



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Dizertační práce

**Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů
nenormativním způsobem**

**Quality Assessment of Surface of Polymer Parts
in a Non-Normative Form**

Autor: **Kubišová Milena, Ing.**

Studijní program: P3909 / Procesní inženýrství

Studijní obor: 3909V013 / Nástroje a procesy

Školitel: doc. Dr. Ing. Vladimír Pata

Oponenti: prof. Ing. Karel Kocman, DrSc.
prof. Ing. Ildikó Maňková, CSc.
prof. Ing. Zdeněk Jonšta, CSc.

Zlín, květen 2018

© Milena Kubišová

Vydala **Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně** v edici **Doctoral Thesis Summary**.
Publikace byla vydána v roce 2018.

MOTO

„Jestliže neumíš, naučíme, jestliže nemůžeš, pomůžeme ti, jestliže nechceš, nepotřebujeme tě.“

[Jan Werich]

„Žádné množství pokusů nikdy nemůže dokázat, že jsem měl pravdu. Jediný pokus však kdykoliv může dokázat, že jsem se mýlil.“

[Albert Einstein]

Poděkování

V první řadě bych ráda poděkovala svému školiteli doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi, za velkou ochotu, otevřenost, vstřícnost, pozitivní přístup a odborné vedení.

Poděkování patří všem profesorům, docentům a doktorům, které jsem během svého studia na Fakultě technologické potkala, za jejich vědomosti a moudra, která jsem od nich mohla získat.

Ráda bych také poděkovala MUDr. Františku Slívovi za neocenitelné rady při práci se stomatologickými materiály.

V neposlední řadě patří můj velký dík rodině, která mne ve studiu podporovala a motivovala.

Tato disertační práce byla spolufinancována z projektu Interní Grantové Agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně číslo IGA/FT/2018/004

Práce je dostupná v Knihovně UTB ve Zlíně.

ABSTRAKT

Tématem dizertační práce je zkoumání a hodnocení kvality povrchů nenormativním způsobem. Hlavní částí práce je výzkum přípravy replik povrchů, stanovení způsobu jak povrch otisknout a jak repliku vyhodnotit. Tato technologie je velmi málo probádaná z pohledu kontroly kvality povrchu výrobků.

Replikace povrchu je využívána již delší dobu. Běžně je k replikacím využíván materiál s komerčním názvem Dentacryl™. Jeho použití má však velké množství nevýhod převažujících výhody.

Práce přináší nové směry a způsoby vyhodnocování. Pro výrobu replik jsou používány otiskovací směsi využívané především ve stomatologii. V oboru stomatologie proto hledáme nejen potřebnou inspiraci pro volbu materiálu vhodného ke snímání povrchů, ale také znalosti v oblasti přípravy a samotné aplikace otiskovacích hmot. K vyhodnocování je využito bezkontaktního profiloměru Talysurf CLI 500, na kterém jsou snímány základní parametry drsnosti (Ra, Rz, Rp, Rv a Rt), jak na originálním povrchu, tak i na povrchu replikovaném. Následně jsou tyto parametry porovnávány pomocí statistických metod.

Klíčová slova: *Měření povrchů, parametry drsnosti, replika, Talysurf CLI 500*

ABSTRACT

The topic of the dissertation is the examination and evaluation of surface quality in a non-normative way. The central part of the thesis is research on the preparation of surface replicas, determination of how to print the surface and how to evaluate the replica. This technology is very little explored regarding product surface quality control.

Surface replication has been used for a long time. Dentacryl™ is commonly used for replication.

However, this material has some disadvantages that outweigh the benefits.

The work brings new directions and methods for evaluation. For the production of replicas are used impression compounds used mainly in dentistry. Therefore, in the field of dentistry, we are looking not only for the necessary inspiration for the choice of materials suitable for surface sensing but also for knowledge in the field of preparation and the application of impression materials themselves. It also

uses the non-contacting profile of the Talysurf CLI 500, where the underlying roughness parameters (Ra, Rz, Rp, Rv and Rt) were read on both the original surface and the surface replicated. Subsequently, these parameters are compared using statistical methods.

Key words: *Surface measurement, roughness parameters, replica, Talysurf CLI 500*

Obsah

Obsah.....	5
Úvod	7
Rešerše a současný stav řešené problematiky	8
Cíle dizertační práce	9
1. Měření povrchů	10
1.1 Konvenční parametry (2D)	10
1.1.1 Výškové parametry (výstupky a prohlubně).....	11
1.1.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic).....	12
1.1.3 Délkové parametry.....	13
1.1.4 Pravidlo 16-ti %.....	14
1.1.5 Pravidlo maxima.....	14
1.2 Parametry povrchu plochy (3D).....	15
1.3 Vzájemné srovnání 2D a 3D metody snímání.....	16
1.4 Průzkumová (explorativní) analýza dat	19
1.5 Testování normalit	21
1.5.1 Testy outlierů	23
1.5.2 F - test	24
1.5.3 t - test	25
1.5.4 Transformace dat	27
1.5.5 Faktorová analýza	27
1.5.6 Shluková analýza	28
2. Replikace povrchu.....	29
2.1 Výroba repliky	29
2.1.1 Materiál použitý pro replikaci.....	30
2.1.2 Postup výroby repliky.....	32
2.1.1 Chyby měření.....	34
2.1.2 Snímání originálu a repliky.....	34
3. Praktická aplikace na formě	37
3.1 Kontrola formy.....	40

3.2	Měření pomocí přístroje Talysurf CLI 500	40
3.3	Kontrola dat metodou EDA v programu QC expert a minitab	45
4.	Vícerozměrná statistická analýza dat.....	57
4.1	Faktorová analýza nové formy a výrobku z nové formy	57
4.2	Faktorová analýza dat použité formy a výrobku z použité formy	60
4.3	Shluková analýza pro novou formu a její výrobek.....	64
4.4	Shluková analýza pro použitou formu a její výrobek.....	65
5.	Replikace formy.....	67
5.1	Faktorová analýza dat nové formy a repliky nové formy.....	73
5.2	Shluková analýza pro novou formu a její repliku.....	77
5.3	Faktorová analýza dat použité formy a repliky použité formy.....	79
5.4	Shluková analýza pro použitou formu a její repliku.....	82
6.	Závěr dizertační práce.....	83
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	86
	SEZNAM OBRÁZKŮ	87
	SEZNAM TABULEK.....	90
	SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA	91
	ŽIVOTOPIS	94
	REFERENCE.....	96

Úvod

Tématem dizertační práce je zkoumání a hodnocení kvality povrchů nenormativním způsobem.

Na povrchu výrobků je možné nalézt celou řadu prohlubní a vyvýšenin měřitelných až v tisícinách mikrometru. Vlastnosti povrchu mají významný vliv na to, zda je výrobek "hladký" nebo "drsňý". Parametry hladkosti a drsnosti je z důvodu vyloučení chybovosti naměřených dat potřeba matematicky vyhodnotit pomocí vzorců a grafů.

Jakostí povrchu rozumíme jeho strukturu a drsnost. Určuje se podle způsobů obrábění, vzhledu, hloubky stop po nástroji a druhu obráběného materiálu. Parametry drsností se vyhodnocují na skutečných profilech, které jsou získávány jako průsečnice kolmé, popř. šikmé, roviny se skutečným povrchem.

Vše výše uvedené je nutné k určení, jaké budou mít díly kluzné vlastnosti, jak bude vstřikovaná hmota plnit formy. Ne vždy je možné snímaný povrch umístit pod měřicí přístroj, protože je příliš velký nebo hmotný, proto se nabízí možnost povrch otisknout a otisk hodnotit samostatně. Otisk se v této práci nazývá „replika“.

Hlavní částí práce je výzkum přípravy replik povrchů, stanovení způsobu jak povrch otisknout a jak repliku vyhodnotit. Tato technologie je velmi málo probádaná z pohledu kontroly kvality povrchu výrobků. Může přinést nové směry a způsoby pro vyhodnocování. Pro výrobu replik jsou používány otiskovací směsi využívané především ve stomatologii. V oboru stomatologie proto hledáme nejen potřebnou inspiraci pro volbu materiálu vhodného ke snímání povrchů, ale také znalosti v oblasti přípravy a samotné aplikace otiskovacích hmot.

Rešerše a současný stav řešení problematiky

Můžeme konstatovat, že i přes značné vědecké rozšíření hodnocení jakosti povrchu se pouze několik světových autorů zabývá speciálně hodnocením jakosti povrchu z matematicko-statistického hlediska. Jako světově nejvýznamnějšího jsem si vybrala profesora Davida Whitehouse, na jehož práci a především monografii o názvu „Handbook of surfaces and nanometrology“ přímo navazuji.

Jak je uvedeno v rešeršních člancích i monografii, princip hodnocení jakosti povrchu ve 2D, respektive 3D, je založen na principu testování hypotéz a tedy na předpokladech normality daných parametrů povrchu, ať již polymerních nebo kovových. Dále je zde předpoklad zanedbatelné šikmosti a působení nulového systematického vlivu.

Tato metodika je však možná využít pouze při teoretickém hodnocení jakosti povrchu na matematické bázi, a nikoliv při hodnocení reálných povrchů jako jsou formy, jejich výrobků a dnes už i repliky povrchů forem.

Rešeršní publikace:

- WHITEHOUSE, D. J., 2011. Handbook of surface and nanometrology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4200-8201-2.
- Whitehouse, D.J. Some Theoretical Aspects of Surface Peak Parameters. Precision Engineering 23 (1999) 94-102
- DAVID, Whitehouse, DUAL FUNCTION – SURFACE METROLOGY [online]. 14 - 61 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/e343/770f9d49349d08a497fb83de540ee4ebdf8b.pdf>
- WHITEHOUSE, D. J., 2012. Surface geometry, miniaturization and metrology. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences [online]. 370(1973), 4042-4065 DOI: 10.1098/rsta.2011.0055. ISSN 1364-503X. Dostupné z: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rsta.2011.0055>
- WHITEHOUSE, D. J., 2013. Theoretical enhancement of the Gaussian filtering of engineering surfaces. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences [online]. 469(2158), 20130184-20130184 DOI: 10.1098/rspa.2013.0184. ISSN 1364-5021. Dostupné z: <http://rspa.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspa.2013.0184>

Cíle dizertační práce

Nalezení vhodné replikační látky a metodiky otiskování:

Bylo nezbytné nalézt vhodný typ látky pro replikaci povrchů forem, které jsou dezénovány (nejsou leštěné). Je možné konstatovat, že do současnosti se používá především DentakrylTM, respektive jiné otiskovací hmoty, založené na bázi pryskyřic.

Aby bylo možné replikaci provádět, bylo nezbytné navrhnout replikační přípravek. Ten byl volen s ohledem na rychlost replikací s uvažováním jejich opakovatelnosti. Pro výrobu repliky z forem, které jsou dezénovány, bylo však nutné nalézt optimální poměr mísení Siloflex plus Light s katalyzátorem. Pro stabilitu repliky musela být nejdříve aplikována základní směs Putty, na kterou potom byla aplikována vlastní replika formy v navržených poměrech.

Nalezení vhodných parametrů jakosti replikovaných povrchů:

Další problematikou, kterou se tato práce zabývala, bylo nalezení vhodných parametrů popisující jakost povrchu. Pro tyto účely se ve shodě s literárními zdroji jeví jako výhodné amplitudové a frekvenční parametry, které je ze statistického hlediska možné podrobit testům normality, testům šikmosti a špičatosti, případně testům existence vychýlených hodnot. Hybridní parametry se ukazují jako nevhodné, protože nemají ve většině případů normální rozdělení.

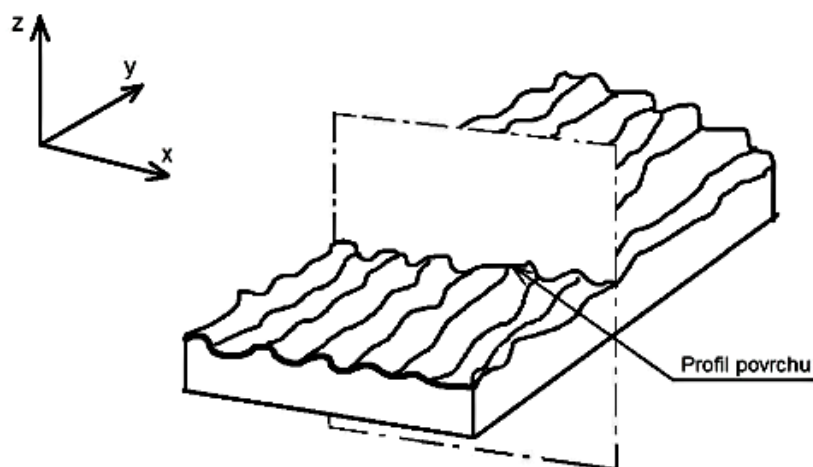
Nalezení průkazné metody pro potvrzení (vyvrácení) vhodnosti replikace:

Na rozdíl od rešerše, která byla provedena, se v této dizertační práci neporovnávají jednotlivé parametry, ale podobnost shluků jednotlivých parametrů. Aby bylo možné tyto shluky porovnávat, musí mít data normální rozdělení. Takže pokud data prokazují po aplikaci testů šikmosti a špičatosti nějakou výchytku, je nutné aplikovat nejdříve transformaci dat, aby bylo možné provádět další analýzu.

Pro tuto práci se ukázalo jako vhodné aplikovat po testu hypotéz i analýzu faktorovou a následně shlukovou analýzu, které potvrzují vhodnost replikace.

1. Měření povrchů

Základními parametry povrchu jsou tvar, vlnitost a drsnost. Hranice mezi parametry jsou určeny na základě jejich vlnové délky.



Obr. 1 Profil povrchu [2]

Tvar zahrnuje pouze nerovnosti o vyšších vlnových délkách než vlnitost. Nerovnosti mohou být vytvořeny úmyslně či neúmyslně. Neúmyslné nerovnosti tvaru mohou být způsobeny nízkou tuhostí stroje a nástroje například při obrábění, tepelnými deformacemi a podobně. [2]

Vlnitosti povrchu jsou zpravidla periodicky se opakující nerovnosti, vzniklé například jako důsledek nedostatečné tuhosti nástroje či špatného nastavení řezných podmínek stroje, a z těchto příčin vzniklých vibrací. [2]

Drsnost povrchu zahrnuje nejkratší vlnové délky, jedná se o nejjemnější nerovnosti. Při obrábění vznikají samotným řezem nástroje, který zanechává stopy, jejich charakter je závislý na řezných podmínkách. U odlévání, kování, vstřikování apod. se jedná o otisk stěny formy či zápustky a je ovlivněn teplotou a charakteristikou materiálu výrobku. [1]

1.1 Konvenční parametry (2D)

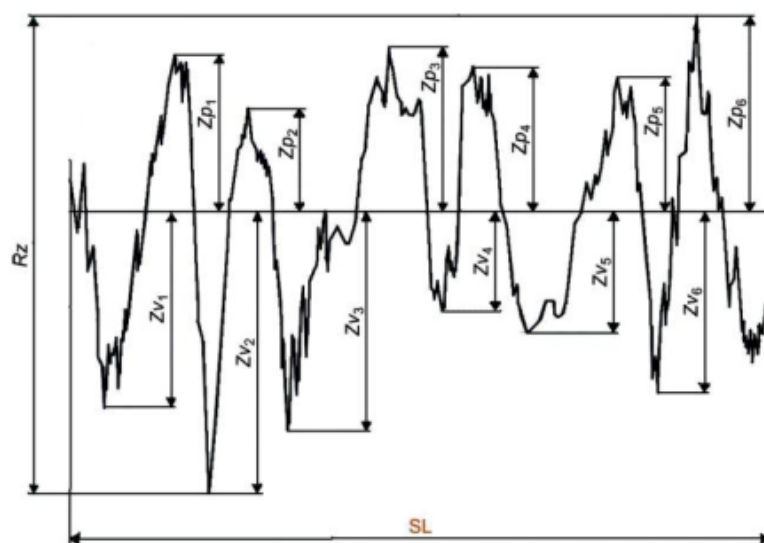
Konvenční normalizované parametry jsou nejčastěji využívanými parametry pro vyhodnocení struktury snímaného povrchu. Jejich podstata spočívá ve dvourozměrném měření povrchu získaného kontaktním profilometrem.

Parametry jsou počítány z jednoho profilu obsahujícího informace ve dvou směrech. Až donedávna nebyly mezinárodní normy ani definovány pro jiný způsob získávání dat, nežli pomocí kontaktních profilometrů. [2]

1.1.1 Výškové parametry (výstupky a prohlubně)

Z výškových parametrů se udávají hodnoty výstupků a prohlubní. Jsou citovány z normy ČSN EN ISO 4287). [2]

- „**Největší výška výstupku profilu R_p** - výška Z_p nejvyššího výstupku profilu a rozsahu základní délky“.



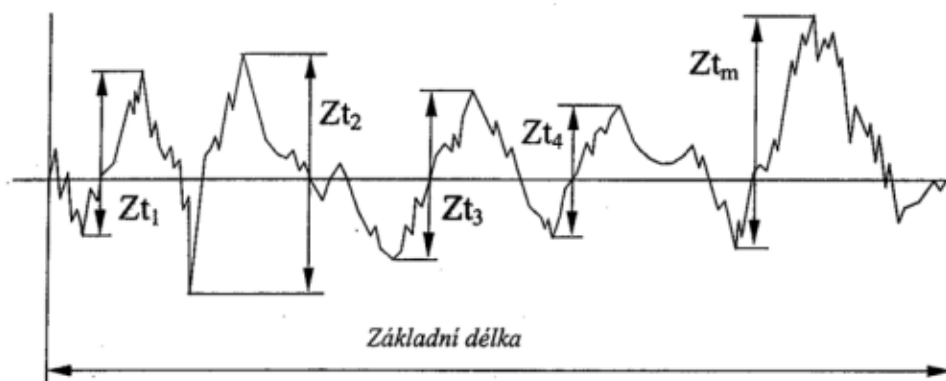
Obr. 2 Největší výška výstupního profilu [2]

- „**Největší hloubka prohlubně profilu R_v** – hloubka Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky“.

- „**Největší výška profilu R_z** – součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky“.

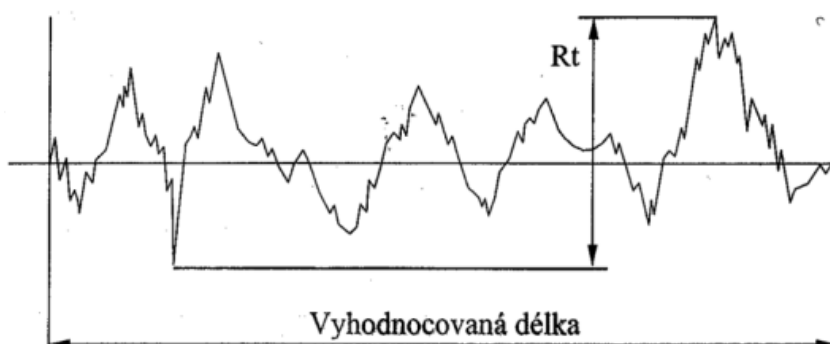
- „**Průměrná výška prvků profilu R_c** – průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky“.

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



Obr. 3 Průměrná výška prvků profilu [2]

- „Celková výška profilu R_t – součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky“.



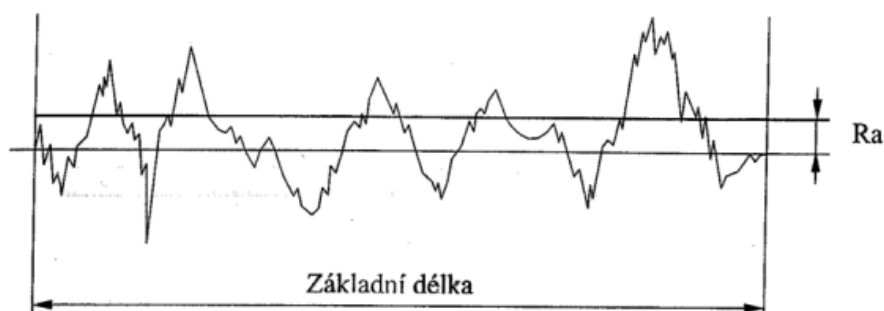
Obr. 4 Celková výška profilu [2]

1.1.2 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic)

Nejdůležitějším parametrem je drsnost povrchu ve směru výšky R_a .

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

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



Obr. 5 Aritmetická úchylka R_a [2]

- „**Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu R_q** – kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu délky l_r “.

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

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

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

- „**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 “.

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

1.1.3 Délkové parametry

- „**Průměrná šířka prvků profilu R_{sm}** - aritmetický průměr šířek X_s prvků profilu v rozsahu základní délky“.

$$R_{sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (5)$$



Obr. 6 Průměrná šířka R_{sm} [2]

1.1.4 Pravidlo 16-ti %

Hodnocení sledované plochy provádíme pomocí hodnot získaných z přístroje pro měření parametrů struktury povrchu na sledované ploše a následným porovnáním s hodnotami požadovanými pro funkčnost sledované plochy výkresem nebo výrobní dokumentací.[2]

Při hodnocení vycházíme z normy ČSN EN ISO 4288. Sledovaný parametr přitom nabývá hodnoty s určitým rozptylem, s čímž výše citovaná norma počítá, a stanovuje proto pravidlo 16-ti %. Podle pravidel normy provedeme kontrolu homogenity povrchu. Je-li struktura povrchu homogenní, hodnoty měřitelných parametrů jsou hodnoceny na každé ploše odděleně podle výrobní dokumentace nebo dle požadavků ve výkresové dokumentaci.

1.1.5 Pravidlo maxima

Je-li povrch obrobku složen z několika různých ploch s různou strukturou, budou hodnoty parametrů hodnoceny na každé ploše odděleně podle výrobní dokumentace nebo dle požadavků ve výkresové dokumentaci. Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické hodnoty. Toto může být posouzeno vizuálním pozorováním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně. Pokud jsou použity speciální postupy měření, musí být popsány ve specifikacích v protokolu o měření.[3]

Pravidlo maxima je také možno používat tenkrát, kdy při požadavcích specifikovaných největší hodnotou parametru nesmí v průběhu kontroly žádná z měřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přestoupit hodnotu uvedenou ve výkresové dokumentaci nebo ve výrobní dokumentaci.

1.2 Parametry povrchu plochy (3D)

Protože jsou nároky na kvalitu povrchu součástek stále vyšší, jsou vyžadovány nové pohledy na měření a následné vyhodnocování naměřených hodnot. Potřeba měření nejen okamžité kvality, ale i snaha o predikci chování součástky, například včasné odhalení možných závad, stále více směřuje k prostorovému mapování a hodnocení povrchu.

Prostorové zobrazení a hodnocení povrchu dává nejen podrobnější informace o samotném průběhu nerovností povrchu, ale i řadu údajů o funkčních vlastnostech povrchu nebo životnosti součástky. Trojrozměrné hodnocení textury povrchu využívá aplikovatelné poznatky z dvojrozměrné analýzy profilu, které rozšiřuje o nové využitelné poznatky charakteristiky profilu plochy. Jedná se o spojení terminologie i popisu jednoho profilu povrchu (profilová metoda) s novými pojmy a matematickým popisem geometrie nerovností povrchu na ploše (plošná metoda).[4]

- „**Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu, S_a** – aritmetický průměr absolutních hodnot koordinace uvnitř určené plochy A “.

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |Z(y, x)| dx, dy \quad (6)$$

- „**Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu S_q** “

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A |Z(y, x)| dx, dy} \quad (7)$$

- „**Šikmost omezené stupnice povrchu** – kvocient průměrné hodnoty koordinační krychle a hodnot krychle S_q uvnitř plochy (A) “

$$S_{sk} = \frac{1}{S_q^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A |Z^3(y, x)| dx, dy \right] \quad (8)$$

- „**Špičatost omezené stupnice povrchu** - kvocient průměrné čtvrté mocniny koordinace a hodnoty čtvrté mocniny S_q uvnitř plochy (A) “

$$S_{ku} = \frac{1}{S_q^4} \left[\frac{1}{A} \iint_A |Z^4(y, x)| dx, dy \right] \quad (8)$$

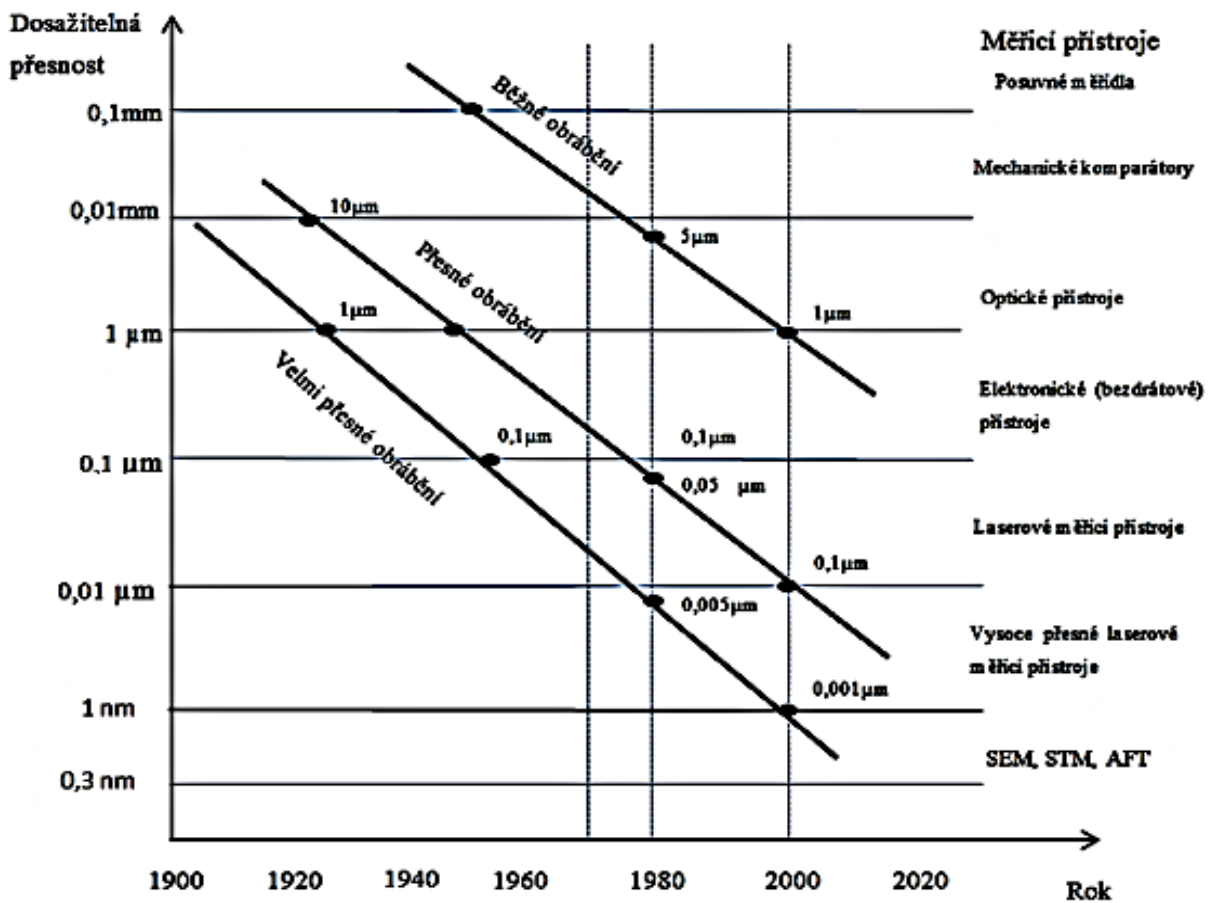
1.3 Vzájemné srovnání 2D a 3D metody snímání

Pro získání 3D parametrů drsnosti nebo vlnitosti je třeba profil povrchu nejprve filtrovat potřebným filtrem, neboli operátorem, a teprve poté stanovit hodnoty 3D parametrů. Přitom 3D parametry jsou stanoveny pro celou hodnocenou plochu, kdežto 2D parametry jsou průměrné hodnoty vztažené na počet základních délek.

Nedostatečnost 2D měření souvisí se zavedenou praxí hodnocení povrchu z hodnot parametrů drsnosti. Stále nejčastějšími a obvykle i nejpoužívanějšími parametry pro určování kvality povrchu jsou parametry Ra (průměrná aritmetická úchylka profilu) a Rz (největší výška profilu drsnosti). Hodnota u parametru Ra může být stejná i při značně rozdílných profilech povrchu. Z této hodnoty však nelze vždy logicky vyčíst funkční vlastnosti velmi rozdílných povrchů, a tedy ani odpovědět například na otázky o rychlosti opotřebení, zadržování maziva, schopnosti odolávat předpokládanému zatížení nebo naopak náchylnosti ke vzniku trhlin ve stopách po obrábění. [2,4]

Přednosti 3D hodnocení povrchu jsou velké a v mnoha případech by jedna taková informace mohla zodpovědět hned několik otázek souvisejících s vhodností povrchu pro požadovanou funkci, předpokládané zatížení, přítomnost vad. [4]

Vyhodnocování charakteristiky povrchu z prostorových parametrů je komplexnější a spolehlivější nežli vypovídací hodnota dosud běžně užívaných parametrů profilových. Ovšem prostorové parametry je nutné stanovovat z podstatně většího množství dat nežli parametry lineární. Také sběr těchto dat je náročnější nežli získávání dat pouze z lineárního měření. [4]



Obr. 7 Vývoj dosažitelné přesnosti ve výrobě [16]

Tab. 1 Dosahované parametry obrobených ploch [17]

Obráběné plochy	Metoda obrábění		Přesnost rozměrů IT		Drsnost povrchu Ra [μm]	
			střední	rozsah	střední	rozsah
vnější rotační	Broušení	hrubovací	10	9 ÷ 11	2,40	0,80 ÷ 3,20
		dokončovací	5	5 ÷ 6	0,40	0,20 ÷ 0,60
		jemné	4	3 ÷ 5	0,20	0,05 ÷ 0,40
	Lapování	dokončovací	4	3 ÷ 4	0,10	0,05 ÷ 0,20
		jemné	2	1 ÷ 2	0,03	0,012 ÷ 0,050
	Superfinašování	dokončovací	4	3 ÷ 5	0,20	0,05 ÷ 0,40
jemné		3	2 ÷ 4	0,06	0,025 ÷ 0,100	
vnitřní rotační	Broušení	hrubovací	10	9 ÷ 11	2,40	1,60 ÷ 3,20
		dokončovací	6	5 ÷ 7	0,80	0,40 ÷ 1,60
		jemné	5	3 ÷ 6	0,20	0,05 ÷ 0,40
	Honování	hrubovací	7	6 ÷ 8	0,40	0,20 ÷ 0,80
		dokončovací	6	5 ÷ 7	0,15	0,10 ÷ 0,20
		jemné	4	3 ÷ 5	0,07	0,05 ÷ 0,10
	Lapování	dokončovací	4	3 ÷ 5	0,20	0,01 ÷ 0,40
		jemné	2	1 ÷ 3	0,03	0,012 ÷ 0,050
rovinné	Broušení	hrubovací	10	9 ÷ 11	2,40	1,60 ÷ 3,20
		dokončovací	6	5 ÷ 7	0,80	0,40 ÷ 1,60
		jemné	5	3 ÷ 6	0,20	0,05 ÷ 0,40
	Lapování	dokončovací	4	3 ÷ 5	0,20	0,10 ÷ 0,40
		jemné	2	1 ÷ 3	0,03	0,012 ÷ 0,050

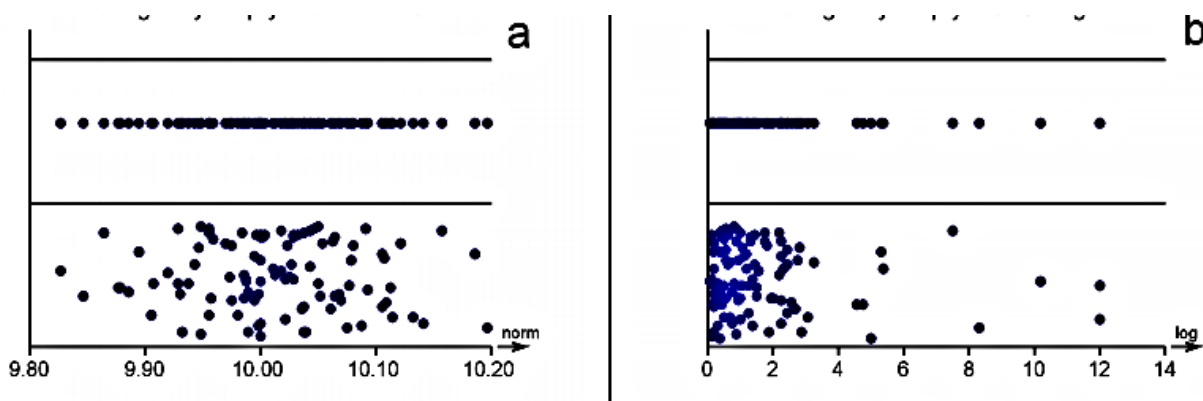
Tab. 2 Technologické parametry vybraných nekonvenčních metod obrábění [18]

Metoda	Drsnost Ra [μm]	Stupeň přesnosti IT	Hloubka ovlivněné vrstvy [μm]	Úběr [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]	Měrná spotřeba energie [$\text{kWh} \cdot \text{cm}^{-3}$]
Elektrojiskrové obrábění	50 až 0,2	6 až 12	10 až 300	10^{-4} až 0,6	0,1 až 1
Obrábění paprskem laseru	50 až 6,3		100	10^{-4}	8 až 13
Obrábění paprskem elektronů	50 až 6,3		beze změn	10^{-2} až 0,4	
Obrábění paprskem plazmy			500 až 800	100	
Elektrochemické obrábění	2,5 až 1,6	9 až 12	beze změn	0,05 až 0,5	0,1 až 0,3
Elektrochemické broušení	0,8 až 0,2	6 až 9	beze změn	10^{-2}	0,04 až 0,08
Ultrazvukové obrábění	6,3 až 0,4	7 až 9	beze změn	10^{-2} až 10	0,07 až 0,8

1.4 Průzkumová (explorativní) analýza dat

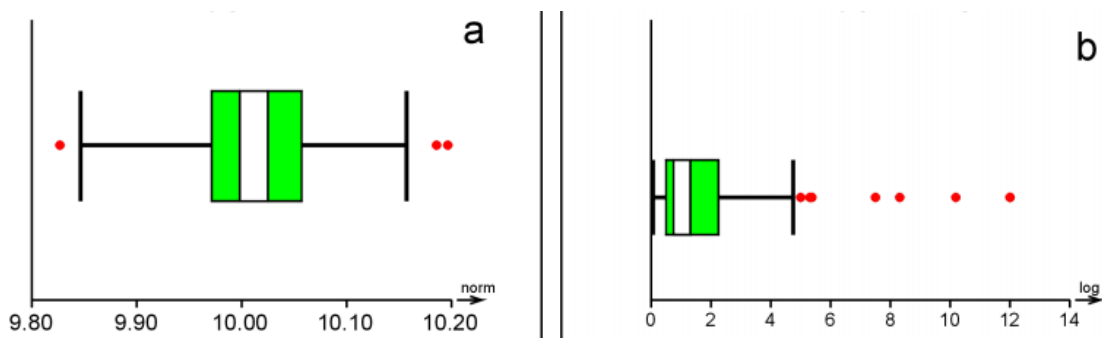
Cílem průzkumové analýzy je zjištění o jaký typ rozdělení dat jde. Řadí se sem především odhalení statistických zvláštností, kam patří především stupeň symetrie a špičatosti daného výběru.

Základní analýzou je určení typu dat (o jaký typ dat se jedná). Pro tuto analýzu se používají hodnoty mediánu (\tilde{X}), průměru (\bar{X}), rozptylu ($\overline{\sigma^2}$), šikmosti a špičatosti. K této analýze jsou používány především různé typy diagramů na bázi rozptylů.



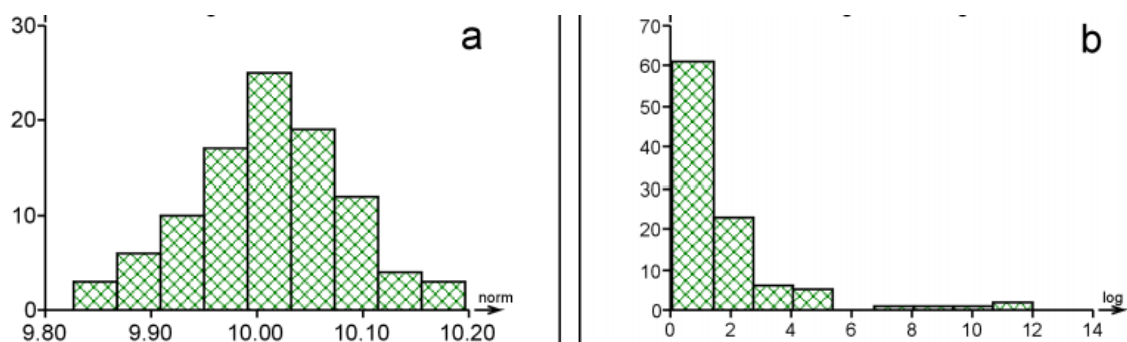
Obr. 8 Diagramy rozptýlení (a) normální, (b) asymetrické

Další možností, jak určit typ dat, je krabicový graf (box-plotový diagram). Tento graf umožňuje přehledně znázornit odhad polohy mediánu a identifikaci odlehklých hodnot.



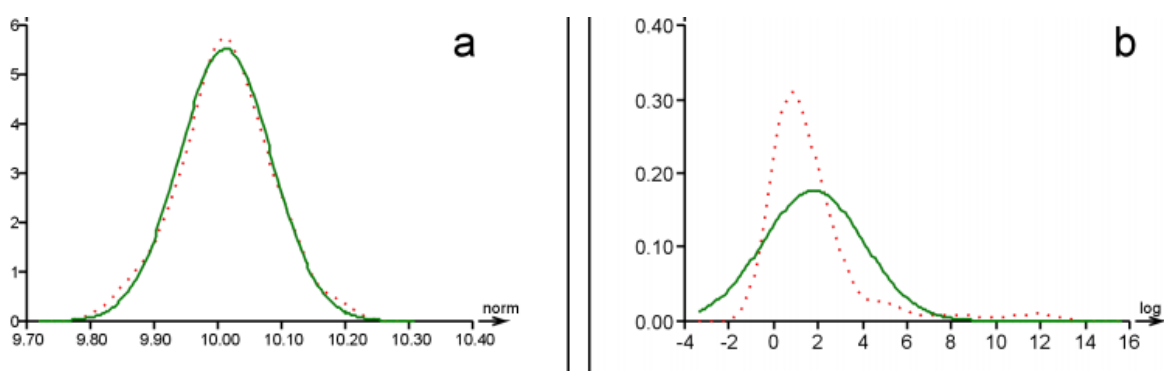
Obr. 9 Krabicový graf (a) symetrické rozdělení, (b) asymetrické rozdělení

Důležitou součástí výzkumu dat je analýza pomocí histogramu, kde výšky sloupců vypovídají o empirické hustotě pravděpodobnosti výskytu. Lze z něj vyčíst symetrii rozdělení a šikmost dat.



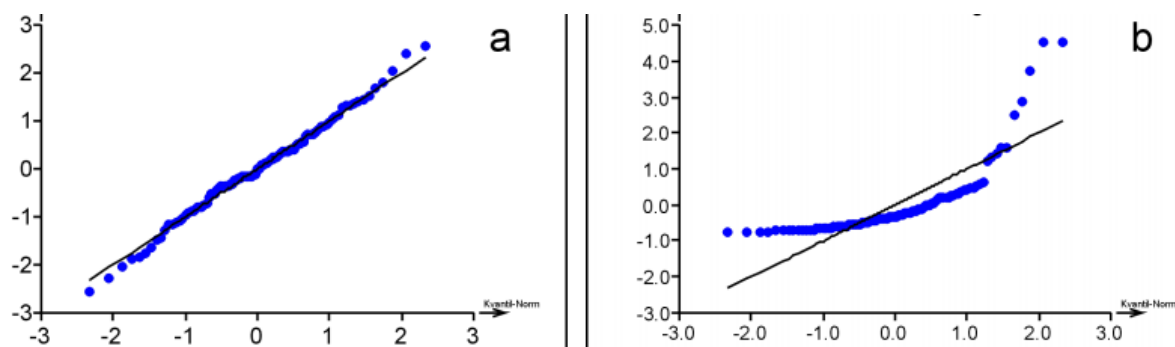
Obr. 10 (a) histogram normálního rozdělení, (b) asymetrické rozdělení

Histogram se velmi často kombinuje s jádrovým odhadem pravděpodobnosti, který slouží k určení hustoty, šikmosti a špičatosti dat.



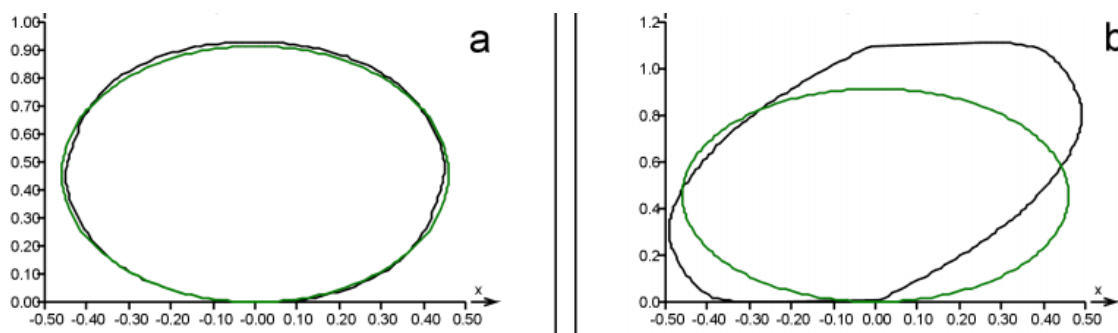
Obr. 11 Jádrový odhad pravděpodob. (a) normální, (b) asymetrické rozdělení

Q-Q grafy jsou citlivé především na odchylky konců, tedy na extrémní hodnoty měření.



Obr. 12 Q-Q grafy (a) normální rozdělení, (b) asymetrické rozdělení

Posledním grafem ukazujícím symetrii rozdělení dat je graf kruhový. Odchyłky od kružnice ukazují jiné než normální rozdělení.



Obr. 13 Kruhový graf (a) symetrické, (b) asymetrické rozdělení dat

1.5 Testování normality

Jednoduchý způsob, jak alespoň přibližně odhadnout zda mají data normální rozdělení, je sestavení histogramu. Histogram je sestaven nanášením hodnot sledované veličiny na vodorovnou osu a jejich četností na osu svislou. Je-li zkoumaná veličina spojitá (nabývá-li nekonečně mnoha hodnot) rozdělíme osu na intervaly a četnosti určíme jako počty pozorovaných hodnot v těchto intervalech. Při normálním rozdělení souboru by měl histogram připomínat Gaussovu křivku. [10]

Parametry R_a a R_z jsou populární. Pokud jsou vypočítávány z náhodného výběru, platí pro ně podmínka normality.

Dominantním je z hlediska normality parametr R_a . Je možné to prokázat hned dvěma způsoby.

⇒ **Zákon „Centrální limitní teorém“**

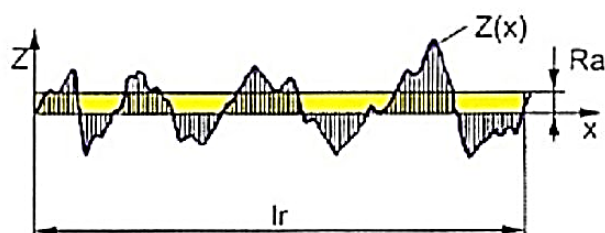
Centrální limitní věta říká, že když provedeme mnoho výběrů o určité velikosti založené na pravděpodobnostním principu, pak se rozložení výběrových průměrů přiblíží normálnímu rozdělení a celkový průměr těchto průměrů se bude podobat průměru v populaci. A to nezávisle na tom, jak jsou hodnoty proměnné v populaci rozloženy. Tento teorém je jedním z principů, na kterém stojí klasická statistika a teorie pravděpodobnosti.

To znamená, že ať je rozložení základního souboru jakékoliv, rozdělení střední hodnoty výběrového souboru bude vždy normální, jestliže rozsah výběrového souboru dosáhne alespoň minimální velikosti[10]



Obr. 14 Hustota pravděpodobnosti výskytu \bar{X}_i [10]

⇒ **Zákon „Efekt supernormality“**



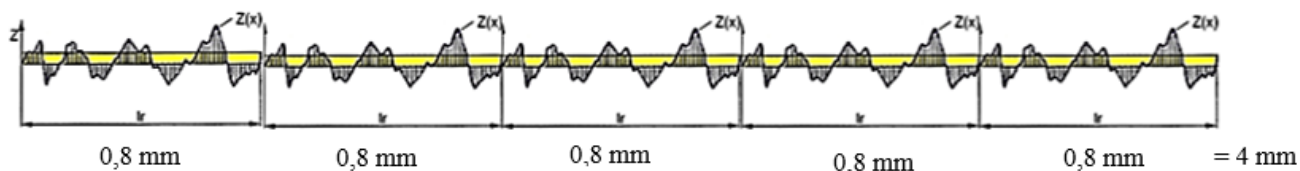
Obr. 15 Schématické vyjádření R_a

Nejdříve je snímán Z_i pořadnici v poloze X_i - snímá se 1 bod m krát a vypočítá se aritmetický průměr.

$$Z_i = \sum_{i=1}^m \frac{Z_{ii}}{m} \quad (9)$$

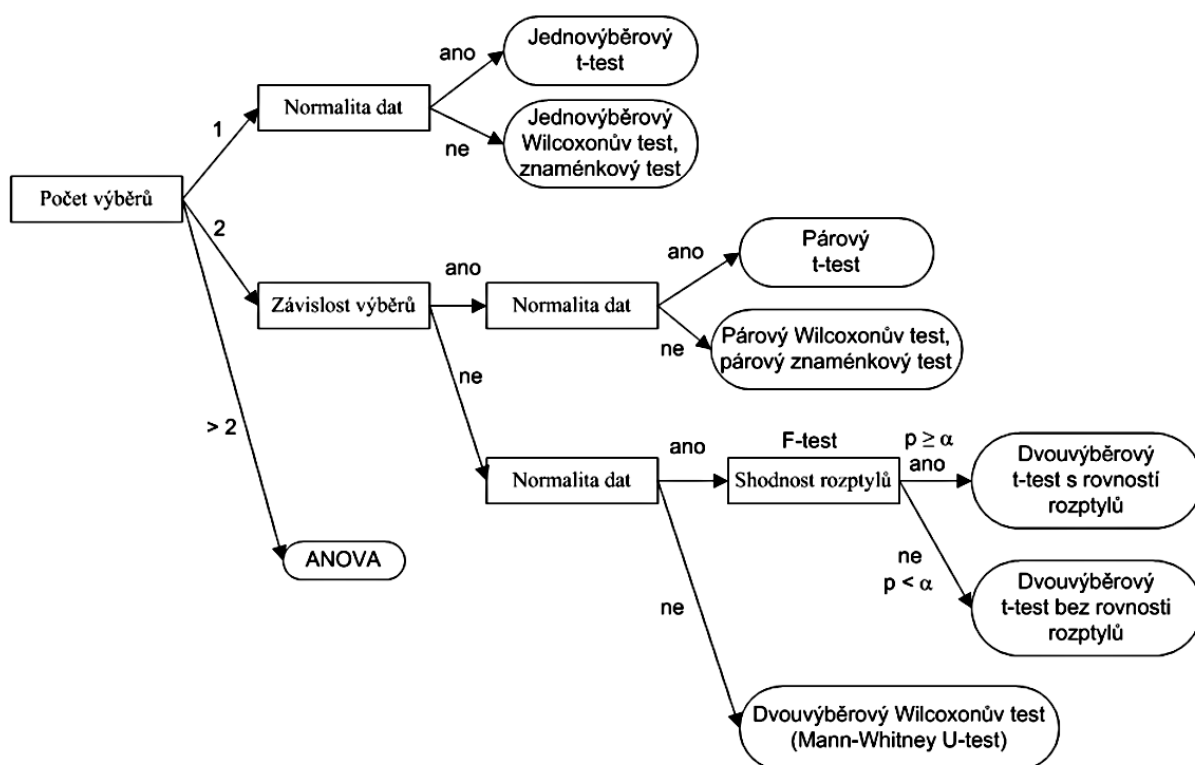
Dále je snímán v poloze X_i v pořadnici Z_i n_x -krát a z nich systém vypočítá jeden aritmetický průměr R_a .

$$Z_i = \sum_{i=1}^{n_x} \frac{Z_{ii}}{n_x} \quad (10)$$



Obr. 16 schématické vyjádření Ra na pěti $l_r = 4 \text{ mm}$

$$Ra = \sum_{i=1}^5 \frac{Ra_i}{5} \quad (11)$$



Obr. 17 Diagram pro výběr správného testu. [5]

1.5.1 Testy outlierů

Jako outlier je označen odlehlý pozorovací bod vzdálený od jiných pozorování. Odchylka bývá způsobena variabilitou měření nebo může znamenat experimentální chybu. Ta může být vyloučena z datového souboru. [6]

Odlehlé hodnoty se mohou vyskytnout náhodně v jakékoli distribuci, ale často indikují buď chybu měření, nebo že populace má zešikmenou distribuci. V prvním

případě, kdy se jedná o chybu měření, je třeba se této chyby zbavit nebo použít statistiku, která je robustní k odlehlým hodnotám. Zatímco ve druhém případě, kdy má populace zešikmenou distribuci, je to náznak, že distribuce má vysokou šikmost a že musíme být velmi opatrní při používání nástrojů nebo intuici, které předpokládají normální distribuci. [6]

Častou příčinou odlehlých hodnot je směs dvou rozdělení, které mohou být dvěma odlišnými subpopulacemi, nebo mohou naznačovat "správné měření" versus "chyba měření". Ve většině větších shluků vzorků dat budou některé datové body dále vzdáleny od průměru vzorku, než co je považováno za rozumné. To může být způsobeno náhodnou systematickou chybou nebo vadami v teorii, která vygenerovala předpokládaný soubor rozdělení pravděpodobnosti. [7]

Odlehlé body mohou proto označovat chybné údaje, chybné postupy nebo oblasti, kde určitá teorie nemusí být platná. U velkých výběrových souborů se však očekává malý počet odlehlých hodnot. [8]

1.5.2 F - test

F-test je jakýkoliv statistický test, ve kterém testovací statistika má *F* rozdělení pod nulovou hypotézou. Nejčastěji se používá při porovnávání statistických modelů, které byly přidány do datové sady pro zjištění, který model nejlépe odpovídá populaci, ze které byla data odebrána. Přesné *F*-testy se používají zejména v případě, kdy modely byly sestaveny z dat za použití nejmenších čtverců. Jméno pro tento test vymyslel George W. Snedecor na počest sira Ronalda A. Fishera, který rozvinul statistický ukazatel jako poměr rozptylu ve 20. letech minulého století. [9]

Mezi běžné příklady použití *F*-testů patří studie následujících případů:

- Hypotéza, že prostředky dané sady normálně distribuovaných populací, všechny se stejnou směrodatnou odchylkou, jsou stejné. Jedná se o nejznámější *F*-test a hraje důležitou roli v analýze rozptylu.
- Hypotéza, že navrhovaný regresní model odpovídá datům dobře.
- Hypotéza, že datová sada v regresní analýze sleduje jednodušší dva navrhované lineární modely, které jsou navzájem vnořené. [6]

Většina *F*-testů vzniká tím, že je zvažován rozklad variability ve sbírce dat z hlediska součtů čtverců. Statistickou zkouškou *F*-testu je poměr dvou stupňovitých součtů čtverců odrážejících různé zdroje variability. Součty čtverců

jsou sestaveny tak, že statistika má tendenci být větší, když nulová hypotéza není pravdivá. Aby statistika mohla sledovat distribuci F pod nulovou hypotézou, součet čtverců by měl být statisticky nezávislý a každý by měl sledovat rozloženou distribuci X^2 . Druhá podmínka je zaručena, pokud jsou hodnoty dat nezávislé a normálně distribuované se společnou odchylkou. [9]

Klasický F-test umožňuje ověření nulové hypotézy $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ proti alternativní $H_A: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$. Vychází z předpokladu, že oba výběry jsou nezávislé a pocházejí z normálního rozdělení. Testovací kritérium má tvar

$$F = \max \left(\frac{s_x^2}{s_y^2}; \frac{s_y^2}{s_x^2} \right) \quad (12)$$

Platí-li nulová hypotéza H_0 a s_x, s_y , má F kritérium, potom je F-rozdělení s ν_1 (n_1-1) a ν_2 (n_2-1) (ν_M počet stupňů volnosti). V opačném případě se pořadí stupňů volnosti zamění. Je-li $F > F_{1-\alpha}(\nu_1, \nu_2)$, je nulová hypotéza H_0 o shodnosti rozptylů zamítnuta. [9]

1.5.3 t - test

T-testy slouží pro metrická data s normálním rozdělením a porovnávají průměry. Zjišťujeme, zda rozdíl průměru od dané hodnoty je jen dílem náhody. Fungují na principu intervalových odhadů. Řadí se do kategorie parametrických testů, protože pracují s parametry normálního rozdělení. [9]

Studentův t-test střední hodnoty, kdy ze základního souboru s rozdělením $N(\mu, \sigma^2)$ provedeme náhodný výběr rozsahu n a vypočteme výběrový průměr \bar{x} a směrodatnou odchylku s . Jako testovou statistiku zvolíme náhodnou veličinu

$$\frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \sqrt{n} \quad (13)$$

Kritické obory testů polohy nulové hypotézy $H_0: \mu = \mu_0$ proti různým alternativám H_A pro hladinu významnosti jsou uvedeny v tabulce. Hraniční body kritického oboru představují 100α -%ní kvantily známých rozdělení. Místo formálního testování, zda jsou tyto kvantily větší než testové statistiky, je možné přímo vyčíslit velikost pravděpodobnosti $(1 - \alpha)$. U oboustranného testu $(1 - \alpha/2)$. [9]

Tab. 3 Kritické obory testů polohy hypotézy H_0 [9]

Nulová hypotéza H_0	Alternativní hypotéza H_A	Testační charakteristika	Kritický obor
	$\mu > \mu_0$		$t \geq t_{1-\alpha}(n-1)$
$\mu = \mu_0$	$\mu < \mu_0$	$t = (x - \mu_0)\sqrt{n}/s$	$t < t_{\alpha}(n-1)$
	$\mu \neq \mu_0$		$ t \geq t_{(1-\frac{\alpha}{2})}(n-1)$

Postup testu shodnosti

- Ověření normálního rozdělení obou souborů: testy a statistické diagnostiky k ověření předpokladů o výběru [9]

$$F = \max\left(\frac{s_x^2}{s_y^2}; \frac{s_y^2}{s_x^2}\right) \quad (14)$$

- Modifikovaný Fisher-Snedecorův F-test [9]

$$v_1 = \frac{n_1-1}{1+\frac{g_2c}{2}}, v_2 = \frac{n_2-1}{1+\frac{g_2c}{2}} \quad (15)$$

- Klasický Studentův t-test T_1 pro homoskedasticitu [9]

$$T_1 = \frac{|\bar{x}-\bar{y}|}{\sqrt{(n_1-1)s_x^2+(n_2-1)s_y^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1+n_2-2)}{n_1+n_2}} \quad (16)$$

- Klasický Studentův t-test T_2 pro heteroskedasticitu [9]

$$T_2 = \frac{|\bar{x}-\bar{y}|}{\sqrt{\frac{s_x^2}{n_1} + \frac{s_y^2}{n_2}}} \quad (17)$$

1.5.4 Transformace dat

Pro tuto dizertační práci bylo zjištěno, že je naprosto nezbytné použití transformace dat. Používá se při zjištění, že data nemají normální rozdělení (šikmost) a slouží k především ke stabilizaci rozptylů. Transformací získává rozdělení symetričnost.

Jsou dva druhy transformace. Nejdříve se provádí jednoduchá mocninná transformace, která však není pro naše účely dostatečně přesná.

Druhou variantou je Box-Coxova transformace dat, která se používá pro přiblížení k normálnímu rozdělení vzhledem k šikmosti i špičatosti dat.

1.5.5 Faktorová analýza

Jedná se o vícerozměrnou statistickou metodu, kde podstatou je rozbor struktury vzájemných závislostí proměnných na základě předpokladu, že jsou tyto závislosti důsledkem působení určitého počtu nezměřených faktorů. Cílem této analýzy je redukce počtu proměnných a odhalení struktury vztahů mezi proměnnými. Tato analýza se snaží vysvětlit závislosti proměnných.

Pro analýzu je důležité použití Kaiserova pravidla, které je založeno na porovnávání rozptylů. Kritická hodnota nabývá hodnoty jedna. Kaiserovo pravidlo udává, kolik faktorů je potřebných k vyjádření co největší části souboru a je udáváno v procentech.

Jsou tři základní typy faktorových rotací.

První je ortogonální rotace Varimax, která minimalizuje počet faktorů potřebných pro vysvětlení jednotlivých proměnných. Jde o nejjednodušší metodu, která je dána součtem rozptylů čtverců faktorových zátěží v jednotlivých sloupcích.

Další ortogonální rotací je Quartimax, minimalizující počet faktorů, které jsou potřebné k vysvětlení jednotlivých proměnných. Simplicitní funkce je dána součtem rozptylů čtverců faktorových zátěží v jednotlivých řádcích.

Poslední metodou rotace je Equamax, která je kombinací obou předchozích metod, při níž je minimalizován jak počet proměnných s vysokou zátěží s každým společným faktorem, tak i počet faktorů, které jsou potřebné pro vysvětlení jednotlivých proměnných.

1.5.6 Shluková analýza

Shluková analýza (též Custerova analýza, anglicky cluster analysis) je vícerozměrná statistická metoda, která se používá ke klasifikaci objektů. Slouží k třídění jednotek do skupin (shluků) tak, aby si jednotky náležící do stejné skupiny byly podobnější než objekty z ostatních skupin. Shlukovou analýzu je možné provádět jak na množině objektů, z nichž každý musí být popsán prostřednictvím stejného souboru znaků, které má smysl v dané množině sledovat, tak na množině znaků, které jsou charakterizovány prostřednictvím určitého souboru objektů, nositelů těchto znaků. [10]

Metoda shlukování - Nejbližší soused

Metoda nejbližšího souseda (single linkage, nearest neighbor) – vzdálenost shluků je určována vzdáleností dvou nejbližších objektů z různých shluků. Při použití této metody jsou objekty taženy k sobě, výsledkem jsou dlouhé řetězce. [10]

Metoda shlukování - Nejvzdálenější soused

Metoda nejvzdálenějšího souseda (complete linkage, furthest neighbor) - vzdálenost shluků je určována naopak vzdáleností dvou nejvzdálenějších objektů z různých shluků. Funguje dobře především v případě, že objekty tvoří přirozeně oddělené shluky. Nehodí se pokud je tendence k řetězení. [10]

Metoda shlukování - Aplikace aritmetických průměrů

Párová vzdálenost (pair-group average) - vzdálenost shluků je určována jako průměr vzdáleností všech párů objektů z různých shluků. Opět může být ve vážené i nevážené podobě. [10]

Metoda shlukování - Wardova metoda

Wardova metoda - vychází z analýzy rozptylu. Slučuje takové shluky, kde je minimální součet čtverců. Obecně lze říci, že je tato metoda velmi účinná, nicméně má tendenci vytvářet poměrně malé shluky. Vzdálenosti objektů se měří čtvercovou euklidovskou vzdáleností. [10]

2. Replikace povrchu

Dříve se k replikaci povrchu nejvíce využívala metylmetakrylátová licí pryskyřice Dentacryl™. Primárně je to materiál určený především k použití ve strojírenství, elektrotechnice, chemických a metalurgických laboratořích.

Dentacryl™ technický se vyrábí v balení jako prášek a tekutina. Polymeruje samovolně tzv. chemickou iniciací, kdy po smísení a vytvrzení obou složek vznikne bezbarvá až mírně nažloutlá hmota podobná plexisklu. Dá se snadno řezat, pilovat, brousit a leštit. [15]

Indikace:

- Strojírenství - zalévání vodících desek razníků.
- Metalurgické laboratoře – upevňování výbrusů.
- Modelářství - stavební modely železnic, letadel, lodí.
- Pro sportovní účely - opravy lyží (hrany), opravy lodí, laminátových výrobků.
- Pro motoristy - spojování prasklých štítů z organického skla.
- Ostatní - výroba broží, samolepek, ozdob, originálních korálků.

Vlastnosti:

- Odolnost proti působení kyselin, zásad a solí.
- Dobré elektrické vlastnosti (elektrická pevnost).
- Odolnost proti výkyvům teplot (dobrá tepelná izolace).
- Vynikající mechanická pevnost.
- Pevnost v tahu, tlaku a ohybu (jako u výplňových materiálů).
- Snadná zpracovatelnost. [15]

Nevýhodou je především jeho chemické složení, které je velmi dráždivé, a je nezbytné při práci používat ochranné pomůcky. Proto byl na výrobu replik vybrán jiný druh materiálu.

2.1 Výroba repliky

Pro výrobu replik v této dizertační práci jsou používány otiskovací směsi využívané především ve stomatologii. V tomto oboru můžeme hledat nejen potřebnou inspiraci pro volbu materiálu vhodného ke snímání povrchů, ale také znalosti v oblasti přípravy a samotné aplikace. Dizertační práce ukazuje způsob výroby repliky s využitím dentální hmoty SILOFLEX® ve dvou typech, a to

základové Putty[®] a nízkoviskózní Light bodied[®] včetně technologického postupu tvorby repliky a následné posouzení dat, zda jsou si originál a replika podobné.

2.1.1 Materiál použitý pro replikaci

Pro výrobu repliky bylo použito otiskovacích hmot značky SILOFLEX[®] pro jejich schopnost snímat i mikrometrické detaily povrchu.

Nejdříve byla použita otiskovací hmota typu Putty[®].

Kondenzační silikonová otiskovací hmota – s velmi vysokou viskozitou, typ Putty[®].

Kondenzační silikonová otiskovací hmota s vysokou tolerancí k množství katalyzátoru ($\pm 40\%$), s přesnou reprodukcí detailů, s výbornými aplikačními vlastnostmi, s vysokou hodnotou zotavení po deformaci a vynikající objemovou stabilitou. [14]

Indikace:

- Předběžné otiskování při metodě dvojího otiskování.
- Otiskování technikou dvojího míchání.
- Konturování okrajů individuálních otiskovacích matric. [14]

Vlastnosti a výhody:

- Přesná reprodukce detailů s výbornými vlastnostmi pro použití.
- Vysoká reversibilita po deformaci a vynikající objemová stálost. [14]

Následně bylo použito zpřesňující otiskovací hmoty, která dokáže díky své nízké viskozitě zaznamenat i ty nejmenší detaily.

Kondenzační silikonová otiskovací hmota - nízká viskozita, typ Light bodied[®].

Systém složený z klasického Putty[®] a Light[®] materiálu s nízkou viskozitou nabízí ještě přesnější reprodukci detailů, příjemnou manipulaci a velmi vysokou toleranci k práci ve vlhkém prostředí. [14]

Indikace:

- Korekční otiskovací materiál při metodě dvojího otiskování.
- Materiál nízké viskozity pro otiskování technikou dvojího míchání.
- Zvýšená přesnost otiskování díky menší tvorbě vzduchových bublin. [14]

Vlastnosti a výhody:

- Jednoduché dávkování a krátká doba mísení díky gelovému katalyzátoru.
- Snadná kontrola homogenity namíseného materiálu s barevně kontrastním katalyzátorem.
- Snížená interakce s latexovými rukavicemi.
- Vynikající reprodukce detailu i ve vlhkém prostředí.
- Dokonalá kvalita každého otisku. [14]

Pastový katalyzátor

Pastový katalyzátor pro kondenzační silikonové hmoty Stomaflex Putty[©] a Stomaflex Light[©]. [14]

Tab. 4 Požadavky na materiál při teplotě 23°C [14]

Zkoušená vlastnost:	Siloflex Plus Putty	Siloflex Plus Light
Doba mísení	Max. 45 s	30 s
Konzistence	22,0 – 26,0 mm	36,0 – 44,0 mm
Celková doba zpracovatelnosti	Min. 85 s	Min. 100 s
Doba tuhnutí	2:15 – 3:00 minut	4:00 – 4:45 minut
Zotavení po deformaci	Min. 97,5 %	Min. 98,5 %
Lineární rozměrová změna	Lepší než 0,5 %	Min. 1,3 %

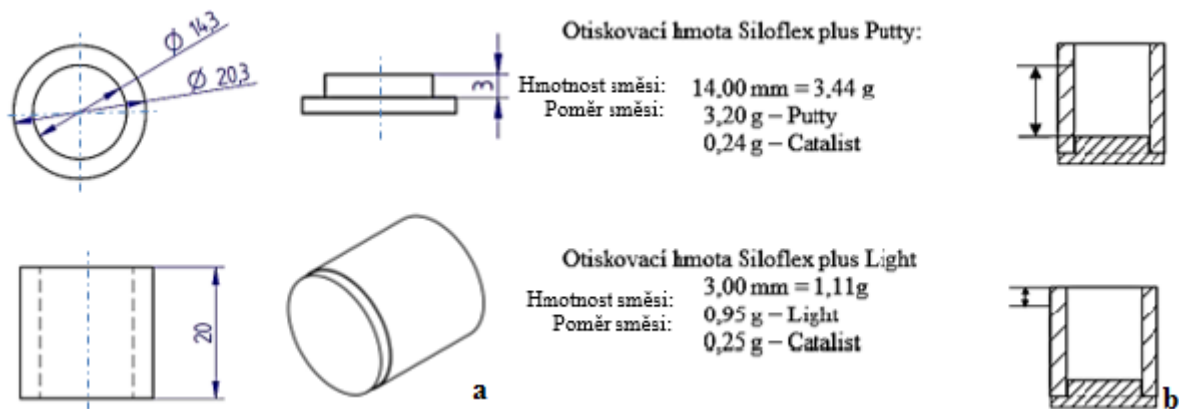
C – Silikony, mezi které se řadí i otiskovací hmoty Siloflex[©], jsou izotropní, a tudíž se uvádí lineární rozměrová změna α [K⁻¹]. Koeficient objemové roztažnosti β [K⁻¹] se pak snadno dopočítává.

$$l = l_1 \cdot [1 + \alpha \cdot (t - t_1)] \quad (18)$$

$$V = V_1 \cdot [1 + \beta \cdot (t - t_1)] \quad (19)$$

2.1.2 Postup výroby repliky

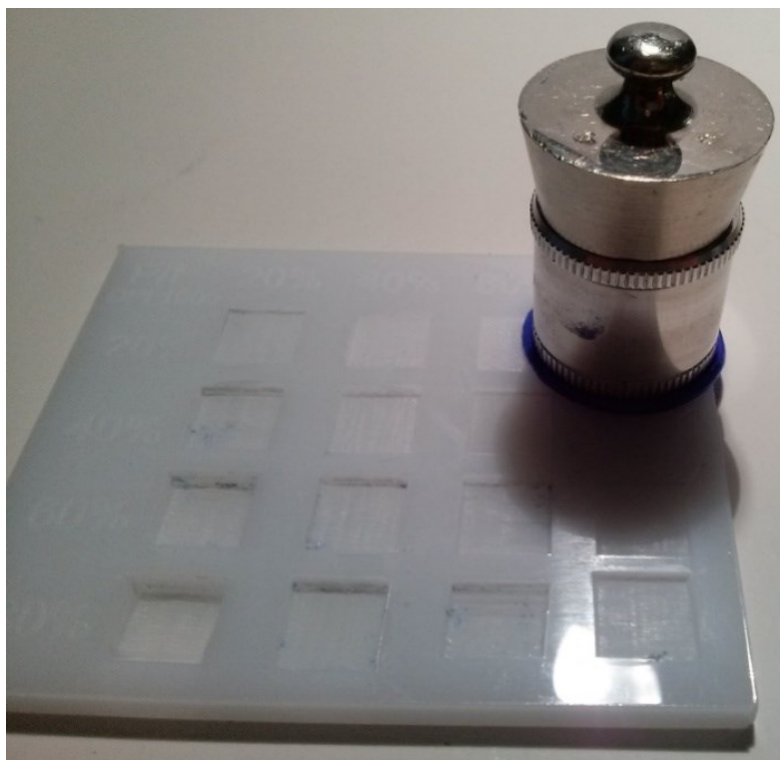
Replika je složena ze základního materiálu Putty[®] použitého pro zpevnění a Stomaflex Light[®] pro samotné otiskování repliky. Tato kombinace se ukázala jako nejstabilnější.



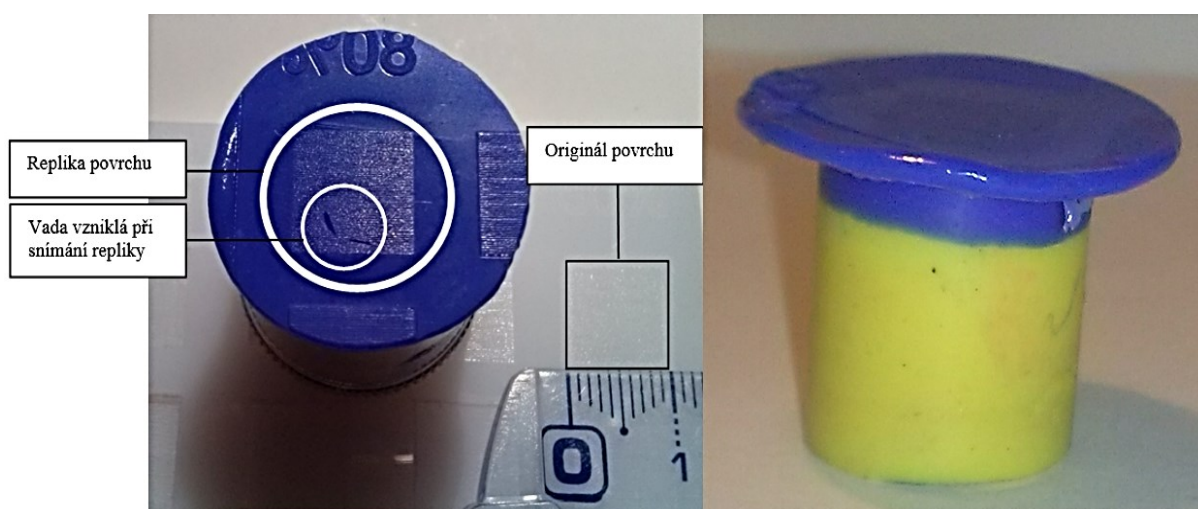
Obr. 18 a) náčrtek přípravku a b) návazek otiskovací hmoty



Obr. 19 Nanesení otiskovací hmoty do přípravku



Obr. 20 Zatížení přípravku pro vytvoření přitlaku



Obr. 21 Hotová replika DPI 1000

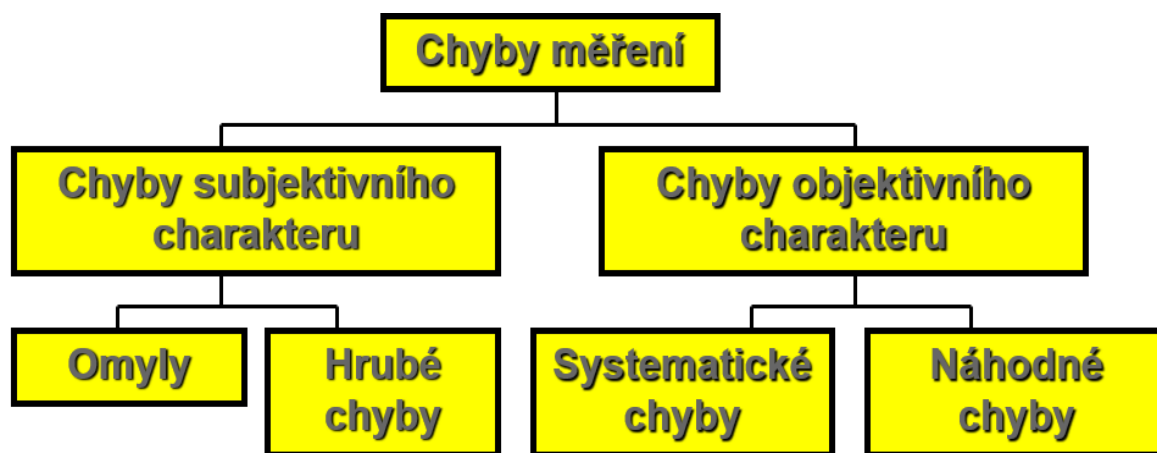
Na Obrázku č. 21 hotové repliky vlevo je vidět vada, která vznikla průnikem vzduchové bubliny při otiskování. Při vyjímání otisku z přípravku žlutá hmota Putty[®] zpevní celkový otisk, a nedojde k jeho narušení.

2.1.1 Chyby měření

Chyby měření můžeme rozdělit na chyby hrubé, chyby systematické a chyby náhodné.

Chyby systematické vznikají především při snímání hotové repliky, kdy se replika snímá z otiskovaného originálu, a dochází k jejímu protažení.

Chyby hrubé vznikají při replikaci povrchů především špatně promíchanou otiskovací směsí, kdy katalyzátor nebude správně vmíchán, a v replice zůstanou nezatuhnutá místa. Dále použitím malého množství otiskovací směsi, kdy replika nebude kompletní. Také může dojít k nerovnoměrnému zatížení.

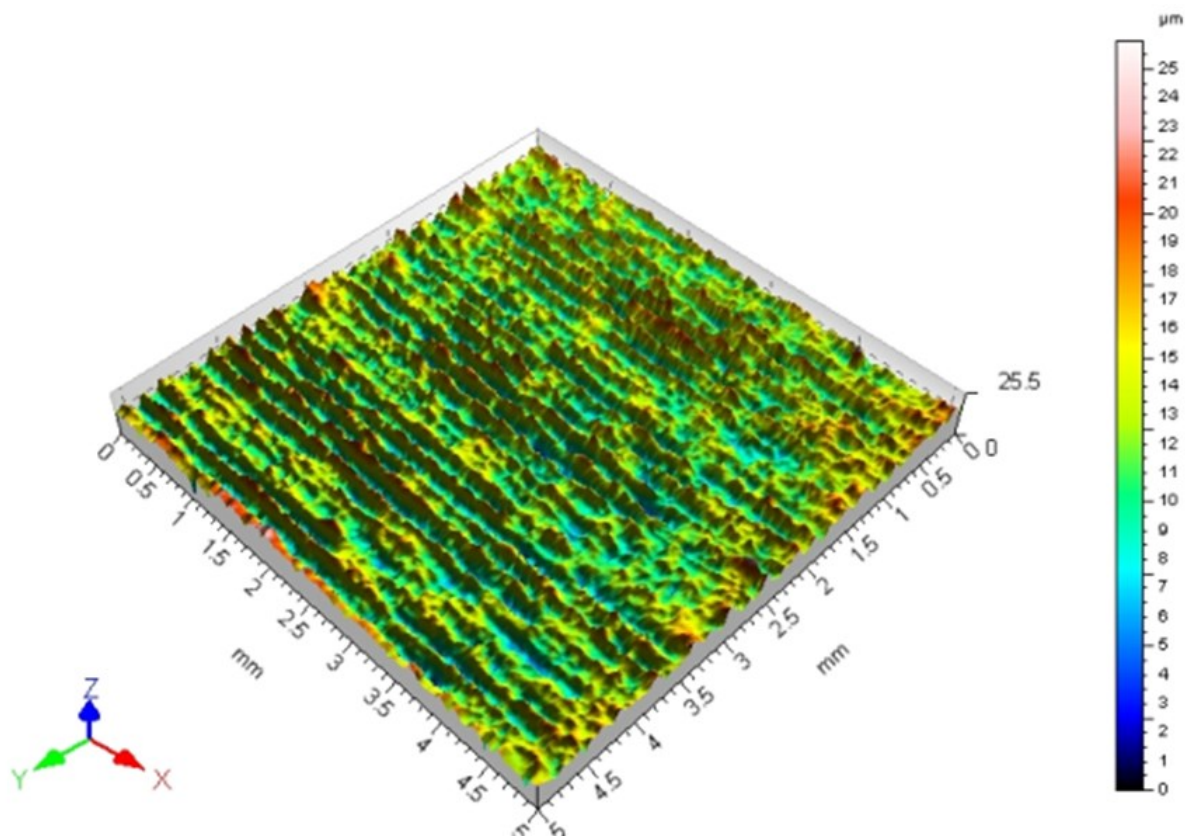


Obr. 22 Klasifikace chyb měření [13]

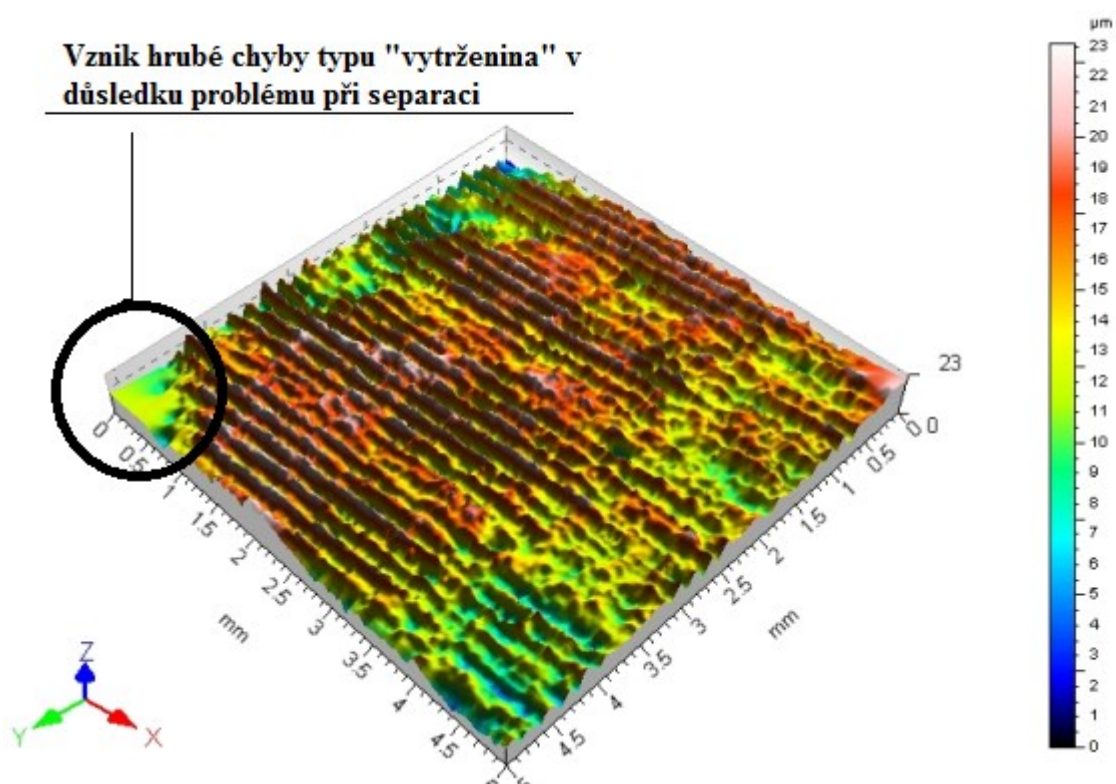
2.1.2 Snímání originálu a repliky

Snímání originálu a repliky probíhalo na 3D bezkontaktním profiloměru menších rozměrů s CLA konfokální hlavou, který měří textury povrchu ve 2D i 3D. Dokáže měřit prostor 100x50x1mm.

Maximální hmotnost měřené součásti je 10 kg. Měřicí operace provádí automaticky. Během měření tedy nezaměstnává obsluhu. [12]



Obr. 23 3D scan originálního povrchu.



Obr. 24 3D scan replikovaného povrchu.

Z naměřeného profilu povrchu byl nejprve odstraněn tvar a následně vlnitost, čímž vznikl profil drsnosti dle normy ISO 4287 a ISO 4288, který byl dále vykreslen řezy zvlášť v ose Y (North - South) a zvlášť v ose X (East - West). V obou osách bylo vytvořeno 252 řezů. Na základě normy ISO 25178 byl stanoven výpočtem 3D profil povrchu. Na závěr byly vygenerovány hodnoty parametrů drsnosti dle normy ISO 4287. [2,4,14]

Tab. 5 Parametry drsnosti originálního povrchu dle ISO 4287

ISO 4287								
		Mean	Std dev	Min	Max	Lower Quartile	Upper Quartile	Median
Amplitude parameters - Roughness profile								
Rp	µm	4.35	0.638	2.70	6.09	3.92	4.80	4.40
Rv	µm	4.44	0.744	2.82	6.17	3.95	4.96	4.44
Rz	µm	8.79	1.29	6.10	12.1	8.07	9.69	8.86
Rt	µm	11.7	1.81	7.31	16.1	10.6	12.9	11.8
Ra	µm	1.87	0.291	1.21	2.53	1.69	2.09	1.87

Tab. 6 Parametry drsnosti replikovaného povrchu dle ISO 4287

ISO 4287								
		Mean	Std dev	Min	Max	Lower Quartile	Upper Quartile	Median
Amplitude parameters - Roughness profile								
Rp	µm	3.93	0.792	2.56	6.44	3.34	4.32	3.91
Rv	µm	4.05	0.734	2.52	5.62	3.43	4.63	4.13
Rz	µm	7.97	1.45	5.12	11.4	6.97	8.94	7.96
Rt	µm	10.5	2.07	6.64	16.4	8.58	11.8	10.3
Ra	µm	1.67	0.289	1.01	2.25	1.46	1.89	1.73

Kde:

Mean \bar{x}

Std. Dev, s

Min Xi min

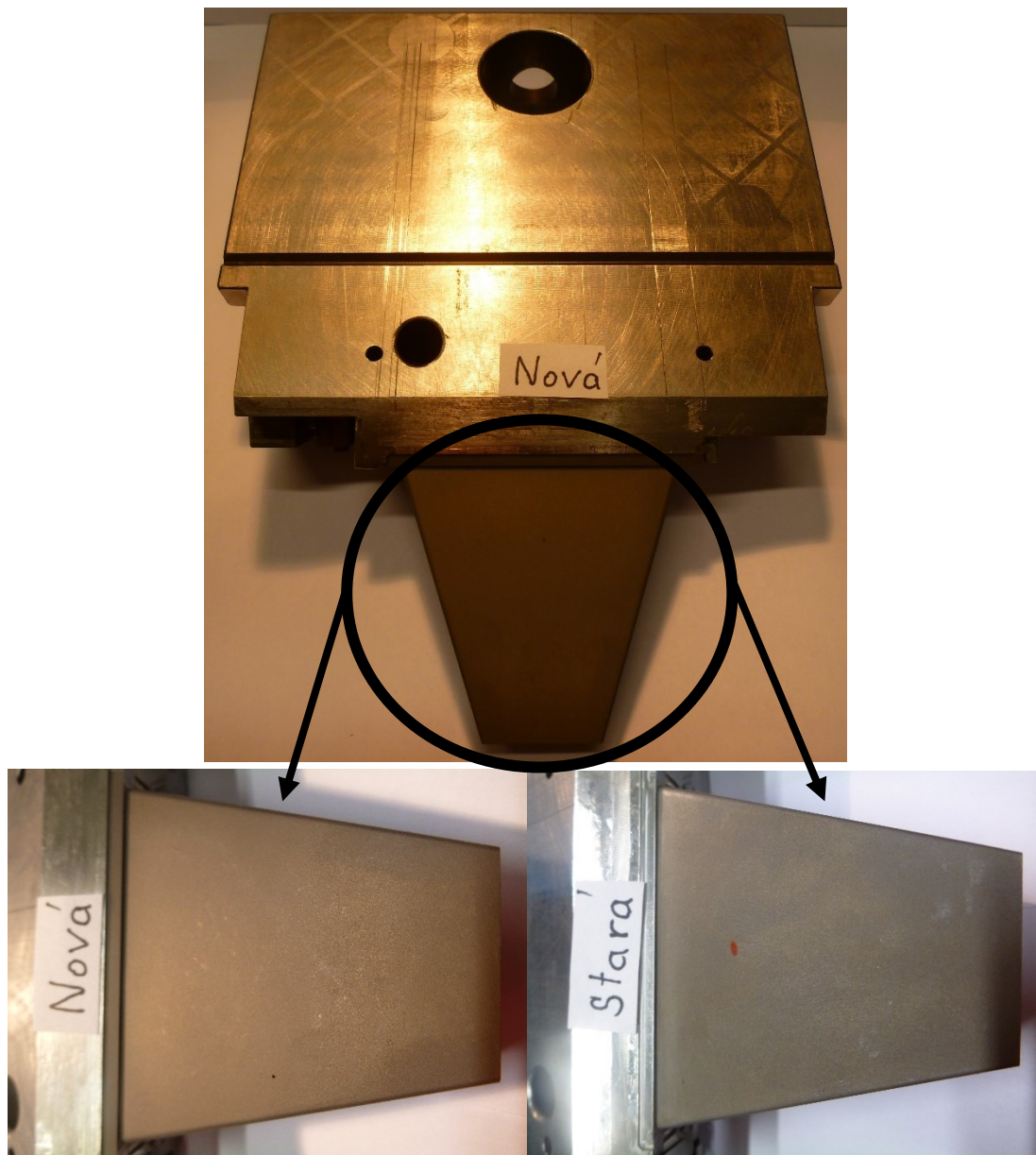
Max Xi max

Lower quartile Q1

Upper quartile Q3

Median \tilde{x}

3. Praktická aplikace na formě



Obr. 25 Kovová forma od firmy Plastika a.s.

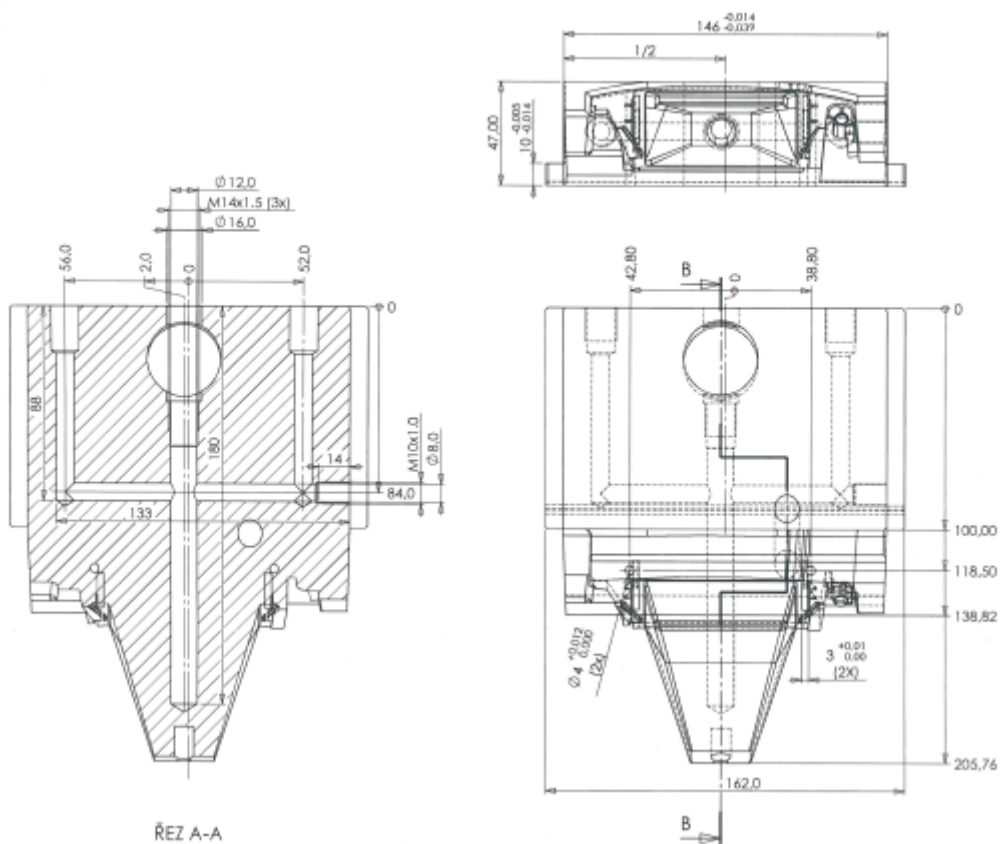
Praktická aplikace byla prováděna na formě a výrobku z firmy Plastika a.s., jednalo se konkrétně o jednu ze součástí kabinového filtru do automobilu.

Toto je ovšem ideální případ, kdy je k dispozici forma, která může být replikována v laboratorních podmínkách, je možné zajistit plnou opakovatelnost při výrobě repliky a možnost posouzení shody parametrů jakosti povrchu mezi formou, výrobkem i replikou přímým měřením.

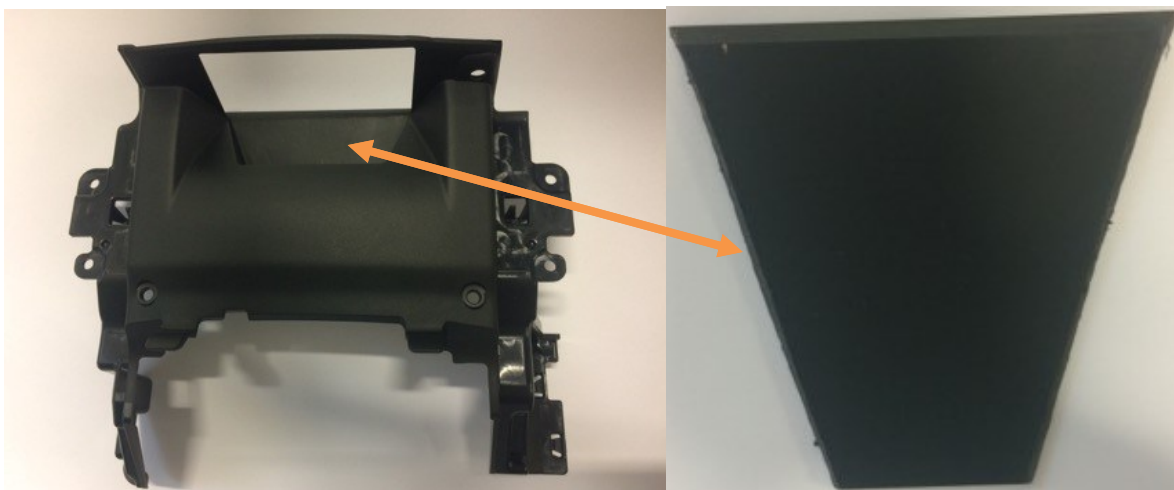
V praxi je však většinou nereálné přímé hodnocení jakosti povrchu formy z důvodů její velikosti a hmotnosti. Místo hodnocení formy se používá hodnocení povrchu výrobků, který formu nereplikuje dokonale.

Pojmem „nová forma“ je specifikována forma, která je nově vyrobena a na níž byl vyroben počet dílů řádově ve stovkách.

Naopak pojmem „použitá forma“ je specifikována forma vyrobená stejným výrobcem za použití stejné technologie, avšak forma je dle udání firmy Plastika a.s. po výrobě více než milionů dílů.



Obr. 26 Výkresová dokumentace k formě



Obr. 27 Výrobek z této formy a měřená část výrobku

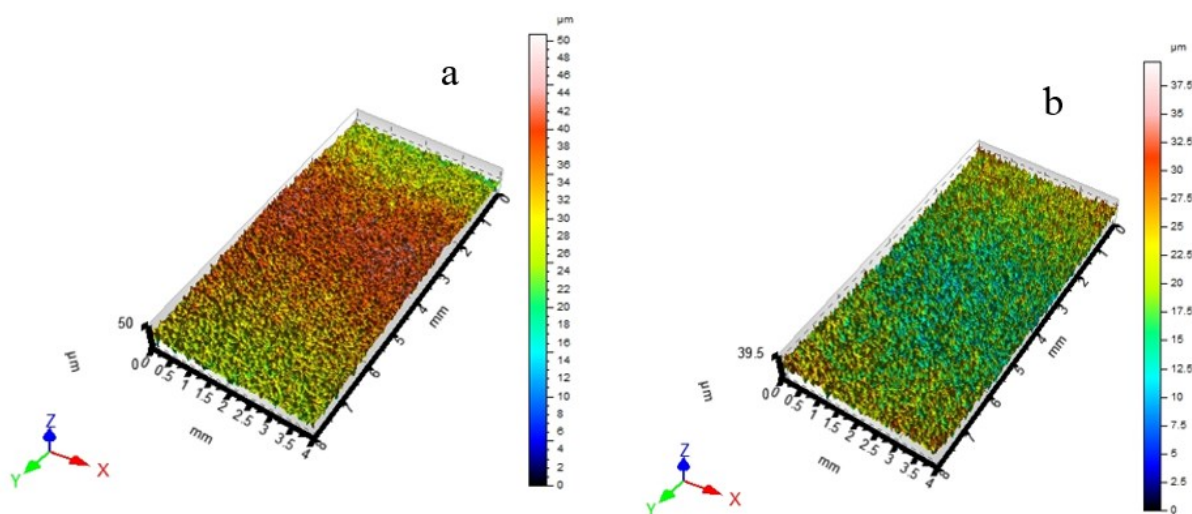


Obr. 28 umístění měřeného objektu

3.1 Kontrola formy

Nejdříve se provádí pohledová kontrola, kdy se pomocí zvětšení zjistí, zda forma či etalon nejsou poškozené na funkčních plochách. Následně proběhne mikroskopická kontrola povrchů na 2D dílenském mikroskopu Carl Zeiss při 50-ti násobném zvětšení.

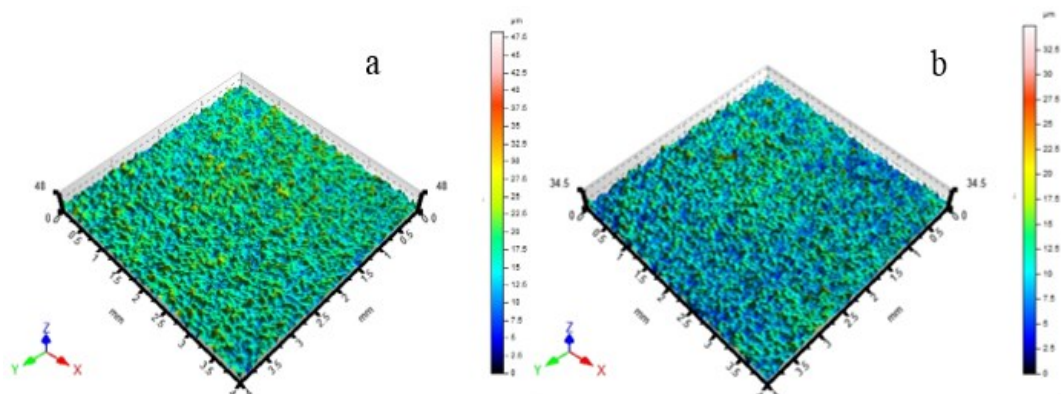
3.2 Měření pomocí přístroje Talysurf CLI 500



Obr. 29 3D scan a) nové formy, b) použité formy

ISO 4287					ISO 4287						
		Mean	Std dev	Min	Max		Mean	Std dev	Min	Max	
Amplitude parameters - Roughness profile					Amplitude parameters - Roughness profile						
Rp	μm	4.79	0.522	3.6	6.24	Rp	μm	6.11	0.622	4.81	8.42
Rv	μm	5.26	0.587	4.04	6.86	Rv	μm	5.8	0.583	4.46	7.07
Rz	μm	10	0.927	8.08	12.2	Rz	μm	11.9	0.981	9.27	14.3
Rc	μm	6.22	0.701	4.88	8.27	Rc	μm	7.27	0.692	5.72	9.59
Rt	μm	14.9	1.99	11.2	21.1	Rt	μm	17.1	2.38	12.3	24.4
Ra	μm	1.95	0.181	1.5	2.48	Ra	μm	2.32	0.178	1.85	2.79

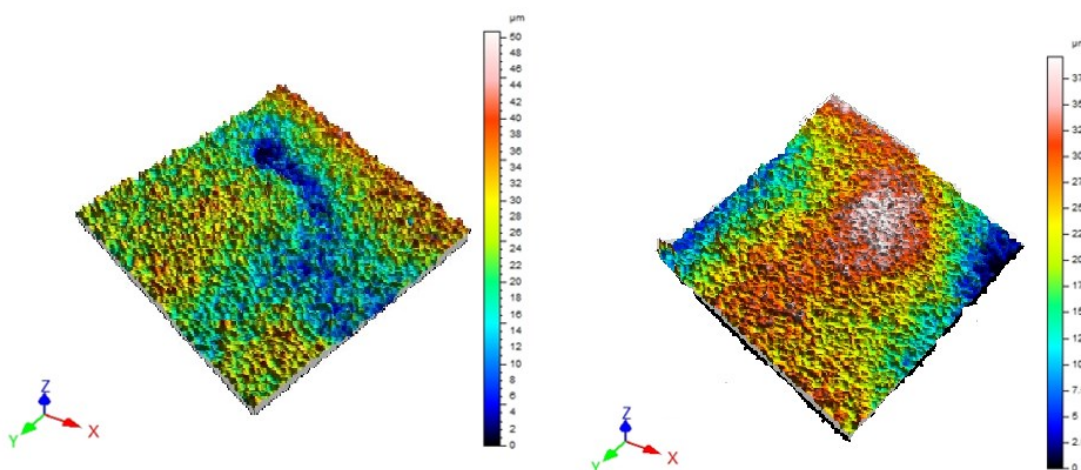
Obr. 30 Základní hodnoty měření, vlevo nová a vpravo použitá forma



Obr. 31 3D scan výrobků a) z nové formy, b) z použité formy

ISO 4287						ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max			Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile						Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	µm	5.35	0.758	3.75	8.5	Rp	µm	4.44	0.685	2.83	7.62
Rv	µm	5.74	0.806	3.71	8.45	Rv	µm	4.08	0.57	2.88	5.94
Rz	µm	11.1	1.27	8.07	15.3	Rz	µm	8.52	1.02	6.13	11.4
Rt	µm	14.7	2.22	10.4	23.5	Rt	µm	11.4	1.73	7.58	21.4
Ra	µm	2.14	0.224	1.57	2.68	Ra	µm	1.66	0.176	1.24	2.06

Obr. 32 Data měření, vlevo výrobek z nové a vpravo výrobek z použité formy



Obr. 33 3D scan repliky a) z nové formy, b) z použité formy

ISO 4287						ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max			Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile						Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	µm	5.776	0.776	4.285	10.132	Rp	mm	0.006	0.002	0.004	0.014
Rv	µm	5.156	0.851	3.714	9.111	Rv	mm	0.006	0.002	0.003	0.012
Rz	µm	10.932	1.393	8.501	17.569	Rz	mm	0.013	0.003	0.007	0.022
Ra	µm	1.838	0.164	1.518	2.529	Ra	mm	0.002	0	0.001	0.003

Obr. 34 Data měření, vlevo replika z nové a vpravo replika z použité formy

Kde:

Mean \bar{x} Min Xi min
 Std. Dev, s Max Xi max
 Lower quartile Q1 Upper quartile Q3
 Median \tilde{x}

	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Average	4,5493	4,9957	9,5456	1,8665	0,1963
CI lower bound	4,4524	4,8815	9,3728	1,8358	0,1921
CI upper bound	4,6463	5,1099	9,7183	1,8971	0,2004
Variance	0,3880	0,5383	1,2318	0,0387	0,0007
Std. Deviation	0,6229	0,7337	1,1099	0,1967	0,0264
Skewness	0,0550	0,5231	0,1794	0,4150	0,8152
Deviance from 0	Insignificant	Significant	Insignificant	Significant	Significant
Kurtosis	2,3539	3,5347	2,5271	3,3987	4,7860
Deviance from 3	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Significant
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Median	4,5800	4,94	9,60	1,85	0,19
CI lower bound	4,4540	4,804	9,2927	1,8147	0,1885
CI upper bound	4,7060	5,076	9,9073	1,8853	0,1995
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Runs Test					
Conclusion	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Normality test					
Normality	Accepted	Rejected	Accepted	Accepted	Rejected
Probability	0,9337	0,0489	0,5738	0,1121	0,0057

Obr. 35 Tabulka hodnot pro novou formu

	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Average	5,3496	5,7366	11,0872	2,1391	0,1972
CI lower bound	5,2313	5,61071721	10,8891	2,1042	0,1934
CI upper bound	5,4679	5,862450492	11,2853	2,1740	0,2010
Variance	0,5777	0,653967632	1,6198	0,0503	0,0006
Std. Deviation	0,7601	0,808682652	1,2727	0,2243	0,0245
Skewness	0,7847	0,233092408	0,1816	-0,1643	1,3280
Deviance from 0	Significant	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Significant
Kurtosis	4,9133	3,131136949	3,1539	2,3173	8,1322
Deviance from 3	Significant	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Significant
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Median	5,26	5,72	11,1	2,16	0,194
CI lower bound	5,0786	5,5739	10,8481	2,0995	0,1900
CI upper bound	5,4414	5,8661	11,3519	2,2205	0,1980
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Runs Test					
Conclusion	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Normality test					
Normality	Rejected	Accepted	Accepted	Accepted	Rejected
Probability	0,0071	0,4159	0,5668	0,6218	0,0002

Obr. 36 Tabulka hodnot pro použitou formu

	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Average	4,4364	4,0834	8,5191	1,6594	0,1954
CI lower bound	4,3295	3,9944	8,3593	1,6319	0,1915
CI upper bound	4,5433	4,1725	8,6789	1,6869	0,1992
Variance	0,4718	0,3274	1,0543	0,0312	0,0006
Std. Deviation	0,6869	0,5722	1,0268	0,1767	0,0248
Skewness	0,6688	0,4800	0,2143	-0,0183	0,7135
Deviance from 0	Significant	Significant	Insignificant	Insignificant	Significant
Kurtosis	5,1167	3,0356	2,8483	2,4341	4,0293
Deviance from 3	Significant	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Significant
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Median	4,45	4,05	8,51	1,67	0,194
CI lower bound	4,2888	3,9291	8,2883	1,6347	0,1895
CI upper bound	4,6112	4,1709	8,7317	1,7053	0,1985
Runs Test	Rp	Rv	Rz	Ra	Rsm
Conclusion	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent
Normality test	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Normality	Rejected	Accepted	Accepted	Accepted	Rejected
Probability	0,0164	0,0680	0,4680	0,9810	0,0118

Obr. 37 Tabulka hodnot pro výrobek z nové formy

	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Average	5,3765	5,7988	11,1766	2,1563	0,1975
CI lower bound	5,2559	5,6763	10,9805	2,1222	0,1937
CI upper bound	5,4971	5,9213	11,3727	2,1904	0,2013
Variance	0,6003	0,6194	1,5871	0,0481	0,0006
Std. Deviation	0,7748	0,7870	1,2598	0,2192	0,0247
Skewness	0,7854	0,2508	0,1689	-0,2412	1,2947
Deviance from 0	Significant	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Significant
Kurtosis	4,8284	3,1109	3,2386	2,4777	7,8801
Deviance from 3	Significant	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Significant
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Median	5,33	5,79	11,1	2,19	0,194
CI lower bound	5,1637	5,6540	10,8481	2,1447	0,1900
CI upper bound	5,4963	5,9260	11,3519	2,2353	0,1980
Runs Test	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Conclusion	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent
Normality test	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Normality	Rejected	Accepted	Accepted	Accepted	Rejected
Probability	0,0071	0,3703	0,6073	0,3945	0,0003

Obr. 38 Tabulka hodnot pro výrobek z použité formy

	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Average	5,7200	5,0503	10,7702	1,8535	0,0944
CI lower bound	5,6287	4,9580	10,6308	1,8337	0,0925
CI upper bound	5,8112	5,1425	10,9096	1,8733	0,0963
Variance	0,3437	0,3514	0,8025	0,0162	0,0001
Std. Deviation	0,5863	0,5928	0,8958	0,1272	0,0122
Skewness	0,2590	0,8505	0,7059	-0,0888	0,5360
Deviance from 0	Insignificant	Significant	Significant	Insignificant	Significant
Kurtosis	2,6647	4,3518	4,3627	2,9899	2,9667
Deviance from 3	Insignificant	Significant	Significant	Insignificant	Insignificant
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Median	5,69	4,99	10,71	1,85	0,09
CI lower bound	5,5943	4,8388	10,5644	1,8334	0,0900
CI upper bound	5,7857	5,1492	10,8496	1,8686	0,0960
Runs Test	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Conclusion	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent
Normality test	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Normality	Accepted	Rejected	Rejected	Accepted	Rejected
Probability	0,3506	0,0045	0,0125	0,8555	0,0444

Obr. 39 Tabulka hodnot pro repliku nové formy

	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Average	7,1132	6,6980	13,8112	1,9795	0,1032
CI lower bound	6,7787	6,4376	13,3536	1,9441	0,1009
CI upper bound	7,4478	6,9583	14,2688	2,0149	0,1055
Variance	4,6207	2,7972	8,6446	0,0518	0,0002
Std. Deviation	2,1496	1,6725	2,9402	0,2276	0,0148
Skewness	1,3339	0,9267	0,6153	0,3771	0,6268
Deviance from 0	Significant	Significant	Significant	Insignificant	Significant
Kurtosis	4,1783	3,2617	2,9055	2,7159	3,0375
Deviance from 3	Significant	Insignificant	Insignificant	Insignificant	Insignificant
	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Median	6,42	6,30	13,18	1,97	0,10
CI lower bound	6,0638	6,0274	12,2822	1,9085	0,0975
CI upper bound	6,7802	6,5746	14,0738	2,0335	0,1045
Runs Test	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Conclusion	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent	Data Are Independent
Normality test	Rp [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rsm [mm]
Normality	Rejected	Rejected	Rejected	Accepted	Rejected
Probability	0,0002	0,0027	0,0244	0,1494	0,0224

Obr. 40 Tabulka hodnot pro repliku použité formy

Tabulky ukazují vypočítané hodnoty průměru, maxima, minima, šikmosti, špičatosti, mediánu a normalnosti rozdělení dat.

Ve všech případech je nutné si všimnout, že test normality u některých parametrů normalitu zamítá, naopak u jiných nezamítá. Podobná situace nastává u hodnocení významnosti šikmosti a špičatosti parametrů.

Ze statistického hlediska vzniká problém vhodného vyhodnocení.

Struktura skladby identifikátorů pro vyhodnocování forem z firmy Plastika a.s.

Parametr	<ul style="list-style-type: none">• Ra• Rz• Rp• Rv• Rsm
Osa	<ul style="list-style-type: none">• X• Y
Typ měřeného produktu	<ul style="list-style-type: none">• Form new (forma nová)• Form used (forma použitá)• Pruduct new (výrobek z nové formy)• Product used (výrobek z použité formy)• Replica new (replika nové formy)• Replica used (replika použité formy)

3.3 Kontrola dat metodou EDA v programu QC expert a minitab

Jako příklad pro vyhodnocení byl zvolen parametr Ra proměřovaný na nepoužité (nové) formě.

Classical parameters

Average	1.866459627	
CI lower bound	1.835849044	} Interval spolehlivosti, ve kterém na 95 % leží μ_{Ra}
CI upper bound	1.897070211	
Variance	0.03867926242	
Std. deviation	0.1966704412	
Skewness	0.4149741896	
Deviance from 0	Significant	
Kurtosis	3.398662978	
Deviance from 3	Insignificant	

Robust parameters

Median	1.85	
CI lower bound	1.814733253	} Interval spolehlivosti, ve kterém na 95 % leží μ_{Ra}
CI upper bound	1.885266747	

Runs Test

Conclusion Data Are Independent

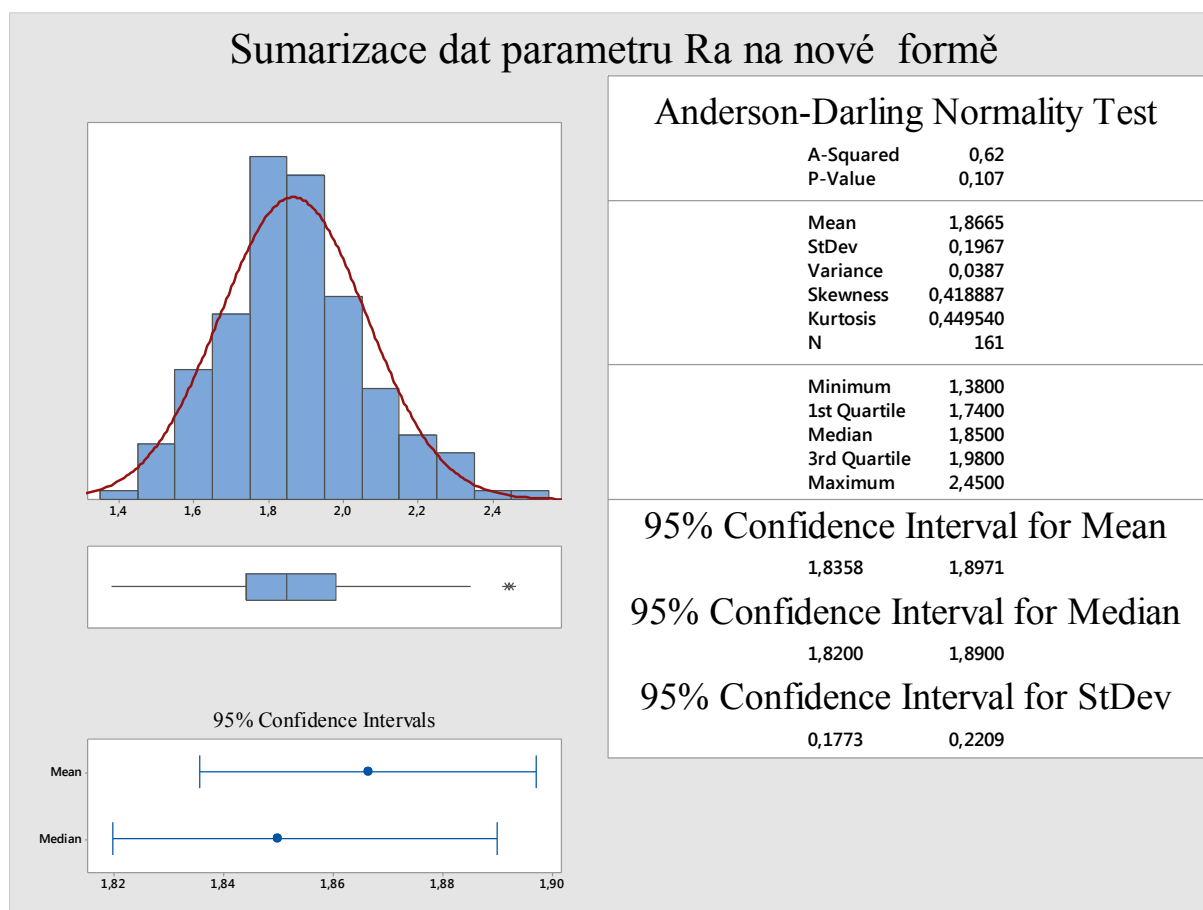
Normality test

Normality Accepted

Probability 0.1120858715

Parametr Ra nové formy na základě 161 opakování nezamítá, že pochází z normálního rozdělení pravděpodobnosti.

Data jsou navzájem nezávislá s mírnou pozitivní šikmostí a výskytem outlierů, které je nutné dále vyšetřit. Nevíme, jestli jde o hrubou chybu nebo extrémní hodnotu.



Obr. 41 Sumarizace dat parametru Ra nové formy

Z grafu je zřetelně vidět mírné pozitivní zešikmení. Pozitivní zešikmení indikuje i numerický výsledek.

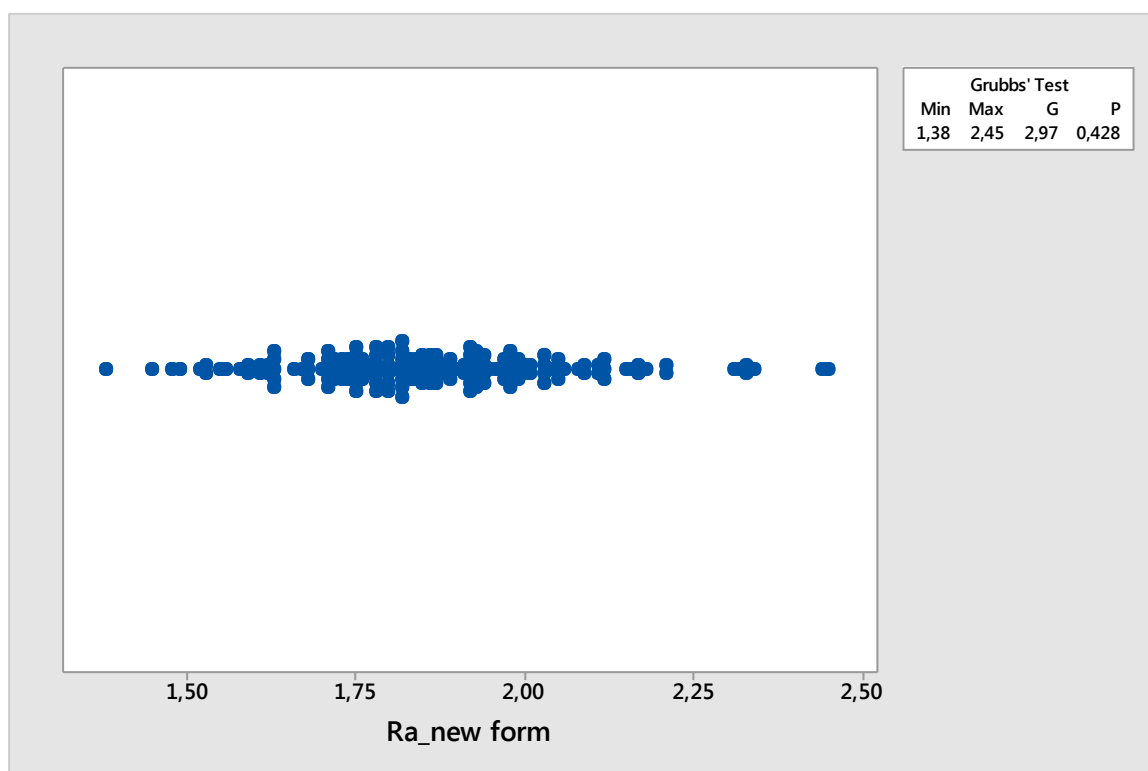
Ve výběrovém souboru skládajícím se z $n=161$ parametrů Ra naměřených na nové formě je možné konstatovat, že šikmost nabývá hodnoty $0,42\mu\text{m}$, což na první pohled nepůsobí problematicky.

Provedeme-li Grubsov test testující s využitím teorie hypotéz hrubé chyby, opět konstatujeme, že hrubé chyby se ve výběrovém souboru měření parametru Ra nevyskytují.

H_0 : $X_i \text{ max} =$ je extrém

H_a : $X_i \text{ max} =$ není extrém

$1-\alpha = 0,95$



Obr. 42 Testování vychýlených hodnot

a) Statistické hodnocení

S pravděpodobností 95% je možné konstatovat, že $p=0,214 >$ než $\alpha=0,050$ což značí, že nezamítáme nulovou hypotézu. Tedy tvrdíme, že maximální hodnota parametru Ra nové formy, která nabývá hodnoty $2,45\mu\text{m}$ nevznikla jako důsledek hrubé chyby, ale je pouhým extrémem a do výpočtu je bezpodmínečně nutné extrém ponechat.

b) Praktické hodnocení

Měření $R_a = 2,45$ je nutné ve výpočtu ponechat, protože je extrémem, a nikoliv hrubou chybou, a jejím vypuštěním by došlo ke zkreslení odhadů směrodatných odchylek a zkreslení odhadů.

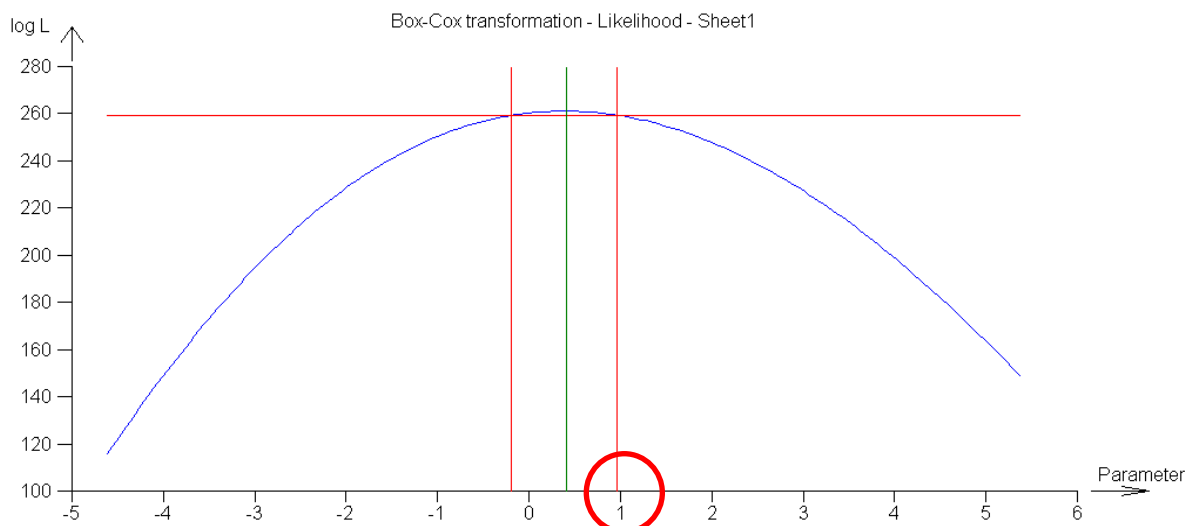
Tím, že nelze hodnotu X_i max vypustit z měření, není možné snížit šikmost naměřených dat.

Za účelem korektního měření je zcela nezbytné vypočítat retransformované aritmetické průměry, konkrétně metodou „Box-Cox“ transformace a dále transformace „mocninné“. Výsledky je nutné porovnat navzájem s mediánem a odhadem aritmetického průměru parametru R_a .

Na základě těchto hodnot je nutné pomocí grafů zobrazujících logaritmus maximální věrohodnosti, rozhodnout o vhodnosti či nevhodnosti transformace.

V případě, že transformace nebude vyloučena, což se na grafu logaritmu maximální věrohodnosti zobrazí tak, že číslice 1 nebude uvnitř červeného ohraničeného intervalu, je nutné použít pro parametr R_a odhad retransformovaného aritmetického průměru, a to konkrétně „Box – Cox“ transformací.

Naopak v případě, že číslice 1 bude ležet uvnitř červeného intervalu Box – Cox transformace, respektive transformace mocninná je nevýznamná, je možné použít „klasického“ odhadu aritmetického průměru.



Obr. 43 Box – Cox transformace

V uvedeném případě je číslice 1 mírně vychýlená, tj. mimo červený interval, což značí, že data jsou pozitivně zešikmena, a je nezbytné použít transformaci a následně retransformaci dat.

Box-Cox transformace

Transformation justified	Yes
Probability	95.413%
Corrected mean	1.855 μm

Mocninná transformace

Transformation justified	Yes
Corrected mean	1.854 μm

Retransformovaný aritmetický průměr pro uvedený případ nabývá hodnoty 1,855 μm a vystihuje lépe střední hodnotu vyjádřenou parametrem Ra, který je zatížen šikmostí.

Tab. 7 Tabulka průměrů

parametr	\bar{X}	\tilde{X}	$\bar{X}_{\text{Box-cox}}$	Transform.	$\bar{X}_{\text{Mocninná}}$	Transform.
Rp Nová forma (μm)	4,549	4,58	4,536	Ne	4,541	Ne
Rv Nová forma (μm)	4,996	4,94	4,935	Ano	4,935	Ano
Rz Nová forma (μm)	9,546	9,60	9,497	Ne	9,501	Ne
Ra Nová forma (μm)	1,867	1,85	1,855	Ano	1,854	Ano
Rsm Nová forma (mm)	0,193	0,19	0,193	Ano	0,193	Ano
Rp Použitá forma (μm)	5,350	5,26	5,277	Ano	5,276	Ano
Rv Použitá forma (μm)	5,737	5,72	5,706	Ne	5,705	Ano
Rz Použitá forma (μm)	11,087	11,1	11,05	Ne	11,05	Ne
Ra Použitá forma (μm)	2,139	2,16	2,147	Ne	2,148	Ne
Rsm Použitá forma (mm)	0,197	0,194	0,194	Ano	0,194	Ano

Rp V. z nové formy (µm)	4,436	4,45	4,384	Ano	4,384	Ano
Rv V. z nové formy (µm)	4,083	4,05	4,033	Ano	4,03	Ano
Rz V. z nové formy (µm)	8,519	8,51	8,478	Ne	8,477	Ne
Ra V. z nové formy (µm)	1,659	1,67	1,66	Ne	1,66	Ne
Rsm V. z nové formy (mm)	0,195	0,191	0,193	Ano	0,193	Ano
Rp V. z použité formy (µm)	5,377	5,33	5,302	Ano	5,301	Ano
Rv V. z použité formy (µm)	5,799	5,79	5,766	Ne	5,765	Ano
Rz V. z použité formy (µm)	11,177	11,1	11,144	Ne	11,144	Ne
Ra V. z použité formy (µm)	2,156	2,19	2,167	Ne	1,390	Ano
Rsm V. z použité formy (mm)	0,197	0,194	0,199	Ano	0,199	Ano
Rp R. nové formy (µm)	5,720	5,69	5,689	Ne	5,599	Ano
Rv R. nové formy (µm)	5,050	4,99	4,98	Ano	4,978	Ano
Rz R. nové formy (µm)	10,770	10,71	10,691	Ano	10,693	Ano
Ra R. nové formy (µm)	1,854	1,85	1,743	Ne	1,855	Ne
Rsm R. nové formy (mm)	0,094	0,09	0,066	Ano	0,091	Ano
Rp R. použité formy (µm)	7,113	6,42	6,579	Ano	6,456	Ano
Rv R. použité formy (µm)	6,698	6,30	6,383	Ano	6,338	Ano
Rz R. použité formy (µm)	13,811	13,18	13,431	Ano	13,372	Ano
Ra R. použité formy (µm)	1,980	1,97	1,962	Ano	1,961	Ano
Rsm R. použité formy (mm)	0,103	0,10	0,17	Ano	0,101	Ano

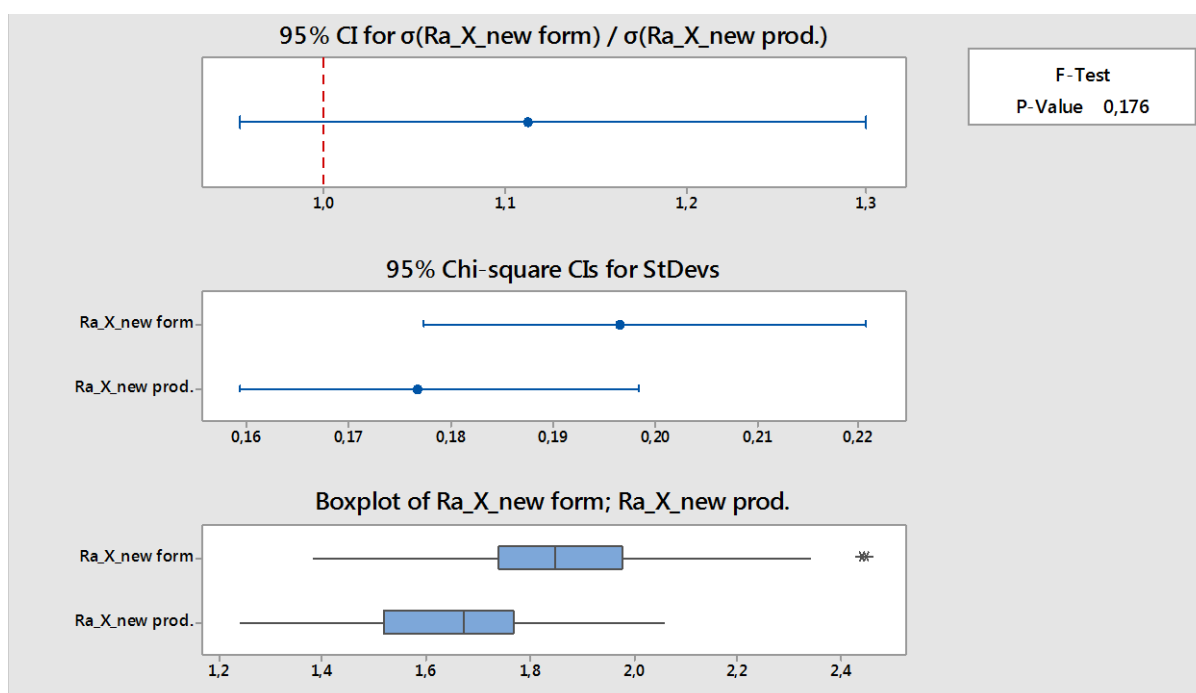
Provedení transformace dat bylo prvním nenormativním krokem v Rámci ISO 4288.

Dalším krokem bylo posouzení postupu navrženého prof. Whitehousem [1] s využitím teorie hypotéz pro porovnání parametrů jakosti povrchů. V našem případě forma – výrobek.

Posouzení parametru forma nová x výrobek nové formy

- Parametr Ra – určíme průměr a směrodatnou odchylku
- F test – $H_0: \sigma_{Ra \text{ nová forma}} = \sigma_{Ra \text{ výrobek z nové formy}}$

$\overline{X}_{n.f.} = 1,867\mu\text{m}$	$\overline{X}_{n.v.} = 1,659\mu\text{m}$
$S_{n.f.} = 0,197$	$S_{n.v.} = 0,177$
$H_0: \sigma_{Ra \text{ nová forma}}^2 = \sigma_{Ra \text{ výrobek z nové formy}}^2$	
$H_a: \text{NON}$	
$1-\alpha = 0,95$	



Obr. 44 F – test pro Ra nové formy a Ra výrobku z nové formy

Konstatujeme že $p = 0,176$ což je $> \alpha = 0,05$

Proto nezamítáme nulovou hypotézu a budeme předpokládat, že rozptyly parametru Ra na nové formě a na výrobku nové formy se statisticky významně neliší, což mimo jiné plyne z výše uvedených box plotových grafů.

Dále uděláme oboustranný t-test

Ho: $\mu_{Ra \text{ nová forma}} = \mu_{Ra \text{ výrobek z nové formy}}$

Ha: NON

$1-\alpha = 0,95$

P-Value = 0,000

Zamítáme nulovou hypotézu o rovnosti aritmetických průměrů parametru Ra mezi novou formou a výrobkem nové formy a tvrdíme, že tyto aritmetické průměry parametrů Ra se od sebe liší statisticky významně (nenáhodně).

To znamená, že výrobek má průměrně rozdílný parametr drsnosti Ra od formy.

Posouzení parametru forma použitá x výrobek z použité formy

- a) Parametr Ra – určíme průměr a směrodatnou odchylku
- b) F test – Ho: σ Ra použitá forma

$$\overline{X_{s.f.}} = 2,139\mu\text{m}$$

$$\overline{X_{s.v.}} = 2,156\mu\text{m}$$

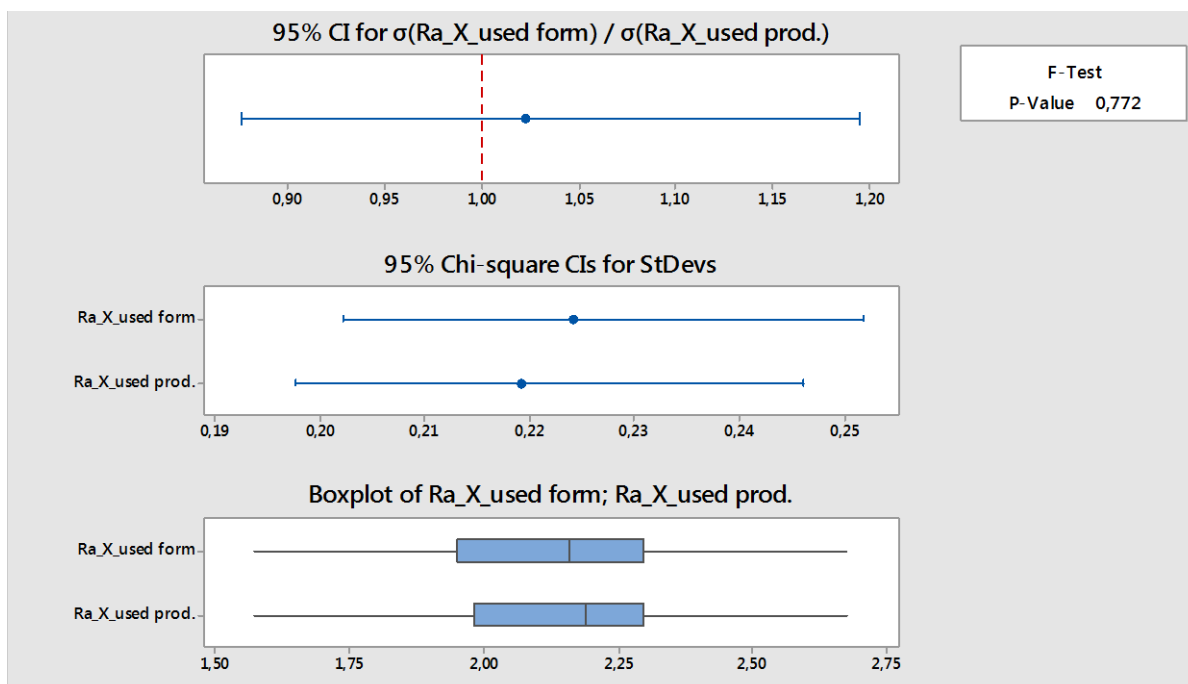
$$S_{s.f.} = 0,224$$

$$S_{s.v.} = 0,219$$

Ho: $\sigma_{Ra \text{ použitá forma}}^2 = \sigma_{Ra \text{ výrobek z použité formy}}^2$

Ha: NON

$1-\alpha = 0,95$



Obr. 45 F – test pro Ra použité formy a Ra výrobku z použité formy

Konstatujeme že $p = 0,772$ což je $> \alpha = 0,05$

Proto nezamítáme nulovou hypotézu a budeme předpokládat, že rozptyly parametru Ra na nové formě a na výrobku nové formy se statisticky významně neliší. To, mimo jiné, plyne z výše uvedených box plotových grafů.

Dále uděláme oboustranný t-test.

$H_0: \mu_{\text{Ra použitá forma}} = \mu_{\text{Ra výrobek z použité formy}}$

$H_a: \text{NON}$

$1 - \alpha = 0,95$

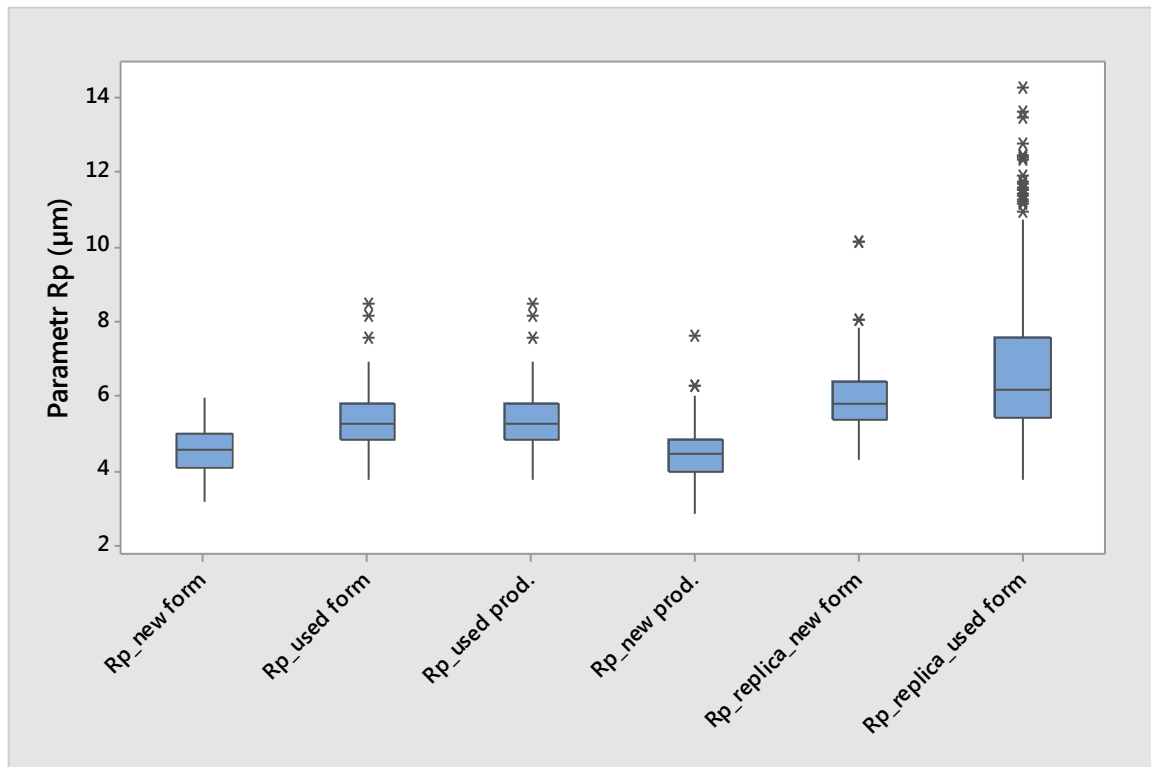
P-Value = 0,487

Podle prof. Whitehouse [1] je nutné takto postupovat i při využití dalších parametrů to je R_p , R_v , R_z , R_{sm} a podobně. Nicméně je nutné konstatovat, že tento postup je vhodný pro vědeckou praxi pouze v případě, že bude hodnocen jediný parametr. Například parametr Ra.

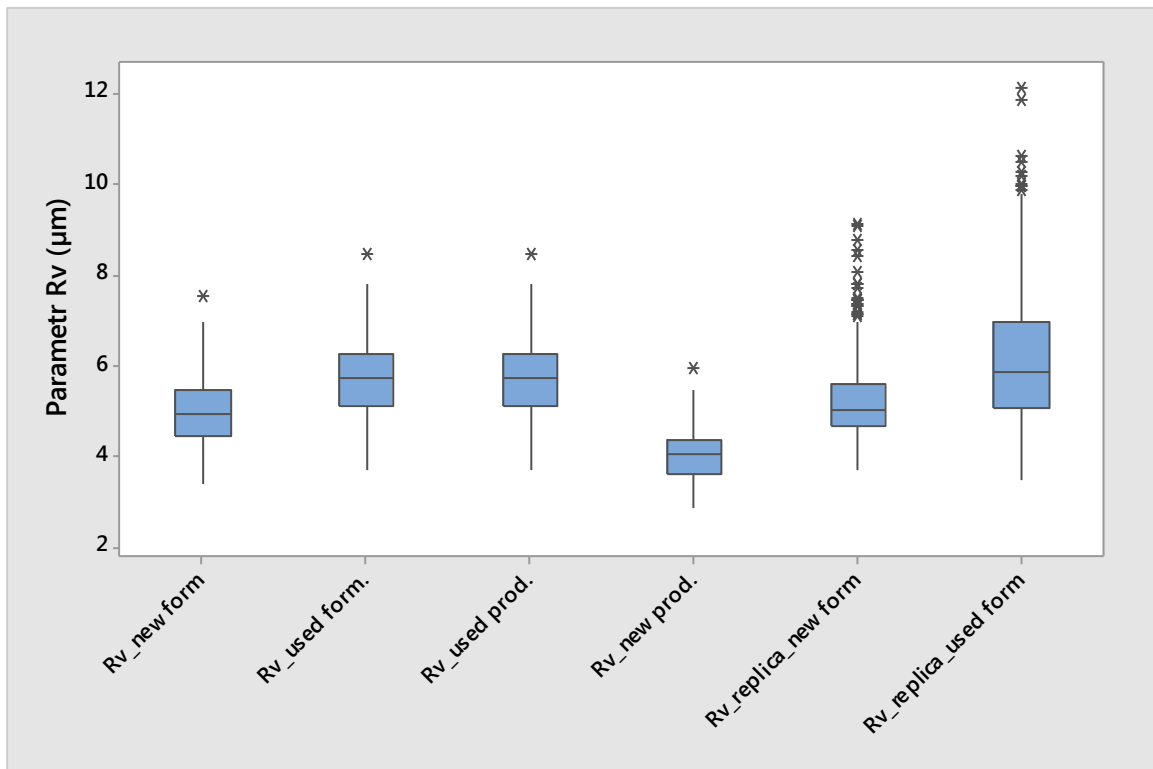
Kdybychom totiž hodnotili výše uvedenou sadu parametrů samostatně, výsledky mohou vyjít značně rozdílné, čímž se dostáváme do problému správné interpretace. Například vzniká otázka, jak interpretovat shodu výrobku s formou

z hlediska hodnocení jakosti povrchu v případě, že zamítáme nulovou hypotézu o rovnosti aritmetických průměrů parametru Ra a Rz, ale naopak nejsme schopni zamítnout hypotézy týkající se parametrů Rp, Rv a dalších.

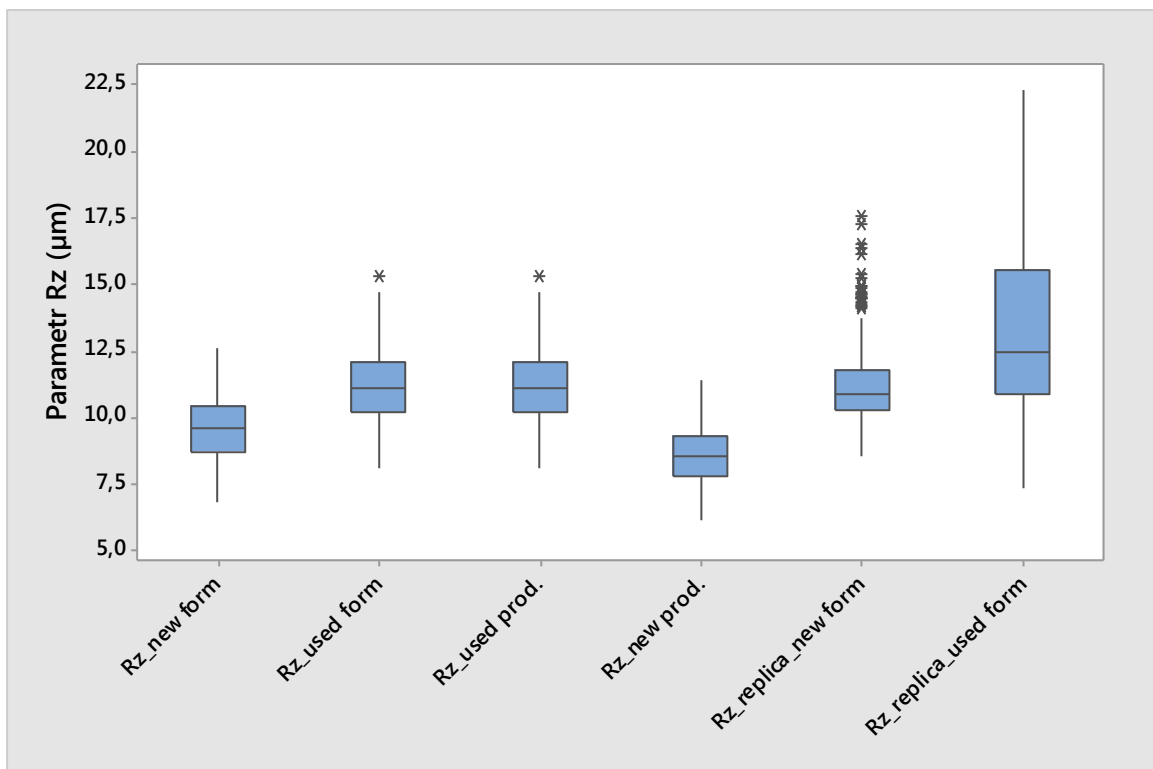
Prof. Whitehouse ve své práci [1] vůbec neuvažuje variantu hodnocení jednotlivých parametrů za pomoci korelačních matic, a tím ani využití vícerozměrných statistických metod.



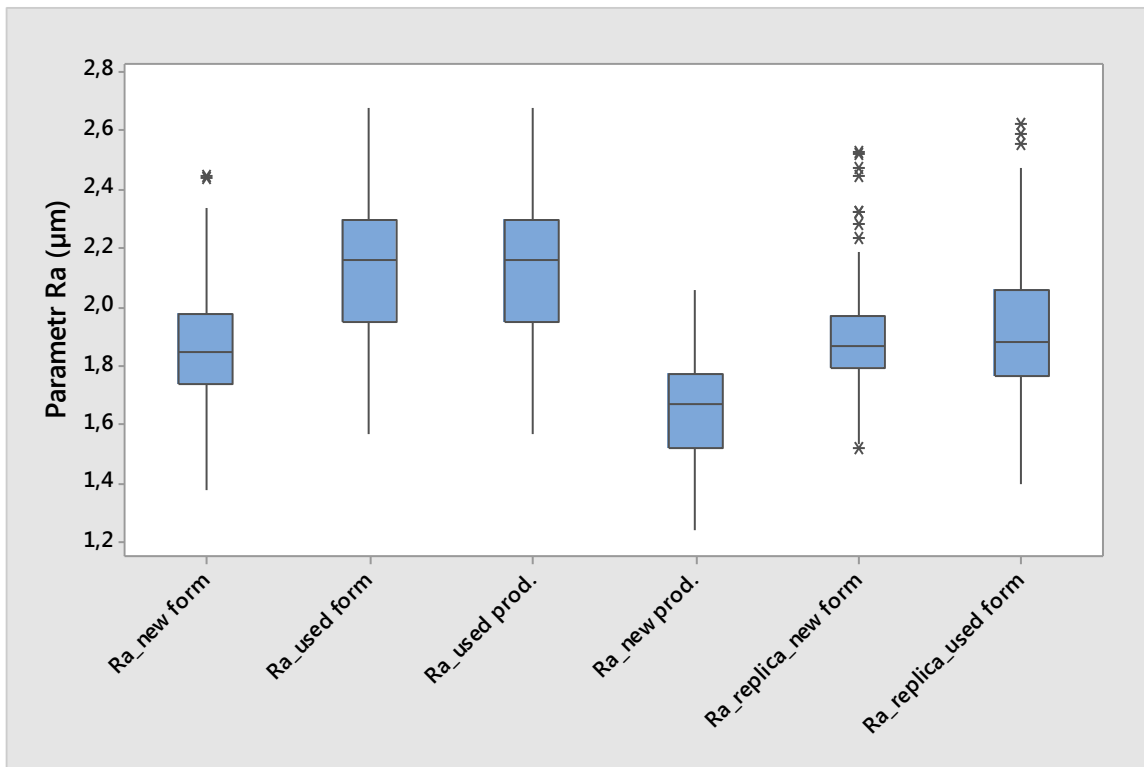
Obr. 46 Boxplotový diagram pro parametr Rp



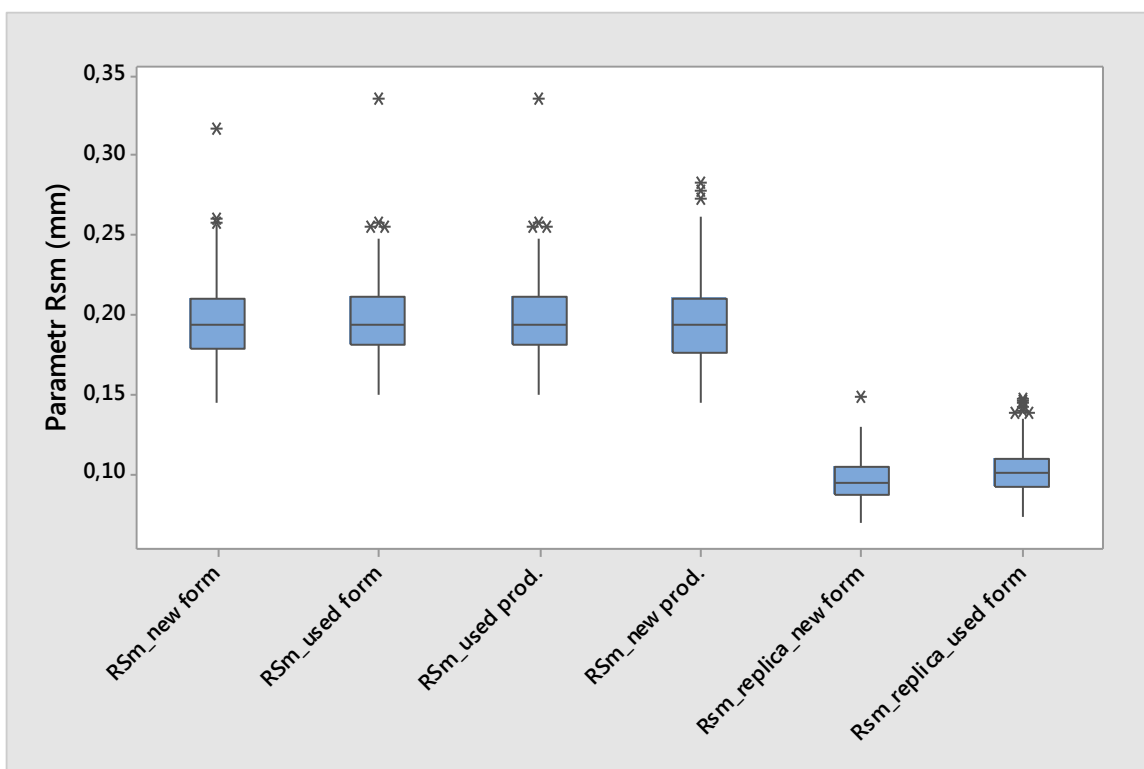
Obr. 47 Boxplotový diagram pro parametr Rz



Obr. 48 Boxplotový diagram pro parametr Rz



Obr. 49 Boxplotový diagram pro parametr Ra

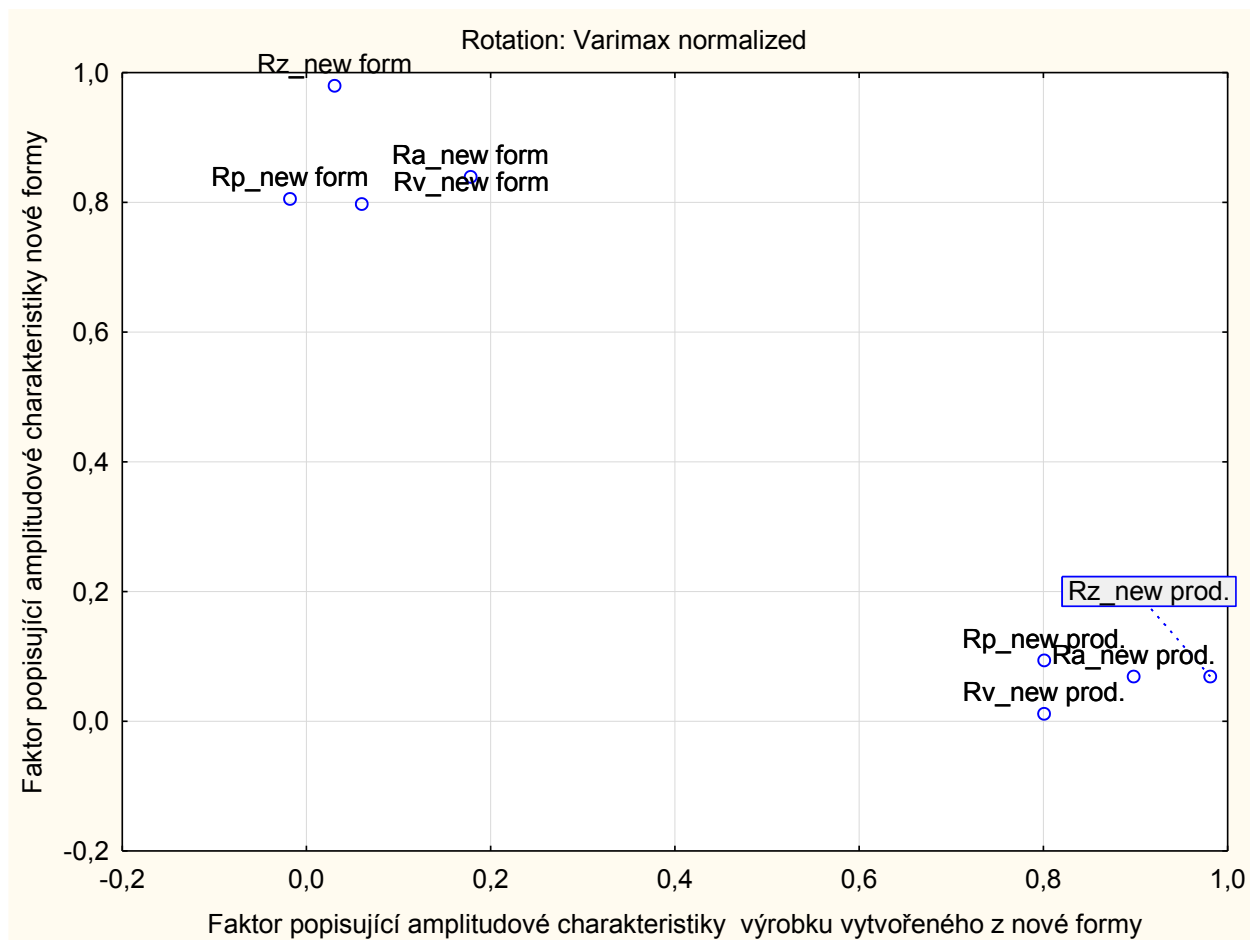


Obr. 50 Boxplotový diagram pro parametr Rsm

4. Vícerozměrná statistická analýza dat

Z výše uvedených důvodů se jeví jako vhodnou metoda vícerozměrné statistické analýzy dat. Konkrétně metoda faktorové a shlukové analýzy, která umožňuje na základě využití prostorové korelační matice posoudit míru shody mezi formou a výrobkem globálně. Jako první demonstrovaná metoda je použita metoda faktorové analýzy.

4.1 Faktorová analýza nové formy a výrobku z nové formy



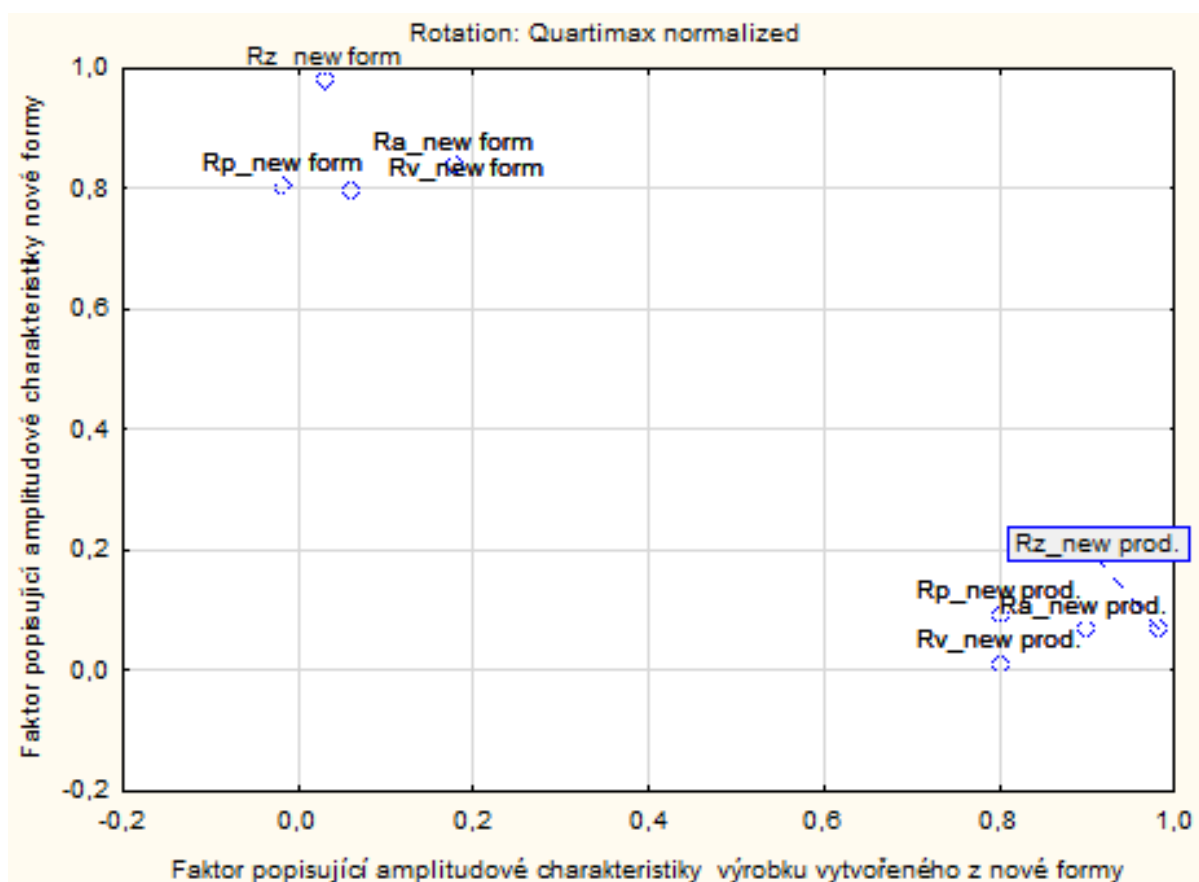
Obr. 51 Faktorová analýza Varimax norm. – nová forma, nový výrobek

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky, výrobky vytvořené v nové formě,

Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky nové formy.

Je možné konstatovat, že amplitudové parametry tvořící 2 shluky jsou faktorově čisté. To znamená, že průmět do jednoho faktoru dosahuje vyšších hodnot, než průmět do druhého faktoru. Z obrázku grafu jednoznačně plyne, že amplitudové parametry výrobku jsou zcela odlišné od amplitudových

parametrů nové formy v případě aplikace faktorové analýzy a ortogonální rotace Varimax normalizované.

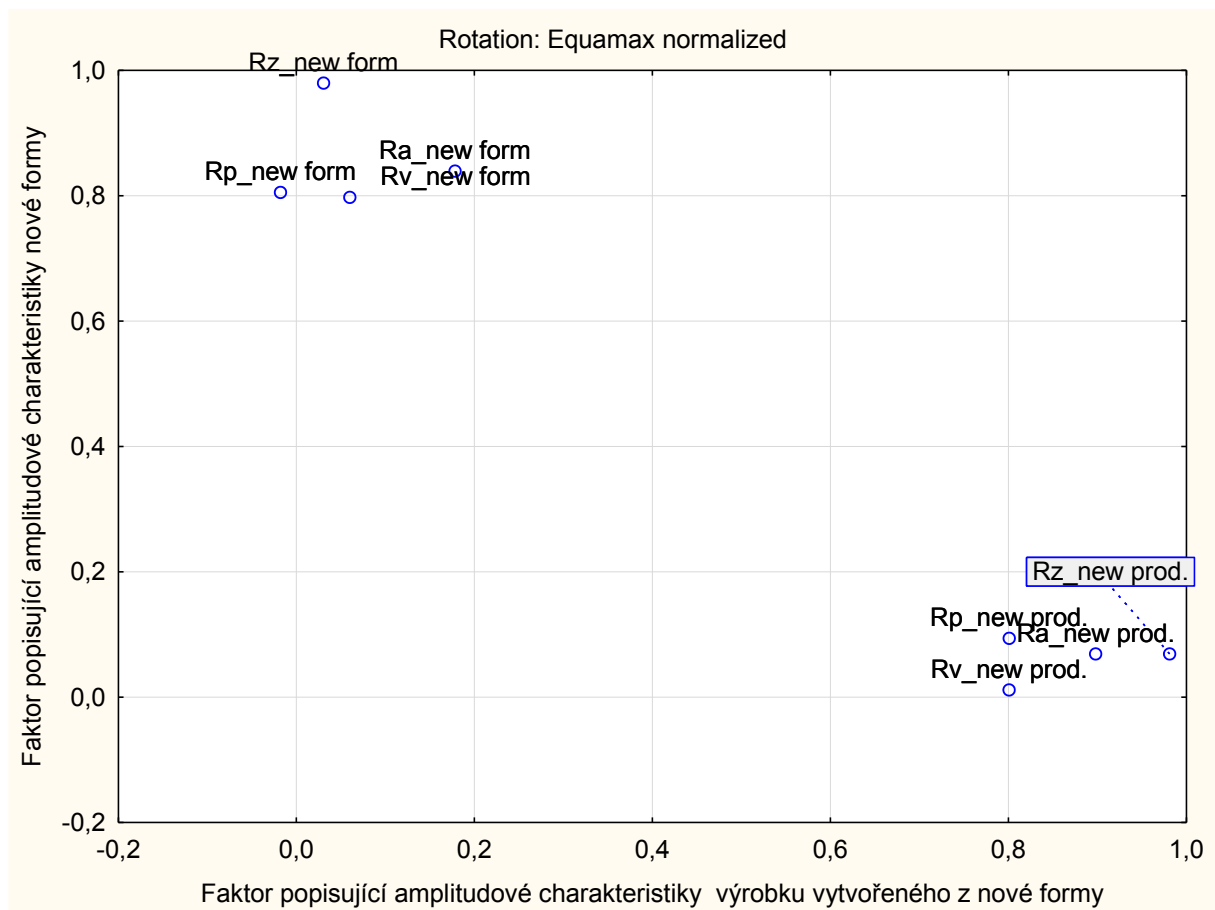


Obr. 52 Faktorová analýza Quartimax norm. – nová forma, nový výrobek

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky, výrobky vytvořené v nové formě.

Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky nové formy.

Podobně jako v rotaci Varimax normalizované, tak i v rotaci Quartimax normalizované, opět amplitudové parametry vytvářejí 2 samostatné shluky faktorově čisté.



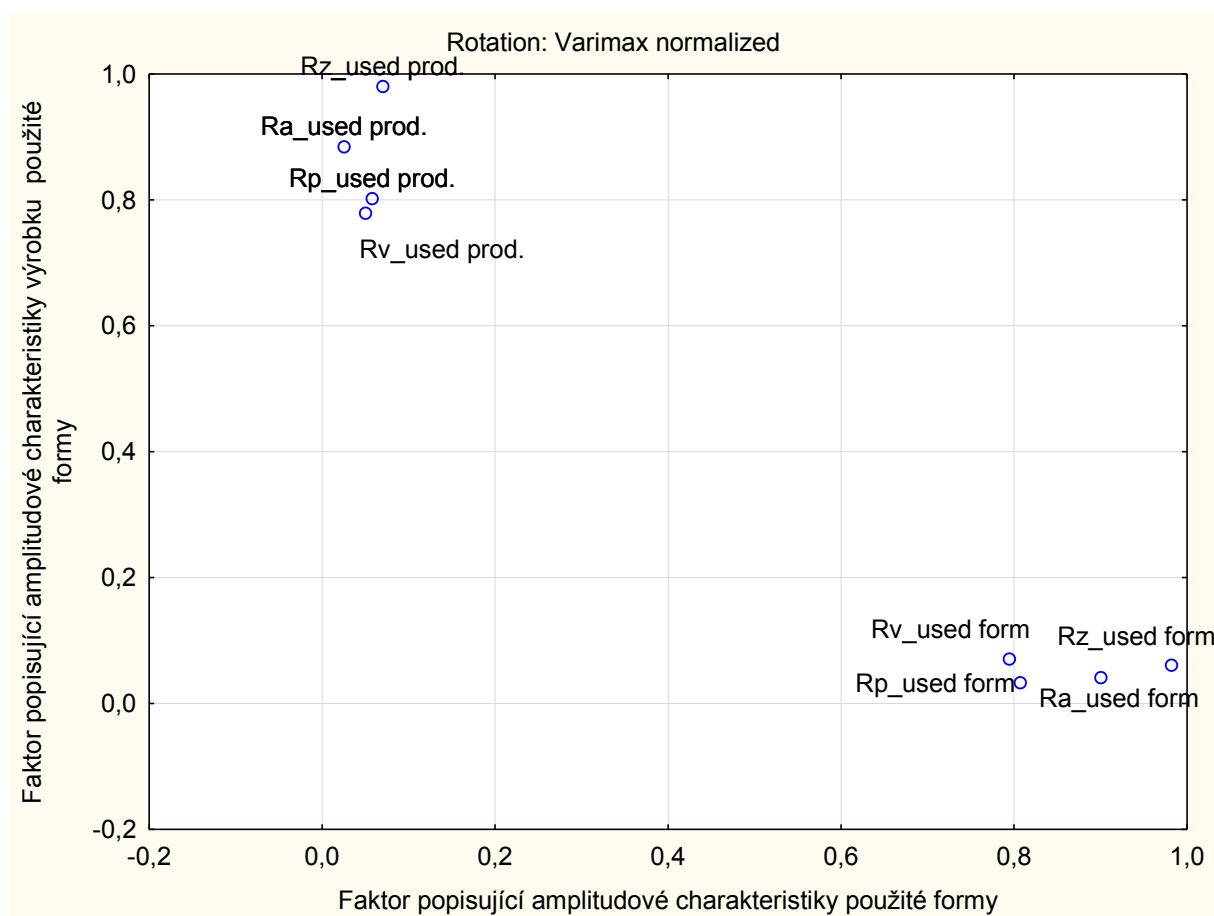
Obr. 53 Faktorová analýza Equamax norm. – nová forma, nový výrobek

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky, výrobky vytvořené v nové formě.

Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky nové formy.

Obdobně jako v předešlých ortogonálních rotacích můžeme konstatovat, že byly vytvořeny 2 shluky faktorově čisté, z nichž jeden náleží amplitudovým parametrům výrobku a druhý amplitudovým parametrům nové formy.

4.2 Faktorová analýza dat použité formy a výrobku z použité formy

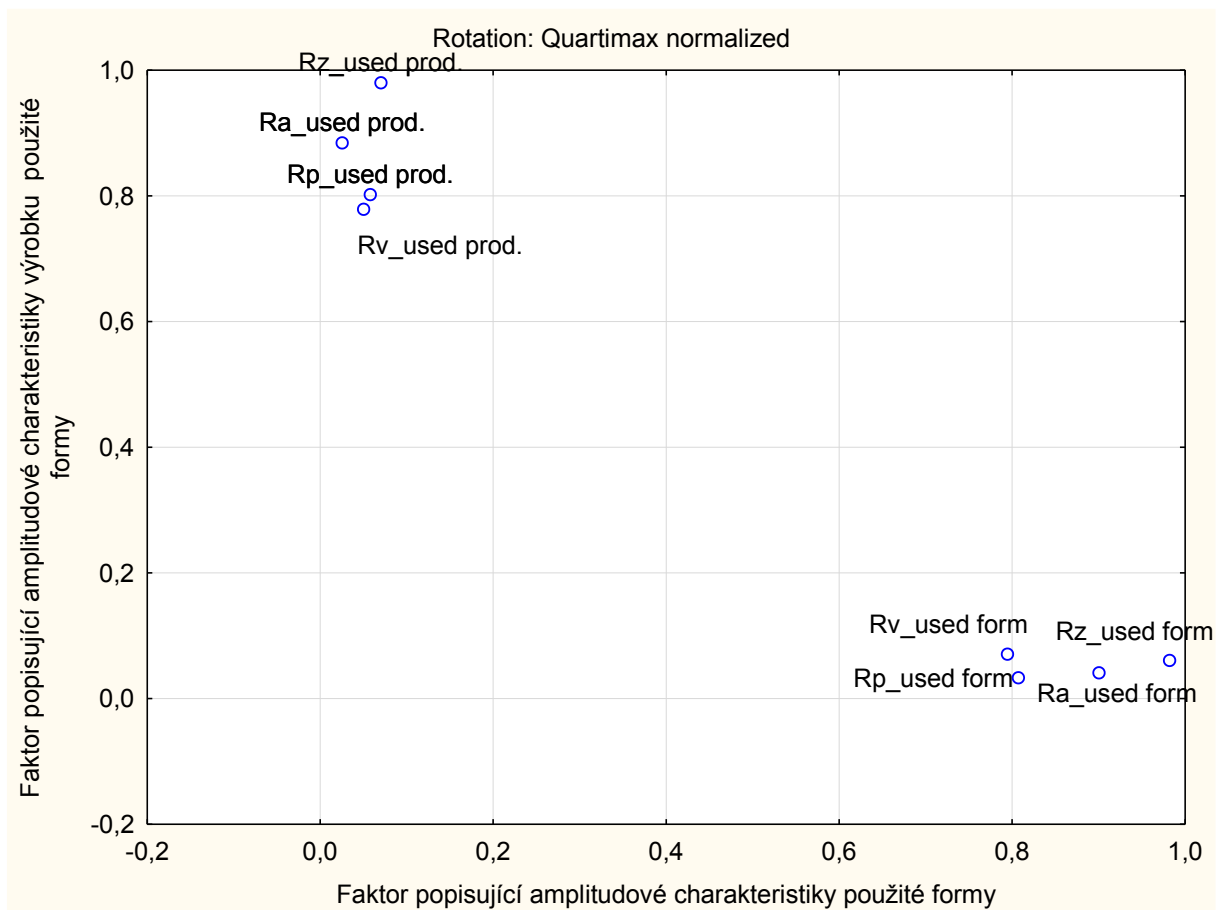


Obr. 54 Faktorová analýza Varimax norm. – použitá forma a její výrobek

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky, výrobky vytvořené v použité formě.

Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky použité formy.

Je možné konstatovat, že amplitudové parametry tvořící 2 shluky jsou faktorově čisté, to znamená, že průmět do jednoho faktoru dosahuje vyšších hodnot než průmět do druhého faktoru. Z obrázku grafu jednoznačně plyne, že amplitudové parametry výrobku jsou zcela odlišné od amplitudových parametrů použité formy v případě aplikace faktorové analýzy a ortogonální rotace Varimax normalizované.

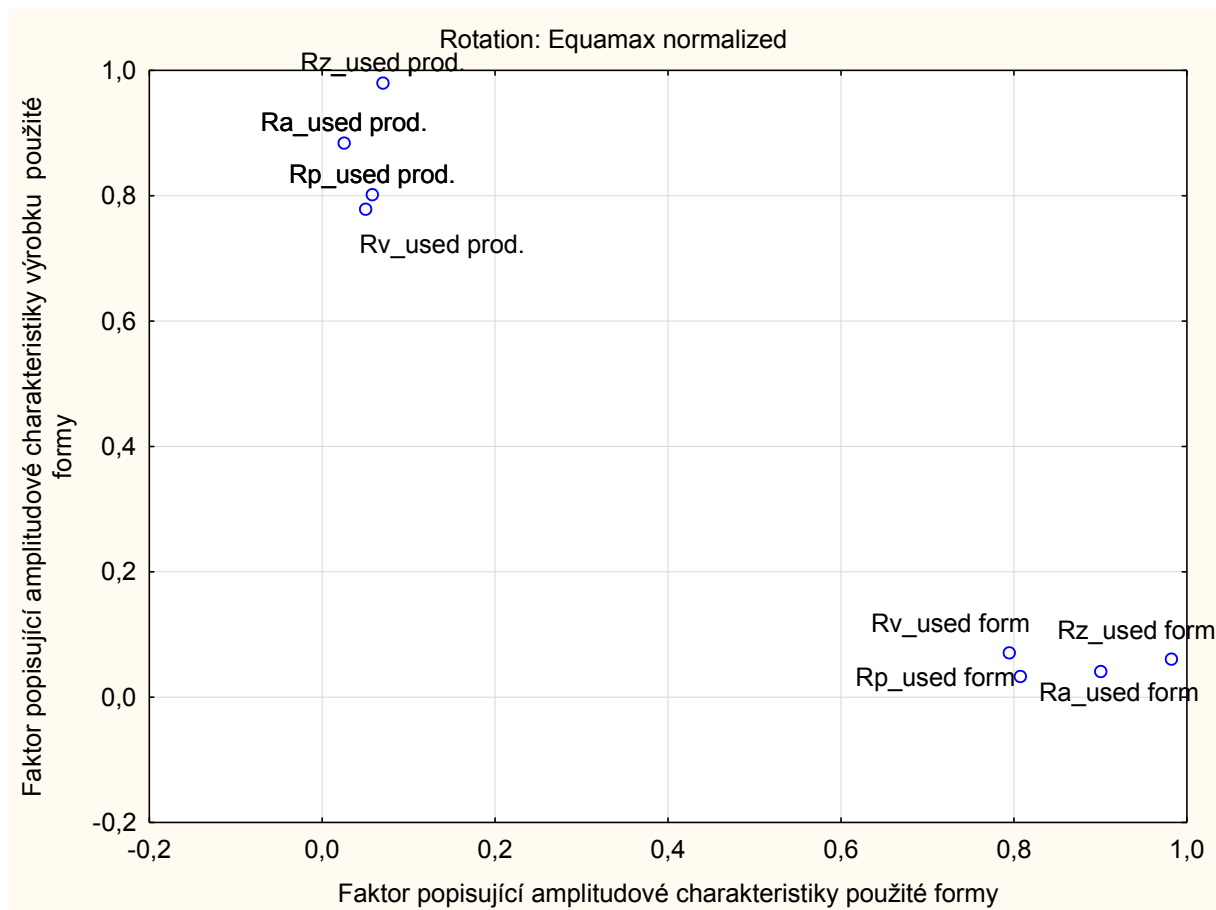


Obr. 55 Faktorová analýza Quartimax norm. – použitá forma a její výrobek

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky, výrobky vytvořené v použité formě.

Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky použité formy.

Podobně jako v rotaci Varimax normalizované tak i v rotaci Quartimax normalizované opět amplitudové parametry vytvářejí 2 samostatné shluky faktorově čisté, pojmenování faktorů může zůstat jako v předešlé.



Obr. 56 Faktorová analýza Equamax norm. – použitá forma a její výrobek

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky, výrobky vytvořené v použité formě.

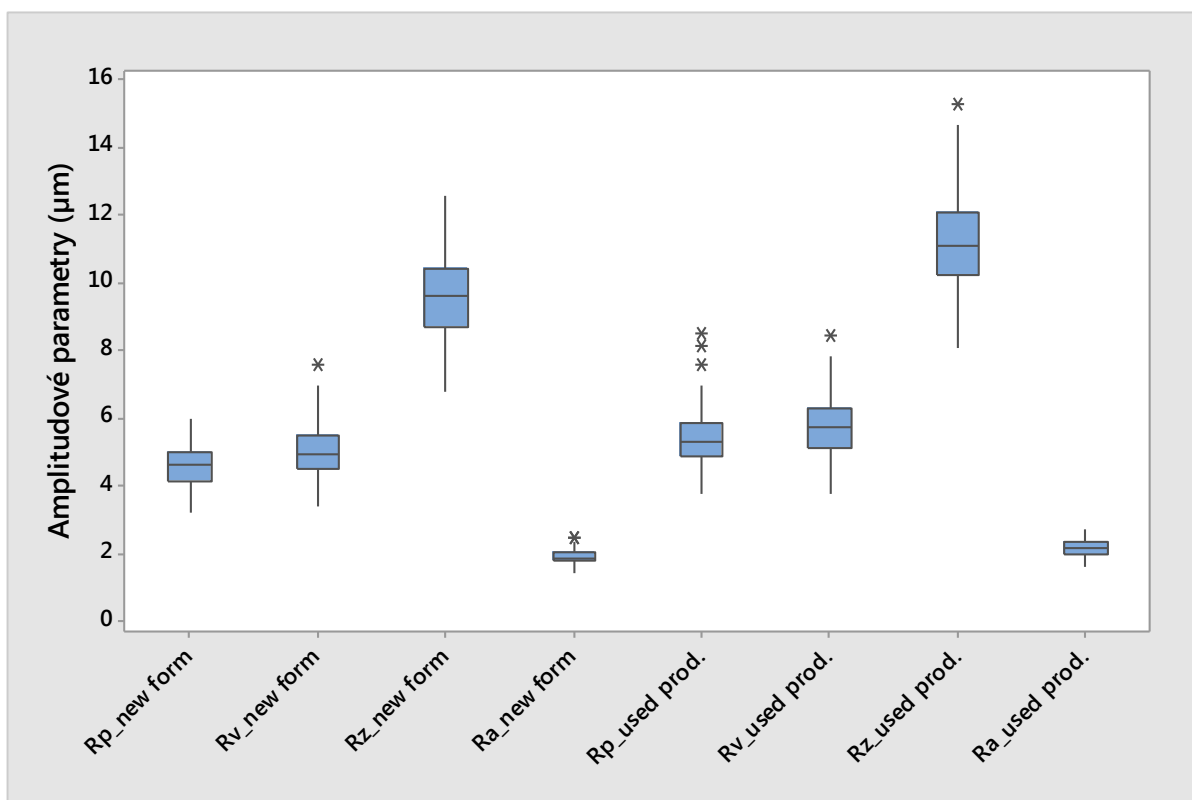
Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky použité formy.

Obdobně jako v předešlých ortogonálních rotacích můžeme konstatovat, že byly vytvořeny 2 shluky faktorově čisté, z nichž jeden náleží amplitudovým parametrům výrobku a druhý amplitudovým parametrům použité formy.

Závěr faktorové analýzy

Hodnocením amplitudových parametrů: Ra, Rz, Rp, a Rv nové formy a výrobku z nové formy s využitím faktorové analýzy a 3 typů rotací, konkrétně Varimax normalizovaný, Quartimax normalizovaný a Equamax normalizovaný, můžeme konstatovat, že ve všech třech případech došlo k vytvoření samostatných shluků, které jsou faktorově čisté a přináležejí jednotlivým faktorovým osám. Můžeme tedy tvrdit, že na základě příslušnosti jednotlivých shluků k rozdílným faktorům (osám) je globálně povrch formy (vyjádřen amplitudovými parametry) statisticky

významně odlišný od povrchu výrobku, který vznikl v této formě. Rotací je v tomto případě míněno nalezení největší korelace mezi jednotlivými shluky.



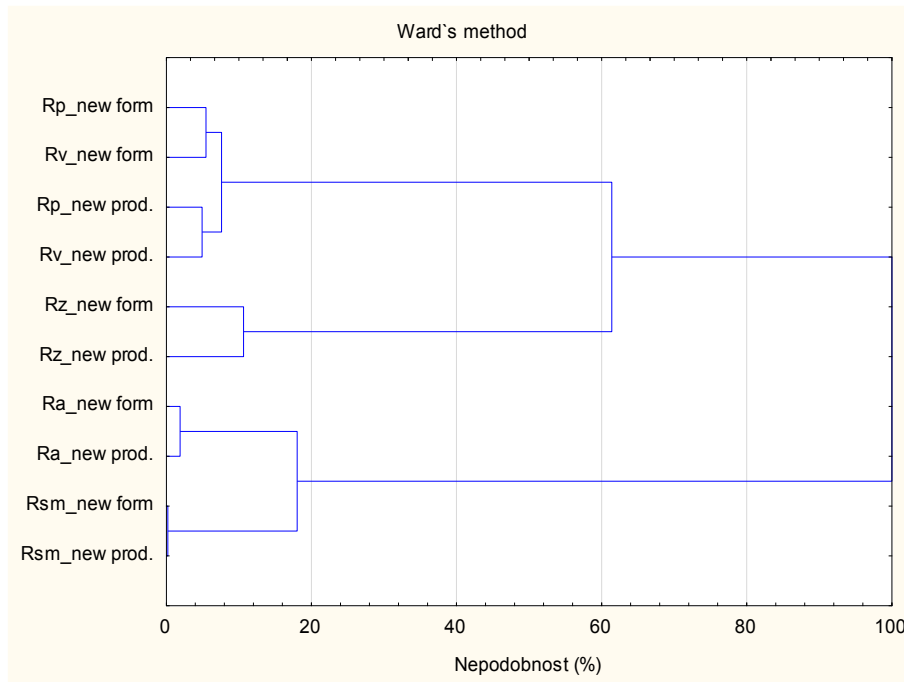
Obr. 57 Boxplotový diagram - nová forma, nový výrobek

V případě, že bychom použili pouze zobrazení amplitudových parametrů nové formy a výrobku z nové formy, obdrželi bychom boxplotový diagram tak, jak doporučuje prof. Whitehouse [1].

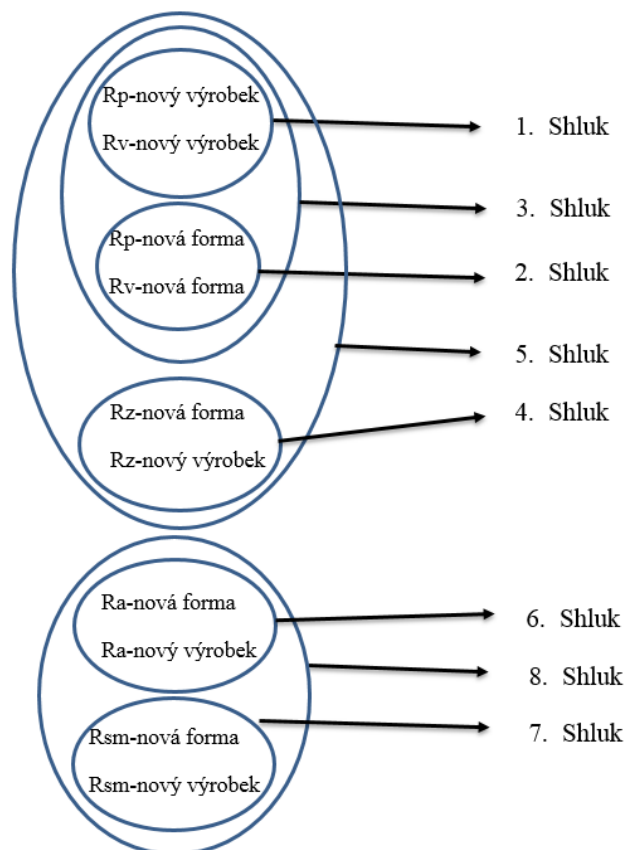
Z tohoto diagramu však zcela zřetelně neplyne rozdílnost jednotlivých povrchů, protože se neuvažuje korelace mezi jednotlivými parametry.

Navíc není zcela zřetelné, jak zpracovat hodnoty označené *, které mohou být extrémem, ale také hrubou chybou.

4.3 Shluková analýza pro novou formu a její výrobek

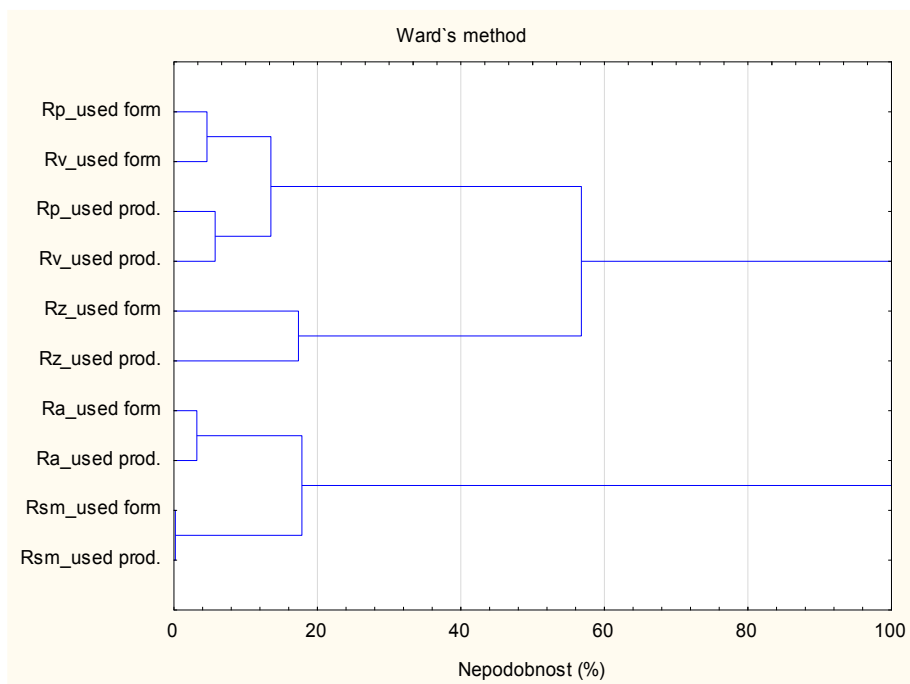


Obr. 58 Shluková analýza pro novou formu a její výrobek

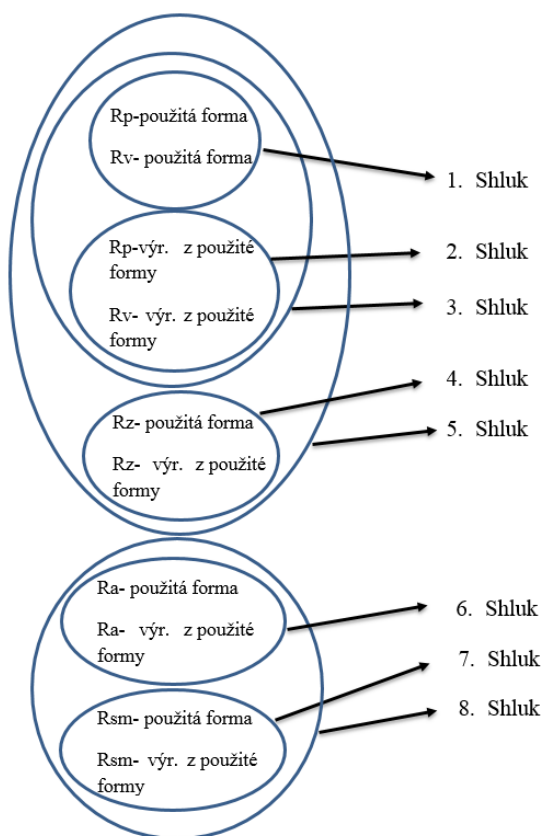


Obr. 59 Tvorba shluků pro novou formu a její výrobek

4.4 Shluková analýza pro použitou formu a její výrobek



Obr. 60 Shluková analýza pro použitou formu a její výrobek



Obr. 61 Tvorba shluků pro použitou formu a její výrobek

Závěr posouzení forma versus výrobek

Pomocí shlukové analýzy, konkrétně Wardovy metody, s využitím výpočtu pomocí tzv. Euklidiánské vzdálenosti, byly nalezeny shluky mezi parametry popisujícími jakost povrchu nové formy i formy použité a dále výrobků vzniklých v těchto formách.

V rámci jednotlivých shluků můžeme konstatovat, že parametry R_p , R_v respektive R_a , nám tvoří podobné shluky na základě výpočtu vzdálenosti euklidiánskou metodou.

Podobnost parametrů vzniklých na bázi aritmetických průměrů a parametrů vzniklých na bázi sumárních součtů, vyjádřená vzdáleností při posuzování opotřebené formy a výrobku z této opotřebené formy.

Parametry R_z , jež jsou funkcí parametrů R_p a R_v , tvoří samostatný shluk, který je nepodobný parametrům R_a a R_{sm} , jež jsou funkcí aritmetických průměrů.

Na základě matice vzdáleností je možné konstatovat míru podobnosti jednotlivých parametrů popisujících jakost povrchu nové formy a výrobku z ní vzniklého (4.3) a povrchu použité formy a výrobku z ní (4.4).

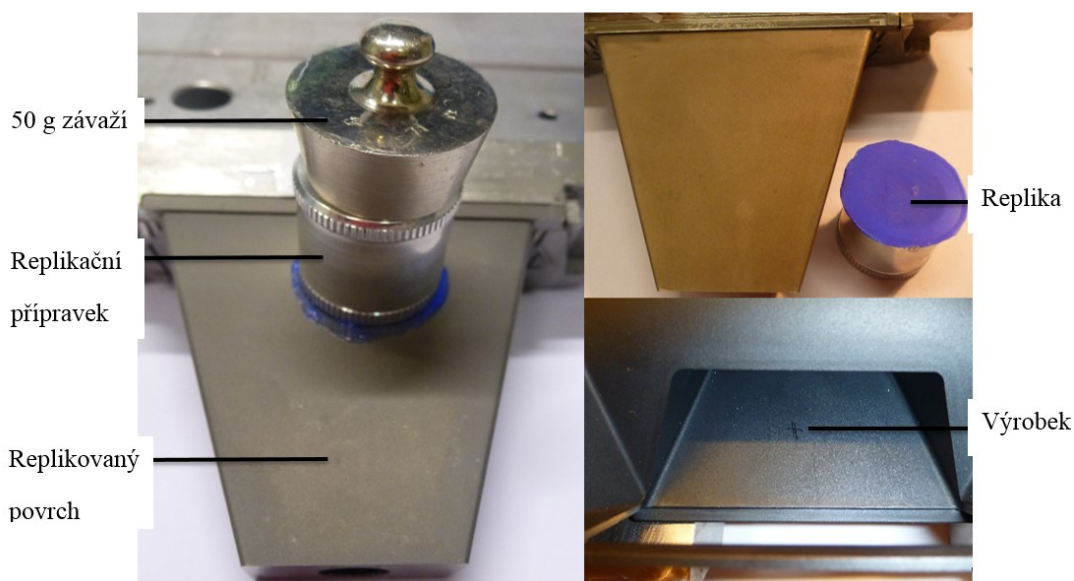
Jako měřítko kvality lze použít zvyšující, respektive snižující se, hodnotu euklidiánských vzdáleností, které jsou vyjádřené v procentech, mezi jednotlivými shluky parametrů.

Pomocí faktorové analýzy bylo prokázáno, že výrobek se od formy liší, ale hodnoty odlišností nebyly prokázány. Bylo prokázáno pouze to, že existují vyšší korelace mezi parametry vztahujícími se k výrobku a formě.

To znamená, že metodika doporučovaná prof. Whitehousem již není dostatečně průkazná, a hodí se pouze na povrchy, které jsou snímány formou samostatných řezů (kontaktní profiloměry).

Při snímání prostorovém (bezkontaktním) je tato metoda nedostatečná, protože posuzujeme vícero parametrů, jež vznikly různým matematickým způsobem.

5. Replikace formy

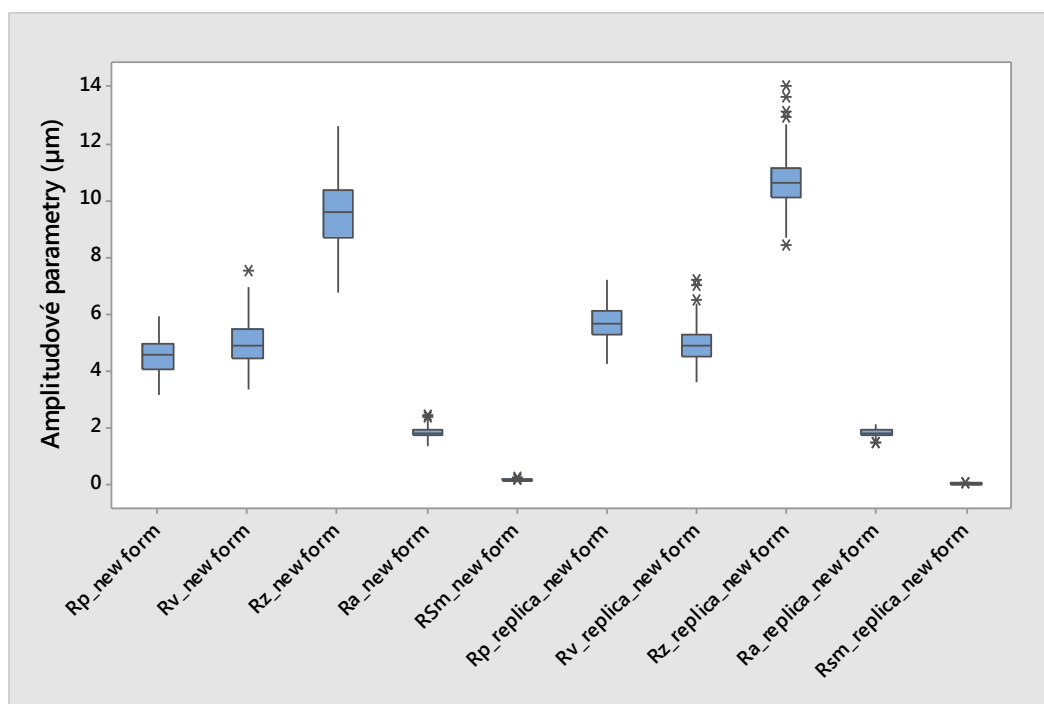


Obr. 62 *Provedení replikace formy*

Díky velikosti formy bylo možné provést kompletní testování, a tím i doložení kompletních dat do této dizertační práce. Nicméně replikace forem vznikla na základě palčivé potřeby vymyslet způsob testování velkých forem, které se nedají jednoduchým způsobem vyjmout a porovnávat.

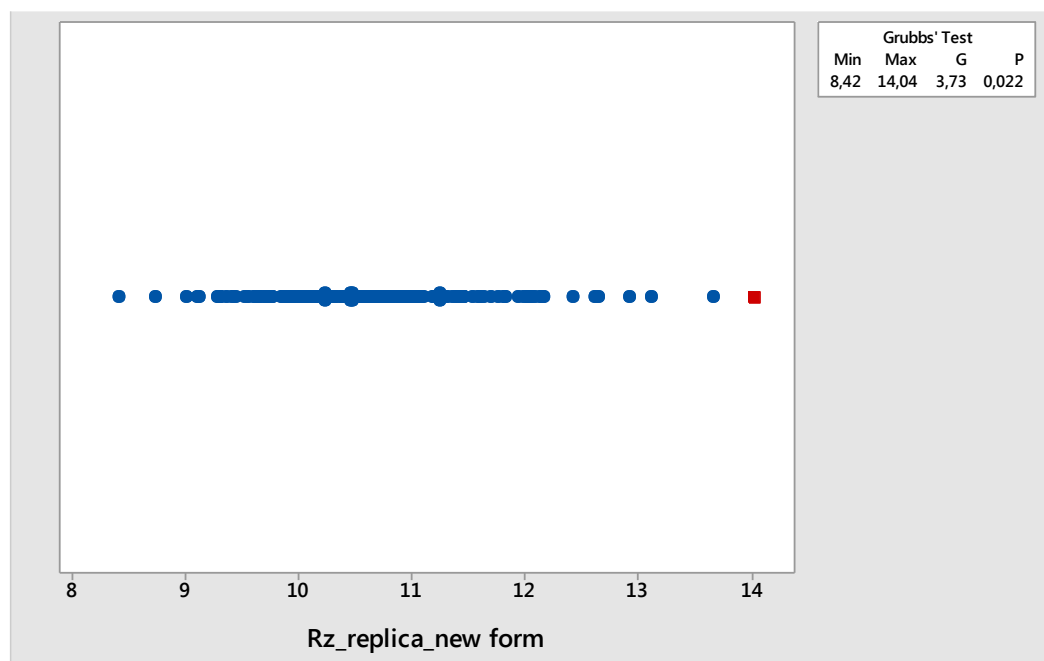
U replikace je velmi důležité zajistit stabilní teplotní podmínky a kvalifikovanou obsluhu, aby bylo možné zajistit opakovatelnost.

V případě, že se jedná o velkou členitou formu, je nezbytné dostat od výrobce formy etalon povrchu, aby bylo možné formou replikace nezbytnou kontrolu provádět.



Obr. 63 Boxplotový diagram - nová forma, replika nové formy

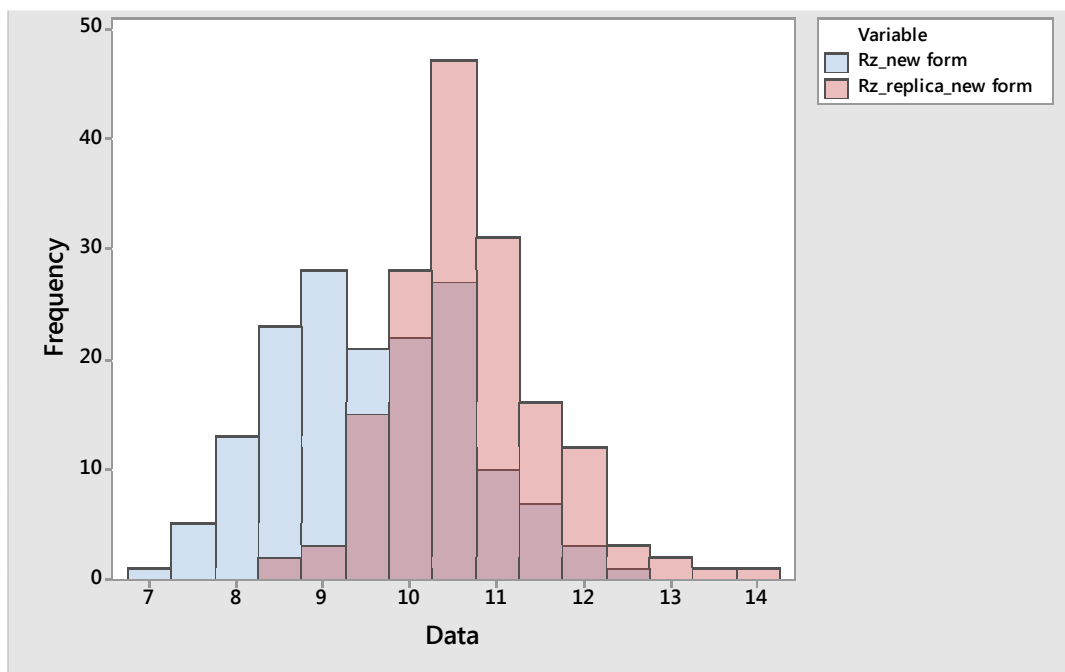
V případě, že bychom použili pouze zobrazení amplitudových parametrů nové formy a její repliky, obdrželi bychom boxplotový diagram tak, jak doporučuje prof. Whitehouse [1]. Z tohoto diagramu však zcela zřetelně neplyne rozdílnost jednotlivých povrchů, protože se neuvažuje korelace mezi jednotlivými parametry.



Obr. 64 Test vychýlených hodnot pro repliku

Červená hodnota je vlastně chyba, která znehodnocuje výsledek.

Hodnotu sice můžeme vypustit, protože je testována a vyšla jako hrubá chyba, nicméně na replice není tato chyba zřetelná. Bude lépe použít Box-Coxovu transformaci a přepočítat veškeré naměřené hodnoty repliky.

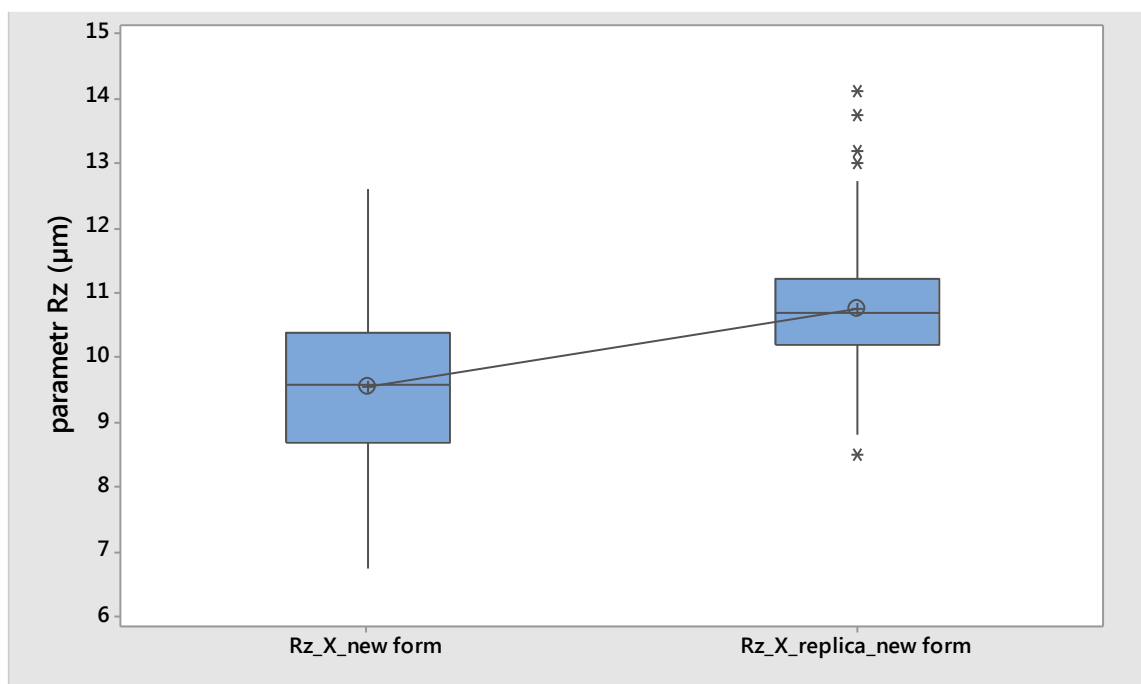


Obr. 65 Histogram porovnávající novou formu a její repliku

Výše uvedený histogram perfektně demonstruje vliv systematické chyby při výrobě repliky nové formy vůči originálu nové formy.

Jako charakteristický parametr byl zvolen parametr Rz. Na výše uvedených histogramech je zcela zřetelně vidět systematický posuv parametru Rz replikovaného povrchu vůči originálu.

Tato systematická chyba musí být vypočítána a odstraněna. Tím bude zajištěna vyšší shoda replikovaného povrchu s povrchem originální formy. Demonstrovaný případ byl proveden za laboratorních podmínek, to znamená, že byla proměřena vlastní forma a následně získaná replika. Toto je však při praktické aplikaci nemožné z důvodu nedostupnosti vlastní formy. Budeme-li takovýto postup aplikovat prakticky, je zcela nezbytné nahradit formu, respektive její povrch, povrchem etalonu.



Obr. 66 Boxplotový diagram porovnávající formu a její repliku

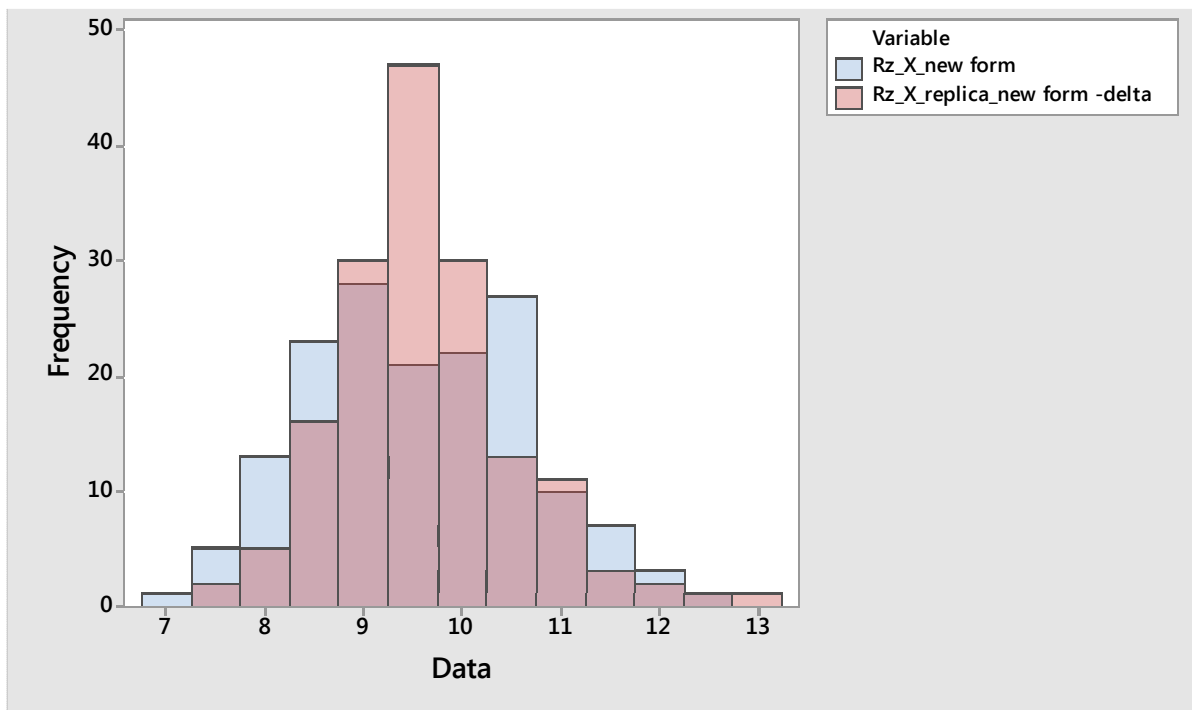
Výše uvedený boxplotový diagram pouze potvrzuje problematiku výroby otisku.

Jako v diagramech boxplot, tak i v histogramech, je zřetelně vidět symetrie, nicméně také systematický posuv parametru Rz repliky. Toto posunutí je systematickou chybou, která je způsobena nižším tlakem při vlastním procesu replikace povrchu.

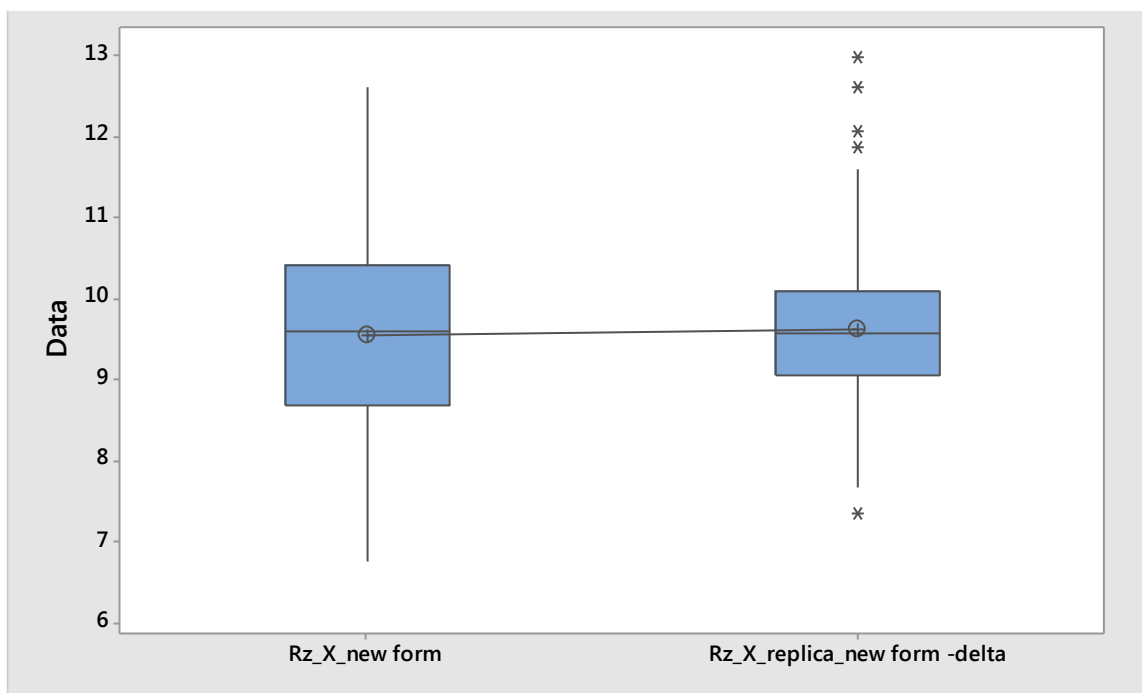
Teoreticky by bylo možné problém vyřešit tak, že zvýšíme tlak, a tím i zatékání replikovací hmoty do povrchu formy, nicméně prakticky je to nerealizovatelné. Problémem při zvýšení tlaku je separovatelnost repliky od replikovaného povrchu. Právě dané zvýšení tlaku způsobuje, že při vlastní separaci dochází k vytrhávání částic replikační hmoty a vzniku hrubých chyb. Pochopitelně je možné využití separátoru, ovšem separátor by statisticky významně ovlivnil parametry jakosti snímaného povrchu.

Díky výsledkům této dizertační práce se jako vhodný postup jeví stanovení systematické chyby níže uvedenou metodou pro každý jednotlivý sledovaný parametr a jeho přičtení s příslušným znaménkem k replikovanému povrchu.

Jiným problémem je rozptyl naměřených hodnot, který je však ve většině případů u replik nižší než u originálu.



Obr. 67 Histogram porovnávající novou formu a její repliku po transformaci



Obr. 68 Boxplot. diagram porovnávající formu a její repliku po transformaci

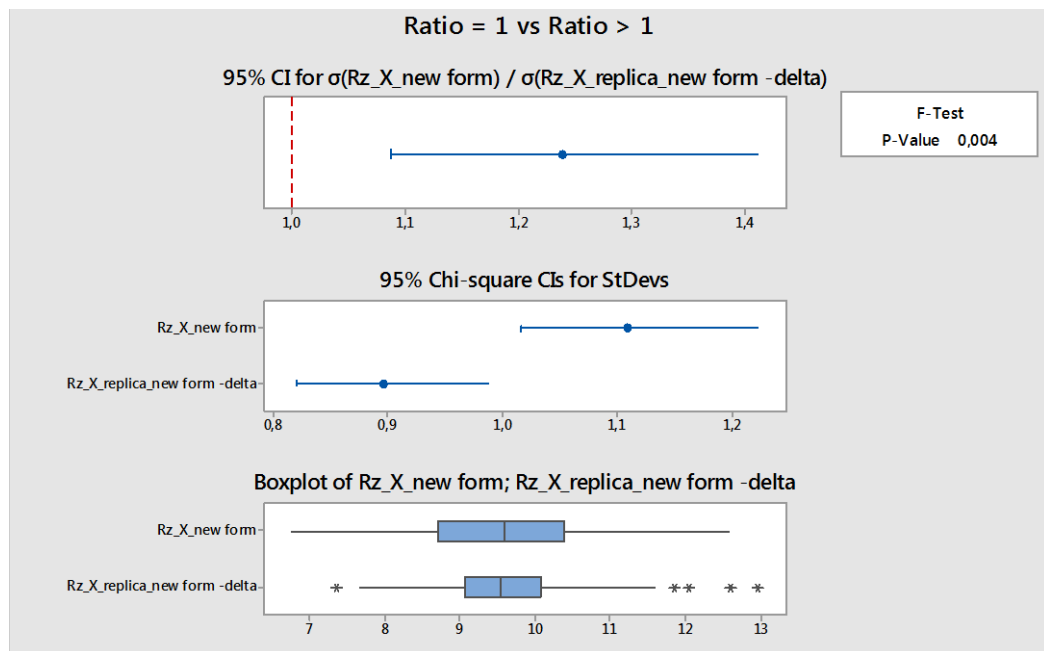
Na výše uvedených diagramech – boxplot a histogram – je zcela zřetelně vidět, že po přičtení zjištěné systematické chyby s příslušným znaménkem

k replikovanému povrchu je možné tento povrch již objektivně hodnotit vzhledem k povrchu originálnímu.

Tab. 8 Tabulka transformací

parametr	průměr	Box-Cox	transformace	odchylka
Rp replika - nová forma	5,7200	5,689	ne	-
Rv replika - nová forma	5,0503	4,98	ano	0,0703
Rz replika - nová forma	10,7702	10,691	ano	0,0792
Ra replika - nová forma	1,8535	1,743	ne	-
Rsm replika - nová forma	0,0944	0,0659	ano	0,0285
Rp replika - použitá forma	7,1132	6,579	ano	0,5342
Rv replika - použitá forma	6,6980	6,383	ano	0,3150
Rz replika - použitá forma	13,8112	13,431	ano	0,3802
Ra replika - použitá forma	1,9795	1,962	ano	0,0175
Rsm replika - použitá forma	0,1032	0,17	ano	-0,0668

Kontrola pomocí F-testu



Obr. 69 F- test pro novou formu a její repliku po transformaci

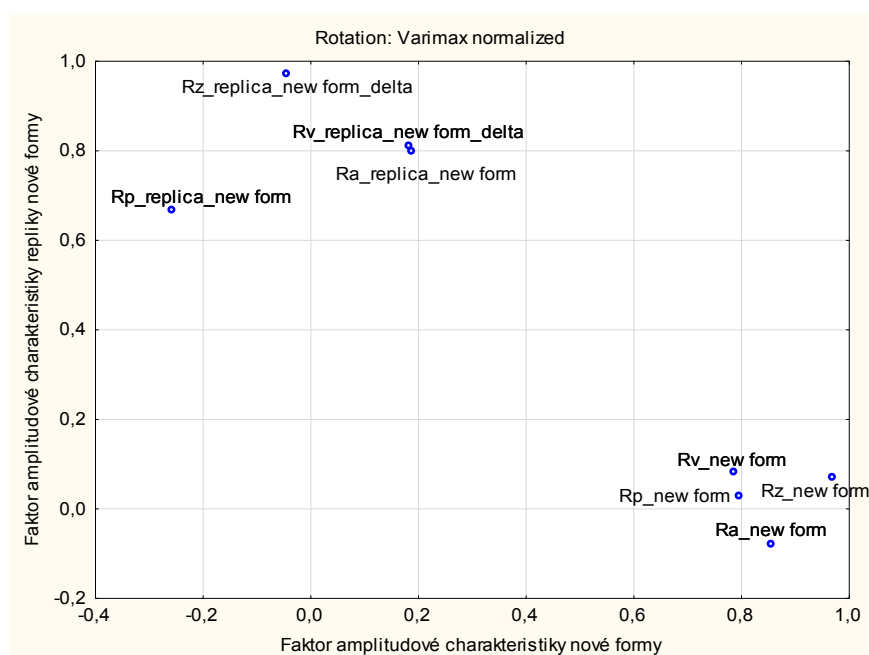
Rozptyly jsou na replikovaném povrchu menší z důvodu zatékavosti replikační látky.

Kontrola pomocí t- testu

P-Value = 0,479

Rz na formě se neliší od Rz na replice. Rozptyl Rz na replice je menší než na formě z důvodu zátekovosti a průměr Rz na replice a formě se významně neliší. To vše s pravděpodobností 95%.

5.1 Faktorová analýza dat nové formy a repliky nové formy



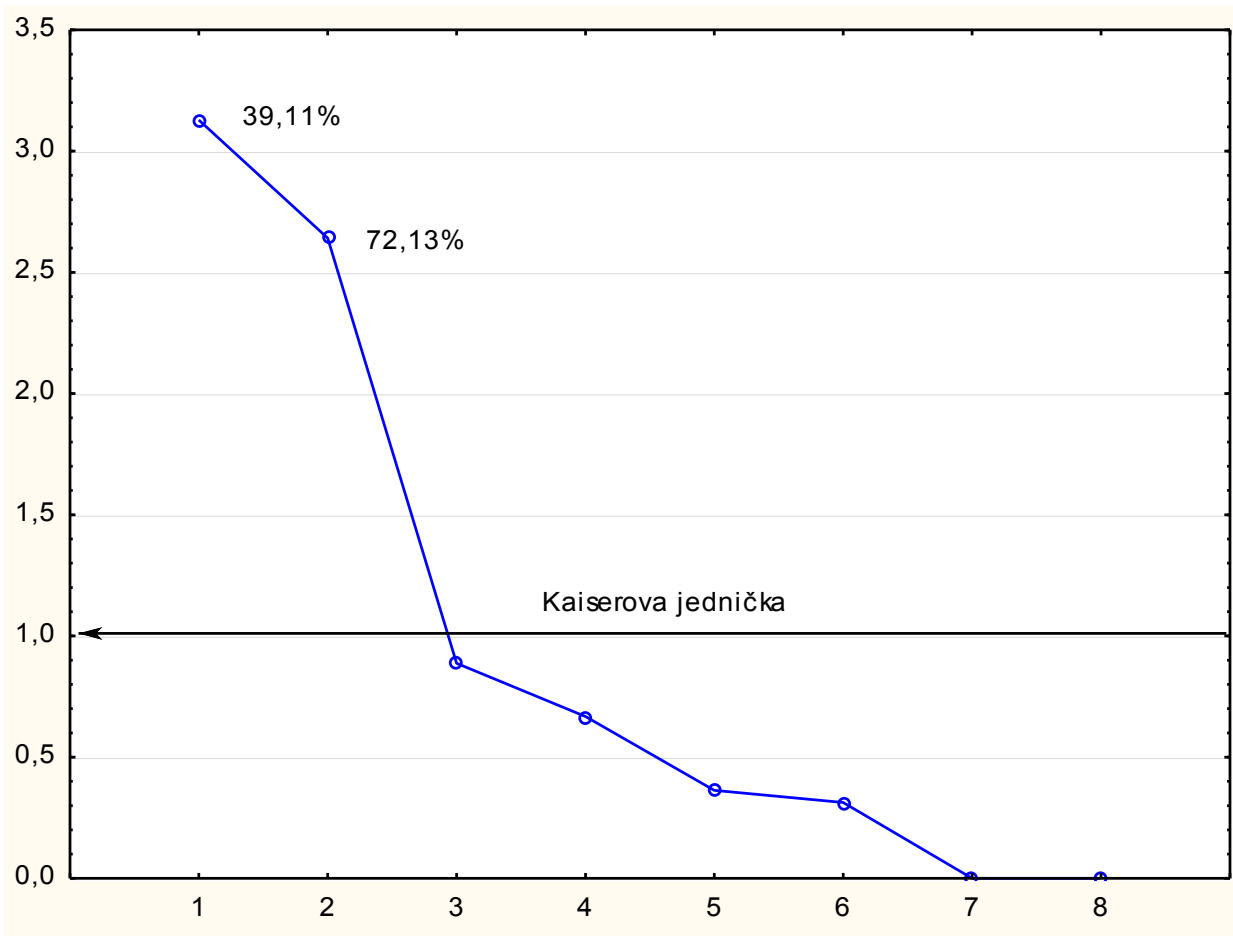
Obr. 70 Faktorová analýza Varimax norm. pro novou formu a její repliku

Je možné konstatovat, že na popis osmi parametrů Rp, Rv, Rz, Ra pro novou formu a její repliku jsou dostačující pouze dva faktory, které mohou být pojmenovány:

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky nové formy.

Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky repliky nové formy.

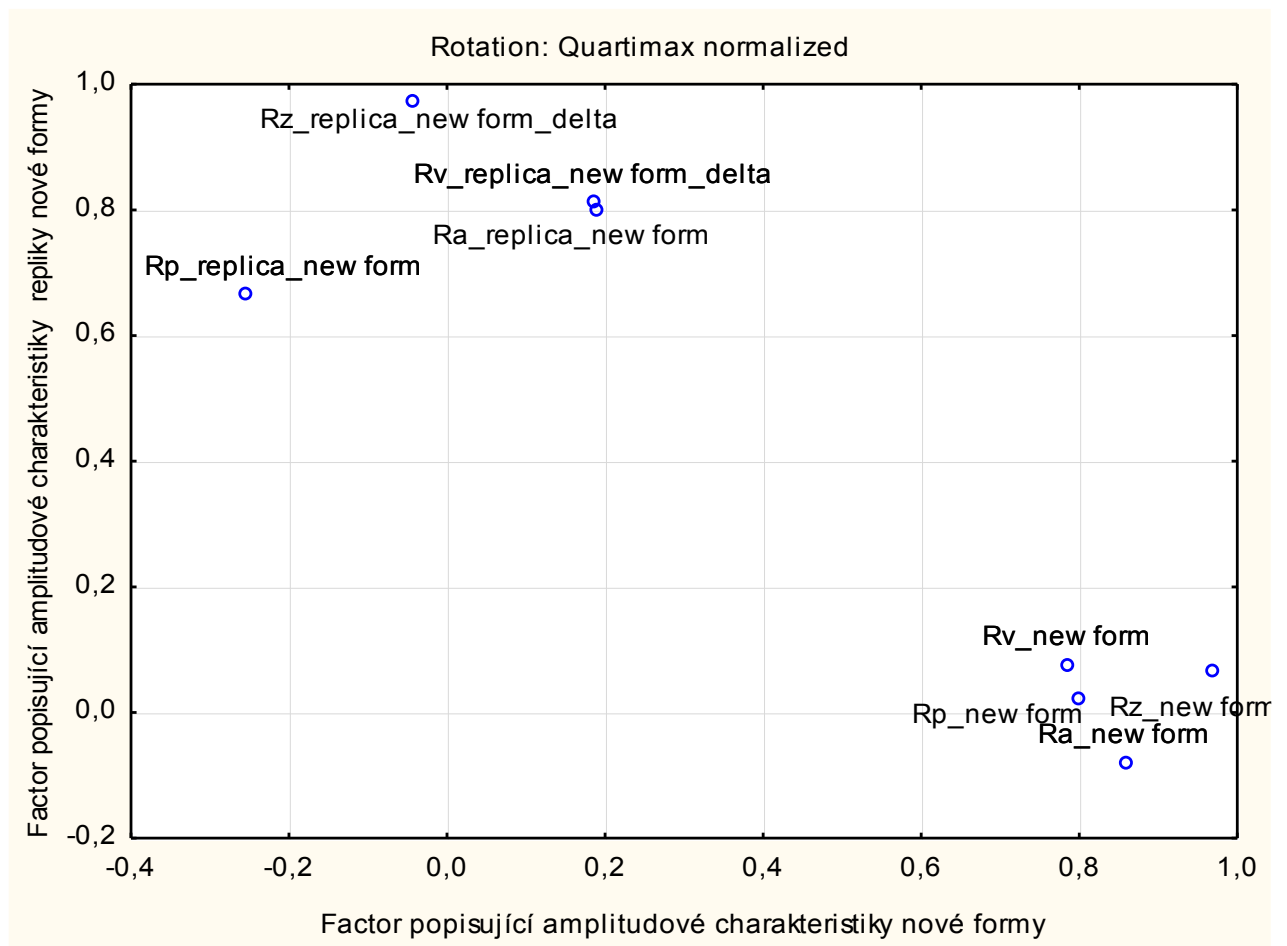
K důkazu počtu faktorů je použit tzv. diagram „Úpatí vlastních čísel“, kde kritériem počtu faktorů je „Kaiserova jednička“.



Obr. 71 Graf úpatí vlastních čísel

Místo použití R_p , R_v , R_a a R_z pro povrch a jeho repliku, je statisticky významné použití pouhých 2 faktorů, které vyjadřují původních 8 parametrů na 72 %. Nemusíme posuzovat jeden parametr vůči druhému (např. R_z replika versus R_z forma). Vytvoříme za pomoci faktorové analýzy 2 shluky, které popíšeme pomocí faktorů. Jak plyne z grafu „úpatí vlastních čísel“, pomocí kritéria Kaiserovy jedničky lze konstatovat, že variabilitu všech parametrů pro formu i její repliku lze vyjádřit pomocí pouhých 2 faktorů, které vyjádří 72,13% variability.

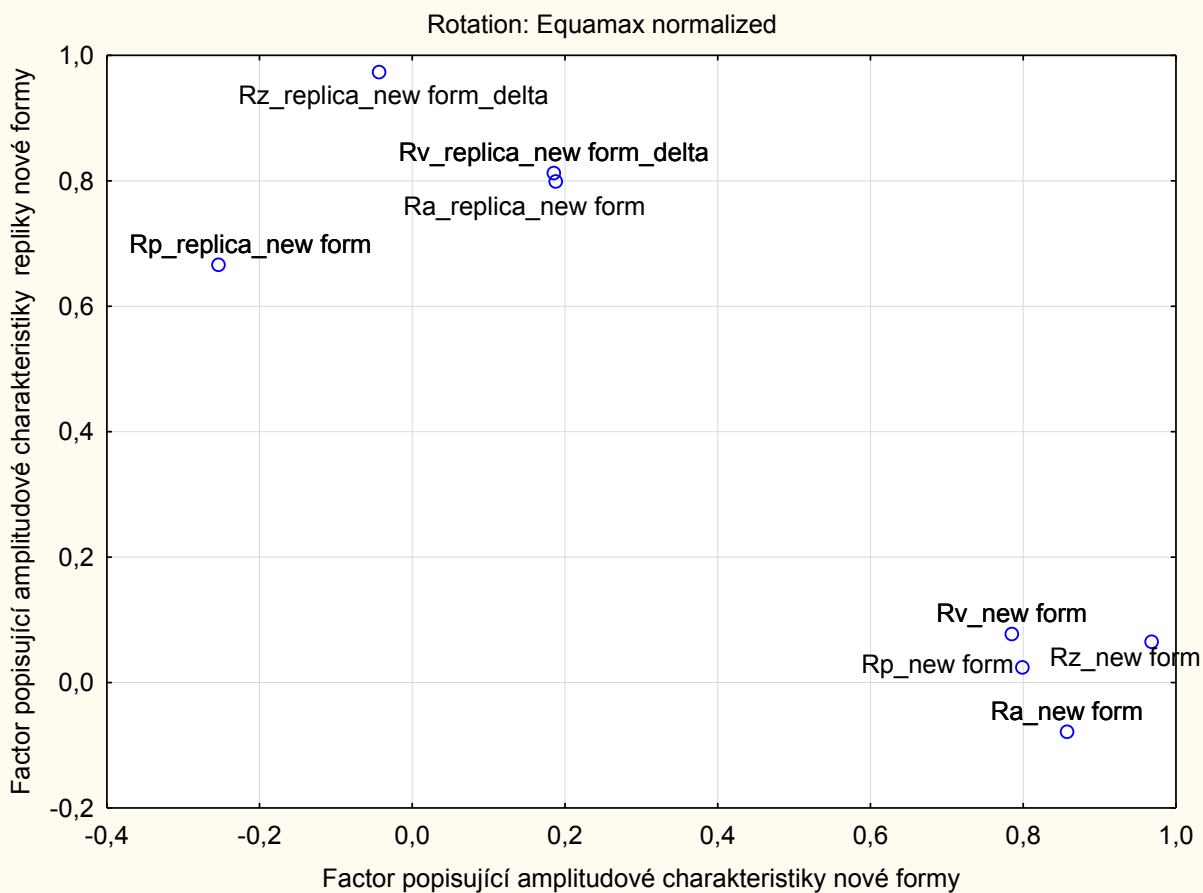
Proto nazýváme „faktor 1“ faktorem popisujícím vlastnosti povrchu nové formy vyjádřené amplitudovými parametry a „faktor 2“ faktorem popisujícím vlastnosti povrchu repliky nové formy vyjádřené amplitudovými parametry.



Obr. 72 Faktorová analýza *Quartimax norm.* pro novou formu a její repliku

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky nové formy.

Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky repliky nové formy.



Obr. 73 Faktorová analýza Equamax norm. pro novou formu a její repliku

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky nové formy.

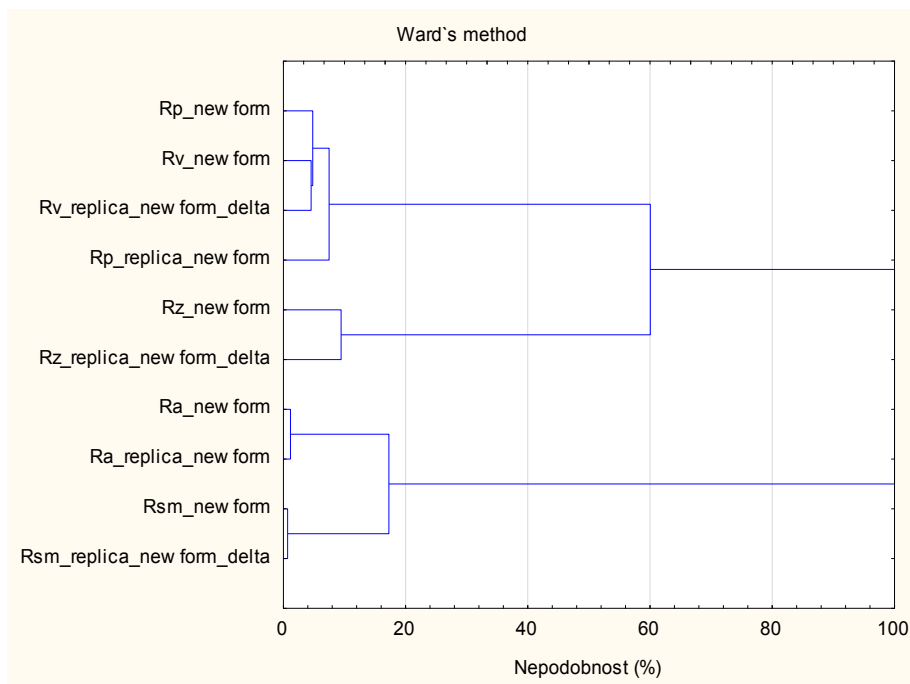
Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky repliky nové formy.

Obdobně jako v předešlých ortogonálních rotacích můžeme konstatovat, že byly vytvořeny 2 shluky faktorově čisté, z nichž jeden náleží amplitudovým parametrům výrobku a druhý amplitudovým parametrům nové formy.

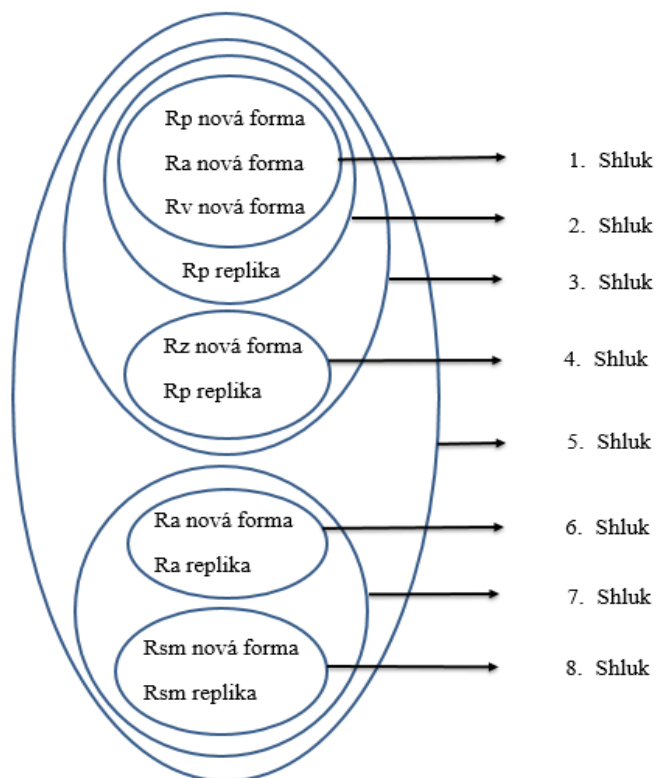
Závěr faktorové analýzy pro repliku nové formy

Hodnocením amplitudových parametrů: Ra, Rz, Rp, a Rv nové formy a repliky nové formy s využitím faktorové analýzy a 3 typů rotací konkrétně Varimax normalizovaný, Quartimax normalizovaný a Equamax normalizovaný, můžeme konstatovat, že ve všech těchto případech došlo k vytvoření samostatných shluků, které jsou faktorově čisté a přináležejí jednotlivým faktorovým osám. Můžeme tedy tvrdit, že na základě příslušnosti jednotlivých shluků k rozdílným faktorům (osám) je globálně povrch formy (vyjádřen amplitudovými parametry) statisticky významně odlišný od povrchu repliky této formy. Rotací je v tomto případě míněno nalezení největší kovariance mezi jednotlivými shluky.

5.2 Shluková analýza pro novou formu a její repliku



Obr. 74 Shluková analýza pro novou formu a její repliku



Obr. 75 Tvorba shluků pro novou formu a její repliku

Pomocí shlukové analýzy, konkrétně Wardovy metody s využitím výpočtu pomocí tzv. Euklidiánské vzdálenosti, byly nalezeny shluky mezi parametry popisujícími jakost povrchu nové formy a repliky vzniklé otiskem této formy.

V rámci jednotlivých shluků můžeme konstatovat, že parametry R_p , R_v respektive R_a tvoří podobné shluky na základě výpočtu vzdálenosti euklidiánskou metodou.

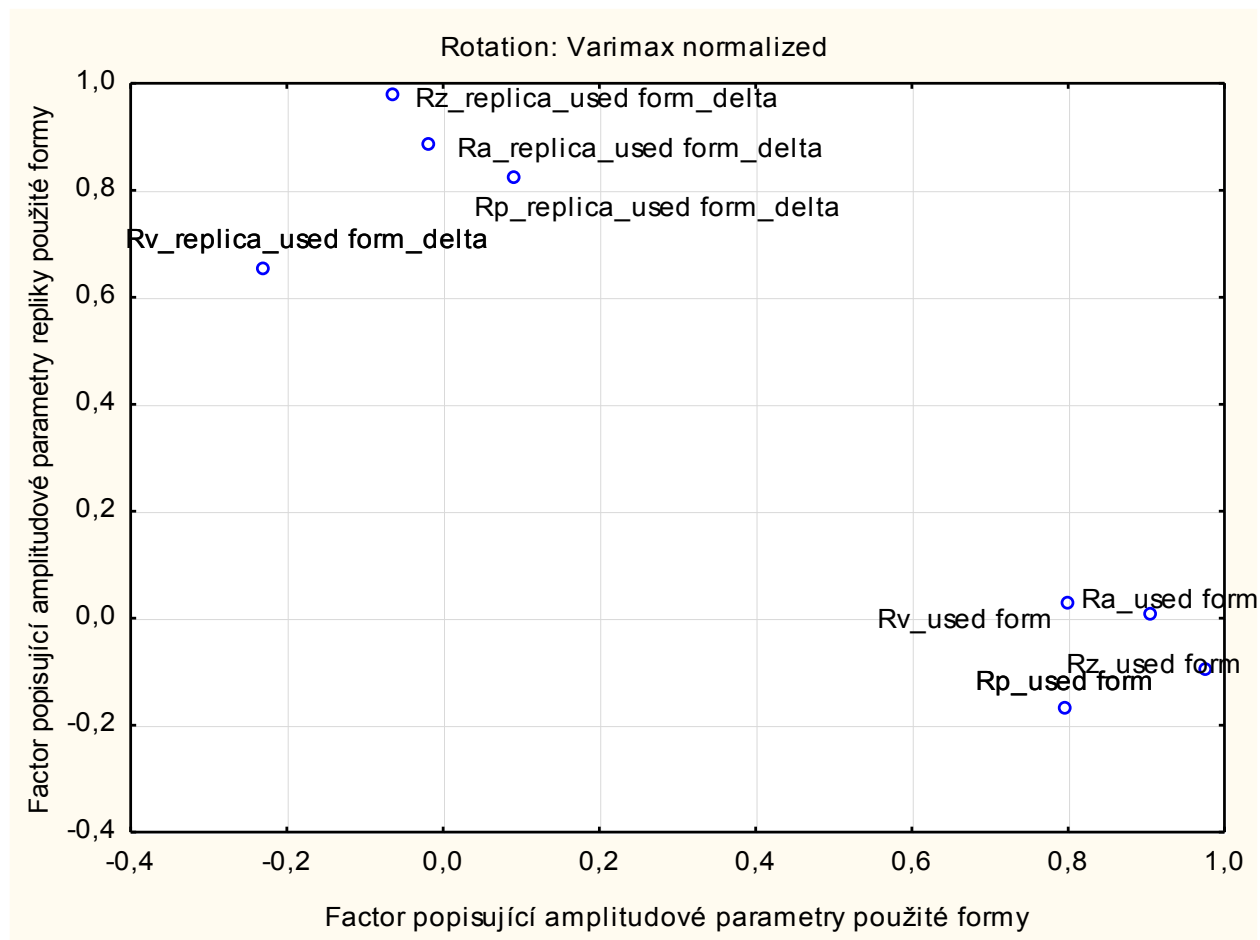
Parametry R_z , jež jsou funkcí parametrů R_p a R_v , tvoří samostatný shluk, který je nepodobný parametrům R_a a R_{sm} , jež jsou funkcí aritmetických průměrů.

Na základě matice vzdáleností je možné konstatovat, že stanovíme míru podobnosti jednotlivých parametrů popisujících jakost povrchu nové formy a repliky z ní vzniklé.

Jako měřítko kvality lze použít zvyšující se, respektive snižující se, hodnotu euklidiánských vzdáleností, které jsou vyjádřené v procentech, mezi jednotlivými shluky parametrů.

Pomocí faktorové analýzy jsme prokázali, že replika se liší od formy, ale neprokázali jsme, jak moc se liší. Tedy pouze numericky, že existují vyšší korelace mezi parametry vztaženými k replice a formě.

5.3 Faktorová analýza dat použité formy a repliky použité formy



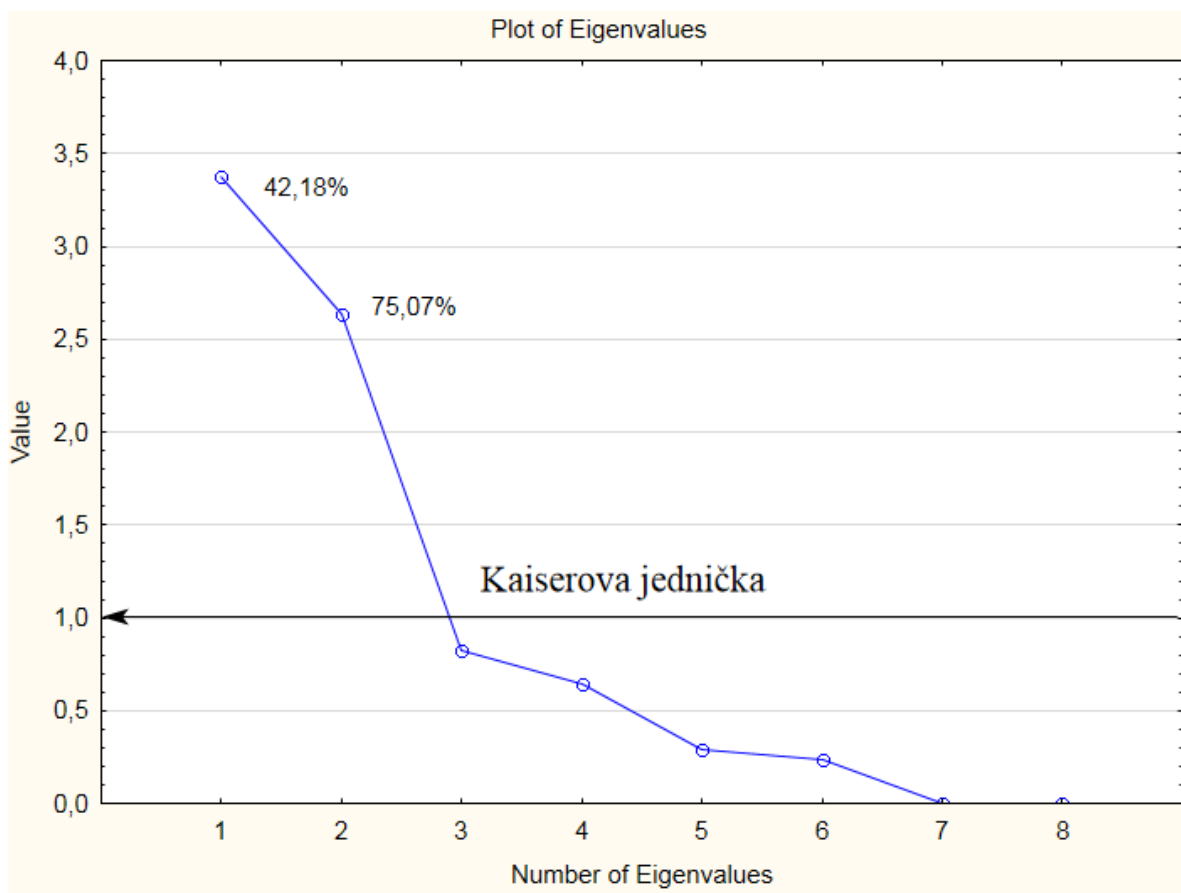
Obr. 76 Faktorová analýza Varimax norm. pro použitou formu a její repliku

Je možné konstatovat, že na popis osmi parametrů Rp, Rv, Rz, Ra pro použitou formu a její repliku jsou dostačující pouze dva faktory, které mohou být pojmenovány:

Faktor 1 – popisující amplitudové charakteristiky nové formy.

Faktor 2 – popisující amplitudové charakteristiky repliky nové formy.

K důkazu počtu faktorů je použit takzvaný diagram „Úpatí vlastních čísel“, kde kritériem počtu faktorů je „Kaiserova jednička“.

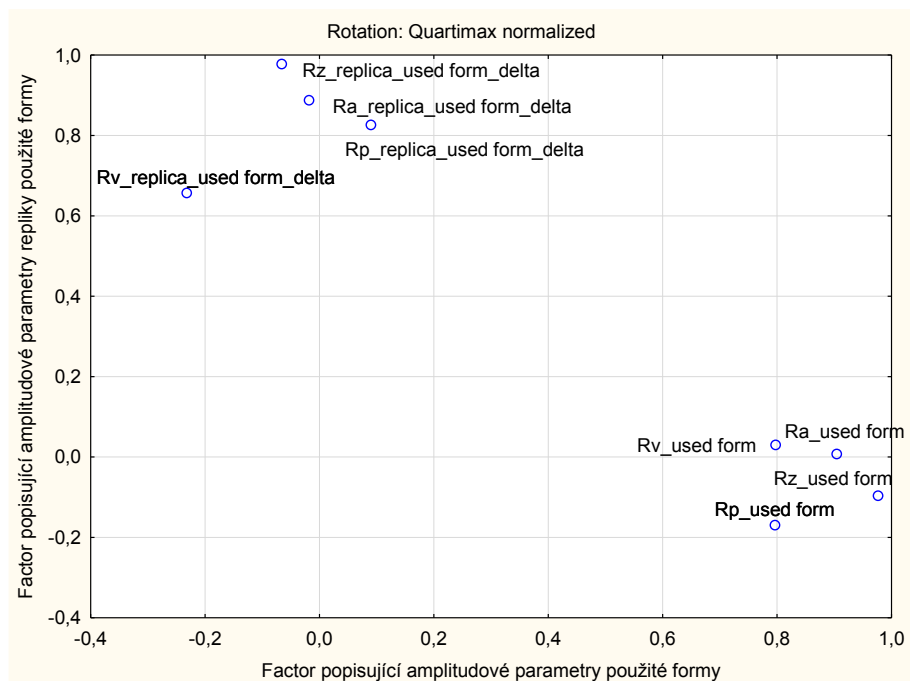


Obr. 77 Graf úpatí vlastních čísel

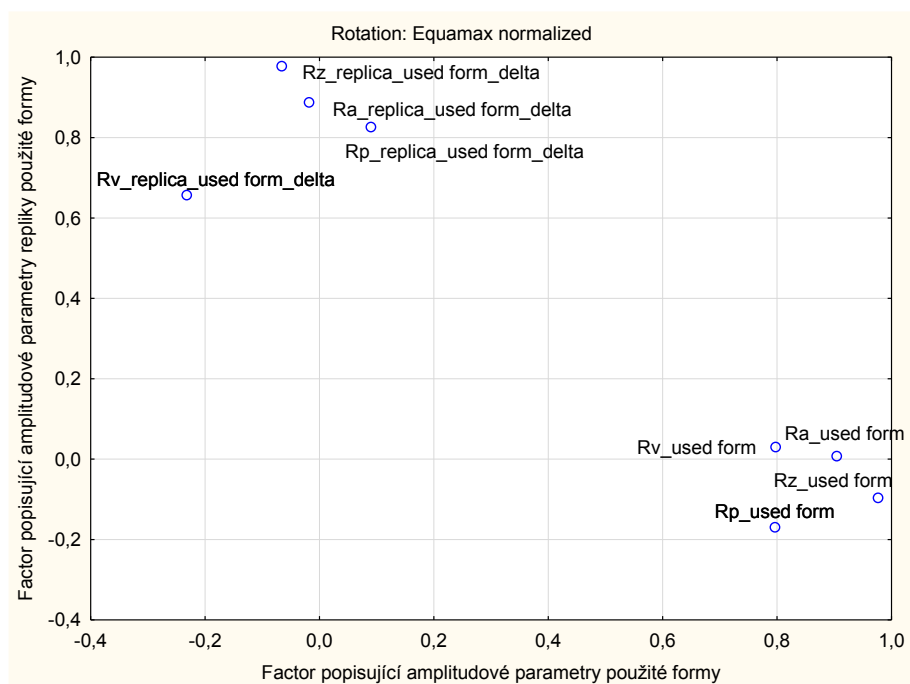
Místo použití R_p , R_v , R_a a R_z pro povrch a jeho repliku, je statisticky významné použití pouhých 2 faktorů, které vyjadřují těch původních osm parametrů na 75 %. Nemusíme posuzovat jeden parametr vůči druhému (např. R_z replika versus R_z forma). Vytvoříme za pomoci faktorové analýzy 2 shluky, které popíšeme pomocí faktorů.

Jak plyne z grafu „úpatí vlastních čísel“, pomocí kritéria Kaiserovy jedničky lze konstatovat, že variabilitu všech parametrů, jak pro formu, tak pro její repliku, lze vyjádřit pomocí pouhých 2 faktorů, které vyjádří 75% variability.

Proto nazýváme „faktor 1“ faktorem popisujícím vlastnosti povrchu nové formy vyjádřené amplitudovými parametry a „faktor 2“ faktorem popisujícím vlastnosti povrchu repliky použité formy, vyjádřené amplitudovými parametry.

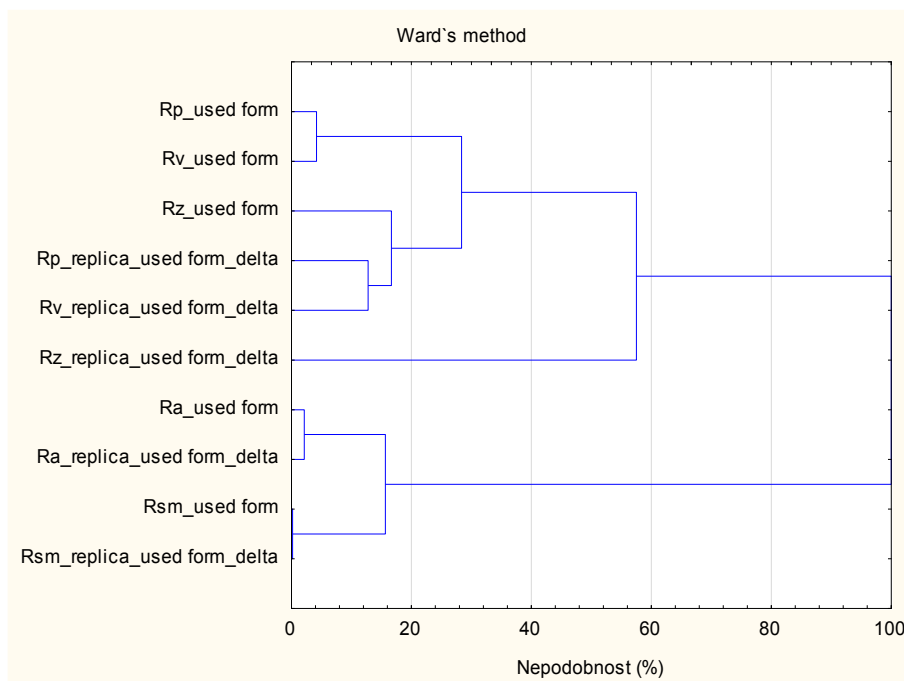


Obr. 78 Faktorová analýza *Quartimax norm.* pro použitou formu a její repliku

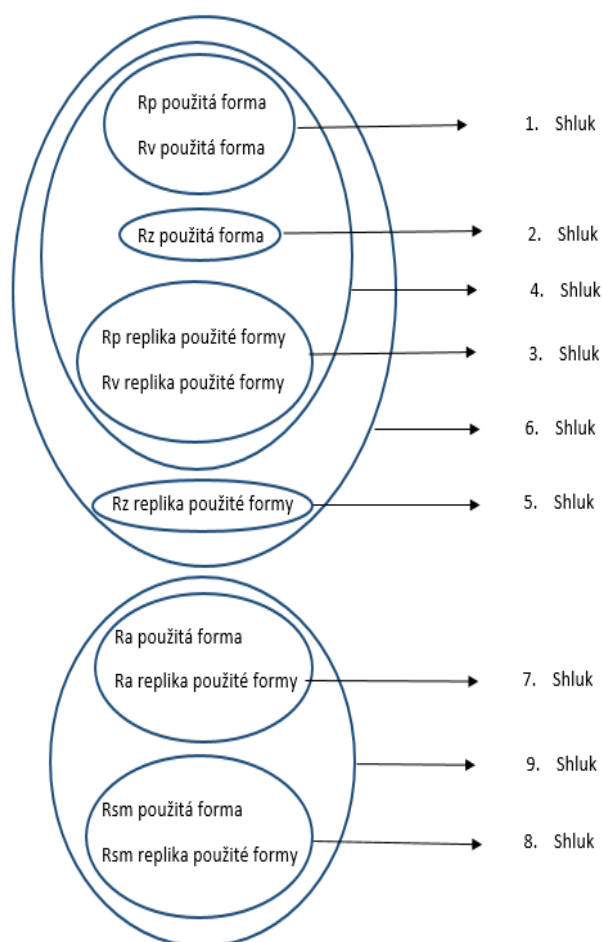


Obr. 79 Faktorová analýza *Equamax norm.* pro použitou formu a její repliku

5.4 Shluková analýza pro použitou formu a její repliku



Obr. 80 Shluková analýza pro použitou formu a její repliku



Obr. 81 Tvorba shluků pro použitou formu a její repliku

6. Závěr dizertační práce

Účelem této dizertační práce bylo nalezení postupů při hodnocení jakostí povrchů dvojic „forma a výrobek z ní vzniklý“, nebo „forma a její replika“. Po prvotním prostudování odpovídající literatury a vytvoření příslušné rešerše je možné konstatovat, že z hlediska matematického popisu parametrů těchto dvojic jsou využívány především postupy klasické založené na principu testování hypotéz. Dále je doporučován dnes už klasický postup navržený prof. Whitehousem, který je právě na principu testování hypotéz založen.

Taktéž při využívání ISO 4288 je doporučováno takzvané pravidlo 16-ti%, kde však není specifikováno, pro který parametr je toto pravidlo navrženo a navíc se automaticky předpokládá normalita vyhodnocovaného parametru, bez uvažování šikmosti, špičatosti a vychýlení hodnot.

Z tohoto důvodu se domnívám, že výše navržené postupy jsou vhodné pouze na komparace dvojic parametrů (například Ra forma – Ra výrobek), bez nalezení dalších souvislostí.

Proto jsem navrhla doplňky k dříve navrženým postupům, s využitím Box-Coxovy transformace pro libovolné parametry povrchů, popsané v ISO 4287. Tato transformace provede datovou symetrizaci, a po zpětném výpočtu retransformovaného průměru, respektive retransformované směrodatné odchylky, získáme hodnoty, které budou vyjadřovat charakteristiky parametrů dvojic povrchů, ať již formy a jejího výrobku či formy a její repliky, mnohem přesněji. Po těchto transformacích jsem dále navrhla výpočet systematických odchylek, které se především vyskytují u parametrů dvojic povrchů forma a její replika.

Po vyloučení systematických odchylek je možné již posuzovat dvojice parametrů popsanych v ISO 4287 mnohem přesněji.

Součástí mé práce bylo také nalezení vhodné hmoty, kterou bude možné replikovat formu v případě, že z důvodů rozměrnosti či hmotnosti je přímé měření jakosti povrchu formy obtížné či nemožné.

Jako replikační hmotu jsem navrhla Siloflex[®], protože má dobré replikační vlastnosti.

Bylo však nutné navrhnout i specifický replikační přípravek a nalézt odpovídající poměry mezi hmotou a katalyzátorem z důvodů separovatelnosti. Poměry jsou

odlišné od doporučení výrobce, protože výrobce doporučuje užití v teplém vlhkém prostředí ústní dutiny.

Těžištěm mé dizertační práce je nalezení statistických metod, umožňujících posuzování výše uvedených dvojic povrchů nikoliv separátně, z hlediska jednotlivých parametrů, nýbrž globálně tj. jako množiny parametrů.

Posuzuji tedy nikoliv například „Ra forma – Ra výrobek“, ale množinu amplitudových parametrů naměřených na povrchu formy a výrobku, respektive repliky.

K tomuto účelu jsem navrhla a prakticky dokázala na případu reálné formy a výrobku z ní vzniklého (firma Plastika a.s. výrobek kabinový filtr do automobilu) využití faktorové analýzy amplitudových parametrů a dále analýzy shlukové pro amplitudové a frekvenční parametry jednotlivých dvojic povrchů.

S využitím faktorové analýzy a jako rozhodčího kritéria tzv. Kaiserovy jedničky jsem dokázala, že dva faktory popíší více než 75 % rozptylů všech sledovaných parametrů a navíc vzniklé dva shluky jsou faktorově čisté.

Abychom však byly schopni posoudit rozdílnost jednotlivých dvojic povrchů globálně, použila jsem za tímto účelem shlukovou analýzu založenou na výpočtu euklidiánské vzdálenosti.

Pomocí této metody jsem již byla zcela jednoznačně schopna určit rozdílnost dvojic povrchů, a to buď v bezrozměrných jednotkách či procentuálně. Při posuzování dvou forem (forma nová prošla záběhovým cyklem a forma použitá mající dle firmy Plastika za sebou více jak milion cyklů) byla tato rozdílnost zcela zřetelná na tzv. dendrogramických diagramech a činila difference více jak 10% u nové a 15% u použité formy.

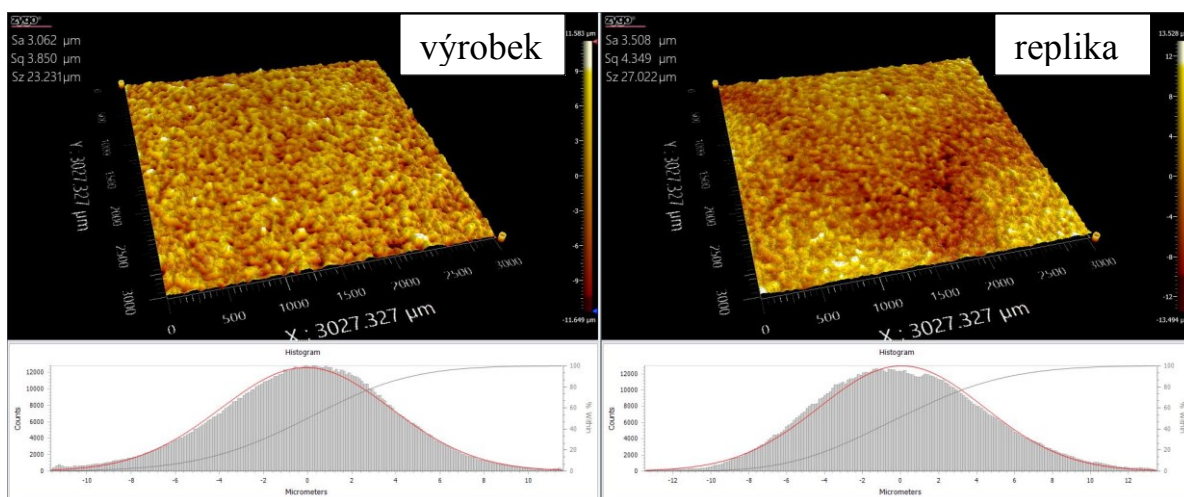
Mohu tedy konstatovat, že jsem sestavila novou metodiku hodnocení dvojic povrchů a nový postup při výrobě replikací forem a jejich hodnocení, s tímto závěrem:

Určení minimální a maximální replikace

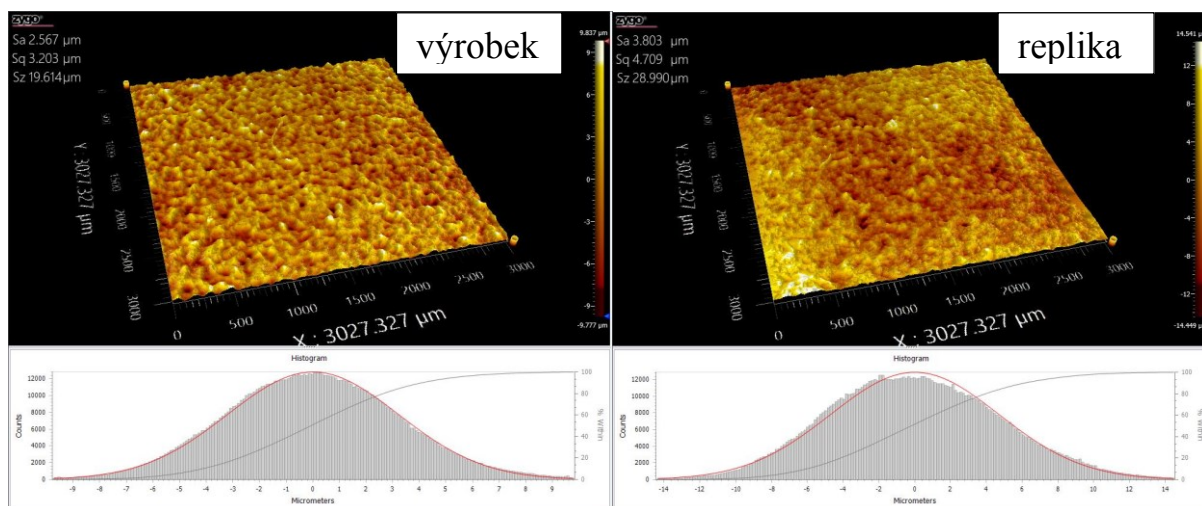
Na obrázcích 82 a 83 jsou vidět 3D skeny originálního a replikovaného povrchu vzorníku obráběného pomocí frézování. Rozdíl mezi originálem a replikou je 1,5 μ m u Sa, což znamená, že rozdíl u Ra je přibližně 1 μ m a jde o systematickou odchylku.

Při testování způsobů obrábění /frézování čelní i rovinné a broušení čelní i rovinné) bylo zjištěno, že je možné replikovat povrch:

- maximum, které jsme schopni replikovat bez vady měření, je Ra 12,5 μ m
- minimum, které jsme schopni změřit, je Ra 0,8 μ m.



Obr. 82 Porovnání výrobku a repliky nové formy



Obr. 83 Porovnání výrobku a repliky použité formy

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Ra	Střední aritmetická drsnost
Rmr	Materiálový poměr profilu
Rp	Největší výška výstupku profilu
Rq	Střední kvadratická úchylka profilu drsnosti
Rt	Celková výška profilu
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu
Rz	Největší výška profilu
Sa	Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu
Sq	Základ průměrné výšky povrchu
Ssk	Šikmost omezené stupnice povrchu
Sku	Špičatost omezené stupnice povrchu
2D	Dvojměrný prostor
3D	Trojměrný prostor
H0	Nulová hypotéza
H1	Alternativní hypotéza
M	Medián
min	Minuta
mm	Milimetr
nm	Nanometr
μm	Mikrometr
Form new	forma nová
Form used	forma použitá
Product new	výrobek z nové formy
Product used	výrobek z použité formy
Replica new	replika nové formy
Replica used	replika použité formy

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Profil povrchu [2]	10
Obr. 2 Největší výška výstupního profilu [2]	11
Obr. 3 Průměrná výška prvků profilu [2]	12
Obr. 4 Celková výška profilu [2].....	12
Obr. 5 Aritmetická úchylka Ra [2]	13
Obr. 6 Průměrná šířka Rsm [2].....	14
Obr. 7 Vývoj dosažitelné přesnosti ve výrobě [16]	17
Obr. 8 Diagramy rozptýlení (a) normální, (b) asymetrické	19
Obr. 9 Krabicový graf (a) symetrické rozdělení, (b) asymetrické rozdělení	19
Obr. 10 (a)histogram normálního rozdělení, (b) asymetrické rozednění.....	20
Obr. 11 Jádrový odhad pravděpodob. (a) normální, (b) asymetrické rozdělení .	20
Obr. 12 Q-Q grafy (a) normální rozdělení, (b) asymetrické rozdělení	20
Obr. 13 Kruhový graf (a) symetrické, (b) asymetrické rozdělení dat.....	21
Obr. 14 Hustota pravděpodobnosti výskytu X_i [10].....	22
Obr. 15 Schématické vyjádření Ra	22
Obr. 16 schématické vyjádření Ra na pěti $l_r = 4$ mm	23
Obr. 17 Diagram pro výběr správného testu. [5]	23
Obr. 18 a) náčrt přípravku a b) návažek otiskovací hmoty	32
Obr. 19 Nanesení otiskovací hmoty do přípravku	32
Obr. 20 Zatížení přípravku pro vytvoření přítlaku	33
Obr. 21 Hotová replika DPI 1000.....	33
Obr. 22 Klasifikace chyb měření [13]	34
Obr. 23 3D scan originálního povrchu.	35
Obr. 24 3D scan replikovaného povrchu.	35
Obr. 25 Kovová forma od firmy Plastika a.s.....	37
Obr. 26 Výkresová dokumentace k formě.....	38
Obr. 27 Výrobek z této formy a měřená část výrobku	39
Obr. 28 umístění měřeného objektu	39
Obr. 29 3D scan a) nové formy, b) použité formy.....	40
Obr. 30 Základní hodnoty měření vlevo nová a vpravo použitá forma.....	40
Obr. 31 3D scan výrobků a) z nové formy, b) z použité formy.....	41
Obr. 32 Data měření vlevo výrobek z nové a vpravo výrobek z použité formy. 41	
Obr. 33 3D scan repliky a) z nové formy, b) z použité formy	41
Obr. 34 Data měření vlevo replika z nové a vpravo replika z použité formy.....	41
Obr. 35 Tabulka hodnot pro novou formu.....	42
Obr. 36 Tabulka hodnot pro použitou formu.....	42

Obr. 37 Tabulka hodnot pro výrobek z nové formy.....	43
Obr. 38 Tabulka hodnot pro výrobek z použité formy.....	43
Obr. 39 Tabulka hodnot pro repliku nové formy	44
Obr. 40 Tabulka hodnot pro repliku použité formy	44
Obr. 41 Sumarizace dat parametru Ra nové formy.....	46
Obr. 42 Testování vychýlených hodnot	47
Obr. 43 Box – Cox transformace	48
Obr. 44 F – test pro Ra nové formy a Ra výrobku z nové formy.....	51
Obr. 45 F – test pro Ra použité formy a Ra výrobku z použité formy.....	53
Obr. 46 Boxplotový diagram pro parametr Rp	54
Obr. 47 Boxplotový diagram pro parametr Rv	55
Obr. 48 Boxplotový diagram pro parametr Rz.....	55
Obr. 49 Boxplotový diagram pro parametr Ra.....	56
Obr. 50 Boxplotový diagram pro parametr Rsm.....	56
Obr. 51 Faktorová analýza Varimax norm. – nová forma, nový výrobek	57
Obr. 52 Faktorová analýza Quartimax norm. – nová forma, nový výrobek	58
Obr. 53 Faktorová analýza Equamax norm. – nová forma, nový výrobek	59
Obr. 54 Faktorová analýza Varimax norm. – použitá forma a její výrobek	60
Obr. 55 Faktorová analýza Quartimax norm. – použitá forma a její výrobek	61
Obr. 56 Faktorová analýza Equamax norm. – použitá forma a její výrobek	62
Obr. 57 Boxplotový diagram - nová forma, nový výrobek.....	63
Obr. 58 Shluková analýza pro novou formu a její výrobek	64
Obr. 59 Tvorba shluků pro novou formu a její výrobek	64
Obr. 60 Shluková analýza pro použitou formu a její výrobek	65
<i>Obr. 61 Tvorba shluků pro použitou formu a její výrobek.....</i>	<i>65</i>
Obr. 62 <i>Provedení replikace formy.....</i>	<i>67</i>
Obr. 63 Boxplotový diagram - nová forma, replika nové formy	68
Obr. 64 Test vychýlených hodnot pro repliku	68
Obr. 65 Histogram porovnávající novou formu a její repliku.....	69
Obr. 66 Boxplotový diagram porovnávající formu a její repliku.....	70
Obr. 67 Histogram porovnávající novou formu a její repliku po transformaci...71	71
Obr. 68 Boxplot. diagram porovnávající formu a její repliku po transformaci ..71	71
Obr. 69 F- test pro novou formu a její repliku po transformaci	72
Obr. 70 Faktorová analýza Varimax norm. pro novou formu a její repliku	73
Obr. 71 Graf úpatí vlastních čísel	74
Obr. 72 Faktorová analýza Quartimax norm. pro novou formu a její repliku75	75
Obr. 73 Faktorová analýza Equamax norm. pro novou formu a její repliku	76
Obr. 74 Shluková analýza pro novou formu a její repliku	77

Obr. 75 Tvorba shluků pro novou formu a její repliku.....	77
Obr. 76 Faktorová analýza Varimax norm. pro použitou formu a její repliku ...	79
Obr. 77 Graf úpatí vlastních čísel	80
Obr. 78 Faktorová analýza Quartimax norm. pro použitou formu a její repliku	81
Obr. 79 Faktorová analýza Equamax norm. pro použitou formu a její repliku..	81
Obr. 80 Shluková analýza pro použitou formu a její repliku	82
Obr. 81 Tvorba shluků pro použitou formu a její repliku.....	82
Obr. 84 Porovnání výrobku a repliky nové formy.....	85
Obr. 85 Porovnání výrobku a repliky použité formy.....	85

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Dosahované parametry obrobených ploch [17]	18
Tab. 2 Technologické parametry vybraných nekonvenčních metod obrábění [18]	18
Tab. 3 Kritické obory testů polohy hypotézy H_0 [9]	26
Tab. 4 Požadavky na materiál při teplotě 23°C [14]	31
Tab. 5 Parametry drsnosti originálního povrchu dle ISO 4287	36
Tab. 6 Parametry drsnosti replikovaného povrchu dle ISO 4287	36
Tab. 7 Tabulka průměrů	49
Tab. 8 Tabulka transformací	72

SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA

Publikace v databázi SCOPUS

- 1) JAKUBÍČEK, Josef, Martina HŘIBOVÁ, Jaroslav KUČERA a Milena KUBIŠOVÁ, 2016. The Influence of nucleating agents and process parameters on phase structure of isotactic polypropylene and its Copolymer with 3% ethylene. *Manufacturing Technology*. Univerzita J. E. Purkyne, 16(1), 103-106. ISSN 12132489. (article)
- 2) SÝKOROVÁ, Libuše, Vladimír PATA, Milena KUBIŠOVÁ a Martina MALACHOVA, 2016. The “Laser Machinability” of Polymeric Materials. *Materials Science Forum* [online]. 862, 141-147 [cit. 2018-02-07]. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.862.141. ISSN 1662-9752. Dostupné z: <http://www.scientific.net/MSF.862.141> (article)
- 3) PATA, Vladimír, Libuše SÝKOROVÁ, Milena KUBIŠOVÁ a Martina MALACHOVA, 2016. Resolving Problems of Finding Surface Boundaries during Laser Machining. *Materials Science Forum*. 862, 66-71. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.862.66. ISSN 1662-9752. Dostupné také z: <http://www.scientific.net/MSF.862.66> (article)
- 4) KUBIŠOVÁ, Milena, Vladimír PATA, Libuše SÝKOROVÁ a Jana KNEDLOVÁ, 2017. Influence of laser beam on polymer material. *Manufacturing Technology*. Univerzita J. E. Purkyne, 17(5), 742-746. ISSN 12132489. (article)
- 5) KUBIŠOVÁ, Milena, Vladimír PATA, Libuše SÝKOROVÁ a Martina MALACHOVÁ, 2017. Use of cluster analysis for assessment of surface replicas machined by a laser beam. *Manufacturing Technology*. Univerzita J. E. Purkyne, 17(4), 489-493. ISSN 12132489. (article)
- 6) SÝKOROVÁ, Libuše, Oldřich ŠUBA, Vladimír PATA, Milena kubišová, Structural changes in metals during Laser cutting, 2018, *Materials Science Forum*. Vol. 919, 25-33. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF. 919.25. ISSN 0255-5476. Dostupné z: <http://www.scientific.net//msf.919.25> (article)

- 7) KASZONYIOVÁ Martina, František RYBNIKAŘ a Milena Kubišová, The influence of the static electrical field on the phase transformation II-I of the isotactic polybutene-1, 2018, *Materials Science Forum*. Vol. 919, 160-166. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.919.160. ISSN 0255-5476. Dostupné z: <http://www.scientific.net/msf.919.160> (article)
- 8) PATA, Vladimír, Libuše SÝKOROVÁ a Milena KUBIŠOVÁ, The influence of laser beam technological parameters on the polymethyl methacrylate surface quality, 2018, *Materials Science Forum*. Vol. 919, 190-1698. DOI 10.4028/www.scientific.net/MSF.919.190. ISSN 0255-5476. Dostupné z: <http://www.scientific.net/msf.919.190> (article)
- 9) PATA, Vladimír, Libuše SÝKOROVÁ, Oldřich ŠUBA a Milena KUBIŠOVÁ, 2016. Simulation of the Transient Temperature Field when Laser Machining Polymeric Materials. *Key Engineering Materials*. 686, 246-251. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.862.66. ISSN 1662-9795. Dostupné také z: <http://www.scientific.net/KEM.686.246> (Conference Paper)
- 10) KUBIŠOVÁ, Milena, Vladimír PATA a Libuše SÝKOROVÁ, 2017. Creating and evaluating replicas of surfaces machined by laser beam. *MATEC Web of Conferences* [online]. **121**, 03013- [cit. 2018-02-07]. DOI: 10.1051/matecconf/201712103013. ISSN 2261-236x. Dostupné z: <http://www.matec-conferences.org/10.1051/matecconf/201712103013> (Conference Paper)
- 11) RUSNÁKOVÁ, Soňa, Milan ŽALUDEK, Milena KUBIŠOVÁ a Vladimír RUSNÁK, 2017. OOA composite structures applicable in railway industry. *MATEC Web of Conferences* [online]. **121**, 01015- [cit. 2018-02-07]. DOI: 10.1051/matecconf/201712101015. ISSN 2261-236x. Dostupné z: <http://www.matec-conferences.org/10.1051/matecconf/201712101015> (Conference Paper)

12) SYKOROVÁ, Libuše, Vladimír PATA, Milena KUBIŠOVÁ a Jana KNEDLOVÁ, 2017. Effect of concentrated energy of laser beam on polymer material. *MATEC Web of Conferences* [online]. **121**, 03021 [cit. 2018-02-07]. DOI: 10.1051/mateconf/201712103021. ISSN 2261-236x. Dostupné z: <http://www.matec-conferences.org/10.1051/mateconf/201712103021> (Conference Paper)

Publikace v databázi Web of Science

1. KUBIŠOVÁ, M., V. PATA, L. SÝKOROVÁ, L. HÝLOVÁ a O. ŠUBA, 2018. Multi-parametersurface-quality analysis. *Materiali in tehnologije* [online]. **52** (1), 23-26 [cit. 2018-03-17]. DOI: 10.17222/mit.2017.095. ISSN15802949. Dostupné z: <http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit181/kubisova.pdf> (article)
2. KASZONYIOVÁ, M., F. RYBNIKAR, M. KUBIŠOVÁ a D. MAŇAS, 2018. Effect of beta irradiation on the structural changes of isotactic polypropylene. *Materiali in tehnologije* [online]. **52** (1), 15-18 [cit. 2018-03-17]. DOI: 10.17222/mit.2017.089. ISSN 15802949. Dostupné z: <http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit181/kaszonylova.pdf> (article)
3. ŠUBA, O., L. SÝKOROVÁ, V. PATA, O. ŠUBA JR. a M. KUBIŠOVÁ, 2018. Modelling of a transient-temperature field in plastics during laser cutting. *Materiali in tehnologije* [online]. **52**(1), 19-21 [cit. 2018-03-17]. DOI: 10.17222/mit.2017.091. ISSN 15802949. Dostupné z: <http://mit.imt.si/Revija/izvodi/mit181/suba.pdf> (article)
4. FOJTL, L., HUBA, J., KUBIŠOVÁ, M., PATA, V., MRÁČEK, A. and SEDLÁČEK, T., 2017. Modern types of PVD/PACVD coatings used for injection molds and their effects on selected physical properties of mold cavities, METAL 2017 - 26th International Conference on Metallurgy and Materials, Conference Proceedings 2017, pp. 1258-1263. (Conference Paper)

ŽIVOTOPIS

Jméno: Milena Kubišová

Datum narození: 9. 3. 1983

Místo narození: Zlín

Národnost: Česká

Adresa: Třída Svobody 1226, Zlín 763 02

Afilace: Ústav výrobního inženýrství, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Vavrečkova 275, 760 01 Zlín

Email: mkubisova@utb.cz

Vzdělání:

Červenec 2014 do současnosti Doktorské studium v oboru: Nástroje a procesy, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, (téma disertační práce: Hodnocení jakosti povrchů polymerních dílů nenormativním způsobem)

2012 - 2014 Magisterské studium v oboru: Řízení Jakosti, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, (téma diplomové práce: Návrh kalibrace a renovace dílenského mikroskopu využitím laserinterferometru)

2009 - 2012 Bakalářské studium v oboru: Technologická zařízení, Fakulta technologická, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně (téma bakalářské práce: Srovnání Splitting indexu a Indexu toku taveniny polymerů)

Řešené projekty:

2015	Grant UTB IGA//FT/2015/011 Výzkum snímání a vyhodnocování jakosti povrchů nenormativním způsobem Pozice: hlavní řešitel
2016	Grant UTB IGA/FT/2016/005 Výzkum snímání a vyhodnocování jakosti povrchů nenormativním způsobem Pozice: hlavní řešitel
2017 a 2018	Práce na projektech IGA/FT/2017/002 a IGA/FT/2018/004

Pedagogická činnost	T1PR – Základy výrobních procesů T4ST2 – Strojírenská technologie II. T7RJK – Řízení jakosti
---------------------	--

Obhájené bakalářské a diplomové práce

Skovajsa Zbyněk - Koncepce metrologie při výrobě malého dopravního letounu

Rožek Pavel - Kalibrace univerzálního délkoměru Carl Zeiss Jena

Jemelka Jakub - Možnosti využití 2D a 3D skenovacích metod pro snímání povlakovaných povrchů

Vítková Dominika - Porovnání 2D a 3D skenovacích metod pro snímání povrchů

Pavlík Jan - Aplikace normy ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN 4288 na polymerní materiály

Král Aleš - Statistické hodnocení nábojů a jejich vlastností při střelbě

Janošík Zdeněk - Hodnocení jakosti polymerních povrchů ve 3D

REFERENCE

1. WHITEHOUSE, D. J., 2011. Handbook of surface and nanometrology. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4200-8201-2.
2. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
3. ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
4. 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.
5. Diagram pro výběr správného testu [online].[cit. 2017-07-20]. Dostupné z WWW: http://fu.ff.cuni.cz/STAT/16_testy_strednich_hodnot.html
6. Grubbs, F. E. (February 1969). "Procedures for detecting outlying observations in samples". *Technometrics*. 11 (1): 1–21. doi:10.1080/00401706.1969.10490657
7. ISO 16269-4, Statistical interpretation of data — Part 4: Detection and treatment of outliers
8. V. Barnett, T. Lewis, "Outliers in statistical data" , Wiley (1994) (Edition: Third)
9. Meloun, Milan a Jiří Militký. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621968.
10. Meloun, Milan a Jiří Militký. Interaktivní statistická analýza dat. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621739.

11. F test [online]. [cit. 2017-07-20]. Dostupné WWW:
<https://en.wikipedia.org/wiki/F-test>
12. Talysurf CLI Systems. [online].[cit. 2017-07-20]. Dostupné z
<http://www.taylor-hobson.com>
13. Bumbálek, L. a kol. Kontrola a měření. Informatorium, spol. s r.o. Praha, 2009. ISBN 978-80-7333-072-9
14. Siloflex [online].[cit. 2017-07-20]. Dostupné z
<http://www.spofadental.com/cz/produkty/category-list/product-family-list/c-silikonove-hmoty>
15. Siloflex [online].[cit. 2017-07-20]. Dostupné z
<http://www.spofadental.com/cz/produkty/category-list/product-family-list/technicke-materialy/metylmetakrylatova-lici-pryskyrice/dentacryl--technicky>
16. Technické meranie: Učebné texty z projektu Metromedia-Online [online]. 1.vydání. Bratislava, 2005 [cit. 2017-07-04]. Dostupné z:
<http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/obsah.htm>
17. Technologie i technologie obrábění – 3. část [online]. HUMÁR, Anton. 2005. Vysoké Učení Technické v Brně: Fakulta Strojního Inženýrství Ústav Strojírenské Technologie, 2005, s. 57 [cit. 2017-08-28]. Dostupné z:
http://docplayer.cz/13479-Technologie-i-technologie-obrabeni-3-cast.html#show_full_text
18. KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
19. Whitehouse, D.J. Some Theoretical Aspects of Surface Peak Parameters. Precision Engineering 23 (1999) 94-102
20. DAVID, Whitehouse, DUAL FUNCTION – SURFACE METROLOGY [online]. 14 - 61 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z:
<https://pdfs.semanticscholar.org/e343/770f9d49349d08a497fb83de540ee4ebdf8b.pdf>

21. WHITEHOUSE, D. J., 2012. Surface geometry, miniaturization and metrology. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences [online]. 370(1973), 4042-4065 DOI: 10.1098/rsta.2011.0055. ISSN 1364-503X. Dostupné z: <http://rsta.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rsta.2011.0055>
22. WHITEHOUSE, D. J., 2013. Theoretical enhancement of the Gaussian filtering of engineering surfaces. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences [online]. 469(2158), 20130184-20130184 DOI: 10.1098/rspa.2013.0184. ISSN 1364-5021. Dostupné z: <http://rspa.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspa.2013.0184>
23. WHITEHOUSE, David J., Jiancheng FANG a Zhongyu WANG, Changing face of surface metrology [online]. In: . 2006-11-13, 63571J, DOI: 10.1117/12.716966. Dostupné z: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.716966>

Ing. Milena Kubišová

**Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů nenormativním
způsobem**

Quality Assessment of Surface of Polymer Parts

in a Non-Normative Form

Dizertační práce

Vydala Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně,

nám. T. G. Masaryka 5555, 760 01 Zlín.

Náklad: 2 kusy

Sazba: Ing. Milena Kubišová

Publikace neprošla jazykovou ani redakční úpravou.

Rok vydání 2018