

Statistické hodnocení povrchů pokovovaných polymerních dílů

Bc. Eva Kršíková

Diplomová práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Eva Kršíková**
Osobní číslo: **T18606**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Statistické hodnocení povrchů pokovovaných polymerních dílů**

Zásady pro vypracování:

- student má za úkol zjistit jaký je rozdíl mezi vyhodnocováním pomocí ISO 4287, ISO 4288 a ISO 25 178.
- Dále provede analýzu povrchů na bezkontaktním profiloměru Taylor & Hobson CLI 500.
- Následně naměřená data drsnosti povrchu budou vyhodnocena pomocí programů Minitab a Statistika.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. **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.
2. **MELOUN, Milan.** Kompedium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4
3. **BUMBÁLEK,L.- BUMBÁLEK,B.:** Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milena Kubišová, PhD.
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2019

Termín odevzdání diplomové práce:

17. května 2019

Ve Zlíně dne 7. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na měření struktury povrchu pokovovaných polymerních dílů a statistické vyhodnocení naměřených dat. V teoretické části je popsán způsob pokovování polymerních dílů, definice norem ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288 a způsob práce s chybami a nejistotami měření. V praktické části jsou vyhodnocena naměřená data včetně popisné statistiky. Následně je provedena analýza rozptylů pro určení rozdílu mezi vzorky vyrobenými v různých časech.

Klíčová slova: Vakuové pokovování, měření struktury povrchu, parametry drsnosti, ANOVA, testování hypotéz.

ABSTRACT

This thesis is focused on the measurement of the surface texture of metallised polymer parts and statistical evaluation of measured data. The theoretical section describes the method of metallization of polymer parts, the definitions of standards ČSN EN ISO 4287 and ČSN EN ISO 4288 and the way of working with errors and uncertainties of measurement. Measured data including descriptive statistics are evaluated in the practical section. Subsequently, the analysis of variance is performed to determine the difference between samples produced at different times.

Keywords: Vacuum plating, surface texture measurement, roughness parameters, ANOVA, testing of hypothesis.

Děkuji paní Ing. Mileně Kubišové, Ph.D. za odborné vedení, pozitivní přístup, ochotu a čas, který mi věnovala při psaní diplomové práce. Svému manželovi děkuji za trpělivost a podporu.

„Lidi se nebojme, ale sebe.“

[Tomáš Baťa]

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

OBSAH

| | |
|---|-----------|
| ÚVOD | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST | 11 |
| 1 TECHNOLOGIE POKOVOVÁNÍ POLYMERNÍCH DÍLŮ | 12 |
| 1.1 CHEMICKÉ POKOVOVÁNÍ (BEZPROUDOVÉ) | 12 |
| 1.2 GALVANICKÉ POKOVOVÁNÍ..... | 12 |
| 1.3 VAKUOVÉ POKOVOVÁNÍ..... | 13 |
| 1.4 SPECIÁLNÍ POSTUPY POKOVOVÁNÍ | 14 |
| 1.5 MĚŘENÍ POKOVENÝCH DÍLŮ | 15 |
| 2 STRUKTURA POVRCHU | 17 |
| 2.1 NORMY ZABÝVAJÍCÍ SE STRUKTUROU POVRCHU..... | 17 |
| 2.1.1 ČSN EN ISO 4287:1999 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) | 17 |
| 2.1.2 ČSN EN ISO 4288:1999 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) | 23 |
| 3 CHYBY, NEJISTOTY A INTERPRETACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ | 26 |
| 3.1 CHYBY MĚŘENÍ | 26 |
| 3.2 NEJISTOTY MĚŘENÍ..... | 26 |
| 3.3 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ | 28 |
| 4 CÍLE PRÁCE | 30 |
| II PRAKTICKÁ ČÁST | 31 |
| 5 MATERIÁL | 32 |
| 5.1 VÝROBA..... | 32 |
| 5.2 VLASTNOSTI ABS | 33 |
| 5.3 CHROMOVÁNÍ..... | 33 |
| 6 MĚŘENÍ | 35 |
| 6.1 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ TALYSURF CLI 500 | 35 |
| 6.2 NAMĚŘENÁ DATA..... | 36 |
| 7 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ | 43 |
| 7.1 POPISNÁ STATISTIKA | 43 |
| 7.2 ANOVA - | 52 |
| 7.2.1 Test shody rozptylů | 53 |
| 7.2.2 Test shody průměrů..... | 58 |
| ZÁVĚR | 63 |
| SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 64 |
| SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 67 |

| | |
|-----------------------------|-----------|
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 70 |
| SEZNAM TABULEK..... | 72 |

ÚVOD

Plasty jsou polymerní látky s přísadami (jako jsou např. plniva, stabilizátory, pigmenty, nukleační činidla, změkčovadla), které nás obklopují téměř na každém kroku. V současné době existuje mnoho druhů plastů a jejich počet se neustále zvyšuje. V současnosti je tendence nahrazovat kovové díly, jejichž výroba je mnohdy obtížná a drahá, polymerními náhražkami, které při nižší ceně a jednodušší výrobě dosahují podobných nebo lepších vlastností.

Pro dekorativní a pohledové kovové výrobky je jednou z hlavních vlastností vzhled a kvalita povrchu. Tyto výrobky je možné nahradit polymerním dílem, který je pokryt kovovou vrstvou v takové kvalitě, že jsou pouze pohledem nerozlišitelné.

Pro dlouhodobé a exaktní porovnání kvality struktury povrchu lze využít statistické metody, jejichž součástí je teorie hypotéz. Aby bylo co vyhodnocovat, je nutné nejprve povrchy změřit. Způsoby měření a vyhodnocení struktury povrchu jsou popsány v normách ČSN ISO 4287 a ČSN ISO 4288.

V diplomové práci je provedeno měření struktury povrchu tří nepokovených a tří pokovených vzorků vyrobených v různých časech. Měření je provedeno podle výše uvedených norem. Naměřená data jsou popsána popisnou statistikou, vyhodnocena pomocí analýzy rozptylů (ANOVA) a porovnána. Cílem práce je určit, zda tři nepokovené a tři pokovené výrobky mají stejnou kvalitu struktury povrchu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TECHNOLOGIE POKOVOVÁNÍ POLYMERNÍCH DÍLŮ

Kovovým povlakem na povrchu polymerního výrobku se dosáhne jednak efektního kovového vzhledu a také změn řady vlastností: celkově se zlepší mechanické vlastnosti, zmenší se navlhavost, propustnost pro kapaliny a plyny, zlepší se tvarová stálost proti působení zvýšené teploty, výrazně se sníží stárnutí plastu, materiál se stane vodivým. [1]

Pokovování plastů přináší oproti kovovým dílům úsporu hmotnosti. Pokovené díly nevyžadují žádné další mechanické úpravy a znamenají pro designéra velkou volnost v konstrukci dílů. [2]

Povrch výrobků je třeba před pokovováním upravit, aby bylo dosaženo dobré adheze na polymerní povrch. Úprava povrchu spočívá v jemném zdrsnění a odmaštění, v leptání (HF, směsí H_2SO_4 a CrO_3) a v povrchovém zcitlivění palladiem, stříbrem, nebo vysokofrekvenčním paprskem. Díly nesmí mít vady, nesmí být mastné, povrch musí být dokonale čistý, neboť platí, že kovový povlak vadu ještě zvýrazní. [1, 3] Vhodnými plasty pro adhezivní uchycení kovu jsou např. ABS, PP nebo PVC. [3]

Kovový povrch na plastovém dílu lze vytvořit:

- Chemickým pokovováním
- Galvanickým pokovováním
- Pokovováním ve vakuu (Fyzikální pokovování)
- Speciálními postupy [1]

1.1 Chemické pokovování (bezproudové)

Při této technologii se kov vylučuje na povrchu předmětů z roztoku soli povlakového kovu působením redukčního činidla buď trvale obsaženého v pokovovací lázni, nebo je redukční činidlo dodáváno až na speciálně upravený povrch předmětů. Tímto způsobem se plasty pokovují mědí, niklem, stříbrem a zlatem. Kovová vrstva se vylučuje rovnoměrně po celém povrchu i u složitých výrobků a dosažitelná tloušťka je kolem 10 μm . [1]

1.2 Galvanické pokovování

Tato technologie spočívá ve vyloučení kovu z roztoku účinkem stejnosměrného elektrického proudu. Základní vodivá vrstva na plastu se vytváří chemickým pokovením. Dosažitel-

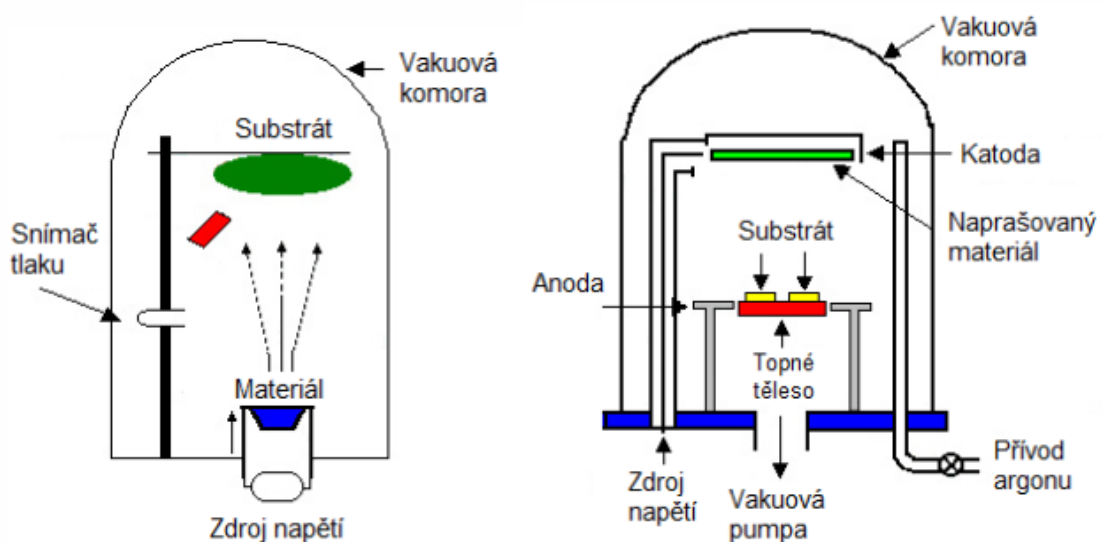
ná tloušťka kovové vrstvy není omezena a může se skládat i z více vrstev, nanesených postupně. Galvanicky se pokovují téměř všechny termoplasty, ale nejlepších výsledků bylo dosaženo u ABS, kde je nejlepší adheze. [1]

1.3 Vakuové pokovování

Požadovaný kov se napařuje, nebo napařuje na plast.

Napařování probíhá za tlaků (10^{-3} Pa až 1 Pa) a za teplot, při kterých dochází k natavení požadovaného kovu a lze nanášet velmi tenké kovové vrstvy (0,1 až 1 μm) na široké spektrum podkladových materiálů.

Napařování probíhá v reaktivní atmosféře (za tlaků 0,1 – 10 Pa). Pomocí PVD-technologií se nejčastěji nanáší hliník.



Obr. 1 Vakuové napařování vlevo a vakuové napařování vpravo [3]

Nanesená vrstva kovu přesně kopíruje povrch výrobku. Pokovením se docílí vytvoření reflexní vrstvy nebo dekorativního kovového vzhledu - chromování.

Vakuové pokovování je vhodné pro výrobky z plastických hmot, lamináty, fólie, lehké kovy sklo a další materiály. Touto technologií nelze pokovovat materiály s porézní strukturou, znečištěné a mastné povrchy.

Nejčastěji používaným materiálem pro vakuové pokovení je hliník (Al). Touto technologií lze nanášet i další ryzí kovy, jako je měď, nikl, chrom, stříbro, zlato a další. Pro zvýšení trvanlivosti pokovu a užitečných vlastností výrobků aplikujeme povrchové krycí laky s vysokou mechanickou a chemickou odolností. [3]



Obr. 2 Ukázka pokovených výrobků [4]

Možnosti použití:

Elektrotechnika

Komponenty osvětlovacích těles, nanášení elektrovedivých vrstev

Automobilový průmysl

Reflektory, renovace parabol

Stavebnictví, domácnost

Komponenty sanitárních výrobků, prvky pro stavebnictví, nábytkové a interiérové doplňky, výrobky pro domácnost

Ozdobnictví a dekorace

Reklamní předměty, vývěsní štíty a loga, trofeje, poháry, originální umělecká díla, obaly a uzávěry kosmetických výrobků, součásti hraček a modelů. [2, 4]

1.4 Speciální postupy pokovování

Speciální postupy pokovování jsou založeny buď na žárovém stříkání kovů, které však musí mít teplotu tání nižší, než je teplota degradace plastu, nebo se kovový povlak vytváří z plynné fáze za působení tepla. [1]

1.5 Měření pokovených dílů

Vizuální zhodnocení povrchu pokovených dílů

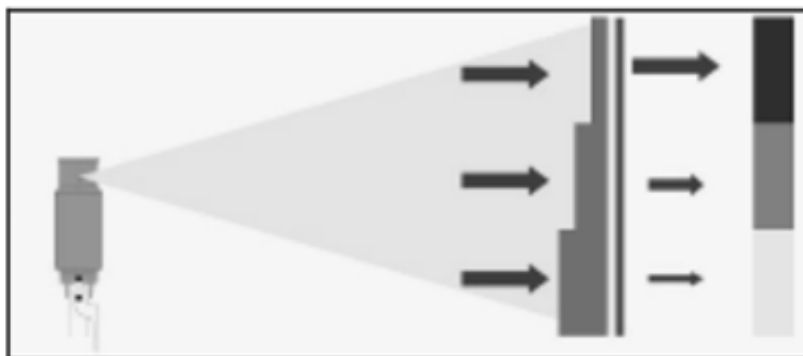
Kromě použití lupy a mikroskopu lze použít přístroj SpectraLight QC test box. Tento přístroj slouží ke kontrole barevného rozdílu vzorku a daného výrobku komparační metodou. Přístroj obsahuje sedm světelných zdrojů. Filtrované wolframové halogenové denní světlo poskytuje nejpřesnější simulaci denního světla k dispozici pro optimální vizuální hodnocení. Vestavěné snímače automaticky nastavují napětí zářivky, aby dosáhly okamžité stability a kompenzovaly změny výkonu lampy po mnoha hodinách provozu. Každý přístroj začíná náročnou UV kalibrací. [5]



Obr. 3 Přístroj SpectralLight QC test box [5]

Radiografie

Film je prozařován přes testovaný objekt. V místě nejmenší absorpce záření je film nejtmavší. Absorpce je dána tloušťkou materiálu a druhem materiálu.



Obr. 4 Princip radiografie [6]

Coulometrie

Tloušťka vrstev je měřena elektrolytickým rozkladem vrstev. Coulometrie je elektroanalytická metoda založená na úplné přeměně stanovované látky na elektrodě. V coulometrii se pro stanovení množství látky používá přesné měření velikosti prošlého náboje během reakce. Elektrodová reakce musí na pracovní elektrodě probíhat vždy se 100% proudovým výtěžkem tak, že na elektrodě probíhá pouze jediná reakce. Tato metoda může být použita na jakýkoliv vícevrstevnatý materiál ať kovový, či nekovový. [7]

Hmotnost stanovované látky je vypočtena dle vztahu (1), kde náboj je vypočítán jako součin proudu prošlého za čas reakce:

$$m = \frac{QM}{zF} \quad (1)$$



Obr. 5 Couloskop na měření tloušťky vrstev [8]

2 STRUKTURA POVRCHU

Strukturou povrchu se rozumí část geometrických úchylek skutečného povrchu s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností.

Struktura povrchu se skládá se tří hlavních útvarů.

Tvar - obecný tvar s největší vlnovou délkou po vyloučení drsnosti a vlnitosti, který je způsoben nevhodným způsobem obrábění nebo omezením zvolené technologie (teplo vznikající ve výrobě, nebo při obrábění, nedostatečná tuhost).

Vlnitost - část struktury povrchu s nižší vlnovou délkou po vyloučení drsnosti. Často je způsobována chvěním, deformací obrobku, či zpevněním materiálu, nebo vlivem stroje (neváženost sklíčidla).

Drsnost - nepravidelnosti s nejnižší vlnovou délkou vzniklé výrobním procesem (pohyb nástroje po obrobku) a mechanismem tvorby třísky. [9]

2.1 Normy zabývající se strukturou povrchu

Základní ČSN EN ISO normy týkající se struktury povrchu jsou ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288. [10, 11] Níže uvedené termíny jsou citovány z těchto norem.

2.1.1 ČSN EN ISO 4287:1999 Geometrické požadavky na výrobky (GPS)

Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu

„Tato mezinárodní norma je normou Geometrických požadavků na výrobky. Věnuje se termínům, definicím a parametrům pro určování struktury povrchu profilovou metodou. Jedná se o pojmy profilu drsnosti, vlnitosti a základního profilu.“

Termíny a definice

- **Filtr profilu**

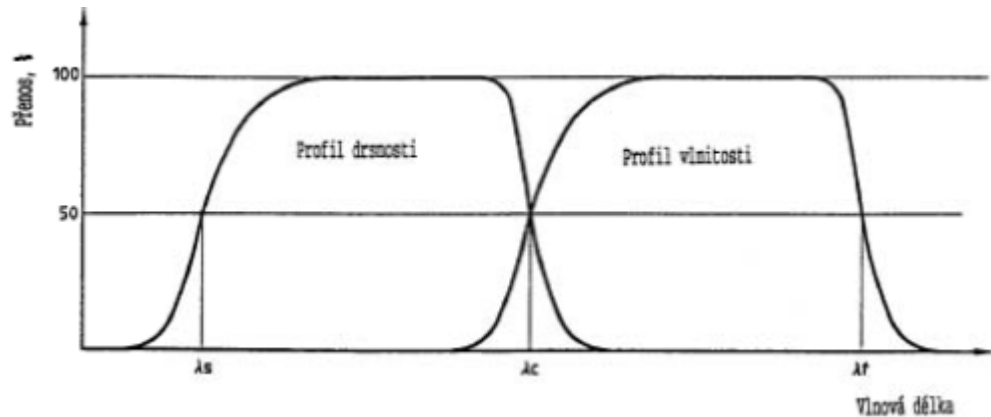
„Filtr profilu rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky.“

„ **λ_s filtr profilu** je filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu.“

„ **λ_c filtr profilu** je filtr definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti.“

„ λ f filtr profilu je filtr definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu.

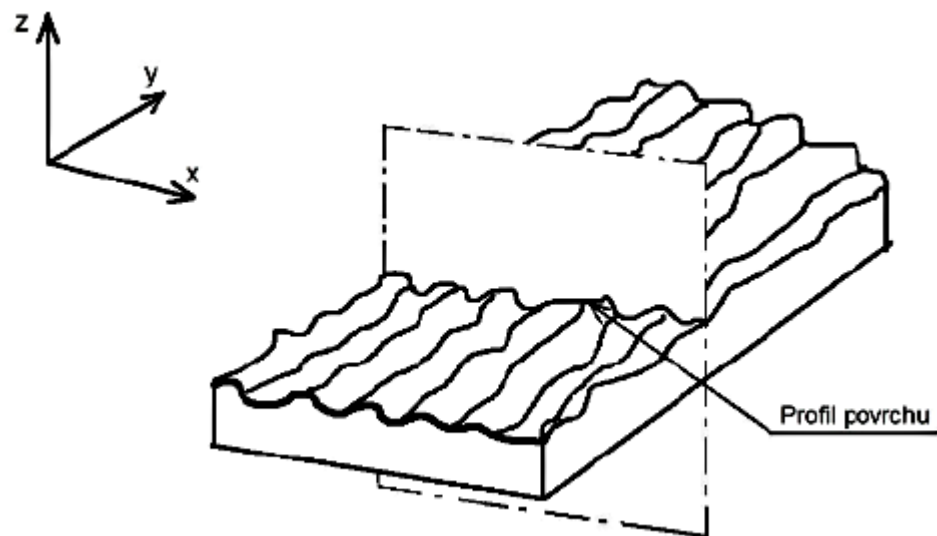
Tyto filtry mají stejné přenosové charakteristiky, ale rozdílné hodnoty mezní vlnové délky cut - off.“



Obr. 6 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [10]

- **Profil povrchu**

„Profil povrchu je profil vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny.“



Obr. 7 Profil povrchu[10]

Základní profil

„Základní profil je základem pro hodnocení parametrů základního profilu.“



Obr. 8 Základní profil [9]

Profil drsnosti

„Profil drsnosti je profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λ_c .“



Obr. 9 Profil drsnosti [9]

Profil vlnitosti

„Profil vlnitosti je profil odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a filtru profilu λ_c na základní profil.“



Obr. 10 Profil vlnitosti [9]

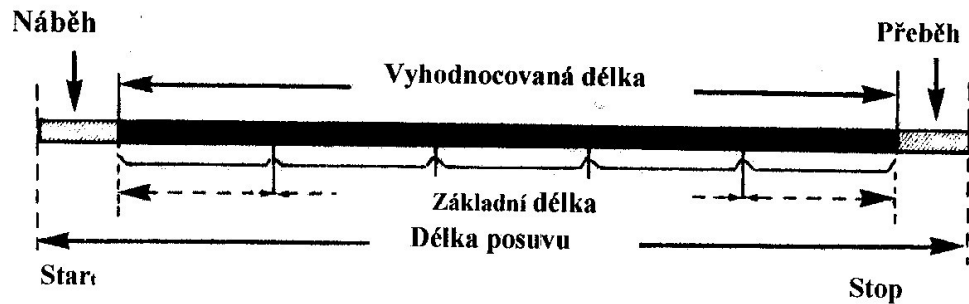
Střední čára - Čára probíhající středem vrcholů a prohlubní, kdy součet ploch ohraničených profilem nerovnosti nad touto čarou je roven součtu ploch pod touto čarou. [9]

Základní délka l_p , l_r , l_w

„Základní délka pro základní profil l_p se rovná vyhodnocované délce.“

Základní délka pro drsnost l_r je číselně rovná charakteristické vlnové délce profilového filtru λ_c .

Základní délka pro profil vlnitosti l_w je číselně rovná charakteristické vlnové délce profilového filtru λ_f .“



Obr. 11 Základní a vyhodnocovaná délka [9]

Vyhodnocovaná délka l_n

„Je to délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Může obsahovat jednu, nebo více základních délek.“

- **Názvy geometrických parametrů**

„**P-parametr:** Je parametr vypočítaný ze základního profilu.“

„**R-parametr:** Je parametr vypočítaný z profilu drsnosti.“

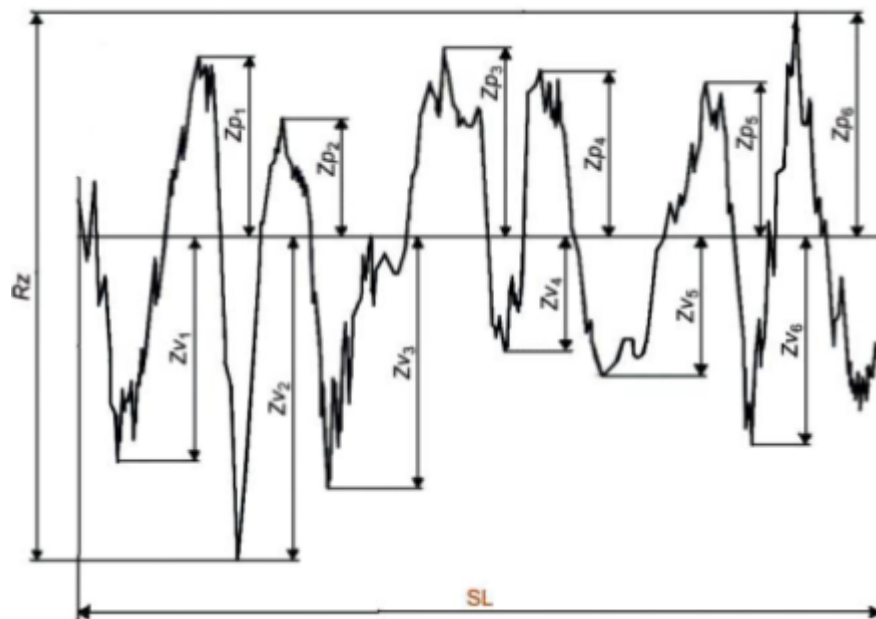
„**W-parametr:** Je parametr vypočítaný z profilu vlnitosti.“

„**Materiálová délka profilu na úrovni c, $MI(c)$:** Součet délek úseků získaných protnutím prvku profilu čarou rovnoběžnou s osou X v dané úrovni c.“

Definice parametrů profilu povrchu

- **Výškové parametry (výstupky a prohlubně)**

„**Největší výška výstupku profilu R_p :** Výška Z_p nejvyššího výstupku profilu v rozsahu základní délky.“



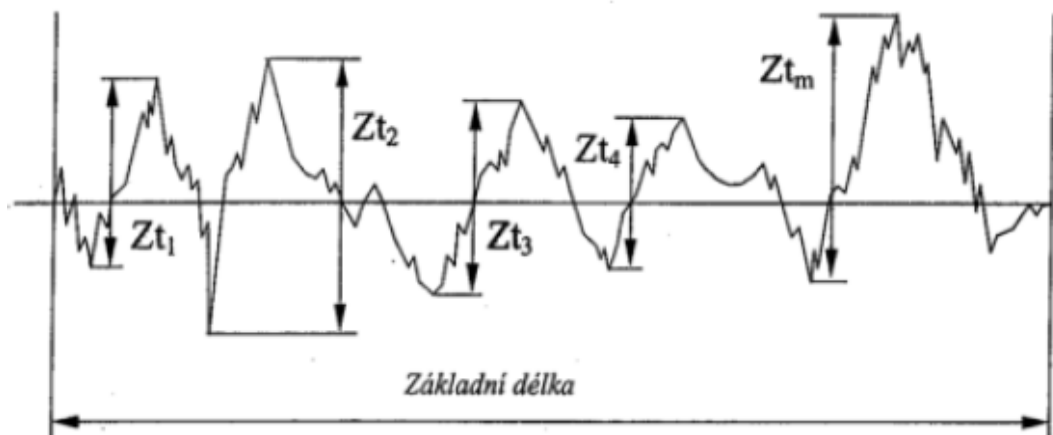
Obr. 12 Největší výška výstupku a hloubka prohlubně profilu [10]

„**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 profilu v rozsahu základní délky.“

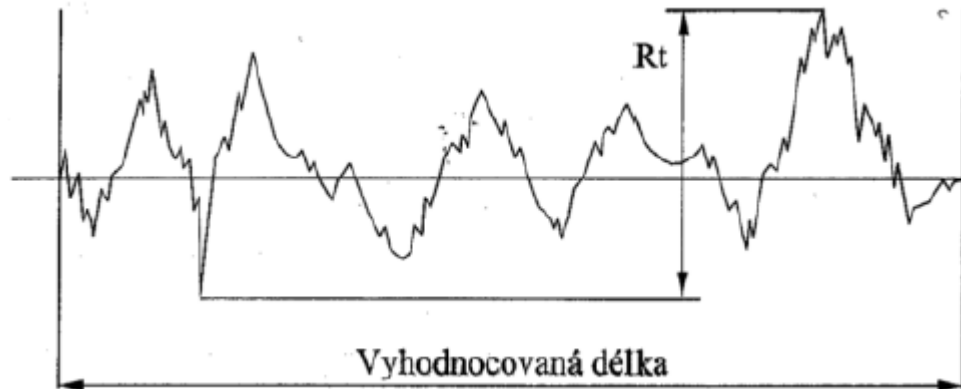
„**Průměrná výška prvků profilu R_c** : Průměrná hodnota výšek Z_t prvků profilu v rozsahu základní délky.“

$$R_c = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{t_i} \quad (2)$$



Obr. 13 Průměrná výška prvků profilu [10]

„**Celková výška profilu R_t** : Součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky.“



Obr. 14 Celková výška profilu [10]

- **Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic)**

„**Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu R_a** : Aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky.“

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



Obr. 15 Aritmetická úchylka posuzovaného profilu [10]

„**Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu R_q** : Kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky.“

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx} \quad (4)$$

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

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^3(x)| dx \right] \quad (5)$$

„**Špičatost posuzovaného profilu Rku:** Podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic $Z(x)$ a čtvrté mocniny hodnoty Rq v rozsahu základní délky.“

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^4 x| dx \right] \quad (6)$$

Hodnota šikmosti nemůže ukázat, zda vrcholy jsou rozloženy rovnoměrně kolem střední čáry. Toto umožňuje hodnota špičatosti. Vysoké hodnoty špičatosti odpovídají špičatému profilu a nízké hodnoty profilu zaoblenému. [9]

- **Délkové parametry**

„**Průměrná šířka prvků profilu RSm:** Aritmetický průměr šířek X_s prvků profilu v rozsahu základní délky.“

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m XSl \quad (7)$$

- **Křivky a odpovídající parametry**

„**Materiálový poměr profilu (nosný podíl) Rmr(c):** Poměr délky materiálu elementů profilu $Ml(c)$ na dané úrovni c , k vyhodnocované délce.“

$$Rmr(c) = \frac{Ml(c)}{ln} \quad (8)$$

„**Křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka):** (Abbott Firestoneova křivka). Křivka představující materiálový poměr profilu v závislosti na výšce úrovně.“

2.1.2 ČSN EN ISO 4288:1999 Geometrické požadavky na výrobky (GPS)

Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy posuzování struktury povrchu

Tato norma určuje pravidla pro srovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi, které jsou stanoveny pro parametry struktury povrchu v ISO 4287 a v dalších normách. Dále popisuje standardní pravidla pro volbu mezních vlnových délek λ_c pro parametry profilu drsnosti podle ISO 4287. [11]

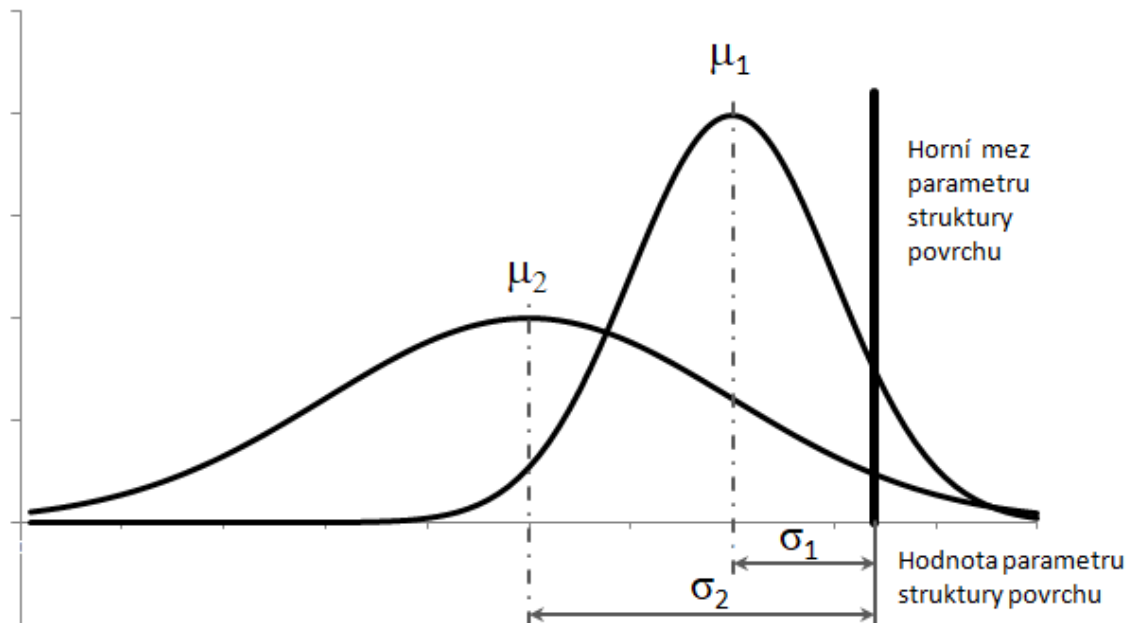
Pravidla pro srovnání měřených hodnot s tolerančními mezemi

Za předpokladu, kdy se struktura povrchu jeví jednotvárně, hodnoty parametrů budou určeny z celého povrchu a budou porovnány s požadavky na výkresu. Jsou-li na povrchu jednotlivé plochy s výrazně rozdílnou strukturou, hodnoty parametrů z jednotlivých rozdílných ploch budou porovnávány s výkresem odděleně. [11]

Změřené hodnoty parametrů musí být porovnány se specifikovanými mezními hodnotami s uvážením nejistot měření dle ISO 14253-1. Druhou možností je porovnávat měřené hodnoty s 16% horními a dolními mezemi. Nehomogenity povrchu jsou již započítány tímto 16% přírůstkem. [11]

- **Pravidlo 16 %**

Požadavky specifikované horní/dolní mezí parametru jsou považovány za přijatelné, jestliže více/méně než 16 % všech změřených hodnot vybraných parametrů, které jsou zjišťované na vyhodnocované délce, přesahuje/je menších než hodnota uvedená na výkresu. Platí závislost, že čím je větší směrodatná odchylka hodnot σ , tím dál se nachází aritmetický průměr μ od 16% meze. [11]



Obr. 16 Horní mez parametru struktury povrchu [11]

- **Pravidlo maxima**

„Ani jedna z měřených hodnot parametru nesmí překročit hodnotu uvedenou na výkresu.“

Hodnocení parametrů profilu drsnosti

„Rýhy a póry nesmí být při kontrole struktury povrchu uvažovány.“

Spolehlivost rozhodnutí, zda je povrch vyhovující, či nikoliv a přesnost průměrné hodnoty parametru struktury povrchu závisí na počtu základních délek ve vyhodnocované délce a na počtu vyhodnocovaných délek. Pokud se vyhodnocovaná délka pro R-parametry nerov-

ná pěti základním délkám, je jejich horní a dolní mez přepočítána a vztažena k vyhodnocované délce rovnající se pěti základním délkám. Platí následující vztah, kde n je počet základních délek. [11]

$$\sigma_5 = \sigma_n \sqrt{\frac{n}{5}} \quad (9)$$

Tab. 1 Základní délky drsnosti pro měření Ra [11]

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

3 CHYBY, NEJISTOTY A INTERPRETACE VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

3.1 Chyby měření

Chyby měření značně ovlivňují a znehodnocují měření. Chyba měření je rozdíl mezi měřenou hodnotou a skutečnou hodnotou měřené veličiny.

Chyby se dělí na subjektivní a objektivní. Mezi subjektivní chyby lze zařadit omyly a hrubé chyby. Mezi objektivní chyby patří systematické a náhodné chyby.

Hrubé chyby často v praxi vznikají nepozorností pracovníka, který provádí měření nebo nesprávným nastavením měřicího zařízení. Výsledky zatížené hrubou chybou lze často snadno rozpoznat díky jejich výrazně rozdílné velikosti od ostatních naměřených výsledků. Pokud by se hrubé chyby neodstranily, tak dojde ke zkreslení hodnot charakteristik \bar{x} a s .

Aby bylo možné prohlásit výsledek za hrubou chybu a odstranit ho se souboru naměřených dat, tak je potřeba provést test odlehlých hodnot. Pokud je známá hodnota výběrového průměru a směrodatné odchylky, tak lze provést parametrický Grubbsův test odlehlých hodnot v případě, že data mají normální rozdělení. [12]

3.2 Nejistoty měření

Protože žádná měřicí metoda a ani žádný měřicí přístroj nejsou absolutně přesné, tak vznikají nejistoty měření. Nejistoty měření jsou vyvolány různými negativními jevy, které se vyskytují v průběhu měření a projevují se odchylkou mezi skutečnou a naměřenou hodnotou. Měření se poté pohybuje v tolerančním poli kolem skutečné hodnoty. [13]

"Nejistota měření je parametr přidružený k výsledku měření, který charakterizuje rozptyl hodnot, které by mohly být objektivně přisuzovány k dané veličině." [13]

Nejistoty měření se stanovují především při vyhodnocování měření ve výzkumu a v technické praxi, konkrétně pro:

- Experimentální ověřování fyzikálních zákonů a určování fyzikálních konstant.
- Vyhodnocování a měření primárních etalonů.
- Kalibrace sekundárních etalonů a pracovních měřidel.
- Typové zkoušky měřidel a jejich metrologických vlastností.
- Vyhodnocování přesných měření v oblasti zkušebnictví a kontroly jakosti výrobků.
- Při úředních měřeních podle Zákona o metrologii.

- A dalších přesných a závazných měření v technické praxi - přijímací a garanční zkoušky [13]

Standardní nejistoty typu A

Tyto nejistoty (u_A) jsou způsobeny náhodnými odchylkami, které vznikají z neznámých příčin. Stanovují se opakovaným měřením stejné hodnoty za stejných podmínek a následným statistickým vyhodnocením série měření. Předpokládá se existence náhodných chyb s normálním rozdělením. Nejistota klesá se stoupajícím počtem měření a jsou charakterizovány výběrovou směrodatnou odchylkou $s(x_i)$. [13]

$$u_A \equiv s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

Standardní nejistoty typu B

Tyto nejistoty (u_B) vznikají ze známých a odhadnutelných příčin. Jejich identifikaci a hodnocení provádí měřící pracovník a hodnotu nejistoty stanovuje jiným způsobem než statistickým vyhodnocením. Výsledná nejistota je dána sumací nejistot z jednotlivých zdrojů ($u_{z,i}$) a nezávisí na počtu opakovaných měření.

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_{z,i}^2} \quad (11)$$

Možné zdroje nejistot jsou např. nedokonalé měřicí přístroje, použité měřicí metody, nepřesné hodnoty konstant, způsob vyhodnocování. [13]

Kombinovaná standardní nejistota u_C

Kombinovaná standardní nejistota je získána součtem čtverců standardních nejistot typu A a typu B.

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (12)$$

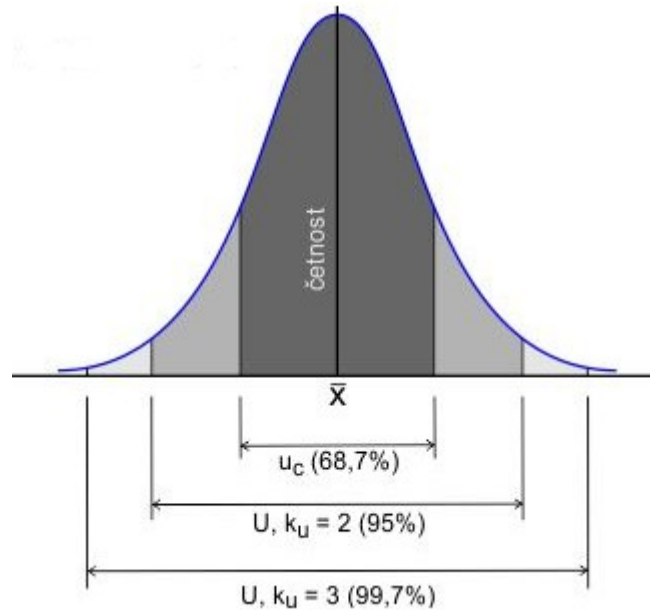
Pravděpodobnost, že skutečná hodnota leží v intervalu daném standardní nejistotou je pouze $\approx 68\%$ (1σ), a proto se v praxi používá častěji rozšířená standardní nejistota U . [13]

Rozšířená standardní nejistota U

Rozšířená standardní nejistota je poté definována jako součin u_C a koeficient rozšíření k_U .

$$U = u_C \cdot k_U \quad (13)$$

Nejběžněji se využívá koeficient rozšíření $k_U = 2$, pro pravděpodobnost $\approx 95\%$ (2σ), nebo $k_U = 3$, pro pravděpodobnost $\approx 99\%$ (3σ). [13]



Obr. 17 Gaussova křivka (normální rozdělení) [14]

3.3 Interpretace výsledků měření

Statistická interpretace výsledků je založena na odhadu průměru a intervalu spolehlivosti pro daný průměr. Metodika je zpracována v normě ČSN ISO 2602 Statistická interpretace výsledků zkoušek, odhad průměru a konfidenční interval. Cílem je určit interval, který s danou pravděpodobností pokrývá průměr souboru výsledků, který by mohl být získán z velkého souboru měření za stejných podmínek (základní statistický soubor). Pravděpodobnost je uvažována $100 \cdot (1 - \alpha) = 100 \cdot (1 - 0,05) = 95 \% \approx 2\sigma$. [15]

Základní statistický soubor o rozsahu N má parametry:

μ - střední hodnota

σ - směrodatná odchylka

σ^2 - rozptyl

Výběrový soubor o rozsahu n má parametry: [15]

\bar{x} - aritmetický průměr (odhad střední hodnoty základního souboru)

s - směrodatná odchylka (odhad směrodatné odchylky základního souboru)

s^2 - rozptyl (odhad rozptylu základního souboru)

Hodnota střední hodnoty μ se odhadne pomocí aritmetického průměru \bar{x} .

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (14)$$

Hodnota směrodatné odchylky σ se odhadne podle

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (15)$$

Spodní a horní mez intervalu spolehlivosti se pro pravděpodobnost $1-\alpha = 95\%$ určí jako

$$\bar{x} - \frac{t_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{n}} \cdot s < \mu < \bar{x} + \frac{t_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{n}} \cdot s \quad (16)$$

4 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je změřit a porovnat tři pokovené a nepokovené, neboli základní vzorky, které jsou vyrobeny v různých časech, zda mají stejnou kvalitu struktury povrchu. Struktura povrchu vzorků bude bezkontaktně měřena na měřícím zařízení Talysurf CLI 500. Naměřené parametry struktury povrchu budou statisticky vyhodnoceny popisnou statistikou. Pro parametry struktury povrchu Ra a Rz bude zobrazen graf časové řady. Nakonec bude zjišťována shoda rozptylů a středních hodnot parametrů Rz a Ra metodou analýzy rozptylů (ANOVA) pro data nepocházející z normálního rozdělení, neboť struktura měřeného povrchu je heterogenní, výstupky a údolí nejsou po povrchu rozloženy rovnoměrně.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 MATERIÁL

Akrylonitrilbutadienstyren neboli ABS je běžný termoplastický amorfní polymer. Vzniká kombinací monomerů akrylonitrilu, butadienu a styrenu.

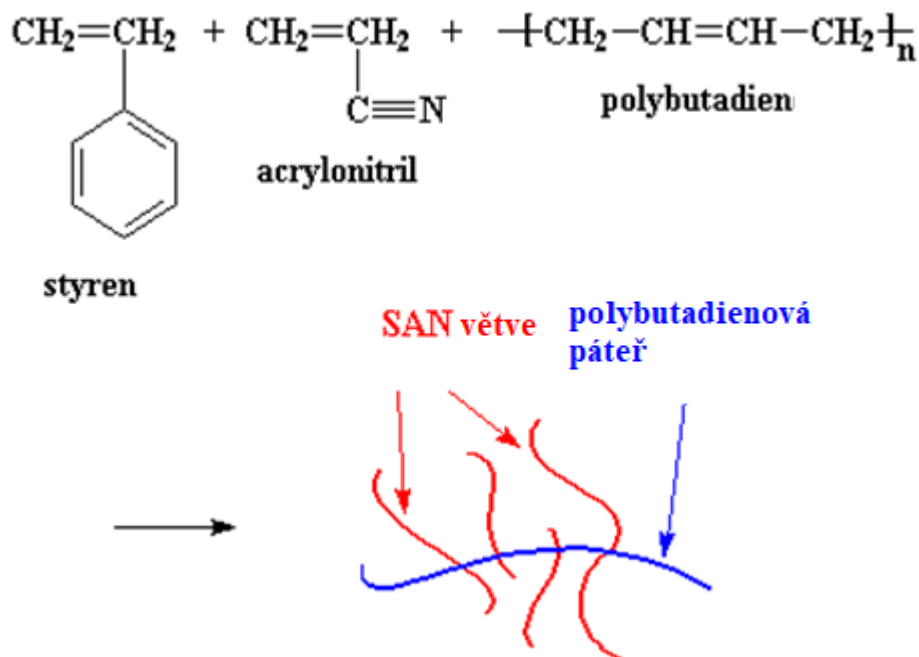
5.1 Výroba

Základem výroby termopolymeru je oddělená příprava elastomeru PB (polybutadien) s následnou dispergací elastomeru v kopolymeru SAN (kopolymer styren-akrylonitril).

Dispergace buď mísením PBS kaučuku se SAN na strojích, nebo roubováním styrenu a akrylonitrilu na kaučuk a smícháním produktů se SAN. Druhým způsobem vzniká nejkvalitnější produkt.

Provedení je nejčastěji emulzní, následuje smíchání obou vzniklých latexů.

Je také možné provádět kopolymeraci styrenu s akrylonitrilem v přítomnosti polybutadienového latexu. [16]



Obr. 18 Kopolymer akrylonitril-butadien-styren (ABS) modifikovaný polystyren-co-maleimidem (SMI) [16]

5.2 Vlastnosti ABS

Akrylonitril dodává polymeru dobré tepelné vlastnosti, pevnost a chemickou odolnost.

Polybutadien dodává houževnatost, zachování vlastností za nízkých teplot a ohebnost.

Styren přispívá dodáním tuhosti, lesku a snadnějším zpracováním.

Je tvrdý, lesklý, povrch je možné pokovovat (polární nitrilové skupiny).[16]

Použití v intervalu: -40 až + 80 °C

Vlastnosti při 23 °C a 50% vlhkosti:

Hustota: 1,04 g/cm³

Modul pružnosti v tahu: E = 2210 MPa

Modul pružnosti v ohybu: E = 2270 MPa

Mez průtažnosti: 43 MPa

Mez pevnosti: 70 MPa

Rázová houževnatost: 21 kJ/m² [17]

5.3 Chromování

Chromování může být provedeno např. dle podnikové normy Volkswagenu AG TL 528 D.

Barva pokovení je lesklý chrom odstín 2ZZ.

Použití této úpravy je vhodné pro venkovní použití a vhodné pro vysoce korozivní prostředí. Materiál není odolný vůči chloridu vápenatému a hořečnatému. [18]



Obr. 19 Zkoumané pokovené vzorky

Celkem jsou nanášeny tři druhy kovů. Spodní vrstva je z mědi, druhá z niklu a svrchní vrstva je z chromu. Tloušťky jednotlivých vrstev jsou uvedeny v Tab. 2.

Kontroly vrstev jsou provedeny rentgenovým paprskem a coulometricky. Minimální a maximální hodnoty jsou určeny jako extrémní deseti měření rentgenovým paprskem a třech měření coulometricky.

Tab. 2 Složení vrstev a jejich minimální a maximální tloušťka [19]

| Prvek | Min. tloušťka vrstvy [μm] | Max. tloušťka vrstvy [μm] |
|-------|--|--|
| Cu | 38,0 | 55,0 |
| Ni | 16,9 | 26,0 |
| Cr | 0,3 | 1,1 |

6 MĚŘENÍ

Povrchy byly měřeny bezkontaktně laserovým paprskem na měřicím zařízení Talysurf CLI 500 od společnosti Taylor Hobson. Společnost byla založena roku 1886. Její hlavní náplní byla výroba optických čoček pro kinematografický průmysl. Pro výrobu ještě přesnějších čoček začala společnost ve 40. letech 20. století vyrábět vlastní měřicí zařízení pro měření struktury povrchu. O tyto přístroje byl velký zájem a tak odstartovala etapa výroby pro metrologický průmysl a stala se světovou špičkou v tomto odvětví. [20]

6.1 Měřicí zařízení Talysurf CLI 500



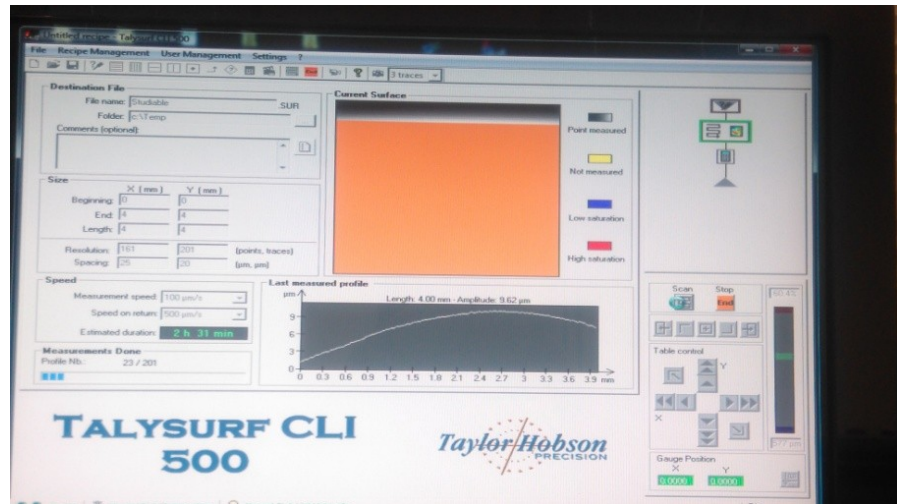
Obr. 20 Měřicí zařízení Talysurf CLI 500

Tab. 3 Parametry Talysurf CLI 500

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

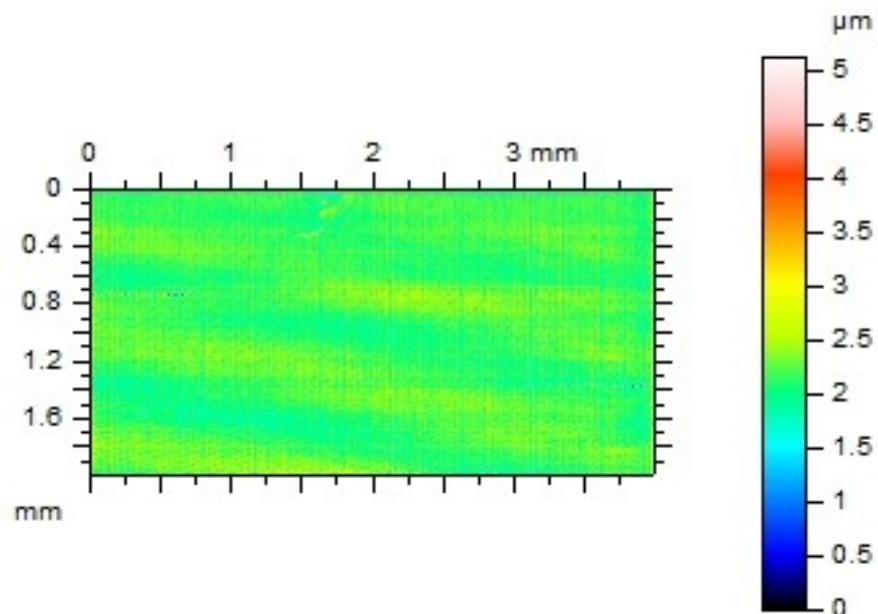
6.2 Naměřená data

Snímání povrchu bylo provedeno na obdélníkové ploše na třech dvojicích vzorků o rozměrech XY 2x4 mm. Rozlišení řezů je 5 μm v obou směrech. Z toho vyplývá, že je naměřeno 401 řezů ve směru kolmo na osu Y a 801 řezů ve směru kolmo na osu X. Rychlost posuvu byla nastavena na 500 $\mu\text{m/s}$.

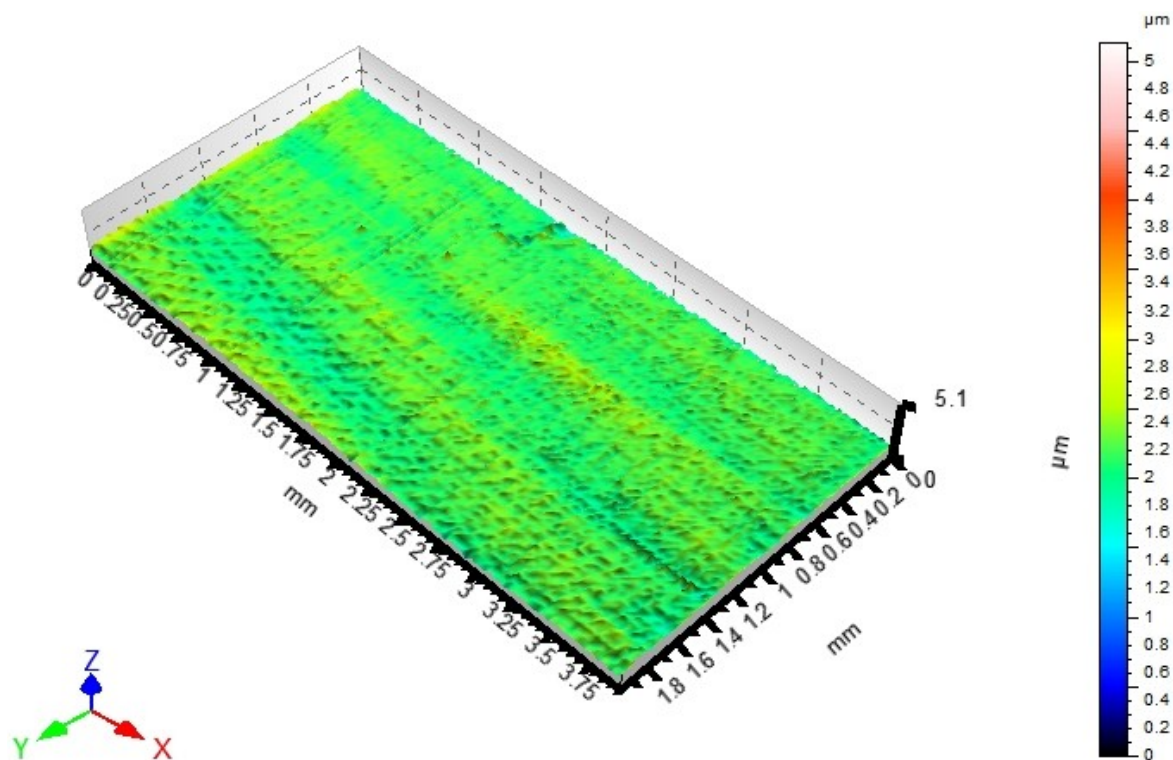


Obr. 21 Ukázka rozhraní programu TalyMap

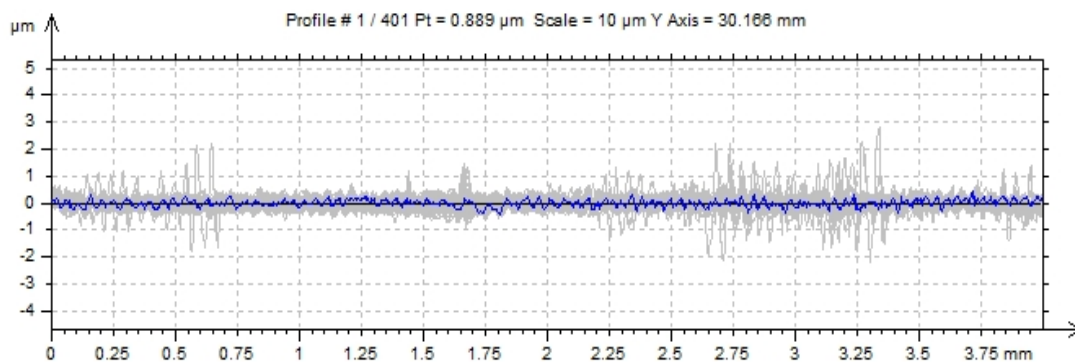
13.00 - Základní vzorek



Obr. 22 Drsnost vzorku - 13.00 - Základní vzorek

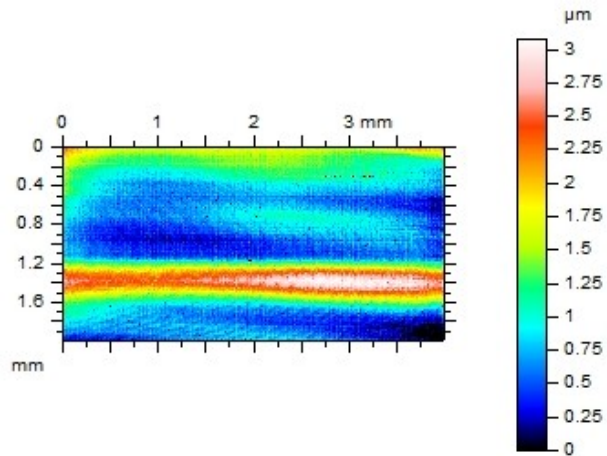


Obr. 23 3D pohled na vzorek - 13.00 - Základní vzorek

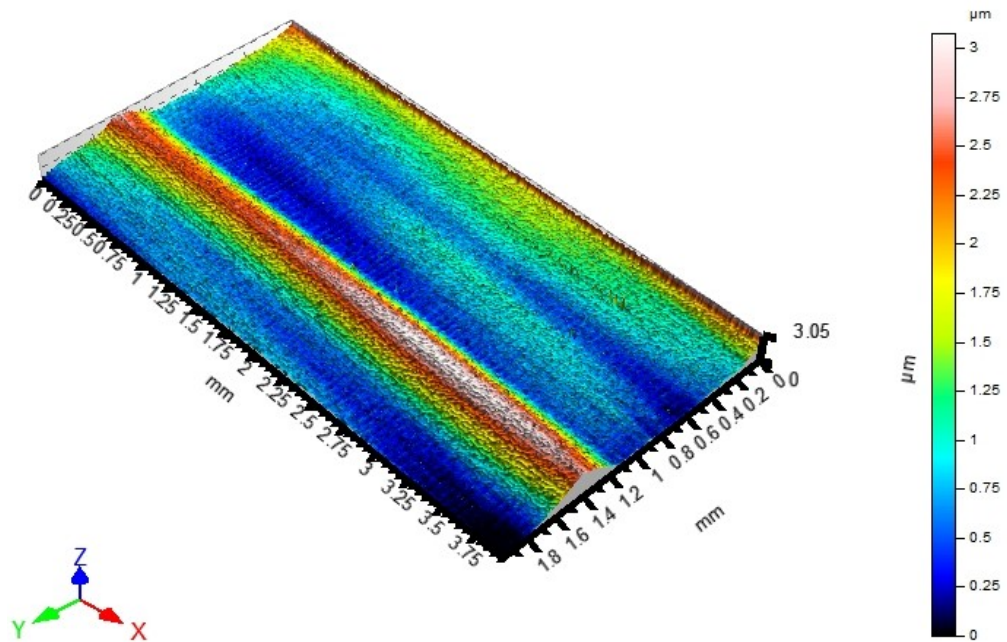


Obr. 24 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 13.00 - Základní vzorek

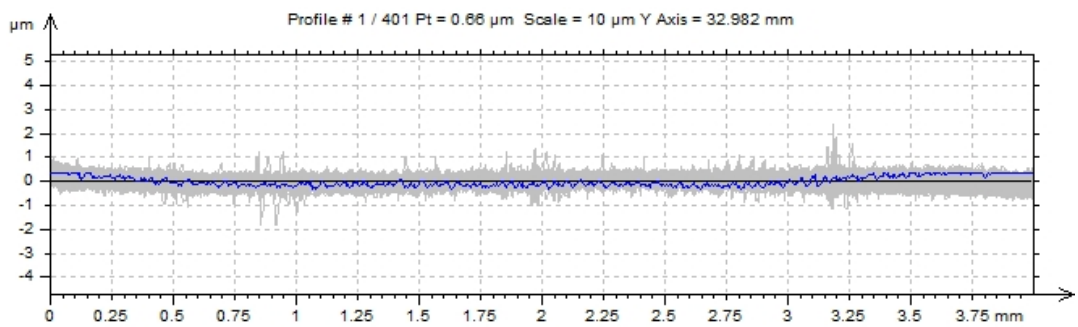
13.00 - Pokovený vzorek



Obr. 25 Drsnost vzorku - 13.00 - Pokovený vzorek

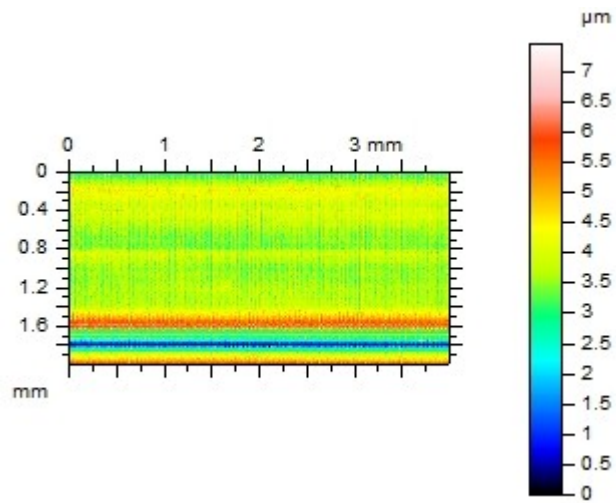


Obr. 26 3D pohled na vzorek - 13.00 - Pokovený vzorek

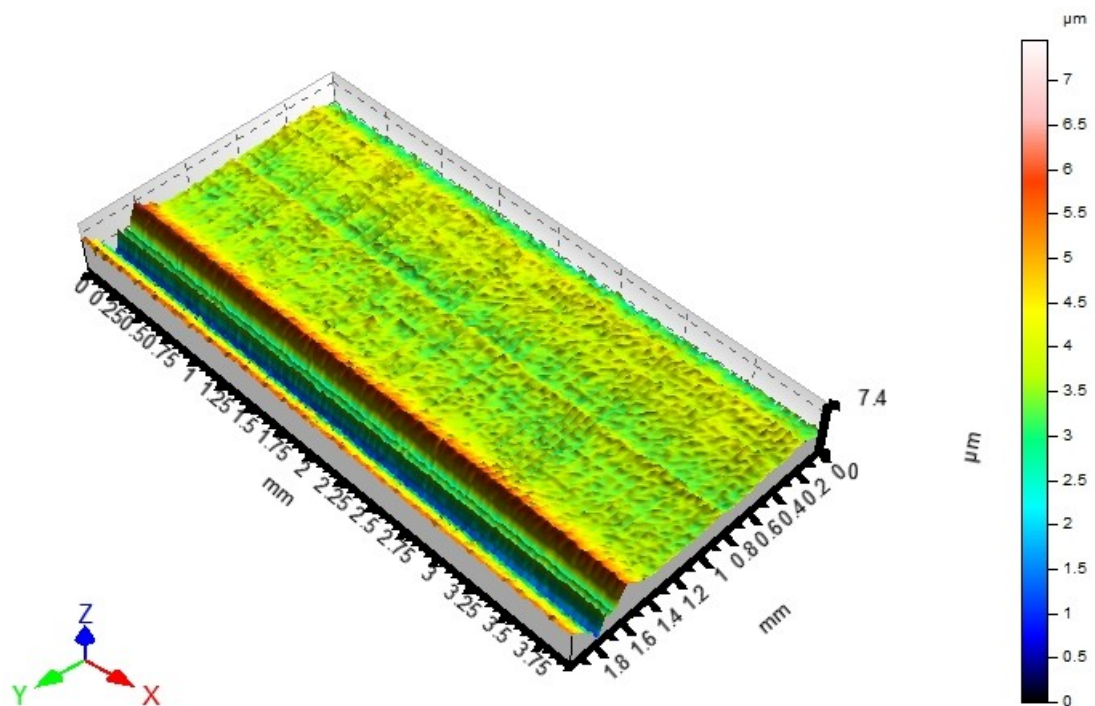


Obr. 27 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 13.00 - Pokovený vzorek

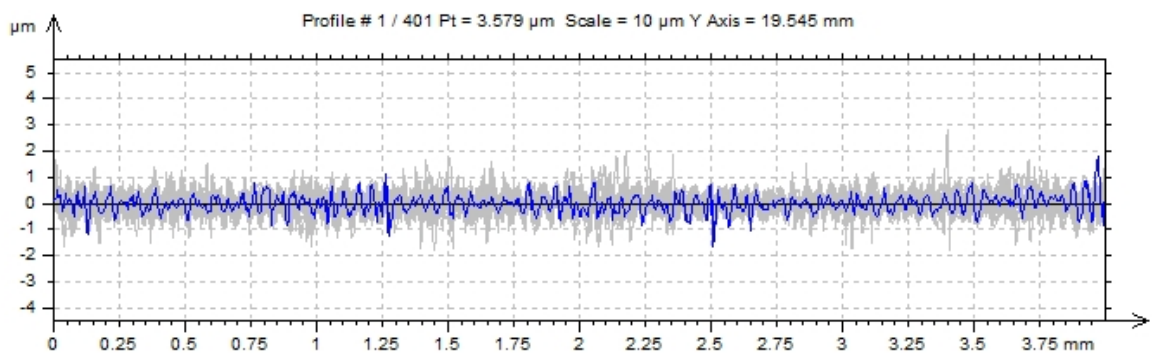
15.00 - Základní vzorek



Obr. 28 Drsnost vzorku - 15.00 - Základní vzorek

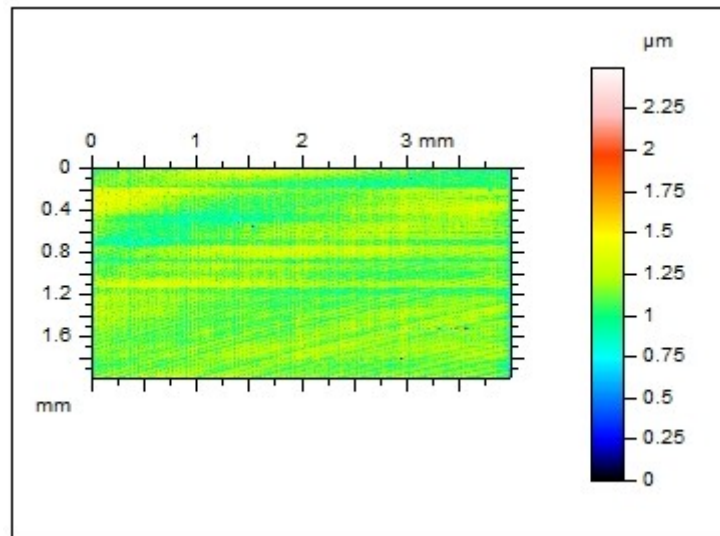


Obr. 29 3D pohled na vzorek - 15.00 - Základní vzorek

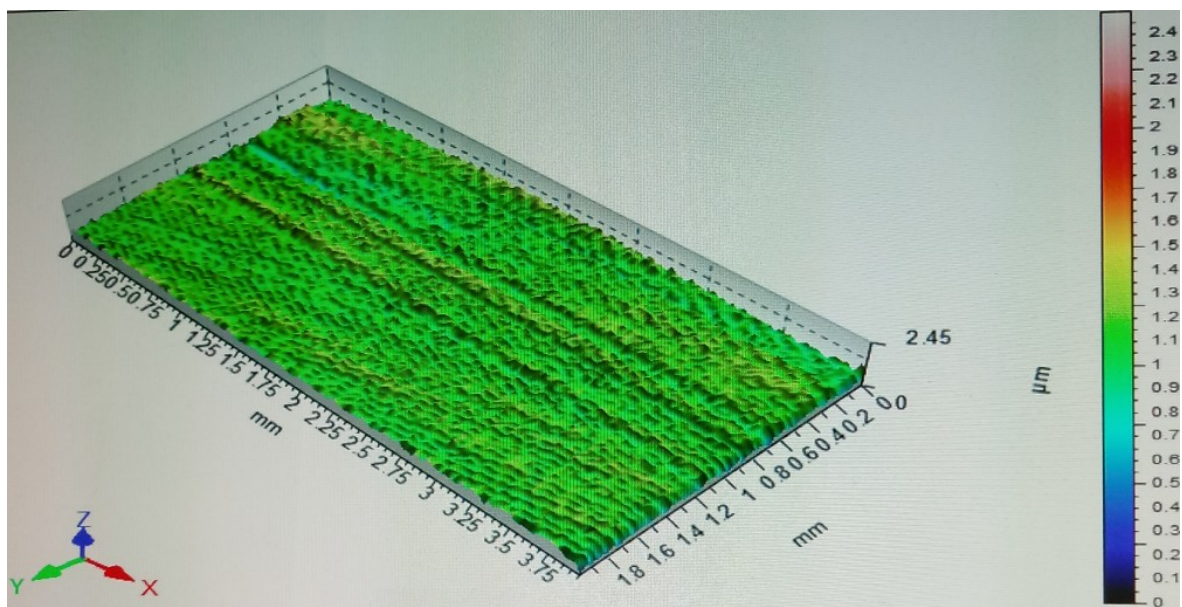


Obr. 30 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 15.00 - Základní vzorek

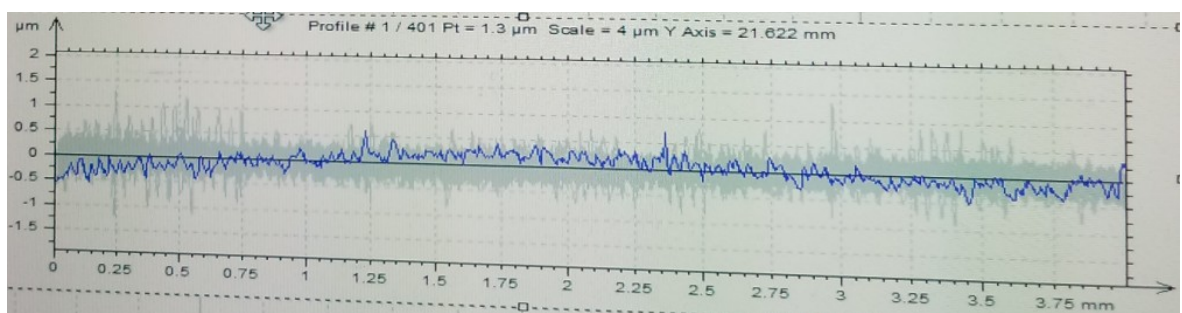
15.00 - Pokovený vzorek



Obr. 31 Drsnost vzorku - 15.00 - Pokovený vzorek

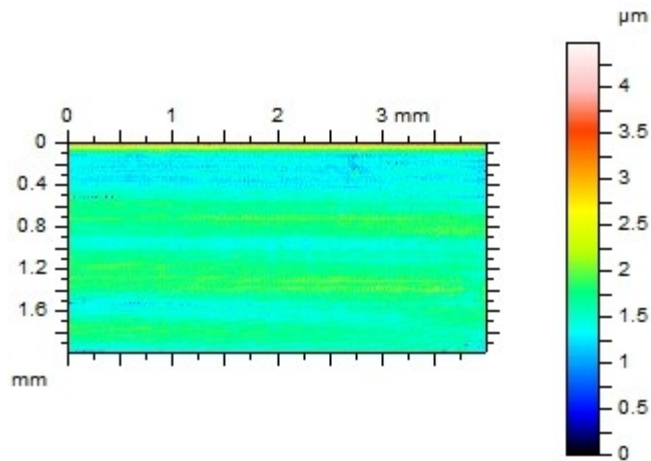


Obr. 32 3D pohled na vzorek - 15.00 - Pokovený vzorek

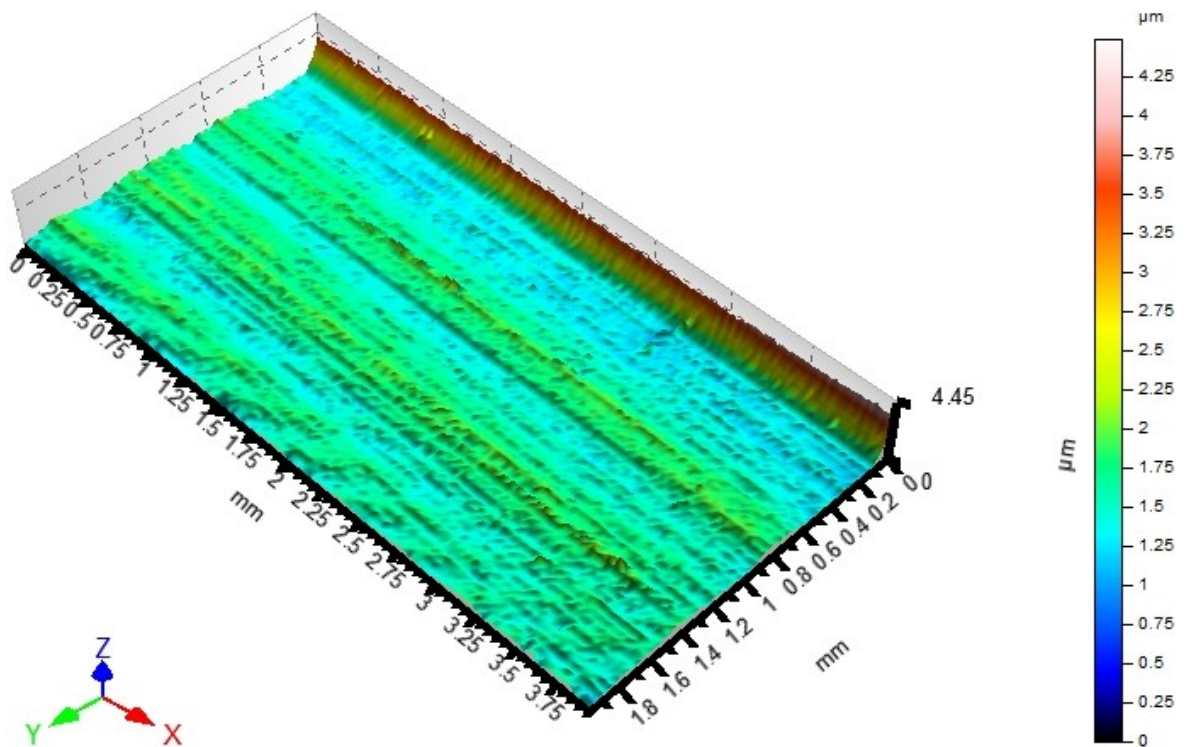


Obr. 33 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 15.00 - Pokovený vzorek

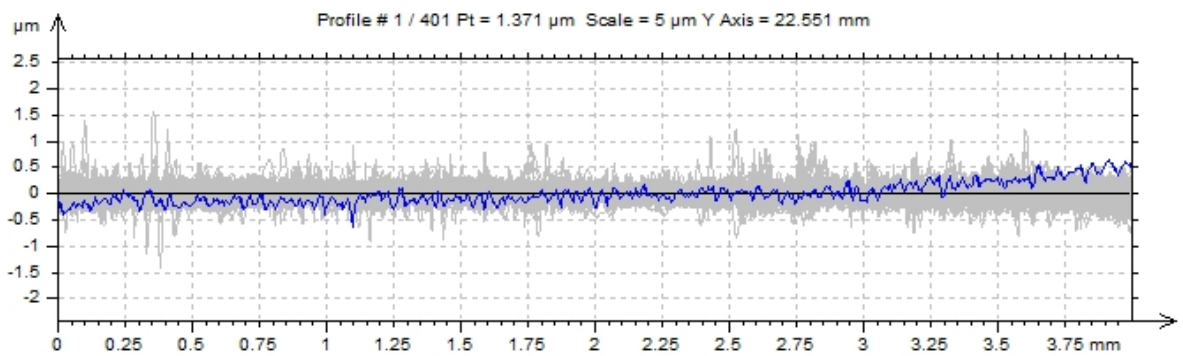
21.00 - Základní vzorek



Obr. 34 Drsnost vzorku - 21.00 - Základní vzorek

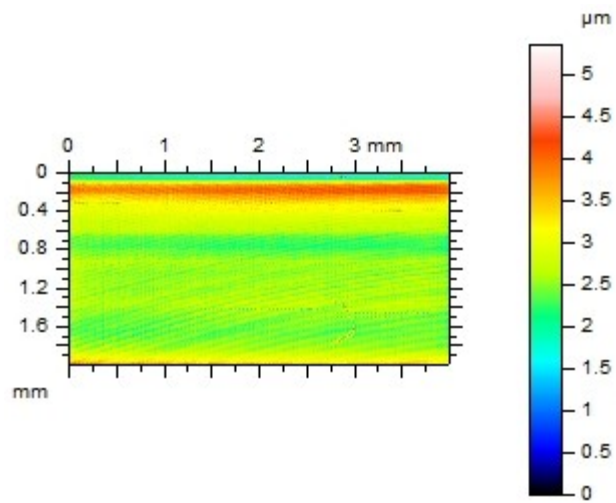


Obr. 35 3D pohled na vzorek - 21.00 - Základní vzorek

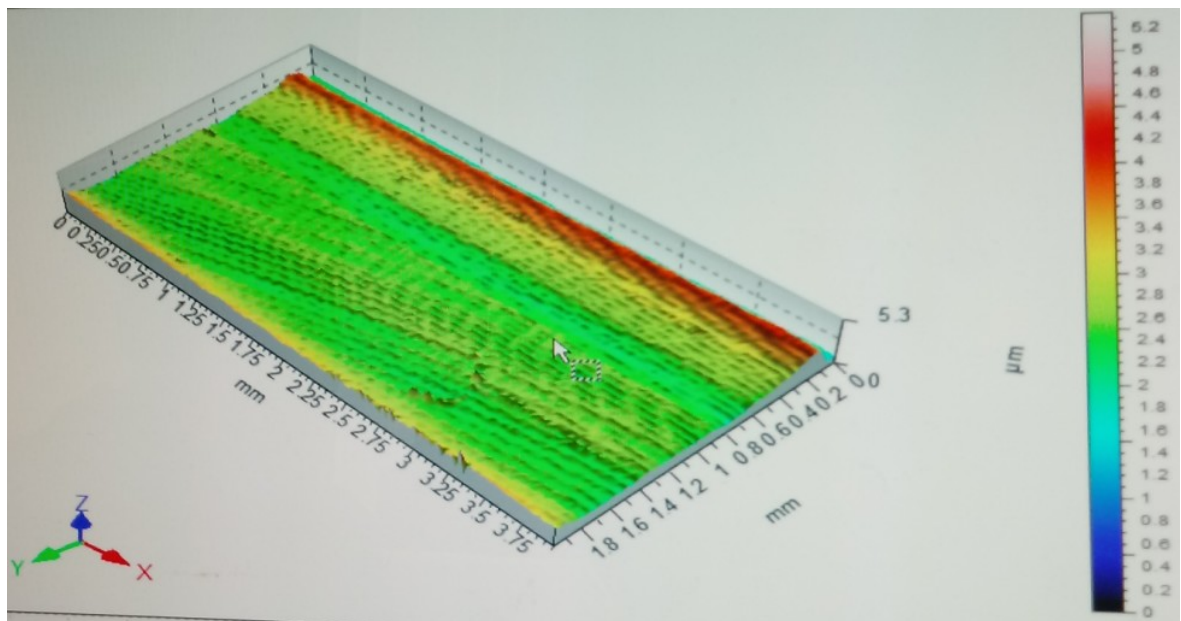


Obr. 36 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 21.00 - Základní vzorek

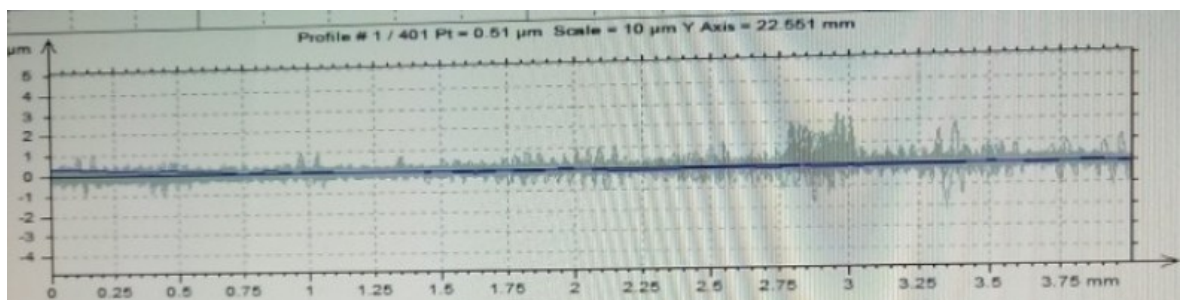
21.00 - Pokovený vzorek



Obr. 37 Drsnost vzorku - 21.00 - Pokovený vzorek



Obr. 38 3D pohled na vzorek - 21.00 - Pokovený vzorek



Obr. 39 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 21.00 - Pokovený vzorek

7 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ

Cílem statistického vyhodnocení v praktické části je porovnat, zda pokovené a základní vzorky vyrobené v různých časech mají shodnou kvalitu struktury povrchu. Zpracování naměřených dat proběhlo v programu Minitab.

Protože povrch měřených vzorků je heterogenní, tak není zajištěna normalita naměřených dat. Na naměřených datech je provedena popisná statistika a pro parametry Ra a Rz jsou zobrazeny grafy časové řady. Nakonec je pomocí testu rozptylů a středních hodnot (ANOVA) vyhodnoceno, zda se kvalita struktury povrchu pro vzorky vyrobené v různých časech shoduje, nebo je rozdílná.

7.1 Popisná statistika

Na naměřených datech byla provedena základní popisná statistika. Její výsledky jsou shrnuty do Tab. 4 - Tab. 15.

Aritmetický průměr datového souboru. [21]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (17)$$

Medián dělí datový soubor na dvě stejně velké poloviny. [21]

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} & \text{liché } n \\ \frac{1}{2} \left(x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)} \right) & \text{sudé } n \end{cases} \quad (18)$$

Rozptyl je charakterizován jako průměrný čtverec vzdáleností od průměru. [21]

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (19)$$

Směrodatná odchylka je charakterizována jako druhá odmocnina z rozptylu. [21]

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (20)$$

Šikmost (skewness) je určen podle vztahu (21) a vyjadřuje, jak symetricky jsou data rozdělena kolem \bar{x} . Hodnoty koeficientu šikmosti blízké nule odpovídají symetrickému rozdělení. Kladné hodnoty odpovídají zešikmení vpravo a záporné hodnoty zešikmení vlevo. Čím jsou hodnoty vyšší, tím jsou data nahuštěna více k průměrné hodnotě. [22]

$$A_3 = \frac{1}{ns^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (21)$$

Špičatost (kurtosis) je určen podle vztahu (23) a vyjadřuje, jak moc je datový soubor špičatý. Hodnoty koeficientu špičatosti nižší než 0 se o souboru mluví jako o plochém a pro hodnoty vyšší než nula jako o souboru špičatém. [22]

$$A_4 = \frac{1}{ns^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 - 3 \quad (23)$$

Tab. 4 Popisná statistika - 13.00_Zákl._OsaY

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,2685 | 0,2645 | 0,5331 | 0,2388 | 0,7757 | 0,0763 | 0,0972 |
| Medián | 0,260 | 0,261 | 0,526 | 0,235 | 0,735 | 0,075 | 0,095 |
| Rozptyl | 0,0027 | 0,0015 | 0,0061 | 0,0010 | 0,0327 | 0,0001 | 0,0002 |
| Standardní odchylka | 0,0535 | 0,0383 | 0,0779 | 0,0320 | 0,1813 | 0,0105 | 0,0131 |
| Šikmost | 1,87 | 0,63 | 1,18 | 0,81 | 2,34 | 0,76 | 0,86 |
| Špičatost | 6,16 | 0,33 | 2,92 | 1,65 | 8,84 | 0,68 | 1,24 |

Tab. 5 Popisná statistika - 13.00_Zákl._OsaX

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,3571 | 0,3481 | 0,7038 | 0,2455 | 0,9173 | 0,0788 | 0,1047 |
| Medián | 0,292 | 0,305 | 0,633 | 0,242 | 0,771 | 0,078 | 0,102 |
| Rozptyl | 0,0371 | 0,0214 | 0,0584 | 0,0011 | 0,1625 | 0,0001 | 0,0003 |
| Standardní odchylka | 0,1927 | 0,1464 | 0,2417 | 0,0327 | 0,4031 | 0,0082 | 0,0158 |
| Šikmost | 2,63 | 2,30 | 1,52 | 0,86 | 1,78 | 0,47 | 1,25 |
| Špičatost | 8,49 | 6,45 | 2,40 | 0,92 | 3,10 | 0,22 | 2,31 |

Tab. 6 Popisná statistika - 13.00_Pokov._OsaY

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,1637 | 0,1746 | 0,3390 | 0,1534 | 0,4783 | 0,0485 | 0,0621 |
| Medián | 0,158 | 0,162 | 0,323 | 0,150 | 0,446 | 0,047 | 0,060 |
| Rozptyl | 0,0006 | 0,0024 | 0,0041 | 0,0004 | 0,0157 | 0,0000 | 0,0001 |
| Standardní odchylka | 0,0250 | 0,0486 | 0,0639 | 0,0209 | 0,1252 | 0,0063 | 0,0088 |
| Šikmost | 1,20 | 2,06 | 1,26 | 0,81 | 1,67 | 0,63 | 0,86 |
| Špičatost | 1,96 | 6,58 | 1,81 | 0,59 | 3,58 | -0,05 | 0,48 |

Tab. 7 Popisná statistika - 13.00_Pokov._OsaX

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,8729 | 0,3762 | 1,2527 | 0,4581 | 1,6893 | 0,1469 | 0,1996 |
| Medián | 0,836 | 0,387 | 1,213 | 0,432 | 1,605 | 0,153 | 0,203 |
| Rozptyl | 0,0124 | 0,0045 | 0,0252 | 0,0186 | 0,0557 | 0,0004 | 0,0006 |
| Standardní odchylka | 0,1114 | 0,0673 | 0,1587 | 0,1362 | 0,2360 | 0,0208 | 0,0251 |
| Šikmost | 1,14 | 0,02 | 0,69 | 0,85 | 1,04 | -0,28 | 0,00 |
| Špičatost | 0,53 | -0,89 | -0,61 | 0,41 | 0,13 | -1,29 | -1,37 |

Tab. 8 Popisná statistika - 15.00_Zákl._OsaY

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,5704 | 0,5728 | 1,1419 | 0,5576 | 1,3671 | 0,1781 | 0,2216 |
| Medián | 0,560 | 0,565 | 1,126 | 0,558 | 1,346 | 0,177 | 0,221 |
| Rozptyl | 0,0076 | 0,0061 | 0,0209 | 0,0045 | 0,0441 | 0,0005 | 0,0007 |
| Standardní odchylka | 0,0873 | 0,0780 | 0,1446 | 0,0668 | 0,2099 | 0,0220 | 0,0268 |
| Šikmost | 0,48 | 0,49 | 0,17 | 0,19 | 0,72 | 0,17 | 0,18 |
| Špičatost | 0,17 | 0,51 | -0,43 | -0,22 | 0,53 | 0,02 | 0,00 |

Tab. 9 Popisná statistika - 15.00_Zákl._OsaX

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 1,4001 | 0,6923 | 2,0939 | 1,4529 | 4,9780 | 0,2713 | 0,4045 |
| Medián | 1,394 | 0,672 | 2,079 | 1,517 | 4,995 | 0,270 | 0,403 |
| Rozptyl | 0,0103 | 0,0130 | 0,0283 | 0,0483 | 0,0426 | 0,0003 | 0,0004 |
| Standardní odchylka | 0,1016 | 0,1139 | 0,1681 | 0,2197 | 0,2065 | 0,0168 | 0,0201 |
| Šikmost | 0,39 | 1,09 | 0,61 | -1,26 | -0,14 | 0,12 | 0,05 |
| Špičatost | 0,39 | 1,81 | 0,72 | 1,03 | -0,30 | -0,44 | -0,49 |

Tab. 10 Popisná statistika - 15.00_Pokov._OsaY

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,2384 | 0,2416 | 0,4801 | 0,2163 | 0,6750 | 0,0718 | 0,0901 |
| Medián | 0,230 | 0,236 | 0,470 | 0,212 | 0,661 | 0,071 | 0,089 |
| Rozptyl | 0,0016 | 0,0014 | 0,0044 | 0,0006 | 0,0124 | 0,0001 | 0,0001 |
| Standardní odchylka | 0,0403 | 0,0372 | 0,0664 | 0,0244 | 0,1113 | 0,0076 | 0,0098 |
| Šikmost | 0,84 | 0,96 | 0,55 | 0,63 | 0,85 | 0,56 | 0,56 |
| Špičatost | 0,56 | 1,42 | -0,38 | 0,06 | 0,85 | 0,14 | -0,10 |

Tab. 11 Popisná statistika - 15.00_Pokov._OsaX

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,2925 | 0,3046 | 0,5961 | 0,2482 | 0,7147 | 0,0861 | 0,1091 |
| Medián | 0,284 | 0,298 | 0,590 | 0,246 | 0,682 | 0,086 | 0,109 |
| Rozptyl | 0,0024 | 0,0020 | 0,0043 | 0,0005 | 0,0203 | 0,0000 | 0,0000 |
| Standardní odchylka | 0,0492 | 0,0446 | 0,0656 | 0,0231 | 0,1423 | 0,0052 | 0,0066 |
| Šikmost | 1,18 | 1,14 | 0,55 | 0,52 | 1,17 | 0,23 | 0,43 |
| Špičatost | 2,32 | 2,17 | 0,22 | 0,20 | 1,25 | -0,20 | 0,26 |

Tab. 12 Popisná statistika - 21.00_ Zákl._ OsaY

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,1989 | 0,1877 | 0,3871 | 0,1740 | 0,6140 | 0,0561 | 0,0711 |
| Medián | 0,186 | 0,180 | 0,370 | 0,169 | 0,543 | 0,055 | 0,069 |
| Rozptyl | 0,0027 | 0,0018 | 0,0072 | 0,0010 | 0,0598 | 0,0002 | 0,0002 |
| Standardní odchylka | 0,0521 | 0,0429 | 0,0850 | 0,0315 | 0,2445 | 0,0109 | 0,0131 |
| Šikmost | 1,15 | 0,96 | 0,93 | 0,86 | 1,68 | 0,97 | 0,66 |
| Špičatost | 1,26 | 0,92 | 0,59 | 0,32 | 3,24 | 1,05 | -0,04 |

Tab. 13 Popisná statistika - 21.00_ Zákl._ OsaX

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 1,1084 | 0,4413 | 1,5499 | 0,4741 | 2,3669 | 0,1655 | 0,2535 |
| Medián | 1,085 | 0,434 | 1,535 | 0,461 | 2,322 | 0,165 | 0,252 |
| Rozptyl | 0,0116 | 0,0023 | 0,0128 | 0,0061 | 0,0404 | 0,0000 | 0,0000 |
| Standardní odchylka | 0,1076 | 0,0480 | 0,1131 | 0,0778 | 0,2010 | 0,0052 | 0,0082 |
| Šikmost | 0,95 | 1,12 | 0,69 | 0,87 | 1,07 | 0,41 | 0,38 |
| Špičatost | 0,62 | 1,88 | 0,14 | 0,76 | 0,93 | 0,70 | -0,37 |

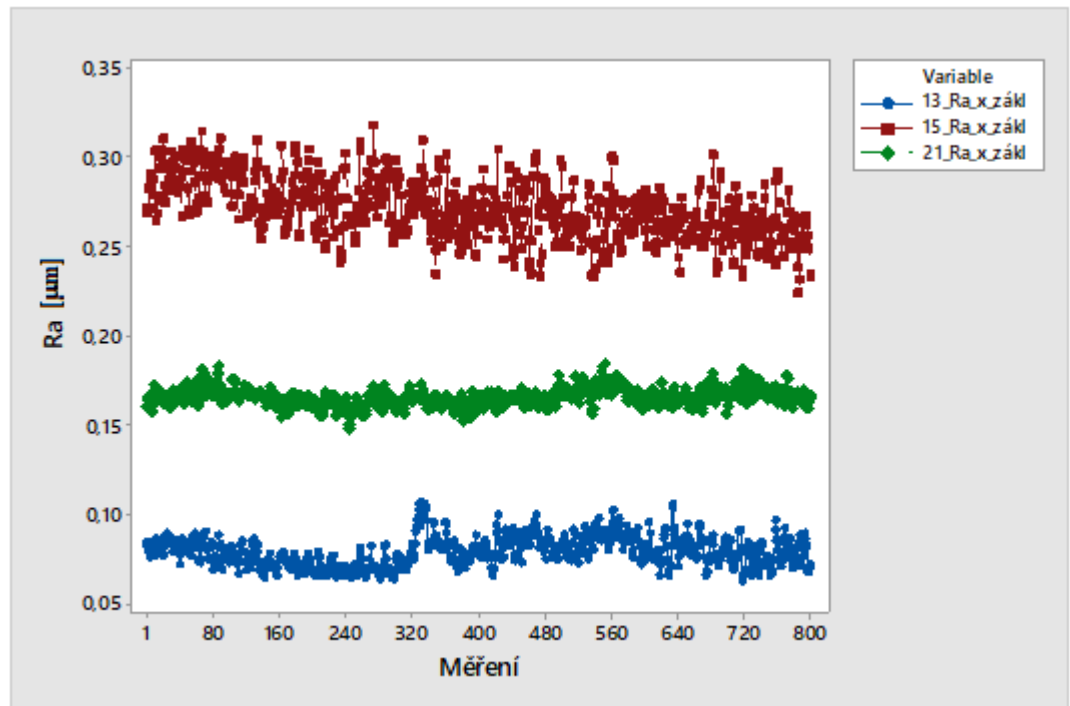
Tab. 14 Popisná statistika - 21.00_ Pokov._ OsaY

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,2497 | 0,2207 | 0,4702 | 0,2117 | 0,6734 | 0,0730 | 0,0925 |
| Medián | 0,214 | 0,214 | 0,431 | 0,207 | 0,546 | 0,073 | 0,089 |
| Rozptyl | 0,0104 | 0,0024 | 0,0187 | 0,0016 | 0,1084 | 0,0002 | 0,0004 |
| Standardní odchylka | 0,1021 | 0,0489 | 0,1368 | 0,0397 | 0,3293 | 0,0136 | 0,0203 |
| Šikmost | 1,84 | 0,99 | 1,23 | 0,39 | 1,80 | -0,54 | 0,69 |
| Špičatost | 3,58 | 4,15 | 1,96 | 0,84 | 2,46 | 1,38 | 1,83 |

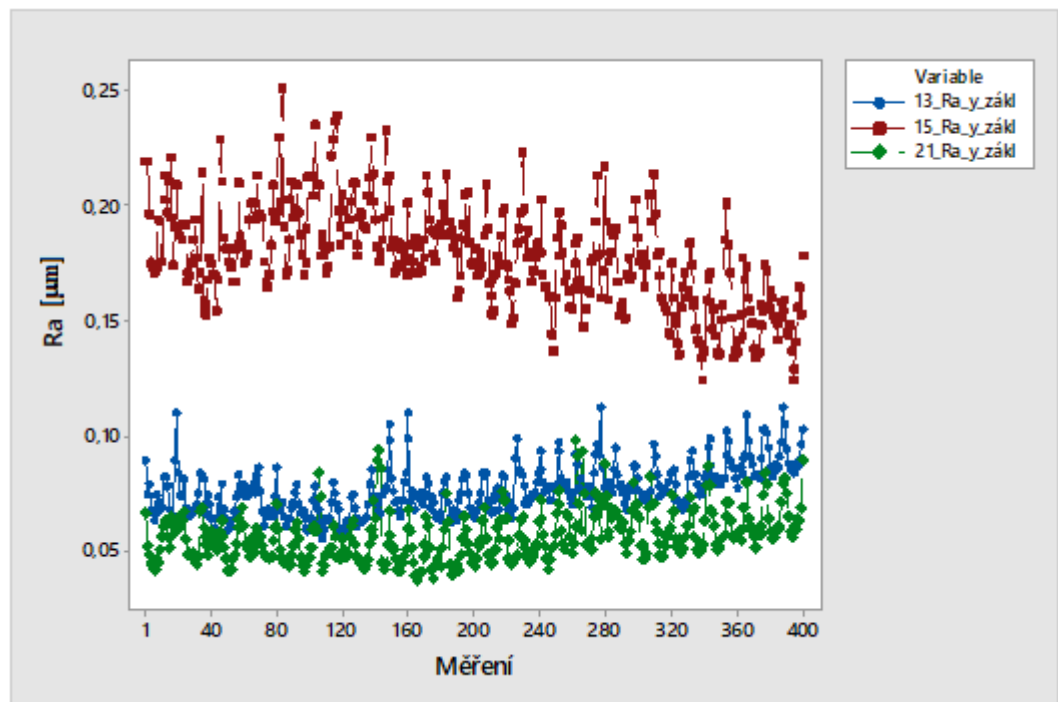
Tab. 15 Popisná statistika - 21.00_ Pokov._ OsaX

| | Rp [μm] | Rv [μm] | Rz [μm] | Rc [μm] | Rt [μm] | Ra [μm] | Rq [μm] |
|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Aritmetický průměr | 0,6568 | 0,7239 | 1,3806 | 0,4238 | 2,1399 | 0,2044 | 0,2906 |
| Medián | 0,634 | 0,708 | 1,362 | 0,401 | 2,117 | 0,209 | 0,297 |
| Rozptyl | 0,0128 | 0,0145 | 0,0393 | 0,0093 | 0,1010 | 0,0003 | 0,0008 |
| Standardní odchylka | 0,1132 | 0,1204 | 0,1982 | 0,0966 | 0,3178 | 0,0177 | 0,0286 |
| Šikmost | 2,82 | 1,54 | 1,62 | 2,39 | 1,68 | -0,34 | 0,04 |
| Špičatost | 12,97 | 4,85 | 6,04 | 7,66 | 5,19 | -0,89 | 0,02 |

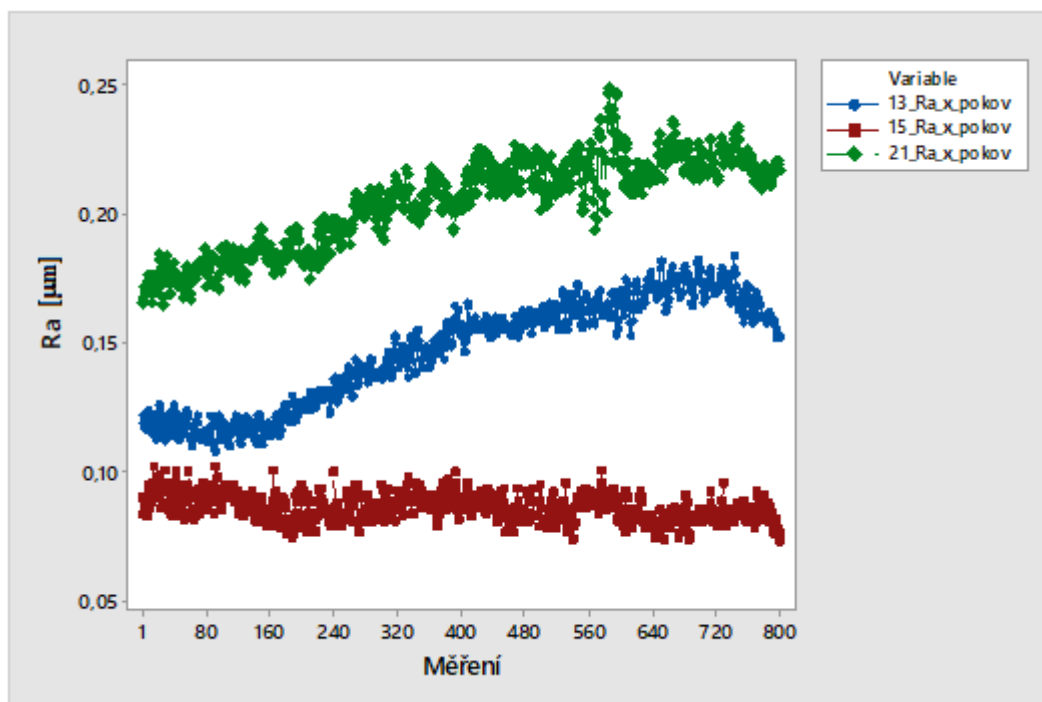
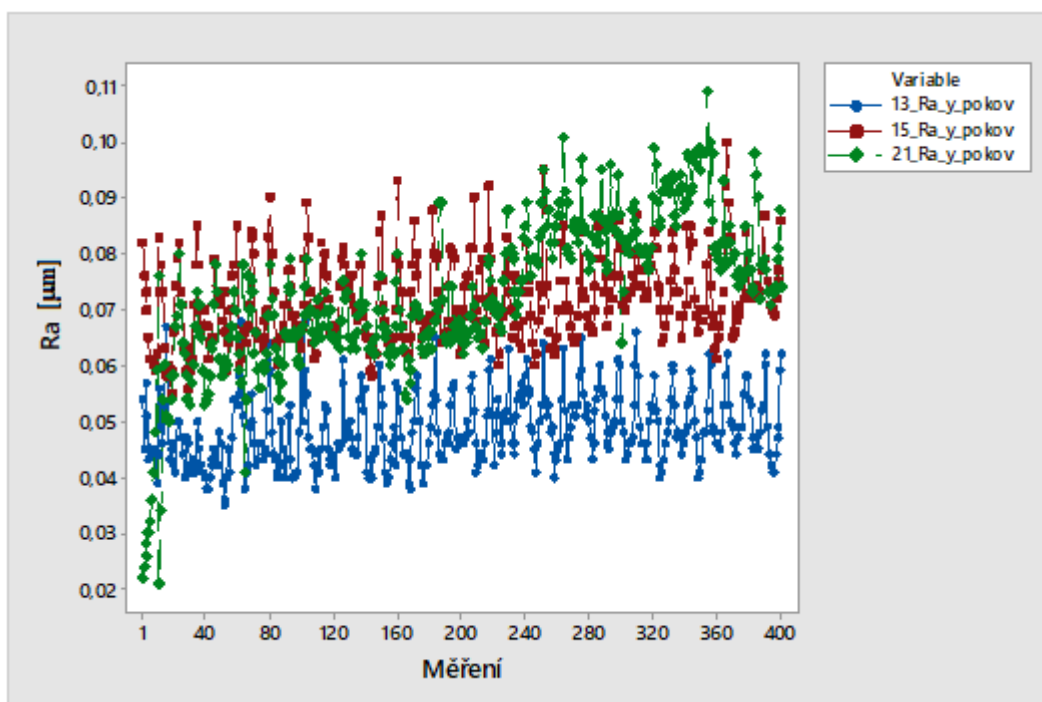
Na grafech časových řad pro parametry Ra a Rz na Obr. 40 - 47 je vidět rozložení naměřených dat pro osu X a Y. Krok mezi jednotlivými měřeními je 5 μm . Z dat je vidět, že povrch vzorku je heterogenní a data nespĺňují normální rozdělení.

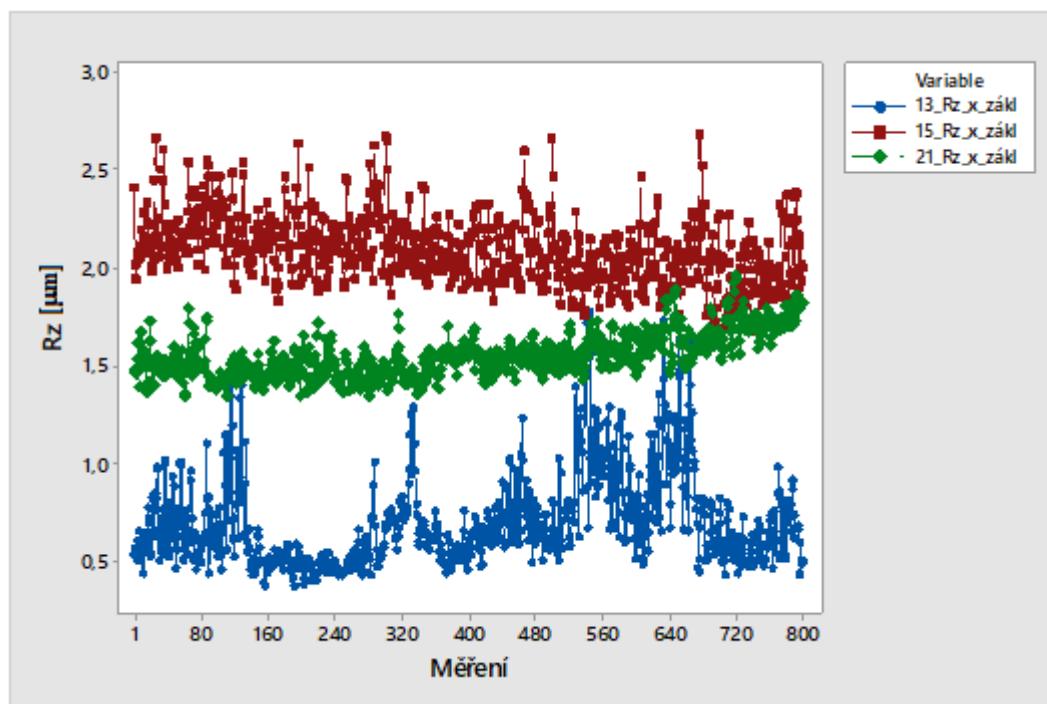


Obr. 40 Graf časové řady Ra pro osu X u základních vzorků

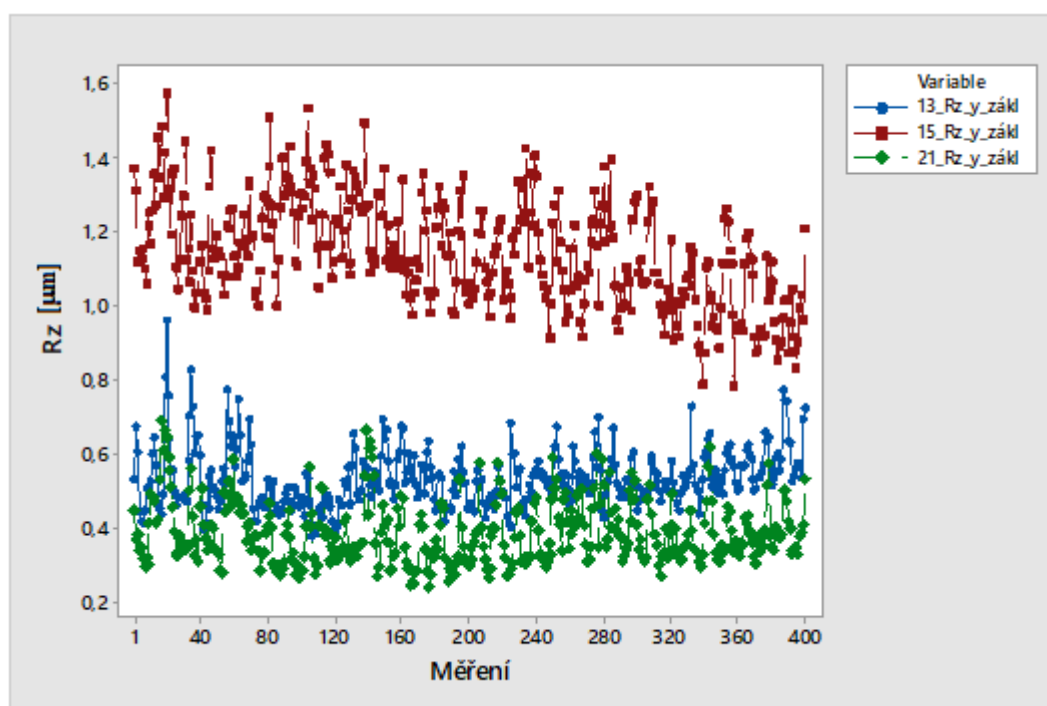


Obr. 41 Graf časové řady Ra pro osu Y u základních vzorků

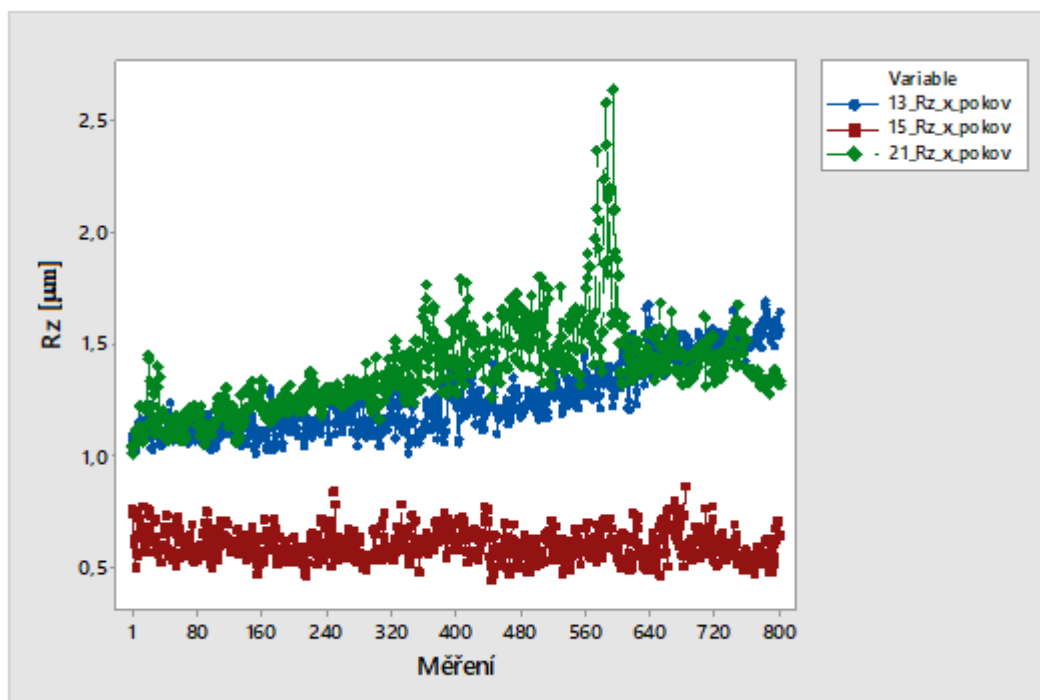
Obr. 42 Graf časové řady R_a pro osu X u pokovených vzorkůObr. 43 Graf časové řady R_a pro osu Y u pokovených vzorků



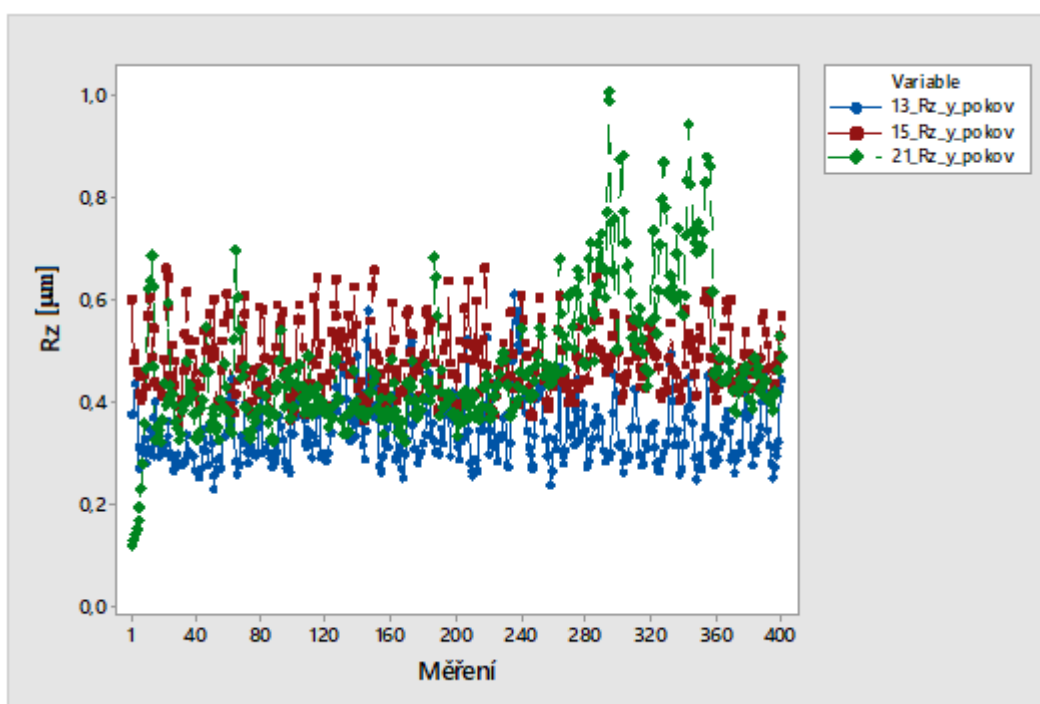
Obr. 44 Graf časové řady Rz pro osu X u základních vzorků



Obr. 45 Graf časové řady Rz pro osu Y u základních vzorků



Obr. 46 Graf časové řady Rz pro osu X u pokovených vzorků



Obr. 47 Graf časové řady Rz pro osu Y u pokovených vzorků

7.2 ANOVA -

Analýza rozptylů (ANalysis Of VAriances) je zobecnění jednoduchých F a T testů o shodě rozptylů a středních hodnot. Analýza rozptylů analyzuje zdroje variability u lineárních modelů a umožňuje analyzovat i data, která nesplňují předpoklad normálního rozdělení. Analýza rozptylů je založena na rozkladu celkové variability na dvě složky. [23]

- Mezivýběrová variabilita: Projevuje se jako rozdíl mezi výběrovými aritmetickými průměry
- Vnitrovýběrová variabilita: Projevuje se jako rozdíl mezi měřenými hodnotami a výběrovými aritmetickými průměry - rozptyly

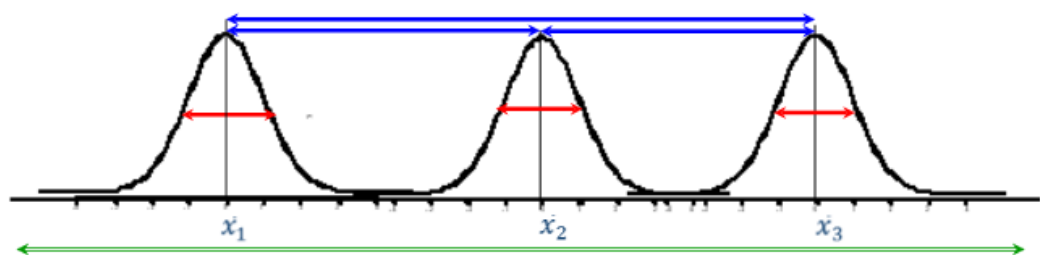
Na Obr. 48 je schematicky znázorněn princip analýzy rozptylů.

Celková variabilita je dána rozptylem všech hodnot ze všech výběrů (zelená šipka).

Variabilita mezi výběry je dána rozdílem středních hodnot (modrá šipka).

Variabilita uvnitř rozptylů je dána rozptylem měřených hodnot kolem středních hodnot (červená šipka).

Základním principem je porovnání rozptylů mezi výběry (modrá šipka) a uvnitř výběrů (červená šipka).



Obr. 48 Princip ANOVA [23]

Analýza rozptylů se dělí na parametrickou a neparametrickou. Parametrická předpokládá platnost normálního rozdělení a využívá Bartlettův test. V případě porušení předpokladu normality lze použít Levenův test, který je k normalitě méně citlivý, nebo neparametrickou ANOVU a Kruskal-Wallisův test o shodě mediánů. [23]

Parametrická analýza rozptylů se dělí na jednofaktorovou, kde se zjišťuje vliv jednoho faktoru na rozptyly, nebo vícefaktorovou, kde se zjišťuje kumulativní vliv více faktorů. [23]

Data byla naměřena na heterogenním povrchu, proto není zajištěn předpoklad normality a pro analýzu rozptylů je použit Levenův test. [24]

Testová statistika Levenova testu je definována jako

$$F_Z = \frac{S_{ZA}/(k-1)}{S_{Ze}/(N-k)} \sim F(k-1, N-k) \quad (23)$$

kde variabilita mezi jednotlivými rozptyly je dána jako

$$S_{ZA} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 \quad (24)$$

a variabilita uvnitř rozptylů je dána jako

$$S_{Ze} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (25)$$

kde \bar{x}_i je aritmetický průměr každého jednotlivého souboru a \bar{x} je aritmetický průměr všech dat.

7.2.1 Test shody rozptylů

Nejprve byl proveden test shody rozptylů pro parametry Ra a Rz mezi vzorky získanými v jednotlivých časech. Předpokladem nulové hypotézy je, že rozptyly jsou shodné.

Nulová a alternativní hypotéza pro test shody rozptylů

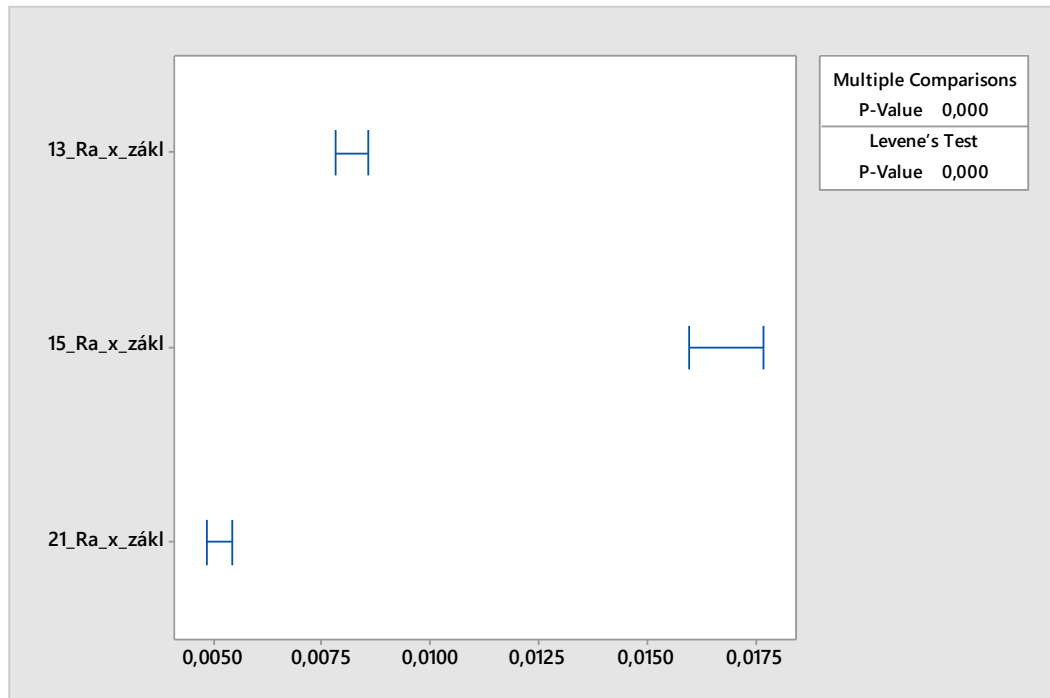
$$H_0: \sigma_{13Ra_{x_{zákl.}}}^2 = \sigma_{15Ra_{x_{zákl.}}}^2 = \sigma_{21Ra_{x_{zákl.}}}^2$$

$$H_A: NON$$

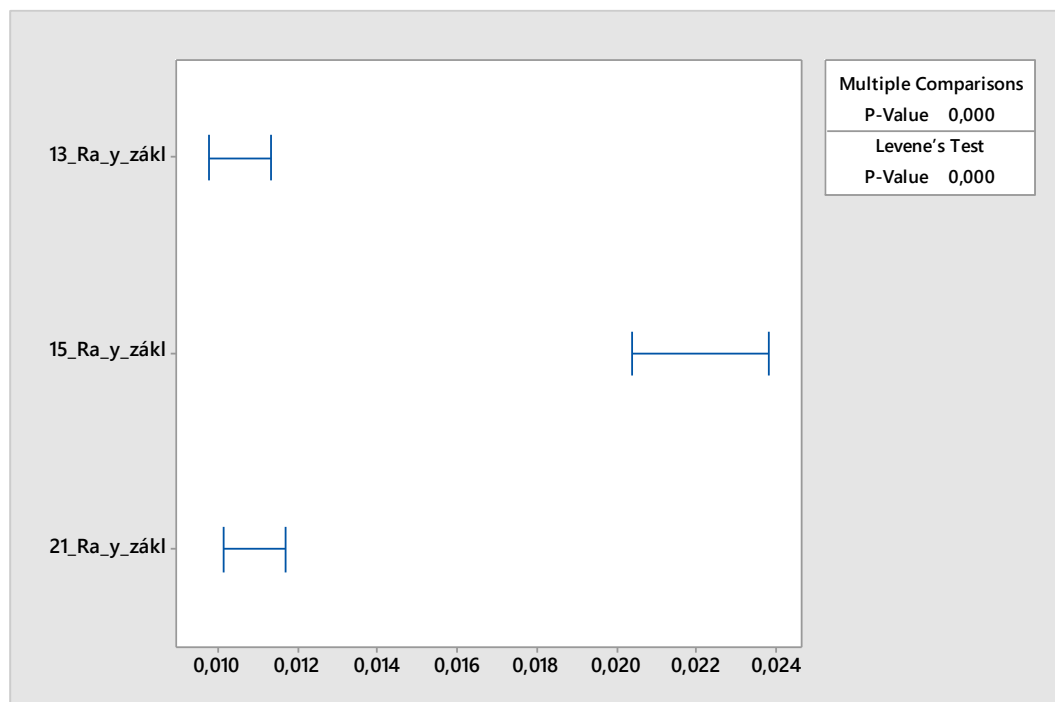
hladina spolehlivosti $1-\alpha = 0,95$

Souhrnné vyhodnocení testu shody rozptylů parametru Ra

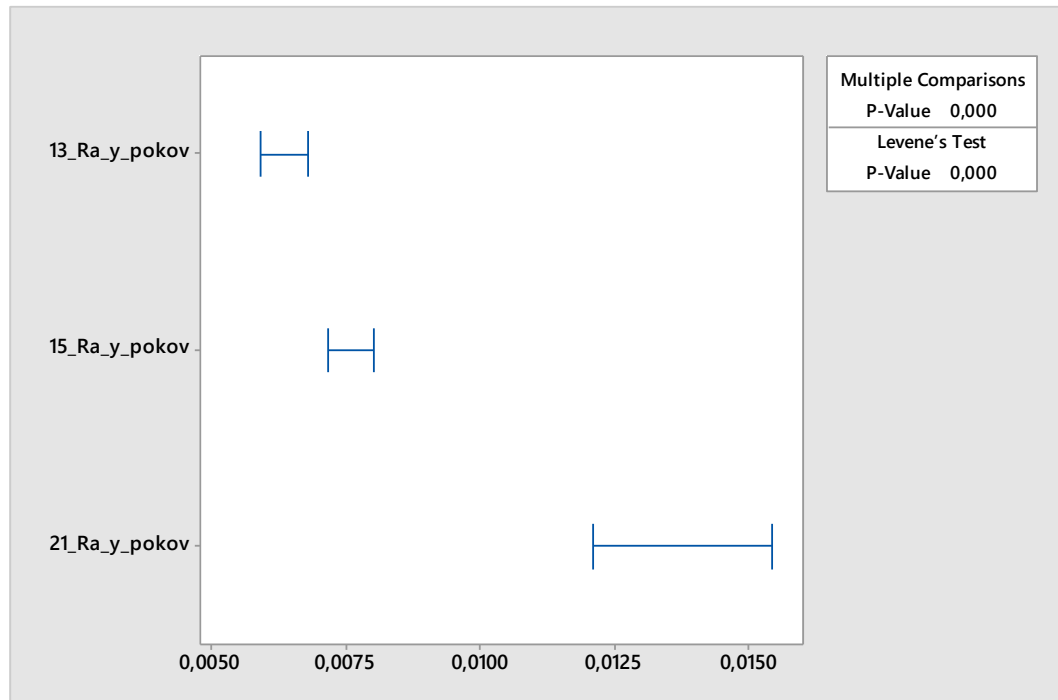
Shoda rozptylů je zobrazena na Obr. 49 - Obr. 52. Vyplývá, že rozptyly parametru Ra vzorků vyrobených v různých časech jsou rozdílné. Nulová hypotéza o rovnosti rozptylů je zamítnuta s pravděpodobností 95 % ve prospěch hypotézy alternativní.



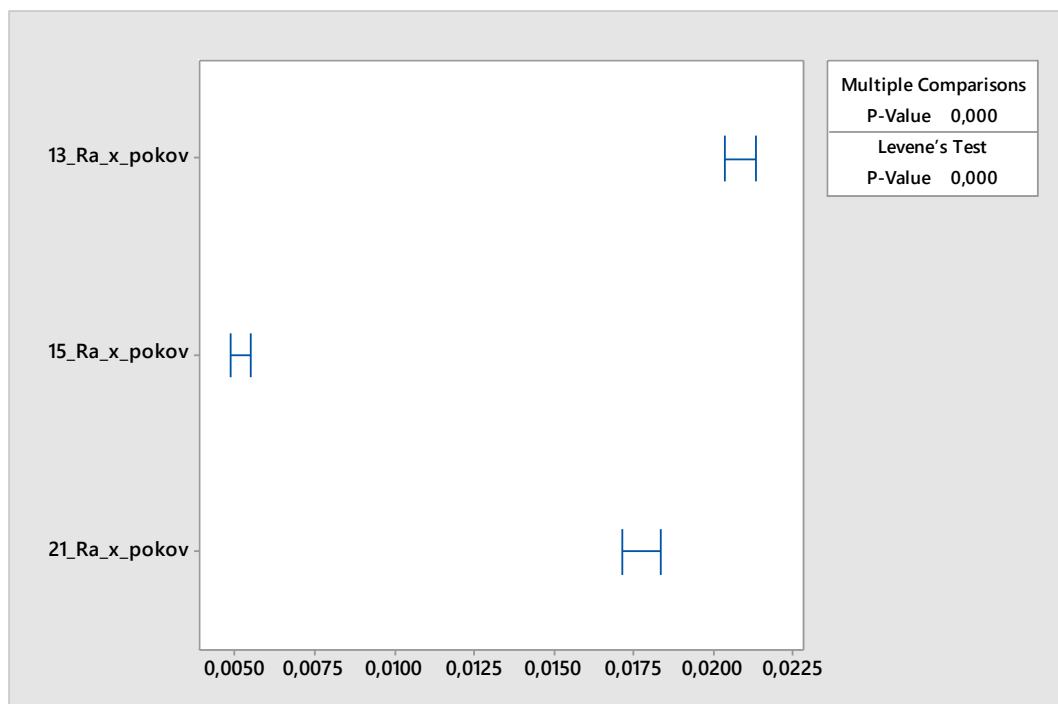
Obr. 49 Shoda rozptylů, Ra, osa Y, zákl.



Obr. 50 Shoda rozptylů, Ra, osa X, zákl.



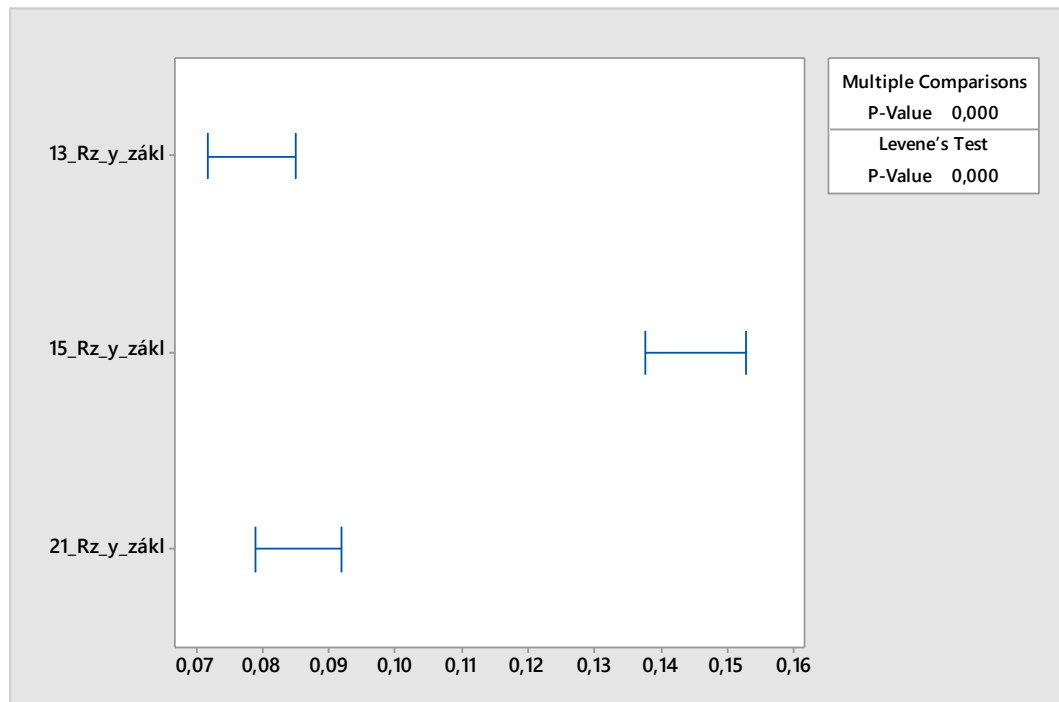
Obr. 51 Shoda rozptylů, Ra, osa Y, pokov.



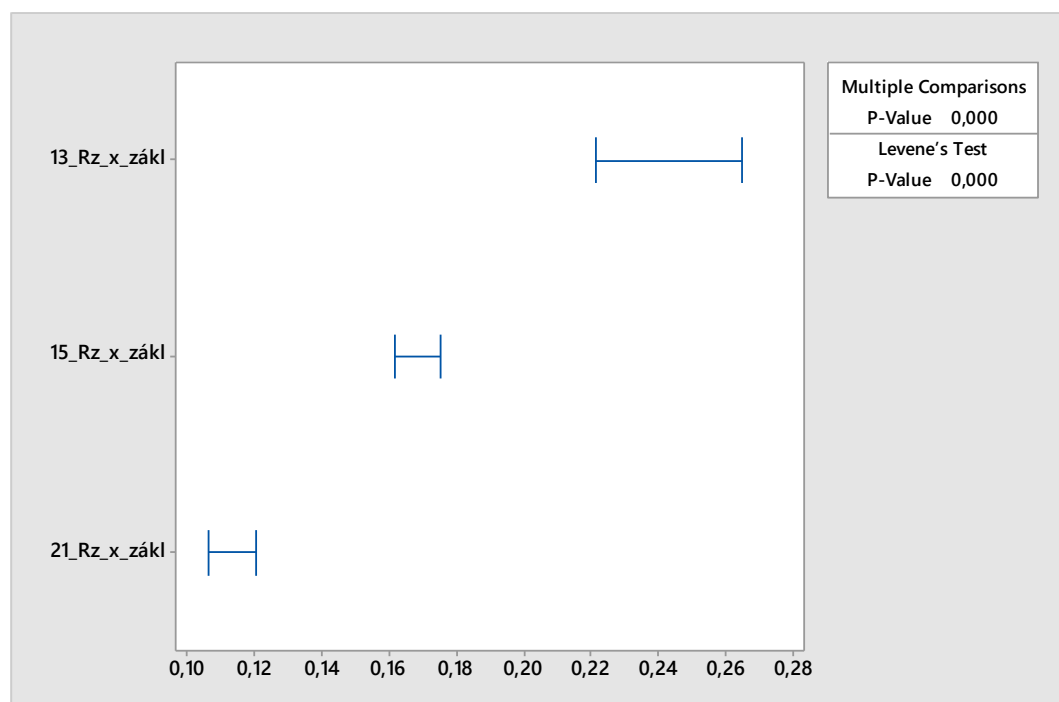
Obr. 52 Shoda rozptylů, Ra, osa X, pokov.

Souhrnné vyhodnocení testu shody rozptylů parametru Rz

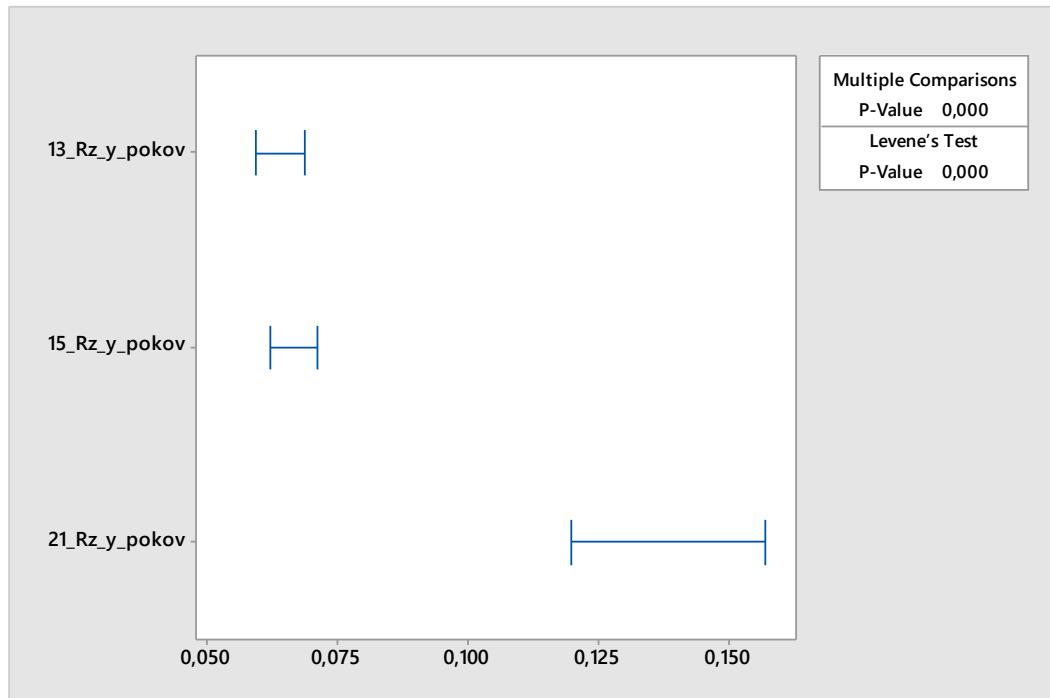
Shoda rozptylů je zobrazena na Obr. 53 - Obr. 56. Vyplývá, že rozptyly parametru Rz vzorků, které jsou vyrobeny v různých časech, jsou rozdílné. Nulová hypotéza o rovnosti rozptylů je zamítnuta s pravděpodobností 95 % ve prospěch hypotézy alternativní.



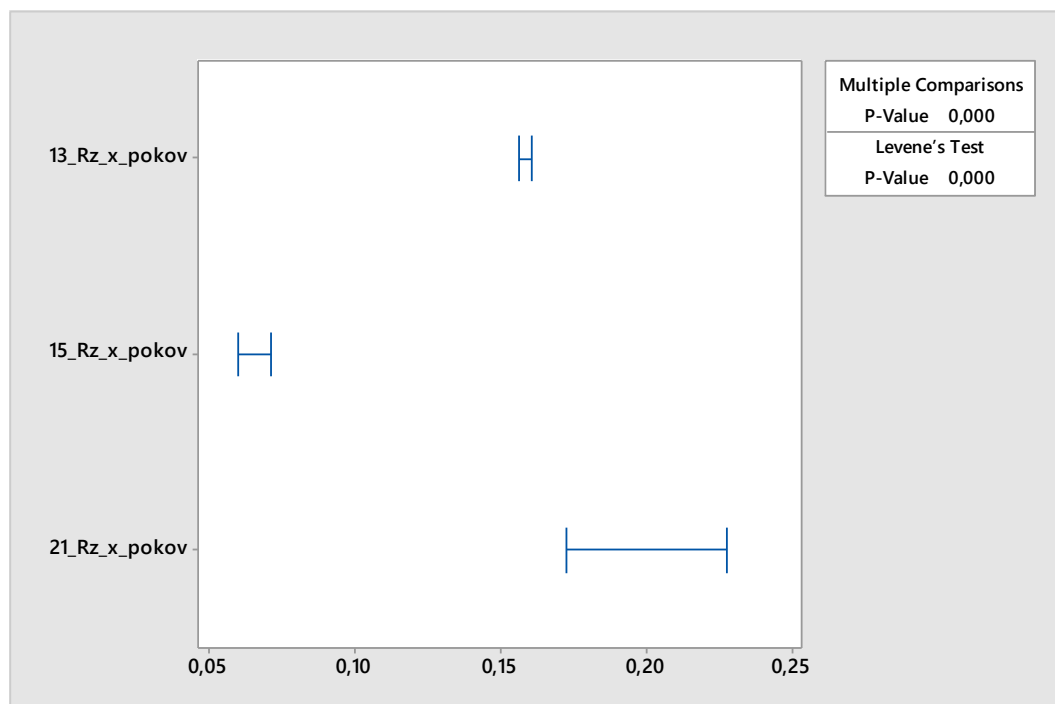
Obr. 53 Shoda rozptylů, Rz, osa Y, zákl.



Obr. 54 Shoda rozptylů, Rz, osa X, zákl.



Obr. 55 Shoda rozptylů, Rz, osa Y, pokov.



Obr. 56 Shoda rozptylů, Rz, osa X, pokov.

7.2.2 Test shody průměrů

Následně byl proveden test shody průměrů pro parametry Ra a Rz pomocí jednofaktorové ANOVY.

Nulová a alternativní hypotéza pro test shody průměrů

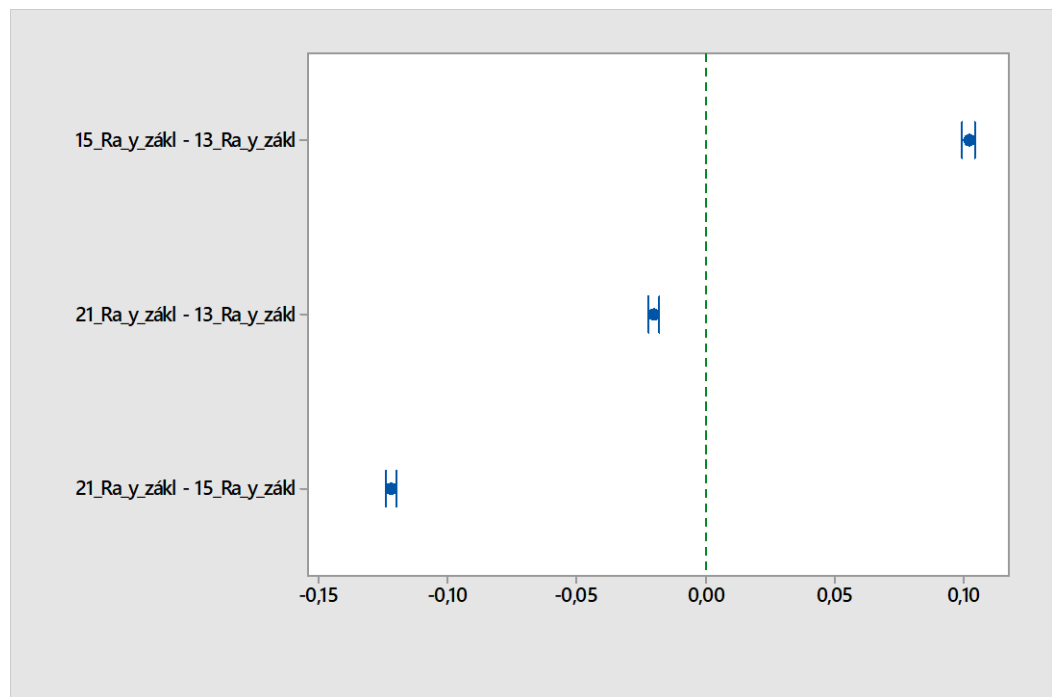
$$H_0: \mu_{13Ra_{x_{zákl.}}}^2 = \mu_{15Ra_{x_{zákl.}}}^2 = \mu_{21Ra_{x_{zákl.}}}^2$$

$H_A: NON$

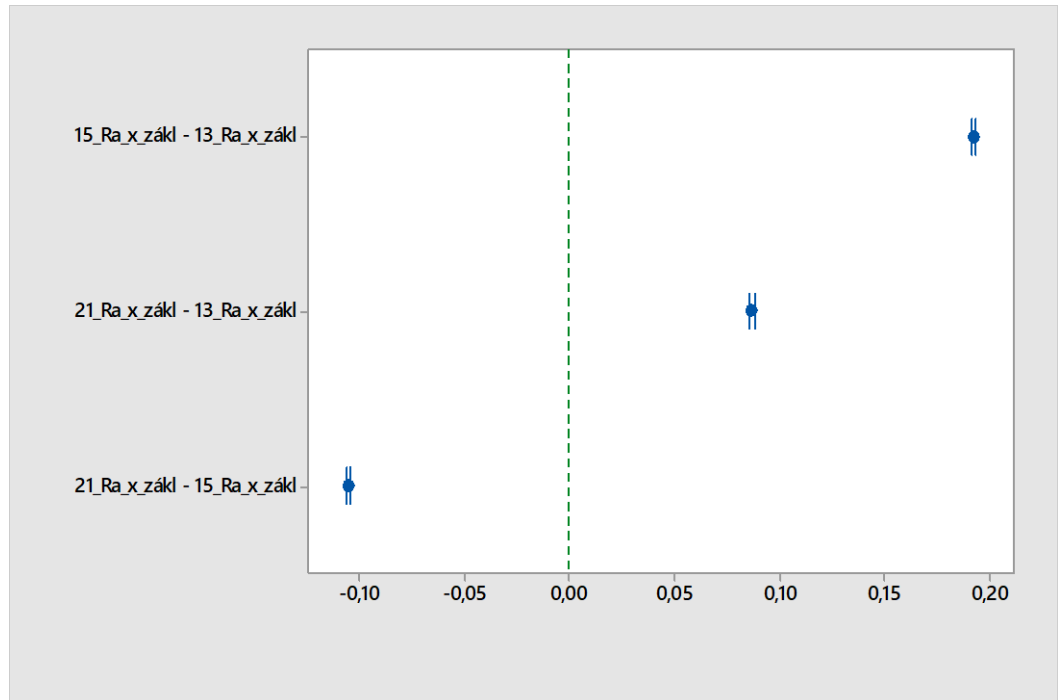
hladina spolehlivosti $1-\alpha = 0,95$

Souhrnné vyhodnocení testu shody průměrů parametru Ra

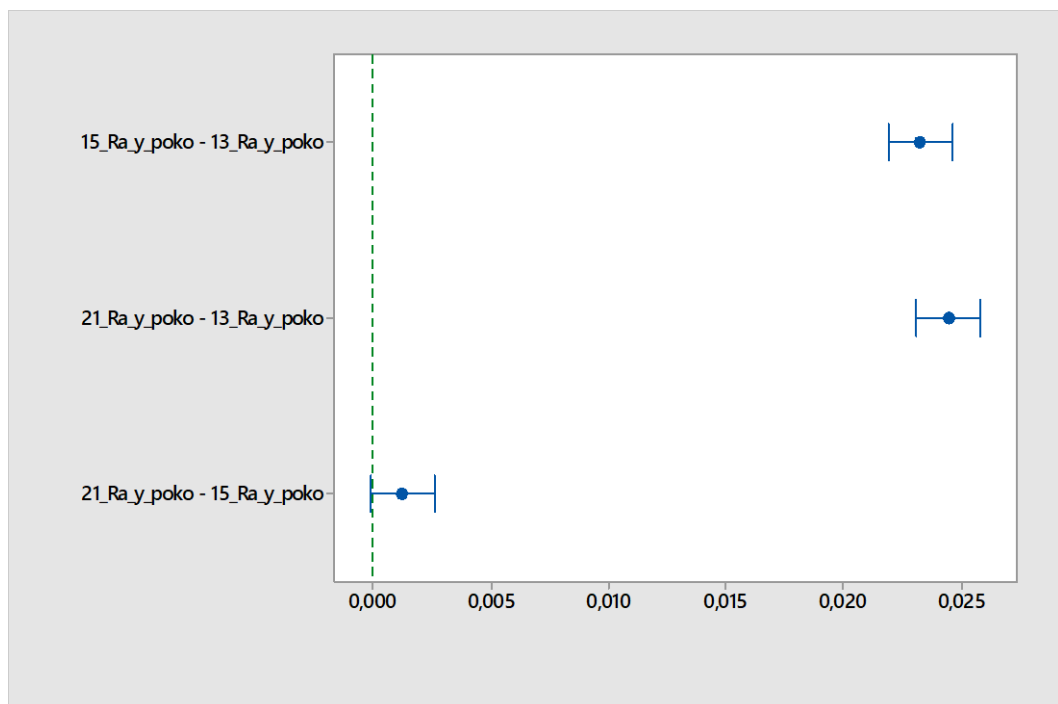
Test shody průměrů je zobrazen na Obr. 57 - Obr. 60. Vyplývá, že průměry parametru Ra vzorků vyrobených v různých časech jsou rozdílné. Nulová hypotéza o rovnosti průměru je zamítnuta s pravděpodobností 95 % ve prospěch hypotézy alternativní.



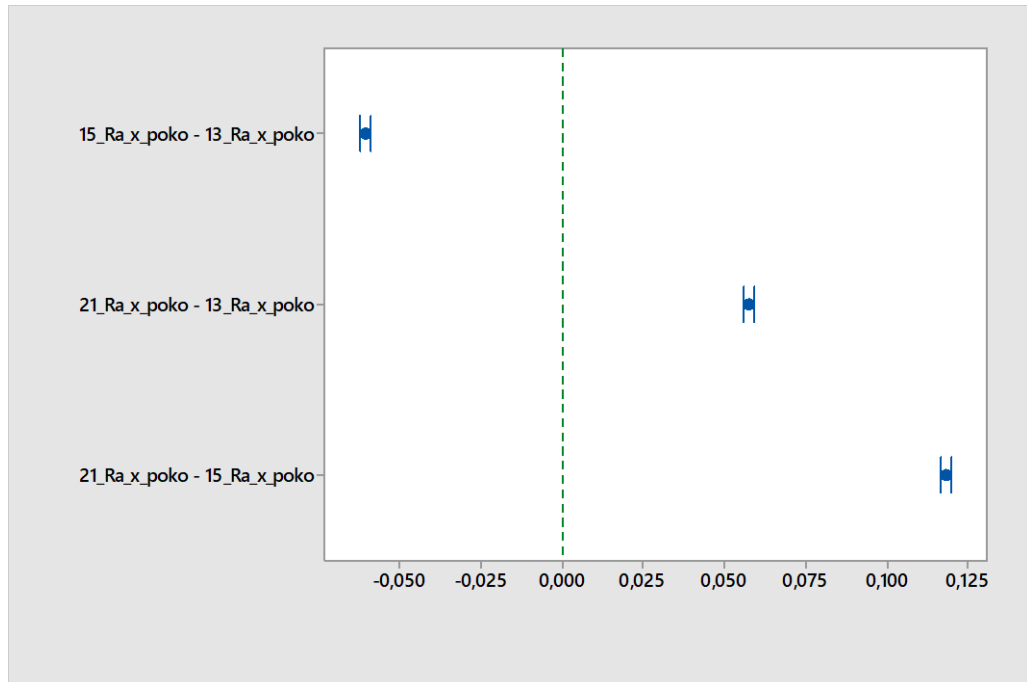
Obr. 57 Shoda průměrů, Ra, osa Y, zákl.



Obr. 58 Shoda průměrů, Ra, osa X, zákl.



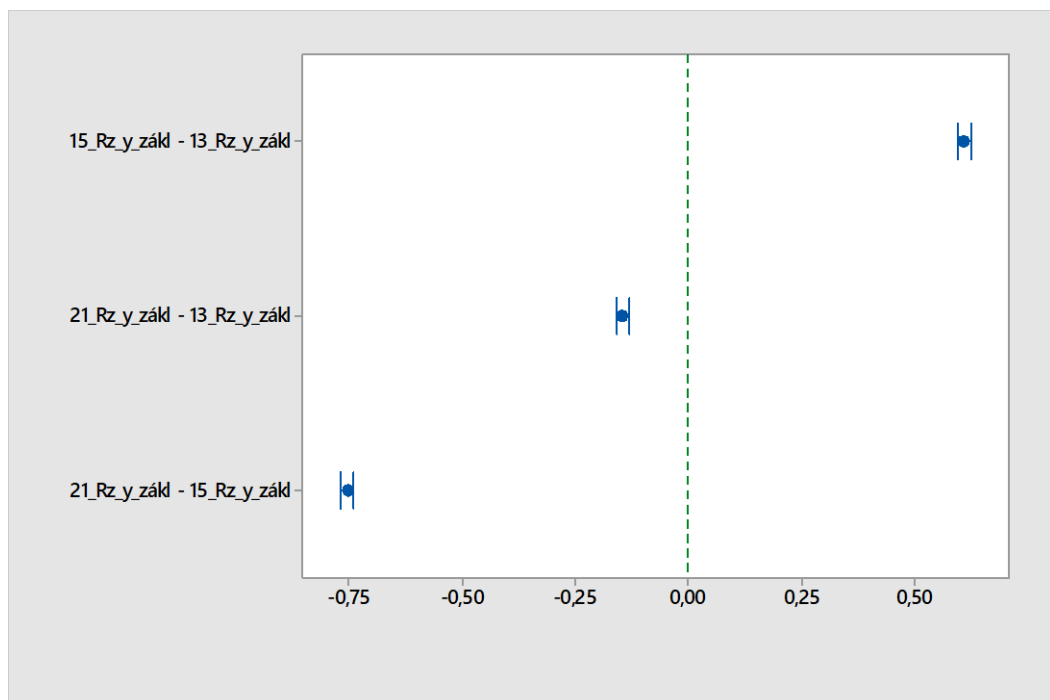
Obr. 59 Shoda průměrů, Ra, osa Y, pokov.



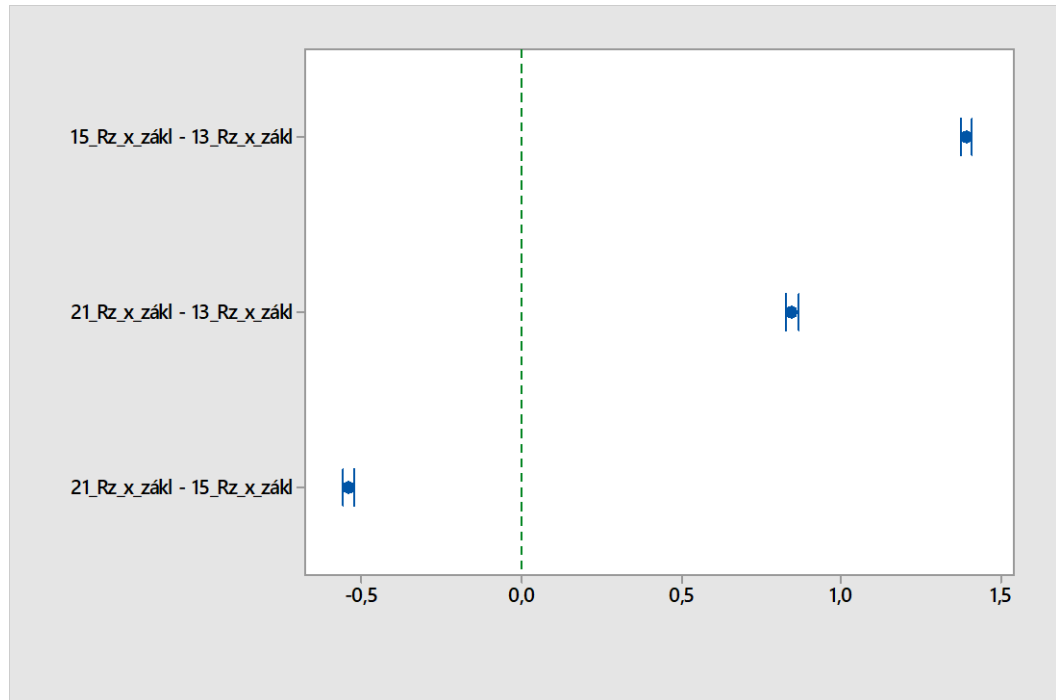
Obr. 60 Shoda průměrů, Ra, osa X, pokov.

Souhrnné vyhodnocení testu shody průměrů parametru Rz

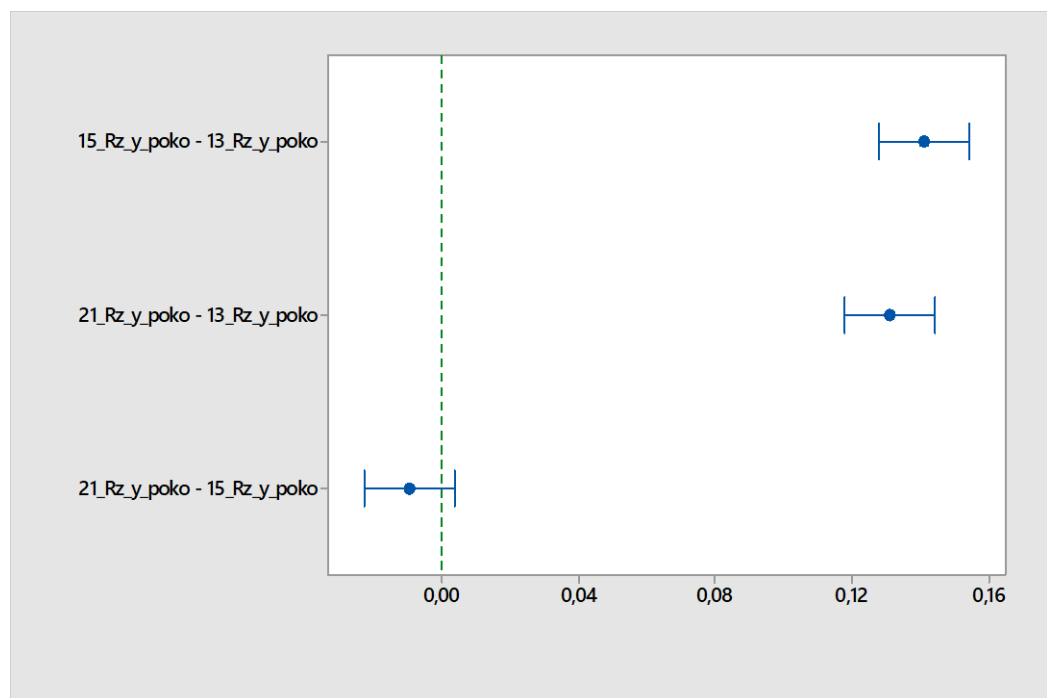
Test shody průměrů pro parametr Rz je zobrazen na Obr. 61 - Obr. 64. Vychází, že průměry parametru Rz vzorků, které jsou vyrobeny v různých časech, jsou rozdílné. Nulová hypotéza o rovnosti průměru je zamítnuta s pravděpodobností 95 % ve prospěch hypotézy alternativní.



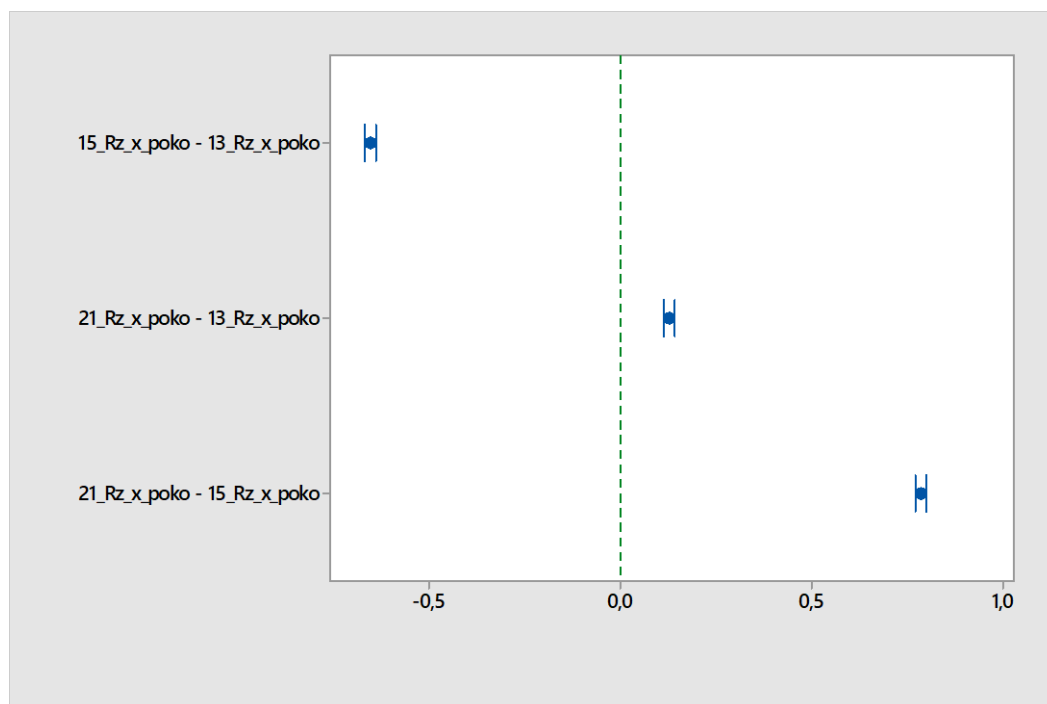
Obr. 61 Shoda průměrů, Rz, osa Y, zákl.



Obr. 62 Shoda průměrů, Rz, osa X, zákl.



Obr. 63 Shoda průměrů, Rz, osa Y, pokov.



Obr. 64 Shoda průměrů, Rz, osa X, pokov.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo statistické vyhodnocení kvality struktury pokovovaných polymerních dílů a zjištění, zda lze prohlásit za shodné, výrobky vyrobené v různých časech, z hlediska shody rozptylů a středních hodnot parametrů struktury povrchu Ra a Rz.

V teoretické části je popsána technologie a způsob pokovování polymerních dílů, včetně způsobu měření tloušťky pokovení. Následuje popis struktury povrchu a názvosloví jednotlivých charakteristik a parametrů z hlediska norem ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288. Dále jsou popsány možné chyby a nejistoty měření a způsob, jak nejistoty měření uvažovat. V neposlední řadě je popsán způsob interpretace výsledků měření, zejména způsob odhadu střední hodnoty a směrodatné odchylky.

Praktická část začíná popisem měřeného polymeru, jeho výrobou, vlastnostmi a tloušťkou pokovení. V následující části je popsáno bezkontaktní měření na měřicím zařízení Talysurf CLI 500 a zobrazeny zejména 3D pohledy na jednotlivé vzorky, ze kterých je patrná výrazná heterogenita povrchu. Poté následuje samotné statistické vyhodnocení naměřených dat. Vyhodnocení je rozděleno na část s popisnou statistikou jednotlivých parametrů struktury povrchu a vzorků a na část s analýzou shody rozptylů a středních hodnot parametrů struktury povrchu Ra a Rz.

Z vyhodnocení testu shody rozptylů a shody středních hodnot vyplývá, že všechny rozptylly a střední hodnoty na všech vzorcích jsou různé na hladině spolehlivosti $1-\alpha = 95\%$. Tudíž bylo nutno zamítnout nulové hypotézy o shodě rozptylů a o shodě středních hodnot ve všech vyhodnocovaných případech. Všude byla přijata alternativní hypotéza, že rozptylly a střední hodnoty jsou rozdílné, s pravděpodobností 95 %.

Tyto rozdíly si vysvětlují tím, že jednotlivé vzorky byly vyrobeny různými pracovníky v různých pracovních směnách. Vzorky vyrobené ve 13 a 21 hodin si jsou podobnější než vzorek vyrobený v 15 hodin. Tento rozdíl si vysvětlují tím, že v 15 hodin se blížil konec pracovní směny a pozornost pracovníka byla snížena.

Dále by bylo možné opakovat měření na více vzorcích a ve více časových úsecích a následně provést statistické vyhodnocení naměřených parametrů Ra a Rz. Předpokladem je, že výsledné parametry z více vzorků by měli splňovat normální rozdělení, i přes to, že jsou jednotlivé povrchy heterogenní a měření na každém jednotlivém vzorku nespĺňuje normální rozdělení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFIELD, Petr. *Technologie II: Část 2 - Technologii zpracování plastů* [online]. Liberec [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/12.htm
- [2] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů* [online]. Svitavy: Code Creator, 2016 [cit. 2019-03-02]. ISBN 978-80-88058-77-9. Dostupné z: <https://publi.cz/books/183/17.html>
- [3] OSTRÁ, Vladislava. Pokovování plastů. *Povrcháři* [online]. 2009, **2009**(9), 3 [cit. 2019-03-03]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://www.povrchari.cz/kestazeni/200909_povrchari.pdf
- [4] NÁHLOVSKÝ, Ladislav. *Vakuové pokovení* [online]. 2019 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <http://kooperace.preciosa.cz/cs/vakuove-pokoveni.html>
- [5] *SpectraLight QC test box* [online]. In: . [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.3nh-color-meter.com/quality-9394683-x-rite-spectralight-qc-light-booth-light-box-color-assessment-cabinet-with-cwf-u30-u35-tl83-and-tl84>
- [6] *Radiografie* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.testima.eu/>
- [7] BRONCOVÁ, Gabriela. *Modernizace základní laboratorní úlohy předmětu Laboratoře analytické chemie I: Coulometrie* [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://uanlch.vscht.cz/files/uzel/0012437/0007~S84vzck3iY83MjC0BAA.pdf?redirected>
- [8] *Couloskop* [online]. In: . [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://cpimg.tistatic.com/03025962/b/4/Couloscope.jpg>
- [9] PATA, Vladimír. *Přednášky k předmětu T6JM Jakost a metrologie: 6. Textura povrchu*. Zlín, 2009.
- [10] ČSN EN ISO 4287:1999 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS): Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Český normalizační institut, 1999, 24 s.
- [11] ČSN EN ISO 4288:1999 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS): Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Český normalizační institut, 1999, 16 s.
- [12] PATA, Vladimír. *Přednášky k předmětu T6JM Jakost a metrologie: 3. Chyby měření*. Zlín, 2009.

- [13] PATA, Vladimír. *Přednášky k předmětu T6JM Jakost a metrologie: 4. Nejistoty měření*. Zlín, 2009.
- [14] *Gaussova křivka* [online]. In: . [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_025/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/Technick%C3%A1%20m%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20metrologie%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad_04.pdf
- [15] PATA, Vladimír. *Přednášky k předmětu T6JM Jakost a metrologie: 2. Interpretace výsledků měření*. Zlín, 2009.
- [16] NAVRÁTILOVÁ, Jana. *Přednášky k předmětu TYMC2 Makromolekulární chemie II: 2. Styrenové polymery*. Zlín, 2014.
- [17] *Technical Information: ELIX ABS HH P2MC: High heat resistance ABS plating grade* [online]. 16.09.2015 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.elix-polymers.com/uploads/datasheet/DATASHEET-HH-P2MC-20151019--EN.pdf>
- [18] *Chrome plastic parts: Material requirement* [online]. 1.6.2008 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://wenku.baidu.com/view/9ccac21ca300a6c30c229fa6.html>
- [19] *Protokol o měření tloušťky pokovení*. Galvanic, 2018.
- [20] *The Taylor Hobson Story* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.taylor-hobson.com/aboutus/history>
- [21] HUDECOVÁ, Šárka. *Matematická statistika* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: http://www.karlin.mff.cuni.cz/~hudecova/education/download/chem_predn/popisna_tisk.pdf
- [22] PRŮCHA, Ladislav. *Matematická statistika - přednášky: 7. Popisná statistika* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://math.feld.cvut.cz/prucha/mstp/7pu.pdf>
- [23] DRÁPELA, Karel. *Analýza rozptylu (ANOVA)* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/drapela/Statisticke_metody/Prezentace/zakladni/Anova.pdf
- [24] KOLÁČEK, Jan. *Statistické modelování: Bartlettův a Levenův test shody rozptylů* [online]. [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-a-hodnoceni>

biologických-dat--statisticke-modelovani--analyza-rozptylu--bartlettuv-a-levenuv-test-shody-rozptylu

- [25] ČSN ISO 2602:1993. *STATISTICKÁ INTERPRETACE VÝLEDKŮ ZKOUŠEK: Odhad průměru. Konfidenční interval.*
- [26] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD.* Praha: Academia, 2002. ISBN 80-200-1008-4.
- [27] BUMBÁLEK, Leoš a Bohumil BUMBÁLEK. *Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu. Kvalita a GPS.* Brno: VUT FSI, 2005, 4 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-----------|--|
| A_3 | Koeficient šikmosti (skewness) |
| A_4 | Koeficient špičatosti (kurtosis) |
| Al | Hliník |
| ABS | Akrylonitrilbutadienstyren |
| Cr | Chrom |
| CrO_3 | Oxid chromový |
| Cu | Měď |
| E | Modul pružnosti |
| F_z | Testová statistika Levenova testu |
| GPS | Geometrické požadavky na výrobky |
| H_0 | Nulová hypotéza |
| H_2SO_4 | Kyselina sírová |
| H_a | Alternativní hypotéza |
| HF | Kyselina fluorovodíková |
| MI(c) | Materiálová délka profilu na úrovni c |
| Ni | Nikl |
| NON | Nepravda podmínky z nulové hypotézy |
| P | Parametr testování hypotéz |
| PB | Polybutadien |
| PP | Polypropylen |
| PVC | Polyvinylchlorid |
| PVD | Fyzikální depozice z plynné fáze (Physical Vapour Deposition) - skupina technik nanášení kovů na plast, mezi něž patří vakuové pokovování. |
| R_a | Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu |
| R_c | Průměrná výška prvku profilu |

| | |
|-----------------|---|
| Rku | Špičatost posuzovaného profilu |
| Rmr(c) | Materiálový poměr profilu (nosný podíl) |
| Rp | Největší výška výstupku profilu |
| Rq | Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu |
| Rsk | Šikmost posuzovaného profilu |
| Rsm | Průměrná šířka prvků profilu |
| Rt | Celková výška profilu |
| Rv | Největší hloubka prohlubně profilu |
| Rz | Největší výška profilu |
| SAN | Kopolymer styren-akrylonitril |
| SMI | Polystyren-co-maleimid |
| S _{ZA} | Variabilita mezi jednotlivými rozptyly |
| S _{Ze} | Variabilita uvnitř rozptylů |
| U | Rozšířená standardní nejistota |
| UV | Ultrafialové světlo |
| Xs | Šířka prvku profilu |
| Zp | Výška výstupku profilu |
| Zt | Výška prvku profilu |
| Zv | Hloubka prohlubně profilu |
| Z(x) | Pořadnice výšky profilu v poloze x |
| dZ/dX | Místní sklon profilu v poloze x |
| k _U | Koeficient rozšíření standardní nejistoty |
| ln | Vyhodnocovaná délka pro posouzení profilu |
| lp | Základní délka pro základní profil |
| lr | Základní délka pro profil drsnosti |

| | |
|-------------|--|
| l_w | Základní délka pro profil vlnitosti |
| n | Počet vyhodnocovaných délek |
| s | Směrodatná odchylka výběrového souboru |
| s^2 | Rozptyl výběrového souboru |
| u_A | Standardní nejistota typu A |
| u_B | Standardní nejistota typu B |
| u_C | Kombinovaná standardní nejistota |
| \bar{x} | Aritmetický průměr výběrového souboru |
| \tilde{x} | Medián datového souboru |
| α | Hladina statistické významnosti |
| λ_c | Filtr profilu definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti |
| λ_f | Filtr profilu definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu. |
| λ_s | Filtr profilu definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu. |
| μ | Aritmetický průměr (střední hodnota základního souboru) |
| σ | Směrodatná odchylka |
| σ^2 | Rozptyl |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Vakuové napařování vlevo a vakuové napařování vpravo [3]..... | 13 |
| Obr. 2 Ukázka pokovených výrobků [4] | 14 |
| Obr. 3 Přístroj SpectralLight QC test box [5]..... | 15 |
| Obr. 4 Princip radiografie [6] | 15 |
| Obr. 5 Couloskop na měření tloušťky vrstev [8] | 16 |
| Obr. 6 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [10]..... | 18 |
| Obr. 7 Profil povrchu[10] | 18 |
| Obr. 8 Základní profil [9] | 19 |
| Obr. 9 Profil drsnosti [9]..... | 19 |
| Obr. 10 Profil vlnitosti [9] | 19 |
| Obr. 11 Základní a vyhodnocovaná délka [9]..... | 20 |
| Obr. 12 Největší výška výstupku a hloubka prohlubně profilu [10] | 21 |
| Obr. 13 Průměrná výška prvků profilu [10] | 21 |
| Obr. 14 Celková výška profilu [10]..... | 22 |
| Obr. 15 Aritmetická úchylka posuzovaného profilu [10]..... | 22 |
| Obr. 16 Horní mez parametru struktury povrchu [11]..... | 24 |
| Obr. 17 Gaussova křivka (normální rozdělení) [14]..... | 28 |
| Obr. 18 Kopolymer akrylonitril-butadien-styren (ABS) modifikovaný polystyren-co- maleimidem (SMI) [16]..... | 32 |
| Obr. 19 Zkoumané pokovené vzorky | 33 |
| Obr. 20 Měřicí zařízení Talysurf CLI 500 | 35 |
| Obr. 21 Ukázka rozhraní programu TalyMap | 36 |
| Obr. 22 Drsnost vzorku - 13.00 - Základní vzorek..... | 36 |
| Obr. 23 3D pohled na vzorek - 13.00 - Základní vzorek | 37 |
| Obr. 24 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 13.00 - Základní vzorek..... | 37 |
| Obr. 25 Drsnost vzorku - 13.00 - Pokovený vzorek | 38 |
| Obr. 26 3D pohled na vzorek - 13.00 - Pokovený vzorek | 38 |
| Obr. 27 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 13.00 - Pokovený vzorek..... | 38 |
| Obr. 28 Drsnost vzorku - 15.00 - Základní vzorek..... | 39 |
| Obr. 29 3D pohled na vzorek - 15.00 - Základní vzorek | 39 |
| Obr. 30 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 15.00 - Základní vzorek..... | 39 |
| Obr. 31 Drsnost vzorku - 15.00 - Pokovený vzorek | 40 |

| | |
|---|----|
| Obr. 32 3D pohled na vzorek - 15.00 - Pokovený vzorek | 40 |
| Obr. 33 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 15.00 - Pokovený vzorek..... | 40 |
| Obr. 34 Drsnost vzorku - 21.00 - Základní vzorek..... | 41 |
| Obr. 35 3D pohled na vzorek - 21.00 - Základní vzorek..... | 41 |
| Obr. 36 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 21.00 - Základní vzorek..... | 41 |
| Obr. 37 Drsnost vzorku - 21.00 - Pokovený vzorek | 42 |
| Obr. 38 3D pohled na vzorek - 21.00 - Pokovený vzorek | 42 |
| Obr. 39 Řez 1/401 kolmo na osu Y - 21.00 - Pokovený vzorek..... | 42 |
| Obr. 40 Graf časové řady Ra pro osu X u základních vzorků | 48 |
| Obr. 41 Graf časové řady Ra pro osu Y u základních vzorků | 48 |
| Obr. 42 Graf časové řady Ra pro osu X u pokovených vzorků | 49 |
| Obr. 43 Graf časové řady Ra pro osu Y u pokovených vzorků | 49 |
| Obr. 44 Graf časové řady Rz pro osu X u základních vzorků | 50 |
| Obr. 45 Graf časové řady Rz pro osu Y u základních vzorků | 50 |
| Obr. 46 Graf časové řady Rz pro osu X u pokovených vzorků | 51 |
| Obr. 47 Graf časové řady Rz pro osu Y u pokovených vzorků | 51 |
| Obr. 48 Princip ANOVA [23]..... | 52 |
| Obr. 49 Shoda rozptylů, Ra, osa Y, zákl..... | 54 |
| Obr. 50 Shoda rozptylů, Ra, osa X, zákl..... | 54 |
| Obr. 51 Shoda rozptylů, Ra, osa Y, pokov. | 55 |
| Obr. 52 Shoda rozptylů, Ra, osa X, pokov. | 55 |
| Obr. 53 Shoda rozptylů, Rz, osa Y, zákl..... | 56 |
| Obr. 54 Shoda rozptylů, Rz, osa X, zákl..... | 56 |
| Obr. 55 Shoda rozptylů, Rz, osa Y, pokov. | 57 |
| Obr. 56 Shoda rozptylů, Rz, osa X, pokov. | 57 |
| Obr. 57 Shoda průměrů, Ra, osa Y, zákl. | 58 |
| Obr. 58 Shoda průměrů, Ra, osa X, zákl. | 59 |
| Obr. 59 Shoda průměrů, Ra, osa Y, pokov. | 59 |
| Obr. 60 Shoda průměrů, Ra, osa X, pokov. | 60 |
| Obr. 61 Shoda průměrů, Rz, osa Y, zákl. | 60 |
| Obr. 62 Shoda průměrů, Rz, osa X, zákl. | 61 |
| Obr. 63 Shoda průměrů, Rz, osa Y, pokov. | 61 |
| Obr. 64 Shoda průměrů, Rz, osa X, pokov. | 62 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Základní délky drsnosti pro měření Ra [11]..... | 25 |
| Tab. 2 Složení vrstev a jejich minimální a maximální tloušťka [19]..... | 34 |
| Tab. 3 Parametry Talysurf CLI 500..... | 35 |
| Tab. 4 Popisná statistika - 13.00_ Zákl._ OsaY..... | 45 |
| Tab. 5 Popisná statistika - 13.00_ Zákl._ OsaX..... | 45 |
| Tab. 6 Popisná statistika - 13.00_ Pokov._ OsaY..... | 45 |
| Tab. 7 Popisná statistika - 13.00_ Pokov._ OsaX..... | 45 |
| Tab. 8 Popisná statistika - 15.00_ Zákl._ OsaY..... | 46 |
| Tab. 9 Popisná statistika - 15.00_ Zákl._ OsaX..... | 46 |
| Tab. 10 Popisná statistika - 15.00_ Pokov._ OsaY..... | 46 |
| Tab. 11 Popisná statistika - 15.00_ Pokov._ OsaX..... | 46 |
| Tab. 12 Popisná statistika - 21.00_ Zákl._ OsaY..... | 47 |
| Tab. 13 Popisná statistika - 21.00_ Zákl._ OsaX..... | 47 |
| Tab. 14 Popisná statistika - 21.00_ Pokov._ OsaY..... | 47 |
| Tab. 15 Popisná statistika - 21.00_ Pokov._ OsaX..... | 47 |