (viz Obr. 3.3-1) [2]

**Hloubka prohlubně profilu  $Z_v$**  - vzdálenost mezi osou X a nejnižším bodem prohlubně profilu (viz Obr. 3.3-1) [2]

**Výška prvku profilu  $Z_t$**  – součet výšky výstupku a hloubky prohlubně prvku profilu (viz Obr. 3.3-1) [2]

**Šířka prvku profilu  $X_s$**  – délka úseku osy X protínající prvek profilu (viz Obr. 3.3-1) [2]

**Materiálová délka profilu na úrovni c,  $MI(c)$**  – součet délek úseků získaných protnutím prvku profilu čarou rovnoběžnou s osou X v dané úrovni c (viz Obr. 3.3-1) [2]

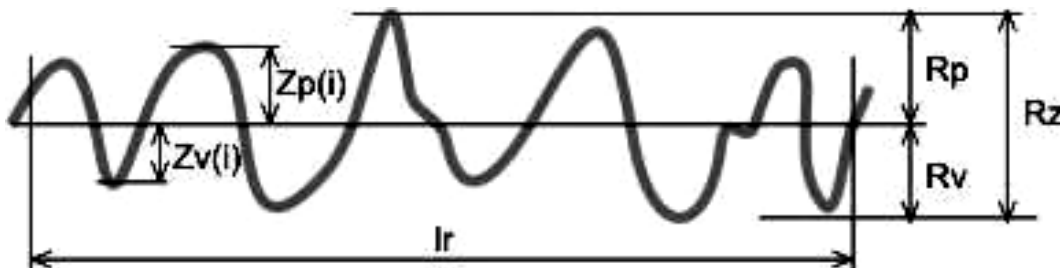
### 3.3.2 Definice parametrů profilu povrchu

#### A. Výškové parametry (výstupky a prohlubně)

**Největší výška výstupku profilu  $P_p$ ,  $R_p$ ,  $W_p$**  – výška  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky (viz Obr. 3.3-3) [2]

**Největší hloubka prohlubně profilu  $P_v$ ,  $R_v$ ,  $W_v$**  – hloubka  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky (viz Obr. 3.3-3) [2]

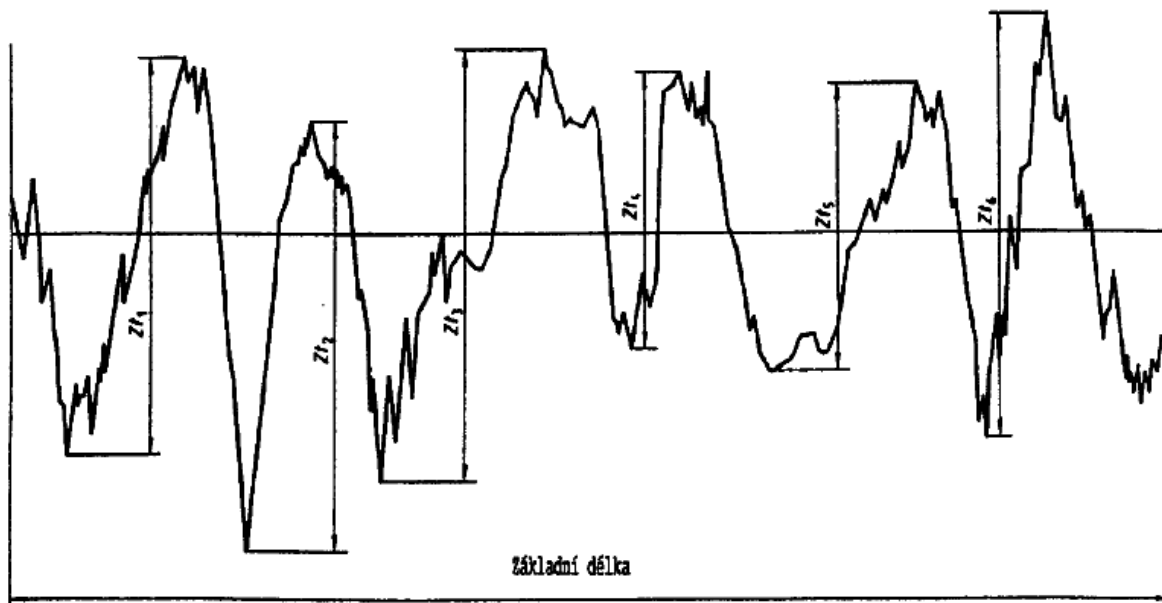
**Největší výška profilu  $P_z$ ,  $R_z$ ,  $W_z$**  – součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky (viz Obr. 3.3-3) [2]



Obr. 3.3-3 Výškové parametry  $R_p$ ,  $R_v$ ,  $R_z$  [1]

**Průměrná výška profilu  $P_c$ ,  $R_c$ ,  $W_c$**  – průměrná hodnota výšek  $Z_t$  prvků profilu v rozsahu základní délky (viz Obr. 3.3-4). Vypočte se ze vztahu:

$$P_c, R_c, W_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad [2]$$



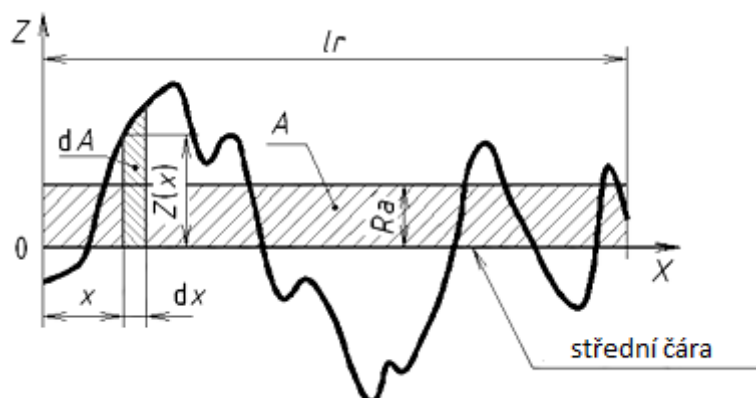
Obr. 3.3-4 Parametr Rc [2]

**Celková výška profilu Rt, Wt, Pt** – součet výšky Zp nejvyššího výstupku profilu a hloubky Zv nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky (viz Obr. 3.2-8) [2]

**Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Pa, Ra, Wa** – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic Z(x) v rozsahu základní délky. Vypočte se ze vzorce:

$$Pa, Ra, Wa = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad [2]$$

kde  $l = lp, lr$  případně  $lw$

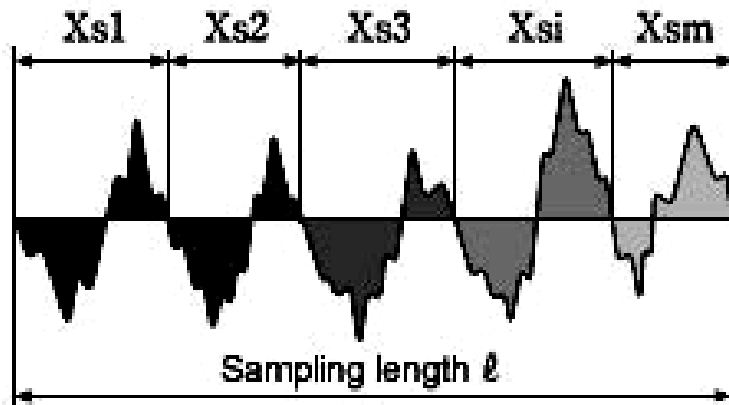


Obr. 3.3-5 Parametr Ra [6]

## B. Délkové parametry

**Průměrná šířka prvků profilu, PSm, RSm, WSm** – aritmetický průměr šířek  $X_s$  prvků profilu v rozsahu základní délky. Vypočte se ze vztahu:

$$PSm, RSm, WSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad [2]$$



Obr. 3.3-6 Parametr RSm [7]

## C. Tvarové parametry

**Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu PΔq, RΔq, WΔq** – kvadratický průměr sklonů pořadnic  $dZ/dX$  v rozsahu základní délky [2]

## D. Křivky a odpovídající parametry

**Materiálový poměr profilu (nosný podíl) Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c)** – poměr délky materiálu elementů profilu  $MI(c)$  na dané úrovni  $c$ , k vyhodnocované délce. Vypočte se ze vzorce:

$$Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) = \frac{MI(c)}{ln} \quad [2]$$

**Křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka)** – Abbott-Firestoneova křivka představující materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovně [2]



Obr. 3.3-7 Parametr Rmr [7]

### 3.4 Další parametry

#### 3.4.1 Hodnocení struktury povrchu pomocí metody motif

**Motif** – část základního profilu mezi nejvyššími body dvou místních výstupků profilu, které jsou nezbytně přilehlé. Motif je charakterizován:

- jeho délkou  $AR_i$  nebo  $AW_i$ , měřenou rovnoběžně s obecným směrem profilu
- jeho dvěma prohlubněmi,  $H_j$  a  $H_{j+1}$  nebo  $H_{wj}$  a  $H_{wj+1}$  měřenými kolmo k obecnému směru základního profilu
- jeho  $T$  charakteristikou, která je nejmenší hloubkou ze dvou hloubek [8]

#### A. Motif drsnosti

Motif odvozený použitím ideálního operátoru s mezní hodnotou  $A$ . [8]

**Průměrná rozteč prvků motif drsnosti  $AR$**  – aritmetický průměr délek  $AR_i$  prvků motif drsnosti v rozsahu vyhodnocované délky. Vypočte se ze vzorce:

$$AR = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AR_i \quad [8]$$

**Průměrná hloubka prvků motif drsnosti  $R$**  – aritmetický průměr hloubek  $H_j$  prvků motif drsnosti v rozsahu vyhodnocované délky. Lze vypočítat ze vzorce:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m H_j \quad [8]$$

**Největší hloubka profilu nerovnosti  $R_x$**  – největší hloubka  $H_j$  v rozsahu vyhodnocované délky [8]

### **B. Motif vlnitosti**

Motif odvozený na horní obálce pomocí ideálního operátoru s mezní hodnotou B. [8]

**Průměrná rozteč prvků motif vlnitosti  $AW$**  – aritmetický průměr délek  $AW_i$  prvků motif vlnitosti v rozsahu vyhodnocované délky. Vypočte se ze vztahu:

$$AW = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n AW_i \quad [8]$$

**Průměrná hloubka prvků motif vlnitosti  $W$**  – aritmetický průměr hloubek  $H_{wj}$  prvků motif vlnitosti v rozsahu vyhodnocované délky. Určí se ze vzorce:

$$W = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m HW_j \quad [8]$$

**Největší hloubka vlnitosti  $W_x$**  – největší hloubka  $H_{wj}$  v rozsahu vyhodnocované délky [8]

**Celková hloubka motifu vlnitosti  $W_{te}$**  – vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším bodem horní obálky základního profilu měřená ve směru kolmém na obecný směr základního profilu [8]

### **3.4.2 Parametry křivky lineárního poměru materiálu**

**Jádro profilu drsnosti** – profil drsnosti s vyloučením vyčnívajících výstupků a hlubokých prohlubní [9]

**Hloubka jádra drsnosti  $R_k$**  – hloubka jádra profilu drsnosti [9]

**Materiálový podíl  $Mr_1$**  – úroveň, vyjádřená v procentech, určená průsečíkem přímky oddělující vyčnívajících výstupky od jádra profilu drsnosti [9]

**Materiálový podíl  $Mr_2$**  – úroveň, vyjádřená v procentech, určená průsečíkem přímky oddělující hluboké prohlubně od jádra profilu drsnosti [9]

**Redukovaná výška výstupků  $R_{pk}$**  – střední výška výstupků vyčnívajících nad jádrem profilu drsnosti [9]

**Redukovaná hloubka prohlubní  $R_{vk}$**  – střední hloubka prohlubní profilu pod jádrem profilu drsnosti [9]

### 3.4.3 Parametry pravděpodobnostní křivky materiálu

**Pravděpodobnostní křivka materiálu** – reprezentace křivky materiálového poměru, kde poměr délky profilu materiálu je vyjádřen jako Gaussova pravděpodobnost v hodnotách směrodatné odchylky, vyneseny lineárně na vodorovné ose [10]

**$R_{pq}$  ( $P_{pq}$ ) parametr** – sklon regresní přímky vedené oblastí plošinek [10]

**$R_{vq}$  ( $P_{vq}$ ) parametr** – sklon regresní přímky vedené oblastí prohlubní [10]

**$R_{mq}$  ( $P_{mq}$ ) parametr** – relativní materiálový poměr v místě průsečíku oblastí plošinek a prohlubní [10]

## 4 Návrh a realizace vlastního experimentu

Experiment byl rozdělen do následujících fází, které byly naplňovány:

1. Analýza procesu
2. Návrh experimentu
3. Provedení zkoušek ve stanoveném pořadí
4. Analýza výsledků
5. Závěry

### 4.1 Analýza procesu

Pro hodnocení drsnosti povrchu se používá celá řada parametrů drsnosti povrchu, viz kapitoly 3.3 a 3.4. Pro tento experiment budou zvoleny následující parametry z důvodu svých specifických charakteristik a nejčastějšího použití pro hodnocení drsnosti povrchu, viz uvedené kapitoly. Jedná se o výškové parametry (Ra, Rq, Rt, Rz) a délkový parametr (Rsm). Pro velmi dobrou vypovídací schopnost bude ještě zvolena Abbott-Firestoneova křivka (Rk, Rpk, Rvk, Rmr1, Rmr2). Uvedené parametry budou ještě rozšířeny a doplněny o parametr vlnitosti (Wt) a parametr základního profilu (Pt) jako hlavní představitele obou skupin, které výrobci také využívají pro hodnocení drsnosti povrchu. Souhrnný přehled vybraných parametrů lze vidět v tabulce 4.1-1.

| Název parametru                                     | Značka     | Jednotka          |
|---|------------|-------------------|
| <b>Výškové parametry</b>                            |            |                   |
| Průměrná aritmetická úchylka profilu                | Ra         | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Průměrná kvadratická úchylka profilu                | Rq         | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Celková výška profilu                               | Pt, Rt, Wt | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Největší výška profilu                              | Rz         | [ $\mu\text{m}$ ] |
| <b>Délkové parametry</b>                            |            |                   |
| Průměrná šířka prvků profilu                        | Rsm        | [mm]              |
| <b>Parametry křivky lineárního poměru materiálu</b> |            |                   |
| Hloubka jádra drsnosti                              | Rk         | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Redukovaná výška výstupků                           | Rpk        | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Redukovaná hloubka prohlubní                        | Rvk        | [ $\mu\text{m}$ ] |
| Materiálový podíl                                   | Rmr1       | [%]               |
| Materiálový podíl                                   | Rmr2       | [%]               |

Tab. 4.1-1 Vybrané parametry

## 4.2 Návrh experimentu

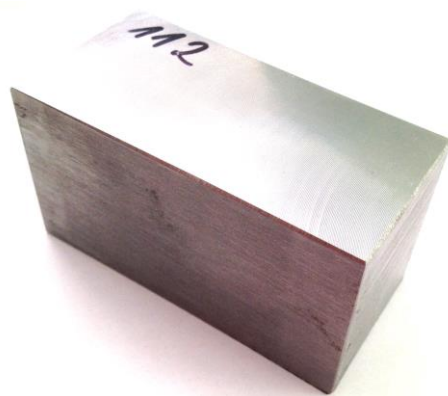
Pro experiment bude nutné zajistit vzorky. Povedlo se zajistit vzorky vyrobené technologií frézováním a soustružením. Tyto vzorky mají rozdílné drsnosti povrchů a jsou vyrobeny z různých druhů materiálů. Pro měření drsnosti povrchu jsou tedy k dispozici rovinný povrch a zakřivený povrch. Důvodem použití těchto vzorků se svými specifickými charakteristikami je, aby naměřené hodnoty měly dostatečné vypovídací vlastnosti a mohlo dojít k porovnání vybraných parametrů. Na následujících obrázcích lze vidět přehled vzorků pro experiment.



Obr. 4.2-1 Vzorek 1 (soustruženo)



Obr. 4.2-2 Vzorek 2 (soustruženo)



Obr. 4.2-3 Vzorek 3 (frézováno)



Obr. 4.2-5 vzorek 5 (soustruženo) [19]



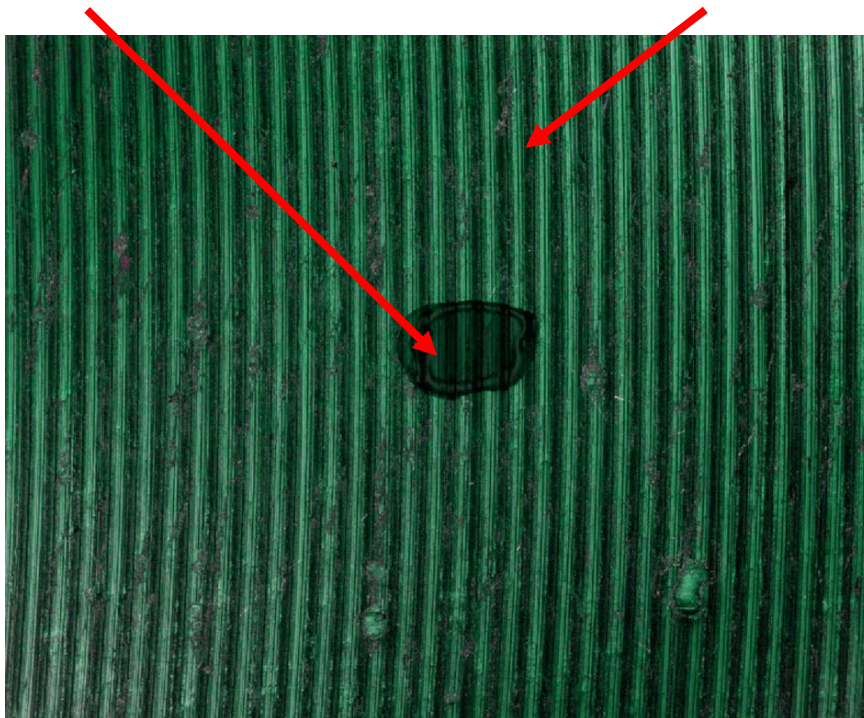
Po zajištění vzorků bude nutné před samotným měřením vzorky očistit od nečistot. To bude provedeno pomocí technického benzínu a hadříku. Poté je nutné vzorky číselně označit. Čísla na vzorcích odpovídají číslům pod uvedenými vzorky, viz výše. K dispozici pro měření jsou bezdotykové zařízení InfinityFocus G4 a dotykové zařízení Hommel-Etamic T8000. První část experimentu bude provedena v laboratoři RTI pomocí bezkontaktního zařízení InfinityFocus G4. Druhá část experimentu bude provedena v metrologické laboratoři KTO pomocí kontaktního zařízení Hommel-Etamic T8000. Důvodem použití nejprve bezkontaktního zařízení je, že nám tato metoda nevytvoří vryp, lze vybrat místo pro hodnocení a následně ho označit, které ihned vidíme na monitoru i se značkou. Na povrchu označené značkou bude poté provedeno i měření kontaktní metodou, tedy ve stejném místě, aby výsledky byly porovnatelné mezi jednotlivými metodami. Pokud bychom začali měřit opačným způsobem, došlo by ke zkreslení naměřených hodnot, protože bezdotyková metoda by nasnímala vytvořený vryp po kontaktní metodě. U rotačních součástí bude vybráno místo na nejvyšší úvrati, aby výsledky měly co největší vypovídací hodnotu. U nerotačních součástí bude vybráno místo, které je dobře viditelné a má velké nerovnosti. Postup obou metod bude popsán v následující podkapitole.

### 4.3 Provedení zkoušek ve stanoveném pořadí

První část experimentu byla provedena v laboratoři RTI pomocí bezdotykového přístroje InfiniteFocus G4 od firmy Alicona. Jako první byl nasnímán povrch vzorku 3, strana A. Vzorek 3A byl položen pod rotační hlavu s objektivy. Následovalo nastavení vertikálního a laterálního rozlišení podle parametrů Ra a Rz. Pro názornost bylo nasnímáno stejné místo pomocí objektivů s různou pracovní vzdáleností, viz následující obrázky. Pro samotné měření a vyhodnocení byl použit objektiv 20x, aby bylo možné povrch vyhodnotit. Orientace součásti byla zajištěna, jak už je to zmíněno v teoretické části tak, aby stopy po nástroji na povrchu vzorku byly kolmo na směr snímání. To bylo zajištěno vizuálním pohledem pro obě metody. Dále bylo nutné nastavit délky, na kterých se bude měřit. Nastavení bylo provedeno podle postupu pro neperiodické povrchy a podle tabulek 2.1-1 a 2.1-2 uvedené v teoretické části pro odhadnutý parametr Ra a Rz. Pro měření byl aplikován základní Gaussův filtr. Důvodem použití tohoto filtru je jeden ze závěrů z diplomové práce pana Ing. Vojtěcha Štefana, který se filtrací dat podrobně zabýval. Pan Ing. Štefan uvádí, že vliv typu filtru nemá výrazný vliv na hodnoty parametrů. Rozdíly se pohybují v jednotkách procent, což je zanedbatelné. [30].

**Označené místo pro snímání**

**Stopy po nástroji**



Obr. 4.3-1 Nasnímaný povrch vzorku 3A objektivem 2,5x

**Označené místo pro snímání**

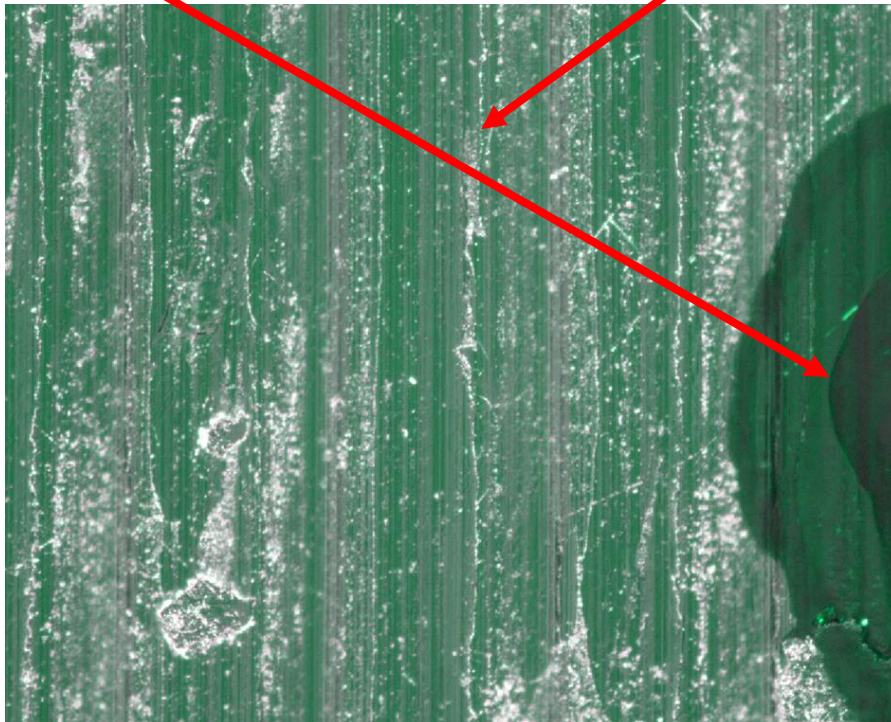
**Stopy po nástroji**



Obr. 4.3-2 Nasnímaný povrch vzorku 3A objektivem 10x

Označené místo pro snímání

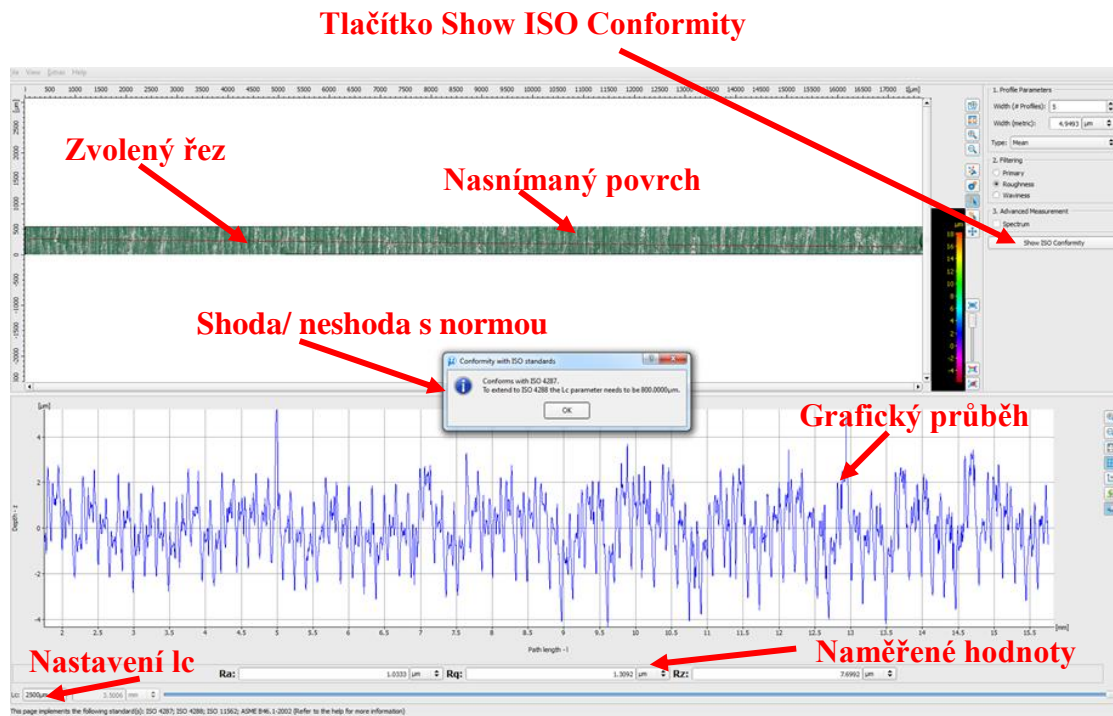
Stopy po nástroji



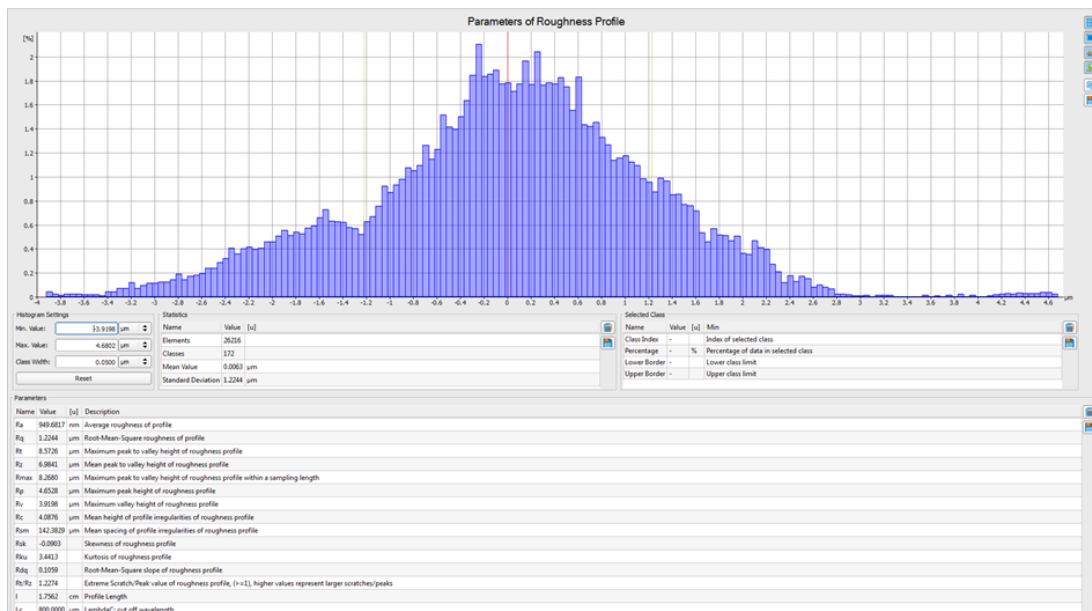
Obr. 4.3-3 Nasnímaný povrch vzorku 3A objektivem 20x

V dalším kroku byl nasnímaný povrch vyrovnán a proložen rovinou. Vyrovnání povrchu a proložení rovinou je popsáno v teoretické části viz podkapitola 2.2-3. Posledním krokem bylo zvolit řez nasnímaným povrchem. To bylo provedeno tak, aby řez byl kolmý na stopy po nástroji, viz následující obrázek. Poté bylo možné již na obrazovce vidět naměřené hodnoty včetně grafického průběhu. Pokud bylo měření provedeno podle norem, zobrazilo se okno na monitoru s informací, že měření bylo v souladu s normou po kliknutí na tlačítko **Show ISO Conformity**. V opačném případě bylo nutné změnit nastavení rozlišení lc a opět kliknout na uvedené tlačítko. Zobrazí se okno s informací, že měření proběhlo v souladu s normou. Na dalších obrázcích lze vidět grafické průběhy a naměřené hodnoty pro drsnost, vlnitost a základní profil vzorku 3A. Stejný postup byl aplikován i na zbývající vzorky. Dokumentace pro ostatní vzorky byla vložena do části příloh z důvodu velkého rozsahu.

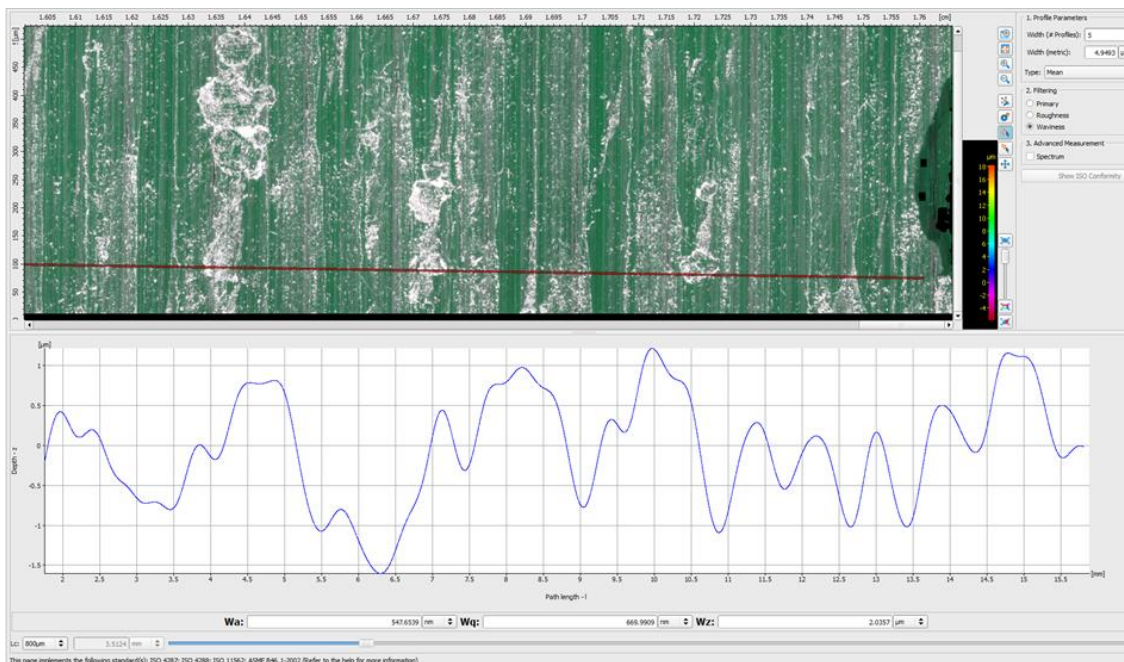




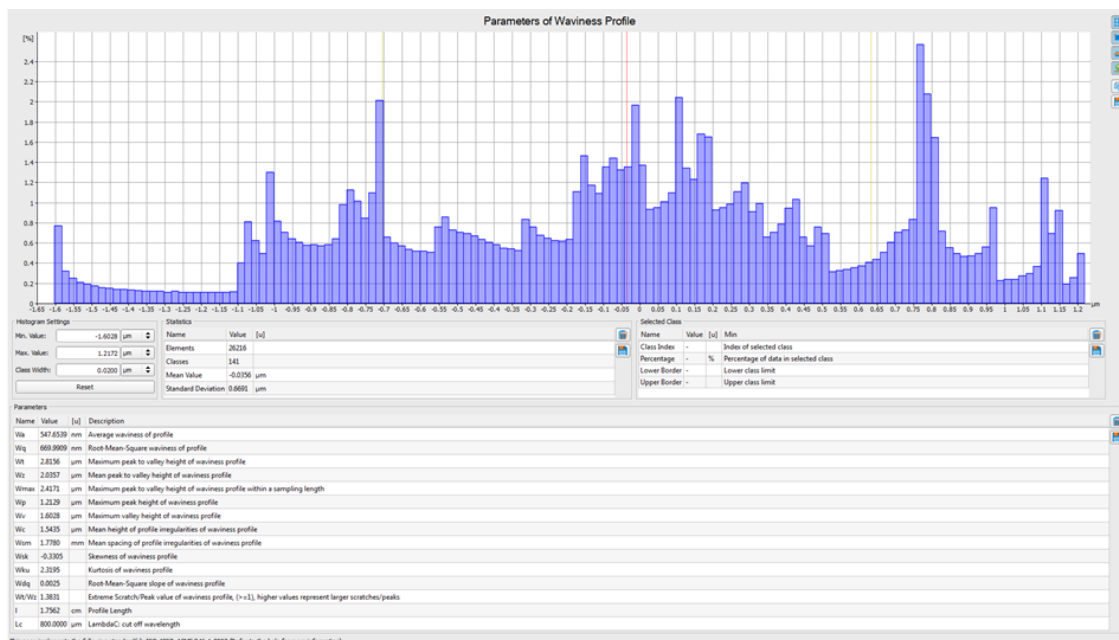
Obr. 4.3-4 Provedení řezu do vyrovnaného povrchu - drsnost



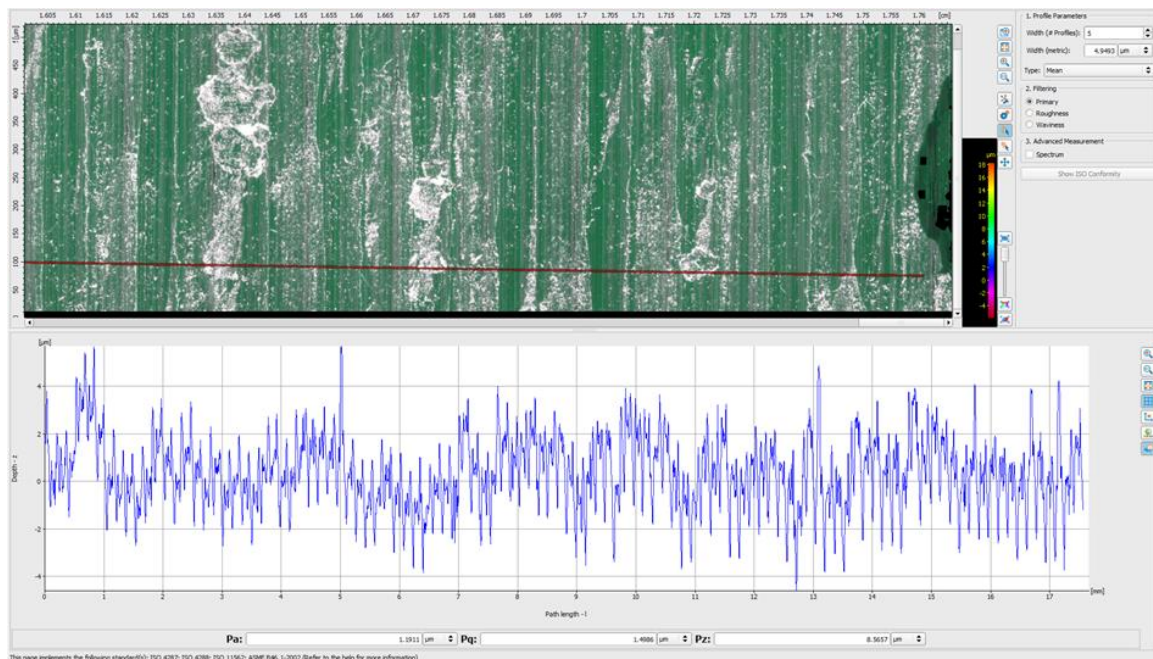
Obr. 4.3-5 Grafický průběh a naměřené hodnoty pro drsnost



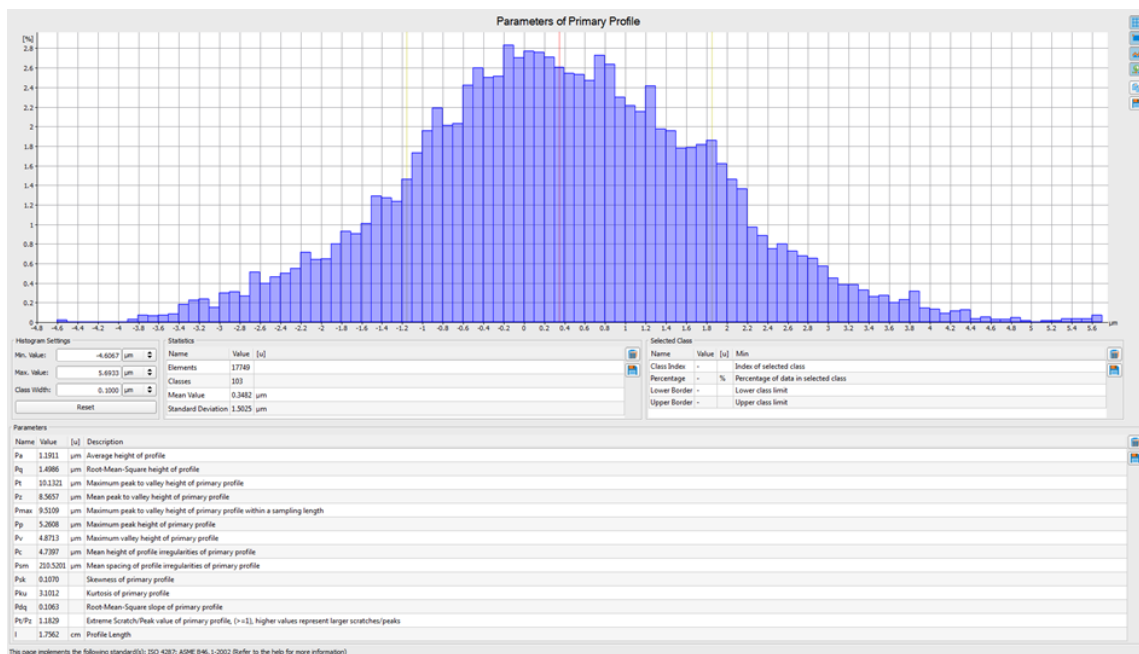
Obr. 4.3-6 Provedení řezu do vyrovnaného povrchu - vlnitost



Obr. 4.3-7 Grafický průběh a naměřené hodnoty pro vlnitost

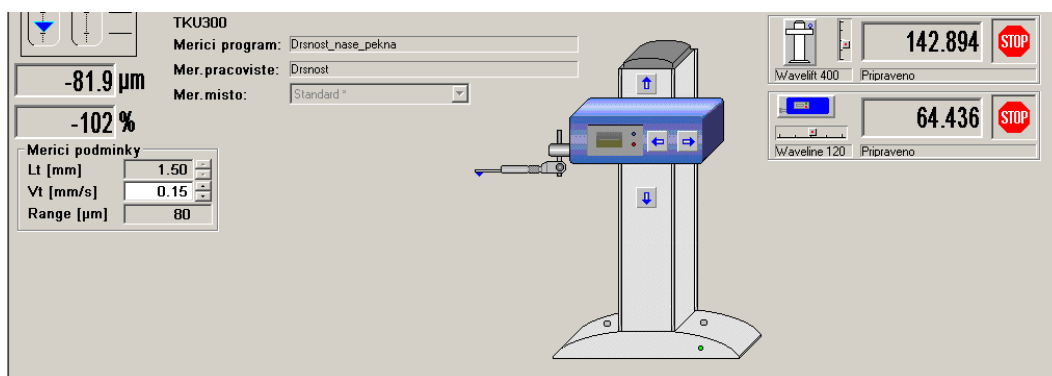


Obr. 4.3-8 Provedení řezu do vyrovnaného povrchu – základní profil



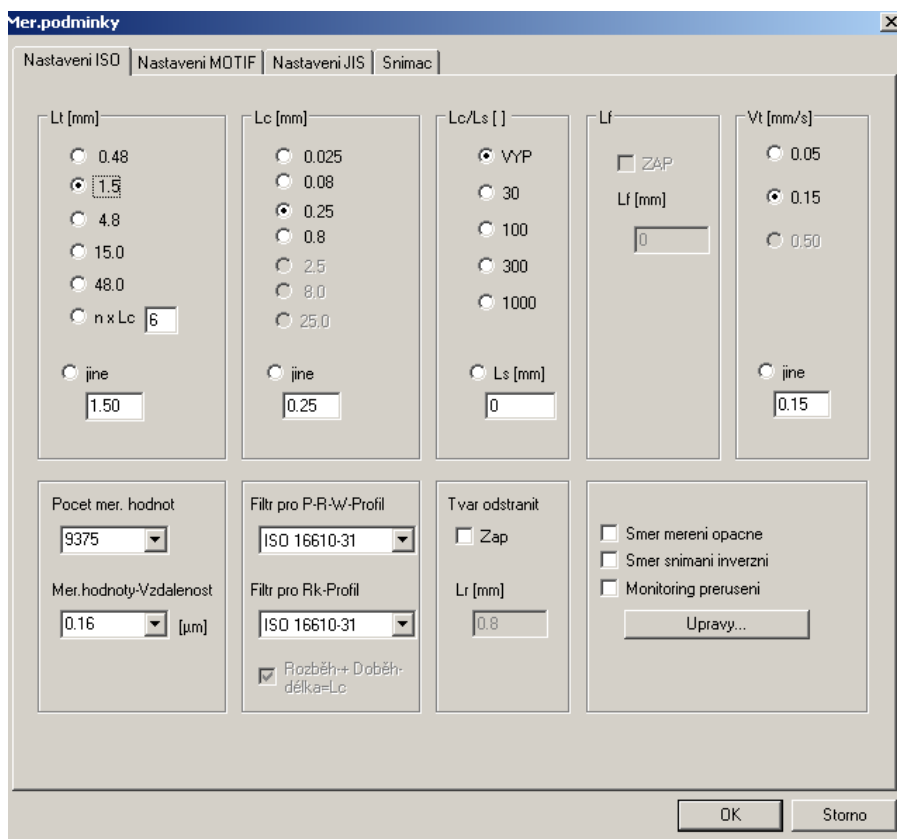
Obr. 4.3-9 Grafický průběh a naměřené hodnoty pro základní profil

Druhá část experimentu byla provedena v metrologické laboratoři KTO pomocí dotykového přístroje Hommel-Etamic T8000. Experiment začínal měřením drsnosti povrchu vzorku 1. Před samotným měřením bylo nutné sestavit měřicí program a zreferovat osy zařízení. Měřicí program byl sestaven pomocí základních funkcí uvedených v teoretické části, viz podkapitola 2.1.2. Zreferování os bylo provedeno pomocí tlačítka F6, kdy došlo k přepnutí do tzv. justovacího okna. Po kliknutí na základní funkci F6 se provedla justace, tzn., že SW ověřil, zda jsou připojené komponenty wavesystému, viz následující obrázek.

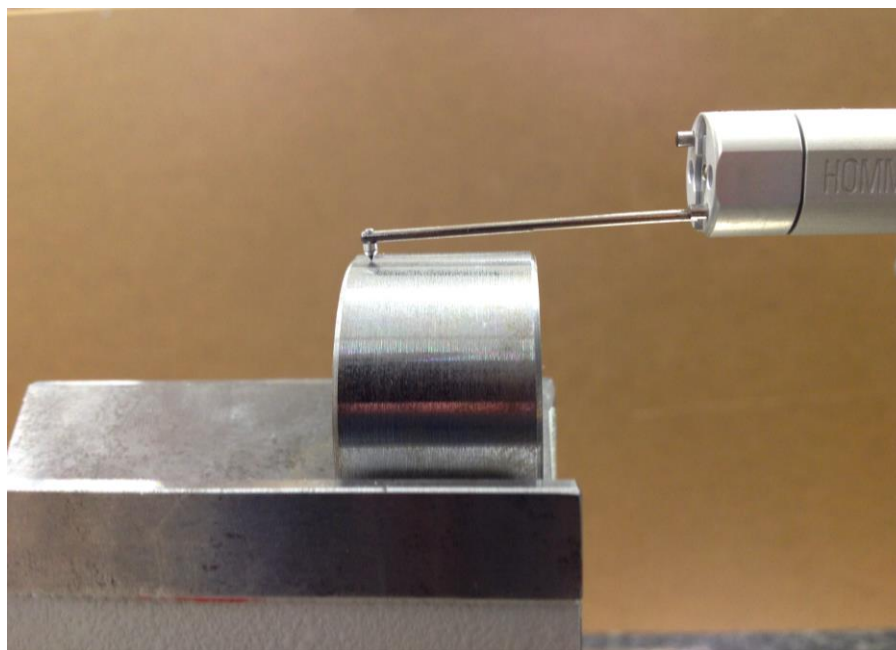


Obr. 4.3-10 Zobrazení připojených komponent

V dalším kroku byly přidány do měřicího programu parametry, které byly měřeny a následně vyhodnoceny. Poté následovalo nastavení měřicích podmínek. Měřicí podmínky byly nastaveny pro odhadnutý parametr Rsm viz Obr. 4.3-11. Pro měření byl použit univerzální snímač TKU300/600 s diamantovým hrotem. Diamantový hrot měl vrcholový úhel kužele  $90^\circ$  a poloměr zaoblění špičky  $5 \mu\text{m}$ . Důvodem použití tohoto hrotu určuje norma a výběr vyplývá z Obr. 3.2-10. Opět byl aplikován Gaussův filtr, aby byly výsledky obou metod porovnatelné. Důvod použití uvedeného filtru je zmíněn u předchozí metody viz výše. Poté byl aplikován postup pro periodické povrchy uvedený v teoretické části, viz kapitola 2.1.3. Na Obr. 4.3-12 lze vidět ukázkou z měření drsnosti povrchu vzorku 1. Po měření jsou naměřené hodnoty a grafické průběhy automaticky zaznamenány a výstupem je protokol z měření, viz Obr. 4.3-13. Stejný postup byl aplikován i pro zbývající vzorky. Protokoly ostatních vzorků byly vloženy do části příloh z důvodu velkého rozsahu.

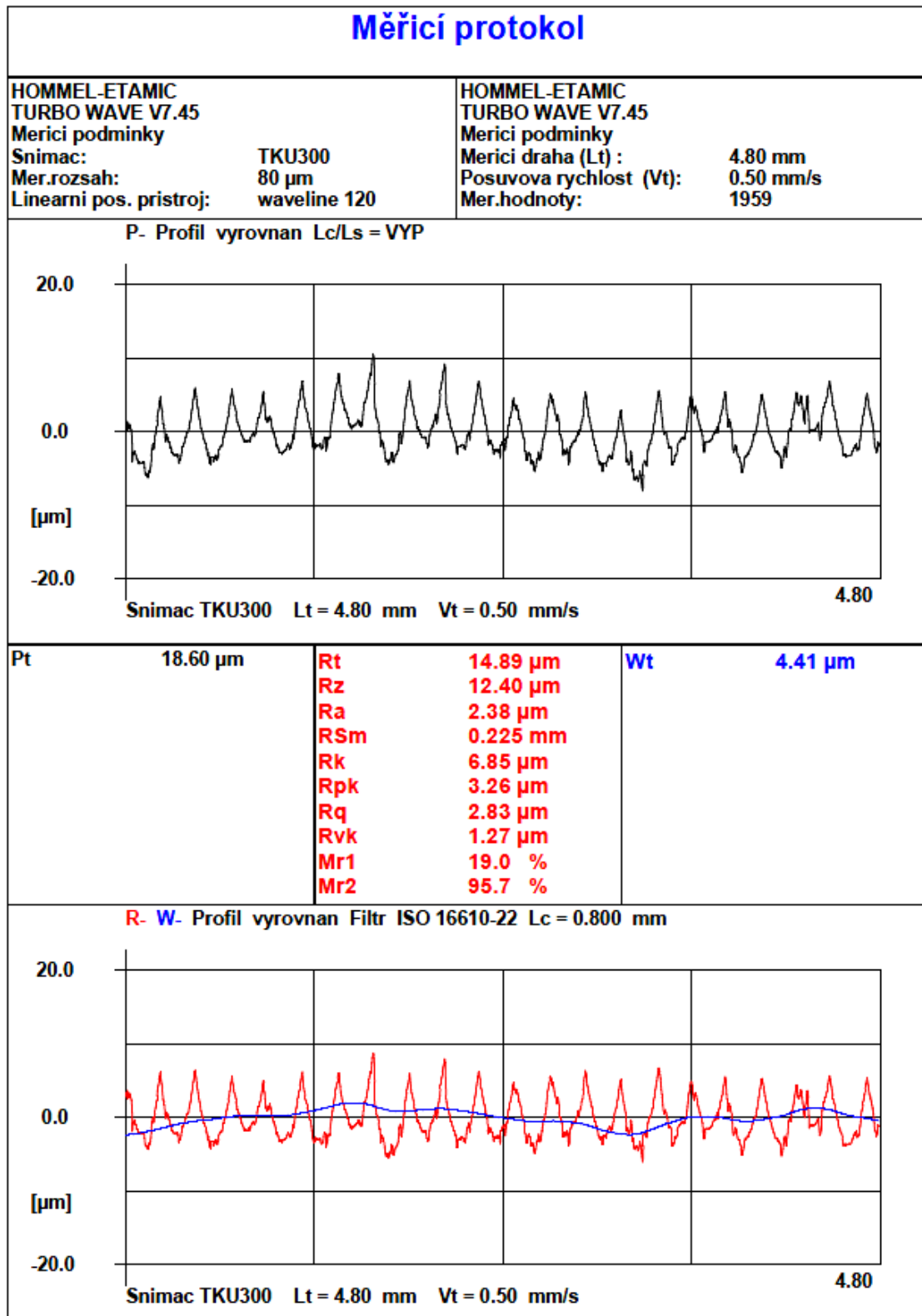


Obr. 4.3-11 Nastavení měřicích podmínek



Obr. 4.3-12 Ukázka z měření drsnosti povrchu na vzorku 1





Obr. 4.3-13 Protokol z měření pro vzorek 1

## 4.4 Analýza výsledků

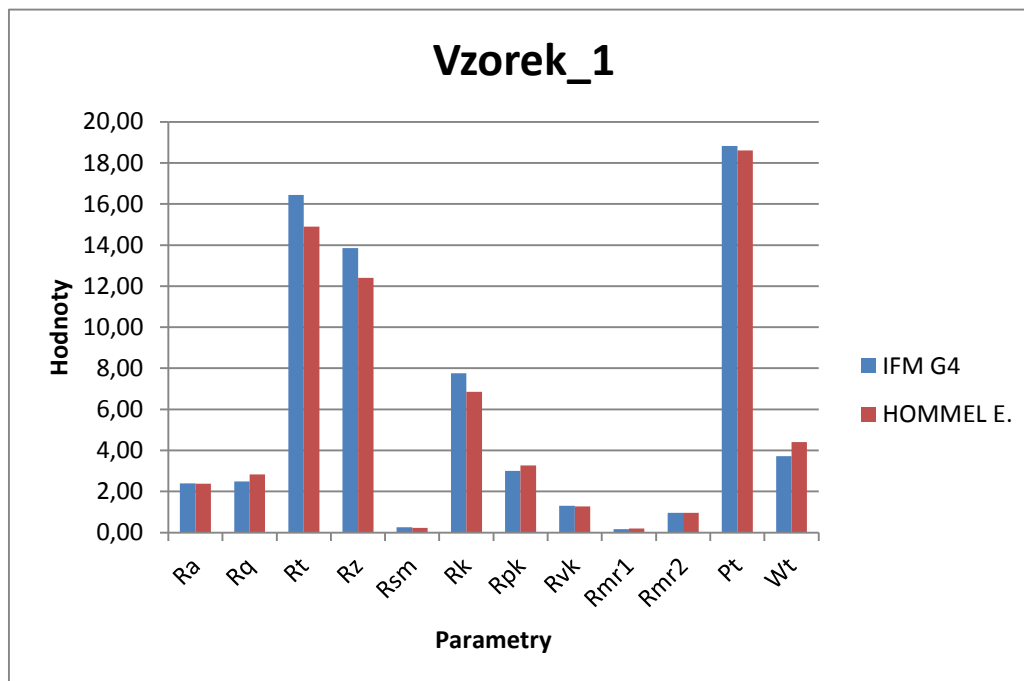
Přehled nastavení jednotlivých délek je uveden v Tab. 4.4-1. Nastavení délek u zařízení InfinityFocus G4 vychází z norem, viz teoretická část postup pro neperiodické povrchy a řídí se parametry Ra a Rz. Nastavení délek u zařízení Hommel-Etamic T8000 vychází z postupu pro periodické povrchy a řídí se parametrem Rsm. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulek a následně vyneseny do grafů pro snadnější porovnání. Byl proveden rozdíl mezi naměřenými hodnotami v procentech a byla vygenerována Abbott-Firestoneova křivka u obou metod pro každý vzorek. Avšak Abbott-Firestoneovy křivky nebylo možné z technických důvodů vygenerovat ve stejném měřítku pro obě metody, budou proto tyto křivky při následném porovnání zobrazeny orientačně.

| Zařízení   | IFM_G4                 |                             |                       | HOMMEL_ETAMIC_T8000    |                             |                       |
|------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Vzorky     | Základní délka lc [mm] | Vyhodnocovaná délka ln [mm] | Snímaná délka lt [mm] | Základní délka lc [mm] | Vyhodnocovaná délka ln [mm] | Snímaná délka lt [mm] |
| Součást_1  | 2,5                    | 12,5                        | 15                    | 0,8                    | 4                           | 4,8                   |
| Součást_2  | 0,8                    | 12,5                        | 15                    | 0,25                   | 1,25                        | 1,5                   |
| Součást_3A | 0,8                    | 12,5                        | 15                    | 0,25                   | 1,25                        | 1,5                   |
| Součást_3B | 2,5                    | 12,5                        | 15                    | 0,8                    | 4                           | 4,8                   |
| Součást_5  | 0,8                    | 12,5                        | 15                    | 0,25                   | 1,25                        | 1,5                   |

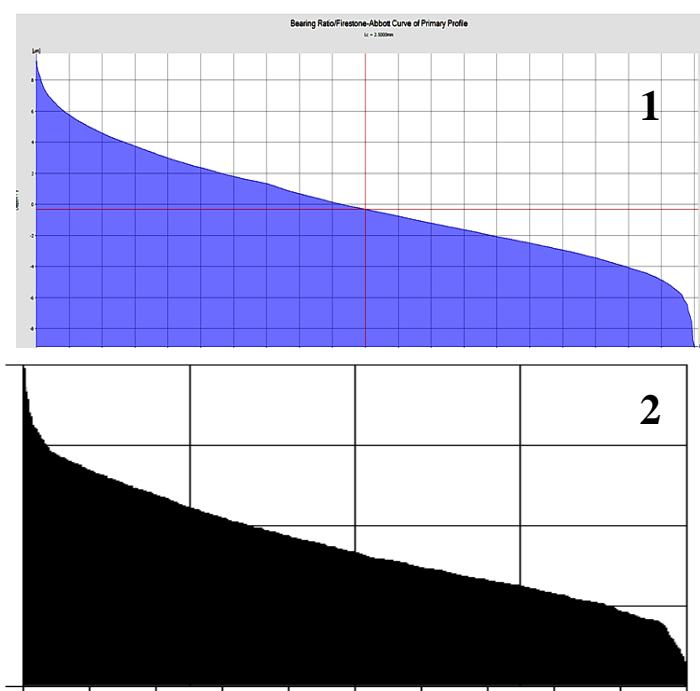
Tab. 4.4-1 Nastavení délek pro každý vzorek

| Vzorek_1  |                   |         |           |               |
|-----------|-------------------|---------|-----------|---------------|
| Zařízení  |                   | IFM G4  | HOMMEL E. |               |
| Parametry | Jednotky          | Hodnoty | Hodnoty   | Rozdíl hodnot |
| Ra        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,39    | 2,38      | 1%            |
| Rq        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,49    | 2,83      | -34%          |
| Rt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 16,44   | 14,89     | 155%          |
| Rz        | [ $\mu\text{m}$ ] | 13,85   | 12,40     | 145%          |
| Rsm       | [mm]              | 0,25    | 0,23      | 3%            |
| Rk        | [ $\mu\text{m}$ ] | 7,75    | 6,85      | 90%           |
| Rpk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 3,01    | 3,26      | -25%          |
| Rvk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,30    | 1,27      | 3%            |
| Rmr1      | [-]               | 0,17    | 0,19      | -2%           |
| Rmr2      | [-]               | 0,96    | 0,96      | 0%            |
| Pt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 18,83   | 18,60     | 23%           |
| Wt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 3,72    | 4,41      | -69%          |

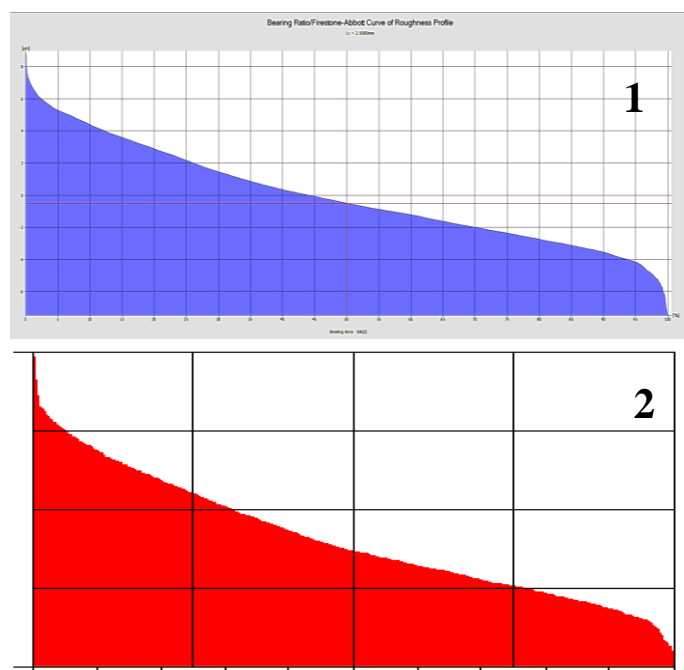
Tab. 4.4-2 Naměřené hodnoty pro vzorek\_1



Obr. 4.4-1 Graf zobrazující naměřené hodnoty pro vzorek\_1



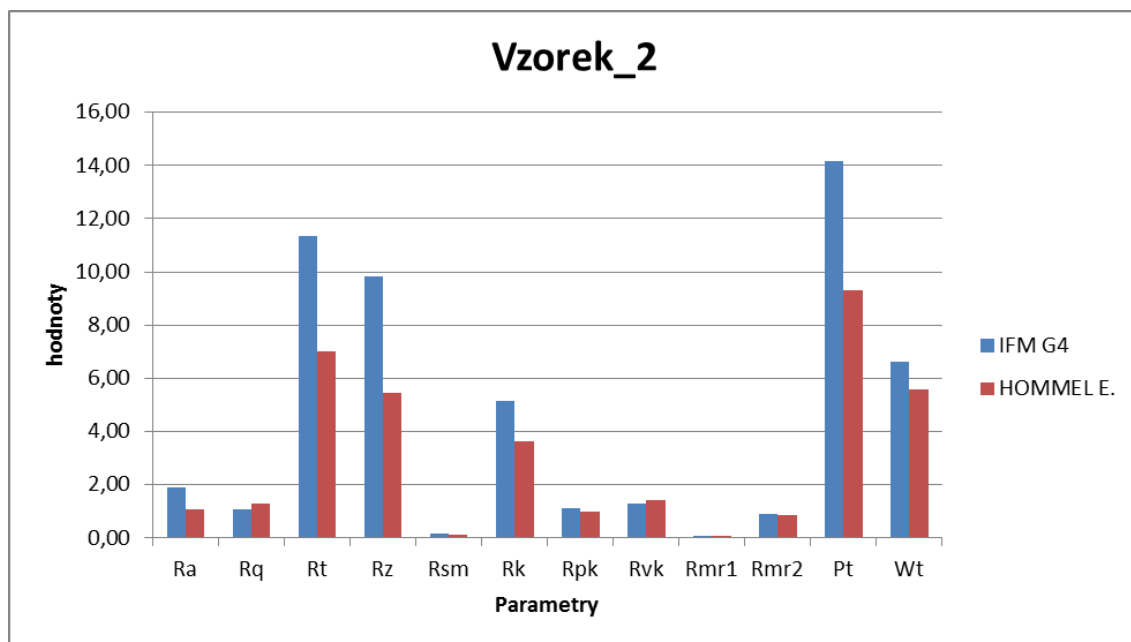
Obr. 4.4-2 Abbott-Firestoneovy křivky primárního profilu u vzorku\_1  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)



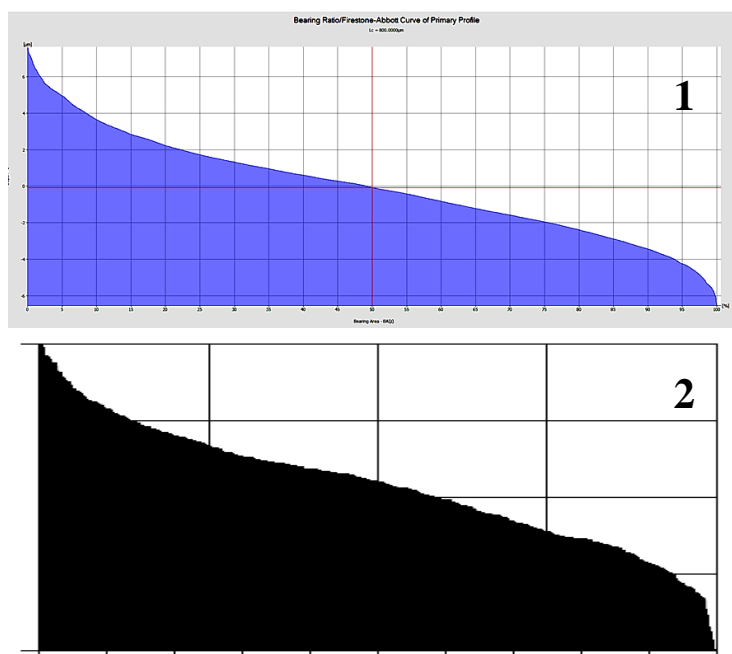
Obr. 4.4-3 Abbott-Firestoneovy křivky profilu drsnosti u vzorku\_1  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)

| Vzorek_2  |                   |         |           |               |
|-----------|-------------------|---------|-----------|---------------|
| Zařízení  |                   | IFM G4  | HOMMEL E. |               |
| Parametry | Jednotky          | Hodnoty | Hodnoty   | Rozdíl hodnot |
| Ra        | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,90    | 1,08      | 82%           |
| Rq        | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,08    | 1,30      | -22%          |
| Rt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 11,33   | 7,00      | 433%          |
| Rz        | [ $\mu\text{m}$ ] | 9,84    | 5,45      | 439%          |
| Rsm       | [mm]              | 0,15    | 0,12      | 3%            |
| Rk        | [ $\mu\text{m}$ ] | 5,14    | 3,61      | 153%          |
| Rpk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,12    | 1,00      | 12%           |
| Rvk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,29    | 1,40      | -11%          |
| Rmr1      | [-]               | 0,07    | 0,08      | -1%           |
| Rmr2      | [-]               | 0,92    | 0,88      | 4%            |
| Pt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 14,15   | 9,31      | 484%          |
| Wt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 6,61    | 5,57      | 104%          |

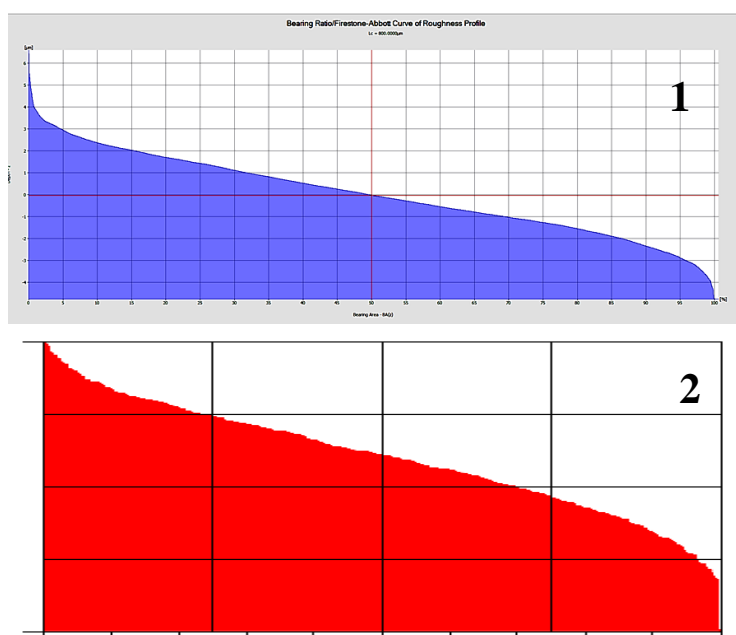
Tab. 4.4-3 Naměřené hodnoty pro vzorek\_2



Obr. 4.4-4 Graf zobrazující naměřené hodnoty pro vzorek\_2



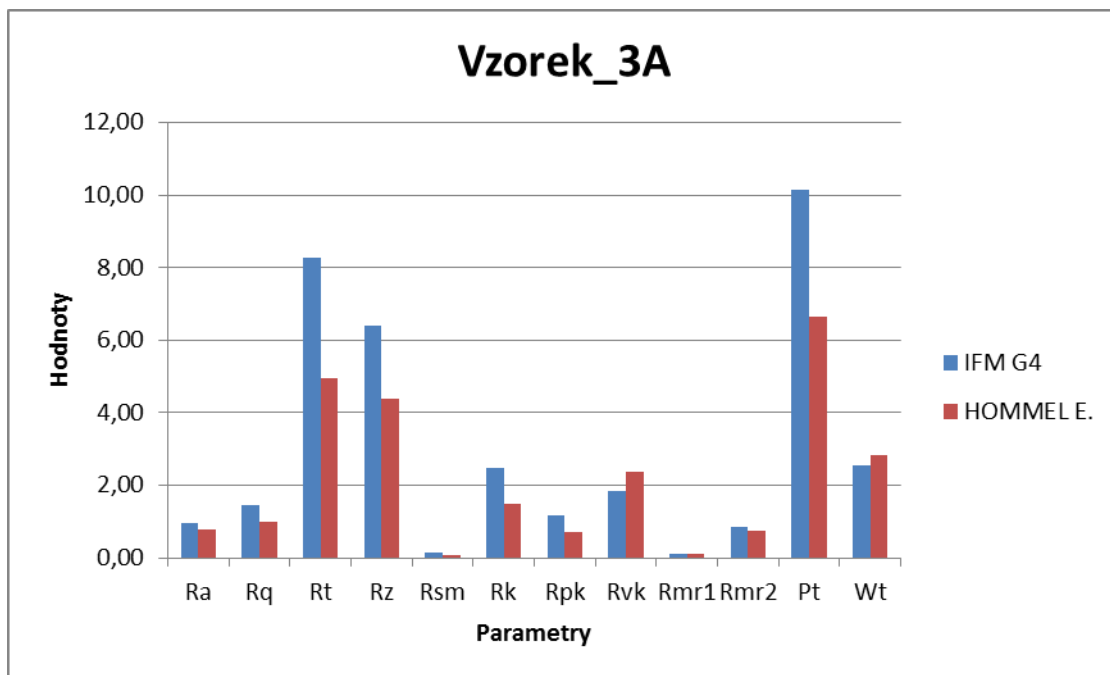
Obr. 4.4-5 Abbott-Firestoneovy křivky primárního profilu u vzorku\_2  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)



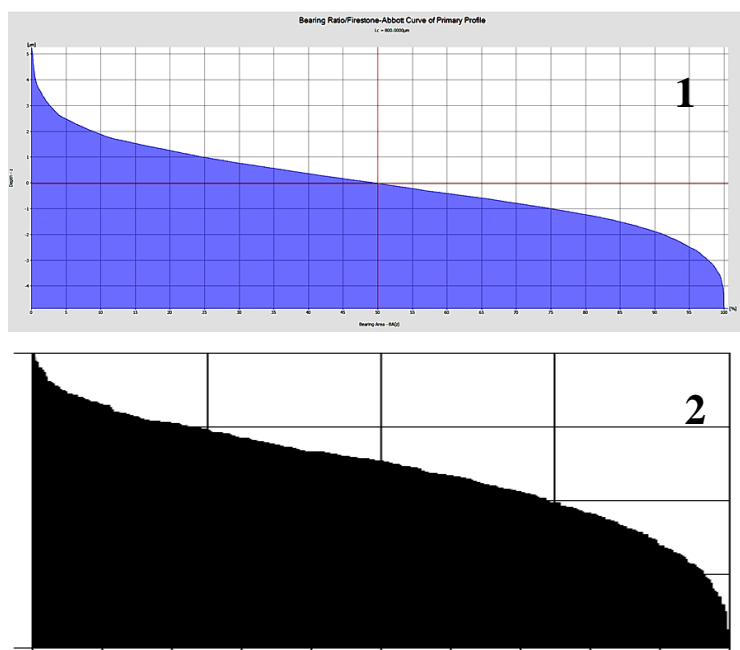
Obr. 4.4-6 Abbott-Firestoneovy křivky profilu drsnosti u vzorku\_2  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)

| Vzorek_3A |                   |         |           |               |
|-----------|-------------------|---------|-----------|---------------|
| Zařízení  |                   | IFM G4  | HOMMEL E. |               |
| Parametry | Jednotky          | Hodnoty | Hodnoty   | Rozdíl hodnot |
| Ra        | [ $\mu\text{m}$ ] | 0,95    | 0,79      | 16%           |
| Rq        | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,44    | 0,98      | 46%           |
| Rt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 8,26    | 4,95      | 331%          |
| Rz        | [ $\mu\text{m}$ ] | 6,41    | 4,38      | 203%          |
| Rsm       | [mm]              | 0,14    | 0,09      | 5%            |
| Rk        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,48    | 1,5       | 98%           |
| Rpk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,18    | 0,71      | 47%           |
| Rvk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,85    | 2,36      | -51%          |
| Rmr1      | [-]               | 0,10    | 0,10      | 0%            |
| Rmr2      | [-]               | 0,86    | 0,76      | 10%           |
| Pt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 10,13   | 6,65      | 348%          |
| Wt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,56    | 2,84      | -28%          |

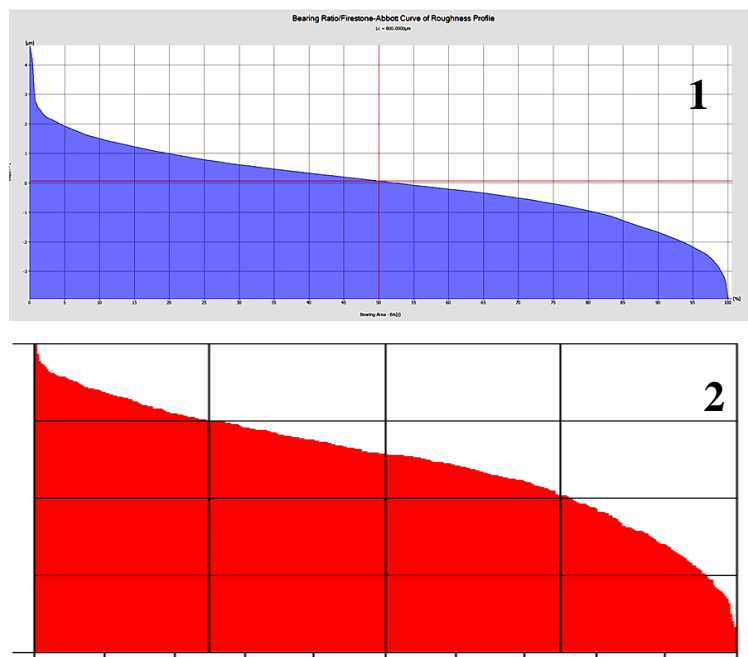
Tab. 4.4-4 Naměřené hodnoty pro vzorek\_3A



Obr. 4.4-7 Graf zobrazující naměřené hodnoty pro vzorek\_3A



Obr. 4.4-8 Abbott-Firestoneovy křivky primárního profilu u vzorku\_3A  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)

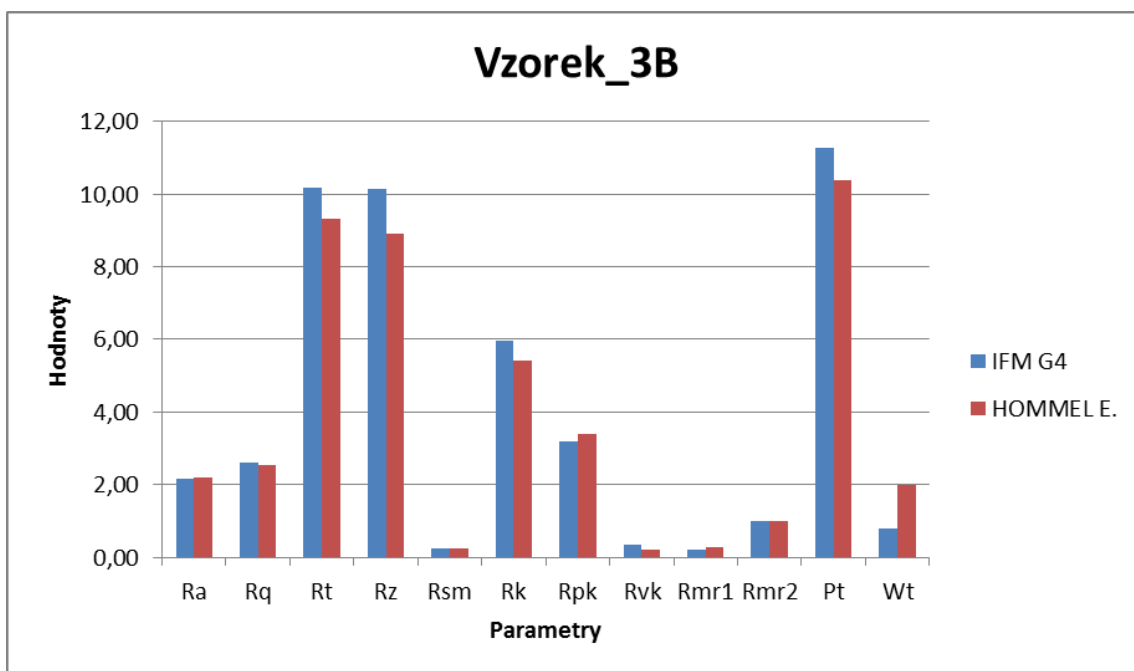


Obr. 4.4-9 Abbott-Firestoneovy křivky profilu drsnosti u vzorku\_3A  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)

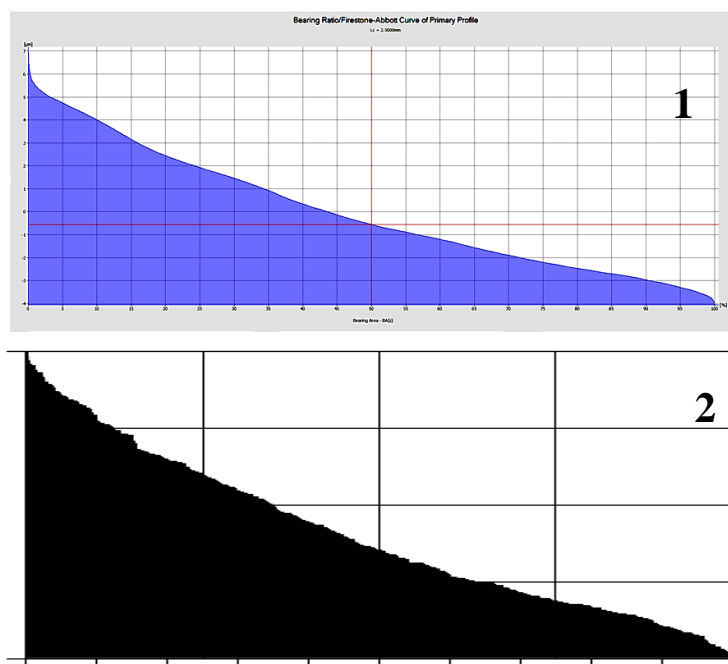
| Vzorek_3B |                   |         |           |               |
|-----------|-------------------|---------|-----------|---------------|
| Zařízení  |                   | IFM G4  | HOMMEL E. |               |
| Parametry | Jednotky          | Hodnoty | Hodnoty   | Rozdíl hodnot |
| Ra        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,17    | 2,19      | -2%           |
| Rq        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,59    | 2,54      | 5%            |
| Rt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 10,19   | 9,32      | 87%           |
| Rz        | [ $\mu\text{m}$ ] | 10,14   | 8,89      | 125%          |
| Rsm       | [mm]              | 0,23    | 0,23      | 0%            |
| Rk        | [ $\mu\text{m}$ ] | 5,96    | 5,42      | 54%           |
| Rpk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 3,18    | 3,39      | -21%          |
| Rvk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 0,33    | 0,20      | 13%           |
| Rmr1      | [-]               | 0,21    | 0,26      | -5%           |
| Rmr2      | [-]               | 0,98    | 0,99      | -1%           |
| Pt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 11,27   | 10,39     | 88%           |
| Wt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 0,78    | 1,98      | -120%         |

Tab. 4.4-5 Naměřené hodnoty pro vzorek\_3B

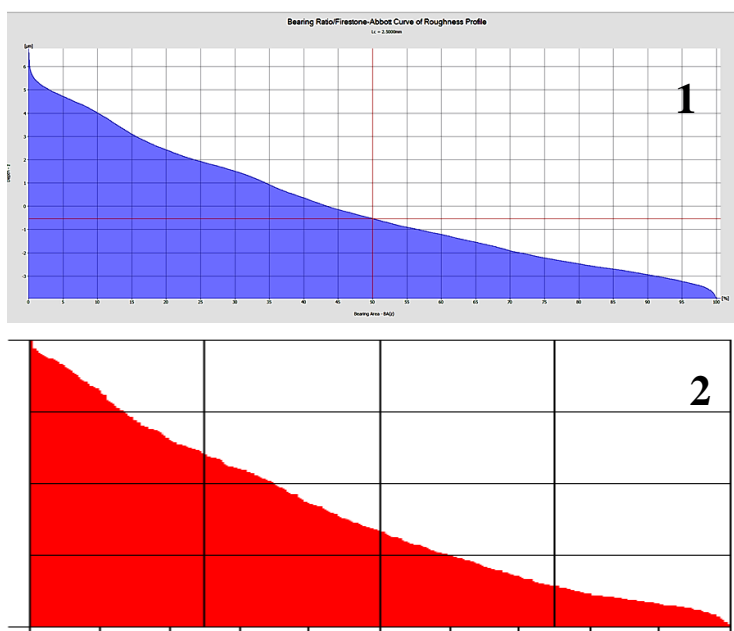




Obr. 4.4-10 Graf zobrazující naměřené hodnoty pro vzorek\_3B



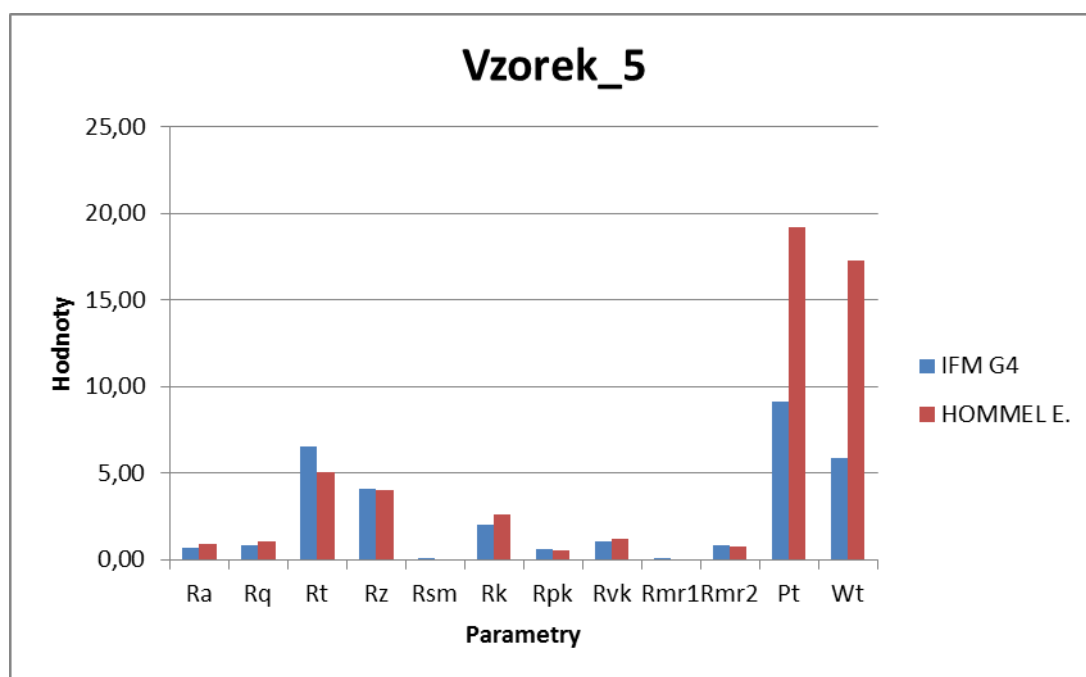
Obr. 4.4-11 Abbott-Firestoneovy křivky primárního profilu u vzorku\_3B  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)



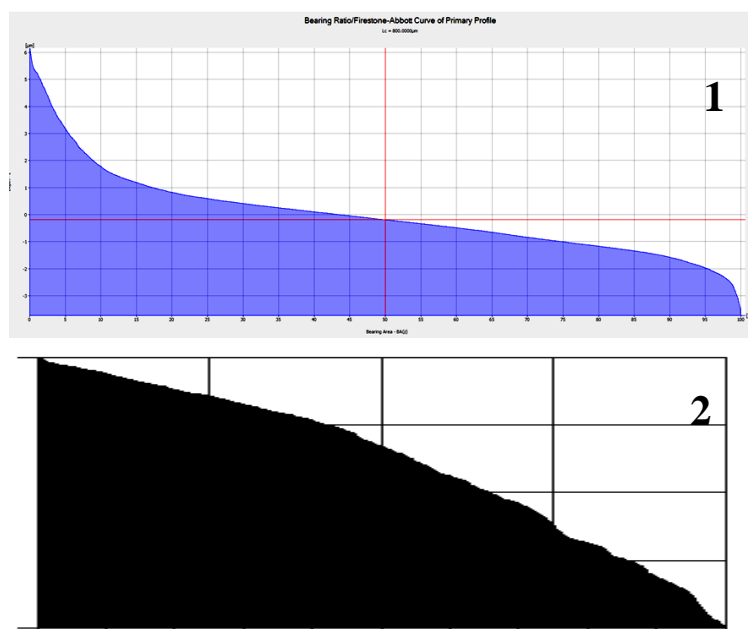
Obr. 4.4-12 Abbott-Firestoneovy křivky profilu drsnosti u vzorku\_3B  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)

| Vzorek_5  |                   |         |           |               |
|-----------|-------------------|---------|-----------|---------------|
| Zařízení  |                   | IFM G4  | HOMMEL E. |               |
| Parametry | Jednotky          | Hodnoty | Hodnoty   | Rozdíl hodnot |
| Ra        | [ $\mu\text{m}$ ] | 0,67    | 0,91      | -24%          |
| Rq        | [ $\mu\text{m}$ ] | 0,85    | 1,06      | -21%          |
| Rt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 6,55    | 5,10      | 145%          |
| Rz        | [ $\mu\text{m}$ ] | 4,08    | 4,05      | 3%            |
| Rsm       | [mm]              | 0,09    | 0,07      | 2%            |
| Rk        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,05    | 2,61      | -56%          |
| Rpk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 0,64    | 0,53      | 11%           |
| Rvk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,06    | 1,24      | -18%          |
| Rmr1      | [-]               | 0,08    | 0,05      | 3%            |
| Rmr2      | [-]               | 0,86    | 0,81      | 5%            |
| Pt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 9,16    | 19,20     | -1004%        |
| Wt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 5,86    | 17,25     | -1139%        |

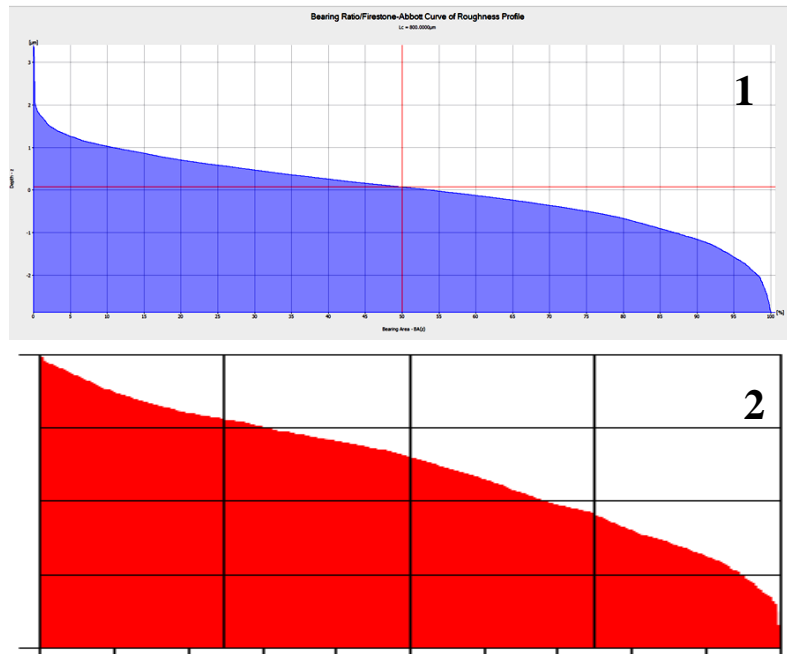
Tab. 4.4-6 Naměřené hodnoty pro vzorek\_5



Obr. 4.4-13 Graf zobrazující naměřené hodnoty pro vzorek\_5



Obr. 4.4-14 Abbott-Firestoneovy křivky primárního profilu u vzorku\_5  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)



Obr. 4.4-15 Abbott-Firestoneovy křivky profilu drsnosti u vzorku\_5  
(1 – InfinityFocus, 2 – Hommel-Etamic)

V další části experimentu bylo nutné přeměřit povrchy vzorků pomocí dotykového zařízení, ale s nastavením délek stejným jako v předchozí části experimentu u zařízení InfinityFocus, aby se ověřilo, zda se naměřené hodnoty parametrů budou výrazně lišit, pokud nebude provedeno nastavení podle normy. I přesto, že se pro obě zařízení vycházelo z normy, nastavení délek se u obou zařízení liší. Důvodem je, že každé zařízení se nastavuje dle jiných parametrů. Dále bylo provedeno měření vzorků na dotykovém zařízení s nastavením délek podle zařízení InfinityFocus.

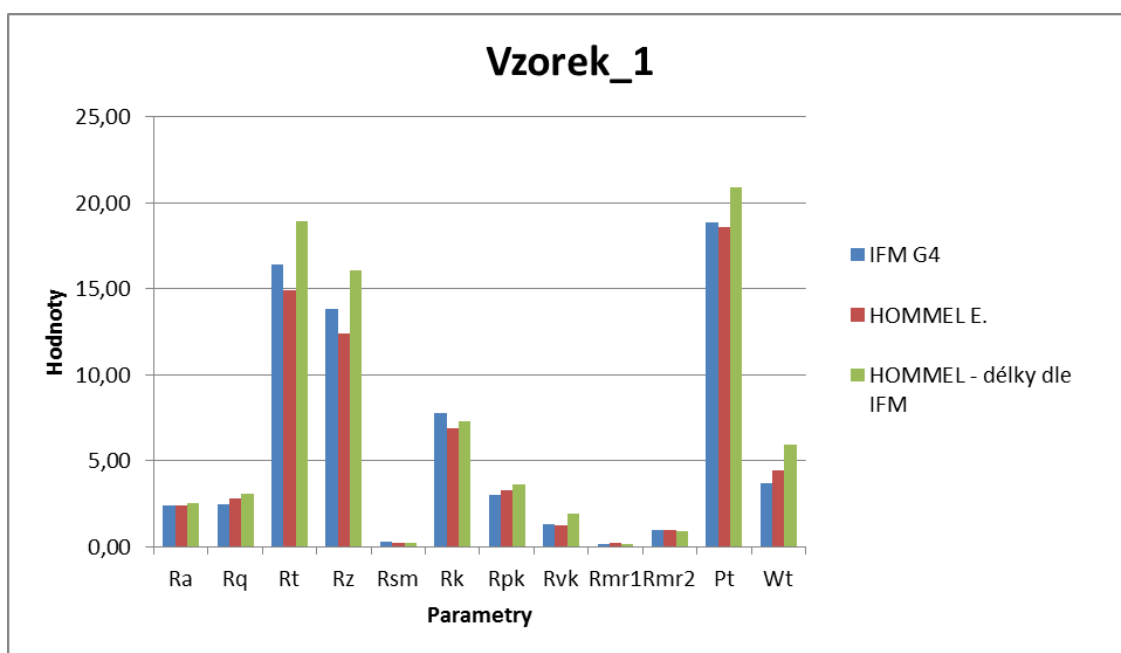
| Zařízení   | IFM_G4                    |                                |                          |
|------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|
|            | Základní délka $l_c$ [mm] | Vyhodnocovaná délka $l_n$ [mm] | Snímaná délka $l_t$ [mm] |
| Součást_1  | 2,5                       | 12,5                           | 15                       |
| Součást_2  | 0,8                       | 12,5                           | 15                       |
| Součást_3A | 0,8                       | 12,5                           | 15                       |
| Součást_3B | 2,5                       | 12,5                           | 15                       |
| Součást_5  | 0,8                       | 12,5                           | 15                       |

Tab. 4.4-7 Nastavení délek podle zařízení InfinityFocus

Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulek a vyneseny do grafů. Na následujících tabulkách a grafech lze vidět porovnání naměřených hodnot mezi InfinityFocus a Hommel-Etamic s nastavením délek podle zařízení InfinityFocus. Dále porovnání naměřených hodnot mezi Hommel-Etamic s původními délkami dle normy a Hommel-Etamic s nastavením délek podle zařízení InfinityFocus. Vzorky 5 a 2 nebylo možné porovnat, protože byly měřeny v jiném rozsahu. Důvodem změny nastavení rozsahu bylo nutné, protože vzorky 5 i 2 měly zakřivený tvar a nebylo je možné změřit v základním rozsahu při nastavení délek podle InfinityFocus. Z tohoto důvodu nebyly v této části uvedeny.

| Vzorek_1  |                   |         |           |                        |                                |                                   |
|-----------|-------------------|---------|-----------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Zařízení  |                   | IFM G4  | HOMMEL E. | HOMMEL - délky dle IFM | Porovnání IFM s HOMMEL dle IFM | Porovnání HOMMEL s HOMMEL dle IFM |
| Parametry | Jednotky          | Hodnoty | Hodnoty   | Hodnoty                |                                |                                   |
| Ra        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,39    | 2,38      | 2,51                   | -12%                           | -13%                              |
| Rq        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,49    | 2,83      | 3,08                   | -59%                           | -25%                              |
| Rt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 16,44   | 14,89     | 18,92                  | -248%                          | -403%                             |
| Rz        | [ $\mu\text{m}$ ] | 13,85   | 12,40     | 16,06                  | -221%                          | -366%                             |
| Rsm       | [mm]              | 0,25    | 0,23      | 0,23                   | 2%                             | -1%                               |
| Rk        | [ $\mu\text{m}$ ] | 7,75    | 6,85      | 7,29                   | 46%                            | -44%                              |
| Rpk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 3,01    | 3,26      | 3,61                   | -60%                           | -35%                              |
| Rvk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,30    | 1,27      | 1,91                   | -61%                           | -64%                              |
| Rmr1      | [-]               | 0,17    | 0,19      | 0,17                   | 0%                             | 2%                                |
| Rmr2      | [-]               | 0,96    | 0,96      | 0,93                   | 2%                             | 3%                                |
| Pt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 18,83   | 18,60     | 20,91                  | -208%                          | -231%                             |
| Wt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 3,72    | 4,41      | 5,95                   | -223%                          | -154%                             |

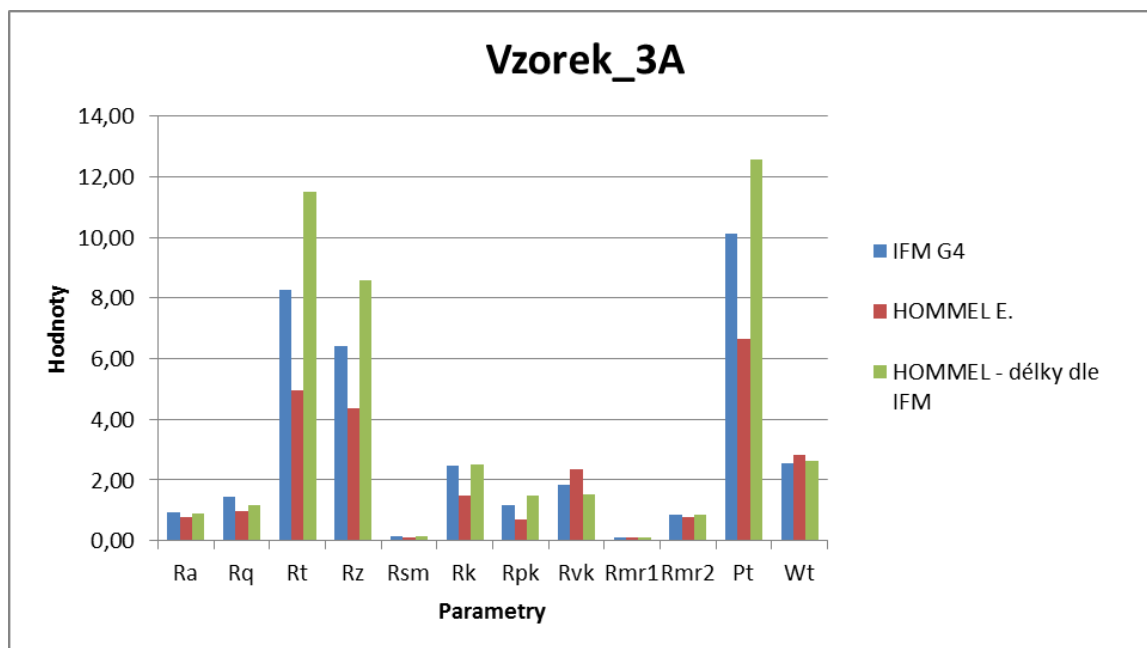
Tab. 4.4-8 Porovnání naměřených hodnot vzorku\_1



Obr. 4.4-16 Graf zobrazující naměřené hodnoty pro vzorek\_1

| Vzorek_3A |                   |           |                        |         |                                |                                   |
|-----------|-------------------|-----------|------------------------|---------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Zařízení  | IFM G4            | HOMMEL E. | HOMMEL - délky dle IFM |         | Porovnání IFM s HOMMEL dle IFM | Porovnání HOMMEL s HOMMEL dle IFM |
| Parametry | Jednotky          | Hodnoty   | Hodnoty                | Hodnoty |                                |                                   |
| Ra        | [ $\mu\text{m}$ ] | 0,95      | 0,79                   | 0,89    | 6%                             | -10%                              |
| Rq        | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,44      | 0,98                   | 1,17    | 27%                            | -19%                              |
| Rt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 8,26      | 4,95                   | 11,49   | -323%                          | -654%                             |
| Rz        | [ $\mu\text{m}$ ] | 6,41      | 4,38                   | 8,59    | -218%                          | -421%                             |
| Rsm       | [mm]              | 0,14      | 0,09                   | 0,13    | 2%                             | -4%                               |
| Rk        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,48      | 1,50                   | 2,50    | -2%                            | -100%                             |
| Rpk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,18      | 0,71                   | 1,50    | -32%                           | -79%                              |
| Rvk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 1,85      | 2,36                   | 1,53    | 32%                            | 83%                               |
| Rmr1      | [-]               | 0,10      | 0,10                   | 0,10    | 0%                             | 0%                                |
| Rmr2      | [-]               | 0,86      | 0,76                   | 0,85    | 1%                             | -9%                               |
| Pt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 10,13     | 6,65                   | 12,57   | -244%                          | -592%                             |
| Wt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,56      | 2,84                   | 2,64    | -8%                            | 20%                               |

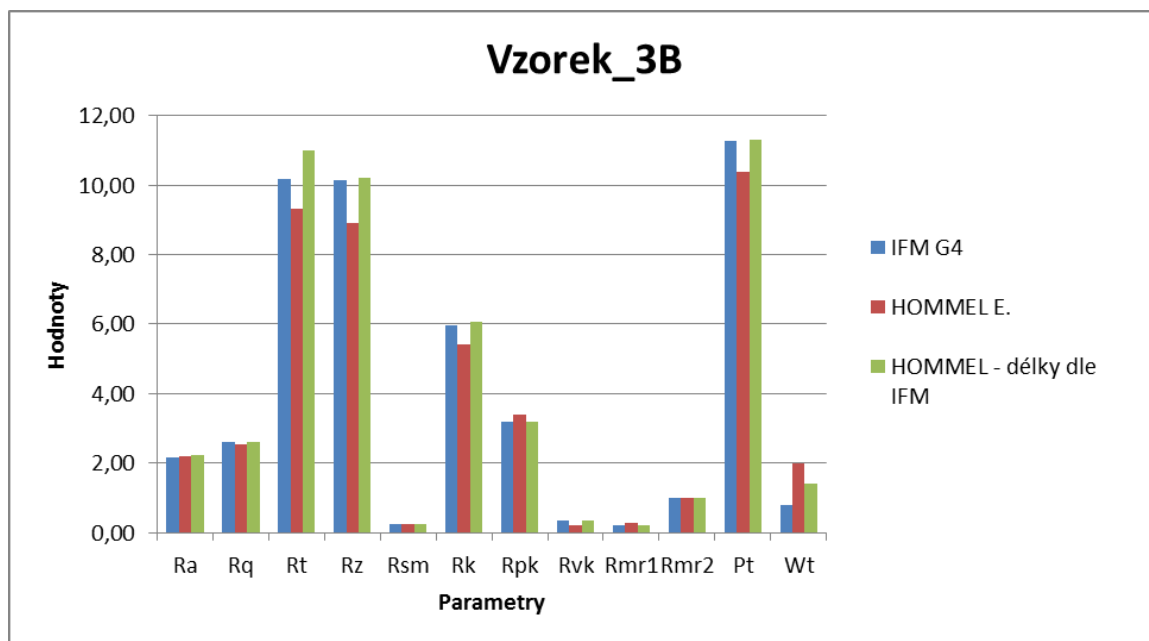
Tab. 4.4-9 Porovnání naměřených hodnot vzorku\_3A



Obr. 4.4-17 Graf zobrazující naměřené hodnoty pro vzorek\_3A

| Vzorek_3B |                   |           |                        |         |                                |                                   |
|-----------|-------------------|-----------|------------------------|---------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Zařízení  | IFM G4            | HOMMEL E. | HOMMEL - délky dle IFM |         | Porovnání IFM s HOMMEL dle IFM | Porovnání HOMMEL s HOMMEL dle IFM |
| Parametry | Jednotky          | Hodnoty   | Hodnoty                | Hodnoty |                                |                                   |
| Ra        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,17      | 2,19                   | 2,23    | -6%                            | -4%                               |
| Rq        | [ $\mu\text{m}$ ] | 2,59      | 2,54                   | 2,61    | -2%                            | -7%                               |
| Rt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 10,19     | 9,32                   | 11,00   | -81%                           | -168%                             |
| Rz        | [ $\mu\text{m}$ ] | 10,14     | 8,89                   | 10,21   | -7%                            | -132%                             |
| Rsm       | [mm]              | 0,23      | 0,23                   | 0,23    | 0%                             | 0%                                |
| Rk        | [ $\mu\text{m}$ ] | 5,96      | 5,42                   | 6,05    | -9%                            | -63%                              |
| Rpk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 3,18      | 3,39                   | 3,18    | 0%                             | 21%                               |
| Rvk       | [ $\mu\text{m}$ ] | 0,33      | 0,20                   | 0,33    | 0%                             | -13%                              |
| Rmr1      | [-]               | 0,21      | 0,26                   | 0,22    | -1%                            | 4%                                |
| Rmr2      | [-]               | 0,98      | 0,99                   | 0,99    | -1%                            | 0%                                |
| Pt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 11,27     | 10,39                  | 11,31   | -4%                            | -92%                              |
| Wt        | [ $\mu\text{m}$ ] | 0,78      | 1,98                   | 1,39    | -61%                           | 59%                               |

Tab. 4.4-10 Porovnání naměřených hodnot vzorku\_3B



Obr. 4.4-18 Graf zobrazující naměřené hodnoty pro vzorek\_3B

## 4.5 Závěry

V první řadě byly provedeny závěry podle nastavených délek uvedených v Tab. 4.4-1.

### Vzorek 1

Prvním vzorkem pro porovnání parametrů byl soustružený povrch. První část experimentu byla provedena bezdotykovou metodou. Druhá část experimentu byla provedena ve stejném místě dotykovou metodou. Jak už bylo uvedeno, vycházelo se z předpisů norem. V Tab. 4.4-2 a na Obr. 4.4-1 lze vidět porovnání hodnot vybraných parametrů mezi dotykovou a bezdotykovou metodou. Rozdíly hodnot se liší v řádu jednotek, desítek maximálně až stovek procent. Nejnižší rozdíly jsou u parametrů  $R_a$ ,  $R_{sm}$ ,  $R_{vk}$  a parametrů nosné křivky  $R_{mr1}$  a  $R_{mr2}$ . Velmi dobré vypovídací vlastnosti o struktuře povrchu má Abbott-Firestoneova křivka. Pokud křivka klesá pozvolna, jedná se o profil s nepatrným objemem prohlubní a tím o velmi kvalitní povrch s dobrými vlastnostmi. V opačném případě, kdy křivka je velmi strmá, poukazuje na silné pukliny v povrchu a tím na nepříznivý povrch se špatnými vlastnostmi opotřebení. Na Obr. 4.4-2 a 4.4-3 lze vidět Abbott-Firestoneovy křivky pro primární profil a profil drsnosti. Křivky u obou metod jsou velice podobné a vykazují kvalitní povrch.

### Vzorek 2

U druhého vzorku se opět jednalo o soustružený povrch, ale s jinou drsností. Z Tab. 4.4-3 a Obr. 4.4-5 lze vidět větší rozdíly v hodnotách parametrů než u předchozího vzorku. Zejména u parametrů  $R_t$ ,  $R_z$  a  $P_t$ . Naopak velmi malé rozdíly lze vidět u parametrů  $R_{mr1}$ ,  $R_{mr2}$  a  $R_{sm}$ . Opět se hodnoty liší v řádu jednotek, desítek až stovek procent. Důvodem větších odchylek může být diamantový hrot, který je omezen špičkou radiusu a nezapadne do menších nerovností při snímání nebo byla možná chyba operátora, který nastavuje kolmost stop na povrchu proti snímání. Na Obr. 4.4-5 a 4.4-6 lze vidět Abbott-Firestoneovy křivky pro primární profil a profil drsnosti. Křivky obou metod jsou si skoro podobné a vykazují méně kvalitní povrch.

### Vzorek 3A

Na třetím vzorku byly měřeny povrchy na dvou stranách, které byly označeny jako strana A a strana B. U obou stran se jednalo o frézovaný povrch, ale s rozdílnou drsností. Z Tab. 4.4-4 a Obr. 4.4-7 lze vidět, že naměřené hodnoty se výrazně liší. Důvodem je omezení rádiusem špičky diamantového hrotu nebo možná chyba operátora při nastavení kolmosti.



Abbott-Firestoneovy křivky viz Obr. 4.4-8 a 4.4-9 se shodují u obou metod a vykazují poměrně kvalitní povrch.

### **Vzorek 3B**

Povrch strany B se liší u obou metod velmi málo kromě parametrů Rz a Wt viz Tab. 4.4-5 a Obr. 4.4-10. Parametry s největší vypovídací hodnotou jako jsou Ra a Rq se pro svoji charakteristiku liší velmi málo, řádově v jednotkách procent. Za povšimnutí stojí parametr Rsm, který je shodný u obou metod. Příčinou může být nekvalitní povrch, který vyplývá z Abbott-Firestoneových křivek viz Obr. 4.4-11 a 4.4-12. Křivky prudce klesají a tím vyjadřují nekvalitní povrch.

### **Vzorek 5**

Jednalo se o soustružený povrch. Z Tab. 4.4-6 a Obr. 4.4-13 lze vidět malé rozdíly hodnot až na parametry Pt a Wt. Důvodem mohl být velmi zakřivený povrch a u bezdotykové metody ho bylo nutno vyrovnat. Citlivost vyrovnání a zvolený řez je ovlivněn operátorem. U dotykové metody je vyrovnání provedeno automaticky. Abbott-Firestoneovy křivky viz Obr. 4.4-14 a 4.4-15 se výrazně liší u obou metod a vykazují nekvalitní povrch.

Dále byly provedeny závěry podle nastavených délek pro obě metody, viz Tab. 4.4-7.

### **Vzorek 1**

Povrch vzorku byl přeměřen pomocí dotykového zařízení, ale s nastavením délek podle bezdotykového zařízení. Naměřené hodnoty se až na pár výjimek výrazně lišily, viz Tab. 4.4-8 a Obr. 4.4-16, ale i přesto se hodnoty pohybují v rozmezí jednotek až stovek procent. Je tedy nutné postupovat podle normy a měřit na správných délkách.

### **Vzorek 3A**

U tohoto vzorku se naměřené hodnoty výrazně nelišily až na tři parametry (Rt, Rz a Pt) viz Tab. 4.4-8 a Obr. 4.4-16. Podle parametru Rz se nastavují délky u bezdotykové metody, to může být důvod pro odchylku, zatímco pro dotykovou metodu je důležitý parametr Rsm.

### **Vzorek 3B**

Tento vzorek vykazoval nejmenší odchylky mezi naměřenými hodnotami. Důvodem mohl být velmi kvalitní povrch s většími nerovnostmi, které bez problému nasnímal diamantový hrot. Dalším důvodem může být správné nastavení od operátora (zajištění kolmosti).

## 5 Závěr

Hlavním cílem práce bylo porovnat parametry drsnosti povrchu mezi dotykovou metodou a bezdotykovou metodou u vzorků různých tvarů s rozdílným opracováním. K tomu bylo využito bezdotykové zařízení InfinityFocus G4 a bezdotykové zařízení Hommel-Etamic T8000.

V úvodní části byly uvedeny informace o drsnosti povrchu a vývoji nových zařízení. Dále obsahuje rozdělení metod snímání drsnosti povrchu na kontaktní a bezkontaktní. Je zde uveden důvod vzniku diplomové práce.

V druhé části bylo věnováno podrobnému rozboru uvedeným zařízením. Podrobně byly popsány principy, jednotlivé komponenty zařízení a SW pro vyhodnocení. Dále byly uvedeny výhody a nevýhody jednotlivých zařízení a v neposlední řadě byly popsány základní pravidla, postupy a zásady pro měření a následné vyhodnocení u obou metod. Zmíněny byly atributy, které lze vyhodnocovat na jednotlivých zařízeních.

Třetí částí bylo věnováno hodnocení drsnosti povrchu. Tato část obsahuje přehled norem, které souvisí s touto problematikou. Dále jsou v této kapitole uvedeny základní termíny, definice a filtrace dat, bez kterých by bylo velmi těžké se v této problematice orientovat. Jsou zde uvedeny skupiny parametrů a vždy je vybrán jeden zástupce z každé skupiny, který je podrobně popsán. Jedná se především o parametry pro 2D hodnocení, protože se s nimi v této práci pracovalo, ale je zde uvedena i norma pro 3D hodnocení.

Čtvrtá část je částí stěžejní. Jedná se o vlastní experiment, který byl rozdělen do pěti fází. V první fázi byly vybrány parametry, které se porovnávaly. Druhá fáze obsahuje přehled vzorků různých tvarů s rozdílným opracováním, které bylo nutné zajistit. Dále bylo nutné vzorky připravit pro měření a určit zařízení, na kterém se začalo měřit. Ve třetí fázi proběhly zkoušky ve stanoveném pořadí. Nejprve se měřilo na bezdotykovém zařízení InfinityFocus G4 v laboratoři RTI a poté na dotykovém zařízení Hommel-Etamic T8000 v metrologické laboratoři KTO. Měření bylo provedeno na stejném místě pro každý vzorek a podle předpisů norem, aby výsledky byly porovnatelné. Pro každý vzorek vznikl záznam z měření. Ve čtvrté fázi byly záznamy z měření zaznamenány do přehledných tabulek a grafů pro snadnější porovnání vybraných parametrů. Dále byla vygenerována Abbott-Firestoneova křivka pro každý vzorek, protože má velkou vypovídací hodnotu o struktuře povrchu. Následoval procentuální rozdíl mezi metodami. V dalším kroku bylo nutné provést přeměření vzorků

dotykovým přístrojem, ale s nastavením délek jako u bezdotykového zařízení. V poslední fázi proběhlo zhodnocení vybraných parametrů mezi oběma metodami pro každý vzorek zvlášť. Z toho plyne, že jednotlivé parametry se lišily řádově v jednotkách, desítkách až stovkách procent. Nejméně se lišily parametry s největší vypovídací hodnotou, z důvodu své charakteristiky, jakou jsou parametry nosné křivky, průměrná aritmetická úchylka a průměrná šířka prvků profilu. Nejvíce se lišily méně používané parametry (Pt, Wt). Důvodem, proč byly takové procentuální rozdíly, dotyková metoda vychází z parametru Rsm, zatímco bezdotyková vychází z parametrů Ra a Rz. Dále byly nastaveny délky podle norem, v případě změny nastavení délek na jiné hodnoty než uvádí normy, naměřené hodnoty se výrazně lišily. Dalším hlavním důvodem bylo omezení špičky radiusu hrotu. Diamantový hrot se nedostane do míst např. mikronerovností, zatímco bezdotykové zařízení využívající velmi úzký svazek laseru bez problému uvedené místo změří. Posledním důvodem mohla být lidská chyba, protože operátor zařízení nastavuje měřený povrch tak, aby stopy po nástroji na povrchu byly kolmo na směr snímání. To je zajištěno vizuálním pohledem.

Měření drsnosti povrchu pomocí bezdotykového zařízení InfinityFocus je velmi rychlé a přesné, ale příprava pro měření je velmi zdlouhavá, zatímco u dotykového zařízení Hommel-Etamic se vytvoří program pro měření, zreferují osy a lze ihned měřit. Bezdotyková metoda je vhodnější pro detailnější popis mikrostruktur povrchu např. u složitějších nástrojů, jako jsou různé druhy vrtáků, fréz, atd., které by pomocí dotykového zařízení bylo náročné na měření až nemožné a nepřesné.

Závěrem lze říci, že byly splněny na počátku všechny definované cíle.

## 6 Zdroje

[1] KARÁSEK, J. *Přednáška z předmětu metrologie a montáž*. Technická univerzita v Liberci [online]. [cit. 2015-03-07]. Dostupné z:

[http://www.technomat.cz/data/katedry/kom/KOM\\_MM\\_PR\\_10\\_CZE\\_Karasek\\_Geometricke\\_vlastnosti\\_povrchu.pdf](http://www.technomat.cz/data/katedry/kom/KOM_MM_PR_10_CZE_Karasek_Geometricke_vlastnosti_povrchu.pdf)

[2] ČSN EN ISO 4287, *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchů: Profilová metoda – Pojmy, definice a parametry struktury povrchu*. ČNI, Praha, 1999.

[3] JURENA, P. *Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem*. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta Technologická, 13.5.2011. [online]. Dostupné z:

[http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16302/jurena\\_2011\\_dp.pdf?sequ](http://dspace.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/16302/jurena_2011_dp.pdf?sequ)

[4] PATA, V. *Učíme v prostoru. Měření jakosti povrchu* [online]. [cit. 2015-03-07].

Dostupné z: [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=1985](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=1985)

[5] ČSN EN ISO 3274, *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů*. ČNI, Praha, 1999.

[6] *Parametr Ra* [online]. [cit. 2015-03-08]. Dostupné z:

<http://www.konstruovanie1.uniza.sk/Subory/Obr/Obr9.12.html>

[7] Olympus. *Parametr RSm* [online]. [cit. 2015-03-08]. Dostupné z:

[http://www.olympus-ims.com/en/knowledge/metrology/roughness/2d\\_parameter/](http://www.olympus-ims.com/en/knowledge/metrology/roughness/2d_parameter/)

[8] ČSN EN ISO 12085, *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Parametry metody motif*. ČNI, Praha, 1999.

[9] ČSN EN ISO 13565-2, *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 2: Výškové charakteristiky využívající křivku lineárního materiálového poměru*. ČNI, Praha, 1999

[10] ČSN EN ISO 13565-3, *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 3: Výškové charakteristiky využívající pravděpodobnostní křivku materiálu*. ČNI, Praha, 2001

- [11] HOMMEL-ETAMIC, *Parametr R3z*. [online]. [cit. 2015-03-09]. Dostupné z:  
<http://www.hommel-etamic.cz/files/HOMMEL-CS-plakat-drsnost-uchylky-tvaru.pdf>
- [12] MAHR GmbH, *Parametr R3z*. [online]. [cit. 2015-03-09]. Germany - EDITION 1/09/99.  
Dostupné z: [http://lab.fs.uni-lj.si/lat/uploads/metrologija/o\\_hrapavosti\\_Mahr\\_publicacija.pdf](http://lab.fs.uni-lj.si/lat/uploads/metrologija/o_hrapavosti_Mahr_publicacija.pdf)
- [13] MM Průmyslové spektrum. *Mezní vlnová délka*. [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z:  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/merite-spravne-strukturu-povrchu-2.html>
- [14] TYKAL, M. *Normalizace struktury povrchu, současný stav a trendy vývoje*. Brno  
[online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z:  
[http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/41\\_Tykal\\_TNK7.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/41_Tykal_TNK7.pdf)
- [15] TICHÁ, Š. ADAMEC, J. *Návody do cvičení z předmětu strojírenská metrologie*. Vysoká  
škola báňská – technická univerzita Ostrava, 2008
- [16] A Simplified Realization for the Gaussian Filter in Surface Metrology [online]. 2000 [cit.  
2015-05-14]. Dostupné z:  
<http://www.nist.gov/calibrations/upload/10-srfce.pdf>
- [17] Olympus. *Mikronerovnost a adhezní povrch*. [online]. [cit. 2015-03-14]. Dostupné z:  
<http://www.olympus-ims.com/en/metrology/ols4000/>
- [18] HOLADA, J. *Problematika měření drsnosti povrchu*. Bakalářská práce. Západočeská  
univerzita v Plzni, Fakulta Strojní, 2013. [online]. Dostupné z:  
<https://otik.uk.zcu.cz/handle/11025/9320>
- [19] Ancora Praha, s.r.o. *Albromet 300*. [online]. [cit. 2015-03-15]. Dostupné z:  
<http://www.ancorapraha.cz/produkty/slitiny-na-bazi-medi-polotovary-albromet/>
- [20] HOMMEL-ETAMIC, *Specifikace měřícího zařízení T8000*. [online]. [cit.2015/03/15].  
Dostupné z: <http://www.hommel-etamic.cz/cz/produkty/mereni-drsnosti-kontury/hommel-etamic-t8000-drsnomer/>
- [21] TURBO WAVE, *Základní popis uživatelského rozhraní..* [online]. [cit. 2015-03-15].  
Dostupné z:  
[http://pgikorea.kr/board/data/product/50/10014025\\_TURBO\\_WAVE\\_Englisch.pdf](http://pgikorea.kr/board/data/product/50/10014025_TURBO_WAVE_Englisch.pdf)
- [22] ČSN EN ISO 1302, *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Označování struktury  
povrchu v technické dokumentaci výrobků*. ČNI, Praha, 2002
- [23] ČSN EN ISO 4288, *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu:  
Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. ČNI, Praha, 1999

- [24] ČSN EN ISO 13565-1, *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 1: Filtrace a všeobecné podmínky měření*. ČNI, Praha, 1999
- [25] ČSN EN ISO 16610-21, *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Filtrace – Část 21: Lineární profilové filtry: Gaussovy filtry*. ČNI, Praha, 2012
- [26] MUŽÍK, J. *Návrh přípravků pro úpravu a měření mikrogeometrie břítu*. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta Strojní, 2012. [online]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/handle/11025/4234>
- [27] ALICONA. *InfiniteFocus*. [online]. [cit.2015/03/21]. Dostupné z: <http://www.alicon.com/home/products/infinitefocus.html>
- [28] ČSN EN ISO 25178-2, *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*. ČNI, Praha, 2012
- [29] METELKOVÁ, J. *Pokročilé metody vyhodnocování topografie povrchu*. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. [online]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/33003>
- [30] ŠTEFAN, V. *Filtrace dat při měření drsnosti povrchu*. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta Strojní, 2014. [online]. Dostupné z: <https://otik.uk.zcu.cz/handle/11025/15066>

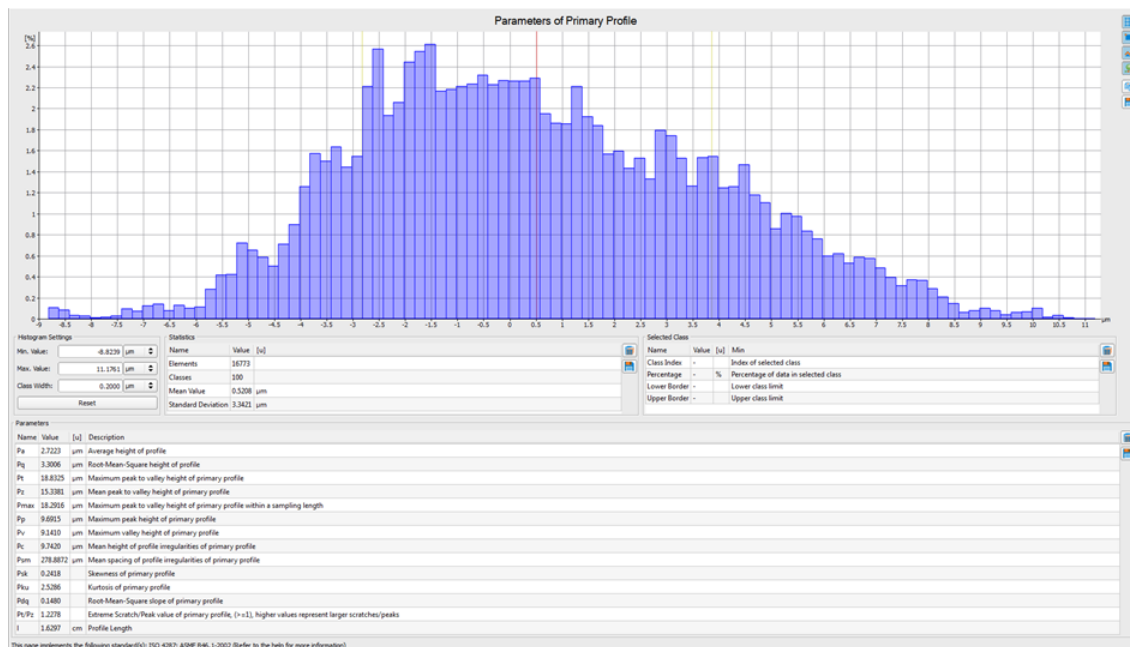
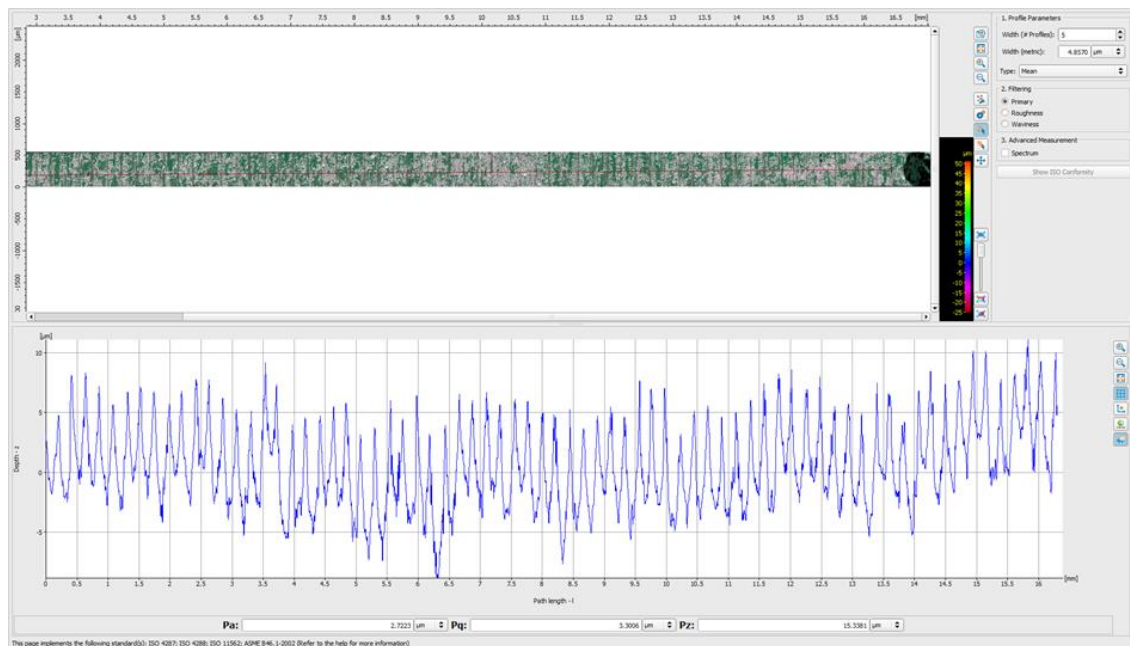
## **7 Přílohy**

## Seznam příloh

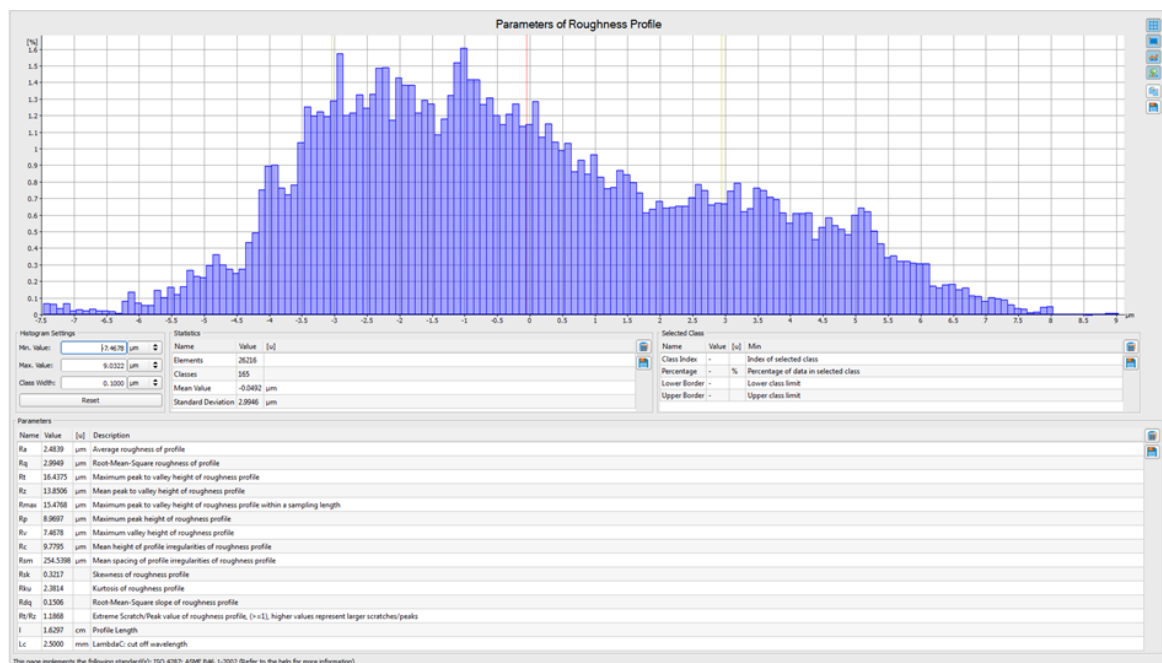
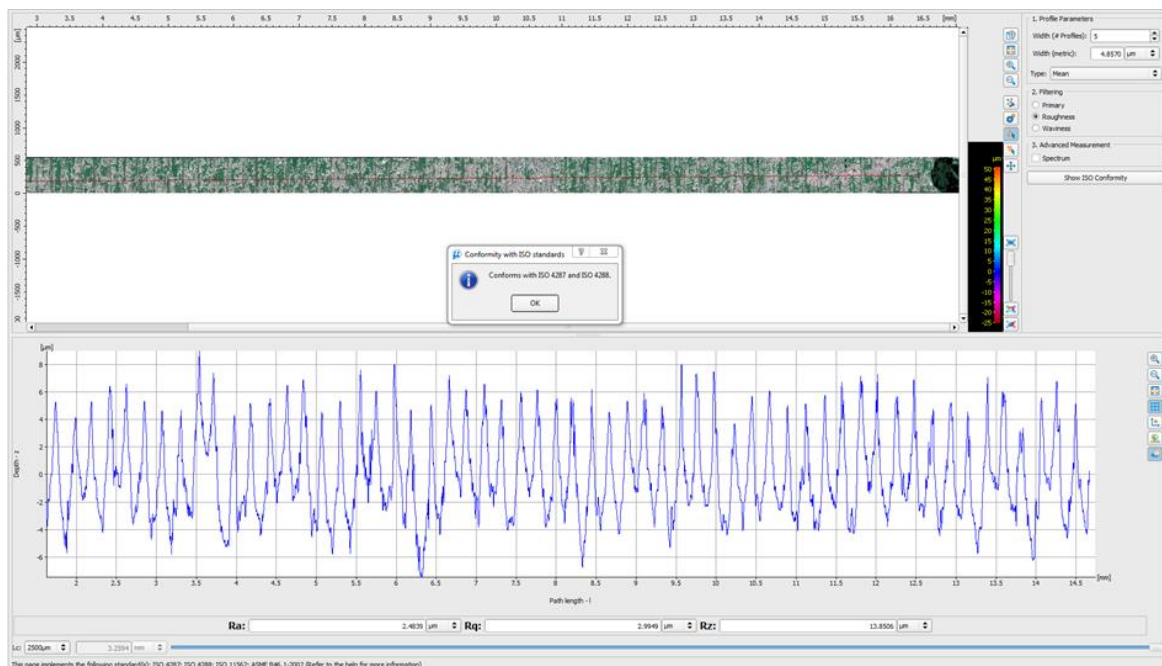
|   |     |
|---|-----|
| <b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....  | P1  |
| <b>PŘÍLOHA Č. 1:</b> Vzorek_1 - Záznam z měření (IFM), primární profil.....   | P2  |
| <b>PŘÍLOHA Č. 2:</b> Vzorek_1 - Záznam z měření (IFM), profil drsnosti.....   | P3  |
| <b>PŘÍLOHA Č. 3:</b> Vzorek_1 - Záznam z měření (IFM), profil vlnitosti.....  | P4  |
| <b>PŘÍLOHA Č. 4:</b> Vzorek_2 - Záznam z měření (IFM), primární profil.....   | P5  |
| <b>PŘÍLOHA Č. 5:</b> Vzorek_2 - Záznam z měření (IFM), profil drsnosti.....   | P6  |
| <b>PŘÍLOHA Č. 6:</b> Vzorek_2 - Záznam z měření (IFM), profil vlnitosti.....  | P7  |
| <b>PŘÍLOHA Č. 7:</b> Vzorek_3B - Záznam z měření (IFM), primární profil.....  | P8  |
| <b>PŘÍLOHA Č. 8:</b> Vzorek_3B - Záznam z měření (IFM), profil drsnosti.....  | P9  |
| <b>PŘÍLOHA Č. 9:</b> Vzorek_3B - Záznam z měření (IFM), profil vlnitosti..... | P10 |
| <b>PŘÍLOHA Č. 10:</b> Vzorek_5 - Záznam z měření (IFM), primární profil.....  | P11 |
| <b>PŘÍLOHA Č. 11:</b> Vzorek_5 - Záznam z měření (IFM), profil drsnosti.....  | P12 |
| <b>PŘÍLOHA Č. 12:</b> Vzorek_5 - Záznam z měření (IFM), profil vlnitosti..... | P13 |
| <b>PŘÍLOHA Č. 13:</b> Vzorek_2 – Protokol z měření (HOMMEL).....              | P14 |
| <b>PŘÍLOHA Č. 14:</b> Vzorek_3A – Protokol z měření (HOMMEL).....             | P15 |
| <b>PŘÍLOHA Č. 15:</b> Vzorek_3B – Protokol z měření (HOMMEL).....             | P16 |
| <b>PŘÍLOHA Č. 16:</b> Vzorek_5 – Protokol z měření (HOMMEL).....              | P17 |



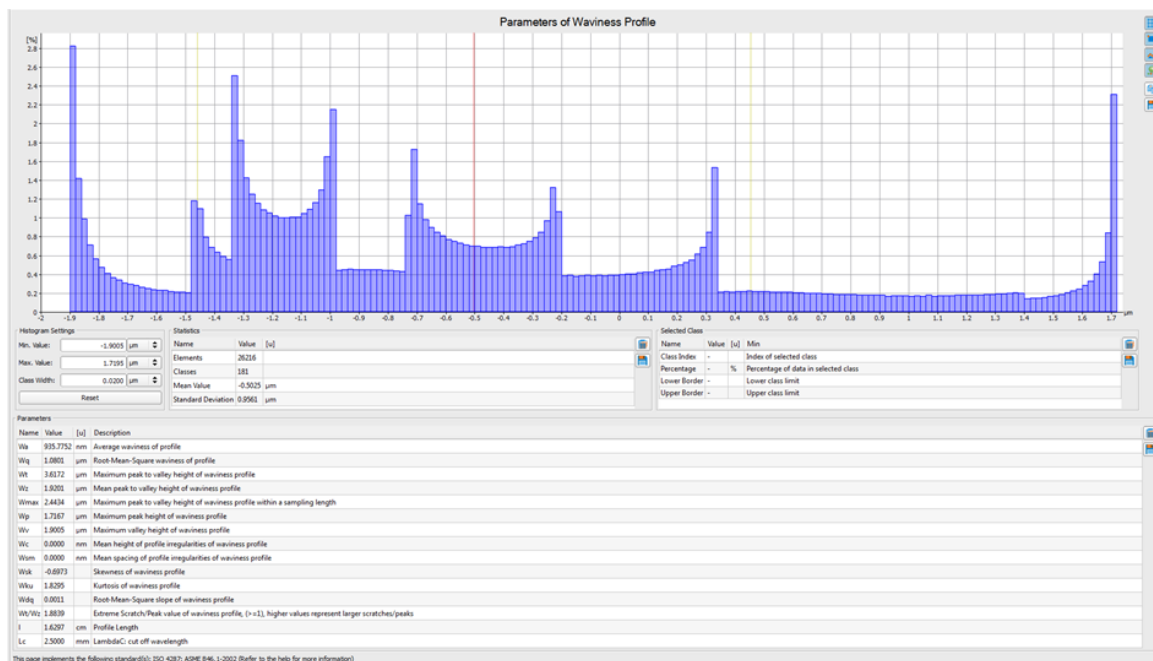
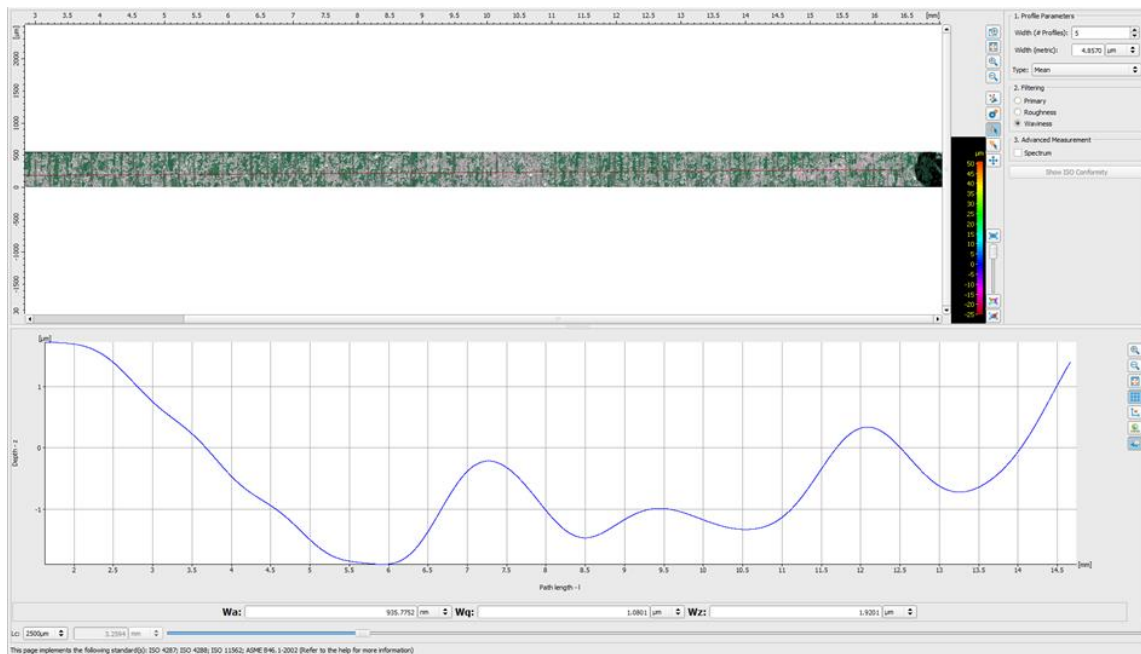
# PŘÍLOHA Č. 1: Vzorek\_1 - Záznam z měření (IFM), primární profil



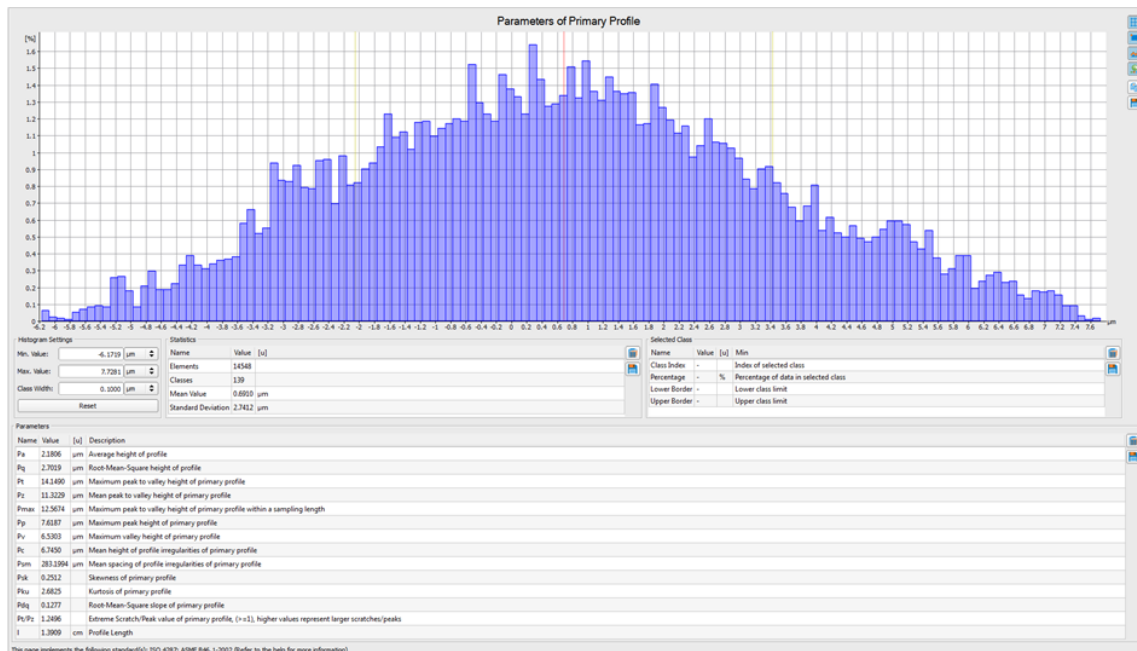
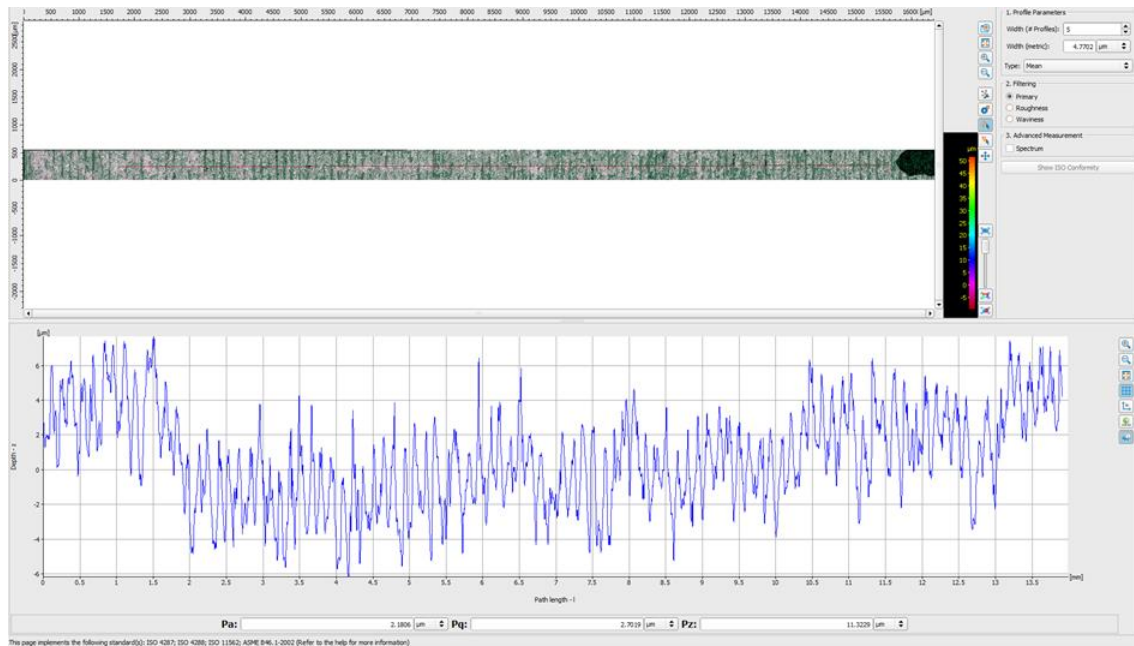
## PŘÍLOHA Č. 2: Vzorek\_1 - Záznam z měření (IFM), profil drsnosti



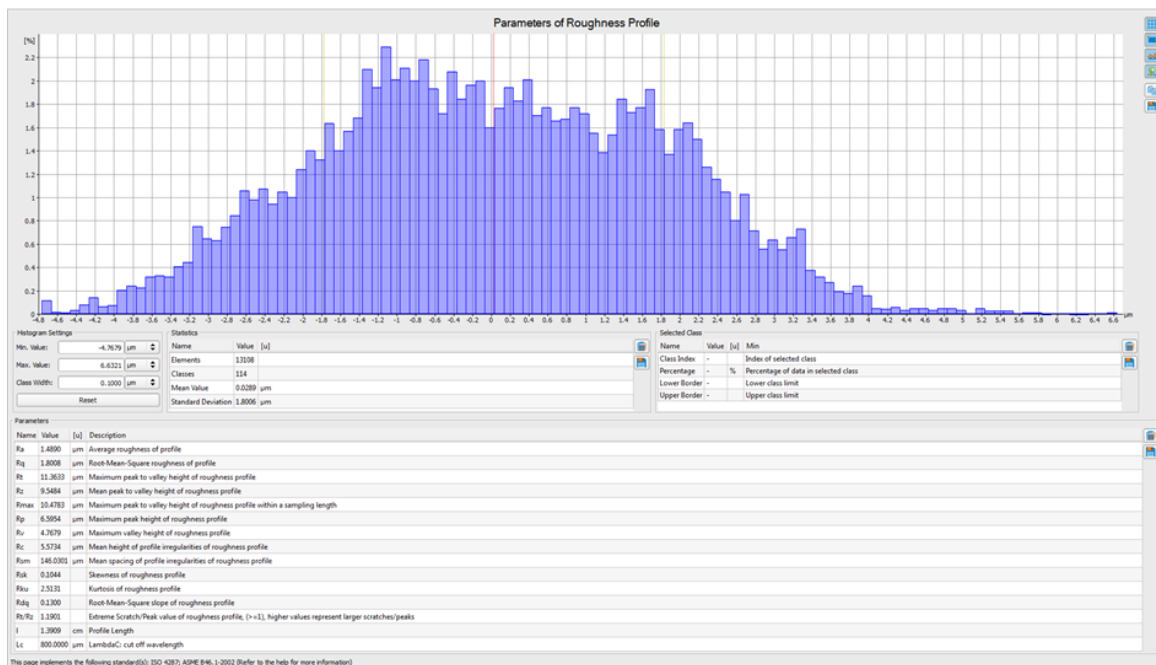
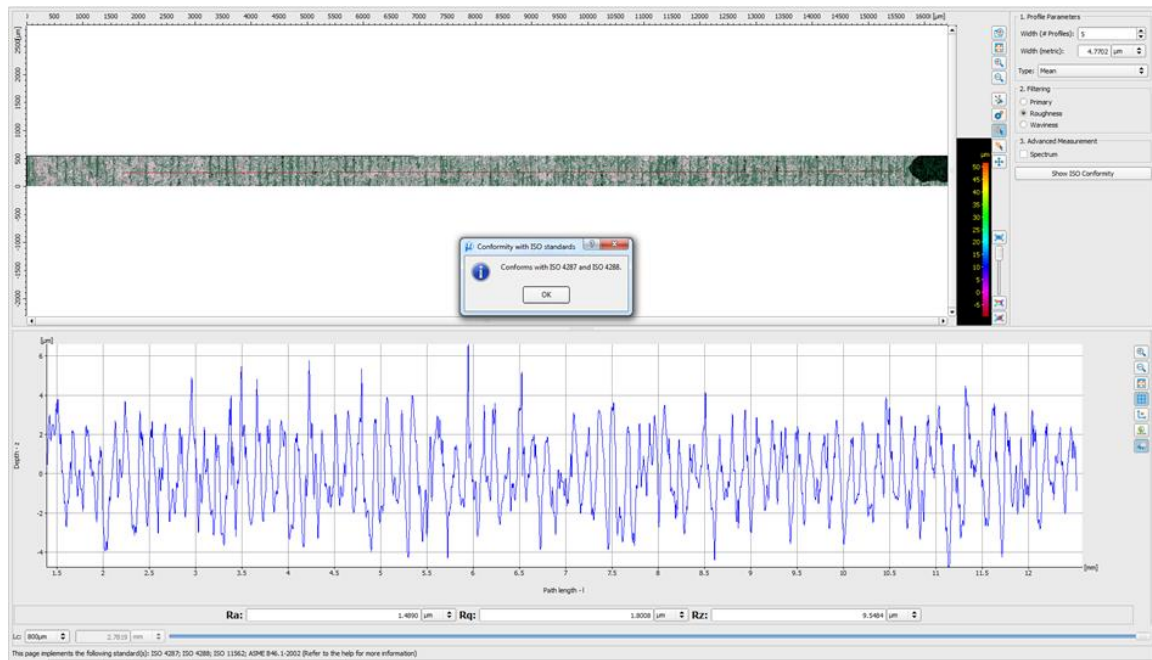
## PŘÍLOHA Č. 3: Vzorek\_1 - Záznam z měření (IFM), profil vlnitosti



## PŘÍLOHA Č. 4: Vzorek\_2 - Záznam z měření (IFM), primární profil

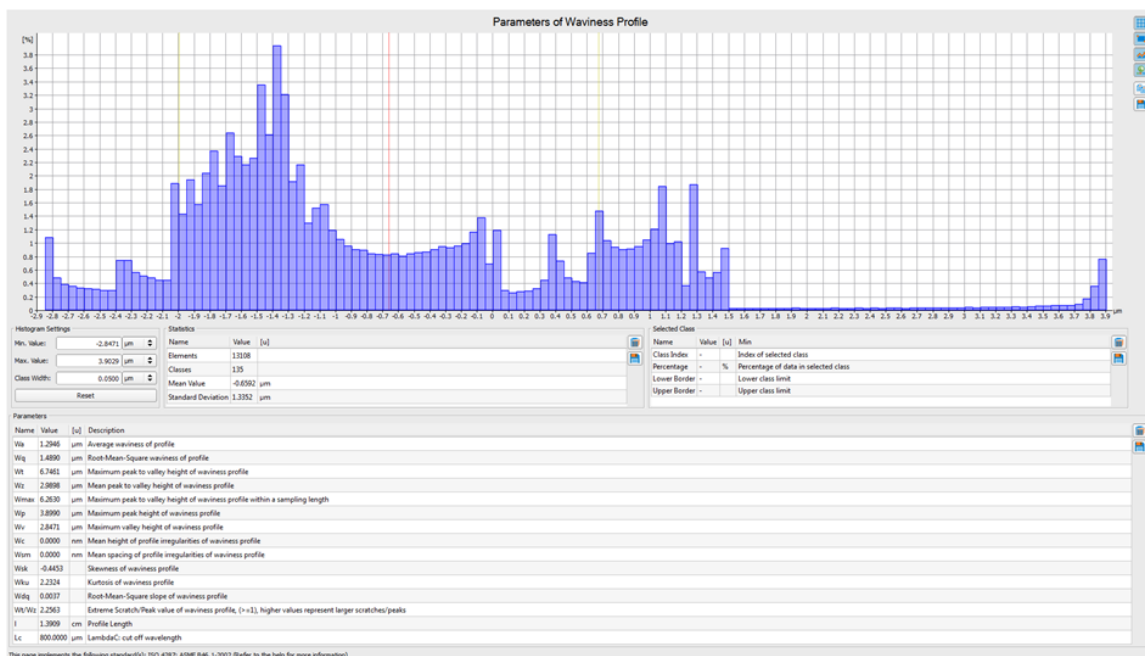
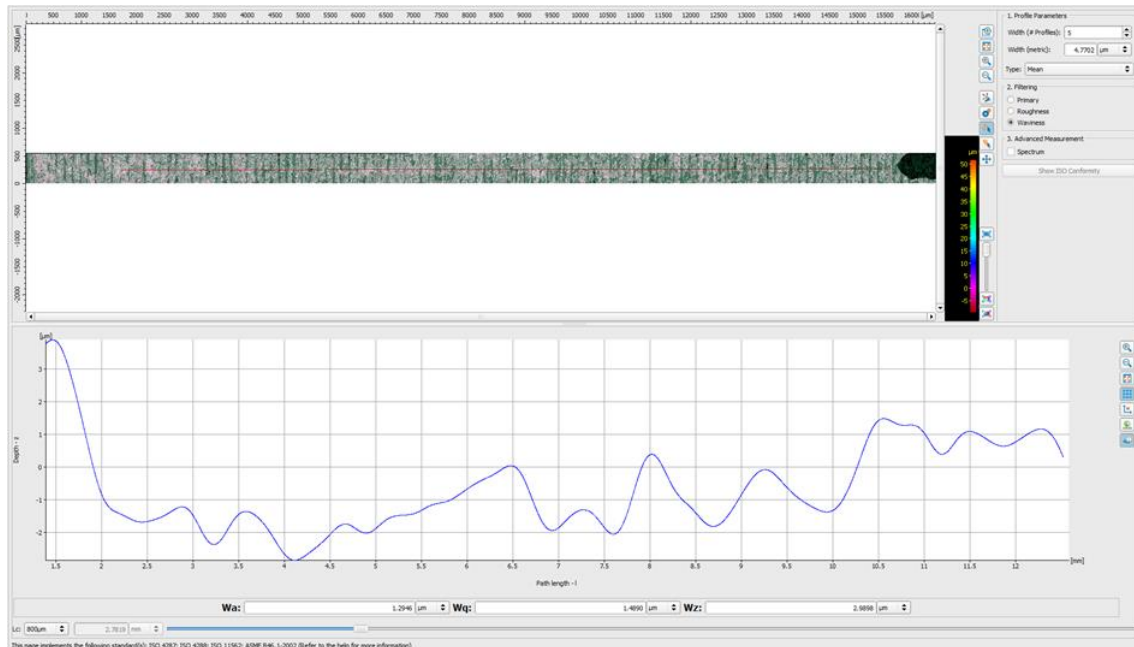


## PŘÍLOHA Č. 5: Vzorek\_2 - Záznam z měření (IFM), profil drsnosti

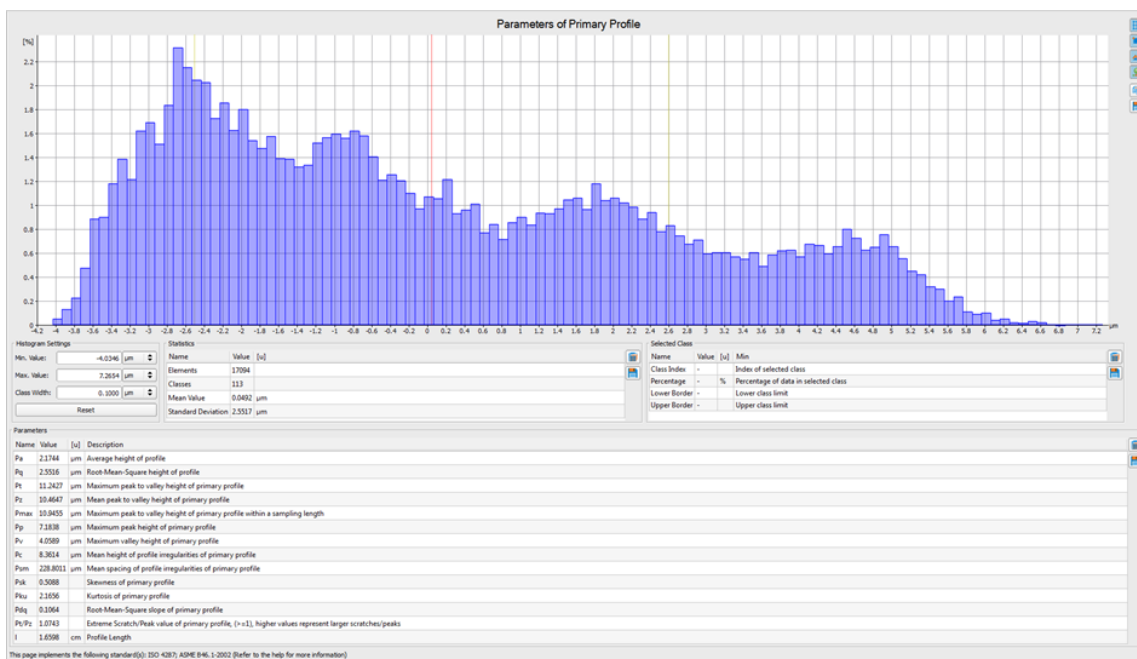
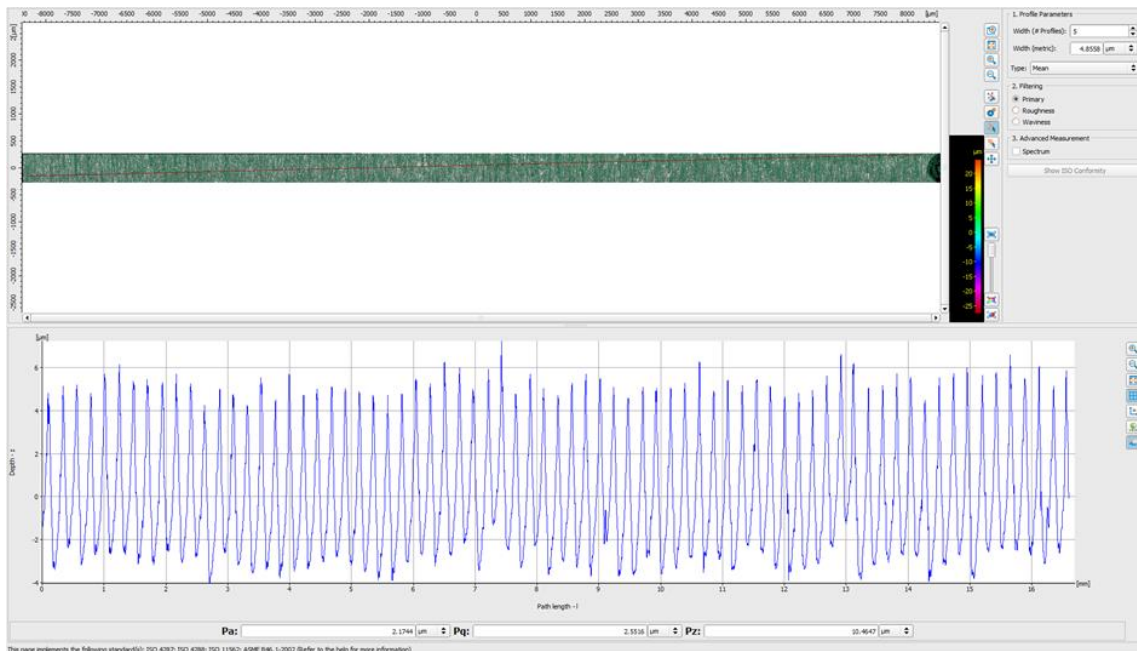




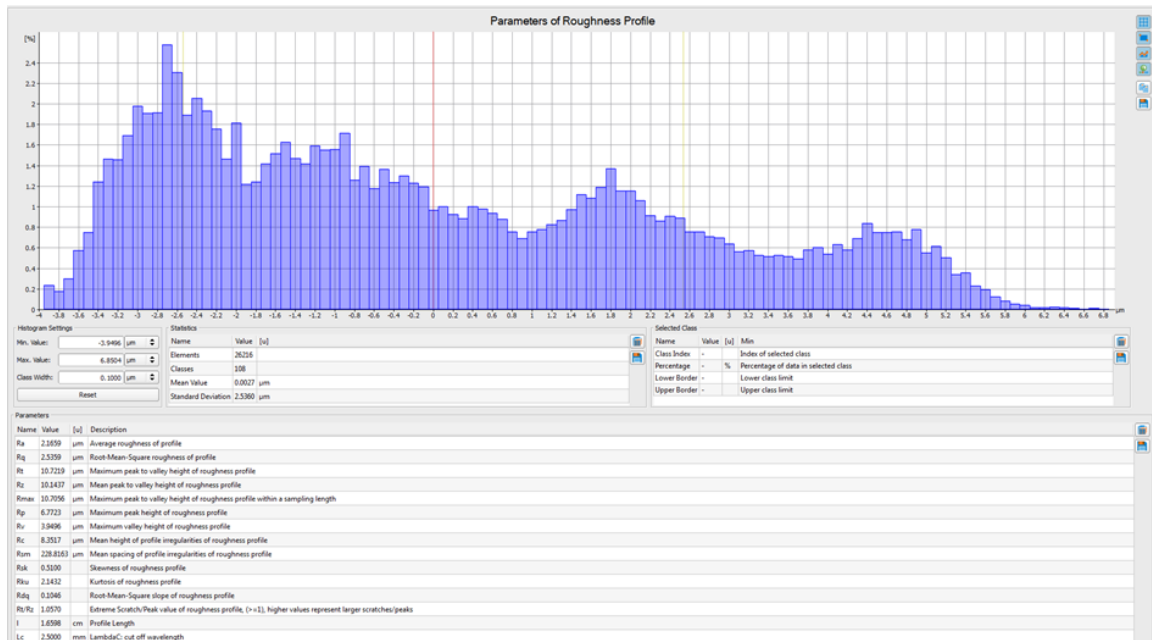
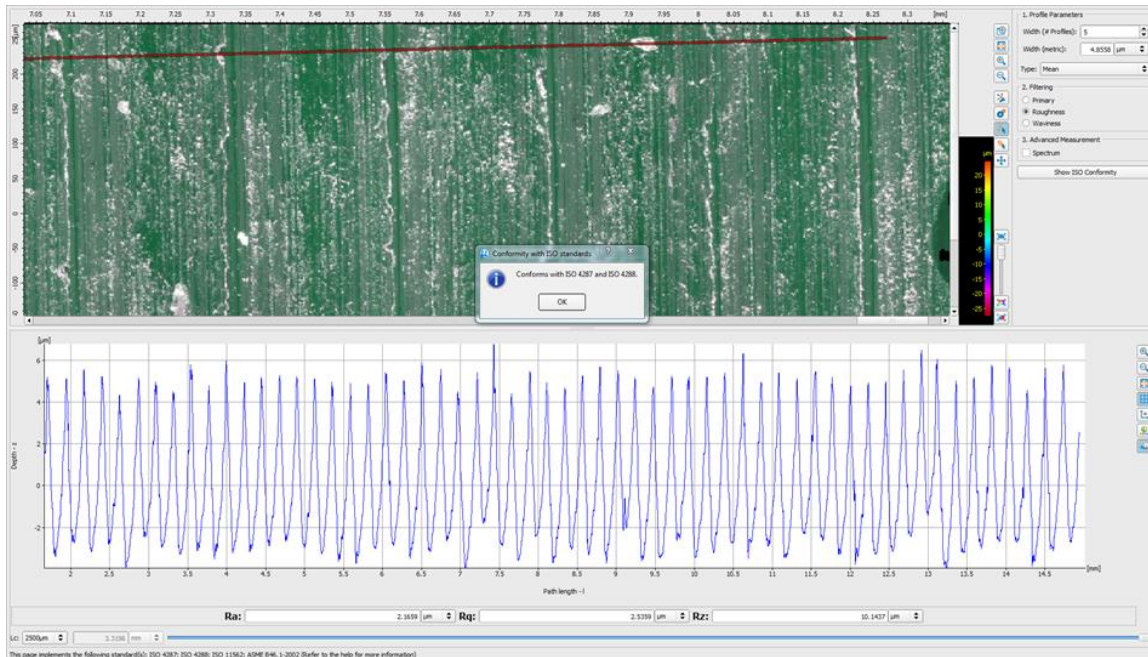
## PŘÍLOHA Č. 6: Vzorek\_2 - Záznam z měření (IFM), profil vlnitosti



## PŘÍLOHA Č. 7: Vzorek\_3B - Záznam z měření (IFM), primární profil

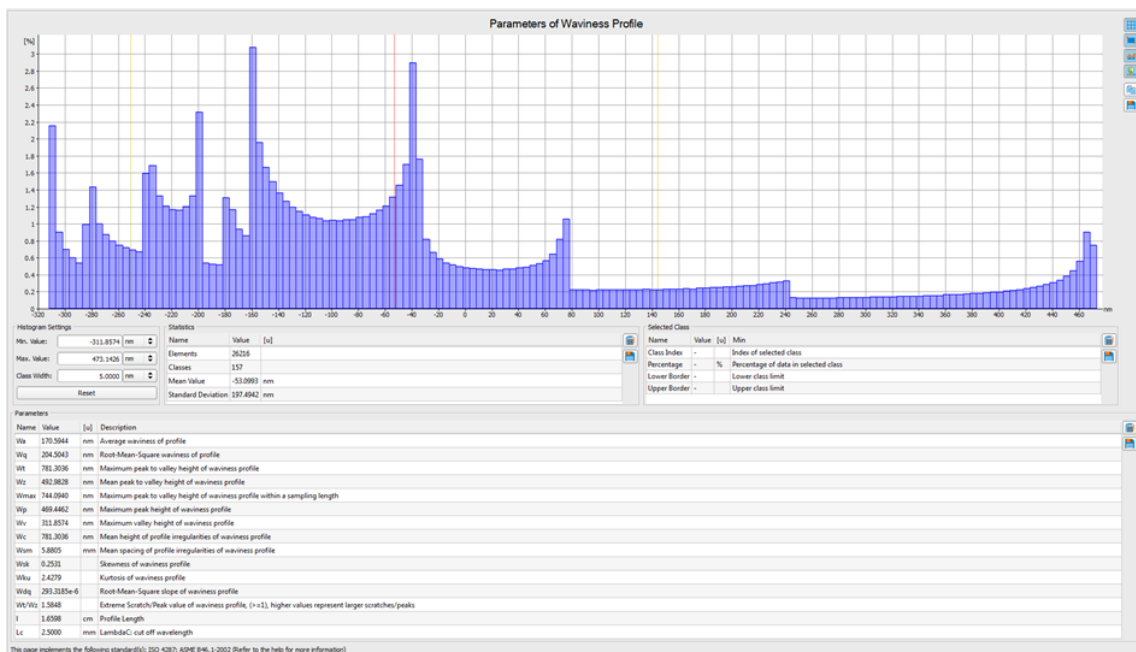
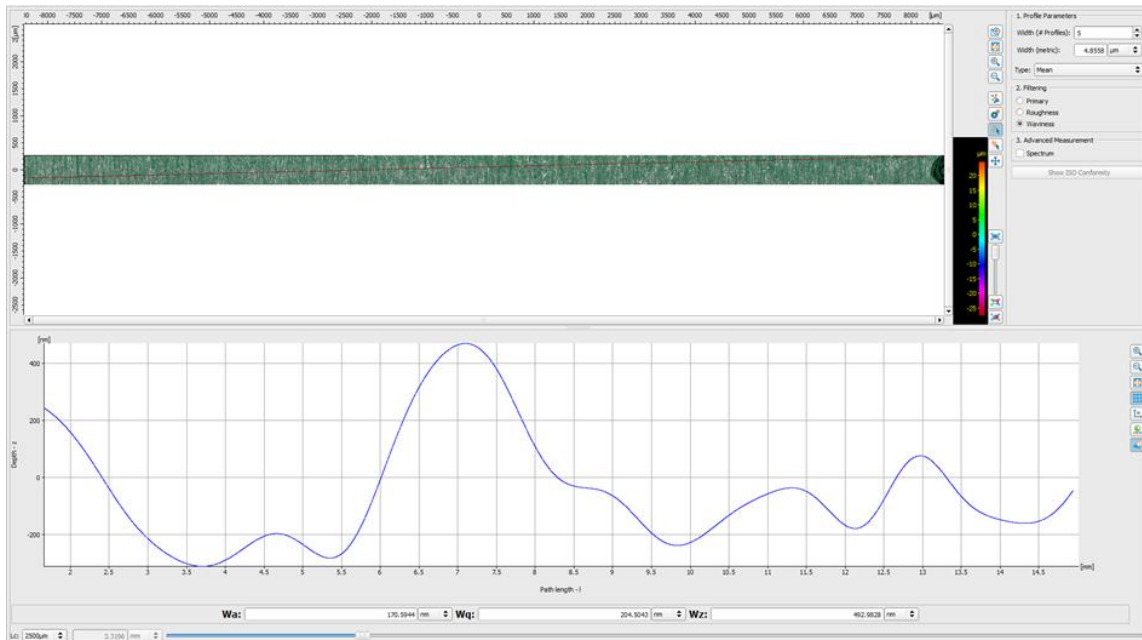


## PŘÍLOHA Č. 8: Vzorek\_3B - Záznam z měření (IFM), profil drsnosti

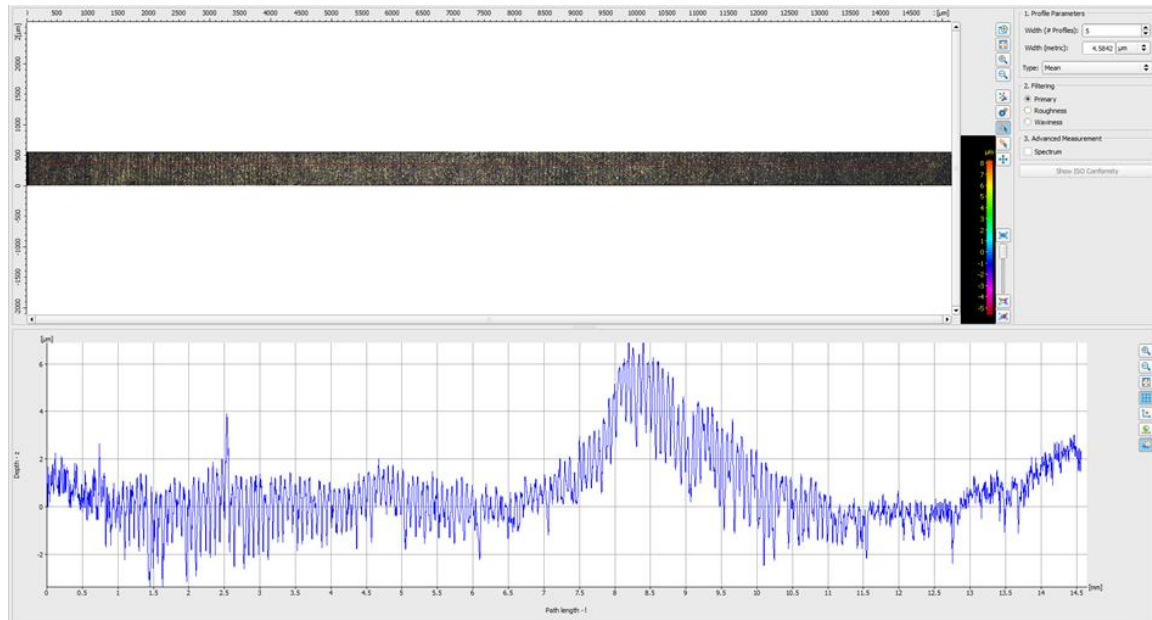




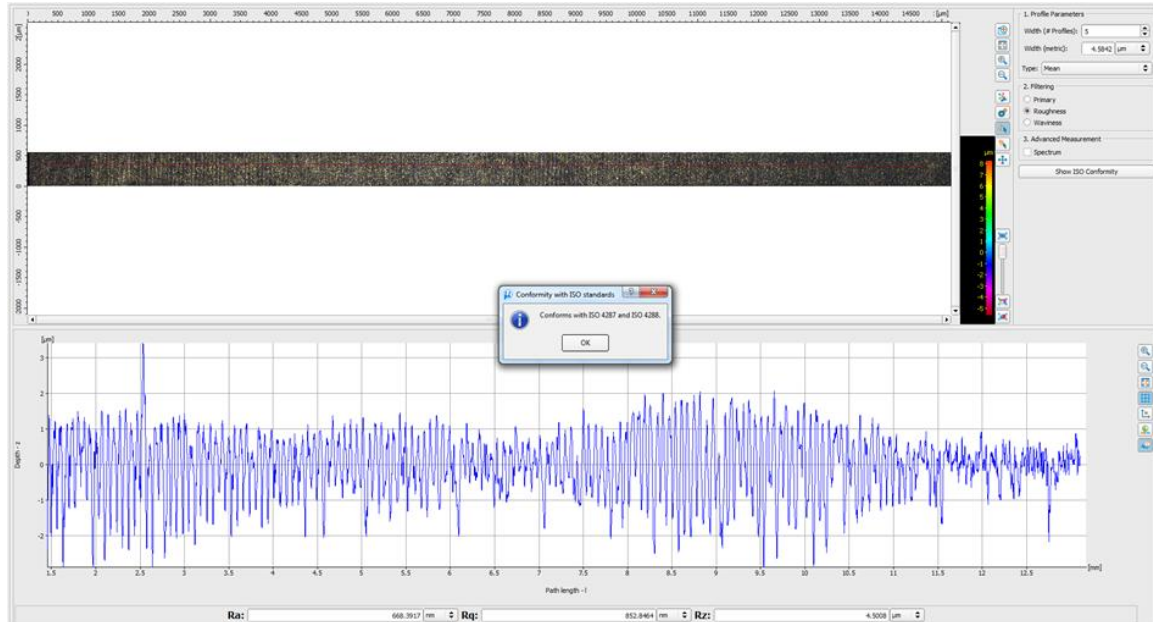
## PŘÍLOHA Č. 9: Vzorek\_3B - Záznam z měření (IFM), profil vlnitosti



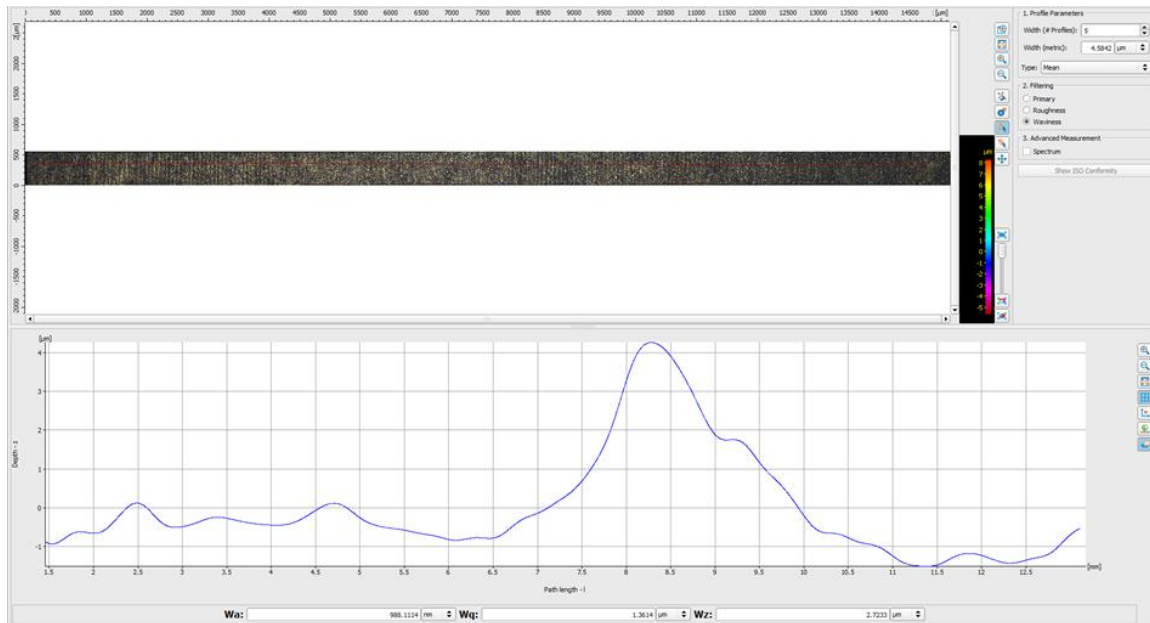
## PŘÍLOHA Č. 10: Vzorek\_5 - Záznam z měření (IFM), primární profil



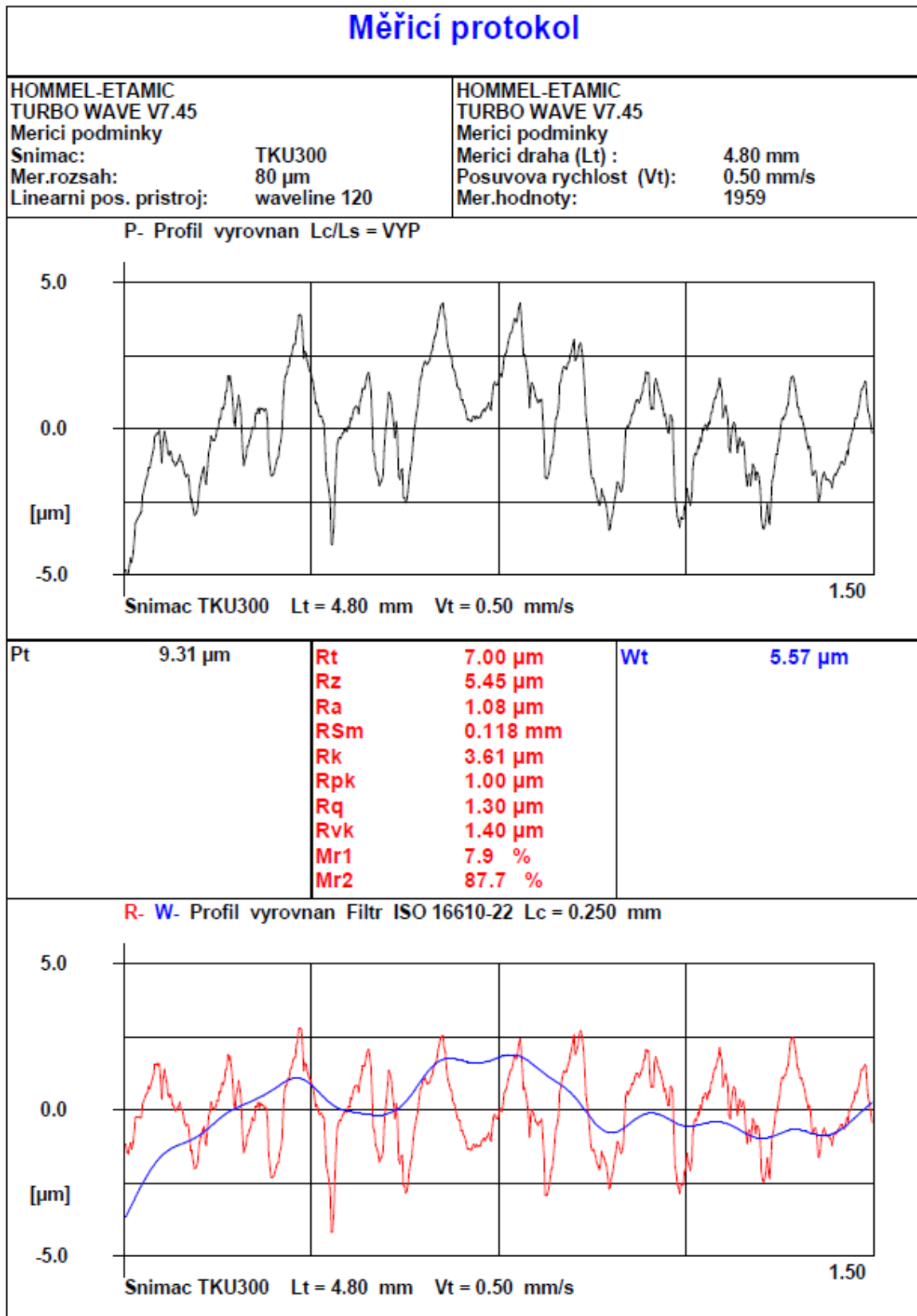
## PŘÍLOHA Č. 11: Vzorek\_5 - Záznam z měření (IFM), profil drsnosti



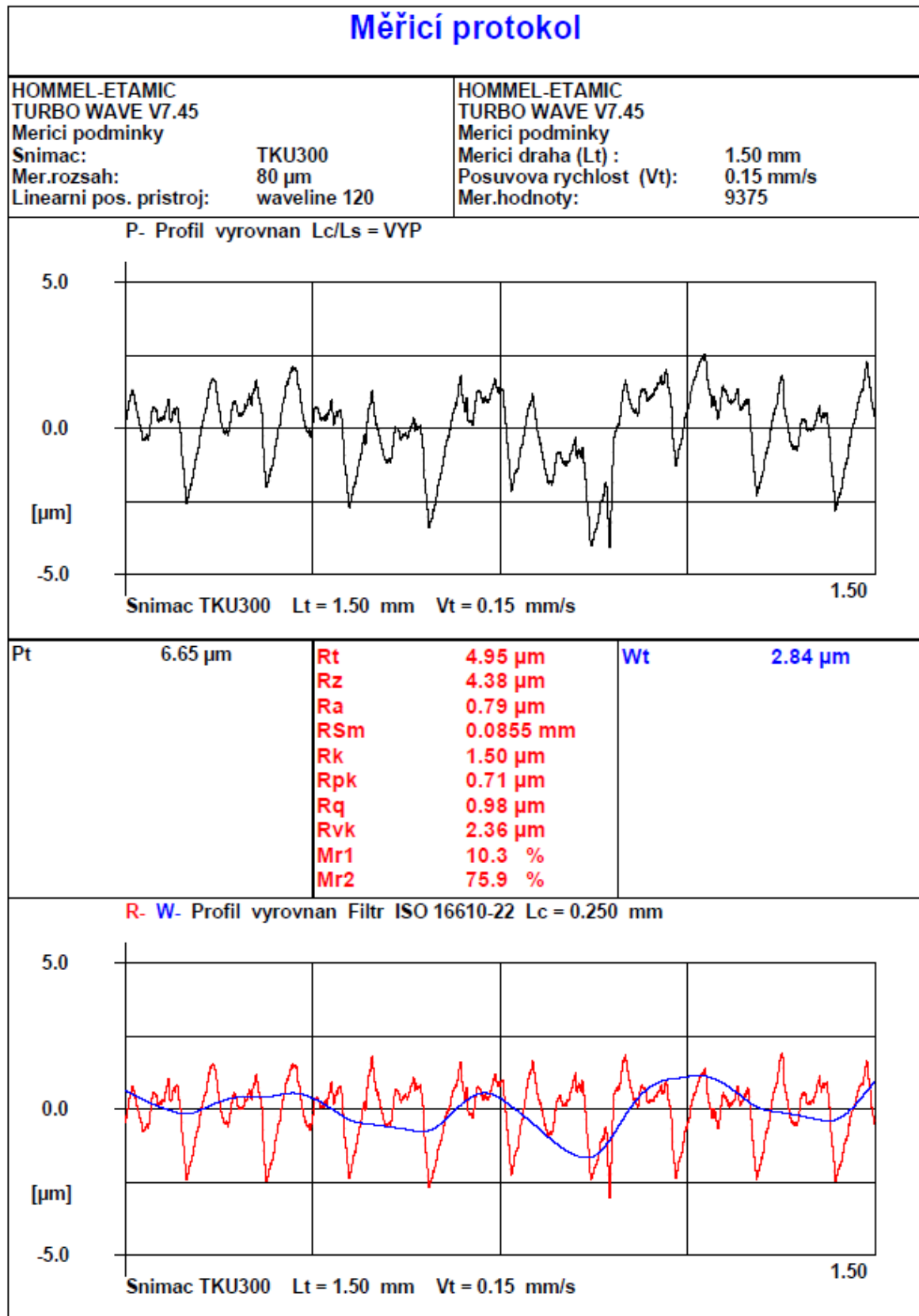
## PŘÍLOHA Č. 12: Vzorek\_5 - Záznam z měření (IFM), profil vlnitosti



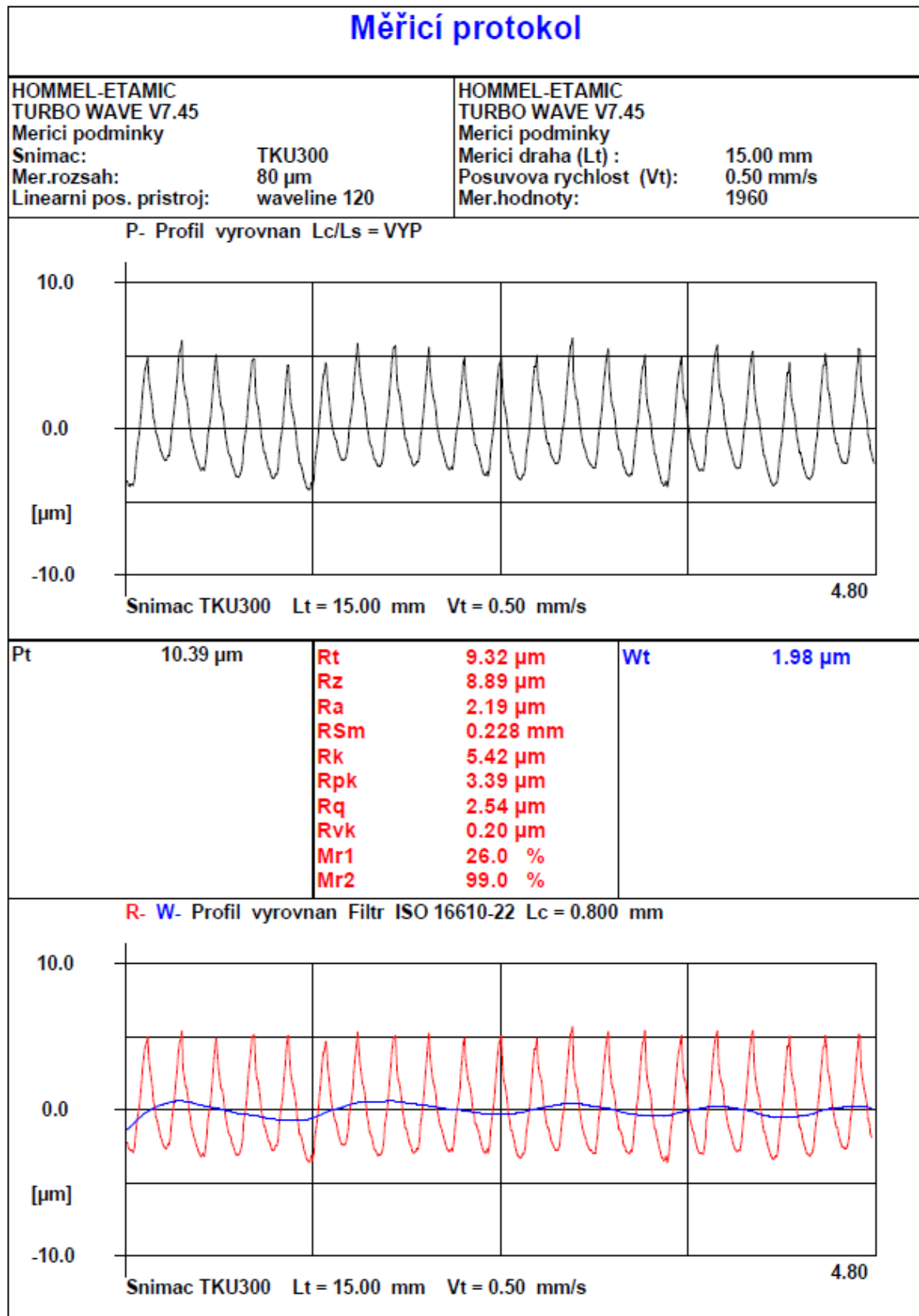
## PŘÍLOHA Č. 13: Vzorek\_2 – Protokol z měření (HOMMEL)



## PŘÍLOHA Č. 14: Vzorek\_3A – Protokol z měření (HOMMEL)



## PŘÍLOHA Č. 15: Vzorek\_3B – Protokol z měření (HOMMEL)



## PŘÍLOHA Č. 16: Vzorek\_5 – Protokol z měření (HOMMEL)

