

Návrh statistického hodnocení řízení kvality kontroly vstřikovacích forem

Bc. Jakub Jemelka

Diplomová práce
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Jemelka**
Osobní číslo: **T16145**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Návrh statistického hodnocení řízení kvality kontroly vstřikovacích forem**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická část:
2. Popište základní principy kontaktního a bezkontaktního snímání jakosti, se zřetelem k ČSN EN ISO 4288
3. Popište základní parametry jakosti povrchu s uvažováním normy ČSN EN ISO 4287
4. Praktická část:
5. Zvolte optimální počet snímání na naměřeném dílci včetně počtu základních délek
6. Vyhodnocení nejvhodnějších povrchových úprav pro zlepšení vlastností
7. Tvorba metodiky pro hodnocení povrchových úprav
8. Vyhodnocení dle metodiky

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999.
2. ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999.
3. ČSN EN ISO 25178-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 2012.
4. WHITEHOUSE, D. Surfaces and their measurement. London: HPS, 2002, xi, 395 p. ISBN 1 9039 9601 5.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milena Kubišová
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2018

Termín odevzdání diplomové práce:

18. května 2018

Ve Zlíně dne 2. února 2018



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



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

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 27.4.2018


.....

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

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

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

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

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 vzdělávacího zařízení (školní dílo).

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zaměřuje na statistické hodnocení řízení kvality kontroly vstřikovacích forem. Teoretická část popisuje jakost povrchu. Konkrétně definuje normu ČSN EN 4287, normu ČSN EN 4288 a normu ČSN EN ISO 25178-2. Dále charakterizuje měření jakosti povrchu a stručně popisuje vstřikovací formy. Praktická část se zabývá základy statistického vyhodnocení pomocí testů normality, outlier testů, F-testů a T-testů. Na základě výsledků z testů se porovnala jakost povrchu vstřikovacích forem s jejich výrobky.

Klíčová slova: Snímání jakosti povrchu, drsnost povrchu, test normality, statistické vyhodnocení, vstřikovací forma.

ABSTRACT

This work focuses on the statistical evaluation of quality control of injection mold. The theoretical part describes surface quality. Specifically, it defines the standard ČSN EN 4287, ČSN EN 4288 and ČSN EN ISO 25178-2. Further it characterizes the surface quality measurement and briefly describes the injection molds. The practical part deals with basics of statistical evaluation using tests of normality, outlier tests, F-tests and T-tests. Based on the results of the tests, the surface quality of the injection molds and their products were compared.

Keywords: Measuring of the surface quality, Roughness of surface, Normality test, Statistical evaluation, Injection mold.

Tímto bych chtěl poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Mileně KUBIŠOVÉ za její ochotu, trpělivost a cenné připomínky, které přispěly k vypracování této práce. Dále bych rád poděkoval mé rodině za podporu po celou dobu mého studia.

Tato práce byla podpořena interním grantem z UTB ve Zlíně IGA/FT/2018/004 a financována z fondů pro specifický akademický výzkum.

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

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 JAKOST POVRCHU	13
2 NORMY POPISUJÍCÍ JAKOST POVRCHU	15
2.1 NORMA ČSN EN ISO 4287	15
2.1.1 Obecné definice a základní pojmy profilové metody	15
2.1.2 Geometrické parametry pro profilovou metodu.....	17
2.1.3 Parametry profilu povrchu profilové metody.....	18
Výškové parametry (výstupky a prohlubně).....	18
2.2 NORMA ČSN EN ISO 4288	20
2.2.1 Pravidla profilové metody pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi	20
2.2.2 Hodnocení parametrů profilové metody	21
2.3 NORMA ČSN EN ISO 25178-2.....	24
2.3.1 Základní pojmy pro plošnou metodu	24
2.3.2 Parametry pro plošnou metodu	25
3 SNÍMÁNÍ DRSNOSTI POVRCHU	26
3.1 DOTYKOVÉ SNÍMÁNÍ POVRCHU	26
3.2 BEZDOTYKOVÉ SNÍMÁNÍ POVRCHU	28
3.2.1 Měřicí systémy pro bezkontaktní snímání povrchu	28
3.3 POROVNÁNÍ KONTAKTNÍHO A BEZKONTAKTNÍHO SNÍMÁNÍ POVRCHU.....	30
4 VSTŘIKOVACÍ FORMY	31
4.1 MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM	32
4.2 KONTROLA VSTŘIKOVACÍCH FOREM	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI	34
6 PŘEHLED TESTOVANÝCH VZORKŮ	35
6.1 TESTOVANÉ FORMY	35
6.2 TESTOVANÉ VZORKY	36
6.3 FOTOSIMULACE MĚŘENÝCH POVRCHŮ	37
6.4 3D SCAN MĚŘENÝCH POVRCHŮ	38
7 MĚŘENÍ DRSNOSTI FOREM	39
7.1 TALYSURF CLI 500	39
8 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI FOREM	41
8.1 TALYMAP	41
8.2 NAMĚŘENÁ DATA Z PROGRAMU TALYMAP.....	42
8.2.1 Naměřená data - výrobek ze staré formy	42
8.2.2 Naměřená data – stará forma.....	45
8.2.3 Naměřená data - výrobek z nové formy	48
8.2.4 Naměřená data – nová forma	51

9	STATISTICKÉ POROVNÁNÍ FOREM	54
9.1	TEST NORMALITY NAMĚŘENÝCH DAT.....	54
9.1.1	Normality test – výrobek ze staré formy.....	55
9.1.2	Normality test - stará forma	56
9.1.3	Normality test – výrobek z nové formy	57
9.1.4	Normality test – nová forma	58
9.2	OUTLIER TEST NAMĚŘENÝCH DAT	59
9.2.1	Outlier test – výrobek ze staré formy.....	60
9.2.2	Outlier test - stará forma	61
9.2.3	Outlier test výrobku – nová forma	62
9.2.4	Outlier test - nová forma	63
9.3	F-TEST.....	64
9.3.1	F-test – stará forma.....	65
9.3.2	F-test – nová forma	68
9.4	T-TEST (STUDENTOVO ROZDĚLENÍ)	71
9.4.1	T-test – stará forma	72
9.4.2	T-test – nová forma	73
	ZÁVĚR	74
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	76
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	78
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	83

ÚVOD

Tématem diplomové práce je návrh statistického hodnocení řízení kvality kontroly vstřikovacích forem.

První náznaky zavádění kontroly kvality a jakosti se objevovaly už ve starověku, kdy docházelo k rozvoji řemesel. Začaly vznikat kontrolní orgány, jejichž úkolem bylo chránit zájmy panovníků i obchodníků. Jakost povrchu se na počátku zkoumala jen omezeně. Nejprve se měření jakosti povrchu provádělo vizuálním způsobem, kde se zkoumaný povrch porovnával s kalibračním vzorkem. Tato metoda vykazovala značně nepřesnosti, proto byly postupem času zaváděny optické měřicí přístroje. S jejich pomocí se povrch materiálu zvětšoval mikroskopem a následně porovnával s etanoly. Poté byly vyvinuty digitální měřicí zařízení, které se využívají i v dnešní době. Na rozdíl od svých předchůdců, tyto přístroje vykazovaly vysokou přesnost, rychlost a malou hmotnost.

V současnosti jsou ve strojní výrobě na kvalitu povrchu kladeny vysoké požadavky. Jakost povrchu má zásadní vliv na funkčnost výrobků. Kvalitu povrchu zjišťujeme snímáním jakosti povrchu moderními technologiemi. Při vývoji nových technologií se zohledňují technické i ekonomické aspekty uživatelského prostředí. To má za následek zavedení řady nových parametrů jakosti povrchu.

K dosažení opakovatelnosti výsledků je nutné dodržet přesně stanovené normy. Norma je uznávaný a schválený dokument, který stanovuje pravidla pro reprodukovatelnost dosažených výsledků. Tyto dokumenty vychází z ověřených výsledků vědy, techniky a praxe. V této práci se využívá norem pro určování struktury povrchovou metodou ČSN EN ISO 4287, která popisuje termíny, definice a parametry, ČSN EN ISO 4288 zabývající se postupy, pravidly a normy ČSN EN ISO 25178-2, která definuje parametry pro určování textury povrchu plošnou metodou.

Zpracování plastů se provádí mnoha způsoby. Nejrozšířenějším z nich je vstřikování. Proces vstřikování spočívá v zaplnění dutiny formy, která má tvar budoucího výrobku, polymerní taveninou v plastickém stavu. Polymer v dutině formy ztuhne a pomocí vyhazovacího systému je z formy vyhozen výstřík.

Vstřikovací formy jsou důležitým faktorem, který ovlivňuje nejen kvalitu výrobku, ale především jeho cenu. Proto musí být správně konstrukčně řešeny s ohledem na hledisko ekonomičnosti výroby.

Kvalita opracovaných povrchů forem je ve středu zájmu vědy a průmyslové výroby. Její správné měření, vyhodnocení a interpolace naměřených dat umožňuje predikovat opotřebení, životnost součásti a především jeho spolehlivost. K úspěšnému uplatnění v současné ekonomické situaci musí výrobci odlitků zasvětit svoji práci neustálému zlepšování, stále hledat účinnější způsoby výroby produktů a poskytování služeb. Ke splnění tohoto cíle se všichni v organizaci musí soustředit na zlepšování a používání účinnějších statistických metod.

Úvodní část práce se zabývá teoretickým seznámením s jakostí povrchu. Dále práce popisuje jakost povrchu, normu ČSN EN 4287, ČSN EN 4287 a ČSN EN ISO 25178-2, vstříkovací formy a metody statistického vyhodnocení. V poslední části práce je provedeno statistické hodnocení podobnosti jakosti povrchu vstříkovacích forem a výrobků ze vstříkovacích forem.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 JAKOST POVRCHU

Jakost povrchu je souhrn vlastností, který splňuje předem stanovené požadavky. Je definovaná strukturou obráběného povrchu nebo jeho drsností. Přesně ji nadefinoval již Aristoteles: „*Jakost je nejpřesnější mírou všech věcí.*“ [1]

Od počátku 21. století je jakost považována za rozhodující faktor stabilního ekonomického růstu podniků. Je důležitým zdrojem úspor materiálu a energií, limitem pro trvale udržitelný rozvoj a ovlivňuje makroekonomické ukazatele. [1]

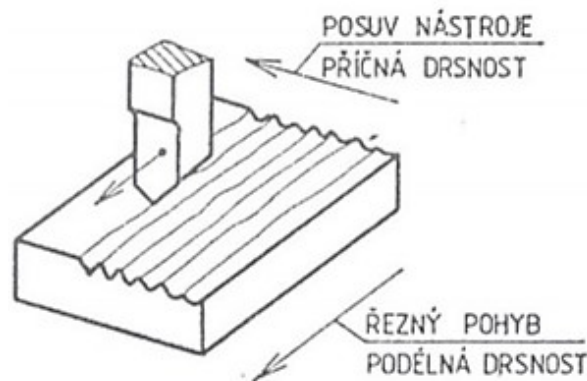
Zajišťování jakosti zahrnuje:

- Strategii řízení jakosti,
- Normy k jakosti povrchu,
- Sestavení a realizace systému zajišťování jakosti,
- Postup zajišťování jakosti pro každý stupeň řízení jakosti,
- Vyhodnocení jakosti pro každý stupeň,
- Zajištění navrhované jakosti,
- Zaznamenání a rozbor problémů jakosti,
- Vysvětlení důležitých funkcí zajišťování jakosti součásti,
- Ujištění, zda všechny činnosti procesu zajišťování jakosti jsou srozumitelné,
- Kontrola jakosti a projednání neshod,
- Kontrola systému zajišťování jakosti,
- Shromažďování, rozbor a použití získaných údajů o jakosti. [2]

Drsnost povrchu je souhrnem nerovností na ploše s relativně malou vzdáleností, které vznikají při výrobě. Nepatří sem vady povrchu, které se vyskytují jen ojediněle (důlky, trhlinky nebo rysky) a ty, které vznikají vadami materiálu či jeho poškozením. Drsnost se posuzuje ve směru podélném a příčném. [1]

Parametry drsnosti (Obr. 1) se hodnotí na skutečných profilech, získávají se jako kolmé popřípadě šikmé průsečnice se skutečným profilem. [1]

Povrch - vrstva makroskopického objektu, která tvoří hranici mezi základním materiálem a okolím. Udává rozhraní mezi dvěma fázemi a určuje vzhled materiálu. [1]

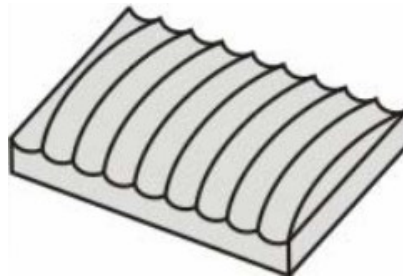


Obr. 1 Parametry drsnosti povrchu. [3]

Při každé povrchové úpravě vznikají na povrchu materiálu povrchové stopy. Tyto stopy jsou prostorově uspořádané, z technologického hlediska je jejich hodnocení velice náročné. Z toho důvodu se měření drsnosti povrchu zjednodušuje na měření nerovností povrchu jen v jednom řezu. Směr nerovnosti může být *periodický/výrazný* (Obr. 2) nebo *aperiodický/nevýrazný* (Obr. 3). [4]

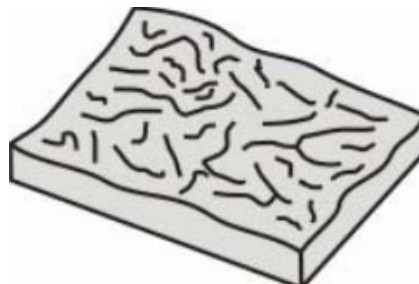
Směry nerovnosti:

- *Periodický povrch* – vzniká, jestliže nástroj vytváří na povrchu součásti rýhy, stopy v určitém směru (Obr. 2). Například při soustružení, vrtání, frézování nebo broušení. [4]



Obr. 2 Povrch periodického prvku. [4]

- *Aperiodický povrch* – tvoří se, pokud nástroj nevytváří nerovnosti ve vyznačeném směru (Obr. 3). Například při kování a odlévání. [4]



Obr. 3 Povrch aperiodického prvku. [4]

2 NORMY POPISUJÍCÍ JAKOST POVRCHU

Pro tuto diplomovou práci je zásadní norma ČSN EN ISO 4287 popisující termíny, definice a parametry, norma ČSN EN ISO 4288 zabývající se postupy a pravidly pro určování struktury povrchu profilovou metodou a norma ČSN EN ISO 25178-2, která charakterizuje terminologii, parametry a pojmy pro plošnou povrchovou texturu. [5,6,7]

2.1 NORMA ČSN EN ISO 4287

Mezinárodní norma, která od roku 1998 obsahuje 42 z celkových 65 parametrů profilu. Jde o nejrozsáhlejší a jednu z nejpoužívanějších norem. Hodnocení kvality povrchu profilovou metodou se provádí na základním profilu, který vychází z úplného profilu měřeného vzorku.[5]

2.1.1 Obecné definice a základní pojmy profilové metody

Struktura povrchu – udává opakované trojrozměrné úchytky od ideálního povrchu. Vznik úchytek je způsoben strukturou materiálu nebo výrobním procesem (obráběním). [5]

Reálný povrch – povrch, který dělí těleso od okolního prostředí. [5]

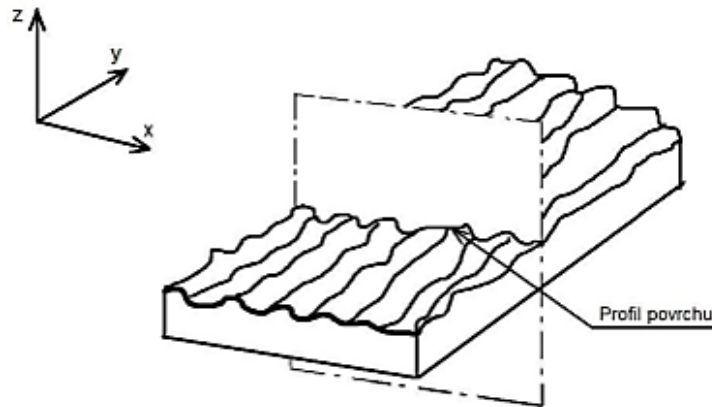
Nedokonalosti povrchu – na rozdíl od struktury povrchu jde o vady, které vznikají pouze ojediněle a nepravidelně. Mezi nedokonalosti povrchu mohou být zařazeny rýhy, trhliny či koroze, které se tvoří během výroby nebo při skladování. Tyto vady se nezahrnují do hodnocení struktury povrchu. [5]

Skutečný profil – povrch, který omezuje těleso a odděluje ho od okolí. [5]

Souřadnicový systém – systém, kde jsou nedefinované parametry struktury povrchu. Nejčastěji se používá *pravouhý kartézský souřadnicový systém*, který je orientovaný vůči povrchu profilu (Obr. 4). *Osa Y* leží na skutečném povrchu, *osa X* je souběžná se střední čarou a *osa Z* směřuje z materiálu do okolí. [5]

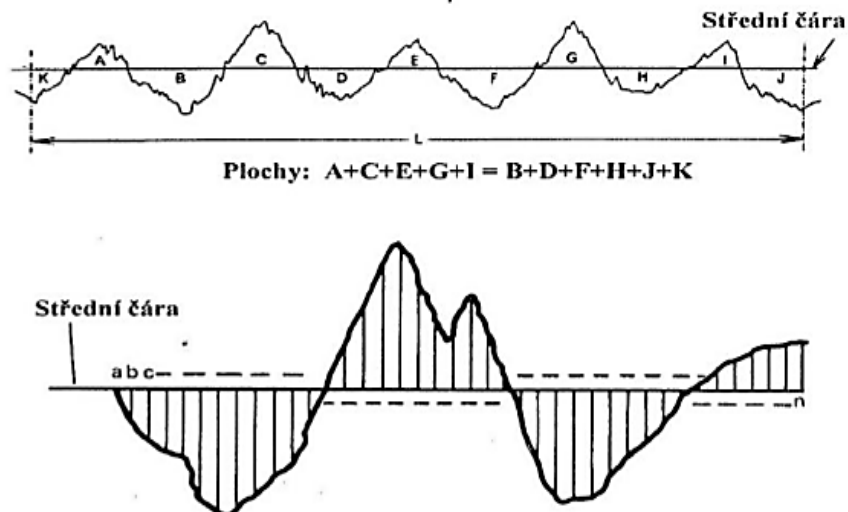
Profil povrchu – profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a roviny, která je kolmá k rovině rovnoběžné se skutečným profilem ve správném směru (Obr. 4). Je základním zdrojem informací pro posuzování struktury povrchu. [5]

Profil povrchové textury slouží jako výchozí bod pro odhad drsnosti povrchu optickými metodami. [8]



Obr. 4 Profil povrchu součásti. [1]

Střední čára – čára procházející prohlubní a středem vrcholů, součet ploch pod čarou je roven součtu ploch ohraničených profilem nerovnosti nad čarou (Obr. 5). [5]



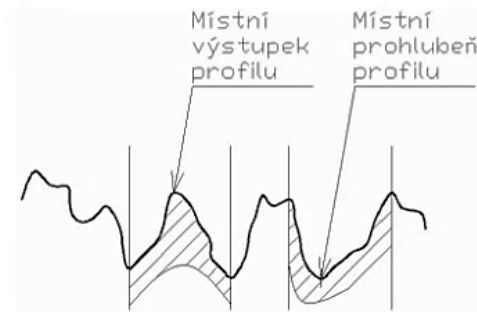
Obr. 5 Střední čára. [5]

Norma ČSN EN ISO 4287 popisuje tři střední čáry profilu:

- „Střední čára profile drsnosti – čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λc .
- Střední čára profilu vlnitosti – čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λf .
- Střední čára základního profilu – čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu.” [5]

2.1.2 Geometrické parametry pro profilovou metodu

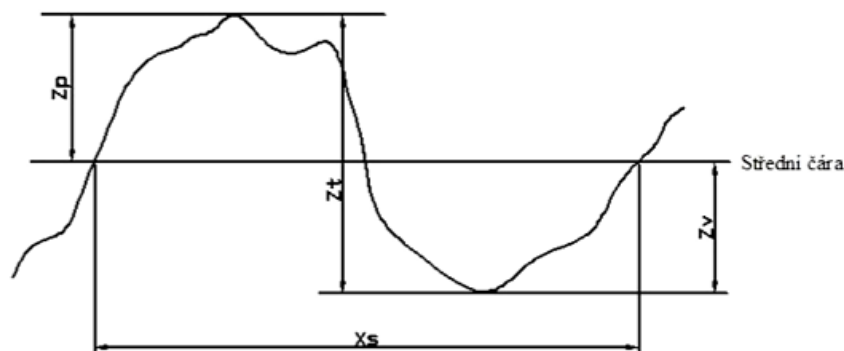
Výstupek profilu – část posuzovaného profilu, která směřuje z profilu ven, spojuje dva přilehlé body na průřezu profilu s osou X (Obr. 6). [5]



Obr. 6 Výstupek a prohlubeň profilu. [5]

Prohlubeň profilu – část posuzovaného profilu směřující do profilu, spojuje dva protilehlé body na průřezu profilu s osou X (Obr. 6). [5]

Prvek profilu – profilový výstupek a protilehlá prohlubeň (Obr. 7). [5]



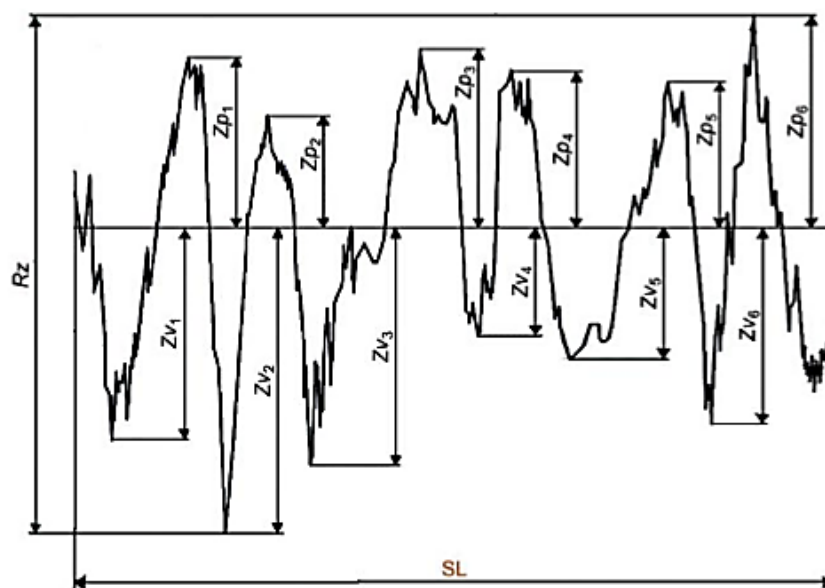
Obr. 7 Prvek profilu. [5]

- „Hodnota pořadnic, $Z_{(x)}$ - výška posuzovaného profilu v libovolné poloze X.
- Výška výstupku profilu, Z_p - vzdálenost mezi osou X a nejvyšším bodem výstupku profilu (Obr. 7).
- Hloubka prohlubně profilu, Z_v - vzdálenost mezi osou X a nejnižším bodem prohlubně profilu (Obr. 7).
- Výška prvku profilu, Z_t – délka úseku osy X protínající prvek profilu (Obr. 7).
- Šířka prvku profilu, X_s - délka úseku osy X protínající prvek profilu (Obr. 7).
- Materiálová délka profilu na úrovni c, $Ml(c)$ – součet délek úseku získaných protnutím prvku profilu čarou rovnoběžnou s osou X v dané úrovni c.” [5]

2.1.3 Parametry profilu povrhu profilové metody

Výškové parametry (výstupky a prohlubně)

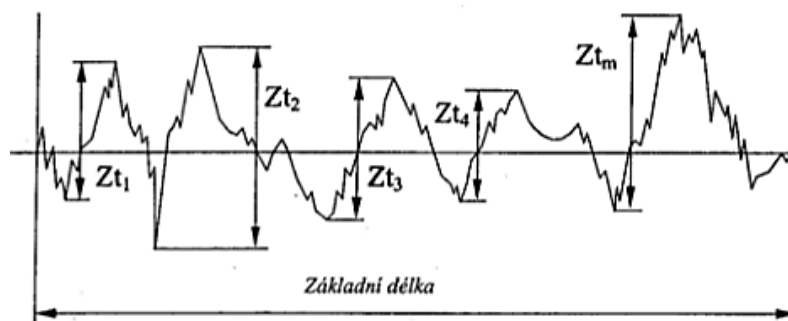
- „Největší výška výstupku profilu, R_p - výška Z_p nejvyššího výstupku profilu a rozsahu základní délky. [6]
- Největší hloubka prohlubně profilu, R_v - hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky. [6]
- Největší výška profilu, R_z - součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky (Obr. 12). [5]



Obr. 8 Největší výška profilu R_z . [5]

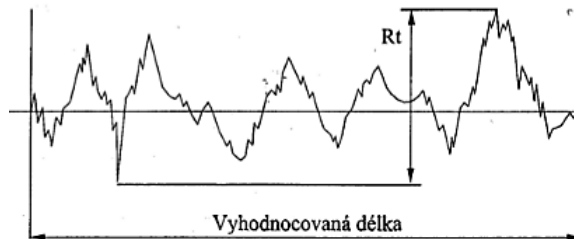
- Průměrná výška prvků profilu, R_c - průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky. [5]

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad (1)$$



Obr. 9 Průměrná výška profilu prvku. [5]

- Celková výška profilu, R_t – součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky.“ [5]



Obr. 10 Celková výška profilu. [5]

Výškové parametry (průměrné hodnoty souřadnic)

Nejdůležitější parametr je *drsnost povrchu* R_a ve směru výšky.

- „Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu, R_a – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu délky l_r . [5]

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (2)$$



Obr. 11 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného povrchu. [5]

- „Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu“, R_q – kvadratický průměr pořadnice $Z(x)$ v rozsahu délky l_r . [5]

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx} \quad (3)$$

- Šikmost posuzovaného profilu, R_{sk} – podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty R_q v rozsahu délky l_r . [5]

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

- Špičatost posuzovaného profilu, R_{ku} – podíl poměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty R_q v rozsahu základní délky l_r .“ [5]

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^4(x)| dx \right] \quad (5)$$

Délkové parametry

- „Průměrná šířka prvků profilu, R_{Sm} - aritmetický průměr šířek X_s prvků profilu v rozsahu základní délky.“ [5]

$$R_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si} \quad (6)$$

2.2 NORMA ČSN EN ISO 4288

Mezinárodní norma, která nám určuje pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu profilovou metodou. [6]

2.2.1 Pravidla profilové metody pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi

Plochy na kontrolovaných prvcích

Vizuální zkouška zjišťuje, zda je základní struktura homogenní nebo je na jednotlivých plochách zcela rozdílná. Jestliže je struktura povrchu *homogenní*, hodnoty parametrů povrchu se následně budou porovnávat s požadavky na výkrese, nebo ve výrobní dokumentaci. Je-li struktura povrchu *rozdílná*, plochy se musí porovnávat s výrobní dokumentací jednotlivě. Pokud je specifikovaná horní mez, porovnáváme jednotlivé plochy na povrchu s největšími hodnotami parametrů. [6,9]

Pravidlo maxima

Povrch odpovídá pravidlu maxima, jestliže žádná z naměřených hodnot parametru nepřekročí ani v jednom případě maximální hodnotu z výkresové dokumentace. Hodnota horní meze je na výkrese doplněna o index “max.” [6].

Pravidlo 16%

Povrch se považuje za přijatelný, pokud méně než 16% ze všech naměřených hodnot parametru $R_a 12,5$ na vyhodnocované délce překračuje předepsanou hodnotu horní meze. Značka se nepředepisuje. [6].

Nejistota měření

Norma ISO 14253-1 určuje shodu či neshodu měření se specifikovanými mezními hodnotami, která udává výkresová dokumentace. Při porovnávání výsledků s horními a dolními mezemi se neuvažuje pravidlo 16%. [6]

2.2.2 Hodnocení parametrů profilové metody

Hodnocení jakosti povrchu vychází z normy ČSN EN ISO 4288. Norma počítá s určitým rozptylem naměřených hodnot, který je zahrnut v pravidlu 16%. [6]

Parametry struktury povrchu nelze popsat vady povrchu, z tohoto důvodu nemůžeme tyto vady (rýhy, póry a jiné vady povrchu) brát v potaz při kontrole struktury. [9]

Spolehlivost měření - zda povrch vyhovuje či nikoli, závisí na počtu naměřených délek na vyhodnocované délce. [9]

Jestliže není charakterizovaný směr měření, obrobek musí být ustaven tak, aby směr řezu odpovídal největším hodnotám výšek parametrů drsnosti (R_a , R_z). Stanovený směr je kolmý ke struktuře povrchu. V případě *izotropních povrchů* může být směr řezu libovolný. [6]

Měření po vizuálním posouzení se provádí v místech, kde se očekávají kritické hodnoty. Rovnoměrné rozdělení jednotlivých měření zaručuje nezávislost měření. [6]

Na počátku určování hodnot parametrů profilu drsnosti je nutné určit, zda je profil drsnosti *periodický* nebo *neperiodický*. [6]

Postup vyhodnocení neperiodického profilu drsnosti:

- a) Libovolným způsobem se odhadne neznámý parametr profilu drsnosti (R_a , R_z). Například vizuální prohlídkou, grafickou analýzou celého profilu nebo pomoci srovnávacích vzorků.
- b) Odhad základní délky R_a , R_z z tabulek *Tab. 1*, *Tab. 2.*, *Tab. 3*.
- c) Odhadnuté základní délky se nastaví na měřicím zařízení a získají se reprezentativní hodnoty měření R_a , R_z .
- d) Porovnání naměřených hodnot R_a , R_z s rozsahem hodnot v *Tab. 1*, *Tab. 2.*, *Tab. 3*. odpovídající odhadnuté základní délce. Jsou-li naměřené hodnoty mimo rozsah hodnot, přístroj se nastaví na větší či menší základní délku, než je základní délka indikovaná měřenou hodnotou. Poté se měří reprezentativní hodnota za použití nové základní délky a opět se porovná s hodnotami z tabulek. V tomto případě by měla být dosažena kombinace naměřené hodnoty a základní délky z tabulek.
- e) Získají se reprezentativní hodnoty R_a , R_z pro jednu základní délku nastavenou kratší, není-li tato nastavená kratší základní délka hodnocena v předchozím kroku. Zkontroluje se, zda výsledná kombinace parametrů (R_a , R_z) a základní délky je uvedena v tabulkách.

- f) Pokud závěrečné nastavení z *kroku d)* odpovídá tabulkám, potom nastavená základní délka a hodnoty R_a , R_z jsou správné. Jestliže *krok e)* předkládá kombinaci z tabulek, potom nastavená kratší základní délka a hodnoty R_a , R_z jsou správné.
- g) Použitím hodnoty mezní vlnové délky odhadnuté v předchozích krocích se získá reprezentativní měření žádaných parametrů. [6]

Postup vyhodnocení periodického profilu drsnosti:

- a) Grafický odhad parametru R_{Sm} na povrchu s neznámou drsností.
- b) Z *Tab.3* se pro odhadnutý parametr R_{Sm} určí doporučená hodnota mezní vlnové délky cut-off.
- c) Ve sporném případě se změří hodnota R_{Sm} za použití hodnoty mezní vlnové délky *cut-off*, určené v *kroku b)*.
- d) Jestliže hodnota R_{Sm} odpovídá hodnotám z *Tab. 3*, menší nebo větší hodnotě mezní vlnové délky *cut-off*, použije se menší či větší hodnota mezní vlnové délky *cut-off*.
- e) Získá se reprezentativní měření žádaných parametrů za použití hodnoty mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích. [6]

Tab. 1 Základní délky drsnosti pro měření R_a , R_q , R_{Ku} , R_{Sk} , $R_{\Delta q}$, křivek a parametry pro neperiodické profily. [6]

Drsnost povrchu $R_a [\mu m]$	Základní délka drsnosti $l_r [mm]$	Vyhodnocení délky drsnosti $l_n [mm]$
$0,006 < R_a \leq 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < R_a \leq 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < R_a \leq 2$	0,8	4
$2 < R_a \leq 10$	2,5	12,5
$10 < R_a \leq 80$	8	40

Tab. 2 Základní délky drsnosti pro měření R_z, R_v, R_p, R_c, R_t neperiodických profilů. [6]

Drsnost povrchu $R_z, R_{z1,max} [\mu m]$	Základní délka drsnosti $lr [mm]$	Vyhodnocení délky drsnosti $ln [mm]$
$0,025 < R_z, R_{z1,max} \leq 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < R_z, R_{z1,max} \leq 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < R_z, R_{z1,max} \leq 10$	0,8	4
$10 < R_z, R_{z1,max} \leq 50$	2,5	12,5
$50 < R_z, R_{z1,max} \leq 200$	8	40

Tab. 3 Základní délky drsnosti pro R-parametry periodických profilů s R_{Sm} periodických a neperiodických profilů. [6]

Drsnost povrchu $R_z, R_{z1,max} [\mu m]$	Základní délka drsnosti $lr [mm]$	Vyhodnocení délky drsnosti $ln [mm]$
$0,013 < c \leq 0,04$	0,08	0,4
$0,04 < R_{Sm} \leq 0,13$	0,25	1,25
$0,13 < R_{Sm} \leq 0,4$	0,8	4
$0,4 \leq R_{Sm} \leq 1,3$	2,5	12,5
$1,3 < R_{Sm} \leq 4$	8	40

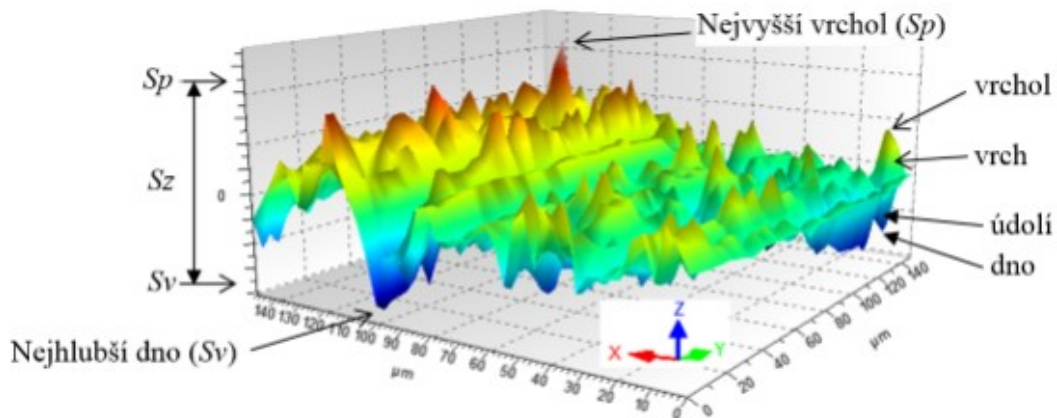
2.3 NORMA ČSN EN ISO 25178-2

Norma ČSN EN ISO 25178 popisuje plošnou metodu hodnocení povrchu. Druhá část normy ISO 25178-2 definuje parametry, termíny a definice pro plošnou povrchovou texturu. Plošná metoda hodnocení textury povrchu je analogická k profilové metodě. Po interakci snímacího zařízení s povrchem součásti (neideální povrch) se matematicky zpracovávají získaná data. [7]

2.3.1 Základní pojmy pro plošnou metodu

Topografické prvky:

Na povrchu součásti, která je snímána plošnou metodou lze definovat topografické prvky (Obr. 12). [7]



Obr. 12 Topografické prvky plošné metody snímání. [7]

- Vrchol – nejvyšší bod snímané oblasti.
- Vrch – oblast, kde všechny čáry největšího spádu končí na vrcholu.
- Údolnice – čára, která odděluje přilehlé vrchy.
- Dno – nejnižší bod snímané oblasti.
- Údolí – oblast, kde všechny čáry největšího spádu končí na dně.
- Hřbetnice – čára, která odděluje přilehlá údolí.
- Sedlo – množina bodů, v nichž se promítají hřbetnice a údolnice. Jestliže je tento průřez tvořen pouze jedním bodem, nazývá se *sedlový bod*.
- Vrstevnice – čára, která obsahuje body ležící ve stejné výšce. [7]

2.3.2 Parametry pro plošnou metodu

V druhé části normy ČSN ISO 25178 je definováno 44 parametrů textury povrchu. Podle definičního oboru se tyto parametry dělí na *parametry pole*, které jsou definované po celém zkoumaném povrchu a *parametry prvků*, vyhodnocované na podmnožině stanovených topografických prvků charakterizovaného povrchu. Posuzovaná veličina rozděluje parametry na *V-parametry*, které charakterizují objem a na *S-parametry* zahrnující vše ostatní. [7]

Plošné parametry se stratifikovanými funkčními vlastnosti se vypočítají prakticky stejně jako profilové parametry, jen s tím rozdílem, že se určují na základě křivky z plošných dat. Tyto parametry je možné vyhodnotit jak na *S-F povrchu*, tak na *S-L povrchu*. [7]

Výškové parametry

- „Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu, S_q – vymezení průměrné hodnoty čtverce hodnot koordinace uvnitř plochy definice (A).

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A z^2(x, y) dx dy} \quad (9)$$

- Šikmost omezené stupnice povrchu, S_{Sk} – kvocient průměrné hodnoty koordinační krychle a hodnot krychle S_q uvnitř určené plochy (A).

$$S_{Sk} = \left[\frac{1}{A} \iint_A z^3(x, y) dx dy \right] \quad (10)$$

- Špičatost omezené stupnice povrchu, S_{ku} – kvocient průměrné čtvrté mocniny hodnoty koordinace a hodnoty čtvrté mocniny S_q uvnitř určené plochy (A).

$$S_{ku} = \frac{1}{S_q^4} \left[\frac{1}{A} \iint_A z^4(x, y) dx dy \right] \quad (11)$$

- Největší výška vrcholu posuzovaného profilu, S_p – výška nejvyššího vrcholu definiční oblasti od referenčního povrchu (Obr. 12).
- Největší hloubka dna posuzované plochy, S_v – hloubka nejnižší položeného dna definiční oblasti od referenční roviny (Obr. 12).
- Největší výška posuzované plochy, S_z – součet největší výšky vrcholu S_p a největší hloubky dna S_v posuzované oblasti.
- Průměrná aritmetická výška posuzované plochy S_a – aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnice Z všech bodů na definované oblasti.” [7]

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(x, y)| dx dy \quad (12)$$

3 SNÍMÁNÍ DRSNOSTI POVRCHU

Měřicí technika se za poslední roky z důvodu vysokých požadavků na přesnost, rychlost, stabilitu a opakovatelnost měření značně rozvinula. [10]

Po každém měření je nutné prokázat metrologickou návaznost, kterou vydává příslušný národní nebo nadnárodní institut. Vyjadřuje přímou vazbu naměřeného výsledku s příslušnou základní délkou. [10]

Volba měřícího zařízení je závislá především na rychlosti snímání, největším možném rozsahu měření, citlivosti přístrojů na vnější vlivy a ekonomické dostupnosti pro zákazníka. [10]

Nejběžnější způsoby měření:

- Absolutní – měří se celkové rozměry součásti.
- Komparační – zjišťují se hodnoty úchylek od jmenovitého rozměru.
- Toleranční – zkoumá se, zda je či není splněn daný předpis. [10]

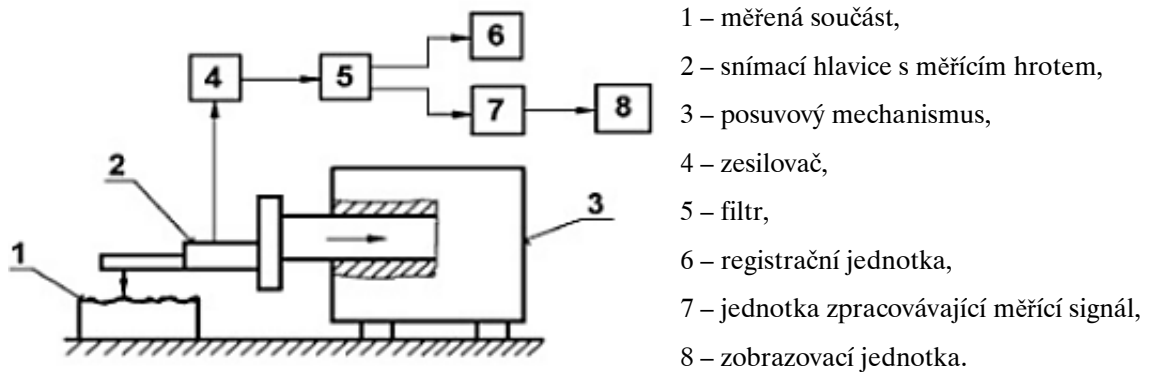
3.1 DOTYKOVÉ SNÍMÁNÍ POVRCHU

Snímání povrchu dotykovou metodou je tradiční, dodnes nejpoužívanější způsob měření drsnosti povrchu. Dotykové měřicí přístroje zkoumají povrchy snímacím hrotem, následně získávají úchylky ve formě profilu povrchu a souběžně se zaznamenáváním profilů vypočítávají parametry. Skládají se z *elektrické* a *mechanické části*. [11]

- Elektrická část – transformuje mechanický signál, který generuje snímací hrot pozorující nerovnosti povrchu měřené plochy na elektrický signál, jež je dále zpracováván. Pohyb snímacího hrotu musí být přímý a rovnoměrný. Při stanovení rychlosti se ohlíží na dynamické vlastnosti snímacího systému. Tyto vlastnosti ovlivňují získaný profil. [11]
- Mechanická část – obsahuje stolek, který slouží pro umístění měřené součásti, rameno se snímacím hrotem, který se pohybuje konstantní rychlostí a elektromotorek pro zajištění přímočarého vratného pohybu. [11]

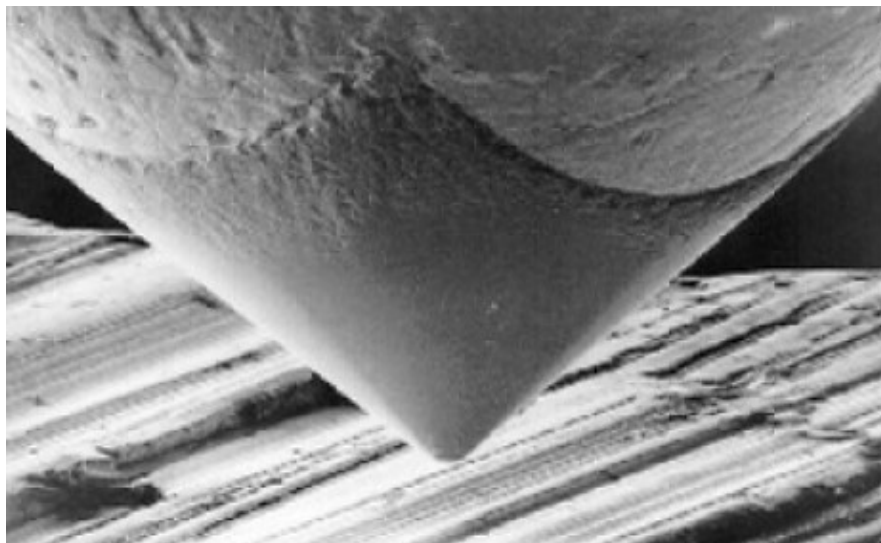
Velkou výhodou kontaktního snímání povrchu je snadná obsluha zařízení, malé rozměry snímače a rychlost měření. Oproti optickému zařízení má větší tolerance vůči znečištění. Snímací hrot odstraňuje drobné nečistoty a neomezuje ho olejová vrstva. Optická sonda vyžaduje čistý povrch. [12]

Dotykovým zařízením (Obr. 13) lze měřit technické povrchy, kde nelze kvůli velkým rozměrovým rozdílům profilu povrchu použít snímací hrot. Tuto metodu lze využít pro nejmodernější statistická a spektrální hodnocení nerovností povrchu. [12,13]



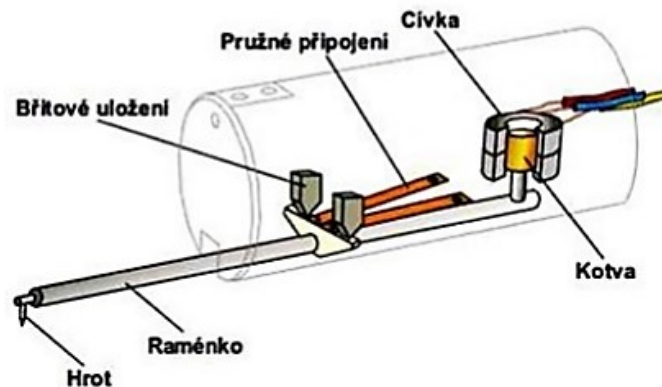
Obr. 13 Schéma dotykového profilometru. [11]

Snímací hrot – je to nejdůležitější součást dotykového měřícího zařízení. Pohyb hrotu je vždy přesně definovaný - čím přesnější pohyb, tím přesnější zařízení. Výsledky měření ovlivňuje především snímací systém, přesnost a rychlost snímání. Příliš vysoká rychlost může způsobit poškození hrotu nebo povrchu. Geometrie hrotu z velké části ovlivňuje, zda dosáhne na dno největších prohlubní při měření celkového tvaru nerovnosti. Hrot je přitlačován k povrchu tahovou silou, aby byla při pohybu snímače špička hrotu neustále ve styku s měřeným povrchem (Obr. 14). [12]



Obr. 14 Měřící hrot dotykového snímače. [12]

V praxi se nejčastěji využívá diamantový hrot. Jeho základní parametry definuje norma ČSN EN ISO 3274. Hrot se nachází na konci raménka, které je pevně uloženo v těle systému (Obr. 15). [19]



Obr. 15 Schéma indukčního systému. [14]

3.2 BEZDOTYKOVÉ SNÍMÁNÍ POVRCHU

Snímání povrchu, kde se světelné paprsky odráží nebo promítají na zkoumané součásti. Kontrolovaný povrch je sledovaný měřicí hlavou. U hladkého povrchu je světlo rozptýleno výhradně v zrcadlovém směru. Čím hladší je povrch, tím zrcadlová složka stoupá a zmenšují se rozptylové složky. Na ideálně hladkém povrchu nedochází k žádnému rozptylu světla. Pokud je výška nerovností menší než vlnová délka rozptýleného světla, drsnost povrchu se určuje vektorem difrakce a skalární Beckmannovou teorií. [12]

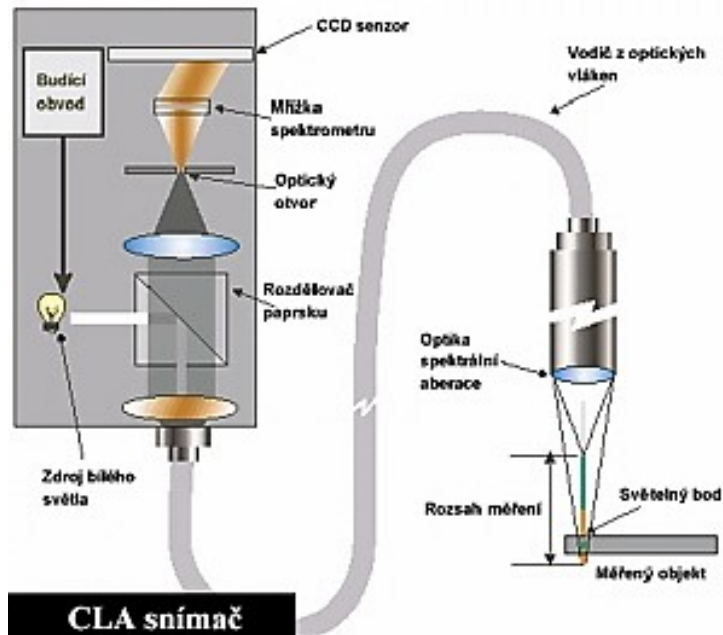
Používají se na měření povrchů, které jsou citlivé na mechanické poškození, měkkých materiálů, apod. [12]

3.2.1 Měřicí systémy pro bezkontaktní snímání povrchu

CLA snímač

Vysoce přesný bezkontaktní snímač (Obr. 16). Používá se v případech, kde je bílé světlo rozkládáno a pomocí optiky je směřováno na kontrolovaný povrch. Optika rozkládá světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka. Odražené světlo z povrchu prochází otvorem, který propouští pouze zaostřené světlo vlnové délky. Spektrometr vychyluje světlo na senzor, kde se každému bodu přiřazuje prostorová poloha. [15]

Výhodou CLA snímače je rychlost snímání, vysoká přesnost, vynikající rozlišení a bezdotykové snímání. [15]

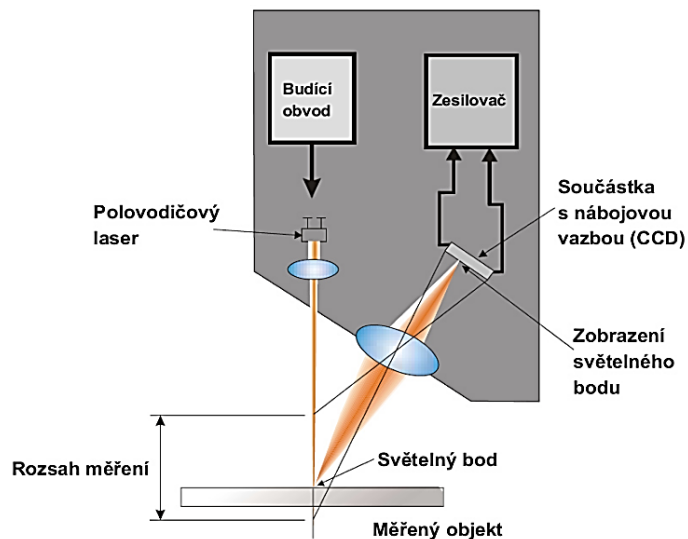


Obr. 16 CLA bezkontaktní snímač. [15]

Laserový snímač

Rychlý bezkontaktní snímač (Obr. 17). Paprsek polovodičového laseru se odráží od měřeného povrchu a je přijímán do optického systému, kde se paprsek zaostřuje na obrazovou matici, u které se využívá obrazových prvků pro určení polohy daného bodu. [15]

Výhodou laserového snímače je rychlá kontrola, široký rozsah, efektivní cena a bezkontaktní snímání. [15]



Obr. 17 Schéma laserového snímače. [15]

3.3 POROVNÁNÍ KONTAKTNÍHO A BEZKONTAKTNÍHO SNÍMÁNÍ POVRCHU

Výhody kontaktního snímání povrchu

- Jednoduchá obsluha.
- Lze měřit součásti, které nejsou ve vodorovné poloze.
- Hrotu nevadí nečistoty na měřeném povrchu.
- Okolní prostředí neovlivňuje naměřené výsledky.
- Jednoznačně definované ISO standardy a povrchy. [12]

Nevýhody kontaktního snímání povrchu

- Nelze měřit všechny materiály, např. elastomery, apod.
- Diamantový hrot omezuje měření mikro-nerovností.
- Velké riziko opotřebení a nenávratné poškození snímače. [12]

Výhody bezkontaktního snímání povrchu

- Lze měřit citlivé, pružné i měkké materiály.
- Rychlé snímání povrchu ve dvou směrech.
- Součást nemůže poškodit součást.
- Nedochozí k opotřebení měřidla jako u dotykového snímání.
- Nevzniká destrukce kontrolovaného materiálu. [12]

Nevýhody bezkontaktního snímání povrchu

- Velký vliv okolního prostředí
- Důkladné vyčištění před každým měřením povrchu.
- Nepřesné naměření dat způsobené špatně odraženým paprskem. [12]

4 VSTŘIKOVACÍ FORMY

Při konstrukci vstřikovací formy se bere vždy ohled na technologický projekt příslušného výrobku. Největší zřetel je dáván především na druh vstřikovacího materiálu, velikost vstřikovací série, možnosti navrhovaného vstřikovaného výrobního zařízení, požadavky na kvalitu výrobků a produktivitu práce. [16]

Principem vstřikování je vstříknutí plastické hmoty tryskou do dutiny formy tlakem a následné ochlazení vyráběné součásti. [16]

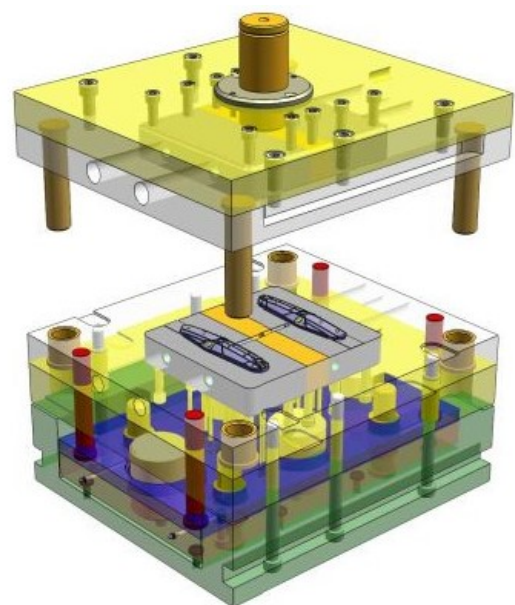
Požadavky na formu:

- maximální tuhost a pevnost částí formy,
- vysoká přesnost a požadovaná jakost funkčních ploch dílů,
- zaručená optimální životnost,
- správná funkce formy,
- jednoduchá obsluha a automatický provoz,
- vysoké využití zpracovávaného materiálu,
- snadné vyjmutí výstřiku,
- vhodný vtokový systém, vyhazování, odvzdušnění, temperování
- nízká pořizovací cena. [17]

K dosažení kvalitního výstřiku je důležité vybrat vhodný vstřikovací stroj. Využití taveniny se pohybuje do 90%. Pokud by došlo vlivem teplotního smrštění k překročení tohoto limitu, je nutné dorovnávat úbytek plastu. [17]

Požadavky na vstřikovací stroj:

- dostatečná uzavírací a přidržovací síla,
- vyhovující vstřikovací tlak,
- dostatečná vstřikovací kapacita,
- vhodná koncepce. [17]



Obr. 18 Model vstřikovací formy. [17]

4.1 Materiály vstřikovacích forem

Volba materiálu pro vstřikovací formy závisí na:

- Druhu vstřikovaného plastu,
- Přesnosti a jakosti výstřiku,
- Vstřikovacím stroji,
- Podmínkách vstřikování. [17]

Dále se bere velký ohled na rozměry a jakost povrchu forem. Z těchto důvodů se upřednostňují univerzální materiály s širokým obsahem užitečných vlastností. [17]

Materiály pro vstřikovací formy:

- Oceli s vhodnou jakostí,
- Neželezné slitiny kovů (Cu, Al),
- Ostatní materiály (izolační, tepelně nevodivé). [17]

4.2 Kontrola vstřikovacích forem

Kontrola forem zásadně ovlivňuje kvalitu a správnou funkci formy. Největší vliv má na sériovou výrobu, kde kvalitu provedených zkoušek znázorňuje počet reklamací forem předaných do výroby. Zkouší se formy nové, po rekonstrukcích, úpravách nebo formy pro zjištění neznámých technologických parametrů. [18]

Postup testování vstřikovacích forem:

- 1) Dílenská kontrola - forma se kontroluje kompletně smontovaná. Kontroluje se podle výkresové dokumentace, dále se kontrolují rozměry tvarové dutiny, jakost povrchu, závěsy pro bezpečnou manipulaci, popis formy a pomocí vody se testuje těsnost temperančního systému.
- 2) Funkční zkoušky - provádí se zkušebně kvalifikovanými pracovníky, kteří úzce spolupracují s konstruktéry a technology. Zkoušky zahrnují vizuální kontrolu formy a porovnání s výkresem, kontrolu upnutí formy na vstřikovacím stroji, testování jednotlivých systémů formy naprázdno a ověření funkce přípravků.
- 3) Technologické zkoušky – zahrnuje odkonzervování dutin formy, nastavení předepsaných parametrů stroje, vstřiknutí do studené formy a úpravu technologických parametrů (vstřikovací tlak, rychlost, teplota) z výsledků, zapojení temperančního systému a vstřikování v poloautomatickém/automatickém režimu. [18]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Cílem praktické části diplomové práce je porovnat kvalitu jakosti povrchu forem s jejich výrobky. Drsnost povrchu byla naměřena na přístroji *Talysurf CLI 500* od firmy Taylor Hobson. Zpracování naměřených dat proběhlo v programu *TalyMap*. Podobnost zkoumaných dat byla otestována *T-testem* a *F-testem* v programu Minitab.

6 PŘEHLED TESTOVANÝCH VZORKŮ

Testovaným výrobkem je *součást kabinového filtru do automobilu*. Vzorky byly vyrobeny firmou *PLASTIKA a.s.*, která zajišťuje kompletní servis pro výrobu technických plastových dílů. Provádí průmyslové zpracování plastu jako je vstřikování, ohýbání nebo vytlačování. Dále společnost zajišťuje doplňkové služby, mezi které patří montáž, lakování, laserové popisování či elektronická kontrola.

6.1 Testované formy

Vstřikovací stroje firmy PLASTIKA a.s. jsou vybaveny moderními řídicími systémy a potřebnými periferiemi pro stabilní a spolehlivé řízení procesu.



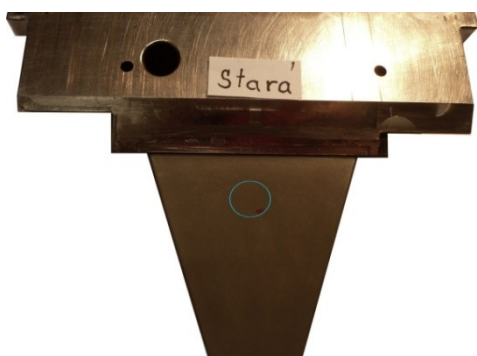
Obr. 19 Vstřikovací stroj Engel. [19]

Stará forma – forma, na níž bylo vyrobeno více než milión dílů.

Nová forma – forma vyrobená stejným výrobcem, ze které byly vyrobeny stovky dílů.

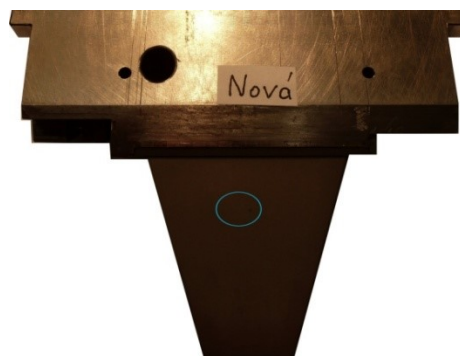
Označená oblast na obr. 20 a obr. 21 znázorňuje snímanou oblast drsnosti povrchu.

Stará forma



Obr. 20 Stará forma-testované místo.

Nová forma



Obr. 21 Nová forma-testované místo.

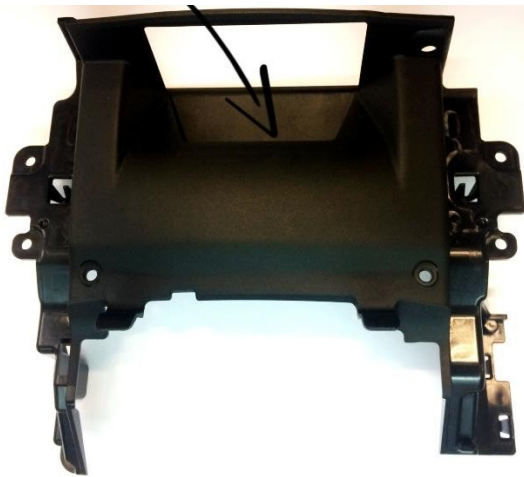
6.2 Testované vzorky

Hlavní technologií pro výrobu plastových dílů je vstřikování. Po vstřikování jsou výrobky chlazeny, následně jsou na ně namontovány kovové vložky a další příslušenství.

Vstřikováním lze vyrobit produkty ze široké škály materiálů podle přesných specifikací zákazníka. Mezi nejvyužívanější materiály patří ABS – akrylonitril-butadien-stryren, PA – polyamid, PBT – polybutylentereftalat, PC – polykarbonát a PE – polyetylen.

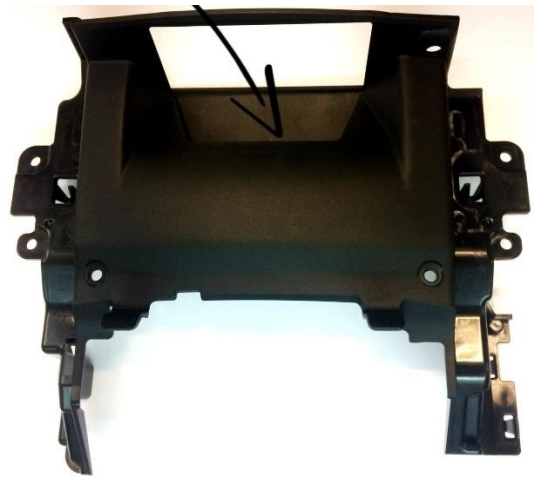
Šipka na obr. 22 a obr. 23 určuje testovanou část výrobků. Označená plocha na obr. 24 a obr. 25 znázorňuje vyšetřovanou oblast testovaných vzorků.

Výrobek – stará forma



Obr. 22 Výrobek – stará forma

Výrobek – nová forma



Obr. 23 Výrobek – nová forma.

Testovaný vzorek – stará forma



Obr. 24 Testovaný vzorek – stará forma.

Testovaný vzorek – nová forma

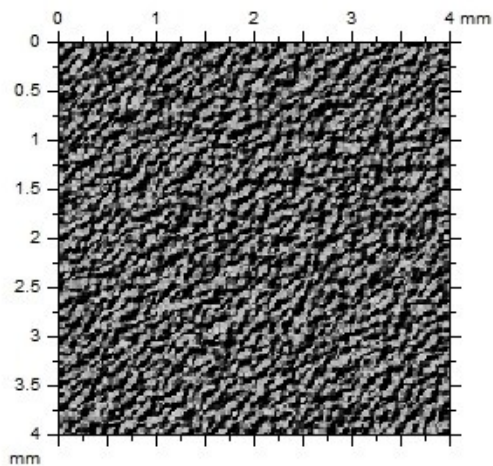


Obr. 25 Testovaný vzorek – nová formy.

6.3 Fotosimulace měřených povrchů

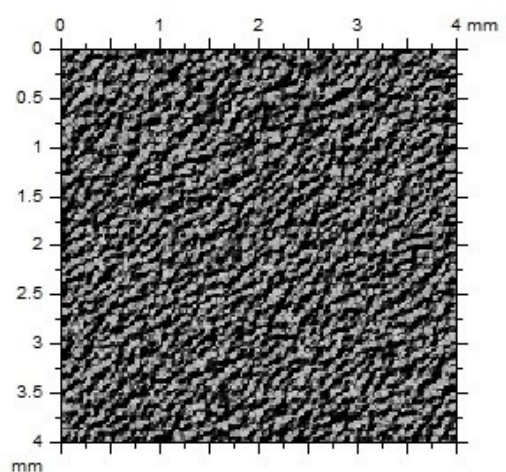
Výsledky interferometrického měření zpracovaného v programu *TalyMap* poskytují zobrazení profilu povrchu ve formě *fotosimulace povrchu* na nanometrické úrovni.

Fotosimulace povrchu staré formy



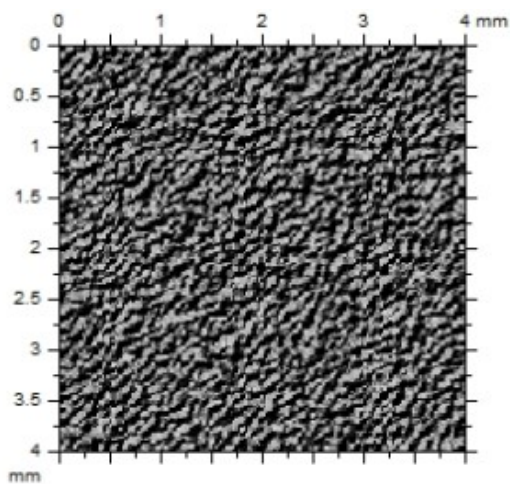
Obr. 26 Fotosimulace – stará forma.

Fotosimulace povrchu nové formy



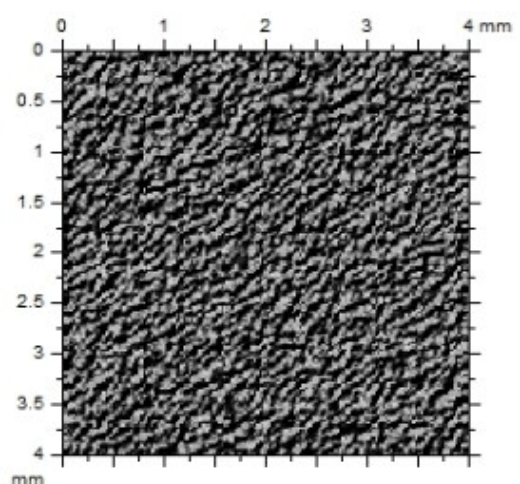
Obr. 27 Fotosimulace – nová forma.

Fotosimulace výrobku ze staré formy



Obr. 28 Simulace výrobku – stará forma.

Fotosimulace výrobku z nové formy



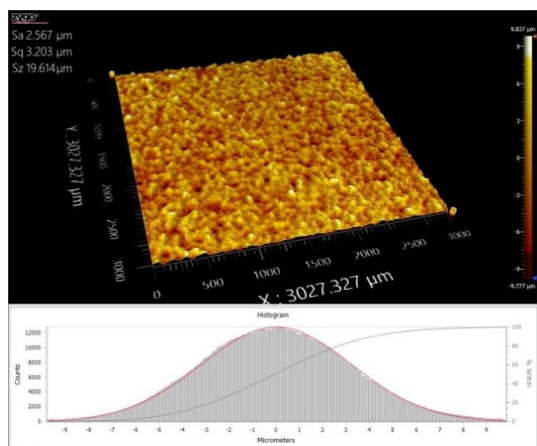
Obr. 29 Simulace výrobku – nová forma.

6.4 3D SCAN měřených povrchů

Naskenované povrchy výrobků byly získány z 3D profilometru ZYGO NewView 7000.

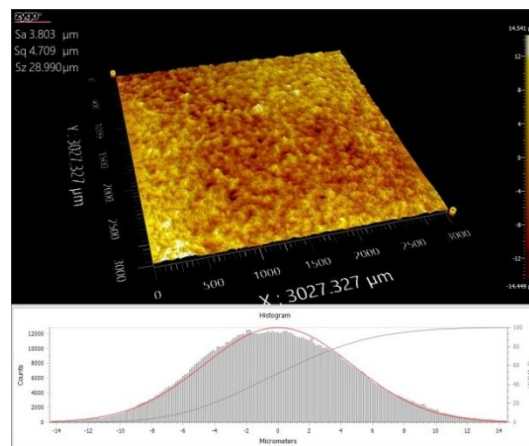
Průměrná aritmetická výška snímané plochy S_a je přibližně o 1/3 nižší než hodnota průměrné aritmetické úchyly profilu R_a .

3D SCAN povrchu staré formy



Obr. 30 3D SCAN povrchu – stará forma.

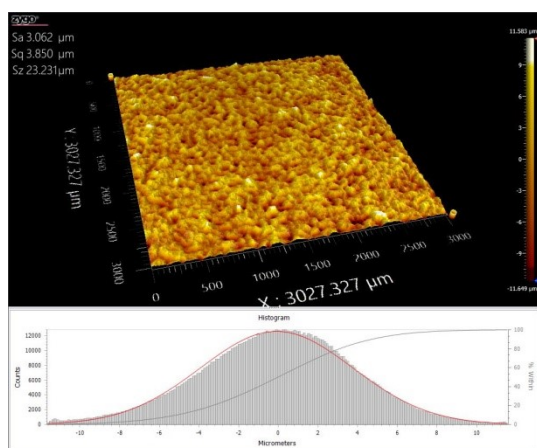
3D SCAN výrobek ze staré formy



Obr. 31 3D SCAN – výrobek z nové formy.

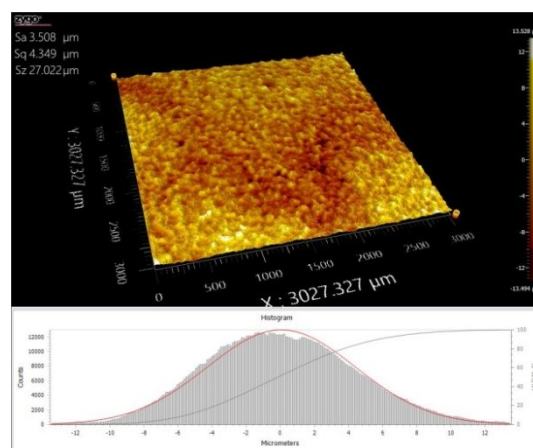
Průměrná aritmetická výška povrchu staré formy $S_{a_stará\ forma} = 2,567 \mu\text{m}$, pro výrobek ze staré formy dosahuje hodnoty $S_{a_výrobek-stará\ forma} = 3,803 \mu\text{m}$. Jejich systematická odchylka neboli rozdíl je $1,236 \mu\text{m}$.

3D SCAN povrchu nové formy



Obr. 32 3D SCAN povrchu – nová forma.

3D SCAN výrobku z nové formy



Obr. 33 3D SCAN – výrobek z nové formy.

Směrodatná odchylka průměrné aritmetické výšky povrchů nové formy a jejího výrobku $S_{a_nová\ forma} = 3,062 \mu\text{m}$ a $S_{a_výrobek-nová\ forma} = 3,508 \mu\text{m}$ je výrazně nižší než u staré formy. Hodnota tohoto parametru je $0,446 \mu\text{m}$.

7 MĚŘENÍ DRSNOSTI FOREM

Před samotným snímáním povrchu se nejprve provedla kontrola, zda etalon nebo forma nejsou poškozené na funkčních plochách. Poté proběhla mikroskopická kontrola povrchů na 2D dílenském mikroskopu *Carl Zeiss* při padesátinásobném zvětšení.

Měření se uskutečnilo na snímacím zařízení *Talysurf CLI 500* od firmy *Taylor Hobson*.

7.1 TALYSURF CLI 500

Talysurf CLI 500 je velice přesné měřicí zařízení s malými rozměry, které je prostorově i ekonomicky efektivní. *Systém CLI* je schopen měřit i analyzovat jakost povrchu ve třech osách (x, y, z) pro bezkontaktní i kontaktní způsob měření. [20]

Pro získání naměřených dat je systém propojen s programem *TalyMap*, který koná kontrolní, řídicí, vyhodnocovací i informační službu. [21]

Parametry Talysurf CLI 500:

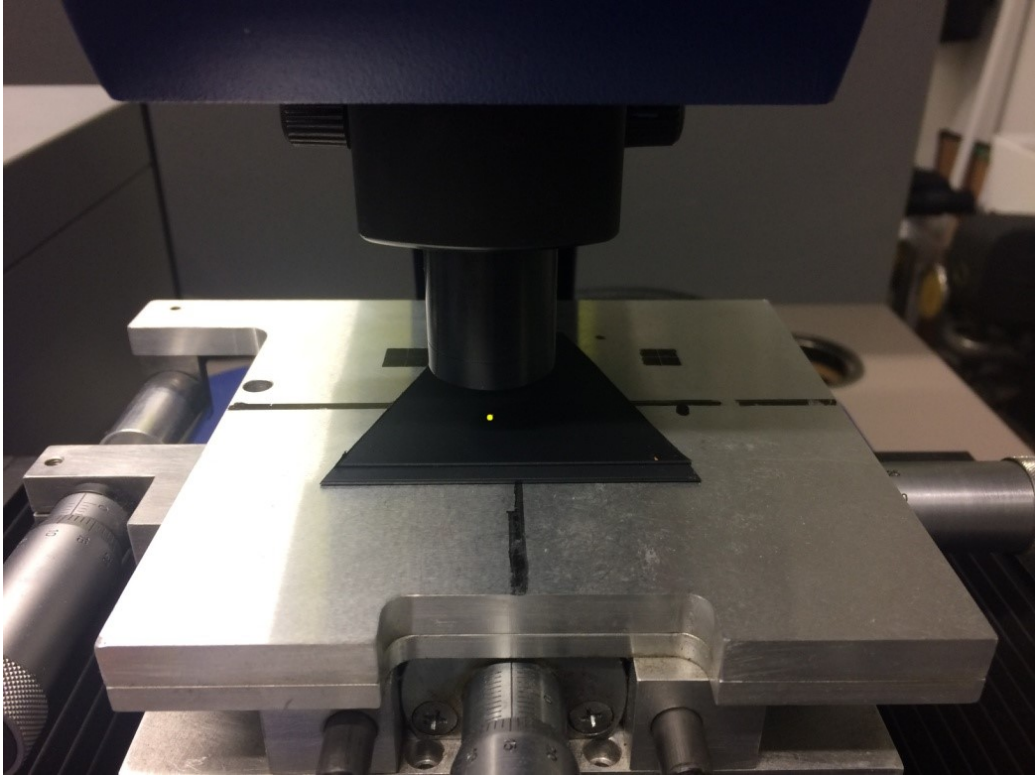
- Rozměry zařízení: 500 x 450 x 310 mm
- Měřicí prostor: 50 x 50 x 50 mm
- Osové rozlišení: 5 μ m
- Délka posuvu: 50 mm
- Rychlost měření: 0,5; 1; 5; 10; 15; 30 mm/s
- Nosnost: 10 kg
- Hmotnost: 55 kg. [20]



Obr. 34 TALYSURF CLI 500.

Usazení testovaného vzorku:

Vyříznutý tvar výlisku ze vstřikovacích forem byl usazen na základní desku měřicího zařízení TALYSURF CLI 500. Po upevnění vzorku byla hlava posunuta na označené místo.



Obr. 35 Usazení testovaného vzorku.

8 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI FOREM

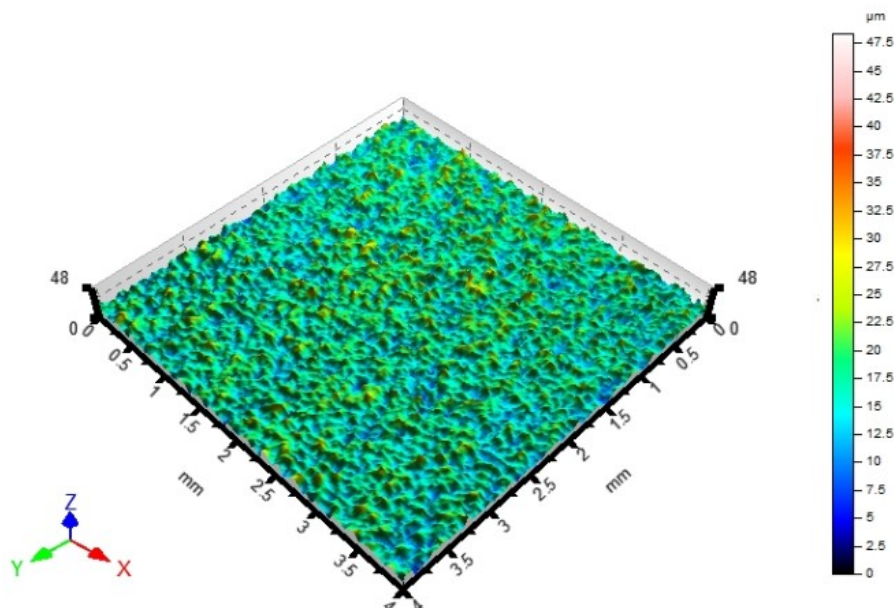
Materiálové vlastnosti pro porovnání forem byly získány z programu TalyMap.

Snímané povrchy byly vyhodnoceny v souladu s normami ČSN EN 4287, ČSN EN 4288.

8.1 TalyMap

TalyMap je program pro analýzu povrchu s jednoduchým uspořádáním, který usnadňuje a urychluje celý proces měření. Program je schopen provádět kontrolní, řídicí, vyhodnocovací i informační služby pro data ve 2D, 3D i 4D rozlišení. Pro prostorové měření jakosti povrchu využívá amplitudové, objemové parametry, parametry popisující materiálový poměr povrchu a parametry vztažené k rozložení nerovností. [21]

TalyMap splňuje všechny moderní metrologické požadavky povrchu. Neustále je zdokonaľován o nové metody a standardy. [21]



Obr. 36 TalyMap - 3D povrch s barevnou výškovou stupnicí.

Parametry pro snímání:

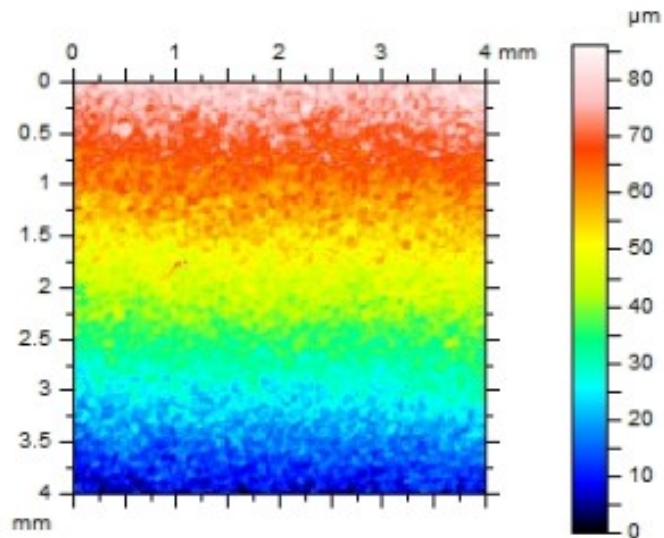
- Velikost snímané plochy: 4 x 4 mm
- Počet příčných a podélných řezů na snímané ploše: 201 x 201 (161 x 161)
- Rychlost posuvu snímání: 500 $\mu\text{m/s}$
- Rychlost volného posuvu: 1 $\mu\text{m/s}$
- Přibližná doba snímání vzorku: 50 min. [21]

8.2 Naměřená data z programu TalyMap

8.2.1 Naměřená data - výrobek ze staré formy

Na snímané ploše o velikosti 4x4 mm bylo provedeno 161 příčných a 161 podélných řezů, a to ve směru osy *X* (North – South) a osy *Y* (West – East).

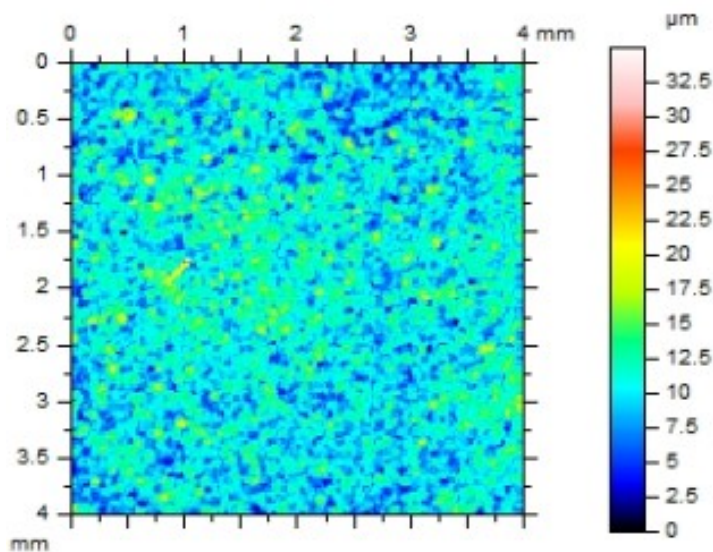
Tvar, vlnitost, drsnost výrobku – stará forma



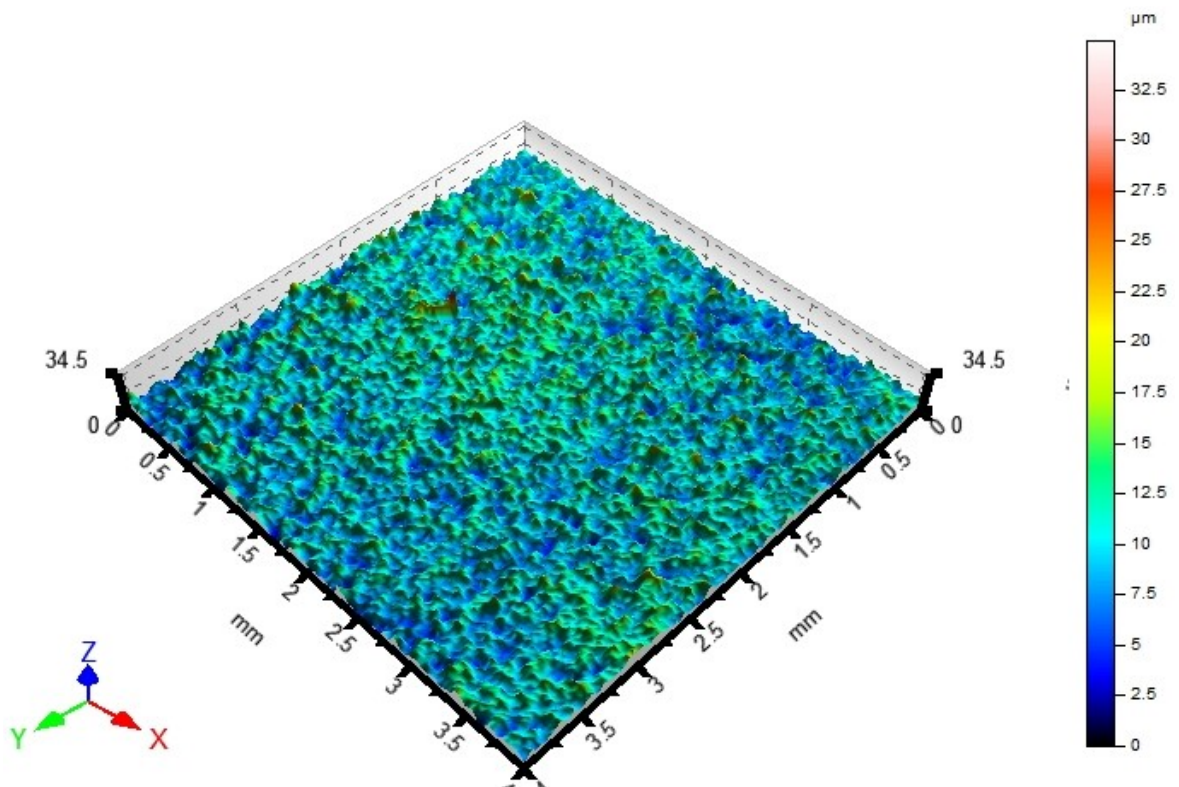
Obr. 37 Tvar, vlnitost, drsnost výrobku - stará forma.

Drsnost povrchu byla získána po odfiltrování tvaru a vlnitosti povrchu dle ČSN EN 4287 a ČSN EN 4288.

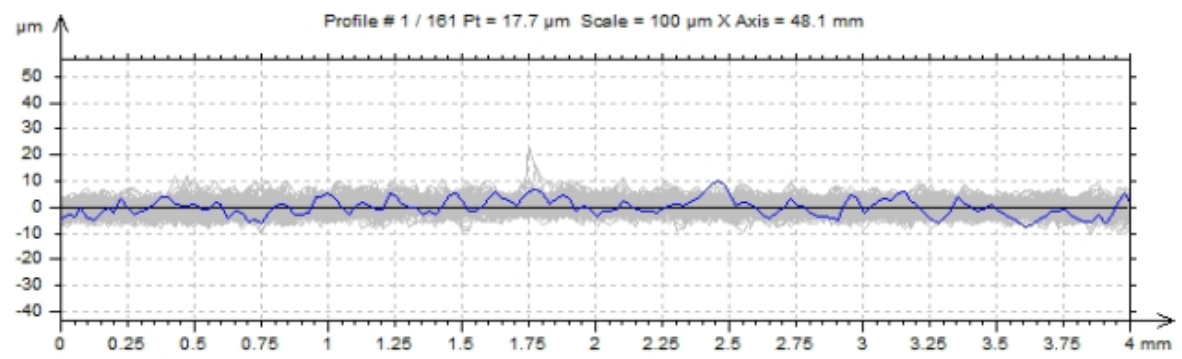
Drsnost výrobku – stará forma



Obr. 38 Drsnost výrobku - stará forma.

3D pohled výrobku – stará forma

Obr. 39 3D pohled výrobku - stará forma.

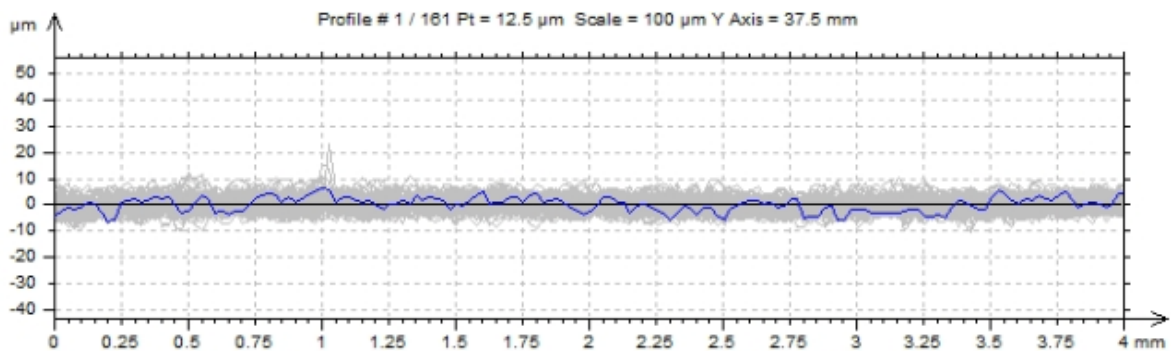
Výsledky měření ve směru N-S (osa X) výrobku – stará forma

Obr. 40 161 řezů ve směru N-S (osa X) – výrobek ze staré formy.

Naměřená data ve směru N-S (osa X) výrobku – stará forma

Tab. 4 Naměřená data ve směru N-S (osa X) – výrobek staré formy.

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	μm	4.44	0.685	2.83	7.62
Rv	μm	4.08	0.57	2.88	5.94
Rz	μm	8.52	1.02	6.13	11.4
Rt	μm	11.4	1.73	7.58	21.4
Ra	μm	1.66	0.176	1.24	2.06

Výsledky měření ve směru W-E (osa Y) výrobku – stará forma

Obr. 41 161 řezů ve směru W-E (osa Y) – výrobek staré formy.

Naměřená data ve směru N-S (osa Y) výrobku – stará forma

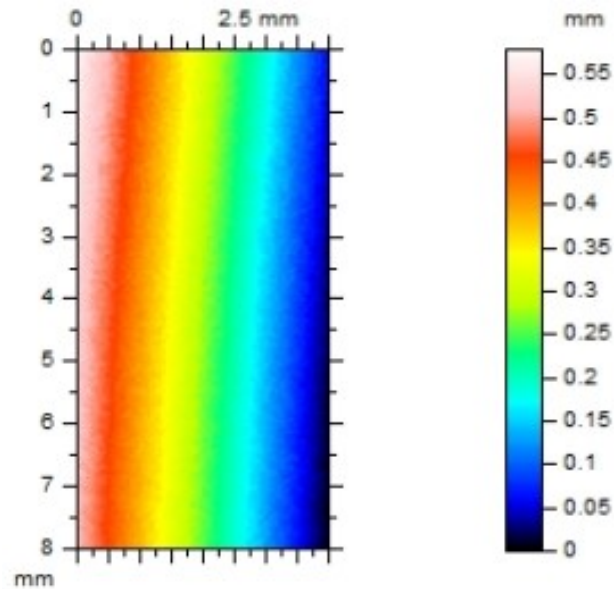
Tab. 5 Naměřená data ve směru W-E (osa Y) – výrobek staré formy.

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	μm	4.37	0.704	2.95	8.21
Rv	μm	3.98	0.563	2.65	5.52
Rz	μm	8.35	1.03	6.1	13.2
Rt	μm	11.1	1.71	8.11	21.5
Ra	μm	1.66	0.177	1.29	2.25

8.2.2 Naměřená data – stará forma

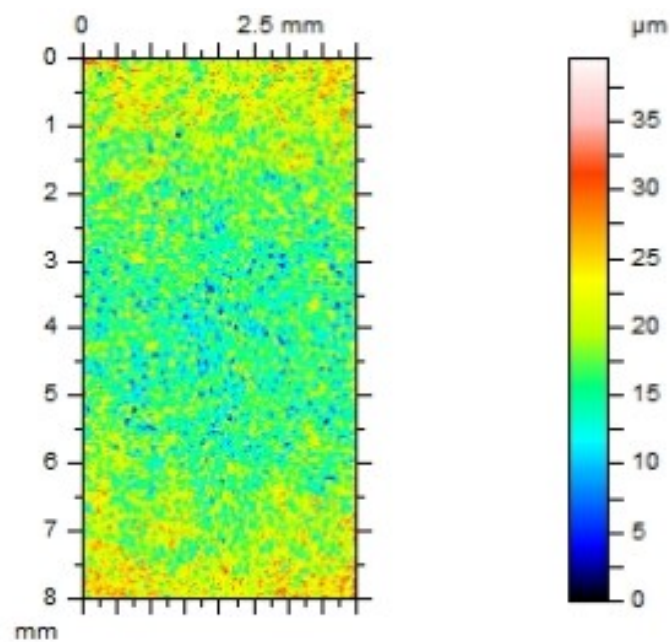
Snímaná plocha formy má rozměr 4 x 2 mm. Bylo provedeno 201 příčných a 201 podélných řezů, a to ve směru osy *X* (North – South) a osy *Y* (West – East).

Tvar, vlnitost, drsnost staré formy



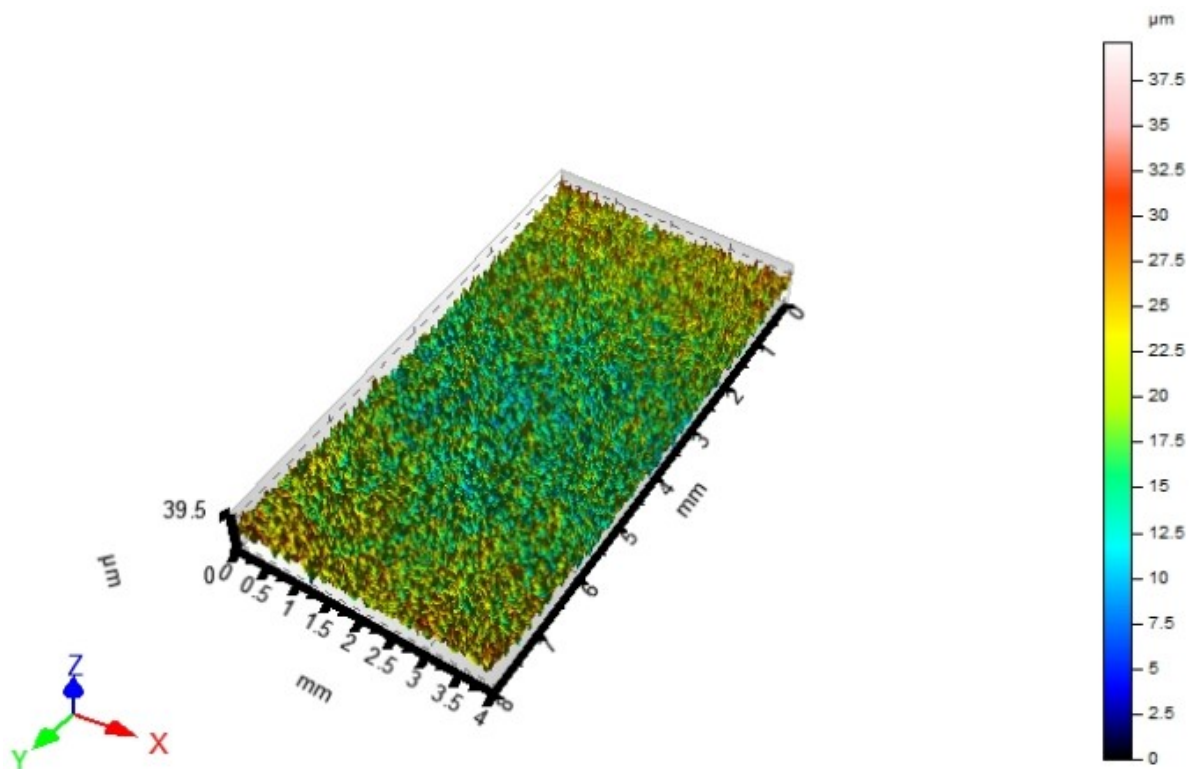
Obr. 42 Tvar, vlnitost, drsnost staré formy.

Drsnost staré formy



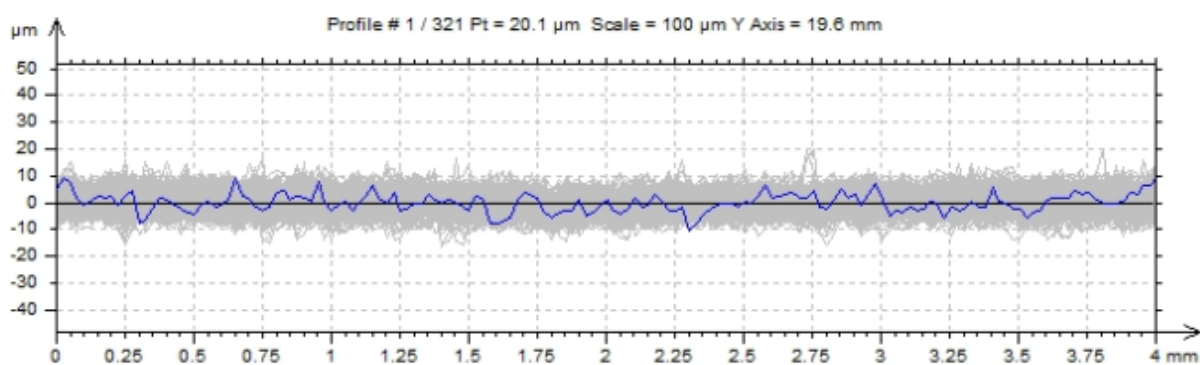
Obr. 43 Drsnost staré formy.

3D pohled staré formy



Obr. 44 3D pohled staré formy.

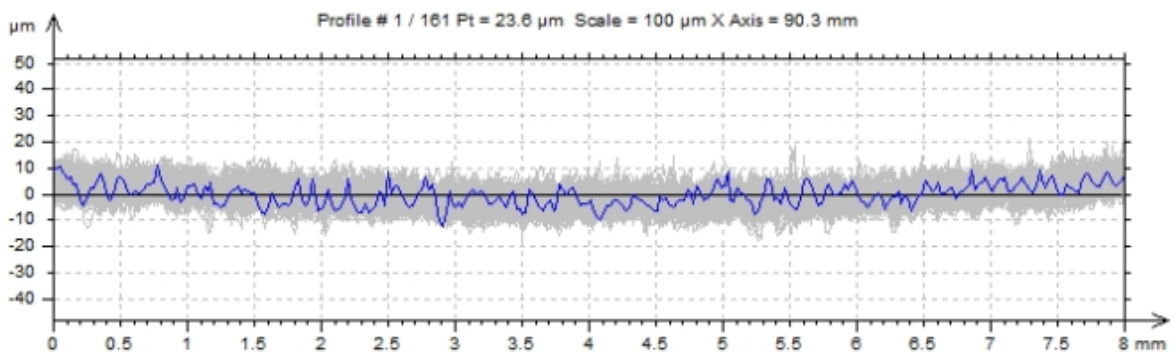
Výsledky měření ve směru N-S (osa X) staré formy



Obr. 45 201 řezů ve směru N-S (osa X) – stará forma.

Naměřená data ve směru N-S (osa X) staré formy*Tab. 6 Naměřená data ve směru N-S (osa X) – stará forma.*

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	μm	6.03	1.03	3.65	9.89
Rv	μm	5.74	0.818	3.94	8.57
Rz	μm	11.8	1.5	7.68	17.9
Rc	μm	7.24	0.97	5.07	10.1
Rt	μm	15.4	2.35	9.58	22.9
Ra	μm	2.3	0.25	1.68	3
Rq	μm	2.78	0.276	2.05	3.47

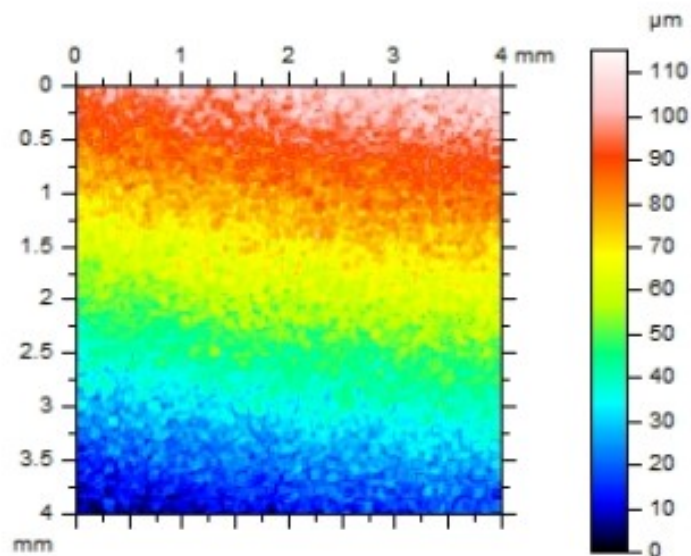
Výsledky měření ve směru W-E (osa Y) staré formy*Obr. 46 201 řezů ve směru W-E (osa Y) – stará forma.***Naměřená data ve směru W-E (osa Y) staré formy***Tab. 7 Naměřená data ve směru W-E (osa Y) – stará forma.*

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	μm	6.11	0.622	4.81	8.42
Rv	μm	5.8	0.583	4.46	7.07
Rz	μm	11.9	0.981	9.27	14.3
Rc	μm	7.27	0.692	5.72	9.59
Rt	μm	17.1	2.38	12.3	24.4
Ra	μm	2.32	0.178	1.85	2.79
Rq	μm	2.84	0.201	2.3	3.35

8.2.3 Naměřená data - výrobek z nové formy

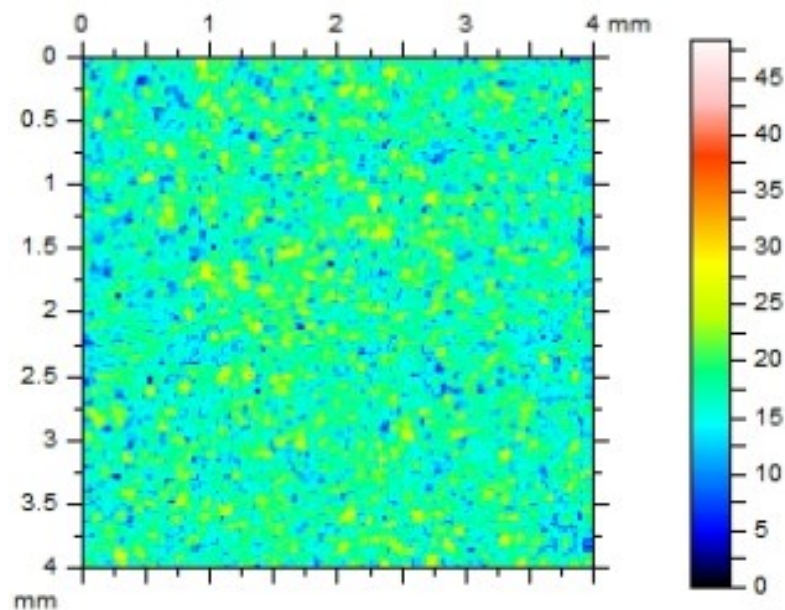
Na snímané ploše o velikosti 4x4 mm bylo provedeno 161 příčných a 161 podélných řezů, a to ve směru osy *X* (North – South) a osy *Y* (West – East).

Tvar, vlnitost, drsnost výrobku – nová forma

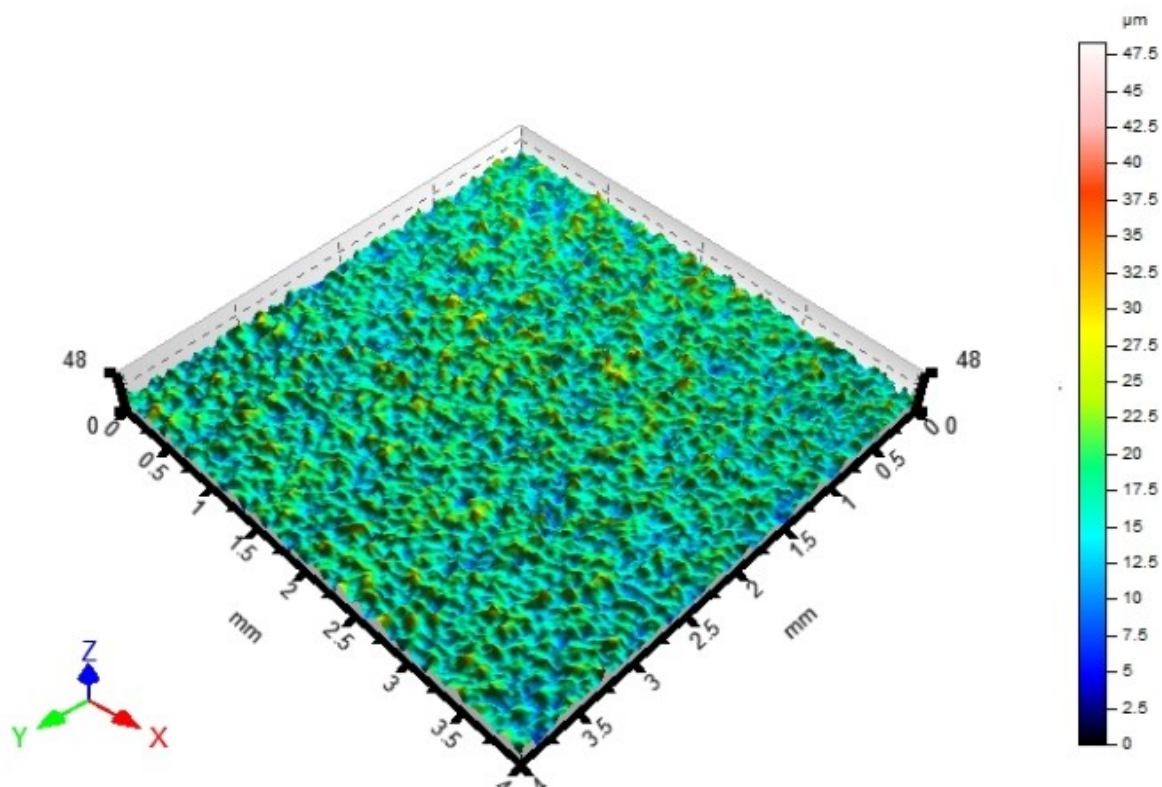


Obr. 47 Tvar, vlnitost, drsnost výrobku – nová forma.

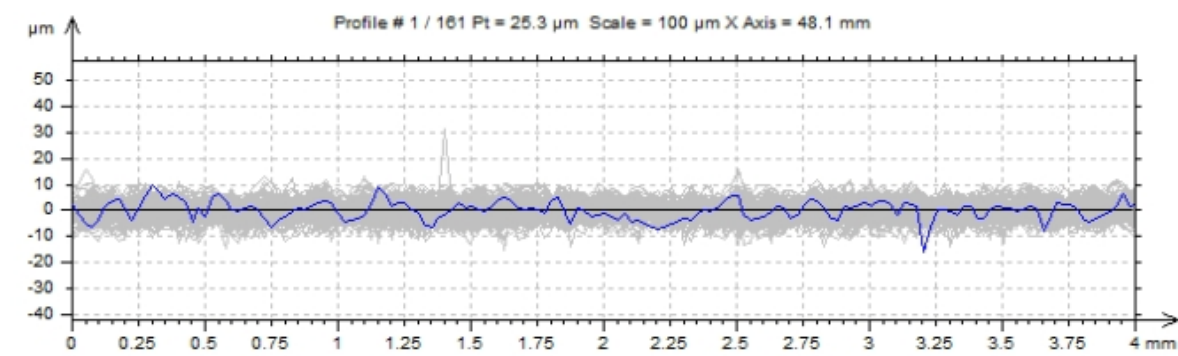
Drsnost výrobku – nová forma



Obr. 48 Drsnost výrobku – nová forma.

3D pohled výrobku – nová forma

Obr. 49 3D pohled výrobku – nová forma.

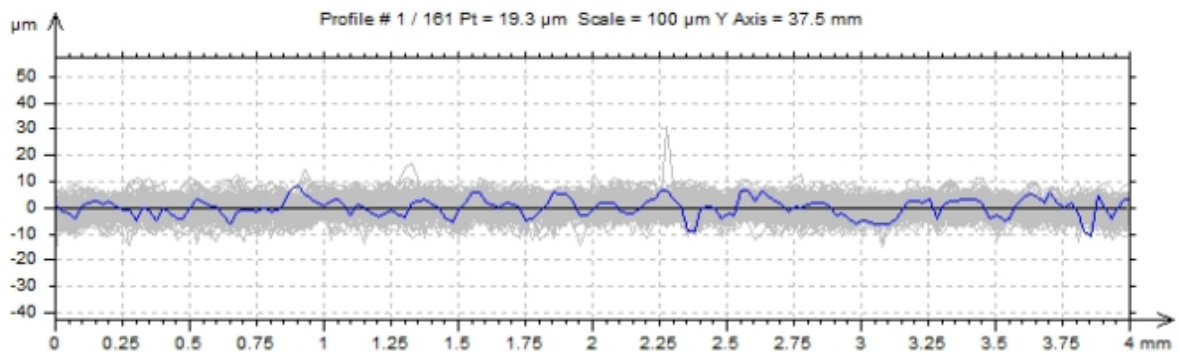
Výsledky měření ve směru N-S (osa X) výrobku – nová forma

Obr. 50 161 řezů ve směru N-S (osa X) – výrobek nové formy.

Naměřená data ve směru N-S (osa X) výrobku – nová forma

Tab. 8 Naměřená data ve směru N-S (osa X) výrobku – nová forma.

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	μm	5.35	0.758	3.75	8.5
Rv	μm	5.74	0.806	3.71	8.45
Rz	μm	11.1	1.27	8.07	15.3
Rt	μm	14.7	2.22	10.4	23.5
Ra	μm	2.14	0.224	1.57	2.68

Výsledky měření ve směru W-E (osa Y) výrobku – nová forma

Obr. 51 161 řezů ve směru W-E (osa Y) – výrobek nové formy.

Naměřená data ve směru N-S (osa Y) výrobku – nová forma

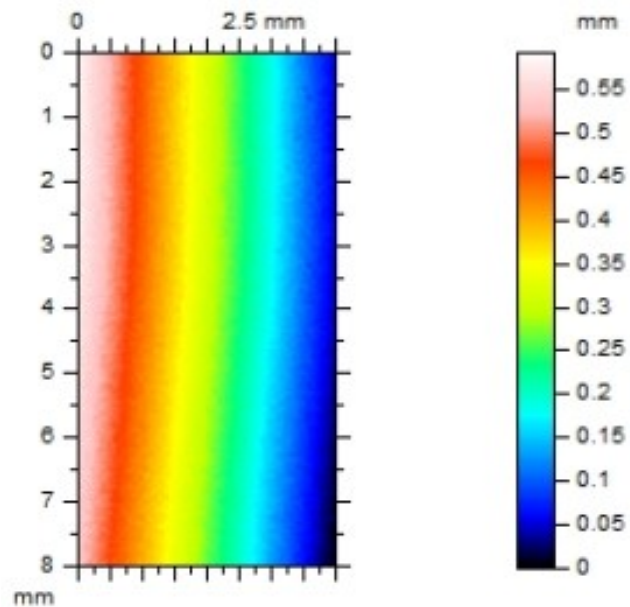
Tab. 9 Naměřená data ve směru W-E (osa Y) – výrobek nové formy.

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	μm	5.28	0.747	3.47	8.09
Rv	μm	5.67	0.731	3.94	7.85
Rz	μm	10.9	1.16	7.5	13.8
Rt	μm	14.5	2.1	10.2	26.9
Ra	μm	2.14	0.226	1.65	2.83

8.2.4 Naměřená data – nová forma

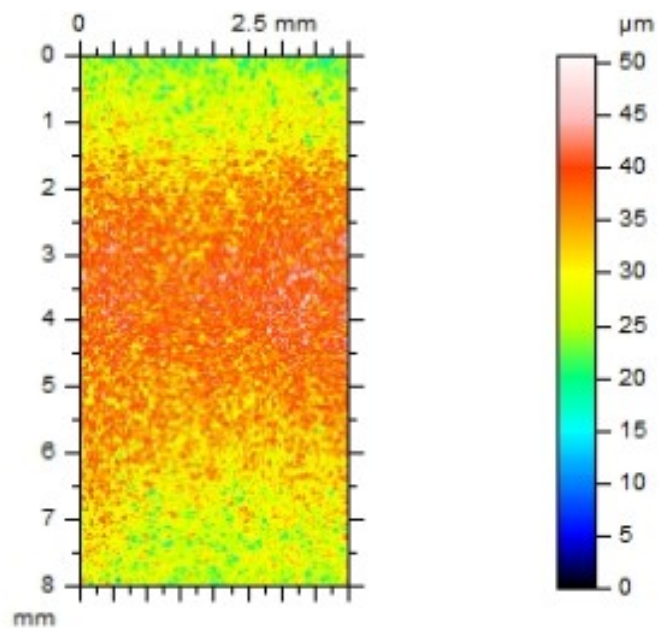
Snímaná plocha formy má rozměr 4 x 2 mm. Bylo provedeno 201 příčných a 201 podélných řezů, a to ve směru osy *X* (North – South) a osy *Y* (West – East).

Tvar, vlnitost, drsnost nové formy



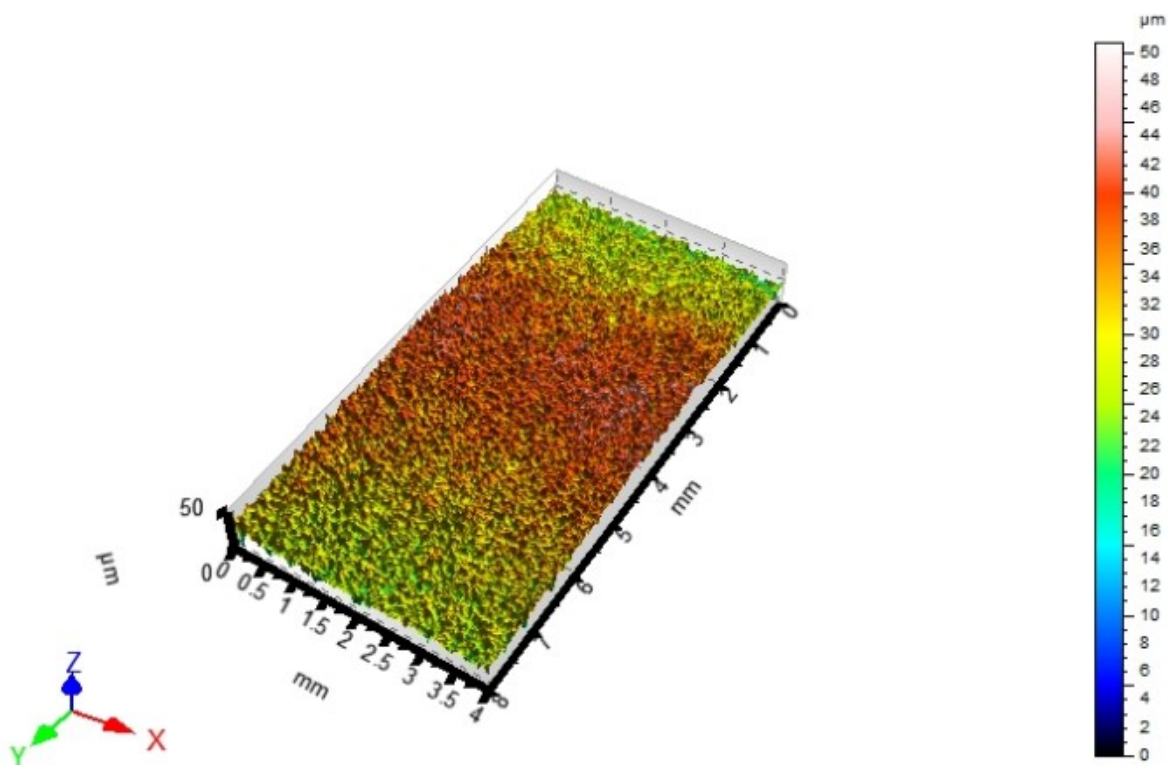
Obr. 52 Tvar, vlnitost, drsnost nové formy.

Drsnost nové formy



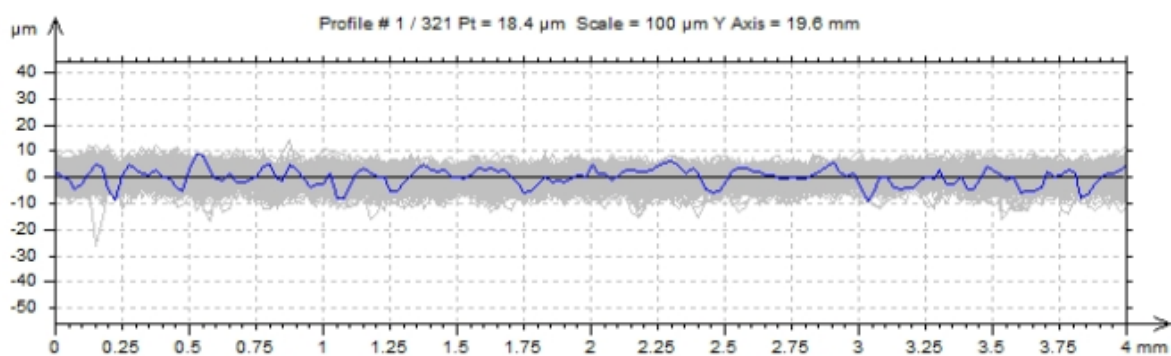
Obr. 53 Drsnost nové formy.

3D pohled nové formy



Obr. 54 3D pohled nové formy.

Výsledky měření ve směru N-S (osa X) nové formy

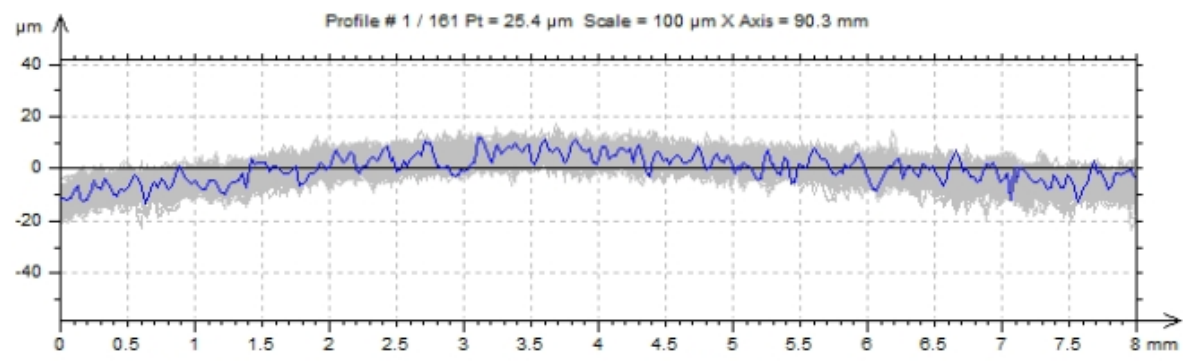


Obr. 55 201 řezů ve směru N-S (osa X) – nová forma.

Naměřená data ve směru N-S (osa X) nové formy

Tab. 10 Naměřená data ve směru N-S (osa X) – nová forma.

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	μm	4.73	0.742	3.24	7.06
Rv	μm	5.28	0.979	3.16	9.09
Rz	μm	10	1.43	6.97	14.3
Rc	μm	6.06	0.93	4.23	9.01
Rt	μm	12.9	2.13	8.21	21.7
Ra	μm	1.96	0.254	1.31	2.93
Rq	μm	2.38	0.276	1.74	3.42

Výsledky měření ve směru W-E (osa Y) nové formy

Obr. 56 201 řezů ve směru W-E (osa Y) – nová forma.

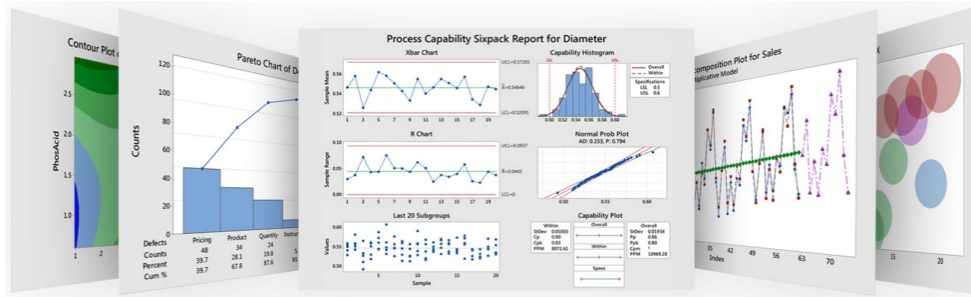
Naměřená data ve směru W-E (osa Y) nové formy

Tab. 11 Naměřená data ve směru W-E (východ-západ) – nová forma.

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	μm	4.79	0.522	3.6	6.24
Rv	μm	5.26	0.587	4.04	6.86
Rz	μm	10	0.927	8.08	12.2
Rc	μm	6.22	0.701	4.88	8.27
Rt	μm	14.9	1.99	11.2	21.1
Ra	μm	1.95	0.181	1.5	2.48
Rq	μm	2.42	0.222	1.91	3

9 STATISTICKÉ POROVNÁNÍ FOREM

Statistické vyhodnocení naměřených dat bylo provedeno ve statistickém unimodulárním softwaru **Minitab16**, který patří mezi světovou špičku v oblasti analýzy kvality. Kromě analýzy dat poskytuje také následné grafické znázornění výsledků. [22]



Obr. 57 Analýza dat v programu Minitab16. [22]

9.1 Test normality naměřených dat

Test normality určuje, zda je rozdíl drsností na určených plochách statisticky významný – má normální rozdělení či statisticky nevýznamný – nemá normální rozdělení.

Nejjednodušší způsob pro zjištění normálního rozdělení dat je sestavení histogramu. Na vodorovnou osu histogramu se vynášejí hodnoty sledované veličiny, na osu svislou její četnost. Hodnocený parametr má normální rozdělení, jestliže histogram zobrazuje Gaussovu křivku. [23]

Na jednotlivých plochách bylo naměřeno 161 měření pro vyhodnocení parametrů R_p , R_v , R_a , R_z , R_{Sm} . Z hlediska normality je významný parametr R_a .

Parametry testu normality:

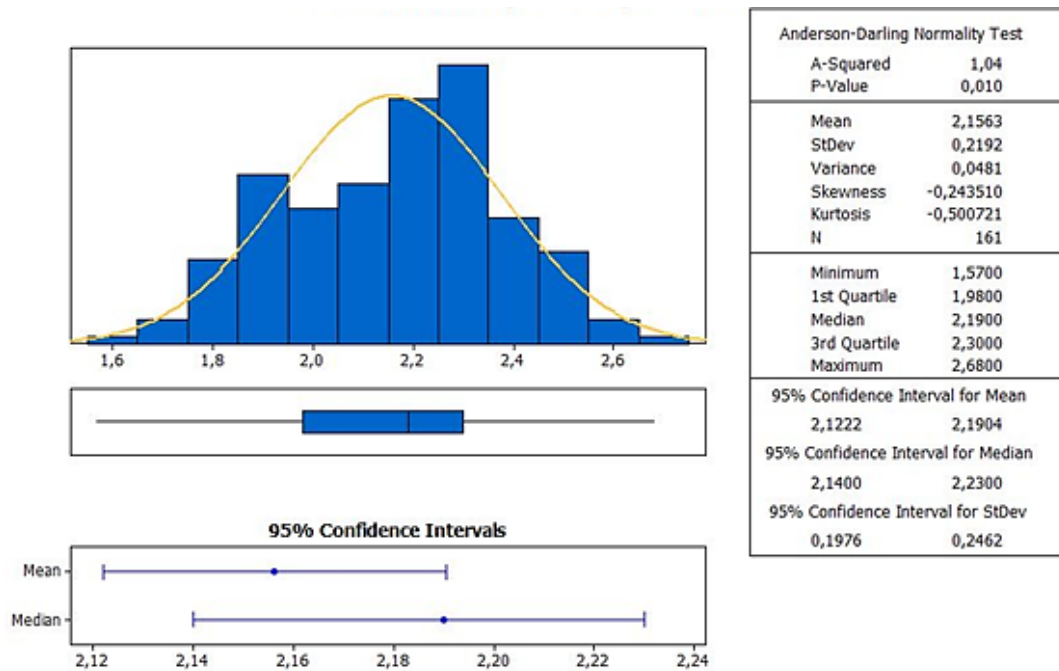
- Hladina významnosti: $\alpha = 0,05$,
- Konfidenční úroveň: $1 - \alpha = 0,95$,
- Nulová hypotéza: H_0 – výběrový soubor s normálním rozdělením,
- Alternativní hypotéza: H_A – výběrový soubor bez normálního rozdělení.

Určení normálního rozdělení naměřených dat:

Výběrový soubor má charakter normálního rozdělení, pokud hodnota koeficientu $p > \alpha$ hladina významnosti. Jestliže hodnota koeficientu $p < \alpha$ hladina významnosti, pak dojde k zamítnutí nulové hypotézy ve prospěch hypotézy alternativní.

9.1.1 Normality test – výrobek ze staré formy

Anderson-Darling Normality test R_a – výrobek staré formy



Obr. 58 Test normality R_a – výrobek ze staré formy.

Tabulka Normality test parametrů - výrobek staré formy

Tab. 12 Test normality – výrobek ze staré formy.

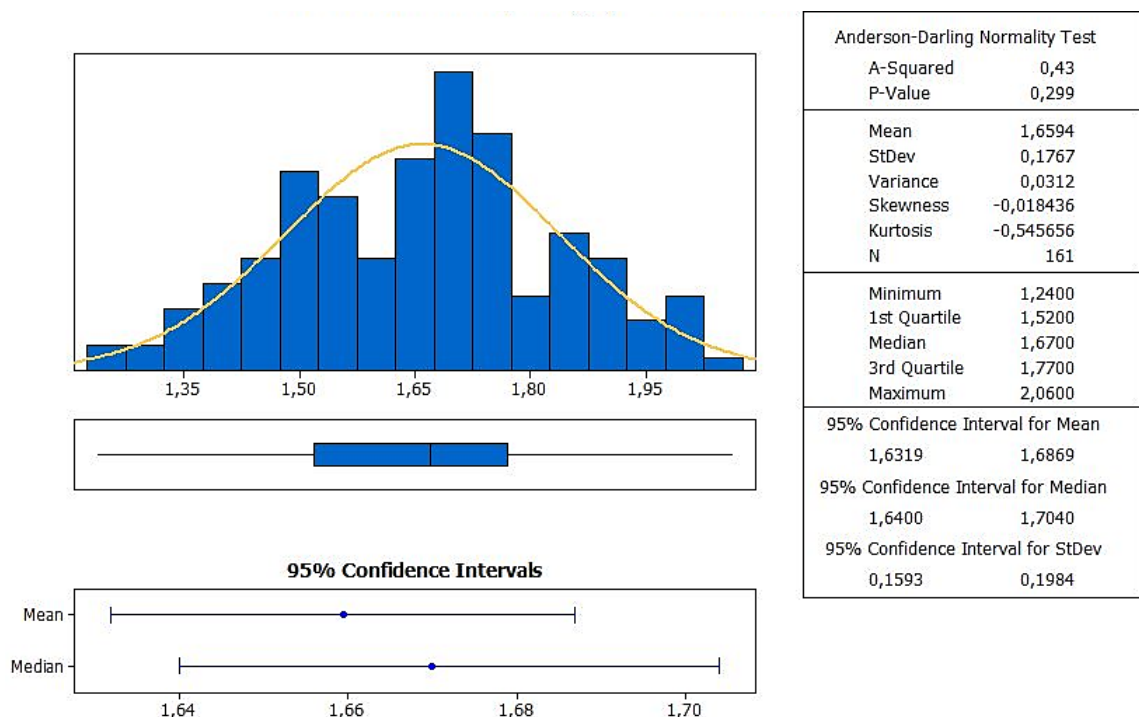
	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Aritmetický průměr	5,3765	5,7988	11,1766	2,1563	0,1975
Dolní hranice CI	5,2559	5,6763	10,9805	2,1222	0,1937
Horní hranice CI	5,4971	5,9213	11,3727	2,1904	0,2013
Rozptyl	0,6003	0,6194	1,5871	0,0481	0,0006
Standartní odchylka	0,7748	0,7870	1,2598	0,2192	0,0247
Šikmost	0,7854	0,2508	0,1689	-0,2412	1,2947
Odchylka od 0	výrazná	nevýrazná	nevýrazná	nevýrazná	výrazná
Kurtóza	4,8284	3,1109	3,2386	2,4777	7,8801
Odchylka od 3	výrazná	nevýrazná	nevýrazná	nevýrazná	výrazná
	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Median	5,33	5,79	11,1	2,19	0,194
Dolní hranice CI	5,1637	5,6540	10,8481	2,1447	0,1900
Horní hranice CI	5,4963	5,9260	11,3519	2,2353	0,1980

Vyhodnocení parametrů – výrobek staré formy

Vyhodnocení parametrů bylo provedeno ze 161 dat výběrového souboru. Z grafu (obr. 54) je patrné, že šikmost výběrového souboru výrobku ze staré formy parametru R_a je záporná o velikosti $0,24\mu\text{m}$. Maximální šikmost výrobku ze staré formy má parametr R_{sm} , dosahuje hodnoty $1,29\text{mm}$, a je oproti šikmosti parametru R_a pozitivní. U žádného parametru nepředpokládáme vznik problémů.

9.1.2 Normality test - stará forma

Anderson-Darling Normality test R_a – stará forma



Obr. 59 Test normality R_a – stará forma.

Tabulka Normality test parametrů – stará forma

Tab. 13 Test normality – stará forma.

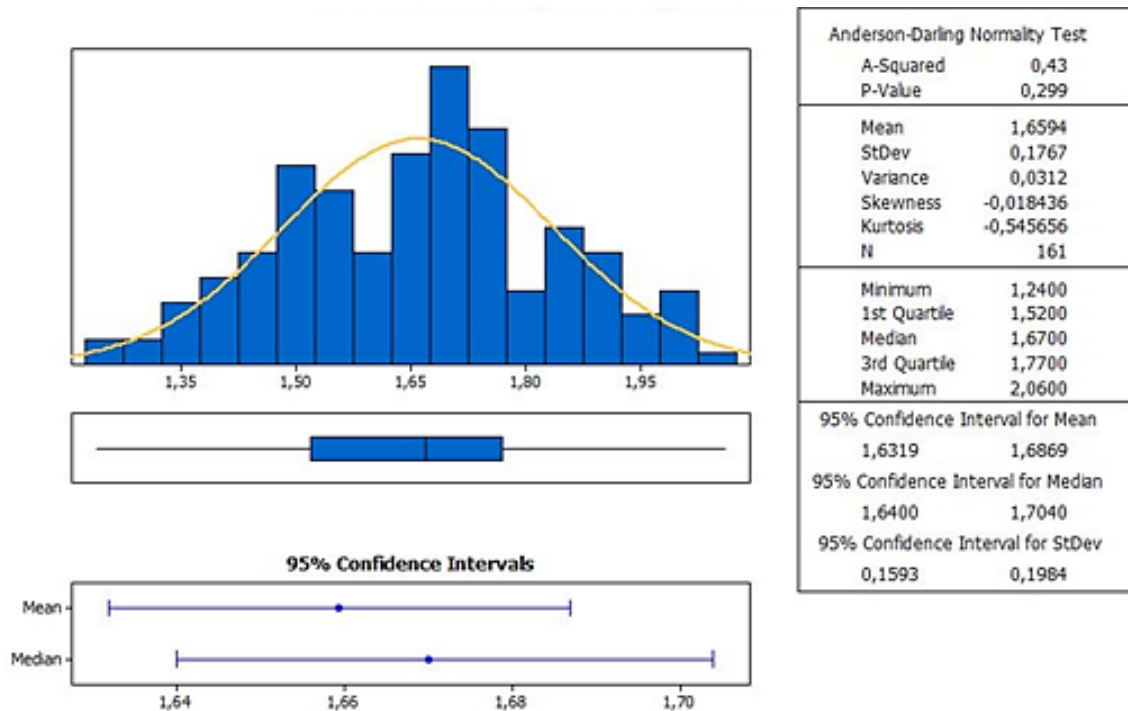
	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Arithmetický průměr	5,3496	5,7366	11,0872	2,1391	0,1972
Dolní hranice CI	5,2313	5,6107	10,8891	2,1042	0,1934
Horní hranice CI	5,4679	5,8625	11,2853	2,1740	0,2010
Rozptyl	0,5777	0,6540	1,6198	0,0503	0,0006
Standardní odchylka	0,7601	0,8087	1,2727	0,2243	0,0245
Šikmost	0,7847	0,2331	0,1816	-0,1643	1,3280
Odchylka od 0	výrazná	nevýrazná	nevýrazná	nevýrazná	výrazná
Kurtóza	4,9133	3,1311	3,1539	2,3173	8,1322
Odchylka od 3	výrazná	nevýrazná	nevýrazná	nevýrazná	výrazná
	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Median	5,26	5,72	11,1	2,16	0,194
Dolní hranice CI	5,0786	5,5739	10,8481	2,0995	0,1900
Horní hranice CI	5,4414	5,8661	11,3519	2,2205	0,1980

Vyhodnocení parametrů – stará forma

Parametr R_a výběrového souboru staré formy má dle obr. 55 nepatrnou zápornou šikmost 0,16 μm . Největší šikmost má parametr R_{sm} , jde o pozitivní šikmost o velikosti 1,32mm. Šikmost žádného parametru staré formy by neměla způsobit problémy.

9.1.3 Normality test – výrobek z nové formy

Anderson-Darling Normality test R_a – výrobek z nové formy



Obr. 60 Test normality R_a – výrobek z nové formy.

Tabulka Normality test parametrů – výrobek z nové formy

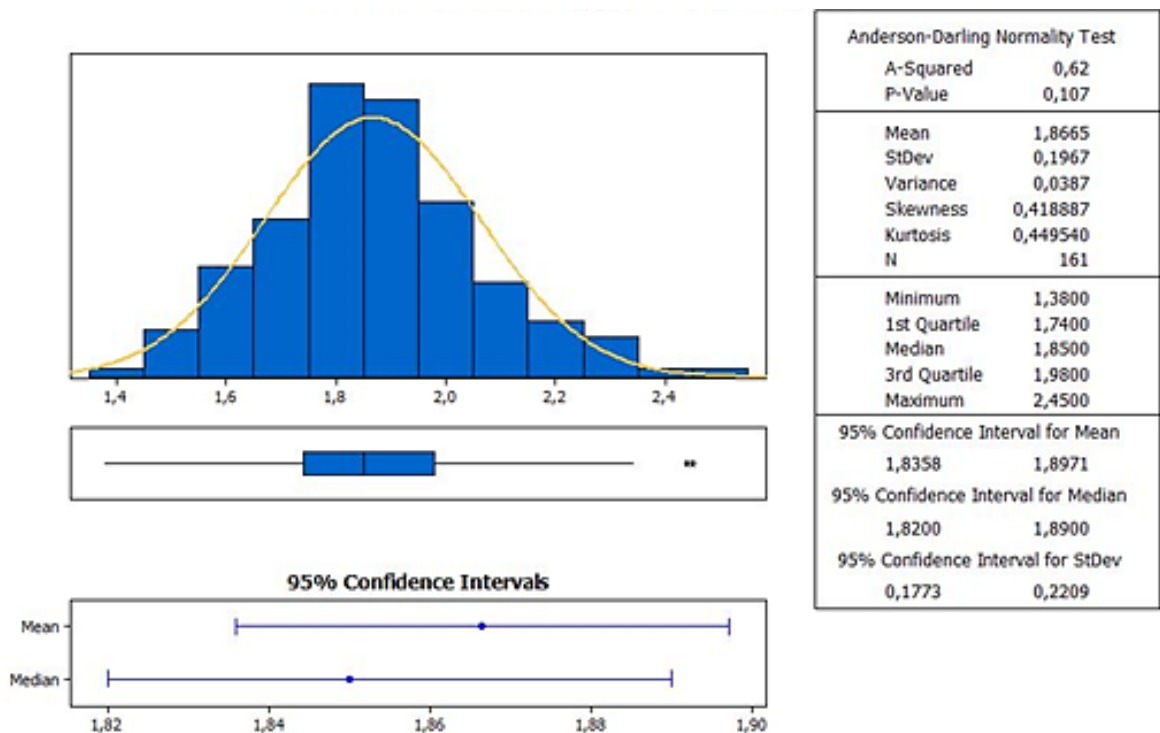
Tab. 14 Test normality - výrobek z nové formy.

	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Aritmetický průměr	4,4364	4,0834	8,5191	1,6594	0,1954
Dolní hranice CI	4,3295	3,9944	8,3593	1,6319	0,1915
Horní hranice CI	4,5433	4,1725	8,6789	1,6869	0,1992
Rozptyl	0,4718	0,3274	1,0543	0,0312	0,0006
Standartní odchylka	0,6869	0,5722	1,0268	0,1767	0,0248
Šikmost	0,6688	0,4800	0,2143	-0,0183	0,7135
Odchylka od 0	výrazná	výrazná	nevýrazná	nevýrazná	výrazná
Kurtóza	5,1167	3,0356	2,8483	2,4341	4,0293
Odchylka od 3	výrazná	nevýrazná	nevýrazná	nevýrazná	výrazná
	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Median	4,45	4,05	8,51	1,67	0,194
Dolní hranice CI	4,2888	3,9291	8,2883	1,6347	0,1895
Horní hranice CI	4,6112	4,1709	8,7317	1,7053	0,1985

Vyhodnocení parametrů – výrobek z nové formy

Parametr R_a pro výrobek z nové formy byl rovněž zanalyzován na základě 161 hodnot výběrového souboru. Šikmost tohoto parametru je také záporná a dosahuje hodnoty $0,018\mu\text{m}$.

9.1.4 Normality test – nová forma

Anderson-Darling Normality test R_a – nová formaObr. 61 Test normality R_a – nová forma.**Tabulka Normality test parametrů – nová forma**

Tab. 15 Test normality – nová forma.

	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Aritmetický průměr	4,5493	4,9957	9,5456	1,8665	0,1963
Dolní hranice CI	4,4524	4,8815	9,3728	1,8358	0,1921
Horní hranice CI	4,6463	5,1099	9,7183	1,8971	0,2004
Rozptyl	0,3880	0,5383	1,2318	0,0387	0,0007
Standartní odchylka	0,6229	0,7337	1,1099	0,1967	0,0264
Šikmost	0,0550	0,5231	0,1794	0,4150	0,8152
Odchylka od 0	nevýrazná	výrazná	nevýrazná	výrazná	výrazná
Kurtóza	2,3539	3,5347	2,5271	3,3987	4,7860
Odchylka od 3	nevýrazná	nevýrazná	nevýrazná	nevýrazná	výrazná
	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Median	4,5800	4,94	9,60	1,85	0,19
Dolní hranice CI	4,4540	4,804	9,2927	1,8147	0,1885
Horní hranice CI	4,7060	5,076	9,9073	1,8853	0,1995

Vyhodnocení parametrů – nová forma

Graf i numerický výpočet výběrového souboru obsahující 161 hodnot parametrů R_a znázorňují mírné pozitivní zešikmení o velikosti $0,42\mu\text{m}$. Stejně jako u ostatních vzorků, tak ani zde nepředpokládáme vznik chyb v důsledku lehkého zešikmení.

9.2 Outlier test naměřených dat

V dalším kroku byl proveden Grubbsův test s využitím teorie hypotéz hrubých chyb, pomocí kterého bylo zjištěno, zda jde o *hrubou chybu* nebo *uletěnou hodnotu*. Hrubá chyba může být po ověření odstraněna z datového souboru. [24]

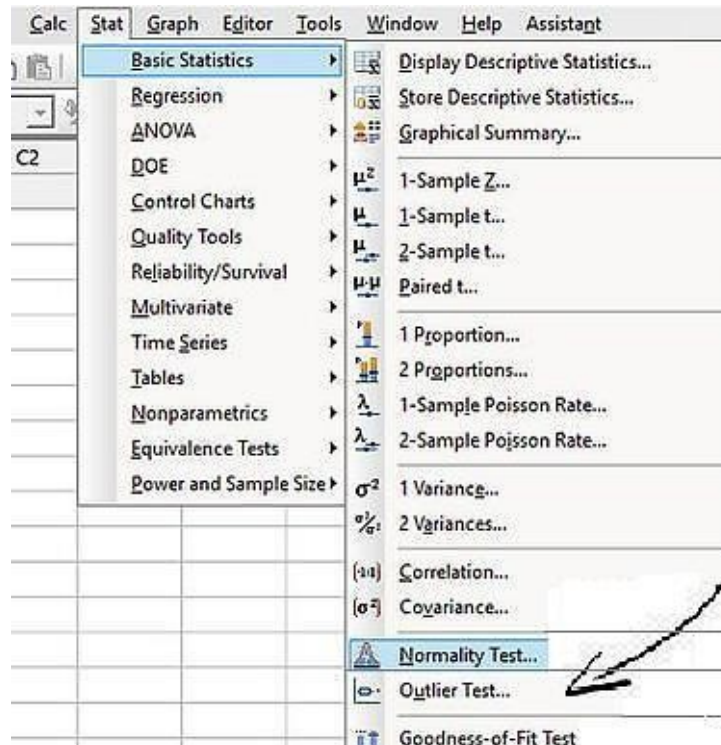
Odlehlé hodnoty se vyskytují náhodně v libovolně velkém množství. Velmi často *indukují chybu měření*, v tom případě je zapotřebí se této chyby zbavit nebo použít hrubou statistiku k odlehlým hodnotám. Další možností vzniku uletěné chyby je vysoká šikmost daných hodnot, v tomto případě musíme být velmi opatrní při použití nástrojů nebo intuicí, které předpokládají normální rozdělení. U velkých výběrových souborů se předpokládá malý počet uletěných hodnot. [24,25]

Teorie hypotéz pro Grubbsův test

$$H_0: X_{i,\max} = \text{extrém}; \quad (13)$$

$$H_a: X_{i,\max} \neq \text{extrém}; \quad (14)$$

$$1-\alpha = 0,95; \quad (15)$$



Obr. 62 Minitab – Outlier test.

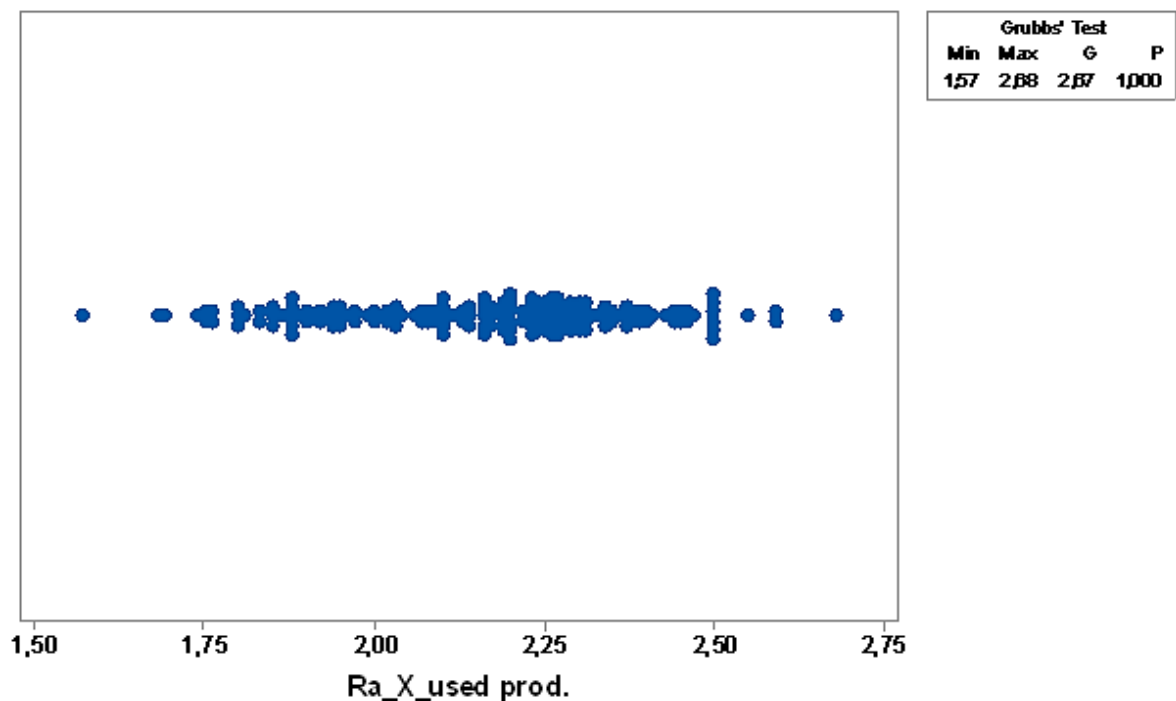
9.2.1 Outlier test – výrobek ze staré formy

Tabulka Outlier testu – výrobek ze staré formy

Tab. 16 Grubbs test – výrobek z nové formy.

Grubbs test					
Parametr	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Min.	3,75	4,03	8,07	1,57	0,15
Max.	8,50	8,45	15,30	2,68	0,34
G	4,03	3,37	3,27	2,67	5,58
P	0,006	0,099	0,142	1,000	0,000

Grubbs test parametru R_a – výrobek ze staré formy



Obr. 63 Outlier graf R_a – výrobek ze staré formy.

Vyhodnocení Outlier testu parametru R_a – výrobek ze staré formy

Z numerických a grafických výsledků s 95% spolehlivostí nezamítám nulovou hypotézu, protože hodnota $p=1 > \alpha=0,05$. Dále tvrdím, že maximální hodnota parametru $R_{a_výrobek\ ze\ staré\ formy} = 2,68\mu\text{m}$ je extrémem, nikoli hrubou chybou. Z těchto důvodů všechny extrémy musí být zohledněné ve výpočtu. Nelze tedy snížit šikmost výběrového souboru.

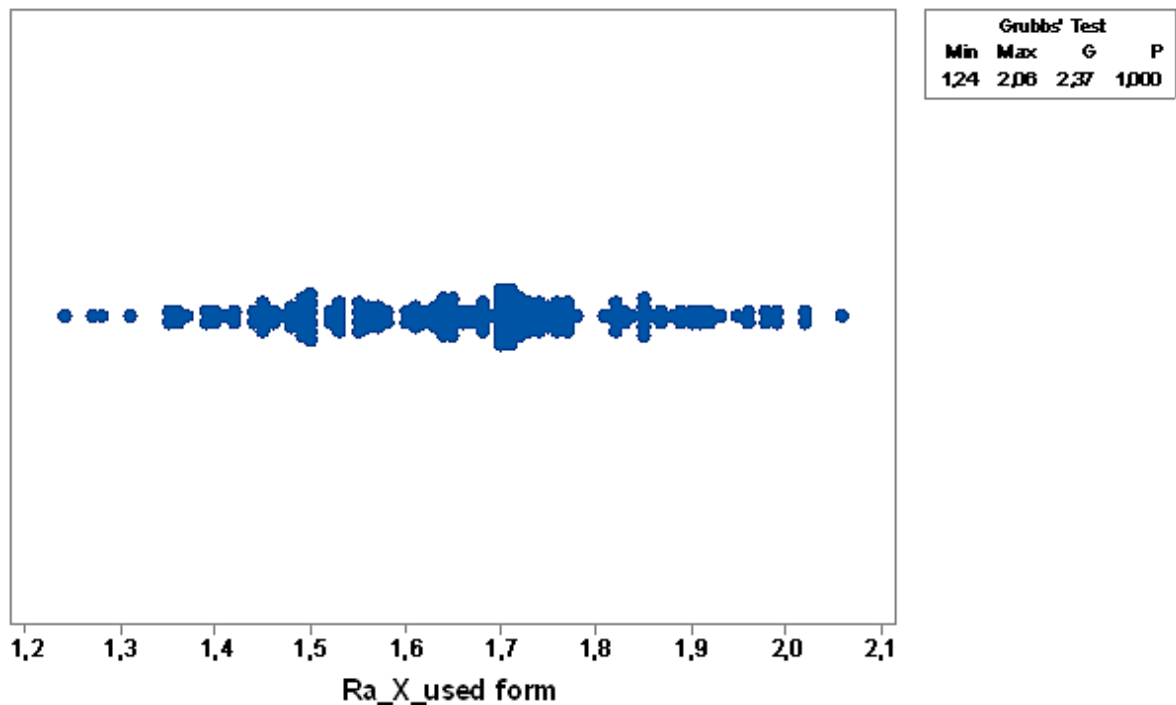
9.2.2 Outlier test - stará forma

Tabulka Outlier testu – stará forma

Tab. 17 Grubbs test – stará forma.

Grubbs test					
Parametr	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Min.	2,83	2,88	6,13	1,24	0,14
Max.	7,62	5,94	11,40	2,06	0,28
G	4,63	3,24	2,81	2,37	3,50
P	0,000	0,158	0,733	1,000	0,059

Grubbs test parametru R_a – stará forma



Obr. 64 Outlier graf R_a – stará forma.

Vyhodnocení Outlier testu parametru R_a – stará forma

S 95% spolehlivostí nezamítám nulovou hypotézu, jelikož $p=1 > \alpha=0,05$ a tvrdím, že maximální hodnota $2,06\mu\text{m}$ není důsledkem hrubé chyby. Je pouze extrémem, a nesmí být odstraněna z výběrového souboru. Bez odstranění extrémů nelze snížit šikmost tohoto parametru.

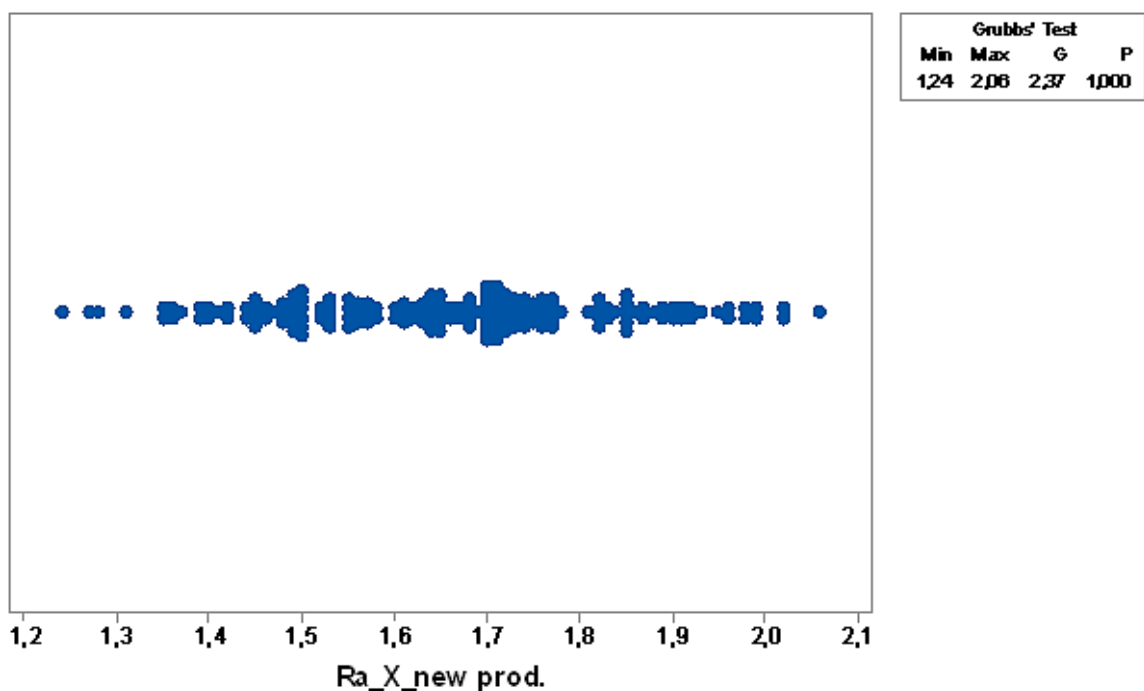
9.2.3 Outlier test výrobku – nová forma

Tabulka Outlier testu – výrobek z nové formy

Tab. 18 Grubbs test – výrobek z nové formy.

Grubbs test					
Parametr	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Min.	2,83	2,88	6,13	1,24	0,14
Max.	7,62	5,94	11,40	2,06	0,28
G	4,63	3,24	2,81	2,37	3,50
P	0,000	0,158	0,733	1,000	0,059

Outlier graf parametru R_a – výrobek z nové formy



Obr. 65 Outlier graf R_a – výrobek z nové formy.

Vyhodnocení Outlier testu parametru R_a – výrobek z nové formy

U parametru R_a pro výrobek z nové formy je hodnota $p=1,00 > \alpha=0,05$, tudíž s 95% spolehlivostí zamítám alternativní hypotézu vůči hypotéze nulové. Maximum tohoto parametru není stejně jako v předchozích případech hrubou chybou a jeho hodnota je $2,06 \mu\text{m}$. Tím pádem šikmost R_a pro výrobek z nové formy nelze zmenšit.

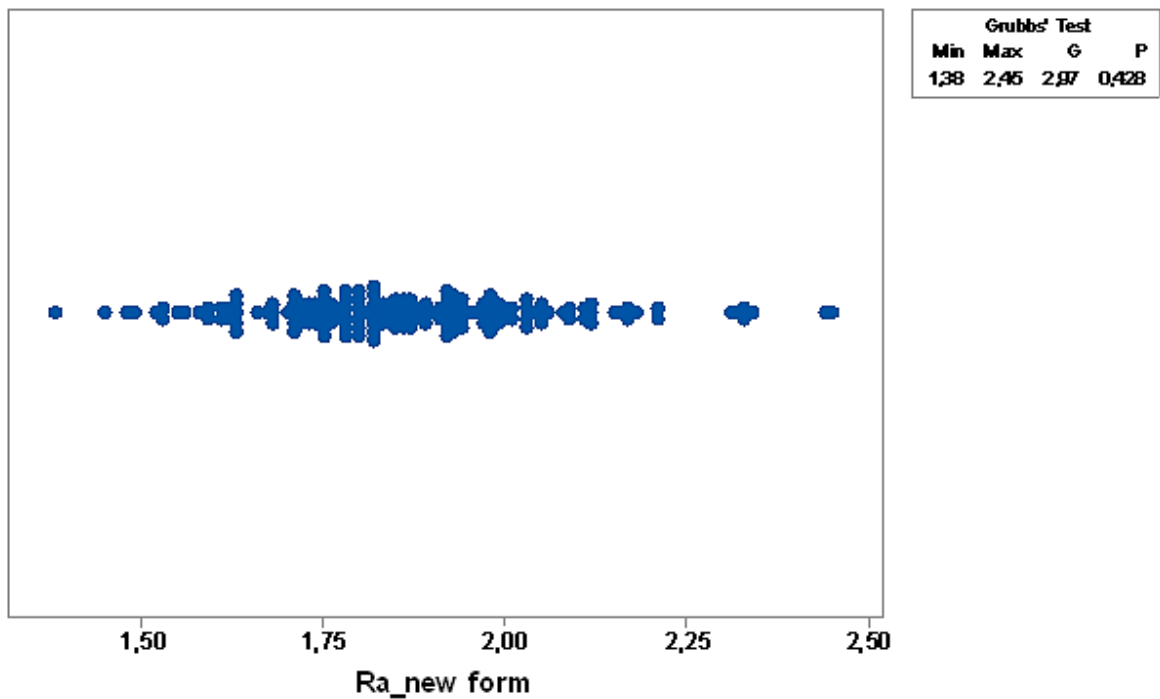
9.2.4 Outlier test - nová forma

Tabulka Outlier testu – nová forma

Tab. 19 Grubbs test – nová forma.

Grubbs test					
Parametr	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
Min.	3,18	3,38	6,76	1,38	0,14
Max.	5,95	7,56	12,60	2,45	0,32
G	2,25	3,50	2,75	2,97	4,53
P	1,000	0,060	0,872	0,428	0,000

Outlier graf R_a – nová forma



Obr. 66 Outlier graf R_a – nová forma.

Vyhodnocení Outlier testu parametru R_a – nová forma

Také u nové formy nezamítám s 95% spolehlivostí nulovou hypotézu, protože hodnota $p=0,428$ je větší než $\alpha=0,05$. Říkám, že maximum hodnoty je extrém, a ani šikmost tohoto parametru nelze snížit.

9.3 F-test

V dalším kroku byl proveden podle profesora Whistehousena F-test dle teorie hypotéz k porovnání jakosti povrchu forem s výrobky.

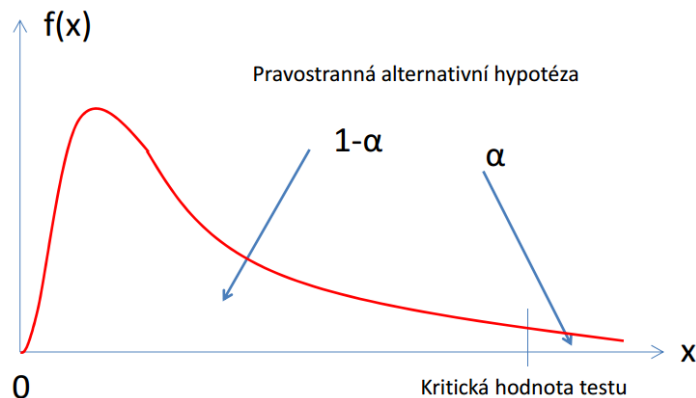
Je to porovnávací test rozptylů výběrových souborů pro porovnání přesnosti dvou měření. Data ve výběrovém souboru musí patřit do Gaussova normálního rozdělení. F-Test je založen na shodě dvou rozptylů na základě Fischer-Snedecorově rozdělení.

Druhy hypotéz:

- Nulová hypotéza: $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (16)

- Alternativní hypotéza: $H_A: \sigma_1^2 < \sigma_2^2$ (17)

$H_A: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$ (18)



Obr. 67 Test o shodě dvou rozptylů.

Stanovení hypotéz:

- Nulová hypotéza – stanovuje se ve stejném tvaru jako u T-testu.
- Alternativní hypotéza – na rozdíl od T-testu se stanovuje pouze jednostranná alternativní hypotéza.

Druh alternativní hypotézy se určuje podle vypočítaných výběrových rozptylů:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \rightarrow F(m,n) \quad (19)$$

Po vypočítání hodnoty F se tato hodnota porovná s kritickou hodnotou F_{krit} z tabulek:

- $F < F_{krit}$: rozptyly výběrových souborů se liší statisticky nevýznamně, proto nezamítáme nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů.
- $F > F_{krit}$: rozptyly výběrových souborů se liší statisticky významně, proto zamítáme nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů ve prospěch alternativní hypotézy.

9.3.1 F-test – stará forma

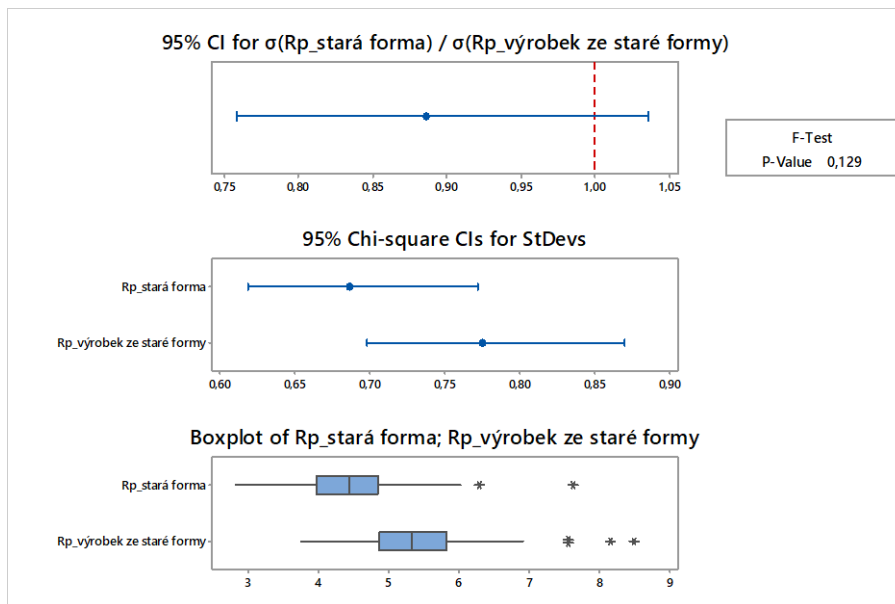
Teorie hypotéz pro F-test – stará forma

$$H_0: \sigma_{R_{\text{stará forma}}} = \sigma_{R_{\text{výrobek ze staré formy}}} \tag{20}$$

$$H_a: \text{NON} \tag{21}$$

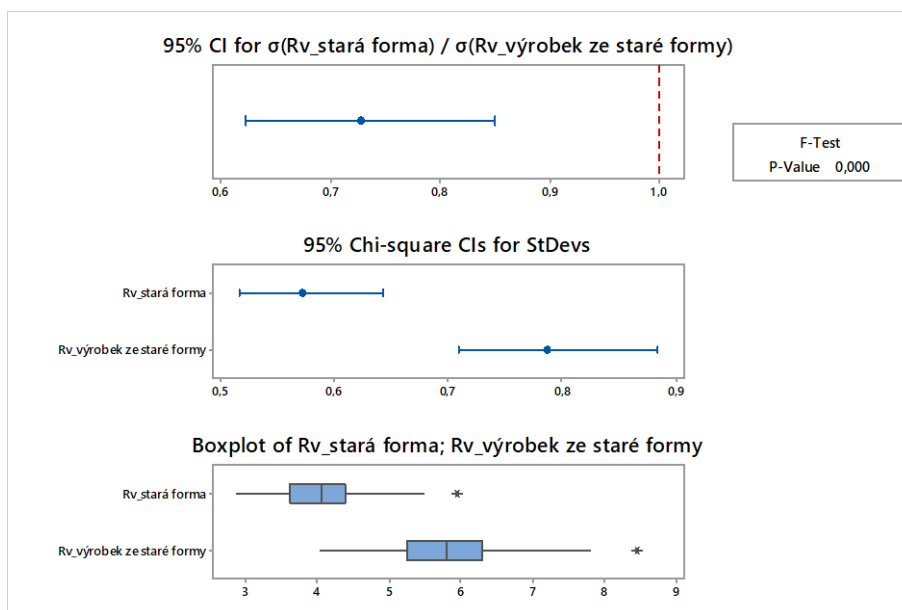
$$1-\alpha = 0,95 \tag{22}$$

F-test pro parametry $R_{p_stará\ forma} / R_{p_výrobek\ ze\ staré\ formy}$



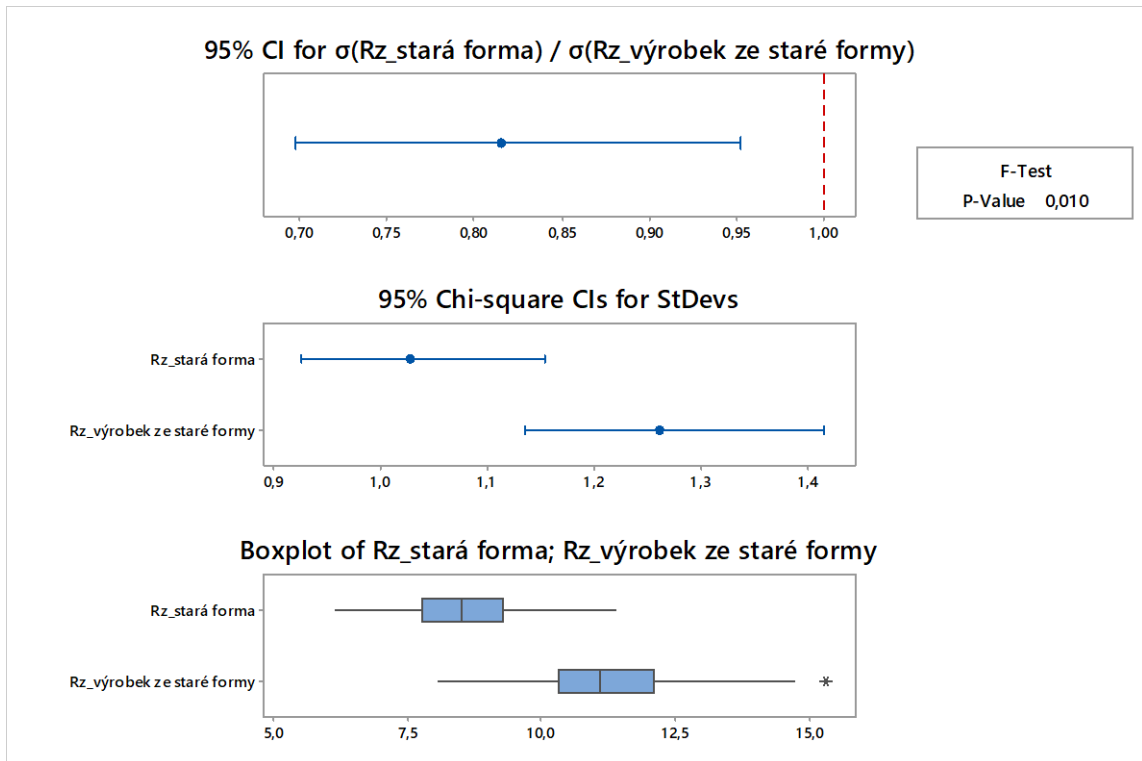
Obr. 68 F-test parametrů $R_{p_stará\ forma} / R_{p_výrobek\ ze\ staré\ formy}$.

F-test parametru $R_{v_stará\ forma} / R_{v_výrobek\ ze\ staré\ formy}$



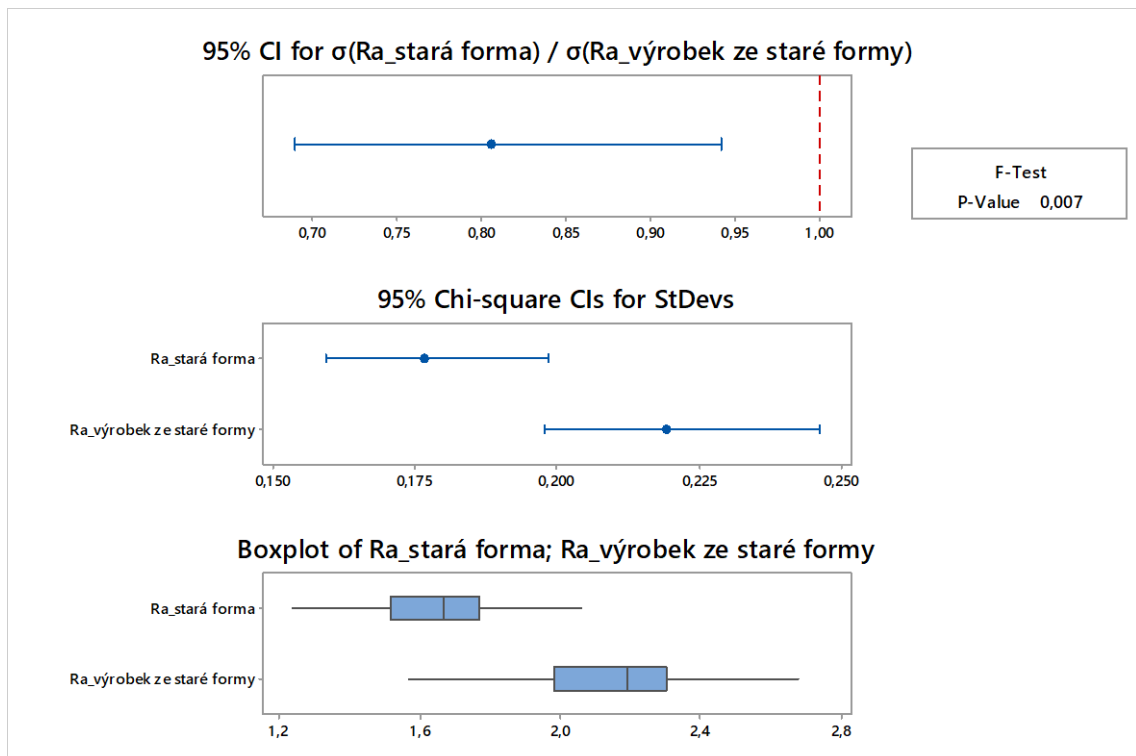
Obr. 69 F-test parametrů $R_{v_stará\ forma} / R_{v_výrobek\ ze\ staré\ formy}$.

F-test parametru $R_{z_stará\ forma} / R_{z_výrobek\ ze\ staré\ formy}$



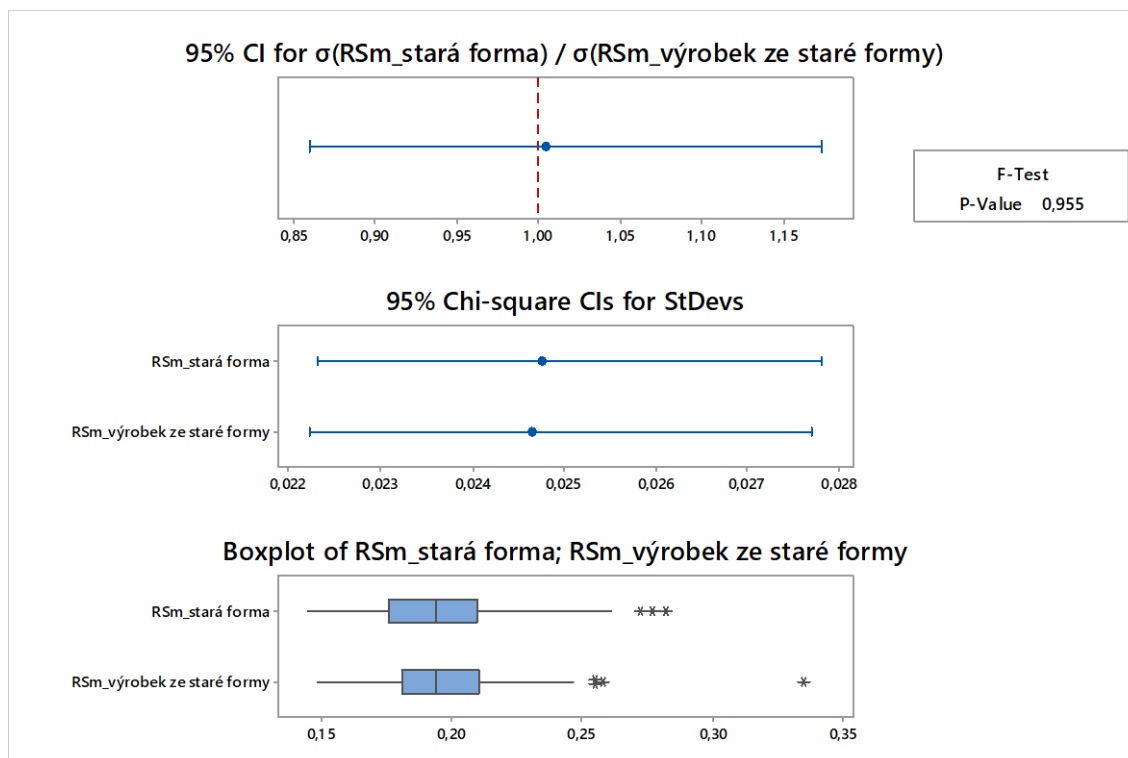
Obr. 70 F-test parametrů $R_{z_stará\ forma} / R_{z_výrobek\ ze\ staré\ formy}$.

F-test parametru $R_{a_stará\ forma} / R_{a_výrobek\ ze\ staré\ formy}$



Obr. 71 F-test parametrů $R_{a_stará\ forma} / R_{a_výrobek\ ze\ staré\ formy}$.

F-test parametru $R_{Sm_stará\ forma} / R_{Sm_výrobek\ ze\ staré\ formy}$



Obr. 72 F-test parametrů $R_{Sm_stará\ forma} / R_{Sm_výrobek\ ze\ staré\ formy}$.

Tabulka výsledků F-testu – stará forma

Tab. 20 F-test – stará forma/výrobek ze staré formy.

F-test - stará forma/výrobek ze staré formy					
Parametr	R_p	R_v	R_z	R_a	R_{sm}
P	0,129	0,000	0,010	0,007	0,9550
</>	>	<	<	<	>
α	0,05				

Vyhodnocení F-test pro parametry $R_{p_stará\ forma} / R_{p_výrobek\ ze\ staré\ formy}$

Pro hodnocení F-testu má největší význam hodnota P . U zkoumaných parametrů R_p, R_{Sm} je $p > \alpha$, proto zamítám nulovou hypotézu a předpokládám, že rozptyly těchto parametrů pro starou formu a výrobek ze staré formy se neliší statisticky významně. Naopak u parametrů R_v, R_z, R_a , kde $p < \alpha$ zamítám alternativní hypotézu a předpokládám, že rozptyly parametrů R_v, R_z, R_a se liší statisticky významně.

9.3.2 F-test – nová forma

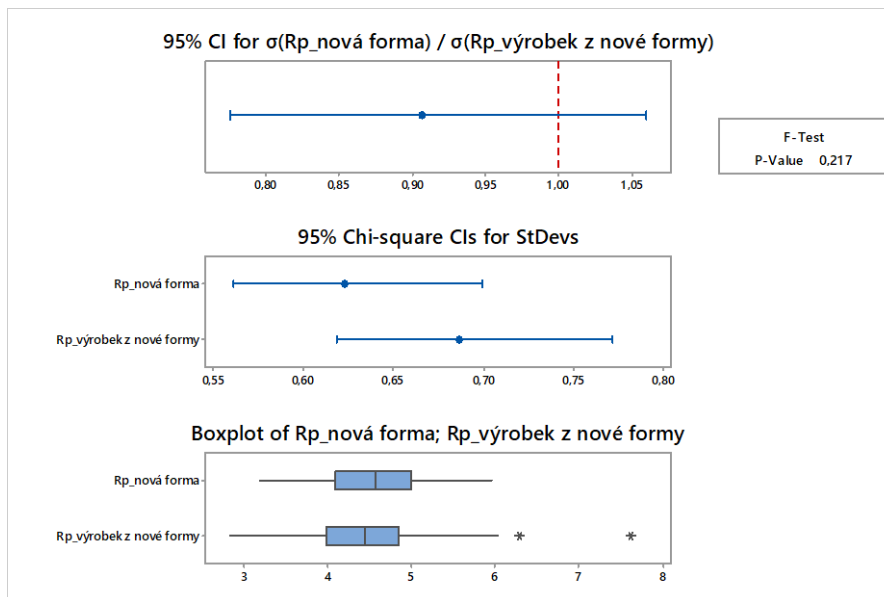
Teorie hypotéz pro F-test – stará forma

$$H_0: \sigma_{R_{\text{nová forma}}} = \sigma_{R_{\text{výrobek z nové formy}}} \tag{23}$$

$$H_a: \text{NON} \tag{24}$$

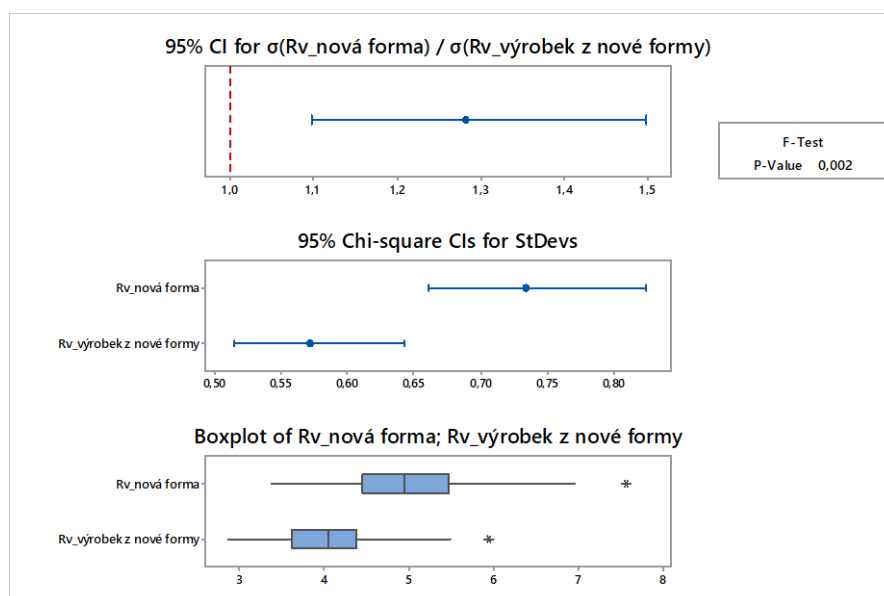
$$1-\alpha = 0,95 \tag{25}$$

F-test parametru R_p nová forma / R_p výrobek z nové formy



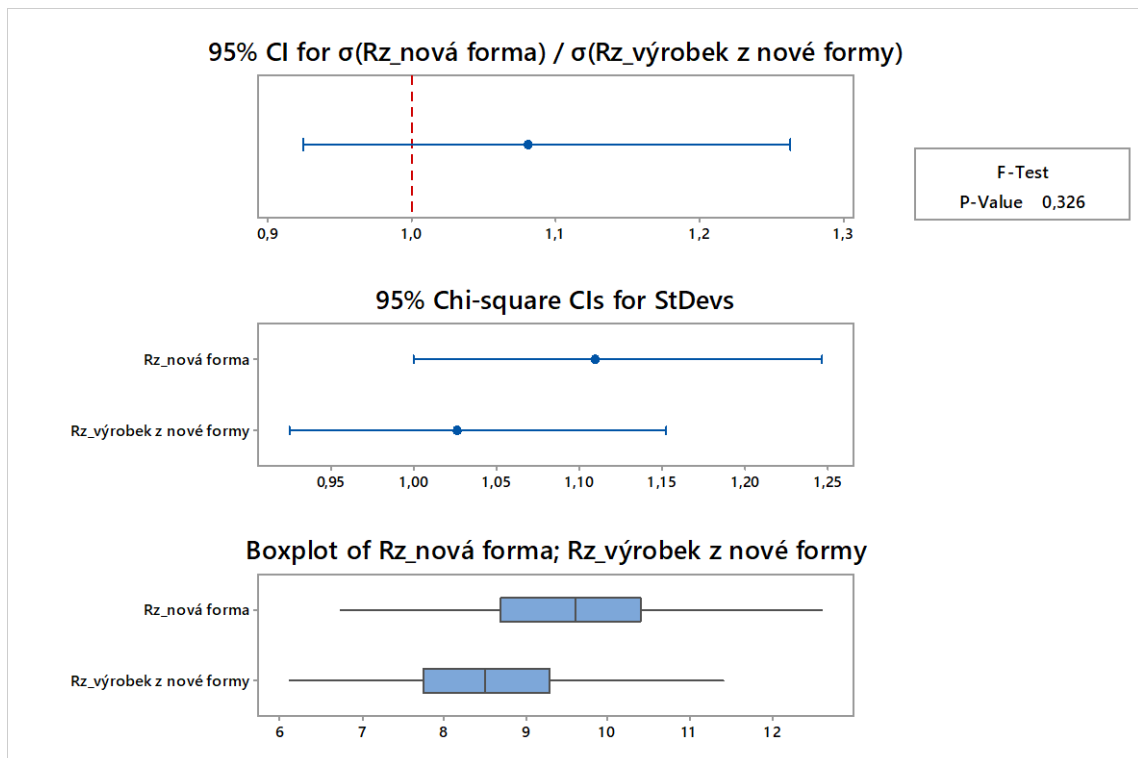
Obr. 73 F-test parametrů R_p nová forma / R_p výrobek z nové formy.

F-test parametru R_v nová forma / R_v výrobek z nové formy



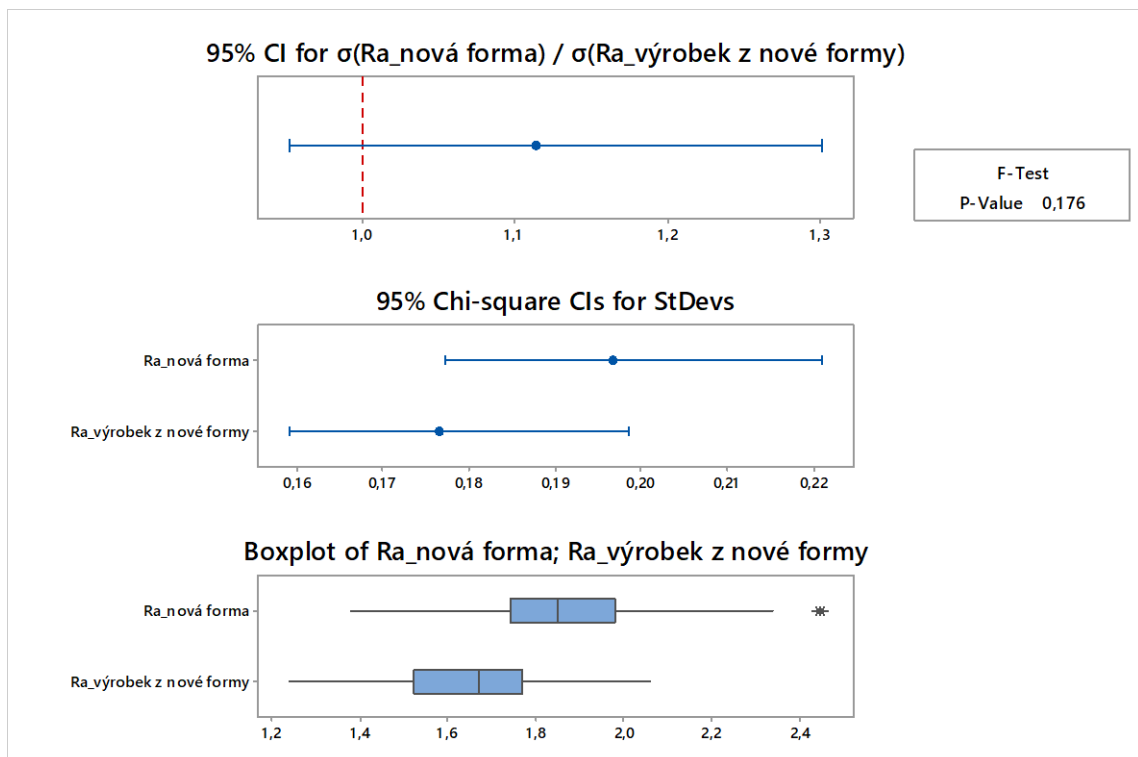
Obr. 74 Obr. 75 F-test parametrů R_v nová forma / R_v výrobek z nové formy.

F-test parametru $R_{z_nová\ forma} / R_{z_výrobek\ z\ nové\ formy}$



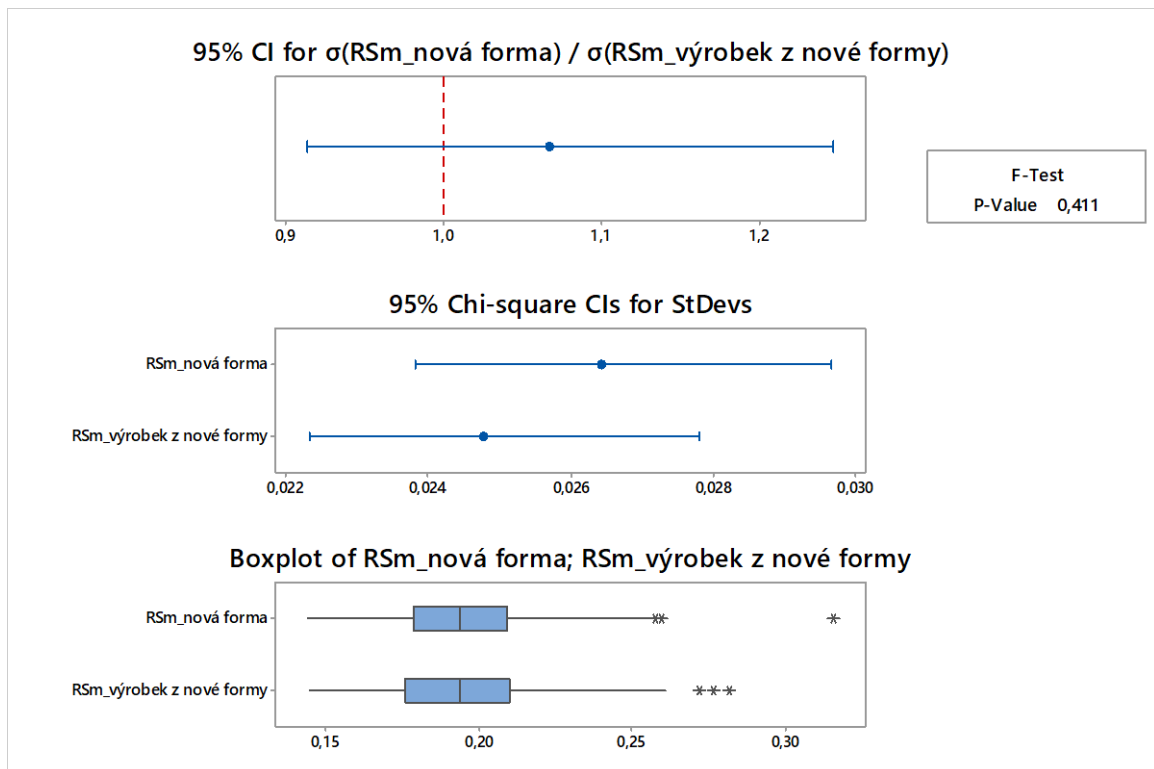
Obr. 76 F-test parametrů $R_{z_nová\ forma} / R_{z_výrobek\ z\ nové\ formy}$.

F-test parametru $R_{a_nová\ forma} / R_{a_výrobek\ z\ nové\ formy}$



Obr. 77 F-test parametrů $R_{a_nová\ forma} / R_{a_výrobek\ z\ nové\ formy}$.

F-test parametru $R_{Sm_nová\ forma} / R_{Sm_výrobek\ z\ nové\ formy}$



Obr. 78 F-test parametrů $R_{Sm_nová\ forma} / R_{Sm_výrobek\ z\ nové\ formy}$.

Tabulka výsledku F-testu – nová forma

Tab. 21 F-test parametrů – nová forma.

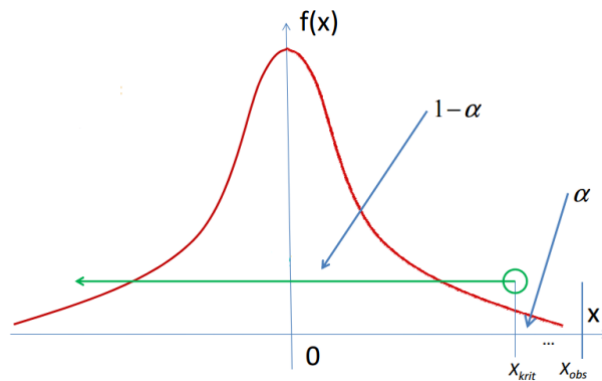
F-test - nová forma/výrobek z nové formy					
Parametr	R_p	R_v	R_z	R_a	R_{sm}
P	0,217	0,002	0,326	0,176	0,4110
</>	>	<	>	>	>
α	0,05				

Vyhodnocení výsledků F-testu – nová forma

U nové formy a výrobku nové formy se rozptyly liší statisticky významně pouze pro parametr R_v . Pro tento parametr zamítáme nulovou hypotézu ve prospěch hypotézy alternativní. Ostatní parametry mají $p > \alpha$. Zde nezamítám nulovou hypotézu ve prospěch alternativní a předpokládám, že rozptyly parametrů R_p, R_z, R_a, R_{Sm} se neliší statisticky významně.

9.4 T-test (studentovo rozdělení)

T-test je parametrický test na porovnávání rozdílu středních hodnot, které mají charakter *normálního rozdělení*. Porovnává nezávislost dvou různých výběrů s odlišnými daty. Každý výběr může obsahovat jiný počet dat, ale velký rozdíl v počtu dat může ovlivnit sílu testu. [26]



Obr. 79 Studentovo T rozdělení.

Druhy hypotéz:

- Nulová hypotéza: $H_0: \mu_1 = \mu_2$ (26)

- Alternativní hypotéza: $H_A: \mu_1 \neq \mu_2$ (27)

$$H_A: \mu_1 < \mu_2 \quad (28)$$

$$H_A: \mu_1 > \mu_2 \quad (29)$$

Určení testovacího kritéria:

- Ověření normálního rozdělení:

$$F = \max\left(\frac{s_x^2}{s_y^2}, \frac{s_y^2}{s_x^2}\right) \quad (30)$$

- Fischer-Snedecorův F-test:

$$v_1 = \frac{n_1 - 1}{1 + \frac{g_2 c}{2}}, v_2 = \frac{n_2 - 1}{1 + \frac{g_2 c}{2}} \quad (31)$$

- T-test T_1 pro homoskedasticitu:

$$T_1 = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\sqrt{(n_1 - 1)s_x^2 + (n_2 - 1)s_y^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \quad (32)$$

- T-test T_2 pro heteroskedasticitu:

$$T_2 = \frac{|\bar{x} - \bar{y}|}{\frac{s_x^2}{n_1} + \frac{s_y^2}{n_2}} \quad (33)$$

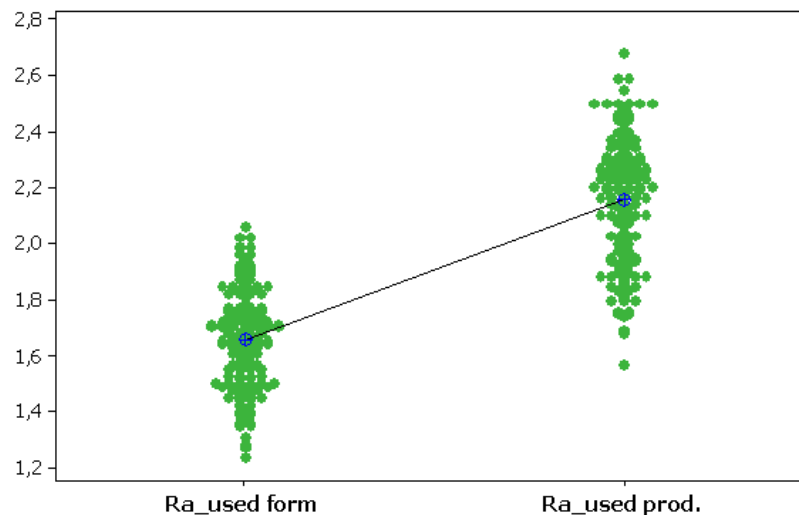
9.4.1 T-test – stará forma

$$H_0: \mu_{Ra_stará\ forma} = \mu_{Ra_výrobek\ ze\ staré\ formy} \quad (34)$$

$$H_a: \text{NON} \quad (35)$$

$$1-\alpha = 0,95 \quad (36)$$

Graf individuálních hodnot Ra – stará forma



Obr. 80 Graf individuálních hodnot $R_{a_stará\ forma}$ a $R_{a_výrobek\ ze\ staré\ formy}$

Tabulka naměřených hodnot T-testu – stará forma

Tab. 22 Neměřené hodnoty T-testu – stará forma/výrobek ze staré formy.

T-test - stará forma/výrobek ze staré formy					
Parametr	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
$\bar{X}_{nf.}$	4,436	4,083	8,520	1,659	0,1954
$\bar{X}_{nv.}$	5,377	5,799	11,180	2,156	0,1975
$S_{nf.}$	0,687	0,572	1,030	0,177	0,0248
$S_{nv.}$	0,775	0,757	1,260	0,219	0,0247
$T\text{-value}$	-11,520	-22,370	-20,750	-22,390	-0,7700
$P\text{-value}$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,4410

Vyhodnocení naměřených hodnot T-testu – stará forma

Ze statistického hlediska s 95% spolehlivostí u parametrů R_p , R_v , R_z , R_a zamítám nulovou hypotézu ve prospěch hypotézy alternativní, protože $p=0,00 < \alpha=0,05$. Hodnota p pro parametr R_{Sm} je 0,44. Proto pro tento parametr nezamítám nulovou hypotézu. Podrobnější vyhodnocení parametrů je možné pouze ve vědecké praxi. Pokud bych hodnotil tyto parametry samostatně, nastává problém ve správné interpretaci výsledku. Nelze interpretovat shodu jakosti povrchu staré formy s výrobkem ze staré formy, jestliže pro parametr R_{Sm} nezamítám nulovou hypotézu, a u ostatních parametrů ji zamítám ve prospěch alternativní hypotézy.

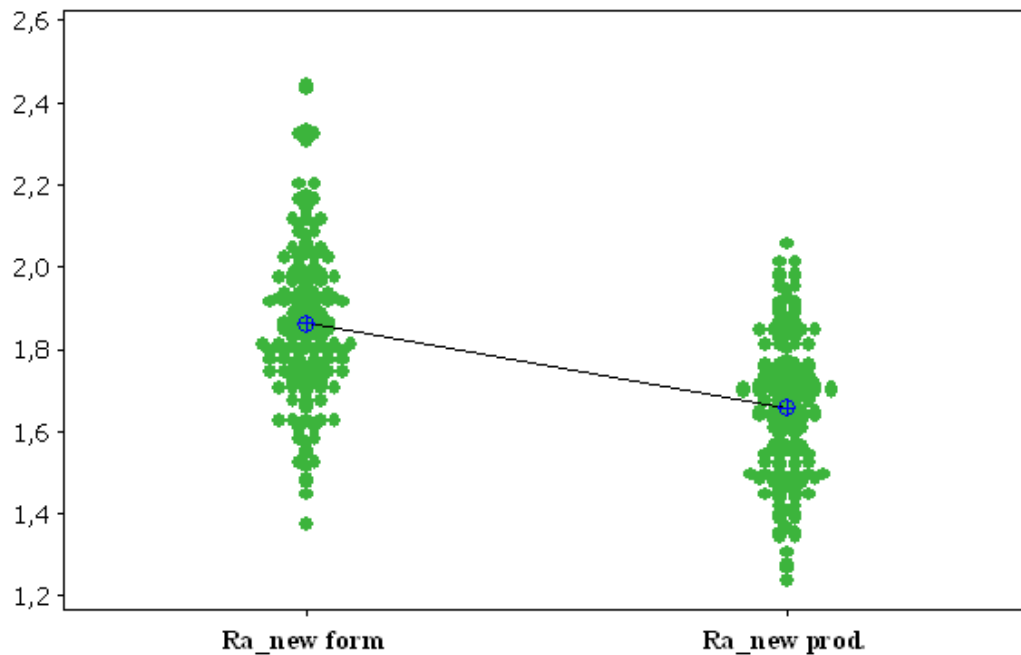
9.4.2 T-test – nová forma

$$H_0: \mu_{Ra_nová\ forma} = \mu_{Ra_výrobek\ z\ nové\ formy} \quad (37)$$

$$H_a: \text{NON} \quad (38)$$

$$1-\alpha = 0,95 \quad (39)$$

Graf individuálních hodnot Ra – nová forma



Obr. 81 Graf individuálních hodnot R_a nová forma a R_a výrobek z nové formy

Tabulka naměřených hodnot T-testu – nová forma

Tab. 23 Neměřené hodnoty T-testu – nová forma/výrobek z nové formy.

T-test - nová forma/výrobek z nové formy					
Parametr	R_p [μm]	R_v [μm]	R_z [μm]	R_a [μm]	R_{sm} [mm]
$\bar{x}_{n.f.}$	4,549	4,996	9,550	1,866	0,1963
$\bar{x}_{n.v.}$	4,436	4,083	8,520	1,659	0,1954
$s_{n.f.}$	0,623	0,734	1,110	0,197	0,0264
$s_{n.v.}$	0,687	0,572	1,030	0,177	0,0248
$T\text{-value}$	1,550	12,440	8,610	9,940	0,3100
$P\text{-value}$	0,123	0,000	0,000	0,000	0,7590

Vyhodnocení naměřených hodnot T-testu – nová forma

Dle naměřených výsledků T-testu nové formy a výrobku z nové formy zamítám s 95% spolehlivostí nulovou hypotézu ve prospěch alternativní pro parametry R_v, R_z, R_a , kde $p=0,00 < \alpha=0,05$. Pro parametry R_p, R_{sm} nulovou hypotézu nezamítám.

ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce bylo nalezení způsobů jak statisticky vyhodnotit podobnost jakostí povrchů forem a jejich výrobků. Teoretická část práce popisuje základní charakteristiky a pravidla jakosti povrchu dle norem ČSN EN 4287, ČSN EN 4288 a ČSN EN ISO 2517-2. Dále charakterizuje 2D a 3D snímací metody drsnosti povrchu a využití vstříkovaných forem.

V praktické části práce bylo po získání naměřených dat z programu TalyMap provedeno statistické porovnání forem s výrobky z forem. Z odborné literatury bylo zjištěno, že matematický popis parametrů je založen na principech testovacích hypotéz, které navrhl profesor Whitehousen. Stěžejní částí práce bylo porovnání jakosti povrchů z globálního hlediska, tudíž bylo provedeno vyhodnocení všech parametrů. Ideálním případem by bylo hodnocení rovnosti povrchů forem a výrobků z forem dle parametru R_a za předpokladu normality parametru bez vychýlených hodnot, špičatosti a šikmosti.

Zda mají jednotlivé formy či výrobky z forem normální rozdělení bylo určeno díky Anderson-Darling Normality testu parametrů výrobků. Pro zjištění, zda se ve výběrovém souboru nevyskytují hrubé chyby, byl proveden Grubsnův test s využitím teorii hypotéz hrubé chyby. Hrubé chyby byly po ověření odstraněny z datového souboru. Porovnání jakosti povrchu forem a jejich výrobku bylo uskutečněno F-testem, který je založen na shodě dvou rozptylů na základě Fischer-Snedecorově rozdělení a pomoci Studentova T-testu na porovnání rozdílu středních hodnot s charakterem normálního rozdělení.

Normality test ukázal u všech parametrů mírné zešikmení, díky této skutečnosti se nepředpokládá vznik chyb. Výsledku Grubsnova testu parametru R_a byly různé. U staré i nové formy a výrobků z forem s 95% spolehlivostí se nezamítá nulová hypotéza, protože hodnota $p > \alpha$. Dále bylo dokázáno, že maximální hodnoty všech parametrů jsou pouhými extrémy, tím pádem nesmí být odstraněny z výběrového souboru. Bez odstranění extrémů nelze snížit šikmost parametrů.

Výsledky F-testů ukázaly rozdíly hodnot forem s jejich výrobky. Hodnota P parametrů R_p, R_{Sm} staré formy a výrobku ze staré formy je větší než hodnota α , proto je zamítnuta nulová hypotéza a předpokládá se, že rozptyly těchto hodnot se neliší statisticky významně. Naopak u parametrů R_v, R_z, R_a , kde $p < \alpha$ je zamítnuta alternativní hypotéza a předpokládá se, že rozptyly parametrů R_v, R_z, R_a se liší statisticky významně. U nové formy a výrobku nové formy se rozptyly liší statisticky významně pouze pro parametr R_v . Pro tento

parametr je zamítnuta nulová hypotéza ve prospěch hypotézy alternativní. Ostatní parametry mají $p > \alpha$. Zde se nezamítá nulová hypotéza ve prospěch alternativní a předpokládá se, že rozptyly parametrů R_p, R_z, R_a, R_{Sm} se neliší statisticky významně.

Výsledky T-testů také ukázaly rozdílné hodnoty daných parametrů. Ze statistického hlediska pro výrobek ze staré formy a starou formu s 95% spolehlivostí u parametrů R_p, R_v, R_z, R_a byla zamítnuta nulová hypotéza ve prospěch hypotézy alternativní, protože $p=0,00 < \alpha=0,05$. Hodnota p pro parametr R_{Sm} je 0,44. Proto pro tento parametr nebyla zamítnuta nulová hypotéza. Z naměřených výsledků nové formy a výrobku z nové formy s 95% spolehlivostí byla zamítnuta nulová hypotéza ve prospěch alternativní pro parametry R_v, R_z, R_a , kde $p=0,00 < \alpha=0,05$. Pro parametr R_p, R_{Sm} nulová hypotéza nebyla zamítnuta.

Podrobnější vyhodnocení parametrů je možné pouze ve vědecké praxi. Pokud bych hodnotil tyto parametry samostatně, nastává problém ve správné interpretaci výsledku. Nelze interpretovat shodu jakosti povrchu staré formy s výrobkem ze staré formy, jestliže pro jeden parametr nezamítám nulovou hypotézu a u ostatních parametrů ji zamítám ve prospěch alternativní hypotézy.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] EVANS, C. J., BRYAN, J. A.: Structured textured or engineered surfaces, *Annals of CIRP*, 1999, Vol. 48/2, 541-556
- [2] MIZUNO, S. Řízení jakosti. 1.vyd. Praha: VICTORIA PUBLISHING, 1988. 301s. ISBN 80-85605-38-4.
- [3] LEINVEBER, Jan a Josef ŠVERCL. Technické kreslení a základy deskriptivní geometrie. 3. přeprac. vyd. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-162-X.
- [4] B. Bumbálek, V. Odvody, B. Ošťádal, Drsnost povrchu. SNTL – nakladatelství technické literatury, Praha 1989.
- [5] ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [6] ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu 1999. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [7] ČSN EN ISO 25178-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [8] WHITEHOUSE, D. Surfaces and their measurement. London: HPS, 2002, xi, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4200-8201-2.
- [9] PEŠIČKA, L.: Geometrická specifikace výrobků strojírenské výroby (GPS) – Textura povrchu – Požadavky na drsnost, vlnitost a základní profil povrchu, Praha, ČNI 2006.
- [10] JIANG, XIANG and WHITEHOUSE, D. J. Technological shifts in surface metrology. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61 (2), pp. 815-836. 2012. ISSN 0007-8506.
- [11] TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie část 1: měření drsnosti povrchu dotykovými profilometry. Ostrava, 2004, s. 8
- [12] JURENA, Pavel. Snímání a hodnocení jakosti broušeného povrchu kontaktním a bezkontaktním způsobem: laserový snímač. Zlín, 2011.
- [13] Surface Characterization and Roughness Measurement with Low-Coherence Interferometry. [online]. [cit. 2018-02-20]. Dostupné z: http://www.novacam.com/pdf/app-note_Novacam_roughness_rev_1-2.pdf
- [14] Dotykové, nebo bezdotykové měření struktury povrchu: Dotykový způsob měření. MM: průmyslové spektrum. 2018(6). Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dotykovye-nebo-bezdotykovye-merenistruktury-povrchu.html>
- [15] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Technická příručka. Elanners, Švédsko, 2010.

- [16] MANAS, M., HELŠTÝN, J. Výrobní stroje a zařízení, Gumárenské a plastikářské stroje II. Brno: VUT, 1990. 199 s. ISBN 80-214-0213-X.
- [17] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů I. díl – Vstřikování termoplastů. 2. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 134 s.
- [18] BOBČÍK, L. a kol. Formy pro zpracování plastů II. díl – Vstřikování termoplastů. 1. vyd. Brno: UNIPLAST, 1999. 212 s.
- [19] Vstřikování plastů, 2016. Plastika.cz [online]. Kroměříž [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.plastika.cz/technologie/vstrikovani.htm>
- [20] Talysurf CLI: 3D Surface Profiling Systems. [online]. [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: http://www.f-di.hu/cli_systems.pdf
- [21] TalyMap. Imeco-th [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: http://www.imeco-th.cz/img/files/Taly_map_cz_low.pdf
- [22] Minitab 18, 2018. Integrated Consulting Group [online]. Praha: ICG-Capability [cit. 2018-03-19]. Dostupné z: <https://capability.cz/software/minitab-18/>
- [23] Meloun, Milan a Jiří Militký. Interaktivní statistická analýza dat. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621739.
- [24] Grubbs, F. E. (February 1969). "Procedures for detecting outlying observations in samples". *Technometrics*. 11 (1): 1–21. doi:10.1080/00401706.1969.10490657
- [25] V. Barnett, T. Lewis, "Outliers in statistical data" , Wiley (1994) (Edition: Third)
- [26] Meloun, Milan a Jiří Militký. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621968.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$2D$	[-]	Dvourozměrný prostor.
$3D$	[-]	Třírozměrný prostor.
H_0	[-]	Nulová hypotéza.
H_a	[-]	Alternativní hypotéza.
M	[μm]	Medián.
R_a	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka profilu.
$R_{a(x)}$	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka ve směru x.
$R_{a(y)}$	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka ve směru y.
R_c	[μm]	Průměrná výška prvku profilu.
R_{ku}	[μm]	Špičatost profilu.
R_{mr}	[%]	Materiálový poměr profilu drsnosti.
R_p	[μm]	Největší výška výstupku profilu.
R_q	[μm]	Průměrná kvadratická úchylka profilu.
R_{sk}	[μm]	Šikmost profilu.
R_{Sm}	[μm]	Průměrná šířka prvků profilu.
R_t	[μm]	Celková výška profilu.
R_v	[μm]	Největší hloubka prohlubně profilu.
R_z	[μm]	Největší výška profilu.
$R_{\Delta q}$	[μm]	Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu.
S_a	[μm]	Průměrná aritmetická výška posuzované plochy.
S_{dq}	[μm]	Základ průměrného čtverce gradientu omezené stupnice povrchu.
S_{dr}	[μm]	Poměr rozvinuté mezifázové plochy omezené stupnicí povrchu.
S_{ku}	[μm]	Špičatost omezené stupnice povrchu.
S_{mc}	[μm]	Opačný poměr plochy materiálu omezené stupnicí povrchu.

S_{mr}	[μm]	Poměr plochy materiálu omezené stupnicí povrchu.
S_{mr1}	[μm]	Poměr materiálu.
S_p	[μm]	Největší výška vrcholu posuzovaného profilu.
S_q	[μm]	Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu.
S_{Sk}	[μm]	Šikmost omezené stupnice povrchu.
S_v	[μm]	Největší hloubka dna posuzované plochy.
S_z	[μm]	Největší výška posuzované plochy.
S_a	[μm]	Průměrná aritmetická výška posuzované plochy.
X_s	[μm]	Šířka prvku profilu.
$Z_{(x)}$	[-]	Hodnota pořadnic.
Z_p	[μm]	Výška výstupku profilu.
Z_t	[μm]	Výška prvku profilu.
Z_v	[μm]	Hloubka prohlubně profilu.
Form_new	[-]	Nová forma.
Form_used	[-]	Použitá forma.
Product_new	[-]	Výrobek z nové formy.
Product_used	[-]	Výrobek ze staré formy.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Parametry drsnosti povrchu. [4]</i>	14
<i>Obr. 2 Povrch periodického prvku. [5]</i>	14
<i>Obr. 3 Povrch aperiodického prvku. [5]</i>	14
<i>Obr. 4 Profil povrchu součásti. [3]</i>	16
<i>Obr. 5 Stření čára. [6]</i>	16
<i>Obr. 6 Výstupek a prohlubeň profilu. [6]</i>	17
<i>Obr. 7 Prvek profilu. [6]</i>	17
<i>Obr. 8 Největší výška profilu Rz. [6]</i>	18
<i>Obr. 9 Průměrná výška profilu prvku. [6]</i>	18
<i>Obr. 10 Celková výška profilu. [6]</i>	19
<i>Obr. 11 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného povrchu. [6]</i>	19
<i>Obr. 12 Topografické prvky plošné metody snímání. [8]</i>	24
<i>Obr. 13 Schéma dotykového profilometru. [16]</i>	27
<i>Obr. 14 Měřicí hrot dotykového snímače. [17]</i>	27
<i>Obr. 15 Schéma indukčního systému. [19]</i>	28
<i>Obr. 16 CLA bezkontaktní snímač. [20]</i>	29
<i>Obr. 17 Schéma laserového snímače. [17]</i>	29
<i>Obr. 18 Model vstřikovací formy. [23]</i>	31
<i>Obr. 19 Vstřikovací stroj Engel. [28]</i>	35
<i>Obr. 20 Stará forma.</i>	35
<i>Obr. 21 Nová forma.</i>	35
<i>Obr. 22 Výrobek – stará forma.</i>	36
<i>Obr. 23 Výrobek – nová forma.</i>	36
<i>Obr. 24 Testovaný vzorek – stará forma.</i>	36
<i>Obr. 25 Testovaný vzorek – nová formy.</i>	36
<i>Obr. 26 Fotosimulace – stará forma</i>	37
<i>Obr. 27 Fotosimulace – nová forma.</i>	37
<i>Obr. 28 Fotosimulace výrobku – stará forma.</i>	37
<i>Obr. 29 Fotosimulace výrobku – nová forma</i>	37
<i>Obr. 30 3D SCAN povrchu – stará forma.</i>	38
<i>Obr. 31 3D SCAN – výrobek z nové formy.</i>	38
<i>Obr. 33 3D SCAN povrchu – nová forma.</i>	38

<i>Obr. 32 3D SCAN – výrobek z nové formy</i>	38
<i>Obr. 34 Měřicí zařízení TALYSURF CLI 500</i>	39
<i>Obr. 35 Usazení testovaného vzorku</i>	40
<i>Obr. 36 TalyMap - 3D povrch s barevnou výškovou stupnicí. [27]</i>	41
<i>Obr. 37 Tvar, vlnitost, drsnost výrobku - stará forma</i>	42
<i>Obr. 38 Drsnost výrobku - stará forma</i>	42
<i>Obr. 39 3D pohled výrobku - stará forma</i>	43
<i>Obr. 40 161 řezů ve směru N-S (osa X) – výrobek staré formy</i>	43
<i>Obr. 41 161 řezů ve směru W-E (osa Y) – výrobek staré formy</i>	44
<i>Obr. 42 Tvar, vlnitost, drsnost staré formy</i>	45
<i>Obr. 43 Drsnost staré formy</i>	45
<i>Obr. 44 3D pohled staré formy</i>	46
<i>Obr. 45 201 řezů ve směru N-S (osa X) – stará forma</i>	46
<i>Obr. 46 201 řezů ve směru W-E (osa Y) – stará forma</i>	47
<i>Obr. 47 Tvar, vlnitost, drsnost výrobku – nová forma</i>	48
<i>Obr. 48 Drsnost výrobku – nová forma</i>	48
<i>Obr. 49 3D pohled výrobku – nová forma</i>	49
<i>Obr. 50 161 řezů ve směru N-S (osa X) – výrobek nové formy</i>	49
<i>Obr. 51 161 řezů ve směru W-E (osa Y) – výrobek nové formy</i>	50
<i>Obr. 52 Tvar, vlnitost, drsnost nové formy</i>	51
<i>Obr. 53 Drsnost nové formy</i>	51
<i>Obr. 54 3D pohled nové formy</i>	52
<i>Obr. 55 201 řezů ve směru N-S (osa X) – nová forma</i>	52
<i>Obr. 56 201 řezů ve směru W-E (osa Y) – nová forma</i>	53
<i>Obr. 57 Analýza dat v programu Minitab16. [29]</i>	54
<i>Obr. 58 Test normality Ra – výrobek ze staré formy</i>	55
<i>Obr. 59 Test normality Ra – stará forma</i>	56
<i>Obr. 60 Test normality Ra – výrobek z nové formy</i>	57
<i>Obr. 61 Test normality Ra – nová forma</i>	58
<i>Obr. 62 Minitab – Outlier test</i>	59
<i>Obr. 63 Outlier graf Ra – výrobek ze staré formy</i>	60
<i>Obr. 64 Outlier graf Ra – stará forma</i>	61
<i>Obr. 65 Outlier graf Ra – výrobek z nové formy</i>	62
<i>Obr. 66 Outlier graf Ra – nová forma</i>	63

<i>Obr. 67 Test o shodě dvou rozptylů.</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 68 F-test parametrů R_p_stará forma / R_p – výrobek ze staré formy.....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 69 F-test parametrů R_v_stará forma / R_v_výrobek ze staré formy.</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 70 F-test parametrů R_z_stará forma / R_z_výrobek ze staré formy.....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 71 F-test parametrů R_a_stará forma / R_a_výrobek ze staré formy.</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 72 F-test parametrů R_{Sm}_stará forma / R_{Sm}_výrobek ze staré formy.....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 73 F-test parametrů R_p_nová forma / R_p – výrobek z nové formy.</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 74 Obr. 75 F-test parametrů R_v_nová forma / R_v_výrobek z nové formy.....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 76 F-test parametrů R_z_nová forma / R_z_výrobek z nové formy.....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 77 F-test parametrů R_a_nová forma / R_a_výrobek z nové formy.</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 78 F-test parametrů R_{Sm}_nová forma / R_{Sm}_výrobek z nové formy.....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 79 Studentovo T rozdělení.</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 80 Graf individuálních hodnot R_a_stará forma a výrobek ze staré formy.....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 81 Graf individuálních hodnot R_a_nová forma a R_a_výrobek z nové formy</i>	<i>73</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Základní délky drsnosti pro měření R_a, R_q, R_{Ku}, R_{Sk}, $R_{\Delta q}$, křivek a parametry pro neperiodické profily. [7]</i>	22
<i>Tab. 2 Základní délky drsnosti pro měření R_z, R_v, R_p, R_c, R_t neperiodických profilů. [7]</i>	23
<i>Tab. 3 Základní délky drsnosti pro R-parametrů periodických profilů s R_{Sm} periodických a neperiodických profilů. [7]</i>	23
<i>Tab. 4 Naměřená data ve směru N-S (osa X) – výrobek staré formy.</i>	44
<i>Tab. 5 Naměřená data ve směru W-E (osa Y) – výrobek staré formy.</i>	44
<i>Tab. 6 Naměřená data ve směru N-S (osa X) – stará forma.</i>	47
<i>Tab. 7 Naměřená data ve směru W-E (osa Y) – stará forma.</i>	47
<i>Tab. 8 Naměřená data ve směru N-S (osa X) výrobku – nová forma.</i>	50
<i>Tab. 9 Naměřená data ve směru W-E (osa Y) – výrobek nové formy.</i>	50
<i>Tab. 10 Naměřená data ve směru N-S (osa X) – nová forma.</i>	53
<i>Tab. 11 Naměřená data ve směru W-E (východ-západ) – nová forma.</i>	53
<i>Tab. 12 Test normality – výrobek ze staré formy.</i>	55
<i>Tab. 13 Test normality – stará forma.</i>	56
<i>Tab. 14 Test normality - výrobek z nové formy.</i>	57
<i>Tab. 15 Test normality – nová forma.</i>	58
<i>Tab. 16 Grubbs test – výrobek z nové formy.</i>	60
<i>Tab. 17 Grubbs test – stará forma.</i>	61
<i>Tab. 18 Grubbs test – výrobek z nové formy.</i>	62
<i>Tab. 19 Grubbs test – nová forma.</i>	63
<i>Tab. 20 F-test – stará forma/výrobek ze staré formy.</i>	67
<i>Tab. 21 F-test parametrů – nová forma.</i>	70
<i>Tab. 22 Neměřené hodnoty T-testu – stará forma/výrobek ze staré formy.</i>	72
<i>Tab. 23 Neměřené hodnoty T-testu – nová forma/výrobek z nové formy.</i>	73