

Vliv parametrů snímání na výsledek měření jakosti povrchu

Bc. Adéla Hořáková

Diplomová práce
2016



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Adéla Hořáková**
Osobní číslo: **T14562**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Vliv parametrů snímání na výsledek měření jakosti povrchu**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární studii na dané téma
2. Stanovení podmínek měření
3. Měření kontrolovaných parametrů
4. Zpracování a vyhodnocení naměřených dat

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

-NOVÁK, Zdeněk. Prostorové měření a hodnocení textury povrchu přístroji Taylor Hobson Ltd. [online]. c2010. Dostupné z WWW
<http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf>. - PATA, V.:
Měření jakosti povrchu [online]. Dostupné z:http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=1985 -
PERNIKÁŘ, Jiří, Miroslav TYKAL a Josef VAČKÁŘ. Jakost' a metrologie: Metrologie. Brno:
Akademické nakladatel'stvo CERM, s. r. o., 2001. ISBN 80-214-1997-0. - Dále dle
doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Řezníček, PhD.**
Ústav výrobního inženýrství

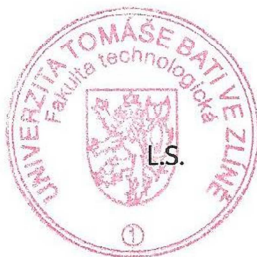
Datum zadání diplomové práce: **8. ledna 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2016**

Ve Zlíně dne 26. ledna 2016



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

Příjmení a jméno:HOŘÁKOVÁ ADELA.....

Obor:PÍZEŇ VAKOSTI.....

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užit své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně12.5.2016.....

..........

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlázení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vlivem parametrů snímání na výsledek měření jakosti povrchu. Byl měněn parametr rychlosti měření a druh měřicího přístroje.

V teoretické části je popsána problematika jakosti povrchu, parametrů jakosti povrchu, způsoby měření jakosti povrchu, metody měření povrchů a vyhodnocení výsledků měření.

V praktické části jsou popsány cíle diplomové práce, měřicí přístroje použité při měření, měřené vzorky, podmínky měření, příprava vzorků a zpracování naměřených dat.

Naměřená data byla zkontrolována, zpracována, analyzována a vyhodnocena.

Klíčová slova: kvalita povrchu, drsnost povrchu, rychlost měření

ABSTRACT

This thesis is concerning to detecting the influence of the shooting on the measurement of surface quality. Parameter was change by speed of measuring and the type of measuring device.

The theoretical part describes the problems of surface quality, parameters of surface quality, ways of measuring the surface quality, surface measurement methods and evaluation of results.

The practical part describes the goals of the thesis, measuring instruments used in the measurement, measured samples, measuring conditions, sample preparation and data processing.

The measured data was checked, processed, analyzed and evaluated.

Keywords: surface quality, surfaceroughness, speed measurement

Ráda bych poděkovala Ing. Martinu Řezníčkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a pomoc, kterou mi věnoval při vypracovávání diplomové práce. Také bych ráda poděkovala firmě PRIMA BILAVČÍK, s.r.o. za možnost měření na přístroji Mahr.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 JAKOST POVRCHU	12
1.1 NORMY ZABÝVAJÍCÍ SE JAKOSTÍ POVRCHU	12
1.2 DŮLEŽITÉ POJMY	13
2 PARAMETRY JAKOSTI POVRCHU	15
2.1 VÝŠKOVÉ (AMPLITUDOVÉ) PARAMETRY	15
2.1.1 Střední aritmetická úchylka profilu Ra	15
2.1.2 Výška nerovnosti profilu z deseti bodů Rz	16
2.1.3 Průměrná kvadratická úchylka profilu drsnosti Rq.....	17
2.1.4 Celková výška profilu drsnosti Rt.....	17
2.1.5 Největší hloubka prohlubně profilu drsnosti Rv	18
2.2 TVAROVÉ (HYBRIDNÍ) PARAMETRY	18
2.2.1 Průměrný aritmetický sklon profilu drsnosti Rda	18
2.2.2 Průměrný kvadratický sklon profilu drsnosti Rdq	19
2.3 DÉLKOVÉ PARAMETRY	19
2.3.1 Průměrná šířka prvků profilu drsnosti RSm.....	19
2.4 KŘIVKA MATERIÁLOVÉHO POMĚRU	19
2.5 PRAVIDLA PRO HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU	21
2.5.1 Pravidlo 16%	21
2.5.2 Pravidlo maxima	21
3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU	22
3.1 PODMÍNKY MĚŘENÍ	22
3.2 FILTRACE	24
4 METODY MĚŘENÍ POVRCHŮ	26
4.1 DOTYKOVÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	26
4.1.1 Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji	28
4.1.2 Měření parametrů profilu drsnosti	28
4.2 BEZDOTYKOVÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE	30
5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	33
5.1 STATISTICKÝ SOUBOR	33
5.2 ARITMETICKÝ PRŮMĚR.....	33
5.2.1 Vlastnosti aritmetického průměru	34
5.3 MEDIÁN	34
5.4 SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	35
5.5 TEORIE HYPOTÉZ.....	35
5.5.1 Hypotéza o rozptylech a F-test.....	36
II PRAKTICKÁ ČÁST	38
6 CÍLE PRAKTICKÉ DIPLOMOVÉ PRÁCE	39
7 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE POUŽITÉ PŘI MĚŘENÍ	40

7.1	TAYLOR HOBSON FORMTALYSURF 50	40
7.2	MITUTOYO SJ-410	41
7.3	MAHR MARSURF XR 20 S POSUVOVOU JEDNOTKOU GD 120	42
8	MĚŘENÉ VZORKY	44
9	PODMÍNKY MĚŘENÍ.....	45
9.1	TAYLOR HOBSON FORMTALYSURF 50	45
9.2	MITUTOYO SJ-410	46
9.3	MAHR MARSURF GD 120	47
10	PŘÍPRAVA VZORKŮ.....	48
10.1	OČIŠTĚNÍ.....	48
10.2	KALIBRACE PŘÍSTROJE	48
10.3	KONTROLA POVRCHU A NALEZENÍ VHODNÝCH OBLASTÍ	48
11	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	50
11.1	KONTROLA DAT.....	50
11.2	GRAFY CHYBOVÝCH ÚSEČEK ROZDĚLENÝCH PODLE MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ	51
11.2.1	Parametr Ra	51
11.2.2	Parametr Rt.....	53
11.2.3	Parametr Rz	56
11.2.4	Parametr RSm	59
11.3	GRAFY CHYBOVÝCH ÚSEČEK ROZDĚLENÝCH PODLE MĚŘICÍCH RYCHLOSTÍ.....	62
11.3.1	Parametr Ra	63
11.3.2	Parametr Rt.....	66
11.4	DENDROGRAMY	68
	ZÁVĚR	72
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	74
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	79
	SEZNAM TABULEK.....	81
	SEZNAM PŘÍLOH.....	82

ÚVOD

S rozvojem průmyslu v dnešní době, také rostou nároky zákazníků na výrobky. Dalším důvodem pro zvyšující se kvalitu výrobků v podniku je konkurenční boj mezi firmami. To vede také k rozvoji měřicí techniky, protože je třeba kontrolovat výrobek, aby vyhovoval tolerancím, které jsou zadány zákazníkem. Postupem času se přidala i kontrola povrchu výrobků, protože má vliv např. při mazání kuličkových ložisek. To souvisí s tím, že pro různé účely jsou zapotřebí různě drsné povrchy a to je předepisováno do výrobních výkresů. V těchto výkresech se většinou předepisuje drsnost povrchu formou parametru Ra. Díky tomu si ve firmě určí, jakou technologií se povrch vyrobí a zda je potřeba dokončovací operace. Pokud je potřeba na výrobku mít hladký povrch, tak to samozřejmě stojí firmu více peněz a i času zaměstnanců, než tento požadavek na výrobek splní. Pro dílenskou kontrolu drsnosti povrchu se používají přístroje s kontaktním způsobem měření. Tyto přístroje mívají snadnější ovládání, kompaktnější rozměry a jsou i levnější než bezkontaktní přístroje, které tvoří druhou skupinu měřicích přístrojů pro měření jakosti povrchu.

Ve firmách různě dbají na dodržování norem při měření, proto je možnost rozdílných výsledků měření. Ty mohou být zapříčiněny např. rychlostí měření, nebo třeba i vlivem měřidla, který by ale být neměl. Proto se tato diplomová práce zabývá zjištěním vlivu rychlosti měření na naměřené hodnoty. Tento výzkum probíhal na 3 kontaktních měřicích přístrojích značek Taylor Hobson, Mitutoyo, Mahr, aby se zjistil i vliv měřidla na naměřené výsledky.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 JAKOST POVRCHU

Úkolem metrologie povrchu je získání komplexně přesného popisu geometrických a fyzikálních vlastností povrchu a jejich vztahu k funkčním požadavkům, příp. k posouzení změn stavu povrchu v průběhu jeho funkčního zatěžování.

Z významu struktury povrchu pro jeho funkci vyplývá nutnost měření a hodnocení jeho charakteristik. K získání komplexní informace o povrchu jsou stále ověřovány další způsoby hodnocení struktury povrchu, které by umožnily přiřazení jednotlivých měřených parametrů k vlastnostem povrchu a podmínkám jeho vzniku. Přitom je sledováno nejen vyjádření vztahu mezi strukturou povrchu a jeho funkcí, ale i možnosti kvantitativní prognózy chování povrchu v provozu nebo stanovení technologických podmínek pro vytvoření povrchu s určitými funkčními vlastnostmi. [9]

1.1 Normy zabývající se jakostí povrchu

V současné době nám jakost povrchu, jeho parametry a charakteristiky specifikují tyto normy:

ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pojmy, definice a parametry struktury povrchu*

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

ČSN EN ISO 12 085. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Parametry metody Motif*

ČSN EN ISO 13 565-1. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 1: Filtrace a všeobecné podmínky měření*

ČSN EN ISO 13 565-2. *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. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: profilová metoda; Povrchy mající stratifikované funkční vlastnosti – Část 3: Výškové charakteristiky využívající pravděpodobnostní křivku materiálu*

ČSN EN ISO 16 610-21. *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Filtrace – Část 21: Lineární profilové filtry: Gaussovy filtry*

1.2 Důležité pojmy

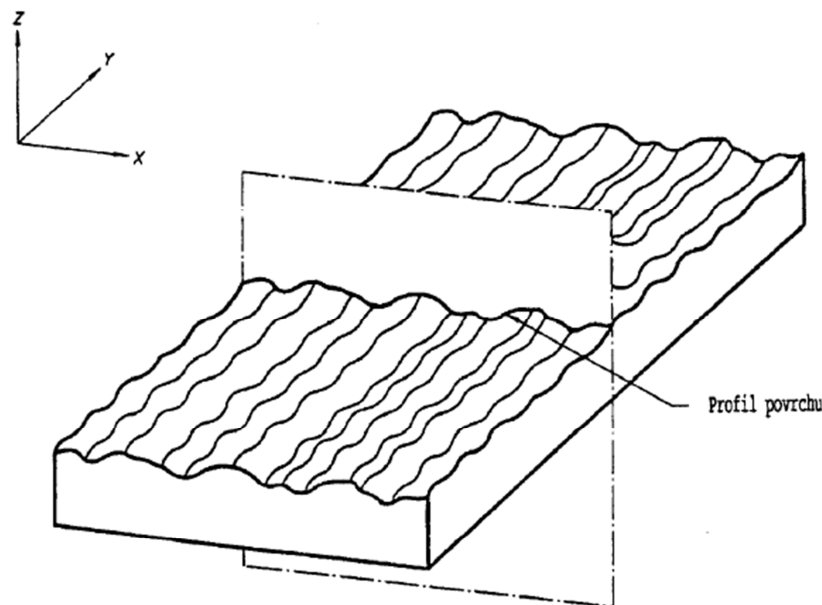
Mikronerovnost – jemná nerovnost (drsnost povrchu) – je charakterizována stopami, které zanechává řezný nástroj, případně brusivo

Makronerovnost – rozlehlejší periodická nerovnost (vlnitost povrchu) – nejčastěji způsobující vibrace soustavy stroj-nástroj-obrobek-prostředí. [3]

Filtr profilu – filtr rozdělující profily na krátkovlnné a dlouhovlnné složky. V přístrojích pro měření drsnosti, vlnitosti a základního profilu jsou používány tři filtry, které jsou definované v ISO 11562. Mají stejné přenosové charakteristiky, ale rozdílné hodnoty mezní vlnové délky cut-off.

- **Filtr profilu λ_s** – definuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu
- **Filtr profilu λ_c** – definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti
- **Filtr profilu λ_f** – definuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu

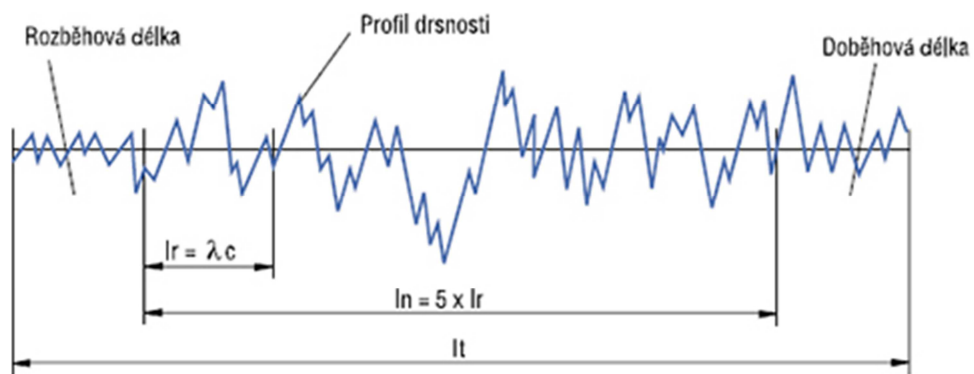
Profil povrchu – profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu s danou rovinou.



Obr. 1 Profil povrchu [4]

Profil drsnosti – profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λc

Základní délka (l_p , l_r , l_w) – délka ve směru osy X, použitá pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil- zobrazeno na Obr. 2.



Obr. 2 Základní délka [20]

Vyhodnocovaná délka (l_n) – délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu [4]

2 PARAMETRY JAKOSTI POVRCHU

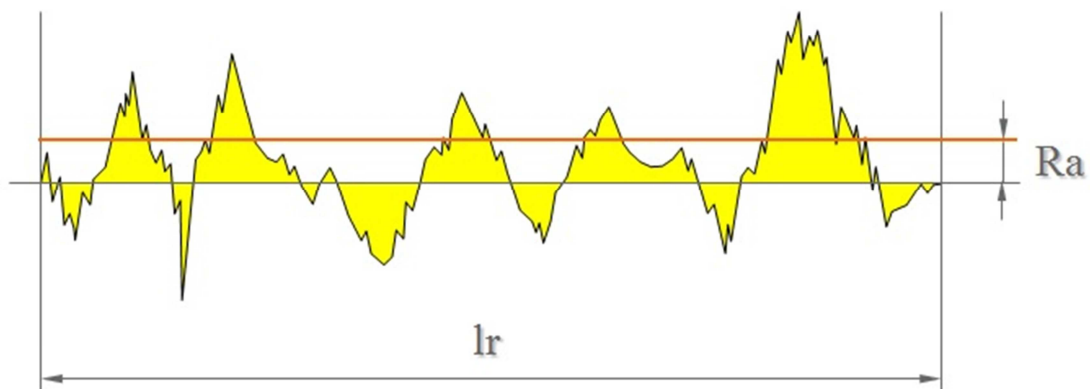
Standardně jsou parametry profilu povrchu rozděleny do tří skupin podle kvantifikované charakteristiky hodnocení nerovností povrchu: výškové parametry – definovány v ose Z, délkové parametry – definovány v ose X a hybridní parametry – definovány v osách X a Z. [5]

2.1 Výškové (amplitudové) parametry

Výškové parametry jsou určeny pouze výškami výstupků a prohlubní nebo jejich kombinacemi, bez ohledu na jejich rozměry v horizontálním směru. [7]

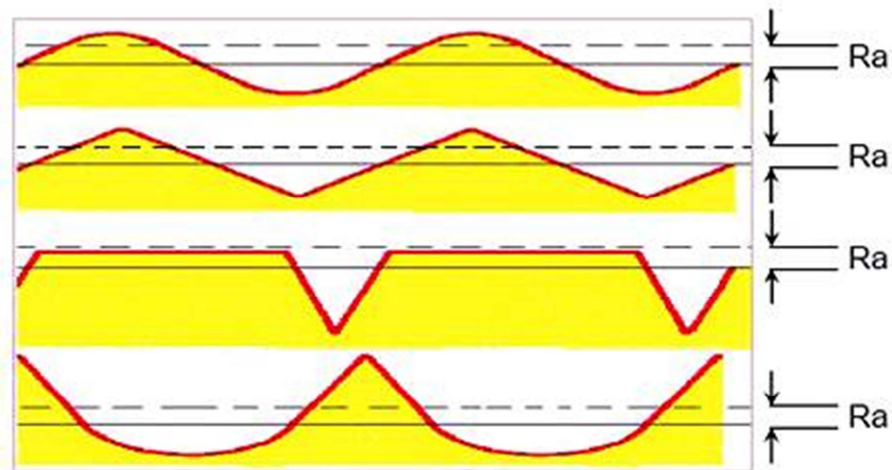
2.1.1 Střední aritmetická úchylka profilu R_a

Je to přednostní výškový parametr drsnosti povrchu. Charakterizujeme ho jako střední aritmetickou hodnotu absolutních úchylek profilu v rozsahu základní délky.



Obr. 3 Střední aritmetická úchylka profilu R_a [3]

Nevýhodou tohoto parametru je to, že ve své podstatě udává pouze střední hodnotu vzdáleností souřadnic jednotlivých bodů profilu zkoumaného povrchu od střední čáry profilu. Je pouze statistickou hodnotou, která neuvádí nic víc, než pouze svou základní definici. Z tohoto důvodu nemusí být R_a ve všech případech efektivní při hodnocení drsnosti povrchu a může vést i k omylům v posuzování členitých, pórovitých povrchů, nebo i povrchů porušených hlubokými rýhami nebo trhlinami.

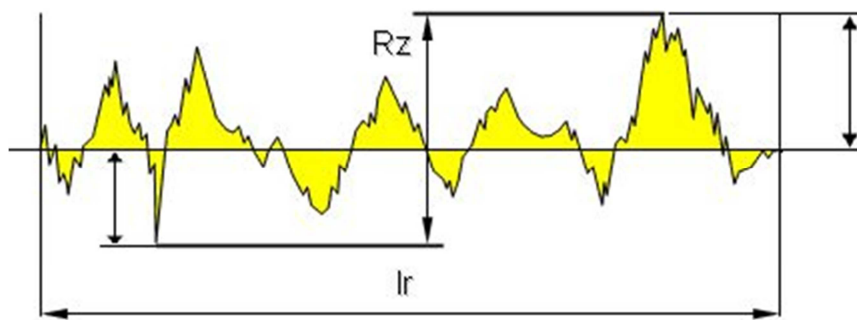


Obr. 4 Stejná hodnota Ra na různých površích [7]

Střední aritmetická úchylka profilu R_a nemůže umožnit představu o tom, jak povrch vytvořený technologickou operací vlastně vypadá. Tato charakteristika je však základní pro popis mikrogeometrie povrchu. Je široce užívána a obhajována, protože hodnocení drsnosti povrchu podle R_a je poměrně levné, ať už s ohledem na pořizovací cenu měřicího přístroje nebo na jednoduchost měření. Získané hodnoty vykazují poměrně značnou přesnost při opakovaném měření. Je zaručeno i jednoduché označování předepsané drsnosti povrchu na dílenských výkresech či jiné výrobní dokumentaci. Není však možné přehlédnout to, že dva povrchy mohou mít stejnou hodnotu R_a , ale mohou mít zcela rozdílné chování z hlediska funkční spolehlivosti.

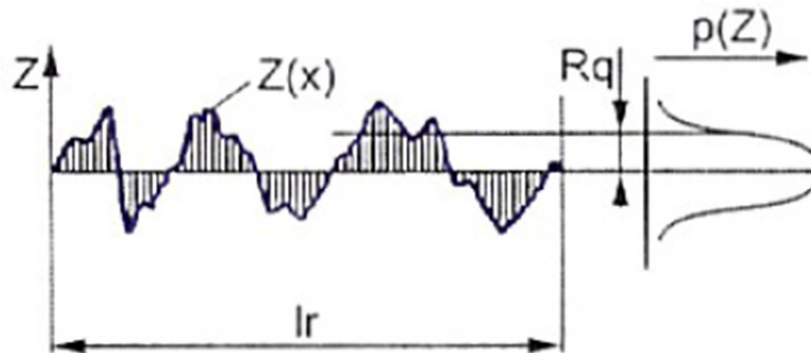
2.1.2 Výška nerovnosti profilu z deseti bodů R_z

Je definována jako střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu a hloubek pěti nejnižších prohlubní profilu v rozsahu základní délky. [1]

Obr. 5 Výška nerovnosti profilu z deseti bodů R_z [13]

2.1.3 Průměrná kvadratická úchylka profilu drsnosti R_q

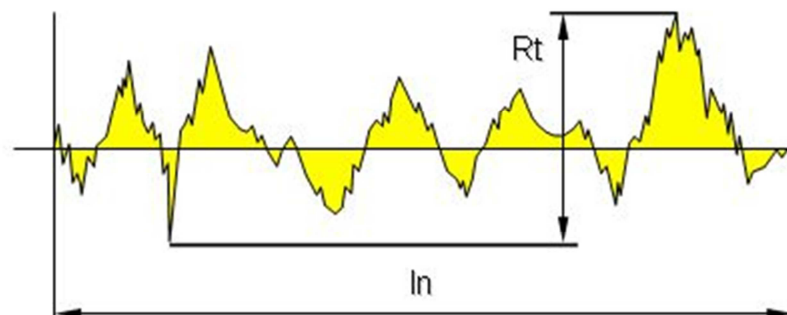
Je to kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. Zpravidla ukazuje vyšší hodnoty než R_a . R_q je citlivější na nežádoucí prohlubně a výstupky zkoumaného povrchu. Ale i pro významnější hodnoty není tento parametr až tak využíván ve všeobecném strojírenství. Hlavní využití nachází zejména v optickém průmyslu.



Obr. 6 Průměrná kvadratická úchylka profilu drsnosti R_q [23]

2.1.4 Celková výška profilu drsnosti R_t

Parametr je především významný u vysoce namáhaných součástí, kde velké hodnoty vzdáleností mezi výstupky a prohlubněmi představují oblasti se sklonem k poškození povrchu trhlinami. Tento výškový parametr může mít velmi proměnlivou a nestálou hodnotu. Hodnotu R_t ovlivňují i jednotlivé rýhy a výstupky profilu povrchu. Tento parametr podobně jako všechny parametry typu výstupek – prohlubeň, je divergentní.



Obr. 7 Celková výška profilu drsnosti R_t [13]

2.1.5 Největší hloubka prohlubně profilu drsnosti R_v

Prohlubně jsou důležité pro udržení maziva na povrchu. Jsou tedy v řadě případů žádoucí, i když naopak jsou prohlubně nejčastěji místem vzniku trhlin a koroze. I zde ale platí, že měření nemusí postihnout všechny extrémní úchytky povrchu. Proto hodnoty parametru R_v získané opakovaným měřením stejného povrchu budou pravděpodobně rozdílné.



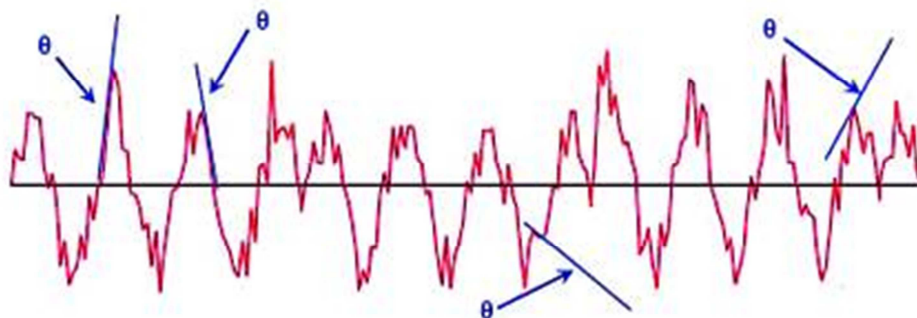
Obr. 8 Největší hloubka prohlubně profilu drsnosti R_v [14]

2.2 Tvarové (hybridní) parametry

Charakterizují spojení kritérií amplitudových s prostorovými, jako jsou sklony, zakřivení, atd.

2.2.1 Průměrný aritmetický sklon profilu drsnosti R_{da}

Průměrný aritmetický sklon, je méně citlivý ke všem mimořádným hodnotám lokálních sklonů v porovnání s R_{dq} a je tak méně vhodný k analýzám extrémně jemných povrchů, u kterých jsou i malé změny důležité a je třeba je zvýraznit. R_{da} je vhodnější pro všeobecné strojírenství a automobilní součástky. [7]



Obr. 9 Průměrný aritmetický sklon profilu drsnosti R_{da} [7]

2.2.2 Průměrný kvadratický sklon profilu drsnosti R_dq

Je to kvadratický průměr sklonů pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky. [4] Je velmi citlivý na všechny mimořádné hodnoty lokálních sklonů, a je proto maximálně vhodný pro analýzy extrémně jemných povrchů, u kterých jsou i malé změny důležité a je nutné je zvýraznit. Typické je použití pro optické a elektronické součástky. [7]

2.3 Délkové parametry

Určují se pouze při roztečích nepravidelností podél plochy.

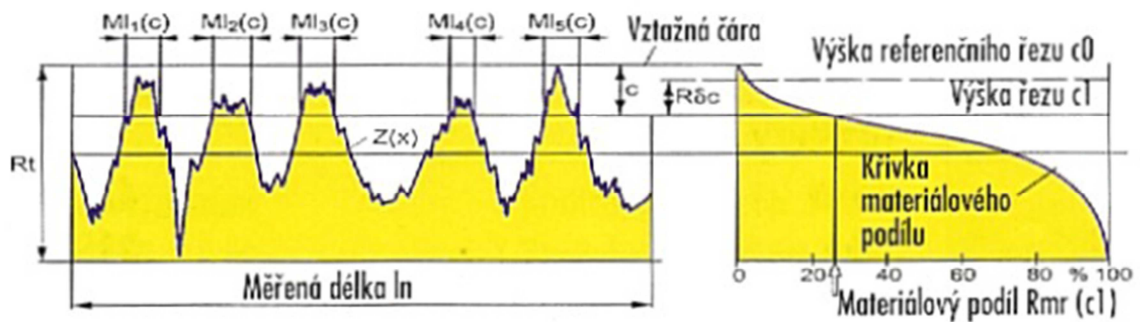
2.3.1 Průměrná šířka prvků profilu drsnosti R_{Sm}

Parametr R_{Sm} představuje střední vzdálenost mezi výstupky profilu na střední čáře v rozsahu základní délky. Vrchol profilu je nejvyšším bodem profilu mezi jeho průsečíky nahoru-dolů se střední čárou. Obecný tvar definice parametru: S_m je průměrná hodnota vzdálenosti (rozteče) mezi prvky (elementy) profilu v rozsahu základní délky. Využití parametru ve spojení s parametrem S^* může přispět k rozlišování mezi jemným a hrubým povrchem. Pro jemné tvarové vlny profilu budou hodnoty parametru velmi podobné. S_m je užitečný i při rozhodování o použití vhodného filtru. [7]

2.4 Křivka materiálového poměru

Tato křivka je charakteristická pro jednotlivé metody dokončování, má především význam pro posuzování zatěžovaných funkčních povrchů, řešení problémů se třením, mazáním a opotřebením. Pro praktické využití je křivka nahrazována přímkami, potom horní část (R_{pk}) odpovídá výstupkům povrchu, střední část (R_k) odpovídá jádru profilu a spodní část křivky (R_{vk}) popisuje velikost a četnost prohlubní na povrchu.

Parametry křivky materiálového poměru profilu jsou vztaženy k funkční významnosti části křivky.



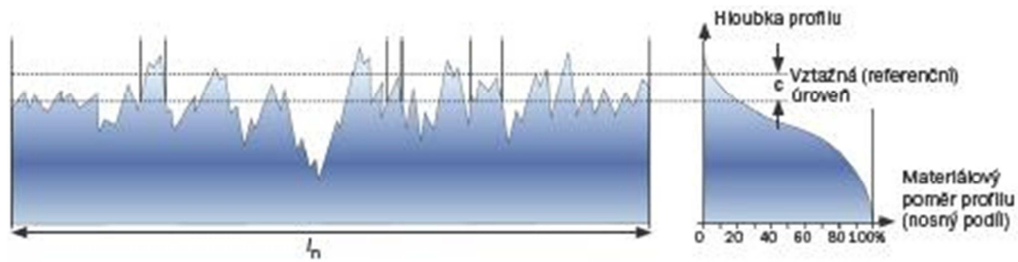
Obr. 10 Křivka materiálového podílu drsnosti povrchu [23]

Výška jádra profilu drsnosti R_k má největší význam pro funkční vlastnosti povrchu. Je rozhodující pro zatěžování povrchu. Malá hodnota R_k , což je malý sklon střední části nosné křivky, odpovídá jemným dokončovacím operacím (např. lapování). Jako zatěžovaná styková plocha se pomalu opotřebovává, tzn., že dochází k malým změnám měrného tlaku. To vše ukazuje na prakticky neměnné kontaktní (funkční) podmínky. Čím menší bude hloubka jádra, tím rovinnější bude charakter povrchu. Větší hloubce jádra odpovídá při postupném opotřebovávání výraznější změna měrného tlaku. Opotřebení stykových ploch v tomto případě probíhá rychleji a teprve v dolní části hloubky jádra profilu se dosahuje vyššího nosného podílu profilu povrchu.

Redukovaná výška vrcholů R_{pk} vyjadřuje podíl výšky vrcholů nad základním jádrem profilu, který je redukováný o vliv výšek ojediněle velkých výstupků. Hodnota R_{pk} představuje část profilu povrchu, která se při zatížení rychle opotřebovává a je využitelná pro posuzování charakteru i rychlosti např. zabíhání kluzných i valivých ložisek.

Redukovaná výška prohlubní R_{vk} charakterizuje podíl rozměru prohlubní pod jádrem profilu, který je výpočtem redukováný o vliv ojedinělých velkých prohlubní. Velikost R_{vk} může být významná např. pro mazání kontaktních povrchů.

Funkce povrchu je ovlivněna i polohou jádra nosné křivky, určenou materiálovým podílem horní meze Mr_1 a dolní meze Mr_2 jádra. Za stejných podmínek, čím menší bude vzdálenost mezi Mr_1 a Mr_2 , tím menší bude i kontaktní spolehlivost povrchu při zatížení. Materiálový poměr profilu obsahuje důležitou charakteristiku povrchu, jako je např. předpokládaný průběh záběhu, opotřebení i podmínek mazání [5]



Obr. 11 Materiálový poměr [18]

2.5 Pravidla pro hodnocení struktury povrchu

Při hodnocení struktury povrchu se používají 2 pravidla, která jsou podrobněji rozepsána níže.

2.5.1 Pravidlo 16%

Pro parametry určené horní mezí parametru jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže hodnotu uvedenou na výrobní dokumentaci přesáhne maximálně 16 % všech naměřených hodnot vybraných parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce.

Pro parametry určené dolní mezí parametru jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže hodnotu uvedenou na výrobní dokumentaci nedosáhne maximálně 16 % všech naměřených hodnot vybraných parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce.

Při stanovení horní a dolní meze parametru se používá značka parametru bez indexu „max“.

2.5.2 Pravidlo maxima

Při požadavcích určených největší hodnotou parametru nesmí v průběhu kontroly žádná z naměřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přestoupit hodnotu uvedenou na výrobní dokumentaci.

Při stanovení největší dovolené hodnoty parametru se značka parametru doplňuje indexem „max“ (např. Rz1max).

Pro dokázání shody nebo neshody se specifikací se měřené hodnoty parametrů porovnávají se specifikovanými limitními hodnotami s uvažováním nejistot měření podle pravidel uvedených v ISO 14 253 – 1. V případě porovnávání výsledků měření s horními a dolními mezemi jsou nejistoty měření odhadovány bez uvažování nehomogenit povrchu, které jsou už započítávány přídatkem 16 %. [12]

3 ZPŮSOBY MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU

V této kapitole jsou podrobněji popsány podmínky měření a filtrace povrchu.

3.1 Podmínky měření

K objektivnímu určení číselných hodnot parametrů drsnosti povrchu je nezbytně nutné dodržovat určité podmínky, které vyplývají ze základních vlastností posuzovaného povrchu. Je ovšem obtížné takové podmínky formulovat, protože provedené měření potřebné informace následně teprve přináší. V takových případech musí posloužit zkušenost shrnutá do příslušných doporučení.

Při hodnocení drsnosti povrchu není potřeba vymezovat vlnitost povrchu a úchylny tvaru odděleně, protože je lze oddělit společně. Reálné možnosti filtrů a zejména neznalost mezních hodnot vlnových délek jednotlivých složek signálu činí objektivní měření povrchu obtížné.

Tab. 1 Základní délky drsnosti pro měření R_a , R_q , R_{sk} , R_{ku} , R_{dq} [12]

R_a [μm]	Základní délka drsnosti l_r [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti l_n [mm]
$(0,006) < R_a \leq 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < R_a \leq 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < R_a \leq 2$	0,8	4
$2 < R_a \leq 10$	2,5	12,5
$10 < R_a \leq 80$	8	40

Volba číselné hodnoty základního parametru vlnového filtru cut-of je kritická pro získání správných hodnot parametrů drsnosti povrchu. Vymezuje s jakou amplitudou a s jakým fázovým zpožděním signál hodnoceného profilu filtrem projde. To přímo ovlivní číselné hodnoty jednotlivých parametrů drsnosti povrchu, které jsou vyhodnocovány z filtrového profilu.

Teoreticky lze odvodit vliv filtrace daného typu na jednotlivé parametry drsnosti povrchu. Výsledky analýzy však platí jen pro přesně definované podmínky, obvykle jen pro modelové případy.

Tab. 2 Základní délky drsnosti pro měření Rz, Rv, Rp, Rc a Rt pro neperiodické profily [12]

Rz [μm]	Základní délka drsnosti l_r [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti l_n [mm]
$(0,025) < Rz, Rz_{1\text{max}} \leq 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < Rz, Rz_{1\text{max}} \leq 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < Rz, Rz_{1\text{max}} \leq 10$	0,8	4
$10 < Rz, Rz_{1\text{max}} \leq 50$	2,5	12,5
$50 < Rz, Rz_{1\text{max}} \leq 200$	8	40

Pro praktické měření hodnot parametrů drsnosti povrchu je nezbytné správně volit základní délku tak, aby zahrnovala dostatečný počet nerovností profilu charakterizujících jeho drsnost a vyloučila ovlivnění nerovnostmi s větší roztečí nepříslušející drsnosti.

Tab. 3 Základní délky drsnosti pro měření R-parametrů periodických profilů a RSm periodických a neperiodických profilů [12]

Rz [μm]	Základní délka drsnosti l_r [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti l_n [mm]
$0,013 < RSm \leq 0,04$	0,08	0,4
$0,04 < RSm \leq 0,13$	0,25	1,25
$0,13 < RSm \leq 0,4$	0,8	4
$0,4 < RSm \leq 1,3$	2,5	12,5
$1,3 < RSm \leq 4$	8	40

Pro srovnatelnost výsledků měření drsnosti povrchu jsou hodnoty základní délky určeny normou- ukázky v Tab. 1, Tab. 2 a Tab. 3.

3.2 Filtrace

Filtrace představuje velmi důležitý prvek procesu analýz textury povrchu ovlivňující hodnoty naměřených parametrů. Aplikace filtrací v analýzách má řadu důvodů. Např. morfologický filtr se běžně používá ke korekci vlivu snímacího hrotu na nezpracovaná data nebo se filtrací odstraňují odlehlé výstupky při „čištění“ změřených dat optickým snímačem atd. Avšak hlavním důvodem filtrace je separace krátkovlnných a dlouhovlnných složek profilu povrchu, tzn. oddělení vlnitosti od drsnosti a stanovení odpovídajících charakteristických parametrů.

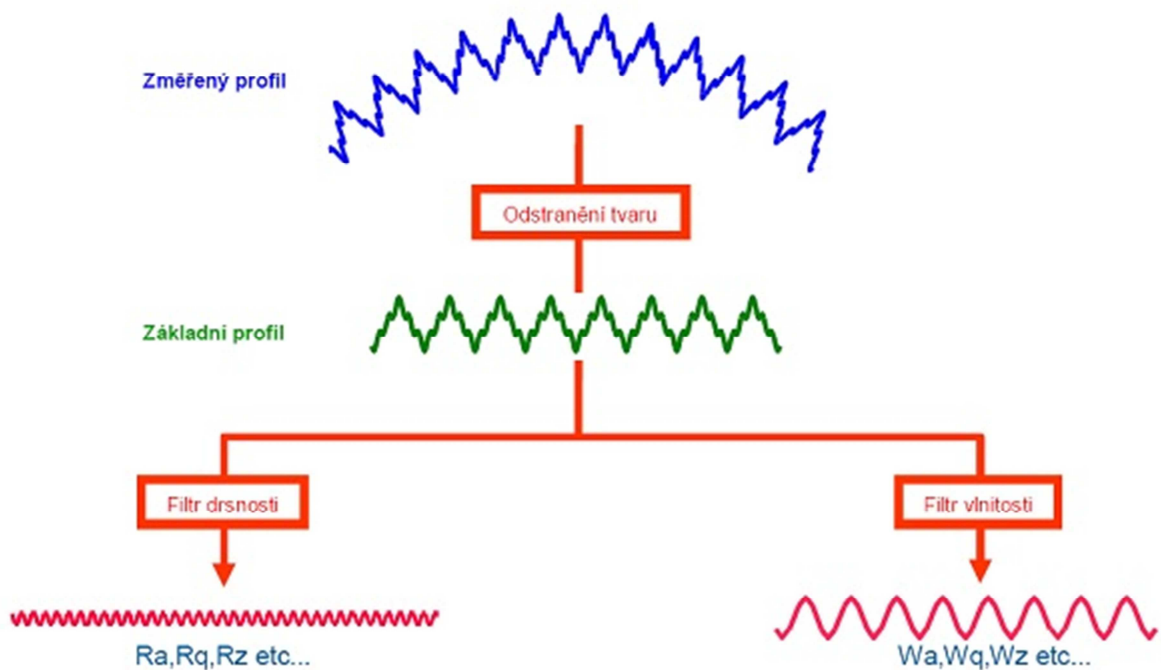
Základním cílem prvních filtrů RC, které jsou tvořeny odpory a kondenzátory, bylo zabránit velkým změnám výstupního signálu, aby bylo možné profil povrchu správně indikovat nebo zobrazit. Postupným vývojem se začaly využívat počítače jako vyhodnocovací prostředky profilometrů, s aplikací desek analog/digital. 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.

Podobně jako byly jednotlivé profily při hodnocení 2D definovány podle filtrů (ISO 11562:1996), bylo třeba jednotlivé povrchy pro 3D hodnocení definovat podle nových filtrů. Proto byla v návaznosti na standard ISO 25178 (Textura povrchu: Plocha) připravena norma ISO/TS 16610, která zahrnuje veškeré současné prostředky filtrace využívané při zpracování profilu v režimu 2D hodnocení, ale i stávající a zejména nové filtry vhodné pro úpravu povrchu v prostorovém hodnocení 3D. Nový standard definuje filtry typu Gauss, spline, robustní, morfologické, wavelet, cascading atd. Na některé z nich je z hlediska využití při analýze textury povrchu dále upozorněno.

Norma Gaussova filtru definuje převodovou funkci pro nízkopropustný filtr vytvářející vlnitost (střední čáru) profilu. Odečtením této střední linie od základního profilu se získá drsnost profilu povrchu. [10]

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

- **Vlnitost** – je část textury, na které je nanese (vytvořena) drsnost. To může být způsobeno chvěním, deformací obrobku a zpevněním materiálu (je spíše považována za vliv stroje, např. nevyvážeností brousícího kotouče, nepřesností vodících částí nebo malou tuhostí).
- **Drsnost** – je nepravidelností, které jsou výsledkem výrobního procesu (je výsledkem vzájemného relativního pohybu mezi nástrojem a obrobkem). Povrch je ale také ovlivněn mechanismem tvoření třísky, což se projevuje například vytrháváním částic materiálu a to ovlivňuje náhodný charakter povrchu. [3]



Obr. 12 Filtrace [3]

4 METODY MĚŘENÍ POVRCHŮ

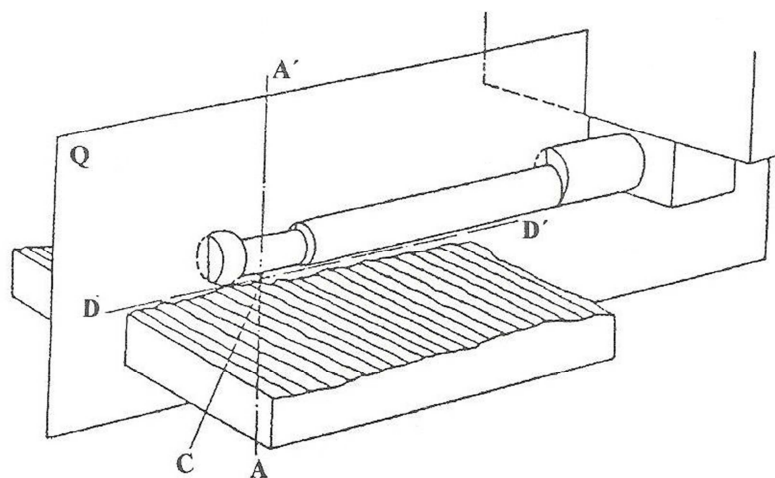
Nerovnosti příslušející drsnosti povrchu mají současně deterministický i stochastický charakter v poměru odpovídající metodě výroby použité při realizaci plochy. Pro hodnocení drsnosti povrchu se využívá kritérium středního prvku. [12]

Obecně můžeme rozdělit metody měření povrchů na :

- **Metody kvalitativní (porovnávací vzorkovnici s reálným povrchem)** - k čemuž slouží dodnes využívané vzorkovnice povrchů, či komparační mikroskopy. Jedná se ovšem o celkem zastaralou metodu, založenou na individuálních schopnostech povrch posuzujícího pracovníka.
- **Metody kvantitativní (parametrické, využívající matematický popis parametrů povrchu)** – využívají se v dnešní praxi zcela běžně tzv. profilometry. Tyto se v podnikové mluvě často nazývají drsnoměry, což není zcela správné. Tyto přístroje mimo drsnost dokáží měřit i vlnitost a mnohdy i tvar. Tedy výraz „drsnoměr“ je nutné považovat za vžitý a ne zcela správný výraz. [3]

4.1 Dotykové měřicí přístroje

Pro praktické zjišťování hodnot charakteristik drsnosti povrchu existuje řada metod. Nejpoužívanější je metoda dotyková, která využívá ostrého hrotu, který se v daném směru posouvá po povrchu a umožňuje získat informace o jeho profilu.



Obr. 13 Dotyková metoda snímání profilu [12]

A-A' - osa snímacího hrotu

C – kontakt hrotu s povrchem

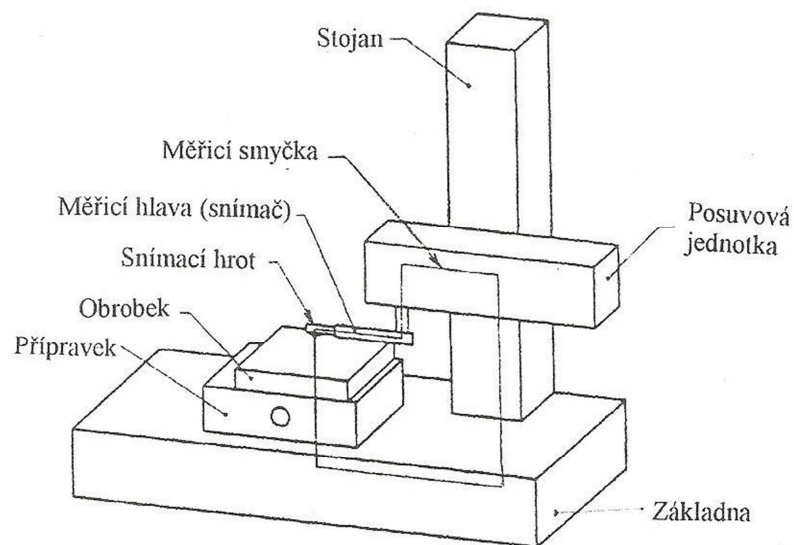
D-D' - základní směr pohybu

Q – rovina řezu

Jako všechny ostatní, i dotyková metoda naráží na celou řadu limitujících faktorů, které vyplývají většinou z požadavků její konkrétní realizace. Vyskytují se zcela protichůdné požadavky, které vyžadují kompromisní řešení.

Metoda umožňuje zjišťovat číselné hodnoty normalizovaných a nenormalizovaných charakteristik drsnosti povrchu a lze ji využít i pro nejmodernější spektrální a statistické hodnocení nerovnosti povrchu.

Mechanický signál, který je generovaný snímacím hrotem sledujícím nerovnosti povrchu měřené plochy, je indukčností převodníku polohy transformován na signál elektrický, který je dále zpracováván a interpretován jako číselná hodnota zvolené charakteristiky povrchu, případně jako grafický záznam profilu nerovnosti povrchu. Měřicí smyčka dotykového profilometru je uvedena na Obr. 14.



Obr. 14 Měřicí smyčka dotykového profilometru [12]

Snímání profilu měřeného povrchu může být provedeno:

- Jako snímání absolutní – kdy měřicí základnou je velmi přesná tvarová nebo přímá dráha snímače
- Jako snímání relativní- kdy měřicí základnou je dráha generovaná kluznou patkou, která klouzá po měřeném povrchu.

Pohyb dotykového hrotu podél měřeného povrchu musí být velmi přesný, jak co do přímosti, tak i co do rovnoměrnosti. Jeho rychlost musí být volena s ohledem na dynamické vlastnosti snímacího systému tak, aby při měření hrot nezanechával stopu na měřeném povrchu a aby nerovnosti povrchu věrně sledoval. Snímaná dráha začíná v počátečním bodě, zahrnuje rozběh, vyhodnocovanou délku (standardně to je pětinasobek základní délky λ) a doběh: končí v koncovém bodě. Snímač se poté vrací zvýšenou rychlostí do počátečního bodu. [12]

4.1.1 Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji

Je-li základní délka specifikovaná požadavkem na výkrese nebo ve výrobní dokumentaci, mezní vlnová délka cut-off λ_c je vybrána rovnou této základní délce. Není – li drsnost specifikována nebo základní délka není specifikována v dané specifikaci drsnosti, je mezní vlnová délka volena postupem uvedeným v další kapitole.

4.1.2 Měření parametrů profilu drsnosti

Není-li specifikován směr měření, obrobek je polohován tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti (R_a , R_z). Tento směr je kolmý k poloze povrchu. Pro izotropní povrchy může být směr řezu libovolný.

Měření je provedeno na části povrchu, kde lze očekávat kritické hodnoty. To může být posouzeno vizuálním pozorováním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně.

Pro určení hodnot parametrů profilu drsnosti je potřeba nejprve pohledem rozhodnout, jestli profil drsnosti je periodický či nikoliv. Jsou-li použity speciální postupy měření, musí být popsány ve specifikacích a v protokolu o měření. Princip měření je znázorněn na Obr. 15. [6]

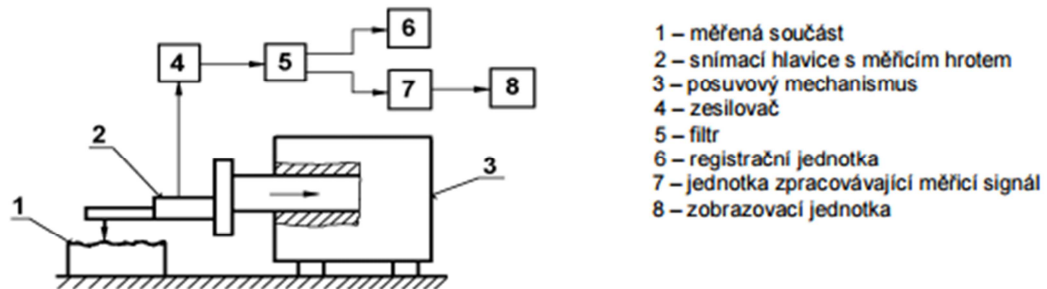
Dotykový profilometr se skládá z části mechanické a elektronické.

Mechanická část:

- Stolek, na který se umísťuje měřená součást
- Rameno se snímacím hrotem, které se pohybuje určitou konstantní rychlostí a snímací hrot snímá nerovnosti povrchu
- Přímočarý vratný pohyb je zajištěn pomocí elektromotorku, popř. pneumaticky

Elektronická část:

- Přeměňuje mechanický signál generovaný snímacím hrotem sledujícím nerovnosti povrchu měřené plochy na elektrický signál, který se zpracovává (číselná hodnota příslušného parametru drsnosti nebo grafický záznam nerovnosti povrchu)



Obr. 15 Princip měření dotykovým profilometrem [11]

Použití - převodníky pracují na principu piezoelektrickém, magnetoelektrickém, indukčním nebo interferometrickém s využitím laseru (bezdotykové snímání).

Pohyb snímacího hrotu musí být velmi přesný, jak do přímosti, tak i rovnoměrnosti. Rychlost musí být volena s ohledem na dynamické vlastnosti snímacího systému (nepoškození povrchu, věrné snímání nerovností). Získaný profil je ovlivňován vlastnostmi snímacího systému.

Správnost výsledků měření ovlivňuje:

- Poloměr zaoblení snímacího hrotu (2 μm , 5 μm , 10 μm)
- Vrcholový úhel snímacího hrotu (60°, 90°)
- Měřicí (přítlačná) síla (cca 0,00075 N)
- Rychlost změny měřicí síly
- Poloměr zaoblení kluzné patky snímače (u relativní metody)
- Celkové geometrické uspořádání systému snímače [11]

Výhody:

- Normalizovaná metoda
- Malá přítlačná síla
- Velké zvětšení
- Znamá interpretace výsledků
- Hrot odstraňuje nečistoty na povrchu

Nevýhody:

- Omezení při měření některých typů povrchů
- Mechanická filtrace způsobená hrotem nebo opěrkou

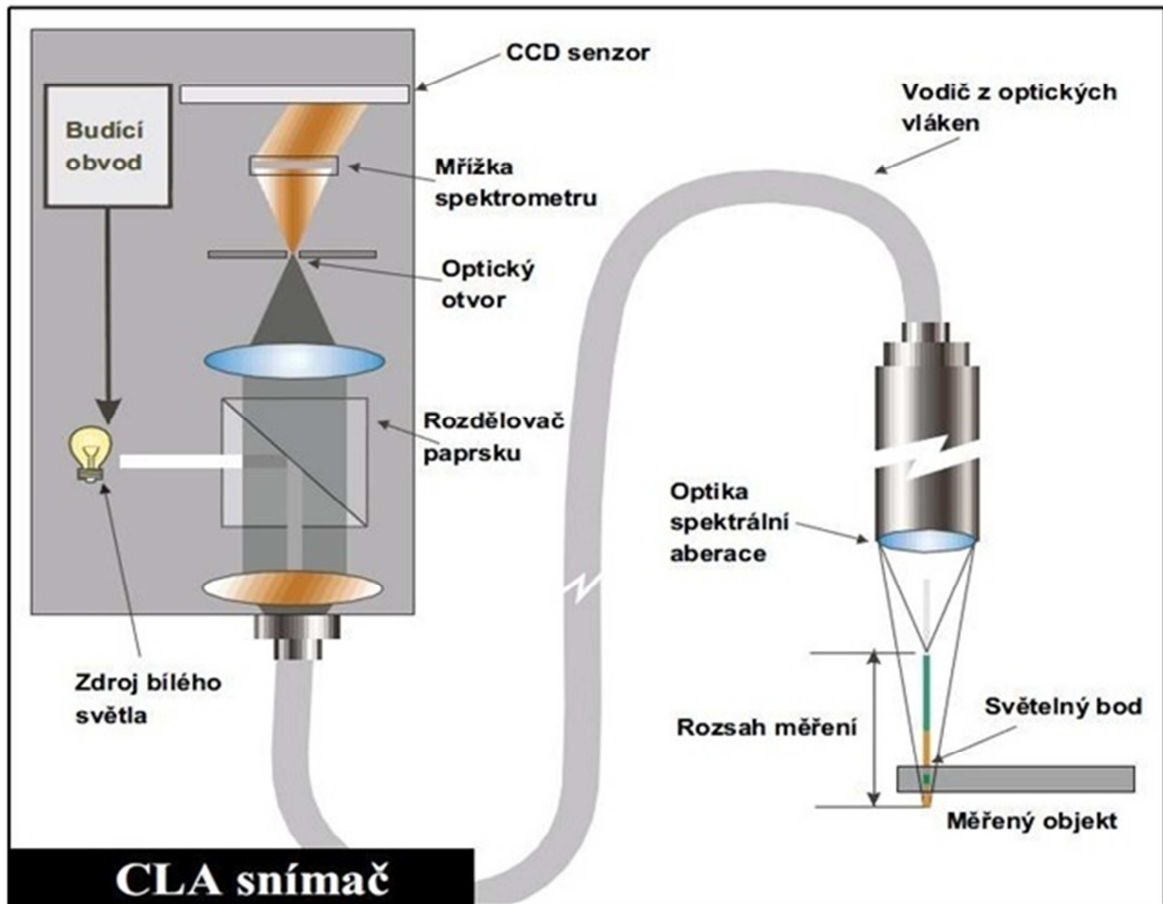
4.2 Bezdotykové měřicí přístroje

Jedním ze základních rozdílů obou metod je šířka pásma dat. To je zvláště důležité v případech, kdy jsou parametry struktury povrchu stanovovány matematicky. Mnoho optických metod měření je založeno na zaostřování bodu na kontrolovaném povrchu. Struktura povrchu je odvozována z "průměrného" signálu získaného z plochy zaostřeného bodu. Běžně má tento bod rozměr několika mikrometrů a jeho šířka se mění s velikostí vertikálního rozsahu detektoru. V porovnání s dotykovou metodou je výsledným efektem uvedeného procesu "uhlazení" povrchu, které má za následek zmenšení šířky pásma dat pro zpracování. Tak je tomu skutečně v případech, kdy je datová rozteč optické techniky stejná jako u dotykového snímání.

Další odlišností, kterou přináší optická technika, je změna ve sklonech (šikmosti) profilu povrchu. Rozdíl spočívá v tom, že hrot, kterým je profil snímán, má tendenci rozšiřovat výstupky a zmenšovat šířku prohlubní, což ovlivňuje data pro hodnocení šikmosti. To lze upravit softwarem. Jelikož u optických systémů tento způsob ovlivnění neexistuje, není tato "korekce snímacího hrotu" třeba.

Problémem použití optických měřicích přístrojů je to, že dochází k tzv. "ztrátě dat". To se odehrává v hraničních oblastech (na hranách) nebo v místech náhlých a rychlých změn tvaru profilu povrchu. V těchto místech se nemusí světelný paprsek správně odrazet zpět do detektoru a následně nemusí být hodnoty dat zaznamenány. Ztráta dat může být způsobována i velmi vysokou nebo nízkou odrazivostí kontrolovaného povrchu, příp. v místech převýšení povrchů, především v závislosti na použitém bezdotykovém měřicím systému. Software, kterým je přístroj vybaven, tato data většinou vyloučí, zpravidla s využitím interpolace okolních dat. Samozřejmě menší počet ztracených datových bodů se projeví vyšší integritou výsledků měření povrchu. Je zřejmé, že u dotykových snímačů se tento problém nevyskytuje. [8]

Nejčastěji se používají CLA a laserové snímače. Rozlišitelnost CLA snímačů je v μm a u laserových je to o řád nižší.



Obr. 16 Princip CLA snímače [3]

Bílé světlo je rozkládáno a směřováno optikou na kontrolovaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka. Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr vychýlí světlo na maticový senzor, kde je každému bodu připravena prostorová poloha, která je následně počítačově zpracována a vyhodnocena.

Princip laserového snímače je možno popsat takto: paprsek polovodičového laseru se odrazí od měřeného povrchu do přijímacího optického systému. Paprsek je dále zaostřen na obrazovou matici, jejíž obrazové prvky jsou použity pro určení polohy zaměřeného bodu. [3]

Výhody bezkontaktních měřicích přístrojů:

- Není plně normalizovaná metoda
- Při měření není v kontaktu s povrchem
- Krátké doby měření

Nevýhody bezkontaktních měřicích přístrojů:

- Omezení, při měření některých typů povrchů – nečistoty, odrazivost povrchu
- Neznámá interpretace výsledků
- Možnost vzniku neměřených bodů
- Rozptyl odraženého světla
- Možnost překrytí stop při malých zvětšeních – vliv kroku snímání dat

5 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Pro vyhodnocování výsledků je použito statistických metod. Základní statistické veličiny jsou popsány v kapitolách níže.

5.1 Statistický soubor

Je to souhrn statistických jednotek, u nichž se sledují stejné statistické znaky. Rozlišujeme dva typy statistických souborů:

- Základní soubor – je to soubor všech statistických jednotek, u kterých je zájem zjistit hodnoty určitých proměnných
- Výběrový soubor – tento soubor obsahuje pouze vybrané jednotky základního souboru [12]

5.2 Aritmetický průměr

Při výpočtu průměrné hodnoty je třeba rozlišit, zda je sledovaný ukazatel intervalový nebo okamžikový. V obou případech je navíc potřeba vzít v úvahu, zda je délka mezi jednotlivými rozhodnými okamžiky, v nichž se hodnoty ukazatele zjišťují, stejná či zda se úseky liší.

Časovou řadu intervalového ukazatele, v případě, že jsou stejné intervaly mezi rozhodnými okamžiky (například je zjišťován vždy k poslednímu dni v roce, takže časovým intervalem je 365 nebo 366 dní) můžeme charakterizovat **prostým aritmetickým průměrem**. Vyjadřuje úroveň ukazatele za celé sledované období a počítá se analogicky jako:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^n y_t}{n} \quad (1.1)$$

Časovou řadu intervalového ukazatele, v případě, že intervaly mezi rozhodnými okamžiky nejsou stejné (například je zjišťován vždy k poslednímu dni v měsíci, takže časové úseky se liší počtem dnů, případně počtem pracovních dnů) charakterizujeme **váženým aritmetickým průměrem**, kde váhami jsou například počty dnů. Označme obecně váhy (vzdálenosti mezi jednotlivými okamžiky) d_t , kde $t=2, 3, \dots, n$. Vážený aritmetický průměr se počítá podle vzorce:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^n y_t d_t}{\sum_{t=1}^n d_t} \quad (1.2)$$

Časovou řadu okamžikového ukazatele, který je zjišťován v rozhodných okamžicích, mezi nimiž je přibližně stejný časový úsek (například je zjišťován vždy k poslednímu dni v roce, takže časovým intervalem je 365 nebo 366 dní), charakterizujeme **prostým chronologickým průměrem**. Jeho princip spočívá v tom, že nejprve spočítáme průměrné hodnoty za jednotlivé časové úseky a celkový průměr vypočteme z těchto dílčích průměrů, tj:

$$\bar{y} = \frac{\frac{y_1 + y_2}{2} + \frac{y_2 + y_3}{2} + \dots + \frac{y_{n-1} + y_n}{2}}{n - 1} = \frac{\frac{1}{2}y_1 + \sum_{t=2}^{n-1} y_t + \frac{1}{2}y_n}{n - 1} \quad (1.3)$$

Časovou řadu okamžikového ukazatele, který je zjišťován v rozhodných okamžicích, mezi nimiž se časové úseky liší (například je zjišťován vždy k poslednímu dni v měsíci, takže časové úseky se liší počtem dnů), charakterizujeme **váženým chronologickým průměrem**. Označme vzdálenost mezi jednotlivými okamžiky d_t , kde $t=2,3, \dots, n$. Vážený chronologický průměr se pak počítá podle vzorce: [15]

$$\bar{y} = \frac{\frac{y_1 + y_2}{2} d_2 + \frac{y_2 + y_3}{2} d_3 + \dots + \frac{y_{n-1} + y_n}{2} d_n}{\sum_{t=2}^n d_t} \quad (1.4)$$

5.2.1 Vlastnosti aritmetického průměru

- Součet všech odchylek hodnot proměnné od jejich aritmetického průměru je roven nule, což znamená, že aritmetický průměr kompenzuje vliv náhodných chyb na proměnnou.
- Přičteme-li ke všem hodnotám proměnné stejné číslo, zvětší se o toto číslo rovněž aritmetický průměr.
- Vynásobíme-li všechny hodnoty proměnné stejným číslem, zvětší se stejným způsobem rovněž aritmetický průměr.
- Vzhledem k tomu, že průměr se stanovuje ze všech hodnot proměnné, nese maximum informací o výběrovém souboru. Na druhé straně je však velmi citlivý na tzv. odlehlá pozorování, což jsou hodnoty, které se mimořádně liší od ostatních a dokáží proto vychýlit průměr natolik, že přestává daný výběr reprezentovat. [21]

5.3 Medián

Medián je hodnota prostřední jednotky souboru uspořádaného podle velikosti sledovaného znaku.

Medián označujeme \tilde{x} . Při jeho výpočtu musíme nejdříve všechny jednotky seřadit od nejnižší po nejvyšší a najít tu, která rozdělí soubor na poloviny. V případě lichého počtu jednotek, je medián přímo hodnota prostřední jednotky, pokud je počet jednotek sudý, najdeme dvě prostřední jednotky a medián vypočítáme jako aritmetický průměr jejich hodnot. [16]

5.4 Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka je rovna druhé odmocnině z rozptylu. Určuje, jak moc jsou hodnoty rozptýleny či odchýleny od průměru hodnot. Spočítat ji lze podle vzorce: [17]

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1.5)$$

5.5 Teorie hypotéz

Testováním statistických hypotéz se statistici začali zabývat krátce před vypuknutím druhé světové války. Jeho koncepci vytvořili Jerzy Neyman a E.S. Pearson a dále ji rozvinul Abraham Wald.

Testování hypotéz pojali jako rozhodovací proces, v němž proti sobě stojí dvě tvrzení. První z nich – nulová hypotéza H_0 představuje určitý rovnovážný stav a bývá vyjádřena rovností. Jde o takové tvrzení o populaci, které je bráno jako předpoklad při testování. Oproti ní stavíme hypotézu alternativní H_A . Alternativní hypotéza představuje porušení rovnovážného stavu a zapisujeme ji tedy jedním ze tří možných zápisů nerovnosti (=; <; >).

Při testování hypotéz musíme vždy stanovit jak nulovou, tak i alternativní hypotézu. Nulová hypotéza bývá stanovena jednoznačně. Pro stanovení alternativní hypotézy máme 3 možnosti (př. $\mu < 100$, $\mu > 100$, $\mu \neq 100$). Obsahuje-li zadání problému vedoucího na testování hypotéz vztah jednostranné nerovnosti, volí se jako alternativní hypotéza příslušná jednostranná hypotéza. V ostatních případech volíme oboustrannou alternativní hypotézu. Alternativní hypotéza by měla být v souladu s výběrovým souborem. Pokud tomu tak není, připisujeme alternativní hypotézu závěrům získaným z výběrového souboru.

Jelikož při rozhodování o nulové hypotéze vycházíme z výběrového souboru, který nemusí dostatečně přesně odpovídat vlastnostem základního souboru, můžeme se při rozhodování dopustit chyby. Při rozhodování mohou nastat situace, které popisuje následující Tab. 4.

Tab. 4 Rozhodování o hypotéze [19]

		Výsledek testu	
		Nezamítáme H_0	Zamítáme H_0
Skutečnost	Platí H_0	Správné rozhodnutí Pravděpodobnost rozhodnutí $1-\alpha$ (spolehlivost)	Chyba I. Druhu Pravděpodobnost rozhodnutí α (hladina významnosti)
	Platí H_A	Chyba II. Druhu Pravděpodobnost rozhodnutí β	Správné rozhodnutí Pravděpodobnost rozhodnutí $1-\beta$ (síla testu)

Jestliže nulová hypotéza je ve skutečnosti platná a my ji přesto zamítneme, dopouštíme se chyby I. druhu. Pravděpodobnost, že k takovému pochybení dojde, nazýváme hladina významnosti a označujeme ji α . Platí-li nulová hypotéza a my jsme ji nezamítli, rozhodli jsme správně. Pravděpodobnost tohoto rozhodnutí označujeme $1-\alpha$ a nazýváme ji spolehlivost. Správným rozhodnutím je rovněž zamítnutí nulové hypotézy v případě, že je platná hypotéza alternativní. Tohoto rozhodnutí se dopouštíme s pravděpodobností $1-\beta$, což bývá označováno jako síla testu. Chybou II. druhu je nezamítnutí nulové hypotézy v případě, že je platná hypotéza alternativní. Pravděpodobnost chyby je β .

Při testování hypotéz se samozřejmě snažíme minimalizovat obě chyby, tj. dosáhnout vysoké síly testu (nízkého β) při co nejnižší hladině významnosti α . To však není možné, neboť snížením β se zvýší hladina významnosti α a naopak. Proto je třeba nalézt kompromis mezi požadavky na α a β .

Ve statistice se volí jako rozhodující vstupní parametr testu pravděpodobnost chyby I. druhu- hladina významnosti α . V technických oblastech volíme obvykle 5 % nebo 1 % hladinu významnosti, pouze ve speciálních případech (např. pro lékařské účely) požadavek na pravděpodobnost chyby I. druhu ještě zvyšujeme. [19]

5.5.1 Hypotéza o rozptylech a F-test

Rozptyl je míra různorodosti prvků, je důležitou charakteristikou rozlišování a poznávání. Pro děje s menší variabilitou bývá úsudek přesnější.

Test shody rozptylů umožní rozhodnout o shodě dvou neznámých populačních rozptylů na základě informace nezávislých vzorků, kdy každý vzorek je vybrán z jiné populace.

Test shody průměrů dvou nezávislých vzorků vyžaduje rozhodnutí, zda rozptyly populací, ze kterých jsou oba výběry získány, se shodují nebo neshodují. Ověření shody nebo neshody rozptylů je nutné pro volbu varianty testu shody průměrů. [22]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRAKTICKÉ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem této diplomové práce je výzkum vlivu rychlosti měření na naměřené výsledky a vliv použitého měřicího zařízení.

- **Výzkum vlivu rychlosti měření na naměřené výsledky**

Pro výzkum vlivu byla vybrána rychlost, protože ta se nastavuje u všech přístrojů a je možné ji měnit. Měření probíhalo na kontaktních přístrojích a měřilo se rychlostmi 0,5, 1 a 2 mm/s.

- **Výzkum vlivu rychlosti měření na parametry Ra, Rt, Rz a RSm**

Vyhodnocování probíhalo pomocí parametrů Ra, Rt, Rz a RSm. Aby bylo měření objektivnější, tak probíhalo 30x na 3 různě drsných površích.

- **Výzkum vlivu přístroje na naměřené výsledky**

V této práci je také uveden vliv přístroje, konkrétně těch, které měří kontaktně, na naměřené hodnoty. Měřilo se na přístrojích značek Taylor Hobson, Mitutoyo a Mahr.

7 MĚŘICÍ PŘÍSTROJE POUŽITÉ PŘI MĚŘENÍ

Pro měření vzorků byly použity celkově 3 přístroje měřící drsnost dotykovou metodou. Dva z nich – značky Taylor Hobson a Mitutoyo z dílen Ústavu výrobního inženýrství Fakulty technologické Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Třetí přístroj od značky Mahr poskytla k měření firma PRIMA Bilavčík s.r.o. V následujících kapitolách jsou uvedeny specifiky použitých měřicích přístrojů.

7.1 Taylor Hobson FormTalysurf 50

Form Talysurf je přenosný typ přístroje pro měření a analýzu struktury povrchu. Přístroj se skládá z měřicí jednotky a řídicího procesoru. Komunikace mezi jednotkami je buď přes propojovací kabel, nebo přes infračervený port.

Tab. 5 Technické parametry přístroje Taylor Hobson [27]

Primární analýza	
Filtry	Gaussův
Cut-off (Ls)	0,08 mm až 8 mm
Parametry	Pa, Pq, Pv, Psk, Pp, Pku, Pz(JIS), PLamq, PDelq, PS, PSm, Pz, PDela, In, Plo, Pc
Analýza drsnosti	
Filtry	Gaussův, ISO 2CR, 2CR, 2CR PC
Cut-off (Lc)	od 0,08 mm do 8 mm
Parametry	Ra, Rq, Rp, Rv, Rt, Rsk, Rsk, Rz, Rz(JIS), Rz1max, R3y, R3z, RS, RSm, In, Rlo, Rc, RDela, RLamq, RDelq
Měřicí délky	od 0,1 mm do 50 mm
Analýza zvlnění	
Filtry	Gaussův, ISO 2CR, 2CR, 2CR PC
Cut-off (Lf)	od 0,025 mm do 8 mm
Parametry	Wa, Wq, Wp, Wv, Wt, Wsk, Wku, Wz, WLampq, WDelq, WS, WSm, WDela, In, Wlo, Wc

Nastavení přístroje a statistiky probíhá pomocí softwaru μ ltra. Více informací o tomto softwaru je v kapitole 9.1.



Obr. 17 Měřicí přístroj Taylor Hobson [24]

7.2 Mitutoyo SJ-410

Drsnoměr od firmy Mitutoyo se řadí mezi přenosné přístroje, který umožňuje jednoduché a přesné měření drsnosti povrchu. Přístroj obsahuje také kompenzaci zakřivení, R- ploch a kompenzaci sklonu.

Tab. 6 Technické parametry přístroje Mitutoyo [28]

Rychlost měření	0,05 mm/s; 0,1 mm/s; 0,2 mm/s; 0,5 mm/s; 1 mm/s
Rozsah měření	800 μ m; 80 μ m; 8 μ m (až 2,4 mm se snímacím dotekem ze zvláštního příslušenství)
Profily	Skutečný profil (P), profil drsnosti (R), profil vlnitosti (W), MOTIF (R, W) a další
Normy	EN ISO, VDA, JIS, ANSI a vlastní nastavení
Digitální filtr	Gauss, 2CR75, PC75
Délka cut-off	λ c: 0,08mm; 0,25 mm; 0,8 mm; 2,5 mm; 8 mm λ s: 2,5 μ m; 8 μ m; 25 μ m

Přístroj je vybaven barevným LCD displejem, který poskytuje vysokou viditelnost. Jak přístroj vypadá, je vyobrazeno na Obr. 18.



Obr. 18 Měřicí přístroj Mitutoyo [25]

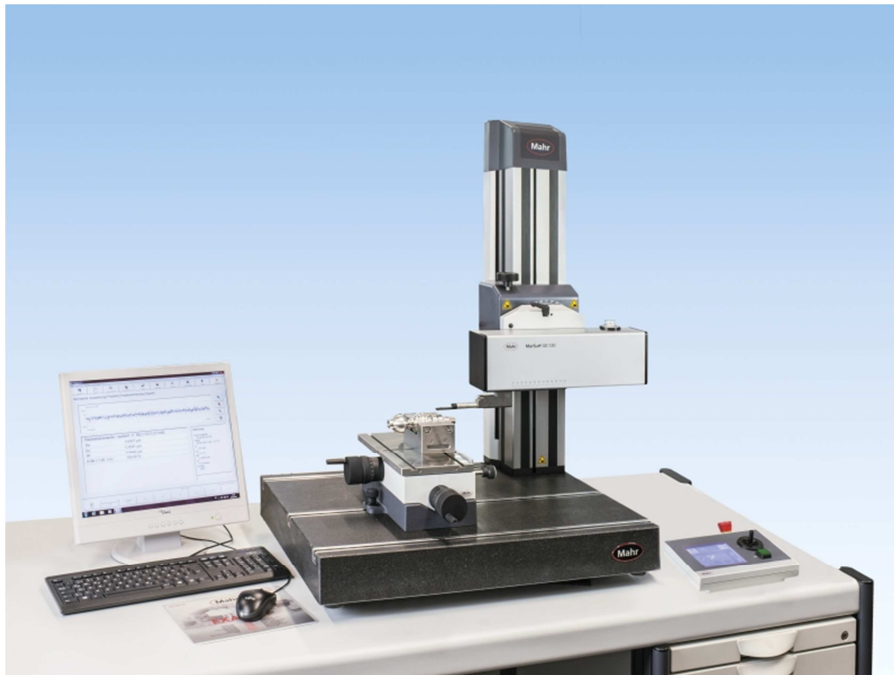
7.3 Mahr MarSurf XR 20 s posuvovou jednotkou GD 120

Drsnoměr od firmy Mahr je počítačově řízené zařízení, které poskytuje jak v měřicí laboratoři, tak i ve výrobě všechny potřebné charakteristiky a profily podle mezinárodních norem.

Tab. 7 Technické parametry přístroje Mahr [26]

Princip měření	Dotyková metoda
Snímač	Snímač R, MFW 250 B
Rozsah měření	MFW 250: $\pm 25 \mu\text{m}$, $\pm 250 \mu\text{m}$, (do $\pm 750 \mu\text{m}$)
Filtr podle ISO/JIS	Filtry podle normy ISO 16610-21 (dříve ISO 11562), robustní Gaussův filtr podle normy ISO 16610-31, filtr podle normy ISO 13565
Snímané délky	Automaticky; 0,56 mm; 1,75 mm; 5,6 mm; 17,5 mm; 56 mm * Měření do dorazu, variabilní *Snímaná délka závislá na posuvové jednotce
Počet n jednotlivých měřících délek podle ISO/JIS	1 až 50 (standard: 5)
Parametry	Přes 100 parametrů pro profil R, P, W podle aktuálních norem ISO/JIS nebo Motif (ISO 12085)

Přístroj podporuje různé kalibrační metody díky přednastaveným parametrům Ra nebo Rz. Pomocí posuvové jednotky je možné docílit dráhy snímání až 120 mm.



Obr. 19 Měřicí přístroj Mahr [26]

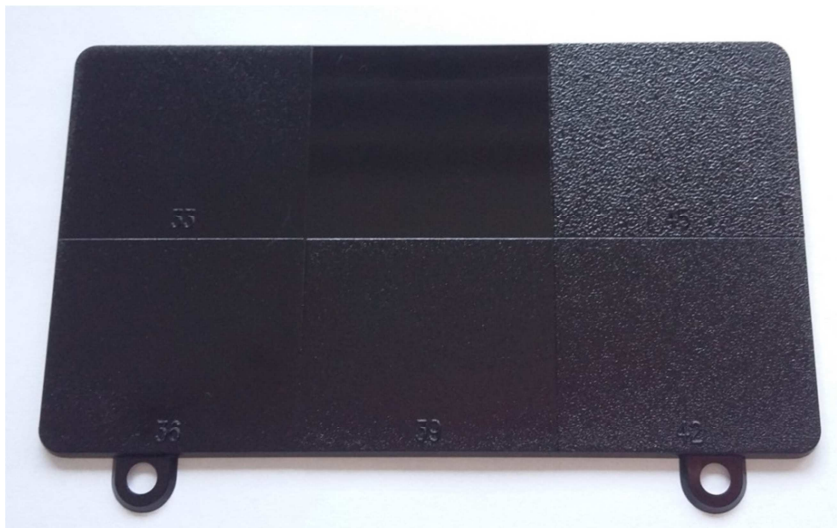
8 MĚŘENÉ VZORKY

K měření byly použity 2 vzorky, na kterých jsou povrchy s různou drsností. K měření byly použity povrchy označené čísly 30, 36 a 42.



Obr. 20 Vzorek č.1

Jedná se o vzorky, kde jsou různé drsnosti povrchů – od nejhladšího s číslem 18 až po nejdrsnější označený číslem 45.



Obr. 21 Vzorek č.2

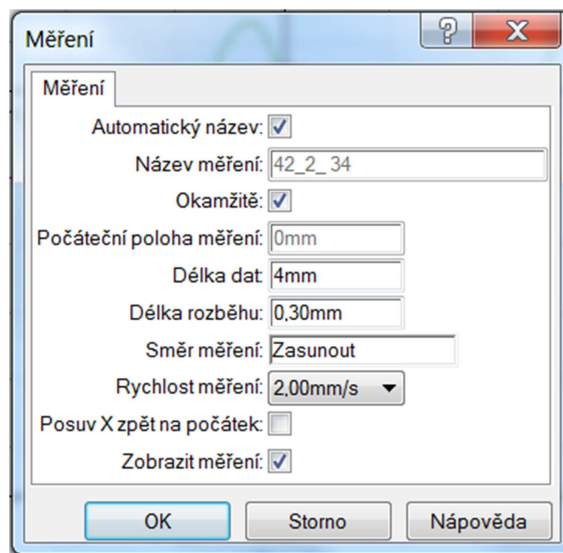
Oba vzorky byly vyrobeny technologií vstřikováním z materiálu PC – polykarbonátu.

9 PODMÍNKY MĚŘENÍ

Pro opakovatelnost měření je potřeba se držet stejného nastavení přístroje. Charakteristiky nastavení jednotlivých přístrojů jsou popsány v následujících kapitolách.

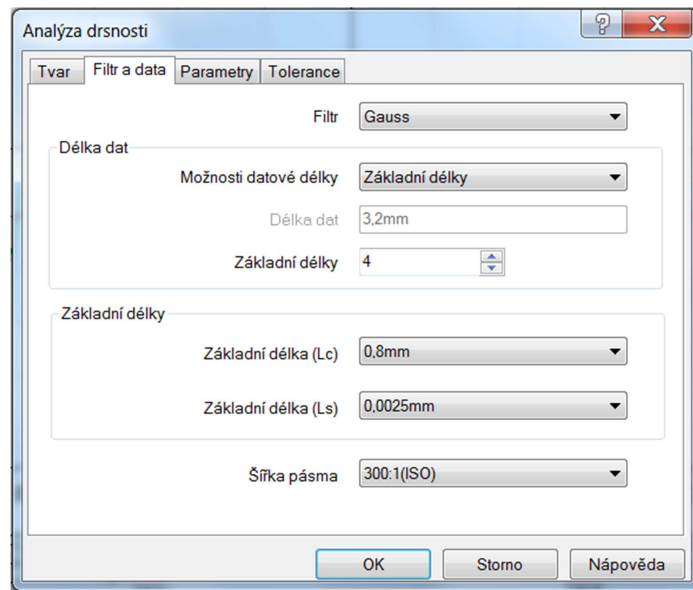
9.1 Taylor Hobson FormTalysurf 50

Pro obsluhu přístroje Taylor Hobson FormTalysurf 50 byl použit software μ ltra. V tomto softwaru je možné si nastavit vyhodnocení pro mnoho parametrů, ať už se jedná o parametry výškové, tvarové nebo délkové. Je také možnost nastavení směru měření, délky rozběhu, délky dat, rychlosti měření a dalších. Jednotlivá nastavení jsou uvedena na Obr. 22.



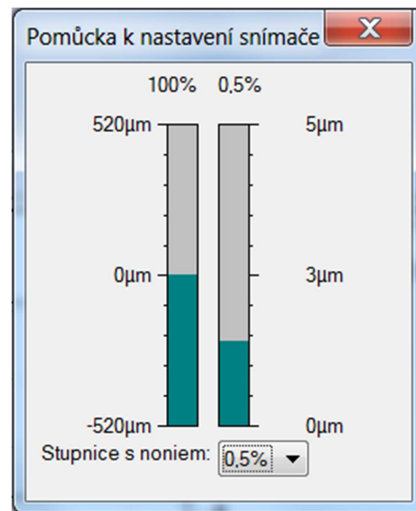
Obr. 22 Nastavení přístroje Taylor Hobson

Na Obr. 23 lze vidět další kartu s nastavením přístroje Taylor Hobson. V této kartě se nastavují filtry, počet základních délek, ale také délka základní délky.



Obr. 23 Další karta nastavení přístroje Taylor Hobson

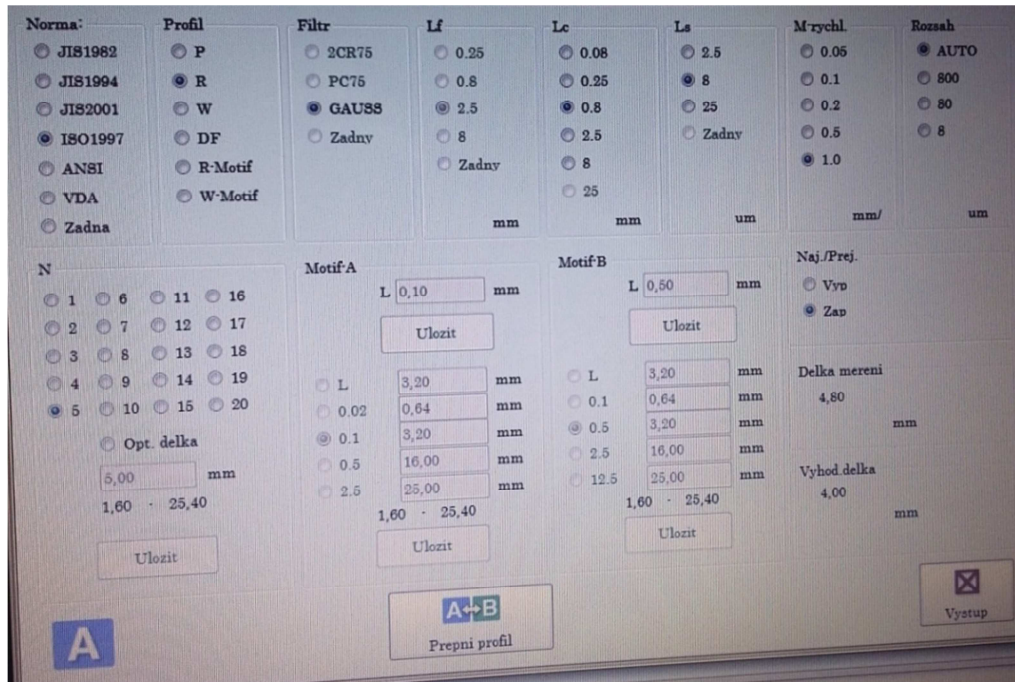
Pro nastavení ideální výšky snímače od měřeného povrchu slouží pomůcka vyobrazená na Obr. 24.



Obr. 24 Pomůcka k nastavení snímače

9.2 Mitutoyo SJ-410

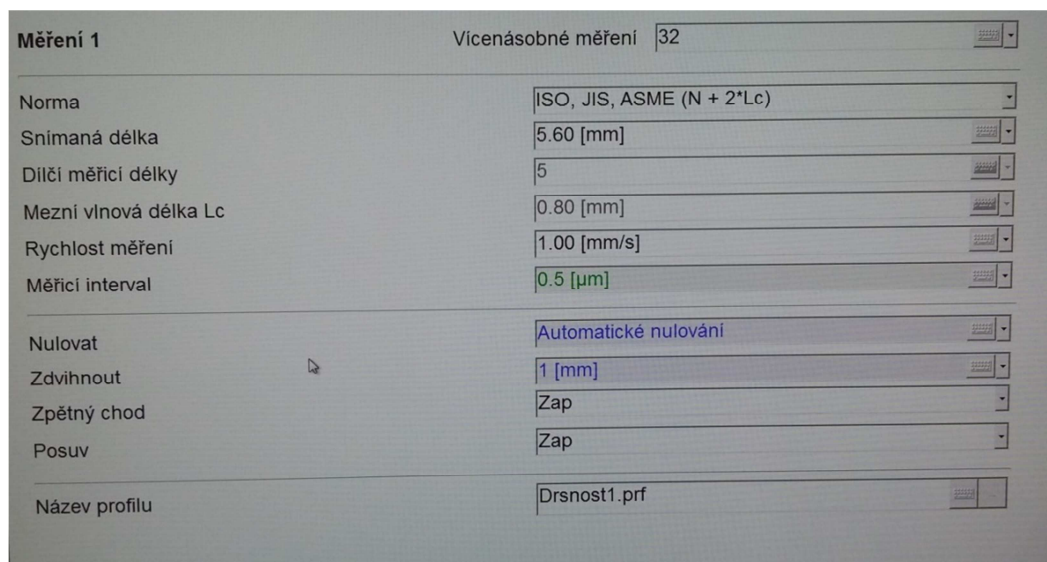
Všechna nastavení na přístroji Mitutoyo SJ-410 bylo možné provést přímo na přístroji pomocí dotykové obrazovky. Druhou variantou je stažení příslušného softwaru do počítače a nastavení všech potřebných parametrů. Podmínky měření lze vidět na Obr. 25.



Obr. 25 Nastavení měření na přístroji Mitutoyo SJ-410

9.3 Mahr MarSurf GD 120

Nastavení přístroje probíhá pomocí softwaru MarSurf . V tomto softwaru je také pomocný ukazatel na nastavení výšky hrotu od měřeného povrchu. Nastavení je ukázáno na Obr. 26.



Obr. 26 Nastavení měření na přístroji Mahr MarSurf 120

10 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Při měření drsnosti povrchu je nezbytné držet se postupu uvedeného v ČSN EN ISO 4288.

10.1 Očištění

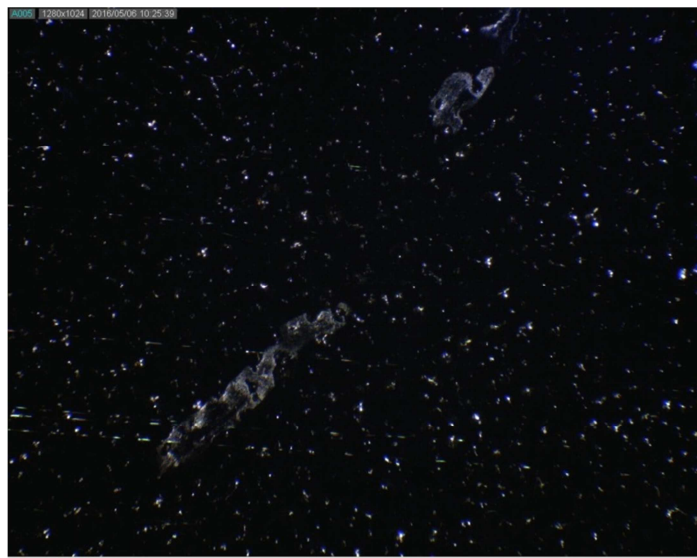
Jako první se očistí povrch proudem vzduchu, aby se odstranil prach a další nečistoty. Tyto nečistoty by mohly zkreslit výsledky měření.

10.2 Kalibrace přístroje

Před samotným měřením vzorku, je ovšem potřeba přístroj zkalibrovat pomocí etalonu-destičky s přesně stanovenou drsností, uvedenou parametrem Ra.

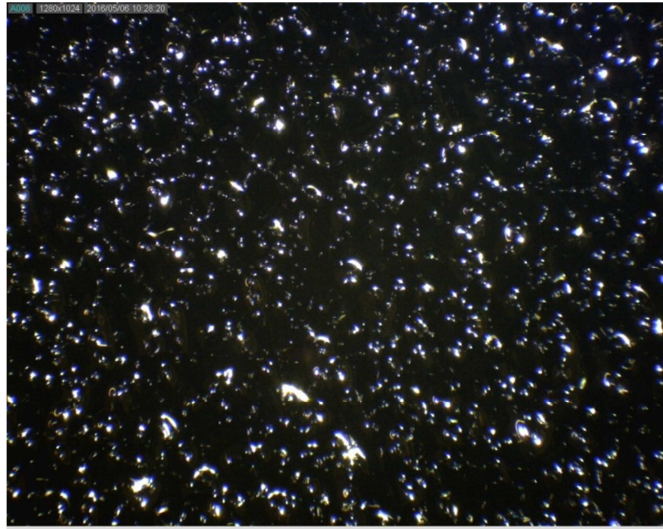
10.3 Kontrola povrchu a nalezení vhodných oblastí

Dále se povrch zkontroluje pod mikroskopem a vyznačí se oblasti, které jsou ideální pro měření, tzn. bez škrábanců, ale také kde lze očekávat kritické hodnoty. Tato kontrola proběhla na mikroskopu Carl Zeiss Jena s 10ti násobným zvětšením.



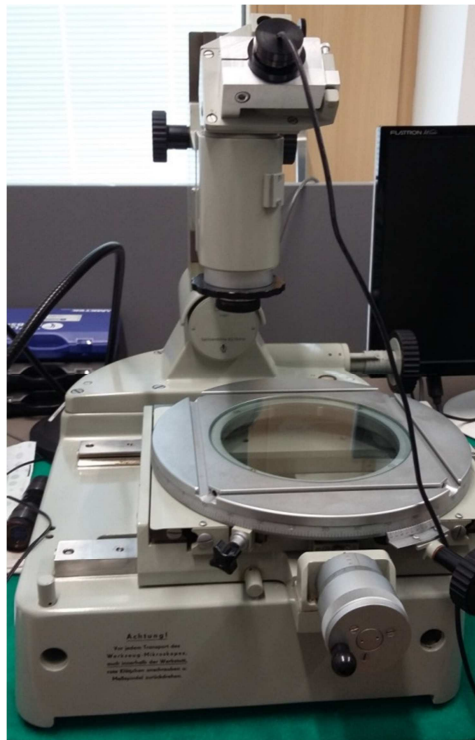
Obr. 27 Ukázka povrchu se škrábanci

Na Obr. 27 je ukázka povrchu 36 se škrábanci. Těmto škrábancům je potřeba se při měření povrchu vyhnout.



Obr. 28 Povrch, který je ideální pro měření drsnosti

Je-li povrch součásti složen z několika různých ploch s různou strukturou, musí se hodnoty parametrů hodnotit na každé ploše odděleně.



Obr. 29 Mikroskop Carl Zeiss Jena

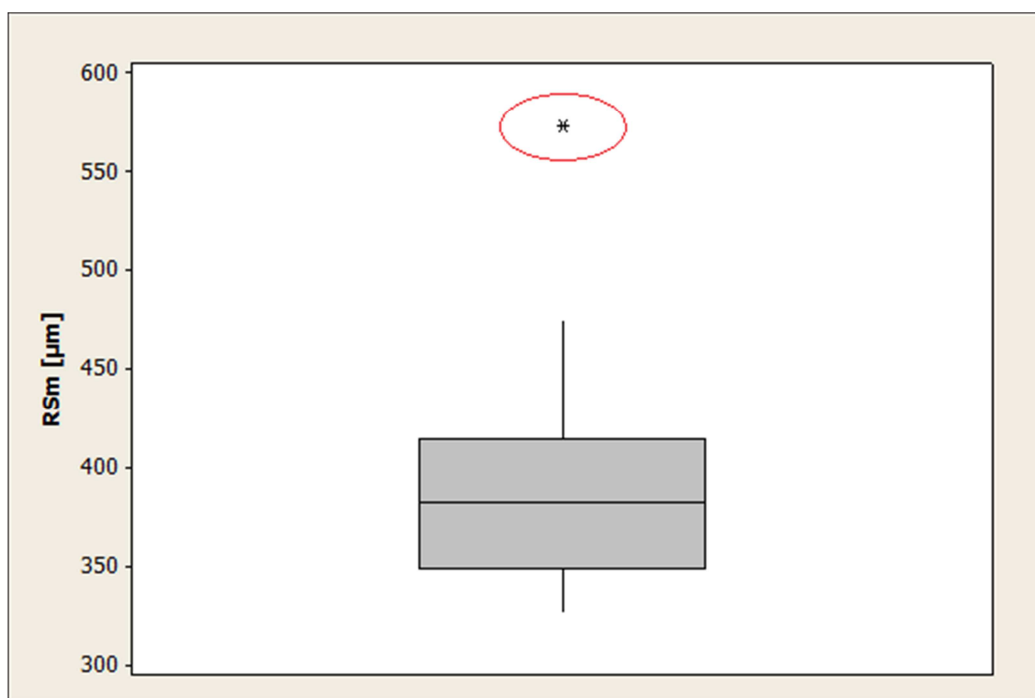
Není-li specifikován směr měření, součást je ustavena tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti (R_a , R_z , R_t).

11 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

Zpracování naměřených dat probíhalo pomocí programu Minitab a byly zpracovány grafy chybových úseček s vyznačením odhadu aritmetického průměru.

11.1 Kontrola dat

Jednotlivá měření byla provedena 30krát pro každou rychlost a povrch. V těchto datech bylo potřeba nalézt případné vychýlené hodnoty. Pro tuto kontrolu dat byl použit graf Box-plotový, který rozděluje data do 4 stejně četných skupin.



Obr. 30 Box-plotový graf parametru RSm s vyznačenou vychýlenou hodnotou

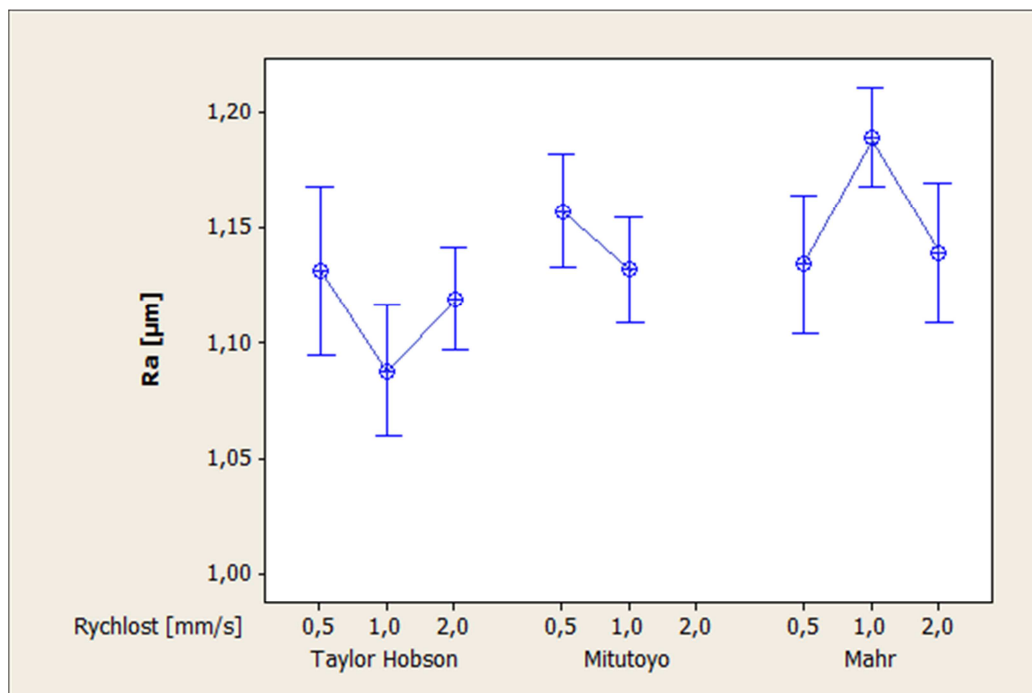
Na Obr. 30 je vidět box-plotový graf parametru RSm, kde je vidět vychýlená hodnota označena hvězdičkou. U těchto hodnot je potřeba vyšetřit proč je hodnota vychýlená. Jestli se jedná o chybu hrubou, nebo chybu náhodnou. Pokud se jedná o chybu hrubou, je možný její vznik například při přepisu dat. Chyba náhodná může vzniknout v tomto případě například náhodným otřesem zařízení při měření. Jakmile zjistíme, jak chyba vznikla, je potřeba tuto chybu opravit a vychýlenou hodnotu vynechat z výběrového souboru, nebo ji nahradit. Pokud by tato hodnota zůstala ve výběrovém souboru, mohla by ovlivnit výsledky měření, především odhad aritmetického průměru. Ten je totiž ovlivněn těmito odlehlými pozorováními, protože není pak zachována stejnorodost výběrového souboru – neodpovídá Gaussově normálnímu rozdělení.

11.2 Grafy chybových úseček rozdělených podle měřicích přístrojů

V těchto grafech jsou rozdělené naměřené hodnoty do skupin podle měřicích přístrojů.

11.2.1 Parametr Ra

Porovnáním všech grafů u parametru Ra nelze jednoznačně určit klesající či stoupající trendy naměřených dat vůči stoupající rychlosti, proto je nutné vyhodnotit každý graf zvlášť.

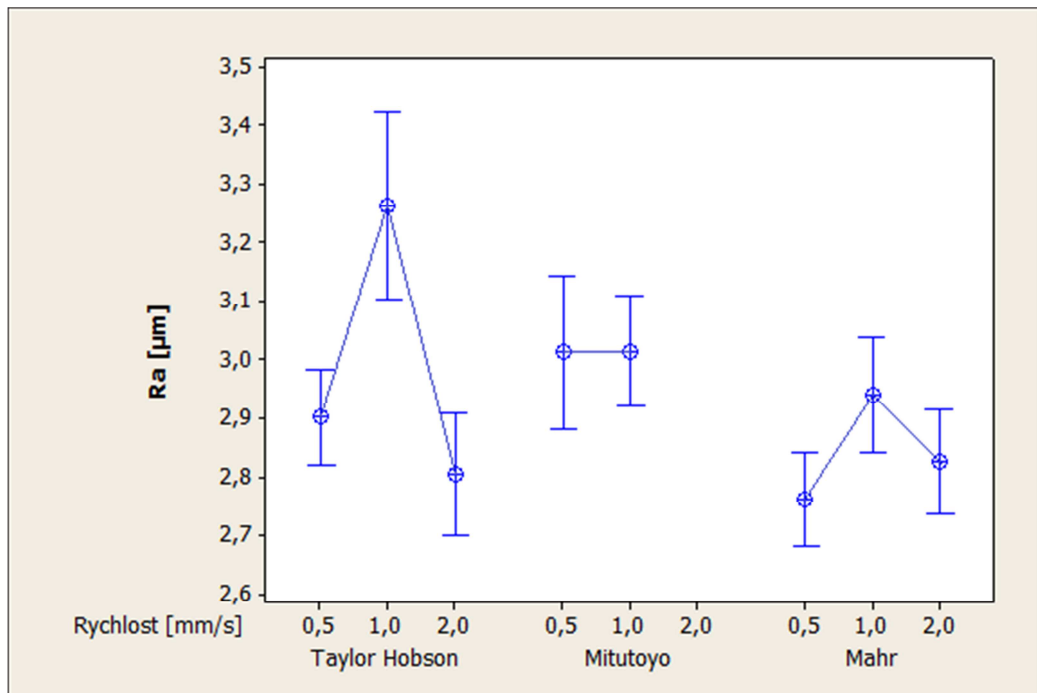


Obr. 31 Parametr Ra naměřený na povrchu 30

Z Obr. 31 je patrné, že u přístroje Taylor Hobson je pokles hodnoty odhadu aritmetického průměru 3,80 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Při měření rychlostí 2 mm/s tato hodnota vzrostla o 2,79 % oproti měřicí rychlosti 1 mm/s.

Podobně je tomu u přístroje Mitutoyo, kde je pokles hodnoty odhadu aritmetického průměru 2,21 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s.

U přístroje Mahr byl zaznamenán nárůst hodnoty odhadu aritmetického průměru o 4,64 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. U rychlosti 2 mm/s hodnota odhadu aritmetického průměru klesla o 4,21 % oproti rychlosti 1 mm/s.

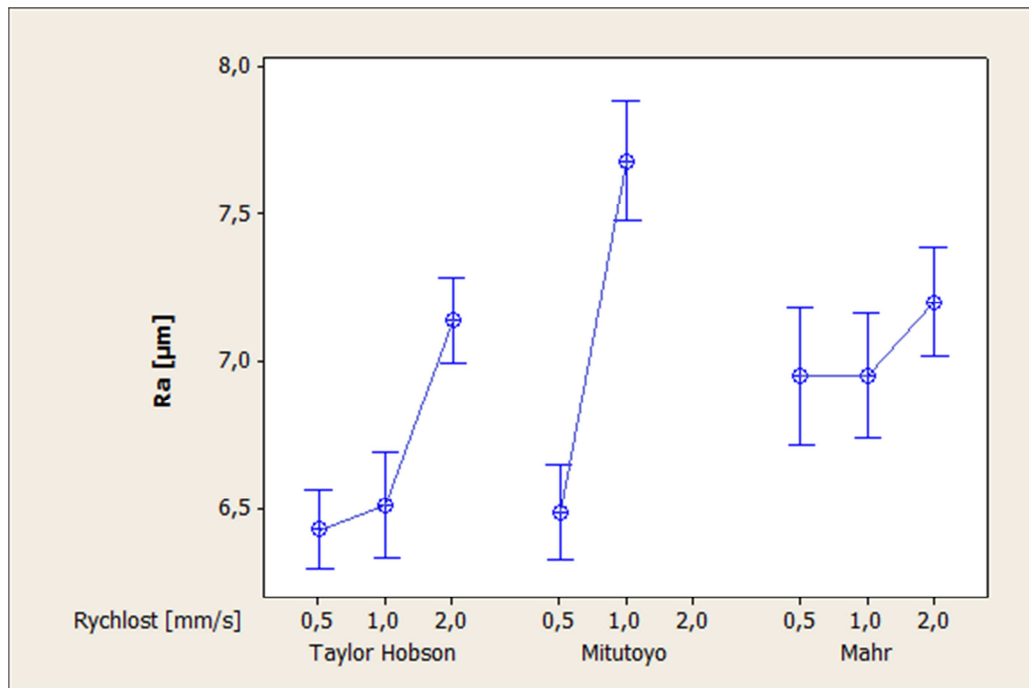


Obr. 32 Parametr Ra naměřený na povrchu 36

U parametru Ra měřeného na povrchu 36, viz. Obr. 32, byl zaznamenán nárůst hodnoty odhadu aritmetického průměru u přístroje Taylor Hobson, a to 11,06 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Poté tato hodnota klesla na nižší hodnotu, než která byla naměřena rychlostí 0,5 mm/s. Tento pokles je 14,00 %.

Skoro neznatelný rozdíl byl zjištěn u přístroje Mitutoyo, kdy byl nárůst hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s pouhých 0,08 %.

U přístroje značky Mahr byl zaznamenán nárůst hodnoty odhadu aritmetického průměru 6,00 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Poté byl naopak pokles této hodnoty o 3,88 % mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s.



Obr. 33 Parametr Ra naměřený na povrchu 42

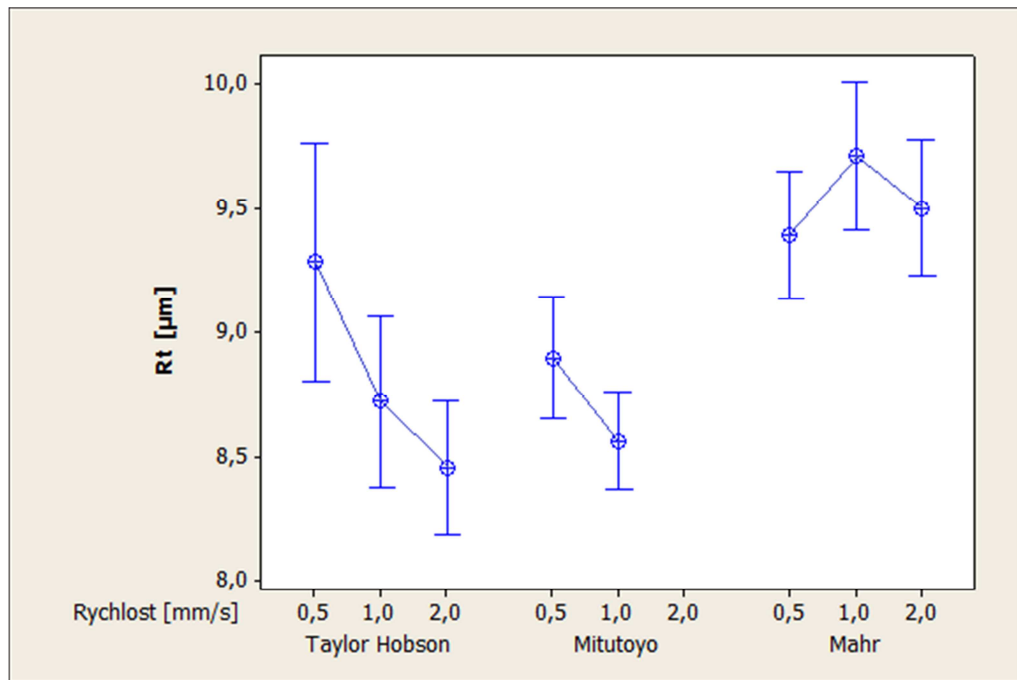
U parametru Ra měřeného na povrchu 42, viz. Obr. 33, byly zaznamenány vzrůstající tendence naměřených hodnot. Největší nárůst hodnoty odhadu aritmetického průměru byl zaznamenán u přístroje Mitutoyo a činil 15,56 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s.

Také velký nárůst hodnoty odhadu aritmetického průměru byl naměřen přístrojem Taylor Hobson mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s a to 8,83 %. Nárůst byl také naměřen mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s a to 1,28 %.

Přístrojem Mahr byly také zaznamenány vzrůstající tendence hodnot. Nejmenší nárůst byl naměřen mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s a to 0,04 %, větší nárůst byl naměřen mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s a to 3,50 %.

11.2.2 Parametr Rt

Jako tomu je u výsledků parametru Ra, i u Rt nelze určit vliv rychlosti porovnáním všech grafů.



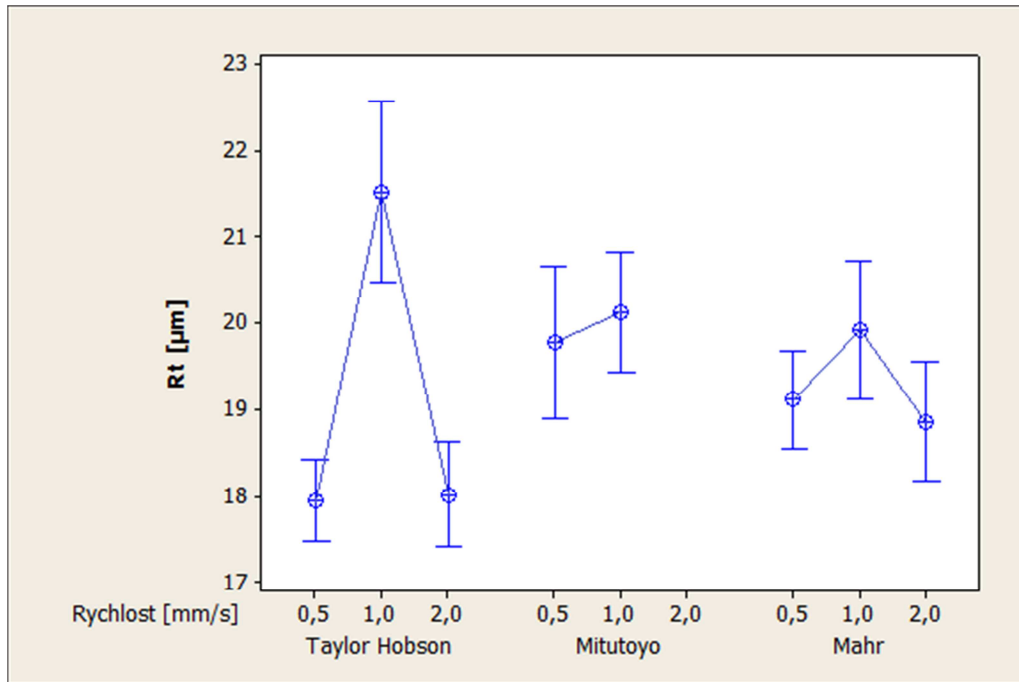
Obr. 34 Parametr R_t naměřený na povrchu 30

U parametru R_t naměřeného na povrchu 30, viz. Obr. 34, byly zjištěny převážně klesající tendence hodnot.

U přístroje Taylor Hobson byl naměřen pokles hodnoty odhadu aritmetického průměru 6,00 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s . Další pokles 3,00 % byl poté naměřen mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s .

U přístroje Mitutoyo byla také zjištěna klesající tendence naměřených dat, tento pokles hodnoty odhadu aritmetického průměru zde činí 3,75 %.

Přístrojem Mahr byl naměřen růst hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s a to 3,27 %, poté tato hodnota klesla o 2,13 % mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s .



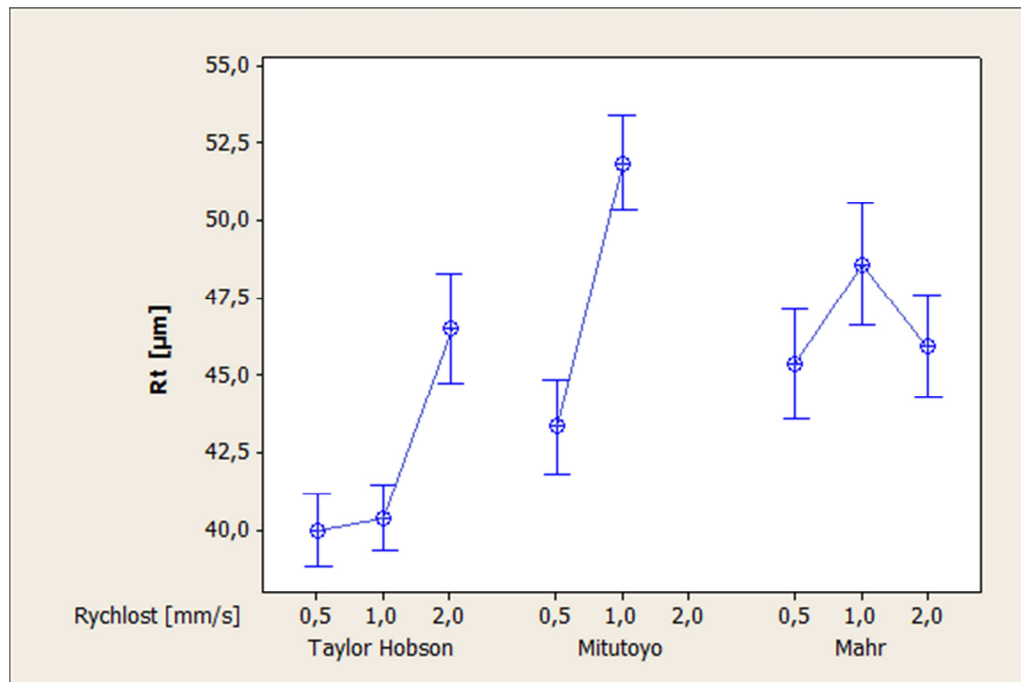
Obr. 35 Parametr Rt naměřený na povrchu 36

Na povrchu 36 byly zjištěny nejvyšší hodnoty odhadu aritmetického průměru měřicí rychlostí 1 mm/s.

U přístroje Taylor Hobson byl zjištěn velký nárůst hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s a to 16,60 %, poté tato hodnota klesla o 16,30 % při měření rychlostí 2 mm/s.

Přístrojem Mitutoyo byla naměřena vzrůstající tendence hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s, tento rozdíl zde je 1,70 %.

U přístroje Mahr byl naměřen vzrůst hodnoty odhadu aritmetického průměru 4,00 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Poté tato hodnoty klesla o 5,30 % při měření rychlostí 2 mm/s.



Obr. 36 Parametr Rt naměřený na povrchu 42

Na povrchu 42 byl také zjištěn převážně vzrůstající trend naměřených hodnot odhadů aritmetických průměrů.

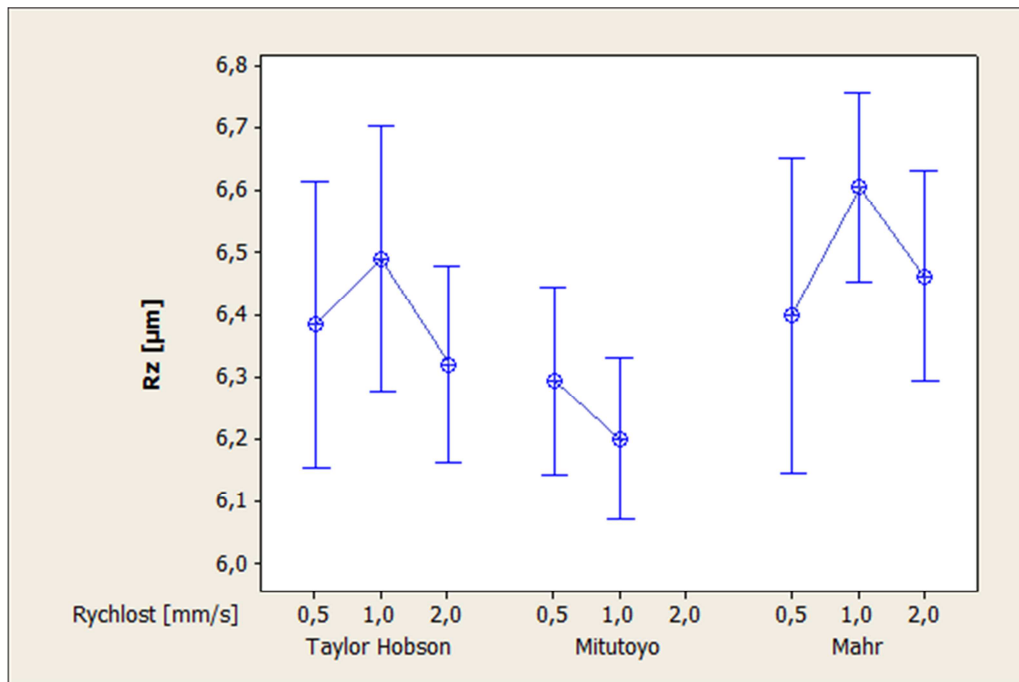
Na přístroji Taylor Hobson je nárůst hodnoty aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s a to 0,95 %. Větší nárůst byl naměřen mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s – 13,20 %.

Přístrojem Mitutoyo byl naměřen nárůst hodnoty odhadu aritmetického průměru 16,50 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s.

Na přístroji Mahr byla také naměřena vzrůstající tendence hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s a to 10,80 %. Poté tato hodnota klesla o 5,50 %.

11.2.3 Parametr Rz

U parametru Rz nelze jednoznačně určit vzrůstající či klesající tendence.

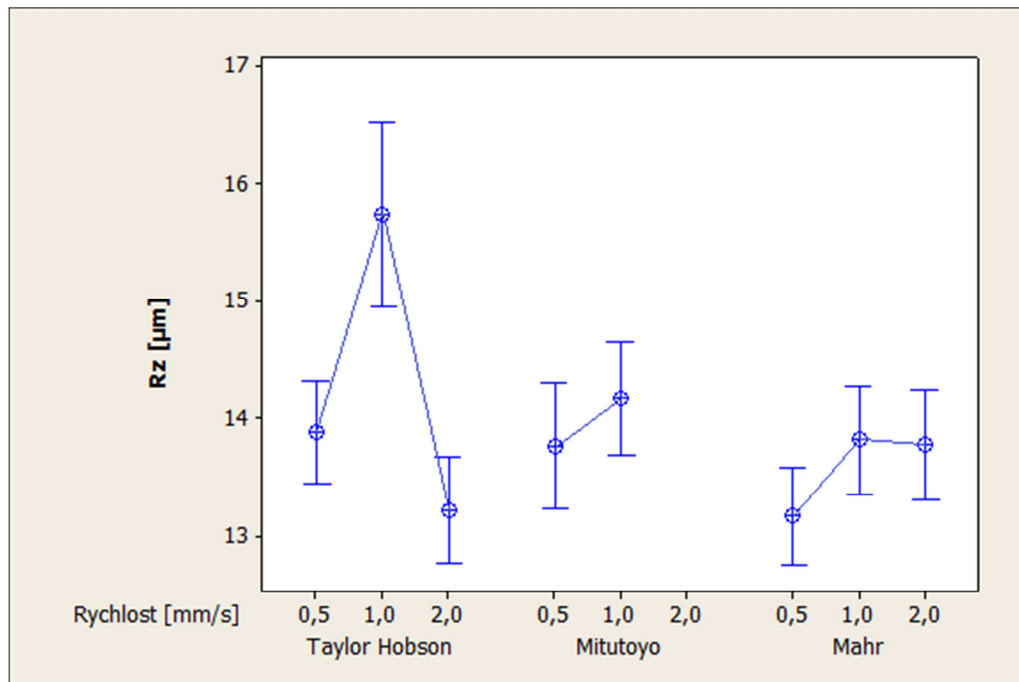


Obr. 37 Parametr Rz naměřený na povrchu 30

U parametru Rz naměřeného na povrchu 30, viz. Obr. 37, byl zjištěn nárůst 1,64 % hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Poté tato hodnota klesla o 2,60 % mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s.

U přístroje Mitutoyo byl zjištěn pokles 1,50 % hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s.

U přístroje Mahr byl zjištěn stejný průběh trendových čar jako u přístroje Taylor Hobson. Mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s vzrůst 3,10 % hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Poté pokles 2,20 % této hodnoty mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s.

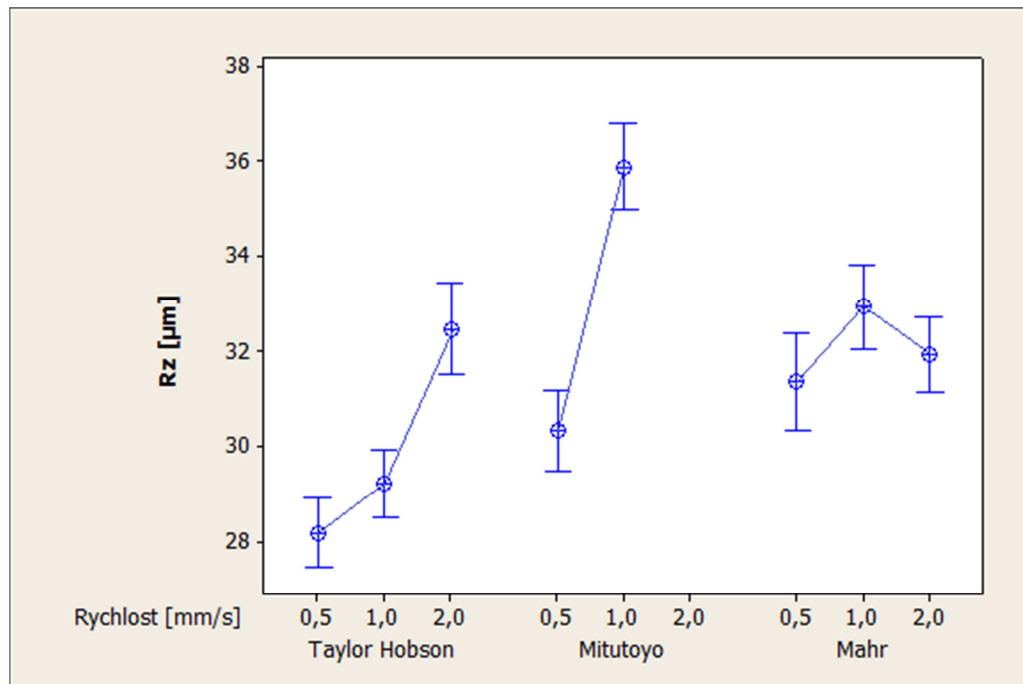


Obr. 38 Parametr Rz naměřený na povrchu 36

U parametru Rz měřeného na povrchu 36, viz Obr. 38, byl zjištěn největší nárůst 11,7 % hodnot odhadu aritmetického průměru, přístrojem Taylor Hobson, mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Poté tato hodnota klesá o 16,00 % mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s.

Naměřené hodnoty odhadu aritmetického průměru přístrojem Mitutoyo vzrůstají o 2,80 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s.

Přístrojem Mahr byl naměřen vzrůst 4,70 % hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Poté tato hodnota poklesne o 0,30 % mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s.



Obr. 39 Parametr Rz naměřený na povrchu 42

Na povrchu 42, viz. Obr. 39, je převážně stoupající trend hodnot odhadu aritmetického průměru parametru Rz.

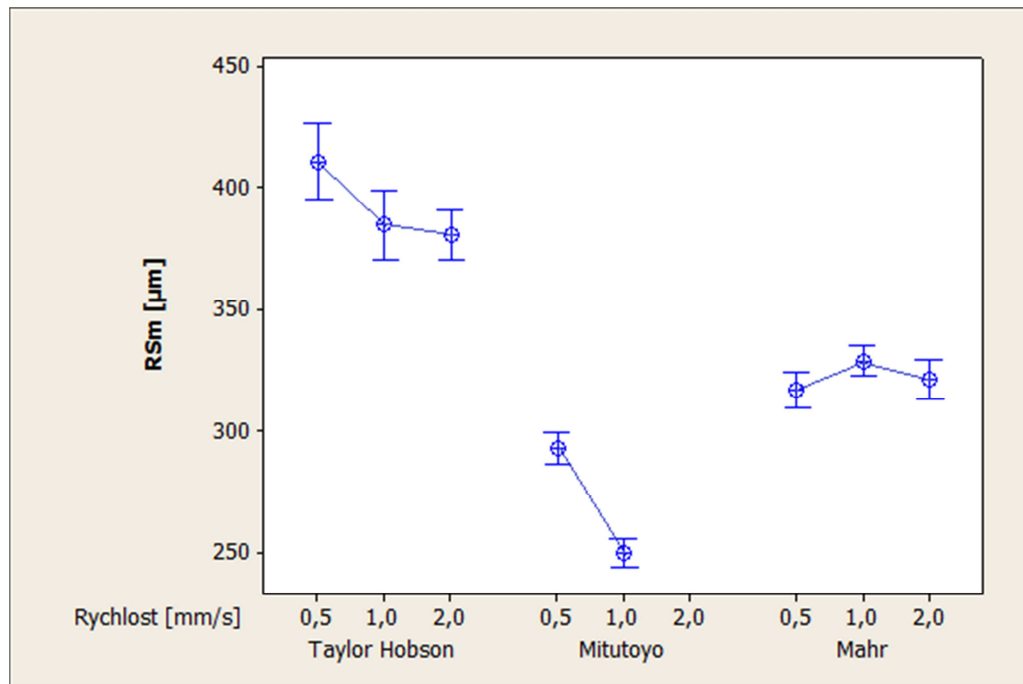
Přístroje Taylor Hobson byly naměřeny pouze vzrůstající tendence hodnot odhadu aritmetického průměru, kdy tato hodnota vzrůstá o 3,50 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s a o 10,00 % mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s.

Přístrojem Mitutoyo byl naměřen vzrůst 15,50 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s.

U přístroje Mahr byl zjištěn vzrůst 4,80 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Ovšem mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s byl naměřen pokles odhadu aritmetického průměru o 3,00 %.

11.2.4 Parametr RSm

U všech povrchů, které byly proměřeny bylo zjištěno, že parametr RSm měřený přístrojem Mitutoyo je podhodnocený oproti druhým dvěma přístrojům. Rozdíl mezi hodnotami je dokonce přes 100 µm.



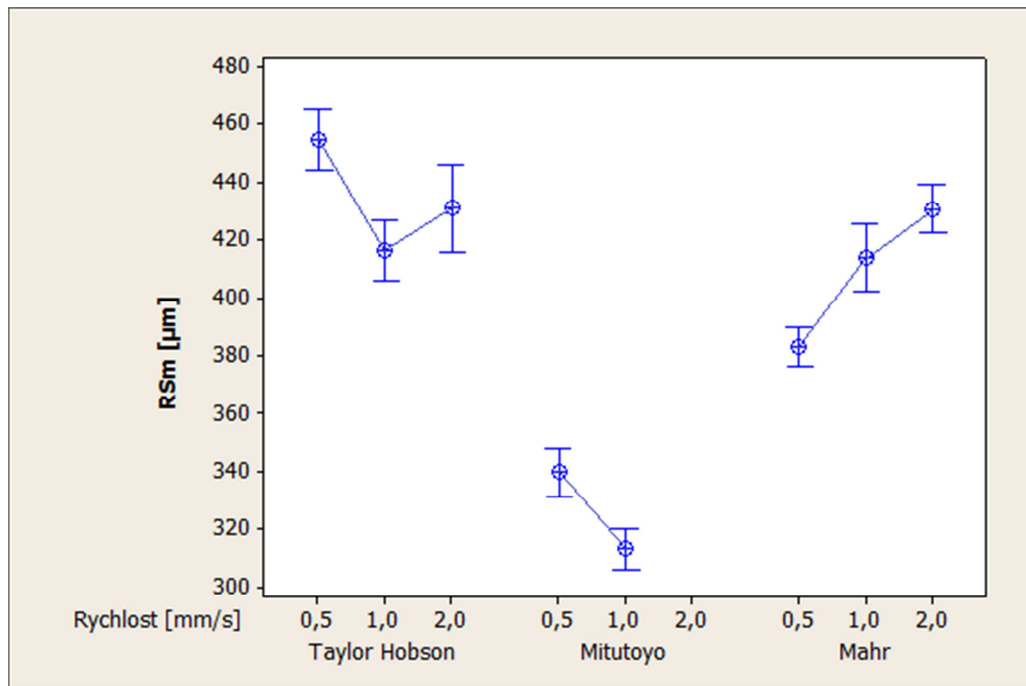
Obr. 40 Parametr RSm naměřený na povrchu 30

U parametru RSm naměřeného na povrchu 30, viz. Obr. 40, byly zjištěny převážně klesající tendence naměřených hodnot.

Přístrojem Taylor Hobson byl naměřen pokles 6,60 % hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s byl zjištěn také pokles, a to 1,00 %.

Přístrojem Mitutoyo byl naměřen pokles 11,00 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s.

Přístrojem Mahr byl zjištěn vzrůst 3,60 % hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Poté tato hodnota poklesla o 2,30 % mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s.

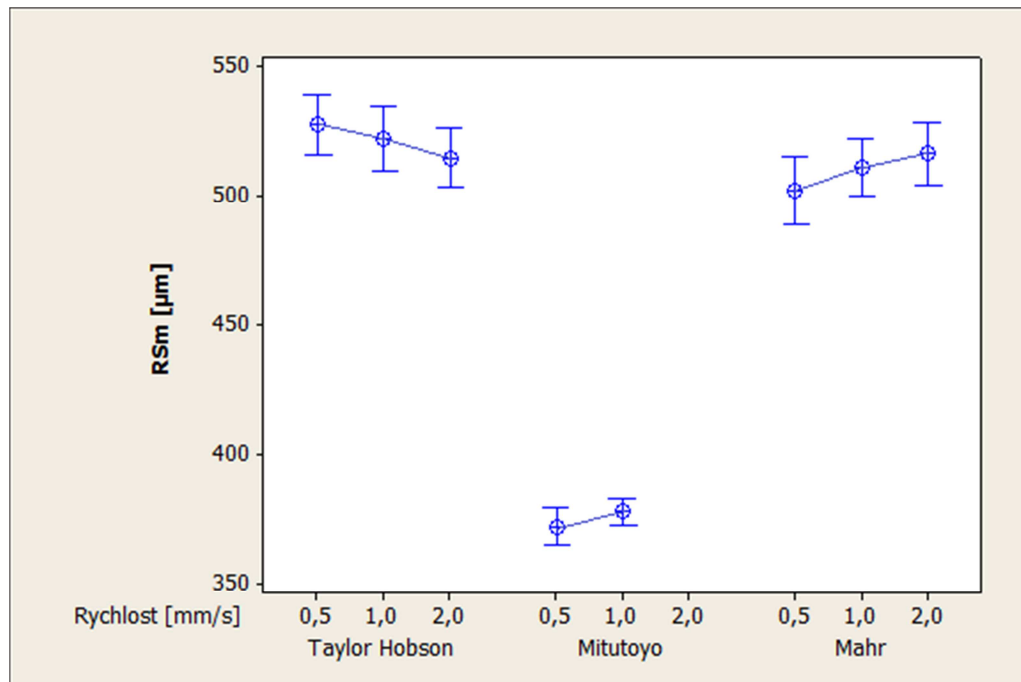


Obr. 41 Parametr RSm naměřený na povrchu 36

U parametru RSm měřeného na povrchu 36, viz. Obr. 41, byl naměřen na přístroji Taylor Hobson pokles 8,40 % hodnoty odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s byl naměřen naopak vzrůst 3,40 %.

Přístrojem Mitutoyo byl naměřen pokles 7,80 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s.

Přístrojem Mahr byly zjištěny vzrůstající tendence hodnot odhadu aritmetického průměru. Nárůst 7,50 % byl zjištěn mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s a mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s byl zjištěn nárůst 4,00 %.



Obr. 42 Parametr RSm naměřený na povrchu 42

U parametru RSm měřeného na povrchu 42, viz. Obr. 42, byly zjištěny převážně vzrůstající tendence naměřených dat – přístroje Mitutoyo a Mahr.

Oproti tomu na přístroji Taylor Hobson byly zjištěny klesající tendence. Pokles 1,00 % byl naměřen mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s a mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s byl naměřen pokles 1,40 %.

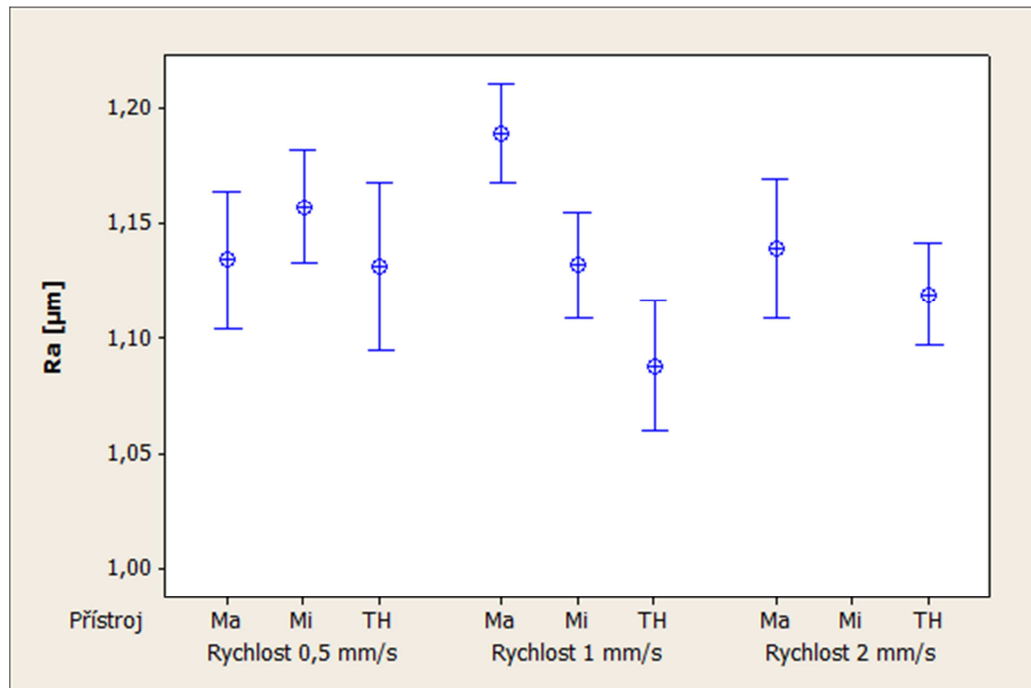
Přístrojem Mitutoyo byl naměřen vzrůst 1,50 % hodnot odhadu aritmetického průměru mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s.

Přístrojem Mahr byl naměřen vzrůst 1,80 % mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Mezi rychlostmi 1 a 2 mm/s byl také naměřen vzrůst, a to 1,00 %.

11.3 Grafy chybových úseček rozdělených podle měřicích rychlostí

Data v grafech v této kapitole jsou rozříděny podle měřicích rychlostí, kvůli tomu aby se dalo určit jak se liší jednotlivé odhady aritmetického průměru pro různé přístroje.

11.3.1 Parametr Ra



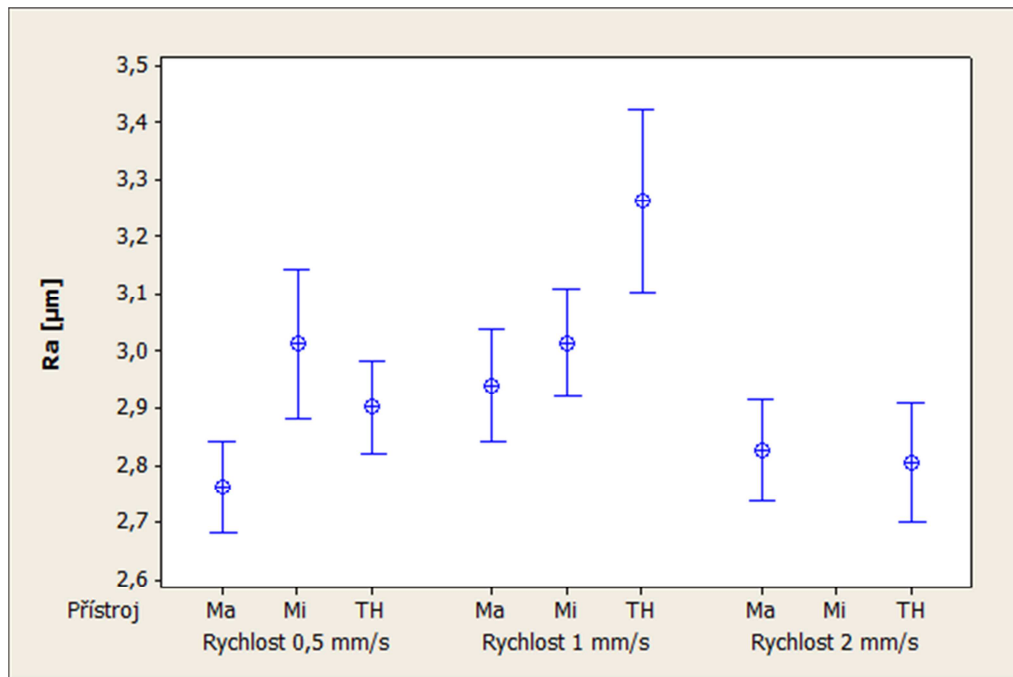
Obr. 43 Parametr Ra naměřený na povrchu 30

U parametru Ra, měřeného na povrchu 30, viz. Obr. 43 vyšly nejnižší naměřené hodnoty odhadů aritmetického průměru na přístroji Taylor Hobson.

U rychlosti 0,5 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Ra 1,13 μm, vyšší hodnotu – o 0,20 % naměřil Mahr a nejvyšší hodnotu naměřil Mitutoyo, a to o 2,24 % oproti Taylor Hobson.

U rychlosti 1 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Ra 1,09 μm, vyšší hodnotu – o 3,90 % naměřil Mitutoyo a nejvyšší hodnotu naměřil Mahr, a to o 8,52 % oproti Taylor Hobson.

U rychlosti 2 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Ra 1,12 μm, vyšší hodnotu naměřil Mahr o 1,73 %.



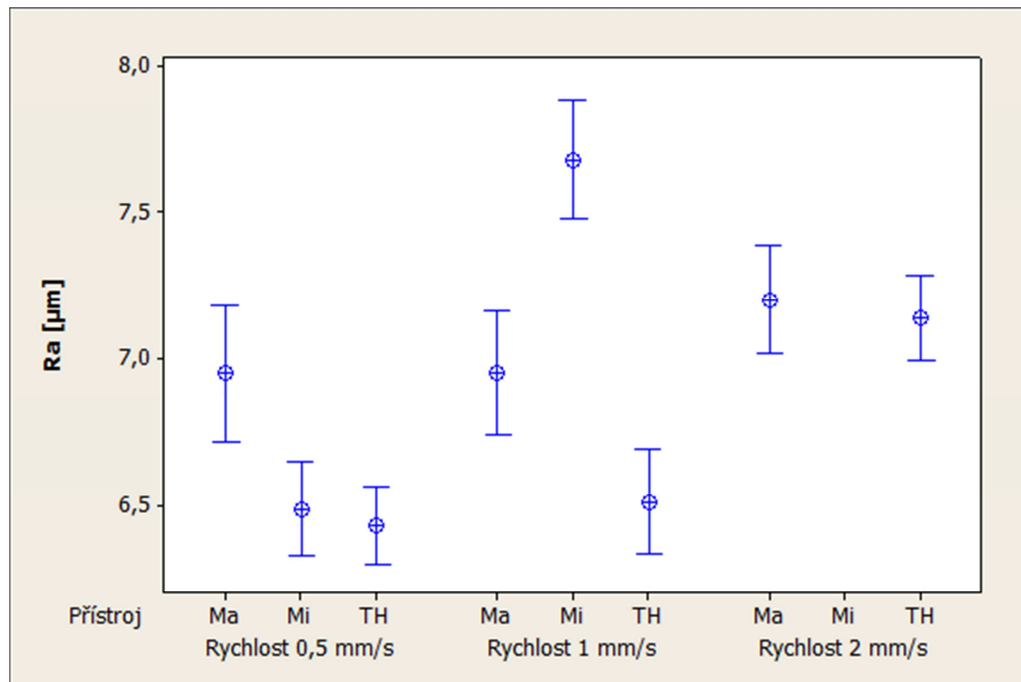
Obr. 44 Parametr Ra naměřený na povrchu 36

U parametru Ra, měřeného na povrchu 36, viz. Obr. 44, vyšly nejnižší naměřené hodnoty odhadů aritmetického průměru převážně na přístroji Mahr.

U rychlosti 0,5 mm/s naměřil přístroj Mahr hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Ra 2,76 μm, vyšší hodnotu – o 4,85 % naměřil Taylor Hobson a nejvyšší hodnotu naměřil Mitutoyo, a to o 8,35 % oproti Mahr.

U rychlosti 1 mm/s naměřil přístroj Mahr hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Ra 2,94 μm, vyšší hodnotu – o 2,00 % naměřil Mitutoyo a nejvyšší hodnotu naměřil Taylor Hobson, a to o 9,89 % oproti Mahr.

U rychlosti 2 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson nejnižší hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Ra 2,80 μm, vyšší hodnotu naměřil Mahr o 0,78 %.



Obr. 45 Parametr Ra naměřený na povrchu 42

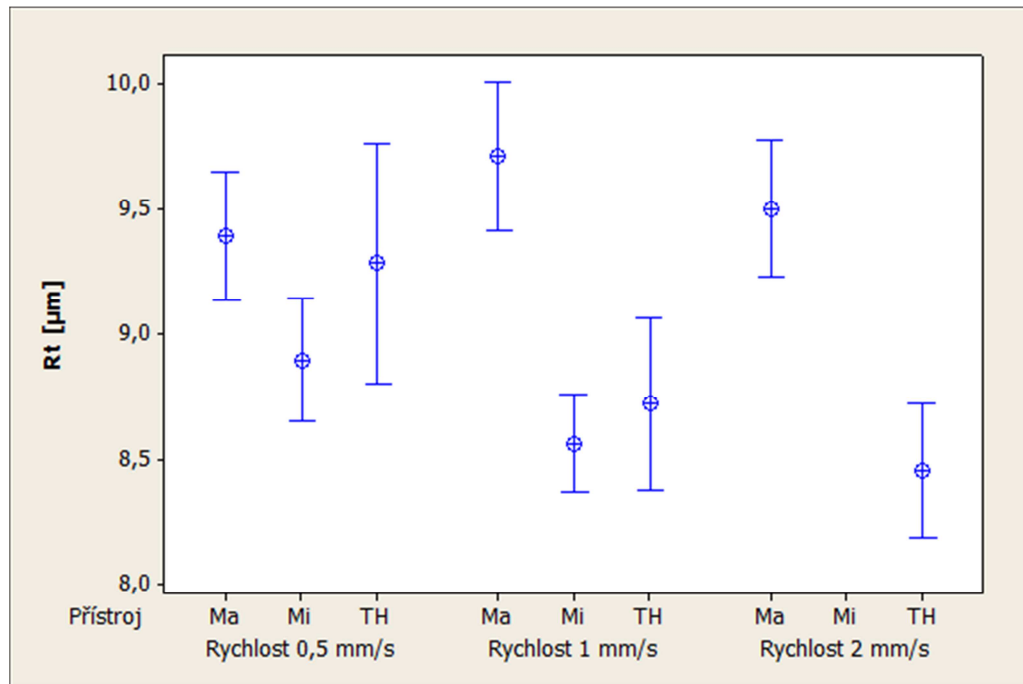
U parametru Ra, měřeného na povrchu 42, viz. Obr. 45 vyšly nejnižší naměřené hodnoty odhadů aritmetického průměru na přístroji Taylor Hobson.

U rychlosti 0,5 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Ra 6,43 µm, vyšší hodnotu – o 0,90 % naměřil Mitutoyo a nejvyšší hodnotu naměřil Mahr, a to o 7,50 % oproti Taylor Hobson.

U rychlosti 1 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Ra 6,51 µm, vyšší hodnotu – o 6,30 % naměřil Mahr a nejvyšší hodnotu naměřil Mitutoyo, a to o 15,2 % oproti Taylor Hobson.

U rychlosti 2 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Ra 7,14 µm, vyšší hodnotu naměřil Mahr o 0,80 %.

11.3.2 Parametr Rt



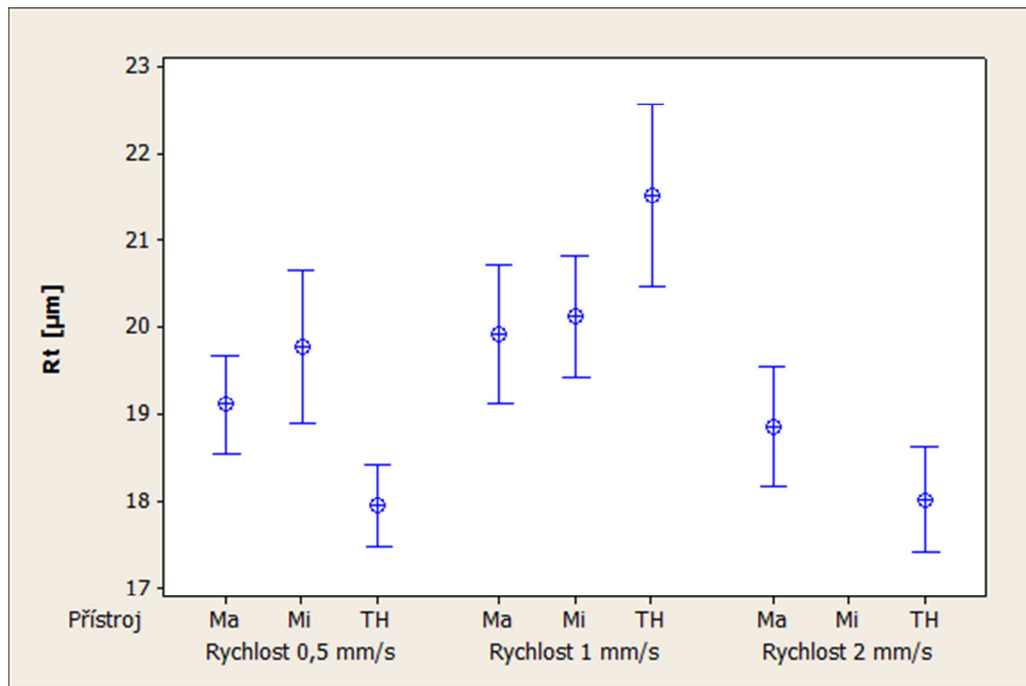
Obr. 46 Parametr Rt naměřený na povrchu 30

U parametru Rt, měřeného na povrchu 30, viz. Obr. 46 vyšly nejnižší naměřené hodnoty odhadů aritmetického průměru převážně na přístroji Mitutoyo.

U rychlosti 0,5 mm/s naměřil přístroj Mitutoyo hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Rt 8,89 μm, vyšší hodnotu – o 4,20 % naměřil Taylor Hobson a nejvyšší hodnotu naměřil Mahr, a to o 5,30 % oproti Mitutoyo.

U rychlosti 1 mm/s naměřil přístroj Mitutoyo hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Rt 8,56 μm, vyšší hodnotu – o 1,80 % naměřil Taylor Hobson a nejvyšší hodnotu naměřil Mahr, a to o 11,80 % oproti Mitutoyo.

U rychlosti 2 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson nejnižší hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Rt 8,45 μm, vyšší hodnotu naměřil Mahr o 11,00 %.



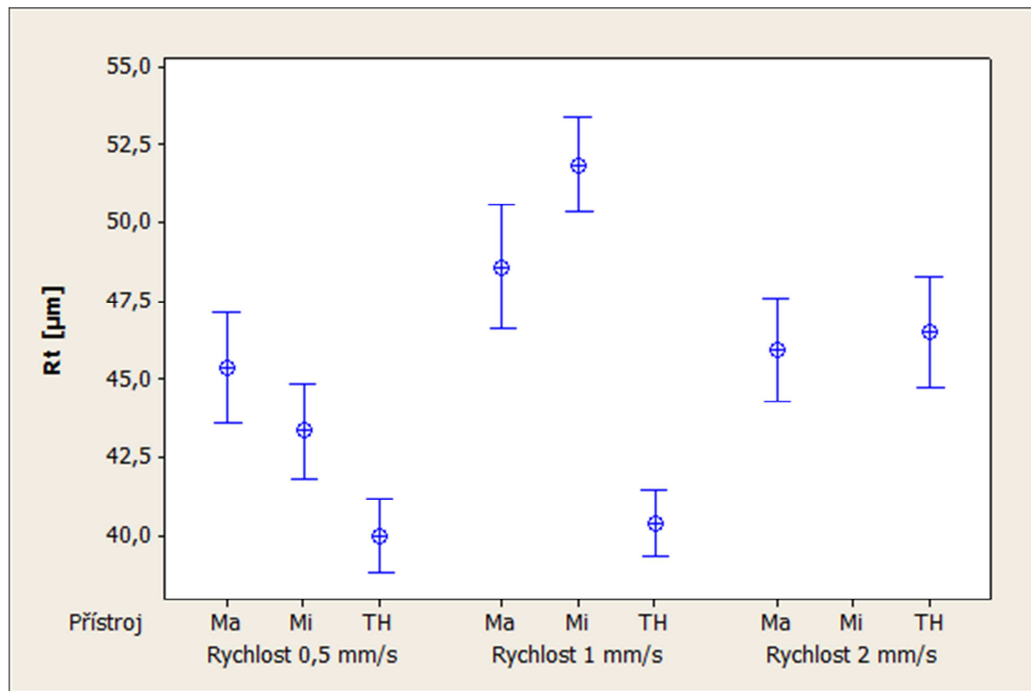
Obr. 47 Parametr Rt naměřený na povrchu 36

U parametru Rt, měřeného na povrchu 36, viz. Obr. 47 vyšly nejnižší naměřené hodnoty odhadů aritmetického průměru převážně na přístroji Taylor Hobson.

U rychlosti 0,5 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Rt 17,95 µm, vyšší hodnotu – o 6,00 % naměřil Mahr a nejvyšší hodnotu naměřil Mitutoyo, a to o 9,30 % oproti Taylor Hobson.

U rychlosti 1 mm/s naměřil přístroj Mahr nejnižší hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Rt 19,92 µm, vyšší hodnotu – o 1,00 % naměřil Mitutoyo a nejvyšší hodnotu naměřil Taylor Hobson, a to o 7,40 % oproti Mahr.

U rychlosti 2 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson nejnižší hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Rt 18,01 µm, vyšší hodnotu naměřil Mahr o 4,48 %.



Obr. 48 Parametr Rt naměřený na povrchu 42

U parametru Rt, měřeného na povrchu 42, viz. Obr. 48 vyšly nejnižší naměřené hodnoty odhadů aritmetického průměru převážně na přístroji Taylor Hobson.

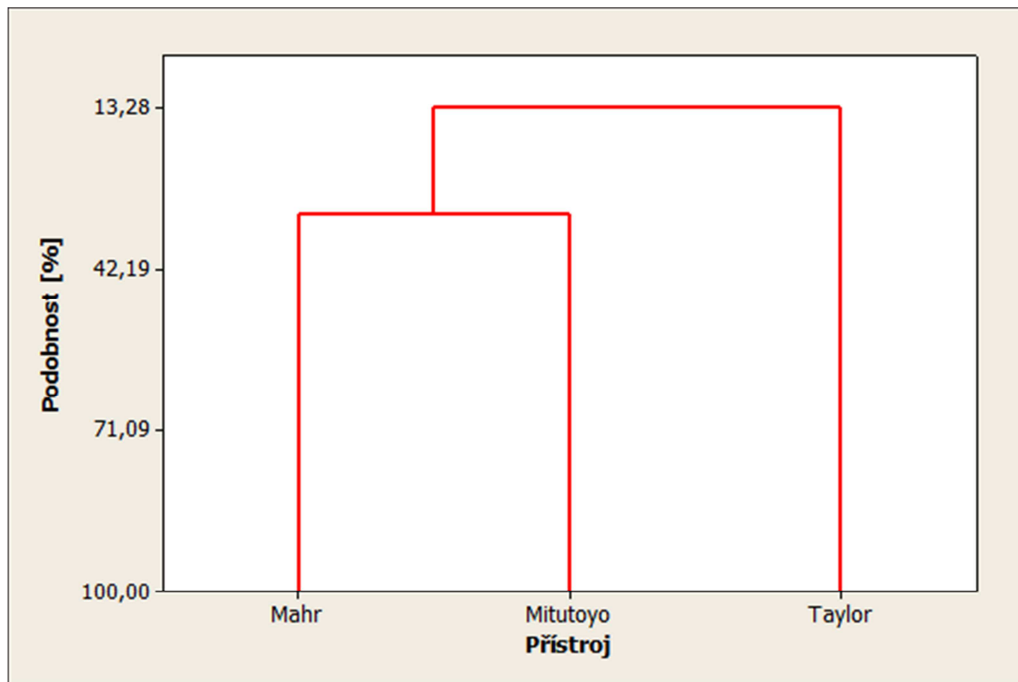
U rychlosti 0,5 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Rt 39,98 µm, vyšší hodnotu – o 7,70 % naměřil Mitutoyo a nejvyšší hodnotu naměřil Mahr, a to o 11,80 % oproti Taylor Hobson.

U rychlosti 1 mm/s naměřil přístroj Taylor Hobson hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Rt 40,37 µm, vyšší hodnotu – o 16,90 % naměřil Mahr a nejvyšší hodnotu naměřil Mitutoyo, a to o 22,20 % oproti Taylor Hobson.

U rychlosti 2 mm/s naměřil přístroj Mahr nejnižší hodnotu odhadu aritmetického průměru parametru Rt 45,93 µm, vyšší hodnotu naměřil Taylor Hobson o 1,20 %.

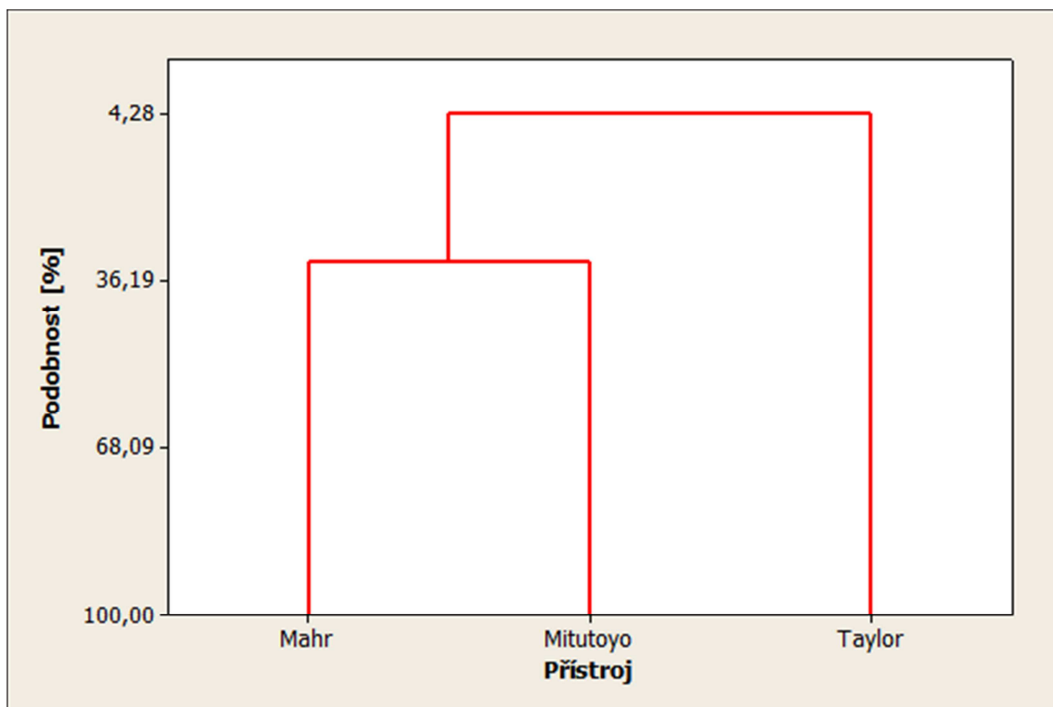
11.4 Dendrogramy

Tento graf se používá ke znázornění jednotlivých kroků shlukové analýzy. Pomocí něho můžeme určit na kolik procent se podobají/jsou rozdílné dva soubory. Grafy níže byly vytvořeny z dat naměřených rychlostí 0,5 mm/s na povrchu 30.



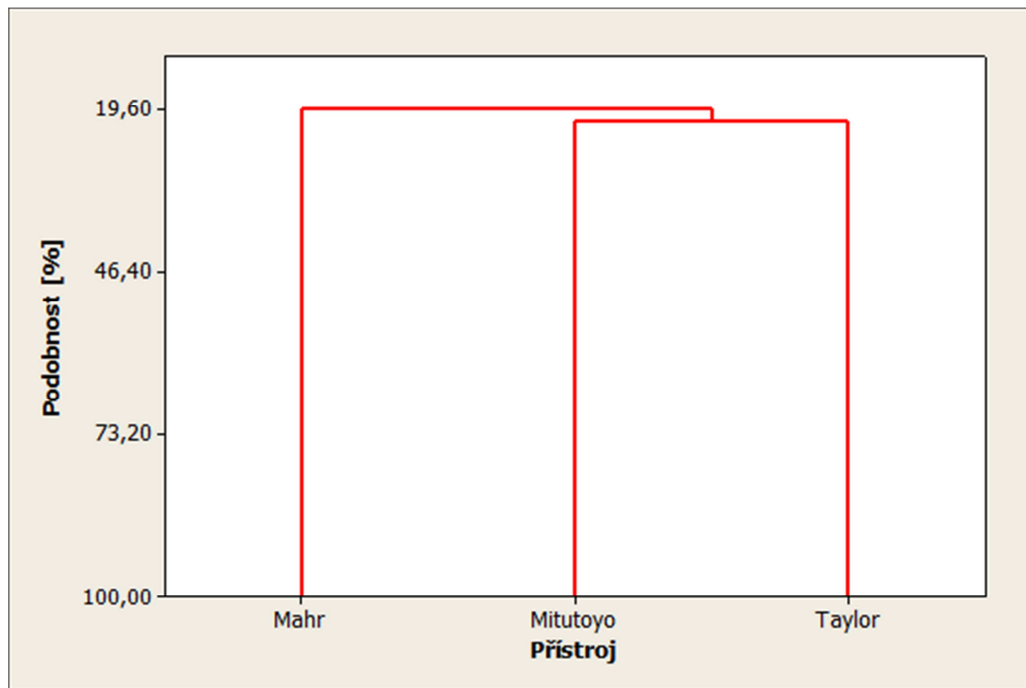
Obr. 49 Dendrogram parametru Ra

Z hlediska Ra, za podmínek reprodukovatelnosti – na stejném vzorku povrchu, stejnou rychlostí, stejný operátor se dospělo k závěru, že soubory dat naměřená přístroji Mahr a Mitutoyo jsou si podobná na 32,27 %. Soubor dat přístrojů Mahr a Mitutoyo je podobný se souborem dat naměřených přístrojem Taylor Hobson na 13,28 %.



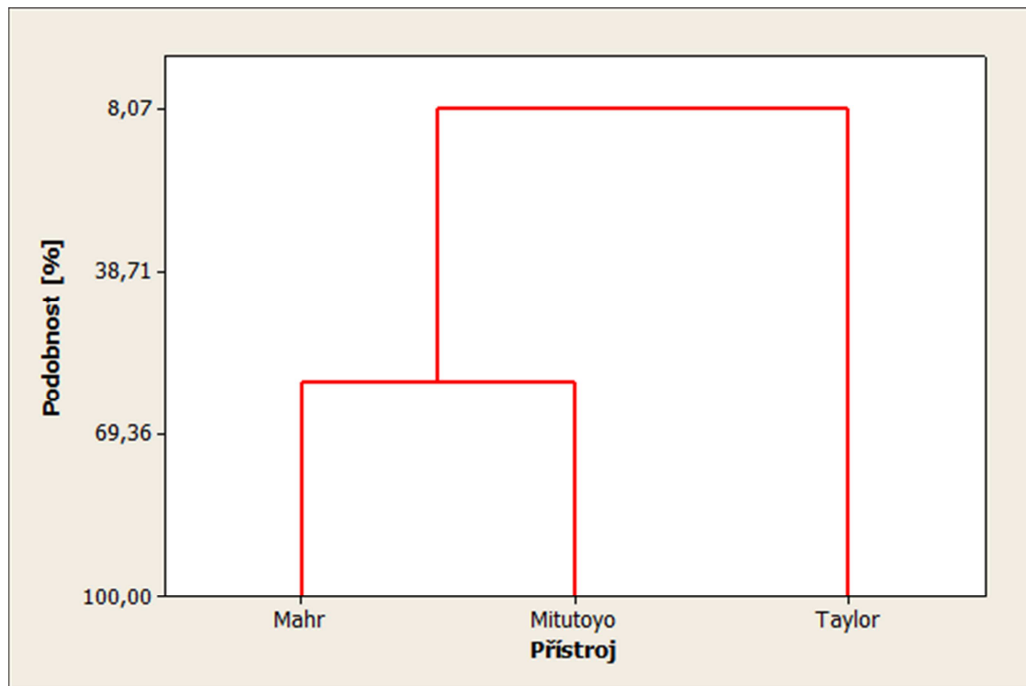
Obr. 50 Dendrogram parametru Rt

Z hlediska R_t , za podmínek reprodukovatelnosti – na stejném vzorku povrchu, stejnou rychlostí, stejný operátor se dospělo k závěru, že soubory dat naměřená přístroji Mahr a Mitutoyo jsou si podobná na 32,67 %. Soubor dat přístrojů Mahr a Mitutoyo je podobný se souborem dat naměřených přístrojem Taylor Hobson na 4,28 %.



Obr. 51 Dendrogram parametru R_z

Z hlediska R_z , za podmínek reprodukovatelnosti – na stejném vzorku povrchu, stejnou rychlostí, stejný operátor se dospělo k závěru, že soubory dat naměřená přístroji Mitutoyo a Mahr jsou si podobná na 21,65 %. Soubor dat přístrojů Mitutoyo a Taylor Hobson je podobný se souborem dat naměřených přístrojem Mahr na 19,60 %.



Obr. 52 Dendrogram parametru RSm

Z hlediska RSm, za podmínek reprodukovatelnosti – na stejném vzorku povrchu, stejnou rychlostí, stejný operátor se dospělo k závěru, že soubory dat naměřená přístroji Mahr a Mitutoyo jsou si podobná na 59,68 %. Soubor dat přístrojů Mahr a Mitutoyo je podobný se souborem dat naměřených přístrojem Taylor Hobson na 8,07 %.

ZÁVĚR

Diplomová práce má dvě části – teoretickou a praktickou. V teoretické části je popsána problematika jakosti povrchu, parametrů jakosti povrchu, způsoby měření jakosti povrchu, metody měření povrchů a vyhodnocení výsledků měření.

V praktické části jsou popsány cíle diplomové práce, měřicí přístroje použité při měření, měřené vzorky, podmínky měření, příprava vzorků a zpracování naměřených dat.

Vzorky se měřily rychlostí 0,5, 1 a 2 mm/s (kromě přístroje značky Mitutoyo, který nepodporoval měření rychlostí 2 mm/s). Jako vzorky byly použity 2 destičky, vyrobené technologií vstřikování, na kterých jsou různě drsné povrchy. Konkrétně byly vybrány povrchy označené čísly 30, 36 a 42. Měření probíhalo v laboratořích Ústavu výrobního inženýrství a v laboratoři firmy PRIMA Bilavčák, s.r.o. Měřilo se na přístrojích značek Taylor Hobson, Mitutoyo a Mahr. Všechny přístroje měřily jakost povrchu kontaktním způsobem. Měřilo se 30krát pro každý povrch a každou rychlost. Naměřená data bylo potřeba zkontrolovat na vychýlené hodnoty. To probíhalo pomocí softwaru Minitab použitím boxplotového grafu. Pro lepší interpretaci výsledků byly poté vytvořeny grafy chybových úsečků s vyznačenými odhady aritmetického průměru. Tyto odhady byly spojeny trendovými čarami.

Prvním cílem této diplomové práce je výzkum vlivu rychlosti měření na naměřené výsledky. Tento vliv byl potvrzen a je to patrné z vyhotovených grafů chybových úsečků v kapitole 11.1. Nelze ale jednoznačně určit stoupající či klesající trend vůči stoupající rychlosti měření.

Druhým cílem je výzkum vlivu rychlosti měření na parametry Ra, Rt, Rz a RSm. I tento vliv byl potvrzen a podobněji je popsán v kapitole 11.1.

U parametru Ra nešlo jednoznačně určit klesající či stoupající tendence naměřených dat. Data bylo potřeba proto vyhodnocovat po jednotlivých površích. Pokud vezmeme v potaz vliv měřicího přístroje na naměřená data, tak nejkonstantnějších výsledků bylo docíleno přístrojem značky Mahr.

Co se týče parametru Rt, tady to bylo velmi podobné jako u parametru Ra. Vliv rychlosti zde také nelze jednoznačně určit. I u tohoto parametru, ale vykazoval měřicí přístroj značky Mahr nejkonstantnější výsledky, oproti druhým dvěma přístrojům.

U parametru Rz byly vysledovány převážně vzrůstající trend naměřených dat k vzrůstající rychlosti snímání. Na povrchu 42 byl naměřen přístrojem Mitutoyo dokonce rozdíl 6 μ m

mezi rychlostmi 0,5 a 1 mm/s. Měřicí přístroj značky Mahr zase vykazoval nejkonstantnější naměření výsledky.

U parametru RSm převládala převážně klesající tendence hodnot. U všech třech měřených povrchů vyšly naměřené hodnoty přístrojem značky Mitutoyo značně podhodnoceně oproti zbylým dvěma přístrojům. Rozdíl mezi přístroji činil dokonce přes 100 μm .

Posledním cílem je výzkum vlivu přístroje na naměřené hodnoty. Této problematice se podrobněji zabývala kapitola 11.3. Z naměřených výsledků vyšlo, že převážně nejnižší hodnoty naměřil přístroj Taylor Hobson. Tento přístroj, ale také vykazoval nejmenší podobnost naměřených dat s dalšími 2 přístroji. To je patrné z dendrogramů, a je to způsobeno tím, že přístroj Taylor Hobson má větší rozptyl hodnot (je citlivější) než ostatní přístroje.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BUMBÁLEK, Bohumil, Vladimír ODVODY a Bohuslav OŠŤÁDAL. *Drsnost povrchu*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 338 s.
- [2] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Základy konstruování*. Vyd. 2., přeprac. Brno: CERM, 2003, 200 s. ISBN 8072043064
- [3] PATA, V.: Měření jakosti povrchu [online]. [cit. 2016-03-02]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=1985
- [4] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999.
- [5] NOVÁK, Zdeněk. Zvyšování kvality hodnocení struktury povrchu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zvysovani-kvality-hodnoceni-struktury-povrchu>.
- [6] ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999.
- [7] Pokrok v měření a hodnocení struktury povrchu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pokrok-v-mereni-a-hodnoceni-struktury-povrchu-2.html>
- [8] Dotykové, nebo bezdotykové měření struktury povrchu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dotykove-nebo-bezdotykove-mereni-struktury-povrchu.html>
- [9] NOVÁK, Zdeněk. Zvýšení kvality hodnocení textury povrchu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zvyseni-kvality-hodnoceni-textury-povrchu.html>
- [10] 3D analýzy a filtrace profilu povrchu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/3d-analyzy-a-filtrace-profilu-povrchu.html>

- [11] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie, část 1* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [12] PERNIKÁŘ, Jiří, Josef VAČKÁŘ a Miroslav TYKAL. *Jakost a metrologie*. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1997-0.
- [13] *Integrita obráběného povrchu* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/1913161/>
- [14] HAVELKOVÁ, Martina a Helena HIKLÍKOVÁ. *Mapování povrchu pevných těles se zaměřením na kontaktní profilometrii* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <ftp://afnet.upol.cz/Public/AFNET/literatura/havelkova.pdf>
- [15] ŘEZANKOVÁ, Hana a Tomáš LÖSTER. *Úvod do statistiky*. Vyd. 1. Praha: Oeconomica, 2009, 111 s. ISBN 978-80-245-1514-4.
- [16] BLATNÁ, Dagmar. *Statistika a pravděpodobnost*. 3. vyd. Praha: Bankovní institut vysoká škola, 2007, 114 s. ISBN 978-80-7265-109-2.
- [17] *Směrodatná odchylka* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.matematika.cz/smerodatna-odchylka>
- [18] *Měření jakosti povrchu* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/measuring_surfaces
- [19] PATA, V. *Jakost a metrologie* (přednáška) Zlín: UTB, 5.4.2014
- [20] *Drsnost povrchu dle DIN EN ISO* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.hommel-etamic.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>
- [21] PATA, V. *Jakost a metrologie* (přednáška) Zlín: UTB, 20.2.2014
- [22] SKALSKÁ, Hana. *Aplikovaná statistika*. Vyd. 1. Hradec Králové: Gaudeamus, 2013, 233 s. ISBN 978-80-7435-320-8.
- [23] *Povrchy povlaků* [online]. [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/spt/povrchy%20povlaku.pdf
- [24] *Form Talysurf Intra* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.taylor-hobson.com/products/14/107.html>
- [25] *Surftest SJ-410 Series 178-Portable Surface* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://ecatalog.mitutoyo.com/Surftest-SJ-410-Series-178-Portable-Surface-C1822.aspx>

- [26] *MARSURF XR 20 MIT GD 120* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.mahr.cz/cs/Produkty-a-slu%C5%BEby/V%C3%BDrobn%C3%AD-m%C4%9B%C5%99ic%C3%AD-technika/Produkty/MarSurf---Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C4%9B-%C5%99%C3%ADzen%C3%A1-za%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-na-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD-drsnosti/MarSurf-XR-20-s-GD-120/>
- [27] *FORM TALYSURF INTRA: Operator's Handbook*. Leicester, 2002.
- [28] *MITUTOYO: katalog měřicích přístrojů 2014/2015* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.merici-pristroje.cz/files/ckeditor//5_Produkty/5-23_mitutoyo/2-katalog_MITUTOYO_CZ-19001.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
GPS	Geometrické požadavky na výrobky
lp	Základní délka
lr	Základní délka
lw	Základní délka
ln	Vyhodnocovaná délka
Ra	Střední aritmetická úchylka profilu
Rz	Výška nerovnosti profilu z deseti bodů
Rq	Průměrná kvadratická úchylka profilu drsnosti
Rt	Celková výška profilu drsnosti
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu drsnosti
Rda	Průměrný aritmetický sklon profilu drsnosti
Rdq	Průměrný kvadratický sklon profilu drsnosti
RSm	Průměrná šířka prvků profilu drsnosti
Rpk	Redukovaná výška vrcholů
Rk	Výška jádra profilu drsnosti
Rvk	Redukovaná výška prohlubní
Mr1	Horní mez jádra
Mr2	Dolní mez jádra
Max	Maximum
Rz1max	Maximální hloubka profilu drsnosti
Rsk	Šikmost posuzovaného parametru

Rku	Špičatost posuzovaného parametru
Rp	Největší výšku výstupku od střední čáry profilu v rozsahu základní délky
Rc	Průměrná výška prvku profilu
tzv.	Takzvaně
μm	Mikrometr
CLA	Chromatic lenght aberation
H ₀	Nulová hypotéza
H _A	Alternativní hypotéza
1-α	Spolehlivost
β	Pravděpodobnost rozhodnutí
α	Hladina významnosti
1-β	Síla testu
mm	milimetr
LCD	Liquid crystal display
PC	Polykarbonát
Mi	Mitutoyo
Ma	Mahr
TH	Taylor Hobson
např.	například
atd.	a tak dále

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Profil povrchu [4]	13
Obr. 2 Základní délka [20].....	14
Obr. 3 Střední aritmetická úchylka profilu Ra [3]	15
Obr. 4 Stejná hodnota Ra na různých površích [7].....	16
Obr. 5 Výška nerovnosti profilu z deseti bodů Rz [13]	16
Obr. 6 Průměrná kvadratická úchylka profilu drsnosti Rq [23]	17
Obr. 7 Celková výška profilu drsnosti Rt [13].....	17
Obr. 8 Největší hloubka prohlubně profilu drsnosti Rv [14].....	18
Obr. 9 Průměrný aritmetický sklon profilu drsnosti Rda [7].....	18
Obr. 10 Křivka materiálového podílu drsnosti povrchu [23].....	20
Obr. 11 Materiálový poměr [18].....	21
Obr. 12 Filtrace [3]	25
Obr. 13 Dotyková metoda snímání profilu [12]	26
Obr. 14 Měřicí smyčka dotykového profilometru [12].....	27
Obr. 15 Princip měření dotykovým profilometrem [11].....	29
Obr. 16 Princip CLA snímače [3].....	31
Obr. 17 Měřicí přístroj Taylor Hobson [24]	41
Obr. 18 Měřicí přístroj Mitutoyo [25]	42
Obr. 19 Měřicí přístroj Mahr [26].....	43
Obr. 20 Vzorek č.1	44
Obr. 21 Vzorek č.2.....	44
Obr. 22 Nastavení přístroje Taylor Hobson.....	45
Obr. 23 Další karta nastavení přístroje Taylor Hobson	46
Obr. 24 Pomůcka k nastavení snímače	46
Obr. 25 Nastavení měření na přístroji Mitutoyo SJ-410.....	47
Obr. 26 Nastavení měření na přístroji Mahr MarSurf 120	47
Obr. 27 Ukázka povrchu se škrábanci	48
Obr. 28 Povrch, který je ideální pro měření drsnosti.....	49
Obr. 29 Mikroskop Carl Zeiss Jena	49
Obr. 30 Box-plotový graf parametru RSm s vyznačenou vychýlenou hodnotou.....	50
Obr. 31 Parametr Ra naměřený na povrchu 30.....	51
Obr. 32 Parametr Ra naměřený na povrchu 36.....	52

Obr. 33 Parametr Ra naměřený na povrchu 42.....	53
Obr. 34 Parametr Rt naměřený na povrchu 30	54
Obr. 35 Parametr Rt naměřený na povrchu 36	55
Obr. 36 Parametr Rt naměřený na povrchu 42	56
Obr. 37 Parametr Rz naměřený na povrchu 30.....	57
Obr. 38 Parametr Rz naměřený na povrchu 36.....	58
Obr. 39 Parametr Rz naměřený na povrchu 42.....	59
Obr. 40 Parametr RSm naměřený na povrchu 30	60
Obr. 41 Parametr RSm naměřený na povrchu 36	61
Obr. 42 Parametr RSm naměřený na povrchu 42	62
Obr. 43 Parametr Ra naměřený na povrchu 30.....	63
Obr. 44 Parametr Ra naměřený na povrchu 36.....	64
Obr. 45 Parametr Ra naměřený na povrchu 42.....	65
Obr. 46 Parametr Rt naměřený na povrchu 30	66
Obr. 47 Parametr Rt naměřený na povrchu 36	67
Obr. 48 Parametr Rt naměřený na povrchu 42	68
Obr. 49 Dendrogram parametru Ra	69
Obr. 50 Dendrogram parametru Rt	69
Obr. 51 Dendrogram parametru Rz	70
Obr. 52 Dendrogram parametru RSm.....	71

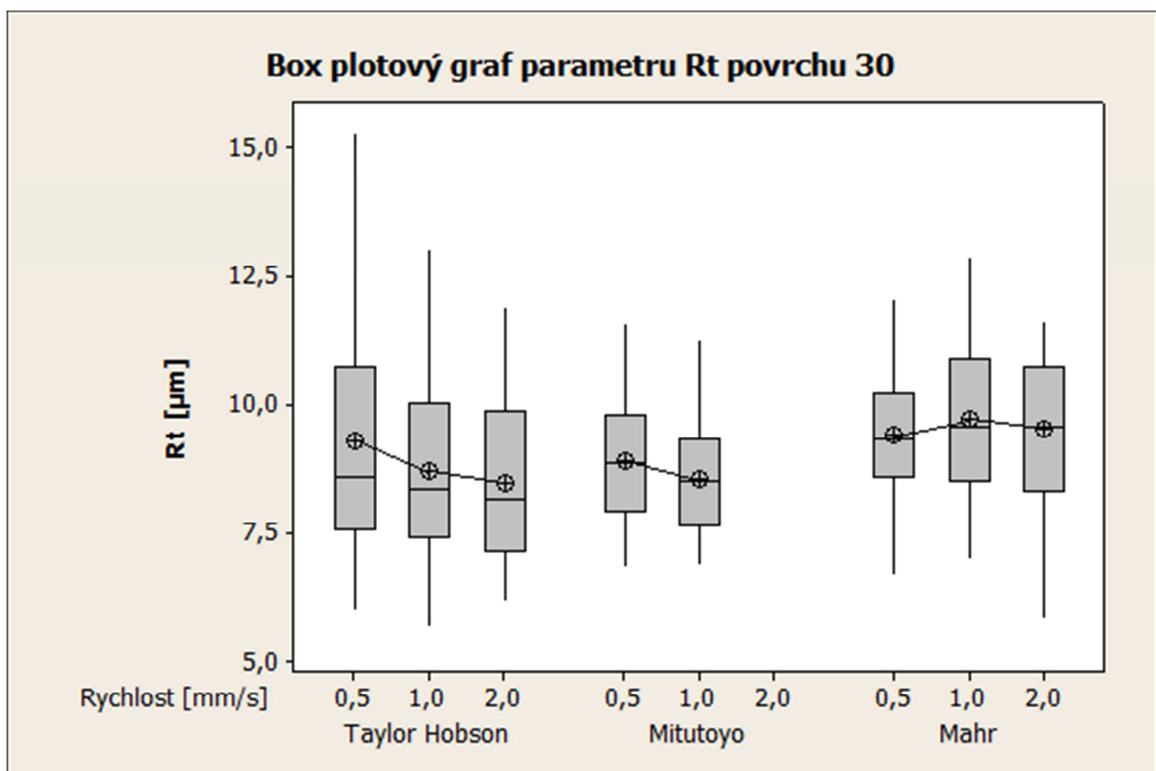
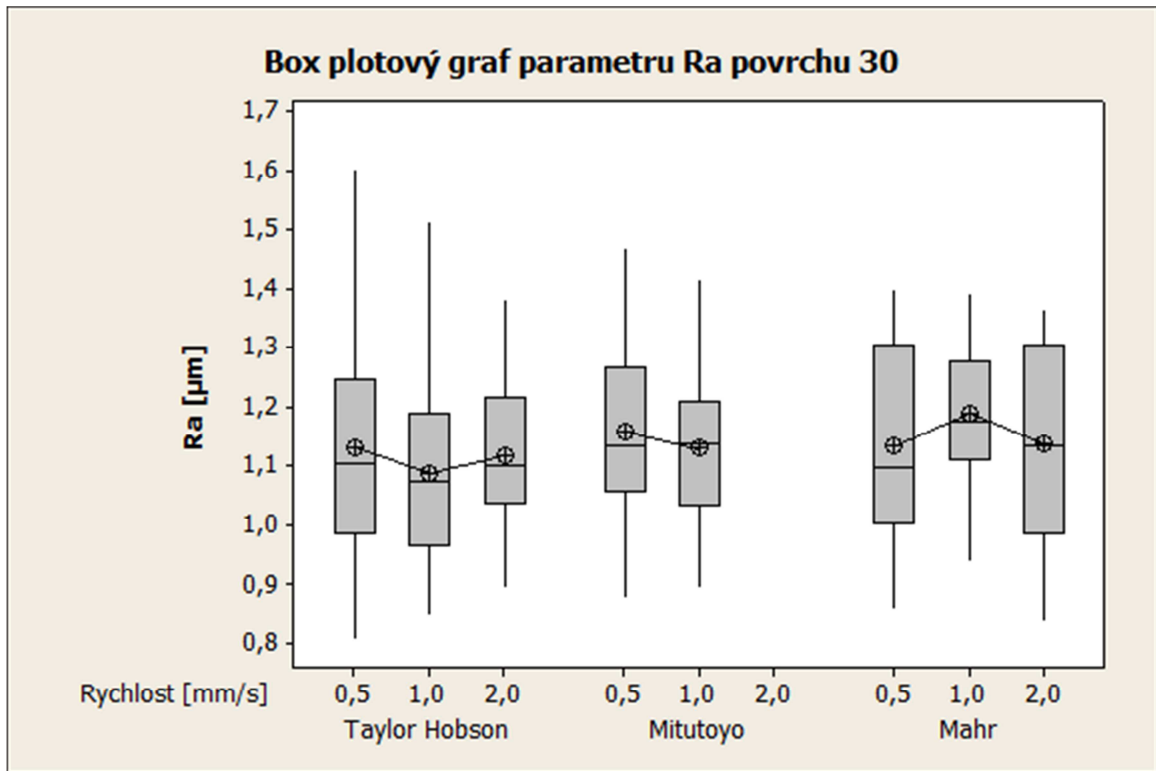
SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Základní délky drsnosti pro měření Ra, Rq, Rsk, Rku, Rdq [12].....	22
Tab. 2 Základní délky drsnosti pro měření Rz, Rv, Rp, Rc a Rt pro neperiodické profily [12]	23
Tab. 3 Základní délky drsnosti pro měření R-parametrů periodických profilů a RSm periodických a neperiodických profilů [12]	23
Tab. 4 Rozhodování o hypotéze [19].....	36
Tab. 5 Technické parametry přístroje Taylor Hobson [27]	40
Tab. 6 Technické parametry přístroje Mitutoyo [28]	41
Tab. 7 Technické parametry přístroje Mahr [26].....	42

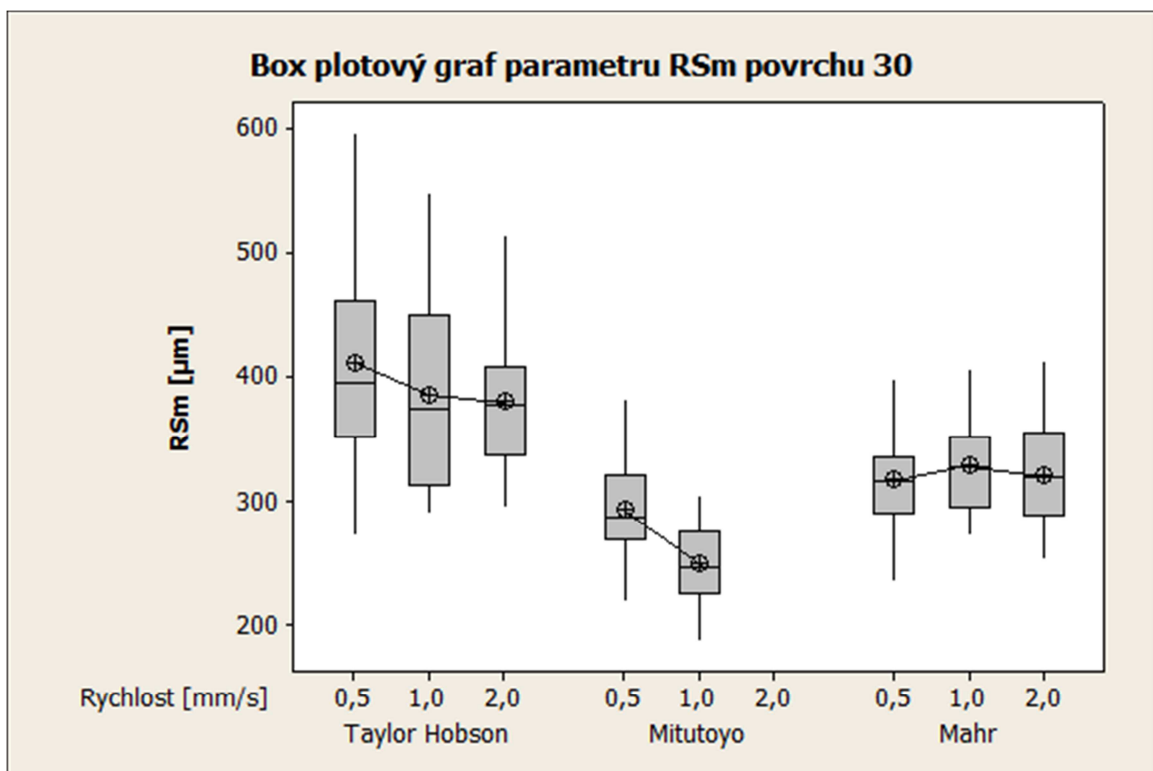
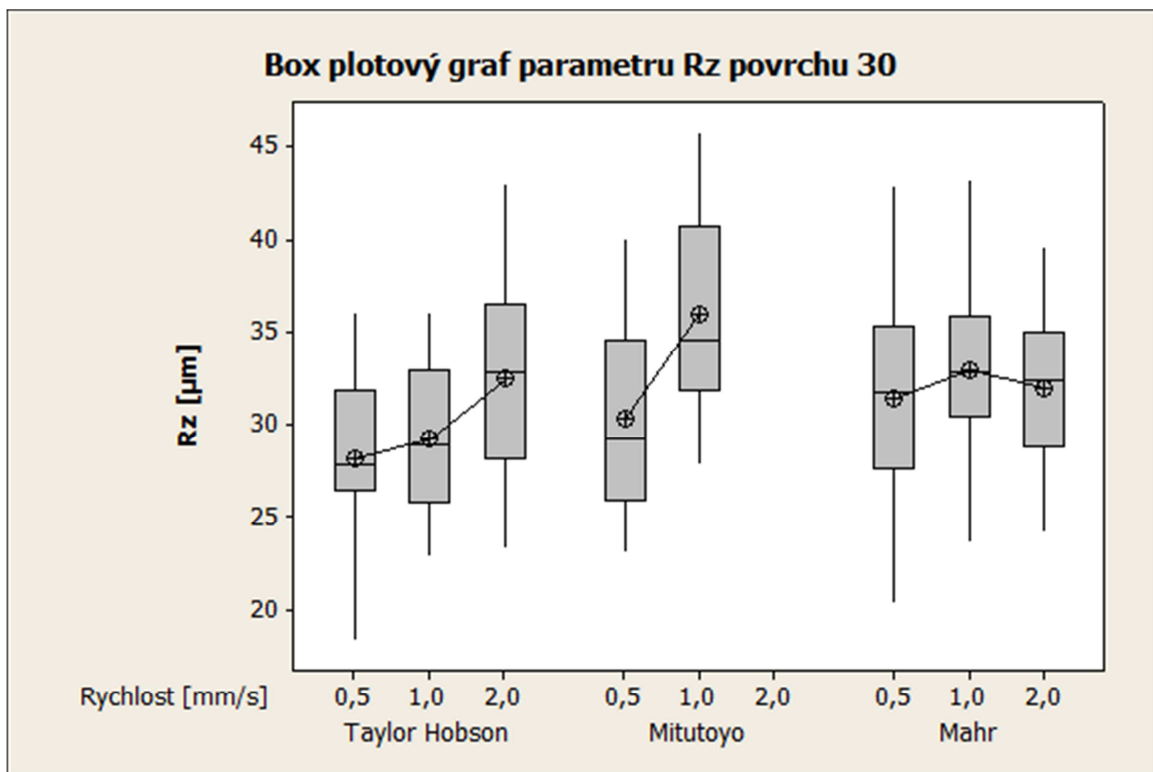
SEZNAM PŘÍLOH

P I	Povrch 30 – parametr Ra, Rt
P II	Povrch 30 – parametr Rz, RSm
P III	Povrch 36 – parametr Ra, Rt
P IV	Povrch 36 – parametr Rz, RSm
P V	Povrch 42 – parametr Ra, Rt
PVI	Povrch 42 – parametr Rz, RSm

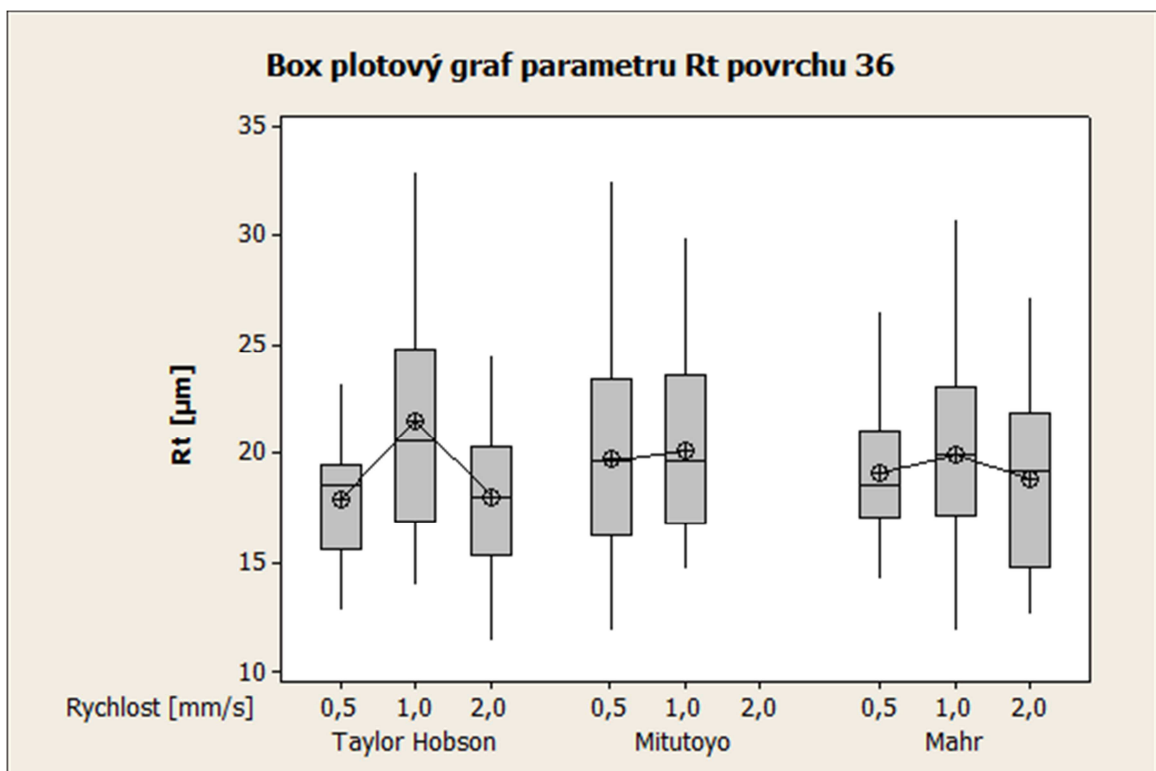
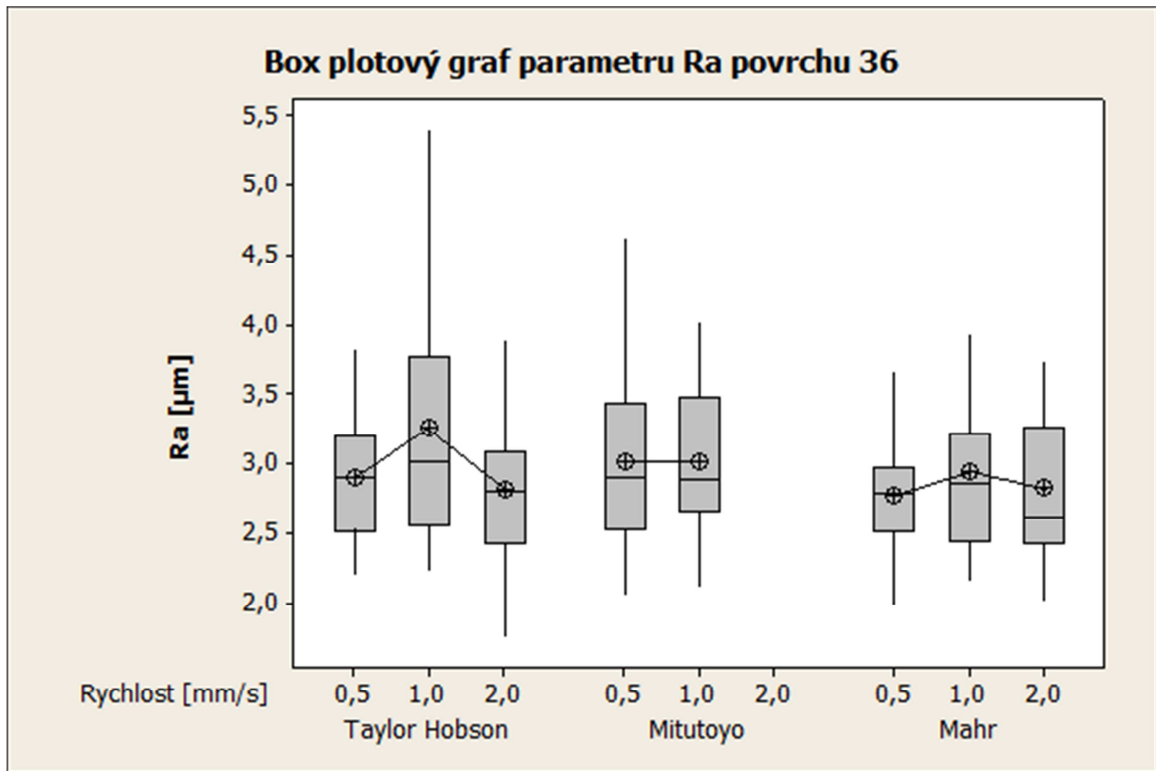
PŘÍLOHA P I: POVRCH 30 – PARAMETR RA, RT



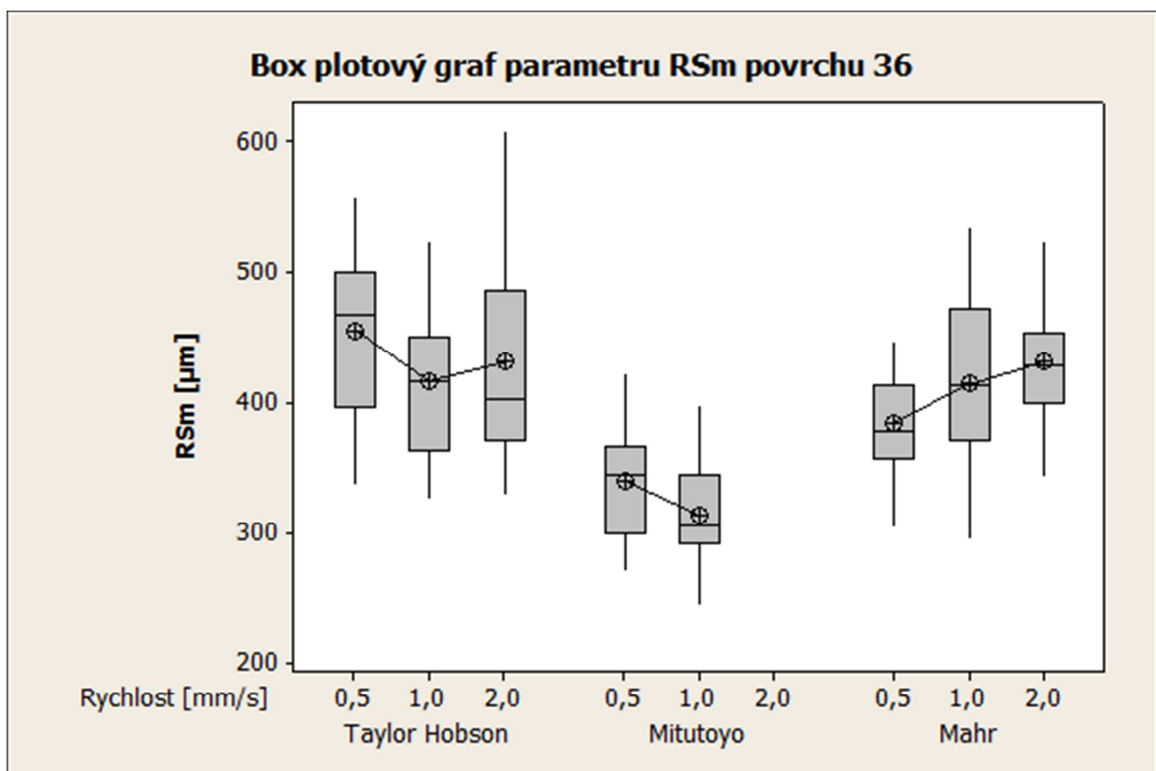
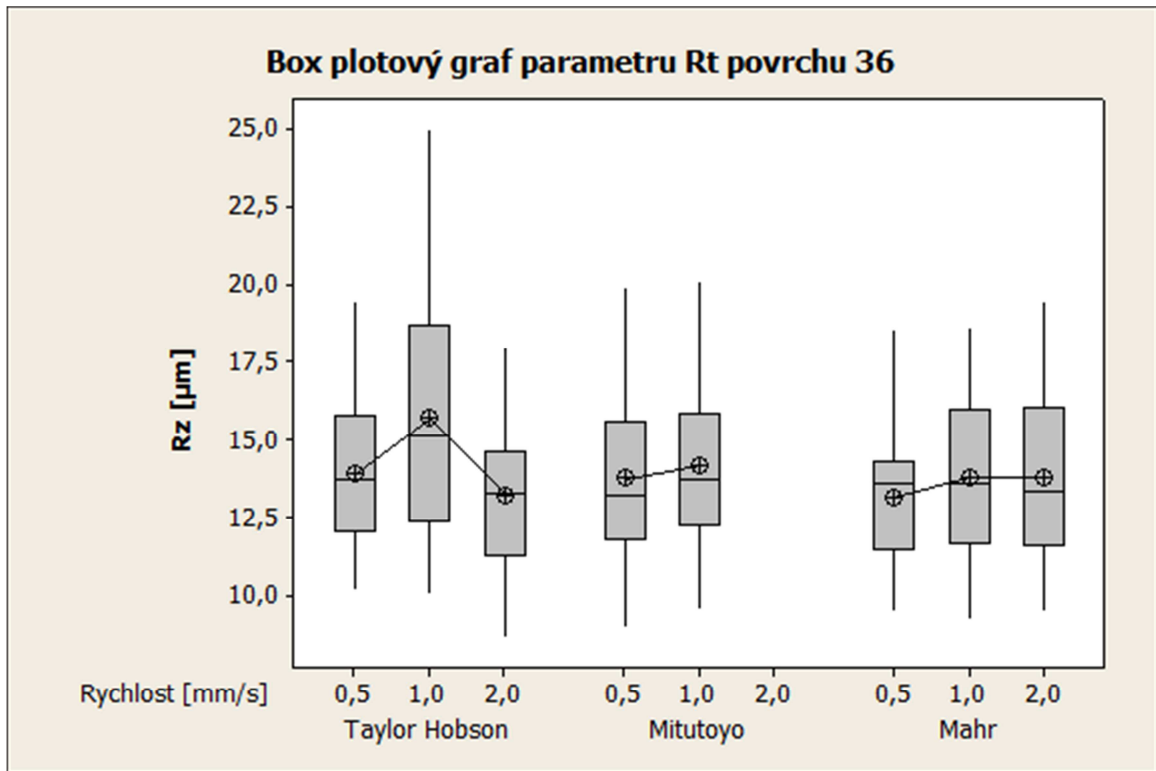
PŘÍLOHA P II: POVRCH 30 – PARAMETR RZ, RSM



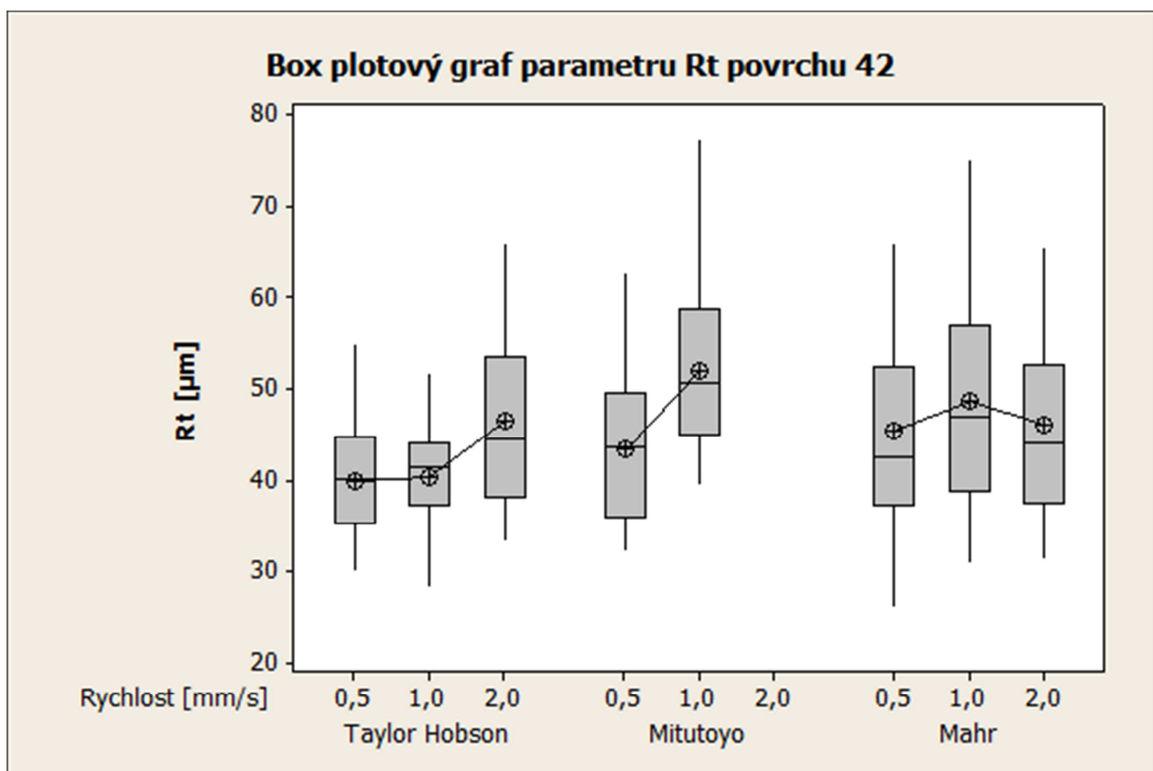
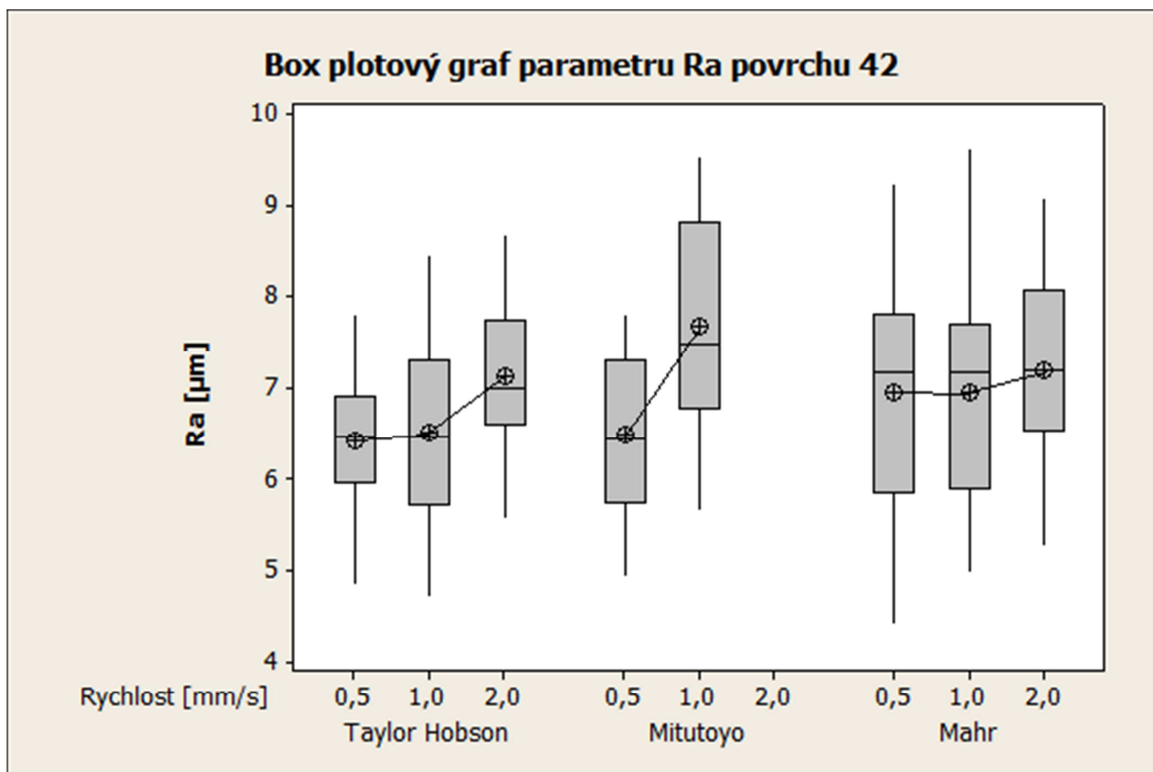
PŘÍLOHA P III: POVRCH 36 – PARAMETR RA, RT



PŘÍLOHA P IV: POVRCH 36 – PARAMETR RZ, RSM



PŘÍLOHA P V: POVRCH 42 – PARAMETR RA, RT



PŘÍLOHA P VI: POVRCH 42 – PARAMETR RZ, RSM

