

PROHLÁŠENÍ O AUTORSTVÍ

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci na téma: ***Softwarové filtry drsnosti povrchu***

vypracovala samostatně, pod odborným dohledem školitele a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Plzni dne:.....

.....

Podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Především děkuji mým školitelům doc. Ing. Heleně Zídkové, Ph.D. a doc. Ing. Martinu Melicharovi, Ph.D. za vedení, věcné připomínky v průběhu celého studia a především při zpracování této disertační práce.

Dále bych chtěla poděkovat Katedře technologie obrábění a Regionálnímu technologickému institutu za zázemí, které mi během studia a řešení disertační práce poskytovaly.

V poslední řadě bych ráda poděkovala mé rodině a příteli za podporu po celou dobu studia a hlavně v jeho závěru při sepsání této práce

ANOTACE

AUTOR	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kubátová	Jméno Dana
STUDIJNÍ OBOR	Strojírenská technologie-technologie obrábění	
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. Ing. Zídková, Ph.D. doc. Ing. Melichar, Ph.D.	Jméno Helena Martin
PRACOVÍŠTĚ VEDOUCÍHO	Katedra technologie obrábění, Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni	
DRUH PRÁCE	Disertační práce	
NÁZEV PRÁCE	Softwarové filtry drsnosti povrchu	

Fakulta: Strojní
Katedra: Technologie obrábění
Rok odevzdání: 2018

Počet stránek (A4 a ekvivalentů A4)

Celkem	103	Textová část	78	Grafická část	25
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	----

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce se zabývá metodikou volby softwarových filtrů při měření drsnosti povrchu. Práce je členěna na část teoretickou, ve které jsou zpracované obecné poznatky z oblasti teorie měření drsnosti povrchu. Na teoretickou část následně navazuje část praktická s vyhodnocením testů provedených pro vytvoření metodiky volby softwarových filtrů při měření drsnosti.
KLÍČOVÁ SLOVA	Drsnost povrchu, filtrace dat, hardwarové filtry, softwarové filtry

SUMMARY

AUTHOR	Surname (includingofDegrees) Ing. Kubátová	Name Dana
FIELD OF STUDY	Technology of Metal Cutting	
SUPERVISOR	Surname (includingofDegrees) doc. Ing. Zídková, Ph.D. doc. Ing. Melichar, Ph.D.	Name Helena Martin
INSTITUTION	Department of machining technology, Faculty of Mechanical Engineering, University of West Bohemia	
TYPE OF WORK	Dissertation thesis	
TITLE OF THE WORK	Software filters of roughness	

Faculty: Mechanical Engineering
 Department: Technology of Metal Cutting
 Submitted in: 2018

Numberofpages (A4 a eq. A4)

Totally	103	Text part	78	Graphical part	25
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis deals with the methodology of selection of software filters for surface roughness measurement. The thesis is divided into a theoretical part in which there is processed general knowledge from trefield of surface roughness measurement theory. The theoretical part follows the practical part with the evaluation of the tests performed to create a methodology of selection of software filters for roughness measurement.
KEY WORDS	Roughness, filtration, Hardware filter, software filter

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	10
Seznam grafů	12
Seznam zkratk	13
1 Úvod	14
2 Cíle disertační práce	15
3 Motivace disertační práce	16
4 Přehled současného stavu řešené problematiky	18
5 Parametry integrity povrchu a jejich vyhodnocování	20
5.1 Drsnost povrchu	20
5.2 Vlnitost povrchu	20
5.3 Tvar plochy	21
5.4 Měřená délka	21
5.4.1 Snímaná délka l_t	21
5.4.2 Vyhodnocovací délka l_n	21
5.4.3 Základní délky l_r, l_w, l_p	21
5.5 Povrch součásti	22
5.5.1 Skutečný povrch	22
5.5.2 Geometrický povrch	22
5.5.3 Základní povrch	23
5.5.4 Periodický povrch	23
5.5.5 Aperiodický povrch	23
5.6 Profil	23
5.6.1 Profil povrchu	23
5.6.2 Snímaný profil	23
5.6.3 Úplný profil	24
5.6.4 Zbytkový profil	24
5.6.5 P profil	24
5.6.6 R profil	24
5.6.7 W profil	24
5.7 Měření (zkoumané) parametry	24
5.8 Hardwarové filtry	26
5.8.1 Filtr profilu	26
5.8.2 Filtr dle ČSN EN ISO 12 085	27

5.8.3	Filtr dle ČSN EN ISO 13 565-1	27
5.8.4	Filtr dle ČSN EN ISO 13 565-3	27
5.9	Softwarová filtrace dat	28
5.9.1	Gaussův lineární profilové filtry (FPLG).....	29
5.9.2	Spline lineární profilový filtr (FPLS)	31
5.9.3	Spline vlnkový lineární filtr (FPLSW).....	32
5.9.4	Gaussův robustní profilové filtry (FPRG)	32
5.9.5	Morfologické profilové filtry (FPM).....	33
5.9.6	2RC filtr	34
6	Chyby a nejistoty měření.....	36
6.1	Chyby měření, jejich příčiny a členění.....	36
6.2	Hlavní příčiny vzniku chyb	36
6.3	Členění chyb	36
6.4	Nejistoty měření a jejich zdroje	36
6.5	Teoretický postup stanovení nejistoty měření	37
6.5.1	Standardní nejistoty typu A – u_a	37
6.5.2	Standardní nejistoty typu B - u_b	37
6.5.3	Kombinovaná standardní nejistota - u_c	38
6.5.4	Rozšířená standardní nejistota U	38
6.6	Zdroje nejistot	38
6.7	Stanovení skutečné hodnoty nejistoty měření	40
6.7.1	Test hrubé chyby	40
6.7.2	Ověření normality dat	40
6.7.3	Nejistoty typu A – u_a	41
6.7.4	Stanovení nejistoty typu B – u_b	43
6.7.5	Vyhodnocení variability zdroje.....	43
7	Testy pro nastavení metodiky volby filtru.....	49
7.1	Test volby hrotu	50
7.1.1	Výsledky pro etalon RA 0,5	52
7.1.2	Výsledky pro etalon RA 1; RA 3,2; RA 6,3.....	62
7.1.3	Volba optimálního hrotu	68
7.1.4	Shrnutí testu I	68
7.2	Volba počtu bodů	69
7.2.1	Výsledky pro etalon RA 1.....	72
7.2.2	Výsledky pro etalon RA 0,5; RA 1; RA 3,2; RA 6,3	75

7.2.3	Souhrn testu II	79
7.3	Vliv rychlosti snímání.....	81
7.3.1	Návrh testu	81
7.3.2	Vyhodnocení testu pomocí SW podpory	81
7.3.3	Výsledky testu rychlosti snímání	85
7.3.4	Souhrn testu III	87
8	Metodika volby softwarových filtrů	89
9	Závěr.....	96
10	Citovaná literatura.....	98

Seznam obrázků

Obrázek 3-1 Rozdíl mezi výsledky mezi laboratořemi	16
Obrázek 3-2 Diagram analýzy příčin a následků rozdílu výsledků [48]	16
Obrázek 5-1 Filtrace dat[35].....	20
Obrázek 5-2 Měřené délky [35].....	21
Obrázek 5-3 Povrch a profil součásti [1]	23
Obrázek 5-4 Přenosová charakteristika filtrace dat při měření drsnosti[16]	27
Obrázek 5-5 Řazení filtrů pro získání informací [16]	28
Obrázek 5-6 Otevřený profil drsnosti[2,3,4]	30
Obrázek 5-7 Uzavřený profil drsnosti[2,3,4]	30
Obrázek 5-8 Otevřený profil se střední čarou[2,3,4]	30
Obrázek 5-9 Lineární spline filtr [31].....	31
Obrázek 5-10 Princip vlnkového lineárního filtr [31]	32
Obrázek 5-11 Princip filtrace dat za pomoci Robustních filtrů[33].....	33
Obrázek 5-12 Návrh 2RC filtru[32].....	35
Obrázek 5-13 Záznam z 2RC filtru[32].....	35
Obrázek 6-1 Možné příčiny nejistot měření [48]	39
Obrázek 6-2 výpočet variability zdroje.....	44
Obrázek 7-1 Etalon RA 0,5.....	49
Obrázek 7-2 Etalon RA 0,5.....	49
Obrázek 7-3 Etalon RA 3,2.....	49
Obrázek 7-4 Etalon RA 6,3.....	49
Obrázek 7-5 Rozložení náměrů na etalonu[51]	50
Obrázek 7-6 Ustavení etalonu na mikrometrickém stolečku.....	50
Obrázek 7-7 HommelEtamic T 8000 [50]	50
Obrázek 7-8 Vliv velikosti hrotu [49].....	51
Obrázek 7-9 Opatřený hrot 2 μm [51]	52
Obrázek 7-10 Nový hrot 2 μm [51].....	52
Obrázek 7-11 Opatřený hrot 5 μm [51]	52
Obrázek 7-12 Nový hrot 5 μm [51].....	52
Obrázek 7-13 Rozložení náměrů při tetu[52].....	70
Obrázek 7-14 2D pohled na strukturu kontrolovaného povrchu – 0,1 μm mezi body [52]	71
Obrázek 7-15 2D pohled na strukturu povrchu - 2 μm mezi body - Alias povrch [52]	71
Obrázek 8-1 Graf porovnání výsledků pro testované filtry pro etalon RA 0,5.....	89
Obrázek 8-2 Graf porovnání výsledků pro testované filtry pro etalon RA 3,2.....	89
Obrázek 8-3 Graf porovnání výsledků pro testované filtry pro etalon RA 6,3.....	89
Obrázek 8-4 Graf porovnání výsledků pro testované filtry v závislosti na použitém stylusu ..	90
Obrázek 8-5 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 16610-21.....	91
Obrázek 8-6 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 16610-22.....	91
Obrázek 8-7 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 4768	91
Obrázek 8-8 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 16610-31.....	91
Obrázek 8-9 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 0601	91
Obrázek 8-10 Vliv změny rychlosti na použitý filtr.....	92
Obrázek 8-11 Vliv změny rychlosti na použitý filtr.....	92
Obrázek 8-12 Vliv použitého filtru 16610-21 při změně drsnosti povrchu.....	92

Obrázek 8-13 Vliv použitého filtru16610-22 při změně drsnosti povrchu.....	92
Obrázek 8-14 Vliv použitého filtru16610-31 při změně drsnosti povrchu.....	93
Obrázek 8-15 Vliv použitého filtru 4768 při změně drsnosti povrchu	93
Obrázek 8-16 Vliv použitého filtru 0601 při změně drsnosti povrchu	93
Obrázek 8-17 Metodika volby softwarového filtru	94

Seznam tabulek

Tabulka 3-1 Porovnání výsledků dosažených na ZČU a ve Vigu.....	16
Tabulka 5-1 Základní délky pro měření drsnosti R_a , R_q , R_{sk} , R_{ku} , $R_{\Delta q}$ křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily[17]	22
Tabulka 5-2 Základní délky drsnosti pro měření R_z , R_v , R_p , R_c a R_t neperiodických profilů[17]	22
Tabulka 5-3 Základní délky drsnosti pro měření R-parametrů periodických profilů s R_{sm} periodických a neperiodických profilů [17].....	22
Tabulka 5-4 Parametry struktury povrchu 4287[16].....	25
Tabulka 5-5 Parametry struktury povrchu 12085[19].....	25
Tabulka 5-6 Parametry struktury povrchu 13565 -X[6,20].....	26
Tabulka 5-7 Rozdělení filtrů dle 16610-1[1].....	29
Tabulka 5-8 Rozdělení profilových filtrů dle 16610-1[1].....	29
Tabulka 6-1 Tabulka výsledku testu normálního rozdělení – 2 mikrometry	41
Tabulka 6-2 Tabulka výsledku testu normálního rozdělení – 5 mikrometrů	41
Tabulka 6-3 Naměřená data pro etalon RA 0,5 za pomoci filtru 16610-21 2 mikron hrot.....	42
Tabulka 6-4 Naměřená data pro etalon RA 0,5 za pomoci filtru 16610-21 – 5 mikron hrot...	42
Tabulka 6-5 Souhrn hodnot nejistot typu A pro filtr 16 610-1.....	42
Tabulka 6-6 Tabulka hodnot variability zdroje pro vybrané parametry drsnosti a 2 mikrometrový hrot.....	45
Tabulka 6-7 Tabulka hodnot variability zdroje pro vybrané parametry drsnosti a 5 mikrometrový hrot.....	45
Tabulka 6-8 Seznam hodnot použitých pro ověření korelace dat 5 mikrometrový hrot.....	46
Tabulka 6-9 Seznam hodnot použitých pro ověření korelace dat 2 mikrometrový hrot.....	46
Tabulka 6-10 Hodnoty koeficientů korelace	47
Tabulka 6-11 Hodnoty koeficientů korelace	47
Tabulka 6-12 Souhrn standardních nejistot měření pro vybrané parametry	47
Tabulka 7-1 Tabulka hodnot pro nastavení stroje	51
Tabulka 7-2 Sumace hodnot parametrů drsnosti R_{sm}	51
Tabulka 7-3 Seznam hodnot rádiusu na testovaných stylusech	52
Tabulka 7-4 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr R_a	53
Tabulka 7-5 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr R_a	53
Tabulka 7-6 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr R_a starý.....	54
Tabulka 7-7 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr R_a starý.....	54
Tabulka 7-8 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr R_z	55
Tabulka 7-9 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr R_z	56
Tabulka 7-10 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr R_z starý	56
Tabulka 7-11 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr R_z starý	56
Tabulka 7-12 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr R_{sm}	58
Tabulka 7-13 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr R_{sm}	58
Tabulka 7-14 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr R_{sm} starý	59
Tabulka 7-15 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr R_{sm} starý.....	59
Tabulka 7-16 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr R_v	60
Tabulka 7-17 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr R_v	60
Tabulka 7-18 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr R_v starý.....	61

Tabulka 7-19 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr Rv starý.....	61
Tabulka 7-20 Tabulka sumarizace hodnot naměřených a generovaných - etalon RA 1.....	70
Tabulka 7-21 Tabulka sumarizace hodnot naměřených a generovaných - etalon RA 6,3.....	71
Tabulka 7-22 Tabulka s pořadím vhodnosti užití filtru pro jednotlivé hodnocené parametry drsnosti povrchu.....	80
Tabulka 7-23 Tabulka s pořadím vhodnosti užití filtru pro hodnocené velikosti drsnosti povrchu.....	80
Tabulka 7-24 Souhrnný přehled optimálních vzdálenosti mezi body při měření vybraných hodnot drsností povrchu.....	81
Tabulka 7-25 Výsledky jednorozměrného testu pro parametr Ra.....	82
Tabulka 7-26 Výsledky ověřovacího testu pro parametr Ra.....	82
Tabulka 7-27 Výsledky jednorozměrného testu pro parametr Rz.....	83
Tabulka 7-28 Výsledky ověřovacího testu pro parametr Rz.....	83
Tabulka 7-29 Výsledky jednorozměrného testu pro parametr Rsm.....	84
Tabulka 7-30 Výsledky ověřovacího testu pro parametr Rsm.....	84
Tabulka 7-31 Výsledky jednorozměrného testu pro parametr Rv.....	85
Tabulka 7-32 Výsledky ověřovacího testu pro parametr Rv.....	85
Tabulka 7-33 Statistické vyhodnocení závislosti jednotlivých rychlostí.....	86

Seznam grafů

Graf 7-1 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem.....	53
Graf 7-2 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem.....	54
Graf 7-3 Porovnání hrotů pro parametr drsnosti Ra [51]	55
Graf 7-4 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem.....	56
Graf 7-5 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem.....	57
Graf 7-6 Porovnání hrotů pro parametr drsnosti Rz [51].....	57
Graf 7-7 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem.....	58
Graf 7-8 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem.....	59
Graf 7-9 Porovnání hrotů pro parametr drsnosti Rsm [51]	60
Graf 7-10 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem...	61
Graf 7-11 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem...	62
Graf 7-12 Porovnání hrotů pro parametr drsnosti Rv [51]	62
Graf 7-13 Souhrnné výsledky pro parametr Ra – nové hroty	63
Graf 7-14 Souhrnné výsledky pro parametr Ra – opotřebené hroty	64
Graf 7-15 Souhrnné výsledky pro parametr Rz – nové hroty	65
Graf 7-16 Souhrnné výsledky pro parametr Rz – opotřebené hroty	65
Graf 7-17 Souhrnné výsledky pro parametr Rv – nové hroty	66
Graf 7-18 Souhrnné výsledky pro parametr Rv – opotřebené hroty	66
Graf 7-19 Souhrnné výsledky pro parametr Rsm – nové hroty	67
Graf 7-20 Souhrnné výsledky pro parametr Rsm – opotřebené hroty	67
Graf 7-21 Souhrn výsledku pro porovnání hrotů	68
Graf 7-22 Průměrné procentuální odstupy pro parametr Ra na etalonu RA 1.....	72
Graf 7-23 Průměrné procentuální odstupy pro parametr Rz na etalonu RA 1.....	73
Graf 7-24 Rozptyl hodnot pro parametr Rz na etalonu RA 1	73
Graf 7-25 Průměrné procentuální odstupy pro parametr Rv na etalonu RA 1.....	74
Graf 7-26 Rozptyl hodnot pro parametr Rv na etalonu RA 1.....	74
Graf 7-27 Průměrné procentuální odstupy pro parametr Rsm na etalonu RA 1.....	75
Graf 7-28 Rozptyl hodnot pro parametr Rsm na etalonu RA 1.....	75
Graf 7-29 Souhrn průměrných procentuálních odstupů pro etalonu RA 0,5	76
Graf 7-30 Souhrn průměrných rozptylů hodnot pro etalon RA 0,5	76
Graf 7-31 Souhrn průměrných procentuálních odstupů pro etalonu RA 1	77
Graf 7-32 Souhrn průměrných rozptylů hodnot pro etalon RA 1	77
Graf 7-33 Souhrn průměrných procentuálních odstupů pro etalonu RA 3,2	78
Graf 7-34 Souhrn průměrných rozptylů hodnot pro etalon RA 3,2	78
Graf 7-35 Souhrn průměrných procentuálních odstupů pro etalonu RA 6,3	79
Graf 7-36 Souhrn průměrných rozptylů hodnot pro etalon RA 3,2	79
Graf 7-37 Grafické ověření správnosti modelu pro parametr Ra	83
Graf 7-38 Grafické ověření správnosti modelu pro parametr Rsm	84
Graf 7-39 Průběh vlivu změny rychlosti na přepočtené naměřené hodnoty drsnosti pro parametr Ra.....	86
Graf 7-40 Průběh změny rychlosti přepočtených hodnot pro parametr Rz a Rv.....	87

Seznam zkratk

- S-N-O-P ... Stroj, Nástroj,Obrobek,Přípravek
GPS ... Geometrická specifikace produktu
P ... Základní parametry profilu
R ... Parametry drsnosti
W ... Parametry vlnitosti
Ra ... Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu
Rz ... Největší výška profilu
Pt ... Celková výška profilu
L_t ... Snímaná délka profilu
L_n ... Vyhodnocovaná délka profilu
L_r ... Základní délka profilu
L_p ... Základní délka profilu
L_w ... Základní délka profilu
λ_c ...Kombinace dlouhovlnného krátkovlnného filtru profilu
R_q ...Průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu
R_{sm} ...Průměrná šířka prvků profilu
R_v ... Největší hloubka prohlubně profilu
λ_f ...Dlouhovlnný filtr profilu
2D ... Dvojdímenzionální zobrazení
3D ... Trojdímenzionální zobrazení
R_{tip} ... Rádus špičky snímacího hrotu
λ_s ... Krátkovlnný filtr profilu
FP... Profilový filtr
FPL...Profilový filtr lineární
FPM...Profilový filtr morfologický
FPR...Profilový filtr robustní
FPLG...Profilový filtr lineární-Gaussův
FPLS...Profilový filtr lineární-Spline
FPLSW...Profilový filtr lineární-Spline vlnkový
FPMCD...Profilový filtr morfologický-Uzavřený disk
FPMCH...Profilový filtr morfologický-Uzavřený vodorovný prvek
FPMOD...Profilový filtr morfologický-Otevřený disk
FPMOH...Profilový filtr morfologický-Uzavřený vodorovný disk
FPMAD...Profilový filtr morfologický-Střídající se řada prvků
FMAH...Profilový filtr morfologický-Střídající se řada vodorovných prvků
FPRG...Profilový filtr robustní-Gaussův
FPRS...Profilový filtr robustní Spline
FP2RC...Profilový filtr-2RC

1 Úvod

Současné trendy v rozvoji výrobních systémů se dají charakterizovat snahou o zvyšování pružnosti výrobních procesů schopných uplatnit se ve všech typech výroby. Tento trend se dá vypořádat nejen u jednodušších obráběcích strojů, ale i u složitých obráběcích center.

Realizace vytyčených cílů spočívá ve využívání moderních řídicích prvků, kterými lze sledovat nejen vzájemné polohy, dráhy, rychlosti pohybu nástroje a obrobku, ale i automatickou výměnu nástrojů, manipulaci s obrobky i jejich kontrolou po skončení daných operací. Jednou z cest, jak dosáhnout zvýšení produktivity práce v moderní výrobě, je zabezpečit intenzitu řezného procesu. Přitom je však nutné brát v úvahu i hledisko vlivu na integritu obrobeného povrchu.

Sledování parametrů kvality obrobeného povrchu s sebou přináší nebývalý tlak na možnosti obráběcí techniky. Samozřejmě spojené s nutností kvalitní jednoznačné kontroly měření povrchu. Tlak na straně obrábění způsobuje následně rostoucí potřebu povrchy přesněji měřit, čímž se přenáší naléhavé požadavky i do oblastí dílenské metrologie a vyvolává intenzivní rozvoj v tomto oboru.

Integritu obrobeného povrchu je možné posuzovat podle následujících třech základních hledisek:

- přesnosti tvarů a rozměrů – je dána přesností stroje a zároveň tuhostí systému SNOP (Stroj – Nástroj – Obrobek – Přípravek)
- vlastnostmi povrchové vrstvy – je dána strukturními změnami, stupněm zpevnění a zbytkovým pnutím v materiálu
- drsností a mikrostrukturou povrchu – je dána řeznou rychlostí, tvarem nástroje, řezným a řezaným materiálem

Předkládaná práce se dále zaměřuje do třetí oblasti hodnocení integrity povrchu, a to konkrétně - do oblasti měření a hodnocení drsnosti a mikrostruktury povrchu.

Drsnost povrchu má rozhodující vliv na vlastnosti a chování součástí v provozu. Dále má vliv na životnost a funkčnost součástí. Proto je rozvoji měřicích prostředků a metrologii integrity povrchu věnována stále větší a větší pozornost. [14]

Aby bylo hodnocení kvality povrchu objektivní, využívá se k posouzení stále většího množství parametrů, které podávají o měřeném povrchu vypovídající soubor informací.

Potřebné informace je však nutné z povrchu během měření získat = odfiltrovat neboť povrch je celý soubor nerovností (drsnost, vlnitost, tvar plochy) tvořících vlastní strukturu povrchu. Jednotlivé nerovnosti se od sebe liší zejména svými roztečemi a rozdílným vlivem na funkci povrchu. Z tohoto důvodu je nezbytné při jejich analýze provést jejich separaci. Separace složek struktury povrchu se provádí jejich filtrováním, aby bylo možno z naměřeného profilu povrchu (základního profilu) zjistit konkrétní parametry drsnosti (R_a , R_z , P_t , ...), je třeba provést separaci pomocí níž je drsnost oddělena od ostatních nerovností přítomných na měřeném povrchu.

2 Cíle disertační práce

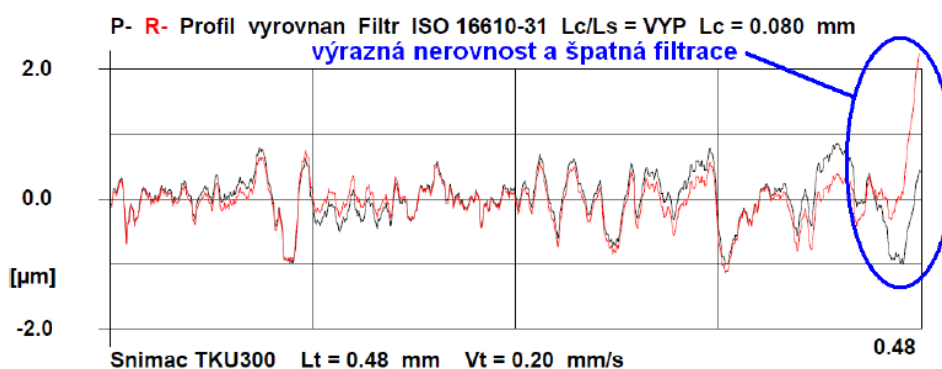
Cílem předkládané disertační práce je nastítnit pro snazší orientaci a pochopení problematiky definice a teoretické poznatky v hodnocení drsnosti povrchu a to především z oblasti filtrace dat při měření a hodnocení drsnosti povrchu.

Jsou zde v krátkosti zmíněné mechanické filtry používané při měření drsnosti. Avšak nosným tématem předkládané práce jsou, jak už název napovídá, softwarové filtry při měření drsnosti povrchu.

Tato disertační práce si prvotně klade za cíl vytvoření nového konceptu a metodiky volby a aplikace vhodného softwarového filtru při měření drsnosti povrchu (periodický povrchu), za podpory teoretických znalostí a zkušeností získaných během studia, dostupné literatury a vlastního výzkumu.

3 Motivace disertační práce

Impulsem pro vznik této disertační práce se staly problémy opakovatelnosti a reprodukovatelnosti výsledků měření parametrů integrity povrchu součásti ve dvou metrologických laboratořích s ekvivalentním vybavením. Na obrázku 3-1 je vidět zřejmý offset křivek profilu, byť se měření provádělo na stejné součásti a na stejném typu laboratorního drsnoměru Hommel Etamic T8000, byly dosaženy rozdílné hodnoty výsledků u předem vybraných parametrů drsnosti, viz tabulka 3-1.

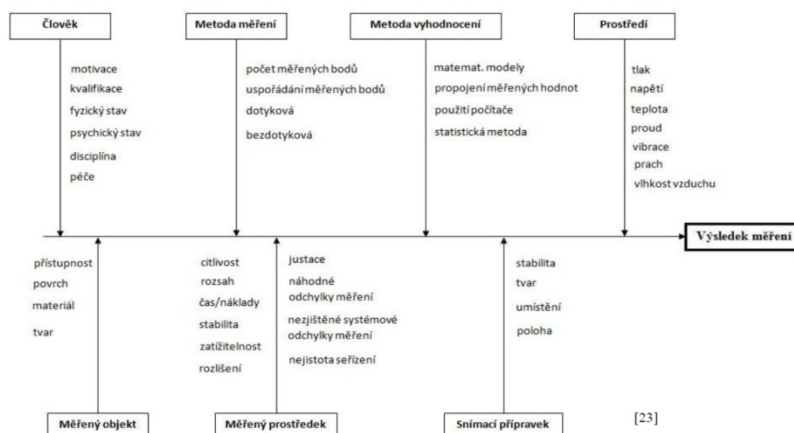


Obrázek 3-1 Rozdíl mezi výsledky mezi laboratořemi

Filtr	Rz	Ra	Wt	Rsm
Hodnota Univerzita Vigo	2,58	0,35	1,37	0,0555
Hodnota ZČU	3,22	0,47	1,29	0,0499

Tabulka 3-1 Porovnání výsledků dosažených na ZČU a ve Vigo

Byla provedena rozsáhlá analýza možných příčin vzniku tohoto rozdílu, viz obrázek 3-2.



Obrázek 3-2 Diagram analýzy příčin a následků rozdílu výsledků [48]

Jako důvod vzniklého rozdílu, byla označena právě rozdílná volba softwarového filtru a jeho nastavení schované na obrázku č. 3-2 pod pojmem matematické modely.

4 Přehled současného stavu řešené problematiky

Vývoj měření a hodnocení struktury povrchu zaznamenal v uplynulých letech výrazný kvalitativní technický pokrok. Přední výrobci měřicí techniky (Hommel CS s.r.o., Carl Zeiss spol. s.r.o., aj.) aktivně reagují na nové požadavky průmyslové sféry. Vývoj měřicí techniky je výrazně ovlivňován i technickými potřebami uživatelů a jejich ekonomickými možnostmi. Vzhledem k tomu, že se pro kontrolu struktury povrchu používají mnohdy jednoúčelová měřicí zařízení. Jedněmi z hlavních tvůrců zvyšování tlaku na zpracování norem při hodnocení kvality měření opracovaných ploch, jsou sami výrobci těchto strojů. [26]

Výsledkem tohoto komplexního vývoje je nejen zvyšování technické úrovně stávajících měřicích a vyhodnocovacích prostředků pro strukturu povrchu, ale i připravovaných metodik, měřicích systémů a systému posuzování a hodnocení struktury povrchu. [26] Systém posuzování a hodnocení struktury povrchu je definován rozsáhlým souborem norem, které se zabývají označováním, měřením, hodnocením struktury povrchu popř. kalibrací měřicích přístrojů atd. Jedná se o tzv. normy GPS, které blíže specifikují geometrické požadavky na výrobky. [16]

Obecně představuje měření a hodnocení textury povrchu samostatnou oblast metrologie. Speciální metodiky umožňují získávání potřebných údajů nezbytných pro určování charakteristik kvality kontrolovaného povrchu. Zde se nabízejí otázky: Co to vlastně povrch součásti je a jaké má vlastnosti? Čím jsou tyto vlastnosti dané? Jakými parametry se tyto informace označují a za jakých podmínek se vyhodnocují? To vše poodhaluje problematika měření drsnosti povrchu.

Pro objektivní hodnocení kvality povrchu, se využívá k posouzení stále většího množství parametrů, které podávají o měřeném povrchu vypovídající soubor informací.

Mezi současně platné normy specifikující parametry nebo charakteristiky struktury povrchu patří:

- **ČSN EN ISO 4287:1999**, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pojmy, definice a parametry struktury povrchu
- **ČSN EN ISO 12 085:1999**, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Parametry metody Motif
- **ČSN EN ISO 13 565-2:1999**, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti - Část 2: Výškové charakteristiky využívající křivku lineárního poměru materiálu
- **ČSN EN ISO 13 565-3:2001**, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti - Část 3: Výškové charakteristiky využívající pravděpodobnostní křivku materiálu

Následující normy neupřesňují parametry, charakteristiky nebo značení struktury povrchu. Přesto v oblasti hodnocení textury povrchu mají své nezastupitelné místo. Všechny níže uvedené normy jsou současně platné a pro tuto práci jsou více než důležité. Celá práce se o tyto normy opírá.

- **ČSN EN ISO 4288:1999**, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu

- **ČSN EN ISO 16610-1:1997**, Geometrická specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 1: přehled a základní koncepce
- **ČSN EN ISO 16610-20:2015**, Geometrická specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 20: Lineární profilové filtry: Základní koncepce
- **ČSN EN ISO 16610-30:2009**, Geometrická specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 30: Robustní profilové filtry: Základní pojmy
- **ČSN EN ISO 16610-40:2016**, Geometrická specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 40: Morfologické filtry: Základní koncepce
- **ČSN EN ISO 16610-21:2012**, Geometrické specifikace produktu (GPS) - Filtrace – Část21: Lineární profilové filtry: Gaussův filtr
- **ČSN EN ISO 16610-22:2016**, Geometrická specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 22: Lineární profilové filtry: Spline filtry
- **ČSN EN ISO 16610-29:2015**, Geometrická specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 29: Lineární profilové filtry: Prostorová interpolace vlnitosti
- **ČSN EN ISO 16610-31:2010**, Geometrické specifikace produktu (GPS) - Filtrace – Část31: Robustní profilové filtry: Gaussův regresní filtr
- **ČSN EN ISO 16610-32:2009**, Geometrická specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 32: Robustní profilové filtry: Spline filtr
- **ČSN EN ISO 13565-1:1997**, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti - Část 1: Filtrace a všeobecné podmínky měření
- **ČSN EN ISO 3274:1999**, Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů

5 Parametry integrity povrchu a jejich vyhodnocování

Předkládaná práce se primárně zaměřuje do oblasti volby a nastavení softwarových filtrů. Co to vlastně softwarový filtr je? Jedná se o matematický nástroj, který slouží pro aproximaci jednotlivých parametrů drsnosti povrchu.

Základní pomůckou je popis matematické definice filtru. Na základě norem GPS popisujících strukturu těchto filtrů je možno provést sérii měření pro ověření, jak se tyto filtry chovají. Následně na základě těchto měření bude sepsána dosud chybějící metodika užití filtrů.

Pro vyhodnocení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti výsledků umožňujících sepsání metodiky je využito dílů, u kterých je drsnost známá – etalony drsnosti navázané na mezinárodní etalon. Každý takový etalon má definovanou hodnotu drsnosti a v některých případech i metodiku opracování. Oba tyto údaje jsou důležité, neboť do metodiky je potřeba implementovat nejen postup výběru filtru dle hodnoty drsnosti ale je nutné brát v úvahu i způsob jakým byl daný povrch vyroben.

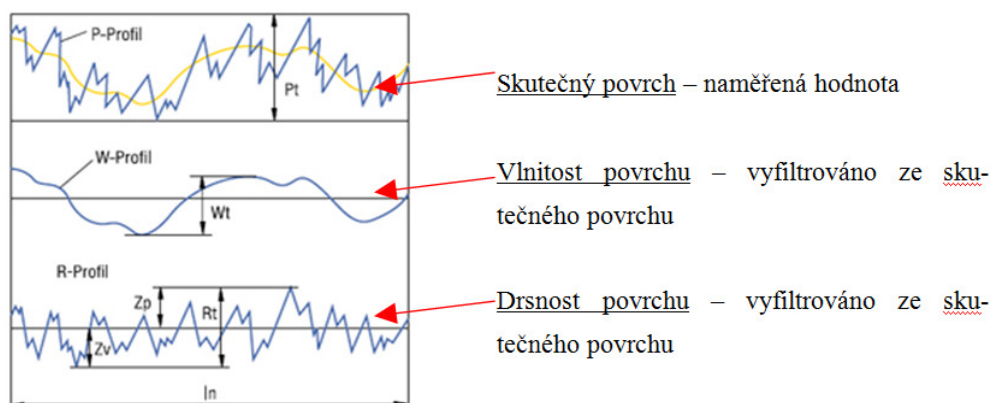
Pro sestavení metodiky volby softwarových filtrů, je potřeba znát správné nastavení testovacího stroje pro měření drsnosti. Z tohoto důvodu je tato práce v dalších částech věnována základním poznatkům a informacím k měření drsnosti povrchu. V praktické části této práce následně budou vybrané oblasti otestované ve spojení s volbou softwarových filtrů.

5.1 Drsnost povrchu

Je souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě nebo jejím vlivem. Nejvýznamnějšími prvky tohoto vlivu jsou řezná rychlost, posuv, tvar nástroje, opotřebení nástroje atd. Do drsnosti se nepočítají vady povrchu, tj. náhodné nepravidelné nerovnosti, které se vyskytují jen ojediněle (rysky, trhlinky, důlky apod.) a které vznikají vadami materiálu, poškozením apod.[36] Viz obrázek č. 5-1.

5.2 Vlnitost povrchu

Je rozměrnější nerovnost, na které je nabalená drsnost. Vzniká působením obráběcího stroje na obrobek, např. kmitáním, nedostatečnou tuhostí, nepřesností uložení atd.[36] Rozdíl mezi drsností a vlnitostí povrchu je na obrázku č. 5-1.



Obrázek 5-1 Filtrace dat[35]

5.3 Tvar plochy

Skutečný povrch při vyloučení drsnosti a vlnitosti. Úchylka tvaru plochy může být způsobná například teplem, nízkou tuhostí, špatnou přilnavostí vodících ploch atd.[36] Viz obrázek č. 5-1.

Proto, aby bylo možno provést měření předcházejících a vyhodnocení struktury povrchu, je potřeba před měřením nastavit některé důležité parametry, bez nichž by měření bylo neúspěšné.

Mezi tyto parametry patří:

- Měřená délka
- Povrch součásti
- Profil
- Měřené parametry
- Hardwarové filtry
- Softwarové filtry

5.4 Měřená délka

Pro měření drsnosti povrchu se užívají tři základní délky měřených úseků, viz obrázek č. 5-2. Veškeré délky měřených ploch leží ve směru osy X souřadného systému.

5.4.1 Snímaná délka l_t

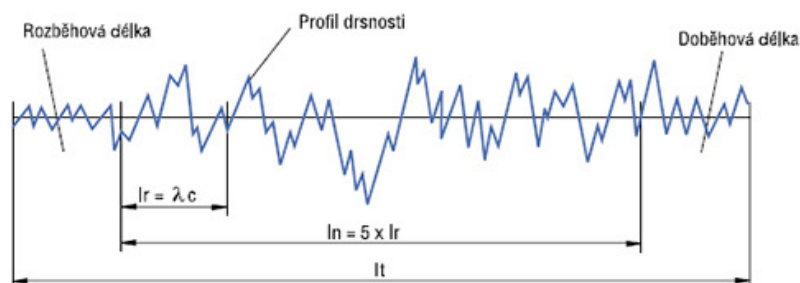
Jedná se o označení dráhy, kterou skutečně urazí snímací hrot a jsou zde započítány i náběh a přeběh hrotu přes vyhodnocovanou délku.

5.4.2 Vyhodnocovací délka l_n

Délka, na které se vyhodnocují parametry drsnosti povrchu. Může se dělit na jednu až pět délek základních.

5.4.3 Základní délky l_r, l_w, l_p

Délka úseku použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil. Základní délka pro drsnost l_r je rovna charakteristické vlnové délce profilovaného filtru λ_c . [16, 34]



Obrázek 5-2 Měřené délky [35]

Pro každý měřený a vyhodnocovaný parametr jsou stanoveny jiné optimální měřicí délky, viz tabulka 5-1 až 5-3.

Ra μm	Základní délka drsnosti lr /mm/	Vyhodnocovaná délka drsnosti ln /mm/
0.006 < Ra < 0.02	0.08	0.04
0.02 < Ra < 0.1	0.25	1.25
0.1 < Ra < 2	0.8	4
2 < Ra < 10	2.5	12.5
10 < Ra < 80	8	40

Tabulka 5-1 Základní délky pro měření drsnosti Ra, Rq, Rsk, Rku, RΔqa křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily[17]

Rz, Rz1max. μm	Základní délka drsnosti lr /mm/	Vyhodnocovaná délka drsnosti ln /mm/
0.025 < Rz < 0,1	0.08	0.04
0.1 < Rz < 0.5	0.25	1.25
0.5 < Rz < 10	0.8	4
10 < Rz < 50	2.5	12.5
50 < Rz < 200	8	40
Rz ... je použito při měření Ry, Rv, Rp, Rc, a Rt Rz1max ... je použito jen při měření Ry1max, Rv1max, Rp1max Rc1max		

Tabulka 5-2 Základní délky drsnosti pro měření Rz, Rv, Rp, Rc a Rt neperiodických profilů[17]

Rsm μm	Základní délka drsnosti lr /mm/	Vyhodnocovaná délka drsnosti ln /mm/
0,013 < Ra < 0,04	0.08	0.04
0,04 < Ra < 0,13	0.25	1.25
0,13 < Ra < 0,4	0.8	4
0,4 < Ra < 1,3	2.5	12.5
1,3 < Ra < 4	8	40

Tabulka 5-3 Základní délky drsnosti pro měření R-parametrů periodických profilů s Rsm periodických a neperiodických profilů [17]

5.5 Povrch součásti

Povrch je to, co tvoří skutečný tvar strojní součásti. Je definován v několika pohledech v normě ČSN EN ISO 4287:1999. Dle této normy se povrch součásti dělí na:

5.5.1 Skutečný povrch

„Povrch omezující těleso a oddělující ho od okolního prostředí.“[16] Vzniká výrobním procesem. Není možné vyrobit ideální povrch součásti dle předepsaného výkresu, vždy existuje rozdíl mezi geometrickým a skutečným povrchem.

5.5.2 Geometrický povrch

Jedná se o tvar a rozměr předepsaný na výkresové dokumentaci.

5.5.3 Základní povrch

Zobrazuje skutečný povrch součásti získaný měřicím přístrojem. „Je základem pro číslíkové zpracování profilu povrchu a pro výpočet parametrů profilu.“[1]

5.5.4 Periodický povrch

„Je povrch s výrazným směrem nerovností. Vzniká v případě, že výrobní nástroj vytváří v povrchu obráběné součásti stopy v určitém směru. Aby byly naměřeny vypovídací hodnoty, je nutné dodržet snímání povrchu kolmo na vzniklé stopy.“[1]

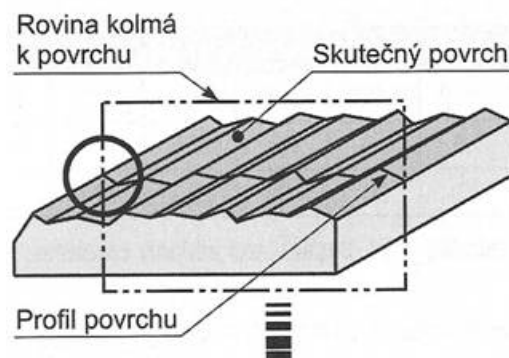
5.5.5 Aperiodický povrch

„Je povrch s nevýznamným směrem nerovností. Výrobní nástroj v povrchu obráběné součásti nevytváří nerovnosti s výrazným směrováním. Zde není důležitý směr snímání povrchu součásti při měření povrchu.“[1]

Veškeré tyto povrchy se v určitém okamžiku nacházejí na kontrolované součásti. Každý je důležitý a potřebný analyzovat v jiném okamžiku kontroly, ale jsou si v důležitosti rovny.

5.6 Profil

Je zdrojem informací o měřeném povrchu. Představuje dvourozměrný obraz trojrozměrného povrchu součásti, který vznikne průnikem povrchu s rovinou řezu s promítnutou čárou ze stylusu drsnoměru. Viz obrázek č. 5-3.



Obrázek 5-3 Povrch a profil součásti [1]

Dle normy ČSN EN ISO 4287:1999 rozeznáváme typy profilů takto:

5.6.1 Profil povrchu

Je profil vzniklý jako průnik skutečného povrchu s průnikem řezu. V praxi se obvykle volí rovina kolmá k rovině rovnoběžné se skutečným povrchem.

5.6.2 Snímaný profil

Místo dotyku snímacího hrotu a skutečného povrchu součásti. Jedná se o profil, od kterého jsou odvozeny veškeré další profily.

5.6.3 Úplný profil

Je prostorová drsnost. Digitální forma referenčního profilu, ve formě vertikálních a horizontálních souřadnic, navzájem si odpovídajících souřadnic.[1]

5.6.4 Zbytkový profil

„Základní profil získaný snímáním ideálně hladkého a rovného povrchu (optická rovina).“[37] Zbytkový profil je složen z úchylek vedení, vnějších a vnitřních poruch a z úchylek vzniklých při přenosu profilu.

5.6.5 P profil

„Úplný profil po aplikaci krátkovlnného filtru λ_s . Základní profil reprezentuje základnu pro číslicové zpracování profilu pomocí filtrů profilu a pro výpočet parametrů profilu.“[16]

5.6.6 R profil

Profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λ_c . Profil drsnosti je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti.

5.6.7 W profil

Profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a filtru profilu λ_c na základní profil.

5.7 Měřené (zkoumané) parametry

V následujících tabulkách je souhrn parametrů z norem ČSN EN ISO 4287:1999, ČSN EN ISO 12085:1999, ČSN EN ISO 13565-2:1999, ČSN EN ISO 25178-2:2011. Viz tabulka č. 5-4 až 5-6.

Parametry struktury povrchu (dne norem GPS)				
Norma ČSN EN ISO	Název parametru	značka	Def. na	
			Ir	In
4287	Výškové parametry			
	Největší výška výstupku profilu	Pp, Rp, Wp	X	-
	Největší hloubka prohlubně profilu	Pv, Rv, Wv	X	-
	Největší výška profilu	Pz, Rz, Wz	X	-
	Průměrná výška profilu	Pc, Rc, Wc	X	-
	Celková výška profilu	Pt, Rt, Wt	-	X
	Průměrná aritmetická odchylka posuzovaného profilu	Pa, Ra, Wa	X	-
	Průměrná kvadratická odchylka posuzovaného profilu	Pq, Rq, Wq	X	-
	Šikmost posuzovaného profilu	Psk, Rsk, Wsk	X	-
	Špičatost posuzovaného profilu	Pku, Rku, Wku	X	-
	Délkové parametry			
	Průměrná šířka prvků profilu	Psm, Rsm, Wsm	X	-
	Tvarové parametry			
	Průměrný kvadratický sklon posuzovaného povrchu	Pdq, Rdq, Wdq	X	-
	Křivky a odpovídající parametry			
	Materiálový poměr profilu (nosný profil)	Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c)	-	X
	Rozdíl výšky úseku profilu	Pdc, Rdc, Wdc	-	X
	Vzájemný materiálový poměr	Pmr, Rmr, Wmr	-	X
Empirické rozdělení výšek profilu		-	X	

Tabulka 5-4 Parametry struktury povrchu 4287[16]

Parametry struktury povrchu (dle norem GPS)				
Norma ČSN EN ISO	Název parametru	značka	Def. na	
			Ir	In
12085	Parametry metody Motif pro profil drsnosti			
	Průměrná hloubka prvků Motif drsnosti	R	-	X
	Největší hloubka profilu nerovnosti	Rx	-	X
	Průměrná rozteč prvků Motif drsnosti	AR	-	X
	Parametry metody Motif pro profil vlnitosti			
	Průměrná hloubka prvků Motif vlnitosti	W	-	X
	Největší hloubka vlnitosti	Wx	-	X
	Průměrná rozteč prvků Motif vlnitosti	AW	-	X
	Celková hloubka vlnitosti	Wte	-	X

Tabulka 5-5 Parametry struktury povrchu 12085[19]

Parametry struktury povrchu (dle norem GPS)				
Norma ČSN EN ISO	Název parametru	značka	Def. na	
			lr	ln
13565-2 Filtrované dle 13565-1	Parametry křivky lineárního poměru materiálu			
	Hloubka jádra drsnosti	Rk	-	X
	Materiálový podíl	Mr1	-	X
	Materiálový podíl	Mr2	-	X
	Redukovaná výška výstupku	Rpk	-	X
	Redukovaná hloubka prohlubně	Rvk	-	X
13565-2 Filtrované dle 12085	Parametry křivky lineárního poměru materiálu			
	Hloubka jádra drsnosti	Rke	-	X
	Materiálový podíl	Mr1e	-	X
	Materiálový podíl	Mr2e	-	X
	Redukovaná výška výstupku	Rpke	-	X
	Redukovaná hloubka prohlubně	Rvke	-	X
13565-3 Filtrované dle 13565-1 Základní profil	Parametry pravděpodobnostní křivky mat.			
	Sklon regresní přímky vedené oblastí pošinek	Ppq, Rpq	-	X
	Sklon regresní přímky vedené oblastí prohlubní	Pvq, Rvq	-	X
	Relativní materiálový poměr v místě průsečíku oblastí	Pmq, Rmq	-	X

Tabulka 5-6 Parametry struktury povrchu 13565 –X[6,20]

Všechny výše zmíněné parametry v tabulkách jsou stanoveny pro 2D hodnocení struktury povrchu. K některým existuje i ekvivalent pro hodnocení ve 3D drsnosti, viz norma ISO 25178:2009 [7].

5.8 Hardwarové filtry

Základní a nejjednodušší je hardwarová filtrace dat, která nepotřebuje krom základního vybavení přístroje žádné další vybavení.

5.8.1 Filtr profilu

Filtr profilu je základem měření parametrů struktury povrchu. Ve velké míře ovlivňuje hodnoty naměřených výsledků. Jeho úkolem je z profilu oddělit krátkovlnné a dlouhovlnné složky a odstranit vlnové délky, které se pohybují pod popř. nad danou frekvencí.[16]

Filtry mají stejné přenosové charakteristiky, ale rozdílné hodnoty mezní vlnové délky. Transformují profil tak, aby neobsahoval nerovnosti s větší roztečí, jako například vlnitost nebo jiné úchytky tvaru, které by zkreslovaly vlastní měření drsnosti. Pro správnou funkci filtru je potřeba stanovit hodnoty základní délky, podle které se zkoumaný povrch filtruje. Filtr profilu rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky.[18]

Při měření hodnot struktury povrchu musíme věnovat pozornost podmínkám, které předepisují normy. Jde o vztah normalizovaného zaoblení špičky snímacího hrotu r_{tip} a poměru mezních vlnových délek drsnosti λ_c/λ_s (neboli cut-off). Na tento problém se zaměřuje norma ČSN EN ISO 3274 (Tabulka 1).[18]

- **Filtr profilu - λ_c** – „Filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomných na povrchu.“[16]
- **Filtr profilu - λ_s** – „Filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti.“[16]

- **Filtr profilu – λ_f** „Filtr definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomných na povrchu.“[16]



Obrázek 5-4 Přenosová charakteristika filtrace dat při měření drsnosti[16]

5.8.2 Filtr dle ČSN EN ISO 12 085

Definice parametrů je stejná jako u filtrace dle ČSN EN ISO 13 565-1 a vychází z normy ČSN EN ISO 13 565-2. Z důvodu že vychází ze stejné normy jako filtrace dat dle ČSN EN ISO 13 565-1, jsou i parametry stejné. Proto dochází pro rozlišení parametrů k přidání písmene e k označení parametrů.

Díky tomuto postupu při filtrování dat je možno získat parametry:

- Hloubka jádra drsnosti - Rke
- Materiálový podíl – Mr1e,2e
- Redukovaná výška výstupku - Rkpe
- Redukovaná hloubka prohlubní – Rvke[19]

5.8.3 Filtr dle ČSN EN ISO 13 565-1

V této normě je popsána filtrace dat za předpokladu, že je hloubka prohlubně pod mnohem jemnějšími dokončenými ploškami s malým poměrem obsahu vlnitosti. Tento povrch nevhodně ovlivňuje referenční čáru a způsob filtrace dat dle této normy tyto vlivy omezuje.

Díky tomuto postupu při filtrování dat je možno získat právě parametry:

- Hloubka jádra drsnosti - Rk
- Materiálový podíl – Mr1,2
- Redukovaná výška výstupku - Rkp
- Redukovaná hloubka prohlubní – Rvk[6]

5.8.4 Filtr dle ČSN EN ISO 13 565-3

Dle této normy jsou dvě možnosti jak filtrovat data.

5.8.4.1 I.Filtr dle ČSN EN ISO 13 565 -1

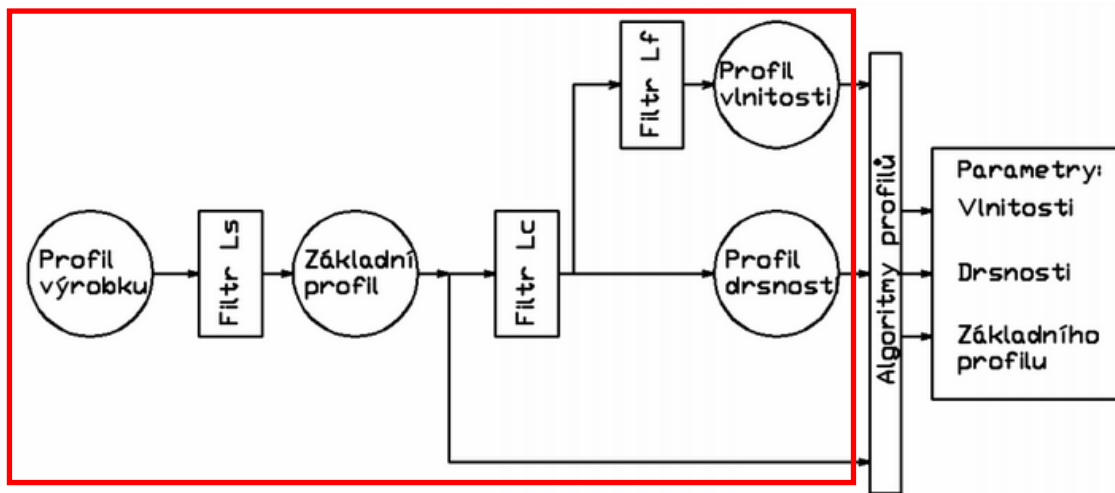
- Sklon přímky v oblasti plošinek – Rpq
- Sklon přímky v oblasti prohlubní – Rvq

- Relativní materiálový poměr v průřezu oblasti plošinek a prohlubní – $Rmq[6,20]$

5.8.4.2 II.Filtr LS

Při vyhodnocování parametrů dle tohoto filtru je jediný rozdíl v tom, že se vyhodnocují na základním profilu, na rozdíl od ostatních profilů, které jsou vyhodnocované na základní délce.

- Sklon přímky v oblasti plošinek – Ppq
- Sklon přímky v oblasti prohlubní – Pvq
- Relativní materiálový poměr v průřezu oblasti plošinek a prohlubní – Pmq



Obrázek 5-5 Řazení filtrů pro získání informací [16]

Až doposud se tento text zabýval pouze problematikou nastavením stroje před měřením a hardwarovou filtrací dat na obrázku č. 5-5 v červeném rámečku. Ovšem tato část filtrace dat je poměrně dobře popsána v normách či metodikách pro tuto oblast. Což pro hlavní oblast zájmu této práce neplatí.

5.9 Softwarová filtrace dat

Podle normy ČSN EN ISO 16610-1:2015 se tyto filtry dělí do 2 základních oblastí.

- 2D profilový filtr
- 3D prostorový filtr

Oba typy softwarových filtrů mají další svoje podskupiny a to podle matematického postupu výpočtu.

- **Lineární** - ČSN EN ISO 16 610-20
- **Morfologické** - ČSN EN ISO 16 610-40
- **Robustní** – ČSN EN ISO 16 610-30 [1]

Filtr	Typ	Kategorie
F = Filtr	A = prostor (area) 3D	L = Lineární
		M = Morfologické
		R = Robustní
	P = Profil (Profile) 2D	L = Lineární
		M = Morfologické
		R = Robustní

Tabulka 5-7 Rozdělení filtrů dle 16610-1[1]

Typ Filtru	Kategorie	Symbol	Označení	Název	ISO norma
FP	FPL	G	FPLG	Gaussův	16610-21
		S	FPLS	Spline	16610-22
		SW	FPLSW	Spline vlnkový	16610-29
	FPM	CD	FPMCD	Uzavřený disk	16610-41
		CH	FPMCH	Uzavřený vodorovný prvek	16610-41
		OD	FPMOD	Otevřený disk	16610-41
		OH	FPMOH	Otevřený vodorovný prvek	16610-41
		AD	FPMAD	Střídající se řada prvků	16610-49
		AH	FMAH	Střídající se řada vodorovných prvků	16610-49
		FPR	G	FPRG	Gaussův
	S		FPRS	Spline	16610-32
	FP	2RC	FP2RC	2RC	4768

Tabulka 5-8 Rozdělení profilových filtrů dle 16610-1[1]

Z možností, které jsou popsány v tabulce č. 5-8, byly pro další popis vybrány pouze základní představitele všech kategorií. A pro podrobnější popis funkce softwarových filtrů byly vybrány pouze ty filtry, které je možno na stroji použít pro filtraci, v tabulce č. 5-8 označené zeleně.

5.9.1 Gaussův lineární profilové filtry (FPLG)

Lineární profilové filtry jsou nejběžněji používané filtry při měření drsnosti.

Jedná se o filtr s vhodnou přenosovou charakteristikou ($a_{1,2}/a_0$), u kterého lze snadno stanovit procentuální přenos (α) pro jakoukoliv zvolenou vlnovou délku (λ_c). V řadě případů, jako jsou např. povrchy vyrobené několika různými po sobě následujícími metodami, mají lineární filtry nežádoucí vedlejší efekty. Např. Gaussův filtr může být výrazně ovlivněn úchylkami profilu povrchu (ostrými výstupky nebo prohlubněmi).[2,3,4,32]

Základní specifikace tohoto filtru je rozdílná pro otevřený, viz obrázek č. 5-6, či uzavřený profil, viz obrázek č. 5-7. Pro plnou specifikaci tohoto typu filtru je potřeba znát rovnice:

- Gaussova váhová funkce
- Charakteristikou přenosu – dlouhé a krátké vlny

Otevřený profil

- Gaussova váhová funkce

$$s(x) = \frac{1}{\alpha x \lambda_c} e^{-\pi \left(\frac{x}{\alpha x \lambda_c} \right)^2}$$

x...vzdálenost od středu váhové funkce

λ_c ...vlnová délka cut-off

α ...konstanta (0,4697)

- Charakteristika přenosu – dlouhé vlny

$$\frac{a_1}{a_0} = e^{-\pi \left(\frac{\alpha x \lambda_c}{\lambda} \right)^2}$$

- Charakteristika přenosu – krátké vlny

$$\frac{a_2}{a_0} = 1 - e^{-\pi \left(\frac{\alpha x \lambda_c}{\lambda} \right)^2}$$



Obrázek 5-6 Otevřený profil drsnosti[2,3,4]

Uzavřený profil

- Gaussova váhová funkce

$$s(x) = \frac{f_c}{\alpha x L} e^{-\pi \left(\frac{x x f_c}{\alpha x L} \right)^2}$$

x...vzdálenost od středu váhové funkce

f_c ...frekvence cut-off ve vlně

L...délka uzavřeného profilu

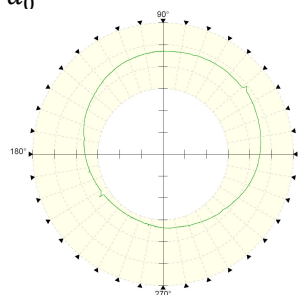
α ...konstanta (0,4697)

- Charakteristika přenosu – dlouhé vlny

$$\frac{a_1}{a_0} = e^{-\pi \left(\frac{\alpha x f_c}{f_c} \right)^2}$$

- Charakteristika přenosu – krátké vlny

$$\frac{a_2}{a_0} = 1 - e^{-\pi \left(\frac{\alpha x f_c}{f_c} \right)^2}$$



Obrázek 5-7 Uzavřený profil drsnosti[2,3,4]

Při standardním zpracování dat je filtrovaný profil získáván odečtením střední čáry filtru od základního profilu (viz červená čára na obrázku č. 5-8). Z obrázku je zřejmé, že v oblasti délky profilu $\sim x = 0,6$ mm se Gaussova střední čára „propadá“ do prohlubně (rýhy). Po odečtení střední čáry se prohlubeň efektivně „zvedne“ a prakticky se tak zmenší hloubka prohlubně. Současně se zvětší souřadnice profilu na obou stranách prohlubně a zvětší se tím maximální výška profilu. Obě popsané změny zkreslují průběh profilu povrchu, a proto jsou nežádoucí.[2,3,4,32]

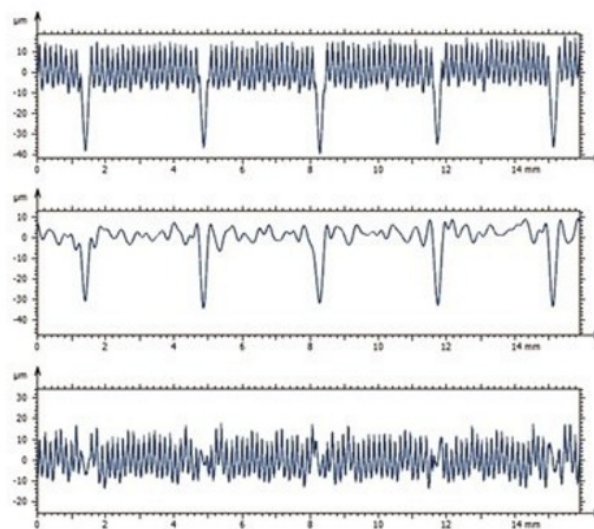


Obrázek 5-8 Otevřený profil se střední čarou[2,3,4]

a_0 - amplituda sinusového profilu před filtrováním
 $a_{1,2}$ - amplituda dlouhovlnné, krátkovlnné složky sinusového profilu po filtrování
 λ - vlnová délka sinusového profilu
 Δx - vzorkovací interval

5.9.3 Spline vlnkový lineární filtr (FPLSW)

Tyto filtry jsou založeny na analýze lokálních harmonických s využitím krátkodobých signálů. Při analýze textury povrchu jsou využívány především pro rozklad profilů a povrchů do různých velikostních skupin, což umožní identifikaci konkrétního měřítka úchylek i odstranění rušivých velikostních elementů a následnou rekonstrukci „očistěného“ signálu. I tyto filtry jsou definovány jak pro profily, tak i pro plochy.[10,31] Viz obrázek č. 5-10.



Obrázek 5-10 Princip vlnkového lineárního filtr [31]

Pokud je vyjádřena funkce jako suma nekonečných částí sinů a cosinů (jako při Fourierově teorému), je velkou nevýhodou absence parametru času, zůstává pouze frekvence. Během posledních desetiletí se objevilo několik řešení, jak tento problém vyřešit a prezentovat signál v časové i frekvenční sféře. Za tímto postupem se v podstatě skrývá schopnost rozdělit signál na několik částí a ty analyzovat odděleně. [10,31]

FPLSW analýza používá modulovatelné okno, které může měnit svoji velikost. Tímto oknem se následně rozdělí data do zmiňovaných částí. Okno se mnohokrát posouvá po datové řadě a pro každou pozici se poté individuálně spočítá frekvenční spektrum. Tento postup se mnohokrát opakuje a při každém takovém opakování se okno zmenší (nebo zvětší). Na konci procesu je výsledek časově-frekvenční reprezentace vstupních dat. V oboru metrologie se časový parametr nahrazuje parametrem vzdálenosti (x).[10,32]

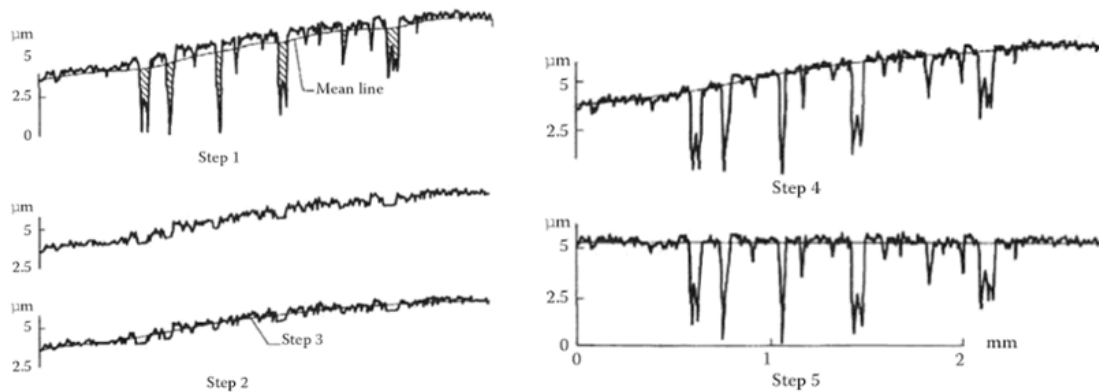
5.9.4 Gaussův robustní profilový filtry (FPRG)

Vhodnější způsob filtrace nabízí nelineární verze Gaussova filtru, který je „odolný“ proti ostrým výstupkům a prohlubním, což znamená, že střední čára filtru není tak silně ovlivňována průběhem profilu povrchu. Nový Gaussův filtr označovaný jako robustní je definován ve standardu ČSN EN ISO 16610-31. Robustní filtr je především vhodný pro

analýzu povrchů, které charakterizují ostré výstupky a prohlubně, jako jsou povrchy honované a povrchy vyrobené litím nebo spékáním (slinováním). [28,33]

Filtr využívá mechanismus opakování, kterým se účinně upravuje váhová (hodnotící) funkce Gaussova filtru v oblasti odchylek profilu. Výsledkem je, že střední čára filtru je podstatně méně citlivá na profil povrchu tvořený ostrými výstupky a prohlubněmi.[28,33]

Robustní Gaussův filtr je přednostně používán pro stratifikované povrchy a prezentaci tvarů, drážek nebo pórů.[28,33]



Obrázek 5-11 Princip filtrace dat za pomoci Robustních filtrů[33]

Počátek práce s tímto filtrem je shodný jako o všech ostatních filtrů drsnosti v kroku 1 (viz obrázek č. 5-11 step 1) dojde k sejmutí profilu běžným postupem a následnému proložení získaného profilu středovou čarou. V kroku 2 (viz obrázek č. 5-11 step 2) dojde za pomoci cut-off filtru o max. hodnotě 0,8 k odfiltrování hodnot ležících nad touto hodnotou. V kroku 3 (viz obrázek č. 5-11 step 3) dojde opět k proložení získaného profilu středovou čarou, která se dále již nemění a užívá se pro následné výpočty. V kroku 4 (viz obrázek č. 4-11 step 4) dojde k návratu odfiltrovaných hodnot z kroku 2. A následující postup zpracování je stejný jako pro lineární filtry profilu.[28,33]

5.9.5 Morfologické profilové filtry (FPM)

Morfologické filtry respektují působení dvou morfologických procesů – dilatace (prodloužení, roztažení) a eroze (opotřebení, obrušování), které ovlivňují velikost strukturních částic povrchu. Různou kombinací obou procesů se mění charakteristika povrchu a morfologický filtr vytváří horní nebo dolní obálku povrchu. Morfologické filtry jsou používány pro vyrovnávání povrchu vzhledem k obálce.[8,31]

Principem morfologických filtrů je posouvání vstupních geometrických objektů. Používají se sekundární geometrické strukturující prvky. Vznik morfologických filtrů je založen na Minkovského součtech. [8,31]

Minkovského sčítání je také známo jako vektor sčítání množin. To může být viděno geometricky jako postupné rozložení jedné z množin druhou. Pro aplikace při metrologickém filtrování se sledují obecná ustanovení pro zpracování signálu a obrazu. To znamená, že se jedná o morfologické filtry pro jednu nebo dvě proměnné.[8,31]

K zjednodušení interpretace, morfologické filtry pro metrologii byly nejprve vyvinuty pro funkce jedné proměnné (signály) tak, že mohou být aplikovány a testovány pro profily povrchu. Mohou být rozšířeny pojmově na funkce dvou proměnných pokrývajících reálné

povrchy. V dalším je uvedeno několik morfologických operací definovaných jako Minkovského součty. Obvykle je jedna množina, např. A jako vstupní množina a druhá B jako strukturující prvek. Symetrická verze B se získá zrcadlením B kolem počátku.[8,31]

Obecně; zpracování signálů se zabývá spojitymi (analogovými) i diskretními (digitálními) signály. V poslední době je pozornost věnována diskretním morfologickým filtrům. [8,31]

U diskretních morfologických filtrů je signál reprezentován vektorem konečné velikosti. Jsou vypracovány algoritmy pro generování kruhového a plochého strukturujícího prvku a pro 4 základní operace (rozšíření, eroze, otevření a uzavření); dohromady 8 možností filtrování.[8,31,38]

Algoritmy prezentované pro diskretní rozšíření, erozi, uzavření a otevření jsou časově celistvé. Všechny jsou lineární ve velikosti vstupního signálu (velikost vektoru x). Také pro výpočet je brán lineární prostor. Proto jsou tyto algoritmy asymptoticky optimální. Jediné omezení ze strany strukturujících prvků je, aby byly symetrické kolem horizontální a vertikální osy. [8,31,38]

Tyto algoritmy jsou také velmi robustní, protože jen obsažené výpočty jsou posouvány (indexováním řad), sčítány a porovnávány. Takto je demonstrováno, že digitální morfologické filtry jsou vypočitatelné a algoritmy jsou konkurence schopné Gaussova algoritmu filtrace. [8,31,38]

Morfologické filtry mohou jasně převzít úlohu obalových filtrů; mohou být dokonce aplikovány pro širší třídy problémů. [8,31,38]

Vlastnosti morfologických filtrů:

- jsou dokonale definované
- vycházejí z definic mechanického povrchu
- simulují kontaktní jevy (E-systém)
- uzavírací profily jsou bez koncových efektů
- využívají včleněný soubor matematických modelů
- nevyžadují odstranění tvaru
- umožňují rozstup náhodných dat
- jsou rychlejší než Gaussův filtr
- mohou být použity jako standardní filtr pro ustanovení základů

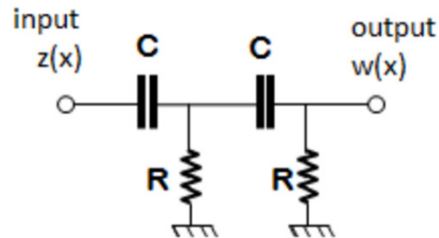
Nevýhodou je, že jsou citlivé na odlehlé body a podobně jako filtry typu motif nejsou zatím dostatečně známé.[8,31,38]

5.9.6 2RC filtr

Tento typ filtru byl, používán po dlouho dobu měření drsnosti povrchu před tím než začala nastupovat do oblasti počítačová technika. Je to vstupní filtr, ze kterého vycházejí v předchozích kapitolách popsané filtry drsnosti.

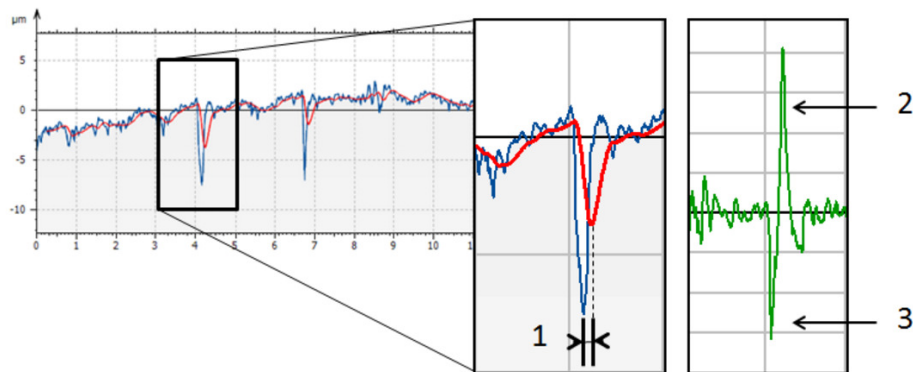
Základním cílem prvních filtrů RC, tvořených odpory a kondenzátory (obrázek č. 5-12), bylo zabránit velkým změnám výstupního signálu, aby bylo možné profil povrchu správně indikovat nebo zobrazit. Postupným vývojem se začaly využívat počítače jako vyhodnocovací prostředky profilometrů, s aplikací desek analog/digital. Poté byl normalizován filtr pro

úpravu profilu povrchu typu 2RC – jedná se o dvojitý analogový RC filtr s oddělenými články. Nedostatkem tohoto typu filtrů je zkreslení přenosové funkce způsobené zejména fázovým posunem. K řešení problému byla připravena verze fázově korigovaného filtru označená 2RC-PC, ale současně se intenzivně pracovalo na vytvoření nového korektnějšího filtru.[27,31]



Obrázek 5-12 Návrh 2RC filtru[32]

Hlavní nevýhodou tohoto filtru je zkreslení fáze jeho přenosové funkce (obrázek č. 5-13). Každá vlnová délka v původním profilu je posunuta o jinou hodnotu vedoucí ke kritickým problémům po krocích, drážkách a vrcholů.



Obrázek 5-13 Záznam z 2RC filtru[32]

6 Chyby a nejistoty měření

Žádné měření se neobejde bez znalosti možných příčin variability procesu. V rámci měření jsou tyto variability procesu značeny jako chyby měření. A jejich vyjádření se provede za pomoci nejistot měření.

V rámci zpracování předkládané disertační práce bylo potřeba s ohledem na řešenou problematiku stanovit postup výpočtu hodnoty nejistoty prováděných tesů. A z tohoto důvodu byla zařazena i kapitola chyby a nejistoty měření do této práce.

V nejposlednější řadě dle Wernera Heisenberga a jeho principu neurčitosti ani sebelepší zdokonalení měřicího přístroje nedovolí získat absolutně přesné výsledky, vždy tam bude určitá chyba.[42]

6.1 Chyby měření, jejich příčiny a členění

„Měření je soubor experimentálních úkonů, jejichž cílem je určení hodnoty určité veličiny, tj. určení kvantitativní charakteristiky určitého kvalitativního znaku (vlastnosti) určitého objektu.

Opakuje-li se měření za stejných podmínek, zjistí se, že výsledky měření se od sebe více nebo méně liší. Toto je způsobeno nepřesnostmi měřicího systému, nedodržením konstantních podmínek měření atd. Každé měření je zatíženo chybou.

Cílem každého měření je určení skutečné hodnoty, a to je možné jen určením chyby měření. Chyba je kladná, je-li naměřená hodnota větší než pravá (konvenčně pravá, skutečná) hodnota a při odhadu skutečné hodnoty se od naměřené hodnoty odečítá (postup se nazývá korekce naměřené hodnoty).“[43]

6.2 Hlavní příčiny vzniku chyb

- měřidlo, měřicí systém (jsou dány nedokonalosti a nespolehlivosti měřících přístrojů, např.: chyby tření, chyby způsobené posunutím nuly, chyby umístění atd.),
- měřicí metoda (nerespektování dynamických vlastností měřidel, zanedbání některých funkčních závislostí - nepřímé měření),
- podmínky, při kterých se měření provádí (hlavně chyba teplotní),
- osoba, která měření provádí a vyhodnocuje (závisí na subjektivních vlastnostech osoby pozorovatele – zručnost, zkušenost, kvalifikace, psychický stav, chyba paralaxy, omezená rozlišovací schopnost). [44]

6.3 Členění chyb

- dle časové závislosti: statické, dynamické
- dle možnosti vyloučení: odstranitelné, neodstranitelné
- dle způsobu výskytu: chyby hrubé, chyby systematické, chyby náhodné

6.4 Nejistoty měření a jejich zdroje

Nejistotou se rozumí parametr charakterizující rozsah (interval) hodnot kolem výsledku měření, který může být odůvodněně přiřazený hodnotě měřené veličiny. Může se týkat

výsledku měření, ale také hodnot odečtených na použitých přístrojích, hodnot použitých konstant, korekce atd., na kterých nejistota výsledku závisí. [43]

Základem je pravděpodobnostní princip. Předpokládá se, že nejistota měření pokryje skutečnou hodnotu s předpokládanou pravděpodobností (nejčastěji 95%).

Základní charakteristikou nejistoty je standardní nejistota u , která je vyjádřena hodnotou směrodatné odchylky $s(x)$. Při normálním rozdělení zaručuje výsledek s pravděpodobností 68,27%. Nebo v případě jiného než normálního rozdělení vyjádřena za pomoci Modusu či Mediánu. [43]

Nejistoty měření se stanovují při vyhodnocování měření ve výzkumu a technické praxi a to při:

- experimentálním ověřování fyzikálních zákonů a určování hodnot fyzikálních konstant, definičních měření, reprodukci jednotek fyzikálních a technických veličin a vyhodnocování metrologických vlastností primárních etalonů [43]
- kalibraci sekundárních etalonů a pracovních (provozních) měřidel
- typových zkoušek měřidel a vyhodnocování jejich technických a metrologických vlastností
- vyhodnocování přesných měření v oblasti zkušebnictví a kontroly jakosti výrobků, úředních měření ve smyslu zákona o metrologii, ostatních přesných a závazných měřeních v technické praxi, např. přijímacích a garančních zkouškách, měření množství látek a energií v hospodářském styku, měření složení a vlastností materiálů apod.[20]

6.5 Teoretický postup stanovení nejistoty měření

Mírou nejistoty měření je směrodatná odchylka udávané veličiny. Takto vyjádřená nejistota se označuje jako **standardní nejistota - u** a představuje rozsah hodnot okolo naměřené hodnoty.

Standardní nejistoty se dělí na standardní nejistoty typu A a typu B. Udávají se buď samostatně bez znaménka, nebo za hodnotou výsledku se znaménkem \pm .

6.5.1 Standardní nejistoty typu A – u_a

Jsou způsobovány náhodnými chybami, jejichž příčiny se považují všeobecně za neznámé. Stanovují se z opakovaných měření stejné hodnoty měřené veličiny za stejných podmínek. Tyto nejistoty se stoupajícím počtem opakovaných měření se zmenšují. Přitom se předpokládá existence náhodných chyb s normálním rozdělením. [43]

6.5.2 Standardní nejistoty typu B - u_b

Jsou způsobovány známými a odhadnutelnými příčinami vzniku. Jejich identifikaci a základní hodnocení provádí experimentátor. Jejich určování nebývá vždy jednoduché. U složitých měřicích zařízení a při zvýšeném požadavku na přesnost, musí se provést podrobný rozbor chyb, což vyžaduje značné zkušenosti. Tyto nejistoty vycházejí z různých zdrojů a výsledná nejistota typu B je dána jejich sumací - přitom nezávisí na počtu opakovaných měření. [43]

6.5.3 Kombinovaná standardní nejistota $-u_c$

Je sumací nejistot typu A a B. Hodnotí-li se výsledek měření touto nejistotou, není třeba rozlišovat nejistoty typu A a B. Kombinovaná standardní nejistota udává interval, ve kterém se s poměrně velkou pravděpodobností může vyskytovat skutečná hodnota měřené veličiny. V praxi se dává této nejistotě přednost. [43,45]

6.5.4 Rozšířená standardní nejistota U

Zavádí se v případě, že je třeba zajistit ještě větší pravděpodobnost správného výsledku měření. Získá se tak, že se kombinovaná standardní nejistota u_c vynásobí součinitelem $ku = 2$. Při zjišťování jednotlivých standardních nejistot se postupuje podle toho, zda se jedná o přímé nebo nepřímé měření jedné nebo více veličin. Při výpočtech se hodnoty koeficientů a nejistot zaokrouhlují na tři platné číslice. Udávaná výsledná nejistota se zaokrouhluje na dvě platné číslice. [43,45]

Jako zdroje nejistot lze označit veškeré jevy, které nějakým způsobem mohou ovlivnit neurčitost jednoznačného stanovení výsledku měření, a tím vzdalují naměřenou hodnotu od hodnoty skutečné. Značnou roli zde sehrává také skutečnost, zda jde o měřicí metody přímé nebo nepřímé. Na nejistoty působí výběr měřících přístrojů analogových nebo číslicových, použití různých filtrů, vzorkovačů a dalších prostředků v celé trase přenosu a úpravy měřicího signálu. K nejistotám velmi výrazně přispívají rušivé vlivy prostředí v tom nejširším slova smyslu.

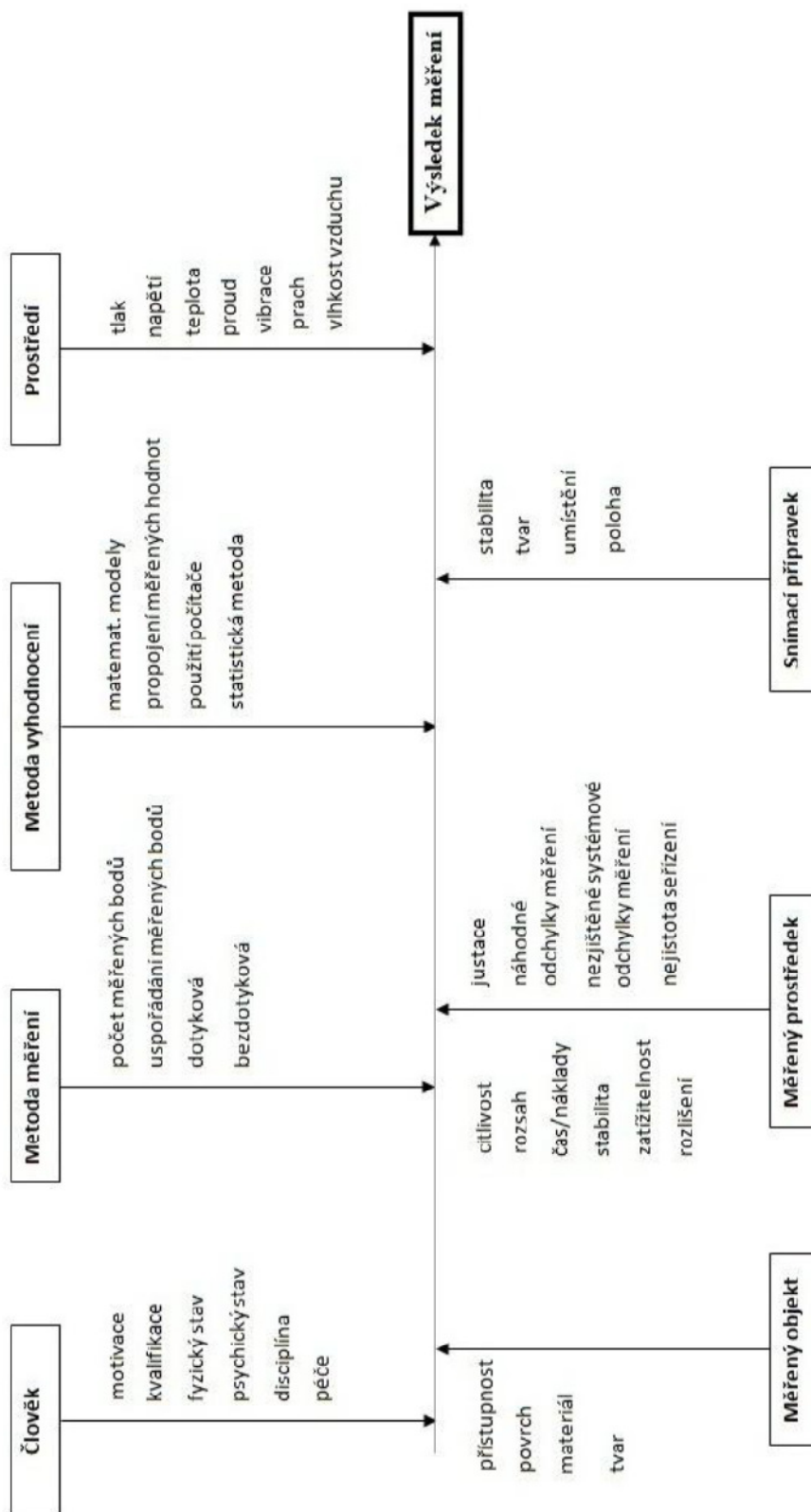
6.6 Zdroje nejistot

Nejčastěji se vyskytující možné zdroje nejistot (konkrétnější přehled je uveden na schématu na obrázku č. 6-1):

- nedokonalá či neúplná definice měřené veličiny nebo její realizace
- nevhodný výběr přístroje (rozlišovací schopnost aj.)
- nevhodný (nereprezentativní) výběr vzorků měření
- nevhodný postup při měření
- zjednodušení (zaokrouhlení) konstant a převzatých hodnot
- linearizace, aproximace, interpolace anebo extrapolace při vyhodnocení
- neznámé nebo nekompenzované vlivy prostředí
- nedodržení shodných podmínek při opakovaných měřeních
- subjektivní vlivy obsluhy
- nepřesnost etalonů a referenčních materiálů

Některé ze zdrojů se projevují výhradně, či výrazněji v nejistotách vyhodnocovaných nejistotou typu A, jiné při použití nejistoty typu B. Mnohé zdroje ale mohou být příčinou obou skupin nejistot, a zde právě číhá největší nebezpečí v podobě opomenutí jedné ze složek, což může mít i velmi výrazný zkreslující účinek.

SCHÉMA MOŽNÝCH PŘÍČIN NEJISOT



Obrázek 6-1 Možné příčiny nejistot měření [48]

Údaje o nejistotách musí obsahovat formulace a zápis výsledných hodnot, způsobu výpočtu a nutné informace o pramenech. Výpočet nejistot je neoddělitelnou částí zpracování výsledků měření. Nejistoty musí být specifikovány. Při udávání rozšířené nejistoty musí být uveden použitý koeficient rozšíření (k), popř. odpovídající konfidenční pravděpodobnost. Lze udávat jak absolutní, tak i relativní nejistoty, popř. obojí. Hodnoty nejistot se zásadně zaokrouhlují na dvě platná místa a to přednostně nahoru. Je třeba také uvádět odkazy na použité normativní dokumenty. Některé tyto dokumenty přímo předepisují náležitosti a formulace při udávání výsledků měření včetně nejistot. Například do certifikátů o kalibraci se uvádí výsledek měření s rozšířenou nejistotou ve formě $(y \pm U)$ s následujícím dodatkem: "Uvedená nejistota představuje dvě směrodatné odchylky. Směrodatná odchylka byla vypočtena z nejistoty měřicího etalonu, kalibračních metod, vnějších vlivů, krátkodobého vlivu kalibrovaného objektu..."

6.7 Stanovení skutečné hodnoty nejistoty měření

Výše popsaná problematika nejistot byla aplikována na vybrané parametry drsnosti povrchu, mezi tyto parametry, patří parametry: R_a , R_z , R_v , R_{sm} . Tyto parametry byly vybrány zcela úmyslně a to z několika důvodů:

- R_a – byl zvolen jako zástupce nejběžněji používaného parametru drsnosti
- R_z – je volen, jako zástupce parametrů který ukazuje celkové vlastnosti výškové vybraného povrchu
- R_v – je zaměřuje na hodnocení struktury povrchu pod nulovou čarou profilu, a díky tomuto parametru můžeme vnímat např.: vliv velikosti hrotu
- R_{sm} - vzhledem k tomu že se celá práce zabývá periodickým povrchem a na základně velikosti tohoto parametru je nastavován stoj pro měření drsnosti je dobré znát i vliv na tento parametr. "

Vlastní stanovení nejistoty probíhá v několika krocích.

6.7.1 Test hrubé chyby

V prvním kroku před výpočtem nejistoty měření je nutné naměřené hodnoty zkontrolovat na hrubou chybu. V tomto případě se za hrubou chybu brala hodnota větší než $\pm 3\sigma$. Hrubé chyby vznikají v důsledku omylů při provádění měření nebo při vyhodnocení výsledku. Hrubé chyby mají jak objektivní tak i subjektivní charakter. Velká hodnota chyby může způsobit nepřesnost a nesprávnost konečného výsledku, proto je nezbytné odlehlý výsledek vyloučit ze souboru hodnot.

6.7.2 Ověření normality dat

V dalším kroku bylo nutné ověřit, že naměřená data jsou skutečně normálního rozdělení. Ověření bylo provedeno pomocí programu MATLAB za použití 5 variant statistických testů:

1. Kolmogorov-Smirnov test (kstest)
2. Lilliefors test (lillietest)
3. Jarque-Bera test (jbtest)
4. Student test (ttest)
5. Anderson-Darling (adtest)

Při všech testech se kontrolovala Nulová hypotéza – potvrzení její platnosti je označené v tabulce č. 6-1 a 6-2 číslem 1. Nulová hypotéza znamená, že data jsou normálního rozložení. V následující tabulce č. 6-1 a 6-2 je příklad výsledků pro etalon drsnosti RA 6,3 a základní testovaný filtr – Gaussův filtr (filtr 16610-21).

Zároveň byl proveden i výpočet průměrné hodnoty naměřených dat, modusu a mediánu a tyto hodnoty byly mezi sebou porovnány. Při jejich rovnosti je velmi velký předpoklad, že data jsou normálního rozdělení. A ve spojení s výsledkem statistických testů je možno jednoznačně rozhodnout zda jsou data normálního rozdělení či nikoliv.

Veškeré provedené testy jsou počítány a vyhodnocovány jak pro 2 μm tak pro 5 μm hrot.

	Ra	Rz	Rt	Pa
1	1	1	1	1
2	1	1	0	0
3	1	1	1	0
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1
MODUS	6,21	23,53	24,62	16,75
MEDIAN	6,22	23,56	24,59	10,31
PRŮMĚR	6,22	23,53	24,44	11,77

Tabulka 6-1 Tabulka výsledku testu normálního rozdělení – 2 mikrometry

	Ra	Rz	Rt	Pa
1	1	1	1	1
2	1	1	0	0
3	1	1	0	0
4	1	1	1	1
5	1	1	1	1
MODUS	6,21	23,53	24,62	10,75
MEDIAN	6,23	23,56	24,29	10,31
PRŮMĚR	6,23	23,53	24,74	11,27

Tabulka 6-2 Tabulka výsledku testu normálního rozdělení – 5 mikrometrů

Stejný test, byl proveden pro všechny hodnoty testovaných etalonů drsnosti, a to vždy i v kombinaci s rozdílným typem použitého filtru drsnosti. Na základě těchto výsledků, bylo potvrzeno, že naměřená data jsou normálního rozdělení a je možné postupovat při výpočtu dle výše popsaného schématu.

6.7.3 Nejistoty typu A – u_a

Nejistota typu A byla stanovena opakovaným měřením hodnoty drsnosti na navázaném etalonu drsnosti povrchu. Vzhledem k předpokladu, že nejistoty se stoupajícím počtem opakovaných měření zmenšují, a zároveň existenci náhodných chyb v normálním rozdělení, je nutno k dosažení koeficientu rozšíření $ku = 1$ provést minimálně 9 náměrů. S ohledem na tuto skutečnost byl počet opakování sjednocen s počtem náměru v prvním testu. A hodnota náměrů byla stanovena na 42 náměrů.

Z naměřených hodnot je dále nutno spočítat standardní nejistotu typu A dle vztahu (1) nebo jako modus či medián naměřených dat.

$$u_a = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (1)$$

Poř. číslo	Hodnota Ra	Poř. číslo	Hodnota Ra	Poř. číslo	Hodnota Ra	Poř. číslo	Hodnota Ra
1	6,1900	12	6,2800	23	6,2500	34	6,2300
2	6,2000	13	6,1800	24	6,2200	35	6,2200
3	6,2400	14	6,2100	25	6,2600	36	6,2600
4	6,2400	15	6,1900	26	6,2300	37	6,2500
5	6,2700	16	6,2100	27	6,1700	38	6,2400
6	6,2700	17	6,2200	28	6,2100	39	6,2200
7	6,2600	18	6,2100	29	6,2300	40	6,2300
8	6,2600	19	6,2300	30	6,2400	41	6,2300
9	6,2900	20	6,2600	31	6,2300	42	6,2200
10	6,2700	21	6,2800	32	6,2500	---	---
11	6,2300	22	6,1800	33	6,2200	---	---

Tabulka 6-3 Naměřená data pro etalon RA 0,5 za pomoci filtru 16610-21 2 mikrometrový hrot

$$u_{a2} = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{42(42-1)}} = 0,018 \mu\text{m}$$

Poř. číslo	Hodnota Ra	Poř. číslo	Hodnota Ra	Poř. číslo	Hodnota Ra	Poř. číslo	Hodnota Ra
1	6,05	12	6,11	23	6,08	34	6,16
2	6,05	13	6,15	24	6,16	35	6,15
3	6,1	14	6,08	25	6,09	36	6,09
4	6,13	15	6,08	26	6,05	37	6,07
5	6,16	16	6,17	27	6,13	38	5,97
6	6,17	17	6,14	28	6,1	39	6,16
7	6,17	18	6,14	29	6,11	40	6,13
8	6,17	19	6,1	30	6,13	41	6,16
9	6,15	20	6,14	31	6,16	42	6,12
10	6,14	21	6,15	32	6,14	---	---
11	6,05	22	6,14	33	6,14	---	---

Tabulka 6-4 Naměřená data pro etalon RA 0,5 za pomoci filtru 16610-21 – 5 mikrometrový hrot

$$u_{a5} = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{42(42-1)}} = 0,00452 \mu\text{m}$$

Hodnota nejistoty u_a je postačující pro naše výpočty a testy provedené v další části práce.

V souhrnné tabulce č. 6-5 je možno vidět hodnoty nejistot typu A pro vybrané typy parametrů drsnosti povrchu, s použitím filtru 16610-1.

	Ra-2	Ra-5	Rz-2	Rz-5	Rv-2	Rv-5	Rsm-2	Rsm-5
RA0,5	0,00021	0,00025	0,0071	0,0041	0,0034	0,0024	0,000081	0,000054
RA1	0,0012	0,0011	0,0054	0,0062	0,0031	0,0034	0,000084	0,000022
RA3,2	0,00075	0,00069	0,0033	0,0034	0,0018	0,0017	0,000012	0,000013
RA6,3	0,018	0,0045	0,048	0,045	0,019	0,016	0,00036	0,00014

Tabulka 6-5 Souhrn hodnot nejistot typu A pro filtr 16 610-1

6.7.4 Stanovení nejistoty typu B – u_b

Stanovení nejistoty typu B je mnohem komplikovanější. Je třeba analyzovat celý proces a definovat možné zdroje nejistot v procesu měření drsnosti povrchu viz obrázek č. 6-1. Jako možné zdroje nejistot byly brány v potaz:

- hodnota nejistoty stroje
- vyhodnocovaný parametr drsnosti
- velikost hrotu

Vzhledem k automatickému cyklu programu měření nebude uvažována nejistota způsobená operátorem, neboť vliv operátora je minimalizován automatickým chodem zařízení.

Dále bude z testu vyřazen i vliv prostředí, neboť experimenty probíhaly v řízeném prostředí akreditované zkušební laboratoře s řízeným prostředím (teplota, vlhkost)

Pro stanovení nejistoty typu B se postupuje za předpokladu vzájemné nekorelace jednotlivých zdrojů nejistot dle vztahu:

$$u_b = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial z_i} u_{b_{z_i}}\right)^2} \quad (2)$$

V případě vzájemné korelace zdrojů nejistot se postupuje dle následujícího vztahu:

$$u_b = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial z_i} u_{b_{z_i}}\right)^2 + \sum_{\substack{i,k=1 \\ i \neq k}}^k \frac{\partial f}{\partial z_i} \frac{\partial f}{\partial z_k} u_{b_{z_i}} u_{b_{z_k}} r_{z_{ik}}} \quad (3)$$

6.7.5 Vyhodnocení variability zdroje

Měřená veličina je blíže určená veličina, která je předmětem měření. Odhadem této veličiny je aritmetický průměr:

$$\bar{x}_j = \sum_{i=1}^n \frac{x_j}{n}; j = 1, \dots, m \quad (4)$$

Výstupní odhad je výsledek měření vypočtený užitím funkční závislosti. Funkční závislost mezi měřenými veličinami X_1, X_2, \dots, X_m a výstupní veličinou Y může být vyjádřena explicitně

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_m) \quad (5)$$

nebo implicitně

$$f(Y, X_1, X_2, \dots, X_m) = 0 \quad (6)$$

Označí-li se odhady vstupních veličin malými písmeny, dostaneme zápis

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (7)$$

resp.

$$f(y, x_1, x_2, \dots, x_m) = 0 \quad (8)$$

Pro výběrový rozptyl odhadu výstupní veličiny Y platí vztah

$$s_y^2 = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)^2 s_{x_j}^2 + \sum_{j,k=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_j} \frac{\partial f}{\partial x_k} s_{x_j x_k} \quad (j \neq k) \quad (9)$$

Kde

$$s_{x_j}^2 = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_j)^2 \dots \text{výběrový rozptyl výběrového průměru } \bar{x}_j$$

$$\vartheta_{x_j} = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_j)^2 (x_{ki} - \bar{x}_k) \dots \text{výběrová kovariance výběrových průměrů } \bar{x}_j; \bar{x}_k$$

Pro výpočet pomocí tabulkového procesoru vyjádříme v maticovém tvaru:

$$s_y^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1}; \frac{\partial f}{\partial x_2}; \dots; \frac{\partial f}{\partial x_m} \right) \begin{pmatrix} \vartheta_{\bar{x}_1}^2 & \vartheta_{x_{1,2}} & \dots & \vartheta_{x_{1,m}} \\ \vartheta_{x_{2,1}} & \vartheta_{\bar{x}_2}^2 & \dots & \vartheta_{x_{2,m}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \vartheta_{m,1} & \vartheta_{x_{m,2}} & \dots & \vartheta_{\bar{x}_m}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_m} \end{pmatrix} \quad (10)$$

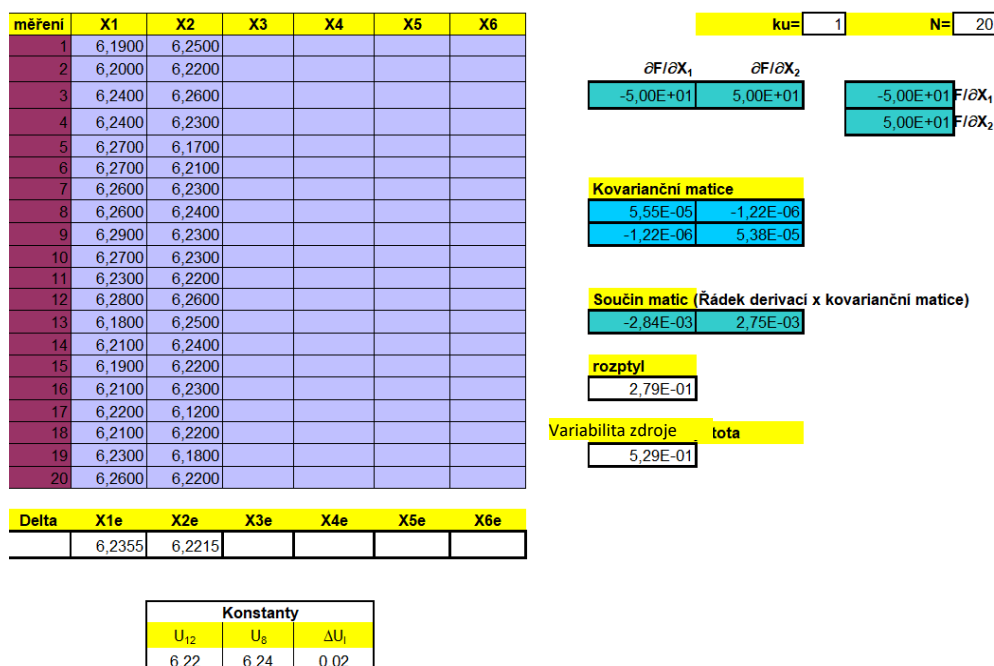
Řádkovou a sloupcovou matici tvoří převodní koeficienty, tj. parciální derivace funkce f podle jednotlivých proměnných, vyčíslené pro výběrové průměry vstupních veličin X_1, \dots, X_m . Jako výsledek měření se uvede např.:

$$Y = \bar{y} \pm 2s_y$$

Pro zproduktivnění metodiky vyhodnocení výsledků a prevenci vzniku možných chyb v průběhu výpočtů, bylo využito makra vytvořeného v prostředí MS EXCEL.

Výpočet variability zdroje je vidět na obrázku č. 6-2. Zde je znázorněn výpočet pro etalon RA 6,3 s použitým hrotu s rádiusem špičky 2 μm a filtrem 16610-21. Vyhodnocovaný parametr je Ra.

Zadávání vstupních dat a výpočet



Obrázek 6-2 výpočet variability zdroje

Proces zpracování dat v programu MS Excel je proveden díky záznamu dat z měření do sloupečku X1, X2, ..., Xn. Vždy se použije 20 náměrů pro výpočet. Každý sloupeček je

záznamem opakovaného měření drsnosti. Na základě toho, že pro vyhodnocování je použito 20 hodnot, tak koeficient rozšíření je nastaven na hodnotu 1 (tato hodnota se mění v závislosti na počtu vyhodnocovaných dat, viz obrázek č. 6-2). Následně je pak provedeno automatické spočtení kovariačních matic, včetně jejich součinu. S následným výpočtem rozptylu hodnot a variability zdroje.

Stejný výpočet variability dat byl proveden i pro parametry drsnosti Rz, Rv, Rsm. Pro všechny 4 varianty hodnot drsnosti. V tabulce č. 6-6 jsou znázorněny výsledky pro hrot 2 μm .

	Ra	Rz	Rv	Rsm
RA 0,5	0,1	0,852	0,0358	0,0752
RA 1	0,137	0,477	0,0557	0,0193
RA 3,2	0,176	0,778	0,0425	0,00256
RA 6,3	0,529	0,984	0,207	0,0895

Tabulka 6-6 Tabulka hodnot variability zdroje pro vybrané parametry drsnosti a 2 mikrometrový hrot

Následně bylo provedeno vyhodnocení rozšířených nejistot i pro měření s hrotem 5 μm . Souhrn výsledků je uveden v tabulce č. 6-7.

	Ra	Rz	Rv	Rsm
RA 0,5	0,1	0,935	0,0751	0,109
RA 1	0,397	0,633	0,0142	0,501
RA 3,2	0,0836	0,272	0,0819	0,268
RA 6,3	0,755	1,02	0,212	1,07

Tabulka 6-7 Tabulka hodnot variability zdroje pro vybrané parametry drsnosti a 5 mikrometrový hrot

6.7.5.1 Posouzení vzájemné korelace zdrojů nejistot

Na první pohled není zřejmé, zda vytipované zdroje nejistot, které se v tomto případě hodnotí, vzájemně korelují či nikoliv. Bylo tedy nutné provést ověření za pomoci programu MS Excel.

Hodnocení bylo provedeno na stejných datech jako určení nejistot typu u_a a U . (viz tabulky č. 6-8 a 6-9).

Ra-5	Rz-5	Rv-5	Rsm-5
6,05	23,55	11,53	0,3616
6,05	23,99	11,58	0,3666
6,1	23,51	11,67	0,3579
6,13	23,39	11,72	0,3585
6,16	23,43	11,68	0,3587
6,17	23,68	11,55	0,3581
6,17	23,69	11,57	0,3585
6,17	26,85	13,53	0,3707
6,15	23,42	11,55	0,3598
6,14	23,63	11,68	0,3597
6,11	23,44	11,58	0,3697
6,15	24,4	11,83	0,3588
6,08	25,24	13,09	0,3671
6,08	24,74	11,67	0,3669
6,17	24,19	11,53	0,3573
6,14	23,54	11,62	0,3584
6,14	23,37	11,55	0,3587
6,1	24,01	11,52	0,3591
6,14	26,95	12,87	0,3668
6,15	23,73	11,55	0,3598
6,14	23,63	11,42	0,3583
6,08	23,86	11,45	0,3696
6,16	24,03	11,49	0,3579
6,09	24,84	11,85	0,3692
6,05	24,11	11,44	0,359
6,13	23,91	11,38	0,3581
6,1	24,12	11,62	0,3617
6,11	24,1	11,64	0,3619
6,13	24,25	11,76	0,3594
6,16	23,97	11,75	0,359
6,14	24,07	11,69	0,3588
6,14	27,14	13,11	0,3709
6,16	23,72	11,63	0,3602
6,15	24,05	11,54	0,36
6,09	23,7	11,46	0,3705
6,07	23,86	11,42	0,3677
5,97	22,68	11,27	0,3611
6,16	26,46	13,84	0,3671
6,13	23,55	11,55	0,3578

Tabulka 6-8 Seznam hodnot použitých pro ověření korelace dat 5 mikrometrový hrot

Ra-2	Rz-2	Rv-2	Rsm-2
6,19	23,19	11,23	0,3649
6,2	23,64	11,52	0,365
6,24	23,33	11,6	0,3653
6,24	23,38	11,69	0,3637
6,27	23,71	11,66	0,3637
6,27	23,46	11,53	0,3651
6,26	23,23	11,41	0,3656
6,26	23,5	11,55	0,3655
6,29	23,53	11,51	0,3655
6,27	23,03	11,59	0,3661
6,23	23,39	11,56	0,3663
6,28	24,17	11,62	0,365
6,18	23,7	11,61	0,3636
6,21	24,07	11,6	0,3637
6,19	23,77	11,49	0,3637
6,21	23,45	11,47	0,3634
6,22	23,08	11,39	0,3641
6,21	23,64	11,43	0,3643
6,23	23,53	11,57	0,3641
6,26	23,39	11,31	0,3643
6,25	23,44	11,32	0,3643
6,22	23,8	11,43	0,3641
6,26	23,75	11,45	0,3649
6,23	24,12	11,51	0,3652
6,17	23,64	11,38	0,3645
6,21	23,68	11,37	0,3647
6,23	23,7	11,42	0,3641
6,24	24,02	11,47	0,3645
6,23	23,87	11,5	0,3646
6,23	23,77	11,49	0,365
6,22	23,76	11,46	0,3647
6,26	23,47	11,4	0,365
6,25	23,45	11,46	0,3652
6,24	23,53	11,46	0,3665
6,22	23,68	11,42	0,3665
6,23	23,74	11,35	0,3674
6,12	22,69	11,15	0,3632
6,22	23,01	11,3	0,3633
6,18	23,24	11,42	0,3635

Tabulka 6-9 Seznam hodnot použitých pro ověření korelace dat 2 mikrometrový hrot

	Ra-2	Rz-2	Rv-2	Rsm-2
Ra-5	0,718944	0,08993	0,357499	0,079061
Rz-5	0,1335	0,166416	0,135515	-0,06983
Rv-5	0,107617	-0,09113	0,15218	-0,16614
Rsm-5	-0,06409	0,152267	0,026345	0,246961

Tabulka 6-10 Hodnoty koeficientů korelace

Na základě výsledků uvedených v tabulce č. 6-10 u vzájemné korelace hodnot pro parametr drsnosti Ra, kde výsledná hodnota překračuje několikanásobně stanovenou hodnotu nekorelace ($\pm 0,2$), bylo provedeno opakované měření a testování hodnot korelací. Výsledky opakovaného měření je možno vidět v tabulce č. 6-11.

	Ra-2	Rz-2	Rv-2	Rsm-2
Ra-5	0,218944	0,18993	0,157499	0,079061
Rz-5	0,1435	0,12641	0,135515	-0,06983
Rv-5	0,104617	-0,09113	0,15218	-0,16614
Rsm-5	-0,08409	0,152267	0,026345	0,246961

Tabulka 6-11 Hodnoty koeficientů korelace

Vzhledem k potvrzenému předpokladu vzájemné nekorelace jednotlivých zdrojů nejistot, lze nyní s úspěchem dosadit do vztahu:

$$u_b = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial z_i} u_{bzi}\right)^2} \quad (2)$$

Jednotlivé číselné parametry potřebné k výpočtu jsou shrnuty v následující tabulce č. 6-12:

Zdroje nejistot	Značka	$U_{(xb)}$	Typ rozdělení	$K_{0,95}$
parametr Ra-2	U_{Ra2}	0,529	Normální	2
parametr Rz-2	U_{Rz2}	0,529	Normální	2
parametr Rv-2	U_{Rv2}	0,529	Normální	2
parametr Rsm-2	U_{Rsm2}	0,529	Normální	2
parametr Ra-5	U_{Ra5}	0,755	Normální	2
parametr Rz-5	U_{Rz5}	0,755	Normální	2
parametr Rv-5	U_{Rv5}	0,755	Normální	2
parametr Rsm-5	U_{Rsm5}	0,755	Normální	2
hodnota kalibrace	U_{Rkal}	1,000	Rovnoměrné	$\sqrt{3}$
Filtr 16610-21	$U_{16610-21}$	0,234	Normální	2
Filtr 16610-22	$U_{16610-22}$	0,304	Normální	2
Filtr 16610-31	$U_{16610-31}$	0,257	Normální	2
Filtr 0601	U_{0601}	0,245	Normální	2
Filtr 4768	U_{4768}	0,267	Normální	2

Tabulka 6-12 Souhrn standardních nejistot měření pro vybrané parametry

Vlastní výpočet např. pro parametr Ra a hrot 2 μm pak vypadá následovně:

$$u_{Ra2} = \frac{0,529}{2} = 0,2645 \mu\text{m}$$

$$u_{kal} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,577 \mu\text{m}$$

$$u_{16610-21} = \frac{0,234}{2} = 0,117 \mu m$$

$$u_b = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{bi}^2} = \sqrt{0,2464^2 + 0,577^2 + 0,117^2} = 0,641 \mu m$$

Ze znalosti u_a a u_b lze nyní stanovit kombinovanou nejistotu měření u_c , která zahrnuje vliv nejistot typu A i B. Při výpočtu se vychází ze vztahu:

$$u_c = \sqrt{0,00452^2 + 0,641^2} = 0,62 \mu m$$

Výše uvedený výpočet ukazuje systém výpočtu stanovení nejistoty pro případ parametru Ras hrotem 2 μm a použitým filtrem 16610-21.

7 Testy pro nastavení metodiky volby filtru

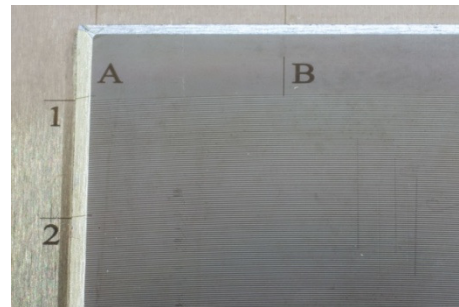
Nosným tématem této disertační práce je otestování vlivu softwarových filtrů na naměřené hodnoty drsnosti povrchu. Bez správného nastavení stroje při testu však není možné toto provést. Z tohoto důvodu byly provedeny i testy např. volby velikosti hrotu, vliv opotřebení hrotu nebo vlivu počtu bodů či vliv rychlosti snímání. V rámci těchto testů bylo následně provedeno hodnocení možnosti ovlivnění výsledků za použití kombinace např.: hrotu a odlišného typu softwarového filtru.

Testování probíhalo na drsnoměru HommelEtamic T8000 (viz obrázek č. 7-7) umístěném v prostorách metrologické laboratoře Regionálního technologického institut při Západočeské univerzitě v Plzni.

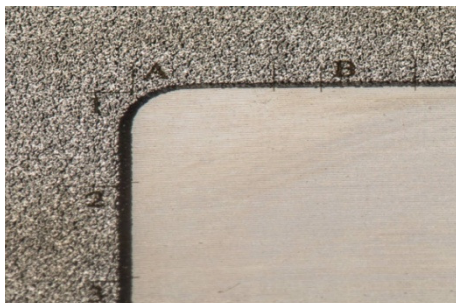
Základem všech testů jsou náměry na navázaných etalonech drsnosti s periodickým povrchem (v testech označeny dle hodnoty drsnosti, kterou zastupují) viz obrázky č. 7-1 až 7-4:



Obrázek 7-1 Etalon RA 0,5



Obrázek 7-2 Etalon RA 0,5



Obrázek 7-3 Etalon RA 3,2



Obrázek 7-4 Etalon RA 6,3

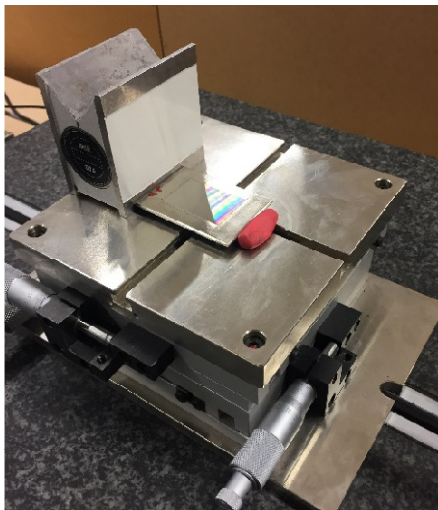
Navázané etalony drsnosti byly vybrány z několika důvodů. Primárně je u těchto etalonů známo jakou hodnotu drsnosti máme očekávat, je známo jakou technologií zastupuje jejich struktura povrchu. V neposlední řadě etalony jsou navázané. Byly tedy před zahájením testování kalibrovány.

Následně byl každý etalon rozdělen do několika polí o jednotné velikosti. Toto rozdělení sloužilo pro jednodušší pohyb a orientaci v rámci měření. Jednotlivé řádky a sloupce dostali svoje označení, jak je vidět na obrázku č. 7-5. Rozměry polí jsou 10 mm na šířku a 6 mm na výšku. Na každém etalonu jsou min. 4 řady těchto polí z důvodu zajištění min. počtu 40 naměřených profilů na každém etalonu. Rozložení měřených profilů je možno vidět na obrázku č. 7-5.

c	A	B	C
1	IIII	IIII	IIII
2	IIII	IIII	IIII
3	IIII	IIII	IIII
4	IIII	IIII	IIII

Obrázek 7-5 Rozložení náměrů na etalonu[51]

Každý etalon měl označenu nulovou pozici, ze které se začínalo ustavení etalonu před měřením. Po ustavení etalonu do nulové pozice a zajištění této pozice pomocí dorazu bylo s etalonem pohybováno pouze za pomoci mikrometrického stolečku, který je součástí zařízení (viz obrázek č. 7-6)



Obrázek 7-6 Ustavení etalonu na mikrometrickém stolečku

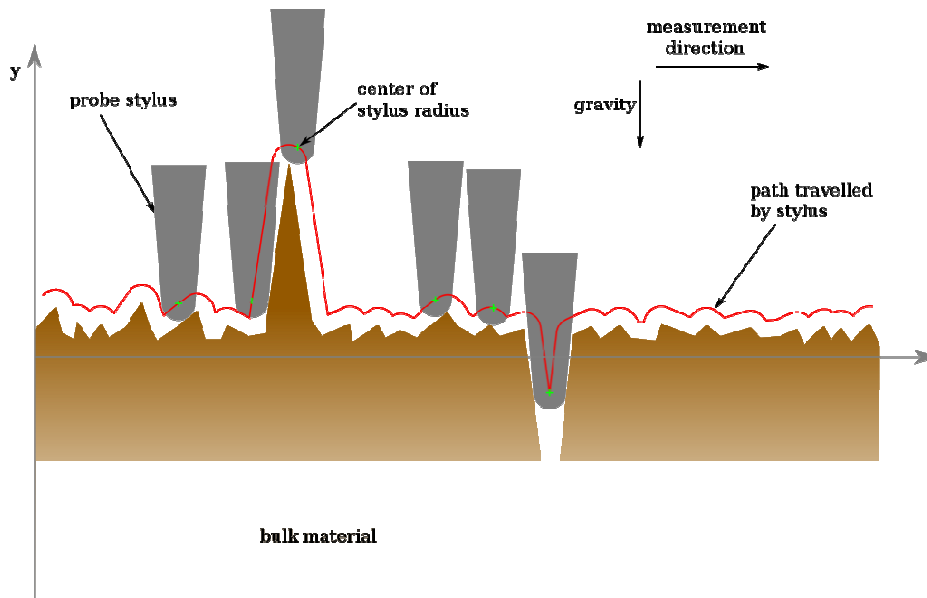


Obrázek 7-7 HommelEtamic T 8000 [50]

První série měření začínala na hodnotě 0,5 mm od nulové pozice na etalonu. Každé další snímání primárního profilu bylo vzdáleno o hodnotu 2 mm od předchozího měření. Pokud bylo potřeba měření opakovat, byl první náměr posunut o 0,1 mm od počátečního měření, tzn.: v druhé sérii měření byla počáteční vzdálenost 0,6 mm od nulové pozice a následně byly k této hodnotě přičítány 2 mm. V každém políčku etalonu byly provedeny vedle sebe maximálně 4 náměry, během jedné série měření.

7.1 Test volby hrotu

Prvním provedeným testem byl test volby hrotu. Vliv velikosti hrotu bylo nutné otestovat z důvodu toho, že hrot funguje jako jeden z hardwarových filtrů při měření drsnosti. Vlivem nevhodně zvoleného stylusu dochází ke zkreslení hloubky prohlubní či zaoblení hran u výstupků a tím by mohlo docházet k nežádoucí korekci výsledku měření (obrázek č. 7-8)



Obrázek 7-8 Vliv velikosti hrotu [49]

Pro nastavení stroje před měřením se s ohledem na typ testovaného povrchu (periodický povrch) sloužil parametr drsnosti R_{Sm} . Což vychází z normy 4288, kde její výňatek je možno vidět v tabulce č. 7-1.

Periodické profily např. soustružení, frézování	Měřicí podmínky Podle DIN EN ISO 4288:1998 a DIN EN ISO 3274:1998	Aperiodický povrch (broušení, vyjiskřování)																																										
<p>Střední vzdálenost ryh elementů drsnosti</p>	<p>Mezní vlnová délka λ_c (l)</p> <p>Základní délka l_r</p> <p>Měřená délka l_n</p> <p>Celková délka l_t</p> <p>Rádus hrotu r_{sp}</p> <p>Krátkovlnný filtr λ_s (l)</p>	<p>Aritmetická střední hodnota R_a</p> <p>Maximální výška drsnosti profilu R_z</p>																																										
<p>R_{Sm} (mm)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>$\lambda_c = l_r$ (mm)</th> <th>l_n (mm)</th> <th>l_t (mm)</th> <th>r_{sp} (μm)</th> <th>λ_s (μm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,08</td> <td>0,40</td> <td>0,48</td> <td>2</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>0,25</td> <td>1,25</td> <td>1,5</td> <td>2</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>4,00</td> <td>4,80</td> <td>2 nebo 5*</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>2,5</td> <td>12,5</td> <td>15,00</td> <td>5</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>8,0</td> <td>40,00</td> <td>48,00</td> <td>10</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table>	$\lambda_c = l_r$ (mm)	l_n (mm)	l_t (mm)	r_{sp} (μm)	λ_s (μm)	0,08	0,40	0,48	2	2,5	0,25	1,25	1,5	2	2,5	0,8	4,00	4,80	2 nebo 5*	2,5	2,5	12,5	15,00	5	8	8,0	40,00	48,00	10	25	<table border="1"> <thead> <tr> <th>R_a (μm)</th> <th>R_z (μm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>> (0,006) ...0,02</td> <td>> (0,025) ...0,01</td> </tr> <tr> <td>> 0,02 ...0,1</td> <td>> 0,1 ...0,5</td> </tr> <tr> <td>> 0,10 ...2,0</td> <td>> 0,5 ...10</td> </tr> <tr> <td>> 2,00 ...10,0</td> <td>> 10 ...50</td> </tr> <tr> <td>> 10,0 ...80,0</td> <td>> 50 ...200</td> </tr> </tbody> </table>	R_a (μm)	R_z (μm)	> (0,006) ...0,02	> (0,025) ...0,01	> 0,02 ...0,1	> 0,1 ...0,5	> 0,10 ...2,0	> 0,5 ...10	> 2,00 ...10,0	> 10 ...50	> 10,0 ...80,0	> 50 ...200
$\lambda_c = l_r$ (mm)	l_n (mm)	l_t (mm)	r_{sp} (μm)	λ_s (μm)																																								
0,08	0,40	0,48	2	2,5																																								
0,25	1,25	1,5	2	2,5																																								
0,8	4,00	4,80	2 nebo 5*	2,5																																								
2,5	12,5	15,00	5	8																																								
8,0	40,00	48,00	10	25																																								
R_a (μm)	R_z (μm)																																											
> (0,006) ...0,02	> (0,025) ...0,01																																											
> 0,02 ...0,1	> 0,1 ...0,5																																											
> 0,10 ...2,0	> 0,5 ...10																																											
> 2,00 ...10,0	> 10 ...50																																											
> 10,0 ...80,0	> 50 ...200																																											
<p>Příklad aplikace: Použijeme metodu délky R_{Sm} pro periodický profil. Pro R_{Sm} v rozsahu 0,4 až 1,3 mm se nastaví následující podmínky: $\lambda_s = 2,5$ mm; $l_n = 12,5$ mm; $l_t = 15$ mm; $r_{sp} = 5 \mu m$; $l_s = 8 \mu m$</p> <p>Zkrácení standardní měřené délky l_n: Pokud není standardní měřená délka dostatečná pro pro celkovou délku l_t, je počet základních délek patřičně zredukován a označen na výkresu. Pokud aktuální celková délka l_t je menší než jedna základní délka l_r, potom je vyhodnocena celková výška primárního profilu Pt místo R_t a R_z.</p>																																												

Tabulka 7-1 Tabulka hodnot pro nastavení stroje [51]

Pro testované etalony je v tabulce č. 7-2 odhad parametrů drsnosti R_{Sm} . Tento odhad vychází ze zaokrouhlených dat z kalibračních listů jednotlivých etalonů.

	R_{Sm} [μm]
RA 0,5	0,06
RA 1	0,10
RA 3,2	0,2
RA 6,3	0,3

Tabulka 7-2 Sumace hodnot parametrů drsnosti R_{Sm}

Na základě hodnot parametrů R_{Sm} (tabulka č. 7-2) byla následně volena doporučená velikosti hrotu a hodnota cut-off. Na základě odhadu parametru R_{Sm} byly do testu zařazeny

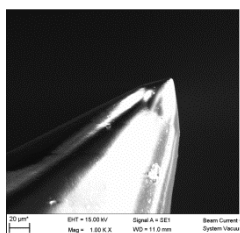
dvě velikosti stylusu a to 2 μm a 5 μm oba s vrcholovým úhlem 90°. Pro měření byla použita hodnota cutt-off 0,25 mm a 0,8 mm.

Při vyhodnocování testů je možno použít 3 metody stanovení výsledku.

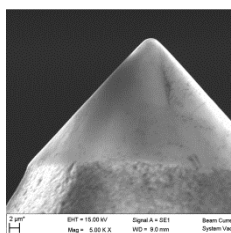
- Pravidlo maxima
- Pravidlo 16%
- Zvláštní pravidlo VDA dále jen „VDA“

V případě provedených testů se hodnotilo na základě zvláštního pravidla „VDA“ (dále jen „VDA“). To udává, že pokud maximální hodnota vyhovuje požadované maximální dané hodnotě na výkrese, je celý povrch v pořádku. V případě testu volby hrotu se neporovnávalo s hodnotou na etalonu, pouze se hodnotilo, o kolik se naměřené výsledky rozcházejí s výsledky v rámci kalibrace etalonu. Pro nalezení optima vždy byla hledána maximální hodnota tak aby bylo možno zajistit, že skutečně v procesu měření reálných dílů, je naměřeno za použití metodiky maximální hodnoty.

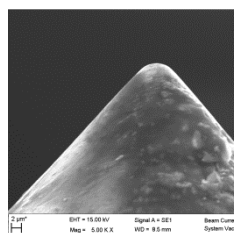
Dále bylo do testu zařazeno i otestování vlivu na naměřené hodnoty při použití opotřebovaného hrotu. Za opotřebovaný hrot byl brán stylus v okamžiku kdy jeho hodnota rádia na špičce přesáhla toleranční meze. Toleranční meze pro jednotlivé velikosti hrotu jsou v tabulce č. 7-3 a zároveň tato tabulka obsahuje i konkrétní naměřené hodnoty pro testované hrotky. Na obrázku č. 7-9 až 7-12 jsou pak hrotky vyfocené pod řádkovacím elektronovým mikroskopem.



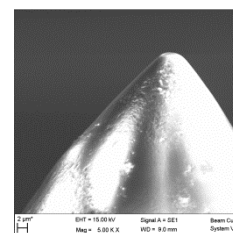
Obrázek 7-9
Opotřebovaný hrot 2 μm [51]



Obrázek 7-10 Nový
hrot 2 μm [51]



Obrázek 7-11
Opotřebovaný hrot 5 μm [51]



Obrázek 7-12 Nový
hrot 5 μm [51]

Tabulková hodnota 2 μm	Tabulková hodnota 5 μm	Nový hrot 2 μm	Starý hrot 2 μm	Nový hrot 5 μm	Starý hrot 5 μm
2 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$	5 $\mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$	1,93 μm	2,41 μm	5,11 μm	5,39 μm

Tabulka 7-3 Seznam hodnot rádiusů na testovaných stylusech [51]

7.1.1 Výsledky pro etalon RA 0,5

Vlastní vyhodnocení testu proběhlo v několika krocích. V prvním kroku vyhodnocení byla naměřena data přes celý rozsah etalonu zprůměrované pro vybrané parametry drsnosti (parametr Ra, Rz, Rsm, Rv,...). Následně pro tyto parametry byla spočtena procentuální odchylka od hodnoty uvedené v kalibračním listu příslušného etalonu. Toto vyhodnocení bylo provedeno pro všechny 4 stylusy a testované hodnoty drsnosti.

Ve druhém kroku vyhodnocení bylo provedeno porovnání dosažených hodnot drsnosti pro všechny 4 stylusy. Na základě tohoto porovnání pak vzešlo doporučení pro vhodný hrot pro další fáze testování vlivu filtrů.

7.1.1.1 Výsledky pro parametr RA 0,5 – parametr Ra

V tabulce č. 7-4 a 7-5 jsou sumarizovány výsledky pro náměry provedené novými hroty. Následně pak v grafu č. 7-1 je možno nalézt grafickou interpretaci těchto výsledků pro etalon RA 0,5 a vyhodnocovaný parametr Ra.

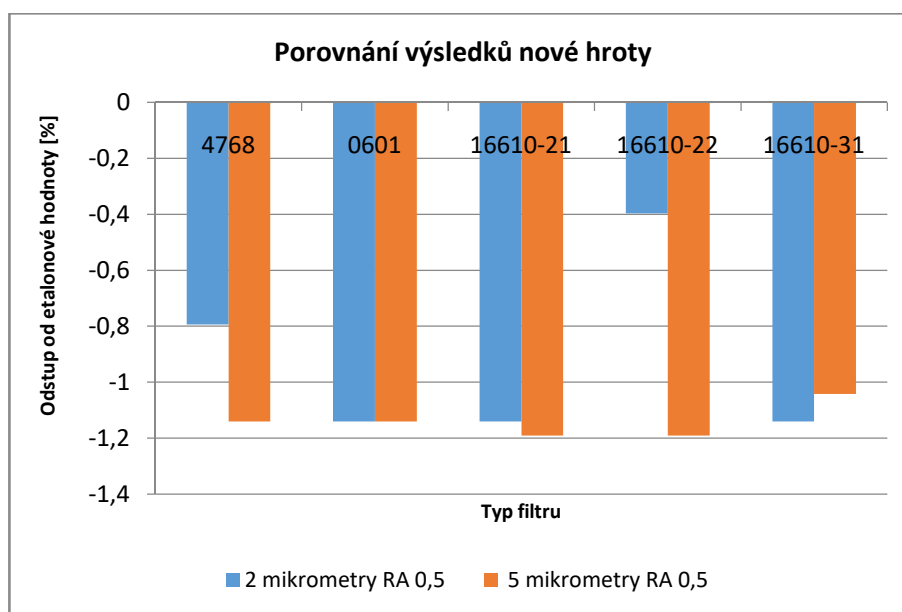
V tabulkách jsou data rozdělena do 4 sloupečků. První sloupec udává označení filtru, který byl pro měření použit, v druhém sloupečku je možno nalézt etalonovou hodnotu daného etalonu drsnosti, dále pak skutečně naměřenou hodnotu pro daný filtr a v posledním sloupečku je následně uveden procentuální rozestup mezi etalonovou hodnotou a hodnotou skutečně naměřenou. Zde je důležité uvést, že záporná procentuální hodnota odstupu znamená, že naměřená data jsou větší než očekávaná a v případě kladné hodnoty odstupu jsou naměřená data menší.

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro nový hrot 2	Procentuální rozdíl
16610-21	0,504	0,509792	-1,14914
16610-22	0,504	0,506458	-0,48776
16610-31	0,504	0,509792	-1,14914
4768	0,504	0,5	-0,793651
0601	0,504	0,509792	-1,14914

Tabulka 7-4 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr Ra

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro nový hrot 5	Procentuální rozdíl
16610-21	0,504	0,50975	-1,14087
16610-22	0,504	0,50925	-1,04167
16610-31	0,504	0,50925	1,04167
4768	0,504	0,49975	-0,843254
0601	0,504	0,50975	-1,14087

Tabulka 7-5 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr Ra



Graf 7-1 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem

Na základě výše zobrazeného grafu 7-1 a souhrnných tabulek je vidět, že minimální naměřená hodnota je získána za použití filtru 4768. Jako jediný filtr pro etalon RA 0,5 a hodnocený parametr drsnosti Ra naměřil nižší hodnotu než etalon. V rámci testu bylo potřeba nalézt specifikaci, při které se naměří maximální hodnota. Jednoznačnost rozhodnutí, který filtr je vhodnější, je velmi obtížné. Rozdíly mezi naměřenými daty jsou v desetinách procent, ale jako nejvhodnější se jeví použití softwarového filtru 16610-21 a to pro oba nové testované hroty.

Následně bylo provedeno stejné vyhodnocení i pro hroty opotřebené. I zde je v tabulce č. 7-6 a 7-7 nejprve sumarizace hodnot naměřených opotřebenými hroty.

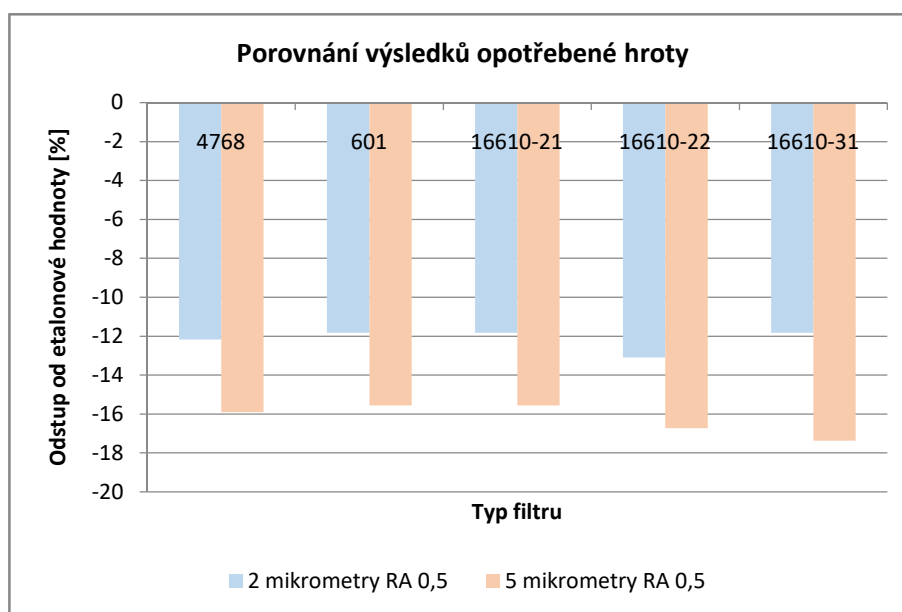
	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro opotřebený hrot 2	Procentuelní rozdíl
16610-21	0,504	0,508	-0,79365
16610-22	0,504	0,50975	-1,14087
16610-31	0,504	0,50975	-1,14087
4768	0,504	0,506	-0,39683
0601	0,504	0,50975	-1,14087

Tabulka 7-6 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr Ra starý

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro opotřebený hrot 5	Procentuelní rozdíl
16610-21	0,504	0,51	-1,19048
16610-22	0,504	0,51	-1,04167
16610-31	0,504	0,5925	-1,14087
4768	0,504	0,50975	-1,14087
0601	0,504	0,50975	-1,19048

Tabulka 7-7 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr Ra starý

Následně je navázáno grafickou interpretací těchto výsledků (graf č. 7-2) pro usnadnění orientace.

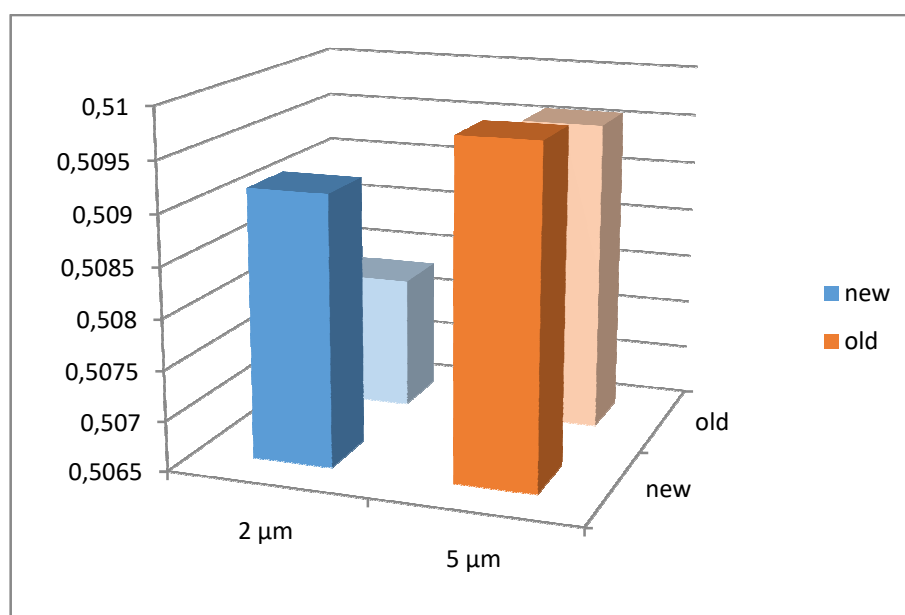


Graf 7-2 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem

Na rozdíl od náměrů provedených novými stylusy, zde veškeré naměřené hodnoty jsou větší než etalonová hodnota. Avšak stejně jako pro nové hroty i pro opotřebené hroty se jeví jako nejvhodnější použití pro parametr drsnosti Ra filtr 16610-21.

Jak už bylo v textu výše popsáno, tak vyhodnocení probíhalo ve dvou krocích. V prvním kroku byla naměřená data přepočítána na procenta. Pro vyhodnocení, druhého kroku, vhodnosti použitého stylusu, nejsou použity přepočtené procentní odstupy. Pro jednodušší orientaci jsou v grafu č. 7-3 uvedeny konkrétní průměrované naměřené hodnoty bez ohledu na typ použitého filtru.

Zde je důležité podotknout, že pro testovaný etalon RA 0,5 je v normě doporučeno použití pouze 2 μm hrot ale při pohledu na graf č. 7-3 je vidět, že se jako optimální velikost hrotu jeví stylus o velikosti 5 μm .



Graf 7-3 Porovnání hrotů pro parametr drsnosti Ra [51]

7.1.1.2 Výsledky pro parametr RA 0,5 – parametr Rz

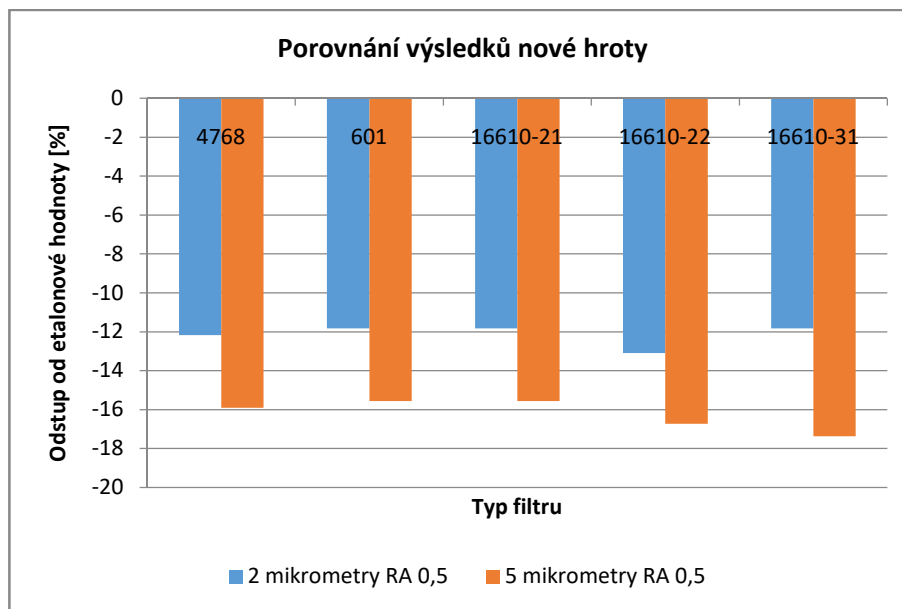
Dalším vyhodnocovaným parametrem byl parametr drsnosti Rz. V následujících tabulkách č. 7-8 a 7-9 jsou opět uvedeny souhrny výsledků pro testované filtry a nové stylusy pro parametry Rz.

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro nový hrot 2	Procentuální rozdíl
16610-21	1,594	1,787917	-12,1654
16610-22	1,594	1,7825	-11,8256
16610-31	1,594	1,7825	-11,8256
4768	1,594	1,802708	-13,0934
0601	1,594	1,7825	-11,8256

Tabulka 7-8 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr Rz

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro nový hrot 5	Procentuální rozdíl
16610-21	1,594	1,8475	-15,9034
16610-22	1,594	1,842	-15,5583
16610-31	1,594	1,842	-15,5583
4768	1,594	1,86075	-16,7346
0601	1,594	1,87075	-17,362

Tabulka 7-9 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr Rz



Graf 7-4 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem

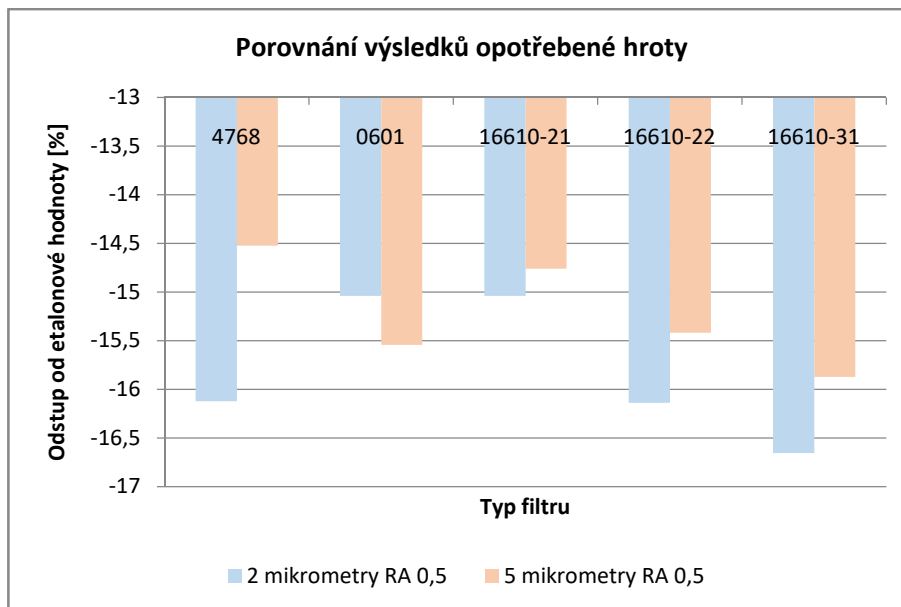
Zde na rozdíl od parametru Ra jsou výsledky konstantnější a všechny naměřené hodnoty jsou větší než etalonová hodnota a to v řádech desítek procent. Při pohledu na graf č 7-4 je vidět, že dosažené výsledky ať už pro 2 µm hrot tak pro 5 µm hrot jsou si v odstupech skoro rovny, pokud se pohybujeme pouze v náměrech totožným hrotem, ale jako nejvhodnější se jeví filtr 16610-31.

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro opotřebený hrot 2	Procentuální rozdíl
16610-21	1,594	1,851	-16,123
16610-22	1,594	1,83375	-15,0408
16610-31	1,594	1,83375	-15,0408
4768	1,594	1,85125	-16,1386
0601	1,594	1,8595	-16,6562

Tabulka 7-10 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr Rz starý

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro opotřebený hrot 5	Procentuální rozdíl
16610-21	1,594	1,8255	-14,5232
16610-22	1,594	1,84175	-15,5427
16610-31	1,594	1,82925	-14,7585
4768	1,594	1,83975	-15,4172
0601	1,594	1,847	-15,872

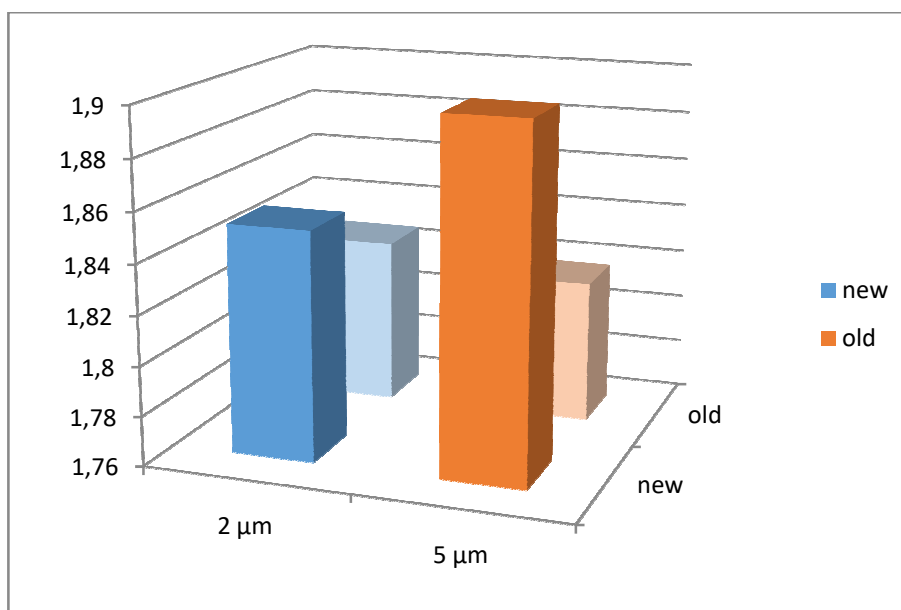
Tabulka 7-11 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr Rz starý



Graf 7-5 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem

U vyhodnocení parametru Rz, při měření opotřebenými hroty, již dochází k přenesení maximálních naměřených hodnot na hrot o velikosti 2 μm . Což doposud neplatilo. Maximum pro parametr Rz se měří za použití filtru 16610-31. U parametru Rz je již nutné také počítat s větším rozdílem v naměřených datech při porovnání nových a opotřebených hrotů. Jak je možno vidět na grafu č. 7-4 a 7-5. A je tedy nutné s ním také počítat.

I pro parametr Rz byl hledán ideální hrot pro měření v oblasti testované drsnosti povrchu. Jak je vidět na grafu č. 7-6. V okamžiku kdy se porovnávaly mezi sebou průměrné naměřené hodnoty, bez ohledu na použitý softwarový filtr, bylo pro parametr Rz nalezeno optimum u stylus velikosti 5 μm .



Graf 7-6 Porovnání hrotů pro parametr drsnosti Rz [51]

7.1.1.3 Výsledky pro parametr RA 0,5 – parametr Rsm

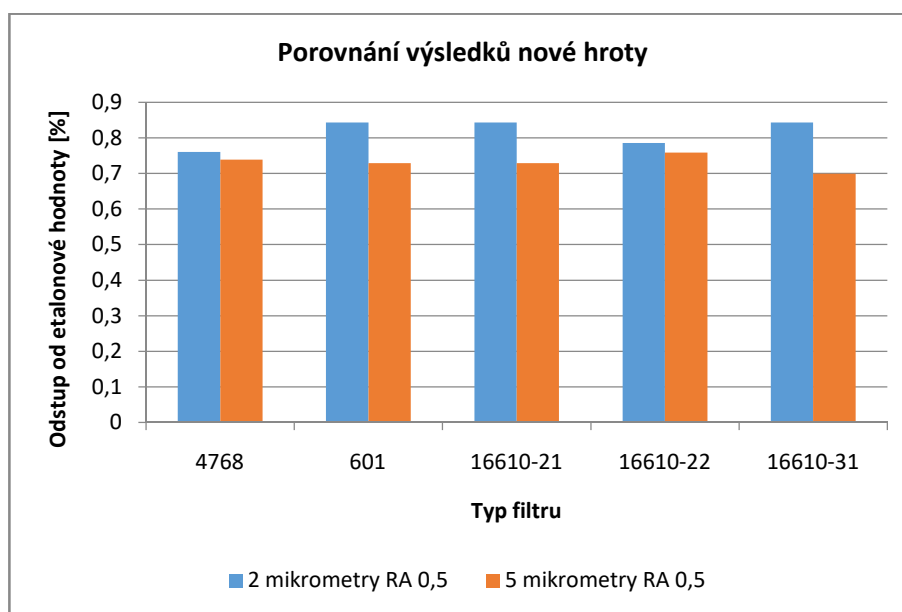
Dalším vyhodnocovaným parametrem v testech byl parametr Rsm. I zde v tabulce č. 7-12 a 7-13 jsou uvedené souhrnné informace pro tento parametr drsnosti.

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro nový hrot 2	Procentuelní rozdíl
16610-21	0,0504	0,050017	0,760582
16610-22	0,0504	0,049975	0,843254
16610-31	0,0504	0,049975	0,843254
4768	0,0504	0,050004	0,785384
0601	0,0504	0,049975	0,843254

Tabulka 7-12 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr Rsm

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro nový hrot 5	Procentuelní rozdíl
16610-21	0,0504	0,050028	0,739087
16610-22	0,0504	0,050033	0,729167
16610-31	0,0504	0,050033	0,729167
4768	0,0504	0,050018	0,758929
0601	0,0504	0,050048	0,699405

Tabulka 7-13 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr Rsm



Graf 7-7 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem

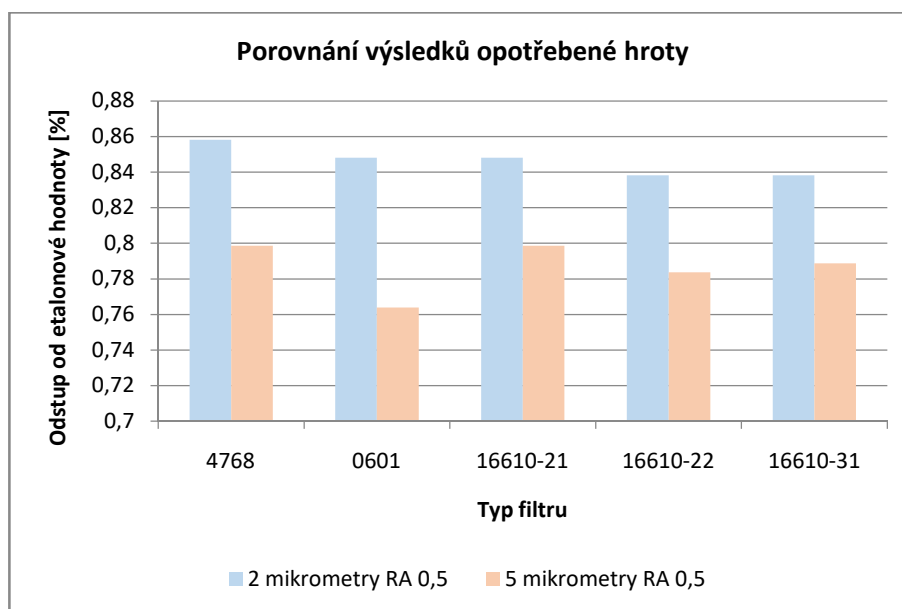
Při vyhodnocování parametru Rsm je důležité si povšimnout v grafu č. 7-7, že u tohoto parametru drsnosti jsou obdržena, jako u prvního parametru, veškerá naměřená data menší než etalonová hodnota. Sice tato odchylka je do 1% ale i tak je nutné toto zaznamenat a brát v potaz. Jinak jsou dosažené výsledky při použití 2µm a 5µm hrotu téměř identické. Ale maximální naměřená hodnota je získána za použití 5 µm hrotu a filtru 16610-31.

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro opotřebený hrot 2	Procentuelní rozdíl
16610-21	0,0504	0,049968	0,858135
16610-22	0,0504	0,049973	0,848214
16610-31	0,0504	0,049973	0,848214
4768	0,0504	0,049978	0,838294
0601	0,0504	0,049978	0,838294

Tabulka 7-14 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr Rsm starý

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro opotřebený hrot 5	Procentuelní rozdíl
16610-21	0,0504	0,049998	0,798611
16610-22	0,0504	0,050015	0,763889
16610-31	0,0504	0,049998	0,798611
4768	0,0504	0,050005	0,78373
0601	0,0504	0,050003	0,78869

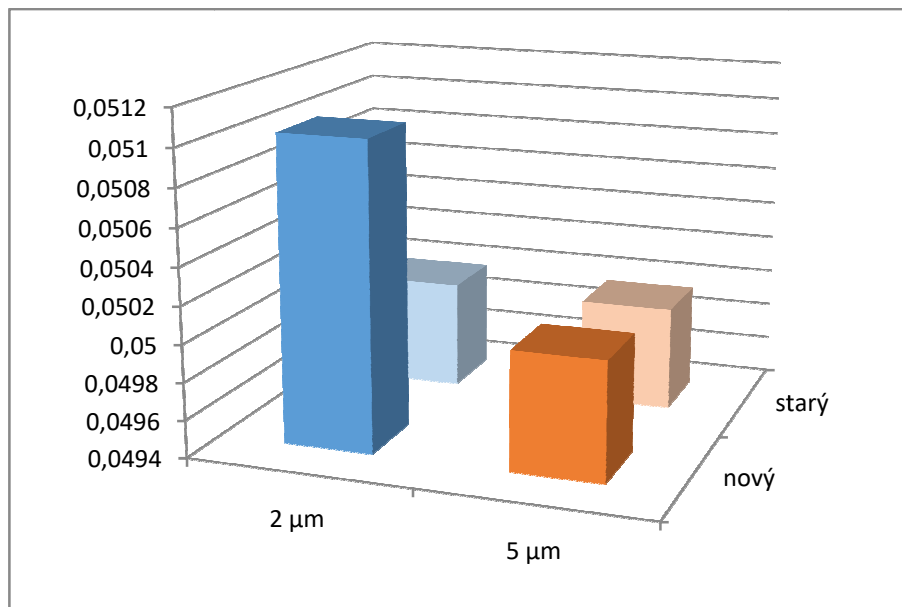
Tabulka 7-15 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr Rsm starý



Graf 7-8 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem

V případě použití opotřebených stylusů pro měření se opět jeví jako vhodnější použití 5 µm hrotu ve spojení s filtrem 0601.

V případě hodnocení použitých stylusů bez ohledu na filtr vychází jednoznačně vhodnější použití 2 µm hrotu. Jak je možno vidět na grafu č. 7-9.



Graf 7-9 Porovnání hrotů pro parametr drsnosti Rsm [51]

7.1.1.4 Výsledky pro parametr RA 0,5 – parametr Rv

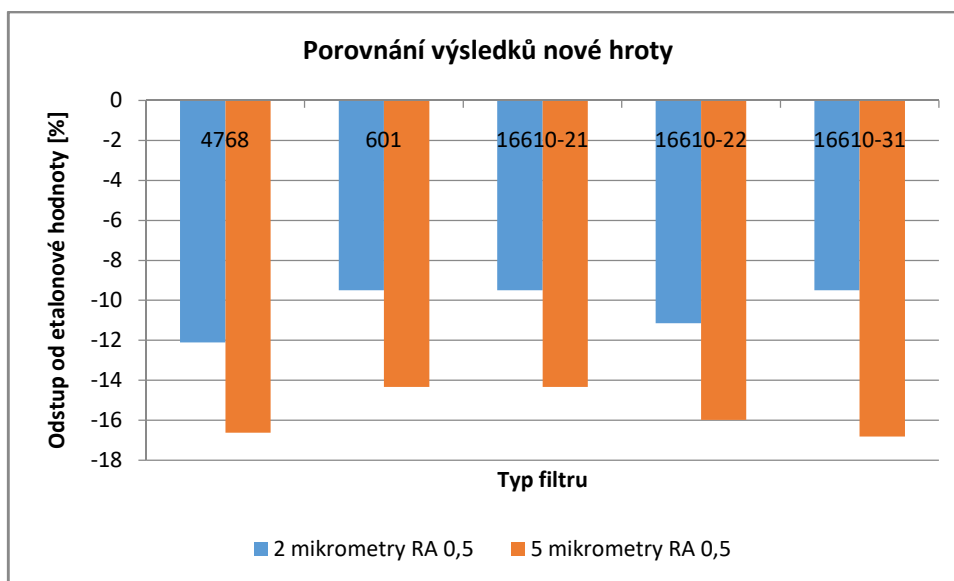
Posledním hodnoceným parametrem v rámci testů je parametr Rv. V tabulkách č. 7-16 a 7-17 jsou sumarizované výsledky pro nové hroty a parametr Rv.

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro nový hrot 2	Procentuelní rozdíl
16610-21	0,8075	0,905208	-12,1001
16610-22	0,8075	0,884167	-9,49432
16610-31	0,8075	0,884167	-9,49432
4768	0,8075	0,8975	-11,1455
0601	0,8075	0,884167	-9,49432

Tabulka 7-16 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr Rv

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro nový hrot 5	Procentuelní rozdíl
16610-21	0,8075	0,94175	-16,6254
16610-22	0,8075	0,92325	-14,3344
16610-31	0,8075	0,92325	-14,3344
4768	0,8075	0,9365	-15,9752
0601	0,8075	0,94325	-16,8111

Tabulka 7-17 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr Rv



Graf 7-10 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem

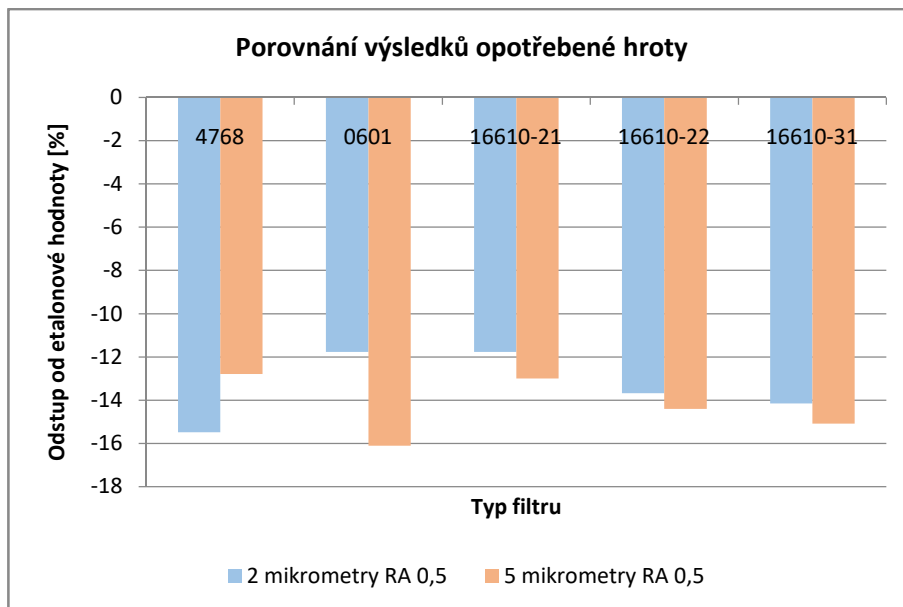
Při vyhodnocování parametru Rv opět dosaženo toho, že naměřená data jsou větší, než hodnoty uvedené v kalibračním listu testovaného etalonu viz graf č. 7-10. V případě 2 μm hrotu se rozdíl pohybuje okolo 10%, v případě 5 μm hrotu se obdržená hodnota rozchází až o 15%.

	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro opotřebený hrot 2	Procentuální rozdíl
16610-21	0,8075	0,9325	-15,4799
16610-22	0,8075	0,9025	-11,7647
16610-31	0,8075	0,9025	-11,7647
4768	0,8075	0,918	-13,6842
0601	0,8075	0,92175	-14,1486

Tabulka 7-18 Hodnoty naměřené hrotem 2 pro parametr Rv starý

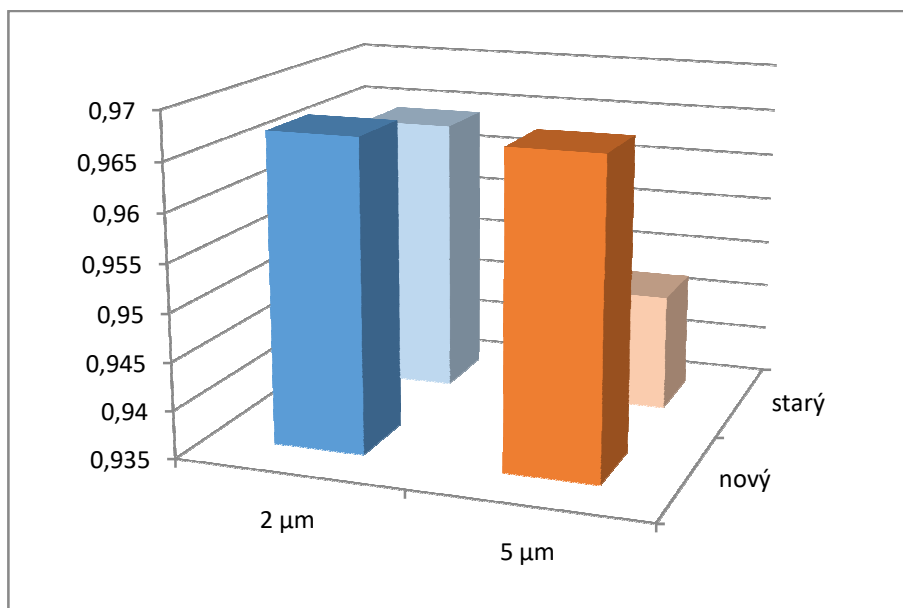
	Hodnota uvedená v kalibračním listu	Ø naměřená hodnota pro opotřebený hrot 5	Procentuální rozdíl
16610-21	0,8075	0,91075	-12,7864
16610-22	0,8075	0,9375	-16,0991
16610-31	0,8075	0,9125	-13,0031
4768	0,8075	0,92375	-14,3963
0601	0,8075	0,92925	-15,0774

Tabulka 7-19 Hodnoty naměřené hrotem 5 pro parametr Rv starý



Graf 7-11 Grafické porovnání výsledků naměřených dat 2 a 5 hrotem a rozdílným filtrem

Stejně jako v případě měření novými hroty jsou i u měření za použití opotřebených hrotů naměřené data větší než etalonová hodnota. V případě opotřebených hrotů se však rozdíly mezi 2 a 5 μm hrotem zmenšují. A i zde se maximální hodnota naměří za použití 5 μm hrotu a filtru 0601.



Graf 7-12 Porovnání hrotů pro parametr drsnosti Rv [51]

Při provedení hodnocení použitých stylusů bez ohledu na filtr vychází již naměřené hodnoty u 2 a 5 μm hrotu identické u nových stylusů. Jak je možno vidět na grafu č. 7-12.

7.1.2 Výsledky pro etalon RA 1; RA 3,2; RA 6,3

Stejný postup ve vyhodnocení byl proveden i pro zbylé hodnoty etalonů drsnosti. Zde už jsou data vyhodnocena pouze v grafické podobě.

Grafy č. 7-13 až 7-20 porovnávají za pomoci grafické interpretace procentuální odstupy, od etalonové hodnoty u vybraných parametrů drsnosti, dosažených výsledků. Napříč přes všechny testované hodnoty drsnosti povrchu a testované filtry drsnosti.

V grafech jsou výsledky barevně rozlišeny:

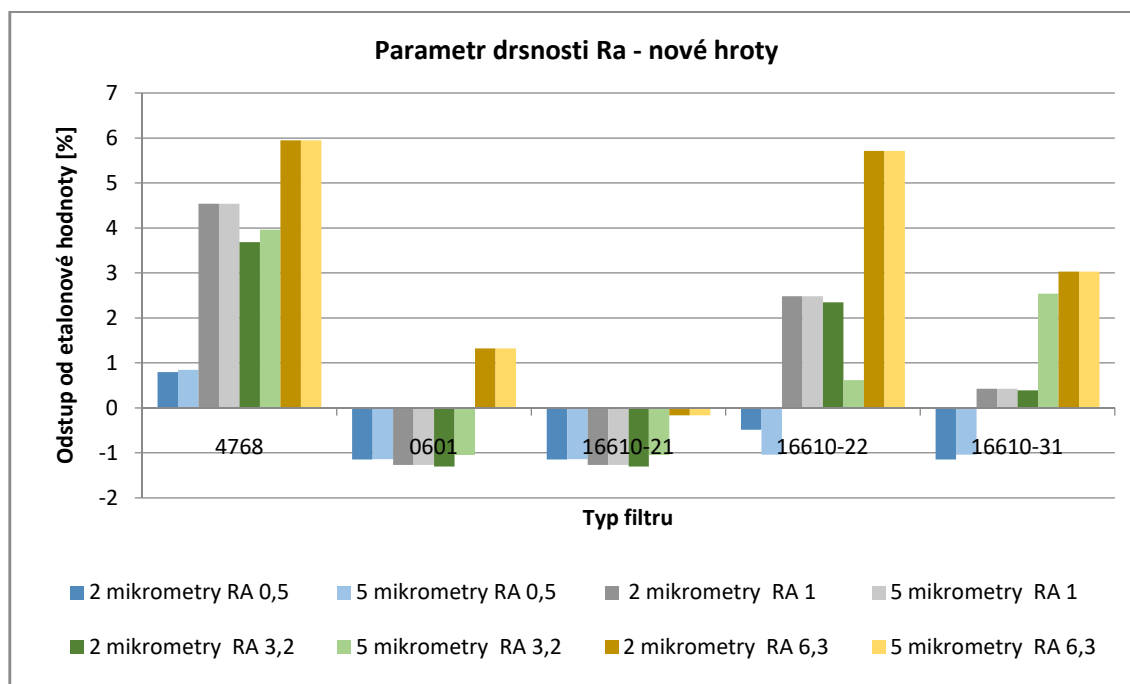
- Modře jsou naměřená data na etalonu RA 0,5
- Šedivé jsou naměřená data na etalonu RA 1
- Zelené jsou naměřená data na etalonu RA 3,2
- Žluté jsou naměřená data na etalonu RA 6,3

Barevně odlišené jsou nejen testované etalonové hodnoty ale i data neměřená odlišnými velikostmi stylusů, 2 μm (tmavší barvy) a 5 μm (světlejší barvy) hrotem.

7.1.2.1 Souhrnné výsledky pro parametr Ra

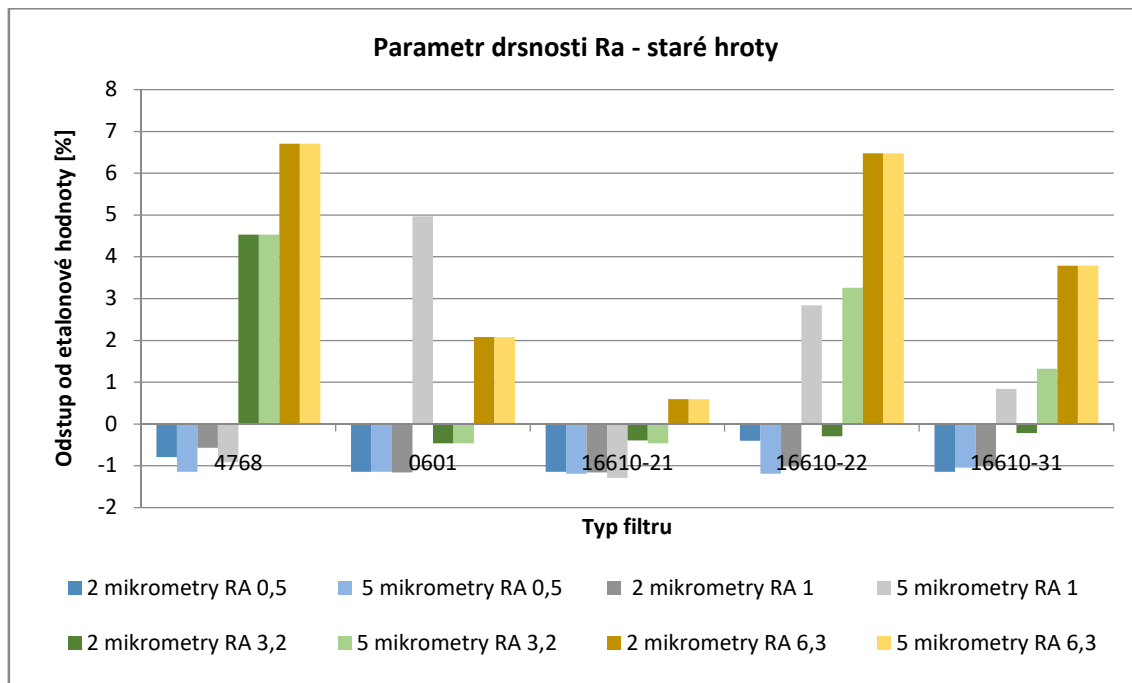
Při pohledu na graf č. 7-13 s výsledky pro parametr Ra je patrné, že s rostoucí velikostí testované drsnosti povrchu dochází k naměření menších a menších hodnot drsnosti bez ohledu na použitý filtr. V dosažených výsledcích se jen mění hodnota rozptylu poklesu s použitým filtrem.

V případě vyhodnocování náměrů pouze v rámci jednoho testovaného softwarového filtru, je možno pozorovat tento trend také. A to že dochází se změnou hodnoty testované drsnosti (nárůst velikosti drsnosti testovaného kusu) k poklesu naměřených hodnot. Zároveň jsou naměřené hodnoty u většiny měření menší než etalonová hodnota parametru Ra pro danou drsnost povrchu. Jediný filtr, který dosahuje stále hodnot větších než etalon je filtr 16610-21 a zároveň i tento filtr dává pro parametr drsnosti Ra nejkonstantnější výsledky bez ohledu na hodnocenou velikost drsnosti povrchu.



Graf 7-13 Souhrnné výsledky pro parametr Ra – nové hroty

V případě náměrů provedených za použití opotřebovaných hrotů, platí závěry získané při měření novým hrotem. Což znamená, že s rostoucí testovanou drsností povrchu klesá naměřená hodnota. Avšak při pohledu na výsledky v jednotlivých filtrech již častěji dostávají k hodnotě větších než etalonová hodnota.

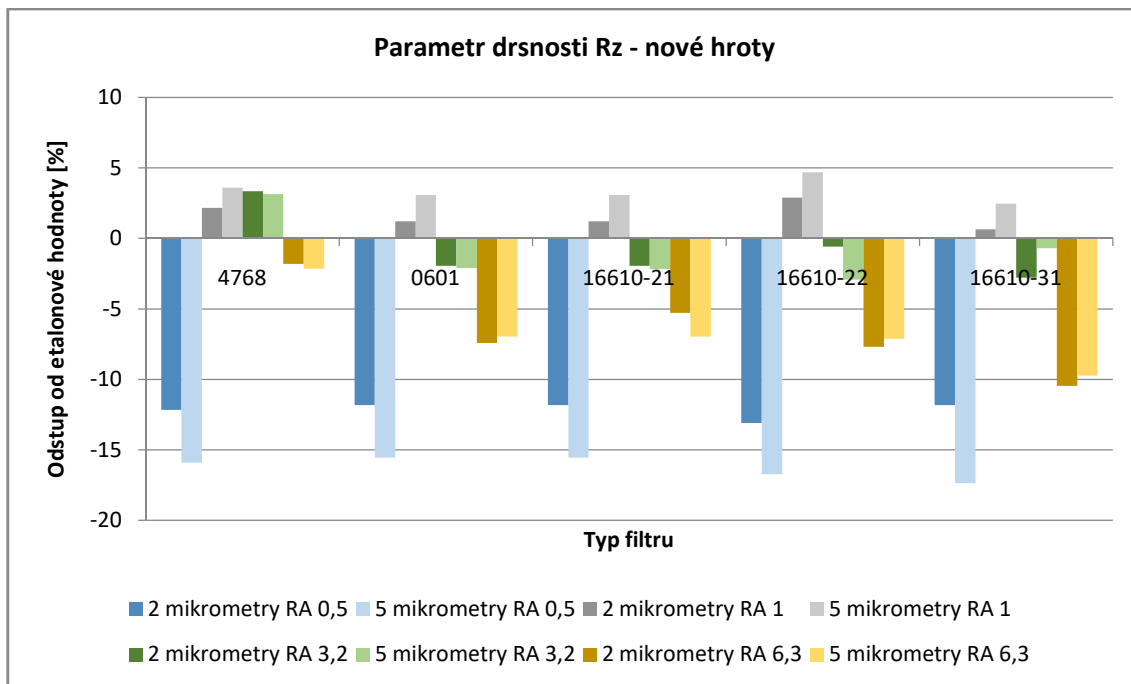


Graf 7-14 Souhrnné výsledky pro parametr Ra – opotřebované hroty

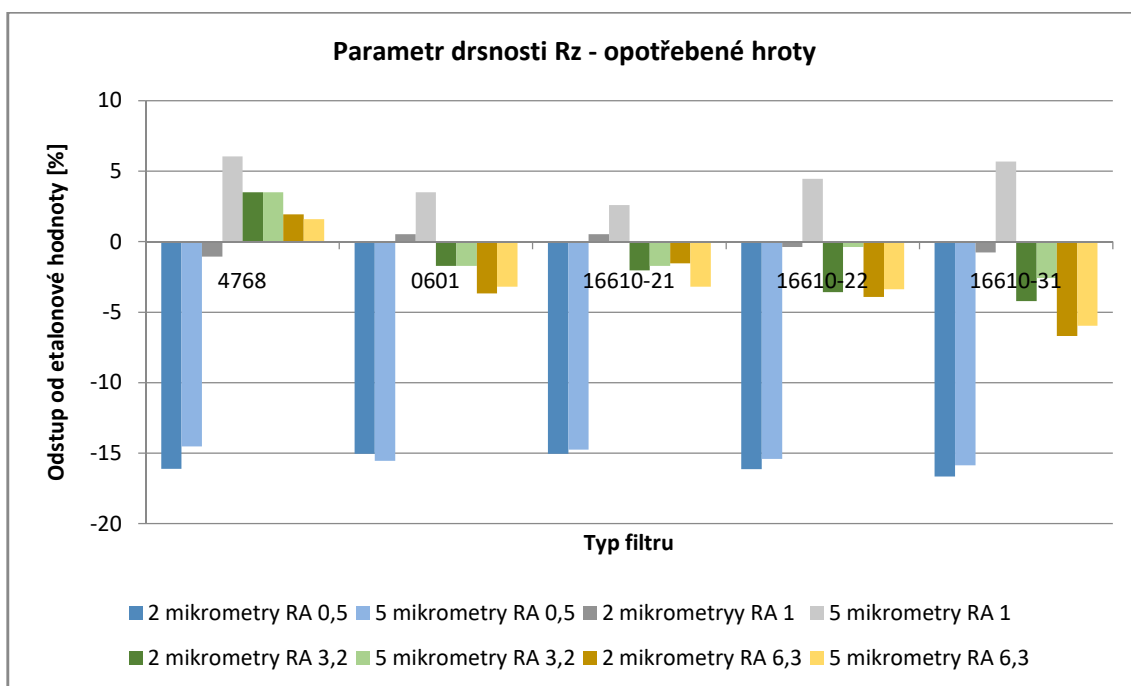
Jak už bylo popsáno v případě vyhodnocení samotného etalonu RA 0,5; tak pro měření opotřebovanými hroty dochází k dosažení bližší hodnoty k etalonové hodnotě. To je patrné na grafu č. 7-14.

7.1.2.2 Souhrnné výsledky pro parametr Rz

U parametru Rz již trend „s rostoucí drsností povrchu, klesá naměřená hodnota“ není pozorován. V případě parametru drsnosti Rz, pokud nejsou naměřená data v procentuálních vyjádřeních rostoucí, jsou minimálně konstantní a se změnou testované drsnosti dochází ke změně odstupe jen minimálně.



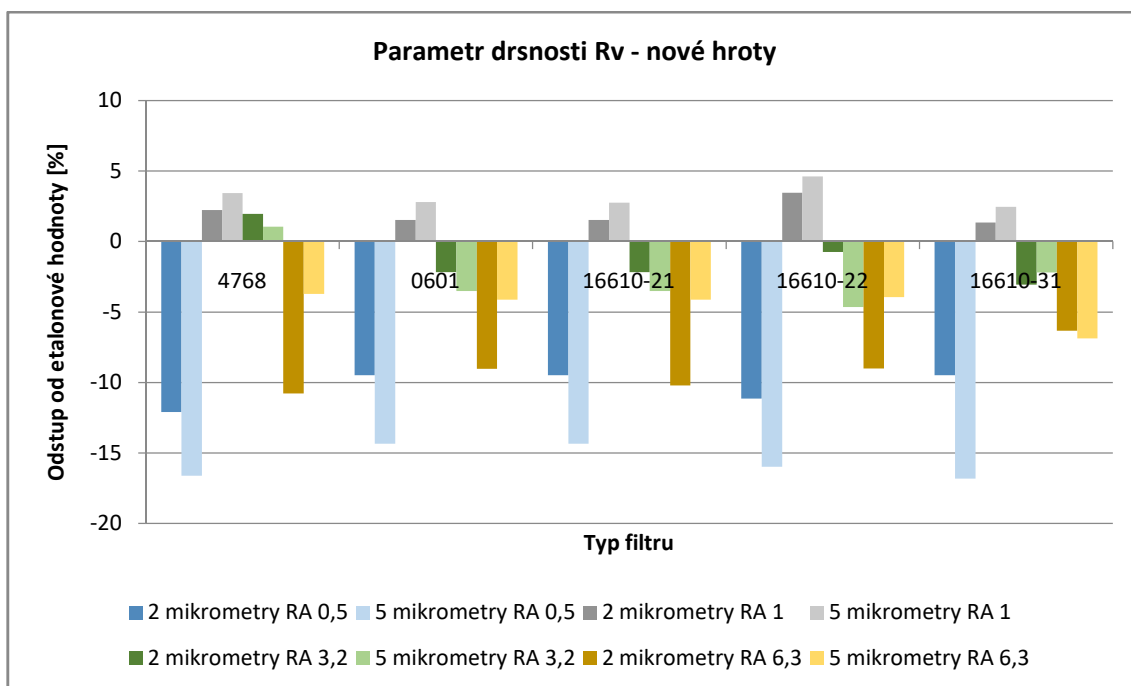
Graf 7-15 Souhrnné výsledky pro parametr Rz – nové hroty



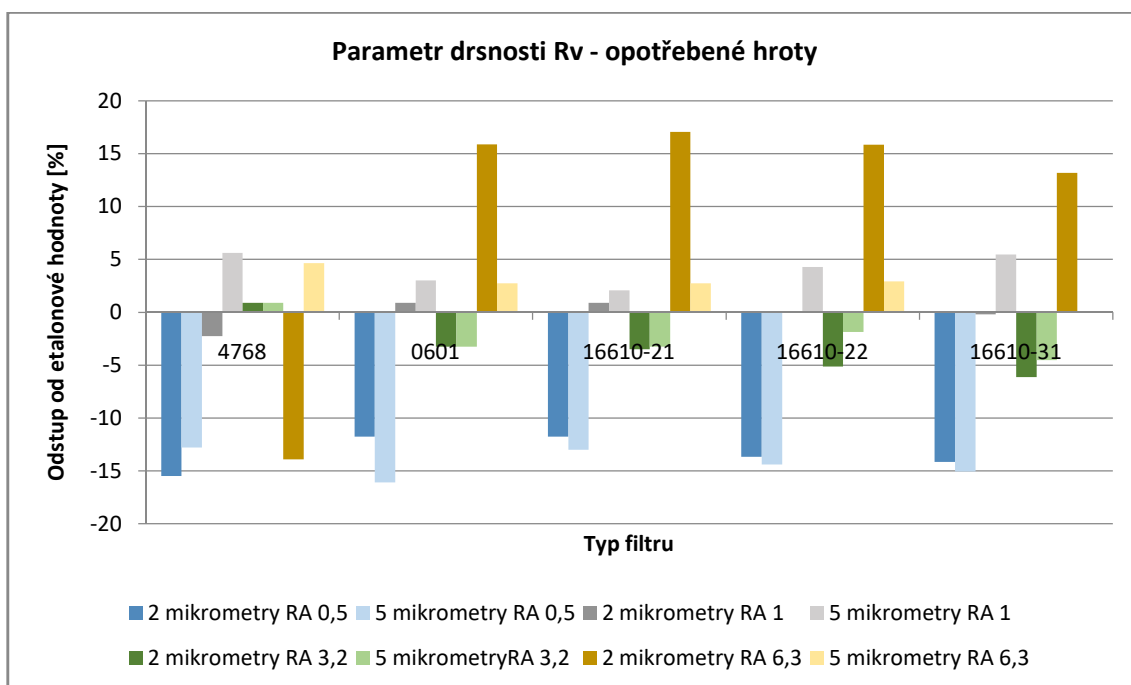
Graf 7-16 Souhrnné výsledky pro parametr Rz – opotřebené hroty

Na grafu č. 7-15 a 7-16 je možno pozorovat, že se změnou opotřebení hrotu se mění pouze naměřená hodnota drsnosti.

7.1.2.3 Souhrnné výsledky pro parametr Rv

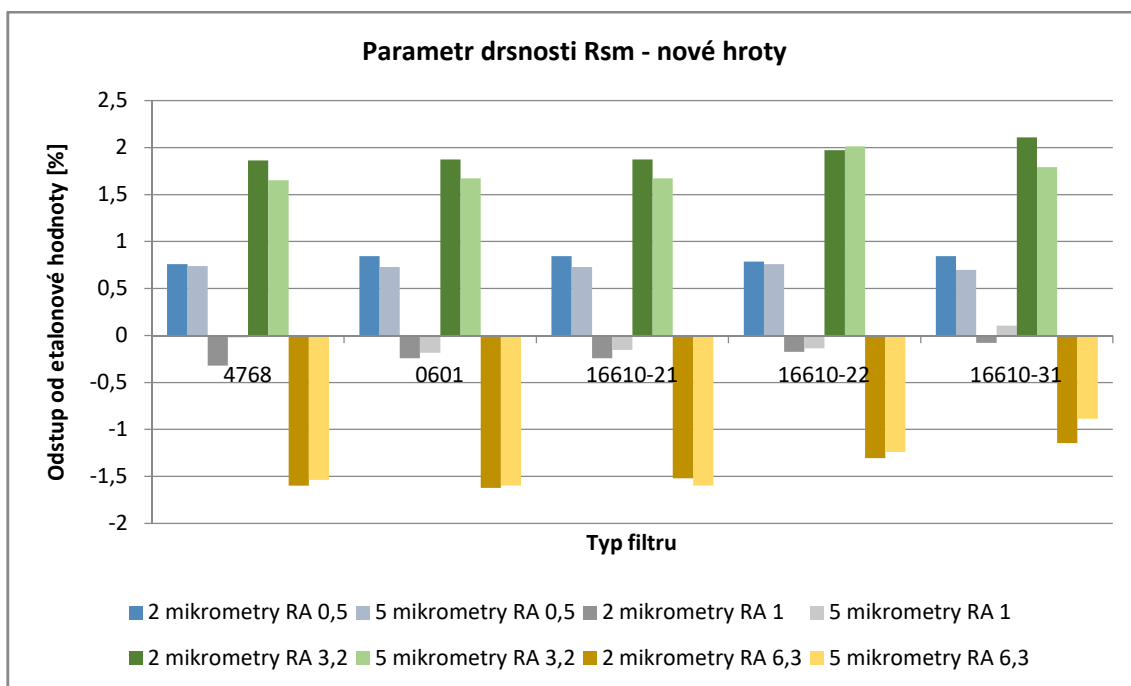


Graf 7-17 Souhrnné výsledky pro parametr Rv – nové hroty

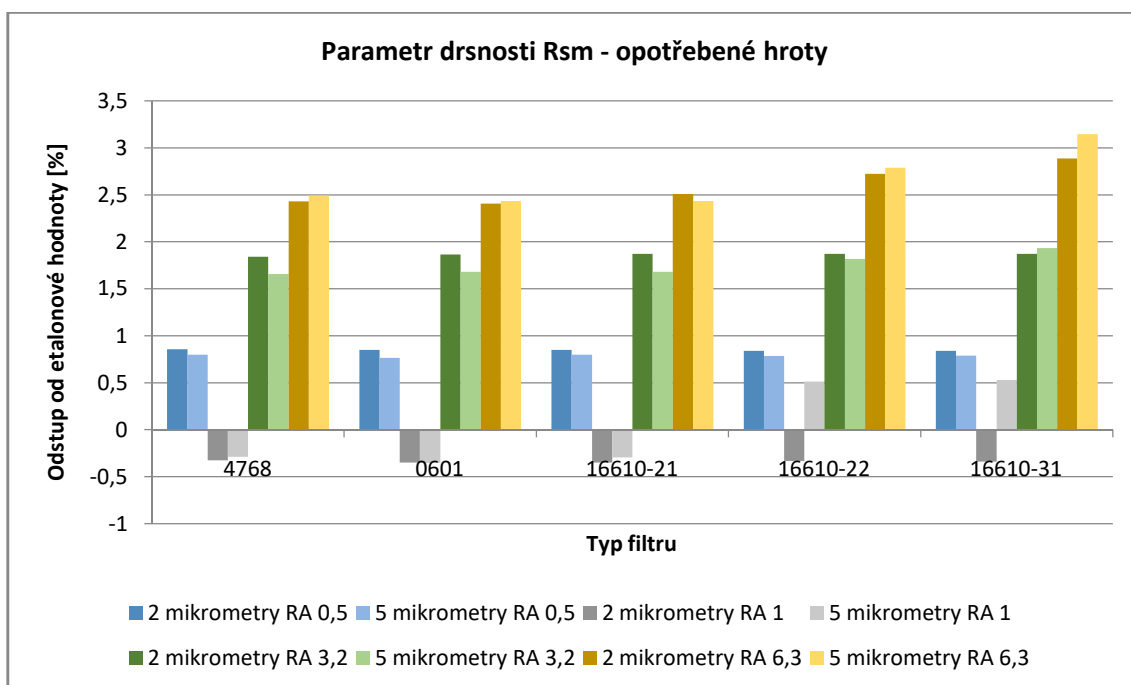


Graf 7-18 Souhrnné výsledky pro parametr Rv – opotřebené hroty

7.1.2.4 Souhrnné výsledky pro parametr Rsm



Graf 7-19 Souhrnné výsledky pro parametr Rsm – nové hroty



Graf 7-20 Souhrnné výsledky pro parametr Rsm – opotřebené hroty

7.1.3 Volba optimálního hrotu

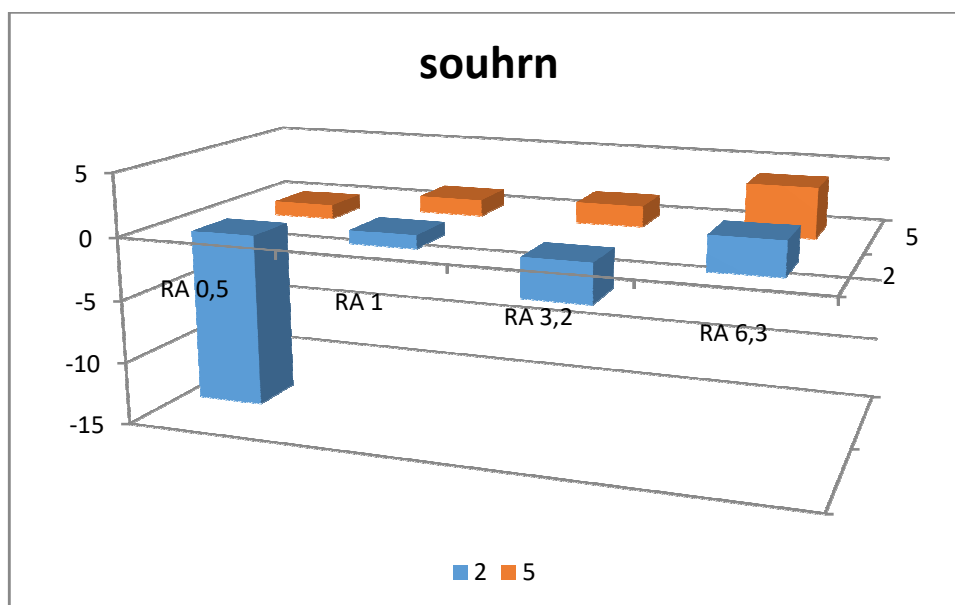
Na základě první série výsledků pro etalon RA 0,5, kde bylo zjištěno, že výsledky pro nové hroty převyšují hroty opotřebené a to v některých případech o desítky %. Pro další série testů byly brány v potaz pouze hroty nové.

Vlastní vyhodnocení proběhlo na rozdíl od hodnocení etalonu RA 0,5 opět v procentuálním vyjádření. Přepočet na procenta byl proveden z důvodu možnosti porovnání naměřených hodnot napříč testovanými etalony drsnosti.

Prvním filtrem je 4768. Ten je, jak už bylo v teoretické části popsáno, filtrem základním a byl v dřívějších dobách zastoupen mechanickou filtrací reprezentovanou uspořádáním odporů a cívek. Dnes již je také realizován matematickou syntaxí při výpočtu. Jedná se rovněž o základ pro vývoj všech zbylých testovaných filtrů drsnosti povrchu.

V případě filtru 4768 vychází vhodněji použití hrotu o velikosti 5 μm . Nejmarkantnější je tento rozdíl u etalonu RA 6,3. U zbylých softwarových filtrů se až na výjimky jeví jako optimální hrot 2 μm .

V okamžiku kdy je nutné pro test navolit jeden používaný hrot je zapotřebí bez ohledu na používaný filtr zvolit ten optimální. Toho byli dosaženi na základě porovnání naměřených dat zprůměrovaných bez ohledu na použitý filtr a hodnocený parametr drsnosti. Výsledek tohoto porovnání je možno nalézt v grafu č. 7-21, ze kterého je patrné, že jako optimální hrot pro další testy je stylus o velikosti 2 μm .



Graf 7-21 Souhrn výsledku pro porovnání hrotů

7.1.4 Shrnutí testu I

Prvním provedeným testem byl test volby hrotu. Vliv velikosti hrotu bylo nutné otestovat z důvodu toho, že hrot funguje jako jeden z hardwarových filtrů při měření drsnosti. A vlivem nevhodně zvoleného stylusu dochází ke zkreslení hloubky prohlubní či zaoblení hran u výstupků a tím by mohlo docházet k nežádoucí korekci výsledku měření.

Vlastní vyhodnocení testu proběhlo v několika krocích. V prvním kroku vyhodnocení byly naměřená data napříč přes celý etalon zprůměrované pro vybrané parametry drsnosti (parametr R_a , R_z , R_{sm} , R_v ...). Následně byla pro tyto parametry spočtena procentuální odchylka od hodnoty uvedené v kalibračním listu příslušného etalonu. Toto vyhodnocení bylo provedeno pro všechny 4 stylusy a testované hodnoty drsnosti.

Ve druhém kroku vyhodnocení bylo provedeno porovnání dosažených hodnot drsnosti pro všechny 4 stylusy, na základě kterého pak vzešlo doporučení pro vhodný hrot pro další fáze testování vlivu filtrů.

Testy se hodnotily na základě „VDA“. Pravidlo „VDA“ uvažuje, že pokud maximální naměřená hodnota vyhovuje požadované maximální hodnotě na výkrese, je celý povrch v pořádku. V případě tohoto testu se porovnávalo s hodnotou uvedenou na etalonu. Vyhodnocení bylo provedeno, na základě přepočtu o kolik se výsledky rozcházejí s informacemi z etalonu. Vždy byla hledána maximální hodnota, aby bylo možno zajistit, že skutečně v procesu měření naměříme za použití metodiky maximální hodnoty.

V prvním kroku testu bylo zkoumáno chování softwarových filtrů na základě změny velikosti drsnosti povrchu. Poznatek z první části testu je takový, že pokud se hodnotí drsnost na základě parametru R_a či R_{sm} , dochází se změnou drsnosti ke zmenšování naměřené hodnoty testovaného parametru. Na rozdíl od hodnocení povrchu za pomoci parametru R_v a R_z , kde se hodnoty drží na konstantní hodnotě odstupem od etalonové hodnoty, popřípadě spíše naměřená hodnota roste.

Ve druhé části testu byl řešen problém s volbou hrotu pro další průběh testů. V rámci tohoto testu byl zjišťován i vliv použití opotřebeného hrotu. Za opotřebený hrot byl brán takový stylus u kterého při kontrolním měření na elektronovém mikroskopu bylo zjištěno, že naměřená hodnota na špičce je větší než povolená hodnota. A však již při první sérii měření na etalonu $R_A 0,5$ bylo ověřeno, že ani v případě kombinace s vhodným softwarovým filtrem není možno dosáhnout takové výsledky jako s novými hroty. Proto do druhé části testu tedy do testování na zbylých etalonech již bylo měření provedeno pouze novými hroty. Po sumarizaci a závěrečném vyhodnocení této části testu bylo rozhodnuto, že pro další testy bude použit pouze hrot o velikosti $2 \mu\text{m}$.

7.2 Volba počtu bodů

Druhý ze série testů, provedených pro vytvoření metodiky volby softwarových filtrů, byl test vlivu počtu bodů na naměřené hodnoty.

V rámci testu byla ověřována problematika nastavení stroje, s ohledem na množství bodů na nasnímání primárního profilu při měření drsnosti povrchu. Množství bodů bylo reprezentováno a měněno za pomoci odlišných vzdáleností mezi body. Navolené vzdálenosti byly:

- $0,1 \mu\text{m}$ což je minimální vzdálenost mezi body, která je možná nastavit na zařízení Hommel Etamic T 8000
- $0,2 \mu\text{m}$
- $0,3 \mu\text{m}$
- $0,5 \mu\text{m}$ je doporučená maximální vzdálenost v normě ISO 4288
- $0,7 \mu\text{m}$

- 1 μ m
- 2 μ m

Test byl rozdělen do několika kroků. V prvním kroku byla provedena zkušební série měření. To obnášelo naměření dat posuvovou rychlostí 0,1 mm/s a každou dopředu stanovenou vzdáleností mezi body. Na každém etalonu bylo provedeno 16 náměrů, v prostřední části etalonu (viz obrázek č. 7-13). Pro všechny náměry byly následně vyhodnoceny vybrané parametry drsnosti (Ra, Rz, Rv, Rsm,...).

	A	B	C
1	IIII	IIII	IIII
2	IIII	IIII	IIII
3	IIII	IIII	IIII
4	IIII	IIII	IIII

Obrázek 7-13 Rozložení náměrů při tetu[52]

S přihlédnutím k tomu, že provést takto veškeré měření a to i se změnou softwarového filtru by bylo časově velmi náročné, a hlavně byla by zde možnost vnesení hrubé chyby do měření, byla hledána rychlejší a jednodušší možnost získání dat pro vyhodnocení. Jako vhodná varianta se jevilo generování dat za pomoci programu MS Excel.

Generování dat v programu MS Excel probíhalo za pomoci makra na ředění dat. Makro bylo nastaveno tak, že dle zadané hodnoty promazávalo řádky. A následně takto upravená data primárních profilů exportovalo do textového souboru. Z toho následně bylo provedeno vyhodnocení drsnosti povrchu. Před tím než bylo makro pro generování dat plně vypuštěno na vygenerování veškerých dat, bylo nutné ověřit jeho způsobilost a správnost generování.

Ověření bylo provedeno pro standard drsnosti RA 1 a RA 6,3. Test byl proveden porovnáním průměrné naměřené hodnoty zkoušených parametrů drsnosti na třech úrovních vzdáleností bodů. Počáteční měření bylo se vzdáleností mezi body 0,1 μ m (hodnota získaná měřením I), pro druhé měření byla použita vzdálenost bodů 0,5 μ m (hodnota získaná měřením II) pro třetí měření byla použita vzdálenost bodů 2 μ m, všechna měření byla připravena konstantní rychlostí měření 0,1 mm/s, měřenou drahou 4,8 mm a použitým filtrem 16610-21. Výsledky viz tabulka č. 7-20 a 7-21.

Rozdíl mezi naměřenými a generovanými daty činil maximálně 2,7% u parametrů drsnosti Rv, což je v tomto testu zanedbatelné.

Měřený parametr	Hodnota získaná měřením I	Hodnota získaná měřením II	Hodnota získaná měřením III	Hodnota získaná generováním I	Hodnota získaná generováním II	Hodnota získaná generováním III
Ra	1	1	1	1	1	1
Rz	3,64875	3,596875	3,5757	3,601316	3,517744	3,62576
Rv	1,8131	1,789375	1,7641	1,773212	1,776849	1,716469
Rsm	3,8236	3,7420	3,752	3,773893	3,659676	3,691968

Tabulka 7-20 Tabulka sumarizace hodnot naměřených a generovaných - etalon RA 1

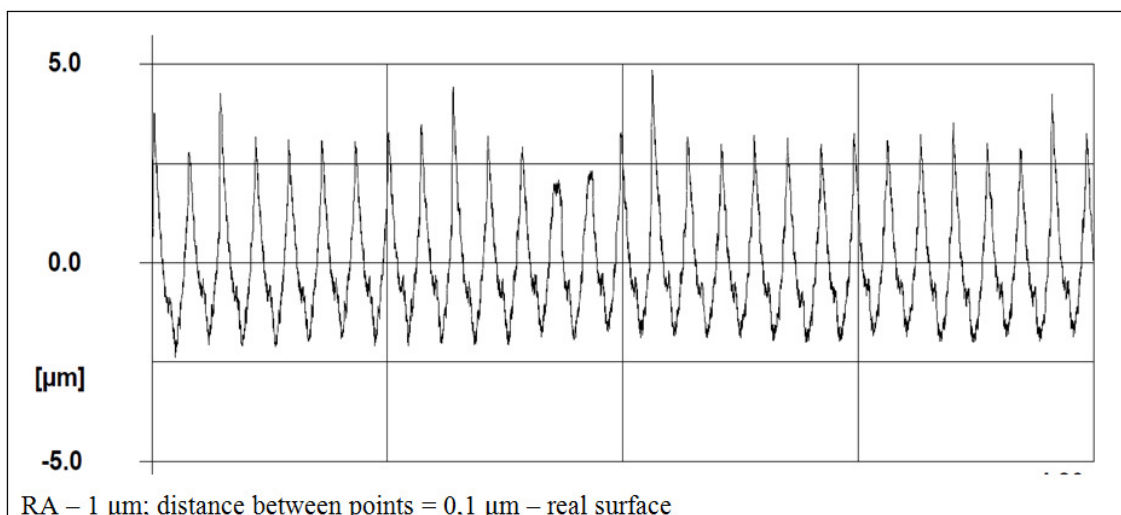
Měřený parametr	Hodnota získaná měřením I	Hodnota získaná měřením II	Hodnota získaná měřením III	Hodnota získaná generováním I	Hodnota získaná generováním II	Hodnota získaná generováním III
Ra	6,233	6,235	6,238	6,220534	6,22253	6,200572
Rz	23,775	23,763	23,6518	23,63235	23,16893	23,32067
Rv	11,654	11,634	11,557	11,49084	11,47112	11,53389
Rsm	0,365	0,365	0,365	0,355875	0,36281	0,355875

Tabulka 7-21 Tabulka sumarizace hodnot naměřených a generovaných - etalon RA 6,3

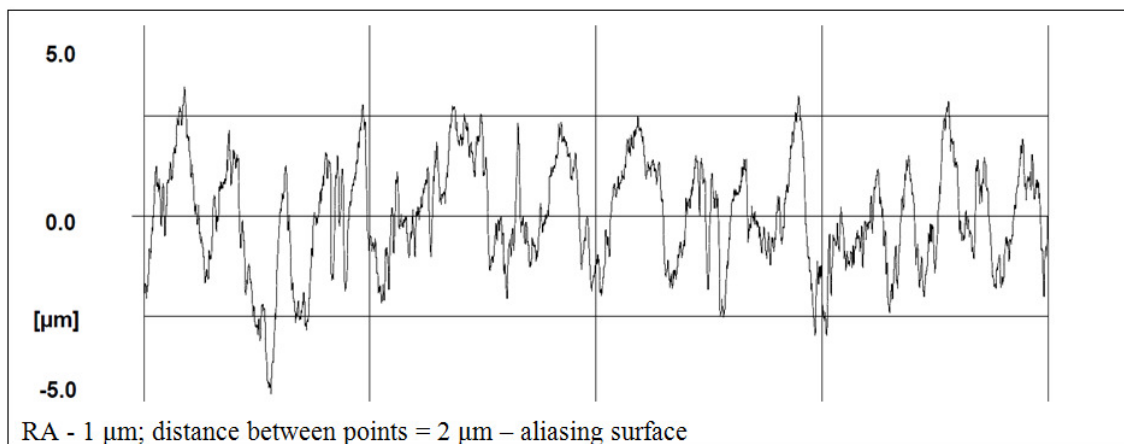
Následně po ověření, že generování dat pomocí maker a funkcí v aplikaci MS Excel funguje, byla data generována pro všechny čtyři standardy ve výše uvedeném ředění. Ředění dat bylo vždy provedeno na naměřených datech s rychlostí 0,1 mm/s, měřenou drahou 4,8 mm a vzdáleností mezi body 0,1 μm , s příslušným filtrem, který byl testován.

V rámci zpracování naměřených a vyhodnocovaných dat z měření bylo pojmato podezření na tvorbu „alias povrchu“. „Alias povrch“ znamená, že z naměřených bodů je v rámci postprocessingu dat, seskládán povrch neodpovídajícímu vstupnímu povrchu měřené součásti.

Pro ověření tvorby „Alias povrchu“ bylo použito pouze náhledu ze softwaru Hommel Etamic T 8000, který naměřený a vyhodnocovaný profil ukazuje v grafické podobě, viz obrázky č. 7-14 a 7-15.



Obrázek 7-14 2D pohled na strukturu kontrolovaného povrchu – 0,1 μm mezi body [52]



Obrázek 7-15 2D pohled na strukturu povrchu - 2 μm mezi body - Alias povrch [52]

Na základě tohoto poznatku byla z hodnocení vyřazena hodnota vzdálenosti 2 μm . U této hodnoty byla potvrzena tvorba alias povrchu, u nižších hodnot se již tento jev nepotvrdil.

7.2.1 Výsledky pro etalon RA 1

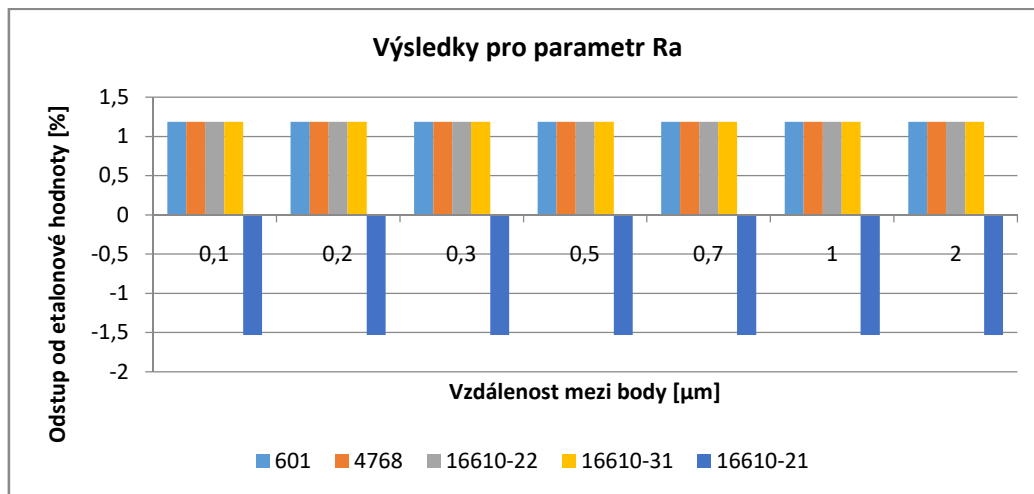
Vlastní vyhodnocení testu bylo provedeno ve 2 krocích. V prvním kroku byla spočtena průměrná naměřená hodnota vybraných parametrů drsnosti. Následně byla tato hodnota převedena na procenta v porovnání vůči etalonové hodnotě. Ve druhém kroku byl spočten rozptyl hodnot vybraných parametrů drsnosti.

7.2.1.1 Výsledky pro etalon RA 1 -parametr Ra

Pro prvotní ověření chování naměřených dat při změně počtu bodů. Bylo použito etalonu RA 1 s kompletní sadou testovaných softwarových filtrů. Stejně jako v případě hodnocení volby hrotu je zde hodnocení rozděleno do 4 skupin a to dle vyhodnocovaného parametru drsnosti.

Prvním hodnoceným parametrem drsnosti byl parametr Ra. Jak je možno vidět na grafu č. 7-22 dosažené výsledky se až na filtr 16610-21 neliší. Pro hodnocení výsledků bylo i zde použito hodnocení pomocí pravidla „VDA“.

Při pohledu na graf č. 7-22 je možno vidět, že při použití pravidla „VDA“ se jako optimální filtr pro etalon RA 1 a parametr drsnosti Ra jeví filtr 16610-21.



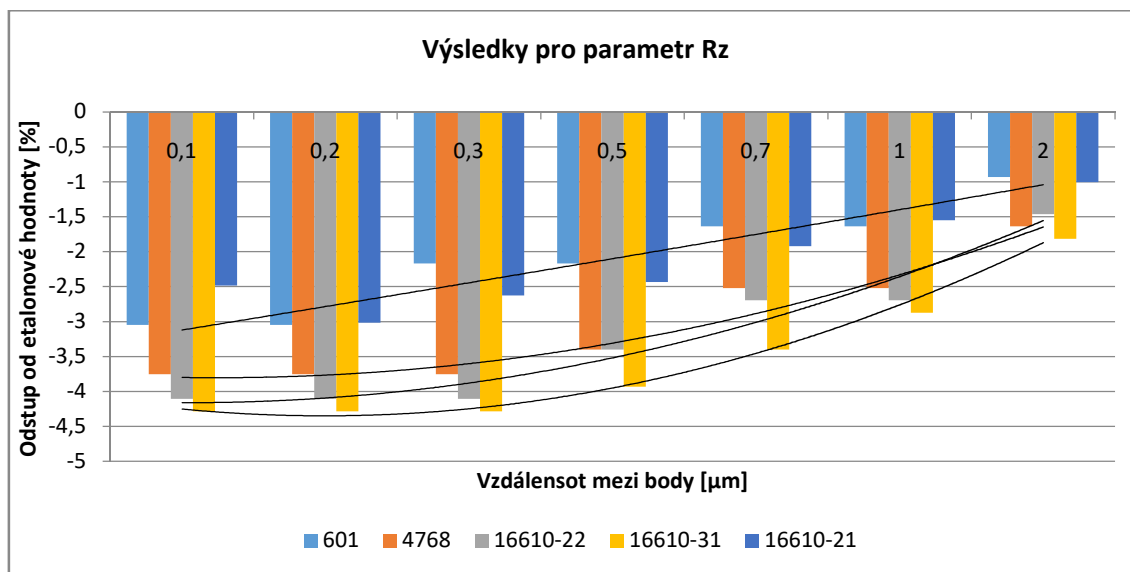
Graf 7-22 Průměrné procentuální odstupy pro parametr Ra na etalonu RA 1

Jak už bylo výše popsáno, tento test měl dvouúrovňové vyhodnocení. S ohledem na naměřené výsledky pro parametr Ra, graf pro rozptyl hodnot nebude uveden a to z důvodu, že je nic neříkající, pouze kopíruje výsledky porovnání průměrných procentuelních odstupů. A tak i pro porovnání rozptylu hodnot vychází pro parametr Ra jako optimální použití filtru 16610-21.

7.2.1.2 Výsledky pro etalon RA 1 -parametr Rz

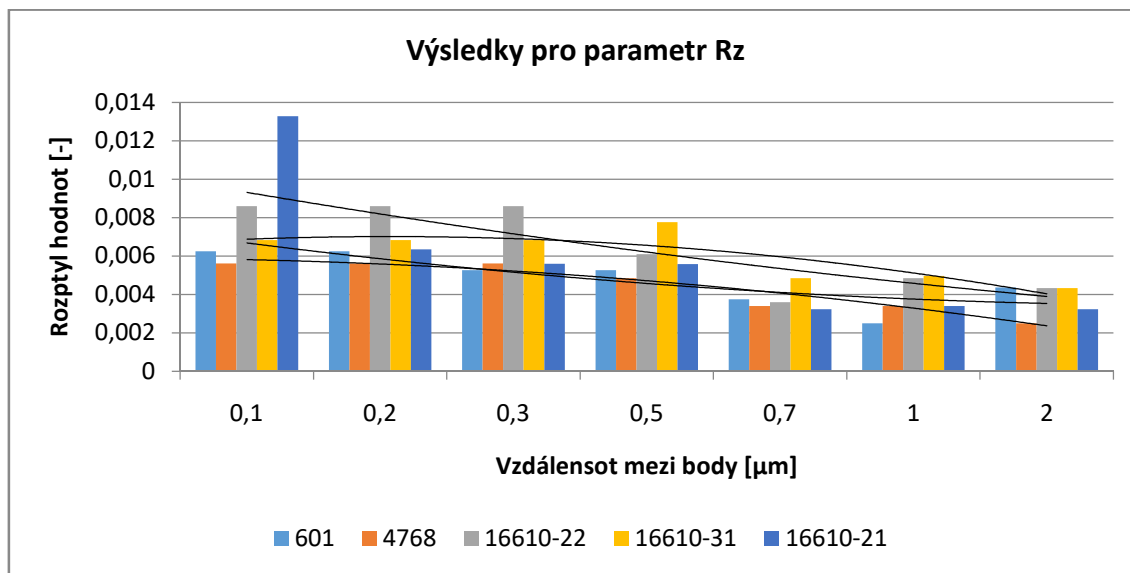
U vyhodnocovaného parametru drsnosti Rz, již je možno vidět očekávaný trend v naměřených datech a to plošně u všech testovaných softwarových filtrů. S rostoucí vzdáleností mezi body se bude snižovat naměřená hodnota.

Při pohledu na graf č. 7-23 je vidět, že trend u všech testovaných filtrů si odpovídá, mění se pouze odstup od etalonové hodnoty. V případě vyhodnocení metodou „VDA“ se jeví jako optimální filtr pro hodnocený parametrem drsnosti filtr 16610-31.



Graf 7-23 Průměrné procentuální odstupy pro parametr Rz na etalonu RA 1

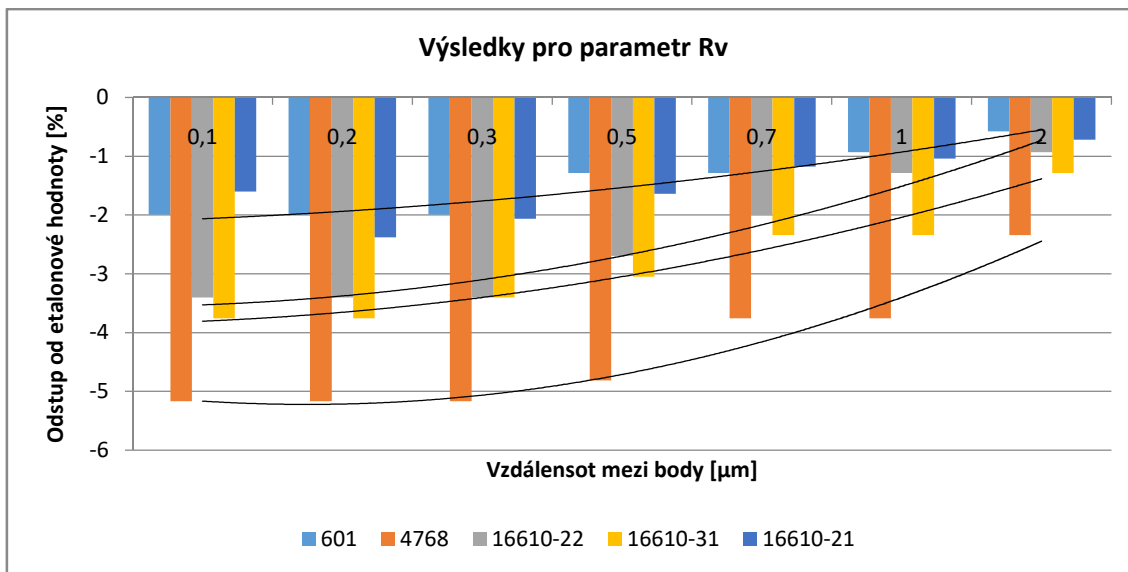
Při porovnání dosažených výsledků v rámci rozptylu hodnot, pro parametr Rz je z grafu č. 7-24 patrné, že s rostoucí hodnotou vzdálenosti klesá rozptyl hodnot. A při porovnání dosažených rozptylů hodnot se jeví jako optimální filtr 16610-21, krom měření v nejkratší možné bodové vzdálenosti tam se jako optimum jeví filtr 4768.



Graf 7-24 Rozptyl hodnot pro parametr Rz na etalonu RA 1

7.2.1.3 Výsledky pro etalon RA 1 - parametr Rv

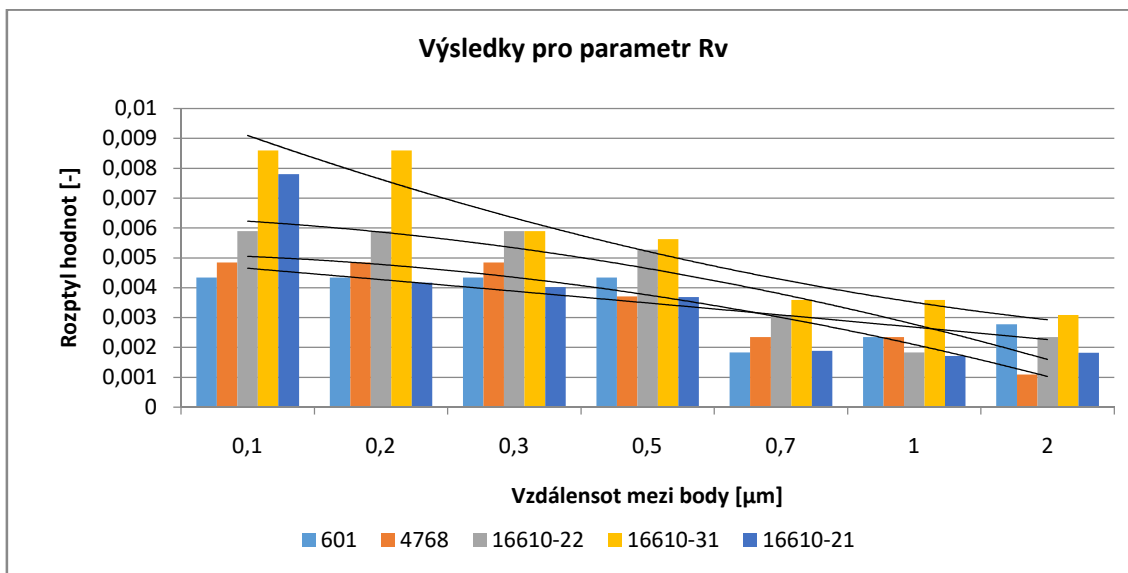
Stejně jako u parametru Rz, tak i parametr Rv, potvrzuje předpokládaný trend - s rostoucí vzdáleností mezi body se bude snižovat naměřená hodnota. Ale na rozdíl od parametru Rz kde hraje prim filtr 16610-31 zde u parametru Rv se jeví jako optimální filtr 4768 při použití metoda „VDA“.



Graf 7-25 Průměrné procentuální odstupy pro parametr Rv na etalonu RA 1

S ohledem na to, že parametr Rz a Rv patří do jedné skupiny parametrů drsnosti, trendy ve výsledcích byly očekávané stejné a nejen ve výsledcích ale i ve vlivech filtrů na tyto parametry. Ale jak je možno vidět už při vyhodnocení průměrných odstupů v procentech, byl nalezen rozdíl.

Při pohledu na graf č. 7-26, je možno vidět, že pro parametr Rv je hodnota rozptylu naměřených hodnot klesající. Avšak oproti rozdílu od parametru Rz, se jeví pro parametr Rv jako optimální použití filtru 0601 při použití pravidla „VDA“.

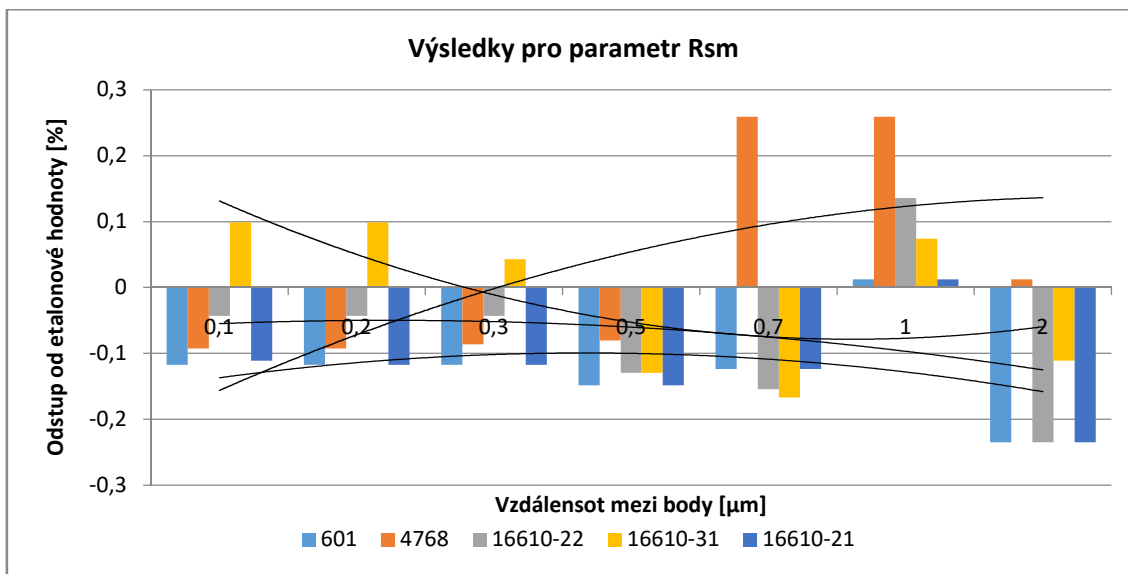


Graf 7-26 Rozptyl hodnot pro parametr Rv na etalonu RA 1

7.2.1.4 Výsledky pro etalon RA 1 -parametr Rsm

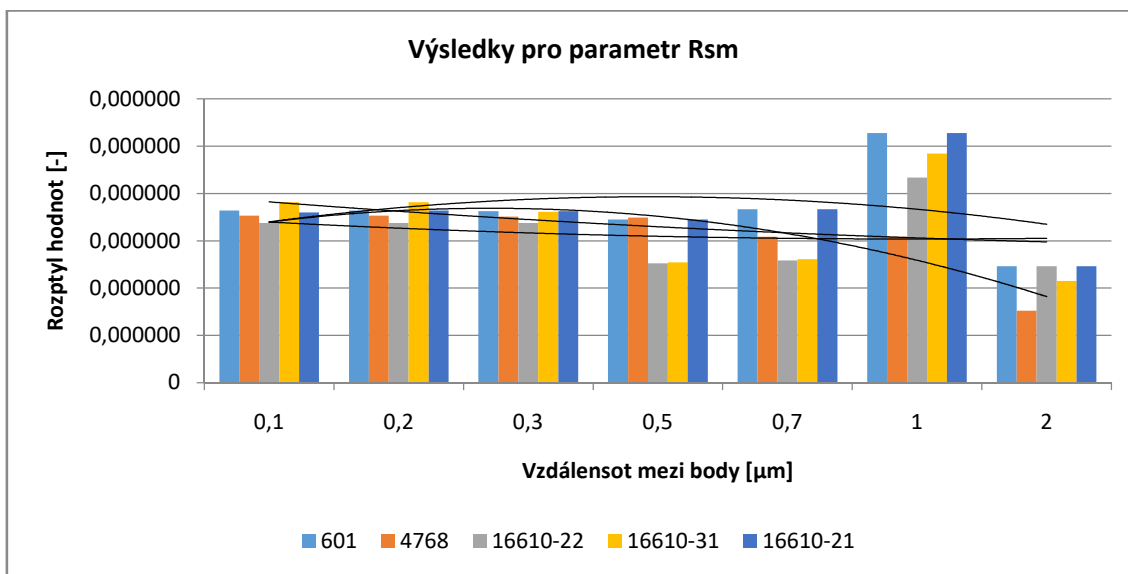
Při pohledu na graf č. 7-27 pro poslední hodnocený parametr drsnosti Rsm je možno vidět že, až do hodnoty vzdálenosti 0,5 μm mezi body (doporučená maximální hodnota v normě ISO 4288) byly dosažené výsledky téměř totožné. Z řady vystupoval pouze filtr 16610-31, pro který byla naměřena diametrálně odlišná hodnota drsnosti. Jako optimální

filtr pro hodnocený parametr Rsm na etalonu o nominální hodnotě RA 1 se dle grafu č. 7-27 jeví filtr 16610-21.



Graf 7-27 Průměrné procentuální odstupy pro parametr Rsm na etalonu RA 1

Při porovnání výsledků pro rozptyl hodnot opět i zde je klesající tendence získaných dat. A jako nejvhodnější se jeví použití filtru 16610-22.



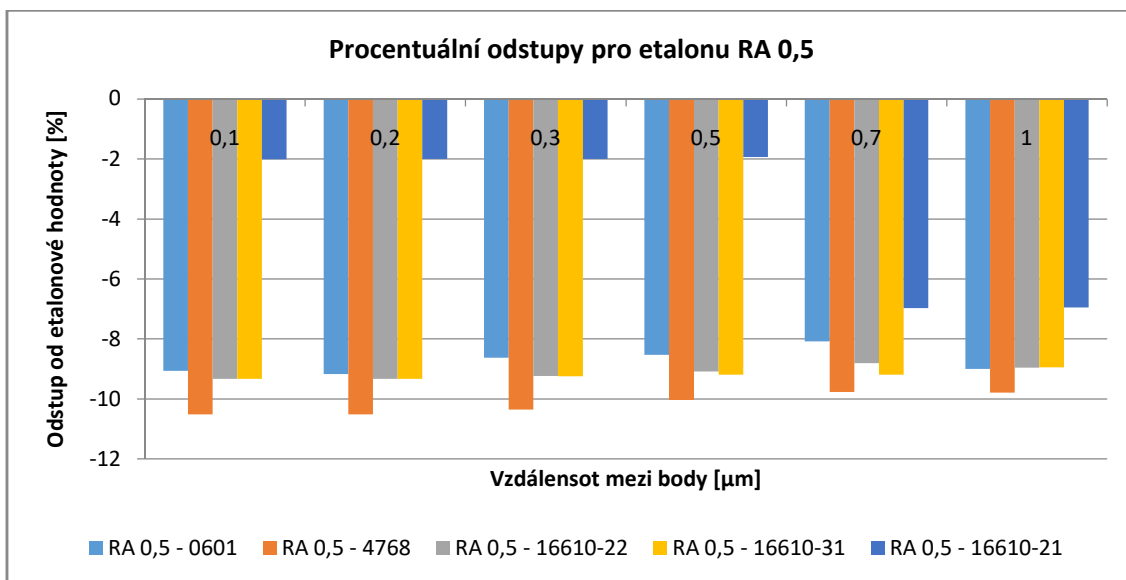
Graf 7-28 Rozptyl hodnot pro parametr Rsm na etalonu RA 1

7.2.2 Výsledky pro etalon RA 0,5; RA 1; RA 3,2; RA 6,3

Stejný systém vyhodnocení byl proveden pro všechny zbylé etalony drsnosti. S ohledem na to, že veškerá měření a vyhodnocování parametrů drsnosti probíhají vždy na jednom náměru, již pro souhrnné výsledky není vyhodnocení provedeno na základě testovaných parametrů drsnosti, ale je zde vždy sumarizace výsledků pomocí průměrných hodnot pro testovaný etalon drsnosti a softwarový filtr.

Prvním z nich je etalon RA 0,5. Na grafu č. 7-29 je možno vidět sumarizaci výsledků procentuálních přepočtů pro konkrétní softwarový filtr ve spojení s odlišnými vzdálenostmi mezi body.

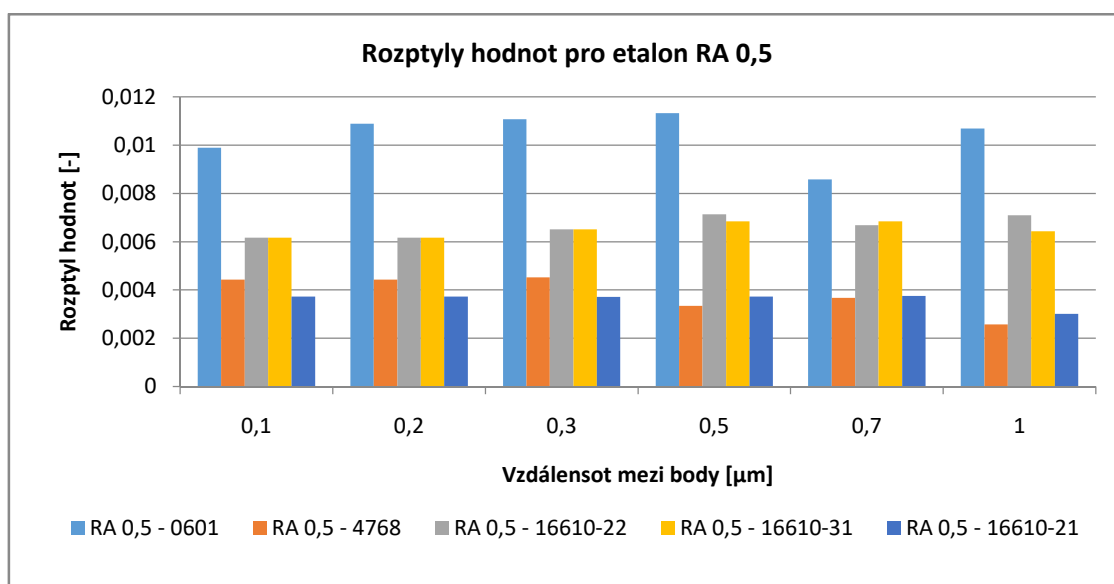
Zde volba optimální varianty závisí na způsobu vyhodnocování drsnosti. Až doposud byla brána v potaz pouze metodika „VDA“ avšak do metodiky volby softwarových filtrů je potřeba zahrnout i vyhodnocení metodou „16%“.



Graf 7-29 Souhrn průměrných procentuálních odstupů pro etalonu RA 0,5

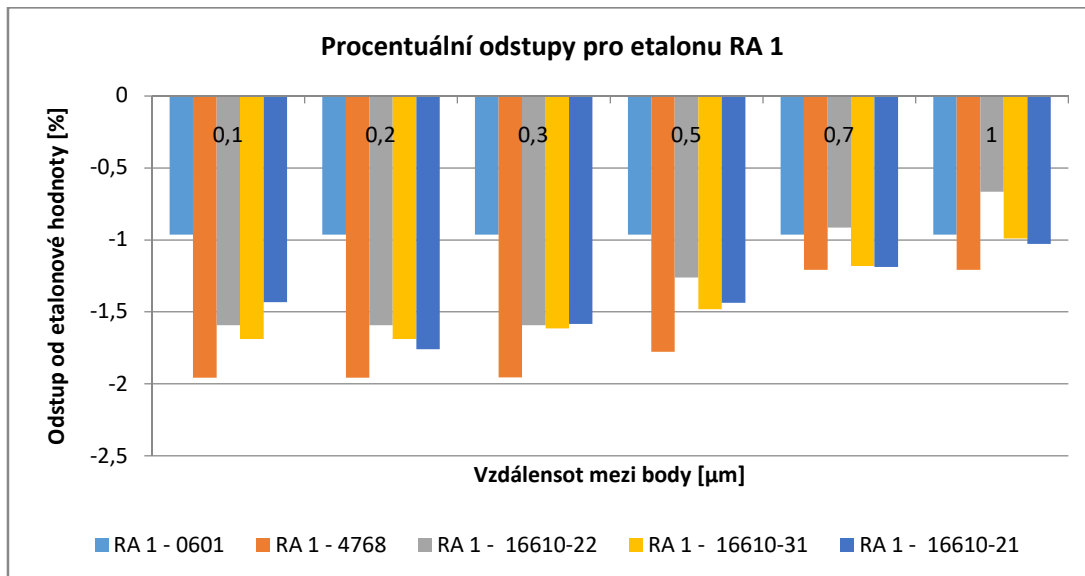
Pro etalon RA 0,5 se jeví jako optimum, pro metodu vyhodnocení „VDA“ filtr 4768. Přičemž maximální naměřené hodnoty jsou dosaženy při vzdálenosti bodů 0.3 μm . Pokud se bude však požadovat vyhodnocení pomocí metodiky „16%“, tak se jako optimální jeví použití filtru 16610-21, se vzdáleností mezi body do 0,5 μm .

Pokud se hodnocení provede za pomoci rozptylu naměřených hodnot, vychází jako optimum použití filtru 4768 při vzdálenosti mezi body 1 μm .



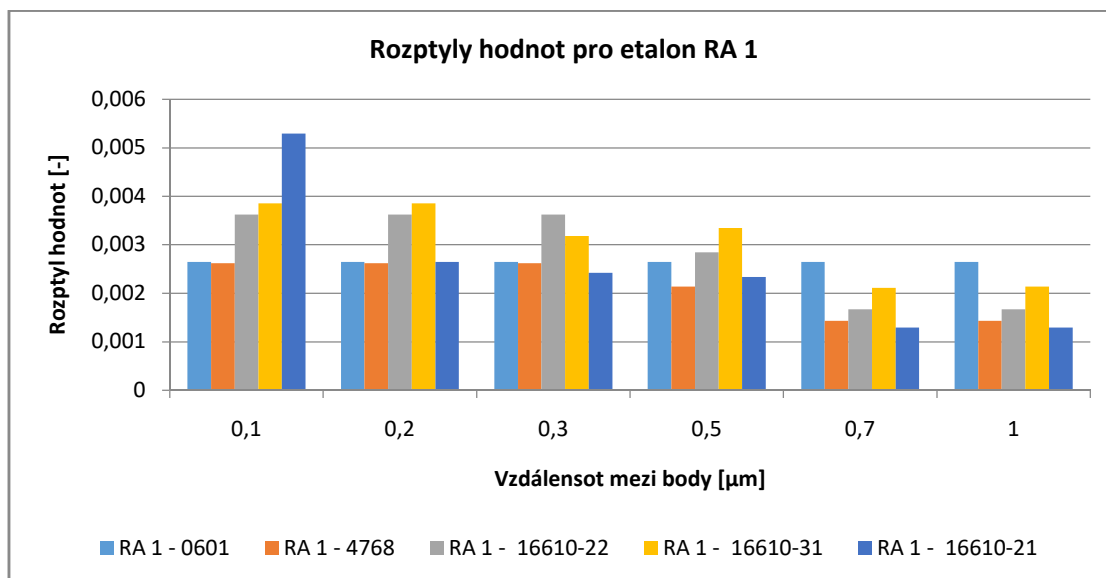
Graf 7-30 Souhrn průměrných rozptylů hodnot pro etalonu RA 0,5

Pro testovaný etalon RA 1 výsledky potvrzují předpoklad, že s rostoucí vzdáleností mezi body budou naměřené hodnoty klesat. V případě pohledu na graf č. 7-31 je patrné, že při vyhodnocení dle maximální naměřené hodnoty vychází nejlépe filtr 4768 a to do vzdálenosti mezi body 0,3 μm . Při použití pravidla 16% je optimum přesunuto na filtr 16610-21 při vzdálenosti bodů 0,2 μm .



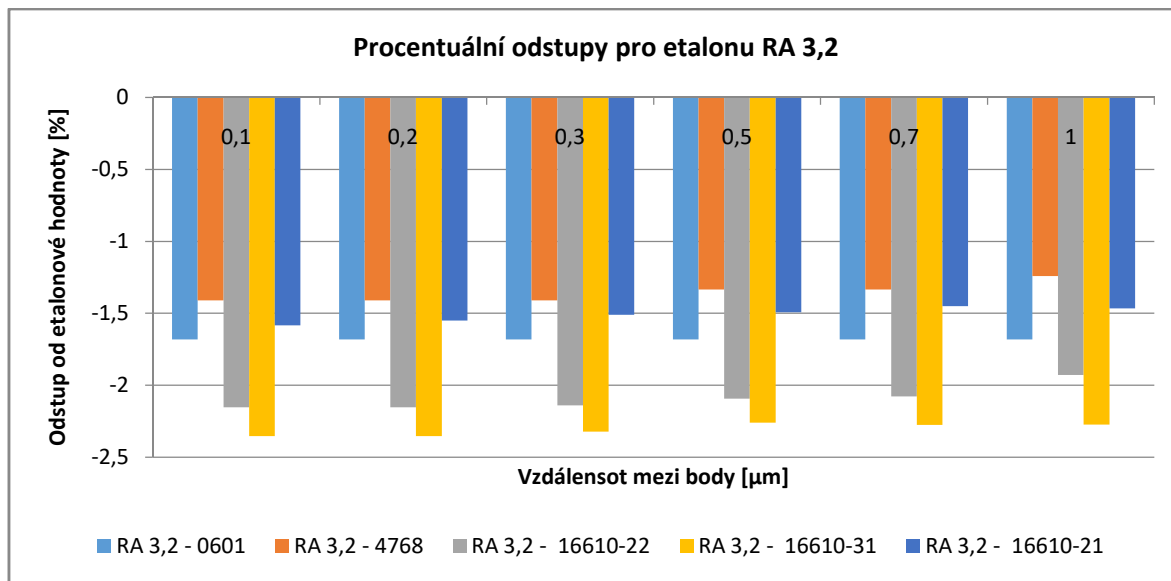
Graf 7-31 Souhrn průměrných procentuálních odstupů pro etalonu RA 1

Při hodnotění za pomoci rozptylu hodnot se optimum najde u filtru 4768 a vzdálenosti mezi body 1 μm , viz graf č. 7-32.



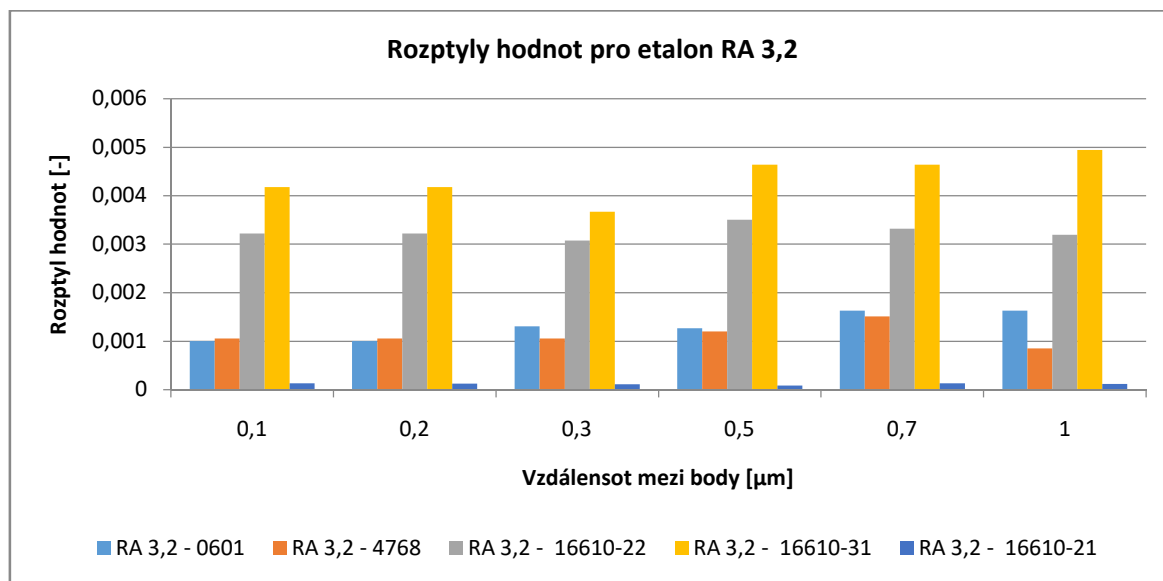
Graf 7-32 Souhrn průměrných rozptylů hodnot pro etalonu RA 1

S rostoucí velikostí hodnocené drsnosti povrchu opět klesá vliv změny vzdálenosti mezi body, což je možno vidět na grafu č. 7-33 pro etalon RA 3,2. Zároveň z tohoto grafu je patrné, že při vyhodnocení dle maximální naměřené hodnoty vychází nejlépe filtr 16610-21 a to téměř totožně pro všechny testované vzdálenosti mezi body. Při použití pravidla 16% je optimum přesunuto na filtr 4768 a to opět téměř s totožnou naměřenou hodnotou u všech testovaných vzdáleností mezi body.



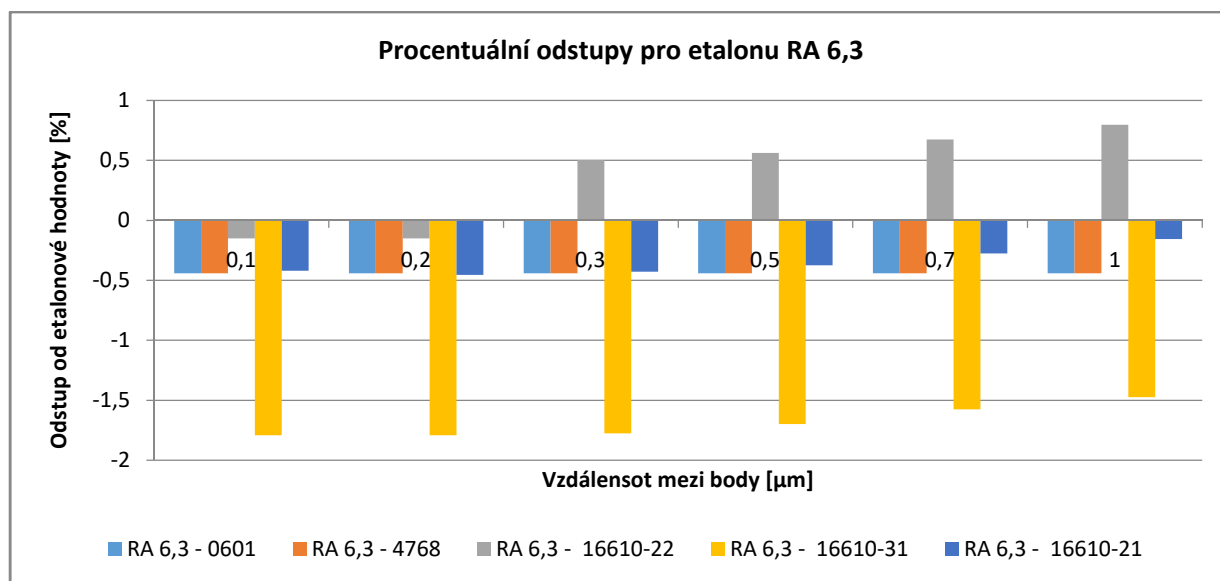
Graf 7-33 Souhrn průměrných procentuálních odstupů pro etalonu RA 3,2

Při vyhodnocení naměřených dat pro etalon RA 3,2 za pomoci rozptylu naměřených hodnot se pro měření jeví jako optimum filtr 16610-21 bez ohledu na vzdálenost mezi body.



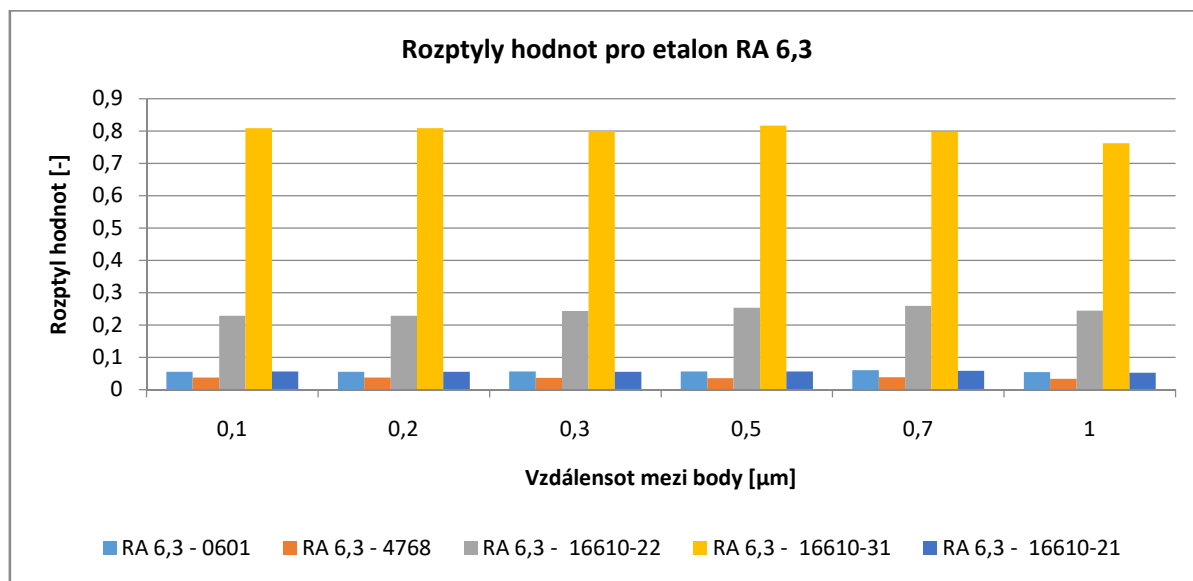
Graf 7-34 Souhrn průměrných rozptylů hodnot pro etalon RA 3,2

I pro etalon RA 6,3 se potvrdilo, že s rostoucí velikostí hodnocené drsnosti povrchu opět klesá vliv změny vzdálenosti mezi body což je možno vidět na grafu č. 7-35. Zároveň z tohoto grafu je patrné, že při vyhodnocení dle maximální naměřené hodnoty vychází nejlépe filtr 16610-31 a to téměř totožně pro všechny testované vzdálenosti mezi body. Při použití pravidla 16% je optimum přesunuto na filtr 16610-21 a to téměř s totožnou naměřenou hodnotou u všech testovaných vzdáleností mezi body.



Graf 7-35 Souhrn průměrných procentuálních odstupů pro etalonu RA 6,3

Při vyhodnocení naměřených dat pro etalon RA 6,3 za pomoci rozptylu naměřených hodnot se pro měření jeví jako optimum filtr 4768.



Graf 7-36 Souhrn průměrných rozptylů hodnot pro etalon RA 3,2

7.2.3 Souhrn testu II

Druhým provedeným testem pro vytvoření metodiky volby softwarových filtrů, byl test vlivu počtu bodů na naměřené hodnoty.

V rámci testu byla ověřována problematika nastavení stroje, s ohledem na množství bodů na nasnímání primárního profilu při měření drsnosti povrchu. Množství bodů bylo reprezentováno a měněno za pomoci odlišných vzdáleností mezi body.

Test byl rozdělen do několika kroků. V prvním kroku byla provedena zkušební série měření. Což obnášelo naměření dat posuvovou rychlostí 0,1 mm/s a každou dopředu stanovenou vzdáleností mezi body.

Vyhodnocení testu bylo provedeno v několika krocích. V První kroku testu, bylo pro vybraný etalon a parametr drsnosti vyhodnoceno průměrných procentuálních rozestupů vůči nominální hodnotě etalonu. Ve druhém kroku pak byl spočten procentuální rozestup pro daný parametr drsnosti povrchu.

Na základě sumarizace výsledku pro první krok testu vznikla tabulka č. 7-22. Která sumarizuje pořadí vhodnosti použití softwarových filtrů v rámci měření pro vybraný parametr drsnosti na etalonu RA 1. Informace uvedené v tabulce popisují vhodnost použití daného filtru pro vybraný parametr drsnosti, Přičemž čím nižší hodnota čísla v políčku tím lépe.

	16610-21		16610-22		16610-31		0601		4768	
	%	R	%	R	%	R	%	R	%	R
Ra	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
Rz	4	1	2	2	1	3	5	5	3	4
Rv	4	3	3	4	2	5	5	1	1	2
Rsm	1	3	4	1	5	5	2	4	3	2
	10	8	11	9	10	15	14	12	9	10
	18		20		25		26		19	

Tabulka 7-22 Tabulka s pořadím vhodnosti užití filtru pro jednotlivé hodnocené parametry drsnosti povrchu

Při použití tabulky pro vyhodnocení první části testu je patrné, že je důležité si uvědomit, co se měří a jaké jsou požadavky na výsledek, zda bude považován za dobrý výsledek, výsledek s minimálním rozptylem hodnot, nebo zda je důležité dostat maximální hodnotu drsnosti povrchu popřípadě najít kompromis pro oba případy.

V případě vyhodnocení testu pro etalon RA 1 a rozdílných parametrů drsnosti povrchu je vždy optimum posunuto k jinému filtru, avšak s ohledem na to že při získávání výsledku se vychází vždy z jednoho náměru, který se jednou přehodnotí příslušnými matematickými aparáty (filtrem) a dostane se výsledek, je nutné volit kompromis.

Proto ve druhé části testu, již nebyly rozlišovány parametry drsnosti, ale pouze se hledalo optimum pro konkrétní hodnotu drsnosti. Což ukazuje tabulka č. 7-23

	16610-21		16610-22		16610-31		4768		0601	
	%	R	%	R	%	R	%	R	%	R
RA 0,5	5	1	3	3	2	3	1	2	4	5
RA 1	3	1	4	4	2	5	1	2	5	3
RA 3,2	4	1	2	4	4	1	5	5	3	2
RA 6,3	4	2	5	4	1	5	2	1	2	2
	12	5	14	15	9	14	9	10	14	12
	17		29		23		19		26	

Tabulka 7-23 Tabulka s pořadím vhodnosti užití filtru pro hodnocené velikosti drsnosti povrchu

Číselné hodnoty v tabulce ukazují pořadí vhodnosti použití konkrétního filtru pro testovanou hodnotu drsnosti.

Primárním úkolem pro tento test však bylo ověření vlivu počtu bodů na naměřené hodnoty. A nalezení optimální vzdálenosti mezi nimi. V tabulce č. 7-24 je souhrn optimálních vzdáleností pro získání maximální hodnoty pro konkrétní použitý filtr, hodnotu drsnosti povrchu a požadovaný výsledek z měření.

	16610-21		16610-22		16610-31		4768		0601	
	%	R	%	R	%	R	%	R	%	R
RA 0,5	0,7	1	1	0,1	1	0,1	0,3	1	1	0,7
RA 1	0,2	1	0,3	1	0,2	1	0,3	1	1	1
RA 3,2	1	1	0,3	1	1	0,3	1	1	1	0,1
RA 6,3	0,3	1	0,1	1	0,3	1	1	1	1	1

Tabulka 7-24 Souhrnný přehled optimálních vzdáleností mezi body při měření vybraných hodnot drsností povrchu

7.3 Vliv rychlosti snímání

Posledním ze série testů potřebných pro vytvoření metodiky volby softwarového filtru při měření drsnosti povrchu, byl test volby rychlosti posuvu stylusu při měření drsnosti povrchu. Zároveň byl tento test nastaven tak aby bylo možno na základě jeho výsledku ověřit poznatky z předchozích testů I a II.

7.3.1 Návrh testu

Pro návrh testu byla použita metodika plánovaného experimentu. Byla použita metodika návrhu experimentu D-optimal design. Pro modelování testu pro hodnocení drsnosti povrchu se jeví jako nejvhodnější typ studie pro vytvoření modelu za pomoci odezvové plochy (response surface). Jako nejvyšší matematický model, který daný návrh dokáže popsat, je zvolen model kubický a to z důvodu tvaru křivky, kterou vytváří měřená data.

Dále pro návrh tohoto testu je potřeba mít nadefinované faktory testu (řiditelné i fixní) a nastavit volbu odezvy testu.

Mezi řiditelné faktory patří (kategoriální + numerické modely):

- Hodnota drsnosti – RA0,5; RA1; RA3,2; RA6,3
- Použitý filtr – 16610-21; 16610-22; 16610-31; 4768; 0601
- Rychlost snímání – rozmezí mezi 0,1-3 mm/s

Mezi fixní faktory patří:

- Poloměr hrotu stylusu – 2 μ m
- Směr posuvu snímače – ke sloupu
- Kalibrace měřicího přístroje
- Nastavení stroje při měření - $\lambda c = 0,8$ mm; $Lt=4,8$ mm; Lc/Ls =vypnuto; vzdálenost mezi body = 0,7 μ m

Odezva:

- Parametr Ra
- Parametr Rz
- Parametr Rv
- Parametr Rsm

Na základě těchto vstupních informací byl vytvořen plán. Plán obsahuje 43 měření ve variacích rychlosti, použitého filtru a velikosti měřené drsnosti povrchu.

7.3.2 Vyhodnocení testu pomocí SW podpory

Vyhodnocení proběhlo v programu MATLAB v několika krocích. V prvním kroku bylo nutné vytvořit pro každý testovaný parametr drsnosti povrchu matematický model definující

naměřená data. V práci jsou matematické modely definované pomocí tabulek, ve kterých jsou políčka, která jsou relevantní pro model označena zeleným podbarvením.

Pro parametr Ra jsou relevantní parametry: **neznámý parametr** (nespecifikovaný parametr vstupující do hodnocení drsnosti), **rychlost snímání a hodnocená drsnosti povrchu** reprezentovaná etalonem. Relevantnost efektu je označena v tabulce č. 7-25 písmenem **p** (parametrem p je určena hladinou významnosti daného efektu, pokud hodnota parametru p je menší, než 0,05 je efekt významný pro daný model).

Efekt	Jednorozměrný test významnosti pro parametr Ra [um] (ANOVA) Sigma-efektivní hypotéza omezené parametrizace				
	SS	Stupeň volnosti	MS	F	p
Neznámý parametr	176,4179	1	176,4179	15915,04	0,000000
A: rychlost [mm.s-1]	0,5061	6	0,0843	7,61	0,000058
B: filtr	0,0420	4	0,0105	0,95	0,451404
C: etalon [um]	176,6132	3	58,8711	5310,88	0,000000
Chyba	0,3215	29	0,0111		

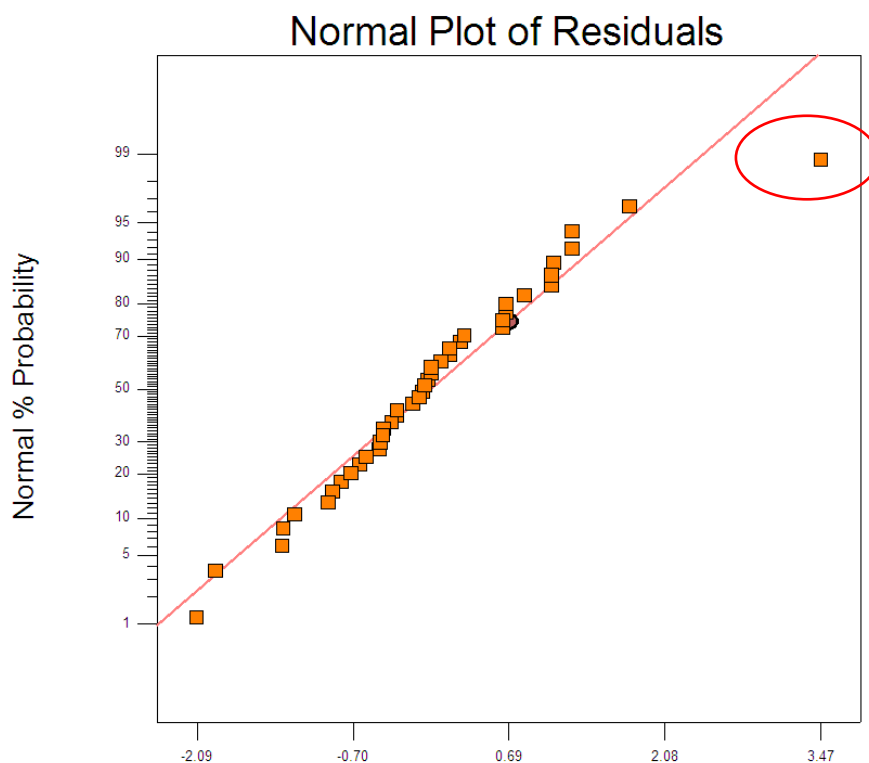
Tabulka 7-25 Výsledky jednorozměrného testu pro parametr Ra

Pro ověření jednoznačné platnosti modelu navrženého v tabulce č. 7-25 je potřeba provést test Adjusted R2 (test koeficientu determinace, čím blíže hodnota číslu 1, tím lépe) a zároveň je z této části testu důležitá hodnota pro parametr p (hodnota platnosti modelu, čím nižší hodnota tím lépe). V obou případech hodnocených parametrů R2 i pro p (zelená políčka v tabulce č. 7-26) jsou splněny – model je platný v plném rozsahu pro parametr Ra.

Závislá proměnná	Test SS celého modelu vs. rezidua SS (ANOVA)										
	Násobky R	Násobky R2	Koeficient Determinace R2	SS Model	df Model	MS Model	SS Rozptyl	df Rozptyl	MS Rozptyl	F	p
Ra [um]	0,999253	0,998507	0,997837	214,9590	13	16,53531	0,321465	29	0,011085	1491,685	0,00

Tabulka 7-26 Výsledky ověřovacího testu pro parametr Ra

Grafickou podobu reprezentace výsledků správnosti modelu je možno vidět na grafu č. 7-37. Na grafu č. 7-37 je velmi dobře patrné, jak většina naměřených dat leží v těsné blízkosti křivky reprezentující model popisu vlivu jednotlivých efektů na naměřené hodnoty drsnosti. Tato hodnota, vzdálená od modelu a označena červenou elipsou, byla při podrobnějším zkoumání výsledků vyhodnocena jako hrubá chyba měření ($\pm 3\sigma$). Z dalšího zpracování byla vyřazena, i když zde na grafu zůstala.



Graf 7-37 Grafické ověření správnosti modelu pro parametr Ra

Stejným způsobem bylo provedeno hodnocení všech zbylých testovaných parametrů drsnosti.

Pro parametr Rz jsou relevantní parametry: **neznámý parametr** (nespecifikovaný parametr vstupující do hodnocení drsnosti), **rychlost snímání**, **etalon** a na rozdíl od parametru Ra zde hraje roli i **vliv použitého filtru**. Viz tabulka č. 7-27.

Efekt	Jednorozměrný test významnosti pro parametr Rz [um] (ANOVA) Sigma-efektivní hypotéza omezené parametrizace				
	SS	Stupeň volnosti	MS	F	p
Neznámý parametr	2518,317	1	2518,317	22967,55	0,000000
A: rychlost [mm.s-1]	21,090	6	3,515	32,06	0,000000
B: filtr	58,101	4	1,45	13,2	0,00284589
C: etalon [um]	2585,836	3	861,945	7861,11	0,000000
Chyba	3,180	29	0,110		

Tabulka 7-27 Výsledky jednorozměrného testu pro parametr Rz

I pro parametr Rz jsou podmínky pro parametry R2 a p splněny – model je i zde platný v plném rozsahu.

Závislá proměnná	Test SS celého modelu vs. rezidua SS (ANOVA)										
	Násobky R	Násobky R2	Koeficient Determinace R2	SS Model	df Model	MS Model	SS Rozptyl	df Rozptyl	MS Rozptyl	F	p
Rz [um]	0,999512	0,999024	0,998586	3254,057	13	250,3120	3,179756	29	0,109647	2282,895	0,00

Tabulka 7-28 Výsledky ověřovacího testu pro parametr Rz

Pro parametr Rsm jsou relevantní efekty: **neznámý parametr** a **etalon**. Zde je důležité upozornit na skutečnost, že při hodnocení parametru Rsm nemá vliv rychlost snímání a ani

použitý softwarový filtr, jak vyplývá z tabulky č. 7-29, ve které jsou zaznamenány výsledky z ověření platnosti modelu.

Efekt	Jednorozměrný test významnosti pro parametr Rsm [um] (ANOVA) Sigma-efektivní hypotéza omezené parametrizace				
	SS	Stupeň volnosti	MS	F	p
Neznámý parametr	0,637568	1	0,637568	25,01390	0,000025
A:rychlost [mm.s-1]	0,090453	6	0,015075	0,59146	0,734426
B:filtr	0,057009	4	0,014252	0,55916	0,694056
C:etalon [um]	0,581442	3	0,193814	7,60396	0,000674
Chyba	0,739168	29	0,025489		

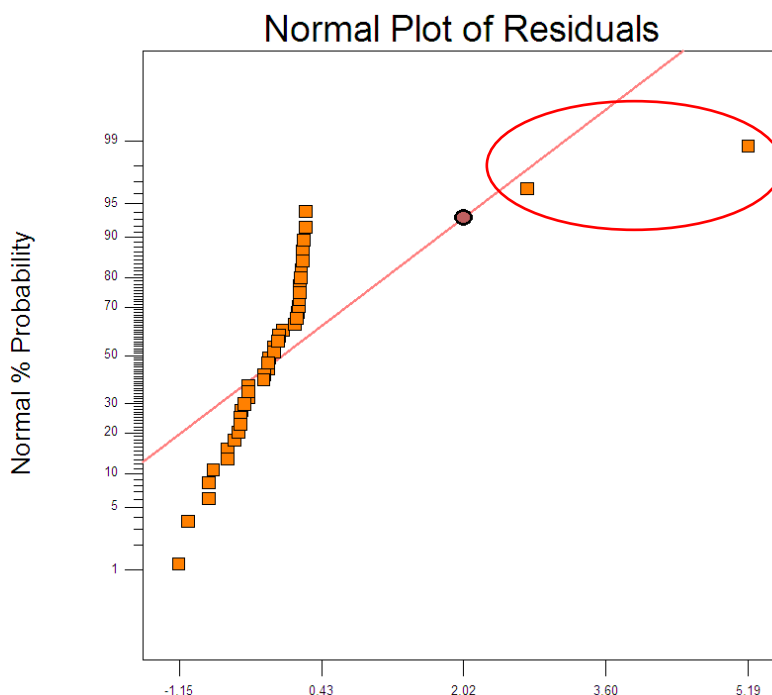
Tabulka 7-29 Výsledky jednorozměrného testu pro parametr Rsm

Pro parametr Rsm již u parametrů R2 a p (tabulka č. 7-30) nevychází tak jednoznačné výsledky platnosti modelu, ale s ohledem že celý model má popisovat dohromady, jednou rovnicí všechny testované parametry (Ra, Rz, Rsm, Rv) je i zde rozhodnuto, že model je platný.

Závislá proměnná	Test SS celého modelu vs. rezidua SS (ANOVA)										
	Násobky R	Násobky R2	Koeficient Determinace R2	SS Model	df Model	MS Model	SS Rozptyl	df Rozptyl	MS Rozptyl	F	p
Rsm [mm]	0,698361	0,487709	0,258061	0,703699	13	0,054131	0,739168	29	0,025489	2,123725	0,044936

Tabulka 7-30 Výsledky ověřovacího testu pro parametr Rsm

V grafické podobě jsou data rozložena dle grafu č. 7-38. Odlehlé body v červené elipse způsobují, že hodnoty parametrů R2 a p jsou vzdálené od požadovaných hodnot. V tomto případě tyto data nebyla vyhodnocena jako hrubá chyba ($\pm 3\sigma$), jak tomu bylo u parametru Ra a bylo nutné s těmito odlehlými daty počítat, proto i model má tak nízkou hodnotu platnosti.



Graf 7-38 Grafické ověření správnosti modelu pro parametr Rsm

Posledním testovaným parametrem je parametr R_v . U tohoto parametru jsou relevantní parametry: **neznámý parametr**, **etalon** a opět se vrací **vliv použitého softwarového filtru**. A i u parametru R_v , vypadáva z hodnocení vliv rychlosti snímání, viz tabulka č. 7-31.

Efekt	Jednorozměrný test významnosti pro parametr R_v [um] (ANOVA) Sigma-efektivní hypotéza omezené parametrizace				
	SS	Stupeň volnosti	MS	F	p
Neznámý parametr	627,3117	1	627,3117	1010,379	0,000000
A: rychlost [mm.s-1]	1,0215	6	0,1703	0,274	0,944516
B: filtr	7,5716	4	1,8929	3,049	0,032595
C: etalon [um]	714,8991	3	238,2997	383,817	0,000000
Chyba	18,0052	29	0,6209		

Tabulka 7-31 Výsledky jednorozměrného testu pro parametr R_v

Správnost matematického modelu je zde jednoznačně potvrzena. Parametry R_2 i p (tabulka č. 7-32) se blíží požadovaným hodnotám.

Závislá proměnná	Test SS celého modelu vs. rezidua SS (ANOVA)										
	Násobky R	Násobky R_2	Koeficient Determinace R_2	SS Model	df Model	MS Model	SS Rozptyl	df Rozptyl	MS Rozptyl	F	p
R_v [um]	0,989872	0,979846	0,970812	875,3911	13	67,33778	18,00516	29	0,620868	108,4576	0,00

Tabulka 7-32 Výsledky ověřovacího testu pro parametr R_v

Na základě vyhodnocení předchozích tabulek je možno, jednoznačně konstatovat, že navržený model je platný a na jeho základě je možno provést vyhodnocení vlivu rychlosti na naměřené hodnoty. Tento model lze použít i pro ověření výsledků získaných z předchozích testů.

7.3.3 Výsledky testu rychlosti snímání

Vlastní vyhodnocení vlivu rychlosti snímání bylo provedeno za pomoci statistické analýzy ANOVA, která umožňuje ověřit, zda na hodnotu náhodné veličiny určitého parametru má statisticky významný vliv hodnota některého znaku, který se u parametru dá pozorovat. [46] V případě tohoto testu jsou parametrem parametry drsnosti R_a , R_z , R_{sm} a R_v a zkoumaným znakem je vliv rychlosti snímání.

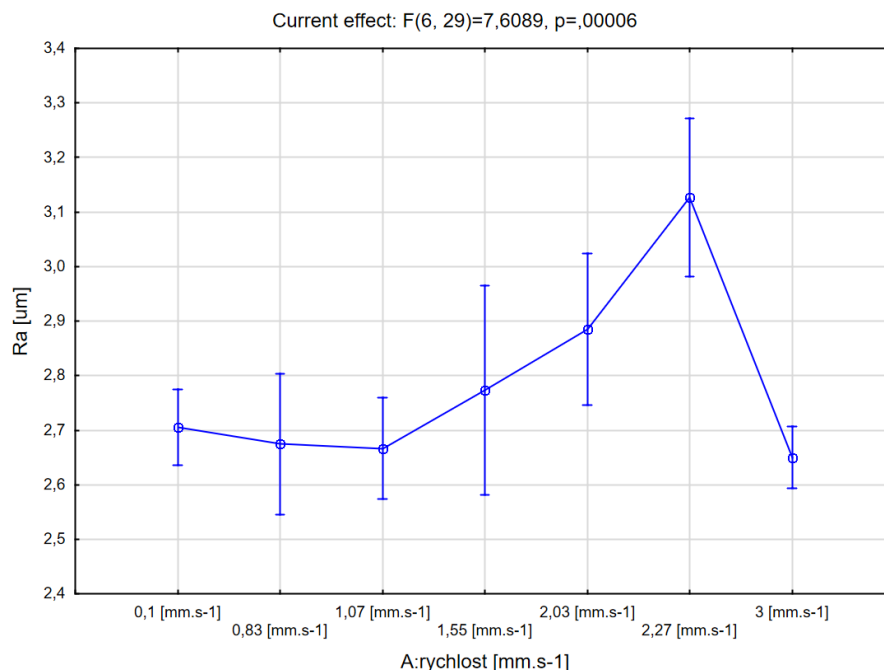
Rychlosti pro tento test byly náhodně zvolené v rámci návrhu experimentu D-optimal. Rychlosti byly voleny, v rozmezí 0,1 až 3 mm/s, což jsou podmínky udávané výrobcem zařízení Hommel Etamic T8000. Zvolené rychlosti jsou: 0,1; 0,83; 1,07; 1,55; 2,03; 2,27; 3 mm/s. Pro každou rychlost byla z naměřených dat spočtena průměrná hodnota drsnosti. Následně pro každou kombinaci rychlosti a průměrné naměřené hodnoty drsnosti byla spočtena hodnota rozptylu a zaznamenána do tabulky č. 7-33

číslo.	Scheffeův test; proměnná Ra [μm] (ANOVA), Pravděpodobnost pro Post Hoc Test: MS = ,01108, df = 29,000							
	A: rychlost [mm.s-1]	{1} 2,8300	{2} 2,5000	{3} 1,5714	{4} 3,2000	{5} 4,4000	{6} 4,5667	{7} 2,7933
1	0,1 [mm.s-1]		0,006684	0,000000	0,011060	0,000000	0,000000	0,992926
2	0,83 [mm.s-1]	0,006684		0,000000	0,000016	0,000000	0,000000	0,014775
3	1,07 [mm.s-1]	0,000000	0,000000		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
4	1,55 [mm.s-1]	0,011060	0,000016	0,000000		0,000000	0,000000	0,002852
5	2,03 [mm.s-1]	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000		0,707706	0,000000
6	2,27 [mm.s-1]	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,707706		0,000000
7	3 [mm.s-1]	0,992926	0,014775	0,000000	0,002852	0,000000	0,000000	

Tabulka 7-33 Statistické vyhodnocení závislosti jednotlivých rychlostí

Výsledky uvedené v tabulce č. 7-33 popisují, ze statistického hlediska parametr Ra při rychlostech porovnání rychlostí 0,1 a 0,83; 0,1 a 1,07; 0,1 a 1,55; 0,1 a 2,03; 0,1 a 2,27 značné rozdíly. To je zaznamenáno v tabulce hodnotou velmi blízkou nulové hodnotě. Při bližším průzkumu tabulky č. 7-33 nejsou rozdíly tak markantní pouze mezi rychlostmi 0,1 a 3 mm/s (z pohledu statistiky). Jak se ukázalo, při vlastním testu, pro etalony o nižších hodnotách drsnosti RA již dochází při rychlostech od 2 mm/s k přesakování struktury povrchu díky setrvačným silám a tím k tvorbě alias povrchu.

Pro snazší orientaci, jak se chovají náměry při změně rychlosti, je zde uveden graf č. 7-39, který právě chování rychlostí popisuje.

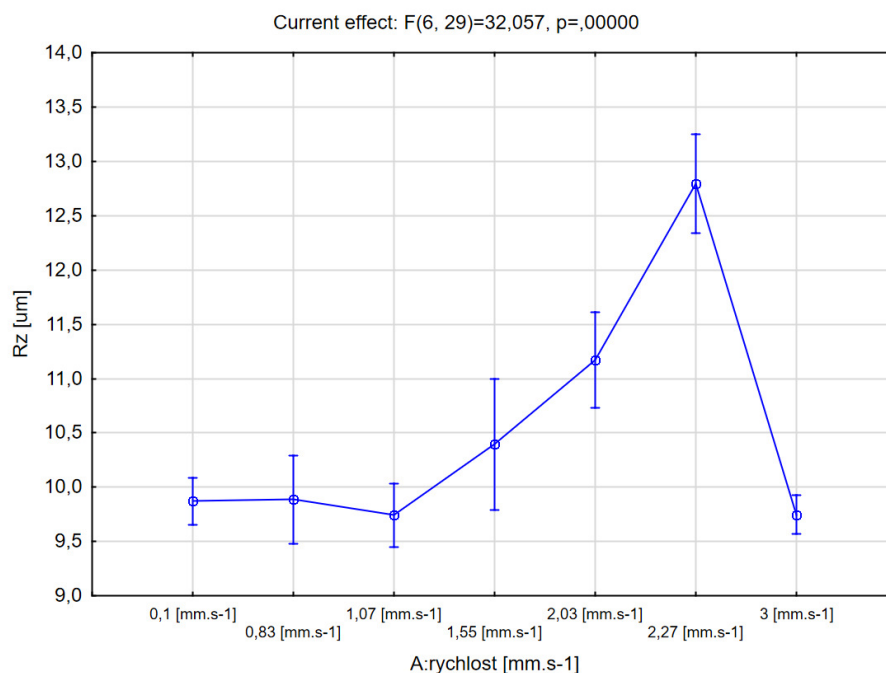


Graf 7-39 Průběh vlivu změny rychlosti na přepočtené naměřené hodnoty drsnosti pro parametr Ra

Jak je možno vidět z grafu č. 7-39, v případě zprůměrování naměřených dat pro parametr Ra přes všechny testované etalony drsnosti (RA) do hodnoty rychlosti 1,07 mm/s jsou naměřené výsledky téměř konstantní. Od 1,07 mm/s naměřené hodnoty začínají stoupat a zvětšuje se i jejich hodnota rozptylu až do hodnoty 3 mm/s, kde se opět vrací na hodnoty dosahované při rychlostech do 1,07 mm/s.

Statistika sice ukazuje, že dosažené výsledky jsou téměř totožné pro rychlosti od 0,1 mm/s do 1,07 mm/s a 3 mm/s, ve skutečnosti se tak neděje. Při rychlostech nad 2 mm/s dochází díky setrvačnosti pohybu hrotu k přeskokování měřených vln a dochází tak ke zkreslení výsledků.

Stejný trend jak pro parametr Ra, lze pozorovat i pro parametr Rz a Rv. To je možno vidět i na grafu č. 7-40 pro parametr Rz. Pro parametr Rv je graf totožný, a proto nebude z důvodu úspory místa zde uveden. Oba grafy ale popisují stejné informace. Do hodnoty 1,07 mm/s jsou dosahované výsledky téměř totožné. Pokud se posouvá ve zvolených rychlostech výše, začíná stoupat přepočtená naměřená hodnota, což pro tento případ vyhodnocení není správné. Nárůst pokračuje až do hodnoty 3mm/s kde se opět vrací na hodnoty naměřené při rychlostech do 1,07 mm/s.



Graf 7-40 Průběh změny rychlosti přepočtených hodnot pro parametr Rz a Rv

Pro parametr Rsm se vliv rychlosti ztrácí, to je pravděpodobně způsobeno matematickou definicí parametru, která je dána vzdáleností dvou vln od sebe a je tedy nepodstatné, zda se trefí stylus na každou první či na každou X-tou vlnu.

7.3.4 Souhrn testu III

Posledním ze série plánovaných testů pro vytvoření metodiky volby softwarového filtru byl test vlivu rychlosti na naměřené hodnoty drsnosti povrchu.

Test byl proveden za pomoci plánovaného experimentu D-optimal za použití studie odezvové plochy. Pro test bylo zvoleno rozmezí rychlostí od 0,1 až pro 3 mm/s. Opět i zde se zároveň testoval vliv rychlosti snímání s užitým filtrem a změnou hodnocené drsnosti povrchu.

Vyhodnocení testu proběhlo ve dvou krocích. V prvním kroku bylo hodnoceno, zda vygenerovaný model a data jím naměřená jsou platná či nikoliv. Platnost byla ověřena za pomoci Jednosměrného testu významnosti pro parametr „Univariate Test of Significance“ a Testu SS celého modelu vs. residua SS „Test of SS Whole Model vs. SS Residual“, kde se

parametry p a R_2 porovnávají vůči příslušné požadované hodnotě. Ve všech testech bylo vyhodnoceno, že model je plně platný. A na základě tohoto poznatku bylo možno dále pokračovat ve zpracování dat tímto plánem získaných.

Vlastí vyhodnocení vlivu rychlosti snímání bylo provedeno za pomoci statistické metody ANOVA. Na základě poznatků z tohoto testu vzešla informace, že na parametr R_{sm} rychlost snímání nemá žádný vliv. Výsledky pro parametry R_a , R_v a R_z při použití rychlosti snímání do 1,07 mm/s jsou téměř totožné. Při vyšších rychlostech již u všech třech parametrů stoupá i nepřesnost naměřených dat a také dochází ke zvětšení rozptylu hodnot. Dle statistického zpracování vychází, že při použití rychlosti 3 mm/s (maximální povolená rychlost u stroje na kterém jsou prováděné testy), dostaneme totožné výsledky jako při měření rychlostmi do 1,07 mm/s. To je způsobeno vznikem alias povrchu a tedy nenaměření reálné hodnoty struktury povrchu.

8 Metodika volby softwarových filtrů

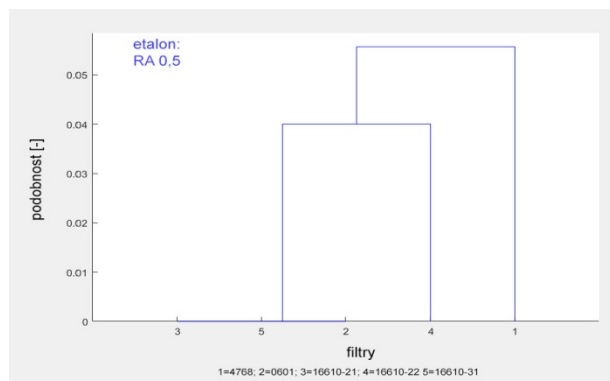
Jak už bylo popsáno v úvodu, úkolem této disertační práce bylo vytvoření metodiky volby softwarových filtrů při měření drsnosti povrchu.

Na základě poznatků z testu I a II byly sestaveny grafy, zde prezentované ve formě obrázků č. 8-1 až 8-4, popisující vliv použitých softwarových filtrů na naměřená data s rozdílným zdrojem vstupní hodnoty drsnosti povrchu.

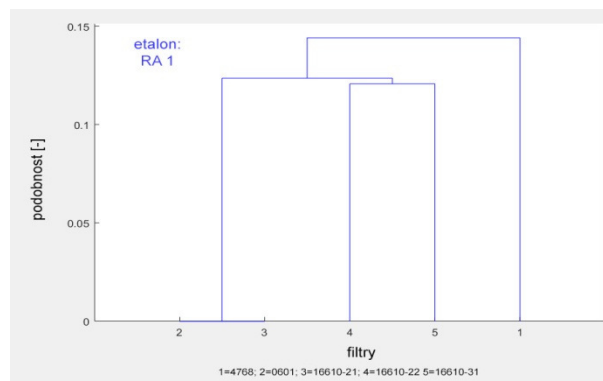
Z grafů je možno vidět podobnost naměřených dat za použití rozdílných softwarových filtrů, které jsou zde označené čísly 1 až 5 (1 – filtr 4768; 2 – 0601; 3 - 16610-21; 4 – 16610-22; 5 – 16610-31) a to včetně podobnostních pravděpodobností dosažení stejného výsledku.

Na základě pohledu do obrázků č. 8-1 až 8-4 je patrné, že vliv použitého filtru se zvětšuje s rostoucí hodnotou měřené drsnosti povrchu. Toto je možno vidět na stupnicích Y os na obrázcích č. 8-1 až 8-4. Hodnoty na ose Y popisují podobnostní pravděpodobnost dosažení stejného výsledku. Pro etalon RA 0,5, je na stupnici maximum u hodnoty 0,05 u maximální testované hodnoty drsnosti RA 6,3 je již tato hodnota na hodnotě 1,2.

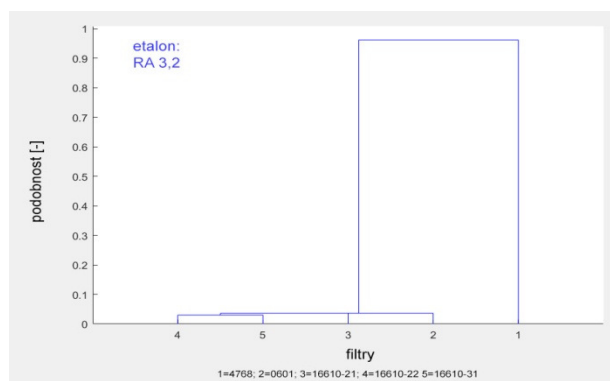
Dále z grafů je možno vyčíst, že pro dosažení nejpodobnějších výsledků, tedy výsledků s nejmenším rozptylem hodnot je vhodné použít filtr pod číslem 3 (filtr 16610-21). Pro naměření maximální hodnoty je nevhodnější použít filtr pod číslem 1 (filtr 4768). Podrobněji viz kapitola č. 7.1. Tyto výsledky jsou platné při použití 2 mikrometrového hrotu.



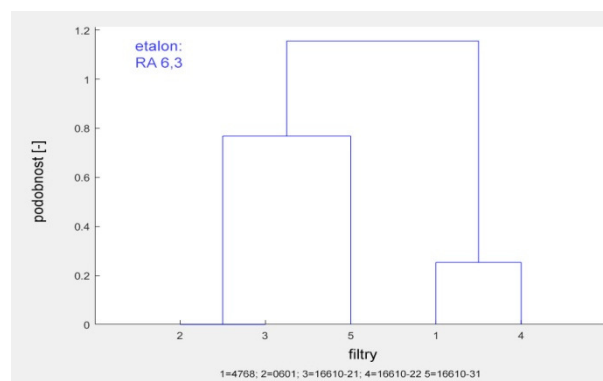
Obrázek 8-1 Graf porovnání výsledků pro testované filtry pro etalon RA 0,5



Tabulka 8-2 Graf porovnání výsledků pro testované filtry pro etalon RA 1



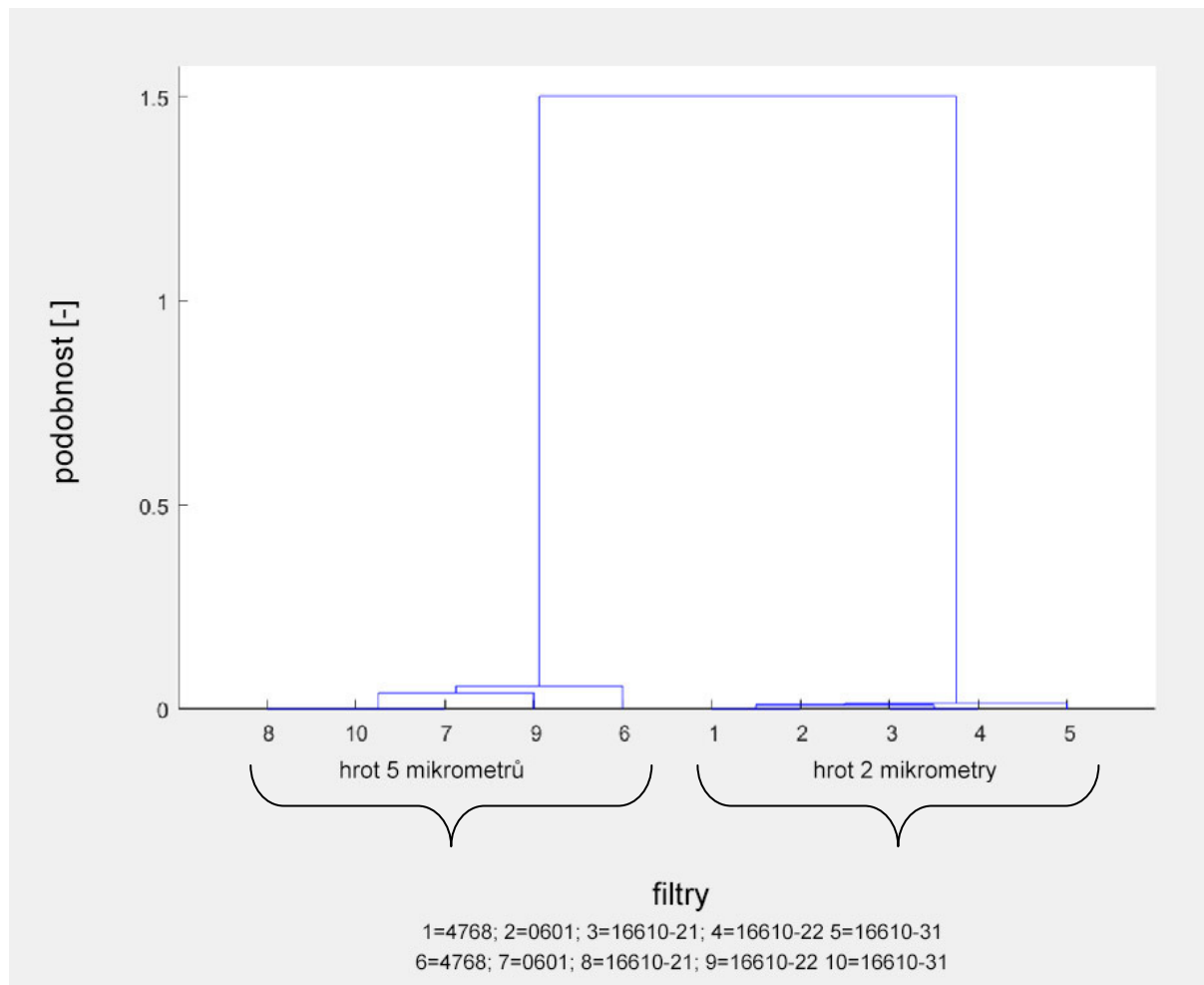
Obrázek 8-2 Graf porovnání výsledků pro testované filtry pro etalon RA 3,2



Obrázek 8-3 Graf porovnání výsledků pro testované filtry pro etalon RA 6,3

Pokud do hodnocení testu softwarových filtrů je zapojeno i hodnocení vlivu použitého stylusu jsou výsledky zobrazené na obrázku č. 8-5. Zde k původnímu značení filtrů s čísly 1 až 5 ještě přibývají stejné filtry jen pod značením 6 až 10. Rozdíl je pouze v tom, že značení do 5 je pro 2 mikrometrový hrot a čísla od 6 a dál jsou pro 5 mikrometrový hrot.

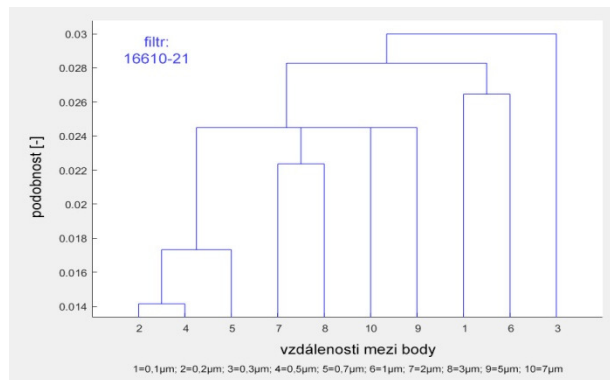
A jak je možno vidět na obrázku č. 8-5 výsledky pro 2 mikrometrový hrot jsou si bližší a jejich rozptyl mezi použitými filtry je menší než pro hrot o velikosti rádia špičky 5 mikrometrů. Dále je možno z grafu vyčíst, že podobností pravděpodobnost dosažení totožného výsledku s 2 a 5 mikrometrovým hrotem je 1,5. Podrobnější rozbor viz kapitola 7.1.



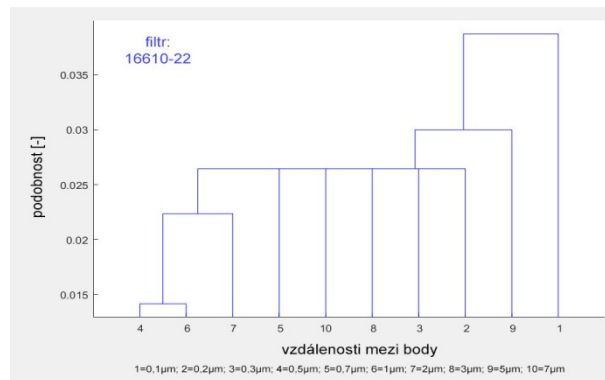
Obrázek 8-4 Graf porovnání výsledků pro testované filtry v závislosti na použitém stylusu

Další důležitou informací ohledně metodiky volby softwarového filtru při měření drsnosti je množství bodů, kterým se má primární profil nasnímat, aby byl hodnocen reálný povrch a ne uměle vytvořený nevhodným počtem bodů.

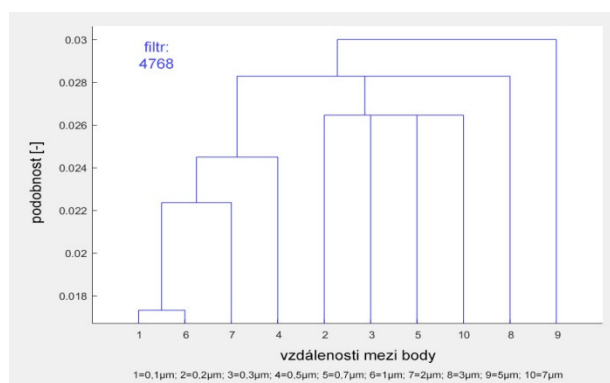
V následujících grafech na obrázcích č. 8-6 až 8-10 je možno vidět vliv použitého filtru při změně počtu bodů pro průměrované naměřená data přes testované hodnoty drsnosti povrchu. Z grafů je dobře patrné, že se změnou softwarového filtru se mění i vhodná vzdálenost (počet) bodů pro měření. Podrobněji viz kapitola 7.2.



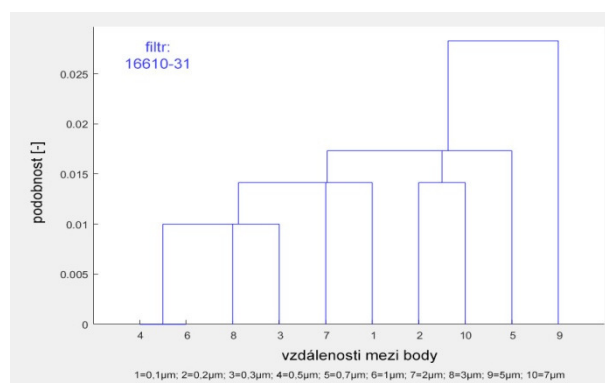
Obrázek 8-5 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 16610-21



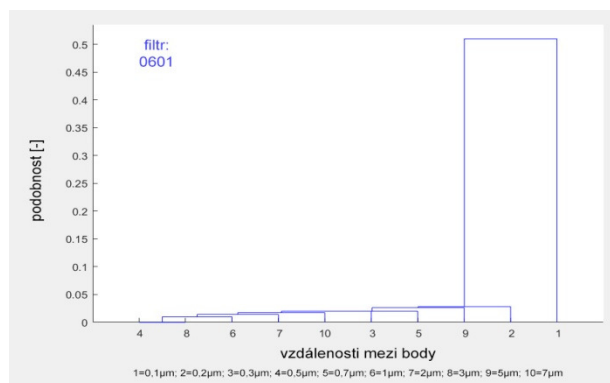
Obrázek 8-6 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 16610-22



Obrázek 8-7 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 4768



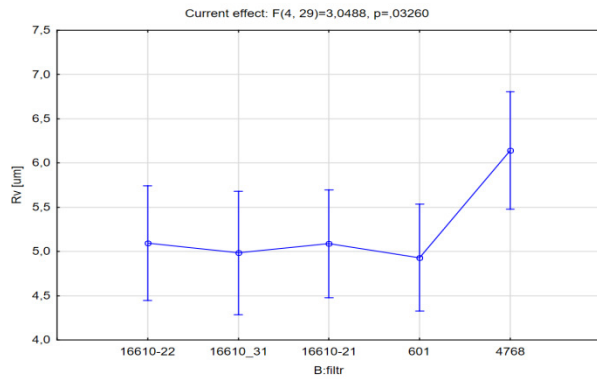
Obrázek 8-8 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 16610-31



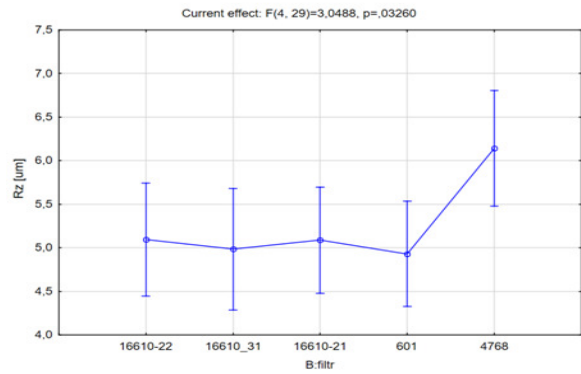
Obrázek 8-9 Vliv vzdálenosti bodů u filtru 0601

Poslední testovaný vliv na volbu softwarového filtru byl test volby rychlosti snímání. V případě tohoto testu byl prokázán na základě statistického zpracování dat, vliv softwarového filtru pouze u dvou ze čtyř testovaných parametrů drsnosti povrchu.

Jak je možno vidět na grafech na obrázcích č. 8-11 a 8-12, které jsou vytvořeny jako průměrná hodnota parametrů drsnosti R_v a R_z . Z grafů je vidět, že pro oba parametry se pohybují rozdíly téměř totožně. Více viz kapitola 7.3.



Obrázek 8-10 Vliv změny rychlosti na použitý filtr



Obrázek 8-11 Vliv změny rychlosti na použitý filtr

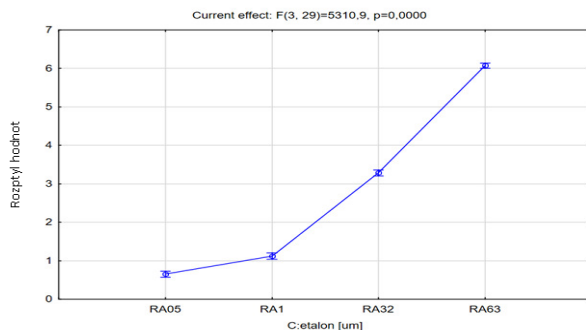
Zároveň tento III test sloužil i pro potvrzení či vyvrácení těchto výše popsaných poznatků. Na základě plánovaného experimentu v testu III bylo provedeno hodnocení vlivu softwarových filtrů. Ověření bylo provedeno vyhodnocením v programu MATLAB za pomoci statistické analýzy ANOVA.

Na základě systému použitého vyhodnocení není možné uspořádat výsledky pro jednotlivé testované hodnoty drsnosti do jednoho přehledného grafu. Data je možno vygenerovat v grafech v podobě, která je možno vidět na grafech na obrázcích č. 8-12 až 8-16. Na základě těchto grafů, je velmi obtížně vyhodnocuje vliv použitého filtru v porovnání vůči zbylým testovaným filtrům.

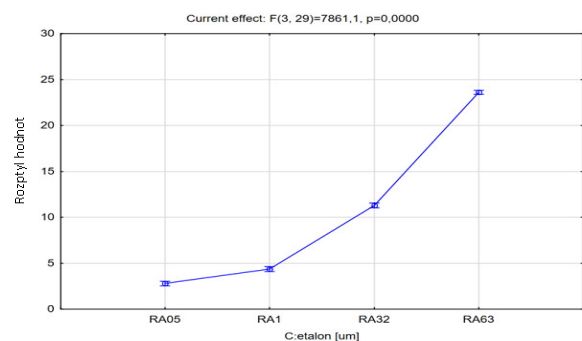
Na základě grafů na obrázcích č. 8-12; 8-13 a 8-14 lze sice provést porovnání dosažených výsledků mezi sebou, ale je velmi obtížné najít trendy pro používání softwarových filtrů při změně drsnosti povrchu. Jak je možno vidět na grafech, pro filtry řady 16610 jsou směrodatné odchylky velmi malé, až zanedbatelné. Výsledky obdržené za použití těchto filtrů pro jednotlivé testované drsnosti se mění jen velmi málo.

V případě provádění měření v rámci jedné drsnosti povrchu, jsou rozptyly naměřených dat velmi malé, ovšem v případě změny měřené drsnosti jsou rozdíly velmi značné. Největší rozptyl hodnot mezi rozdílnými drsnostmi má filtr 16610-22.

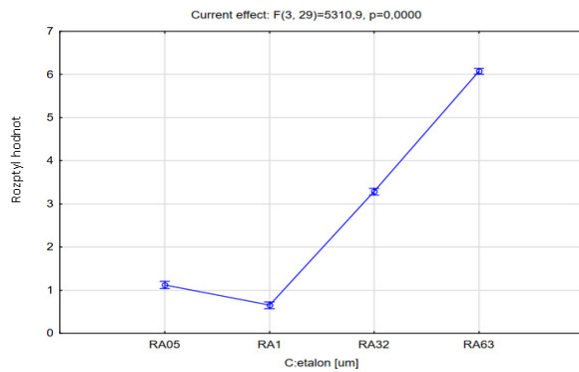
Opačný efekt má změna testované drsnosti u filtrů 0601 a 4768. U těchto filtrů jsou směrodatné odchylky v rámci jedné testované drsnosti velmi výrazné, ale při změně hodnoty měřené drsnosti již k rozdílným téměř nedochází, viz grafy na obrázcích č. 8-15 a 8-16.



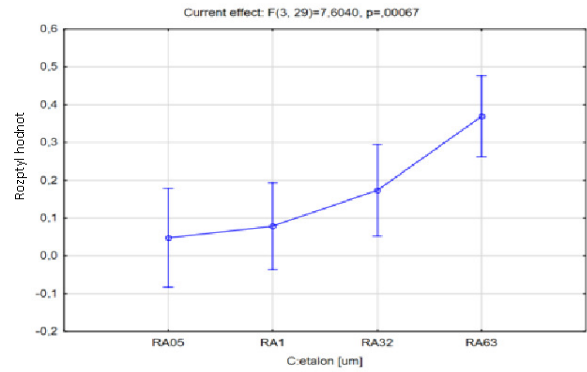
Obrázek 8-12 Vliv použitého filtru 16610-21 při změně drsnosti povrchu



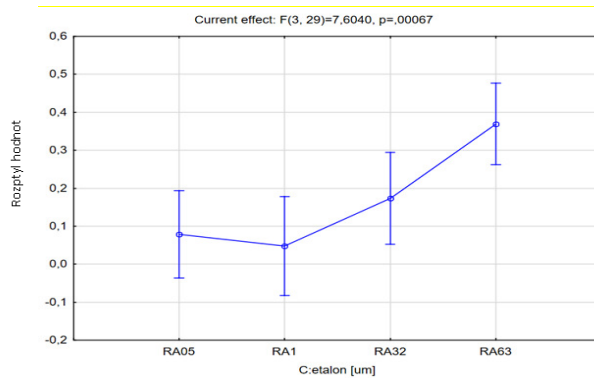
Obrázek 8-13 Vliv použitého filtru 16610-22 při změně drsnosti povrchu



Obrázek 8-14 Vliv použitého filtru 16610-31 při změně drsnosti povrchu

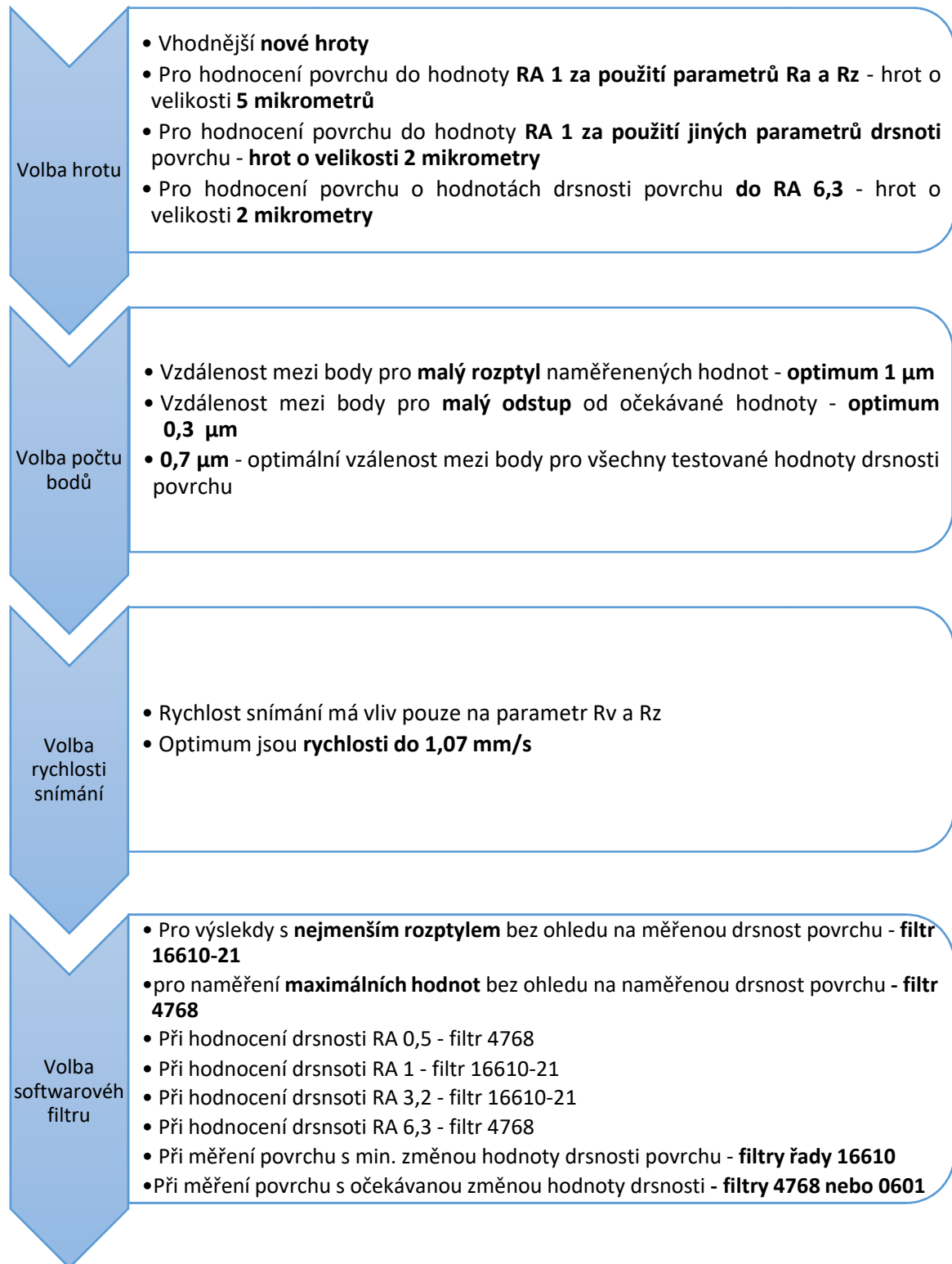


Obrázek 8-15 Vliv použitého filtru 4768 při změně drsnosti povrchu



Obrázek 8-16 Vliv použitého filtru 0601 při změně drsnosti povrchu

Na základě předchozího soupisu poznatků byla vytvořena metodiky volby softwarového filtru při měření drsnit povrchu. Tato metodiky je zobrazena na obrázku č. 8-17 na straně 94.



Obrázek 8-17 Metodika volby softwarového filtru

Př.:

Při hodnocení povrchu s očekávanou hodnotu drsnosti RA 0,5, za pomoci parametrů Ra a Rz s velkým počtem měření provedených pro test

- Hrot o velikosti 5 mikrometrů
- Počet bodů reprezentovaný vzdáleností mezi body 1 μm
- Rychlost měření 0,5 mm/s
- Použitý filtr 4768

9 Závěr

Vývoj měření a hodnocení struktury povrchu zaznamenal v uplynulých letech výrazný kvalitativní technický pokrok. Přední výrobci měřicí techniky (Hommel CS s.r.o., Carl Zeiss spol. s.r.o., aj.) aktivně reagovali na nové požadavky. Vývoj měřicí techniky je výrazně ovlivňován i technickými potřebami uživatelů a jejich ekonomickými možnostmi. Vzhledem k tomu, že pro kontrolu struktury povrchu se používají mnohdy jednoúčelová měřicí zařízení, jsou jedněmi z hlavních tvůrců zvyšování tlaku na zpracování norem při hodnocení kvality měření opracovaných ploch, sami výrobci těchto strojů. [26]

Výsledkem tohoto komplexního vývoje je nejen zvyšování technické úrovně stávajících měřicích a vyhodnocovacích prostředků pro strukturu povrchu, ale i připravovaných metodik, měřicích systémů a systému posuzování a hodnocení struktury povrchu. [26] Systém posuzování a hodnocení struktury povrchu je definován rozsáhlým souborem norem, které popisují označování, měření, hodnocení struktury povrchu popř. kalibrační měřicích přístrojů atd. Jedná se o tzv. normy GPS, které blíže specifikují geometrické požadavky na výrobky. [16]

Pro splnění všech požadavků hodnocení struktury povrchu je nutné držet krok s dobou a mít stále pod kontrolou nové možnosti a poznatky z oblasti měření a hodnocení integrity povrchu. A tyto poznatky implementovat do reálných podmínek užití.

V oblasti popisované touto disertační prací, oblastí volby softwarových filtrů, tomu tak není. A jako hlavní důvod je malá informovanost a velká složitost volby vhodné kombinace možných postupů a technik nastavení softwarových filtrů.

Proto cílem této práce je nastavení metodiky volby softwarových filtrů. Pro účely, aby práce dosáhla svého cíle, je práce členěna do 7 kapitol, které tomu mají napomoci. Těchto 7 kapitol je rozděleno do čtyř velkých celků.

První celek (kapitoly 1 až 4) je teoretický úvod do problematiky měření drsnosti povrchu, v této části je definován cíl práce a je zde popsán i důvod vzniku této práce.

Druhá část práce (kapitola 5) obsahuje teoretické poznatky potřebné pro nastavení testu pro volbu softwarových filtrů, která na tuto část navazuje.

Třetí část (kapitoly 6 a 7) této práce obsahuje ty nejdůležitější informace celé práce. V těchto kapitolách jsou popsány testy provedené pro nastavení metodiky volby softwarových filtrů a to včetně vyjádření nejistot měření. V rámci práce byly provedeny tři testy, v rámci kterých bylo testováno vlivu vybraných parametrů nastavení stroje, které jsou potřebné pro vytvoření metodiky volby softwarových filtrů při měření drsnosti.

Čtvrtý velký celek této práce je kapitola 8. Tato kapitola sumarizuje veškeré poznatky z provedených testů včetně závěrečného ověření správnosti vytvořených hypotéz v průběhu testování. Na základě těchto poznatků byla vytvořena metodika volby softwarových filtrů pro měření drsnosti povrchu.

Metodika je rozdělena do 4 kroků. První krok metodiky je volba optimální velikosti hrotu stylusu. V druhém kroku je potřeba navolit optimální vzdálenost mezi nasnímanými body. Ve třetím kroku se volí rychlost posuvu stylusu při snímání primárního profilu. Čtvrtý (poslední) krok metodiky je volba softwarového filtru, viz obrázek č. 8-17. Pro zajištění správného

hodnocení struktury povrchu v rámci hodnocení integrity povrchu je důležité žádný z těchto kroků neopomíjet.

Veškeré informace popsané v této disertační práci jsou pro periodický povrch součásti. V blízké budoucnosti je plánováno stejné testy provést i na dílech s neperiodickým povrchem součástí a konfrontovat výsledky mezi sebou. A následně se pokusit poznatky zavést do praxe.

10 Citovaná literatura

- [1] ...ISO/TS 16610-1 Technical specification ISO/TS 16610. Geometrical products specifications (GPS) - Filtration, 2015.
- [2] ...ČSN EN ISO 16610-20. Geometrická specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 20: Lineární profilové filtry: Základní koncepce. Brusel: unzm, 2015.
- [3] ...ČSN ISO/TS 16610-21 Geometrické specifikace produktu (GPS) - Filtrace - Část 21: Lineární profilové filtry: Gaussovy filtry. Praha: ÚNMZ, Květen 2012
- [4] ... ISO/TS 16610-22 Geometrical products specifications (GPS) - Filtration - Part 22: Linear profile filters: Spline filter. Geneva, Ed 1, November 2016.
- [5] ... ČSN EN ISO 16610-61. Geometrical products specification (GPS) – Filtration – Part 61: Linear area filters: Gaussian filters, 2016.
- [6]...ČSN EN ISO 13565-1. Geometrická požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda, povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti - část 1.: Filtrace a všeobecné podmínky měření. Praha: unzm, 1997.
- [7] ... ČSN EN ISO 25178-2. Geometrická požadavky na výrobky (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: unzm, 2012.
- [8] ... ČSN EN ISO 16610-40. Geometrical products specification (GPS) – Filtration – Part 40: Morphological profile filter: Basic concepts, 2016.
- [9] ... ČSN EN ISO 16610-71. Geometrická požadavky na výrobky (GPS) - Filtrace - Část 71: Robustní plošné filtry: Gaussovy regresní filtry. Praha: unzm, 2015.
- [10] ... ČSN EN ISO 16610-29. Geometrical products specifications (GPS) – Filtration – Part 29: Linear profile filters: Spline wavelets: 2015
- [11]...MELICHAR, Martin; KUBÁTOVÁ Dana; KUTLWAŠER Jan. Zpracování dat robotického měřicího pracoviště. Sborník konference: 5. Mezinárodní konference ICTKI 2014. Litoměřice 29. – 30. 1.2014 Česká republika ISBN 978-80-7414-679-4
- [12] ...http://www.ateam.zcu.cz/download/Integrita_Urban1.pdf [online]. [2016-06-26].
- [13] ...http://integrita.zcu.cz/download/skola2/plzen_prez1.pdf [online]. [2016-06-26].
- [14] ...Cut-off a měření drsnosti povrchu. In: Imeco-TH Dostupné z: http://www.imeco-th.eu/Download/Clanky/TH_News_Cut-off.pdf [online]. [2016-06-26].
- [15] ... <https://managementmania.com/cs/smart>[online]. [2016-06-27].
- [16] ... ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1. Brusel: CEN, 1999.
- [17] ... ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1. Brusel: CEN, 1999.
- [18] ... ČSN EN ISO 3274. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Jmenovité charakteristiky dotkových (hrotových) přístrojů. 1. Brusel: CEN, 1999.

- [19] ... ČSN EN ISO 12085. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Parametry metody motif. 1. Brusel: CEN, 1999.
- [20] ... ČSN EN ISO 13565-3. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda; povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti - část 3: Výškové charakteristiky využívající pravděpodobností křivku materiálu. 1. Brusel: CEN, 2001.
- [21] ... <http://www.digitalsurf.fr/en/guidefiltrationtechniques.html>[online]. [2016-06-27].
- [22] ... <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/120/jres.120.010.pdf>[online]. [2016-06-27].
- [23]... http://eprints.hud.ac.uk/3980/1/p7.51_zeng.pdf[online]. [2016-06-27].
- [24] ... <http://mlg.eng.cam.ac.uk/pub/pdf/DeiTurbeta12.pdf>[online]. [2016-06-27].
- [25] ... <http://www.imeko.org/publications/tc10-2014/IMEKO-TC10-2014-028.pdf>[online]. [2016-06-27].
- [26] ... <http://www.mmspektrum.com/clanek/pokrok-v-mereni-a-hodnoceni-struktury-povrchu-2.html>[online]. [2016-07-27].
- [27] ...<http://m.mmspektrum.com/clanek/pokrok-v-hodnoceni-textury-povrchu>[online]. [2016-07-27].
- [28] ... ISO/TS 16610-31:2010 Geometrical products specifications (GPS) - Filtration - Part 31: Robust profile filters: Gaussian regression filters
- [29] ... ISO/TS 16610-32 Geometrical products specifications (GPS) - Filtration - Part 32: Robust profile filters: Spline filters, Geneva, Ed 1, March 2009
- [30] ... ČSN ISO/TS 16610-49 Geometrické specifikace produktu (GPS) - Filtrace – Část 49: Morfologické profilové filtry - Techniky scalespac. Praha: ÚNMZ, Červen 2015
- [30] ... TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie část 2, základy řízení jakosti. 1. vyd. Nad názvem: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní Dotisk r. 2008
- [31]...<http://m.mmspektrum.com/clanek/3d-analyzy-a-filtrace-profilu-povrchu>[online]. [2016-08-27].
- [32]...GURA, Tomáš. Stanovení přijatelných nejistot filtrů používaných v oblasti metrologie. Praha, 2015. Diplomová. ČVÚT Praha. Vedoucí práce Ing. BcA. Jan Podaný, Ph.D.
- [33]...WHITEHOUSE, D. J. Handbook of surface and nanometrology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 9781420082012.
- [34]...ŠTEFAN, Vojtěch. Filtrace dat při měření drsnosti povrchu. Plzeň, 2014. Diplomová práce (Ing.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Zdeněk Pospěch
- [35]...<http://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>[online]. [2016-08-27]
- [36]...http://www.techno-mat.cz/data/katedry/kom/KOM_MM_PR_10_CZE_Karasek_Geometricke_vlastnosti_povrchu.pdf[online]. [cit. 2015-02-01].
- [37]...http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/41_Tykal_TNK7.pdf[online]. [2016-08-27]
- [38]...http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2606_Tykal_GPS.pdf [online]. [2016-08-27]

- [39]...ČSN EN ISO 13565-2. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Strukturapovrchu: Profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti - Část 2:Výškové charakteristiky využívající křivku lineárního poměru materiálu 1. Brusel: CEN, 1999.
- [40] ... ISO/TS 16610-30:2009 Geometrical products specifications (GPS) - Filtration - Part 30: Robust profile filters: Basic concepts, Geneva, Ed 1, March 2009
- [41]...keyence.com [cit. dne 30. 11. 16] On-line
http://www.keyence.com/Images/ss_marking_roughness_equipment_img_1_03.jpg
- [42] ... https://web.vscht.cz/~kocourev/files/QA_nejistoty-print.pdf[online]. [cit. 2018-08-10].
- [43] ... TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie: část 1. 1. Ostrava, 2004.
- [44] ... Palenčár, R.: "Nejistoty v měření I: vyjadřování nejistot", Automa, strana 50, 7-8 2001
- [45] ... Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (Směrnice pro vyjadřování nejistoty při měření). BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML, 1993
- [46] ... Vhodnost kontrolních procesů: vhodnost měřicích systémů, vhodnost procesů měření a kontroly, rozšířená nejistota, posuzování shody. Praha: Česká společnost pro jakost, 2011. Management jakosti v automobilovém průmyslu. ISBN 978-80-02-02307-4
- [47] ... https://cs.wikipedia.org/wiki/Anal%C3%BDza_rozptylu[online]. [cit. 2018-08-16].
- [48] ... MELICHAR, Martin. Náhrada dotykové justace kruhoměru metodou bezdotykovou. Plzeň, 2011. Disertační práce (Ph.D.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [49] ... <https://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/tribology/topography.php> online]. [cit. 2018-08-10].
- [50] ... KUTLWAŠER, Jan. Integrovatelný manipulační systém pro metrologii s diagnostikou. Plzeň, 2017. Disertační práce (Ph.D.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [51] ... KUBÁTOVÁ, D., MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J. Software filters of surface roughness. *ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ* 295, *Mechanika* 89, 2017, roč. XXXIV, č. 3, s. 333-341. ISSN: 0209-2689
- [52] ... KUBÁTOVÁ, D., MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J. Impact of stylus size in roughness measurement. In *Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium*. Vienna: DAAAM International, 2017. s. 457-466. ISBN: 978-3-902734-11-2 , ISSN: 1726-9679

Seznam publikovaných prací

Seznam již publikovaných vlastních prací vztahujících se k tématu disertace:

- [1] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J. Software filters of surface roughness. *ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ 295, Mechanika 89*, 2017, roč. XXXIV, č. 3, s. 333-341. ISSN: 0209-2689
- [2] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J. Impact of stylus size in roughness measurement. In *Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium*. Vienna: DAAAM International, 2017. s. 457-466. ISBN: 978-3-902734-11-2 , ISSN: 1726-9679
- [3] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M., PEREIRA, A. Comparative study of tribological behaviour of polyamide and ABS polymers after processing by injection. In *Proceedings of the 11th International DAAAM Baltic Conference "Industrial Engineering"*. DAAAM International, 2016. ISBN: 978-1-5108-2263-4 , ISSN: 2346-612X
- [4] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M., PEREIRA, A. Tribological Behaviour of PA6,6+15%GF and ABS Made by Injection. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Materials, Mechanics and Structural Engineering*. Neueden: Trans Tech Publications, 2017. s. 117-122. ISBN: 978-3-03835-757-5 , ISSN: 1662-7482
- [5] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M., PEREIRA, A. Tribological testing of polymeric material. In *Proceedings of the 27th DAAAM International Symposium*. Vienna: DAAAM International, 2016. s. 428-434. ISBN: 978-3-902734-08-2 , ISSN: 1726-9679
- [6] MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J., **KUBÁTOVÁ, D.** INFLUENCE OF INITIAL SETUP OF PARTS BEFORE ROUGHNESS EVALUATION. In *Proceedings of the International Conference of DAAAM Baltic "Industrial Engineering"*. Estonsko: DAAAM International, 2015. s. 52-56. ISBN: 978-1-5108-2263-4 , ISSN: 2346-612X
- [7] **KUBÁTOVÁ, D.** Systém filtrace drsnosti povrchu. In *MANUFACTURING TECHNOLOGY - PILSEN 2017: Conference proceeding*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2017. s. 1-8. ISBN: 978-80-261-0636-4

Seznam nepublikovaných vlastních prací vztahujících se k tématu disertace:

- [1] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J., Influence of CMM Velocity for Evaluation Precision. *Nové poznatky v technologiích a technologické informace. ICTKI 2018*.
- [2] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M., Post Processing of Roughness Raw Data, ICMEP 2018
- [3] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M., Evaluation of the Influence of the Number of Points on the measured,

Seznam již publikovaných vlastních prací nevztahujících se k tématu disertace:

- [1] MELICHAR, M., **KUBÁTOVÁ, D.**, KUTLWAŠER, J. CMM measuring cycle and human factor. In *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. Vienna: Danube Adria Association for Automation and Manufacturing, DAAAM, 2016. s. 371-376. ISBN: 978-3-902734-08-2 , ISSN: 1726-9679
- [2] MELICHAR, M., **KUBÁTOVÁ, D.**, KUTLWAŠER, J. Zpracování dat z robotického měřicího pracoviště. *Strojírenská technologie*, 2014, roč. 19, č. 1, s. 37-42. ISSN: 1211-4162
- [3] MELICHAR, M., **KUBÁTOVÁ, D.**, KUTLWAŠER, J., SKLENIČKA, J. Zpracování dat z automatizovaného měřicího pracoviště. In *Recenzovaný sborník příspěvků interdisciplinární mezinárodní vědecké konference doktorandů a odborných asistentů*. Hradec Králové: MAGNANIMITAS, Hradec Králové, 2014. s. 1575-1584. ISBN: 978-80-87952-04-7
- [4] MELICHAR, M., **KUBÁTOVÁ, D.** Processing data from automatic measurement device. In *Procedia Engineering*. Vídeň: DAAAM International Vienna, 2015. s. 899-906. ISBN: 978-3-901509-99-5 , ISSN: 1877-7058
- [5] MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J., **KUBÁTOVÁ, D.** Effect of sweat aggressiveness on parameters of surface integrity. In *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. Zadar: Danube Adria Association for Automation and Manufacturing, DAAAM, 2016. s. 536-541. ISBN: 978-3-902734-07-5 , ISSN: 1726-9679
- [6] MELICHAR, M., **KUBÁTOVÁ, D.**, KUTLWAŠER, J. Influence of CMM velocity on scanning precision. In *Proceedings of the 28th DAAAM International Symposium*. Vienna: DAAAM International, 2017. s. 400-409. ISBN: 978-3-902734-11-2 , ISSN: 1726-9679
- [7] **KUBÁTOVÁ, D.** Automatic measuring workplace. In *Strojírenská technologie – Plzeň 2015: Sborník příspěvků*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. s. 114-121. ISBN: 978-80-261-0304-2
- [8] **KUBÁTOVÁ, D.** Processing robotic measuring unit data. In *Soutěžní přehlídka studentských a doktroských prací*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. s. 1-6. ISBN: 978-80-261-0509-1
- [9] MELICHAR, M., **KUBÁTOVÁ, D.**, KUTLWAŠER, J. Zpracování dat z robotického měřicího pracoviště. In *5. Mezinárodní konference ICTKI 2014: Sborník příspěvků*. Ústí nad Labem: Unverzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem (UJEP), 2014. s. 240-247. ISBN: 978-80-7414-679-4
- [10] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M. *Zpracování dat z robotického měřicího pracoviště*. 2015.

Ověřená technologie:

- [1] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M. *Zabezpečování kvality, řízení rizik a metrologie*. Plzeň, 2017.

Poustry a přednášky:

[1] MELICHAR, M., **KUBÁTOVÁ, D.**, KUTLWAŠER, J. *Zpracování dat z robotického měřicího pracoviště*. Litoměřice, 2014.

[2] **KUBÁTOVÁ, D.**, MELICHAR, M. *Zabezpečování kvality, řízení rizik a metrologie*. Plzeň, 2017.

[3] **KUBÁTOVÁ, D.** *Processing robotic measuring unit data*. Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni, 2015.

Výzkumná zpráva:

[1] MELICHAR, M., KUTLWAŠER, J., **KUBÁTOVÁ, D.** *Bezkontaktní analýza prototypových technologií*. WITTE Nejdek, spol. s r.o., 2016.