

Snímání a hodnocení jakosti otisků povrchů bezkontaktním způsobem, včetně jejich replikací

Bc. Lenka Chovanová

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Lenka CHOVANOVÁ**
Osobní číslo: **T12856**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Snímání a hodnocení jakosti otisků povrchů
bezkontaktním způsobem, včetně jejich replikací**

Zásady pro vypracování:

1. Definujte základní způsoby měření jakosti povrchů dle ISO norem
2. Popište matematické způsoby hodnocení jakosti povrchů využitelných v praxi
3. Proveďte přípravu formy na otisk a vlastní realizaci otisku hmotou Dental flex
4. Proveďte snímání otisku povrchu scannerem Taylor Hobson CLI 500 a vyhodnoďte výsledky
5. Závěr, doporučení, hodnocení

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího diplomové práce

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Pata

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

Příjmení a jméno: Bc. Chovanová Lanča

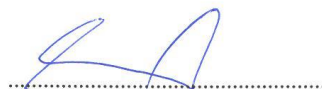
Obor: Rizení jakosti

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, považuji 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 Zlíně 2.5.2014



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 nahlížení 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.

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, § 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 přihlíží k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Teoretická část diplomové práce je rozdělena do tří kapitol. V první kapitole je popsána definice, struktura a parametry profilu povrchu. Ve druhé části jsou představeny měřicí techniky a také jednotlivé měřicí přístroje, které se používají pro měření povrchu. Ve třetí kapitole se věnuji matematickým metodám, které je možné použít v praxi pro vyhodnocení naměřených hodnot.

Praktická část popisuje způsob zjišťování opotřebení formy pomocí otisků dutiny formy, které byly vyrobeny otiskovací hmotou Dental Flex.

Klíčová slova: povrch, otisk dutiny formy, bezkontaktní měření, měřicí přístroj, forma

ABSTRACT

The theoretical part of this diploma work is divided into three chapters. The first chapter describes the definition, structure and parameters of the surface profile. The second chapter introduces measuring techniques and equipment used for measuring the surface. The third chapter is dedicated to the mathematical methods that can be used in practice after evaluating the measured values.

The practical part describes the way of evaluating mould wear using mould cavity imprints which were made from Dental Flex imprinting substance.

Keywords: surface, mould cavity imprint, contactless measurement, measuring equipment, mould

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za pomoc, cenné rady, ochotu a vedení při vypracování mé diplomové práce.

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

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 STRUKTURA POVRCHU A JEHO HODNOCENÍ.....	12
1.1 DEFINICE POVRCHU	12
1.2 STRUKTURA POVRCHU.....	12
1.2.1 Tvar	12
1.2.2 Vlnitost.....	13
1.2.3 Drsnost	14
1.3 PARAMETRY PROFILU POVRCHU	14
1.3.1 Výškové parametry dle normy ČSN EN ISO 4287	14
1.3.2 Délkové parametry	17
1.3.3 Tvarové parametry	18
1.3.4 Materiálový poměr profilu	18
1.3.5 Křivka materiálového poměru profilu.....	19
1.4 PRAVIDLA PRO POROVNÁVÁNÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT S TOLERANČNÍMI MEZEMI.....	19
1.4.1 Pravidlo 16 %	19
1.4.2 Pravidlo maxima	20
1.4.3 Nejistota měření	20
2 MĚŘÍCÍ TECHNIKA	21
2.1 KONTAKTNÍ MĚŘENÍ.....	21
2.1.1 Indukční dotykový způsob Form Talysurf CLI.....	21
2.1.2 Dotykové profiloměry	22
2.1.3 Drsnoměry.....	23
2.2 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ	24
2.2.1 Mikroskopy	24
2.2.2 Měřicí systém Talysurf.....	25
2.2.3 Metoda CLA.....	25
2.2.4 Metoda AFM.....	26
2.3 SROVNÁNÍ KONTAKTNÍHO A BEZKONTAKTNÍHO MĚŘENÍ.....	28
3 MATEMATICKÉ ZPŮSOBY HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHŮ VYUŽITELNÝCH V PRAXI.....	29
3.1 TEORIE HYPOTÉZ	29
3.1.1 Nulová a alternativní hypotéza.....	30
3.1.2 Chyba I. a II. druhu.....	30
3.2 T-TEST	31
3.2.1 Volba nulové a alternativní hypotézy.....	31
3.2.2 Volba testové statistiky	32
3.3 F-TEST.....	33
3.3.1 Volba nulové a alternativní hypotézy.....	33

3.3.2	Volba testové statistiky	34
3.4	METODA ANOVA	34
3.4.1	volba testové statistiky	34
3.5	TESTY NORMALIT	35
3.5.1	Chí - kvadrát test	35
3.5.2	Kolmogororův-Smirnovův test dobré shody	36
3.5.3	Shapiro – Wilk	37
3.5.4	Anderson – Darling	37
II	PRAKTICKÁ ČÁST	38
4	PROVEĎTE PŘÍPRAVU FORMY NA OTISK A VLASTNÍ REALIZACI OTISKU HMOTOU DENTAL FLEX	39
4.1	PŘÍPRAVA FORMY NA OTISK	39
4.2	REALIZACE OTISKU	40
5	PROVEĎTE SNÍMÁNÍ OTISKU POVRCHOVÝM SCANEREM TAYLOR HOBSON CLI 500 A VYHODNOŤTE VÝSLEDKY	43
5.1	PŘÍPRAVA NA SNÍMÁNÍ OTISKU	43
5.2	NASTAVENÍ PROGRAMU SNÍMÁNÍ	44
5.3	SNÍMÁNÍ OTISKU	45
5.4	VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	46
5.4.1	Boxplotové diagramy pro parametr Ra	47
5.4.2	Boxplotové diagramy pro parametr Rz	49
5.4.3	F-test, t-test, test normality	51
5.4.3.1	Vyhodnocení parametru Ra	51
5.4.3.2	Vyhodnocení parametru Rz	54
5.4.4	3D vyobrazení povrchu otisku v pozici 1A – 1D	57
5.4.5	3D vyobrazení povrchu otisku v pozici 2A – 2D	58
5.4.6	3D vyobrazení povrchu otisku v pozici 3A – 3D	59
6	HODNOCENÍ	60
	ZÁVĚR	63
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	66
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK	69
	SEZNAM PŘÍLOH	70

ÚVOD

Teoretická část diplomové práce je rozdělena na tři kapitoly. První kapitola obsahuje informace o tom, z čeho se povrch skládá, jaká je jeho struktura a parametry. Dále se v první kapitole dočtete, jaké existují způsoby a zásady pro hodnocení povrchu a jaké je jejich rozdělení. V druhé kapitole jsou popsány měřicí metody, kterými je možné povrch standardně měřit a také jsou představeny jednotlivé přístroje. Měřicí metody i přístroje jsou v kapitole rozděleny podle způsobu měření na kontaktní a bezkontaktní. Poslední podkapitola popisuje srovnání mezi nimi. Třetí kapitola teoretické části popisuje metody statistického vyhodnocení naměřených dat, které se běžně používají v praxi. Jsou to např. metodika Anova, t-testy, F-testy.

V praktické části je popisován způsob výroby otisku dutiny formy pomocí hmoty Dental flex. Povrch vyrobeného otisku je následně snímán bezkontaktním způsobem přístrojem Taylor Hobson CLI 500.

Forma, na které se bude nyní otisk vyrábět, je součástí vstřikovacího stroje a do provozu byla zařazena před rokem. Na vstřikovacím stroji se od té doby provedlo 200 cyklů vstřikování. Pořízená data z nově vyrobeného otisku, budou srovnávána s naměřenými daty otisku vyrobeného před rokem na stejné formě. V době pořízení prvního otisku byla forma úplně nová.

Cílem diplomové práce je zjistit porovnáním struktury povrchu obou otisků, zda došlo k opotřebení formy během jejího ročního používání.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 STRUKTURA POVRCHU A JEHO HODNOCENÍ

Strukturu povrchu tvoří tři základní složky, tvar, vlnitost a drsnost. Při určování struktury a hodnocení povrchu vycházíme z norem ČSN EN ISO 4287 z roku 1997 a ČSN EN ISO 4288 z roku 1996.

1.1 Definice povrchu

V této diplomové práci bereme v úvahu povrch fyzikální, tzn. povrch hmotných těles. Zabýváme se zde jeho fyzikálními vlastnostmi.

Definice povrchu jej hodnotí jako obálku makroskopického objektu, které tvoří hranici mezi základním materiálem a okolím. Povrch objektu určuje jeho vzhled a tvoří rozhraní mezi dvěma fázemi. [1]

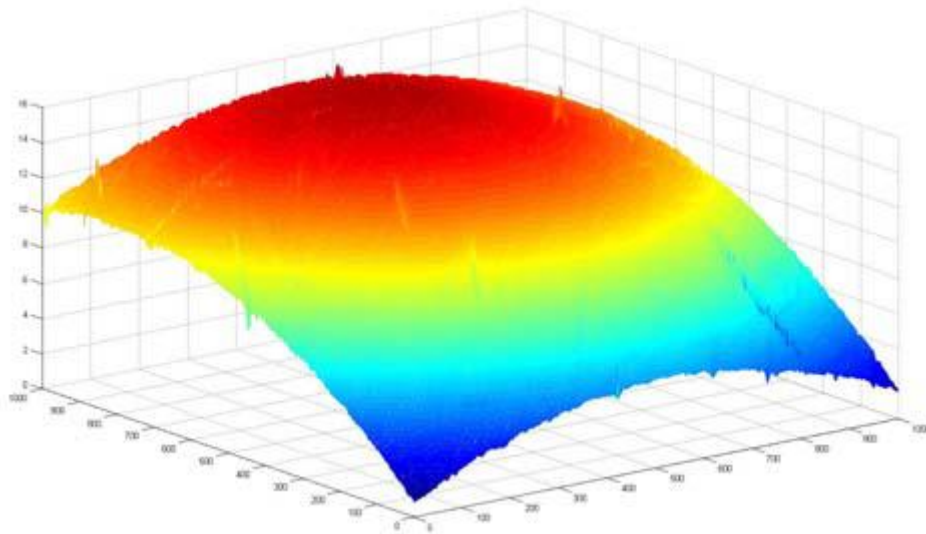
1.2 Struktura povrchu

Struktura povrchu je členěna na:

- tvar
- vlnitost
- drsnost

1.2.1 Tvar

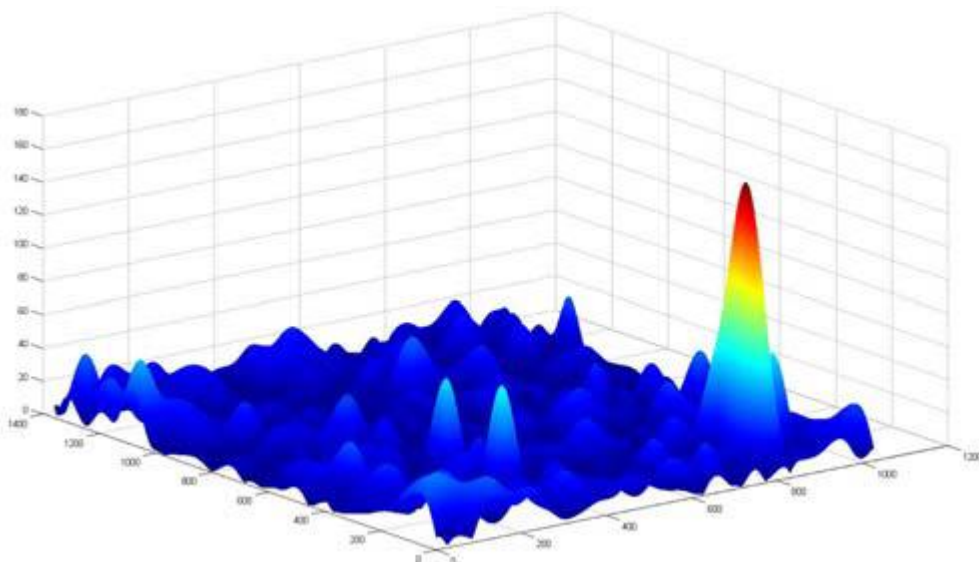
Jedná se o obecný tvar povrchu, kde je vyloučená drsnost a vlnitost.



Obrázek 1: Obecný tvar povrchu [15]

1.2.2 Vlnitost

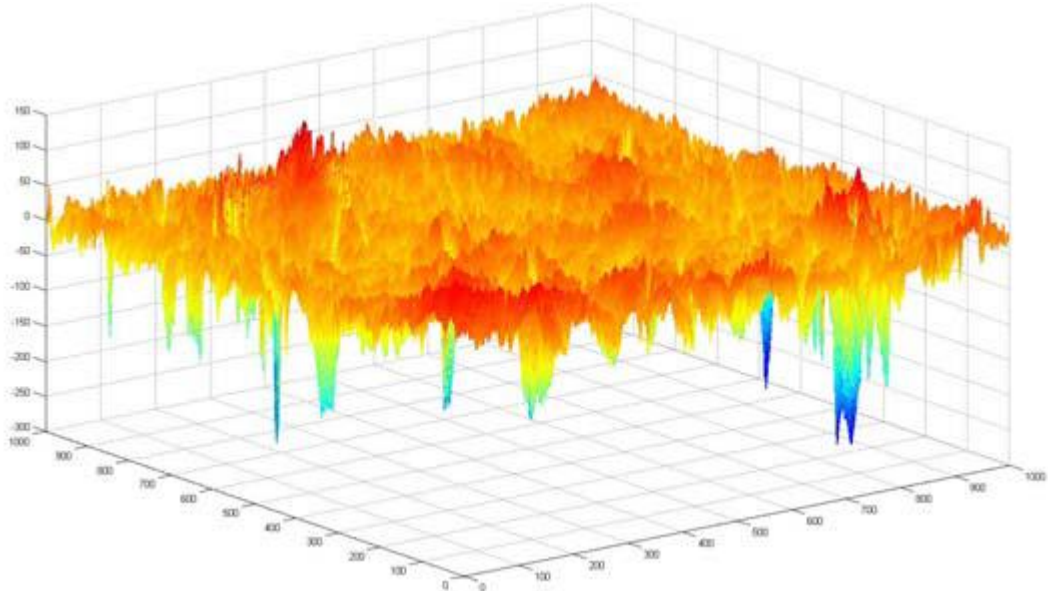
Vlnitost je nepravidelnost povrchu, jejíž vodorovná délka je větší než výstupky drsnosti. Tyto nesrovnalosti může způsobovat opracovaný nástroj, jeho nevhodné upevnění nebo vibrace celé soustavy.



Obrázek 2: Vlnitost povrchu [15]

1.2.3 Drsnost

Drsnost povrchu je jemně rozdělená nepravidelnost, která vzniká vlivem výrobního procesu.



Obrázek 3: Drsnost povrchu [15]

1.3 Parametry profilu povrchu

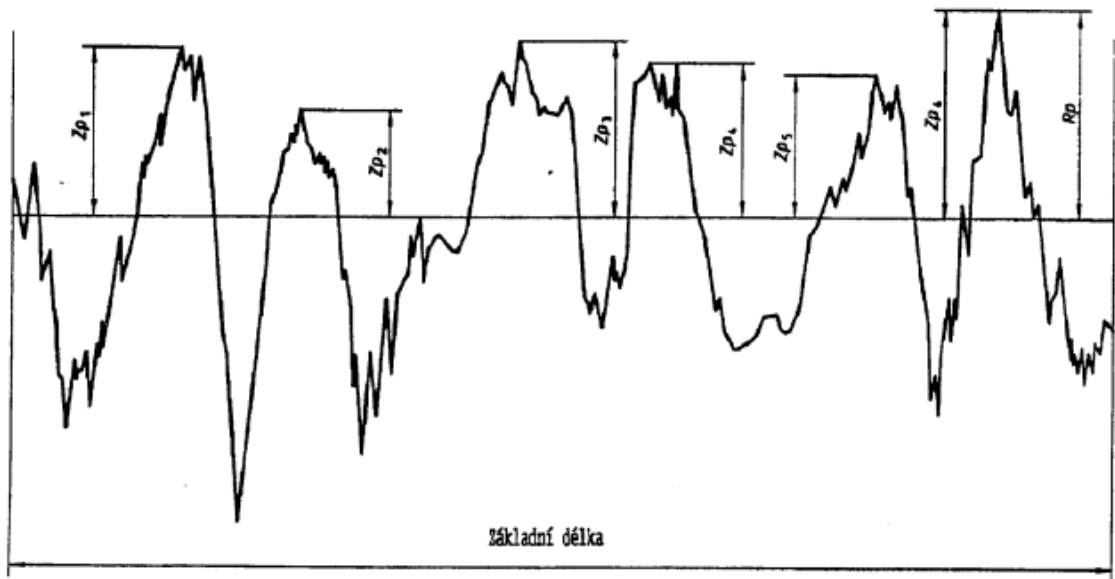
Tyto parametry profilu stanovuje norma ČSN EN ISO 4287, která je normou geometrických požadavků na výrobky (GPS).

Norma ČSN EN ISO 4287 definuje následující geometrické parametry:

- **P** - parametr - parametr vypočítaný ze základního profilu
- **R** - parametr - parametr vypočítaný z profilu drsnosti
- **W** - parametr - parametr vypočítaný z profilu vlnitosti [3]

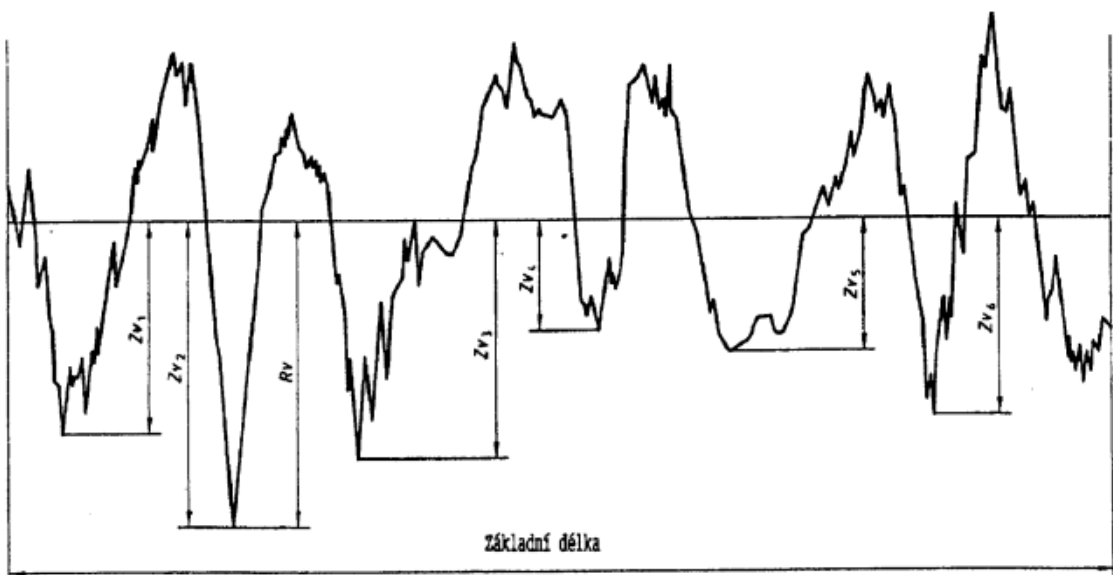
1.3.1 Výškové parametry dle normy ČSN EN ISO 4287

Největší výška výstupku profilu, P_p , R_p , W_p v rozsahu základní délky; výška Z_p největšího výstupku profilu v rozsahu základní délky. [3]



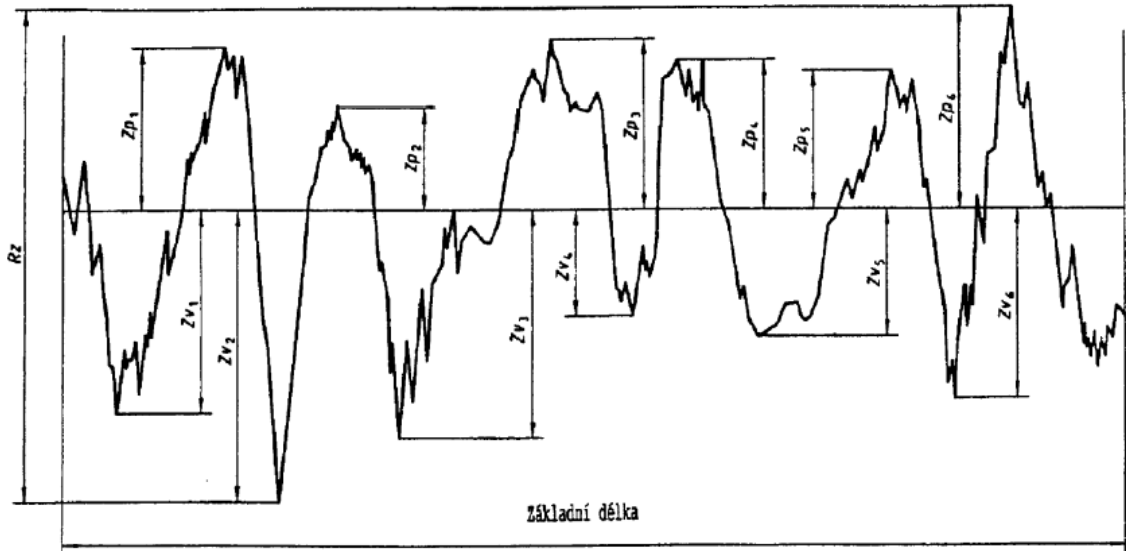
Obrázek 4: Největší výška výstupku profilu [3]

Největší hloubka prohlubně profilu, P_v , R_v , W_v ; hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [3]



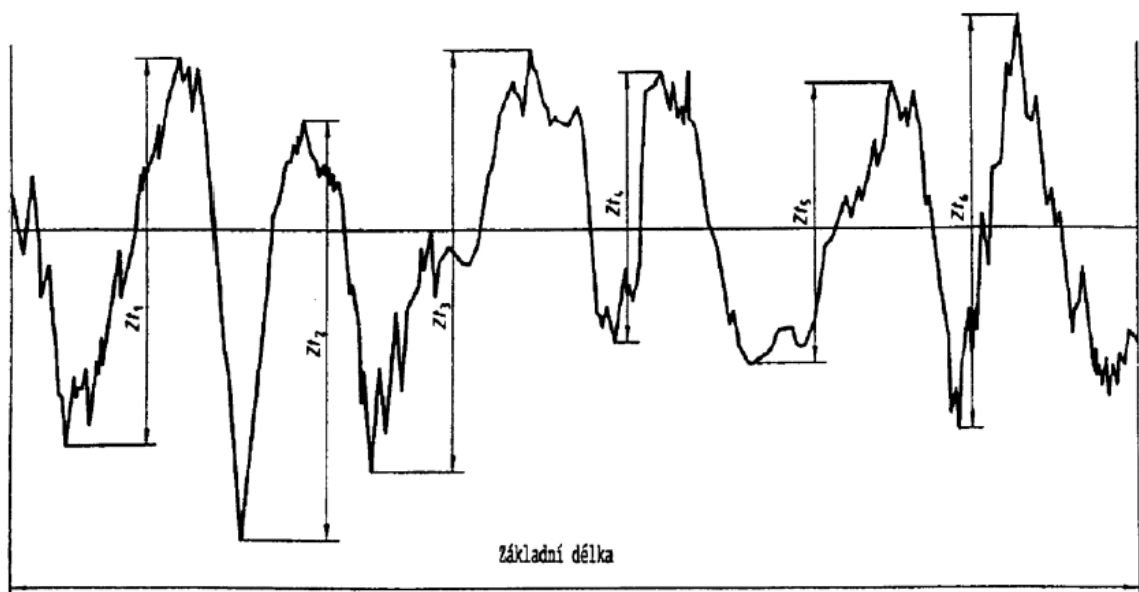
Obrázek 5: Největší hloubka prohlubně profilu [3]

Největší výška profilu P_z , R_z , W_z : součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [3]



Obrázek 6: Největší výška profilu [3]

Průměrná výška prvků profilu, P_c , R_c , W_c : průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky. [3]



Obrázek 7: Průměrná výška prvků profilu [3]

Celková výška profilu, P_t , R_t , W_t : součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky. [3]

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu, P_a , R_a , W_a : aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. [3]

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \cdot \int_0^l |Z(x)| dx \quad (\mu m) \quad (1)$$

Šikmost posuzovaného profilu, P_{sk} , R_{sk} , W_{sk} : podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. [3]

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \cdot \left[\frac{1}{lr} \cdot \int_0^{lr} |Z^3(x)| dx \right] \quad (2)$$

Špičatost posuzovaného profilu, P_{ku} , R_{ku} , W_{ku} : podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty P_q , R_q nebo W_q v rozsahu základní délky. [3]

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^2} \cdot \left[\frac{1}{lr} \cdot \int_0^{lr} |Z^4(x)| dx \right] \quad (3)$$

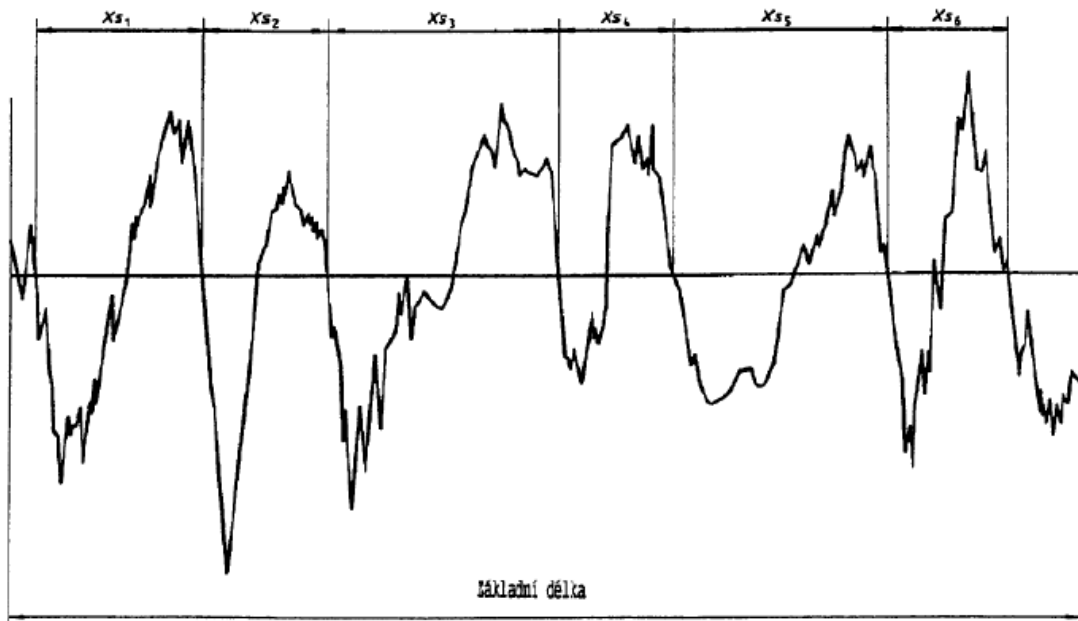
1.3.2 Délkové parametry

Průměrná šířka prvků profilu, P_{Sm} , R_{Sm} , W_{Sm} : aritmetický průměr šířek X_s prvků profilu v rozsahu základní délky. [3]

$$P_{Sm}, R_{Sm}, W_{Sm} = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m X_{si} \quad (4)$$

1.3.3 Tvarové parametry

Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu, $P \Delta q$, $R \Delta q$, $W \Delta q$, kvadratický průměr sklonů pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky. [3]



Obrázek 8: Průměrný kvadratický sklon [3]

1.3.4 Materiálový poměr profilu

Materiálový poměr profilu (nosný podíl) $Pmr(c)$, $Rmr(c)$, $Wmr(c)$, poměr délky materiálu elementů profilu $Ml(c)$, na dané úrovni c , k vyhodnocované délce. [3]

$$Pmr(c), Rmr(c), Wmr(c) = \frac{Ml(c)}{ln}$$

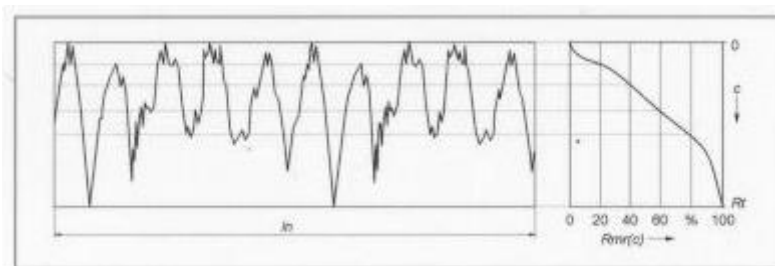
(5)

1.3.5 Křivka materiálového poměru profilu

Křivka materiálového profilu neboli, nosná křivka (Abbott Firestoneova křivka) nám umožňuje rozlišovat různé tvary profilu.

Sestaví se vynesáním hodnot materiálového podílu v rozsahu celé hloubky profilu.

[12]



Obrázek 9: Abbott Firestoneova křivka

1.4 Pravidla pro porovnávání naměřených hodnot s tolerančními mezemi

Při měření drsnosti povrchu se měřené parametry pohybují vždy v určitém rozmezí. Toto rozmezí je stanoveno ve výrobní dokumentaci nebo ve výkresu a pravidla pro porovnání naměřených hodnot upravuje norma ČSN EN ISO 4288.

1.4.1 Pravidlo 16 %

Pro požadavky specifikované horní mezí parametru jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16 % všech naměřených hodnot vybraných parametrů zjišťovaných na vyhodnocované délce přesahuje hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci. [4]

1.4.2 Pravidlo maxima

Při požadavcích specifikovaných největší hodnotou parametru nesmí v průběhu kontroly žádná z měřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přestoupit hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci. [4]

1.4.3 Nejistota měření

Pro dokázání shody nebo neshody se specifikací musí být měřené hodnoty parametrů porovnány se specifikovanými mezními hodnotami s uvážením nejistot měření podle pravidel daných v ISO 14253-1. V případě porovnávání výsledků měření s horními a dolními mezemi jsou nejistoty měření odhadovány bez uvážení nehomogenit povrchu, které už jsou započítány přídavkem 16 %. [4]

2 MĚŘÍCÍ TECHNIKA

K měření povrchu můžeme použít měřicí techniku, která je přímo v kontaktu s daným povrchem, takové měření nazýváme kontaktní měření. Druhý způsob měření můžeme provádět bez přímého kontaktu povrchu a měřidla tzn. bezkontaktním měřením.

2.1 Kontaktní měření

Výrobce měřicí techniky s dlouholetou tradicí Taylor Hobson Ltd. se soustřeďuje nejen na přípravu vysoce kvalitních systémů a přístrojů na měření textury i tvaru povrchu, ale současně je aktivně zapojen do přípravy i normalizace metodik měření, zpracování výsledků a jejich vyhodnocení formou parametrů. Zvláštní pozornost věnuje i konkrétnímu využití kontrolních postupů a získaných výsledků pro posuzování funkčních vlastností povrchu. [13]

2.1.1 Indukční dotykový způsob Form Talysurf CLI

Vysokorychlostní přístroj s velkou přesností měří v režimu 2D i 3D. Výhodou uvedeného přístroje je, že dokáže měřit kontaktním i bezkontaktním způsobem s rychlostí až do 30 mm/s.

Výrobce nabízí tři velikostní provedení přístroje:

- Talysurf CLI 2000 – měřicí prostor (200 x 200 x 200 mm, délka posuvu 200 mm)
- Talysurf CLI 1000 – měřicí prostor (100 x 100 x 100 mm, délka posuvu 100 mm)
- Talysurf CLI 500 - měřicí prostor (50 x 50 x 50 mm, délka posuvu 50 mm)

Půdorysná plocha stolu je 500 x 310 mm.

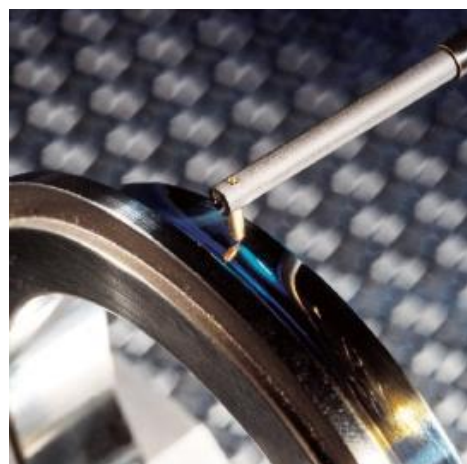
Všechny parametry s výjimkou velikostí měřicího prostoru a délek posuvu, jsou pro všechny typy přístrojů CLI stejné. [13]



Obrázek 10: Bezkontaktní scanner Talysurf CLI 500 firmy Taylor Hobson [16]

2.1.2 Dotykové profiloměry

Měření tímto přístrojem probíhá tak, že po měřeném povrchu se rovnoměrnou rychlostí posouvá měřící dotek s velmi malým zaoblením hrotu nebo se posouvá kontrolovaný díl přímo pod měřícím hrotem.



Obrázek 11: Dotykový profiloměr Intra firmy Taylor Hobson [6]

2.1.3 Drsnoměry

Drsnoměr je univerzální přenosný přístroj pro kontrolu drsnosti povrchu. Jednoduše a rychle, bez seřizování a programování provede měření parametrů drsnosti. Je složen ze dvou nezávislých částí - snímací jednotky a modulu pro ovládání, vyhodnocení a zobrazení výsledku. Tyto dvě části jsou mezi sebou propojeny. Bateriové provedení měřidla umožňuje pohodlnou manipulaci i na jinak obtížně dostupných a měřitelných místech. Proto je použití drsnoměru vhodné v těchto oblastech výroby:

- Vstupní kontrola v sériové výrobě
- Operační kontrola na výrobní lince
- Vstupní kontrola kvality
- Kontrola rozměrných součástí a konstrukcí [6]



Obrázek 12: Dílenský drsnoměr Mitutoyo SurfTest SJ-310 [5]

2.2 Bezkontaktní měření

Bezkontaktní měření v dnešní době nahrazuje standardní dotykové měření. Hlavním důvodem je zejména silný tlak na vývoj nových a lepších materiálů a výrobních technologií. Pro bezkontaktní měření se používají následující přístroje a metody.

2.2.1 Mikroskopy

Jedná se o ruční přístroje, které mají řadu možností využití a dokážou se díky svému systému přizpůsobit potřebám specifických uživatelů. Lze je použít např. pro kontrolu jakosti povrchů, analýzu materiálu nebo výzkum nových materiálů.



Obrázek 13: Mikroskop Leica DMI3000 M [7]

2.2.2 Měřicí systém Talysurf

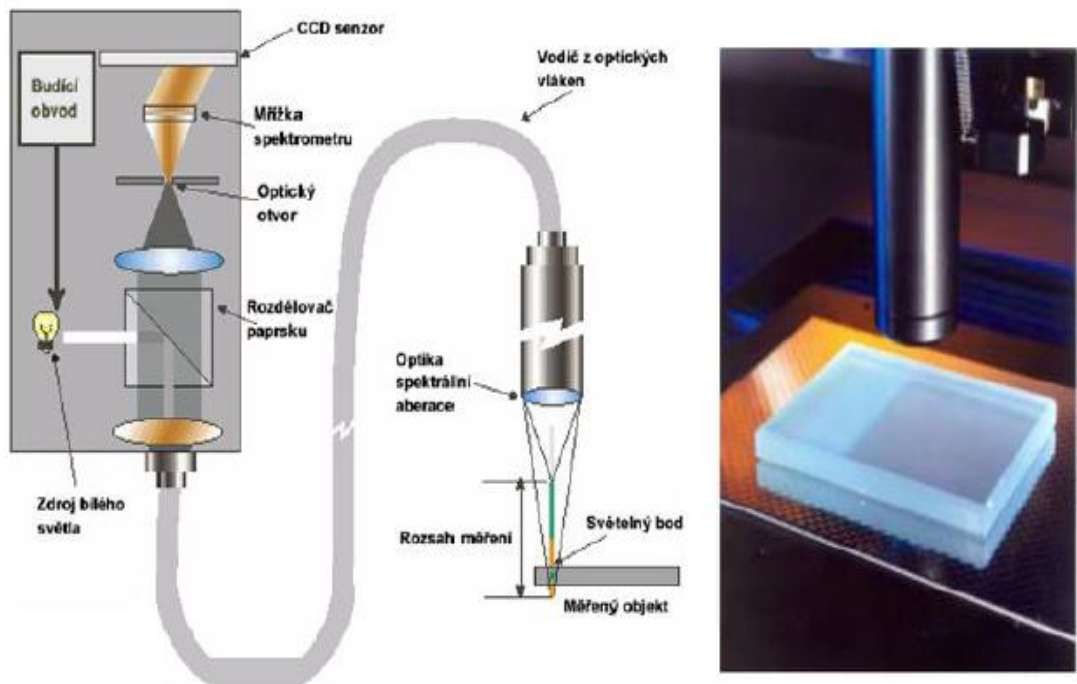
Přístroje Talysurf CLI jsou vysoce účinnými měřicími prostředky k provádění rychlého prostorového měření a hodnocení povrchu s vysokým rozlišením. Systém CLI nabízí možnosti měření a analýzy povrchu ve třech osách, s využitím dotykové nebo bezdotykové měřicí techniky. Snadno ovladatelné a výkonné měřicí přístroje, vhodné i pro kontrolu velkého počtu součástí, jsou připraveny provádět analýzu dat při hodnocení struktury povrchu z jednoho profilu řezu (2D) i profilu plochy povrchu (3D).

Přístroje Talysurf CLI jsou připraveny ve třech velikostních provedeních, což uživateli umožňuje výběr přesně podle svých požadavků. [13]

Taylor Hobson soustavně zlepšuje na svých výrobcích bezdotykové systémy měření struktury povrchu s ohledem na požadované praktické aplikace. Právě s využitím bezdotykových způsobů měření na Talysurf CLI 2000 jsou zdůrazňovány možnosti rozšíření kontrolních operací do zcela nových součástkových a materiálových oblastí, např. kontroly desek s plošnými spoji, forem a výrobků z dentálních tvárných hmot, plastových součástí automobilů, brousících kotoučů, součástí elektronických systémů – pamětí, apod. papíru a kosmetických výrobků. [13]

2.2.3 Metoda CLA

Na snímači CLA (Chromatic Length Aberration) je bílé světlo rozkládáno a optikou se spektrální aberací směřováno přímo ke kontrolovanému povrchu. Optika rozloží světlo podle vlnových délek. 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 CCD senzor, kde je každému bodu přiřazena prostorová poloha. [9]



Obrázek 14: CLA snímač [2]

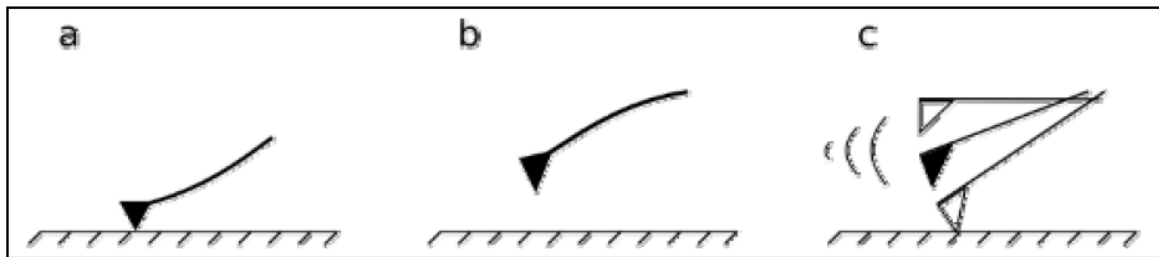
2.2.4 Metoda AFM

Mikroskopie atomárních sil (AFM z anglického atomic force microscopy) je mikroskopická technika, která se používá k trojrozměrnému zobrazování povrchů. Obraz povrchu se zde sestavuje postupně, bod po bodu. Metoda dosahuje velmi vysokého rozlišení a může zobrazovat i atomy. Techniku AFM lze použít nejen k zobrazování, ale také k tvorbě struktur či zpracování povrchů v nanometrové oblasti. [8]

Základem AFM je velmi ostrý hrot, který je upevněn na ohebném nosníku.

Režim snímání povrchu metodou AFM:

- a) Kontaktní
- b) Bezkontaktní
- c) Poklepový



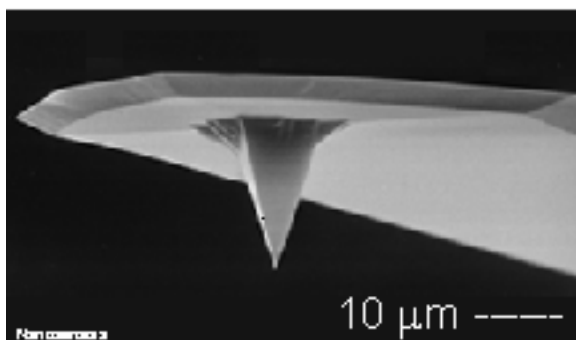
Obrázek 15: Režim snímání metodou AFM [8]

Používají se především bezkontaktní režimy, v nichž není mezi hrotem a vzorkem přímý mechanický kontakt. Hrot a vzorek na sebe působí především skrze Van der Waalovu a elektrostatickou sílu.

Van der Waalovy síly jsou přitažlivé nebo odpudivé interakce (síly) mezi molekulami. Jsou slabší než kovalentní, koordinačně kovalentní síly a vodíkové můstky. Vznikají převážně v nepolárních molekulách, které neobsahují stálé dipóly, jejich vazby nejsou polarizované. [8]

Rozlišení AFM:

Je závislé na poloměru křivosti špičky hrotu (cca. 5 nm), velikosti obrazu (1 x 1 μm , 512 x 512 měřících bodů). V tomto případě bude rozlišení 2 nm. Zvětšením snímané plochy dochází k poklesu rozlišení, avšak po překročení hranice závislé na poloměru křivosti špičky hrotu již zmenšením plochy rozlišení nezvětšíme. [8]



Obrázek 16: Hrot systému AFM [8]

2.3 Srovnání kontaktního a bezkontaktního měření

Výhodou bezkontaktního měření je vysoká rychlost snímání. Měřený vzorek při použití této metody není možné poškodit na rozdíl od kontaktních přístrojů, kdy dochází k přímému kontaktu měřidla se vzorkem. Stejně jako vzorek se může při měření touto metodou poškodit i přístroj (hrot), který snímá povrch. Výhodou u kontaktních měřidel je jejich nižší pořizovací cena a odstranění zbytků úlomků z měřeného povrchu.

3 MATEMATICKÉ ZPŮSOBY HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHŮ VYUŽITELNÝCH V PRAXI

3.1 Teorie hypotéz

Statistické hypotézy o základním souboru nebo-li populaci můžeme rozdělit do dvou skupin:

- Hypotézy parametrické
- Hypotézy neparametrické [17]

Parametrické hypotézy jsou hypotézy o parametrech rozdělení populace. Setkáváme se s třemi typy:

1. Hypotézy o parametru jedné populace (o střední hodnotě, mediánu, rozptylu, relativní četnosti atd.)
2. Hypotézy o parametrech dvou populací (srovnávací testy)
3. Hypotézy o parametrech více než dvou populací (metoda ANOVA) [17]

Parametrické hypotézy můžeme zapsat jako rovnosti (resp. nerovnosti) mezi testovaným parametrem a jeho předpokládanou hodnotou:

Např. $\mu = 100, \pi \leq 0,08$

Nebo jako rovnosti (resp. nerovnosti) mezi testovanými parametry:

Např. $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3, \pi_1 > \pi_2$

Statistické hypotézy o jiných vlastnostech populace (např. tvar rozdělení, závislost proměnných) se nazývají *neparametrické hypotézy*. [17]

Parametrické testy označují testy, k jejichž odvození je nezbytné pro daný výběr specifikovat typ rozdělení (v některých případech i některé parametry tohoto rozdělení). Nejde tedy obecně o libovolné testy parametrických hypotéz. [17]

Neparametrické testy jsou takové testy, k jejichž odvození není nutné pro daný výběr specifikovat typ rozdělení. [17]

3.1.1 Nulová a alternativní hypotéza

Testováním statistických hypotéz se začali statistici zabývat krátce před vypuknutím druhé světové války. Koncepti vytvořili Jerzy Neyman a E.S. Pearson, dále ji pak rozvinul Abraham Wald. Testování hypotéz pojali jako rozhodovací proces, v němž proti sobě stojí dvě hypotézy. První z nich nulová hypotéza H_0 představuje určitý rovnovážný stav a bývá vyjádřena rovností „=“. [17]

Např. $\mu = 100$, $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots$

Jde o takové tvrzení, které je bráno jako předpoklad při testování. Oproti ní stavíme tzv. alternativní hypotézu H_A . Alternativní hypotéza představuje porušení rovnovážného stavu a vyjadřujeme ji jedním ze tří možných zápisu nerovností (\neq , $<$, $>$). Zvolíme-li alternativní hypotézu ve tvaru $<$ nebo $>$ mluvíme o jednostranné alternativní hypotéze.

Zvolíme-li alternativní hypotézu ve tvaru \neq mluvíme o oboustranné alternativní hypotéze. [17]

3.1.2 Chyba I. a II. druhu

Při testování hypotéz musíme vždy stanovit jak nulovou, tak i alternativní hypotézu. Jelikož při rozhodování o nulové hypotéze vycházíme z výběrového souboru, který nemusí dostatečně přesně odpovídat vlastnostem základního souboru, můžeme se při rozhodování dopustit chyby. [11]

Možné chyby popisuje následující obrázek:

		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)

Obrázek 17: Výsledky testů u testování hypotéz [11]

Pokud platí nulová hypotéza a my ji zamítneme, dopouštíme se chyby I. druhu. V případě, že nulovou hypotézu nezamítáme a tato hypotéza platí, je rozhodnutí správné a nazýváme ho spolehlivost. Správné rozhodnutí je také zamítnutí nulové hypotézy, platí-li hypotéza alternativní. Toto rozhodnutí nazýváme síla testu. Pokud nezamítneme nulovou hypotézu, i když platí alternativní hypotéza, dopustíme se chyby II. druhu.

3.2 t-test

T-test je jeden z nejpoužívanějších testů, který na základě porovnání dvou nezávislých výběrů umožňuje porovnávat dvě populace. Nezávislost výběru bývá v praxi zaručena tím, že každý výběr obsahuje jiné prvky. Jelikož se jedná o test parametrický, předpokládáme, že data pochází z normálního rozdělení. [17]

3.2.1 Volba nulové a alternativní hypotézy

Volba nulové hypotézy je zřejmá, u alternativní máme opět tři možnosti. Volba vhodné alternativní hypotézy je v tomto případě daná vztahem mezi průměry jednotlivých výběrů:

Podle nulové hypotézy H_0 :

$$\mu_1 = \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 = 0)$$

Podle alternativní hypotézy H_A :

1. Je-li \bar{X}_1 jednoznačně nižší než \bar{X}_2 , volíme alternativu:

$$\mu_1 < \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 < 0)$$

2. Je-li \bar{X}_1 jednoznačně vyšší než \bar{X}_2 , volíme alternativu:

$$\mu_1 > \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 > 0)$$

3. Pohybuje-li se \bar{X}_1 v blízkosti \bar{X}_2 , volíme alternativu:

$$\mu_1 \neq \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 \neq 0) \quad [17]$$

3.2.2 Volba testové statistiky

Volba vhodné testové statistiky závisí na tom, zda známe či neznáme směrodatné odchylky σ_1 a σ_2 . [17]

Známe-li σ_1, σ_2 :

$$T(X) = Z_2 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \rightarrow N(0; 1) \quad (6)$$

Neznáme-li σ_1, σ_2 :

$$T(X) = T_2 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \rightarrow t_{n_1+n_2-2}$$

S_p :

$$s_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot s_1^2 + (n_2 - 1) \cdot s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (7)$$

[17]

3.3 F-test

Předpokládejme, že máme dva nezávislé výběry z normálního rozdělení. Volba nulové hypotézy je zřejmá, u alternativní máme tentokrát pouze dvě možnosti. Oboustrannou alternativní hypotézu nemůžeme v tomto případě použít, protože výpočet P-vaule pro oboustrannou alternativní hypotézu je podmíněn tím, že nulové rozdělení testové statistiky je symetrické. Protože testová statistika používaná pro test shody dvou rozptylů má Fischer-Snedecorovo rozdělení, není tato podmínka splněna. Volba vhodné alternativní hypotézy je dána vztahem mezi výběrovými rozptyly jednotlivých výběrů. [17]

3.3.1 Volba nulové a alternativní hypotézy

Podle nulové hypotézy H_0 :

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

Podle alternativní hypotézy H_A :

1. Je-li σ_1^2 jednoznačně nižší než σ_2^2 , volíme alternativu:

$$\sigma_1^2 < \sigma_2^2$$

2. Je-li σ_1^2 jednoznačně vyšší než σ_2^2 , volíme alternativu:

$$\sigma_1^2 > \sigma_2^2$$

[17]

3.3.2 Volba testové statistiky

Kde F má Fischer-Snedecorovo rozdělení s m stupni volnosti pro čitatele a n stupni volnosti pro jmenovatele. [17]

$$T(X) = F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \rightarrow F(m, n) \quad (8)$$

3.4 Metoda ANOVA

Analýza rozptylu umožňuje ověřit významnost rozdílu mezi výběrovými průměry většího počtu náhodných výběrů, umožňuje posoudit vliv různých faktorů na hospodářský proces charakterizovaný kvantitativním statistickým znakem (Y). Taktéž dovoluje hodnotit účinky různých přijatých hospodářských opatření (faktor X). Základní myšlenka analýzy rozptylu spočívá v rozkladu celkového rozptylu na dílčí rozptyly příslušející jednotlivým vlivům, podle nichž jsou data roztríděna. [14]

Podmínky:

- data pochází z normálního rozdělení
- nezamítám, že rozptyly naměřených hodnot jsou shodné
- neexistují hrubé chyby

Princip metody: princip metody ANOVA, kterou prokazujeme závislost Y a X , spočívá v tom, že celkovou variabilitu měřenou součtem čtverců odchylek od celkového průměru rozdělíme na variabilitu uvnitř jednotlivých výběrů a na variabilitu mezi jednotlivými výběry. [14]

3.4.1 volba testové statistiky

podle nulové hypotézy H_0 :

$$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \mu_k$$

podle alternativní hypotézy H_A :

$$\mu_i \neq \mu_j$$

[14]

3.5 Testy normalit

Pomocí testů normality můžeme ověřovat, zda data ze základního souboru pocházejí z normálního rozdělení.

3.5.1 Chí - kvadrát test

Náhodný výběr rozsahu n je rozdělen do k intervalů s četnostmi n_j ($j = 1, 2, \dots, k$), horní meze intervalů označíme x_j . Vypočteme teoretické třídnicí četnosti za předpokladu, že výběr pochází ze základního souboru s normálním rozdělením $N(m, s^2)$. Horní meze x_j třídnicích intervalů převedeme na hodnoty normované proměnné. [10]

$$u_j = \frac{x_j - \mu}{\sigma}$$

Není-li model plně specifikován, použijeme místo parametru μ výběrový průměr \bar{X} a místo parametru σ výběrovou směrodatnou odchylku s . Pro každé j vyhledáme odpovídající hodnoty distribuční funkce normovaného normálního rozdělení $\Phi(u_j)$. [10]

Určíme teoretické relativní a absolutní třídnicí četnosti:

$$\pi_j = \Phi(u_j) - \Phi(u_{j-1}) \text{ a } n \pi_j$$

Intervaly, jejichž teoretická absolutní četnost $n \cdot \pi_j \leq 5$

Pro redukovaný počet tříd k° vypočteme výrazy:

$$\frac{(n_j - n\pi_j)^2}{n\pi_j}$$

Jejich součtem (přes redukovaný počet tříd k^o) dostaneme hodnotu **testové statistiky**:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{k^o} \frac{(n_j - n\pi_j)^2}{n\pi_j}$$

[10]

Kritický obor pro test normality, na hladině významnosti α , je

$$\chi^2 > \chi_{1-\alpha}^2 (k^o - c - 1)$$

kde $\chi_{1-\alpha}^2 (k^o - c - 1)$ je $(\alpha-1)$ – kvantil rozdělení χ^2 pro $v = k^o - c - 1$ stupňů volnosti, c je počet odhadovaných parametrů.

U plně specifikovaného modelu je $c = 0$.

Ověřujeme-li jen tvar normálního rozdělení (neúplně specifikovaný model) a parametry μ a σ^2 odhadujeme z výběrových hodnot, je $c = 2$. [10]

3.5.2 Kolmogororův-Smirnovův test dobré shody

H_0 : náhodný výběr rozsahu n pochází ze základního souboru z normálního rozdělení $N(\mu, \sigma^2)$ s distribuční funkcí $F(x)$ (plně specifikovaný model)

Uvažujeme-li pozorování uspořádaná podle velikosti $X_{(j)}$, $X_{(1)} \leq X_{(2)} \leq \dots \leq X_{(n)}$ je testovou statistikou:

$$D_n = \max \left\{ \left| F(x_{(i)}) - \frac{i-1}{n} \right|, \left| F(x_{(i)}) - \frac{i}{n} \right| \right\}, i = 1, 2, \dots, n.$$

H_0 se zamítá, je-li $D_n \geq D_\alpha$

Nejsou-li parametry normálního rozdělení známy (neúplně specifikovaný model), nahradí se odhady. [10]

3.5.3 Shapiro – Wilk

Shapiro – Wilk test se využívá při malém až středním rozsahu dat. Testová statistika je definována:

$$W = \frac{(\sum u_{(i)} x_{(i)})^2}{\sum u_{(i)}^2 \sum (x_{(i)} - \bar{x})^2}$$

$$u_{(i)} = \Phi^{-1} \left(\frac{i - 3/8}{n + 1/4} \right)$$

[10]

3.5.4 Anderson – Darling

U testu Anderson – Darling je nulová a alternativní hypotéza definována:

H_0 : data pocházejí ze základního souboru z normálního rozdělení

H_a : data nepocházejí ze základního souboru z normálního rozdělení

Testová statistika je definována:

$$A^2 = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln \Phi_i + \ln(1 - \Phi_{n-i+1})] - n$$

$$u_{(i)} = \frac{x_{(i)} - \bar{x}}{\hat{\sigma}}$$

$$\Phi_i = \Phi(u_{(i)})$$

$$\widehat{\sigma^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})^2$$

maximálně věrohodný odhad σ^2

[10]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 PROVEĎTE PŘÍPRAVU FORMY NA OTISK A VLASTNÍ REALIZACI OTISKU HMOTOU DENTAL FLEX

V této kapitole diplomové práce je popsán technologický postup výroby otisků formy pomocí otiskovací hmoty Dental flex. Otisky vyráběné pomocí této směsi jsou kvalitní a poskytují vysokou reprodukci detailu zkoumaného povrchu.

4.1 Příprava formy na otisk

Příprava formy pro vytvoření otisku spočívá zejména v jejím dokonalém očištění od nečistot a jiných pozůstatků po předchozím zpracovávaném materiálu.

Jako první jsem z formy odstranila tyto pozůstatky předchozího materiálu a poté celou formu očistila lihem a zbavila ji tak mastnoty.



Obrázek 18: Očištěná forma

4.2 Realizace otisku

K vytvoření vlastního otisku jsem použila hmotu Dental flex. Je to směs silikonových polymerů a anorganických plniv primárně vyráběná pro účely stomatologie, zejména pro vytváření zubních otisků.

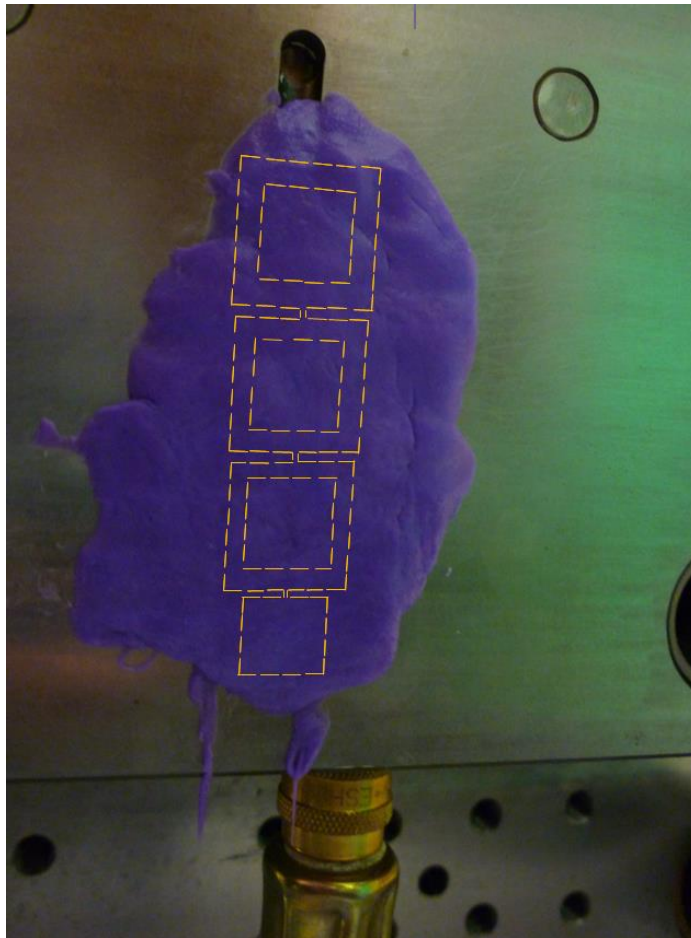
Hmota Dental flex je dodávána ve dvou samostatných složkách. První je kondenzační vytvrzující silikonový otiskovací materiál, druhou složku tvoří univerzální katalyzátor pro kondenzační vytvrzující silikonové materiály. Pro docílení požadovaných vlastností hmoty je nutné pracovat s oběma složkami současně.



Obrázek 19: Otiskovací materiál a katalyzátor

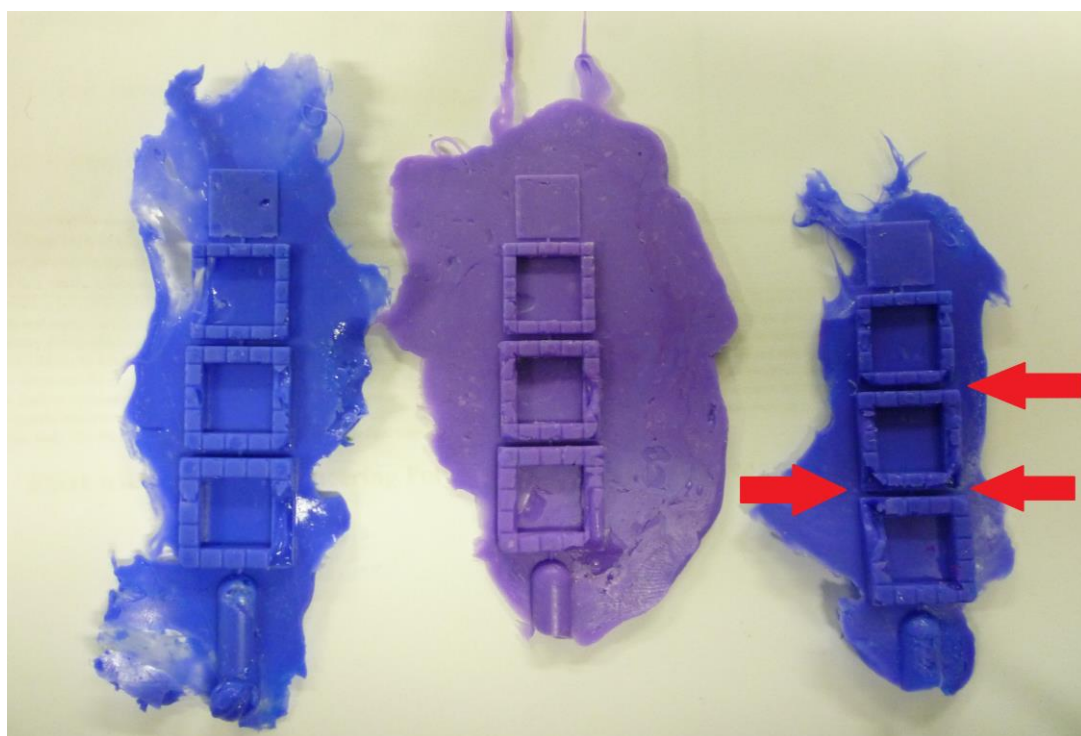
Obě tyto složky jsem nachystala na pracovní plochu v poměru 2:1 dle návodu. Pro vznik požadované chemické reakce bylo nutné složky dobře promíchat. Míchání nesmělo trvat více než 3 minuty, v opačném případě by hmota začala tuhnut ještě před samotnou aplikací do dutiny formy.

Promíchanou směs jsem aplikovala do dutiny formy a nechala vytvrdit po dobu cca 5 minut. Jakmile celá hmota ztvrdla, vyrobený otisk jsem opatrně vyjmula z formy tak, abych ho nepoškodila.



Obrázek 20: Směs v dutině formy

Stejným výrobním postupem jsem vyrobila několik dalších vzorků otisků. Samotný výrobní postup není složitý, ale vyrobít kvalitní vzorek nebylo úplně jednoduché. Na obrázku 21 na pravém vzorku jsem vyznačila chyby, které vznikly při otiskování. Tyto chyby jsou způsobeny nedostatečným množstvím materiálu uvnitř formy, nedokonalým vtlačáním materiálu do dutiny formy nebo nevytlačeným vzduchem, který vytvoří vzduchové kapsy.



Obrázek 21: Vyrobené otisky s vyznačenými chybami

5 PROVEĎTE SNÍMÁNÍ OTISKU POVRCHOVÝM SCANEREM TAYLOR HOBSON CLI 500 A VYHODNOŤTE VÝSLEDKY

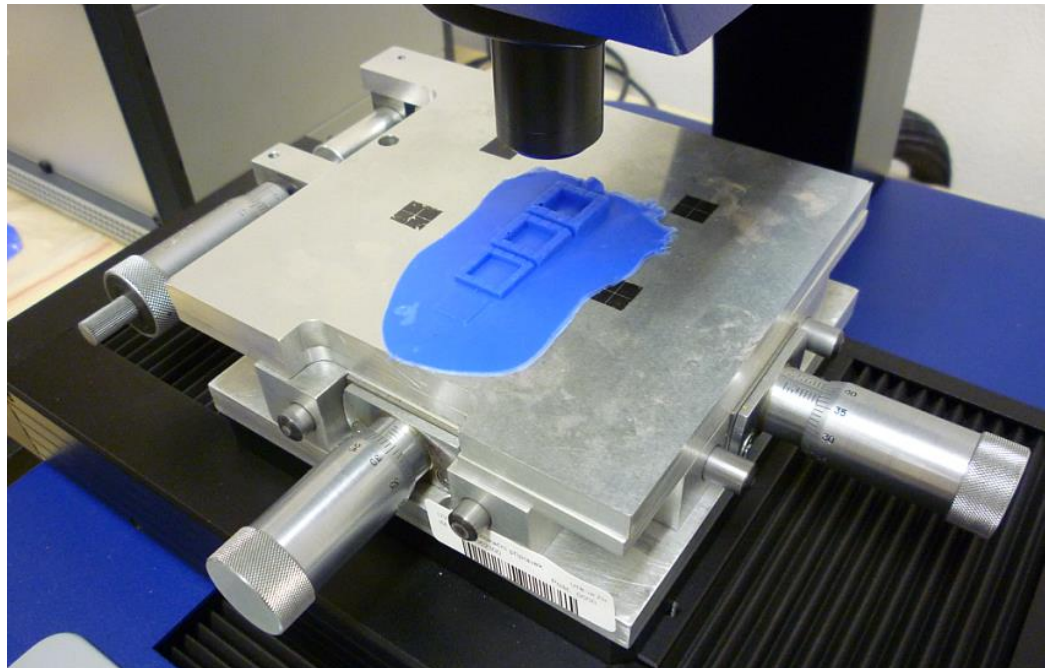
Ze všech vyrobených otisků byl pro tuto diplomovou práci vybrán ten nejzdařilejší, na něm jsem provedla snímání povrchu bezkontaktním způsobem pomocí měřicího přístroje Taylor Hobson CLI 500.



Obrázek 22: Vlastní měření otisku přístrojem Taylor Hobson CLI 500

5.1 Příprava na snímání otisku

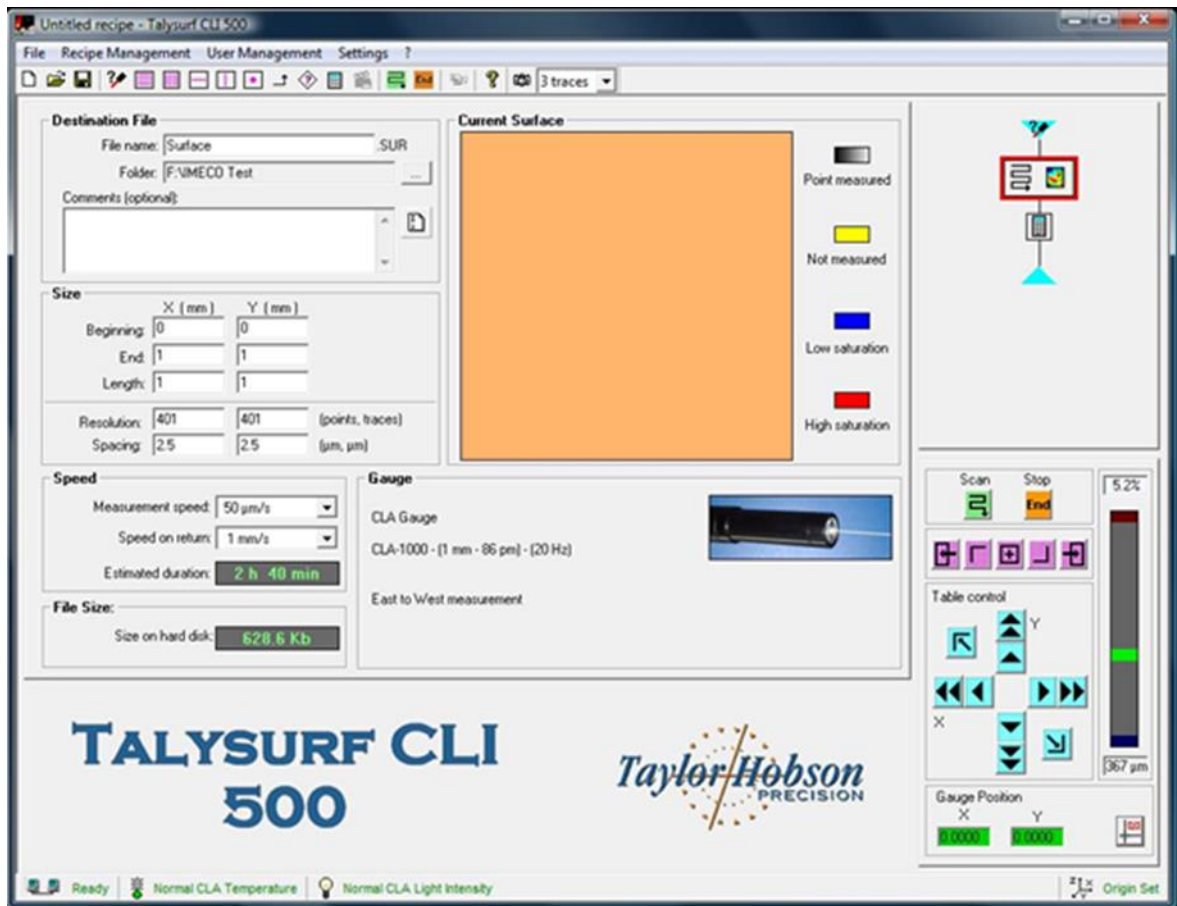
Připravený otisk jsem umístila na plochu přístroje pod snímací zařízení a zkalibrovala měřicí přístroj. Kalibrace přístroje se prováděla pomocí programu v počítači, ke kterému je celý přístroj připojen.



Obrázek 23: Otisk vložený pod snímací zařízením měřicího přístroje

5.2 Nastavení programu snímání

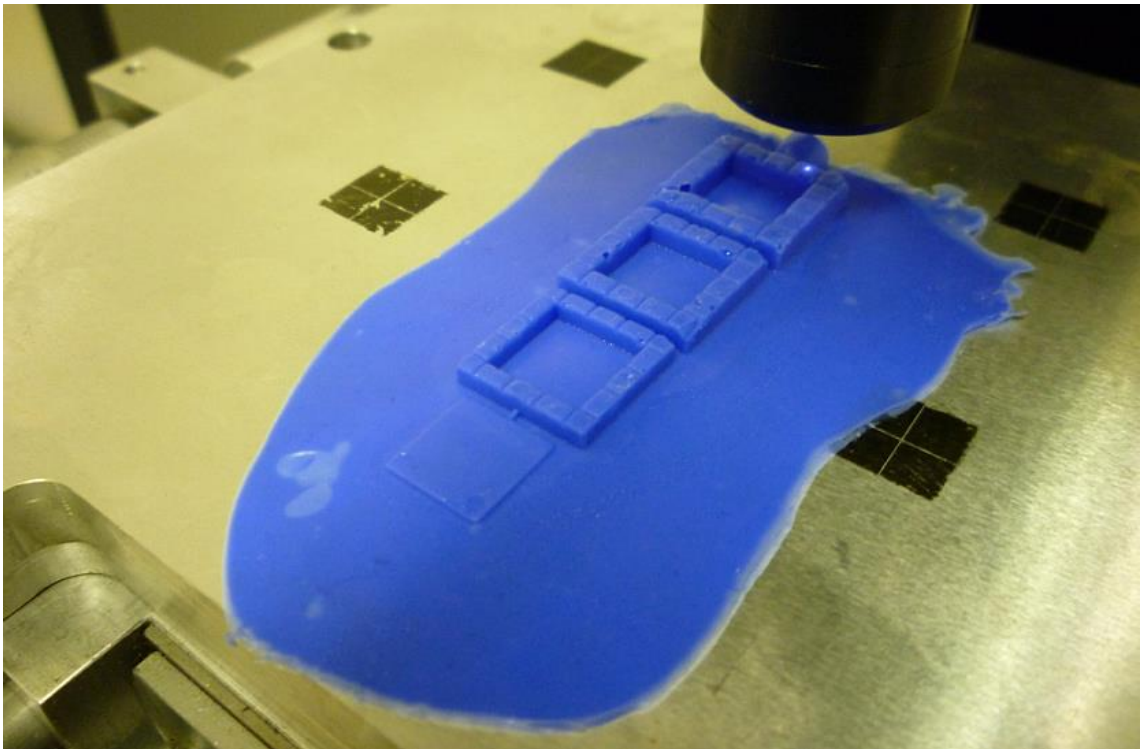
V programu Talymap v počítači jsem nastavila požadované parametry pro snímání. Rychlost snímání $50 \mu\text{m/s}$, oblast snímání 1 mm^2 a rychlost posunutí 1 mm/s . Jedno snímání plochy dle výše uvedeného nastavení trvalo dvě hodiny a čtyřicet minut.



Obrázek 24: Ukázka nastavení programu

5.3 Snímání otisku

Po spuštění snímání se na snímacím zařízení se vygeneroval světelný bod, pomocí kterého přístroj měřil texturu povrchu. Tato metoda snímání využívá konfokálního snímače s rozsahem 1 mm, a rozlišitelností 1 nm.



Obrázek 25: Detail snímání otisku formy

5.4 Vyhodnocení výsledků

Mým úkolem je zjistit, zda došlo během ročního používání nové formy k jejímu opotřebení. Naměřené data z obou otisků jsem matematicky zpracovávala pomocí programu Minitab 14. Měřené plochy byly vyhodnocovány podle směru měření a porovnávány s časového hlediska mezi rokem 0 a rokem 1. Rok nula označuje dobu, kdy byla forma nová, rok 1 dobu po ročním používání. Měření bylo provedeno ve dvou směrech a to východ - západ (E_W) a sever - jih (N_S). Sledovanými parametry byly parametr Ra – průměrná aritmetická úchylka a parametr Rz – největší výška profilu.

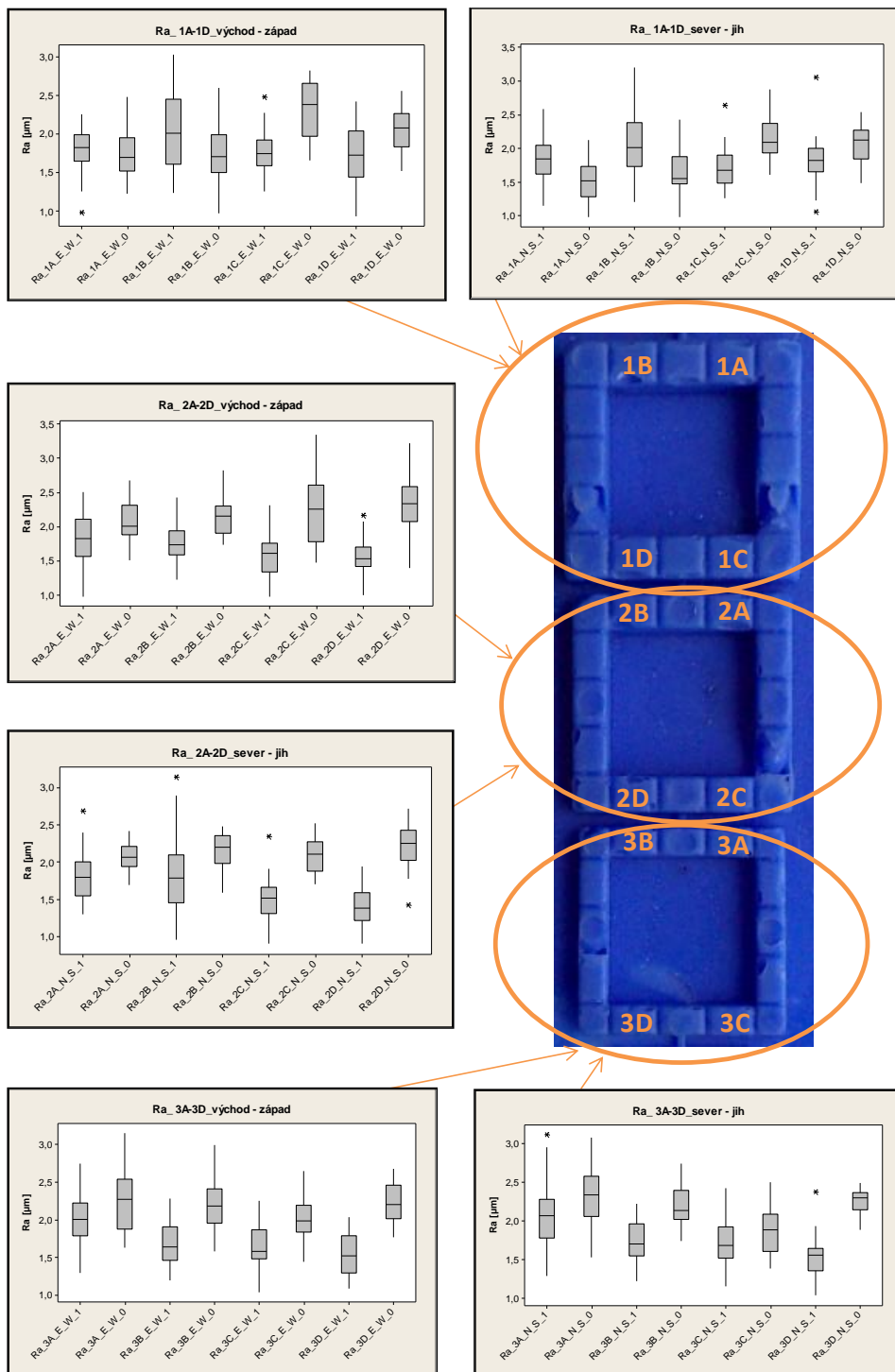
Pro vyhodnocení bylo nutné vytvořit pro sledované parametry Ra a Rz boxplotové diagramy, které jsou výstupem programu Minitab 14. Tyto diagramy jsem rozdělila dle měřené polohy jednotlivých ploch na východ - západ (E_W) a sever - jih (N_S). Poté jsem výsledky měření testovala pomocí testu Normality, F-testu a t-testu.

5.4.1 Boxplotové diagramy pro parametr Ra

Schéma níže představuje boxplotové diagramy pro průměrnou aritmetickou úchylku – Ra. Boxplotové diagramy jsou seskupeny podle pořadí ploch, ve kterém byly měřeny. Označení jednotlivých diagramů je složeno z určení parametru, pozice na měřeném otisku, směru měření a časového hlediska.

Vysvětlení způsobu označení:

Ra	1A	E_W	1
<i>parametr</i>	<i>pozice na otisku</i>	<i>směr měření</i>	<i>rok</i>



Obrázek 26: Schéma boxplotových diagramů parametru Ra

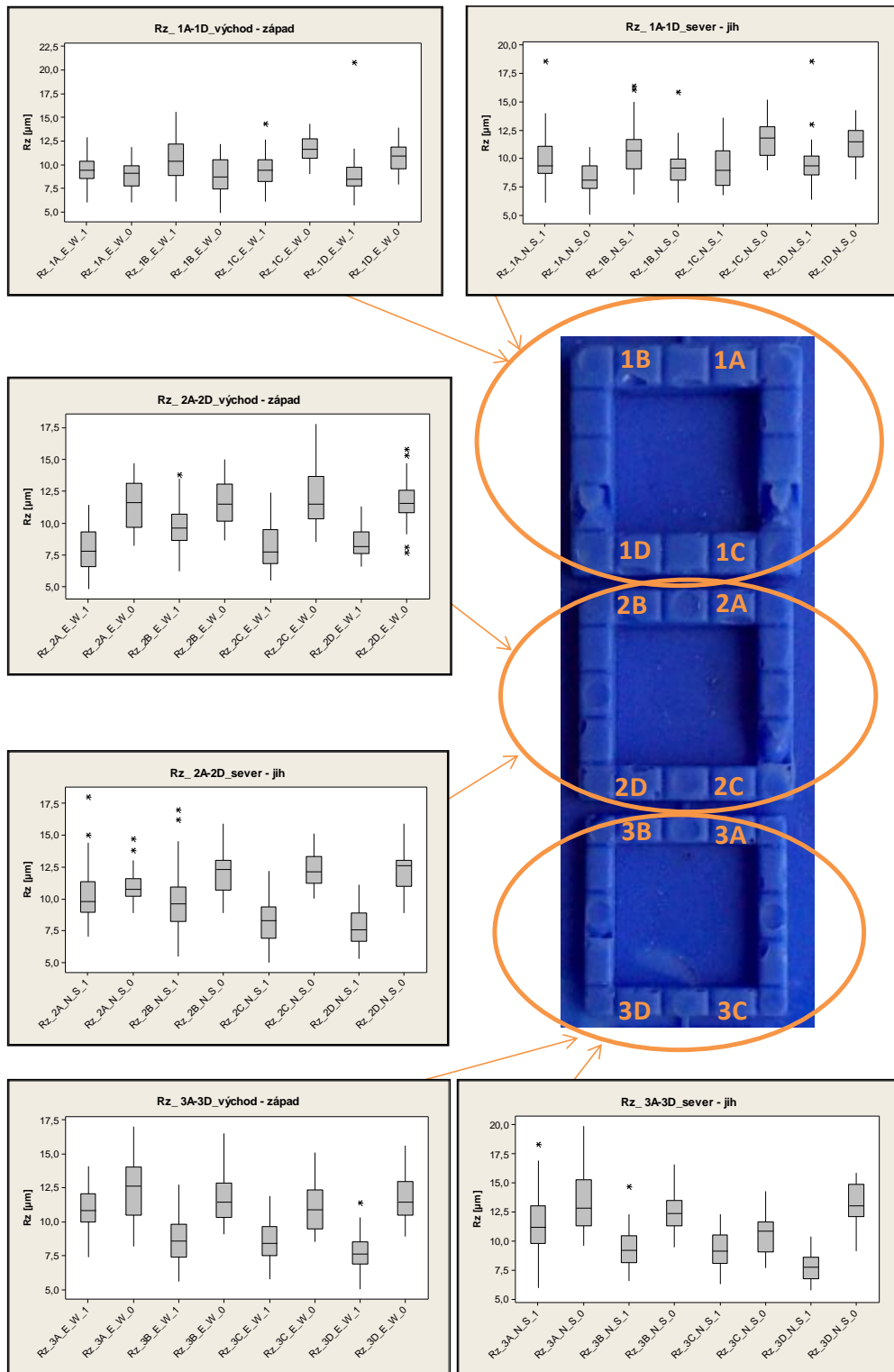
Z boxplotových diagramů vyplývá, že trend sledovaných parametrů jakosti povrchů je přibližně stejný. Průměrná aritmetická úchylka je v roce 0, tedy v roce pořízení formy vyšší než v roce 1, po jejím ročním používání. U pozic 1A a 1B se tento trend nepotvrdil. Tento stav může být způsoben, tím že zde ještě působí velký tlak při vstřikování materiálu do dutiny formy. U ostatních pozic materiál již volně dotéká a tak dutina formy není pod přímým vstřikovacím tlakem.

5.4.2 Boxplotové diagramy pro parametr Rz

Schéma níže představuje boxplotové diagramy pro největší výšku profilu – Rz. Boxplotové diagramy jsou seskupeny opět podle pořadí ploch, ve kterém byly měřeny. Označení jednotlivých diagramů je řešeno stejně jako u předchozího parametru Ra. To znamená je složeno z určení parametru, pozice na měřeném otisku, směru měření a časového hlediska.

Vysvětlení způsobu označení:

Rz	1A	E_W	1
parametr	pozice na otisku	směr měření	rok



Obrázek 27: Schéma boxplotových diagramů parametru Rz

Stejně jako z obr. 26 pro sledovaný parametr Ra, tak i z obr. 27 pro parametr Rz vyplývá, že trend sledovaných parametrů je přibližně stejný. Největší výška profilu je v roce 0 vyšší než v roce 1 kromě pozic 1A a 1B. Důvodem může opět být působení přímého vstřikovacího tlaku na těchto pozicích. U ostatních pozic materiál již volně dotéká a tak dutina formy není pod přímým vstřikovacím tlakem.

5.4.3 F-test, t-test, test normality

Pro sledované parametry průměrnou aritmetickou úchytku - Ra a největší výšku profilu - Rz jsem provedla statistické vyhodnocení naměřených hodnot pomocí testu Normality, F- testu a t-testu.

5.4.3.1 Vyhodnocení parametru Ra

Volba testové statistiky pro F- test v poloze východ- západ:

$$H_0: \sigma^2_{Ra_1A-Ra_3D_0_E_W} = \sigma^2_{Ra_1A-Ra_3D_1_E_W}$$

$$H_a: \sigma^2_{Ra_1A-Ra_3D_0_E_W} \neq \sigma^2_{Ra_1A-Ra_3D_1_E_W}$$

Volená konfidencí úroveň:

$$1 - \alpha = 0,95$$

Volba testové statistiky pro F- test v poloze sever- jih:

$$H_0: \sigma^2_{Ra_1A-Ra_3D_0_N_S} = \sigma^2_{Ra_1A-Ra_3D_1_N_S}$$

$$H_a: \sigma^2_{Ra_1A-Ra_3D_0_N_S} \neq \sigma^2_{Ra_1A-Ra_3D_1_N_S}$$

Volená konfidencí úroveň:

$$1 - \alpha = 0,95$$

Volba testové statistiky pro t- test v poloze východ- západ:

$$H_0: \mu_{Ra_1A-Ra_3D_0_E_W} = \mu_{Ra_1A-Ra_3D_1_E_W}$$

$$H_a: \mu_{Ra_1A-Ra_3D_0_E_W} \neq \mu_{Ra_1A-Ra_3D_1_E_W}$$

Volená konfidencí úroveň:

$$1 - \alpha = 0,95$$

Volba testové statistiky pro t- test v poloze sever- jih:


$$H_0: \mu_{Ra_1A-Ra_3D_0_N_S} = \mu_{Ra_1A-Ra_3D_1_N_S}$$

$$H_a: \mu_{Ra_1A-Ra_3D_0_N_S} \neq \mu_{Ra_1A-Ra_3D_1_N_S}$$

Volená konfidencí úroveň:

$$1 - \alpha = 0,95$$

Tabulka 1: Statistické vyhodnocení parametru Ra

	F-test		t-test		Test Normality
	H ₀ : $\sigma^2 Ra_{1A-Ra_{3D_0_E_W}} = \sigma^2 Ra_{1ARa_{3D_1_E_W}}$ H _a : $\sigma^2 Ra_{1A-Ra_{3D_0_E_W}} \neq \sigma^2 Ra_{1ARa_{3D_1_E_W}}$ H ₀ : $\sigma^2 Ra_{1A-Ra_{3D_0_N_S}} = \sigma^2 Ra_{1A-Ra_{3D_1_N_S}}$ H _a : $\sigma^2 Ra_{1A-Ra_{3D_0_N_S}} \neq \sigma^2 Ra_{1A-Ra_{3D_1_N_S}}$		H ₀ : $\mu Ra_{1A-Ra_{3D_0_E_W}} = \mu Ra_{1ARa_{3D_1_E_W}}$ H _a : $\mu Ra_{1A-Ra_{3D_0_E_W}} \neq \mu Ra_{1ARa_{3D_1_E_W}}$ H ₀ : $\mu Ra_{1A-Ra_{3D_0_N_S}} = \mu Ra_{1A-Ra_{3D_1_N_S}}$ H _a : $\mu Ra_{1A-Ra_{3D_0_N_S}} \neq \mu Ra_{1A-Ra_{3D_1_N_S}}$		
	konfidenční úroveň 1- α = 0,95		konfidenční úroveň: 1- α = 0,95		
	H ₀	H _a	H ₀	H _a	
Ra_1A_E_W		p=0,636		p=0,421	nezamítnuto
Ra_1A_N_S		p=0,558	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_1B_E_W	Z(p=0,017)		Z(p=0,006)		nezamítnuto
Ra_1B_N_S		p=0,100	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_1C_E_W	Z(p=0,035)		Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_1C_N_S		p=0,883	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_1D_E_W		p=0,133	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_1D_N_S		p=0,995	Z(p=0,003)		nezamítnuto
Ra_2A_E_W		p=0,129	Z(p=0,005)		nezamítnuto
Ra_2A_N_S	Z(p=0,001)		Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_2B_E_W		p=0,655	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_2B_N_S	Z(p=0,010)		Z(p=0,001)		nezamítnuto
Ra_2C_E_W	Z(p=0,017)		Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_2C_N_S		p=0,358	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_2D_E_W	Z(p=0,015)		Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_2D_N_S		p=0,386	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_3A_E_W		p=0,1	Z(p=0,005)		nezamítnuto
Ra_3A_N_S		p=0,627	Z(p=0,008)		nezamítnuto
Ra_3B_E_W		p=0,860	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_3B_N_S		p=0,581	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_3C_E_W		p=0,918	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_3C_N_S		p=0,415	Z(p=0,044)		nezamítnuto
Ra_3D_E_W		p=0,868	Z(p=0)		nezamítnuto
Ra_3D_N_S		p=0,140	Z(p=0)		nezamítnuto

Zamítám nulovou hypotézu, pokud $p < 0,05$. Bylo nezamítnuto že, všechny naměřená data pocházejí z $N(\mu, \sigma^2)$. Po porovnání naměřených hodnot mezi rokem 0, kdy byla forma nová a rokem 1 mohu konstatovat (viz tab. č. 1), že rozdíly v hodnotách průměrů i rozptylů jsou statisticky signifikantní, s možností omylu 0,05.

5.4.3.2 Vyhodnocení parametru R_z

Volba testové statistiky pro F- test v poloze východ- západ:

$$H_0: \sigma^2_{Rz_1A-Rz_3D_0_E_W} = \sigma^2_{Rz_1A-Rz_3D_1_E_W}$$

$$H_a: \sigma^2_{Rz_1A-Rz_3D_0_E_W} \neq \sigma^2_{Rz_1A-Rz_3D_1_E_W}$$

Volená konfidencí úroveň:

$$1 - \alpha = 0,95$$

Volba testové statistiky pro F- test v poloze sever- jih:

$$H_0: \sigma^2_{Rz_1A-Rz_3D_0_N_S} = \sigma^2_{Rz_1A-Rz_3D_1_N_S}$$

$$H_a: \sigma^2_{Rz_1A-Rz_3D_0_N_S} \neq \sigma^2_{Rz_1A-Rz_3D_1_N_S}$$

Volená konfidencí úroveň:

$$1 - \alpha = 0,95$$

Volba testové statistiky pro t- test v poloze východ- západ:

$$H_0: \mu_{Rz_1A-Rz_3D_0_E_W} = \mu_{Rz_1A-Rz_3D_1_E_W}$$

$$H_a: \mu_{Rz_1A-Rz_3D_0_E_W} \neq \mu_{Rz_1A-Rz_3D_1_E_W}$$

Volená konfidencí úroveň:

$$1 - \alpha = 0,95$$

Volba testové statistiky pro t- test v poloze sever- jih:

$$H_0: \mu_{Rz_1A-Rz_3D_0_N_S} = \mu_{Rz_1A-Rz_3D_1_N_S}$$

$$H_a: \mu_{Rz_1A-Rz_3D_0_N_S} \neq \mu_{Rz_1A-Rz_3D_1_N_S}$$

Volená konfidencí úroveň:

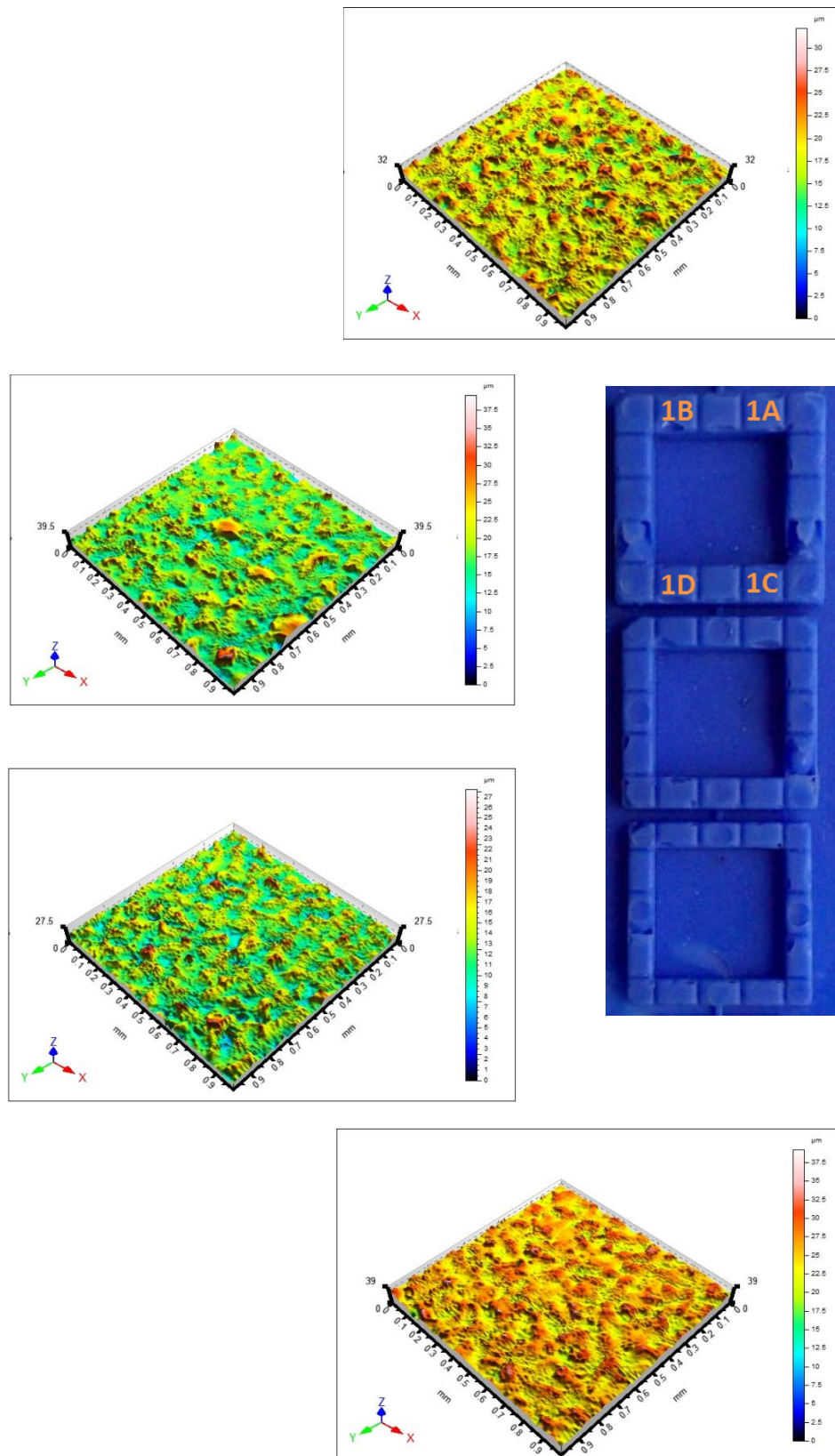
$$1 - \alpha = 0,95$$

Tabulka 2: Statistické vyhodnocení parametru Rz

	F-test		t-test		Test Normality
	H ₀	H _a	H ₀	H _a	
	H ₀ : $\sigma^2 Rz_{1A-Rz_{3D_0_E_W}} = \sigma^2 Rz_{1A-Rz_{3D_1_E_W}}$ H _a : $\sigma^2 Rz_{1A-Rz_{3D_0_E_W}} \neq \sigma^2 Rz_{1A-Rz_{3D_1_E_W}}$ H ₀ : $\sigma^2 Rz_{1A-Rz_{3D_0_N_S}} = \sigma^2 Rz_{1A-Rz_{3D_1_N_S}}$ H _a : $\sigma^2 Rz_{1A-Rz_{3D_0_N_S}} \neq \sigma^2 Rz_{1A-Rz_{3D_1_N_S}}$		H ₀ : $\mu Rz_{1A-Rz_{3D_0_E_W}} = \mu Rz_{1A-Rz_{3D_1_E_W}}$ H _a : $\mu Rz_{1A-Rz_{3D_0_E_W}} \neq \mu Rz_{1A-Rz_{3D_1_E_W}}$ H ₀ : $\mu Rz_{1A-Rz_{3D_0_N_S}} = \mu Rz_{1A-Rz_{3D_1_N_S}}$ H _a : $\mu Rz_{1A-Rz_{3D_0_N_S}} \neq \mu Rz_{1A-Rz_{3D_1_N_S}}$		
	konfidenční úroveň: 1- $\alpha = 0,95$		konfidenční úroveň: 1- $\alpha = 0,95$		konfidenční úroveň: 1- $\alpha = 0,95$
	H ₀	H _a	H ₀	H _a	
Rz_1A_E_W		p=0,829		p=0,257)	nezamítnuto
Rz_1A_N_S		p=0,572	Z(p=0,002)		nezamítnuto
Rz_1B_E_W		p=0,602	Z(p=0,007)		nezamítnuto
Rz_1B_N_S		p=0,268	Z(p=0,005)		nezamítnuto
Rz_1C_E_W		p=0,242	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_1C_N_S		p=0,801	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_1D_E_W		p=0,559	Z(p=0,001)		nezamítnuto
Rz_1D_N_S		p=0,851	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_2A_E_W		p=0,569	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_2A_N_S	Z(p=0,020)		Z(p=0,052)		nezamítnuto
Rz_2B_E_W		p=0,607	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_2B_N_S		p=0,215	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_2C_E_W		p=0,092	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_2C_N_S		p=0,431	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_2D_E_W		p=0,068	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_2D_N_S		p=0,871	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_3A_E_W		p=0,060	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_3A_N_S		p=0,816	Z(p=0,004)		nezamítnuto
Rz_3B_E_W		p=0,602	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_3B_N_S		p=0,889	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_3C_E_W		p=0,154	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_3C_N_S		p=0,094	Z(p=0,001)		nezamítnuto
Rz_3D_E_W		p=0,166	Z(p=0)		nezamítnuto
Rz_3D_N_S	Z(p=0,009)		Z(p=0)		nezamítnuto

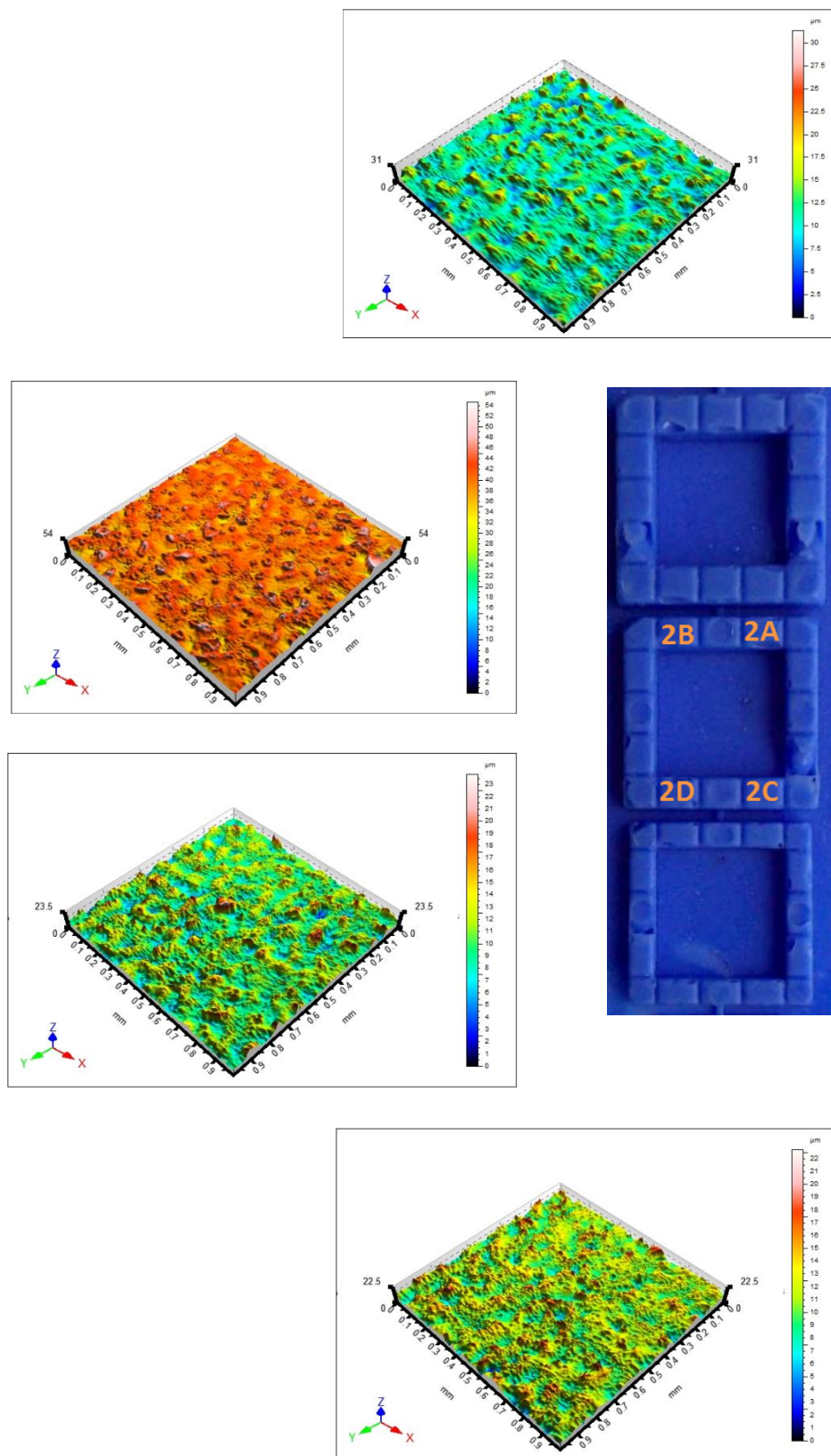
Zamítám nulovou hypotézu, pokud $p < 0,05$. Bylo nezamítnuto že, všechny naměřená data pocházejí z $N(\mu, \sigma^2)$. Po porovnání naměřených hodnot mezi rokem 0, kdy byla forma nová a rokem 1 mohu konstatovat (viz tab. č. 2), že rozdíly v hodnotách průměrů i rozptylů jsou statisticky signifikantní, s možností omylu 0,05.

5.4.4 3D vyobrazení povrchu otisku v pozici 1A – 1D



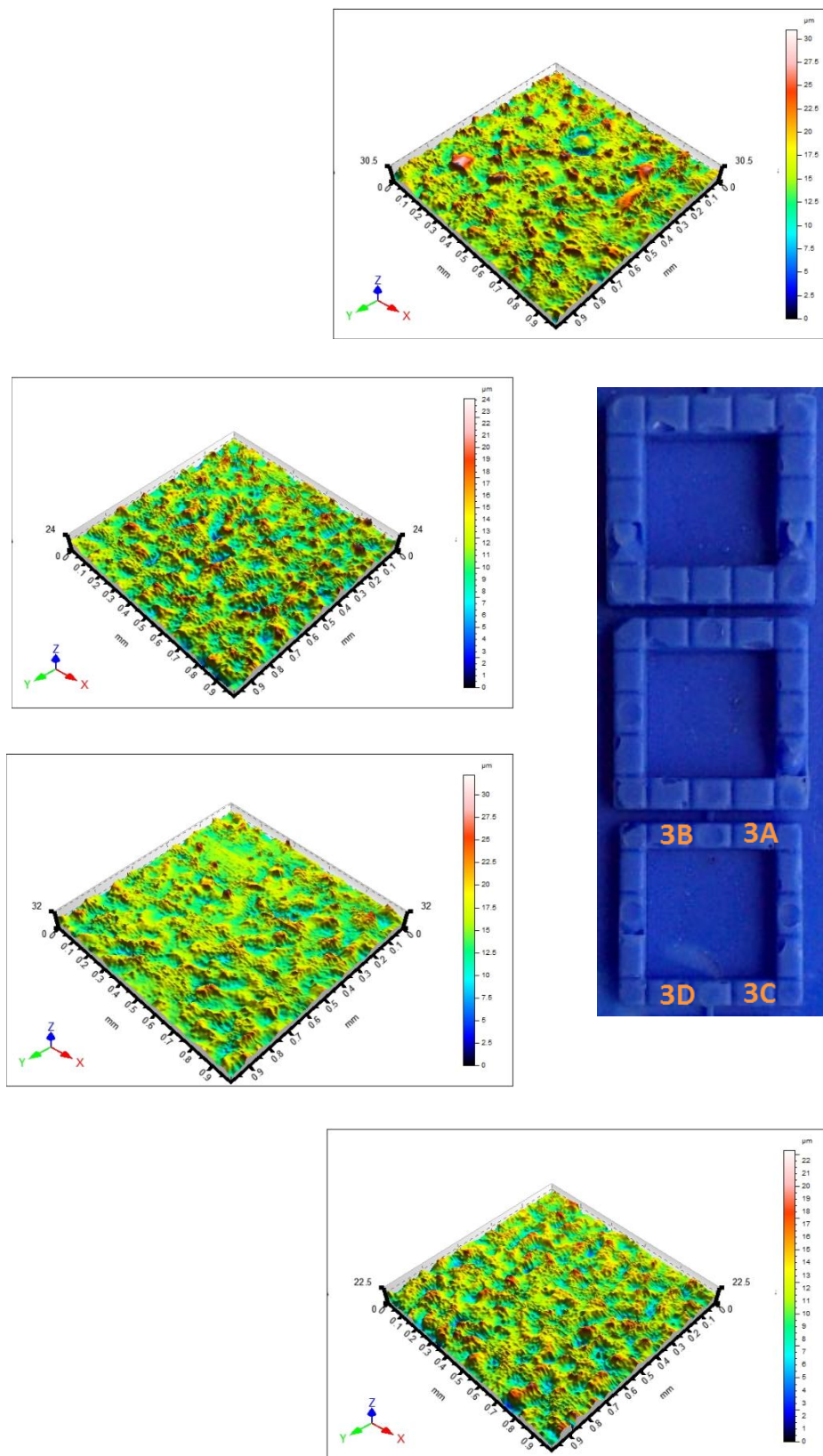
Obrázek 28: 3D data povrchů, které byly použity pro statistické vyhodnocení

5.4.5 3D vyobrazení povrchu otisku v pozici 2A – 2D



Obrázek 29: 3D data povrchů, které byly použity pro statistické vyhodnocení

5.4.6 3D vyobrazení povrchu otisku v pozici 3A – 3D



Obrázek 30: 3D data povrchů, které byly použity pro statistické vyhodnocení

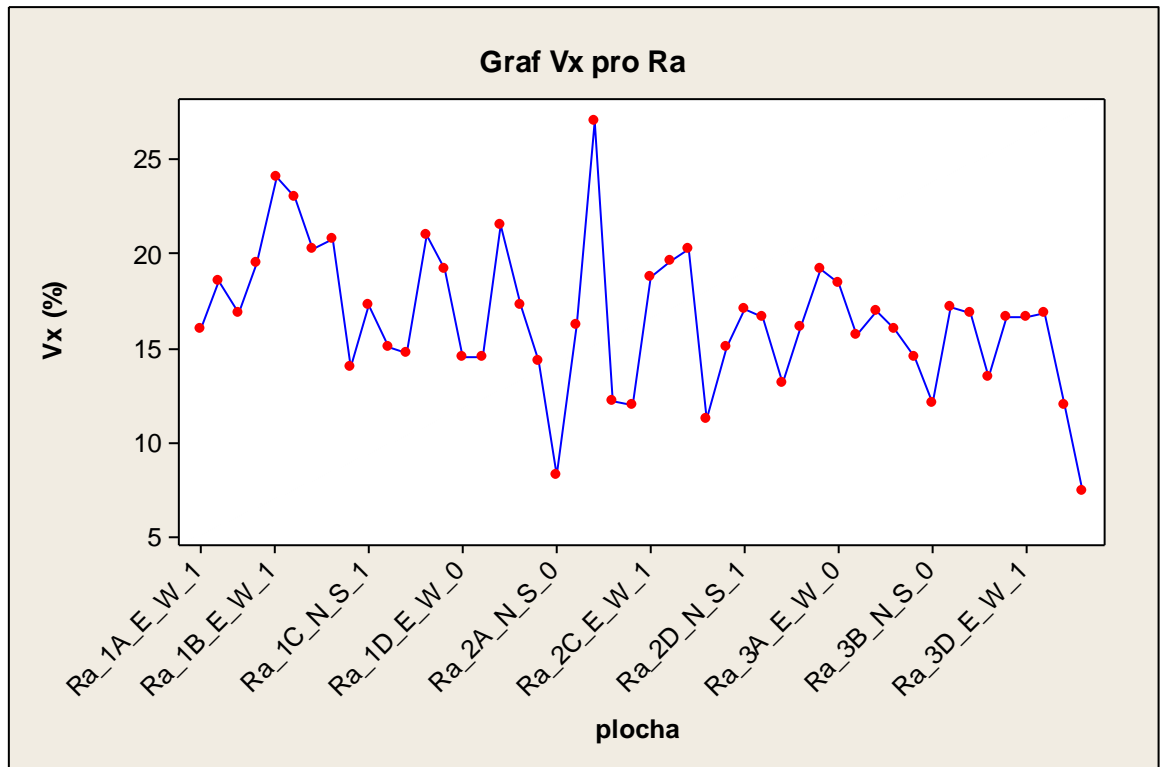
6 HODNOCENÍ

Výsledky porovnání pomocí boxplotových diagramů a statistických testů hypotéz poukazují na to, že k opotřebení formy vlivem ročního použití skutečně došlo. Na stroji byly pro vstřikování používány převážně materiály s velkými částicemi kovů a keramiky o velikostech 0,5 – 20 μm a bylo provedeno celkem 200 vstřikovacích cyklů. Vlivem použití těchto materiálů s velkými částicemi došlo ke změně jakosti povrchu formy. Tento jev je znatelný z boxplotových diagramů obou parametrů od pozice 1C po pozici 3D, kdy hodnoty v roce 0 (2013) dosahují v průměru o 10 μm vyšších hodnot než v roce 1 (2014). Z diagramů je také patrné, že trend u obou sledovaných parametrů má přibližně stejný průběh.

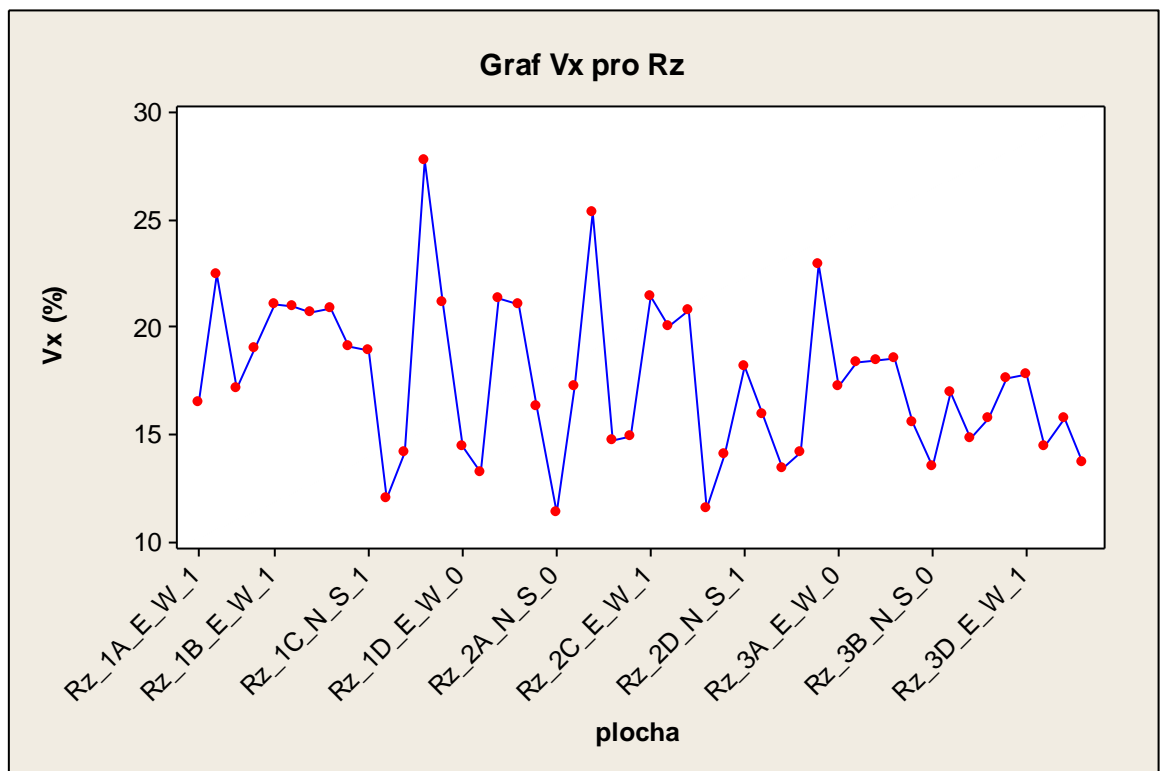
Na základě zhodnocení výsledků t-testů u parametru Rz je možné konstatovat (se stanovenou chybou 5 %), že nulová hypotéza byla zamítnuta ve všech případech až na jeden, a to u pozice 1A ve směru měření východ – západ. Naprosto shodný výsledek prokazuje na stejné pozici 1A i t-test pro parametr Ra. Nulová hypotéza u F- testu sledovaného parametru Ra byla zamítnuta v šesti případech (opět se stanovenou chybou 5 %) a u druhého parametru ve dvou případech. Uvedené výsledky statistických testů zamítají, na dané konfidenční úrovni, že rozptyly a průměry vykazují u měřených pozic shodné hodnoty. Tímto můžu tedy tvrdit, že došlo k opotřebení formy viz. obr. č. 26 a obr. č. 27.

Největší drsnost povrchu otisku byla naměřena na pozici 2B v hodnotě 54 μm . Nejmenší naměřená hodnota drsnosti 22,5 μm byla zjištěna na pozicích 2D a 3D. V průměru je nejdrsnější částí otisku první část, druhou nejdrsnější částí je střední část. Nejmenší průměrná drsnost byla naměřena v třetí části otisku. Na základě těchto zjištění mohu konstatovat, že naše domněnka o přímém působení vstřikovacího tlaku na povrch v horní části formy a jeho vlivu na hodnotu drsnosti, mohla být opodstatněná.

Abychom měli jistotu správnosti naměřených dat, byla provedena kontrola těchto údajů pomocí grafů tzv. časové řady pro každý ze sledovaných parametrů zvlášť. Z grafů plyne, že naměřené výsledky nejsou zatíženy hrubými respektive systematickými chybami.



Obrázek 31: Časová řada Vx pro parametr Ra



Obrázek 32: Časová řada Vx pro parametr Rz

ZÁVĚR

Mým úkolem bylo zjistit, zda došlo během ročního používání nové formy ke změně jakosti jejího povrchu, tedy k opotřebení. Toto opotřebení jsem zjišťovala bezkontaktním způsobem měření povrchu otisku dutiny formy.

Jako první jsem pomocí hmoty Dental flex několikrát otiskla dutinu formy. Ze vzniklých otisků byl vybrán ten nejkvalitnější (mikroskopickou metodou), na kterém bylo provedeno měření jakosti povrchu bezkontaktním scannerem firmy Taylor Hobson v provedení CLI 500. Vyhodnocení se provádělo na dvanácti plochách otisku dutiny formy, přičemž každá plocha byla měřena dvakrát tj. ve dvou osách na sebe kolmých (v práci se tyto směry nazývají sever – jih a východ – západ). Jako první se plocha měřila ve směru východ - západ a po druhé ve směru sever – jih. Vyhodnocovacími parametry byly zvoleny průměrná aritmetická úchylka Ra a největší výška profilu Rz. Boxplotovými diagramy bylo prokázáno, že k opotřebení skutečně došlo. Statistickým zpracováním výsledků s využitím teorie hypotéz bylo možné na dané konfidenční úrovni konstatovat, že po ročním provozu formy došlo k jejímu signifikantnímu opotřebení.

Při podrobnějším zkoumání výsledků bylo zjištěno, že se dutina formy vyhladila. Toto vyhlazení bylo způsobeno patrně použitými materiály při vstřikování. Do dutiny formy byly vstřikovány materiály s velkými částicemi kovů a keramiky o velikostech 0,5 až 20 μm .

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BUMBÁLEK L., BUMBÁLEK B., *Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu*, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně.
- [2] CLA Snímač [online]. [cit. 2014–1-10]. Dostupné z: <<http://ebookbrowse.net/3-1-hladik-novak-talysurf-product-family-pdf-d308356610>>
- [3] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. 1999. vyd.
- [4] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. 1999. vyd.
- [5] Drsnoměr Mitutoyo [online]. [cit. 2014 –1-10]. Dostupné z: <<http://www.mitutoyo.cz/produkty/pristroje-mereni-drsnosti-povrchu/>>
- [6] Imeco TH [online]. [cit. 2014 –1-14]. Dostupné z: <<http://www.imeco-th.cz/detail?pid=39>>
- [7] Leica Microsystem [online]. [cit. 2014 –1-19]. Dostupné z: <<http://www.leica-microsystems.com/products/light-microscopes/industrial-materials/inverted-microscopes/details/product/leica-dmi3000-m/>>
- [8] Metoda AFM [online]. [cit. 2014 –1-21]. Dostupné z: <http://fyzika.fce.vutbr.cz/file/kusak/AFM_mikroskopie.pdf>
- [9] Metoda CLA [online]. [cit. 2014 –1-21]. Dostupné z: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/03013/index.htm>>
- [10] Ověřování předpokladu normality [online]. [cit. 2014 –1-21]. Dostupné z: <http://isq.cz/npj/2006/05%20-%2012%20-%20Testy_normality.pdf>
- [11] PATA V., Přednášky: *Testování hypotéz*, 2012.
- [12] PEŠIČKA, L., *Geometrická specifikace výrobků strojírenské výroby (GPS)*. Praha: ČNI, 2006.
- [13] NOVÁK, Z., *Prostorové měření a hodnocení textury povrchu přístroji Taylor Hobson Ltd.* [online]. [cit. 2014-1-05]. Dostupné z: <http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf>

- [14] Statistika [online]. [cit. 2014 –1-25]. Dostupné z:
<<http://polodriver.uvadi.cz/files/Statistika/Statistika.pdf>>
- [15] Struktura povrchů vybraných strojních součástí [online]. [cit. 2013 –12-10]. Dostupné z:
<http://dokumenty.uk.fme.vutbr.cz/vyuka/Struktura_povrchu_vybranych_technologii_obrabeni.pdf>
- [16] Talysurf CLI [online]. [cit. 2014 –1-10]. Dostupné z:
<http://www.tisecco.org/Product_PDF/TH/Non%20Contact%20Profiles/talysurf-cli-systems.pdf>
- [17] WHITEHOUSE, D., *Handbook of surface and nanometrology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011, xxiii, 975 p. ISBN 978-142-0082-012.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

1A	Pravá horní plocha v první části otisku
2A	Pravá horní plocha v prostřední části otisku
3A	Pravá horní plocha v třetí části otisku
1B	Levá horní plocha v první části otisku
2B	Levá horní plocha v prostřední části otisku
3B	Levá horní plocha v třetí části otisku
1C	Pravá dolní plocha v první části otisku
2C	Pravá dolní plocha v prostřední části otisku
3C	Pravá dolní plocha v třetí části otisku
1D	Levá dolní plocha v první
2D	Levá dolní plocha v prostřední části otisku
3D	Levá dolní plocha v třetí části otisku
GPS	Geometrické požadavky na výrobky
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rc	Průměrná výška prvků profilu
Rku	Špičatost posuzovaného profilu
Rmr(c)	Materiálový poměr profilu
Rp	Největší výška výstupků profilu
Rsk	Šikmost posuzovaného profilu
Rsm	Průměrná šířka prvků profilu
Rq	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
Rt	Celková výška profilu
Rv	Největší hloubka profilu
Rz	Největší výška profilu

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Obecný tvar povrchu [15].....	13
Obrázek 2: Vlnitost povrchu [15]	13
Obrázek 3: Drsnost povrchu [15].....	14
Obrázek 4: Největší výška výstupku profilu [3]	15
Obrázek 5: Největší hloubka prohlubně profilu [3].....	15
Obrázek 6: Největší výška profilu [3].....	16
Obrázek 7: Průměrná výška prvků profilu [3]	16
Obrázek 8: Průměrný kvadratický sklon [3]	18
Obrázek 9: Abbott Firestoneova křivka.....	19
Obrázek 10: Bezkontaktní scanner Talysurf CLI 500 firmy Taylor Hobson [16]	22
Obrázek 11: Dotykový profiloměr Intra firmy Taylor Hobson [6]	22
Obrázek 12: Dilenský drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ-310 [5]	23
Obrázek 13: Mikroskop Leica DMI3000 M [7].....	24
Obrázek 14: CLA snímač [2].....	26
Obrázek 15: Režim snímání metodou AFM [8]	27
Obrázek 16: Hrot systému AFM [8]	27
Obrázek 17: Výsledky testů u testování hypotéz [11]	31
Obrázek 18: Očištěná forma	39
Obrázek 19: Otiskovací materiál a katalyzátor	40
Obrázek 20: Směs v dutině formy	41
Obrázek 21: Vyrobené otisky s vyznačenými chybami	42
Obrázek 22: Vlastní měření otisku přístrojem Taylor Hobson CLI 500.....	43
Obrázek 23: Otisk vložený pod snímací zařízením měřícího přístroje.....	44
Obrázek 24: Ukázka nastavení programu	45
Obrázek 25: Detail snímání otisku formy.....	46
Obrázek 26: Schéma boxplotových diagramů parametru Ra.....	48
Obrázek 27: Schéma boxplotových diagramů parametru Rz.....	50
Obrázek 28: 3D data povrchů, které byly použity pro statistické vyhodnocení.....	57
Obrázek 29: 3D data povrchů, které byly použity pro statistické vyhodnocení.....	58
Obrázek 30: 3D data povrchů, které byly použity pro statistické vyhodnocení.....	59
Obrázek 31: Časová řada V_x pro parametr Ra	61

Obrázek 32: Časová řada V_x pro parametr R_z 62

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Statistické vyhodnocení parametru Ra	53
Tabulka 2: Statistické vyhodnocení parametru Rz	56

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Boxplotový diagram parametr Ra 1A-1D

Příloha P II: Boxplotový diagram parametr Ra 2A-2D

Příloha P III: Boxplotový diagram parametr Ra 3A-3D

Příloha P IV: Boxplotový diagram parametr Rz 1A-1D

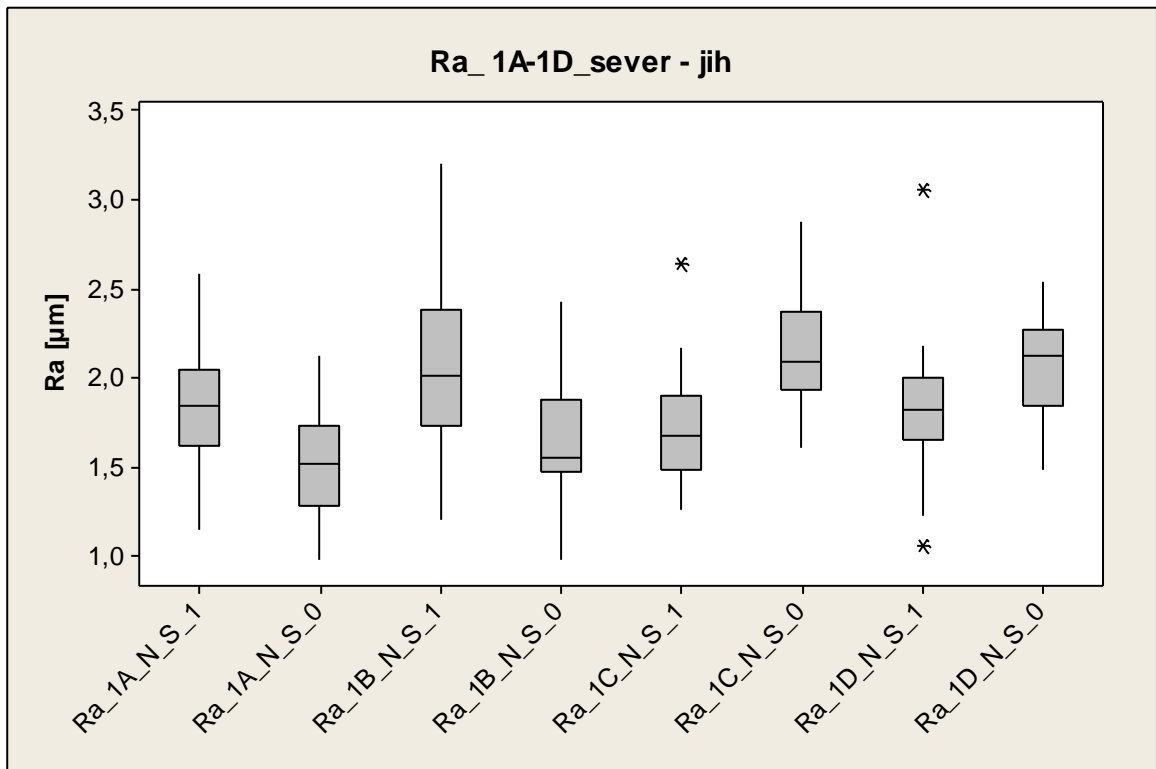
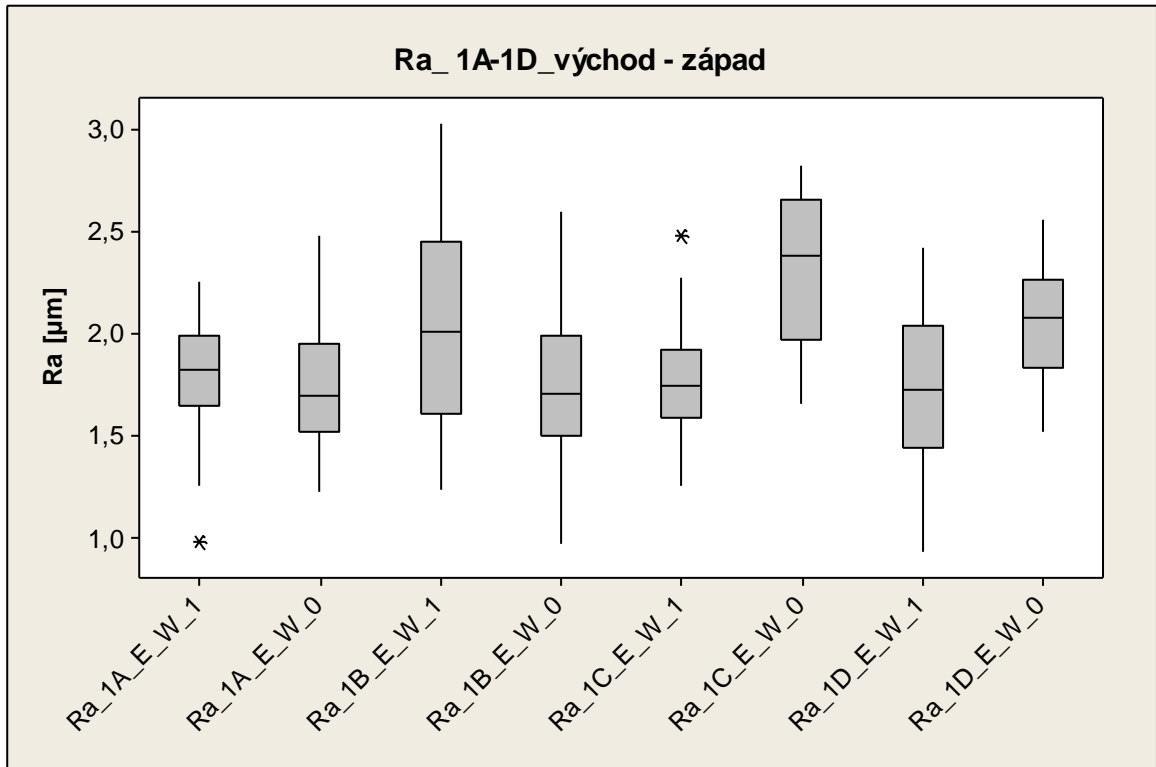
Příloha P V: Boxplotový diagram parametr Rz 2A-2D

Příloha P VI: Boxplotový diagram parametr Rz 3A-3D

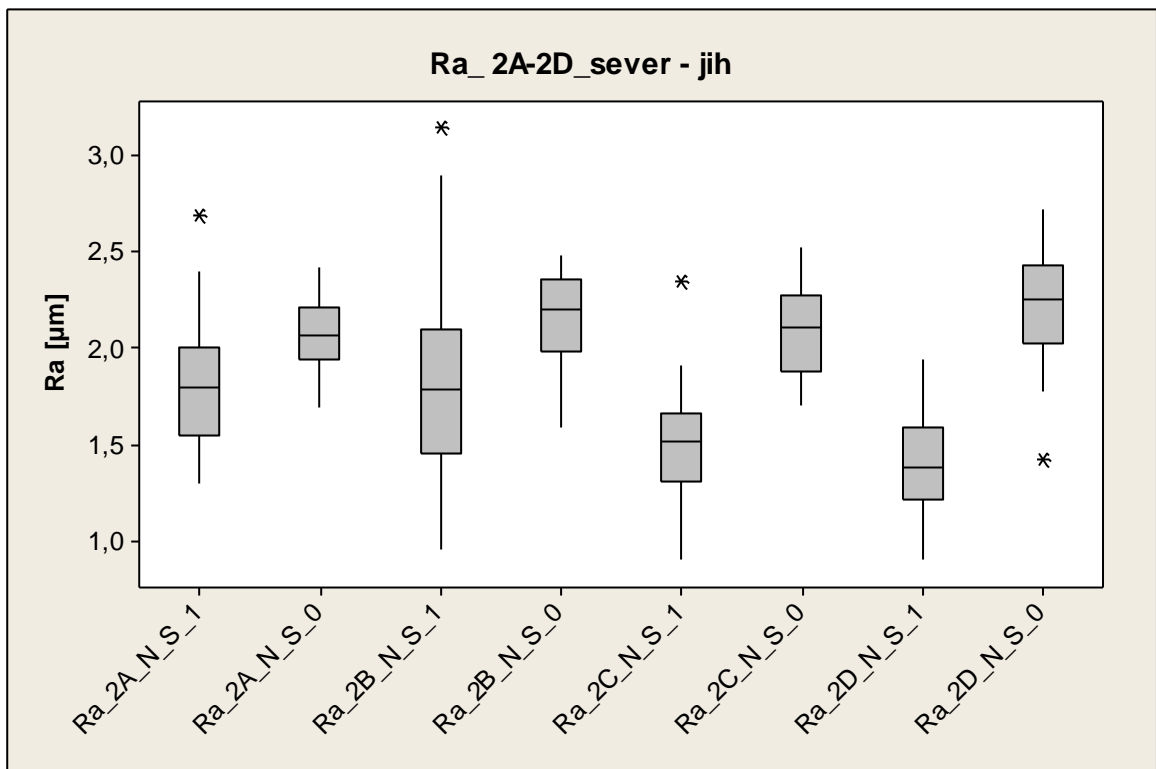
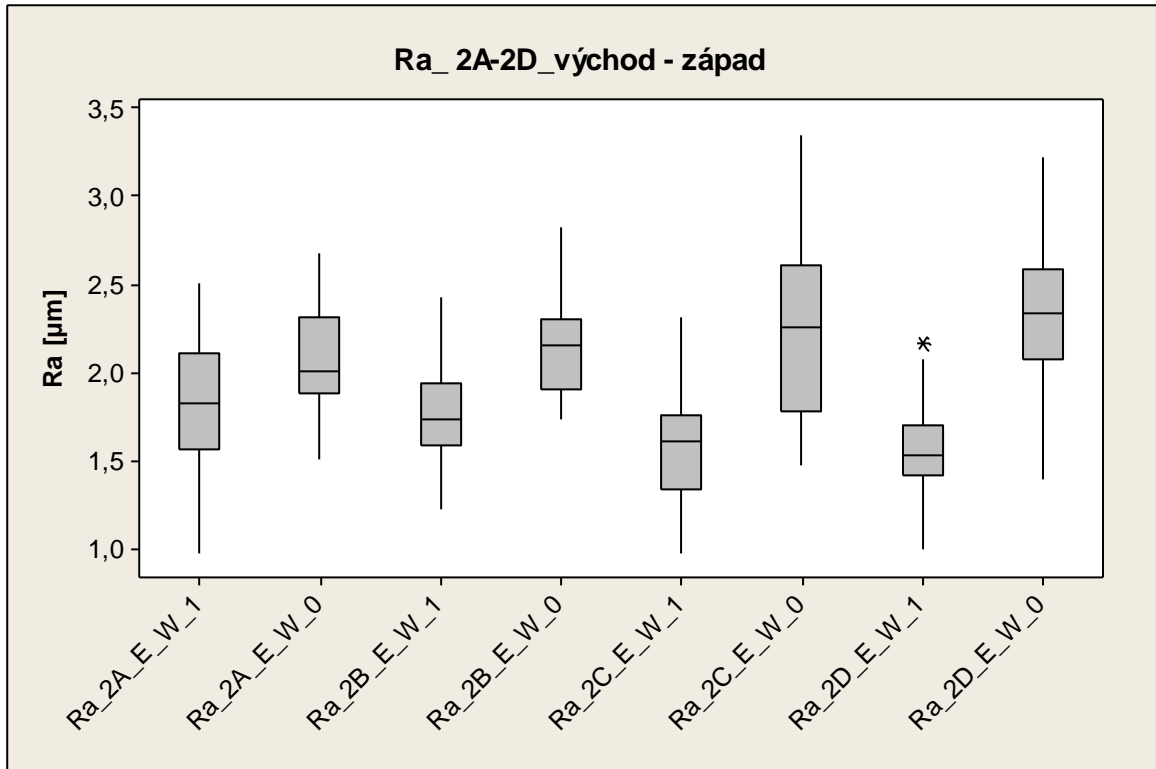
Příloha P VII: Popisná statistika parametru Ra

Příloha P VIII: Popisná statistika parametru Rz

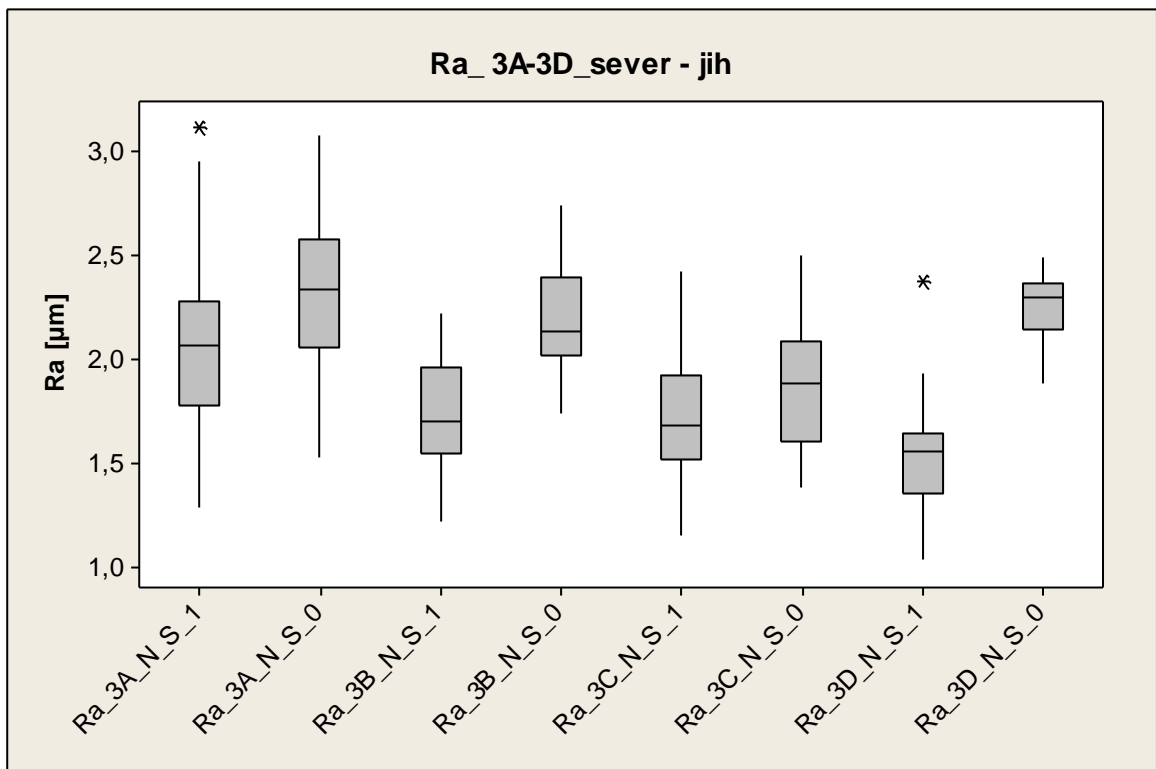
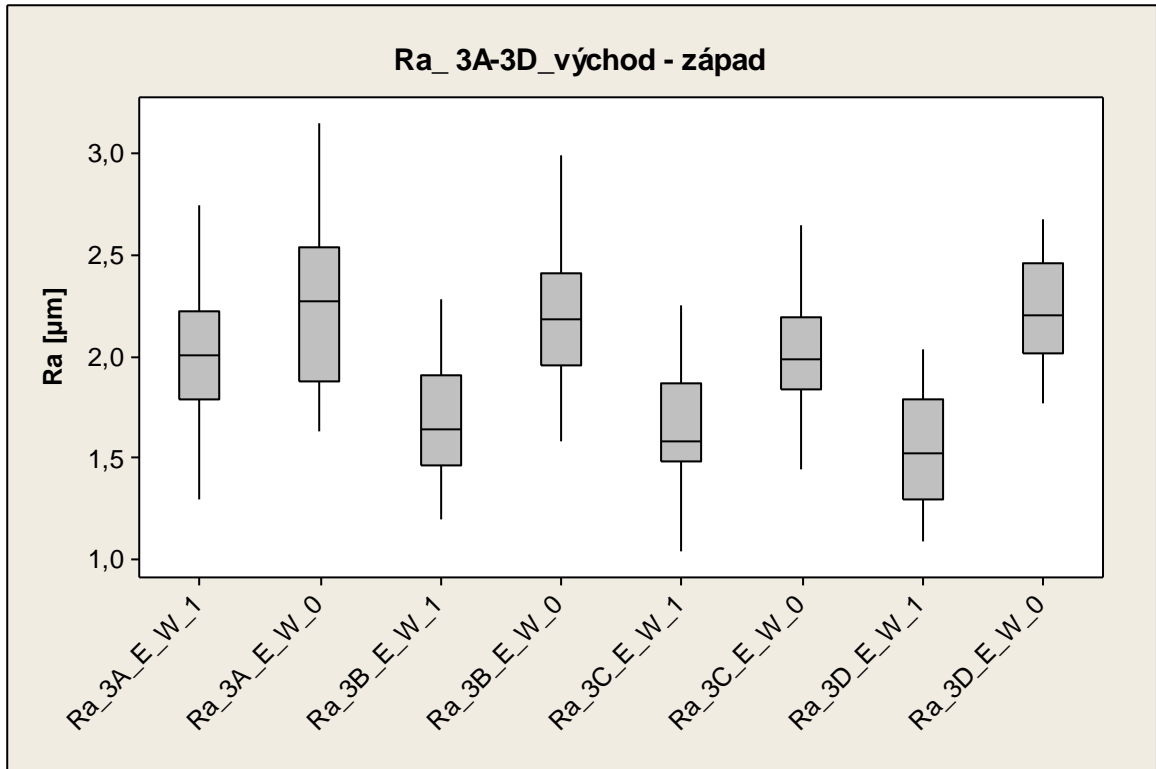
PŘÍLOHA P I: BOXPLOTOVÝ DIAGRAM PARAMETR RA 1A-1D



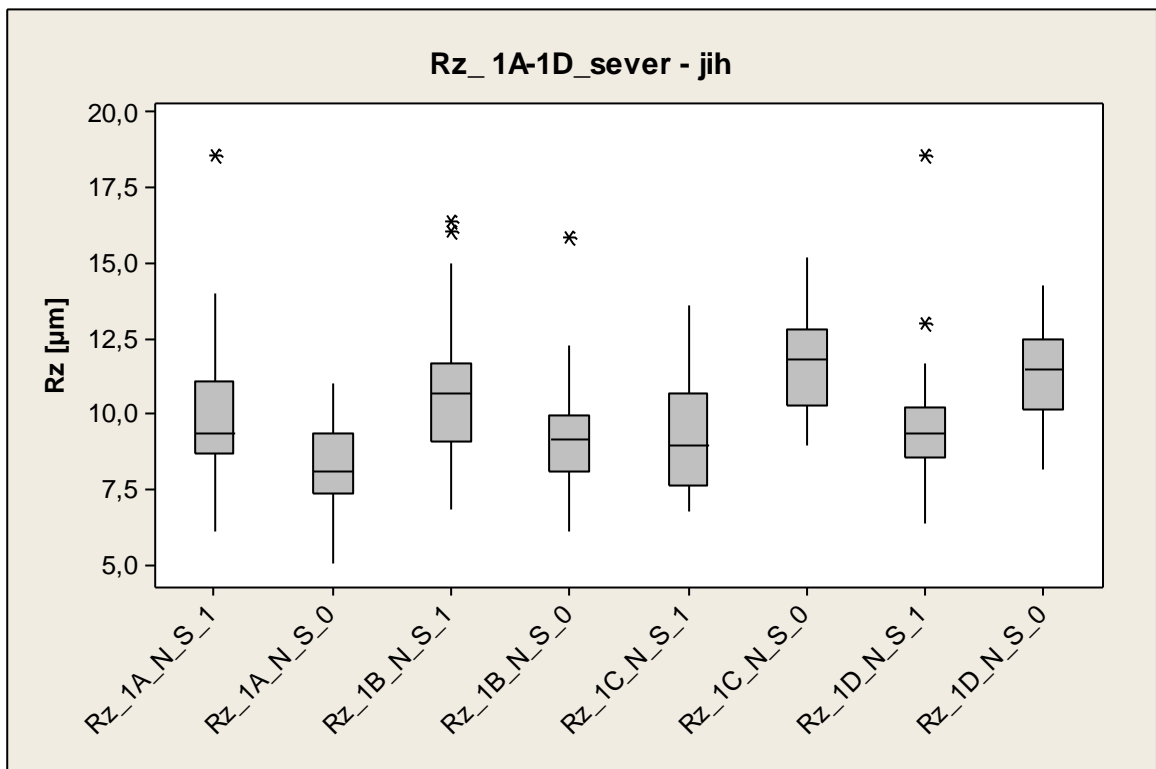
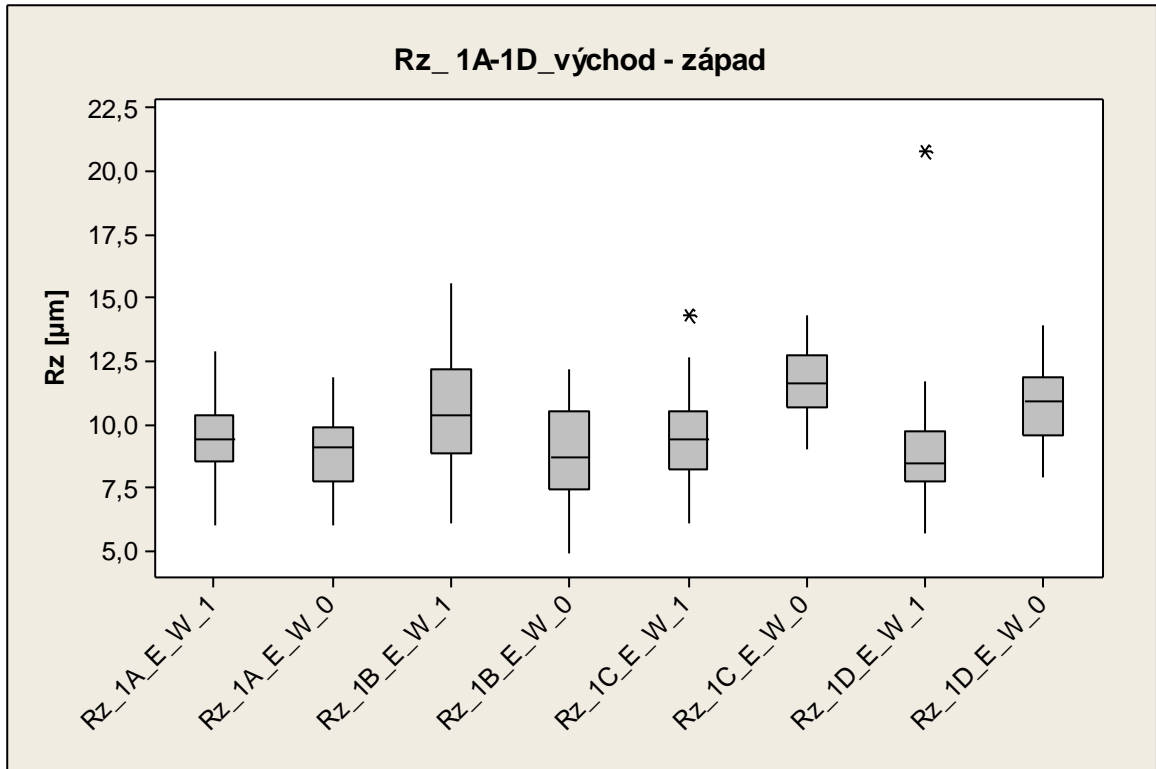
PŘÍLOHA P II: BOXPLOTOVÝ DIAGRAM PARAMETR R_a 2A-2D



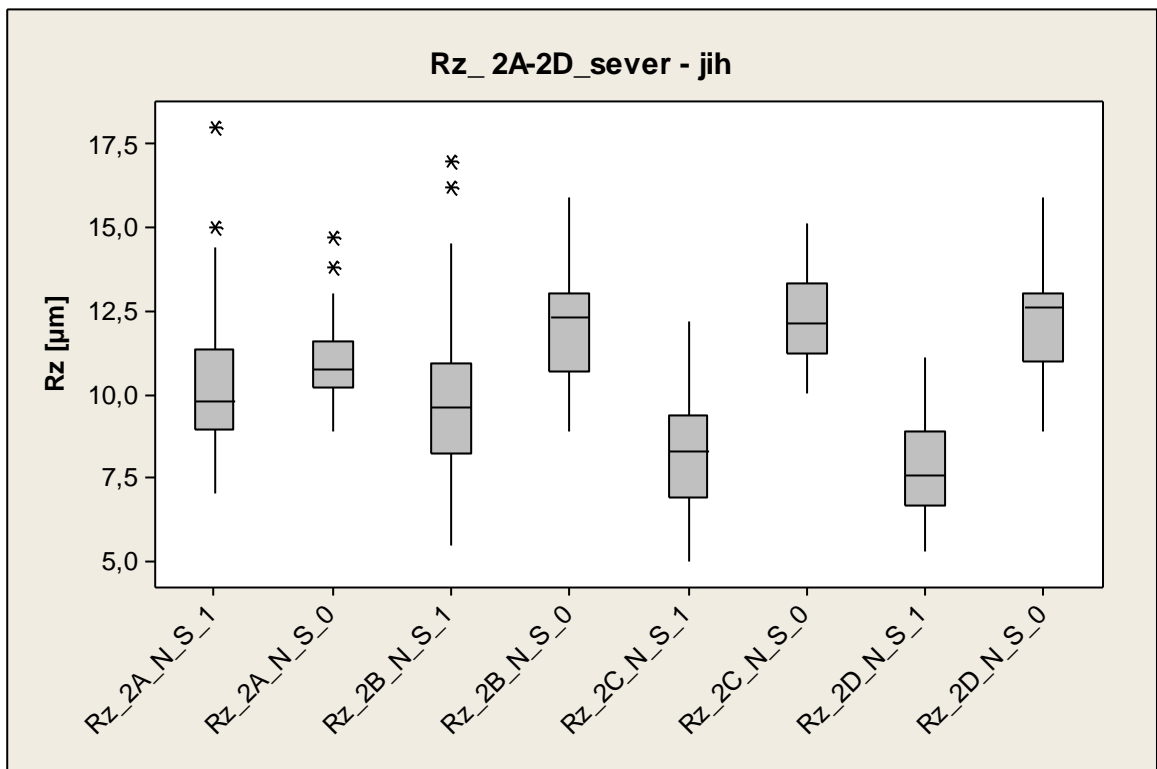
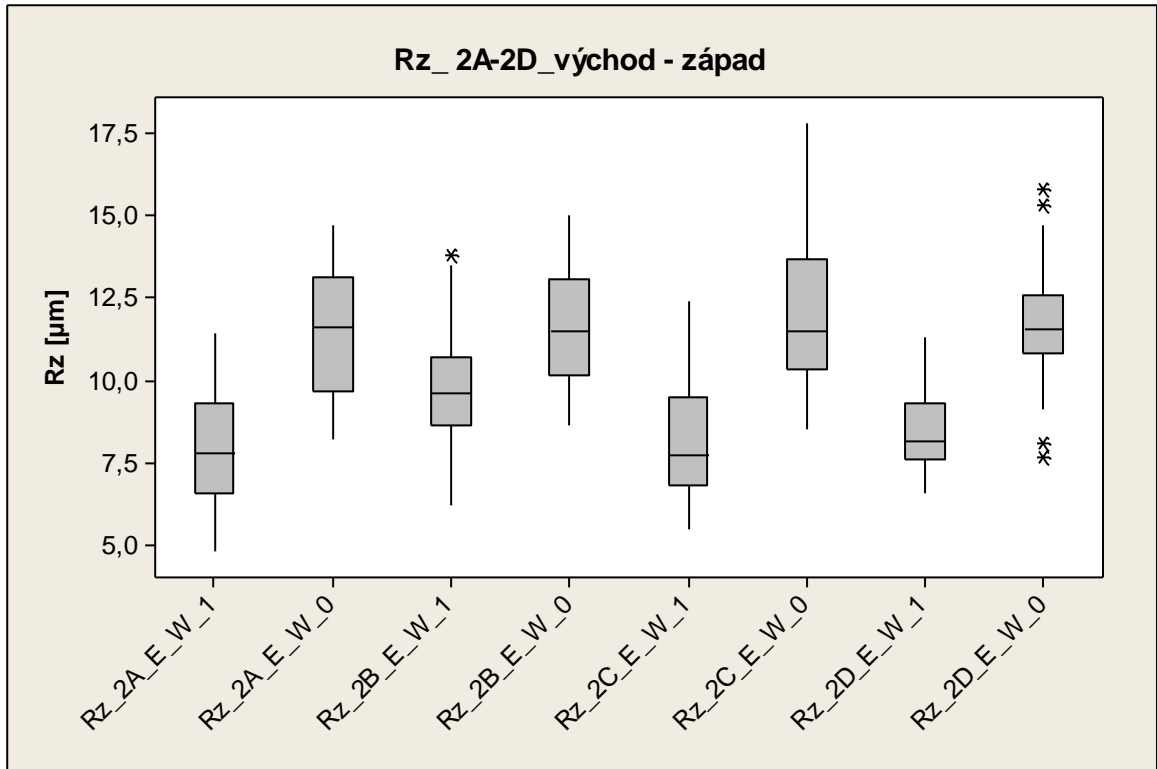
PŘÍLOHA P III: BOXPLOTOVÝ DIAGRAM PARAMETR R_a 3A-3D



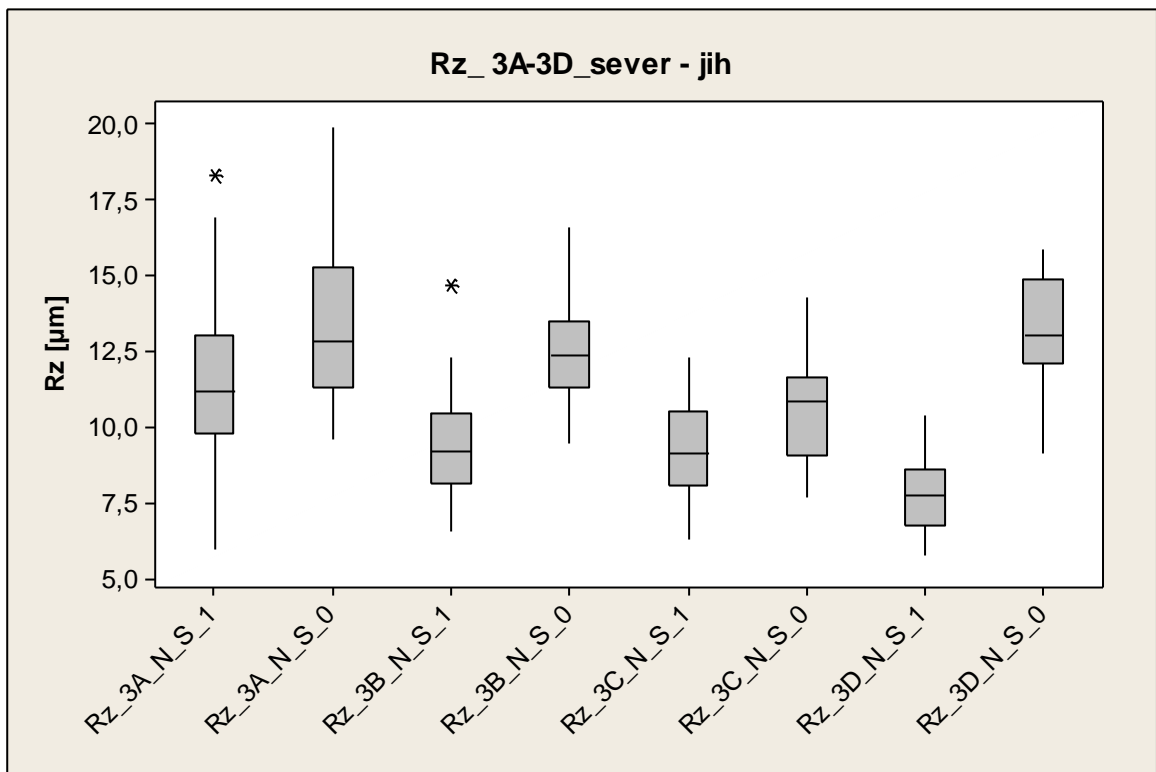
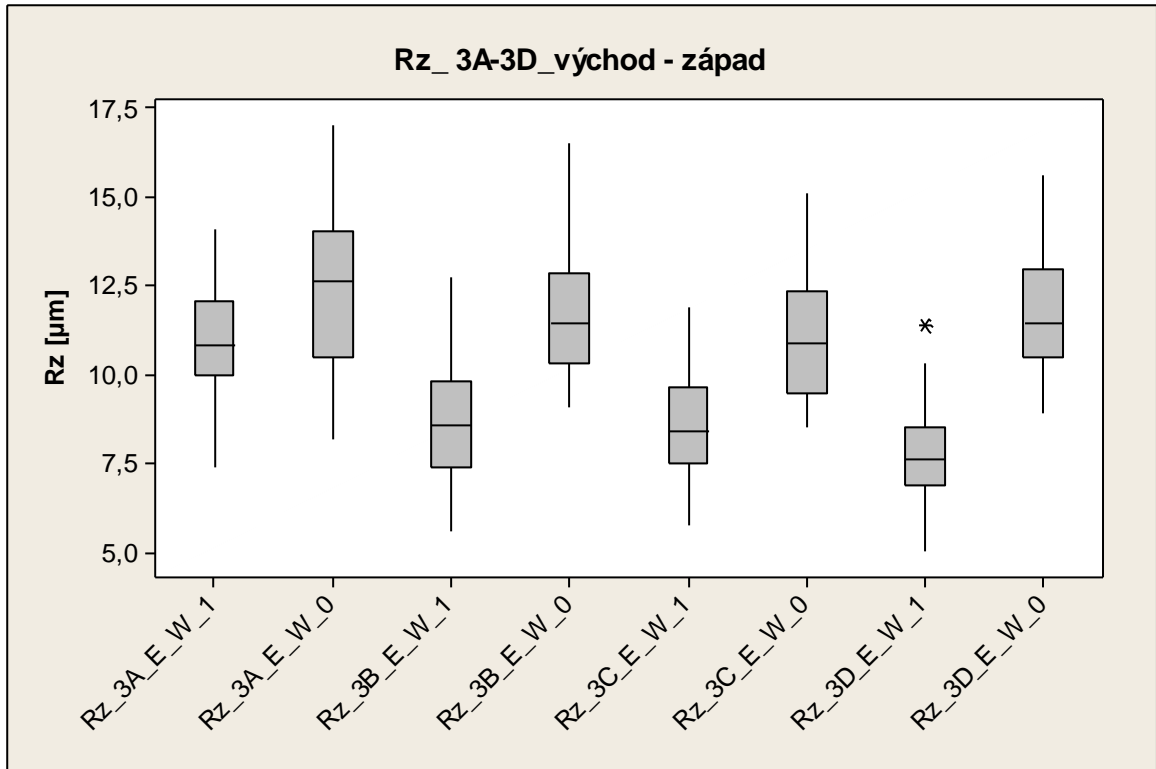
PŘÍLOHA P IV: BOXPLOTOVÝ DIAGRAM PARAMETR Rz 1A-1D



PŘÍLOHA P V: BOXPLOTOVÝ DIAGRAM PARAMETRU Rz 2A-2D



PŘÍLOHA P VI: BOXPLOTOVÝ DIAGRAM PARAMETR Rz 3A-3D



PŘÍLOHA P VII: POPISNÁ STATISTIKA PARAMETRU RA

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median \bar{x}
	N	x	ua	s	Vx	x_{imin}		
Ra_1A_E_W_1	40	1,8068	0,0456	0,2884	15,96	0,9820	1,6500	1,8300
Ra_1A_N_S_1	40	1,8303	0,0536	0,3390	18,52	1,1400	1,6200	1,8450
Ra_1A_E_W_0	30	1,7497	0,0538	0,2946	16,84	1,2300	1,5200	1,7000
Ra_1A_N_S_0	30	1,5309	0,0546	0,2989	19,53	0,9770	1,2800	1,5200
Ra_1B_E_W_1	40	2,0500	0,0779	0,4928	24,04	1,2400	1,6075	2,0100
Ra_1B_N_S_1	40	2,0618	0,0749	0,4738	22,98	1,2000	1,7350	2,0100
Ra_1B_E_W_0	30	1,7474	0,0645	0,3535	20,23	0,9710	1,5050	1,7100
Ra_1B_N_S_0	30	1,6411	0,0621	0,3404	20,74	0,9740	1,4700	1,5500
Ra_1C_E_W_1	40	1,7800	0,0393	0,2483	13,95	1,2600	1,5950	1,7450
Ra_1C_N_S_1	40	1,7013	0,0465	0,2941	17,29	1,2600	1,4800	1,6750
Ra_1C_E_W_0	30	2,3107	0,0635	0,3479	15,05	1,6600	1,9725	2,3800
Ra_1C_N_S_0	30	2,1580	0,0581	0,3182	14,75	1,6100	1,9375	2,0950
Ra_1D_E_W_1	40	1,7366	0,0600	0,3648	21,01	0,9340	1,4450	1,7300
Ra_1D_N_S_1	40	1,7985	0,0546	0,3452	19,19	1,0500	1,6500	1,8150
Ra_1D_E_W_0	30	2,0400	0,0539	0,2951	14,47	1,5200	1,8375	2,0750
Ra_1D_N_S_0	30	2,0407	0,0539	0,2950	14,46	1,4800	1,8400	2,1250
Ra_2A_E_W_1	40	1,8038	0,0614	0,3885	21,54	0,9810	1,5675	1,8250
Ra_2A_N_S_1	50	1,8222	0,0444	0,3137	17,22	1,3000	1,5500	1,7950
Ra_2A_E_W_0	30	2,0510	0,0533	0,2921	14,24	1,5100	1,8825	2,0100
Ra_2A_N_S_0	30	2,0710	0,0311	0,1702	8,22	1,6900	1,9400	2,0600
Ra_2B_E_W_1	40	1,7855	0,0458	0,2895	16,21	1,2200	1,5900	1,7400
Ra_2B_N_S_1	40	1,8290	0,0781	0,4941	27,02	0,9510	1,4475	1,7850
Ra_2B_E_W_0	30	2,1420	0,0477	0,2611	12,19	1,7300	1,9100	2,1550
Ra_2B_N_S_0	30	2,1470	0,0469	0,2567	11,96	1,5900	1,9750	2,1950
Ra_2C_E_W_1	40	1,5730	0,0467	0,2955	18,78	0,9810	1,3350	1,6100
Ra_2C_N_S_1	40	1,4772	0,0459	0,2902	19,64	0,9030	1,3025	1,5100
Ra_2C_E_W_0	30	2,2337	0,0826	0,4522	20,24	1,4700	1,7850	2,2550
Ra_2C_N_S_0	30	2,0893	0,0427	0,2341	11,21	1,7000	1,8775	2,1000
Ra_2D_E_W_1	40	1,5500	0,0367	0,2322	14,98	1,0000	1,4125	1,5350
Ra_2D_N_S_1	40	1,4034	0,0379	0,2399	17,09	0,9050	1,2100	1,3750
Ra_2D_E_W_0	30	2,2977	0,0696	0,3814	16,60	1,4000	2,0775	2,3350
Ra_2D_N_S_0	30	2,2227	0,0533	0,2919	13,13	1,4200	2,0250	2,2450
Ra_3A_E_W_1	40	2,0048	0,0510	0,3228	16,10	1,3000	1,7925	2,0100
Ra_3A_N_S_1	40	2,0540	0,0622	0,3936	19,16	1,2800	1,7675	2,0600
Ra_3A_E_W_0	30	2,2587	0,0758	0,4153	18,39	1,6300	1,8800	2,2750
Ra_3A_N_S_0	30	2,3040	0,0656	0,3595	15,61	1,5200	2,0525	2,3300
Ra_3B_E_W_1	40	1,7045	0,0456	0,2886	16,93	1,2000	1,4625	1,6400
Ra_3B_N_S_1	40	1,7103	0,0433	0,2737	16,00	1,2100	1,5450	1,6950
Ra_3B_E_W_0	30	2,2070	0,0582	0,3186	14,44	1,5800	1,9575	2,1850
Ra_3B_N_S_0	30	2,1867	0,0480	0,2631	12,03	1,7300	2,0075	2,1300
Ra_3C_E_W_1	40	1,6500	0,0449	0,2838	17,20	1,0400	1,4850	1,5850
Ra_3C_N_S_1	40	1,7193	0,0457	0,2888	16,80	1,1500	1,5125	1,6800
Ra_3C_E_W_0	30	2,0233	0,0495	0,2710	13,39	1,4500	1,8350	1,9900
Ra_3C_N_S_0	30	1,8670	0,0568	0,3109	16,65	1,3800	1,6000	1,8750
Ra_3D_E_W_1	40	1,5170	0,0399	0,2523	16,63	1,0900	1,2925	1,5200
Ra_3D_N_S_1	40	1,5190	0,0403	0,2550	16,79	1,0300	1,3525	1,5500
Ra_3D_E_W_0	30	2,2317	0,0485	0,2659	11,91	1,7700	2,0150	2,2000
Ra_3D_N_S_0	30	2,2360	0,0299	0,1638	7,33	1,8800	2,1375	2,2950

Variable	Q3	Maximum x_{imax}	Range R	IQR IQR
Ra_1A_E_W_1	1,9900	2,2600	1,2780	0,3400
Ra_1A_N_S_1	2,0450	2,5900	1,4500	0,4250
Ra_1A_E_W_0	1,9525	2,4800	1,2500	0,4325
Ra_1A_N_S_0	1,7300	2,1300	1,1530	0,4500
Ra_1B_E_W_1	2,4550	3,0300	1,7900	0,8475
Ra_1B_N_S_1	2,3850	3,2100	2,0100	0,6500
Ra_1B_E_W_0	1,9925	2,6000	1,6290	0,4875
Ra_1B_N_S_0	1,8750	2,4300	1,4560	0,4050
Ra_1C_E_W_1	1,9250	2,4800	1,2200	0,3300
Ra_1C_N_S_1	1,8975	2,6400	1,3800	0,4175
Ra_1C_E_W_0	2,6525	2,8200	1,1600	0,6800
Ra_1C_N_S_0	2,3775	2,8800	1,2700	0,4400

Ra_1D_E_W_1	2,0400	2,4200	1,4860	0,5950
Ra_1D_N_S_1	1,9975	3,0600	2,0100	0,3475
Ra_1D_E_W_0	2,2625	2,5600	1,0400	0,4250
Ra_1D_N_S_0	2,2700	2,5400	1,0600	0,4300
Ra_2A_E_W_1	2,1050	2,5100	1,5290	0,5375
Ra_2A_N_S_1	1,9975	2,6800	1,3800	0,4475
Ra_2A_E_W_0	2,3100	2,6700	1,1600	0,4275
Ra_2A_N_S_0	2,2100	2,4200	0,7300	0,2700
Ra_2B_E_W_1	1,9400	2,4200	1,2000	0,3500
Ra_2B_N_S_1	2,0900	3,1400	2,1890	0,6425
Ra_2B_E_W_0	2,3025	2,8200	1,0900	0,3925
Ra_2B_N_S_0	2,3550	2,4800	0,8900	0,3800
Ra_2C_E_W_1	1,7575	2,3100	1,3290	0,4225
Ra_2C_N_S_1	1,6625	2,3400	1,4370	0,3600
Ra_2C_E_W_0	2,6125	3,3400	1,8700	0,8275
Ra_2C_N_S_0	2,2650	2,5200	0,8200	0,3875
Ra_2D_E_W_1	1,6950	2,1600	1,1600	0,2825
Ra_2D_N_S_1	1,5875	1,9400	1,0350	0,3775
Ra_2D_E_W_0	2,5800	3,2200	1,8200	0,5025
Ra_2D_N_S_0	2,4250	2,7200	1,3000	0,4000
Ra_3A_E_W_1	2,2225	2,7400	1,4400	0,4300
Ra_3A_N_S_1	2,2750	3,1100	1,8300	0,5075
Ra_3A_E_W_0	2,5400	3,1500	1,5200	0,6600
Ra_3A_N_S_0	2,5700	3,0700	1,5500	0,5175
Ra_3B_E_W_1	1,9050	2,2800	1,0800	0,4425
Ra_3B_N_S_1	1,9575	2,2100	1,0000	0,4125
Ra_3B_E_W_0	2,4150	2,9900	1,4100	0,4575
Ra_3B_N_S_0	2,3900	2,7300	1,0000	0,3825
Ra_3C_E_W_1	1,8675	2,2500	1,2100	0,3825
Ra_3C_N_S_1	1,9150	2,4200	1,2700	0,4025
Ra_3C_E_W_0	2,1900	2,6500	1,2000	0,3550
Ra_3C_N_S_0	2,0775	2,4900	1,1100	0,4775
Ra_3D_E_W_1	1,7925	2,0400	0,9500	0,5000
Ra_3D_N_S_1	1,6325	2,3700	1,3400	0,2800
Ra_3D_E_W_0	2,4550	2,6800	0,9100	0,4400
Ra_3D_N_S_0	2,3600	2,4800	0,6000	0,2225

PŘÍLOHA P VIII: POPISNÁ STATISTIKA PARAMETRU Rz

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median
	N	\bar{x}	ua	s	Vx	X _{imin}		\tilde{x}
Rz_1A_E_W_1	40	9,385	0,245	1,552	16,54	5,990	8,570	9,410
Rz_1A_N_S_1	40	9,752	0,346	2,190	22,45	6,130	8,670	9,390
Rz_1A_E_W_0	30	8,958	0,281	1,540	17,19	5,980	7,790	9,085
Rz_1A_N_S_0	30	8,242	0,286	1,564	18,98	5,060	7,375	8,100
Rz_1B_E_W_1	40	10,394	0,347	2,195	21,12	6,120	8,895	10,350
Rz_1B_N_S_1	40	10,766	0,358	2,262	21,01	6,830	9,130	10,700
Rz_1B_E_W_0	30	9,005	0,341	1,868	20,74	4,900	7,408	8,685
Rz_1B_N_S_0	30	9,278	0,354	1,940	20,91	6,090	8,103	9,195
Rz_1C_E_W_1	40	9,368	0,283	1,789	19,10	6,070	8,233	9,390
Rz_1C_N_S_1	40	9,217	0,276	1,745	18,93	6,790	7,670	8,950
Rz_1C_E_W_0	30	11,647	0,256	1,404	12,05	9,020	10,700	11,650
Rz_1C_N_S_0	30	11,768	0,304	1,667	14,16	8,980	10,275	11,850
Rz_1D_E_W_1	40	8,971	0,411	2,499	27,85	5,660	7,760	8,430
Rz_1D_N_S_1	40	9,501	0,318	2,014	21,20	6,390	8,600	9,400
Rz_1D_E_W_0	30	10,801	0,285	1,560	14,44	7,880	9,553	10,900
Rz_1D_N_S_0	30	11,301	0,273	1,495	13,23	8,180	10,175	11,500
Rz_2A_E_W_1	40	7,866	0,266	1,680	21,36	4,780	6,573	7,745
Rz_2A_N_S_1	50	10,201	0,305	2,153	21,11	7,020	8,933	9,800
Rz_2A_E_W_0	30	11,458	0,341	1,870	16,32	8,180	9,668	11,600
Rz_2A_N_S_0	30	10,951	0,226	1,238	11,31	8,870	10,200	10,750
Rz_2B_E_W_1	40	9,681	0,264	1,669	17,23	6,170	8,635	9,605
Rz_2B_N_S_1	40	9,876	0,397	2,511	25,42	5,460	8,245	9,625
Rz_2B_E_W_0	30	11,532	0,309	1,694	14,68	8,630	10,150	11,500
Rz_2B_N_S_0	30	12,183	0,331	1,814	14,89	8,900	10,675	12,300
Rz_2C_E_W_1	40	8,099	0,275	1,738	21,46	5,450	6,778	7,700
Rz_2C_N_S_1	40	8,202	0,260	1,645	20,06	4,990	6,933	8,270
Rz_2C_E_W_0	30	12,117	0,461	2,525	20,84	8,500	10,300	11,500
Rz_2C_N_S_0	30	12,263	0,259	1,420	11,58	10,000	11,250	12,150
Rz_2D_E_W_1	40	8,415	0,187	1,183	14,06	6,580	7,590	8,145
Rz_2D_N_S_1	40	7,753	0,223	1,411	18,20	5,270	6,653	7,570
Rz_2D_E_W_0	30	11,747	0,342	1,871	15,93	7,620	10,800	11,550
Rz_2D_N_S_0	30	12,229	0,300	1,644	13,44	8,880	10,975	12,600
Rz_3A_E_W_1	40	10,769	0,241	1,527	14,18	7,380	9,978	10,800
Rz_3A_N_S_1	40	11,388	0,412	2,608	22,90	5,990	9,780	11,200
Rz_3A_E_W_0	30	12,403	0,391	2,144	17,28	8,190	10,450	12,600
Rz_3A_N_S_0	30	13,205	0,442	2,420	18,33	9,610	11,300	12,800
Rz_3B_E_W_1	40	8,609	0,251	1,586	18,42	5,580	7,375	8,580
Rz_3B_N_S_1	40	9,383	0,275	1,741	18,56	6,550	8,125	9,225
Rz_3B_E_W_0	30	11,660	0,330	1,810	15,52	9,040	10,325	11,450
Rz_3B_N_S_0	30	12,481	0,309	1,690	13,54	9,460	11,300	12,400
Rz_3C_E_W_1	40	8,537	0,229	1,451	16,99	5,770	7,495	8,365
Rz_3C_N_S_1	40	9,284	0,217	1,374	14,80	6,330	8,113	9,160
Rz_3C_E_W_0	30	11,129	0,319	1,750	15,72	8,480	9,480	10,850
Rz_3C_N_S_0	30	10,632	0,342	1,871	17,60	7,680	9,075	10,850
Rz_3D_E_W_1	40	7,793	0,220	1,390	17,84	5,000	6,848	7,610
Rz_3D_N_S_1	40	7,730	0,176	1,116	14,44	5,740	6,768	7,775
Rz_3D_E_W_0	30	11,825	0,340	1,863	15,75	8,910	10,500	11,450
Rz_3D_N_S_0	30	13,156	0,328	1,796	13,65	9,170	12,100	13,000

Variable	Q3	Maximum	Range	IQR
		X _{imax}	R	IQR
Rz_1A_E_W_1	10,350	12,900	6,910	1,780
Rz_1A_N_S_1	11,075	18,600	12,470	2,405
Rz_1A_E_W_0	9,898	11,900	5,920	2,108
Rz_1A_N_S_0	9,355	11,000	5,940	1,980
Rz_1B_E_W_1	12,175	15,600	9,480	3,280
Rz_1B_N_S_1	11,700	16,400	9,570	2,570
Rz_1B_E_W_0	10,525	12,200	7,300	3,118
Rz_1B_N_S_0	9,980	15,900	9,810	1,878
Rz_1C_E_W_1	10,500	14,300	8,230	2,267
Rz_1C_N_S_1	10,700	13,600	6,810	3,030
Rz_1C_E_W_0	12,725	14,300	5,280	2,025
Rz_1C_N_S_0	12,850	15,200	6,220	2,575

Rz_1D_E_W_1	9,730	20,800	15,140	1,970
Rz_1D_N_S_1	10,250	18,600	12,210	1,650
Rz_1D_E_W_0	11,850	13,900	6,020	2,298
Rz_1D_N_S_0	12,500	14,300	6,120	2,325
Rz_2A_E_W_1	9,265	11,400	6,620	2,693
Rz_2A_N_S_1	11,325	18,000	10,980	2,393
Rz_2A_E_W_0	13,100	14,700	6,520	3,432
Rz_2A_N_S_0	11,600	14,700	5,830	1,400
Rz_2B_E_W_1	10,700	13,800	7,630	2,065
Rz_2B_N_S_1	10,900	17,000	11,540	2,655
Rz_2B_E_W_0	13,050	15,000	6,370	2,900
Rz_2B_N_S_0	13,025	15,900	7,000	2,350
Rz_2C_E_W_1	9,460	12,400	6,950	2,683
Rz_2C_N_S_1	9,395	12,200	7,210	2,462
Rz_2C_E_W_0	13,650	17,800	9,300	3,350
Rz_2C_N_S_0	13,350	15,100	5,100	2,100
Rz_2D_E_W_1	9,283	11,300	4,720	1,693
Rz_2D_N_S_1	8,910	11,100	5,830	2,258
Rz_2D_E_W_0	12,550	15,800	8,180	1,750
Rz_2D_N_S_0	13,050	15,900	7,020	2,075
Rz_3A_E_W_1	12,050	14,100	6,720	2,073
Rz_3A_N_S_1	13,050	18,300	12,310	3,270
Rz_3A_E_W_0	14,000	17,000	8,810	3,550
Rz_3A_N_S_0	15,300	19,900	10,290	4,000
Rz_3B_E_W_1	9,818	12,700	7,120	2,442
Rz_3B_N_S_1	10,475	14,700	8,150	2,350
Rz_3B_E_W_0	12,850	16,500	7,460	2,525
Rz_3B_N_S_0	13,525	16,600	7,140	2,225
Rz_3C_E_W_1	9,610	11,900	6,130	2,115
Rz_3C_N_S_1	10,500	12,300	5,970	2,388
Rz_3C_E_W_0	12,350	15,100	6,620	2,870
Rz_3C_N_S_0	11,675	14,300	6,620	2,600
Rz_3D_E_W_1	8,498	11,400	6,400	1,650
Rz_3D_N_S_1	8,583	10,400	4,660	1,815
Rz_3D_E_W_0	12,950	15,600	6,690	2,450
Rz_3D_N_S_0	14,900	15,900	6,730	2,800