

Hodnocení kvality povrchu pomocí replik

Bc. Milan Suchánek

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Milan Suchánek**
Osobní číslo: **T11192**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Hodnocení kvality povrchu pomocí replik**

Zásady pro vypracování:

1. Metodika hodnocení kvality povrchu
2. Způsoby replikací povrchů – metodologie, výhody a nevýhody
3. Na vybraných površích proveďte jejich replikaci vybranou metodou a zhodnoťte kvalitu replik pomocí vhodných matematických metod
4. Vypracujte metodologické postupy, včetně finančních kalkulů jednotlivých metod

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:

8. února 2013

Termín odevzdání diplomové práce:

10. května 2013

Ve Zlíně dne 11. února 2013



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.

děkan





prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.

ředitel ústavu

Příjmení a jméno: *Suchánek Milan*

Obor: *Rízení 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 užít 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 Zlíně *2.5.2013*

Suchánek

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 nevydělečně 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.

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 užit 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 přihledne 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 dvou fází. V první fázi se zabývám metodikou hodnocení kvality povrchu pomocí kontaktního a bezkontaktního způsobu měření. V druhé fázi se zabývám způsoby replikací povrchu pomocí 3D tiskáren a 3D skenerů.

V praktické části je mým úkolem zjistit způsob kontroly jakosti povrchů, které jsou obtížně přístupné. Zhotovení replik s následným matematickým vyhodnocením a vytvoření metodologického postupu.

Klíčová slova:

Jakost povrchu, replika povrchové struktury, CLA snímání, teorie hypotéz

ABSTRACT

The theoretical part of my diploma thesis is divided into two parts. In the first part I deal with a contact and a non-contact measurement of quality assessment. In a second part I engage in ways of replication the surface by using 3D printers and 3D scanners.

In a practical part of my thesis, the main goal is to find out the ways of checking the quality of surfaces, which are hardly approachable, then making replicas with a subsequent mathematical evaluation and to create a methodological process.

Keywords:

Surface quality, a replica of the surface structure, CLA scanning, theory hypotheses

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za ochotu, cenné rady a pomoc při řešení diplomové práce.

Motto:

Per aspera ad astra - Přes překážky ke hvězdám.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, jsou-li uvolněny na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 2. 5. 2013

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 METODIKA HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU	13
1.1 MĚŘÍCÍ TECHNIKA	13
1.2 KONTAKTNÍ MĚŘENÍ	13
1.2.1 CLI - indukční dotykový způsob Form Talysurf	13
1.3 BEZKONTAKTNÍ MĚŘENÍ	14
1.3.1 Mikroskopy	14
1.3.2 CLI bezdotykovým způsobem reprezentovaným laserovou triangulační sondou	14
1.3.3 CLA konfokální snímač (Chromatic Length Aberration - CLA)	15
1.3.4 AFM - Mikroskopie atomárních sil (Atomic Force Microscopy)	16
1.4 ZÁKLADNÍ PARAMETRY JAKOSTI POVRCHU	20
1.4.1 Výškové parametry	22
1.4.1.1 Parametr Ra	22
1.4.1.2 Parametr Rq	23
1.4.1.3 Parametr Rt	24
1.4.1.4 Parametr Rp	25
1.4.1.5 Parametr Rv	25
1.4.1.6 Parametr Rz	26
1.4.2 Drsnost	27
1.4.3 Vlnitost	27
1.5 ODPOVÍDAJÍCÍ A VHODNÉ NORMATIVNÍ SYSTÉMY, KTERÉ SLOUŽÍ PRO HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU	27
1.6 TEST ANDERSON DARLING	28
1.7 KRUSKAL-WALLIS	28
2 ZPŮSOBY REPLIKACÍ POVRCHU - METODOLOGIE, VÝHODY A NEVÝHODY	29
2.1 3D TISKÁRNY	29
2.2 3D SCANNERY	31
II PRAKTICKÁ ČÁST	37
3 NA VYBRANÝCH POVRŠÍCH PROVEĎTE JEJICH REPLIKACI VYBRANOU METODOU A ZHODNOŇTE KVALITU REPLIK POMOCÍ VHODNÝCH MATEMATICKÝCH METOD	38
3.1 MIKROSKOPICKÉ A 3D VYHODNOCENÍ REPLIK - PRAVÁ STRANA	39
3.1.1 Schéma vyhodnocení	39
3.1.2 Pozice A1	40
3.1.2.1 Porovnání mikroskopických obrazů	40
3.1.2.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap	41
3.1.3 Pozice A4	42

3.1.3.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	42
3.1.3.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	42
3.1.4	Pozice B1.....	43
3.1.4.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	43
3.1.4.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	44
3.1.5	Pozice B4.....	45
3.1.5.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	45
3.1.5.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	45
3.1.6	Pozice C1.....	46
3.1.6.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	46
3.1.6.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	47
3.1.7	Pozice C4.....	48
3.1.7.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	48
3.1.7.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	48
3.2	MIKROSKOPICKÉ A 3D VYHODNOCENÍ REPLIK - LEVÁ STRANA.....	49
3.2.1	Schéma vyhodnocení.....	49
3.2.2	Pozice A2.....	50
3.2.2.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	50
3.2.2.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	50
3.2.3	Pozice A3.....	51
3.2.3.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	51
3.2.3.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	52
3.2.4	Pozice B2.....	53
3.2.4.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	53
3.2.4.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	53
3.2.5	Pozice B3.....	54
3.2.5.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	54
3.2.5.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	55
3.2.6	Pozice C2.....	56
3.2.6.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	56
3.2.6.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	57
3.2.7	Pozice C3.....	58
3.2.7.1	Porovnání mikroskopických obrazů.....	58
3.2.7.2	3D porovnání replik pomocí programu TalyMap.....	59
3.3	MATEMATICKÉ VYHODNOCENÍ POMOCÍ PROGRAMU MINITAB 14 - PRAVÁ STRANA.....	60
3.3.1	Test normalit naměřených dat R_a , R_p , R_v a R_z dle testu Anderson Darling pro $N = 30$	60
3.3.2	Parametr R_a	61
3.3.2.1	Kruskal-Wallis pro R_a	62
3.3.3	Parametr R_v	65
3.3.3.1	Kruskal-Wallis pro R_v	66
3.3.4	Parametr R_p	69
3.3.4.1	Kruskal-Wallis pro parametr R_p	70
3.3.5	Parametr R_z	72

3.4	MATEMATICKÉ VYHODNOCENÍ POMOCÍ PROGRAMU MINITAB 14 - LEVÁ STRANA.....	76
3.4.1	Test normalit naměřených dat R_a , R_p , R_v a R_z dle testu Anderson Darling pro $N = 30$	76
3.4.2	Parametr R_a	78
3.4.2.1	Kruskal-Wallis pro parametr R_a	79
3.4.3	Parametr R_v	81
3.4.3.1	Kruskal-Wallis pro parametr R_v	82
3.4.4	Parametr R_p	85
3.4.4.1	Kruskal-Wallis pro parametr R_p	86
3.4.5	Parametr R_z	89
3.4.5.1	Kruskal-Wallis pro parametr R_z	90
4	VYPRACUJTE METODOLOGICKÉ POSTUPY, VČETNĚ FINANČNÍCH KALKULŮ JEDNOTLIVÝCH METOD.....	93
4.1	DENTAKRYL.....	93
4.1.1	Tvorba replik pomocí dentálních silikonových hmot.....	93
4.1.1.1	Postup tvorby repliky č. 1:.....	94
4.1.1.2	Postup tvorby repliky č. 2.....	95
4.1.1.3	Porovnání vlastností směsí dentakrylu.....	97
4.1.2	Nastavení podmínek snímání:.....	100
4.1.2.1	Talymap Gold:.....	100
4.1.2.2	Minitab:.....	103
4.2	3D 115	
	ZÁVĚR.....	116
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	118
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	120
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	122
	SEZNAM TABULEK.....	126
	SEZNAM PŘÍLOH.....	128

ÚVOD

Cílem této diplomové práce bylo zjistit způsob kontroly jakosti povrchů, které jsou obtížně přístupné. Jako předmět zkoumání byly použity dvě totožné dutiny forem. Z nichž jedna byla nová a druhá rok používaná. U dutin forem nebyla známa předepsaná hodnota parametru drsnosti Ra. Jediný předpoklad byl, že dutina nové formy má mít cíleně hrubší povrch, než dutina formy staré. Z rozměrových a hmotnostních důvodů nebylo možné dutiny formy umístit do pracovního prostoru zorného pole mikroskopu, ale bylo zapotřebí navrhnout jiný způsob kontroly jakosti povrchu, tj. pomocí replik, nalezení vhodné otiskovací směsi a metodologického postupu k následnému vyhodnocení.

Podle mikroskopických snímků byla zvolena nejvhodnější otiskovací směs, pro tvorbu replik. Vyhodnocení replik probíhalo nejdříve pomocí mikroskopických snímků, dále podle 3D snímků povrchu pomocí CLA snímání na přístroji Taylor Hobson Talysurf CLI 500. Výsledky snímání budou graficky zpracovány pomocí programu TalyMap a vhodnou matematickou metodou vyhodnoceny v program Minitab 14.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 METODIKA HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU

1.1 Měřicí technika

Výrobce měřicí techniky Taylor Hobson Ltd. se zabývá nejen vývojem přístrojů a systémů na měření textury a tvaru povrchu, ale i přípravou a normalizací metodik měření, zpracování a vyhodnocení dat.

Výsledky měření získané dotykovým a bezdotykovým způsobem musíme velmi obezřetně srovnávat, protože na stejném povrchu se výsledky odraženého světla a snímacího hrotu mohou výrazně lišit, proto není vždy možná korelace mezi výsledky z dotykového a bezdotykového měření. Přesto je bezdotykové měření oblíbenější díky svým přednostem: vysoké rychlosti měření, možnosti měření měkkých a pružných materiálů, a menší náchylnosti optických měřidel k opotřebení nebo poškození.

V současné době Taylor Hobson Ltd. nabízí plynule inovovanou komplexní programovou podporu pro hodnocení textury povrchu Talymap, kterou lze využít pro jim nabízené kontaktní i bezkontaktní měřicí systémy.

Program Taylor Hobson Talymap zpracovává prostorovou charakteristiku povrchu z dat získaných kontaktním i bezkontaktním měřením. Umožňuje zobrazit sledovaný povrch různými způsoby, včetně axonometrické projekce (čárové nebo síťové) s volitelným úhlem pohledu a barevným rozlišením výšek, s nastavitelným zvětšením celku nebo vybrané části povrchu. Velmi důležitou funkcí je možnost inverze a simulace opotřebení povrchu.

[1]

1.2 Kontaktní měření

1.2.1 CLI - indukční dotykový způsob Form Talysurf

Talysurf CLI vyniká mimořádnou rychlostí a přesností měření v režimu 2D i 3D.

Hlavní výhodou systému Talysurf CLI je možnost měřit kontaktním i bezkontaktním způsobem a automatickým posuvem v osách (X, Y, Z), s rychlostí až do 30 mm/s.

Výrobce nabízí 3 velikostní provedení přístroje Talysurf CLI:

- 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.

[1]

1.3 Bezkontaktní měření**1.3.1 Mikroskopy****1.3.2 CLI bezdotykovým způsobem reprezentovaným laserovou triangulační sondou**

Taylor Hobson neustále zlepšuje na svých výrobcích bezdotykové systémy měření struktury povrchu s ohledem na požadované praktické aplikace. Právě na Talysurf CLI 2000 jsou zdůrazňovány možnosti rozšíření kontrolních operací do zcela nových součástkových a materiálových oblastí:

- plošné obvody
- brousící kotouče
- plastové součásti automobilů

[1]

1.3.3 CLA konfokální snímač (Chromatic Length Aberration - CLA)

Maximální rychlost měření je 30 mm/s. Datová rozteč je závislá na rychlosti snímání a frekvenci.

Základní technická data přístroje Talysurf CLI 2000:

Měřicí systém	Typ	Rozsah	Rozlišení	
			Vertikální	Příčné
Laserový	Triangulační laser	10 mm	1,0 μm	30 μm
		30 mm	3,0 μm	70 μm
Konfokální (CLA)	Chromatic Length Aberration (5 000 Hz)	3 mm	100 mm	5 μm
		1 mm	30 mm	2 μm
		HE 300 μm	10 mm	1 μm
Indukční	Form Talysurf DIA hrot $r = 2 \mu\text{m}$	2,5 mm	40 mm	2 μm
		500 μm	10 mm	2 μm
		100 μm	2 mm	2 μm

Tabulka 1 Talysurf 2000 [1]

- rozteč datových údajů v osách (X, Y, Z) = 0,5 μm
- rychlosti měření = 30; 15; 10; 5; 1; 0,5 mm/s
- rychlost polohování (X - Y) = max. 30 mm/s

Možná uspořádání přístroje Talysurf CLI 2000:

- s max. 4 měřicími hlavami (1 indukční, 1 nebo 2 CLA konfokální, 1 laserová)
- s max. 3 měřicími hlavami a 1 kamerou (1 indukční, 1 nebo 2 CLA konfokální, 1 kamera)



Obrázek 1 Talysurf CLI 500

1.3.4 AFM - Mikroskopie atomárních sil (Atomic Force Microscopy)

Mikroskopická technika pro trojrozměrné zobrazení povrchu, ale také k tvorbě struktur či zpracování povrchů v řádech nanometrů. Princip AFM je založen na velmi ostrém hrotu, který je upevněný na ohebném nosníku.

AFM mikroskopii můžeme rozdělit podle typu režimu na:

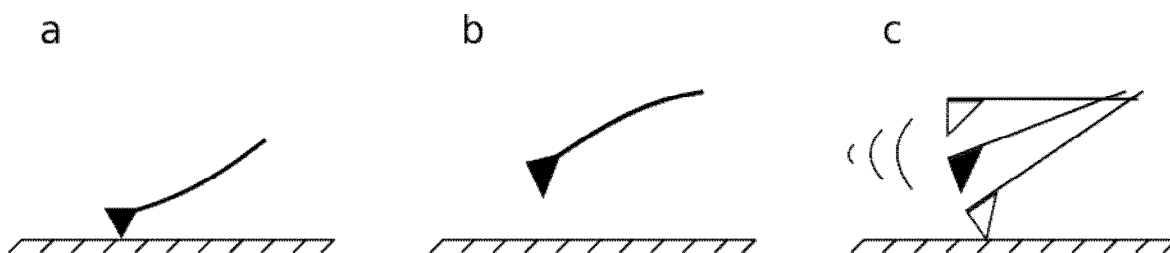
- a) kontaktní režim
- b) bezkontaktní režim
- c) pokleповý režim
- d) dynamický režim (nekontaktní)

a) Kontaktní režim:

Hrot skenuje povrch v pravidelném rastru tak, že výška druhého konce nosníku je konstantní. Na nerovném povrchu má nosník v různých místech vzorku různou velikost ohnutí. Sledováním tohoto ohnutí můžeme sestavit zvětšený obraz vzorku.

b) Bezkontaktní režim:

Hrot se pohybuje ve vzdálenosti nad vzorkem, kde působí přitažlivé síly, sledují se změny amplitudy oscilací při interakci hrot - povrch (vhodné pro studium měkkých materiálů).

c) Hybrid mezi kontaktním a nekontaktním režimem

Obrázek 2 Režimy AFM (a - kontaktní; b - bezkontaktní; c - pokleповý) [2]

d) Dynamický režim (nekontaktní):

Působením harmonické síly osciluje raménko, hrot je při maximální výchylce oscilačního cyklu raménka vzdálen od vzorku (cca 5 Ångström, tj. deset miliontin milimetru)

Výhody AFM:

- větší rozlišení jako elektronová mikroskopie
- poskytuje trojrozměrný obraz
- nevyžaduje speciální přípravu vzorku (pokovení; vysoké vakuum)
- může pracovat v kapalném prostředí (vhodné pro studium biologických vzorků)

Nevýhody AFM:

- zobrazuje pouze objem, nikoliv objemovou strukturu
- omezený rozsah velikosti obrázku
- malá rychlost snímání

[2]



Obrázek 3 NTEGRA Prima [7]

Využití:

- biologie a biotechnologie:
 - proteiny, DNA, viry, bakterie, tkáně
- nauka o materiálu:
 - povrchová morfologie
 - místní piezoelektrické vlastnosti
 - místní adhezní vlastnosti
 - místní tribologické vlastnosti

[6]

- magnetické materiály:
 - o vizualizace magnetické doménové struktury
 - o sledování procesů magnetizace v závislosti na teplotách
- nanomateriály:
 - o nanoprášky
 - o nanokompozity
 - o nanoporézní materiály

Měřicí módy a techniky:

- Ve vzduchu a v kapalině - AFM
- Pouze ve vzduchu - STM

Typ skenování	Poznámka	Skenování pomocí vzorku	Skenování pomocí sondy *
Velikost vzorku		Až 40 mm v průměru, na 15 mm výšky	Až 100 mm v průměru, až do 15 mm na výšku
Hmotnost vzorku		Až 100 g	Až 300 g
XY pozice vzorku		5x5 mm	
Rozlišení		čitelný rozlišení - 5 μ m citlivost - 2 μ m	
Rozsah skenování		100 x 100 x 10 μ m 3 x 3 x 2,6 μ m Méně než 1 x 1 x 1 μ m Až 200 x 200 x 20 μ m** (DualScan TM režim)	100x100x10 μ m 50x50x5 μ m
Nelinearita, XY (s uzavřeným senzory)		$\leq 0,1\%$	$\leq 0,15\%$
Hlučnost, Z (RMS v šířce pásma 1000 Hz)	Se snímači Bez senzorů	$\leq 0,04$ nm (typicky), 0,06 nm 0,03 nm	$\leq 0,06$ nm (typicky), 0,07 nm 0,05 nm
Hlučnost, XY *** (RMS v šířce pásma 200Hz)	Se snímači Bez senzorů	$\leq 0,2$ nm (typicky), 0,3 nm (XY 100 μ m) 0,02 nm (XY 100 μ m), 0,001 nm (XY 3 μ m)	$\leq 0,1$ nm (typicky), 0,2 nm (XY 50 μ m) 0,01 nm (XY 50 μ m),
Lineární rozměr chyby odhadu (senzory)		$\pm 0,5\%$	$\pm 1,2\%$
Optický systém Sledování	Optické rozlišení Zorné pole Kontinuální zoom	1 μ m (0,4 μ m nepovinné, NA 0,7) **** 4,5 - 0,4 mm Dostupný	3 μ m 2,0 - 0,4 Dostupný
Vibroizolace	Aktivní Pasivní	0,7-1000 Hz nad 1 kHz	

Tabulka 2 Porovnání měřících technik [6]

* Skenovací hlava může být nakonfigurována tak, aby sloužila jako samostatné zařízení pro exempláře neomezené velikosti

** Volitelně lze rozšířit o 200 x 200 x 20 nm.

*** Postavení kapacitních snímačů mají extrémně nízkou hlučnost a prostor až 50 x 50 nm lze být kontrolován s uzavřenou smyčkou.

**** Vysoké rozlišení výstavy systému poskytuje další funkce umožňující generovat a detekovat typ lokalizované clony méně blízkého účinku pole.

[6]

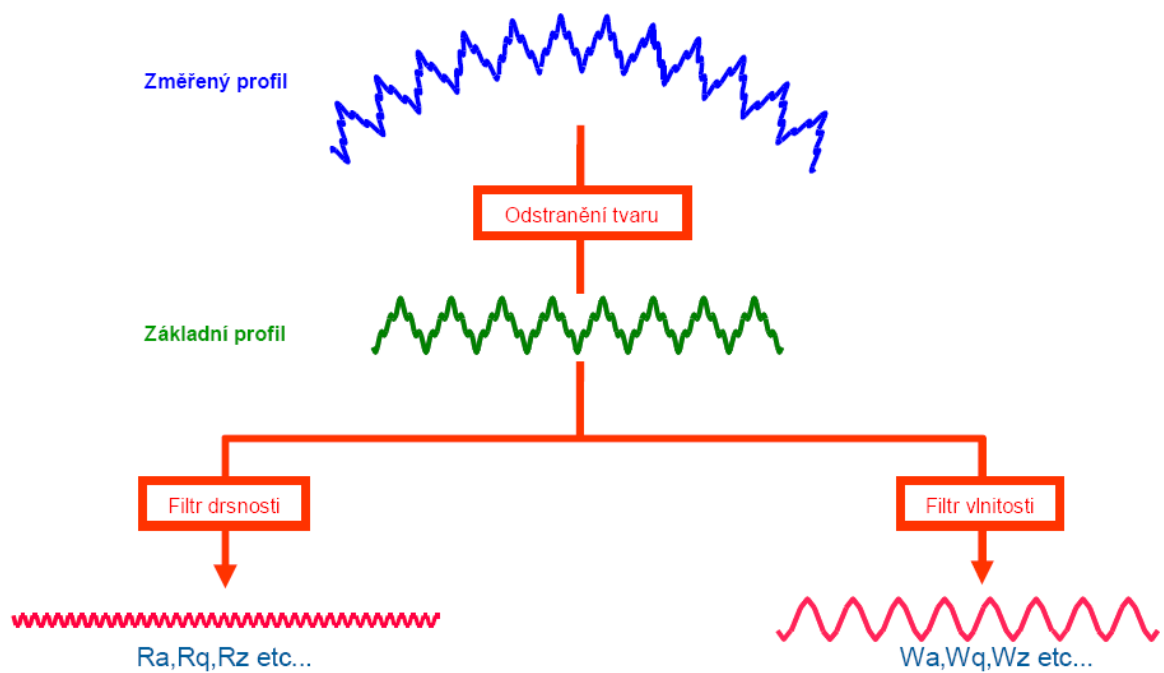
1.4 Základní parametry jakosti povrchu

Postupy měření a hodnocení struktury povrchu jsou dlouhodobě normovány, ale stále se vyvíjí a zpřesňují za účelem zajištění objektivního hodnocení profilu povrchu ve vztahu k jeho funkci.

Analýzy jakosti povrchu zahrnují tři základní typy charakteristiky textury povrchu :

- drsnost (R – parametr)
- vlnitost (W – parametr)
- základní profil (P – parametr)

[9]



Obrázek 4 Základní typy charakteristiky textury povrchu [9]

Standardně jsou parametry profilu povrchu rozděleny do tří skupin podle kvantifikované charakteristiky hodnocení nerovností povrchu:

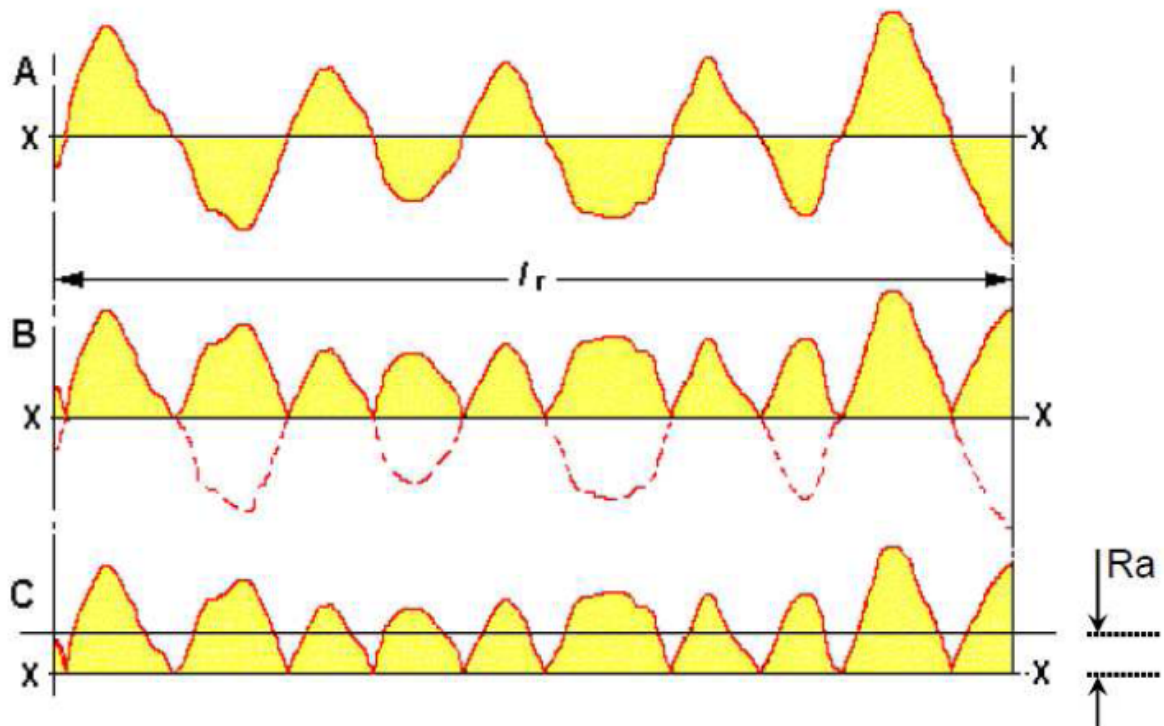
- výškové parametry - definovány v ose Z
 - $R_a, R_q, R_t, R_p, R_v, R_z, R_{z1max}$
- délkové parametry - definovány v ose X
 - počet přesahujících nerovností (R_{hsc})
 - počet výstupků (R_{pc})
 - průměrná šířka prvku profilu (R_{sm})
- hybridní parametry - definovány v osách X a Z
 - sklon

1.4.1 Výškové parametry

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

1.4.1.1 Parametr Ra

Parametr Ra je průměrná aritmetická úchylka profilu od střední čáry v rozsahu základní délky. Parametr je nejčastěji využíván při měření dokončeného povrchu.

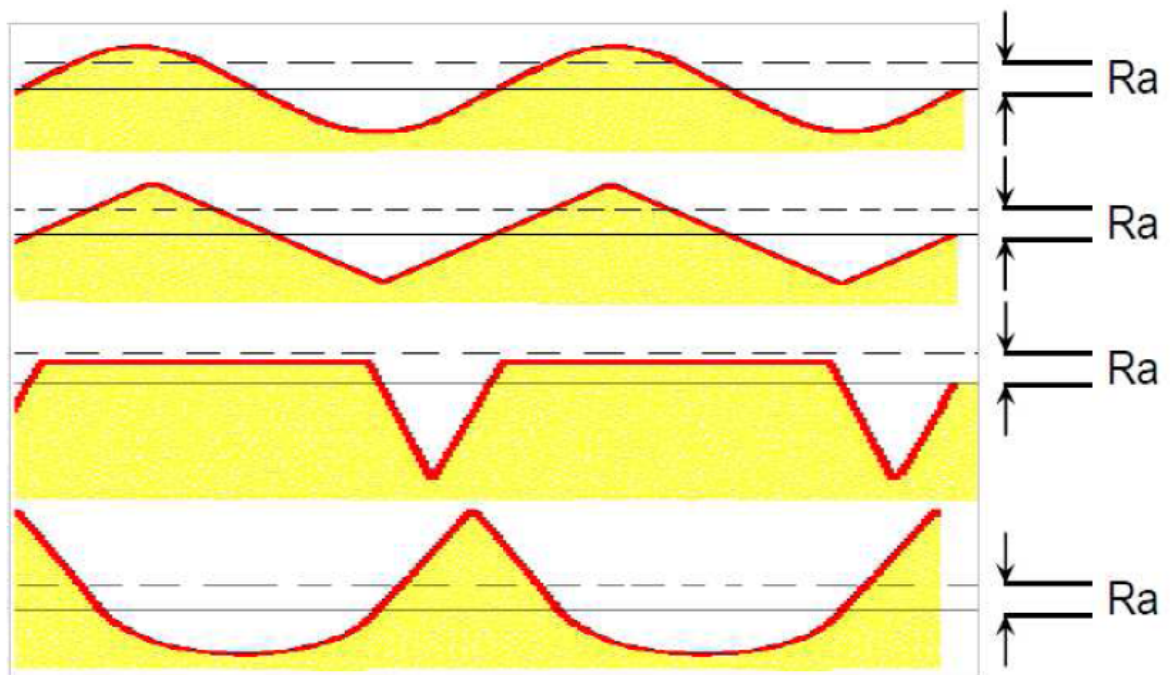


Obrázek 5 Grafický záznam parametru Ra [9]

Graf A	Zaznamenanými daty je proložena střední čára X – X
Graf B	Části profilu pod střední čarou v rozsahu základní délky „ l_r “ jsou překlopeny nad střední čáru.
Graf C	Ra je průměrná výška profilu nad původní střední čarou

Tabulka 3 Legenda ke grafickému záznamu parametru Ra [9]

Samotná hodnota R_a nevypovídá nic o charakteristice kontrolovaného povrchu součásti, protože parametr nerozlišuje mezi výstupky a prohlubněmi a ukáže stejnou hodnotu R_a u povrchů, které mají i zcela rozdílné tvary a rozměry výstupek-prohlubeň a tedy různou funkční charakteristiku.

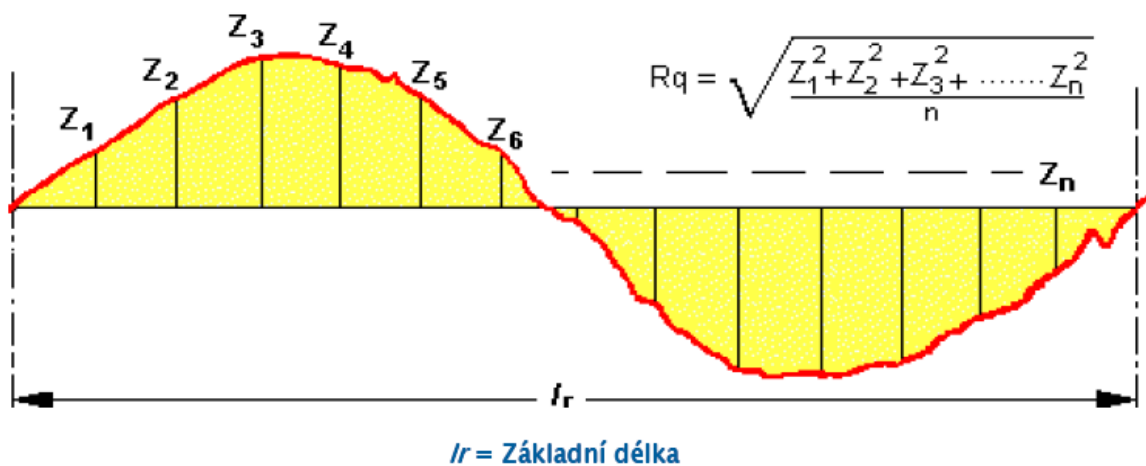


Obrázek 6 Nedostatky parametru R_a : Shodná velikost R_a - rozdílné povrchy [9]

Znázorněné profily mají stejnou hodnotu R_a , ale zcela rozdílné tvary a funkční charakteristiky.

1.4.1.2 Parametr R_q

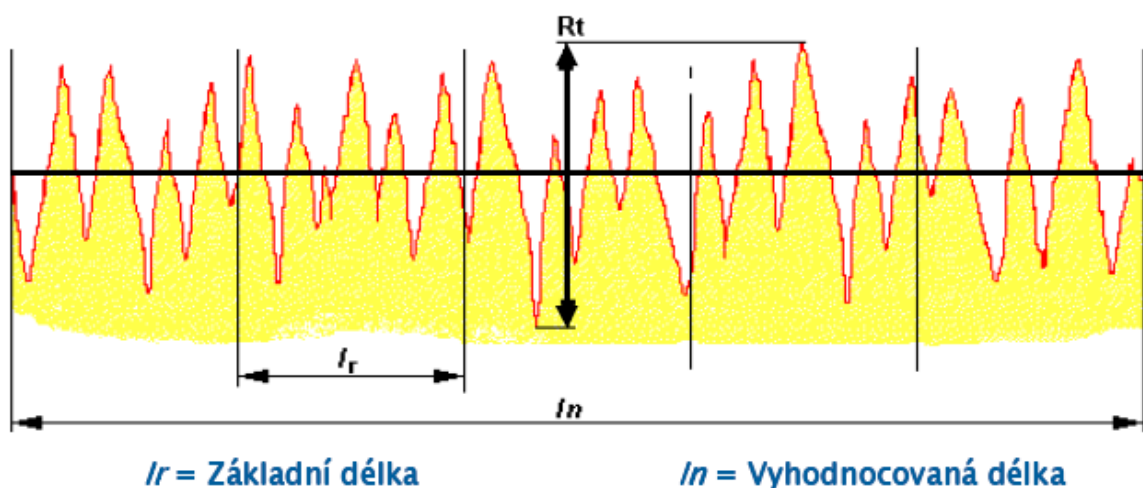
Parametr R_q je charakterizován jako průměrná kvadratická úchylka profilu v rozsahu základní délky (průměrná kvadratická hodnota R_a). Hodnota R_q je citlivější na nežádoucí výstupky a prohlubně kontrolovaného povrchu a proto zpravidla ukazuje vyšší hodnoty než R_a .



Obrázek 7 Parametr Rq [9]

1.4.1.3 Parametr Rt

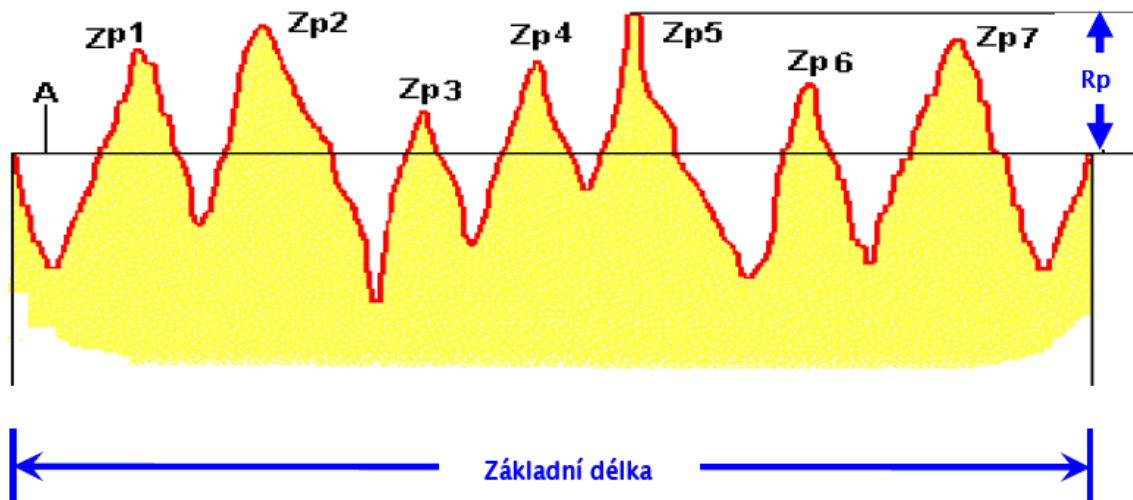
Parametr Rt je charakterizován jako celková výška profilu, nebo-li součet nejvyššího výstupku a nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky (l_n). Parametr Rt je důležitý u vysoce namáhaných součástí, kde velké hodnoty vzdáleností mezi výstupky a prohlubněmi představují oblasti se sklonem k poškození povrchu trhlinami. Tento výškový parametr může mít velmi proměnlivou a nestálou hodnotu. Hodnotu Rt ovlivňují i jednotlivé rýhy a výstupky profilu povrchu.



Obrázek 8 Parametr Rt [9]

1.4.1.4 Parametr R_p

Parametr R_p je charakterizován jako největší výška výstupku nad střední čarou v rozsahu základní délky.

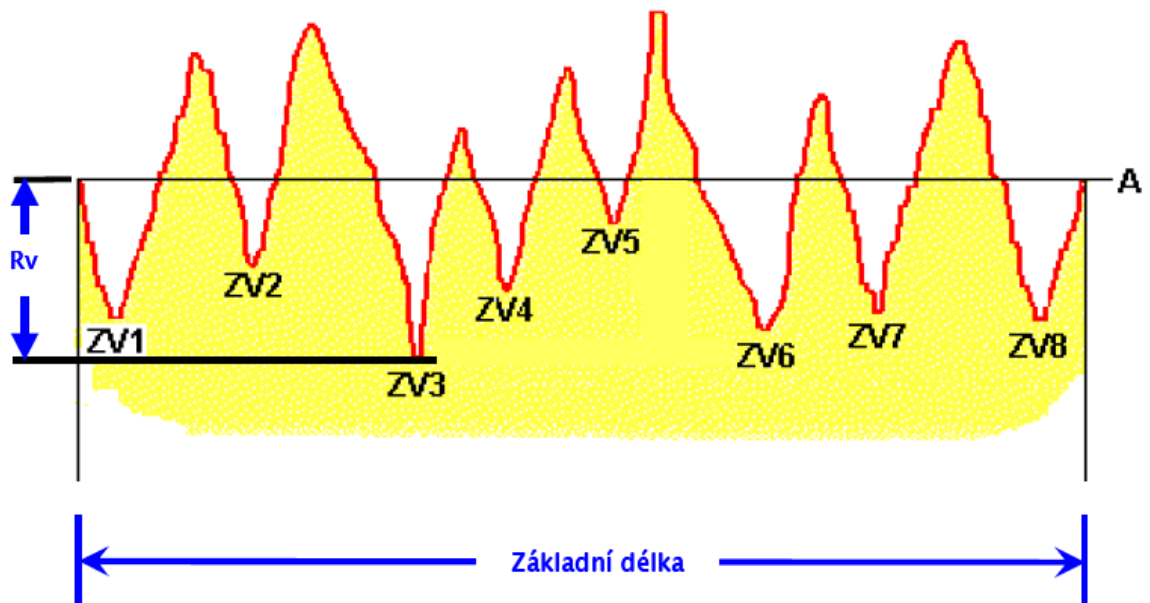


Obrázek 9 Parametr R_p [9]

Výstupky, které tvoří stykové plochy povrchů, jsou důležité pro hodnocení procesů tření a opotřebení. Výstupky povrchu, které se v provozu opotřebovávají, mohou způsobit problémy při měření rozměrů. Rozměr, který původně zahrnoval výstupky se jejich opotřebováním jistě změní. Měření nemusí zahrnout všechny skutečné extrémy povrchu, proto se hodnoty parametru R_p , získané opakovaným měřením mohou lišit.

1.4.1.5 Parametr R_v

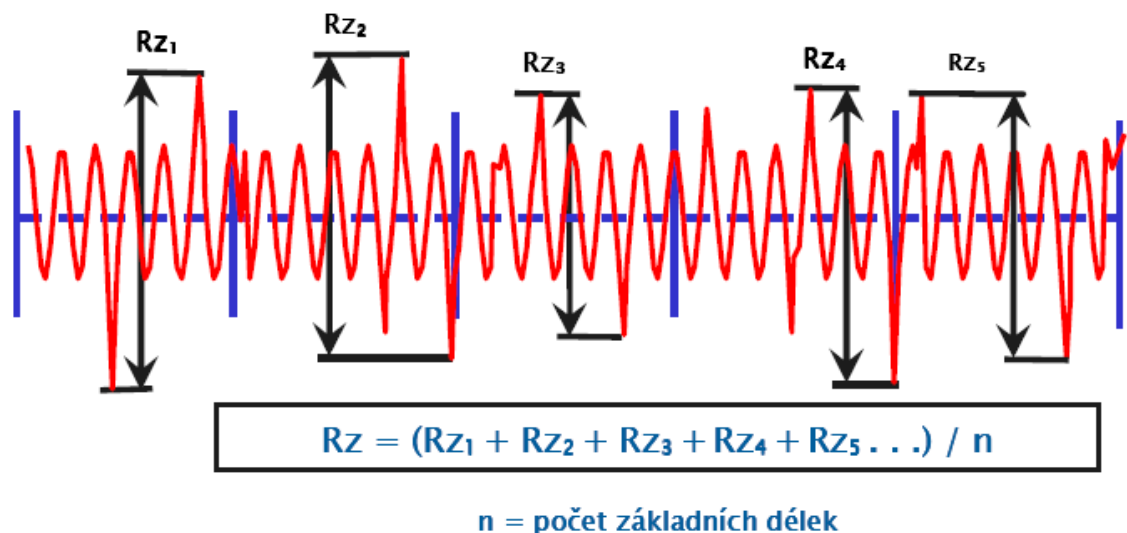
Parametr R_v je charakterizován jako největší hloubka prohlubně pod střední čarou v rozsahu základní délky. Prohlubně jsou v řadě případů žádoucí, protože jsou důležité pro udržení maziva na povrchu. Na druhou stranu jsou prohlubně nejčastěji místem vzniku trhlin a koroze. I zde platí, že měření nemusí postihnout všechny extrémní úchylny povrchu. Z tohoto důvodu se mohou hodnoty parametru R_v získané opakovaným měřením lišit.



Obrázek 10 parametr Rv [9]

1.4.1.6 Parametr Rz

Parametr Rz vyjadřuje průměrnou hodnotu ze všech R_t změřených na jednotlivých základních délkách. Parametr Rz je využitelný obdobně jako R_t . Jeho hodnota je však stálější, protože není tak citlivá na rušivé vlivy na povrchu jako jsou prach, ořepy nebo rýhy.



Obrázek 11 Parametr Rz [9]

1.4.2 Drsnost

Drsnost povrchu je tvořena nepravidelnostmi povrchu s poměrně malými rozestupy, které zahrnují nepravidelnosti způsobené použitou metodou obrábění nebo jiných vlivů.

1.4.3 Vlnitost

Je nedílnou součástí struktury povrchu. Hodně se diskutuje o tom, zda má být vlnění součástí hodnocení povrchu, nebo ne. Z pohledu řízení výroby je vlnitost důležitá, protože odhaluje příznaky chování stroje. Na druhé straně je funkční použití, kde hraje hlavní roli hodnocení drsnosti povrchu. Vlnitost je často označována za nic víc než za pouhou hranici mezi drsností povrchu a chybou formy.

Drsnost a vlnitost je snadnější posuzovat samostatně, ale v případě potřeby není vyloučena jejich integrace.

[6]

1.5 Odpovídající a vhodné normativní systémy, které slouží pro hodnocení jakosti povrchu

Normy zabývající se hodnocením kvality povrchu:

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

Tato mezinárodní norma stanoví termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu (drsnosti, vlnitosti a základního profilu) profilovou metodou.

[10]

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

Tato mezinárodní norma stanoví pravidla, pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi stanovenými pro parametry struktury povrchu.

[11]

1.6 Test Anderson Darling

Cílem testu normality Anderson-Darling je odhalit všechny odchylky od normálu. Test odmítá hypotézu normality, kdy P - hodnota je menší než nebo rovná 0,05.

[12]

1.7 Kruskal-Wallis

Kruskal-Wallis porovnává mezi mediány dvou nebo více vzorků, které mají určit, zda vzorky pocházejí z různých populací.

[13]

2 ZPŮSOBY REPLIKACÍ POVRCHU - METODOLOGIE, VÝHODY A NEVÝHODY

2.1 3D tiskárny

Firma OBJET nabízí 3 modelové řady tiskáren:

1. Objet Connex
2. Objet Eden
3. Objet Desktop

Objet Connex:

Na základě patentované technologie tryskání materiálu, mohou 3D tiskárny Objet Connex vytvořit modely vyrobené až ze 14 různých materiálů v jedné tiskové úloze.

Parametr	Typ		
	Connex 500	Connex 350	Connex 260
Tloušťka nanášené vrstvy	16/30 mikronů	16/30 mikronů	16/30 mikronů
Rozlišení	600 DPI	600 DPI	600 DPI
Tisk tenkých stěn	Až do 0,6 mm	Až do 0,6 mm	Až do 0,6 mm
Velikost zásobníku [mm]	500 x 400 x 200	350 x 350 x 200	260 x 260 x 200
Odolnost	72 hodin non-stop tisku	72 hodin non-stop tisku	72 hodin non-stop tisku

Tabulka 4 Porovnání modelů Objet Connex

Objet Eden:

3D tiskárna určená pro profesionální produktový vývoj. 3D tisk je prováděn s vysokou přesností ultratenkých 16ti mikronových vrstev. Všechny 3D tiskárny Eden tisknou modely s mimořádně jemnými detaily a hladkými povrchy.

Objet Eden 500V:

Ideální řešení pro velkoplošné modelové požadavky. Tisk do rozměru 500 x 400 x 200 mm. Nabízí nejvyšší rozlišení na trhu.

Objet Eden 260V:

Malorozměrová a ekonomická 3D tiskárna.

Objet Eden 250:

Tolerance 0,1 mm, ultratenké stěny až do 0,6 mm.

Maximální velikost produktu 260 x 260 x 200 mm.

Tento typ 3D tiskárny bude použit v praktické části diplomové práce.



Obrázek 12 Objet Eden 250

Objet Desktop:

Levná kancelářská 3D tiskárna s tloušťkou vrstvy 28 mikronů.

Objet 24 Desktop:

První kancelářský systém pro realistický 3D tisk.

Objet 30 / Objet 30 Pro:

3D stolní tiskárna s možností výběru z 5 nebo 7 materiálů s různými úrovněmi fyzikálních a mechanických vlastností (pevnost a pružnost).

2.2 3D scannery

Firma ATOS nabízí 3 různá řešení pro 3D skenování:

1. ATOS Compact Scan
2. ATOS Triple Scan
3. ATOS ScanBox

Atos Compact Scan:

Lehká, kompaktní konstrukce otevírá nové oblasti použití a zaručuje maximální přizpůsobivost pro třídimenzionální měření komponentů, jako jsou lité a vstříkované díly, formy a modely.

Technické údaje:

Systémová konfigurace	ATOS Compact Scan 2M	ATOS Compact Scan 5M
Fotoaparát [Mpx]	2 x 2	2 x 5
Oblast měření	35 x 30 až 1 000 x 750 mm ²	40 x 30 až 1 200 x 900 mm ²
Bodová rozteč	0,021 až 0,615 mm	0,017 až 0,481 mm
Pracovní vzdálenost	450 - 1200 mm	450 - 1200 mm
Rozměry senzoru	340 x 130 x 230 mm	
Hmotnost	cca 4Kg	
Senzor	Integrovaný	
Délka kabelu	až 30 m	
Senzor polohy	lehký stativ / senzor stojan	
Polohování	manuální / automatická rotace stolu	
PC zpracování obrazu	přenosné nebo stolní	
Operační systém	Windows 7	
Software	sběr dat, zpracování a kompletní kontrola	
Okolní osvětlení	nízká citlivost na podmínky osvětlení prostředí	
Environmentální vibrace	nedotčena díky dynamickému systému Gom	
Provozní teplota	5 až 40 ° C, bez kondenzace	
Napájení	90 - 230 V AV	

Tabulka 5 Technické údaje ATOS Compact Scan [4]

ATOS Triple Scan:

ATOS Triple Scan poskytuje vysokou přesnost a lepší měření lesklých ploch. Je vybaven modrou světelnou technologií, které umožňuje měření nezávisle na světelných podmínkách prostředí. ATOS používá k měření rozlišení 12 Mpx s optikou speciálně vyvinutou pro přesné měření.

Přesnost a rozlišení měření a měřicí plochy jsou zcela přizpůsobitelné aplikačním požadavkům. To umožňuje volbu nejvyššího rozlišení pro vysoce detailní měření malých částí s měřením objemu až 38 mm, nebo pro extrémně rychlé měření velkých objektů.

ATOS kombinuje vysokou kvalitu dat v krátkém čase měření s flexibilitou a stabilitou pro průmyslové prostředí.

Využití:

- kontrola kvality
- reverzní inženýrství
- rapid prototyping
- rapid frézování
- digitální Mock – Up

Technické údaje ATOS Triple Scan:

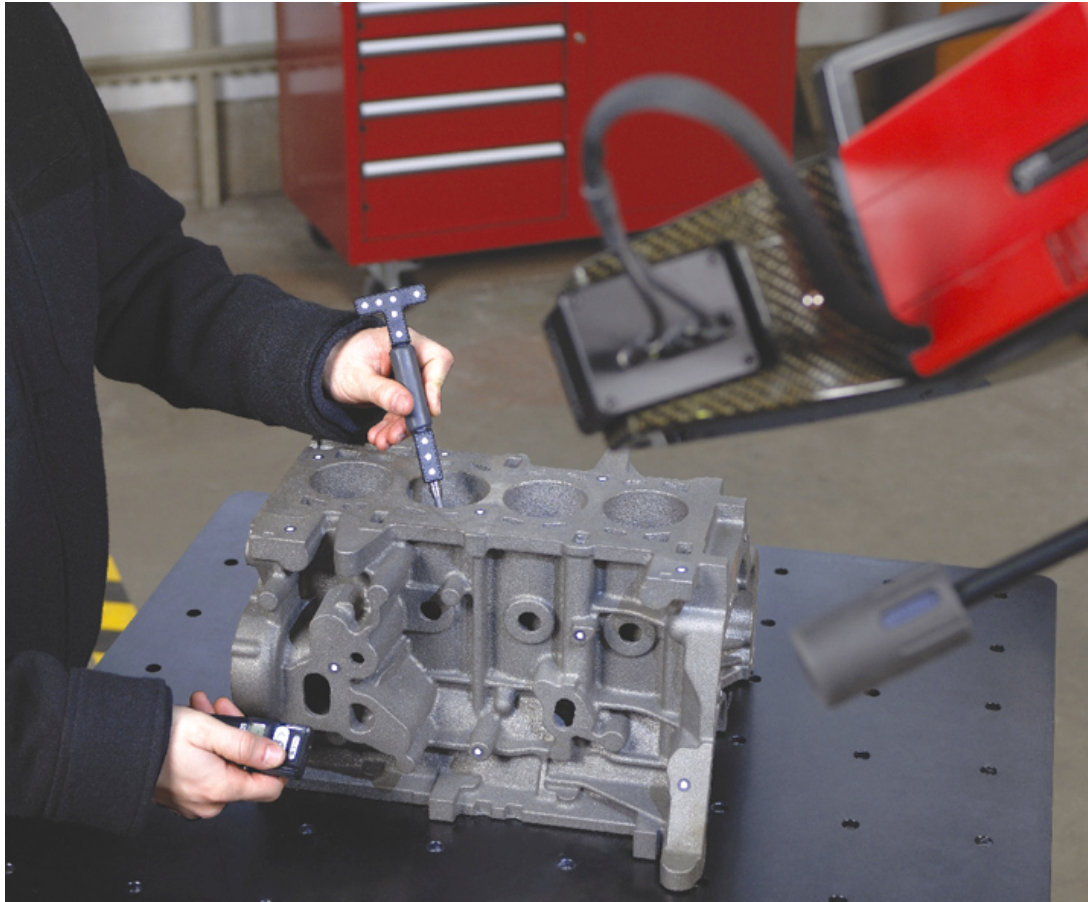
Systémová konfigurace	ATOS II Triple Scan	ATOS III Triple Scan	ATOS Triple Scan 12M
Fotoaparát [Mpx]	2 x 5	2 x 8	2 x 12
Oblast měření	38 x 29 až 2000 x 1500 mm ²	38 x 29 až 2000 x 1500 mm ²	170 x 130 až 850 x 640 mm ²
Bodová rozteč	0,02 až 0,79 mm	0,01 až 0,61 mm	0,04 až 0,20 mm
Pracovní vzdálenost	490 - 2000 mm	490 - 2000 mm	490 - 830 mm
Senzor	Integrovaný		
Délka kabelu	Až 30 m		
Senzor polohy	Automatický		
Část polohování	manuální nebo automatická rotace stolu		
Zpracování obrazu	přenosné nebo High-End PC		
Operační systém	Windows 7		
Software	sběr dat, zpracování a kompletní kontrola		
Určení	měření lesklých a tmavých ploch složitých součástí		
Okolní osvětlení	nízká citlivost na podmínky osvětlení prostředí		
Environmentální vibrace	nedotčena díky dynamickému systému Gom		
Provozní teplota	5 - 40 ° C, bez kondenzace		
Napájení	90 - 230 V AV		

Tabulka 6 Technické údaje ATOS Triple Scan [4]

Sondy GOM:

Pro měření v těžko přístupných místech a kalibraci můžeme využít kombinaci 3D měření a dotykové sondy GOM. Obě tyto metody jsou prováděny jedním systémem a hodnoceny jedním softwarem. Dotyková sonda GOM je kalibrovaný soubor bodových značek, které ATOS opticky sleduje.

[4]

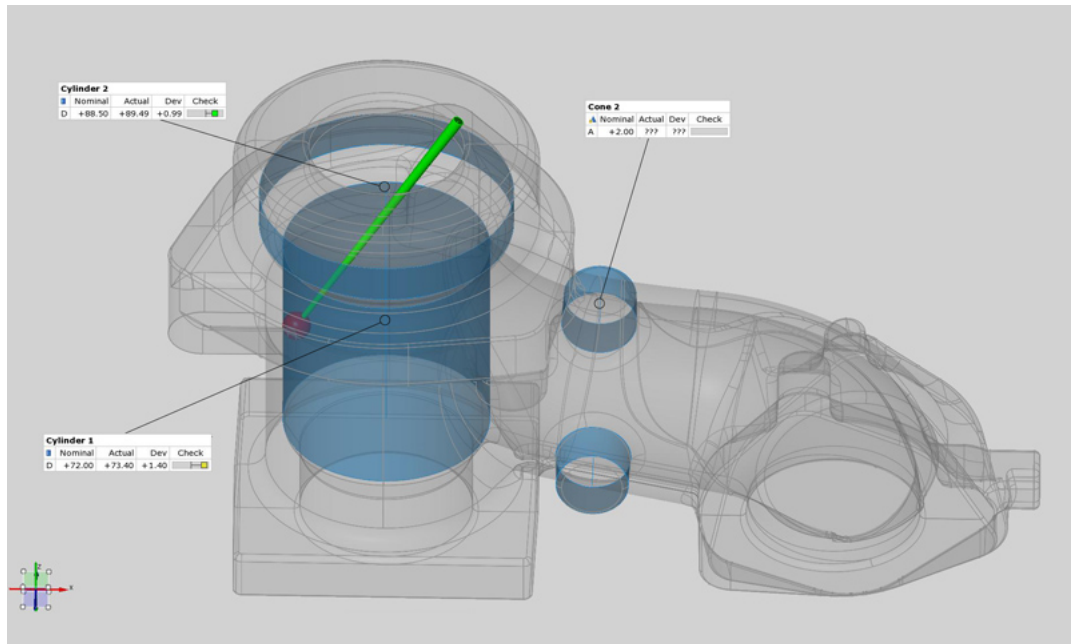


Obrázek 13 ATOS a sonda GOM [4]

Objekt nebo čidlo může být snadno a volně přesunuto nebo umístěno. Senzor a objekt nemusí mít k sobě navzájem stanovenou polohu. To umožňuje flexibilní měření a plánování.

GOM nabízí pět standardních velikostí dotykové sondy. Rozsah jejich možností využití je od měření zarovnění díry malé vstřikované součásti pomocí nejmenší sondy PM1.5, až po měření chladicího kanálu velkého odlitku největší sondou PM18.

[4]



Obrázek 14 Viditelnost sondy přímo v systému CAD [4]

Technické údaje sondy GOM:

Systémová konfigurace	GOM dotykové sondy PM1.5	GOM dotykové sondy PM3	GOM dotykové sondy PM5	GOM dotykové sondy PM8	GOM dotykové sondy PM18
Délka (mm)	90	165	150	200	250
Hmotnost (g)	10	100	80	120	240
Velikost bodu (mm)	1,5	3	5	8	18
Závit sondy	M2	M5	M5	M5	M5
Průměr styčné kuličky [mm]	1,5	3	5	10	10
Délka sondy	20	30	30	50	50
Rozšíření sondy [mm]	-	až 100	až 100	až 100	až 100

Tabulka 7 Technické údaje sondy GOM [4]

ATOS ScanBox:

Průmyslový 3D scanner.

Technické údaje:

Systémová konfigurace	5120	5108
Prostorové požadavky [š, d, v]	3,3 x 3,3 x 2,7 m	2,0 x 2,55 x 2,7 m
Napájení	200 až 400 V (3 - fáze, 16 A)	200 až 400 V (3 - fáze, 16 A)
Max. velikost části	až 2 m	až 0,8 m
Max. hmotnost části	až 500 kg	až 300 kg
Počet modulů	2	1
Automatické osy	7	7
Robot regulátor	Integrovaný	Integrovaný
Mistr regulátor	Integrovaný	Integrovaný
Hmotnost modulu	770 kg robot + 660 kg rotace	880 kg (robot + rotace)
Napájení	90 - 230 V AV	

Obrázek 15 Technické údaje ATOS ScanBox [4]

ATOS ScanBox 5120 je samostatná mobilní buňka pro plně automatizované optické měření, která vyžaduje pouze jedno připojení do elektrické zásuvky a zabírá prostor o pouhých 11 m². U verze 5108 pro měření menších dílů je potřebná pracovní plocha pouze 5 m².

[5]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 NA VYBRANÝCH POVRŠÍCH PROVEĎTE JEJICH REPLIKACI VYBRANOU METODOU A ZHODNOŤTE KVALITU REPLIK POMOCÍ VHODNÝCH MATEMATICKÝCH METOD

Úkolem praktické části diplomové práce bylo zjištění způsobu kontroly kvality dutiny formy. Z možných variant použití pryskyřice, profesionální otiskovací soupravy Taylor Hobson, nebo dentakrylu jsem zvolil tvorbu replik dutin forem pomocí dentakrylu. Viz. Metodologický postup. Zkoumaným povrchem byly dutiny dvou forem pro vstřikování vysoce plněných polymerů kovovým práškem o velikosti zrna 16 μm . Starší forma byla používána jeden rok na vstřikovacím stroji ARBURG ALLROUNDER 370 S a druhá byla nepoužitá.

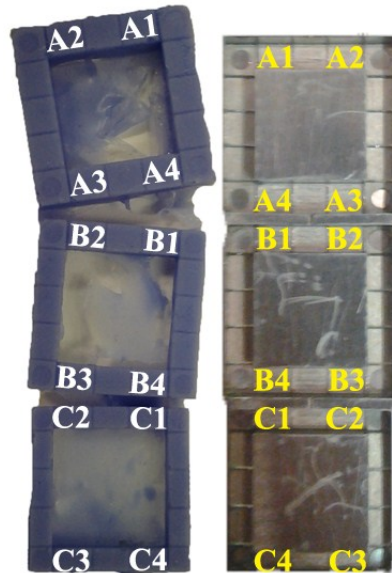


Obrázek 16 Dutina staré a nové formy

Dutiny forem se liší pouze rozmístěním vyhazovačů a podléhají patentu (Community Design 001704974-0001)

3.1 Mikroskopické a 3D vyhodnocení replik - pravá strana

3.1.1 Schéma vyhodnocení



Obrázek 17 Pozice na replice vlevo odpovídající dutině formy vpravo

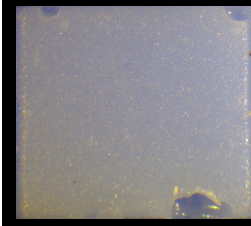
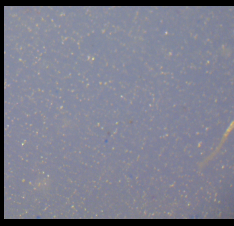
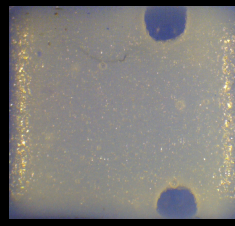
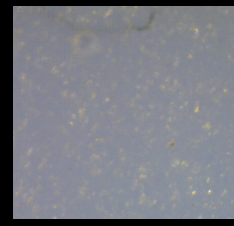
pravá strana repliky dutiny staré formy : pravá strana repliky dutiny nové formy

nebo-li

pozice A1, A4, B1, B4, C1, C4 : pozice A1, A4, B1, B4, C1, C4

3.1.2 Pozice A1

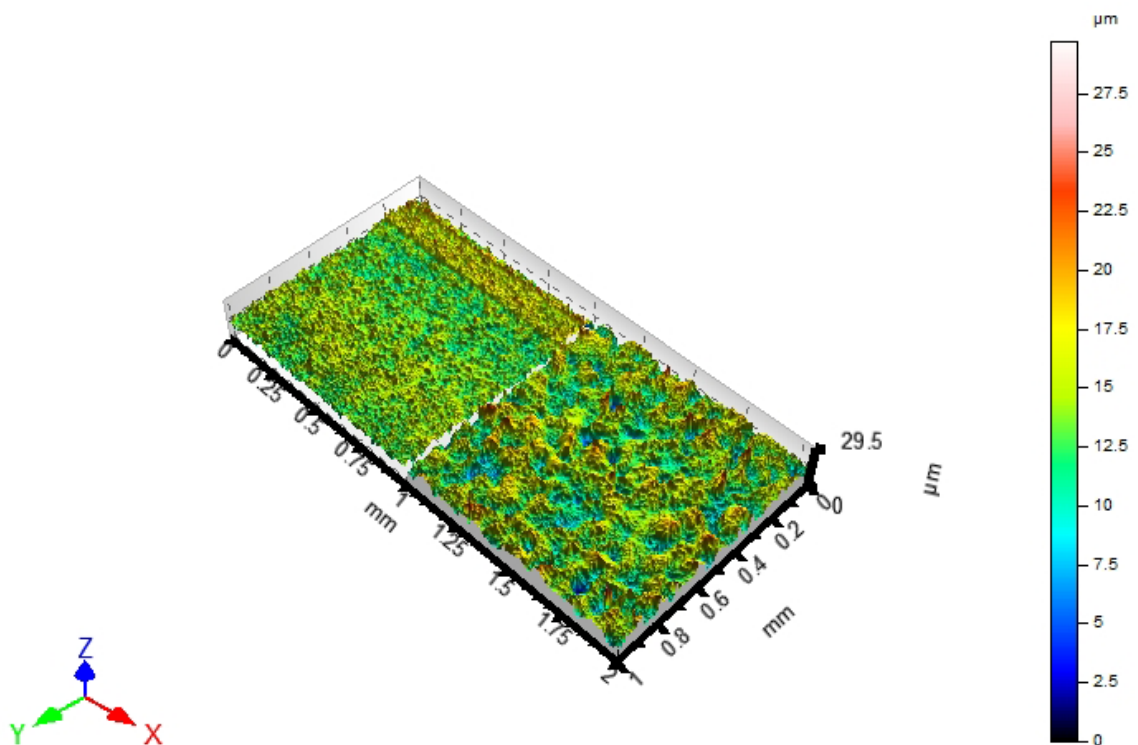
3.1.2.1 Porovnání mikroskopických obrazů

Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
A1				

Tabulka 8 Porovnání mikroskopických obrazů pozice A1

Z mikroskopických snímků pozice A1 vidíme u staré i nové formy u vrchní i spodní hrany krátery, které vznikly vytržením kusu dentakrylu, při vyjímání repliky z dutiny formy. Tento jev se bude opakovat i u dalších pozic, kde už ho nebudu dále zmiňovat. Reálná velikost pozice na snímku při 10x násobném zvětšení je 3x větší než plocha oblasti, která je pro následující snímání potřebná. Díky tomu se tento typ vady repliky povedl u všech pozic odstranit správným zaměřením nulové a koncové pozice pro snímání do lokace touto vadou nepoškozené. Většinou do samotného středu pozice, který byl v tomto ohledu bezproblémový. Větším problémem byly vměstky typu miniaturního zbytku štětinky ze štětce, kterým se čistila dutina formy. Tento typ vady je zřetelně vidět na pozici A1 repliky nové formy a mohl by zkreslit výsledky měření. Z tohoto důvodu byl následně redukován dle ČSN EN ISO 4288.

3.1.2.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap


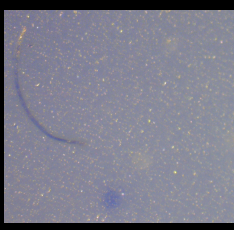
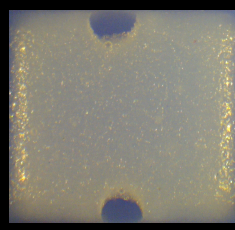
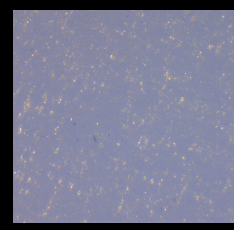


Obrázek 18 3D porovnání pozice A1 stará : nová forma

3D snímky povrchů nám odhalují různou drsnost replik dutin. Replika dutiny staré formy je znázorněna vždy vlevo a nové vpravo. Na 3D povrchu repliky nové formy není vidět, žádný výstupek způsobený vměstkem typu štětinky, která byla vidět na mikroskopickém snímku. To znamená, že se při 3D snímání podařilo úspěšně vyhnout vměstkům.

3.1.3 Pozice A4

3.1.3.1 Porovnání mikroskopických obrazů

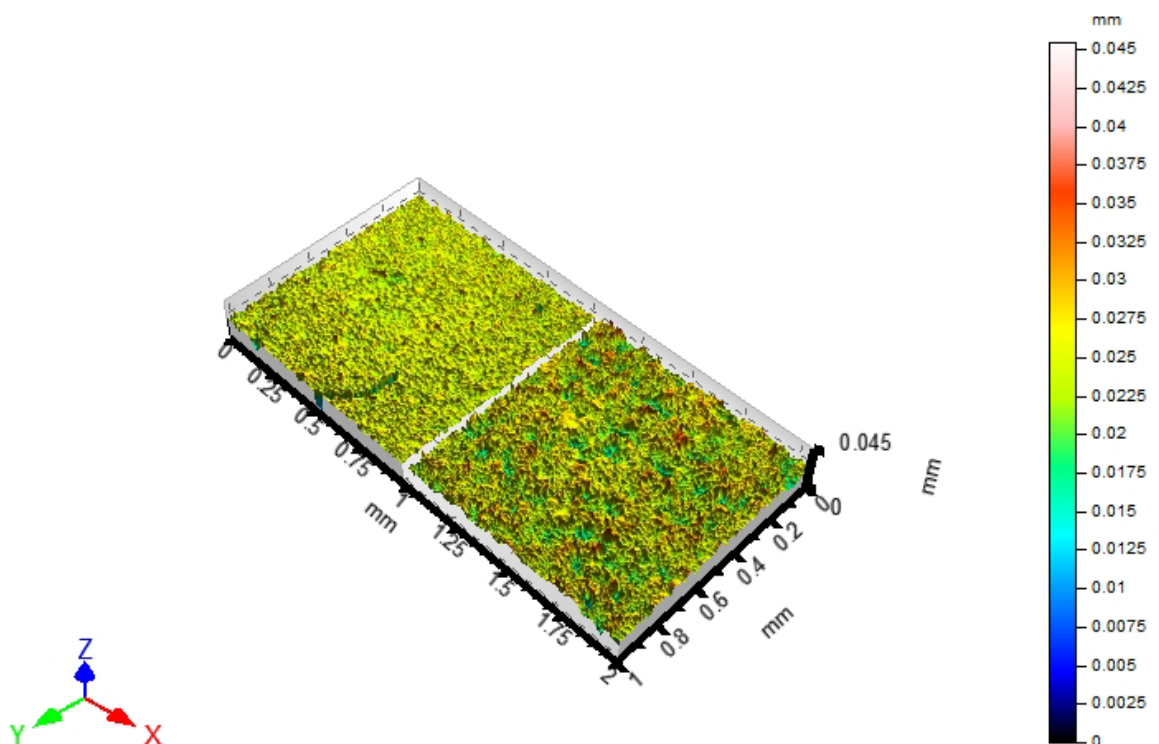
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
A4				

Tabulka 9 Porovnání mikroskopických obrazů pozice A4

Pozice	Stará forma	Nová forma
A4	Vměstek - štětinka	Nepoškozená

Tabulka Poznámky A4

3.1.3.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap

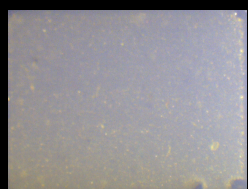

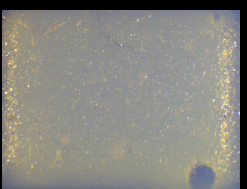
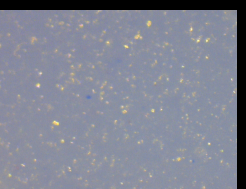


Obrázek 19 3D porovnání pozice A4 stará : nová forma

Při pohledu na 3D snímek pozice A4 staré formy je na spodní hraně viditelná rýha. Rýha vznikla při vyjímání repliky z dutiny formy a na mikroskopickém snímku nebyla viditelná. Všechny 3D snímky jsou otočeny v ose Z, za účelem, aby znázorňovaly reálný povrch repliky dutiny formy, který je negativem dutiny formy. Na mikroskopických snímcích byl vidět pouze vměstek ve formě štětinky, ale jelikož byl přímo uprostřed oblasti, nešlo se mu při určování lokace 3D snímání vyhnout. Přesto tato štětinka neovlivnila celkový povrch, protože směs dentakrylu stačila v tomto případě štětinku podplavit při zatlačování do dutiny formy a před ztuhnutím už se štětinka nevyskytovala na povrchu, nýbrž uvnitř směsi dentakrylu, přes který je sice vidět, protože směs dentakrylu je částečně průhledná, ale žádným způsobem nenarušuje jakost povrchu.

3.1.4 Pozice B1

3.1.4.1 Porovnání mikroskopických obrazů

Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
B1				

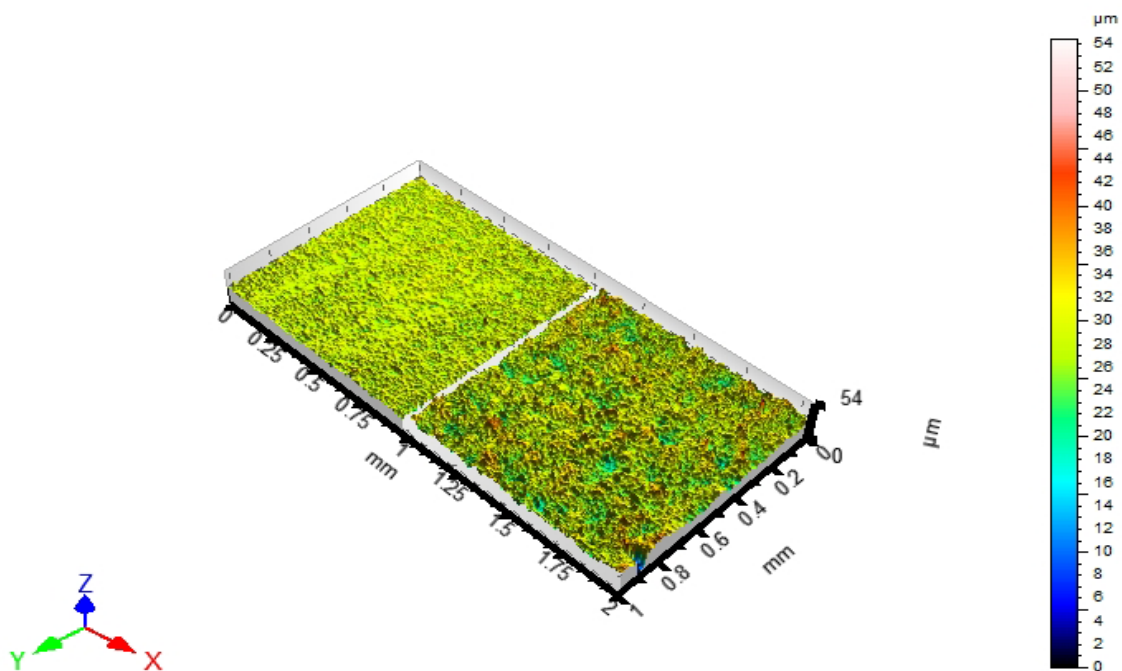
Tabulka 10 Porovnání mikroskopických obrazů pozice B1

Pozice	Stará forma	Nová forma
B1	Nepoškozená	Vlas na horní hraně

Tabulka 11 Poznámky B1

Celá oblast B u obou replik byla nejméně poškozena vlivy působícími při vyjímání repliky z dutiny formy. Je zde nejnížší výskyt trhlin a zvlnění povrchu z celé repliky. Na nové formě je sice u horní hrany vlas, ten ale nezasahuje do oblasti pro následné 3D snímání.

3.1.4.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap

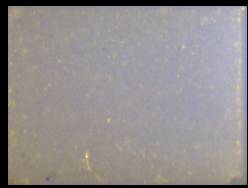

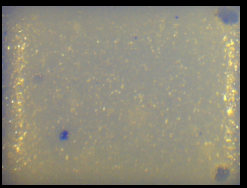
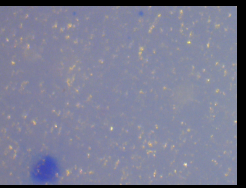


Obrázek 20 3D porovnání pozice B1 stará : nová forma

Oba povrchy na snímku jsou nepoškozené, pouze pravý spodní roh povrchu z nové formy nám vykazuje kráter modré barvy. Zřetelně vidíme rozdíl v jakosti povrchu staré a nové dutiny formy.

3.1.5 Pozice B4

3.1.5.1 Porovnání mikroskopických obrazů

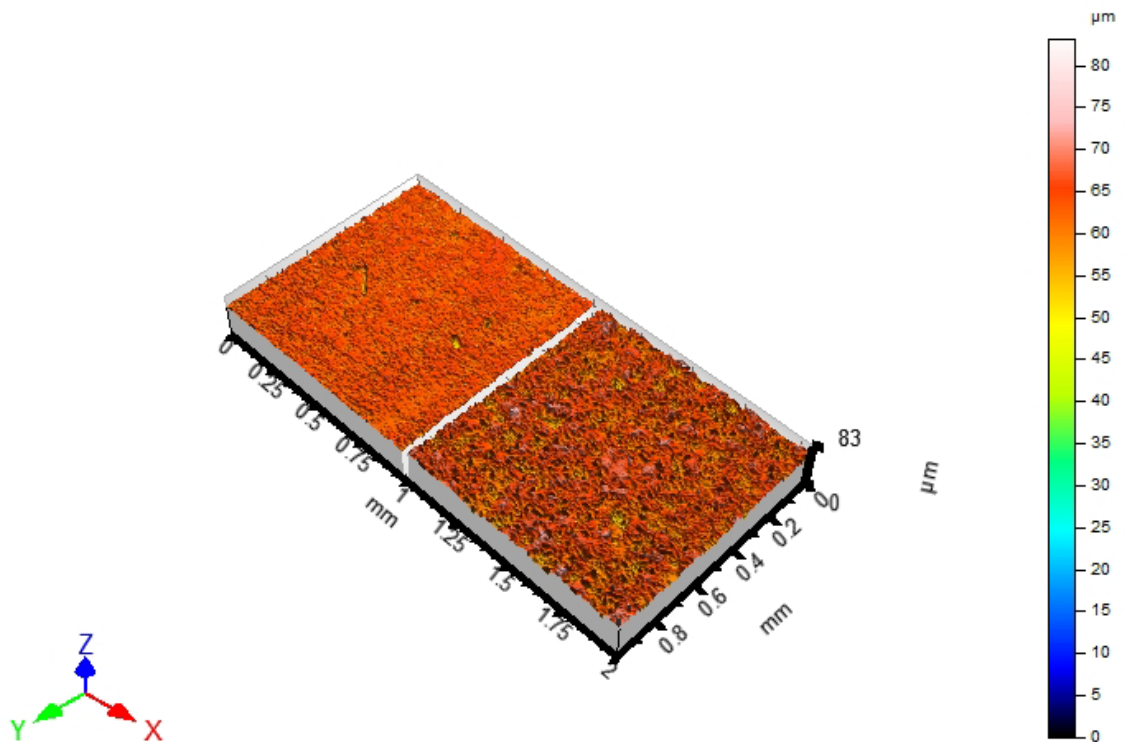
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
B4				

Tabulka 12 Porovnání mikroskopických obrazů pozice B4

Pozice	Stará forma	Nová forma
B4	Rýhy	Nepoškozená

Tabulka 13 Poznámky B4

3.1.5.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap


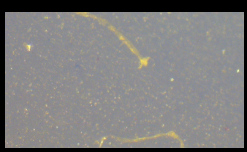

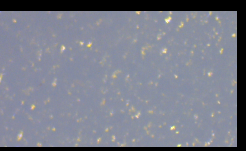


Obrázek 21 3D porovnání pozice B4 stará : nová forma

Na 3D snímku staré formy se ukázali rýhy viditelné i z mikroskopických snímků. Nová forma se zdá být neporušená, ale v její vyšší drsnosti by se podobná rýha viditelná u staré formy s jemnějším povrchem mohla lehce ztratit. Tyto případy byly řešeny pomocí matematického vyhodnocení v programu Minitab, kde bylo provedeno jednotlivé horizontální i vertikální porovnání řezů.

3.1.6 Pozice C1

3.1.6.1 Porovnání mikroskopických obrazů

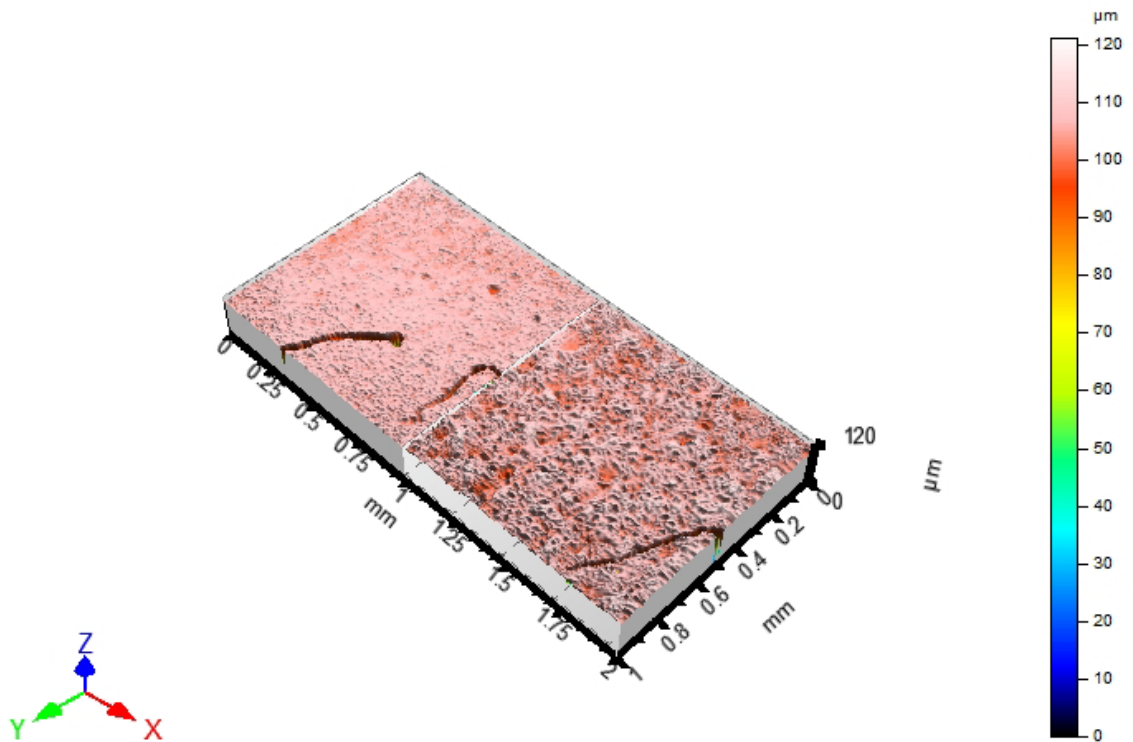
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
C1				

Tabulka 14 Porovnání mikroskopických obrazů pozice C1

Pozice	Stará forma	Nová forma
C1	Rýhy	Nepoškozená

Tabulka 15 Poznámky C1

3.1.6.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap

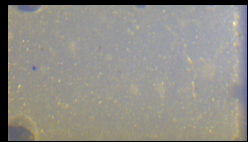


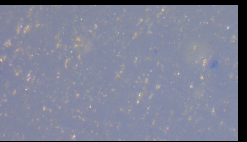


Obrázek 22 3D porovnání pozice C1 stará : nová forma

Na 3D snímku byly u staré formy nasnímány rýhy, které byly zřetelné i u mikroskopických snímků, ale bohužel byly ve středu pozice, tak nebylo možné se jim vyhnout. U nové formy můžeme spatřit rýhu, která nebyla viditelná na mikroskopickém snímku. Opět se potvrzuje, že u horší jakosti povrchu se rýhy při pouhém pozorování na mikroskopu snadno ztratí.

3.1.7 Pozice C4

3.1.7.1 Porovnání mikroskopických obrazů

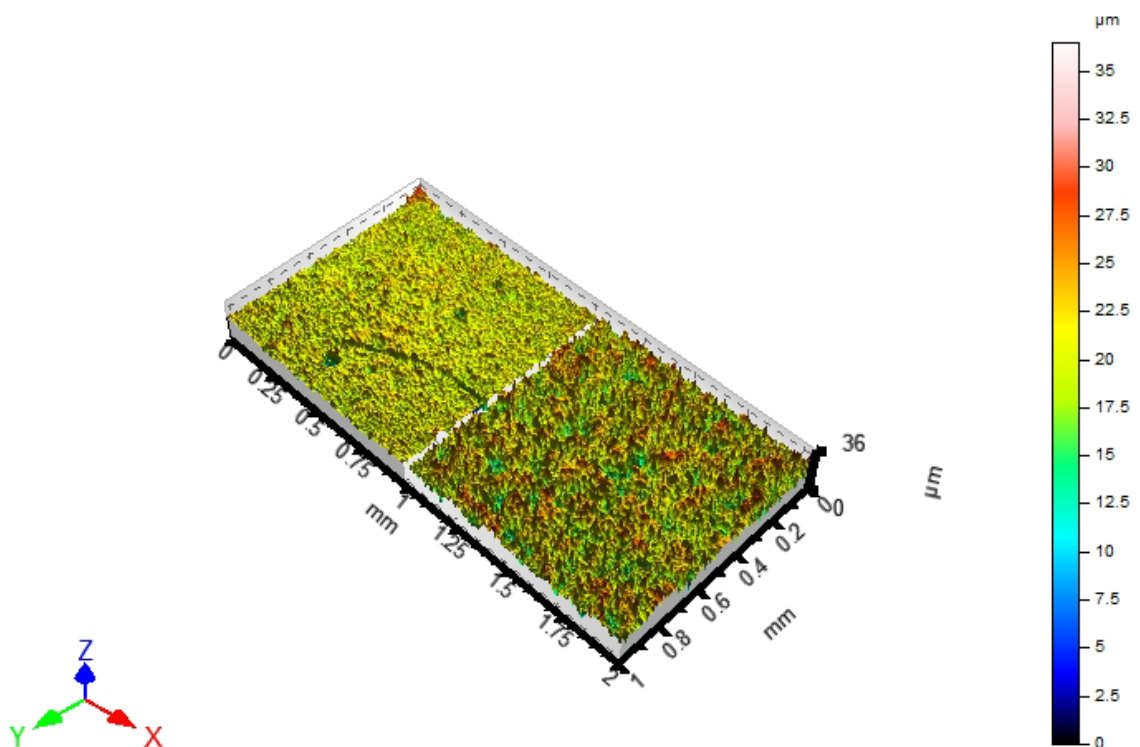
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
C4				

Tabulka 16 Porovnání mikroskopických obrazů pozice C4

Pozice	Stará forma	Nová forma
C4	Rýhy	nepoškozená

Tabulka 17 Poznámky C4

3.1.7.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap

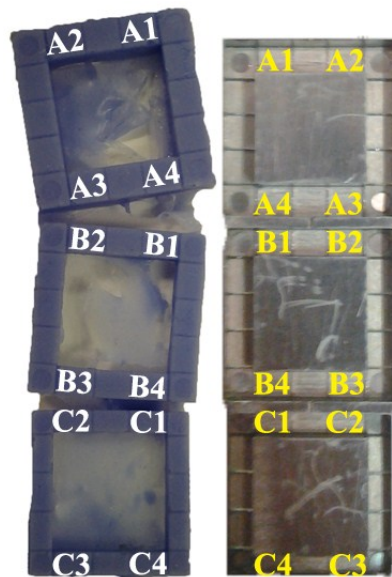


Obrázek 23 3D porovnání pozice C4 stará : nová forma

3D snímek odhalil znatelnou rýhu a díry na povrchu repliky staré formy, u repliky nové formy je opět horší jakost, ale vizuálně není znatelný žádný typ poškození.

3.2 Mikroskopické a 3D vyhodnocení replik - levá strana

3.2.1 Schéma vyhodnocení



Obrázek 24 Pozice na replice vlevo odpovídající dutině formy vpravo

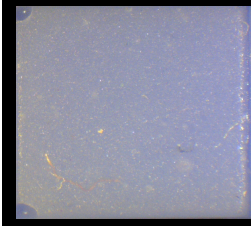
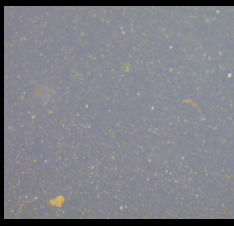
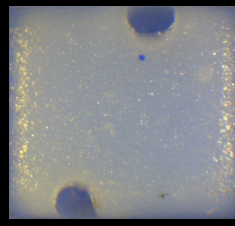
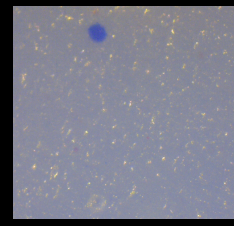
levá strana repliky dutiny staré formy : levá strana repliky dutiny nové formy

nebo-li

pozice A2, A3, B2, B3, C2, C3 : pozice A2, A3, B2, B3, C2, C3

3.2.2 Pozice A2

3.2.2.1 Porovnání mikroskopických obrazů

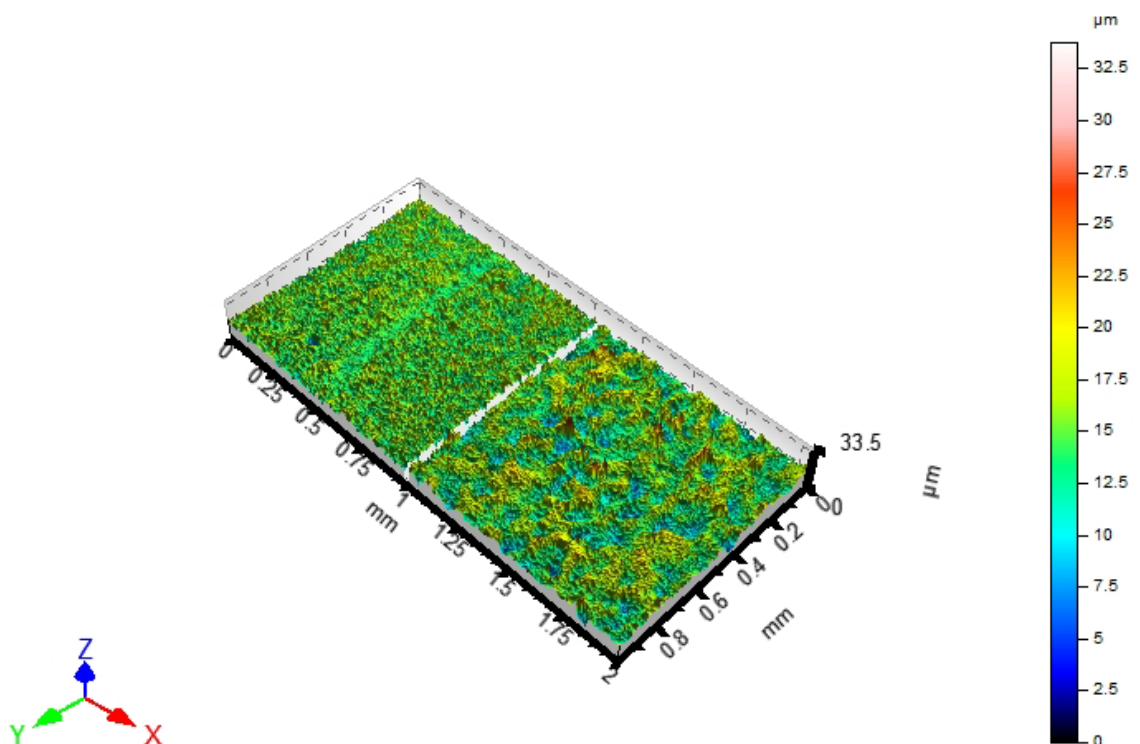
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
A2				

Tabulka 18 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice A2

Pozice	Stará forma	Nová forma
A2	Rýhy	Nepoškozená

Tabulka 19 Poznámky A2

3.2.2.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap

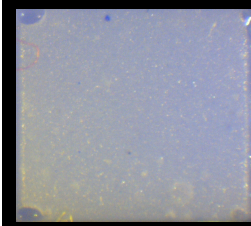
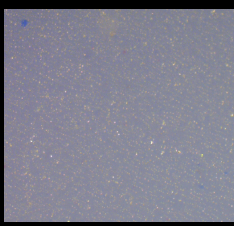
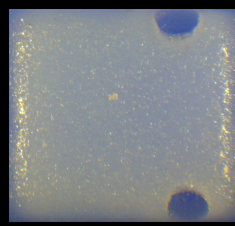
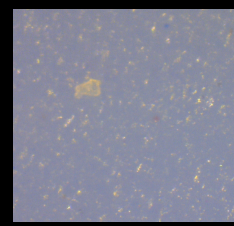


Obrázek 25 3D porovnání pozice A2 stará : nová forma

Na 3D snímku pozice A2 staré formy je viditelná široká rýha skrz celý povrch. Rýha není vidět na mikroskopickém snímku, protože samotná drsnost staré formy zasahuje hlouběji než tato rýha.

3.2.3 Pozice A3

3.2.3.1 Porovnání mikroskopických obrazů

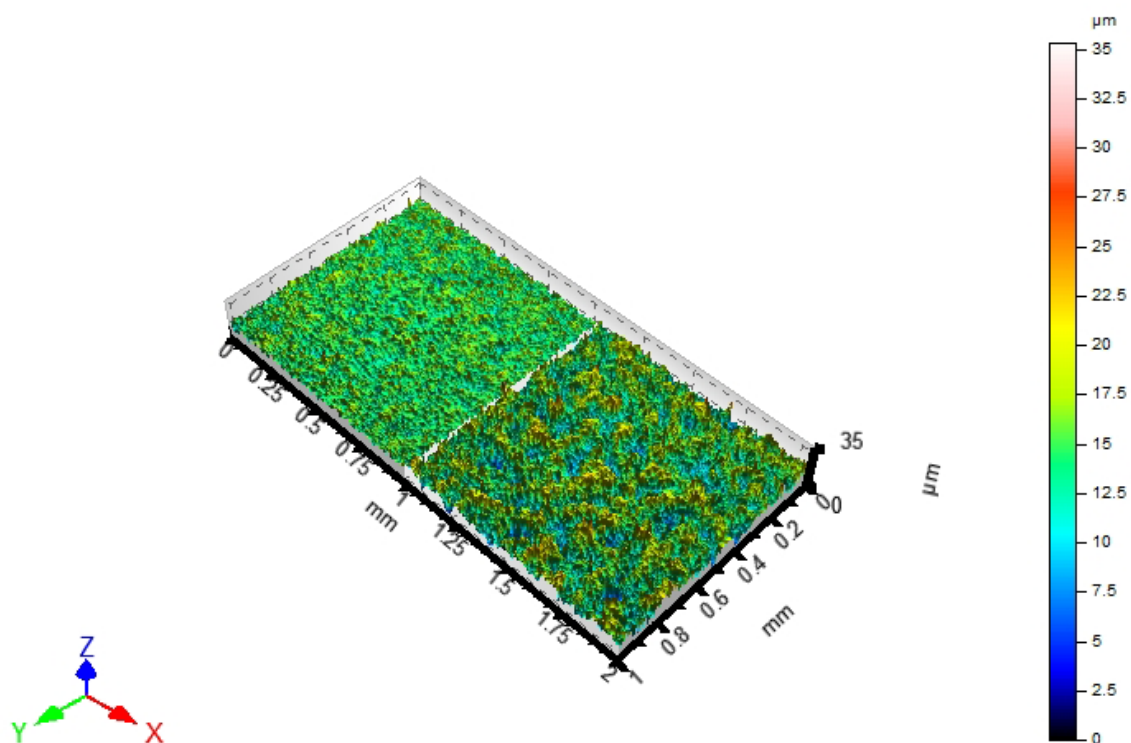
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
A3				

Tabulka 20 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice A3

Pozice	Stará forma	Nová forma
A3	Nepoškozená	Nepoškozená

Tabulka 21 Poznámky A3

3.2.3.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap

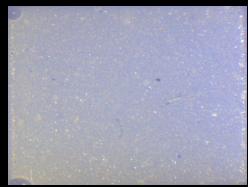

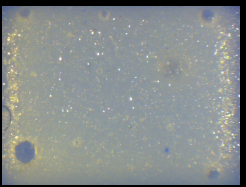
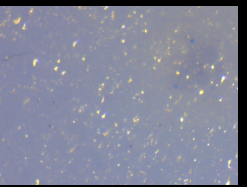


Obrázek 26 3D porovnání pozice A3 stará : nová forma

Na 3D snímku pozice A3 není vidět ani na jedné replice poškození.

3.2.4 Pozice B2

3.2.4.1 Porovnání mikroskopických obrazů

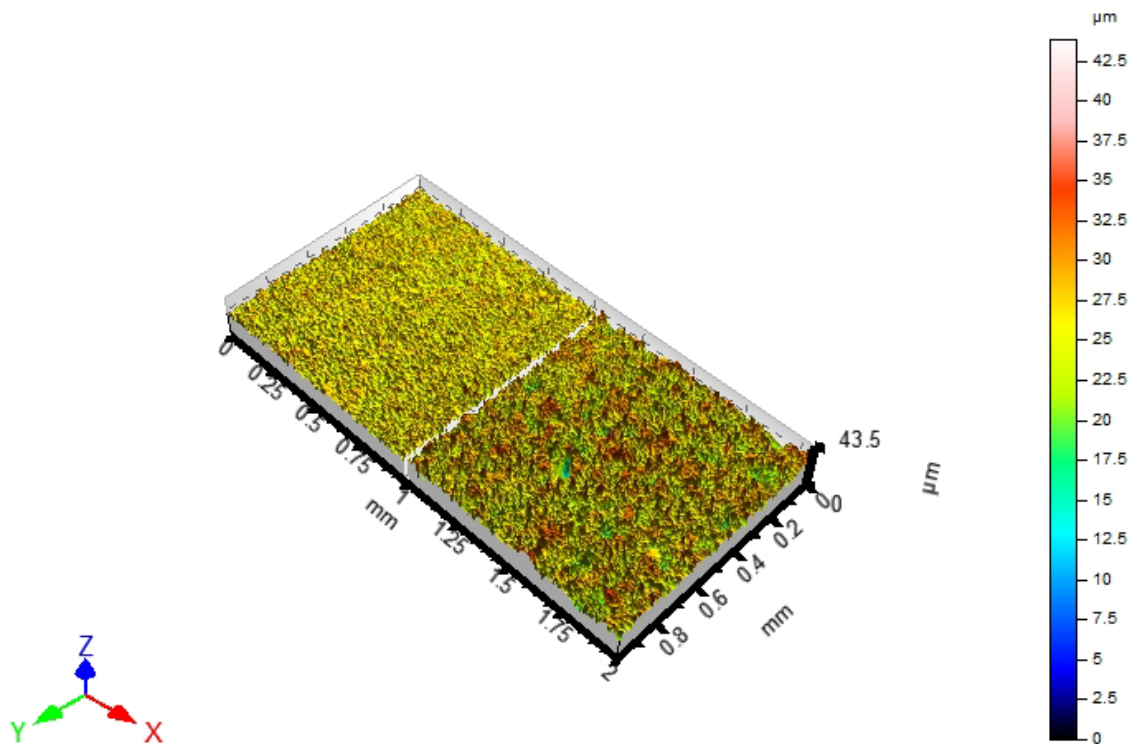
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
B2				

Tabulka 22 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice B2

Pozice	Stará forma	Nová forma
B2	Vměstky – štětinky	Vměstky – štětinky

Tabulka 23 Poznámky B2

3.2.4.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap

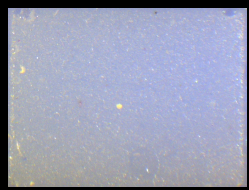
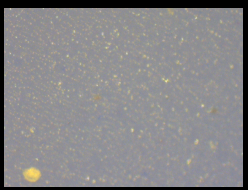
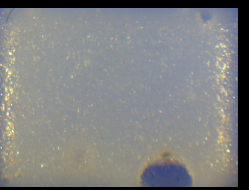
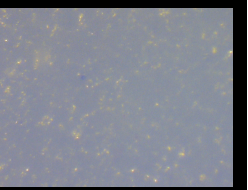


Obrázek 27 3D porovnání pozice B2 stará : nová forma

Na 3D snímku se vměstky typu štětinek viditelných na mikroskopických snímcích nijak neprojevily. Potvrdilo se že většina vměstků se stačila utopit do nezatvrdlé směsi dentakrylu a nenarušují povrch repliky.

3.2.5 Pozice B3

3.2.5.1 Porovnání mikroskopických obrazů

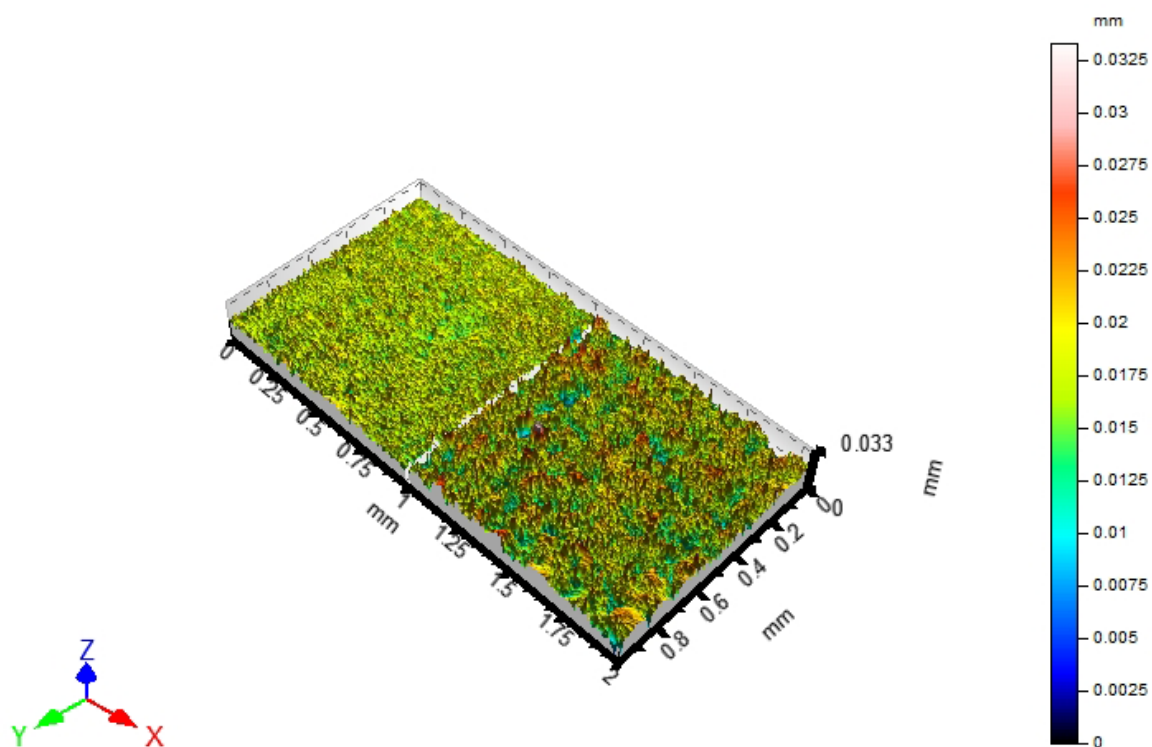
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
B3				

Tabulka 24 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice B3

Pozice	Stará forma	Nová forma
B3	Nepoškozená	Nepoškozená

Tabulka 25 Poznámky B3

3.2.5.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap




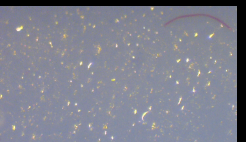


Obrázek 28 3D porovnání pozice B3 stará : nová forma

Na 3D snímku pozice B3 není vidět ani na jedné replice poškození.

3.2.6 Pozice C2

3.2.6.1 Porovnání mikroskopických obrazů

Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
C2				

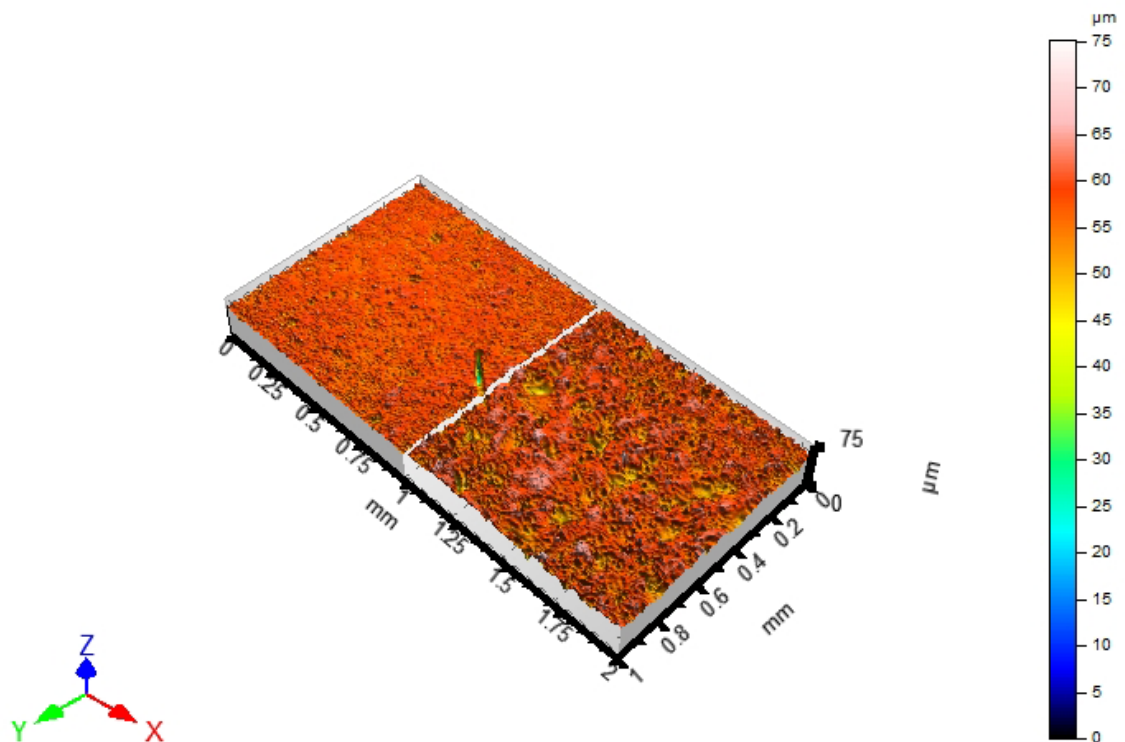
Tabulka 26 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice C2

Pozice	Stará forma	Nová forma
C2	Rýhy, vměstky - štětinky	Vměstky - štětinky

Tabulka 27 Poznámky C2

Po detailním prozkoumání mikroskopického snímku 30x násobného zvětšení repliky staré dutiny formy byl objeven vměstek typu štětinky, který se na povrchu repliky chová jako zalitá vada. Celý vměstek je utopený pod povrchem repliky, ale v jeho pravé horní části vznikla rýha.

3.2.6.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap


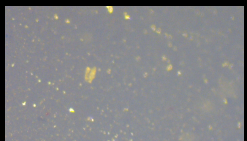
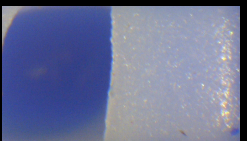
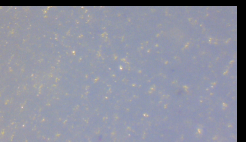


Obrázek 29 3D porovnání pozice C2 stará : nová forma

Na 3D snímku pozice C2 vidíme rýhu, která vznikla přímo na vměstku typu štětinky, popsané u mikroskopického snímku.

3.2.7 Pozice C3

3.2.7.1 Porovnání mikroskopických obrazů

Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
C3				

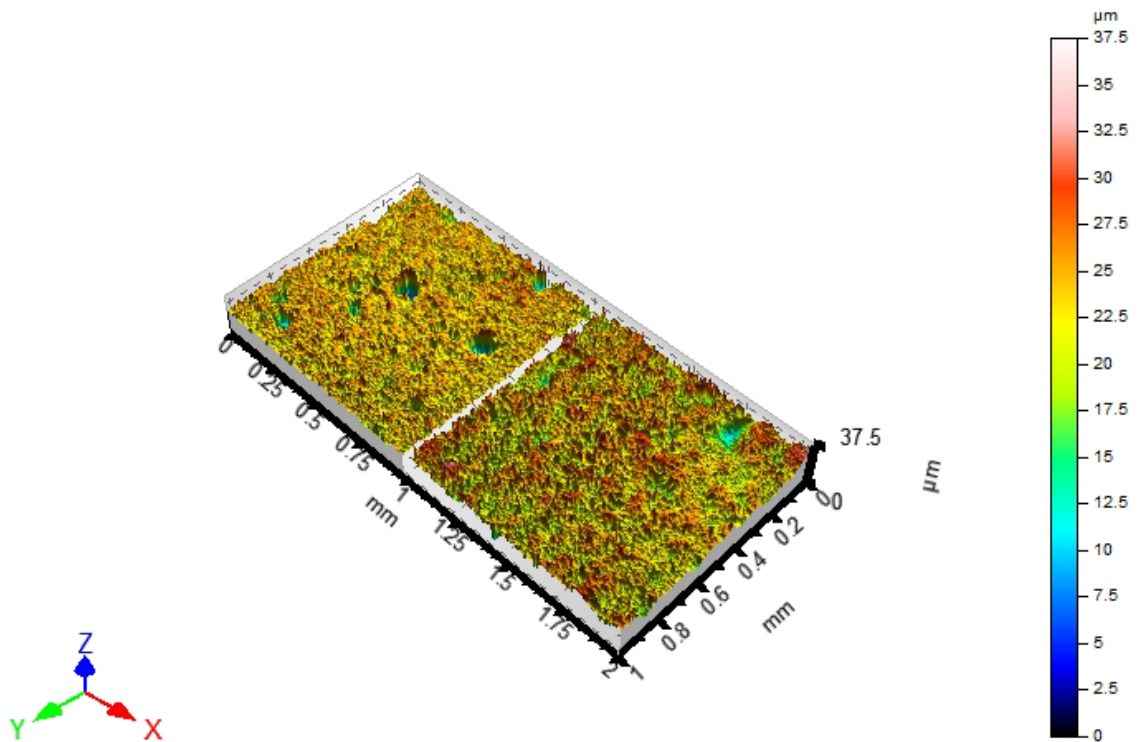
Tabulka 28 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice C3

Pozice	Stará forma	Nová forma
C3	Nepoškozená	Poloviční

Tabulka 29 Poznámky C3

U pozice C3 na replice dutiny nové formy došlo při vyjímání k odtržení poloviny pozice. Polovina, která zůstala je však jinak nepoškozená a měla dostatečně velkou plochu, aby mohla být podrobena 3D snímání povrchu.

3.2.7.2 3D porovnání replik pomocí programu TalyMap



Obrázek 30 3D porovnání pozice C3 stará : nová forma

Na 3D snímku pozice C3 byly viditelné propadliny v replice staré i nové dutiny formy, které nebyly rozpoznány na mikroskopických snímcích. Tyto propadliny vznikly vyjímáním replik z dutiny formy, na které jsou pozice C3 a C4 nejnáchylnější, protože tvoří spodní hranu repliky, přes kterou byla replika vyjímána a vlivem nedostatečného odmaštění v inkriminovaných místech došlo k částečnému přilepení repliky k povrchu dutiny. Tyto přilepené části se při vyjímání od repliky odtrhly a vytvořili v povrchu repliky propadlinky.

3.3 Matematické vyhodnocení pomocí programu Minitab 14 - pravá strana

Z původních 201 řezů byly dle ČSN EN ISO 4288 odstraněny vychýlené hodnoty typu vměstků, škrábanců a trhlin. Následně byl počet řezů zredukován na 30 horizontálních a 30 vertikálních, rovnoměrně rozmístěných po ploše zkontrolovaného povrchu. Řezy byly podrobeny testu normality - Anderson Darling.

3.3.1 Test normalit naměřených dat Ra, Rp, Rv a Rz dle testu Anderson Darling pro N = 30

Pozice	Hodnoty P – Value pro dané parametry - pravá strana - stará forma							
	Rp_HS	Rp_VS	Rv_HS	Rv_VS	Rz_HS	Rz_VS	Ra_HS	Ra_VS
A1	0,738	0,255	0,643	0,905	0,226	0,497	0,265	0,918
A4	0,229	0,205	0,472	0,337	0,714	0,06	0,603	0,265
B1	0,846	0,012	0,117	0,249	0,122	0,674	0,86	0,939
B4	0,906	0,011	0,005	0,005	0,507	0,005	0,145	0,061
C1	0,287	0,864	0,271	0,005	0,11	0,078	0,138	0,123
C4	0,005	0,005	0,005	0,005	0,013	0,009	0,512	0,606

Tabulka 30 Hodnoty P - Value - Stará forma

Pozice	Hodnoty P - Value pro dané parametry - pravá strana - nová forma							
	Rp_HN	Rp_VN	Rv_HN	Rv_VN	Rz_HN	Rz_VN	Ra_HS	Ra_VS
A1	0,892	0,857	0,414	0,119	0,285	0,058	0,912	0,051
A4	0,017	0,288	0,524	0,328	0,914	0,852	0,574	0,12
B1	0,319	0,005	0,445	0,188	0,775	0,46	0,414	0,039
B4	0,295	0,012	0,945	0,543	0,321	0,337	0,339	0,89
C1	0,065	0,176	0,014	0,887	0,312	0,92	0,327	0,158
C4	0,048	0,009	0,451	0,685	0,162	0,463	0,53	0,057

Tabulka 31 Hodnoty P - Value - Nová forma

Z důvodu výskytu hodnot $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítám nulovou hypotézu normality \rightarrow hodnoty nepocházejí z normálního rozdělení na konfidenční úrovni 95% s možností omylu 5%. Proto je nutné k dalšímu vyhodnocení porovnávat mediány pomocí testu Kruskal-Wallis.

Zkoumané parametry: Ra, Rv, Rp a Rz.

Schéma porovnání:

A1_HS, A4_HS, B1_HS, B4_HS, C1_HS, C4_HS

:

A1_HN, A4_HN, B1_HN, B4_HN, C1_HN, C4_HN

a

A1_VS, A4_VS, B1_VS, B4_VS, C1_VS, C4_VS

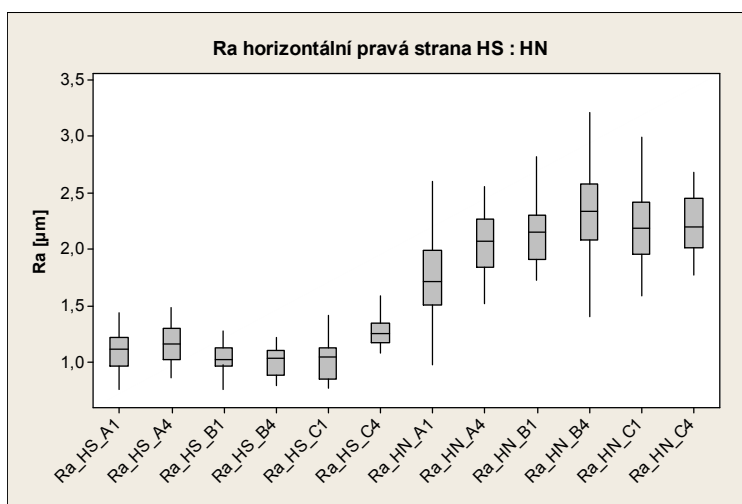
:

A1_VN, A4_VN, B1_VN, B4_VN, C1_VN, C4_VN

HS	⇒	Horizontální směr snímání - Stará forma
HN	⇒	Horizontální směr snímání – Nová forma
VS	⇓	Vertikální směr snímání – Stará forma
VN	⇓	Vertikální směr snímání – Nová forma

Tabulka 32 Legenda ke schématu porovnání

3.3.2 Parametr Ra

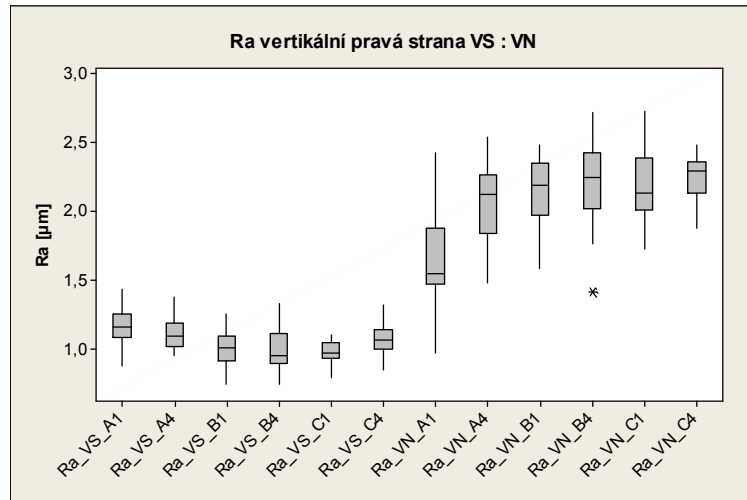


Obrázek 31 Ra HS : HN

Formulace hypotézy pro Ra horizontální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Ra_HS_A1} = M_{Ra_HS_A4} = M_{Ra_HS_B1} = M_{Ra_HS_B4} = M_{Ra_HS_C1} = M_{Ra_HS_C4} = M_{Ra_HN_A1} = M_{Ra_HN_A4} = M_{Ra_HN_B1} = M_{Ra_HN_B4} = M_{Ra_HN_C1} = M_{Ra_HN_C4}$$

$$H_A : NON$$



Obrázek 32 Ra VS : VN

Formulace hypotézy pro Ra vertikální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Ra_VS_A1} = M_{Ra_VS_A4} = M_{Ra_VS_B1} = M_{Ra_VS_B4} = M_{Ra_VS_C1} = M_{Ra_VS_C4} = M_{Ra_VN_A1} = M_{Ra_VN_A4} = M_{Ra_VN_B1} = M_{Ra_VN_B4} = M_{Ra_VN_C1} = M_{Ra_VN_C4}$$

$$H_A : NON$$

3.3.2.1 Kruskal-Wallis pro Ra

```

Results for: Stack Ra H pravá strana
Kruskal-wallis Test: C2 versus subscripts
Kruskal-wallis Test on c2
Subscripts      N   Median   Ave Rank   Z
Ra_HN_A1 [µm]   30   1,710     213,0     1,79
Ra_HN_A4 [µm]   30   2,075     259,6     4,35
Ra_HN_B1 [µm]   30   2,155     273,8     5,13
Ra_HN_B4 [µm]   30   2,335     297,1     6,41
Ra_HN_C1 [µm]   30   2,185     281,9     5,57
Ra_HN_C4 [µm]   30   2,200     288,1     5,92
Ra_HS_A1 [µm]   30   1,110      92,0    -4,87
Ra_HS_A4 [µm]   30   1,155     111,2    -3,81
Ra_HS_B1 [µm]   30   1,025      71,9    -5,97
Ra_HS_B4 [µm]   30   1,035      62,7    -6,48
Ra_HS_C1 [µm]   30   1,045      68,7    -6,15
Ra_HS_C4 [µm]   30   1,250     146,1    -1,89
Overall         360
H = 286,64  DF = 11  P = 0,000
H = 286,66  DF = 11  P = 0,000 (adjusted for ties)
    
```

Obrázek 33 Kruskal-Wallis pro Ra horizontálně

- Total Count - celkový počet hodnot
- Mean - odhad aritmetického průměru
- SE Mean - nejistota typu A

- StDev - směrodatná odchylka
- CoefVar - odhad variačního koeficientu
- Minimum - minimální hodnota
- Q1 - První Quartil - 25% hodnot nejbližších, nižších mediánu
- Medián - prostřední hodnota, z hodnot seřazených dle velikosti. Medián je proti Mean robustnější vůči zkreslení krajními hodnotami, proto byl taky zvolen test Kruskal - Wallis, který porovnává medián.
- Q3 - třetí Quartil - 25% hodnot nejbližších, vyšších mediánu
- Maximum - maximální hodnota
- Range - rozpětí všech hodnot od minima k maximu
- IQR - interkvartilové rozpětí - rozpětí 50% hodnot nejbližších mediánu

Descriptive Statistics: C2								
variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	Ra_HN_A1 [µm]	30	1,7474	0,0645	0,3535	20,23	0,9710	1,5050
	Ra_HN_A4 [µm]	30	2,0400	0,0539	0,2951	14,47	1,5200	1,8375
	Ra_HN_B1 [µm]	30	2,1420	0,0477	0,2611	12,19	1,7300	1,9100
	Ra_HN_B4 [µm]	30	2,2977	0,0696	0,3814	16,60	1,4000	2,0775
	Ra_HN_C1 [µm]	30	2,2070	0,0582	0,3186	14,44	1,5800	1,9575
	Ra_HN_C4 [µm]	30	2,2317	0,0485	0,2659	11,91	1,7700	2,0150
	Ra_HS_A1 [µm]	30	1,0875	0,0282	0,1544	14,19	0,7520	0,9663
	Ra_HS_A4 [µm]	30	1,1600	0,0299	0,1638	14,12	0,8630	1,0175
	Ra_HS_B1 [µm]	30	1,0351	0,0220	0,1206	11,65	0,7580	0,9678
	Ra_HS_B4 [µm]	30	1,0025	0,0240	0,1316	13,13	0,7940	0,8815
	Ra_HS_C1 [µm]	30	1,0207	0,0279	0,1531	14,99	0,7630	0,8503
	Ra_HS_C4 [µm]	30	1,2627	0,0226	0,1239	9,81	1,0800	1,1675
variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR		
C2	Ra_HN_A1 [µm]	1,7100	1,9925	2,6000	1,6290	0,4875		
	Ra_HN_A4 [µm]	2,0750	2,2625	2,5600	1,0400	0,4250		
	Ra_HN_B1 [µm]	2,1550	2,3025	2,8200	1,0900	0,3925		
	Ra_HN_B4 [µm]	2,3350	2,5800	3,2200	1,8200	0,5025		
	Ra_HN_C1 [µm]	2,1850	2,4150	2,9900	1,4100	0,4575		
	Ra_HN_C4 [µm]	2,2000	2,4550	2,6800	0,9100	0,4400		
	Ra_HS_A1 [µm]	1,1100	1,2125	1,4300	0,6780	0,2463		
	Ra_HS_A4 [µm]	1,1550	1,3025	1,4800	0,6170	0,2850		
	Ra_HS_B1 [µm]	1,0250	1,1200	1,2700	0,5120	0,1523		
	Ra_HS_B4 [µm]	1,0350	1,1025	1,2200	0,4260	0,2210		
	Ra_HS_C1 [µm]	1,0450	1,1200	1,4100	0,6470	0,2698		
	Ra_HS_C4 [µm]	1,2500	1,3425	1,5900	0,5100	0,1750		

Obrázek 34 Descriptive Statistics pro Ra horizontálně

Results for: Stack Ra V pravá strana

Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts

Kruskal-wallis Test on C2

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
Ra_VN_A1 [µm]	30	1,5500	205,5	1,37
Ra_VN_A4 [µm]	30	2,1250	262,0	4,48
Ra_VN_B1 [µm]	30	2,1950	280,2	5,48
Ra_VN_B4 [µm]	30	2,2450	291,4	6,09
Ra_VN_C1 [µm]	30	2,1300	281,2	5,54
Ra_VN_C4 [µm]	30	2,2950	294,6	6,27
Ra_VS_A1 [µm]	30	1,1600	131,8	-2,68
Ra_VS_A4 [µm]	30	1,1000	116,8	-3,50
Ra_VS_B1 [µm]	30	1,0100	73,9	-5,86
Ra_VS_B4 [µm]	30	0,9565	68,6	-6,15
Ra_VS_C1 [µm]	30	0,9775	61,5	-6,54
Ra_VS_C4 [µm]	30	1,0650	98,6	-4,50
overall	360		180,5	

H = 287,68 DF = 11 P = 0,000
H = 287,71 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 35 Kruskal-Wallis pro Ra vertikálně

Descriptive statistics: C2

Variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	Ra_VN_A1 [µm]	30	1,6411	0,0621	0,3404	20,74	0,9740	1,4700
	Ra_VN_A4 [µm]	30	2,0407	0,0539	0,2950	14,46	1,4800	1,8400
	Ra_VN_B1 [µm]	30	2,1470	0,0469	0,2567	11,96	1,5900	1,9750
	Ra_VN_B4 [µm]	30	2,2227	0,0533	0,2919	13,13	1,4200	2,0250
	Ra_VN_C1 [µm]	30	2,1867	0,0480	0,2631	12,03	1,7300	2,0075
	Ra_VN_C4 [µm]	30	2,2360	0,0299	0,1638	7,33	1,8800	2,1375
	Ra_VS_A1 [µm]	30	1,1593	0,0238	0,1302	11,23	0,8780	1,0825
	Ra_VS_A4 [µm]	30	1,1124	0,0199	0,1089	9,79	0,9570	1,0175
	Ra_VS_B1 [µm]	30	1,0038	0,0217	0,1188	11,84	0,7490	0,9175
	Ra_VS_B4 [µm]	30	0,9950	0,0289	0,1583	15,91	0,7440	0,9005
	Ra_VS_C1 [µm]	30	0,9765	0,0157	0,0860	8,81	0,7910	0,9385
	Ra_VS_C4 [µm]	30	1,0648	0,0209	0,1146	10,76	0,8470	1,0058

Variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	Ra_VN_A1 [µm]	1,5500	1,8750	2,4300	1,4560	0,4050
	Ra_VN_A4 [µm]	2,1250	2,2700	2,5400	1,0600	0,4300
	Ra_VN_B1 [µm]	2,1950	2,3550	2,4800	0,8900	0,3800
	Ra_VN_B4 [µm]	2,2450	2,4250	2,7200	1,3000	0,4000
	Ra_VN_C1 [µm]	2,1300	2,3900	2,7300	1,0000	0,3825
	Ra_VN_C4 [µm]	2,2950	2,3600	2,4800	0,6000	0,2225
	Ra_VS_A1 [µm]	1,1600	1,2600	1,4400	0,5620	0,1775
	Ra_VS_A4 [µm]	1,1000	1,1900	1,3800	0,4230	0,1725
	Ra_VS_B1 [µm]	1,0100	1,1000	1,2600	0,5110	0,1825
	Ra_VS_B4 [µm]	0,9565	1,1200	1,3300	0,5860	0,2195
	Ra_VS_C1 [µm]	0,9775	1,0450	1,1100	0,3190	0,1065
	Ra_VS_C4 [µm]	1,0650	1,1400	1,3200	0,4730	0,1343

Obrázek 36 Descriptive Statistics pro Ra vertikálně

Medián Ra u repliky dutiny nové formy při horizontálním i vertikálním směru řezu dosahuje téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Ra repliky dutiny staré formy. Jedinou výjimkou je pozice A1, kde rozdíl není tak markantní. Variční koeficient dosahuje až 20%. Tento jev je zapříčiněn tím, že zkoumaný objekt je replikou dutiny formy. Při pohledu na hodnoty Mean je patrné, že jsou hodnoty velmi nepravidelné a ovlivněné vychýlenými

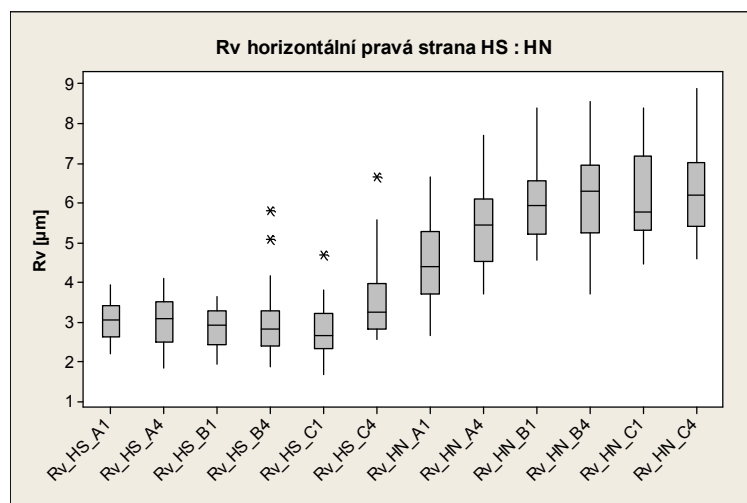
hodnotami. Z tohoto důvodu byl pro testování zvolen neparametrický test Kruskal-Wallis, který porovnává hodnoty mediánu Ra, který je robustnější, oproti vychýleným hodnotám.

Ra	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Pravá strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 33 Hodnota P, pro parametr Ra

Hodnota $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítám nulovou hypotézu ve prospěch alternativní na konfidenční úrovni 95% s možností omylu 5%. \rightarrow hodnoty Ra nemají stejné mediány v horizontálním i vertikálním směru řezu.

3.3.3 Parametr Rv

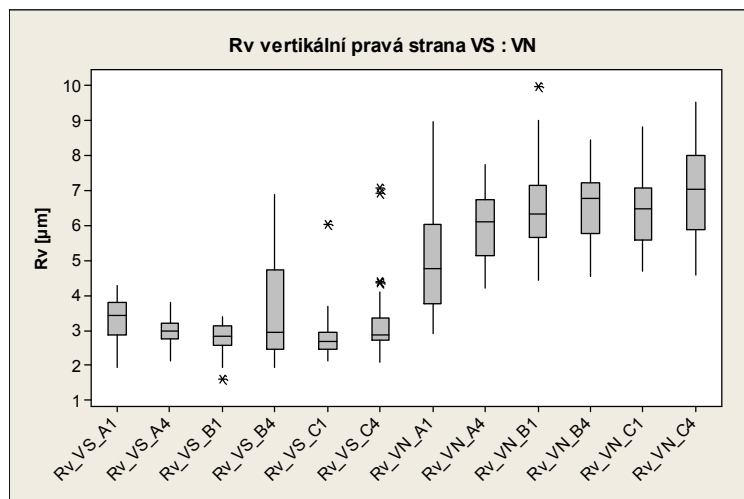


Obrázek 37 Rv HS : HN

Formulace hypotézy pro Rv horizontální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Rv_HS_A1} = M_{Rv_HS_A4} = M_{Rv_HS_B1} = M_{Rv_HS_B4} = M_{Rv_HS_C1} = M_{Rv_HS_C4} = M_{Rv_HN_A1} = M_{Rv_HN_A4} = M_{Rv_HN_B1} = M_{Rv_HN_B4} = M_{Rv_HN_C1} = M_{Rv_HN_C4}$$

$$H_A : NON$$



Obrázek 38 Rv VS : VN

Formulace hypotézy pro Rv vertikální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Rv_VS_A1} = M_{Rv_VS_A4} = M_{Rv_VS_B1} = M_{Rv_VS_B4} = M_{Rv_VS_C1} = M_{Rv_VS_C4} = M_{Rv_VN_A1} = M_{Rv_VN_A4} = M_{Rv_VN_B1} = M_{Rv_VN_B4} = M_{Rv_VN_C1} = M_{Rv_VN_C4}$$

$$H_A : NON$$

3.3.3.1 Kruskal-Wallis pro Rv

```
Results for: Stack Rv H pravá strana
Kruskal-wallis Test: C2 versus subscripts
Kruskal-wallis Test on C2
```

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
RV_HN_A1 [µm]	30	4,380	200,9	1,12
RV_HN_A4 [µm]	30	5,445	250,7	3,86
RV_HN_B1 [µm]	30	5,935	277,1	5,31
RV_HN_B4 [µm]	30	6,275	284,1	5,69
RV_HN_C1 [µm]	30	5,780	288,3	5,93
RV_HN_C4 [µm]	30	6,185	290,2	6,03
RV_HS_A1 [µm]	30	3,060	98,9	-4,48
RV_HS_A4 [µm]	30	3,095	96,2	-4,63
RV_HS_B1 [µm]	30	2,930	83,8	-5,31
RV_HS_B4 [µm]	30	2,815	88,9	-5,04
RV_HS_C1 [µm]	30	2,665	72,3	-5,95
RV_HS_C4 [µm]	30	3,240	134,6	-2,52
Overall	360		180,5	

H = 261,39 DF = 11 P = 0,000
H = 261,39 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 39 Kruskal-Wallis pro Rv horizontálně

Descriptive Statistics: C2								
variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	RV_HN_A1 [µm]	30	4,532	0,198	1,085	23,94	2,660	3,720
	RV_HN_A4 [µm]	30	5,441	0,196	1,076	19,78	3,700	4,535
	RV_HN_B1 [µm]	30	5,989	0,186	1,018	17,00	4,550	5,220
	RV_HN_B4 [µm]	30	6,160	0,210	1,151	18,68	3,720	5,228
	RV_HN_C1 [µm]	30	6,230	0,188	1,030	16,53	4,470	5,318
	RV_HN_C4 [µm]	30	6,282	0,197	1,081	17,21	4,590	5,410
	RV_HS_A1 [µm]	30	3,0457	0,0820	0,4489	14,74	2,2100	2,6375
	RV_HS_A4 [µm]	30	3,028	0,106	0,578	19,09	1,830	2,480
	RV_HS_B1 [µm]	30	2,8707	0,0903	0,4947	17,23	1,9200	2,4275
	RV_HS_B4 [µm]	30	3,015	0,157	0,861	28,57	1,860	2,388
	RV_HS_C1 [µm]	30	2,777	0,116	0,635	22,86	1,670	2,323
	RV_HS_C4 [µm]	30	3,532	0,169	0,928	26,27	2,570	2,820

variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	RV_HN_A1 [µm]	4,380	5,270	6,640	3,980	1,550
	RV_HN_A4 [µm]	5,445	6,098	7,690	3,990	1,563
	RV_HN_B1 [µm]	5,935	6,545	8,370	3,820	1,325
	RV_HN_B4 [µm]	6,275	6,943	8,550	4,830	1,715
	RV_HN_C1 [µm]	5,780	7,170	8,380	3,910	1,853
	RV_HN_C4 [µm]	6,185	7,003	8,870	4,280	1,592
	RV_HS_A1 [µm]	3,0600	3,4125	3,9400	1,7300	0,7750
	RV_HS_A4 [µm]	3,095	3,518	4,110	2,280	1,038
	RV_HS_B1 [µm]	2,9300	3,2825	3,6500	1,7300	0,8550
	RV_HS_B4 [µm]	2,815	3,283	5,800	3,940	0,895
	RV_HS_C1 [µm]	2,665	3,228	4,700	3,030	0,905
	RV_HS_C4 [µm]	3,240	3,963	6,640	4,070	1,143

Obrázek 40 Descriptive Statistics pro Rv horizontálně

Results for: stack Rv v pravá strana				
Kruskal-wallis Test: C2 versus subscripts				
Kruskal-wallis Test on C2				
Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
RV_VN_A1 [µm]	30	4,765	205,6	1,38
RV_VN_A4 [µm]	30	6,095	256,3	4,17
RV_VN_B1 [µm]	30	6,345	274,3	5,15
RV_VN_B4 [µm]	30	6,790	285,8	5,79
RV_VN_C1 [µm]	30	6,465	273,0	5,08
RV_VN_C4 [µm]	30	7,045	296,8	6,39
RV_VS_A1 [µm]	30	3,425	120,8	-3,28
RV_VS_A4 [µm]	30	2,980	98,2	-4,52
RV_VS_B1 [µm]	30	2,830	78,0	-5,64
RV_VS_B4 [µm]	30	2,955	102,2	-4,31
RV_VS_C1 [µm]	30	2,700	70,6	-6,04
RV_VS_C4 [µm]	30	2,875	104,6	-4,17
Overall	360		180,5	

H = 258,06 DF = 11 P = 0,000
H = 258,06 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 41 Kruskal - Wallis pro Rv vertikálně

Descriptive Statistics: C2								
variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	RV_VN_A1 [µm]	30	4,952	0,236	1,292	26,08	2,910	3,780
	RV_VN_A4 [µm]	30	6,020	0,187	1,024	17,01	4,200	5,138
	RV_VN_B1 [µm]	30	6,507	0,218	1,196	18,37	4,450	5,650
	RV_VN_B4 [µm]	30	6,640	0,179	0,980	14,76	4,560	5,770
	RV_VN_C1 [µm]	30	6,429	0,190	1,041	16,19	4,700	5,583
	RV_VN_C4 [µm]	30	7,030	0,236	1,294	18,41	4,570	5,888
	RV_VS_A1 [µm]	30	3,316	0,108	0,592	17,85	1,930	2,880
	RV_VS_A4 [µm]	30	3,0170	0,0649	0,3557	11,79	2,1400	2,7750
	RV_VS_B1 [µm]	30	2,8143	0,0744	0,4077	14,49	1,6300	2,5700
	RV_VS_B4 [µm]	30	3,393	0,238	1,305	38,46	1,930	2,473
	RV_VS_C1 [µm]	30	2,857	0,129	0,705	24,68	2,140	2,470
	RV_VS_C4 [µm]	30	3,281	0,211	1,156	35,24	2,110	2,720

variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	RV_VN_A1 [µm]	4,765	6,035	8,980	6,070	2,255
	RV_VN_A4 [µm]	6,095	6,740	7,760	3,560	1,603
	RV_VN_B1 [µm]	6,345	7,150	9,960	5,510	1,500
	RV_VN_B4 [µm]	6,790	7,225	8,460	3,900	1,455
	RV_VN_C1 [µm]	6,465	7,065	8,830	4,130	1,483
	RV_VN_C4 [µm]	7,045	8,010	9,540	4,970	2,123
	RV_VS_A1 [µm]	3,425	3,793	4,290	2,360	0,913
	RV_VS_A4 [µm]	2,9800	3,2050	3,8200	1,6800	0,4300
	RV_VS_B1 [µm]	2,8300	3,1325	3,4000	1,7700	0,5625
	RV_VS_B4 [µm]	2,955	4,753	6,880	4,950	2,280
	RV_VS_C1 [µm]	2,700	2,965	6,040	3,900	0,495
	RV_VS_C4 [µm]	2,875	3,368	7,070	4,960	0,648

Obrázek 42 Descriptive Statistics pro Rv vertikálně

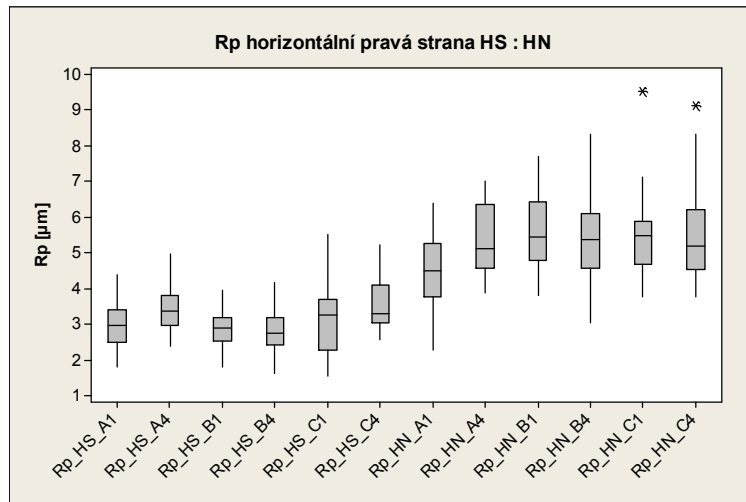
Medián Rv u repliky dutiny nové formy při horizontálním i vertikálním směru řezu dosahuje téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rv repliky dutiny staré formy. Jedinou výjimkou je pozice A1, kde rozdíl není tak markantní.

Rv	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Pravá strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 34 Hodnota P, pro parametr Rv

Hodnota $P \leq 0,05 \rightarrow$ Zamítám nulovou hypotézu ve prospěch alternativní na konfidenční úrovni 95% s možností omylu 5%. \rightarrow Hodnoty Rv nemají stejné mediány v horizontálním i vertikálním směru řezu.

3.3.4 Parametr Rp

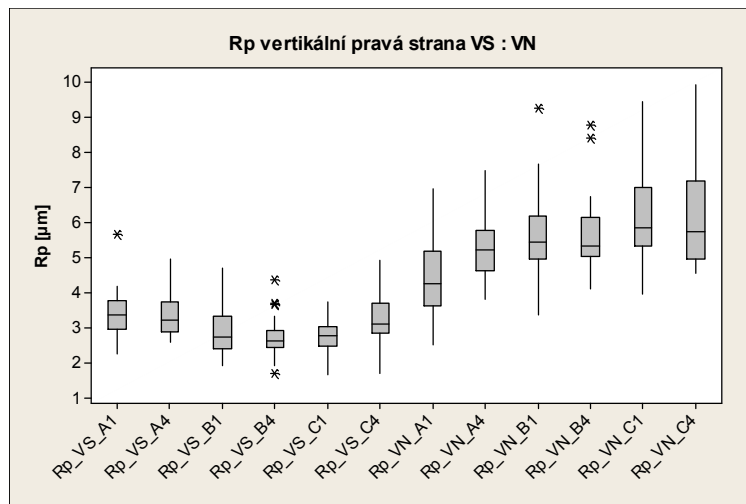


Obrázek 43 Rp HS : HN

Formulace hypotézy pro Rp horizontální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Rp_HS_A1} = M_{Rp_HS_A4} = M_{Rp_HS_B1} = M_{Rp_HS_B4} = M_{Rp_HS_C1} = M_{Rp_HS_C4} = M_{Rp_HN_A1} = M_{Rp_HN_A4} = M_{Rp_HN_B1} = M_{Rp_HN_B4} = M_{Rp_HN_C1} = M_{Rp_HN_C4}$$

$$H_A : NON$$



Obrázek 44 Rp VS : VN

Formulace hypotézy pro Rp vertikální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Rp_VS_A1} = M_{Rp_VS_A4} = M_{Rp_VS_B1} = M_{Rp_VS_B4} = M_{Rp_VS_C1} = M_{Rp_VS_C4} = M_{Rp_VN_A1} = M_{Rp_VN_A4} = M_{Rp_VN_B1} = M_{Rp_VN_B4} = M_{Rp_VN_C1} = M_{Rp_VN_C4}$$

$$H_A : NON$$

3.3.4.1 Kruskal-Wallis pro parametr Rp

Results for: Stack Rp H pravá strana

Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts

Kruskal-wallis Test on C2

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
Rp_HN_A1 [μm]	30	4,485	209,2	1,58
Rp_HN_A4 [μm]	30	5,095	267,9	4,80
Rp_HN_B1 [μm]	30	5,410	278,3	5,38
Rp_HN_B4 [μm]	30	5,370	274,4	5,16
Rp_HN_C1 [μm]	30	5,450	268,9	4,86
Rp_HN_C4 [μm]	30	5,170	270,9	4,97
Rp_HS_A1 [μm]	30	2,940	81,5	-5,44
Rp_HS_A4 [μm]	30	3,365	129,8	-2,79
Rp_HS_B1 [μm]	30	2,870	74,7	-5,82
Rp_HS_B4 [μm]	30	2,725	70,9	-6,02
Rp_HS_C1 [μm]	30	3,235	104,0	-4,21
Rp_HS_C4 [μm]	30	3,275	135,4	-2,48
Overall	360		180,5	

H = 239,05 DF = 11 P = 0,000
H = 239,05 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 45 Kruskal - Wallis pro Rp horizontálně

Descriptive Statistics: C2

Variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	Rp_HN_A1 [μm]	30	4,474	0,193	1,058	23,65	2,250	3,738
	Rp_HN_A4 [μm]	30	5,363	0,179	0,982	18,32	3,870	4,570
	Rp_HN_B1 [μm]	30	5,545	0,186	1,021	18,42	3,790	4,775
	Rp_HN_B4 [μm]	30	5,575	0,226	1,239	22,23	3,010	4,545
	Rp_HN_C1 [μm]	30	5,426	0,209	1,145	21,11	3,740	4,668
	Rp_HN_C4 [μm]	30	5,535	0,237	1,295	23,40	3,770	4,513
	Rp_HS_A1 [μm]	30	2,906	0,108	0,589	20,28	1,790	2,490
	Rp_HS_A4 [μm]	30	3,452	0,127	0,694	20,10	2,370	2,948
	Rp_HS_B1 [μm]	30	2,8517	0,0915	0,5010	17,57	1,7900	2,4975
	Rp_HS_B4 [μm]	30	2,7893	0,0997	0,5462	19,58	1,6200	2,4025
	Rp_HS_C1 [μm]	30	3,135	0,176	0,965	30,78	1,550	2,255
	Rp_HS_C4 [μm]	30	3,522	0,131	0,720	20,44	2,540	3,018

Variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	Rp_HN_A1 [μm]	4,485	5,248	6,370	4,120	1,510
	Rp_HN_A4 [μm]	5,095	6,320	6,990	3,120	1,750
	Rp_HN_B1 [μm]	5,410	6,405	7,690	3,900	1,630
	Rp_HN_B4 [μm]	5,370	6,090	8,300	5,290	1,545
	Rp_HN_C1 [μm]	5,450	5,865	9,500	5,760	1,198
	Rp_HN_C4 [μm]	5,170	6,200	9,090	5,320	1,688
	Rp_HS_A1 [μm]	2,940	3,388	4,370	2,580	0,898
	Rp_HS_A4 [μm]	3,365	3,795	4,940	2,570	0,848
	Rp_HS_B1 [μm]	2,8700	3,1800	3,9500	2,1600	0,6825
	Rp_HS_B4 [μm]	2,7250	3,1625	4,1700	2,5500	0,7600
	Rp_HS_C1 [μm]	3,235	3,685	5,510	3,960	1,430
	Rp_HS_C4 [μm]	3,275	4,078	5,200	2,660	1,060

Obrázek 46 Descriptive Statistics pro Rp horizontálně

Medián Rp u repliky dutiny nové formy při horizontálním řezu dosahuje v pozicích B1 a B4 téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rp repliky dutiny staré formy.

Results for: Stack Rp v pravá strana

Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts

Kruskal-wallis Test on C2

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
Rp_VN_A1 [µm]	30	4,250	195,7	0,83
Rp_VN_A4 [µm]	30	5,225	255,9	4,14
Rp_VN_B1 [µm]	30	5,440	277,5	5,33
Rp_VN_B4 [µm]	30	5,320	271,7	5,01
Rp_VN_C1 [µm]	30	5,840	293,2	6,20
Rp_VN_C4 [µm]	30	5,735	291,5	6,10
Rp_VS_A1 [µm]	30	3,365	126,4	-2,98
Rp_VS_A4 [µm]	30	3,220	125,3	-3,04
Rp_VS_B1 [µm]	30	2,725	82,1	-5,41
Rp_VS_B4 [µm]	30	2,620	61,2	-6,56
Rp_VS_C1 [µm]	30	2,765	69,6	-6,10
Rp_VS_C4 [µm]	30	3,095	116,2	-3,54
overall	360		180,5	

H = 263,19 DF = 11 P = 0,000
H = 263,20 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 47 Kruskal - Wallis pro Rp vertikálně

Descriptive Statistics: C2

variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	Rp_VN_A1 [µm]	30	4,327	0,182	0,999	23,08	2,490	3,623
	Rp_VN_A4 [µm]	30	5,278	0,174	0,953	18,06	3,790	4,615
	Rp_VN_B1 [µm]	30	5,683	0,197	1,081	19,02	3,370	4,965
	Rp_VN_B4 [µm]	30	5,589	0,199	1,089	19,49	4,100	5,030
	Rp_VN_C1 [µm]	30	6,055	0,226	1,239	20,46	3,930	5,308
	Rp_VN_C4 [µm]	30	6,123	0,255	1,397	22,81	4,550	4,948
	Rp_VS_A1 [µm]	30	3,356	0,125	0,683	20,36	2,230	2,938
	Rp_VS_A4 [µm]	30	3,339	0,104	0,571	17,09	2,560	2,855
	Rp_VS_B1 [µm]	30	2,919	0,135	0,739	25,30	1,910	2,383
	Rp_VS_B4 [µm]	30	2,6817	0,0982	0,5381	20,07	1,6900	2,4150
	Rp_VS_C1 [µm]	30	2,7213	0,0900	0,4928	18,11	1,6500	2,4475
	Rp_VS_C4 [µm]	30	3,272	0,139	0,761	23,26	1,700	2,830

variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	Rp_VN_A1 [µm]	4,250	5,188	6,940	4,450	1,565
	Rp_VN_A4 [µm]	5,225	5,760	7,460	3,670	1,145
	Rp_VN_B1 [µm]	5,440	6,183	9,240	5,870	1,218
	Rp_VN_B4 [µm]	5,320	6,140	8,760	4,660	1,110
	Rp_VN_C1 [µm]	5,840	6,988	9,420	5,490	1,680
	Rp_VN_C4 [µm]	5,735	7,178	9,900	5,350	2,230
	Rp_VS_A1 [µm]	3,365	3,753	5,670	3,440	0,815
	Rp_VS_A4 [µm]	3,220	3,743	4,950	2,390	0,887
	Rp_VS_B1 [µm]	2,725	3,335	4,700	2,790	0,952
	Rp_VS_B4 [µm]	2,6200	2,8925	4,3400	2,6500	0,4775
	Rp_VS_C1 [µm]	2,7650	3,0250	3,7300	2,0800	0,5775
	Rp_VS_C4 [µm]	3,095	3,688	4,920	3,220	0,858

Obrázek 48 Descriptive Statistics pro Rp vertikálně

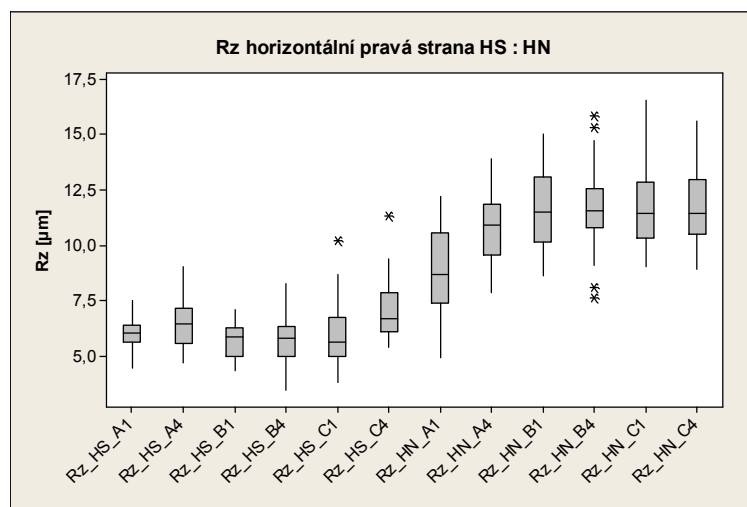
Medián Rp u repliky dutiny nové formy při vertikálním směru řezu dosahuje v pozicích B1, B4 a C1 téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rp repliky dutiny staré formy.

Rp	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Pravá strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 35 Hodnota P, pro parametr Rp

Hodnota $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítám nulovou hypotézu ve prospěch alternativní na konfidenční úrovni 95% s možností omylu 5%. \rightarrow hodnoty Rp nemají stejné mediány v horizontálním i vertikálním směru řezu.

3.3.5 Parametr Rz

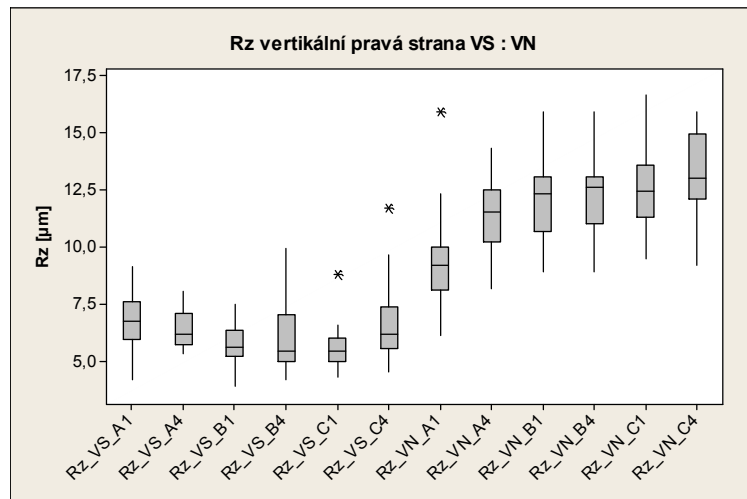


Obrázek 49 Rz HS : HN

Formulace hypotézy pro Rz horizontální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Rz_HS_A1} = M_{Rz_HS_A4} = M_{Rz_HS_B1} = M_{Rz_HS_B4} = M_{Rz_HS_C1} = M_{Rz_HS_C4} = M_{Rz_HN_A1} = M_{Rz_HN_A4} = M_{Rz_HN_B1} = M_{Rz_HN_B4} = M_{Rz_HN_C1} = M_{Rz_HN_C4}$$

$$H_A : NON$$



Obrázek 50 Rz VS : VN

Formulace hypotézy pro Rz vertikální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Rz_VS_A1} = M_{Rz_VS_A4} = M_{Rz_VS_B1} = M_{Rz_VS_B4} = M_{Rz_VS_C1} = M_{Rz_VS_C4} = M_{Rz_VN_A1} = M_{Rz_VN_A4} = M_{Rz_VN_B1} = M_{Rz_VN_B4} = M_{Rz_VN_C1} = M_{Rz_VN_C4}$$

$$H_A : NON$$

```
Results for: Stack Rz H pravá strana
Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts
Kruskal-wallis Test on C2
```

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
RZ_HN_A1 [µm]	30	8,685	206,5	1,43
RZ_HN_A4 [µm]	30	10,900	260,5	4,40
RZ_HN_B1 [µm]	30	11,500	280,0	5,47
RZ_HN_B4 [µm]	30	11,550	287,0	5,85
RZ_HN_C1 [µm]	30	11,450	281,8	5,57
RZ_HN_C4 [µm]	30	11,450	286,0	5,80
RZ_HS_A1 [µm]	30	6,025	85,5	-5,22
RZ_HS_A4 [µm]	30	6,450	111,7	-3,78
RZ_HS_B1 [µm]	30	5,845	72,8	-5,92
RZ_HS_B4 [µm]	30	5,800	76,5	-5,72
RZ_HS_C1 [µm]	30	5,625	80,7	-5,49
RZ_HS_C4 [µm]	30	6,695	136,9	-2,40
Overall	360		180,5	

H = 270,81 DF = 11 P = 0,000
H = 270,82 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 51 Kruskal-Wallis pro Rz horizontálně

Descriptive Statistics: C2								
variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	RZ_HN_A1 [µm]	30	9,005	0,341	1,868	20,74	4,900	7,408
	RZ_HN_A4 [µm]	30	10,801	0,285	1,560	14,44	7,880	9,553
	RZ_HN_B1 [µm]	30	11,532	0,309	1,694	14,68	8,630	10,150
	RZ_HN_B4 [µm]	30	11,747	0,342	1,871	15,93	7,620	10,800
	RZ_HN_C1 [µm]	30	11,660	0,330	1,810	15,52	9,040	10,325
	RZ_HN_C4 [µm]	30	11,825	0,340	1,863	15,75	8,910	10,500
	RZ_HS_A1 [µm]	30	5,951	0,137	0,750	12,60	4,430	5,600
	RZ_HS_A4 [µm]	30	6,478	0,196	1,074	16,58	4,670	5,595
	RZ_HS_B1 [µm]	30	5,722	0,136	0,742	12,97	4,320	4,963
	RZ_HS_B4 [µm]	30	5,805	0,190	1,039	17,90	3,480	4,968
	RZ_HS_C1 [µm]	30	5,911	0,248	1,357	22,95	3,840	5,008
	RZ_HS_C4 [µm]	30	7,053	0,237	1,300	18,44	5,370	6,075

variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	RZ_HN_A1 [µm]	8,685	10,525	12,200	7,300	3,118
	RZ_HN_A4 [µm]	10,900	11,850	13,900	6,020	2,298
	RZ_HN_B1 [µm]	11,500	13,050	15,000	6,370	2,900
	RZ_HN_B4 [µm]	11,550	12,550	15,800	8,180	1,750
	RZ_HN_C1 [µm]	11,450	12,850	16,500	7,460	2,525
	RZ_HN_C4 [µm]	11,450	12,950	15,600	6,690	2,450
	RZ_HS_A1 [µm]	6,025	6,388	7,520	3,090	0,788
	RZ_HS_A4 [µm]	6,450	7,158	9,040	4,370	1,563
	RZ_HS_B1 [µm]	5,845	6,298	7,080	2,760	1,335
	RZ_HS_B4 [µm]	5,800	6,350	8,270	4,790	1,383
	RZ_HS_C1 [µm]	5,625	6,730	10,200	6,360	1,723
	RZ_HS_C4 [µm]	6,695	7,883	11,300	5,930	1,808

Obrázek 52 Descriptive Statistics pro Rz horizontálně

Medián Rz u repliky dutiny nové formy při horizontálním směru řezu dosahuje v pozicích B1, B4, C1 a C4 téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rz repliky dutiny staré formy.

Results for: Stack Rz v pravá strana					
Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts					
Kruskal-wallis Test on C2					
Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z	
RZ_VN_A1 [µm]	30	9,195	199,1	1,02	
RZ_VN_A4 [µm]	30	11,500	255,6	4,13	
RZ_VN_B1 [µm]	30	12,300	278,7	5,40	
RZ_VN_B4 [µm]	30	12,600	281,9	5,57	
RZ_VN_C1 [µm]	30	12,400	288,1	5,91	
RZ_VN_C4 [µm]	30	13,000	303,7	6,77	
RZ_VS_A1 [µm]	30	6,755	122,4	-3,20	
RZ_VS_A4 [µm]	30	6,190	108,3	-3,97	
RZ_VS_B1 [µm]	30	5,585	74,5	-5,83	
RZ_VS_B4 [µm]	30	5,415	80,0	-5,52	
RZ_VS_C1 [µm]	30	5,430	64,0	-6,40	
RZ_VS_C4 [µm]	30	6,185	109,7	-3,89	
Overall	360		180,5		

H = 280,17 DF = 11 P = 0,000
H = 280,19 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 53 Kruskal-Wallis pro Rz vertikálně

Descriptive statistics: c2								
Variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
c2	RZ_VN_A1 [µm]	30	9,278	0,354	1,940	20,91	6,090	8,103
	RZ_VN_A4 [µm]	30	11,301	0,273	1,495	13,23	8,180	10,175
	RZ_VN_B1 [µm]	30	12,183	0,331	1,814	14,89	8,900	10,675
	RZ_VN_B4 [µm]	30	12,229	0,300	1,644	13,44	8,880	10,975
	RZ_VN_C1 [µm]	30	12,481	0,309	1,690	13,54	9,460	11,300
	RZ_VN_C4 [µm]	30	13,156	0,328	1,796	13,65	9,170	12,100
	RZ_VS_A1 [µm]	30	6,672	0,195	1,068	16,00	4,160	5,928
	RZ_VS_A4 [µm]	30	6,355	0,143	0,781	12,28	5,330	5,718
	RZ_VS_B1 [µm]	30	5,734	0,159	0,869	15,15	3,920	5,210
	RZ_VS_B4 [µm]	30	6,075	0,288	1,580	26,01	4,180	4,963
	RZ_VS_C1 [µm]	30	5,579	0,160	0,876	15,70	4,320	4,998
	RZ_VS_C4 [µm]	30	6,550	0,273	1,496	22,84	4,530	5,528
Variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR		
c2	RZ_VN_A1 [µm]	9,195	9,980	15,900	9,810	1,878		
	RZ_VN_A4 [µm]	11,500	12,500	14,300	6,120	2,325		
	RZ_VN_B1 [µm]	12,300	13,025	15,900	7,000	2,350		
	RZ_VN_B4 [µm]	12,600	13,050	15,900	7,020	2,075		
	RZ_VN_C1 [µm]	12,400	13,525	16,600	7,140	2,225		
	RZ_VN_C4 [µm]	13,000	14,900	15,900	6,730	2,800		
	RZ_VS_A1 [µm]	6,755	7,585	9,140	4,980	1,658		
	RZ_VS_A4 [µm]	6,190	7,060	8,020	2,690	1,342		
	RZ_VS_B1 [µm]	5,585	6,345	7,450	3,530	1,135		
	RZ_VS_B4 [µm]	5,415	7,043	9,920	5,740	2,080		
	RZ_VS_C1 [µm]	5,430	6,023	8,780	4,460	1,025		
	RZ_VS_C4 [µm]	6,185	7,380	11,700	7,170	1,853		

Obrázek 54 Descriptive Statistics pro Rz vertikálně

Medián Rz u repliky dutiny nové formy při vertikálním směru řezu dosahuje v pozicích B1, B4, C1 a C4 více jak dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rz repliky dutiny staré formy.

Rz	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Pravá strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 36 Hodnota P, pro parametr Rz

Hodnota $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítám nulovou hypotézu ve prospěch alternativní na konfidenční úrovni 95% s možností omylu 5%. \rightarrow hodnoty Rz nemají stejné mediány v horizontálním i vertikálním směru řezu.

3.4 Matematické vyhodnocení pomocí programu

Minitab 14 - levá strana

Z původních 201 řezů byly dle ČSN EN ISO 4288 odstraněny vychýlené hodnoty typu vměstků, škrábanců a trhlin. Následně byl počet řezů zredukován na 30 horizontálních a 30 vertikálních, rovnoměrně rozmístěných po ploše zkontrolovaného povrchu. Řezy byly podrobeny testu normality - Anderson Darling.

3.4.1 Test normalit naměřených dat Ra, Rp, Rv a Rz dle testu Anderson Darling pro N = 30

Pozice	Hodnoty P - Value pro dané parametry - stará forma							
	Rp_HS	Rp_VS	Rv_HS	Rv_VS	Rz_HS	Rz_VS	Ra_HS	Ra_VS
A2	0,473	0,903	0,286	0,572	0,529	0,707	0,513	0,31
A3	0,413	0,488	0,571	0,643	0,316	0,027	0,532	0,524
B2	0,019	0,464	0,61	0,025	0,339	0,865	0,814	0,94
B3	0,122	0,274	0,075	0,023	0,391	0,592	0,263	0,065
C2	0,005	0,102	0,041	0,005	0,029	0,645	0,309	0,844
C3	0,005	0,005	0,278	0,027	0,005	0,164	0,016	0,006

Tabulka 37 Hodnoty P - Value - Stará forma

Pozice	Hodnoty P - Value pro dané parametry - nová forma							
	Rp_HN	Rp_VN	Rv_HN	Rv_VN	Rz_HN	Rz_VN	Ra_HS	Ra_VS
A2	0,788	0,536	0,068	0,801	0,87	0,801	0,74	0,426
A3	0,609	0,147	0,737	0,046	0,897	0,8	0,093	0,186
B2	0,526	0,015	0,823	0,526	0,323	0,013	0,883	0,772
B3	0,005	0,005	0,038	0,688	0,098	0,623	0,43	0,516
C2	0,227	0,005	0,094	0,193	0,958	0,123	0,575	0,395
C3	0,148	0,382	0,338	0,076	0,467	0,725	0,969	0,311

Tabulka 38 Hodnoty P - Value - Nová forma

Z důvodu výskytu hodnot $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítám nulovou hypotézu normality \rightarrow hodnoty nepocházejí z normálního rozdělení na konfidenční úrovni 95% s možností omylu 5%. Z tohoto důvodu je nutné k dalšímu vyhodnocení porovnávat mediány pomocí testu

Kruskal-Wallis.

Zkoumané parametry: Ra, Rv, Rp a Rz.

Schéma porovnání:

A2_HS, A3_HS, B2_HS, B3_HS, C2_HS, C3_HS

:

A2_HN, A3_HN, B2_HN, B3_HN, C2_HN, C3_HN

a

A2_VS, A3_VS, B2_VS, B3_VS, C2_VS, C3_VS

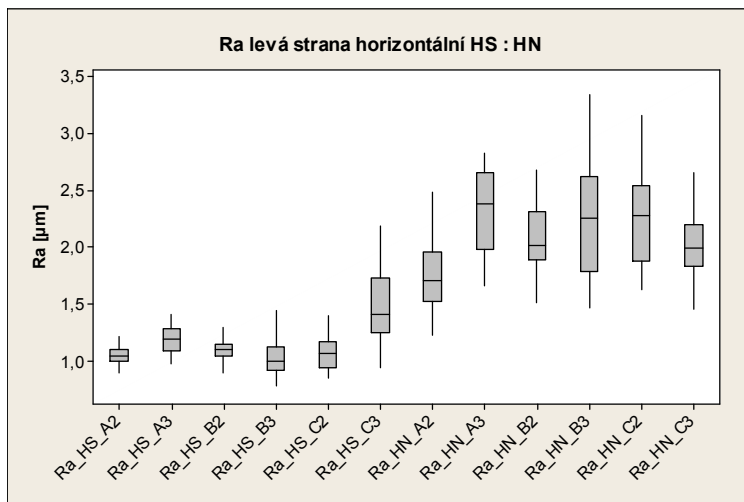
:

A2_VN, A3_VN, B2_VN, B3_VN, C2_VN, C3_VN

HS	⇒	Horizontální směr snímání - Stará forma
HN	⇒	Horizontální směr snímání – Nová forma
VS	⇓	Vertikální směr snímání – Stará forma
VN	⇓	Vertikální směr snímání – Nová forma

Tabulka 39 Legenda ke schématu porovnání

3.4.2 Parametr Ra

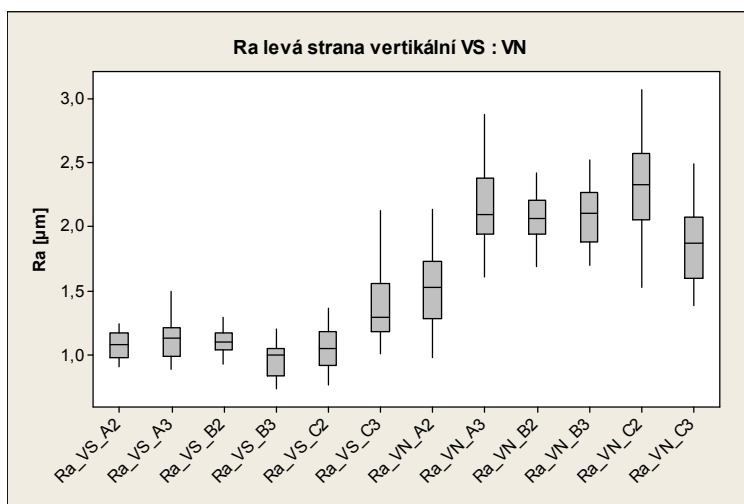


Obrázek 55 Ra HS : HN

Formulace hypotézy pro Rv horizontální směr - levá strana:

$$H_0 : M_{Ra_HS_A2} = M_{Ra_HS_A3} = M_{Ra_HS_B2} = M_{Ra_HS_B3} = M_{Ra_HS_C2} = M_{Ra_HS_C3} = \\ M_{Ra_HN_A2} = M_{Ra_HN_A3} = M_{Ra_HN_B2} = M_{Ra_HN_B3} = M_{Ra_HN_C2} = M_{Ra_HN_C3}$$

$$H_A : NON$$



Obrázek 56 Ra VS : VN

Formulace hypotézy pro Ra vertikální směr - levá strana:

$$H_0 : M_{Ra_VS_A2} = M_{Ra_VS_A3} = M_{Ra_VS_B2} = M_{Ra_VS_B3} = M_{Ra_VS_C2} = M_{Ra_VS_C3} = \\ M_{Ra_VN_A2} = M_{Ra_VN_A3} = M_{Ra_VN_B2} = M_{Ra_VN_B3} = M_{Ra_VN_C2} = M_{Ra_VN_C3}$$

$$H_A : NON$$

3.4.2.1 Kruskal-Wallis pro parametr Ra

Results for: Stack Ra H levá strana

Kruskal-Wallis Test: C2 versus Subscripts

Kruskal-Wallis Test on C2

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
Ra_HN_A2 [μm]	30	1,7000	214,7	1,88
Ra_HN_A3 [μm]	30	2,3800	297,7	6,44
Ra_HN_B2 [μm]	30	2,0100	261,6	4,46
Ra_HN_B3 [μm]	30	2,2550	282,3	5,59
Ra_HN_C2 [μm]	30	2,2750	286,9	5,85
Ra_HN_C3 [μm]	30	1,9900	257,4	4,23
Ra_HS_A2 [μm]	30	1,0400	67,5	-6,21
Ra_HS_A3 [μm]	30	1,1950	115,8	-3,56
Ra_HS_B2 [μm]	30	1,0950	84,5	-5,28
Ra_HS_B3 [μm]	30	0,9970	56,3	-6,83
Ra_HS_C2 [μm]	30	1,0650	73,9	-5,86
Ra_HS_C3 [μm]	30	1,4050	167,6	-0,71
Overall [μm]	360		180,5	

H = 283,17 DF = 11 P = 0,000
H = 283,20 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 57 Kruskal-Wallis pro Ra horizontálně

Descriptive Statistics: C2

Variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	Ra_HN_A2 [μm]	30	1,7497	0,0538	0,2946	16,84	1,2300	1,5200
	Ra_HN_A3 [μm]	30	2,3107	0,0635	0,3479	15,05	1,6600	1,9725
	Ra_HN_B2 [μm]	30	2,0510	0,0533	0,2921	14,24	1,5100	1,8825
	Ra_HN_B3 [μm]	30	2,2337	0,0826	0,4522	20,24	1,4700	1,7850
	Ra_HN_C2 [μm]	30	2,2587	0,0758	0,4153	18,39	1,6300	1,8800
	Ra_HN_C3 [μm]	30	2,0233	0,0495	0,2710	13,39	1,4500	1,8350
	Ra_HS_A2 [μm]	30	1,0565	0,0139	0,0759	7,19	0,8950	0,9985
	Ra_HS_A3 [μm]	30	1,1960	0,0233	0,1276	10,67	0,9790	1,0900
	Ra_HS_B2 [μm]	30	1,0975	0,0172	0,0944	8,60	0,8940	1,0400
	Ra_HS_B3 [μm]	30	1,0221	0,0279	0,1528	14,95	0,7860	0,9158
	Ra_HS_C2 [μm]	30	1,0738	0,0262	0,1432	13,34	0,8480	0,9445
	Ra_HS_C3 [μm]	30	1,4714	0,0620	0,3395	23,08	0,9430	1,2450

Variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	Ra_HN_A2 [μm]	1,7000	1,9525	2,4800	1,2500	0,4325
	Ra_HN_A3 [μm]	2,3800	2,6525	2,8200	1,1600	0,6800
	Ra_HN_B2 [μm]	2,0100	2,3100	2,6700	1,1600	0,4275
	Ra_HN_B3 [μm]	2,2550	2,6125	3,3400	1,8700	0,8275
	Ra_HN_C2 [μm]	2,2750	2,5400	3,1500	1,5200	0,6600
	Ra_HN_C3 [μm]	1,9900	2,1900	2,6500	1,2000	0,3550
	Ra_HS_A2 [μm]	1,0400	1,1025	1,2100	0,3150	0,1040
	Ra_HS_A3 [μm]	1,1950	1,2800	1,4100	0,4310	0,1900
	Ra_HS_B2 [μm]	1,0950	1,1450	1,2900	0,3960	0,1050
	Ra_HS_B3 [μm]	0,9970	1,1275	1,4400	0,6540	0,2117
	Ra_HS_C2 [μm]	1,0650	1,1725	1,4000	0,5520	0,2280
	Ra_HS_C3 [μm]	1,4050	1,7250	2,1800	1,2370	0,4800

Obrázek 58 Descriptive Statistics pro Ra horizontálně

Medián Ra u repliky dutiny nové formy při horizontálním směru řezu dosahuje téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Ra repliky dutiny staré formy. Výjimkou jsou pozice A2 a C3, kde rozdíly nejsou tak markantní.

```

Results for: Stack Ra v levá strana
Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts
Kruskal-wallis Test on C2
Subscripts      N   Median   Ave Rank   Z
Ra_VN_A2 [µm]   30   1,5200    190,4     0,54
Ra_VN_A3 [µm]   30   2,0950    288,2     5,92
Ra_VN_B2 [µm]   30   2,0600    278,2     5,37
Ra_VN_B3 [µm]   30   2,1000    281,0     5,52
Ra_VN_C2 [µm]   30   2,3300    310,1     7,13
Ra_VN_C3 [µm]   30   1,8750    244,7     3,53
Ra_VS_A2 [µm]   30   1,0750     85,5    -5,22
Ra_VS_A3 [µm]   30   1,1300    100,8    -4,38
Ra_VS_B2 [µm]   30   1,0950     93,8    -4,77
Ra_VS_B3 [µm]   30   0,9940     49,9    -7,18
Ra_VS_C2 [µm]   30   1,0450     76,0    -5,75
Ra_VS_C3 [µm]   30   1,2900    167,6    -0,71
overall          360          180,5

H = 286,21  DF = 11  P = 0,000
H = 286,24  DF = 11  P = 0,000 (adjusted for ties)

```

Obrázek 59 Kruskal-Wallis pro Ra vertikálně

```

Descriptive Statistics: C2
Variable  Subscripts      Total
C2        Ra_VN_A2 [µm]    Count
          Ra_VN_A3 [µm]    Mean
          Ra_VN_B2 [µm]    SE Mean
          Ra_VN_B3 [µm]    StDev
          Ra_VN_C2 [µm]    CoefVar
          Ra_VN_C3 [µm]    Minimum
          Ra_VS_A2 [µm]    Q1
          Ra_VS_A3 [µm]
          Ra_VS_B2 [µm]
          Ra_VS_B3 [µm]
          Ra_VS_C2 [µm]
          Ra_VS_C3 [µm]

Variable  Subscripts      Median   Q3   Maximum   Range   IQR
C2        Ra_VN_A2 [µm]    1,5200  1,7300  2,1300    1,1530  0,4500
          Ra_VN_A3 [µm]    2,0950  2,3775  2,8800    1,2700  0,4400
          Ra_VN_B2 [µm]    2,0600  2,2100  2,4200    0,7300  0,2700
          Ra_VN_B3 [µm]    2,1000  2,2650  2,5200    0,8200  0,3875
          Ra_VN_C2 [µm]    2,3300  2,5700  3,0700    1,5500  0,5175
          Ra_VN_C3 [µm]    1,8750  2,0775  2,4900    1,1100  0,4775
          Ra_VS_A2 [µm]    1,0750  1,1650  1,2400    0,3320  0,1885
          Ra_VS_A3 [µm]    1,1300  1,2150  1,4900    0,6050  0,2297
          Ra_VS_B2 [µm]    1,0950  1,1725  1,2900    0,3690  0,1375
          Ra_VS_B3 [µm]    0,9940  1,0500  1,2000    0,4690  0,2183
          Ra_VS_C2 [µm]    1,0450  1,1775  1,3600    0,5930  0,2663
          Ra_VS_C3 [µm]    1,2900  1,5600  2,1200    1,1100  0,3800

```

Obrázek 60 Descriptive Statistics pro Ra vertikálně

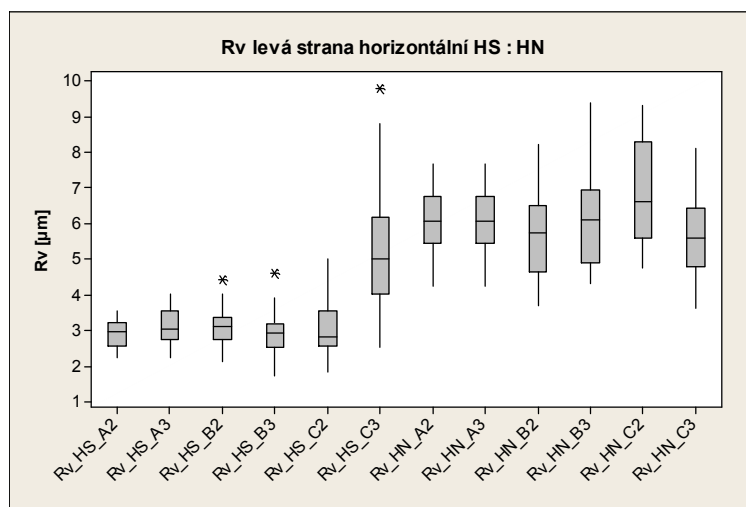
Medián Ra u repliky dutiny nové formy při vertikálním směru řezu dosahuje téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Ra repliky dutiny staré formy. Výjimkou jsou pozice A2 a C3, kde rozdíly nejsou tak markantní.

Ra	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Levá strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 40 Hodnota P, pro parametr Ra

Hodnota $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítám nulovou hypotézu ve prospěch alternativní na konfidenční úrovni 95% s možností omylu 5%. \rightarrow hodnoty Ra nemají stejné mediány v horizontálním i vertikálním směru řezu.

3.4.3 Parametr Rv

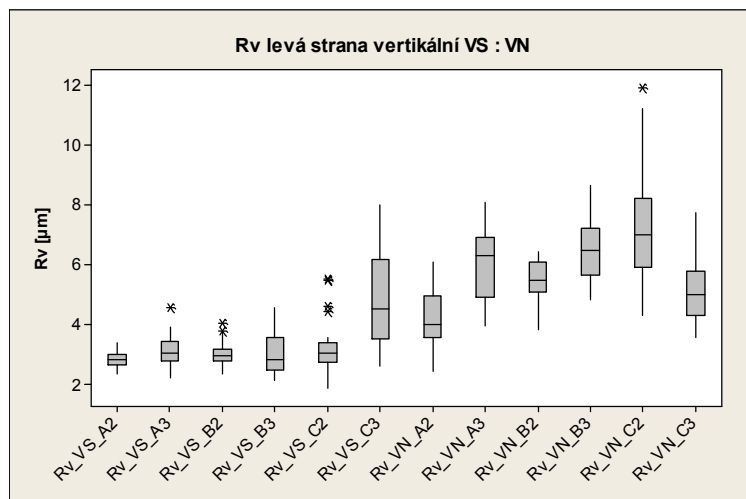


Obrázek 61 Rv HS : HN

Formulace hypotézy pro Rv horizontální směr - levá strana:

$$H_0 : M_{Rv_HS_A2} = M_{Rv_HS_A3} = M_{Rv_HS_B2} = M_{Rv_HS_B3} = M_{Rv_HS_C2} = M_{Rv_HS_C3} = M_{Rv_HN_A2} = M_{Rv_HN_A3} = M_{Rv_HN_B2} = M_{Rv_HN_B3} = M_{Rv_HN_C2} = M_{Rv_HN_C3}$$

$$H_A : NON$$



Obrázek 62 Rv VS : VN

$$H_0 : M_{Rv_VS_A2} = M_{Rv_VS_A3} = M_{Rv_VS_B2} = M_{Rv_VS_B3} = M_{Rv_VS_C2} = M_{Rv_VS_C3} = \\ M_{Rv_VN_A2} = M_{Rv_VN_A3} = M_{Rv_VN_B2} = M_{Rv_VN_B3} = M_{Rv_VN_C2} = M_{Rv_VN_C3}$$

$$H_A : NON$$

3.4.3.1 Kruskal-Wallis pro parametr Rv

```
Results for: Stack Rv H levá strana
Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts
Kruskal-wallis Test on C2
```

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
RV_HN_A2 [µm]	30	6,060	266,1	4,71
RV_HN_A3 [µm]	30	6,060	266,1	4,71
RV_HN_B2 [µm]	30	5,715	241,4	3,35
RV_HN_B3 [µm]	30	6,085	262,5	4,51
RV_HN_C2 [µm]	30	6,605	289,6	6,00
RV_HN_C3 [µm]	30	5,585	237,2	3,12
RV_HS_A2 [µm]	30	2,940	71,7	-5,98
RV_HS_A3 [µm]	30	3,040	91,6	-4,89
RV_HS_B2 [µm]	30	3,100	85,5	-5,22
RV_HS_B3 [µm]	30	2,920	73,6	-5,88
RV_HS_C2 [µm]	30	2,825	75,7	-5,76
RV_HS_C3 [µm]	30	4,995	205,0	1,35
Overall	360		180,5	

H = 254,81 DF = 11 P = 0,000
H = 254,82 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 63 Kruskal-Wallis pro Rv horizontálně

Descriptive Statistics: C2								
variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	RV_HN_A2 [µm]	30	6,092	0,152	0,833	13,67	4,230	5,435
	RV_HN_A3 [µm]	30	6,092	0,152	0,833	13,67	4,230	5,435
	RV_HN_B2 [µm]	30	5,687	0,210	1,149	20,21	3,670	4,628
	RV_HN_B3 [µm]	30	6,239	0,265	1,452	23,27	4,320	4,898
	RV_HN_C2 [µm]	30	6,853	0,261	1,430	20,87	4,750	5,590
	RV_HN_C3 [µm]	30	5,656	0,211	1,156	20,43	3,620	4,798
	RV_HS_A2 [µm]	30	2,8993	0,0703	0,3853	13,29	2,2200	2,5550
	RV_HS_A3 [µm]	30	3,1273	0,0875	0,4794	15,33	2,2100	2,7375
	RV_HS_B2 [µm]	30	3,0597	0,0932	0,5103	16,68	2,1000	2,7200
	RV_HS_B3 [µm]	30	2,9347	0,0974	0,5335	18,18	1,7000	2,5225
	RV_HS_C2 [µm]	30	2,994	0,122	0,669	22,34	1,840	2,548
	RV_HS_C3 [µm]	30	5,217	0,329	1,802	34,54	2,500	4,030
	variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR	
C2	RV_HN_A2 [µm]	6,060	6,740	7,650	3,420	1,305		
	RV_HN_A3 [µm]	6,060	6,740	7,650	3,420	1,305		
	RV_HN_B2 [µm]	5,715	6,490	8,210	4,540	1,863		
	RV_HN_B3 [µm]	6,085	6,938	9,380	5,060	2,040		
	RV_HN_C2 [µm]	6,605	8,300	9,310	4,560	2,710		
	RV_HN_C3 [µm]	5,585	6,440	8,110	4,490	1,642		
	RV_HS_A2 [µm]	2,9400	3,2000	3,5400	1,3200	0,6450		
	RV_HS_A3 [µm]	3,0400	3,5425	4,0200	1,8100	0,8050		
	RV_HS_B2 [µm]	3,1000	3,3525	4,4300	2,3300	0,6325		
	RV_HS_B3 [µm]	2,9200	3,1925	4,6100	2,9100	0,6700		
	RV_HS_C2 [µm]	2,825	3,545	5,000	3,160	0,998		
	RV_HS_C3 [µm]	4,995	6,165	9,770	7,270	2,135		

Obrázek 64 Descriptive Statistics pro Rv horizontálně

Medián Rv u repliky dutiny nové formy při horizontálním směru řezu dosahuje téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rv repliky dutiny staré formy. Výjimkou jsou pozice B2 a C3, kde rozdíly nejsou tak markantní.

Results for: Stack Rv V levá strana

Kruskal-wallis Test on C2

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
RV_VN_A2 [µm]	30	4,015	178,4	-0,12
RV_VN_A3 [µm]	30	6,320	272,3	5,05
RV_VN_B2 [µm]	30	5,485	250,9	3,87
RV_VN_B3 [µm]	30	6,485	294,4	6,26
RV_VN_C2 [µm]	30	6,995	309,8	7,11
RV_VN_C3 [µm]	30	5,015	234,4	2,96
RV_VS_A2 [µm]	30	2,845	65,9	-6,30
RV_VS_A3 [µm]	30	3,075	91,2	-4,91
RV_VS_B2 [µm]	30	2,960	84,3	-5,29
RV_VS_B3 [µm]	30	2,865	81,9	-5,42
RV_VS_C2 [µm]	30	3,060	95,5	-4,67
RV_VS_C3 [µm]	30	4,540	207,2	1,47
Overall	360		180,5	

H = 260,39 DF = 11 P = 0,000
H = 260,40 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 65 Kruskal-Wallis pro Rv vertikálně

Descriptive statistics: C2

Variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	RV_VN_A2 [µm]	30	4,224	0,163	0,891	21,08	2,460	3,563
	RV_VN_A3 [µm]	30	5,999	0,205	1,123	18,72	3,960	4,928
	RV_VN_B2 [µm]	30	5,490	0,117	0,639	11,64	3,840	5,080
	RV_VN_B3 [µm]	30	6,494	0,192	1,052	16,20	4,820	5,675
	RV_VN_C2 [µm]	30	7,219	0,318	1,744	24,15	4,310	5,935
	RV_VN_C3 [µm]	30	5,242	0,216	1,186	22,62	3,580	4,318
	RV_VS_A2 [µm]	30	2,8690	0,0502	0,2750	9,59	2,3700	2,6600
	RV_VS_A3 [µm]	30	3,1003	0,0988	0,5410	17,45	2,2500	2,7850
	RV_VS_B2 [µm]	30	3,0407	0,0759	0,4155	13,67	2,3600	2,8050
	RV_VS_B3 [µm]	30	3,044	0,116	0,635	20,85	2,160	2,520
	RV_VS_C2 [µm]	30	3,190	0,159	0,870	27,28	1,890	2,753
	RV_VS_C3 [µm]	30	4,826	0,277	1,517	31,43	2,630	3,545

variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	RV_VN_A2 [µm]	4,015	4,955	6,090	3,630	1,393
	RV_VN_A3 [µm]	6,320	6,923	8,100	4,140	1,995
	RV_VN_B2 [µm]	5,485	6,080	6,430	2,590	1,000
	RV_VN_B3 [µm]	6,485	7,213	8,650	3,830	1,537
	RV_VN_C2 [µm]	6,995	8,203	11,900	7,590	2,268
	RV_VN_C3 [µm]	5,015	5,783	7,740	4,160	1,465
	RV_VS_A2 [µm]	2,8450	3,0400	3,4100	1,0400	0,3800
	RV_VS_A3 [µm]	3,0750	3,4575	4,5800	2,3300	0,6725
	RV_VS_B2 [µm]	2,9600	3,2050	4,0600	1,7000	0,4000
	RV_VS_B3 [µm]	2,865	3,590	4,560	2,400	1,070
	RV_VS_C2 [µm]	3,060	3,390	5,550	3,660	0,637
	RV_VS_C3 [µm]	4,540	6,175	7,990	5,360	2,630

Obrázek 66 Descriptive Statistics pro Rv vertikálně

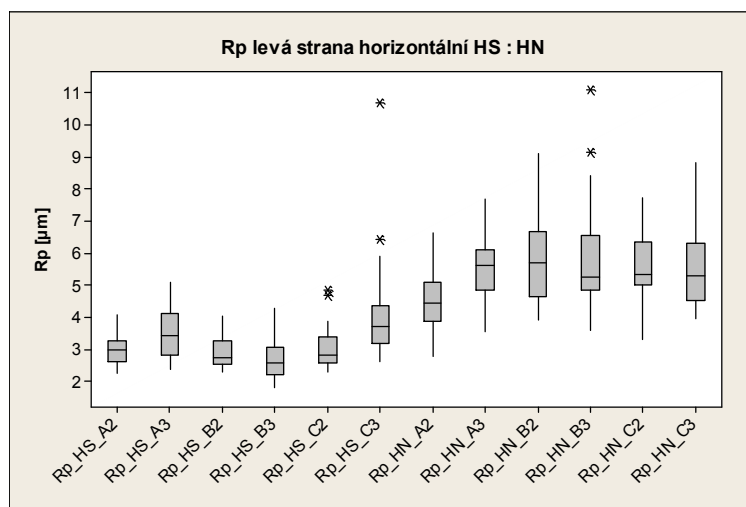
Medián Rv u repliky dutiny nové formy při vertikálním směru řezu dosahuje téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rv repliky dutiny staré formy. Výjimkou jsou pozice A2 a C3, kde rozdíly nejsou tak markantní.

Rv	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Levá strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 41 Hodnota P, pro parametr Rv

Hodnota $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítám nulovou hypotézu ve prospěch alternativní na konfidenční úrovni 95% s možností omylu 5%. \rightarrow hodnoty Rv nemají stejné mediány v horizontálním i vertikálním směru řezu.

3.4.4 Parametr Rp

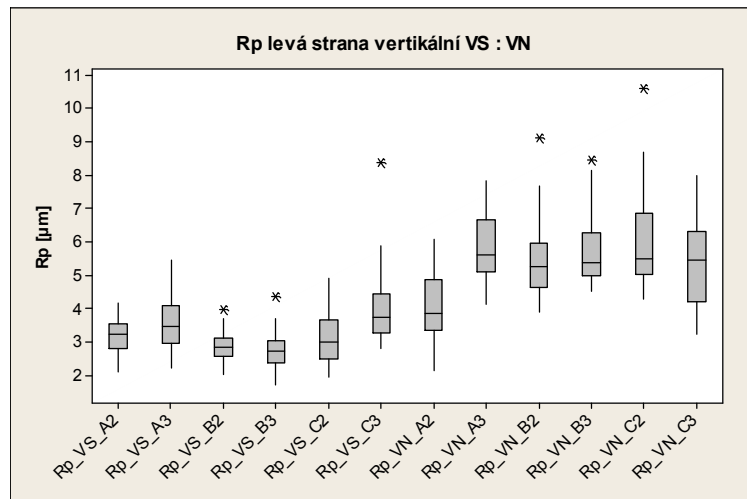


Obrázek 67 Rp HS : HN

Formulace hypotézy pro Rp horizontální směr - levá strana:

$$H_0 : M_{Rp_HS_A2} = M_{Rp_HS_A3} = M_{Rp_HS_B2} = M_{Rp_HS_B3} = M_{Rp_HS_C2} = M_{Rp_HS_C3} = M_{Rp_HN_A2} = M_{Rp_HN_A3} = M_{Rp_HN_B2} = M_{Rp_HN_B3} = M_{Rp_HN_C2} = M_{Rp_HN_C3}$$

$$H_A : NON$$



Obrázek 68 Rp VS : VN

Formulace hypotézy pro Rp vertikální směr - levá strana:

$$H_0 : M_{Rp_VS_A2} = M_{Rp_VS_A3} = M_{Rp_VS_B2} = M_{Rp_VS_B3} = M_{Rp_VS_C2} = M_{Rp_VS_C3} = M_{Rp_VN_A2} = M_{Rp_VN_A3} = M_{Rp_VN_B2} = M_{Rp_VN_B3} = M_{Rp_VN_C2} = M_{Rp_VN_C3}$$

$$H_A : NON$$

3.4.4.1 Kruskal-Wallis pro parametr Rp

```

Results for: stack Rp H levá strana
Kruskal-wallis Test: C2 versus subscripts
Kruskal-wallis Test on C2
Subscripts      N   Median   Ave Rank     Z
Rp_HN_A2        30   4,415    200,1      1,08
Rp_HN_A3        30   5,600    273,3      5,10
Rp_HN_B2        30   5,675    277,0      5,30
Rp_HN_B3        30   5,255    274,5      5,17
Rp_HN_C2        30   5,335    270,0      4,92
Rp_HN_C3        30   5,275    266,6      4,73
Rp_HS_A2        30   2,980     88,8     -5,04
Rp_HS_A3        30   3,400    129,0     -2,83
Rp_HS_B2        30   2,730     76,7     -5,71
Rp_HS_B3        30   2,565     59,0     -6,68
Rp_HS_C2        30   2,805     85,5     -5,22
Rp_HS_C3        30   3,680    165,5     -0,82
Overall         360
H = 244,95   DF = 11   P = 0,000
H = 244,96   DF = 11   P = 0,000 (adjusted for ties)
    
```

Obrázek 69 Kruskal-Wallis pro Rp horizontálně

Descriptive statistics: C2								
variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	Rp_HN_A2 [µm]	30	4,399	0,171	0,935	21,25	2,770	3,863
	Rp_HN_A3 [µm]	30	5,559	0,184	1,010	18,18	3,550	4,823
	Rp_HN_B2 [µm]	30	5,774	0,237	1,300	22,52	3,900	4,650
	Rp_HN_B3 [µm]	30	5,879	0,302	1,655	28,15	3,590	4,853
	Rp_HN_C2 [µm]	30	5,551	0,207	1,132	20,39	3,300	4,983
	Rp_HN_C3 [µm]	30	5,471	0,201	1,099	20,10	3,960	4,518
	Rp_HS_A2 [µm]	30	3,0073	0,0880	0,4820	16,03	2,2400	2,5875
	Rp_HS_A3 [µm]	30	3,496	0,144	0,788	22,53	2,340	2,820
	Rp_HS_B2 [µm]	30	2,8900	0,0860	0,4711	16,30	2,2600	2,5275
	Rp_HS_B3 [µm]	30	2,685	0,114	0,626	23,32	1,780	2,213
	Rp_HS_C2 [µm]	30	3,002	0,119	0,651	21,69	2,280	2,555
	Rp_HS_C3 [µm]	30	4,079	0,282	1,545	37,87	2,590	3,153
variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR		
C2	Rp_HN_A2 [µm]	4,415	5,065	6,620	3,850	1,203		
	Rp_HN_A3 [µm]	5,600	6,085	7,670	4,120	1,263		
	Rp_HN_B2 [µm]	5,675	6,660	9,120	5,220	2,010		
	Rp_HN_B3 [µm]	5,255	6,558	11,100	7,510	1,705		
	Rp_HN_C2 [µm]	5,335	6,328	7,730	4,430	1,345		
	Rp_HN_C3 [µm]	5,275	6,300	8,830	4,870	1,783		
	Rp_HS_A2 [µm]	2,9800	3,2575	4,0800	1,8400	0,6700		
	Rp_HS_A3 [µm]	3,400	4,113	5,070	2,730	1,293		
	Rp_HS_B2 [µm]	2,7300	3,2550	4,0200	1,7600	0,7275		
	Rp_HS_B3 [µm]	2,565	3,040	4,260	2,480	0,827		
	Rp_HS_C2 [µm]	2,805	3,383	4,830	2,550	0,828		
	Rp_HS_C3 [µm]	3,680	4,340	10,700	8,110	1,187		

Obrázek 70 Descriptive Statistics pro Rp horizontálně

Medián Rp u repliky dutiny nové formy při horizontálním směru řezu dosahuje téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rp repliky dutiny staré formy. Výjimkou jsou pozice A2 a C3, kde rozdíly nejsou tak markantní.

Results for: stack Rp v levá strana

Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts

Kruskal-wallis Test on C2

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
Rp_VN_A2 [μm]	30	3,860	167,5	-0,72
Rp_VN_A3 [μm]	30	5,590	284,2	5,70
Rp_VN_B2 [μm]	30	5,245	262,8	4,52
Rp_VN_B3 [μm]	30	5,355	280,5	5,50
Rp_VN_C2 [μm]	30	5,480	285,8	5,79
Rp_VN_C3 [μm]	30	5,450	259,7	4,35
Rp_VS_A2 [μm]	30	3,215	96,3	-4,63
Rp_VS_A3 [μm]	30	3,455	134,2	-2,55
Rp_VS_B2 [μm]	30	2,830	72,6	-5,93
Rp_VS_B3 [μm]	30	2,705	59,7	-6,64
Rp_VS_C2 [μm]	30	3,005	93,8	-4,77
Rp_VS_C3 [μm]	30	3,720	169,1	-0,63
Overall	360		180,5	

H = 244,19 DF = 11 P = 0,000
H = 244,20 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 71 Kruskal-Wallis pro Rp vertikálně

Descriptive Statistics: C2

Variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	Rp_VN_A2 [μm]	30	4,017	0,183	1,002	24,94	2,140	3,338
	Rp_VN_A3 [μm]	30	5,770	0,184	1,007	17,45	4,110	5,113
	Rp_VN_B2 [μm]	30	5,457	0,207	1,136	20,81	3,900	4,648
	Rp_VN_B3 [μm]	30	5,777	0,198	1,084	18,76	4,510	4,985
	Rp_VN_C2 [μm]	30	5,976	0,251	1,375	23,00	4,290	5,028
	Rp_VN_C3 [μm]	30	5,394	0,225	1,231	22,83	3,230	4,213
	Rp_VS_A2 [μm]	30	3,1373	0,0920	0,5041	16,07	2,0900	2,8125
	Rp_VS_A3 [μm]	30	3,595	0,146	0,802	22,32	2,220	2,955
	Rp_VS_B2 [μm]	30	2,8807	0,0826	0,4523	15,70	2,0200	2,5500
	Rp_VS_B3 [μm]	30	2,725	0,110	0,600	22,02	1,700	2,385
	Rp_VS_C2 [μm]	30	3,130	0,147	0,803	25,67	1,930	2,500
	Rp_VS_C3 [μm]	30	4,083	0,214	1,173	28,72	2,820	3,288

variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	Rp_VN_A2 [μm]	3,860	4,880	6,060	3,920	1,543
	Rp_VN_A3 [μm]	5,590	6,655	7,840	3,730	1,542
	Rp_VN_B2 [μm]	5,245	5,968	9,100	5,200	1,320
	Rp_VN_B3 [μm]	5,355	6,278	8,440	3,930	1,292
	Rp_VN_C2 [μm]	5,480	6,873	10,600	6,310	1,845
	Rp_VN_C3 [μm]	5,450	6,293	7,980	4,750	2,080
	Rp_VS_A2 [μm]	3,2150	3,5400	4,1800	2,0900	0,7275
	Rp_VS_A3 [μm]	3,455	4,085	5,460	3,240	1,130
	Rp_VS_B2 [μm]	2,8300	3,1025	3,9900	1,9700	0,5525
	Rp_VS_B3 [μm]	2,705	3,048	4,350	2,650	0,663
	Rp_VS_C2 [μm]	3,005	3,658	4,900	2,970	1,158
	Rp_VS_C3 [μm]	3,720	4,455	8,380	5,560	1,168

Obrázek 72 Descriptive Statistics pro Rp vertikálně

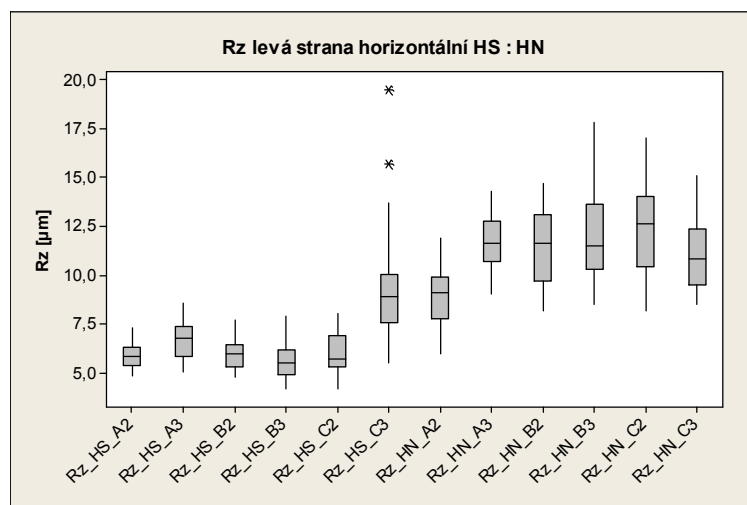
Medián Rp u repliky dutiny nové formy při vertikálním směru řezu dosahuje v pozicích B2 a B3 téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rp repliky dutiny staré formy.

Rp	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Levá strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 42 Hodnota P, pro parametr Rp

Hodnota $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítám nulovou hypotézu ve prospěch alternativní na konfidenční úrovni 95% s možností omylu 5%. \rightarrow hodnoty Rp nemají stejné mediány v horizontálním i vertikálním směru řezu.

3.4.5 Parametr Rz

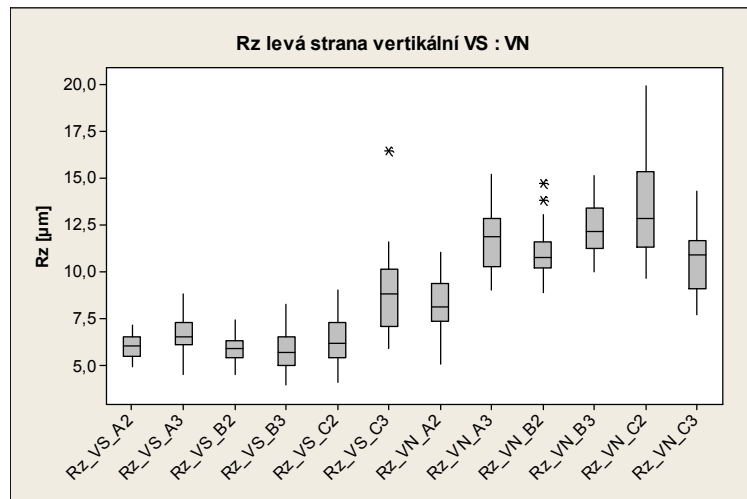


Obrázek 73 Rz HS : HN

Formulace hypotézy pro Rz horizontální směr - levá strana:

$$H_0 : M_{Rz_HS_A2} = M_{Rz_HS_A3} = M_{Rz_HS_B2} = M_{Rz_HS_B3} = M_{Rz_HS_C2} = M_{Rz_HS_C3} = \\ M_{Rz_HN_A2} = M_{Rz_HN_A3} = M_{Rz_HN_B2} = M_{Rz_HN_B3} = M_{Rz_HN_C2} = M_{Rz_HN_C3}$$

$$H_A : NON$$



Obrázek 74 Rz VS : VN

Formulace hypotézy pro Rz vertikální směr - levá strana:

$$H_0 : M_{Rz_VS_A2} = M_{Rz_VS_A3} = M_{Rz_VS_B2} = M_{Rz_VS_B3} = M_{Rz_VS_C2} = M_{Rz_VS_C3} = M_{Rz_VN_A2} = M_{Rz_VN_A3} = M_{Rz_VN_B2} = M_{Rz_VN_B3} = M_{Rz_VN_C2} = M_{Rz_VN_C3}$$

$$H_A : NON$$

3.4.5.1 Kruskal-Wallis pro parametr Rz

```

Results for: Stack Rz H levá strana
Kruskal-wallis Test: c2 versus subscripts
Kruskal-wallis Test on c2
Subscripts      N  Median  Ave Rank  Z
RZ_HN_A2 [µm]   30  9,085   194,2    0,75
RZ_HN_A3 [µm]   30 11,650   276,7    5,29
RZ_HN_B2 [µm]   30 11,600   270,3    4,93
RZ_HN_B3 [µm]   30 11,500   279,3    5,43
RZ_HN_C2 [µm]   30 12,600   292,4    6,15
RZ_HN_C3 [µm]   30 10,850   260,0    4,37
RZ_HS_A2 [µm]   30  5,850    75,0   -5,80
RZ_HS_A3 [µm]   30  6,765   110,0   -3,87
RZ_HS_B2 [µm]   30  5,950    78,2   -5,63
RZ_HS_B3 [µm]   30  5,500    58,4   -6,71
RZ_HS_C2 [µm]   30  5,695    76,6   -5,71
RZ_HS_C3 [µm]   30  8,910   194,9    0,79
Overall          360                180,5

H = 273,06  DF = 11  P = 0,000
H = 273,08  DF = 11  P = 0,000 (adjusted for ties)
    
```

Obrázek 75 Kruskal-Wallis pro Rz horizontálně

Descriptive statistics: c2								
Variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
c2	RZ_HN_A2 [μm]	30	8,958	0,281	1,540	17,19	5,980	7,790
	RZ_HN_A3 [μm]	30	11,647	0,256	1,404	12,05	9,020	10,700
	RZ_HN_B2 [μm]	30	11,458	0,341	1,870	16,32	8,180	9,668
	RZ_HN_B3 [μm]	30	12,117	0,461	2,525	20,84	8,500	10,300
	RZ_HN_C2 [μm]	30	12,403	0,391	2,144	17,28	8,190	10,450
	RZ_HN_C3 [μm]	30	11,129	0,319	1,750	15,72	8,480	9,480
	RZ_HS_A2 [μm]	30	5,907	0,117	0,643	10,89	4,800	5,345
	RZ_HS_A3 [μm]	30	6,624	0,171	0,939	14,18	5,040	5,835
	RZ_HS_B2 [μm]	30	5,949	0,130	0,714	12,00	4,750	5,315
	RZ_HS_B3 [μm]	30	5,621	0,166	0,910	16,19	4,150	4,920
	RZ_HS_C2 [μm]	30	5,994	0,176	0,964	16,08	4,170	5,328
	RZ_HS_C3 [μm]	30	9,297	0,545	2,984	32,09	5,500	7,528
Variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR		
c2	RZ_HN_A2 [μm]	9,085	9,898	11,900	5,920	2,108		
	RZ_HN_A3 [μm]	11,650	12,725	14,300	5,280	2,025		
	RZ_HN_B2 [μm]	11,600	13,100	14,700	6,520	3,432		
	RZ_HN_B3 [μm]	11,500	13,650	17,800	9,300	3,350		
	RZ_HN_C2 [μm]	12,600	14,000	17,000	8,810	3,550		
	RZ_HN_C3 [μm]	10,850	12,350	15,100	6,620	2,870		
	RZ_HS_A2 [μm]	5,850	6,290	7,320	2,520	0,945		
	RZ_HS_A3 [μm]	6,765	7,348	8,570	3,530	1,512		
	RZ_HS_B2 [μm]	5,950	6,420	7,720	2,970	1,105		
	RZ_HS_B3 [μm]	5,500	6,135	7,880	3,730	1,215		
	RZ_HS_C2 [μm]	5,695	6,903	8,060	3,890	1,575		
	RZ_HS_C3 [μm]	8,910	10,038	19,500	14,000	2,510		

Obrázek 76 Descriptive Statistics pro Rz horizontálně

Medián Rz u repliky dutiny nové formy při horizontálním směru řezu dosahuje v pozicích B2, B3 a C2 téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rz repliky dutiny staré formy.

Results for: Stack Rz v levá strana

Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts

Kruskal-wallis Test on C2

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
RZ_VN_A2 [μm]	30	8,100	168,7	-0,65
RZ_VN_A3 [μm]	30	11,850	281,9	5,57
RZ_VN_B2 [μm]	30	10,750	257,8	4,25
RZ_VN_B3 [μm]	30	12,150	297,5	6,43
RZ_VN_C2 [μm]	30	12,800	308,9	7,06
RZ_VN_C3 [μm]	30	10,850	248,6	3,74
RZ_VS_A2 [μm]	30	6,055	76,0	-5,74
RZ_VS_A3 [μm]	30	6,490	110,5	-3,85
RZ_VS_B2 [μm]	30	5,880	70,8	-6,03
RZ_VS_B3 [μm]	30	5,710	65,9	-6,30
RZ_VS_C2 [μm]	30	6,175	91,4	-4,90
RZ_VS_C3 [μm]	30	8,805	188,0	0,41
Overall	360		180,5	

H = 277,55 DF = 11 P = 0,000
H = 277,57 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)

Obrázek 77 Kruskal-Wallis pro Rz vertikálně

Descriptive Statistics: C2

Variable	Subscripts	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1
C2	RZ_VN_A2 [μm]	30	8,242	0,286	1,564	18,98	5,060	7,375
	RZ_VN_A3 [μm]	30	11,768	0,304	1,667	14,16	8,980	10,275
	RZ_VN_B2 [μm]	30	10,951	0,226	1,238	11,31	8,870	10,200
	RZ_VN_B3 [μm]	30	12,263	0,259	1,420	11,58	10,000	11,250
	RZ_VN_C2 [μm]	30	13,205	0,442	2,420	18,33	9,610	11,300
	RZ_VN_C3 [μm]	30	10,632	0,342	1,871	17,60	7,680	9,075
	RZ_VS_A2 [μm]	30	6,005	0,118	0,644	10,72	4,910	5,445
	RZ_VS_A3 [μm]	30	6,696	0,196	1,072	16,00	4,480	6,088
	RZ_VS_B2 [μm]	30	5,922	0,116	0,637	10,76	4,510	5,375
	RZ_VS_B3 [μm]	30	5,769	0,181	0,989	17,15	3,940	5,015
	RZ_VS_C2 [μm]	30	6,320	0,237	1,299	20,56	4,090	5,383
	RZ_VS_C3 [μm]	30	8,921	0,395	2,165	24,27	5,860	7,048

Variable	Subscripts	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
C2	RZ_VN_A2 [μm]	8,100	9,355	11,000	5,940	1,980
	RZ_VN_A3 [μm]	11,850	12,850	15,200	6,220	2,575
	RZ_VN_B2 [μm]	10,750	11,600	14,700	5,830	1,400
	RZ_VN_B3 [μm]	12,150	13,350	15,100	5,100	2,100
	RZ_VN_C2 [μm]	12,800	15,300	19,900	10,290	4,000
	RZ_VN_C3 [μm]	10,850	11,675	14,300	6,620	2,600
	RZ_VS_A2 [μm]	6,055	6,520	7,150	2,240	1,075
	RZ_VS_A3 [μm]	6,490	7,263	8,810	4,330	1,175
	RZ_VS_B2 [μm]	5,880	6,288	7,440	2,930	0,912
	RZ_VS_B3 [μm]	5,710	6,508	8,250	4,310	1,493
	RZ_VS_C2 [μm]	6,175	7,245	9,010	4,920	1,862
	RZ_VS_C3 [μm]	8,805	10,125	16,400	10,540	3,078

Obrázek 78 Descriptive Statistics pro Rz vertikálně

Medián Rz u repliky dutiny nové formy při vertikálním směru řezu dosahuje v pozicích B2, B3 a C2 téměř dvojnásobných hodnot, oproti mediánu Rz repliky dutiny staré formy.

4 VYPRACUJTE METODOLOGICKÉ POSTUPY, VČETNĚ FINANČNÍCH KALKULŮ JEDNOTLIVÝCH METOD

4.1 Dentakryl

Finální použitá směs dentakrylu je Stomaflex Light. Jedná se o korekční otiskovací materiál nízké viskozity, pro otiskování technikou dvojího míchání.

Vlastnosti a výhody:

- jednoduché dávkování a krátká doba mísení díky gelovému katalyzátoru
- snadná kontrola homogenity namíseného materiálu s barevně kontrastním katalyzátorem
- snížená interakce s latexovými rukavicemi
- vynikající reprodukce detailu i ve vlhkém prostředí
- dokonalá kvalita každého otisku

[8]

4.1.1 Tvorba replik pomocí dentálních silikonových hmot

Před samotnou replikací pomocí dentálních silikonových hmot je nutné mít důkladně vyčištěnou dutinu formy. Nejdříve jsem tedy odstranil mechanické nečistoty pomocí párátko a štětce. Tlakovou pistolí jsem vyfoukal prachové částice a dutinu formy jsem zbavil mastnoty pomocí lihu.



Obrázek 79 Vyčištěná dutina formy

Pro vytvoření replik byly zvoleny dvě odlišné směsi dentakrylu. První replika je vytvořena pomocí vynilpolysiloxanové otiskovací hmoty vysoké viskozity ImpressFlex VPS Putty vyznačující se matně šedým odstínem.



Obrázek 80 ImpressFlex VPS Putty

Doporučená cena sady báze a katalyzátoru je 1056 Kč.

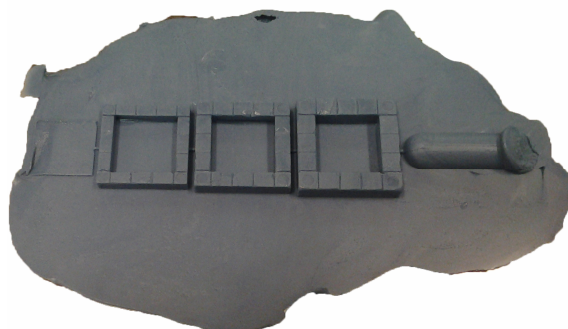
4.1.1.1 Postup tvorby repliky č. 1:

1. Přichystáme si bázi (modrá) a katalyzátor (šedá) v poměru 1:1.
2. Obě složky zpracujeme v homogenní hmotu a natlačíme do dutiny formy.



Obrázek 81 Aplikace dentakrylu do dutiny formy

3. Vyčkáme cca 3 - 5 minut, než směs ztuhne, a pak ji opatrně přes hranu vytáhneme z dutiny.



Obrázek 82 Replika dutiny formy pomocí ImpressFlex VPS Putty

4.1.1.2 Postup tvorby repliky č. 2

Replika č. 2 je vytvořena pomocí kondenzační silikonové otiskovací hmoty Stomaflex Light.

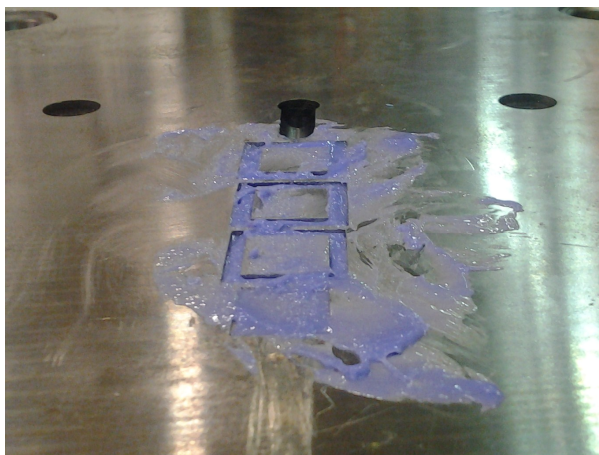
Na první pohled ji rozeznáme nejen díky modrému zbarvení, ale i jasně lesklejšímu povrchu.



Obrázek 83 Stomaflex Light

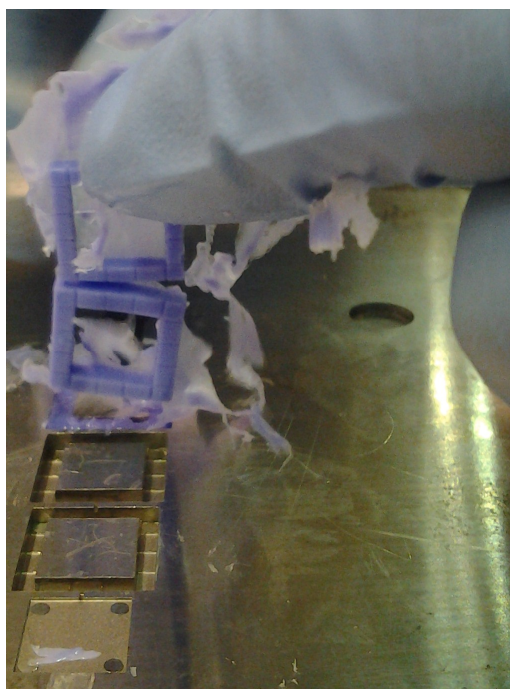
Doporučená cena sady báze a katalyzátoru je 440 Kč.

1. Pro zajištění správného poměru báze a katalyzátoru výrobce dodává speciální míchací kartičky, na které nanese vrstvu báze a vrstvu katalyzátoru do vyznačených kolonek a promícháme v homogenní hmotu
2. Zpracovanou hmotu natlačíme do dutiny formy



Obrázek 84 Aplikace dentakrylu do dutiny formy

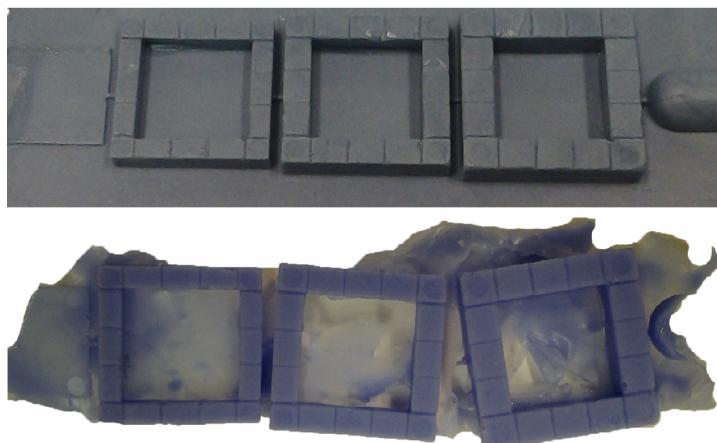
3. Po 3 - 5 minutách, až hmota ztuhne, ji opatrně přes hranu vyjmeme z dutiny formy



Obrázek 85 Vyjmutí repliky z dutiny formy

4.1.1.3 Porovnání vlastností směsí dentakrylu

Již pouhou vizuální kontrolou jsme schopni rozeznat, že replika č. 2 (modrá) má jemnější strukturu s méně trhlinami a tím pádem i vyšší výpovědní hodnotu než replika č. 1 (šedá). Tento rozdíl je dán menší viskozitou Stomaflex Light oproti ImpressFlex VPS Putty, díky které směs snadněji zatéká a vyplní prostor dutinky formy. Příjemným faktem je i to, že cena pro naše účely vhodnější sady Stomaflex Light je poloviční oproti ImpressFlex VPS Putty.



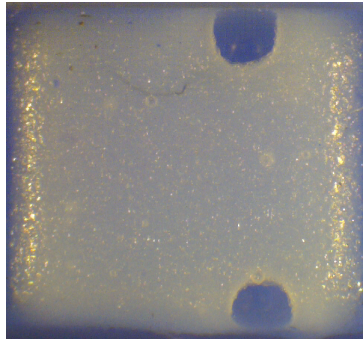
Obrázek 86 ImpressFlex VPS Putty (šedá) : Stomaflex Light (modrá)

Pro porovnání byla použita vlastní replika vytvořená 11. 10. 2012 na rok používané formě s neznámou předepsanou drsností, která bude předmětem zjištění a replika z nové nepoužité formy vytvořený 13. 2. 2013. Obě repliky byly zhotoveny ze směsi Stomaflex Light.

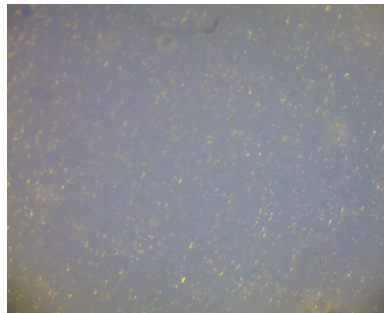


Obrázek 87 Vlastní replika ze staré formy : replika z nové formy

Repliky jsem pozoroval pod mikroskopem při 10x a 30x násobném zvětšení.

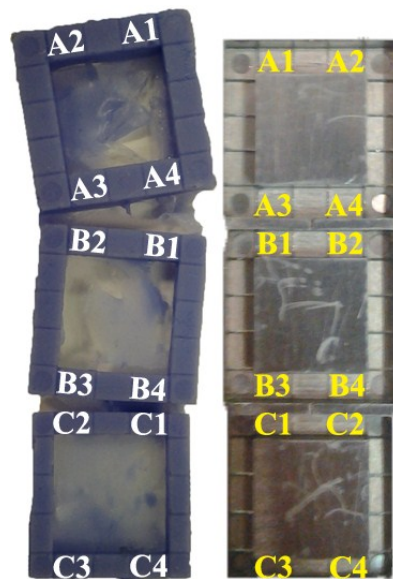


Obrázek 88 10x násobné zvětšení pozice A1 - replika nové formy



Obrázek 89 30x násobné zvětšení pozice A1 - replika nové formy

Pomocí mikroskopických snímků jsem zjistil vady na replikách, které v dalším postupu budu posuzovat dle ČSN EN ISO 4288, abych zamezil zkreslení výsledků. Hlavní vady replik byly vměstky (miniaturní štětinky ze štětce, kterým byla dutina formy čištěna) a rýhy způsobené vyjímáním replik z dutiny formy. Povrch otisku jsem rozdělil na 3 oblasti A, B a C. Z každé oblasti jsem zvolil čtyři pozice. Získal jsem tak 12 pozic, které jsem podrobil 3D snímání povrchu na přístroji Taylor Hobson - Talysurf CLI 500.

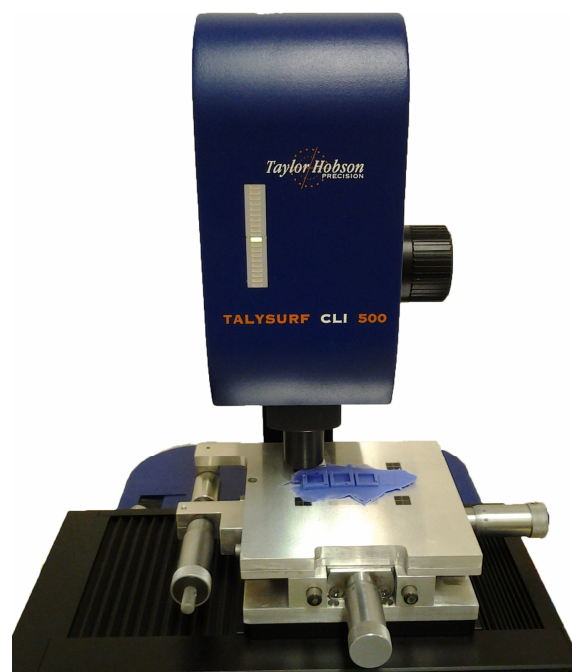


Obrázek 90 Pozice na replice vlevo odpovídající dutině formy vpravo

Ve vyhodnocování v programu Minitab budu každou repliku dělit na pravou a levou stranu.

Tedy pozice A1, A4, B1, B4, C1, C4 : A2, A3, B2, B3, C2, C3.

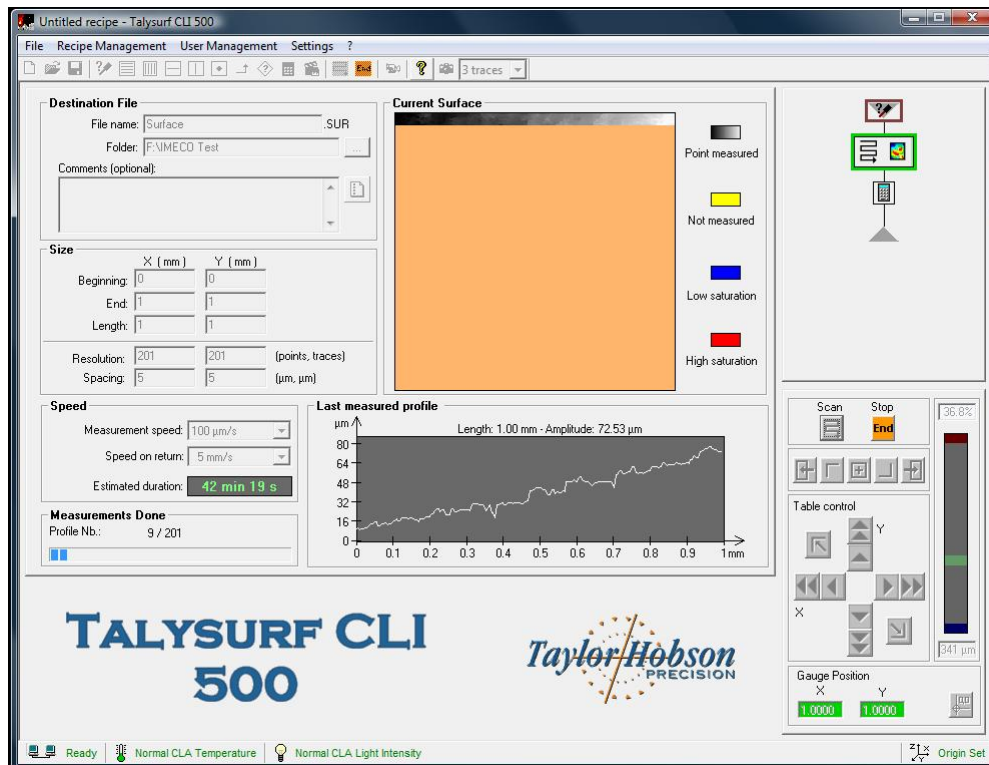
Celý postup vyhodnocení popíšu u pozice A1 repliky dutiny nové formy.



Obrázek 91 3D snímání povrchu pomocí Taylor Hobson - Talysurf CLI 500

4.1.2 Nastavení podmínek snímání:

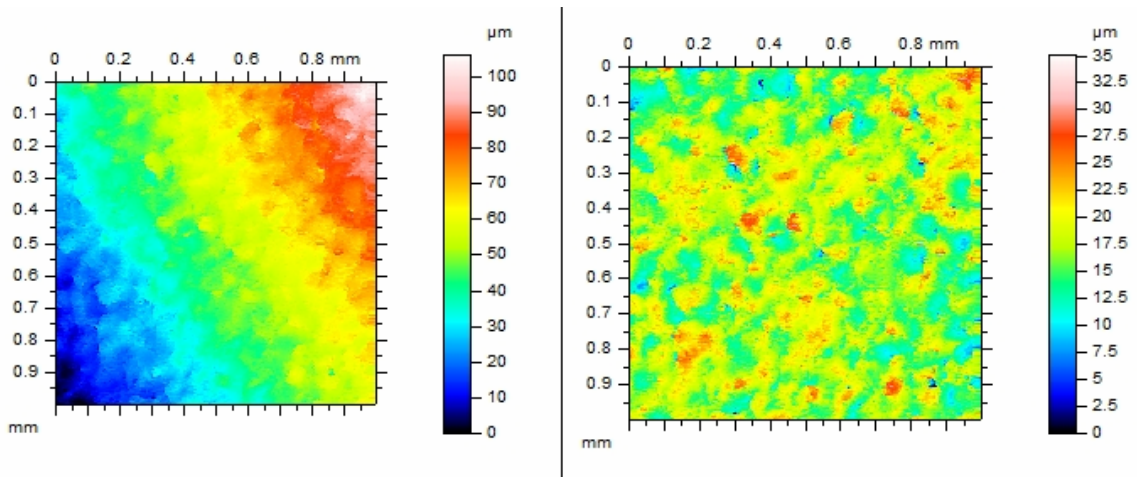
Ze všech 12ti zvolených oblastí byl v podélném směru snímán povrch o rozloze 1 mm² pomocí 201 řezů při rychlosti snímání 100 μm/s a velikosti kroku 5 μm. Každé snímání trvalo 45 minut.



Obrázek 92 Ukázka nastavení programu

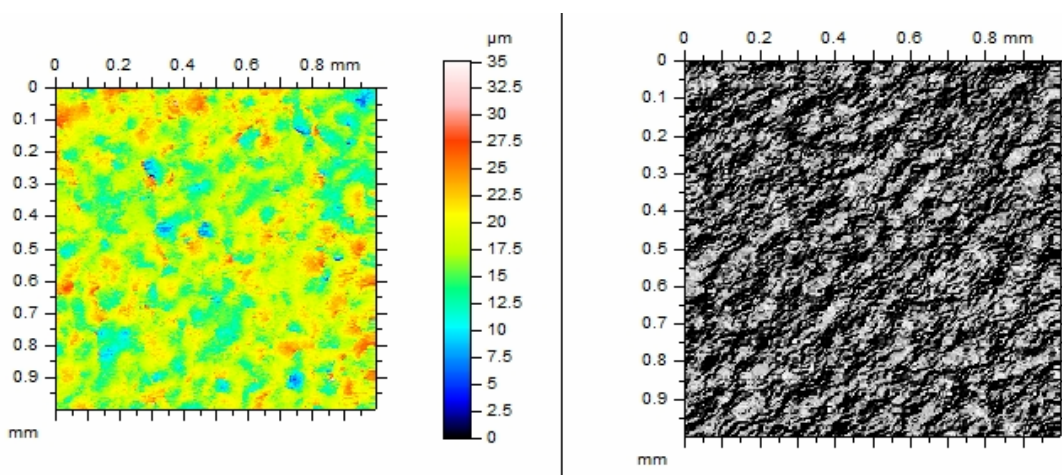
4.1.2.1 Talymap Gold:

Po ukončení 3D skenování program Talysurf CLI 500 automaticky přeposílá data do programu Talymap Gold k následné analýze v podobě základního snímku. Po nasnímání povrchů obou otisků jsem v programu Talymap Gold s každým základním snímkem provedl vyrovnání.



Obrázek 93 Základní snímek 3D povrchu / vyrovaný snímek

Jelikož naskenovaný povrch byl negativ dutiny formy, musel jsem ho invertovat v ose Zet, tak abych získal snímek reálného povrchu. Pomocí funkce Photo Simulation jsem zhotovil kontrastní snímek.

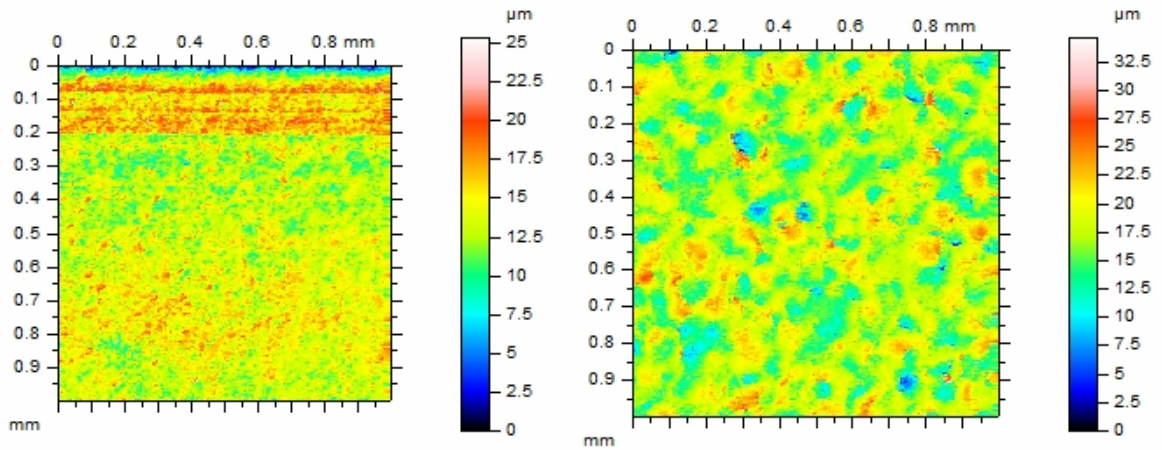


Obrázek 94 Invertovaný snímek v ose Z / foto simulace

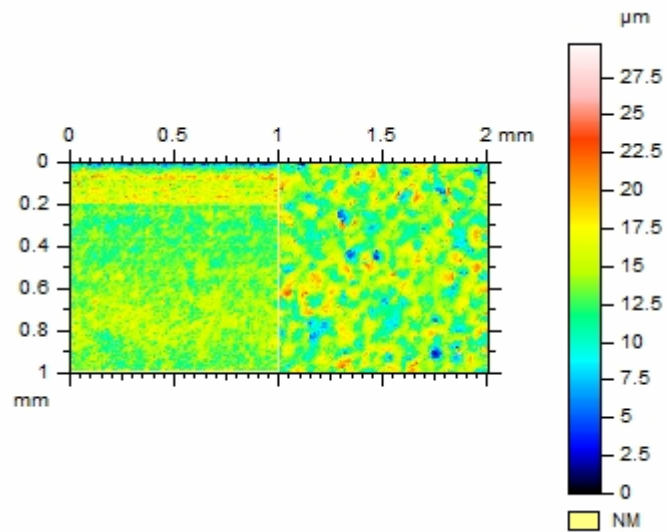
Z důvodu zvlnění v krajních oblastech repliky způsobených vyjímáním z dutiny formy jsem musel ze všech povrchů vypustit tvar a uložit snímek jako samostatnou hladinu. Po uložení snímků všech pozic obou otisků jsem je začal mezi sebou porovnávat ve smyslu:

pozice A1 staré formy : pozice A1 nové formy

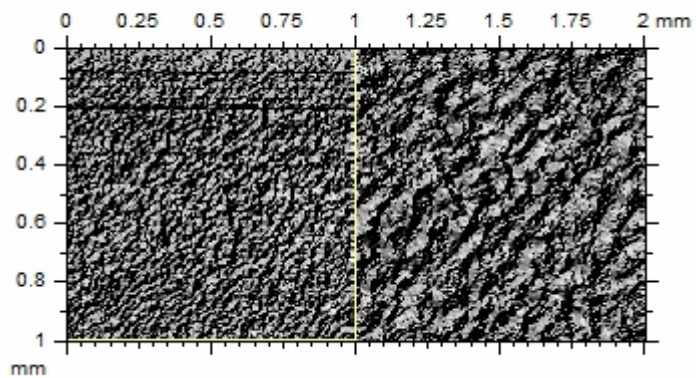
Tímto způsobem jsem vzájemně porovnal odlišnosti ve stejných pozicích obou otisků forem ve 2D, pomocí foto simulace a ve 3D.



Obrázek 95 pozice A1 stará forma : pozice A1 nová forma

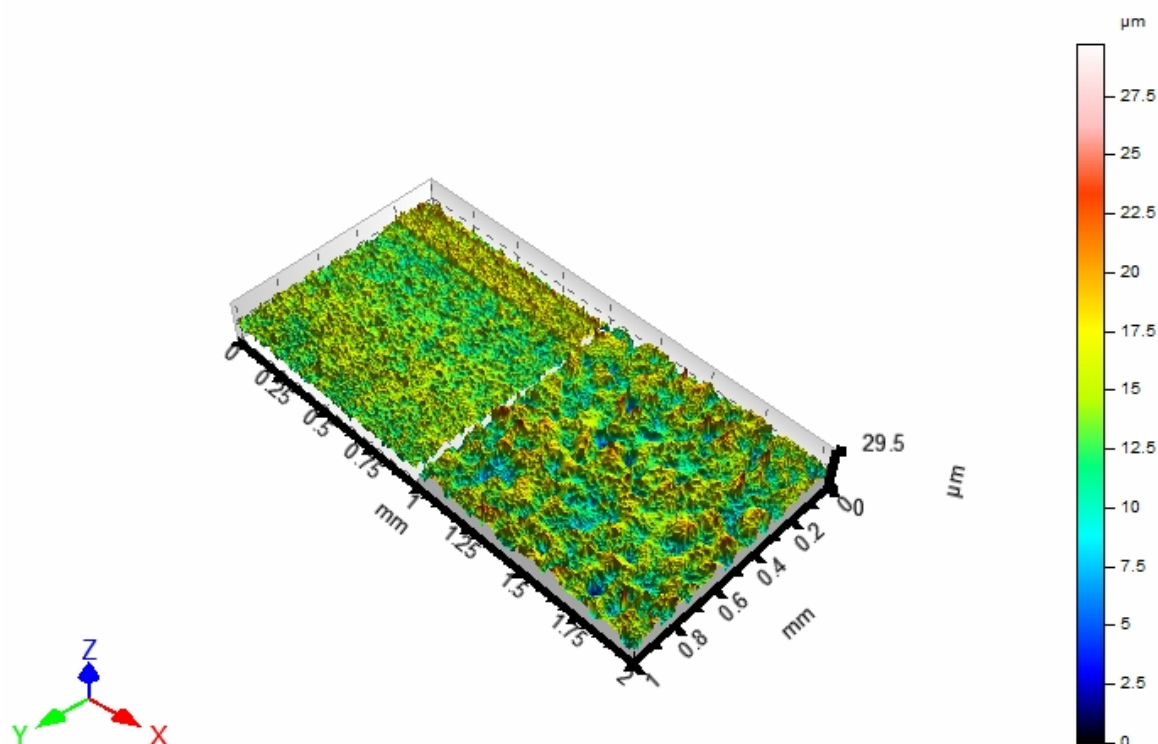


Obrázek 96 2D porovnání pozice A1 stará forma : A1 nová forma



Obrázek 97 Foto simulace porovnání pozice A1 stará forma : A1 nová forma

Z foto simulace je patrné, že pozice A1 na nové formě má mnohem drsnější povrch, než pozice A1 na staré formě.



Obrázek 98 3D porovnání pozice A1 stará forma : A1 nová forma

Nejlépe jsou rozdílné struktury povrchu znatelné při 3D porovnání. Pro další vyhodnocování výsledků jsem neskenované data upravil pro práci v programu Minitab. Vyvolal jsem tabulku parametrů R_p , R_v , R_z a R_a pro všech 201 horizontálních i vertikálních řezů každé pozice obou forem. Získal jsem tak 38 592 hodnot pro další zpracování.

4.1.2.2 Minitab:

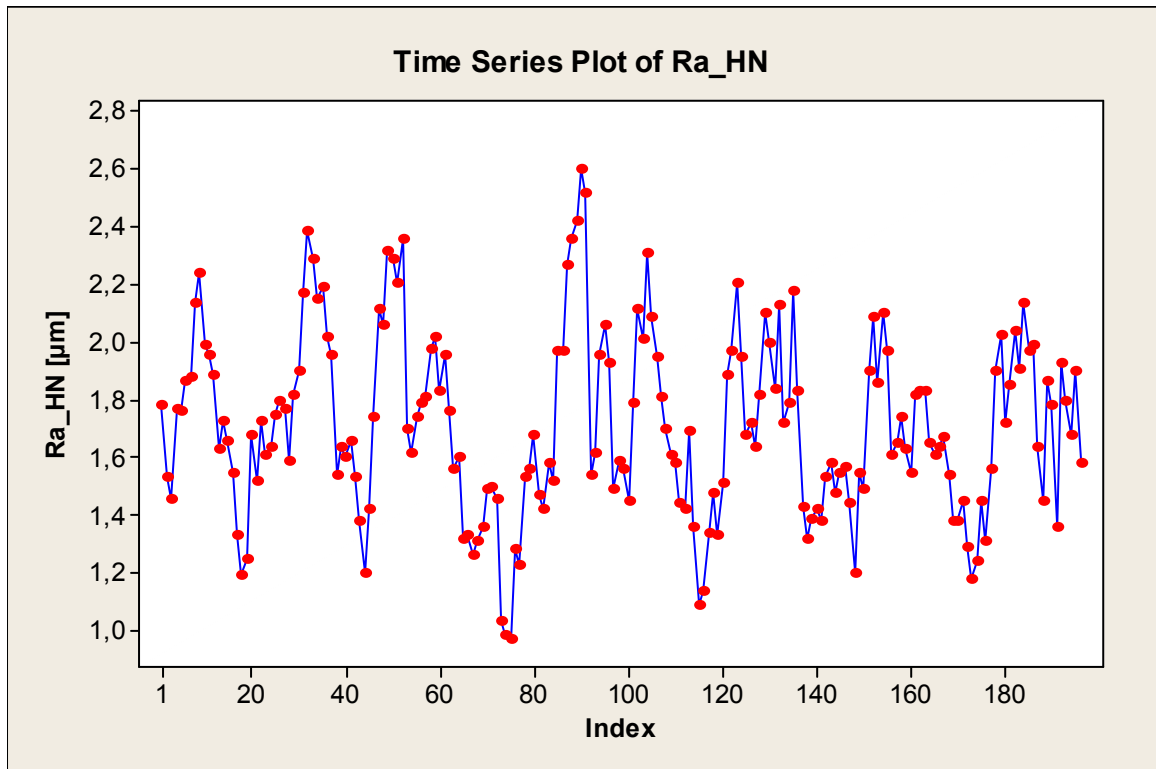
V programu Minitab jsem data pro další postup utřídil ve smyslu:

A1 stará forma horizontální řezy + vertikální řezy

a

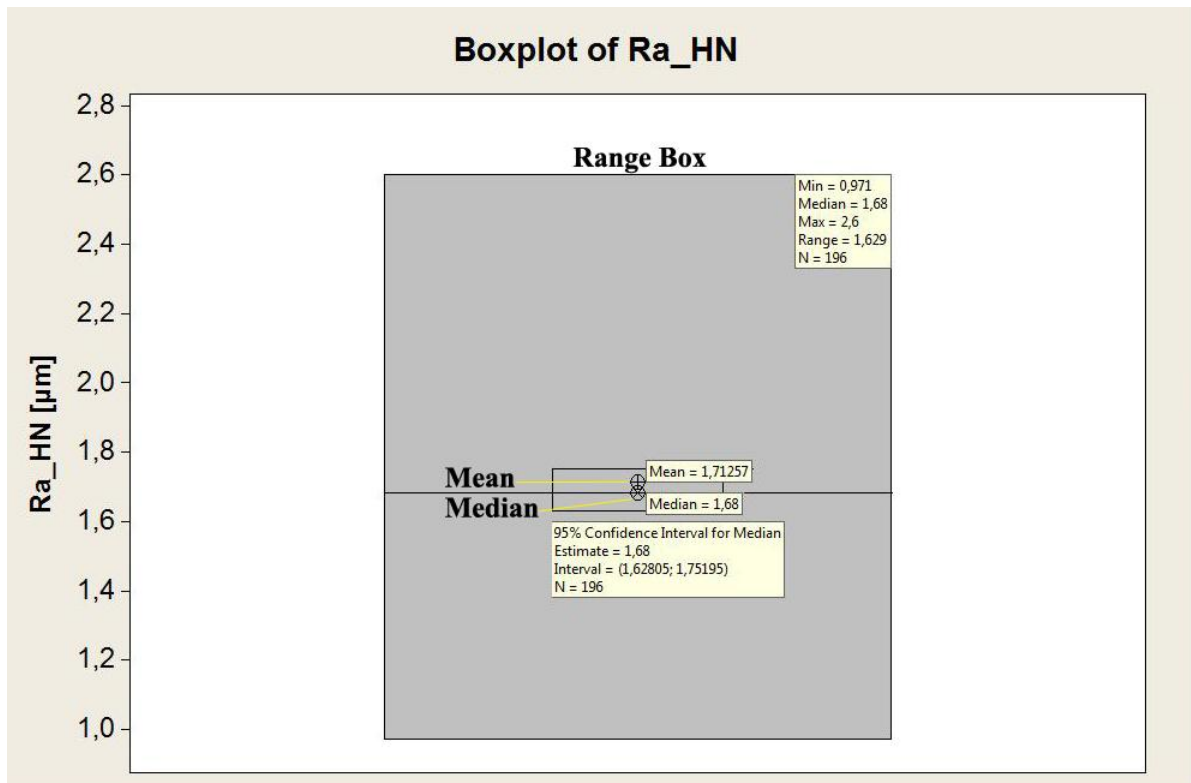
A1 nová forma horizontální řezy + vertikální řezy

Pomocí vizuální kontroly 3D snímků povrchu z programu Talymap Gold, Boxplotu a Time Series Plotu pro hodnoty Ra vytvořených v programu Minitab jsem vytřídil vychýlené hodnoty, abych zamezil zkreslení výsledků způsobené možnými vrypky a vměstky vzniklých při aplikaci dentakrylu a následného vyjímání repliky z dutiny formy.



Obrázek 99 Time Series Plot pro Ra - horizontální směr - nová forma - pozice A1

Time Series Plot pro hodnoty Ra s odstraněnými vychýlenými hodnotami jsem doložil Boxplotem.

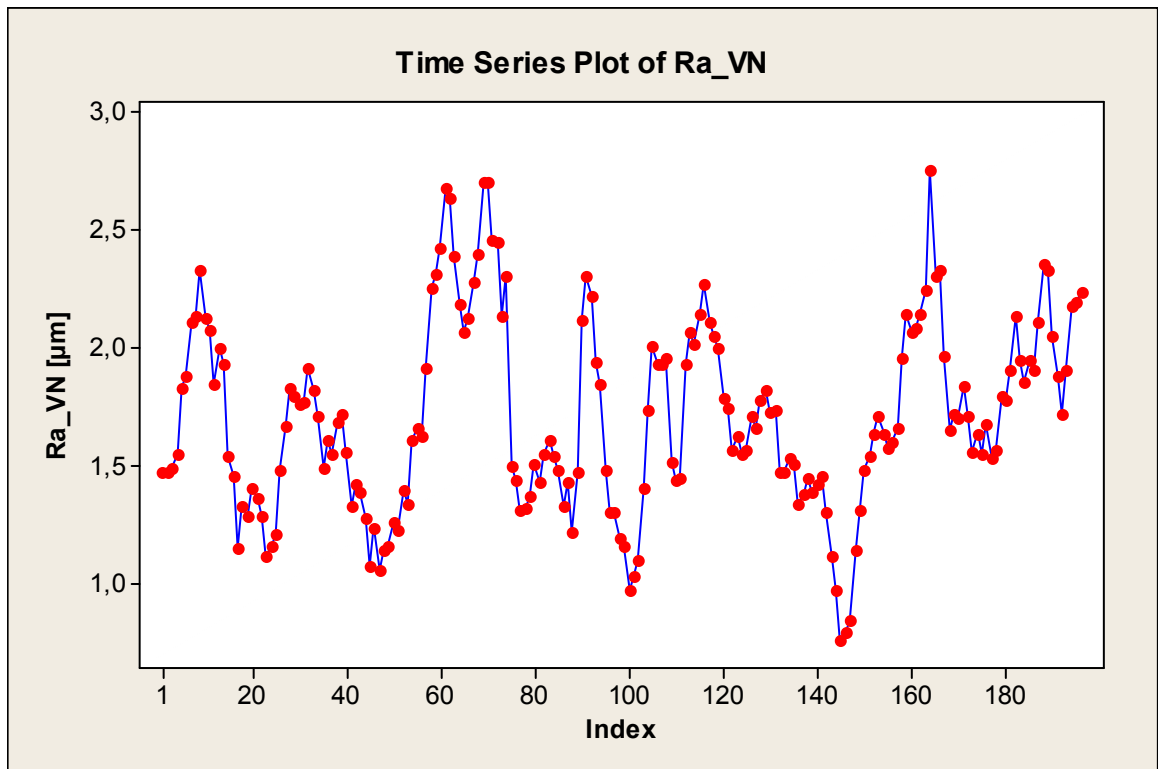


Obrázek 100 Boxplot pro Ra - horizontální směr - nová forma - pozice A1

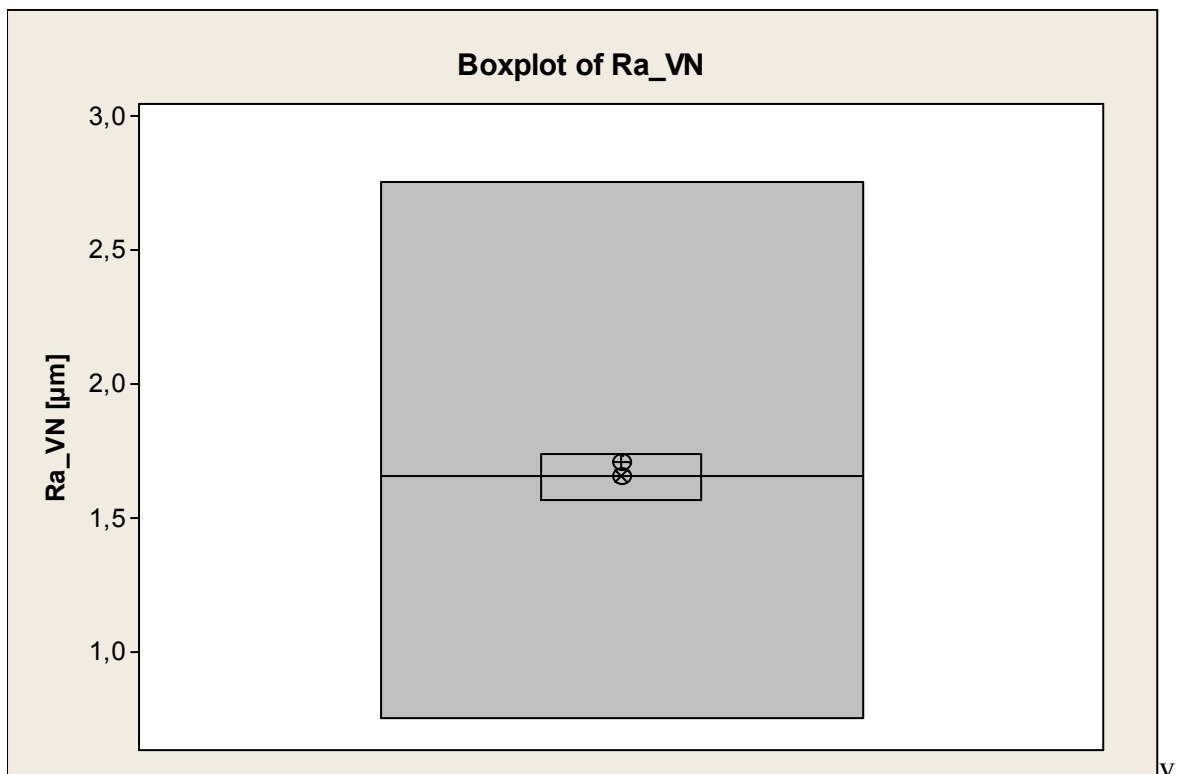
Range Box	Vymezuje oblast rozpětí nevychýlených hodnot
Mean	Odhad aritmetického průměru výběrového souboru
Median	Prostřední hodnota výběrového souboru z hodnot seřazených dle velikosti

Tabulka 43 Legenda k Boxplotovému diagramu

Tentýž postup jsem zopakoval i pro vertikální směr.

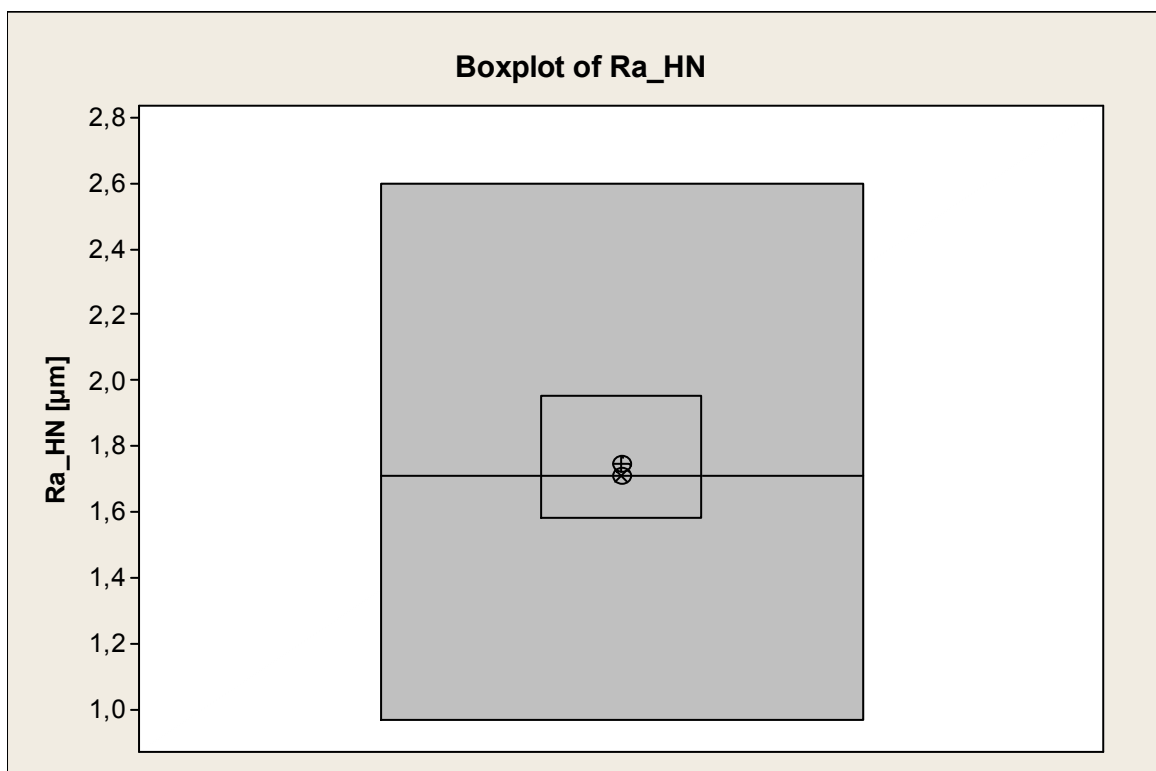


Obrázek 101 Time Series Plot pro Ra - vertikální směr - nová forma - pozice A1

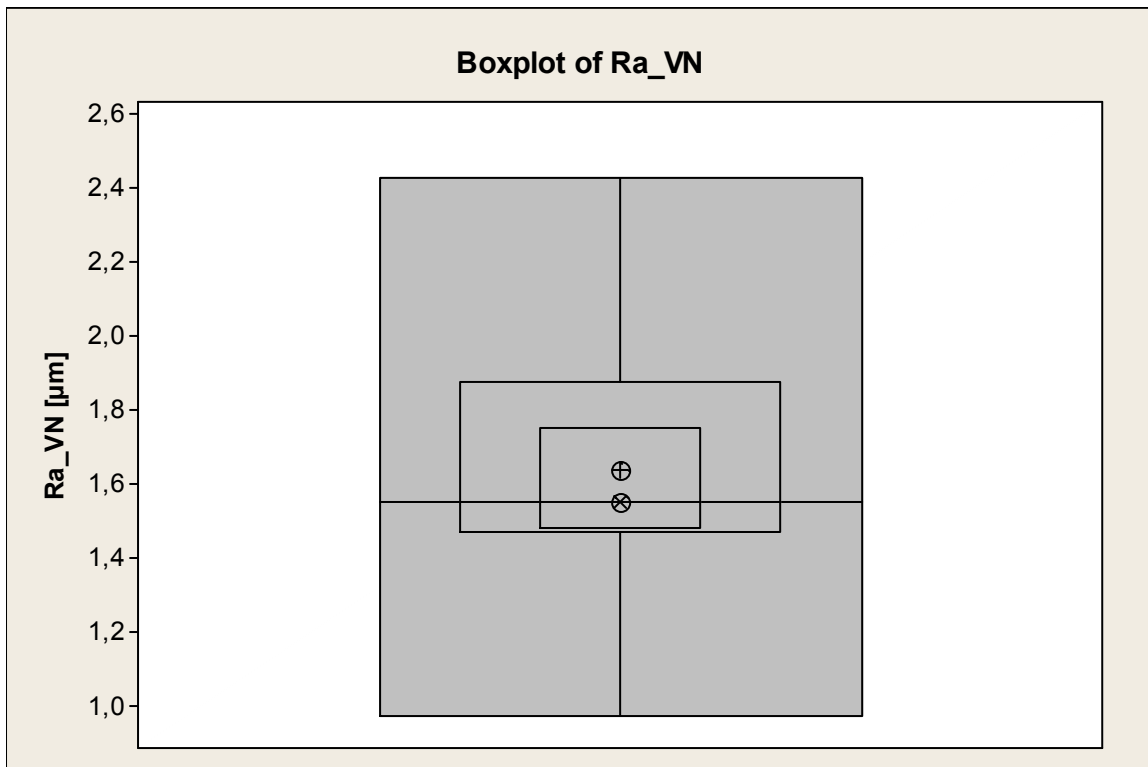


Obrázek 102 Boxplot pro Ra - vertikální směr - nová forma - pozice A1

Při filtrování vychýlených hodnot jsem dle ČSN EN ISO 4288 odstranil pro každou pozici v rozmezí 5 až 48 hodnot z původních 201 dle závažnosti poškození dané pozice. Z vybraných hodnot jsem udělal další výběr, tak že jsem vybral každý pátý řez v souboru. Získal jsem tedy 30 řezů rovnoměrně rozloženým po nepoškozeném povrchu. Vybraných 30 řezů jsem zkontroloval pomocí Boxplotu, aby se nenacházela vychýlená hodnota Ra jak v horizontálním tak ve vertikálním směru.

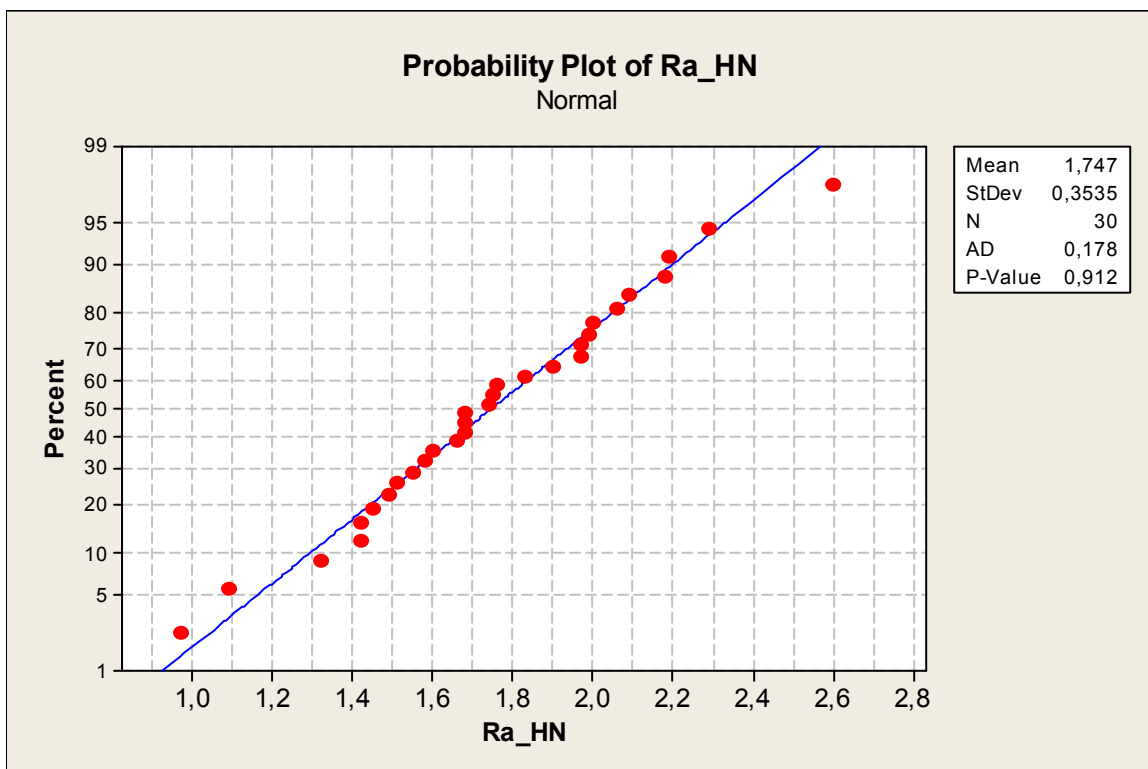


Obrázek 103 Boxplot horizontální směr - nová forma - pozice A1

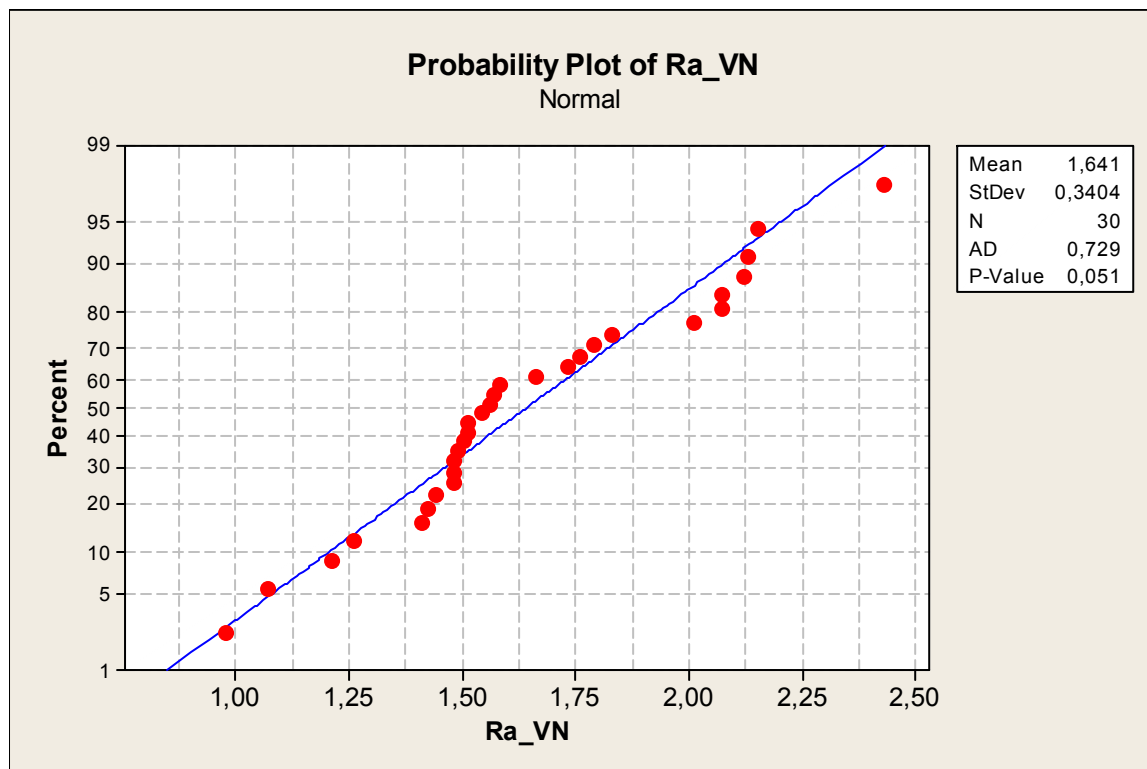


Obrázek 104 Boxplot vertikální směr - nová forma - pozice A1

Následně jsem hodnoty podrobil testu normalit.



Obrázek 105 Test normalit pro Ra horizontální směr - nová forma - pozice A1



Obrázek 106 Test normalit pro Ra vertikální směr - nová forma - pozice A1

Pomocí Anderson-Darlingových testů normalit jsem provedl pro parametry Ra, Rp, Rv a Rz v horizontálním i vertikálním směru záznam P - Value do tabulky pro všechny dané parametry a pozice staré i nové formy.

Pozice	Hodnoty P - Value pro dané parametry - stará forma							
	Rp HS	Rp VS	Rv HS	Rv VS	Rz HS	Rz VS	Ra HS	Ra VS
A1	0,738	0,255	0,643	0,905	0,226	0,497	0,265	0,918
A2	0,473	0,903	0,286	0,572	0,529	0,707	0,513	0,31
A3	0,413	0,488	0,571	0,643	0,316	0,027	0,532	0,524
A4	0,229	0,205	0,472	0,337	0,714	0,06	0,603	0,265
B1	0,846	0,012	0,117	0,249	0,122	0,674	0,86	0,939
B2	0,019	0,464	0,61	0,025	0,339	0,865	0,814	0,94
B3	0,122	0,274	0,075	0,023	0,391	0,592	0,263	0,065
B4	0,906	0,011	0,005	0,005	0,507	0,005	0,145	0,061
C1	0,287	0,864	0,271	0,005	0,11	0,078	0,138	0,123
C2	0,005	0,102	0,041	0,005	0,029	0,645	0,309	0,844
C3	0,005	0,005	0,278	0,027	0,005	0,164	0,016	0,006
C4	0,005	0,005	0,005	0,005	0,013	0,009	0,512	0,606

Tabulka 44 Hodnoty P - Value - stará forma

Pozice	Hodnoty P - Value pro dané parametry – nová forma							
	Rp_HN	Rp_VN	Rv_HN	Rv_VN	Rz_HN	Rz_VN	Ra_HS	Ra_VS
A1	0,892	0,857	0,414	0,119	0,285	0,058	0,912	0,051
A2	0,788	0,536	0,068	0,801	0,87	0,801	0,74	0,426
A3	0,609	0,147	0,737	0,046	0,897	0,8	0,093	0,186
A4	0,017	0,288	0,524	0,328	0,914	0,852	0,574	0,120
B1	0,319	0,005	0,445	0,188	0,775	0,46	0,414	0,039
B2	0,526	0,015	0,823	0,526	0,323	0,013	0,883	0,772
B3	0,005	0,005	0,038	0,688	0,098	0,623	0,43	0,516
B4	0,295	0,012	0,945	0,543	0,321	0,337	0,339	0,89
C1	0,065	0,176	0,014	0,887	0,312	0,92	0,327	0,158
C2	0,227	0,005	0,094	0,193	0,958	0,123	0,575	0,395
C3	0,148	0,382	0,338	0,076	0,467	0,725	0,969	0,311
C4	0,048	0,009	0,451	0,685	0,162	0,463	0,53	0,057

Tabulka 45 Hodnoty P - Value - nová forma

Z důvodu výskytu hodnot $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítl jsem nulovou hypotézu normality \rightarrow hodnoty nepocházejí z normálního rozdělení na konfidenční úrovni 0,95% s možností omylu 5%. Proto je nutné k dalšímu vyhodnocení porovnávat mediány pomocí testu Kruskal-Wallis.

Pro Kruskal-Wallisovi testy jsem data v programu Minitab přeuspořádal na dva soubory:

vyhodnocení pravá strana stará : nová (pozice A1, A4, B1, B4, C1, C4)

a

vyhodnocení levá strana stará : nová (pozice A2, A3, B2, B3, C2, C3)

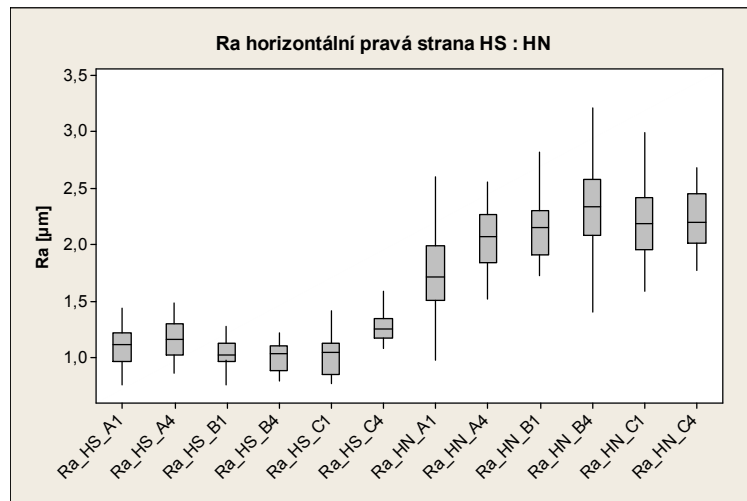
V každém souboru jsem vytvořil čtyři listy pro Ra, Rv, Rp a Rz, do kterých jsem vkládal data pro dané proměnné do sloupců. Nejdříve jsem zadal všechny hodnoty pro horizontální směr staré formy, horizontální směr nové formy, vertikální směr staré formy a vertikální směr nové formy. Toto uspořádání mi pak usnadnilo další kroky ve vyhodnocení.

V další části budu směr vedení řezu a označení forem definovat pouze zkratkami dle následujícího seznamu.

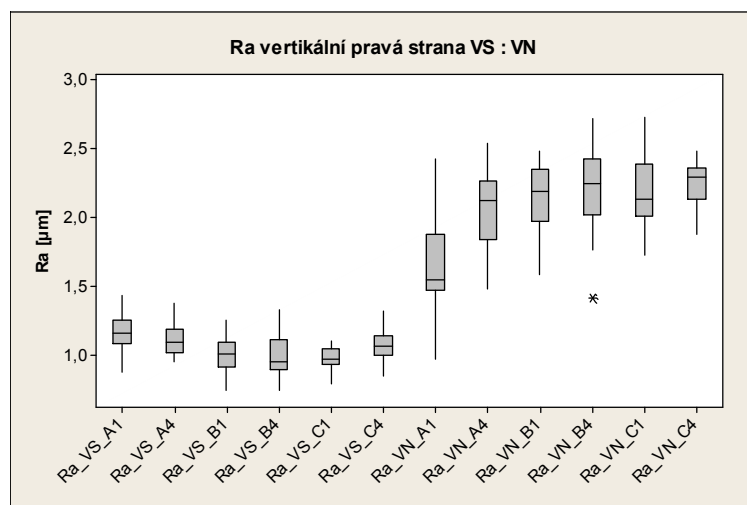
Zkratka	Význam
HS	Horizontální směr - Stará forma
HN	Horizontální směr - Nová forma
VS	Vertikální směr - Stará forma
VN	Vertikální směr - Nová forma

Tabulka 46 Význam použitých zkratek

Z utříděných hodnot jsem vyvolal Boxplot a porovnával parametr Ra staré formy : Ra nové formy v horizontálním i vertikálním směru.



Obrázek 107 Ra horizontálně pravá strana HS : HN



Obrázek 108 Ra vertikálně pravá strana HS : HN

Tyto Boxploty jsem vytvořil i pro hodnoty Rv, Rp a Rz, pro pravou i levou stranu. Formuloval jsem hypotézy pro pravou i levou stranu, horizontální i vertikální směr srovnání otisku staré a nové formy.

Formulace hypotézy pro horizontální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Ra_HN_A1} = M_{Ra_HN_A4} = M_{Ra_HN_B1} = M_{Ra_HN_B4} = M_{Ra_HN_C1} = M_{Ra_HN_C4} = \\ M_{Ra_HS_A1} = M_{Ra_HS_A4} = M_{Ra_HS_B1} = M_{Ra_HS_B4} = M_{Ra_HS_C1} = M_{Ra_HS_C4}$$

$$H_A : NON$$

Formulace hypotézy pro horizontální směr - pravá strana:

$$H_0 : M_{Ra_VN_A1} = M_{Ra_VN_A4} = M_{Ra_VN_B1} = M_{Ra_VN_B4} = M_{Ra_VN_C1} = M_{Ra_VN_C4} = \\ M_{Ra_VS_A1} = M_{Ra_VS_A4} = M_{Ra_VS_B1} = M_{Ra_VS_B4} = M_{Ra_VS_C1} = M_{Ra_VS_C4}$$

$$H_A : NON$$

Dále jsem pomocí funkce Stack seřadil všechny sloupce daného parametru do jednoho a udělal test Kruskal-Wallis pro parametry Ra, Rv, Rp a Rz, ve kterém jsem sledoval

P - hodnotu, kterou jsem zapisoval do tabulky.

```
Results for: stack Ra H pravá strana
Kruskal-wallis Test: C2 versus Subscripts
Kruskal-wallis Test on C2
```

Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
Ra_HN_A1 [µm]	30	1,710	213,0	1,79
Ra_HN_A4 [µm]	30	2,075	259,6	4,35
Ra_HN_B1 [µm]	30	2,155	273,8	5,13
Ra_HN_B4 [µm]	30	2,335	297,1	6,41
Ra_HN_C1 [µm]	30	2,185	281,9	5,57
Ra_HN_C4 [µm]	30	2,200	288,1	5,92
Ra_HS_A1 [µm]	30	1,110	92,0	-4,87
Ra_HS_A4 [µm]	30	1,155	111,2	-3,81
Ra_HS_B1 [µm]	30	1,025	71,9	-5,97
Ra_HS_B4 [µm]	30	1,035	62,7	-6,48
Ra_HS_C1 [µm]	30	1,045	68,7	-6,15
Ra_HS_C4 [µm]	30	1,250	146,1	-1,89
Overall	360		180,5	

```
H = 286,64 DF = 11 P = 0,000
H = 286,66 DF = 11 P = 0,000 (adjusted for ties)
```

Obrázek 109 Kruskal-Wallis

Pokud byla hodnota $P \leq 0,05 \rightarrow$ zamítl jsem nulovou hypotézu \rightarrow hodnoty Ra nemají stejné mediány na konfidenční úrovni 0,95% s možností omylu 5%.

Ra	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Pravá Strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 47 Hodnota P, pro parametr Ra

Rp	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Pravá Strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 48 Hodnota P, pro parametr Rp

Rv	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Pravá Strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 49 Hodnota P, pro parametr Rv

Rz	Porovnání	Hodnota P	Ho	Ha
Pravá Strana	HS : HN	0	✓	✗
	VS : VN	0	✓	✗

Tabulka 50 Hodnota P, pro parametr Rz

Pomocí funkce Descriptive Statistics jsem pod Boxplot doložil následující parametry.

Results for: Ra Right HS HN VS VN

Descriptive Statistics: Ra_HS_A1; Ra_HS_A4; Ra_HS_B1; Ra_HS_B4; Ra_HS_C1; ...

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median
Ra_HS_A1 [μm]	30	1,0875	0,0282	0,1544	14,19	0,7520	0,9663	1,1100
Ra_HS_A4 [μm]	30	1,1600	0,0299	0,1638	14,12	0,8630	1,0175	1,1550
Ra_HS_B1 [μm]	30	1,0351	0,0220	0,1206	11,65	0,7580	0,9678	1,0250
Ra_HS_B4 [μm]	30	1,0025	0,0240	0,1316	13,13	0,7940	0,8815	1,0350
Ra_HS_C1 [μm]	30	1,0207	0,0279	0,1531	14,99	0,7630	0,8503	1,0450
Ra_HS_C4 [μm]	30	1,2627	0,0226	0,1239	9,81	1,0800	1,1675	1,2500
Ra_HN_A1 [μm]	30	1,7474	0,0645	0,3535	20,23	0,9710	1,5050	1,7100
Ra_HN_A4 [μm]	30	2,0400	0,0539	0,2951	14,47	1,5200	1,8375	2,0750
Ra_HN_B1 [μm]	30	2,1420	0,0477	0,2611	12,19	1,7300	1,9100	2,1550
Ra_HN_B4 [μm]	30	2,2977	0,0696	0,3814	16,60	1,4000	2,0775	2,3350
Ra_HN_C1 [μm]	30	2,2070	0,0582	0,3186	14,44	1,5800	1,9575	2,1850
Ra_HN_C4 [μm]	30	2,2317	0,0485	0,2659	11,91	1,7700	2,0150	2,2000

Variable	Q3	Maximum	Range	IQR
Ra_HS_A1 [μm]	1,2125	1,4300	0,6780	0,2463
Ra_HS_A4 [μm]	1,3025	1,4800	0,6170	0,2850
Ra_HS_B1 [μm]	1,1200	1,2700	0,5120	0,1523
Ra_HS_B4 [μm]	1,1025	1,2200	0,4260	0,2210
Ra_HS_C1 [μm]	1,1200	1,4100	0,6470	0,2698
Ra_HS_C4 [μm]	1,3425	1,5900	0,5100	0,1750
Ra_HN_A1 [μm]	1,9925	2,6000	1,6290	0,4875
Ra_HN_A4 [μm]	2,2625	2,5600	1,0400	0,4250
Ra_HN_B1 [μm]	2,3025	2,8200	1,0900	0,3925
Ra_HN_B4 [μm]	2,5800	3,2200	1,8200	0,5025

Obrázek 110 Descriptive Statistics pro Ra horizontálně

4.2 3D

3D tisk:

Pro prezentační účely můžeme výsledky z Talymap Gold upravit do formátu CSV, (Coma separated values) - standardní formát pro přenos dat mezi tabulkovými procesory a získat ortogonální síť bodů, která definuje strukturu povrchu pomocí trojúhelníků. Pomocí softwaru vygenerovat trojúhelníkovou síť, doplnit bočnice a dno (k hraničním bodům přiřadit tloušťku). Software vygeneruje uzavřený objem v kvádr. Dodají se měřítka pro X,Y,Z zvětšení. Pomocí systému lze i odstranit poruchy vzniklé během snímání peaků. Buď ručně nebo poloautomaticky. Výsledná data v STL se předají na preprocesor a následně na 3D tiskárnu, která nám vytiskne 3D model námi požadovaného povrchu v námi udaném měřítku.

ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo zjistit způsob kontroly jakosti povrchů, které jsou obtížně přístupné. Předmětem zkoumání byly dvě dutiny forem. Jako vhodnou metodu kontroly jakosti jsem zvolil použití směsi dentakrylu Stomaflex Light. Směs má oproti profesionálním otiskovacím hmotám o řád nižší cenu. Díky její nízké viskozitě dobře zatéká a vyplňuje prostory dutiny formy.

Pomocí této směsi jsem provedl repliky dutin nové a staré formy. Repliky jsem porovnával pomocí mikroskopických snímků, kde jsem hledal vady povrchu vzniklé aplikací dentakrylu a vyjímáním replik z dutiny formy.

Pro znázornění 3D povrchu replik jsem repliky snímal na přístroji Taylor Hobson-Talysurf CLI 500. Z 3D snímků je zřetelně rozpoznatelná rozdílná jakost repliky povrchu staré a nové formy.

Pro matematické vyhodnocení jsem pomocí programu TalyMap Gold 3D snímky povrchů rozdělil na 201 vertikálních a horizontálních řezů pro parametry Ra, Rv, Rp a Rz. Tyto hodnoty jsem převedl do programu Minitab a provedl test normality. Z důvodu výskytu hodnot $P \leq 0,05$ a hodnot variačního koeficientu dosahující hodnot až 20% jsem zamítl nulovou hypotézu normality a zvolil neparametrický test Kruskal-Wallis. Formuloval jsem hypotézy pro parametry Ra, Rv, Rp a Rz. Z důvodu, že u všech testů Kruskal-Wallis vyšla hodnota $P \leq 0,05$, zamítl jsem nulovou hypotézu ve prospěch alternativní u všech pozic → hodnoty parametrů Ra, Rv, Rp a Rz nemají stejné mediány na konfidenční úrovni 0,95% s možností omylu 5%.

Rozdíly v parametrech drsnosti byly v různých pozicích odlišné. Nejstálejší oblasti na replikách byly oblasti B. Ty byly nejméně poškozeny vyjímáním replik z dutin formy. Pro představu parametrů drsnosti obou replik jsem zhotovil tabulku, ve které jsou vypsány průměrné hodnoty mediánu replik ze všech pozic v horizontálním i vertikálním směru řezu.

Parametr	Horizontální směr		Vertikální směr	
	Stará forma	Nová forma	Stará forma	Nová forma
Medián Ra [μm] / Var. Rozpětí mediánů Ra [μm]	1,08 / 1,43	2,17 / 2,37	1,07 / 1,39	2,11 / 2,10
Medián Rv [μm] / Var. Rozpětí mediánů Rv [μm]	2,99 / 8,1	6,00 / 6,72	2,96 / 6,36	6,33 / 9,44
Medián Rp [μm] / Var. Rozpětí mediánů Rp [μm]	3,02 / 4,12	5,31 / 8,85	3,05 / 6,73	5,40 / 8,46
Medián Rz [μm] / Var. Rozpětí mediánů Rz [μm]	5,9 / 16,02	11,48 / 12,9	6,12 / 12,48	12 / 14,84

Tabulka 51 Medián a variační rozpětí mediánů parametrů Ra, Rv, Rp a Rz

Parametry drsnosti jsou u repliky dutiny nové formy průměrně dvojnásobně vyšší než u repliky dutiny staré formy v horizontálním i vertikálním směru.

Možné využití hodnocení kvality povrchu pomocí replik je ihned při pořízení nové formy. Ještě před prvním použitím formy proveďte, repliku dutiny formy. Pak vedení deníku o podmínkách a vstříkovaných materiálech dokládejte pravidelnou kontrolou pomocí replik v určitém časovém intervalu, nebo po určitém počtu vstříkovacích cyklů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NOVÁK, Zdeněk. Prostorové měření a hodnocení textury povrchu přístroji Taylor Hobson Ltd. [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z:
http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf
- [2] SLÁDEK, Petr. O mikroskopech. [online]. s. 17 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z:
<http://svp.muni.cz/ukazat.php?docId=39>
- [3] Proč 3D tiskárnu Objet. TECNOTRADE OBRÁBĚCÍ STROJE S.R.O. *Objet* [online]. 2012 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.objet.cz/>
- [4] ATOS - Industrial 3D Scanning Technology. *Optical Measuring Techniques: GOM* [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.gom.com/metrology-systems/3d-scanner.html>
- [5] ATOS ScanBox - Mobilní řešení pro automatizované 3D měření. MCAE SYSTEMS, s.r.o. *3D Digitální technologie* [online]. 2013 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z:
<http://www.mcae.cz/atos-scanbox-mobilni-reseni-pro-automatizovane-3d-mereni-05-2012>
- [6] WHITEHOUSE, David. *Handbook of surface and nanometrology*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2011, xxiii, 975 p. ISBN 978-142-0082-012.
- [7] NTEGRA Prima. NT-MDT. *NT-MDT – AFM-probes, atomic force microscopes* [online]. 1998, 2013 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z:
<http://www.ntmdt.com/device/prima-ii>
- [8] SPOFADENTAL A.S. *SpofoDental* [online]. 2011 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z:
<http://www.spodental.com/cz.aspx>
- [9] Základní parametry jakosti povrchu. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z:
http://www.imeco-th.cz/Download/Clanky/TH_News_Basic_Surface_Finish_Parameters.pdf
- [10] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. 1999. vyd.
- [11] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. 1999. vyd.

[12] Anderson-Darling Normality Test. [online]. [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.variation.com/da/help/hs140.htm>

[13] Kruskal-Wallis non-parametric ANOVA. *University of Leicester* [online]. 2010 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.le.ac.uk/bl/gat/virtualfc/Stats/kruskal.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A1	pravá horní pozice na replice v oblasti A
A2	levá horní pozice na replice v oblasti A
A3	levá spodní pozice na replice v oblasti A
A4	pravá spodní pozice na replice v oblasti A
AFM	atomic force microscopy - mikroskopie atomárních sil
B1	pravá horní pozice na replice v oblasti B
B2	levá horní pozice na replice v oblasti B
B3	levá spodní pozice na replice v oblasti B
B4	pravá spodní pozice na replice v oblasti B
C1	pravá horní pozice na replice v oblasti C
C2	levá horní pozice na replice v oblasti C
C3	levá spodní pozice na replice v oblasti C
C4	pravá spodní pozice na replice v oblasti C
CLA	(Chromatic Length Aberration) - bezkontaktní snímač
CLI	vícesnímačový měřicí systém
CoefVar	odhad variačního koeficientu výběrového souboru
d	délka
HN	horizontální směr snímání repliky dutiny nové formy
HS	horizontální směr snímání repliky dutiny staré formy
IQR	interkvartilové rozpětí - rozpětí 50% hodnot nejbližších mediánu
Ln	vyhodnocovaná délka
Lr	základní délka
Maximum	maximální hodnota
Mean	odhad aritmetického průměru

Median	prostřední hodnota, z hodnot seřazených dle velikosti.
Minimum	minimální hodnota
N	počet hodnot výběrového souboru
Q1	první kvartil - 25% hodnot nejbližších, nižších mediánu
Q3	třetí kvartil - 25% hodnot nejbližších, vyšších mediánu
Ra	výškový parametr drsnosti, definovaný v ose Z
Range	rozpětí všech hodnot od minima k maximu
RISC	počet přesahujících nerovností
Rp	výškový parametr drsnosti, definovaný v ose Z
Rpc	počet výstupků
Rq	výškový parametr drsnosti, definovaný v ose Z
Rsm	průměrná šířka prvku profilu
Rt	výškový parametr drsnosti, definovaný v ose Z
Rv	výškový parametr drsnosti, definovaný v ose Z
Rz	výškový parametr drsnosti, definovaný v ose Z
Rz1max	výškový parametr drsnosti, definovaný v ose Z
SE Mean	nejistota typu A
StDev	směrodatná odchylka
š	šířka
Total Count	celkový počet hodnot
v	výška
VN	vertikální směr snímání repliky dutiny nové formy
VS	vertikální směr snímání repliky dutiny staré formy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Talysurf CLI 500	16
Obrázek 2 Režimy AFM (a - kontaktní; b - bezkontaktní; c - poklepový) [2].....	17
Obrázek 3 NTEGRA Prima [7].....	18
Obrázek 4 Základní typy charakteristiky textury povrchu [9].....	21
Obrázek 5 Grafický záznam parametru Ra [9].....	22
Obrázek 6 Nedostatky parametru Ra: Shodná velikost Ra - rozdílné povrchy [9]	23
Obrázek 7 Parametr Rq [9]	24
Obrázek 8 Parametr Rt [9].....	24
Obrázek 9 Parametr Rp [9]	25
Obrázek 10 parametr Rv [9]	26
Obrázek 11 Parametr Rz [9]	26
Obrázek 12 Objet Eden 250.....	30
Obrázek 13 ATOS a sonda GOM [4].....	34
Obrázek 14 Viditelnost sondy přímo v systému CAD [4]	35
Obrázek 15 Technické údaje ATOS ScanBox [4].....	36
Obrázek 16 Dutina staré a nové formy.....	38
Obrázek 17 Pozice na replice vlevo odpovídající dutině formy vpravo.....	39
Obrázek 18 3D porovnání pozice A1 stará : nová forma.....	41
Obrázek 19 3D porovnání pozice A4 stará : nová forma.....	42
Obrázek 20 3D porovnání pozice B1 stará : nová forma.....	44
Obrázek 21 3D porovnání pozice B4 stará : nová forma.....	45
Obrázek 22 3D porovnání pozice C1 stará : nová forma.....	47
Obrázek 23 3D porovnání pozice C4 stará : nová forma.....	48
Obrázek 24 Pozice na replice vlevo odpovídající dutině formy vpravo.....	49
Obrázek 25 3D porovnání pozice A2 stará : nová forma.....	50
Obrázek 26 3D porovnání pozice A3 stará : nová forma.....	52
Obrázek 27 3D porovnání pozice B2 stará : nová forma.....	53
Obrázek 28 3D porovnání pozice B3 stará : nová forma.....	55
Obrázek 29 3D porovnání pozice C2 stará : nová forma.....	57
Obrázek 30 3D porovnání pozice C3 stará : nová forma.....	59
Obrázek 31 Ra HS : HN	61

Obrázek 32 Ra VS : VN	62
Obrázek 33 Kruskal-Wallis pro Ra horizontálně.....	62
Obrázek 34 Descriptive Statistics pro Ra horizontálně	63
Obrázek 35 Kruskal-Wallis pro Ra vertikálně.....	64
Obrázek 36 Descriptive Statistics pro Ra vertikálně	64
Obrázek 37 Rv HS : HN	65
Obrázek 38 Rv VS : VN	66
Obrázek 39 Kruskal-Wallis pro Rv horizontálně.....	66
Obrázek 40 Descriptive Statistics pro Rv horizontálně	67
Obrázek 41 Kruskal - Wallis pro Rv vertikálně.....	67
Obrázek 42 Descriptive Statistics pro Rv vertikálně	68
Obrázek 43 Rp HS : HN	69
Obrázek 44 Rp VS : VN	69
Obrázek 45 Kruskal - Wallis pro Rp horizontálně.....	70
Obrázek 46 Descriptive Statistics pro Rp horizontálně	70
Obrázek 47 Kruskal - Wallis pro Rp vertikálně.....	71
Obrázek 48 Descriptive Statistics pro Rp vertikálně	71
Obrázek 49 Rz HS : HN	72
Obrázek 50 Rz VS : VN	73
Obrázek 51 Kruskal-Wallis pro Rz horizontálně.....	73
Obrázek 52 Descriptive Statistics pro Rz horizontálně	74
Obrázek 53 Kruskal-Wallis pro Rz vertikálně.....	74
Obrázek 54 Descriptive Statistics pro Rz vertikálně	75
Obrázek 55 Ra HS : HN	78
Obrázek 56 Ra VS : VN	78
Obrázek 57 Kruskal-Wallis pro Ra horizontálně.....	79
Obrázek 58 Descriptive Statistics pro Ra horizontálně	79
Obrázek 59 Kruskal-Wallis pro Ra vertikálně.....	80
Obrázek 60 Descriptive Statistics pro Ra vertikálně	80
Obrázek 61 Rv HS : HN	81
Obrázek 62 Rv VS : VN	82
Obrázek 63 Kruskal-Wallis pro Rv horizontálně.....	82

Obrázek 64 Descriptive Statistics pro Rv horizontálně	83
Obrázek 65 Kruskal-Wallis pro Rv vertikálně.....	84
Obrázek 66 Descriptive Statistics pro Rv vertikálně	84
Obrázek 67 Rp HS : HN	85
Obrázek 68 Rp VS : VN	86
Obrázek 69 Kruskal-Wallis pro Rp horizontálně.....	86
Obrázek 70 Descriptive Statistics pro Rp horizontálně	87
Obrázek 71 Kruskal-Wallis pro Rp vertikálně.....	88
Obrázek 72 Descriptive Statistics pro Rp vertikálně	88
Obrázek 73 Rz HS : HN	89
Obrázek 74 Rz VS : VN	90
Obrázek 75 Kruskal-Wallis pro Rz horizontálně.....	90
Obrázek 76 Descriptive Statistics pro Rz horizontálně	91
Obrázek 77 Kruskal-Wallis pro Rz vertikálně.....	92
Obrázek 78 Descriptive Statistics pro Rz vertikálně	92
Obrázek 79 Vyčištěná dutina formy	93
Obrázek 80 ImpressFlex VPS Putty	94
Obrázek 81 Aplikace dentakrylu do dutiny formy.....	94
Obrázek 82 Replika dutiny formy pomocí ImpressFlex VPS Putty.....	95
Obrázek 83 Stomaflex Light	95
Obrázek 84 Aplikace dentakrylu do dutiny formy.....	96
Obrázek 85 Vyjmutí repliky z dutiny formy.....	96
Obrázek 86 ImpressFlex VPS Putty (šedá) : Stomaflex Light (modrá).....	97
Obrázek 87 Vlastní replika ze staré formy : replika z nové formy	97
Obrázek 88 10x násobné zvětšení pozice A1 - replika nové formy.....	98
Obrázek 89 30x násobné zvětšení pozice A1 - replika nové formy.....	98
Obrázek 90 Pozice na replice vlevo odpovídající dutině formy vpravo	99
Obrázek 91 3D snímání povrchu pomocí Taylor Hobson - Talysurf CLI 500.....	99
Obrázek 92 Ukázka nastavení programu	100
Obrázek 93 Základní snímek 3D povrchu / vyrovnaný snímek.....	101
Obrázek 94 Invertovaný snímek v ose Z / foto simulace	101
Obrázek 95 pozice A1 stará forma : pozice A1 nová forma	102

Obrázek 96 2D porovnání pozice A1 stará forma : A1 nová forma.....	102
Obrázek 97 Foto simulace porovnání pozice A1 stará forma : A1 nová forma	102
Obrázek 98 3D porovnání pozice A1 stará forma : A1 nová forma.....	103
Obrázek 99 Time Series Plot pro Ra - horizontální směr - nová forma - pozice A1	104
Obrázek 100 Boxplot pro Ra - horizontální směr - nová forma - pozice A1	105
Obrázek 101 Time Series Plot pro Ra - vertikální směr - nová forma - pozice A1	106
Obrázek 102 Boxplot pro Ra - vertikální směr - nová forma - pozice A1	106
Obrázek 103 Boxplot horizontální směr - nová forma - pozice A1.....	107
Obrázek 104 Boxplot vertikální směr - nová forma - pozice A1.....	108
Obrázek 105 Test normalit pro Ra horizontální směr - nová forma - pozice A1	108
Obrázek 106 Test normalit pro Ra vertikální směr - nová forma - pozice A1	109
Obrázek 107 Ra horizontálně pravá strana HS : HN.....	111
Obrázek 108 Ra vertikálně pravá strana HS : HN.....	111
Obrázek 109 Kruskal-Wallis	112
Obrázek 110 Descriptive Statistics pro Ra horizontálně	114

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Talysurf 2000 [1].....	15
Tabulka 2 Porovnání měřících technik [6]	19
Tabulka 3 Legenda ke grafickému záznamu parametru Ra [9].....	22
Tabulka 4 Porovnání modelů Objet Connex	29
Tabulka 5 Technické údaje ATOS Compact Scan [4].....	31
Tabulka 6 Technické údaje ATOS Triple Scan [4]	33
Tabulka 7 Technické údaje sondy GOM [4].....	35
Tabulka 8 Porovnání mikroskopických obrazů pozice A1.....	40
Tabulka 9 Porovnání mikroskopických obrazů pozice A4.....	42
Tabulka 10 Porovnání mikroskopických obrazů pozice B1	43
Tabulka 11 Poznámky B1	43
Tabulka 12 Porovnání mikroskopických obrazů pozice B4.....	45
Tabulka 13 Poznámky B4	45
Tabulka 14 Porovnání mikroskopických obrazů pozice C1	46
Tabulka 15 Poznámky C1	46
Tabulka 16 Porovnání mikroskopických obrazů pozice C4.....	48
Tabulka 17 Poznámky C4	48
Tabulka 18 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice A2	50
Tabulka 19 Poznámky A2.....	50
Tabulka 20 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice A3	51
Tabulka 21 Poznámky A3.....	51
Tabulka 22 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice B2.....	53
Tabulka 23 Poznámky B2	53
Tabulka 24 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice B3.....	54
Tabulka 25 Poznámky B3	54
Tabulka 26 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice C2.....	56
Tabulka 27 Poznámky C2	56
Tabulka 28 Porovnání mikroskopických obrazů - pozice C3.....	58
Tabulka 29 Poznámky C3	58
Tabulka 30 Hodnoty P - Value - Stará forma	60
Tabulka 31 Hodnoty P - Value - Nová forma.....	60

Tabulka 32 Legenda ke schématu porovnání.....	61
Tabulka 33 Hodnota P, pro parametr Ra.....	65
Tabulka 34 Hodnota P, pro parametr Rv.....	68
Tabulka 35 Hodnota P, pro parametr Rp.....	72
Tabulka 36 Hodnota P, pro parametr Rz.....	75
Tabulka 37 Hodnoty P - Value - Stará forma	76
Tabulka 38 Hodnoty P - Value - Nová forma.....	76
Tabulka 39 Legenda ke schématu porovnání.....	77
Tabulka 40 Hodnota P, pro parametr Ra.....	81
Tabulka 41 Hodnota P, pro parametr Rv.....	85
Tabulka 42 Hodnota P, pro parametr Rp.....	89
Tabulka 43 Legenda k Boxplotovému diagramu.....	105
Tabulka 44 Hodnoty P - Value - stará forma.....	109
Tabulka 45 Hodnoty P - Value - nová forma.....	110
Tabulka 46 Význam použitých zkratk.....	110
Tabulka 47 Hodnota P, pro parametr Ra.....	113
Tabulka 48 Hodnota P, pro parametr Rp.....	113
Tabulka 49 Hodnota P, pro parametr Rv.....	113
Tabulka 50 Hodnota P, pro parametr Rz.....	113
Tabulka 51 Medián a variační rozpětí mediánů parametrů Ra, Rv, Rp a Rz	117

SEZNAM PŘÍLOH

POROVNÁNÍ MIKROSKOPICKÝCH OBRAZŮ OBLASTI A

POROVNÁNÍ MIKROSKOPICKÝCH OBRAZŮ OBLASTI B

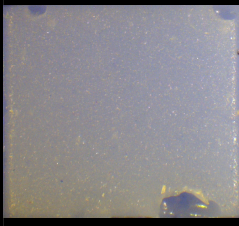
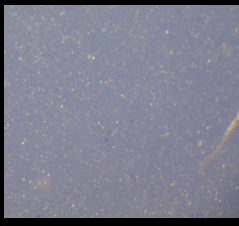
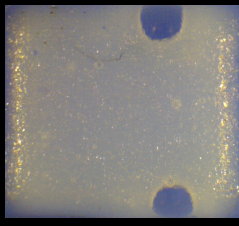
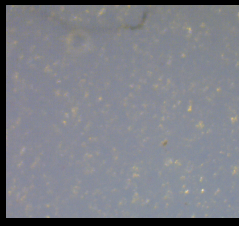
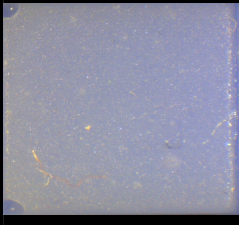

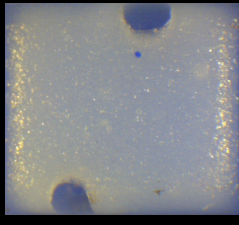
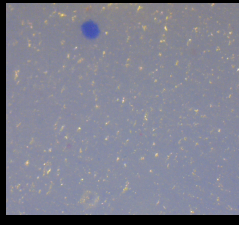
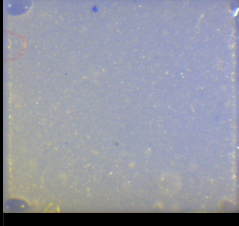

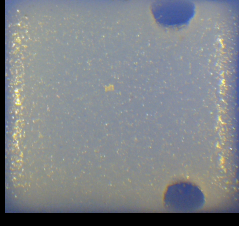

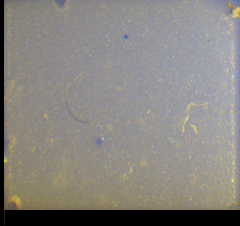

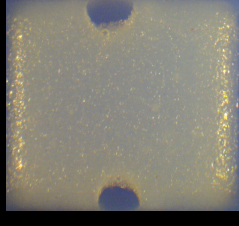
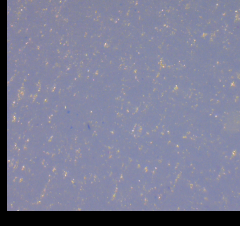
POROVNÁNÍ MIKROSKOPICKÝCH OBRAZŮ OBLASTI C

POROVNÁNÍ POMOCÍ 3D SNÍMKŮ OBLASTI A

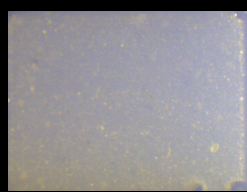
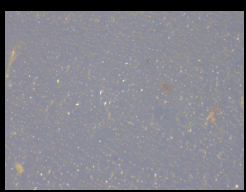
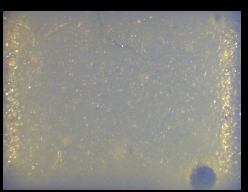
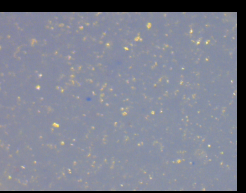
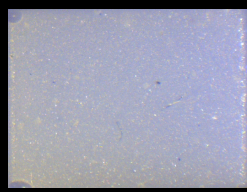

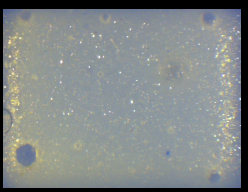
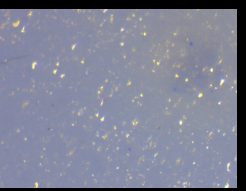
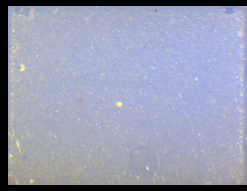
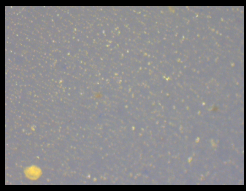
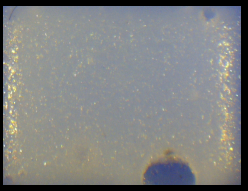
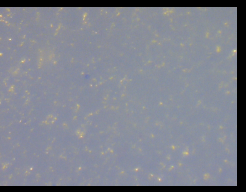
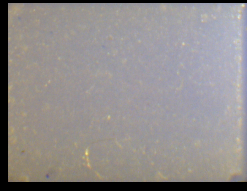

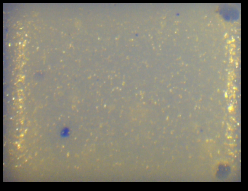
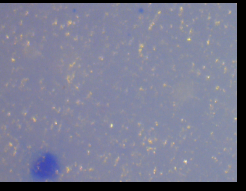
POROVNÁNÍ POMOCÍ 3D SNÍMKŮ OBLASTI B

POROVNÁNÍ POMOCÍ 3D SNÍMKŮ OBLASTI C


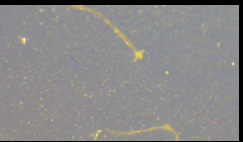

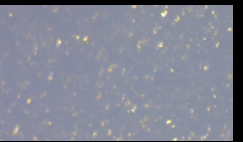
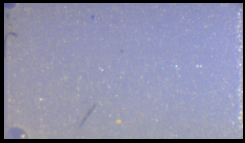
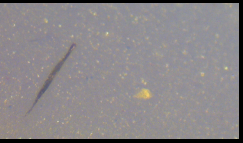
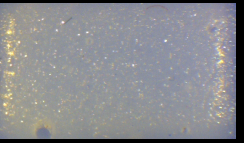
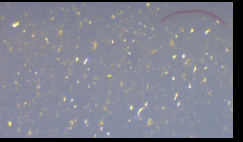

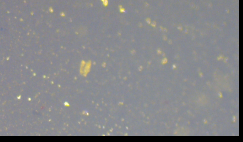
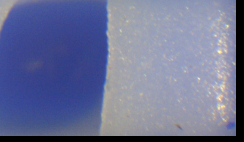
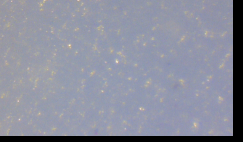



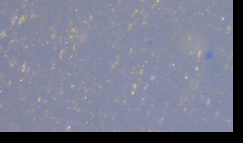
**PŘÍLOHA P I: POROVNÁNÍ MIKROSKOPICKÝCH OBRAZŮ
OBLASTI A**

Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
A1				
A2				
A3				
A4				

**PŘÍLOHA P II: POROVNÁNÍ MIKROSKOPICKÝCH OBRAZŮ
OBLASTI B**

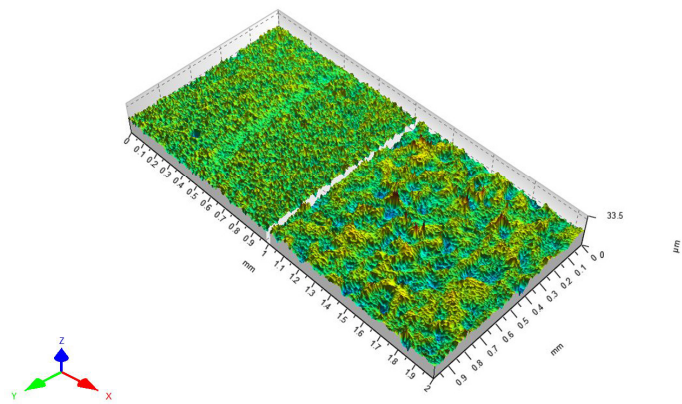
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
B1				
B2				
B3				
B4				

**PŘÍLOHA P III: POROVNÁNÍ MIKROSKOPICKÝCH OBRAZŮ
OBLASTI C**

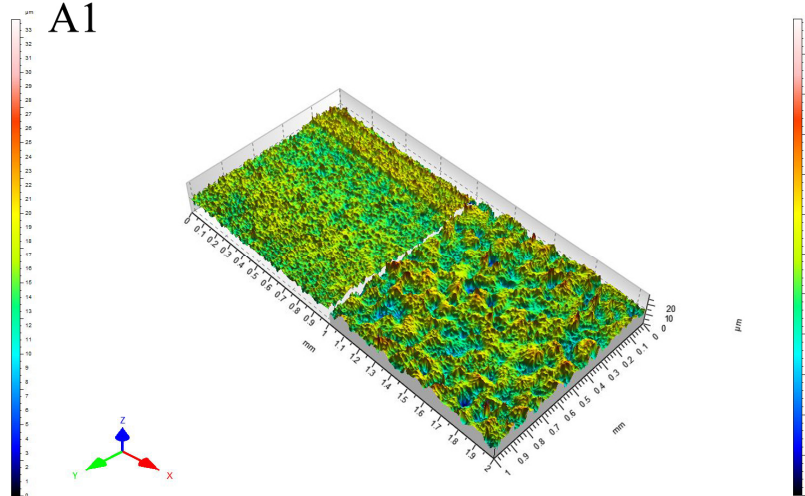
Pozice	Stará forma		Nová forma	
	10 x Zoom	30 x Zoom	10 x Zoom	30 x Zoom
C1				
C2				
C3				
C4				

PŘÍLOHA P IV: POROVNÁNÍ POMOCÍ 3D SNÍMKŮ OBLASTI A

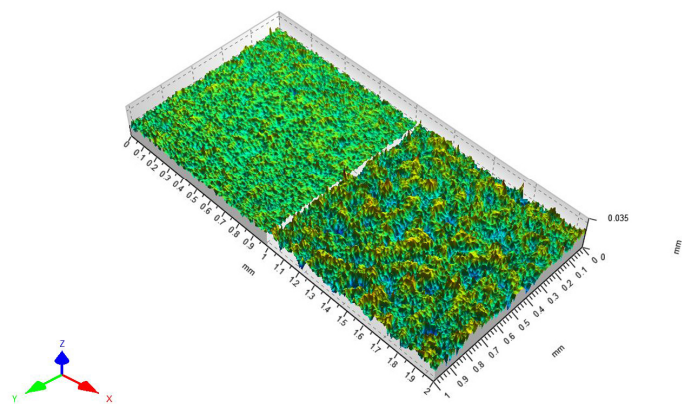
A2



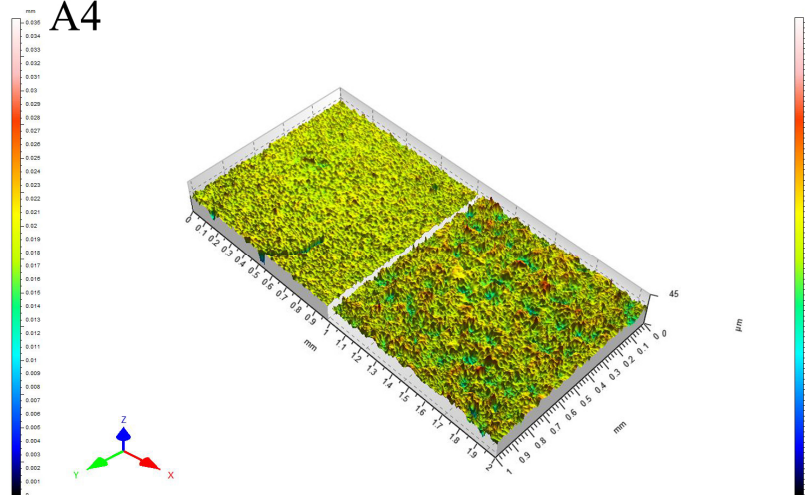
A1



A3

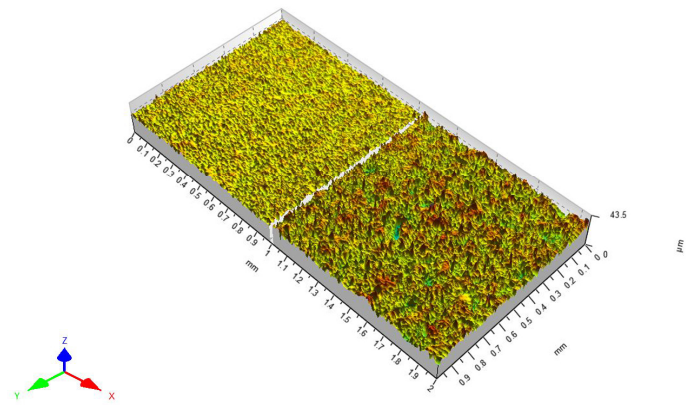


A4

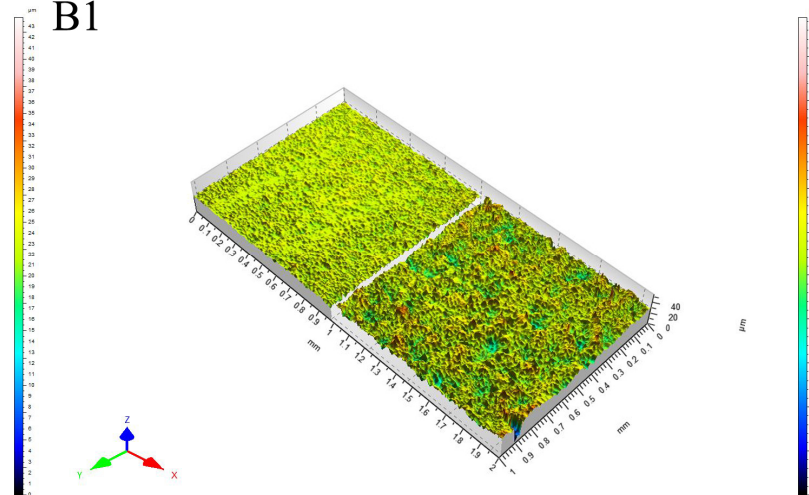


PŘÍLOHA P V: POROVNÁNÍ POMOCÍ 3D SNÍMKŮ OBLASTI B

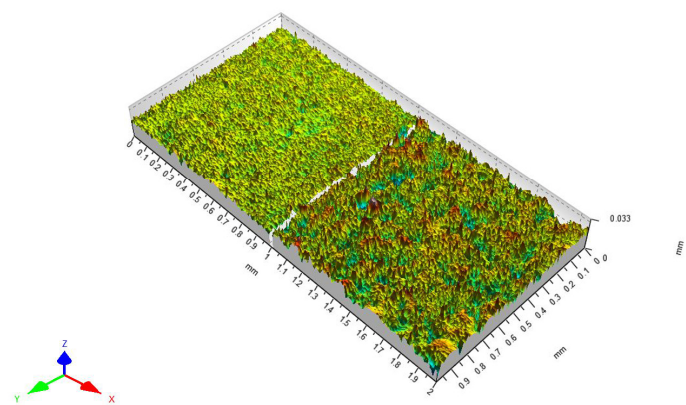
B2



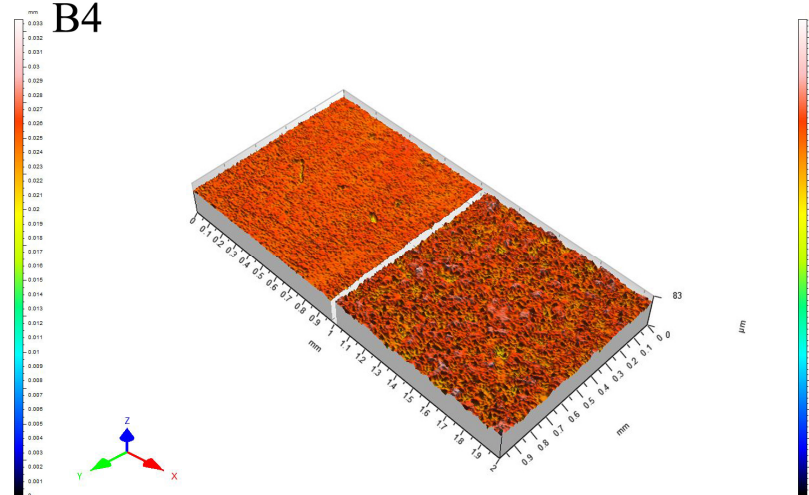
B1



B3

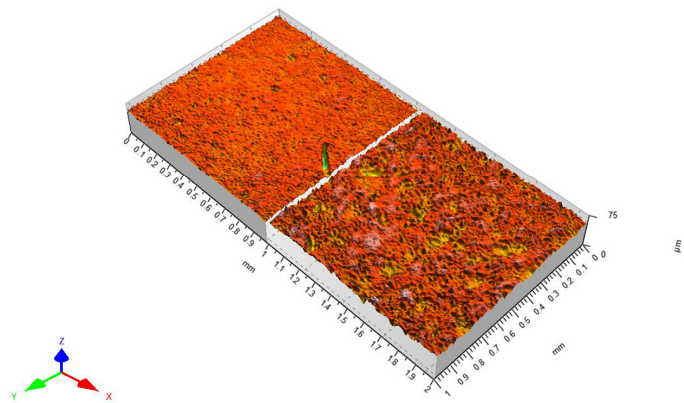


B4

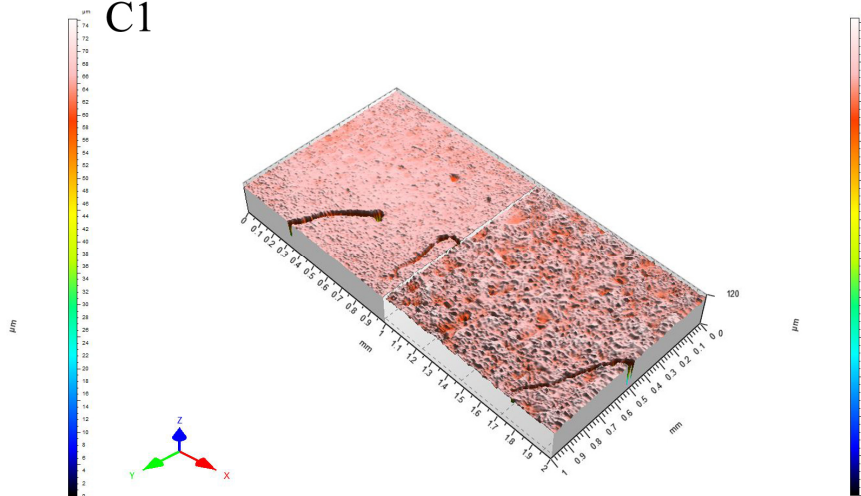


PŘÍLOHA P VI: POROVNÁNÍ POMOCÍ 3D SNÍMKŮ OBLASTI C

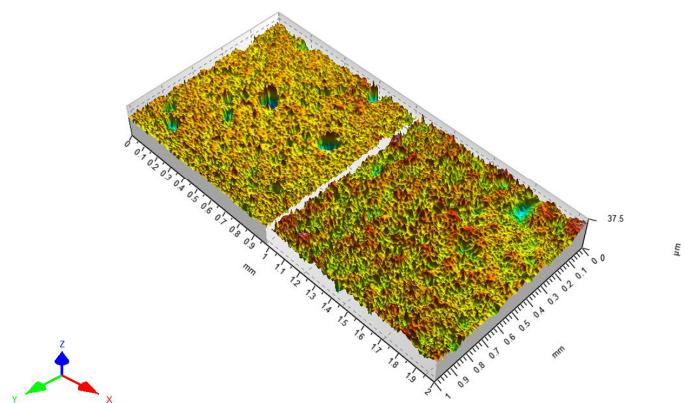
C2



C1



C3



C4

