

Hodnocení kvality povrchu dílu vyrobených z polymethylmetakrylátu

Bc. Zlatica Vargová

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Zlatica Vargová**
Osobní číslo: **T11799**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení kvality povrchu dílů vyrobených z
polymethylmetakrylátu**

Zásady pro vypracování:

1. Popište vhodné matematické metody umožňující hodnocení povrchu polymerních dílů.
2. Popište konfokální způsob snímání kvality povrchu přístroji výrobce Taylor Hobson.
3. Na daných připravených vzorcích proveďte nasnímání odpovídajících hodnot, které vhodně zpracujete.
4. Aplikujte vybrané matematické metody na naměřené data a proveďte odpovídající vyhodnocení včetně závěru.

Číslo diplomové práce:

Číslo přílohy:

Forma zpracování diplomové práce: **Elektronická**

Seznam odborné literatury:

Že doporučil redigování práce.

Velitel diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Fala

Ústav výrobního inženýrství

Delože veděl diplomové práce:

8. února 2023

Termín odevzdání diplomové práce:

13. května 2023

Ve Štětí dne 8. února 2023



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
dř.
dř.





prof. Ing. Boreňa Kannerová, Ph.D.
dř.
dř.

Příjmení a jméno:

Obor:

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). Odporuje-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

Závěrečná diplomová práce „Hodnocení kvality povrchu dílu vyrobených z polymethylmetakrylátu“, sa v teoretickej časti zaoberá zhrnutím poznatkov a definícií o drsnosti povrchu. Ďalej sa venuje popisu matematických metód hodnotenia kvality povrchu a zhrnutím metód možností konfokálneho snímania. Táto časť je rozdelená do piatich podkapitol: povrch a jeho hodnotenie, matematické analýzy povrchu, teória fraktálov, hypotézy a konfokálny spôsob snímania.

Praktická časť sa zaoberá konfokálnym snímaním polymernej látky a nájdením vhodných metód pre popísanie kvality povrchu výrobku vyrobeného z polymethylmetakrylátu. V druhej časti sú nájdené metódy vhodne aplikované na výsledky merania.

Kľúčové slová: drsnosť, FFT, teória fraktálov, hypotézy, konfokálne snímanie, štatistika

ABSTRACT

Master thesis work „Evaluation of the surface quality made of polymethylmethacrylate“ deals in theory with knowledges and definitions about roughness of surface. In next part are described methematical methods of evaluation of surface quality and summary of Confokal scanning methods. This part is split to 5 subchapters: surface and his evaluation, methematical analyses of surface, theory of fractal, hypothesys and confocal method of scanning.

Practical part of this work deals with confocal scanning of polymer's material and detecting matching methods to description quality of surface of product made from polymethylmethacrylate. In another part are found methods properly applied to result of measurement.

Keywords: roughness, FFT, Fractal theory, hypotheses, confocal scanning, statistics

Rada by som touto cestou poďakovala môjmu vedúcemu diplomovej práce doc. Dr. Ing. Vladimírovi Patovi za moje vedenie pri vypracovaní, cenné rady, pripomienky k riešeniu záverečnej práce a poskytovanie odborných materiálov. Ďalej by som sa chcela poďakovať pánovi Viliamovi Masarykovi z firmy ZKW za poskytnutie vzorky pre meranie. V neposlednej rade veľká vďaka patrí mojej rodine, ktorá ma počas tejto práce ale aj počas celého štúdia podporovala.

Prehlasujem, že odovzdaná verzia diplomovej práce a verzia elektronická nahraná do IS/STAG sú rovnaké.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 POVRCH A JEHO HODNOTENIE	12
1.1 PRESNOSŤ INŽINIERSKÝCH POVRCHOV.....	12
1.2 TERMINOLÓGIA A ZÁKLADNÉ POJMY	13
1.2.1 Filtrovanie profilu	13
1.2.2 Definície vnímania povrchu.....	14
1.2.3 Základné geometrické parametre	15
1.2.4 Definície parametrov profilu povrchu.....	16
1.2.4.1 Výškové parametre	16
2 MATEMATICKÉ ANALÝZY POVRCHU	21
2.1 ČASOVÝ RAD.....	21
2.2 FOURIEROVA TRANSFORMÁCIA.....	21
2.2.1 Výkonné spektrum, autokorelačná funkcia.....	23
3 TEÓRIA FRAKTÁLOV	25
3.1 FRAKTÁL	25
3.1.1 Vlastnosti fraktálov	25
3.1.2 Delenie fraktálov a ich konštrukcia	26
3.1.2.1 Zobrazenie a stručný popis najznámejších fraktálov:.....	26
3.2 VÝPOČET FRAKTÁLNEJ DIMENZIE	31
3.2.1 Hausdorferova dimenzia pomocou matematiky.....	33
3.2.2 Pokrývacia dimenzia	34
4 HYPOTÉZY	37
4.1 TESTOVANIE ŠTATISTICKÝCH HYPOTÉZ	37
4.1.1 Výber štatistickej metódy.....	38
4.2 NULOVÁ A ALTERNATÍVNA HYPOTÉZA	39
4.2.1 Postup testu	40
4.2.2 Chyba I. a II. druhu.....	40
4.3 T- TEST (ROVNOSŤ STREDNÝCH HODNÔT).....	41
4.4 F- TEST (ROVNOSŤ ROZPTYLOV).....	43
4.5 METÓDA ANOVA (ANALYSIS OF VARIANCE)	45
4.5.1 Jednofaktorová anova.....	45
4.5.1.1 Vzorce pre výpočet	47
4.5.2 Kruskal- Wallisov test	50
5 KONFOKÁLNY SPÔSOB SNÍMANIA	51
5.1.1 Rozlišovacia schopnosť.....	52
5.2 MERANIE POMOCOU TAYLOR HOBSON PRÍSTROJA.....	53
5.2.1 Merací systém Talysurf CLI.....	53
5.2.2 Rozdelenie snímačov	54

5.2.2.1	CLA snímač	54
5.2.2.2	Indukčný snímač	55
5.2.2.3	Laserový snímač	56
5.2.3	Program Talymap	56
II	PRAKTICKÁ ČÁST	58
6	ZADANIE.....	59
7	PRÍPRAVA MERANIA.....	60
7.1	VZORKY	60
7.2	POUŽITÉ MERADLO.....	61
7.3	ULOŽENIE VZORKY	63
7.4	KALIBRÁCIA	64
8	POSTUP MERANIA.....	65
9	SPRACOVANIE MERANIA	68
10	VYHODNOTENIE MATEMATICKÝMI METÓDAMI	75
10.1	ŠTATISTICKÉ SPRACOVANIE	75
10.1.1	F- testy	81
10.1.2	t- testy (závislé na F- testoch).....	82
10.2	FRAKTÁLNA DIMENZIA	84
10.3	FFT - FAST FOURIER TRANSFORMATION	86
10.3.1	Výsledky FS	86
	ZÁVER.....	89
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	90
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	92
	ZOZNAM OBRÁZKOV	94
	ZOZNAM TABULIEK.....	97
	ZOZNAM GRAFOV	98
	ZOZNAM PRÍLOH.....	99

ÚVOD

Cieľom tejto práce je objasniť problematiku matematických metód, ktoré by mi presnejšie špecifikovali daný povrch a nájsť vhodné metódy pre opísanie meraného povrchu. Vhodné metódy budú potom aplikované na dáta získané konfokálnym snímaním.

V dnešnej dobe sa dáva veľký dôraz na kvalitu povrchu výrobkov, avšak novodobé technológie nám ponúkajú oveľa väčšie možnosti ako tomu bolo v minulosti. Vo väčšine prípadov sa kvalita povrchu zisťuje pomocou drsnosti povrchu. Avšak samotná drsnosť nám nedáva dostatočné množstvo informácií o povrchu ako takom. Táto skutočnosť ma inšpirovala, aby som sa pokúsila v diplomovej práci uberať aj iným smerom získania informácií o kvalite povrchu ako len z drsnosti ako takej. Namerané výsledky sa pokúsim vyhodnotiť viacerými štatistickými metódami a posúdiť povrch výrobku z rôznych hľadísk.

Snímanie nameraných dát bude prevedené konfokálnou metódou snímania. Toto snímanie má veľmi veľa výhod, ktoré sú spomenuté už v samotnej práci, avšak najväčšou nevýhodou je jej finančná náročnosť.

Údaje, ktoré som v diplomovej práci použila som čerpala z odbornej literatúry a z konzultácií s doc. Dr. Ing. Vladimírom Patom.

Od tejto práce očakávam rozšírenie mojich znalostí v danej problematike, možnosť merania na prístroji Taylor Hobson a získanie cenných poznatkov a informácií. Taktiež očakávam splnenie vopred stanovených cieľov.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POVRCH A JEHO HODNOTENIE

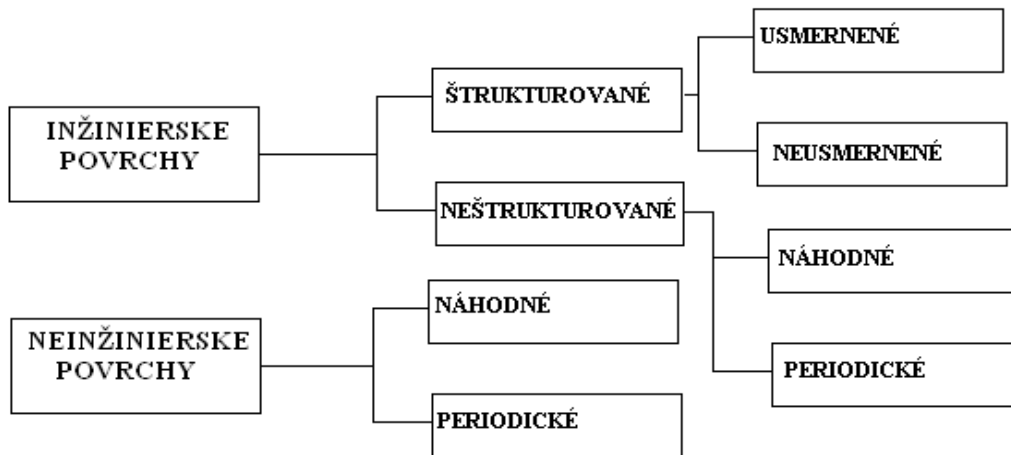
Povrch je definovaný ako obal makroskopického objektu, ktorý určuje jeho vzhľad, tým že vytvára hranicu medzi základným materiálom a okolím (tvorí hranicu medzi dvoma fázami). [1]

Pri veľkých objektoch s malým pomerom povrchu k jeho objemu sú fyzikálne a chemické vlastnosti povrchu určené predovšetkým vlastnosťami základného povrchu. Pri malých objektoch s veľkým pomerom povrchu k svojmu objemu sú ich vlastnosti výrazne ovplyvnené povrchom. [1]

Medzi najpoužívanejšie metódy kontroly povrchu dnes patria kontroly dotykovým spôsobom. Výhodou je veľká tolerancia voči znečisteniu, jednoduchosť pri obsluhu, ľahká obsluha prístroja a možnosť rýchleho merania s priamym čítaním výsledkov. Avšak má aj svoje nevýhody medzi ktoré patria nepresnosti meraní a skutočnosť, že nie každý materiál je vhodný na meranie týmto spôsobom. Napríklad malé rozmery meraných plôch, alebo nevhodnosť povrchu materiálu pre dotykové meranie kvôli poškodeniu. Vhodnou alternatívou pre povrchy, ktoré nie sú vhodné pre dotykové meranie sú optické (bezkontaktné) metódy. V práci je využité meranie pomocou Taylor Hobson prístroja o ktorom je viac uvedené v kapitole 5.2.

1.1 Presnosť inžinierskych povrchov

Za posledné roky sa rozšírila požiadavka na vysoko presné súčiastky. Ani u automobilového priemyslu sa to nezaobišlo bez veľkých pokrokov, ktoré zaznamenala vo výrobnom odvetví pri hodnotení textúry povrchu. Všetko je späté s využívaním nových materiálov a technológií, ktoré sú viac a viac dostupné. Nové vzory výroby musia byť navrhované tak, aby podporovali vývoj výrobku. Z hľadiska výroby sa delia inžinierske povrchy aj podľa obr.1 uvedeného nižšie. Inžinierske povrchy je možné charakterizovať ako plochy, kde výrobné procesy využívajú optimálne pracovné podmienky pre vytvorenie ich geometrického tvaru alebo vlastností pre požadovanú funkciu. Optické plochy vyžadujú dokonalý geometrický tvar a minimálnu drsnosť povrchu. Ich vlastnosti sú určené parametrami ako sú lesklosť, hladkosť, priepustnosť svetla a pod. [1]



Obr.1 Klasifikácia povrchov [1]

1.2 Terminológia a základné pojmy

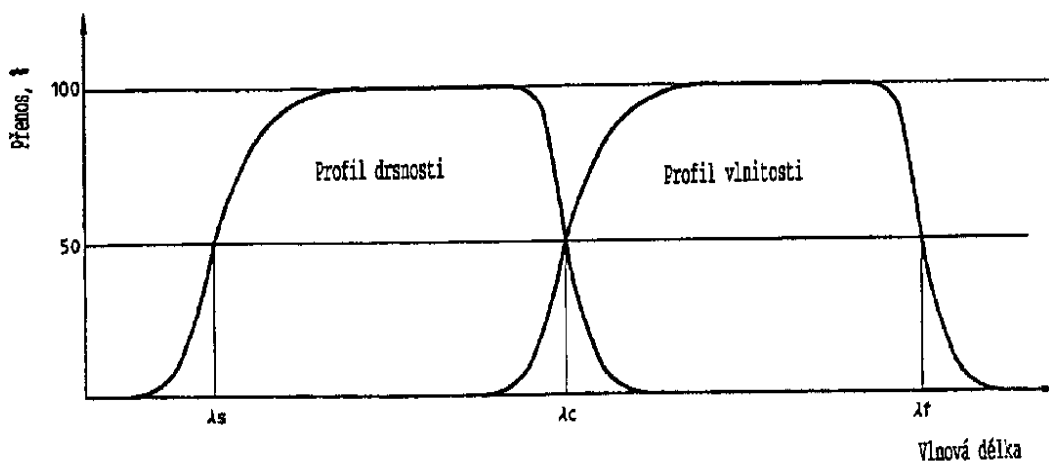
1.2.1 Filtrovanie profilu

Filter profilu ako filter rozdeľujúci na dlhovlnné a krátkovlnné zložky.

λ_s filter profilu – je filter definujúci rozhranie medzi drsnosťou a kratšími zložkami vln prítomnými na povrchu.

λ_c filter profilu – je filter definujúci rozhranie medzi zložkami drsnosti a vlnitosti.

λ_f filter profilu – je filter definujúci rozhranie medzi vlnitosťou a dlhšími zložkami vln prítomných na povrchu.



Obr.2 Prenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [2]

V přístrojích pro měření drsnosti, vlnitosti a základního profilu jsou používány tři filtry, které mají rovnaké přenosové charakteristiky jako rozdílné hodnoty mezní vlnové délky cut-off. Jsou definovány v normě ISO 11562:1997.

1.2.2 Definície vnímania povrchu

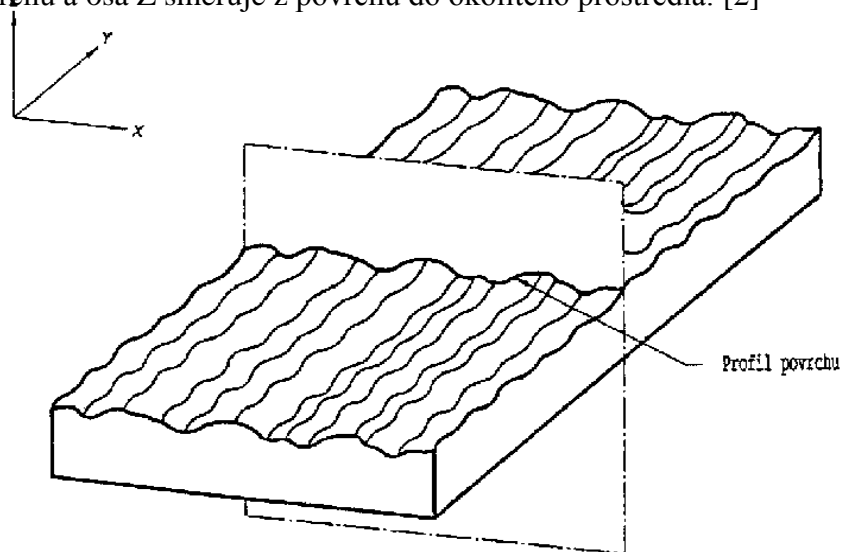
Skutočný povrch – vnímaný ako povrch obmedzujúci teleso a oddeľujúci ho od okolitého prostredia.

Povrchový profil – vznik povrchu je priesečnicou skutočného povrchu danej roviny vid'. obr.č.3. (Zvyčajne to býva rovina kolmá na rovnobežnú rovinu s reálnym povrchom.)

Profil drsnosti – je odvodený zo základného profilu s využitím profilového filtra λ_c , ktorý eliminuje dlhovlnné zložky.

Profil vlnitosti - profil vzniknutý postupným aplikovaním filtrov profilu λ_c a λ_f na základný profil. Kde filter profilu λ_c potláča krátkovlnné zložky a dlhovlnné zložky potláča filter λ_f .

Súradnicový systém je systémom definujúcim parametre štruktúry povrchu. Najčastejšie sa stretávame s pravouhlým súradnicovým systémom, v ktorom osi tvoria pravotočivú karteziánsku sústavu, osa X v smere snímania je súbežná so strednou čiarou, osa Y leží na skutočnom povrchu a osa Z smeruje z povrchu do okolitého prostredia. [2]



Obr.3 Povrchový profil [2]

1.2.3 Základné geometrické parametre

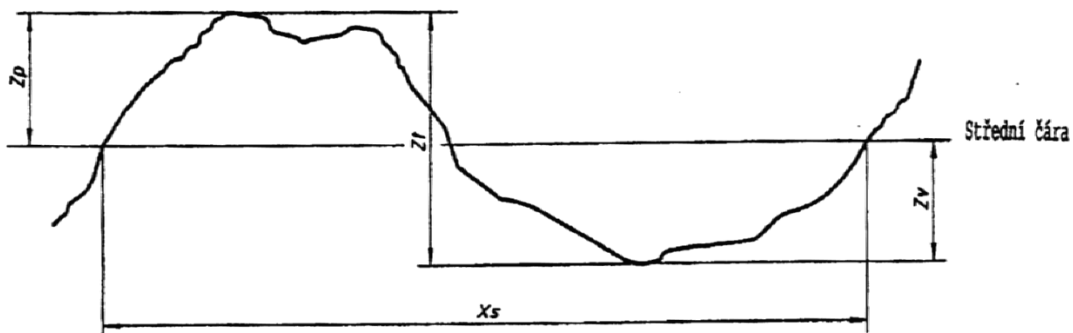
Výstupok profilu - časť posudzovaného profilu spájajúca dva priľahlé body na priesečníku profilu a osy X, smerujúca von z povrchu (z materiálu do okolitého prostredia).

Priehlbina profilu - časť posudzovaného profilu spájajúca dva priľahlé body na priesečníku profilu a osi X, smerujúca do vnútra povrchu (z okolitého prostredia do materiálu.)

Obmedzenie výšky, rozteče – najmenšia výška a najmenšia rozteč výstupkov a priehlbín posudzovaného profilu, ktoré môžu byť vzaté v úvahu. Špecifikované v percentách P_z , R_z , W_z , alebo iných výškových parametroch a najmenšia rozteč v percentách základnej dĺžky.

Základná dĺžka - označovaná l_p , l_r , l_w . Dĺžka v smere osy X použitá na rozoznanie nerovnosti charakterizujúcich vyhodnocovaný povrch.

Vyhodnocovacia dĺžka – dĺžka v smere osi X použitá pre posúdenie vyhodnocovaného profilu.



Obr.4 Prvok profilu [2]

Prvok profilu je výstupok profilu a priľahlá priehlbina. Kladná, alebo záporná časť posudzovaného profilu na začiatku alebo na konci základnej dĺžky by bola vždy posudzovaná za výstupok profilu alebo za priehlbinu profilu. Obr.4

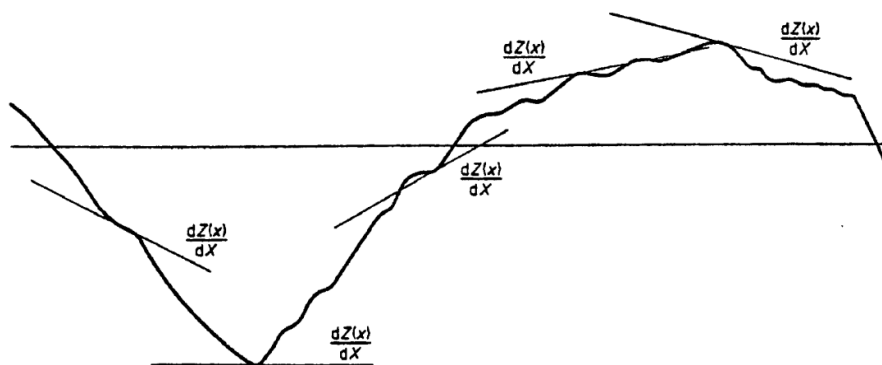
Výška výstupku Z_p je vzdialenosť medzi osou X a najvyšším bodom výstupku.

Hĺbka priehlbiny Z_v je vzdialenosť medzi osou X a najnižším bodom priehlbiny.

Výška prvku profilu Z_i je součtem výšky výstupku a hloubky priehlbiny prvku.

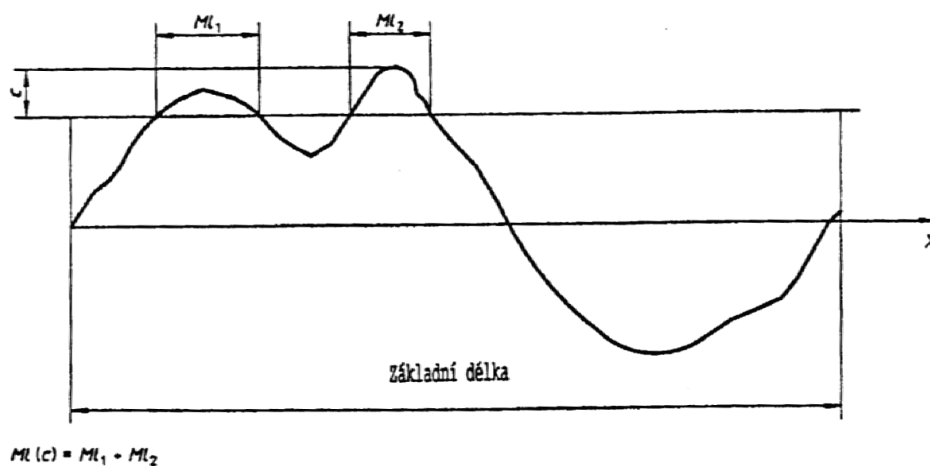
Šírka prvku profilu X_s je dĺžka úseku osi X pretínajúca časť profilu.

Miestny sklon je sklon porovnávaného profilu v polohe x_i . Jeho hodnota a parametre výrazne závisia na rozteči súradnice x . Obr.5



Obr.5 Miestny sklon [2]

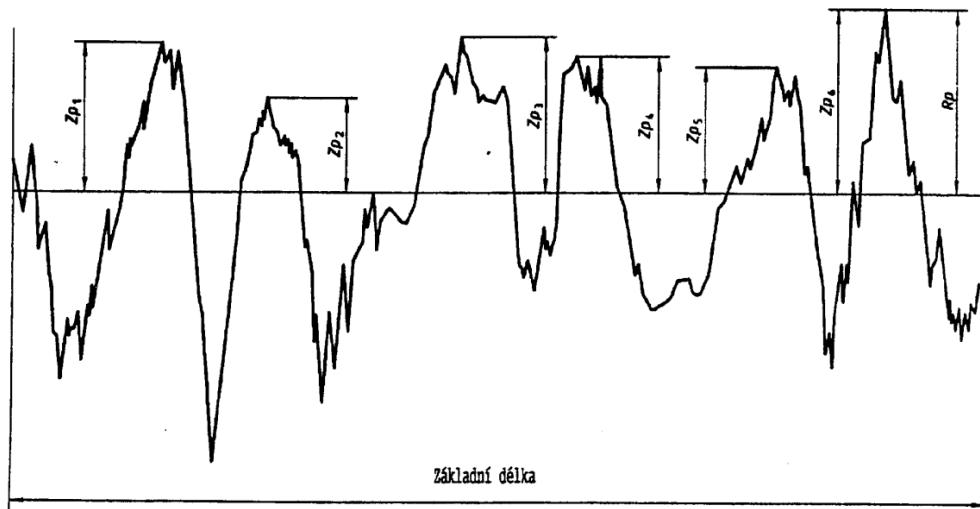
Materiálová dĺžka profilu na úrovni $MI(c)$ – je súčet dĺžok úsekov získaných preseknutím prvku profilu čiarou rovnobežnou s osou X na danej úrovni C.



Obr.6 Materiálová dĺžka [2]

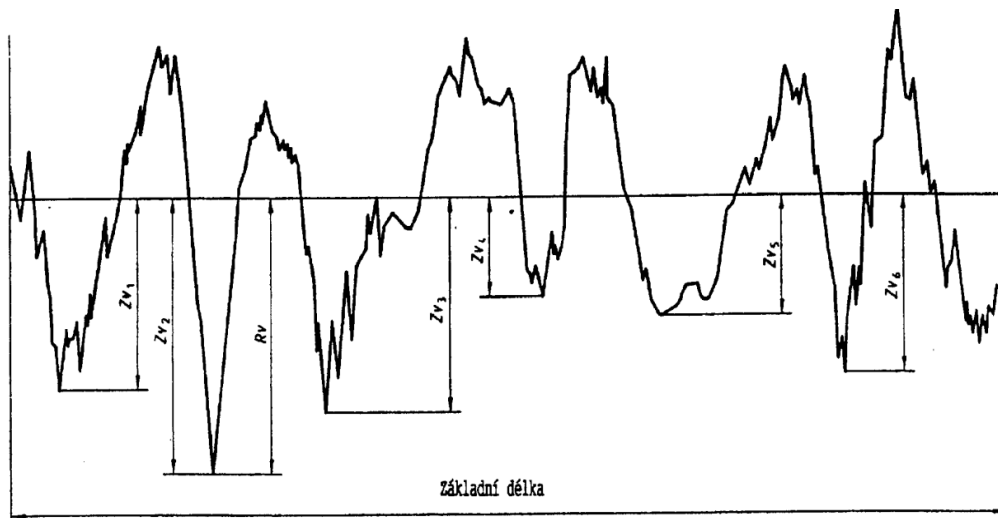
1.2.4 Definície parametrov profilu povrchu

1.2.4.1 Výškové parametre



Obr.7 Najväčšia výška výstupku profilu [2]

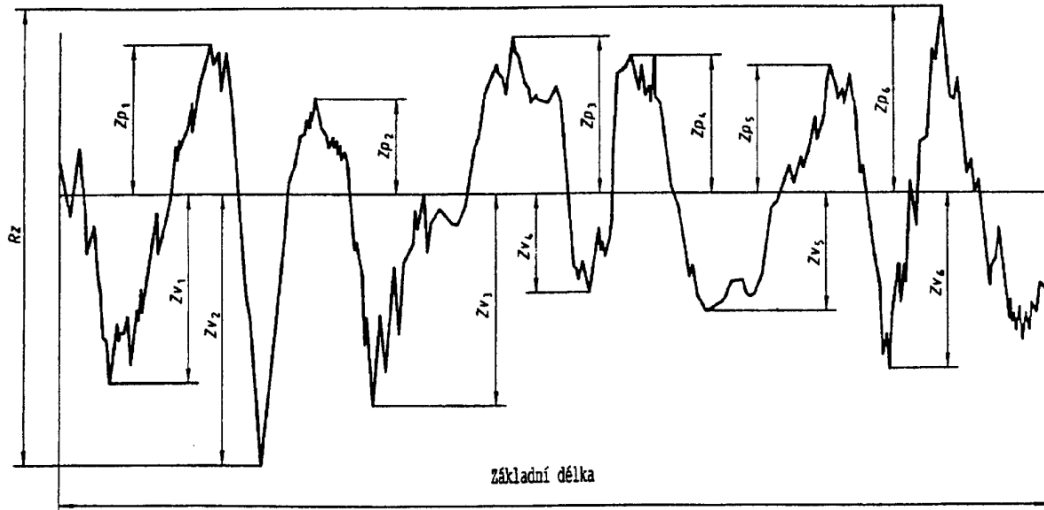
Najväčšia výška výstupku profilu Pp, Rp, Wp – výška najvyššieho výstupku profilu v rozsahu základnej dĺžky.



Obr.8 Najväčšia hĺbka priehlbiny profilu [2]

Najväčšia hĺbka priehlbín profilu Pv, Rv, Wv – výška najvyššieho výstupku profilu v rozsahu základnej dĺžky.

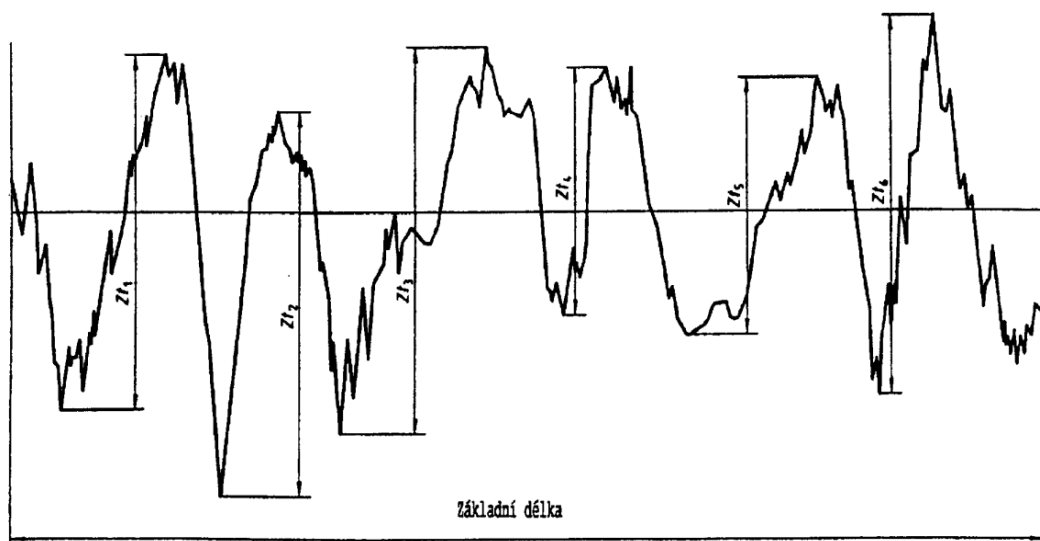
Najväčšia výška profilu Pz, Rz, Wz – súčet výšky Zp najvyššieho výstupku profilu a hĺbky Zv najnižšej priehlbiny profilu v rozsahu základnej dĺžky.



Obr.9 Najväčšia výška profilu [2]

Priemerná výška prvku profilu P_c , R_c , W_c – priemerná hodnota výšok Z_t prvkov profilu v rozsahu základnej dĺžky. Parameter P_c , R_c , W_c vyžaduje obmedzenie výšky a rozteče. Ak nie je určené inak, implicitné výškové obmedzenie bude 10% z hodnoty P_z , R_z , W_z . A implicitné obmedzenie rozteče bude 1% zo základnej dĺžky. Obom podmienkam musí byť vyhovené.

Celková výška profilu P_t , R_t , W_t – súčet výšky Z_p , najvyššieho výstupku profilu a hĺbky Z_v najnižšej priehlbiny profilu v rozsahu vyhodnocovanej dĺžky.



Obr.10 Výška prvkov profilu [2]

Priemerné hodnoty súradníc**Priemerná aritmetická odchýlka posudzovaného profilu Pa, Ra, Wa**Aritmetický priemer absolútnych hodnôt súradníc $Z(x)$ v rozsahu základnej dĺžky. [2]

$$Pa, Ra, Wa = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (1.1)$$

Priemerná kvadratická odchýlka posudzovaného profilu Pq, Rq, WqKvadratický priemer súradníc $Z(x)$ v rozsahu základnej dĺžky. [2]

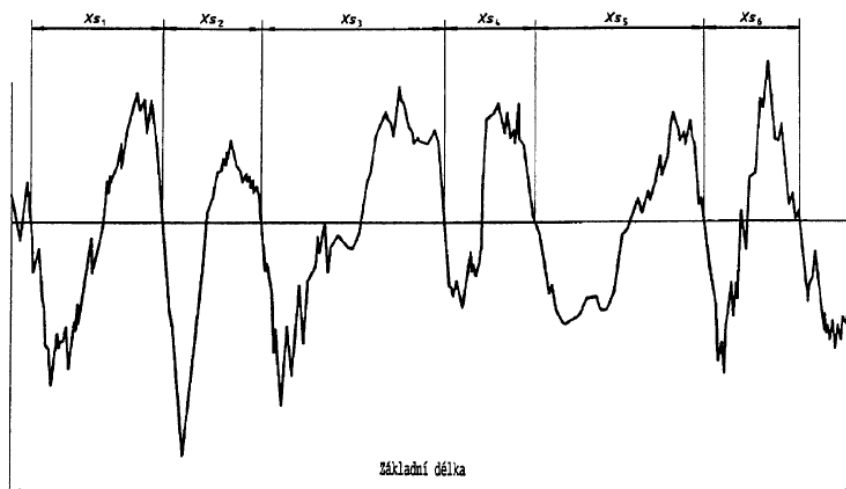
$$Pq, Rq, Wq = \frac{1}{l} \int_0^l |Z^2(x)| dx \quad (1.2)$$

Šikmost' posudzovaného profilu Pq, Rq, WqPodiel priemernej hodnoty tretej mocniny súradníc $Z(x)$ a tretej mocniny hodnoty Pq, Rq alebo Wq v rozsahu základnej dĺžky. [2]

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^3(x)| dx \right] \quad (1.3)$$

Špicatost' posudzovaného profilu RkuPodiel priemernej hodnoty štvrtých mocnín súradníc $Z(x)$ a tretej mocniny hodnoty Pq, Rq alebo Wq v rozsahu základnej dĺžky. [2]

$$Rku = \frac{1}{Rq^2} \left[\frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^4(x)| dx \right] \quad (1.4)$$

Dĺžkové parametre**Priemerná šírka prvkov profilu Psm, Rsm, Wsm**Aritmetický priemer šírok Xs prvkov profilu v rozsahu základnej dĺžky. [2]

Obr.11 Šírka prvkov profilu [2]

Tvarové parametre

Priemerný kvadratický sklon posudzovaného profilu $R\Delta q$ – je kvadratický priemer sklonu súradníc dZ/dX v rozsahu základnej dĺžky.

2 MATEMATICKÉ ANALÝZY POVRCHU

2.1 Časový rad

Množina (alebo postupnosť) pozorovaní, resp. meraní x_t zaznamenaných v jednotlivých časových okamihoch t .

Hlavnou úlohou analýzy časových radov je odhalenie mechanizmu (modelu časového radu), ktorý generuje pozorované údaje. Údaje pochádzajú z reálnych procesov, ktoré majú náhodný charakter tj. z procesov ktoré sa menia náhodne v čase (inými slovami: nevieme ich z istotou predpovedať).

Aplikácia modelu poskytuje:

- kompaktný popis daných dát
- interpretáciu dát
- možnosť predikcie
- testovanie hypotéz

Tieto poznatky napomáhajú k rozhodovaniu o problémoch vzniknutých v riadení, kontrole či plánovaní v rôznych oblastiach ľudskej činnosti.

2.2 Fourierova transformácia

Fourierovej transformácii som sa venovala už v bakalárskej práci. Táto časť by mala byť jej rozšírením. V tejto časti by som rada rozobrala problematiku DFT nadväzujúcu na Fourierovu transformáciu.

Výpočet Fourierovho integrálu predpokladá znalosť analytického tvaru funkcie $f(t)$. Obvykle sa ale spracováva signál po A/D prevode tvorený postupnosťou číslíc. Pokiaľ vychádzame z hodnôt nameraných v časových intervaloch Δt , nahradí sa funkciou postupnosťou obdĺžnikov. F integrál n -tého obdĺžnika je:

$$F_n(f) = \int_{t_{n-1}}^{t_n} r_n \exp(-j2\pi ft) dt \quad (2.1)$$

, kde r_n je výška obdĺžniku. Pokiaľ sú dĺžky všetkých intervalov rovnaké a platí

$$t_{n-1} = (n-1)2\pi f\Delta t \text{ a } t_n = n2\pi f\Delta t, \text{ potom je} \quad (2.2)$$

$$F_n(f) = \frac{r_n}{\pi f} \sin(\pi f\Delta t) \exp(-(2n-1)\pi f\Delta t) \quad (2.3)$$

čo je po substitúcii $\psi = \pi f\Delta t$ dáva

$$F_n(f) = \frac{r_n \Delta t}{\psi} \sin \psi \exp(-(2n-1)\psi) \quad \text{a ďalej:} \quad (2.4)$$

$$\operatorname{Re}|F_n(f)| = r_n \Delta t \frac{\sin \psi \cos(2n-1)\psi}{\psi}, \operatorname{Im}|F_n(f)| = -r_n \Delta t \frac{\sin \psi \sin(2n-1)\psi}{\psi}. \quad (2.5)$$

Ak je Δt veľmi malá, a $f(t)$ je približne konštantné počas tejto doby, potom predchádzajúce vzťahy sú dobrou aproximáciou pôvodného integrálu analytickej funkcie. Keď sa však časové intervaly merania zväčšujú, klesá presnosť. Vyhodnotenie je možné len do $f_1 \geq \frac{1}{3\Delta t}$, kedy je celý kmit nahradený aspoň tromi intervalmi.

Diskrétny systém vzorkovaný po konečných časových intervaloch spracovávame pomocou diskkrétnej Fourierovej transformácie (DFT). Ak sa uvažuje o signáli s periódou T , výsledkom transformácie je čiarové spektrum s nenulovými hodnotami iba na frekvenciách, ktoré sú násobkami hodnôt $f_D = \frac{1}{T}$. Ak je vzorkovací interval Δt , potom DFT je periodická funkcia s opakovaním po každých $\frac{1}{\Delta t}$ Hz. Zaujímame sa však iba o časť v rozmedzí $0 - \frac{1}{\Delta t}$ Hz.

Uvažujeme signál $x(t)$ vzorkovaný po každých Δt sekundách, v celkovom počte N vzoriek. Ďalej nech sú signály $y(t)$, čo je sled impulzov v okamihoch vzorkovania s hodnotou $x(t)$.

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n\Delta t) \delta(t - n\Delta t), \quad (2.6)$$

FT funkcia $y(t)$ je:

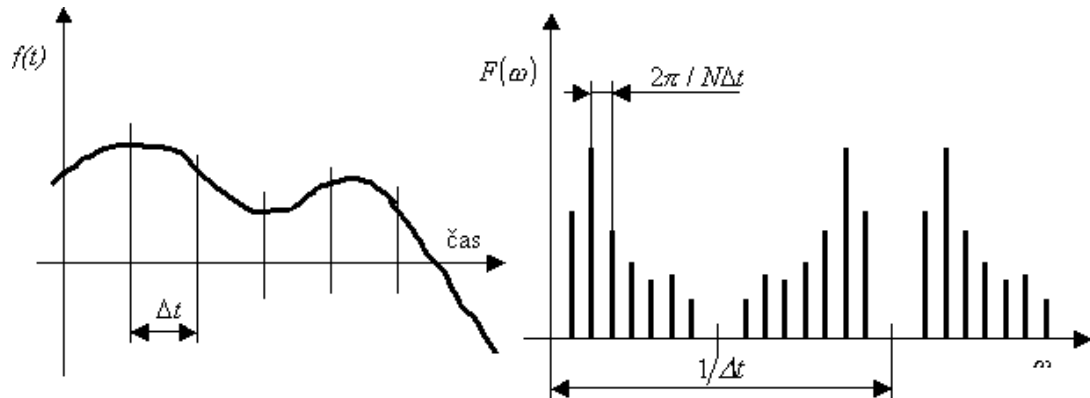
$$Y(\omega) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n\Delta t) \exp(-j\omega n\Delta t). \quad (2.7)$$

DFT postupnosťou vzoriek $y(n\tau)$ získaných vzorkovaním signálu každých τ [s] je definovaná ako postupnosť

$$Y(k\Omega) = \sum_{n=0}^{N-1} y(n\tau) \exp(-j\Omega n\tau k), \text{ kde } k=0,1,2,\dots,N-1 \text{ a } \Omega = \frac{2\pi}{N\tau}. \quad (2.8)$$

Inverznou diskretnou Fourierovou transformáciou (IDFT) dostaneme:

$$y(l\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Y(k\Omega) \exp(j\Omega \tau k l), \text{ kde } l=0,1,2,\dots,N-1. \quad (2.9)$$



Obr.12 Vzorkovanie signálu (DFT)

2.2.1 Výkonné spektrum, autokorelačná funkcia

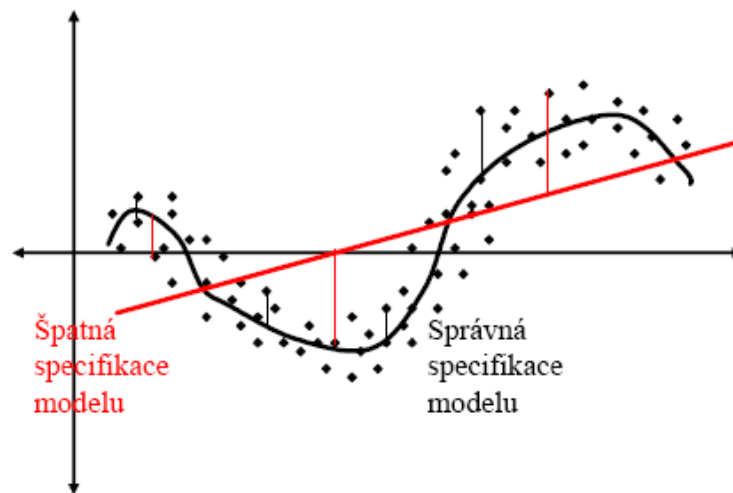
Autokorelácia je korelácia medzi pozorovaniami usporiadanými v čase (dáta sú časové rady), alebo v priestore (v jednom časovom okamihu). V regresnom modeli nie je prítomná autokorelácia ak náhodné veličiny sú vzájomne nekorelované, čo sa dá vyjadriť:

$$E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0, \quad i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.10)$$

ak naopak existuje dvojica indexov $i \neq j$, pričom platí $E(\varepsilon_i, \varepsilon_j) \neq 0$, v regresívnom modeli je prítomná autokorelácia.

Autokorelácia sa najčastejšie vyskytuje v regresívnych modeloch založených na dátach vo forme časových radov. Potom indexy i , (resp.) predstavujú časové okamihy t .

Na obr.č.2 sú dva regresné modely dát, z ktorých jeden je špecifikovaný správne (nelineárny regresný model) a druhý nie (lineárna regresná krivka). Nesprávna špecifikácia modelu zapríčiňuje, že rezíduá sú vzájomne korelované, čo sa prejavuje tak, že dátové body ležia vždy vo väčšej oblasti pozdĺž vodorovnej osi na jednej strane regresnej krivky, zatiaľ čo v prípade nekorelovaných rezíduí ležia dátové body rovnomerne po oboch stranách regresnej krivky v celej oblasti vodorovnej osi (nezávislé premenné). [3]



Obr.13 Autokorelácia: zlá a správna špecifikácia modelu [3]

Signál upravený pomocou FT sa dá použiť k prevedeniu ďalších operácií, ktoré umožňujú lepšie posúdiť jeho vlastnosti. Medzi ne patria aj výkonné spektrum a autokorelačná funkcia.

Výkonné spektrum sa získa z lineárneho spektra (FT signálu):

$$G_{xx} = G_x G_x^* \quad (2.11)$$

Autokorelačná funkcia odhaľuje periodicitu vo veľmi zašumených signáloch. Pokiaľ je urobená FT, a získané výkonné spektrum, dá sa vypočítať podľa vzťahu:

$$C_{xx}(t) = \sum_{k=0}^{N-1} G_{xx}(k) \exp(j2\pi k t / N) \quad (2.12)$$

$$y(l\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} (k\Omega) \exp(j\Omega \tau k), [4] \quad (2.13)$$

3 TEÓRIA FRAKTÁLOV

Fraktálna geometria je samostatná vedná disciplína, zaoberajúca sa vlastnosťami fraktálov a ich opisom. Vedci sa ňou zoberali intenzívnejšie približne od sedemdesiatich rokov minulého storočia. Dovtedy slúžila na popis geometrických útvarov euklidovská geometria, ktorá však mala isté nedokonalosti. Ľahko dokázala popísať úsečky, štvorce, trojuholníky atď. , avšak nedokázala jednoducho popísať zložité štruktúrové útvary matematického, či prírodného pôvodu. Ak by chcela popísať jednoduchý fraktál ako je Kochova krivka, bolo by nutné stanoviť zložitú a neprehľadnú rovnicu. Takýto útvar môže byť jednoducho popísaný pomocou fraktálnej geometrie. Jej zložitost' sa dá popísať formou jedného čísla: fraktálnou dimenziou.

3.1 Fraktál

Za „otca“ fraktálnej geometrie je považovaný B. Mandelbrot, i keď matematické objekty, nazývané ako klasické fraktály (presnejšie matematické deterministické fraktály) boli objavené oveľa skôr. B. Mandelbrot tieto objekty popísal, pomenoval a spolu s ďalšími matematikmi zjednotil teóriu fraktálov. V roku 1975 použil po prvýkrát pojem fraktál (z latinského fractus – rozbitý).

Fraktál ako jeden z najzložitejších geometrických útvarov je definovaný ako nepravidelný, fragmentovaný geometrický tvar, ktorý môže byť rozdelený na časti, z ktorých je každá aspoň približne podobná, zmenšená kópia celého geometrického tvaru. Táto vlastnosť býva nazývaná sebakodobnosť. Je to objekt, ktorého Hausdorffova miera je väčšia, ako topologická dimenzia. Z toho vyplýva, že fraktál na rozdiel od kocky s 3 dimenziami, má väčšiu dimenziu neceločíselnú. Obsah (objem) fraktálov je konečný, no obvod je nekonečným. [5]

3.1.1 Vlastnosti fraktálov

Vlastnosti popísané na základe Kochovej krivky sú platné pre väčšinu fraktálov.

Krivka je spojitá, sama seba nikde nepretína a nemá nikde deriváciu. Ide o krivku striktno sebakodobnú – inak povedané má invariáciu geometrie voči zmene merítka (merítkovo nezávislá). Geometrický motív sa v primárnom telese z matematického hľadiska opakuje do nekonečna. Pri meraní rôznymi merítkami by dĺžka bola vždy iná, predlžujúca sa pri

použití vždy menšieho merítka. Krivka má už spomínanú neceločíselnú dimenziu, spôsobenú výraznou štruktúrovanosťou krivky. Fraktálna dimenzia Kochovej krivky je 1,2619 čo z topologického hľadiska je niečo medzi priamkou (ktorá má dimenziu 1) a hladkou plochou (s dimenziou 2). [6]

3.1.2 Delenie fraktálov a ich konštrukcia

Základné rozdelenie tvoria dve hlavné skupiny, a to matematické a prírodné fraktály. Matematické fraktály sa dajú zoskupovať do určitých skupín, na rozdiel od prírodných, pri ktorých nie sú známe komplikované geometrické transformácie založené na fyzikálnej a chemickej podstate ich vzniku. Fraktály sa dajú deliť podľa rôznych kritérií a podľa rôznych autorov.

Delenie podľa algoritmu konštrukcie fraktálu:

- IFS (Iteration function system) ku konštrukcii používa transformácie, ktoré sa cyklicky opakujú
- TEA (Time Escape algorithms) algoritmus, ktorý robí iterácie pre užívateľsky stanovené hranice a pre konštrukciu používa komplexnú rovinu

Iné delenie matematických fraktálov delí na:

- deterministické (pravidelné)
- stochastické (náhodné)

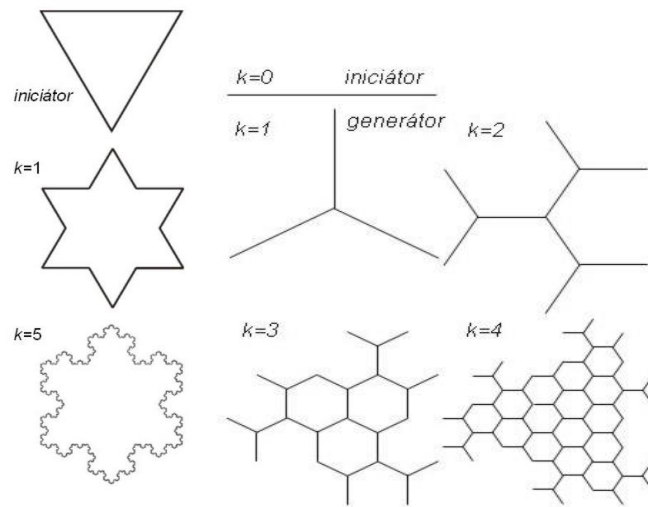
Ďalšia možnosť je:

- sebedobné – sú väčšinou iba matematické štruktúry s ktorými sa vyskytujú pri matematických konštrukciách. Charakteristickým znakom je opakovateľnosť pôvodného motívu základného telesa.
- Sebepríbuzné – sú spravidla fyzikálne štruktúry. Charakteristickým znakom je že akýkoľvek výsek je podobnou kópiou základného modelu.

3.1.2.1 Zobrazenie a stručný popis najznámejších fraktálov:

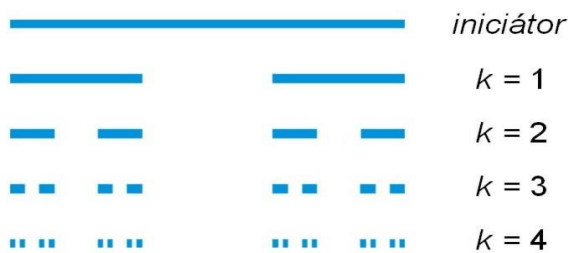
Kochova krivka a Kochova vložka patria medzi IFS fraktály. Pokiaľ bude iniciátor rovnostranný trojuholník a generátor rovnaký ako pri Kochovej krivke, potom získame tzv. Kochovu vložku (Obr.14 a)

Pokiaľ bude iniciátorom úsečka a generátorom tri úsečky idúce z počiatku po 120° , potom po niekoľkých iteráciách dostaneme tzv. voštinovú štruktúru (Obr.14 b).



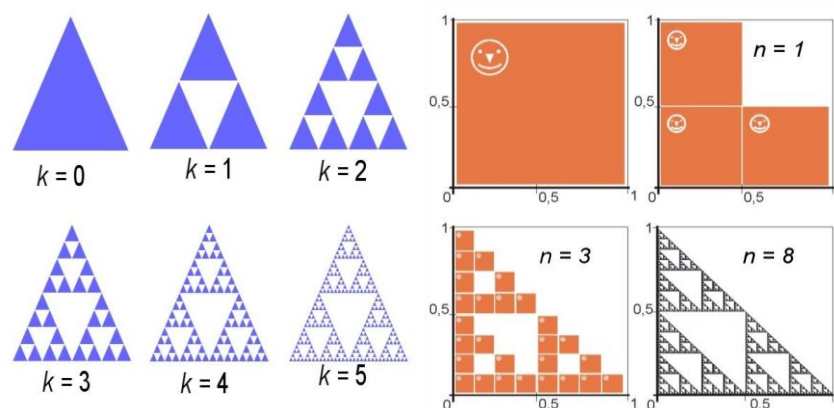
Obr.14 a) Kochova vložka (vľavo), b) Voštinová štruktúra (vpravo) [7]

Najjednoduchším IFS fraktálom je Cantorova množina. Celá Cantorova množina leží na intervale $[1, 0]$ a jej konštrukcia spočíva vo vynechaní druhej tretiny tohto intervalu zo všetkých ďalších, ktoré týmto procesom vznikajú. Po nekonečne mnoho iteráciách je získaná množina bodov, ktorá má z topologického hľadiska nulovú dimenziu, ale z hľadiska fraktálneho je jej dimenzia $0,6309$ (Obr. 15).



Obr.15 Cantorova množina [7]

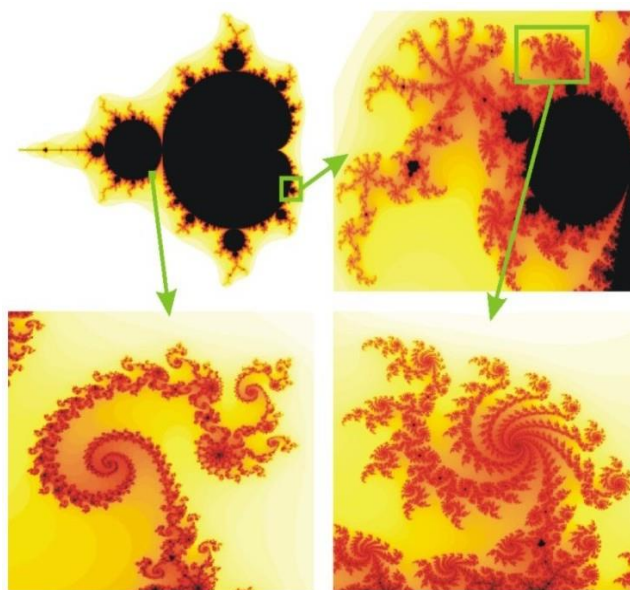
Sierpinského tesnenie sa dá konštruovať pomocou niekoľkých princípov. Prvým je konštrukcia rozdelením trojuholníkov na menšie štyri trojuholníky a odstránenie prostredného (Obr.16a), ďalším je delenie štvorca (Obr.16b). Po dostatočnom počte iterácií je získaný obraz Sierpinského tesnenia.



Obr.16 Sierpinského tesnenie a)delenie trojuholníka (vľavo), b)delenie štvorca(vpravo)

[7]

Mandelbrotové množiny sú jedným z typov fraktálov TEA, ktorá využíva komplexnej roviny, ktorá je pre generáciu typu TEA definovaná maticou komplexných čísel.

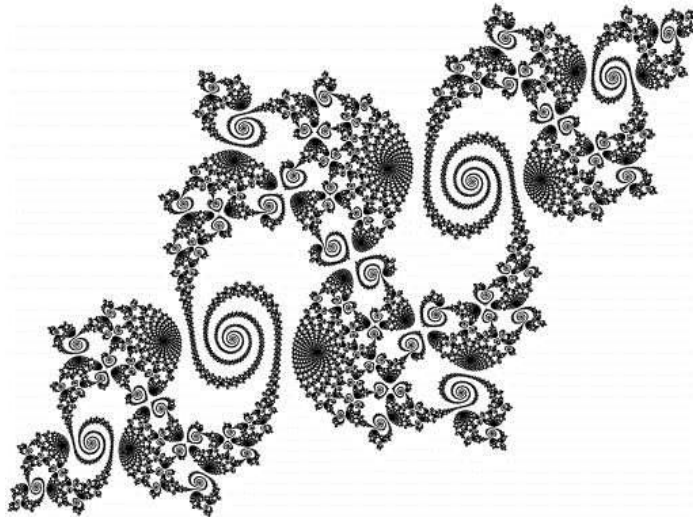


Obr.17 Ukážka Mandelbrotovej množiny [7]

Samotná množina nie je klasickým fraktálom, ale multi-fraktálom. Pri skúmaní množiny zistíme, že po obode sú množiny rovnakého tvaru. Tieto množiny nie sú len po obode ale vyskytujú sa aj osamotené v okolí, avšak vždy sú spojené s hlavnou časťou. Dá sa tvrdiť, množina je spojitá. K zobrazeniu výsledkov sa používa farebného zobrazenia vid'. Obr.17. Čierne plochy tvoria množinu bodov, ktorá je fraktálnym obrazcom, alebo jej časťou. Ostatné farby znázorňujú časti, ktoré do množiny nepatria a začali unikať do neko-

nečna po niekoľkých krokoch. Ak sa iterácia preruší po desiatich cyklom, program môže zakresliť bod žltou farbou, po dvadsiatich cykloch oranžovou atď. Výber farieb a prerušenie cyklu môže byť menené podľa programátora. Na obrázku je tiež vidieť priblíženie výrezov, ktoré ukazujú členitosť, rozmanitosť a štruktúrovanosť množiny.

Juliove množiny sú na bázi TEA a sú v súvisi s Mandelbrotovou množinou. Boli Mandelbrotom inšpiráciou, snažil sa ich zjednotiť. [7]



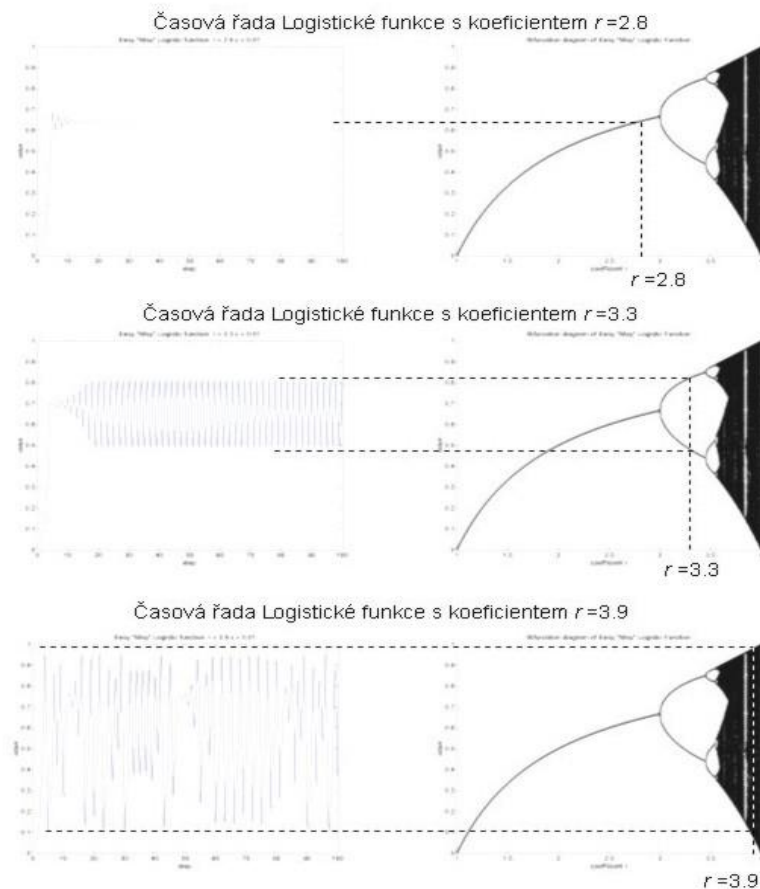
Obr.18 Juliove množiny [7]

Dynamické systémy

Pre teóriu chaosu sú veľmi dôležité. Radia sa medzi bifurkačné diagramy a atraktory.

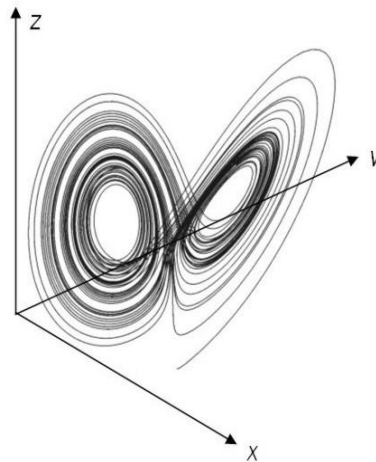
Bifurkácia znamená rozdvojenie. Bifurkačné diagramy predstavujú jedny z najvýznamnejších nástrojov pri štúdiu dynamických dejov a používajú sa často na popis logistických rovníc.

S bifurkačným diagramom prišiel ako prvý Robert May, ktorý ho aplikoval na funkciu $x_{n+1} = r \cdot x \cdot (1 - x)$. Pokiaľ je parameter r malý (napr. 2,8), potom sa časová rada, generovaná vyššie uvedenou rovnicou ustáli na konečnej hodnote, ktorá sa v bifurkačnom diagrame zobrazí ako bod (Obr.19).



Obr.19 Bifurkačný diagram s rôznymi koeficientmi [8]

Jedným z najznámejších atraktorov je Lorenzov podivný atraktor (Obr. 20). Jedná sa o tri diferenciálne rovnice, ktoré tvoria nelineárnu sústavu. Je to jednoduchý systém, ktorý nemá analytické riešenie a je „nevyspytateľný“. Malá zmena parametrov vedie k veľkým zmenám konečného výsledku.



Obr. 20 Lorenzov atraktor [8]

Pre samotné fraktály má atraktor kľúčový význam a vo svojej podstate by fraktály nemohli bez atraktorov existovať. Atraktor je z hľadiska fraktálu jeho limitou a tá je hromadným bodom. [8]

3.2 Výpočet fraktálnej dimenzie

D udáva mieru nepravidelnosti útvaru. Nefraktálnym objektom sa so znižovaním dĺžky merítka približuje dĺžka objektu k nejakej limitnej hodnote. U fraktálov je to naopak. Ich dĺžka sa stále zväčšuje.

Vzorcom sa dá určiť topologická dimenzia u symetricky pravidelných telies, tak i Hausdorfova – Besicovitchovu dimenzia pri fraktáloch.

Presná matematická definícia: znie:

Povedzme ε - siete danej množiny M, takú jej konečnú podmnožinu N, kde každý bod má od množiny N vzdialenosť najviac ε , potom je Hausdorffova dimenzia definovaná vzťahom:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln n}{\ln \left(\frac{1}{\varepsilon} \right)}. \quad (3.1)$$

Ak táto limita existuje, kde n minimálny možný počet prvkov ε -siete N. [9]

Mocninový zákon prítomný pri meraní rôznych kriviek, vyjadruje závislosť získanej informácie na zvolenom merítke. Pokiaľ je závislosť znázornená v logaritmických súradni-

ciach, tak fraktálna dimenzia D je rovná smernici príslušnej priamky vyjadrujúcej závislosť na merítke $+1$. Čiže ak vyjde v logaritmických súradniciach lineárna závislosť (body ležiace v približnej priamke, ktorú zostrojíme preložením metódou najmenších štvorcov), potom sa dá predpokladať, že daný objekt má fraktálnu dimenziu. [9]

Ukážka výpočtu Hausdorffovej množiny:

Najskôr by som uviedla najjednoduchší príklad, vychádzajúci z úsečky, ktorá má jednotkovú dĺžku. Úsečku rozdelíme na N dielikov, čo sa dá považovať ako by sme sa na ňu pozreli z N -násobným zväčšením.

Merítka novej úsečky počítame $s = \frac{1}{N}$, kde s je merítka a N je počet dielikov na ktoré

sa úsečka rozdelí. Pre Hausdorffovu dimenziu všeobecne platí uvedená podmienka:

$N \cdot s^D = 1$. Z toho vyplýva výpočet pomocou vzorcov:

$$N \cdot s^D = 1 \quad (3.2)$$

$$\log N \cdot s^D = \log 1 \quad (3.3)$$

$$\log N + \log s^D = 0 \quad (3.4)$$

$$\log N + D \cdot \log s = 0 \quad (3.5)$$

$$D \cdot \log s = -\log N \quad (3.6)$$

$$D = \frac{-\log N}{\log s} \quad (3.7)$$

$$D = \frac{\log N}{\log \frac{1}{s}} = \frac{\log N}{\log N} = 1. \quad (3.8)$$

Druhý výpočet odvodený pri Kochovej krivke. Útvar jeho zjemnenie je založené tak, že každá úsečka predchádzajúceho útvaru je nahradená dvomi úsečkami s tretinovou dĺžkou, a rovnostranným trojuholníkom zostrojeným uprostred medzi dvomi novými úsečkami. Pri trojnásobnom zjemnení sa dĺžka zväčší štyrikrát. Výsledkom je neceločíselné číslo.

$$s = \frac{1}{3}, N = 4 \quad (3.9)$$

Výpočet Hausdorffovej dimenzie:

$$D = \frac{\log N}{\log \frac{1}{s}} = \frac{4}{3} = 1,2618595. \quad (3.10)$$

Topologická dimenzia krivky je rovná jednej. Hausdorffova dimenzia je väčšia ako jedna, čiže sa dá konštatovať, že útvar je fraktál. Kochova krivka je v celom svojom rozsahu spojitá, ale v žiadnom bode nemá deriváciu. [10]

3.2.1 Hausdorferova dimenzia pomocou matematiky

Definícia: Nech N je podmnožina v R^n a s je nezáporné číslo. Pre každé $\delta > 0$ definujeme:

$$H_\delta^s(F) = \inf \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} |U_i|^s : U_i \text{ je } \delta - \text{pokrytie } F \right\}. \quad (3.11)$$

$$H^s(F) = \lim_{\delta \rightarrow 0} H_\delta^s(F) \quad (3.12)$$

Z tohto vzťahu plynie, pre každú množinu $F \subset R^n$ a $\delta < 1$, že $H_\delta^s(F)$, je nerastúca vzťahom k s , teda $H^s(F)$ definovaná vzťahom (2) je tiež nerastúca. Dokonca platí ešte silnejšie tvrdenie, keď $t > s$ a U_i je δ - pokrytie F , potom: (pri $\delta < 1$)

$$\sum_i |U_i|^t = \sum_i |U_i|^s |U_i|^{t-s} \leq \delta^{t-s} \sum_i |U_i|^s. \quad (3.13)$$

Ak použijeme vo vzorci (3) na krajné výrazy infimum dostaneme:

$$H_\delta^t(F) \leq \delta^{t-s} H_\delta^s(F) \quad (3.14)$$

Po limitnom prechode $\delta \rightarrow 0$ plynie pre $t > s$ z $H^s(F) < \infty$ rovnosť $H^t(F) = 0$. Preto, ak by išlo nakresliť graf závislosti $H^s(F)$ na s skončil v kritickej hodnote s_z . Táto kritická hodnota sa nazýva Hausdorffova dimenzia množiny. Označovaná ako $\dim_H(F)$ a je definovaná pre každú množinu $F \subset R^n$. V niektorých literatúrach nazývaná aj ako Hausdorffova-Besicovitchova dimenzia.

Definícia: Nech F , potom Hausdorffova dimenzia množiny F je:

$$\dim_H(F) = \inf \{s \geq 0 : H^s(F) = 0\} = \sup \{s \geq 0 : H^s(F) = \infty\}, \quad (3.15)$$

definujeme supremum prázdnej množiny ako 0.

Zistené je, že platí

$$H^s(F) = \begin{cases} \infty & 0 \leq s < \dim_H(F) \\ 0 & s > \dim_H(F) \end{cases}. \quad (3.16)$$

Pokiaľ $s = \dim_H(F)$, potom $H^s(F)$ je $0, \infty$ alebo

$0 < H^s(F) < \infty$.

Berelovská množina splňujúca posledný vzťah sa nazýva s-množina. [11]

Hausdorffova množina má užitočné vlastnosti:

1) Monotónnosť

$E \subset F$ plynie $\dim_H(E) \leq \dim_H(F)$

2) Spočetná stabilita

ak F_1, F_2, \dots je najvyššia spočetná postupnosť množín, potom:

$$\dim_H \bigcup_{i=1}^{\infty} F_i = \sup_{1 \leq i < \infty} \{\dim_H F_i\}.$$

3) Dimenzia spočetnej množiny

pokiaľ F je spočetná, potom $\dim_H(F) = 0$.

4) Dimenzia otvorenej množiny

pokiaľ $F \subset R^n$ je otvorená množina, potom $\dim_H(F) = n$.

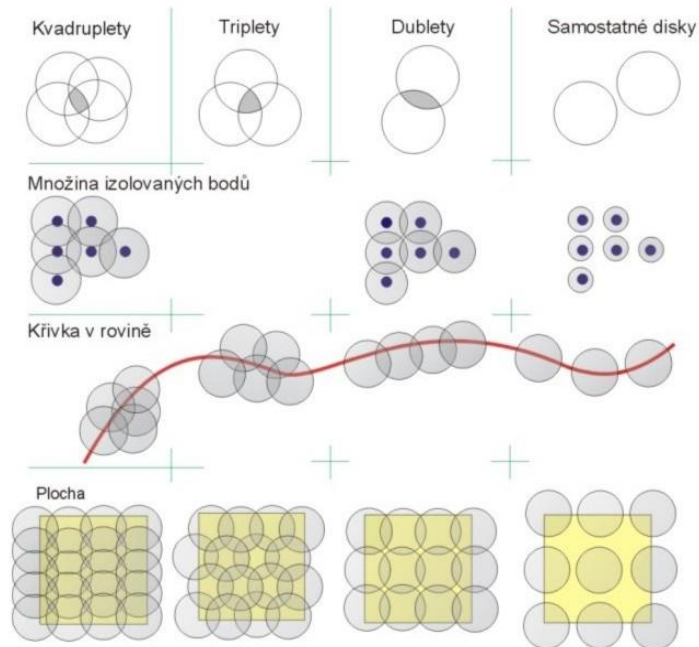
5) Dimenzia hladkej množiny

ak F je hladká (spojitá, diferencovateľná) m -dimenzionálna podvarieta v R^n , potom
potom $\dim_H(F) = m$. [11]

3.2.2 Pokrývacia dimenzia

Množina bodov, krivka a plocha môžu byť pokryté diskami niekoľkými možnými spôsobmi ako je vidieť na Obr.8. Útvary sa dajú pokrývať samostatnými diskami, alebo

s nenulovým prienikom dvoch, troch, štyroch diskov (dublety, triplety, kvadruplety). Pri pokrývaní plochy, alebo topologicky trojdimenzionálneho objektu je nutné použiť miesto diskov gule.



Obr.21 Znáznornenie rôznych možností pokrývania bodov, krivky a plochy [12]

Na obrázku vidíme ako množina izolovaných bodov môže byť pokrytá guľami o nekonečne malom polomere, takže medzi guľami nebude žiadny prienik $D_p=0$.

Krivka je pokrytá diskami štyrmi spôsobmi. Na pokrytie krivky stačí prienik dvoch susedných diskov a to pri akomkoľvek polomere. Pokrývacia dimenzia je $D_p=1$.

Pokrývacia dimenzia plochy je $D_p=2$. Na obrázku je zrejmé, že pokrytie dabletami je nedostačujúce, pretože plocha musí byť pokrytá celá. Na pokrytie je treba aspoň troch diskov.

$D_p=3$ má pokrývaciú dimenziu napr. kocka, kde sa namiesto diskov používajú gule.

Matematicky povedané:

Pokiaľ množina S je pokrytá diskami (guľami), maximálny počet diskov (gulí), ktoré majú navzájom nenulový prienik, je nazvaný usporiadané pokrytia. V prípade doblet je usporiadanie rovné 2, triplet je rovné 3, kvadruplet 4. Otvorené pokrytia množiny S sú súbory konečne otvorených diskov $\{A = A_1, \dots, A_m\}$, také že ich spojenie pokrýva množinu S . Otvorené

rené pokrytie $\{B_1, \dots, B_m\}$ je nazvané zjemnenie množiny A stanovené pre každé B_i , v ktorom je A_k také, že $B_i \subset A_k$ (množina B_i je podmnožinou A_k). Usporiadanie pokrytia množiny A maximálne celočíselné k také, že existujú nespojité indexy i_1, \dots, i_k s $A_{i_1} \cap \dots \cap A_{i_k} \neq \emptyset$.

Množina S má pokrývaciú dimenziu $D_p = n$ vtedy, pre ľubovoľný polomer disku (gule) $r > 0$ existuje pokrytie množiny S guľami o polomere r takom, že každý bod množiny S patrí maximálne do $n+1$ pokrývacích guľí a neexistuje pokrytie týmito guľami, pre ktoré by každý bod z množiny S patril do n guľí.

Dá sa povedať a preukázať, že pre prevažnú väčšinu množín platí topologická dimenzia sa rovná dimenzii pokrývacej. [12]

4 HYPOTÉZY

Hypotézy ako domienky (dohady, predpoklady) z gréckeho hypo- pod, nižšie, znížený + thesis - tvrdenie, sú tvrdenia, ktoré vedci formulujú vtedy, keď na danom stupni poznania nevedia vysvetliť určité skupiny javov, alebo udalostí a hypotéza sa ich pokúša vysvetliť. Umožňuje určiť, či experimentálne získané dáta vyhovujú predpokladu, ktorý bol pred testovaním stanovený. V čase formulovania hypotézy nie je možné s určitosťou prehlásiť, či je daná hypotéza pravdivá, alebo nepravdivá. Snaha o hlbšie poznávanie dáva možnosť pre rozvoj nových hypotéz. Overovanie hypotéz sa nazýva testovanie hypotéz. V určitých prípadoch môže byť hypotéza overená iba s určitou mierou pravdepodobnosti.

Vedecká hypotéza musí vyhovovať nasledujúcim podmienkam:

- musí vychádzať z doterajších poznatkov
- musí byť v zhode s faktami, ktorých sa týka
- musí objasňovať väčšinu javov ktorých sa týka, prípadne musí byť použiteľná aj na javy, ktoré v čase formulovania hypotézy nie sú známe
- musí byť vedecky overiteľná, napr. experimentom [13,14]

4.1 Testovanie štatistických hypotéz

Pri testovaní parametre základného súboru nepoznáme, preto stanovíme hypotézu, ktorú overujeme štatistickými postupmi. Overovať sa dá predpoklady nielen o parametroch (napr. o strednej hodnote), ale aj o tvare rozdelenia štatistického znaku (napr. testovanie zhody empirického rozdelenia početností s normálnym rozdelením).

Rozdelenie štatistických hypotéz:

- A) Parametrické hypotézy – pojednávajú o parametroch rozdelenia (populácie). Stretávame sa s tromi rozdeleniami:
- hypotézy o parametre jednej populácie (o strednej hodnote, mediáne, rozptyle, relatívnej početnosti, ...)
 - hypotézy o parametre viac ako dvoch populácií (ANOVA)

Parametrické hypotézy môžeme zapísať ako rovnosti (resp. nerovnosti) medzi testovaným parametrom a jeho predpokladanou hodnotou (napr. „ $\mu = 100$ “, „ $\pi \leq 0,08$ “), alebo ako rovnosti (resp. nerovnosti) medzi testovanými parametrami (napr. „ $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ “). K odvodeniu parametrických testov je potrebné pre daný výber špecifikovať typ rozdelenia (v niektorých prípadoch i niektoré parametre tohto rozdelenia, nejde teda o všeobecne ľubovoľné testy parametrických hypotéz). [15]

B) Neparametrické hypotézy - pojednávajú o iných vlastnostiach populácie (tvar rozdelenia, závislosť premenných). Týmto testom sa hovorí, pokiaľ k ich odvodeniu nie je nutné pre daný výber špecifikovať typ rozdelenia. [15]

4.1.1 Výber štatistickej metódy

Určujeme podľa typu premenných. Prehľad premenných vid' nasledujúce rozdelenie.

Nominálna premenná - neusporiadava sa, nadobúda rovnocenných variant (napr. farby, národnosť, pohlavie)

Kvalitatívne premenné

Ordinálna premenná - usporiadava sa, variantom sa dá priradiť poradie, je možné ich zoradiť, porovnať (napr. veľkosti oblečenia, vzdelanie,...)

Diskrétna premenná – nadobúda konečné množstvo variant (napr. klasifikácia,...)

Kvantitatívna premenné

Spojité premenná – nadobúda ľubovoľné hodnoty n z podmnožiny m. (napr. výška, hmotnosť, vek...)

Tab.1. Výber štatistickej metódy[16]

<u>Typy premenných</u>	TEST
Dve kvalitatívne	X2 test
Kvalitatívne (dve premenné) x spojitá	T test
Kvalitatívne (viac ako 2 premenné) x spojitá	Jednosmerná ANOVA
Dve spojité	Korelácie

4.2 Nulová a alternatívna hypotéza

V tomto prípade ide o rozhodnutie, v ktorom proti sebe stoja dve tvrdenia. Nulová hypotéza H_0 ako jedna z nich je opakom toho, čo chceme aby skúmanie dokázalo, predstavuje určitý rovnovážny stav, preto je vyjadrovaná znamienkom rovnosti „ = ” .

Ak testujeme štatistickými metódami, tak proti sebe musia stáť dve hypotézy. Druhou z nich je alternatívna hypotéza H_A , ktorá presne určuje do akej situácie sa dostaneme ak nulová hypotéza neplatí. Predstavuje porušenie rovnovážneho stavu a je možné ju zapísať jedným z uvedených znakov (\neq , $<$, $>$). Ak je určená znamienkami $<$, $>$ hypotéza sa nazýva jednostrannou alternatívnou hypotézou. Pri použití nerovnosti \neq sa hovorí o tzv. obojstrannej alternatívnej hypotéze. Nulová a alternatívna hypotéza sa musia navzájom vylučovať.

Zhrnutie: Nulová hypotéza H_0 je určená vždy jednoznačne (napr. $\mu_1 = 100$), na rozdiel od alternatívnej hypotézy. Ak obsahuje zadanie vedúceho na testovanie hypotéz vzťah jednostrannej nerovnosti, volí sa alternatívna hypotéza príslušná jednostranná hypotéza. V ostatných prípadoch sa volí obojstranná alternatívna hypotéza. H_A by mala byť v súlade s výberovým súborom. Ak tomu tak nie je, prispôbíme H_A záverom získaným z výberového súboru. [15]

4.2.1 Postup testu

1. Formulácia nulovej H_0 a alternatívnej H_A hypotézy

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A : \mu_1 \neq, <, > \mu_2$$

2. Zvolenie hladiny významnosti α , tak dostanem kritickú hodnotu ($t_{\text{krit.}}$)
3. Nájdenie vhodného testovacieho kritéria a vypočítanie jeho hodnoty (t)
4. Porovnanie vypočítaného testovacieho kritéria (t) s kritickou hodnotou ($t_{\text{krit.}}$)
5. Ak je hodnota testovacieho kritéria $t > t_{\alpha/2}$ ako hodnota kritická zamietam nulovú hypotézu. Ak sa H_0 nedá zamietnuť, nemusí to znamenať že automaticky platí. Môže sa jednať o nedostatočne veľký výber, či získanie málo dôkazov na jej zamietnutie.

4.2.2 Chyba I. a II. druhu

V rozhodovaní o H_0 vychádzame z výberového súboru, ktorý nemusí dostatočne presne reprezentovať vlastnosti základného súboru, to znamená, že nie je úplne vylúčená možnosť vzniku chyby.

Uvedený postup spôsobuje chybu I. druhu (k chybnému zamietnutiu hypotézy), alebo ku chybe II. druhu (chybné prijatiu hypotézy). Pravdepodobnosť chyby I. druhu sa nazýva ako hladina významnosti testu, označovaná ako α . Ak platí H_0 a my sme ju nezamietli, rozhodnutie je správne. Pravdepodobnosť tohto rozhodnutia sa nazýva spoľahlivosť, označovaná ako $1 - \alpha$. Pravdepodobnosť, že nezamietneme H_0 ak platí H_A je chybou II. druhu, označovaná β . Správne rozhodnutie o zamietnutí H_0 , vtedy ak je platná H_A sa dopúšťame s pravdepodobnosťou $1 - \beta$, nazývaná aj sila testu (silofunkciou). Pre lepšie znázornenie a pochopenie vid' tabuľka 2.

Pri testovaní hypotéz sa snažíme minimalizovať obe chyby, čo nie je možné, pretože pri znížení β sa zvýši hladina významnosti α a naopak. Najlepším spôsobom je nájsť optimálneho kompromisu medzi požiadavkami na α a β . Hladina významnosti je rozhodujúcim vstupným parametrom testu pre pravdepodobnosť chyby I. druhu volená zvyčajne 5% -ná, alebo 1% -ná. Chybu II. druhu znižujeme ak máme možnosť výberu

voľbou vhodného testu. Ak nie, zvýšime rozsah výberového súboru, pri čom sa zníži β a α zostane bez zmeny.

Tab.2. Platnosť nulovej alebo alternatívnej hypotézy

Rozhodnutie	Skutočnosť	
	platí H_0	platí H_A
Nezamietame H_0	<u>Správne rozhodnutie</u> pravdepodobnosť rozhodnutia $1-\alpha$	Chyba II. druhu pravdepodobnosť rozhodnutia β
Zamietame H_0	Chyba I. druhu pravdepodobnosť rozhodnutia α	<u>Správne rozhodnutie</u> pravdepodobnosť rozhodnutia $1-\beta$

4.3 T- test (rovnosť stredných hodnôt)

T-test je jedným z najpoužívanějších testov, určený pre viacrozmerný lineárny regresívny model. Spadá do parametrických testov, čo nám vypovedá o predpoklade, že výbery patria do normálneho rozdelenia. T-test je založený na princípe porovnania dvoch nezávislých výberov, umožňuje porovnať dve populácie, kde zisťujeme nezávislosť výberov, tým že každý z výberu obsahuje iné prvky. Prvky v jednotlivých výberoch nemusia obsahovať rovnaký počet pozorovaní, avšak pri vysokej nevyváženosti počtu prvkov klesá robustnosť testu.

Ak zistíme metódou najmenších štvorcov, že regresné koeficienty sú nejaké nenulové čísla, a berieme do úvahy, že ide o realizáciu náhodných veličín, je opodstatnené testovať, či pôvodné parametre nemôžu byť aj napriek tomu nulové. Za predpokladu klasického lineárneho modulu je možné testovať nulovú hypotézu :

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 = 0) \quad (4.1)$$

a alternatívnu hypotézu:

$$H_A : \mu_1 > \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 > 0) \quad (4.2)$$

$$\mu_1 < \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 < 0) \quad (4.3)$$

$$\mu_1 \neq \mu_2 \quad (\mu_1 - \mu_2 \neq 0) \quad (4.4)$$

Poznámka:

Pri alternatívnej hypotéze máme výber z troch možností na rozdiel od nulovej, ktorá je priamo určená. Správna voľba sa určuje podľa vzťahu medzi priemerami jednotlivých výberov. Ak :

\bar{x}_1 je jednoznačne vyššie ako \bar{x}_2 , volíme $\mu_1 > \mu_2$,

\bar{x}_1 je jednoznačne nižšie ako \bar{x}_2 , volíme $\mu_1 < \mu_2$,

\bar{x}_1 sa nachádza v blízkosti \bar{x}_2 , volíme $\mu_1 \neq \mu_2$,

Voľba testovanej charakteristiky je určená poznaním (resp. nepoznaním) smerodajných odchýlok σ_1, σ_2 .

Ak poznáme σ_1, σ_2 , potom:

$$T(X) = Z_2 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \rightarrow N(0,1) \quad (4.5)$$

Ak nepoznáme σ_1, σ_2 :

$$T(X) = Z_2 = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \rightarrow t_{n_1+n_2-2}, \quad (4.6)$$

$$\text{kde } S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (4.7)$$

označovanie t

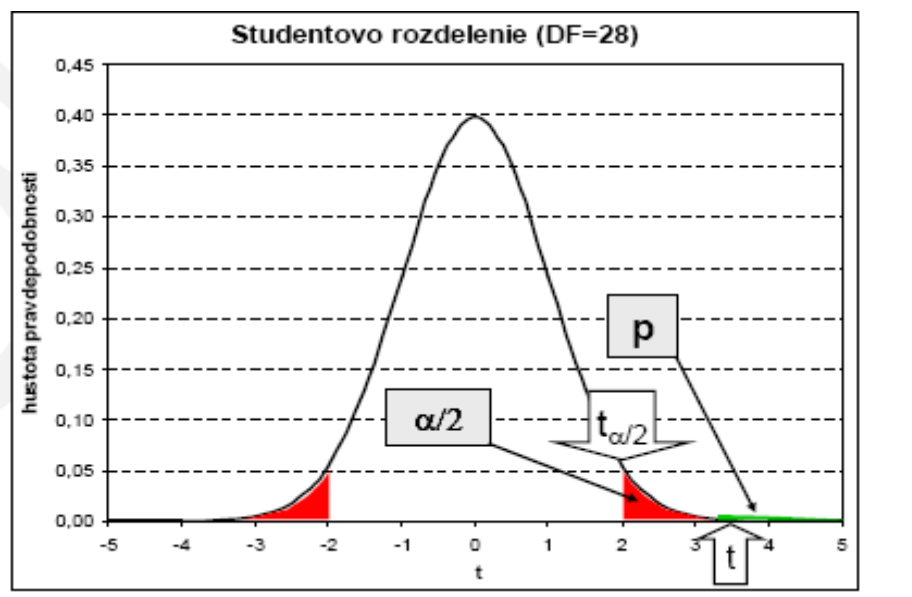
t_α - pri jednostrannom teste H_A ($\mu_1 < \mu_2$, alebo $\mu_1 > \mu_2$)

$t_{\alpha/2}$ - pri obojstrannom teste H_A ($\mu_1 \neq \mu_2$)

$$\begin{aligned} t_{\alpha/2} &= f(\alpha/2, DF) \\ DF &= (n_1 + n_2) - 2 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Nasleduje rozhodnutie o zamietnutí nulovej hypotézy H_0 :

- ak $|T| > t_{\alpha/2}$ – ANO, pravdepodobnosť, že sa mýlime je menšia ako 5% ($p < 0,05$),
zamietam H_0 , pretože mi platí hypotéza alternatívna H_A ,
- ak $|T| < t_{\alpha/2}$ – NIE, pravdepodobnosť, že sa mýlime, ak by sme zamietli nulovú hypotézu by bola väčšia ako 5% ($p > 0,05$). [17]



Graf č.1 Ukážka studentovho rozdelenia [17]

4.4 F- test (rovnosť rozptylov)

F-test hypotézy o hodnotách regresných koeficientov odhaľuje, či vôbec existuje nejaká vysvetľujúca premenná, ktorá má na vysvetľovanú premennú vplyv.

Testuje sa nulová hypotéza:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad (4.9)$$

oproti alternatívnej hypotéze

$$H_A : \sigma_1^2 > \sigma_2^2$$

alebo

$$\sigma_1^2 < \sigma_2^2 \quad (4.10)$$

Rovnako ako pri t-teste je nulová hypotéza jasná. V tomto prípade však u alternatívnej hypotézy máme iba dve možnosti. Obojstranná alternatívna hypotéza odpadá z dôvodu založenia testu zhody dvoch rozptylov na Fischer – Snedecorovom rozdelení, ktoré porušuje podmienku, ktorá uvádza, pre výpočet p – value pre obojstrannú alternatívnu hypotézu, že nulové rozdelenie testovej charakteristiky má byť symetrické. Rozhodujeme sa na základe vzťahu medzi výberovými rozptylmi jednotlivých výberov. Ak:

s_1^2 je jednoznačne vyššie ako s_2^2 , volíme $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$,

s_1^2 je jednoznačne nižšie ako s_2^2 , volíme $\sigma_1^2 < \sigma_2^2$.

Voľba testovej charakteristiky $T(X) = F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \rightarrow F(m, n)$, (4.11)

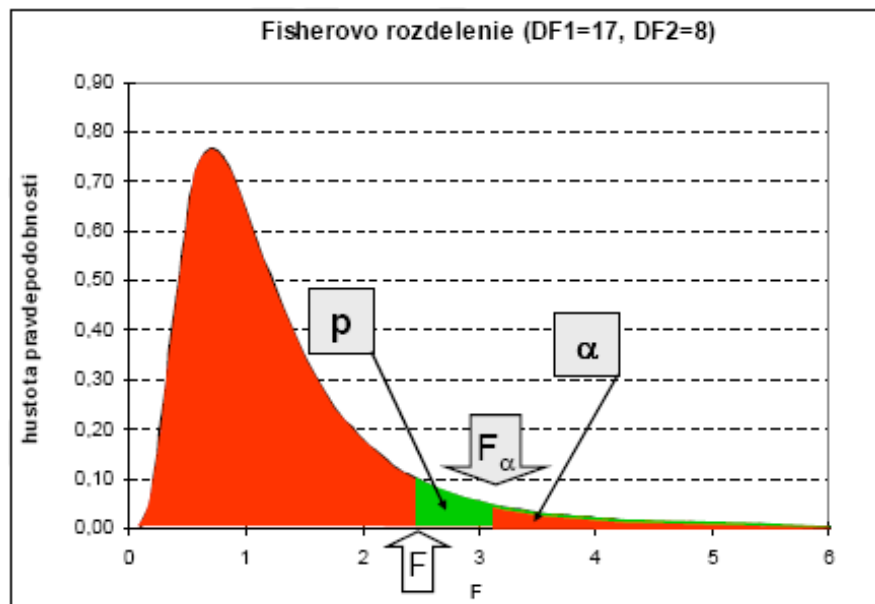
kde F má Fischer – Snedecorovo rozdelenie s m stupňami voľnosti pre čitateľa a n stupňami voľnosti pre menovateľa.

$$F_\alpha = f(\alpha, DF1, DF2)$$

$$DF1 = n_1 - 1$$

$$DF2 = n_2 - 1$$

(4.12)



Graf č.2 Ukážka Fischerovovho rozdelenia [17]

Nasleduje rozhodnutie o zamietnutí H_0 :

- ak $F > F_\alpha$ – ANO, pravdepodobnosť, že sa mýlime je menšia ako 5% ($p < 0,05$),
- ak $F < F_\alpha$ – NIE, pravdepodobnosť, že sa mýlime, ak by sme zamietli nulovú hypotézu by bola väčšia ako 5% ($p > 0,05$).

4.5 Metóda Anova (Analysis of variance)

Je metóda testovania hypotéz o rovnosti stredných hodnôt, ale (ne)zamietnutie sa robí na základe analýzy rozptylu. Slúži na viacnásobné porovnanie stredných hodnôt, umožňuje overiť významnosť rozdielu medzi výberovými priemerami väčšieho počtu náhodných výberov, umožňuje posúdiť vplyv rôznych faktorov na proces charakterizovaný kvantitatívnym štatistickým znakom Y , dovoľuje hodnotiť účinky rôznych opatrení.

Predpoklady pre použitie metódy analýzy rozptylu pre testovanie rozdielov viac stredných hodnôt:

- nezávislosť merania (v skupinách i medzi skupinami)
- normalita dát v každej skupine
- homogenita rozptylov (aspoň približná homogenita vo vnútri skupín) [17]

4.5.1 Jednofaktorová anova

Pointa analýzy rozptylu spočíva v rozklade celkového rozptylu na dielčie rozptyly prislúchajúce jednotlivým vplyvom, podľa ktorých sú dáta roztriedené. Reziduálny rozptyl je jednou zo zložiek celkového rozptylu, ktorý vyjadruje nepostihnuteľné vplyvmi.

Metóda preukazujúca závislosť hodnôt znaku Y na faktore X , pre ktoré sú k dispozícii príslušné dáta, že celkovú variabilitu meraní súčtom štvorcov odchýlok od celkového priemeru je delená na variabilitu vo vnútri jednotlivých výberov a na variabilitu medzi jednotlivými výbermi. Cieľ je buď prijatie nulovej hypotézy o vzájomnej nezávislosti Y na X , alebo ju zamietnuť (na zvolenej hladine významnosti) a teda predpokladať závislosť Y na X .

Väčšinou máme k nezávislých náhodných výberov, ktoré nemusia všeobecne pochádzať z jedného základného súboru. Inak povedané, nemusia byť rovnakého typu s rôznymi roz-

sahmi, tj. počty prvkov $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$. Číslo k môže byť ľubovoľné celé, vyššie ako 1, podľa danej situácie. Rozsahy výberov nemusia byť rovnaké. V každom z nich bude známy výberový priemer \bar{x}_i , výberový rozptyl $s_i^2, i = 1, 2, \dots, k$. Vo všeobecnosti vznikajú výberové súbory v základnom rozdelení na základe určitého štatistického znaku X (nezávislý faktor) do k skupín. V každom z nich sa nachádza n_i prvkov kde $i = 1, 2, \dots, k$. Hodnoty nezávislého faktora vopred určíme a často nadobúdajú kvalitatívne (nečíselné) veličiny. Nemusia byť vzájomne usporiadané. Taktiež faktor X ktorý nadobúda k kvalitatívnych hodnôt môže a nemusí ovplyvňovať hodnoty štatistického znaku Y (o ktorom predpokladáme, že má kvantitatívnu povahu). Anova má snahu preukázať, či hodnoty kvalitatívneho znaku X ovplyvňujú hodnoty kvantitatívneho znaku Y (závislého faktora) Hodnoty znaku Y, ktoré príslušia hodnote x_i faktora X označujeme $y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im}$. Pre vyhodnocovanie a analýzu je vhodné upraviť a usporiadať údaje do prehľadnej tabuľky, ktorá by mala obsahovať číslo výberu, zistené hodnoty sledovaného znaku, počet prvkov, priemer, rozptyl. [17]

Predpoklady analýzy

Faktor X má k úrovní (hodnôt x_i), s účinkom na znak Y, ktorý sa dá vyjadriť vzťahom

$$\mu_i = \mu + \alpha_i, i = 1, 2, \dots, k, \quad (4.13)$$

kde μ_i - je priemer znaku Y v i -tej skupine (príslušné k hodnote faktoru x_i)

μ - je celkový priemer znaku Y

α_i - je efekt hodnoty faktoru x_i na znak Y

Formulujeme nulovú hypotézu, že všetky výbery pochádzajú z rovnakého základného súboru, inak povedané, že hodnoty faktor X nemajú na hodnoty znaku Y žiadny efekt. Ďalej predpokladajme, že hodnoty α_i pochádzajú z normálneho rozdelenia, stredná hodnota sa rovná nule a rozptyl σ^2 je konštantný.

4.5.1.1 Vzorce pro výpočet

Nulová hypotéza:

$$H_0 : E(\alpha_1) = E(\alpha_2) = \dots = E(\alpha_k) = 0, \quad (4.14)$$

alternativna hypotéza:

$$H_1 : E(\alpha_i) \neq E(\alpha_j), \quad (4.15)$$

$E(\alpha_i)$ - stredná hodnota náhodnej veličiny α_i

Pri anova teste postupujeme bežným štatistickým postupom nazývaným testovanie štatistických hypotéz. Buď prijmeme nulovú hypotézu a tým vyvodíme nezávislosť hodnôt faktoru Y na faktore X, alebo ju zamietneme na zvolenej hladine významnosti a konštatujeme pre daný postup, že faktor X ovplyvňuje Y .

Celkovú variabilitu znaku Y, zmeráme výberovým rozptylom:

$$s^2 = \frac{\sum_i \sum_j (y_{ij} - \bar{y})^2}{n - 1} \quad (4.16)$$

V súvislosti s analýzou rozptylu sa táto časť zaoberá iba čitateľom rovnice (4.16), čiže súčtom štvorcov odchýlok zistených hodnôt y_{ij} od celkového priemeru \bar{y} , pričom priemer vypočítame súčtom všetkých hodnôt a výsledok vydelíme ich počtom vid' (4.17)

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} y_{ij} \quad (4.17)$$

uvedený súčet štvorcov budeme označovať symbolom S_y

$$S_y = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2 \quad (4.18)$$

Celkovému súčtu štvorcov prináleží počet stupňov voľnosti $df_y = n - 1$.

Variabilita medzi skupinami bude meraná medziskupinovým súčtom štvorcov $S_{y,m}$, definovaný ako:

$$S_{y,m} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2 \quad (4.19)$$

Medziskupinovému súčtu štvorcov prináleží počet stupňov voľnosti $df_m = k - 1$.

Variabilita vo vnútri skupín pomenúvame ako vnútroskupinovú (reziduálnu), označovanú $S_{y,v}$ a je definovaná ako:

$$S_{y,v} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (4.20)$$

Vnútroskupinovému súčtu štvorcov prináleží počet stupňov voľnosti $df_v = n - k$.

Aritmetickými úpravami vyššie uvedených rovníc sa dá ľahko dokázať základný vzťah analýzy rozptylu, a to že celkový súčet štvorcov je rovný sume medziskupinového a vnútroskupinového súčtu štvorcov.

$$S_y = S_{y,m} + S_{y,v} \quad (4.21)$$

Pre overenie nulovej hypotéza použijeme štatistiku:

$$F = \frac{\frac{S_{y,m}}{k-1}}{\frac{S_{y,v}}{n-k}} = \frac{\frac{S_{y,m}}{df_m}}{\frac{S_{y,v}}{df_v}}, \quad (4.22)$$

ktoré má pri platnosti nulovej hypotéza Fisherovo rozdelenie (k-1, n-k). Kritické hodnoty Fischerovho rozdelenia $F_\alpha(df_1, df_2)$ sú tabelované pre rôzne hodnoty hladiny α a rôzne hodnoty parametrov (degree of freedom) df_m, df_v . Niekedy sa namiesto kritických hodnôt tabelujú kvantily tohto rozdelenia $F_{\alpha-1}^k(df_1, df_2)$, pretože ich výsledky sú zhodné.

$$F_\alpha(df_1, df_2) = F_{\alpha-1}^k(df_1, df_2) \quad (4.23)$$

Napr. 5%-ná kritická hodnota je rovná 95%-nému kvantilu pri rovnakých hodnotách parametroch df_1, df_2 . [17]

Postup:

2. Zvolíme hladinu významnosti α , predstavujúcu chybu I. druhu, tj. pravdepodobnosť zamietnutia nulovej hypotézy. Uvádzané ako čísla, alebo v percentách.
3. Vypočítame hodnotu štatistiky F pomocou vzorca (4.22)
4. Porovnáme vypočítané F v kroku dva s kritickou hodnotou $F_\alpha(k-1, n-k)$.
Následne rozhodneme z dvoch alternatív a to buď:

a) platí $F \leq F_\alpha(k-1, n-k)$,

v tomto prípade sa nulová hypotéza prijíma (nezamieta), a je interpretovaná tak, že hodnoty faktoru X nemajú na hodnotu znaku Y štatisticky významný vplyv (na zvolenej hladine významnosti). Faktor X je neúčinný.

b) platí $F > F_\alpha(k-1, n-k)$,

nulová hypotéza je zamietnutá, prijíma sa hypotéza alternatívna. Konštatuje sa, že faktor X je účinný a má na hodnotu znaku Y štatisticky významný vplyv.

Pomer determinácie a korelácie

Čím väčšia je $S_{y,m}$ tým vzrastá tesnosť závislosti znakov X a Y. Keďže sú jednotlivé súčty štvorcov vzájomne prepojené vzťahom (4.20), píšeme rovnicu:

$$P^2 = \frac{S_{y,m}}{S_y} \quad (4.24)$$

tým je zavedená miera tesnosti závislosti znaku Y na znaku X pomer determinácie P^2 . Odmocninu z tohto pomeru, P, nazývame pomer korelácie. Pomer determinácie nadobúda hodnôt $[0,1]$, určované v závislosti na tesnosti X a Y. Čím je tesnejšia, tým sa hodnota P^2 blíži k 1. To taktiež ovplyvňuje aj vnútrokupinový súčet štvorcov, ktorý sa blíži k celkovému súčtu štvorcov, na rozdiel od medziskupinového súčtu štvorcov, ktorý sa blíži nule. P^2 je náhodná veličina, keďže pomer vychádza z podielu dvoch náhodných veličín,

preto môže byť výsledkom kladné číslo, i v prípade, že výsledkom ANOVA je fakt, že skúmaný objekt nie je štatisticky významný, alebo sledovaná veličina na faktore nezávisí. Logicky by malo potom platiť, že P^2 je nulový. Zdanlivý rozpor vysvetľujeme štatistickým prístupom: testom štatistickej hypotézy: pre daný prípad $H_0 : P^2 = 0$. Testovacím kritériom sa stane štatistika F zo vzorca (4.22). Ak platí: $F \leq F_\alpha(k-1, n-k)$ potom sa nulová hypotéza prijíma. Konštatuje, že hodnoty X nemajú na hodnoty znaku Y , žiadny štatistický význam na zvolenej hladine významnosti. Pomer determinácie a korelácie je rovný nule. Povedané inak, je štatisticky nevýznamný.

V opačnom prípade sa nulová hypotéza zamietá. Pomery determinácie a korelácie sú nenulové, a dá sa hovoriť o sile závislosti veličiny Y na faktore X .

4.5.2 Kruskal- Wallisov test

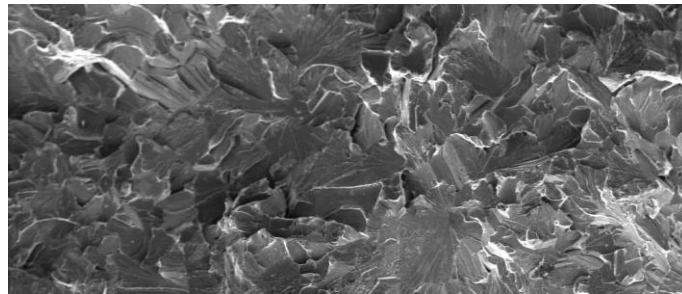
Neparametrická verzia jednofaktorovej analýzy metódy ANOVA, používaná pri nesplnení podmienok pre použitie ANOVY (nielen pre metrické dáta, ktoré majú náhodné rozdelenie a ich rozptyl vo vnútri skupín je približne rovnaký). Nulová hypotéza pri tomto druhu testu predpokladá, že meranie v skupinách má rovnaké mediány. Pretože sa pracuje na úrovni ordinálneho merania, najskôr sa usporiadajú všetky dáta podľa veľkosti. Potom sa nahradia ich hodnoty poradiami a vypočítajú sa koeficienty SR^i , ako súčty poradia dát v skupine i . Podľa vzorca (3.7) spočítame testovacie kritérium H , ktoré udáva rozdielnosť aritmetických priemerov poradia v skupinách.

$$H = \left[\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{(SR_i)^2}{n_i} \right) \right] - 3 \cdot (n+1), \quad (4.25)$$

približne platí, že pri $H \geq 4$ je $p \leq 0,05$. [18]

5 KONFOKÁLNY SPÔSOB SNÍMANIA

Každá z diagnostických metód má svoju špecifikáciu. Výnimkou nie je ani konfokálny spôsob snímania, ktorý na rozdiel od klasickej mikroskopie zobrazuje obraz vo vrstvách od najpovrchnejšej smerom do hĺbky a vyznačuje sa vyššou rozlišovacou schopnosťou danou detekcií svetla iba z ohniskovej roviny mikroskopu. Konfokálne snímanie má využitie v rôznych vedných oblastiach, avšak v technickej oblasti má pre nás veľký význam z hľadiska analýz povrchov, degradácií materiálu na povrchu v dôsledku zobrazit' poškodené vrstvy povrchu abrazívneho, adhézneho, únavového a korózneho opotrebenia, ako aj na stanovenie drsnosti po aplikácii technologických operácií.

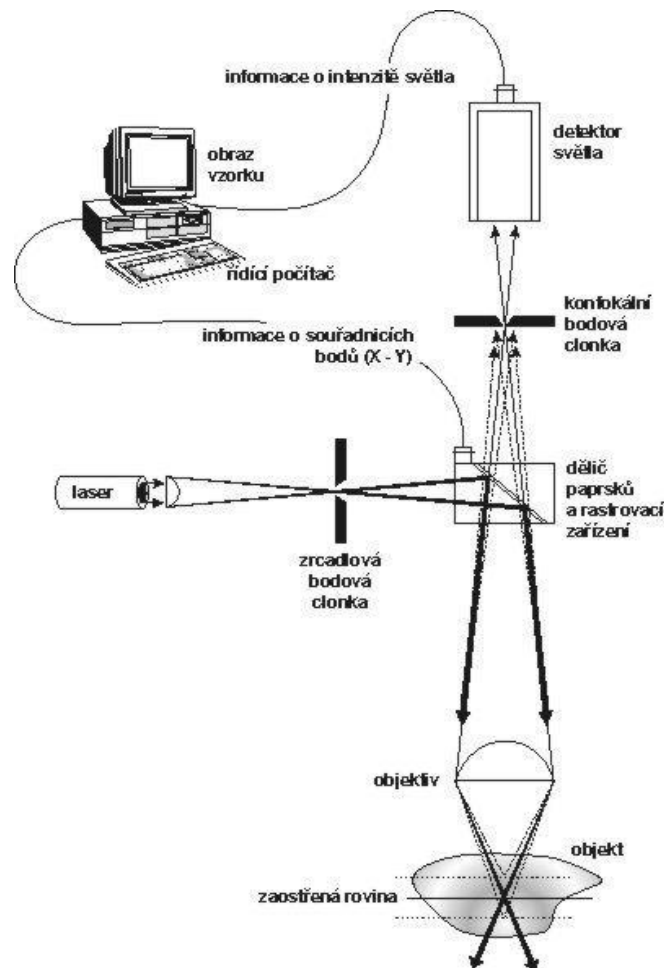


Obr.22 Ukážka snímania konfokálnou metódou [19]

Výhody konfokálneho snímania:

- Vysoké axiálne rozlíšenie pri vysokej ostrosti obrazu
- Možnosť optických rezov a pozorovania priehľadných vzoriek i pod povrchom
- Konštrukcia trojrozmerných obrazov
- Bezkontaktná povrchová profilometria (i máloodrazivých materiálov)
- Možnosť snímania farebného obrazu v skutočných farbách
- Možnosť pozorovania nevodivých materiálov
- Možnosť pozorovania poréznych materiálov – nie je potrebné vytvorenie vákua
- Možnosť použitia obrazovej analýzy
- Možnosť využitia klasických metód svetelnej mikroskopie (svetlé a tmavé pole, nomarského diferenciálny kontrast, fázový kontrast, polarizačná a flourescenčná mikroskopia atď.)

- Možnosť pozorovania živých exemplárov bez nutnosti ich usmrtenia
- Nedochádza k degradácii vzorky
- Jednoduchá výmena vzoriek
- Jednoduchá obsluha [19]



Obr.23 Spôsob konfokálneho snímání [19]

5.1.1 Rozlišovací schopnosť

Pri použití objektívu NA (numerická apertura) cca 1,3 a s využitím modrozelenéj čiary Ar laseru ($\lambda = 488 \text{ nm}$) by odpovedala hrúbka optických rezov asi $0,4 \mu\text{m}$. Ďalej pri maximálnom priemere konfokálnej clonky odpovedajúcej $\frac{1}{4}$ priemeru centrálného maxima Airyho krúžku, sa dá tvrdiť, že rozlišovací schopnosť konfokálneho mikroskopu je približne 1,4 x lepšia ako klasického mikroskopu o rovnakej NA objektívu. [20]

5.2 Meranie pomocou Taylor Hobson prístroja

Výrobca meracej techniky z dlhoročnou tradíciou Taylor Hobson Ltd. Sa sústreďuje len na prípravu vysoko kvalitných systémov a prístrojov na meranie textúry a tvaru povrchu, ale súčasne je aktívne zapojený do prípravy i normalizácie metodík merania, spracovanie výsledkov a ich vyhodnotenie formou parametrov. Zvláštnu pozornosť venuje i konkrétnemu využitiu kontrolných postupov a získaniu výsledkov pre posudzovanie funkčných vlastností povrchu. V dnešnej dobe Taylor Hobson ponúka plynule inovovaný komplexný program priestorového hodnotenia kvality textúry povrchu Talymap, ktorý sa dá používať v následne uvedených meracích systémoch:

- Form Talysurf PGI
- Talysurf CCI
- Talysurf CLA
- Talyrond

5.2.1 Merací systém Talysurf CLI

Prístroje Talysurf CLI sú vysoko účinnými meracími prostriedkami určenými pre rýchle priestorové meranie a hodnotenie povrchu s vysokým rozlíšením. Možnosti merania a analýzy povrchu systému CLI sú realizované v troch osiach formou dotykovej alebo bezdotykovej meracej techniky. Ľahko merateľné a výkonné meracie prístroje, vhodné i pre kontrolu veľkého počtu súčastí sú pripravené robiť analýzu dát pri hodnotení štruktúry povrchu z jedného profilu rezu (2D) i profilu plochy povrchu (3D). Prístroj vyniká svojou univerzálnosťou jeho využitia. Systém môže merať buď dotykovým spôsobom Form Talysurf, alebo bezdotykovým spôsobom a to laserovou triangulačnou sondou, či CLA konfokálnym snímačom (Chromatic Length Aberration – CLA). Spomenuté spôsoby merania zabezpečujú prakticky neobmedzené možnosti merania štruktúry povrchu z pohľadu na kvalitu, presnosť a druh materiálu súčiastky. Navyše je systém CLI vybavený automatickým posuvom vo všetkých osiach (X, Y, Z) s rýchlosťou až do 30 mm/s čo umožňuje rýchle automatické meranie.

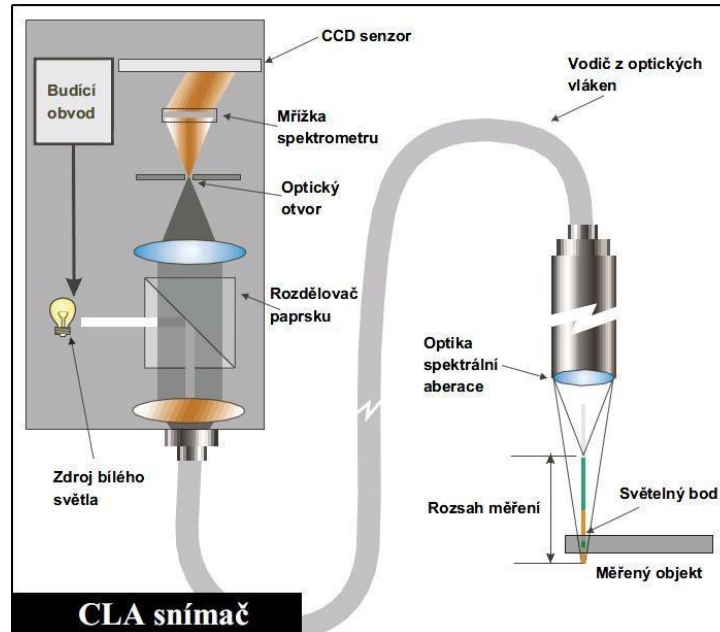
Praktickou prednosťou Talysurf CLI je spojenie tradičného 2D a priestorového 3D do jedného výkonného prístroja. Systém CLI je špeciálne konštruovaný pre meranie 3D, avšak súčasne je vybavený mechanickými i analytickými prostriedkami pre komplexné meranie 2D. Vďaka tomu sa dá prístrojom monitorovať výskum a vývoj, robiť študijné analýzy (napr. opotrebenie), bežné inšpekcie i riadiť výrobný proces. Prínos prístroja nie je len čisto ekonomickou stránkou ale dáva nám možnosť porovnávať výsledky merania so všetkými, ktorí ešte používajú tradičné meranie 2D. Talysurf CLI dáva možnosť využiť na jednom prístroji až štyri rôzne meracie hlavy ku kontrole všetkých kombinácií materiálu a kvality povrchu súčastí.

Základom programového vybavenia prístrojov Talysurf CLI je firemný Talymap, ktorý zabezpečuje všetky riadiace, kontrolné, vyhodnocovacie i informačné služby. Výkonný program pre analýzu dát zahrňuje štandardnú funkciu vyhodnotenia štruktúry povrchu 2D a 3D, meranie plôch a objemu, výšky a vzdialenosti stupňov, analýzy výstupov, nosného podielu, veľkosť a hustotu zrn. Významná je vybavenosť zariadenia pre automatizáciu merania. Možnosť programovania automatického merania dávok zefektívňuje jeho kontrolu. Používanie meracích postupov zahrňuje urýchlenie procesu analýzy a zároveň jednotnú formu prezentácie výsledkov merania. [20]

5.2.2 Rozdelenie snímačov

5.2.2.1 CLA snímač

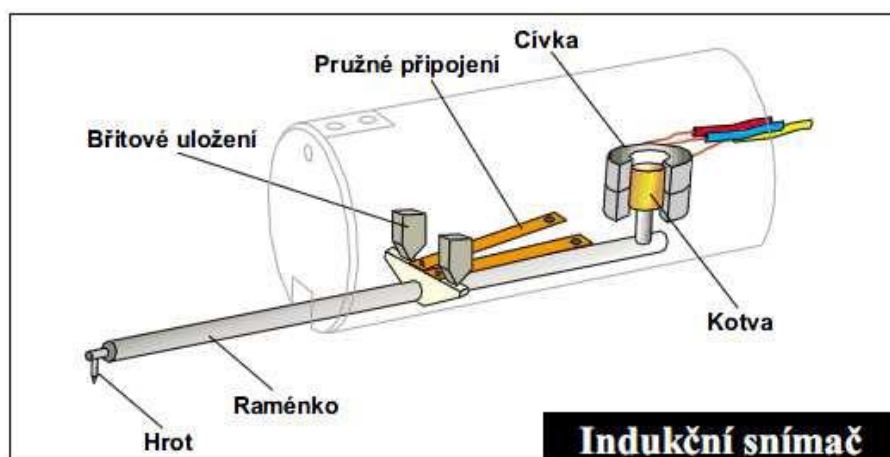
Biele svetlo je rozkladané a optikou so spektrálnou aberáciou je smerované na kontrolovaný povrch. Optika rozkladá svetlo podľa vlnových dĺžok a v každej dobe povrchu je zaostraná iba určitá vlnová dĺžka. Spektrometer vychýli svetlo na CCD senzor, kde je následne každému bodu priradená priestorová poloha.



Obr.24 CLA snímač[20]

5.2.2.2 Indukčný snímač

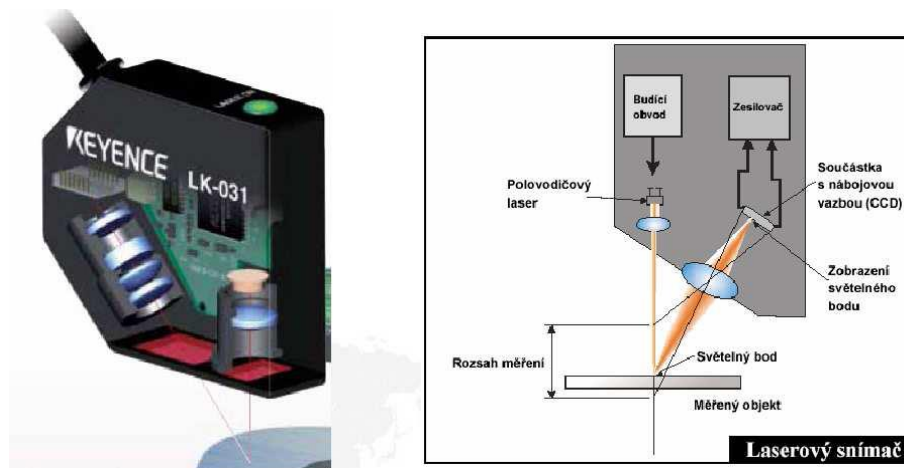
Povrchom prechádza diamantový hrot umiestnený na snímacom ramienku. Vertikálny pohyb hrotu po povrchu je indukčným meradlom prevedený na elektrický signál. Systém je charakteristický malou meracou silou, pri ktorej je veľmi malá pravdepodobnosť, že ohrozí meraný povrch materiálu, čo sa stáva jeho pozitívom z hľadiska poškodenia materiálu pri meraní.



Obr.25 Indukčný snímač [20]

5.2.2.3 Laserový snímač

Lúč meracieho polovodičového laseru sa odrazí od meraného povrchu do prijímacieho optického systému. Lúč je zaostrený na CCD snímacom poli. CCD zaisťuje špičkovú hodnotu rozdelenia svetla v bode lúču. CCD obrazové prvky (jednotlivé CCD snímané elementy) na ploche bodu lúču sú použité pre presné určenie polohy zameraného bodu.



Obr.26 Laserový snímač[20]

5.2.3 Program Talymap

Program Taylor Hobson Talymap spracováva priestorovú charakteristiku povrchu z dát získaných dotykovým i bezdotykovým meracím systémom profilometra. Program umožní niekoľkými rôznymi spôsobmi zobrazit' sledovaný povrch, vrátane axonometrickej projekcie (čiarovej alebo sieťovej) s voliteľným uhlom pohľadu a farebným rozlíšením výšok, s nastaviteľným zväčšením celku alebo vybranej časti povrchu. Ďalej umožňuje robiť rozmerové merania v troch osiach, inverziu profilu povrchu, simuláciu opotrebenia povrchu, atď. Práce s programom aj vkladanie dát k analýze rady profilov program zaisťuje rýchle opakovanie rovnakej operácie, úlohy alebo výpočtu obsahujúcu grafickú dokumentáciu. Talymap zaisťuje ciele a podrobnú analýzu rôznych povrchov s využitím rozmerových meraní (napr. objemu prehĺbenia a výstupkov, vzdialenosti a výškových rozdielov dvoch bodov, stanovenie veľkosti uhla vo vodorovnej rovine, apod.) úpravy tvaru a filtrácie. Prednosťou programu je nielen spracovanie meraných dát z vlastného prístroja Taylor Hobson, ale i pre merania z väčšiny komerčných meracích zariadení štruktúry povrchu. Tým zaisťuje že dáta z meraní rôznymi prístrojmi sú spracované rovnako a výsledky sú prezentované v rovnakej forme, čím napomáha k rýchlemu a efektívnemu porovnávaniu

nameraných hodnôt. Program používa pre priestorové hodnotenie povrchu amplitúdové parametre (prevažne odvodené z parametrov 2D), ďalej parametre popisujúce materiálový pomer povrchu (ISO 13565 – 2), parametre vzťahujúce k rozmiesteniu nerovností (napr. hustota výstupkov, rozvinutý povrch, atď.) a konečné objemové parametre (zavedené ku kvantifikácii nosného podielu a pomeru objemu materiál/dutiny). Celkom program ponúka pre charakteristiku povrchu 120 parametrov v režime 2D a 40 parametrov pre 3D. Navyše dovoľuje vyňat' z hodnoteného povrchu jeden profil a previesť jeho hodnotenie (2D). Na 3D zobrazený povrch ide v ľubovoľnom smere vyznačiť jeden profil (čiaru), ktorý je následne vyhodnotený funkciami 2D.

Priestorovou analýzou povrchu sa otvárajú nové možnosti hodnotenia štruktúry, ktoré sa pri dvojrozmernom meraní nedali získať. Detailný priestorový popis povrchu je prínosný hlavne v oblasti posudzovania jeho funkčných vlastností ako napr. opotrebenie, mazanie, trenie, únavové vlastnosti, tesnenie stykových plôch, vhodnosť povrchu pre nátery, atď. Programy Talymap sú pre priestorové hodnotenie pripravené v niekoľkých prevedeniach od najjednoduchších až po rozšírenú verziu, ktorá umožňuje rozsiahle hodnotenie (frekvenčnú analýzu, stanovenie autokorelačných funkcií, nosného podielu vo zvolenej výške profilu ...). [20]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 ZADANIE

Cieľom mojej diplomovej práce bolo zodpovedať niekoľko otázok vyplývajúcich už zo samotného názvu diplomovej práce. Primárnou otázkou, ktorou som sa zaoberala a hľadala na ňu odpoveď je:

Nájdite vhodné matematické metódy, ktoré klasifikujú povrch skúmaných častí vyrobených z polymerného materiálu.

Sekundárnymi otázkami boli:

1. Aké veľké sú rozdiely v povrchoch hornej a spodnej časti výstreku.
2. Aká je drsnosť na povrchu jednotlivých častí po ich dĺžke a akú má tendenciu.

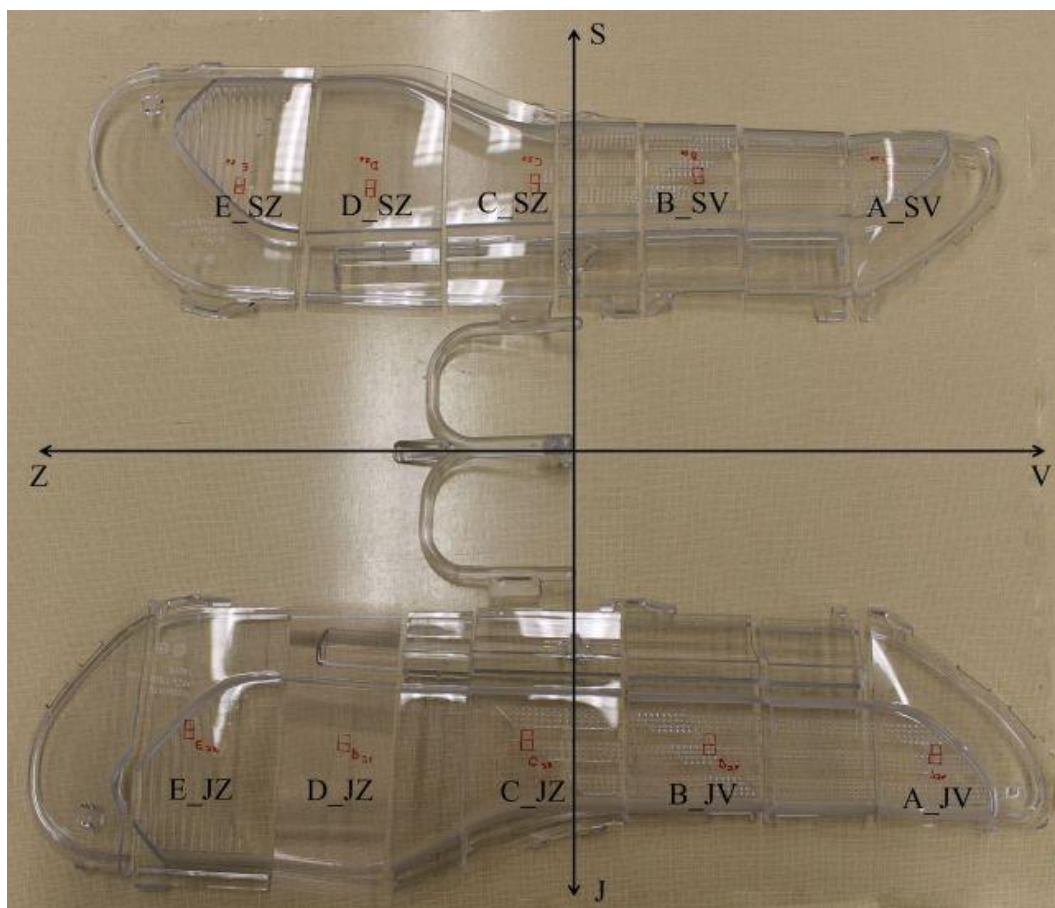


Obr.24 Merané objekty

7 PRÍPRAVA MERANIA

7.1 Vzorky

Vzorky pre skúmanie povrchu polymérnej látky boli vyrobené vo forme s jedným bodovým vtokom. Z jedného vstrekovacieho cyklu boli vystreknuté dve časti (pravé a ľavé predné svetlo automobilu). Meranie na daných vzorkách prebiehalo po 36-tich hodinách od jeho vybratia z formy. Pre lepšiu orientáciu medzi vzorkami a pre ľahšie spracovanie výsledkov som si stanovila orientačný systém uloženia vzoriek vid' Obr.25. Koniec nátoky som zvolila ako jednu z osí označenú SJ (sever, juh). Kolmo na ňu som stanovila os VZ (východ, západ).



Obr.25 Určenie súradnicového systému

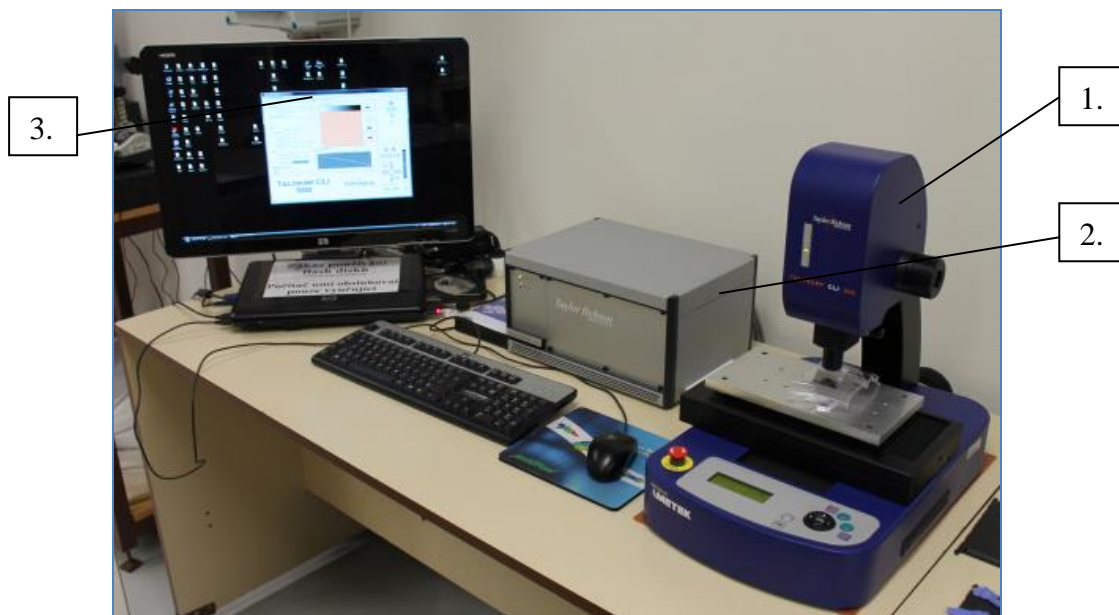
Dve časti svetla automobilu bolo nutné rozrezať na menšie, pretože prístroj na ktorom bolo uskutočnené meranie je určený pre meranie menších vzoriek. Taktiež rezanie bolo prevedené aj z dôvodu zlepšenia manipulácie pri meraní. Rezanie bolo prevedené na pásovej pile vid'. Obr. 26. Jednotlivé časti boli poskladané podľa pôvodného tvaru. Každú časť som pred meraním obrúsila pilníkom, tak aby sa zjemnili ostré hrany. Úlomky vzniknuté pri rezaní a iné povrchové nečistoty som odstránila vysoko rýchlym fúkaním vzduchu pred meraním každej plochy povrchu.



Obr.26 Príprava vzoriek na meranie rezaním

7.2 Použité meradlo

Pre meranie som použila prístroj Talysurf CLI 500 vid'. Obr.27. Prístroj je určený pre meranie malých súčastí. Dané laboratórne meradlo je cenovo drahé, a preto je nutné pri manipulácii s meradlom dodržiavať určité zásady. Najväčší pozor treba dávať pri ukladaní meraného objektu na podložku, tak aby neprišlo ku kontaktu s šošovkou prístroja. Na obr. 16 je vidieť ukladanie predlžovacej podložky na prístroj. Použila som ju, pretože som potrebovala zväčšiť plochu pre uloženie meranej časti svetla.

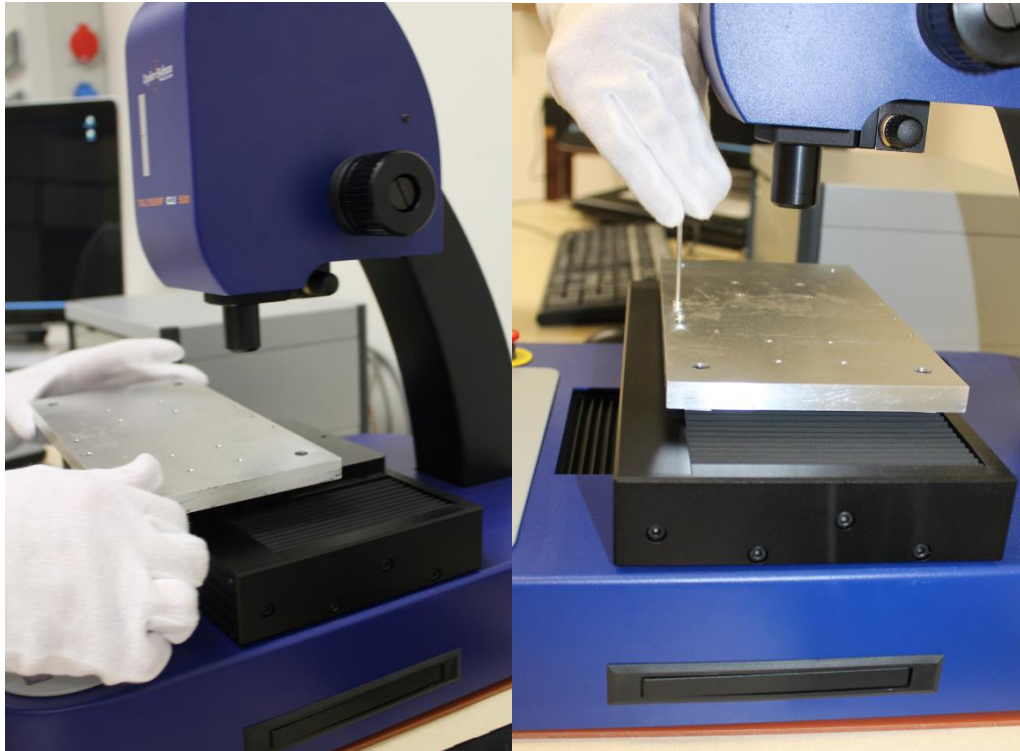


Obr.27 Merací prístroj Talysurf CLI 500

1. Talysurf CLI 500 – meracie zariadenie
2. Zdroj
3. Meracie a vyhodnocovacie zariadenie (Talymp gold)

Tab.3. Technická špecifikácia prístroja

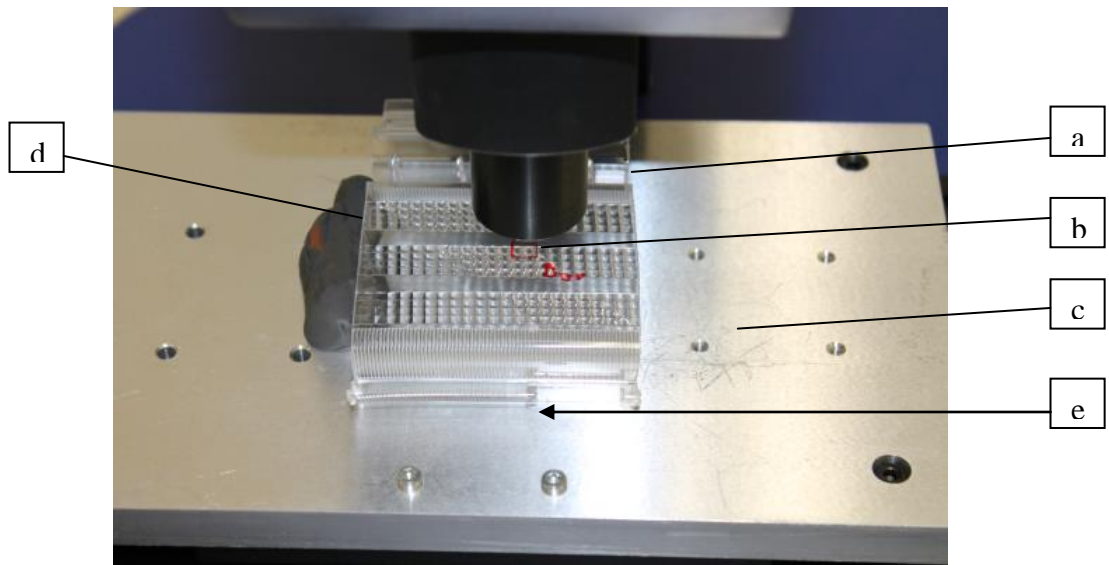
<u>Funkcie,rozmery,hmotnosť</u>	<u>Talysurf CLI 500</u>
Priestor merania D x H x V	50 x 50 x 50 mm
Dĺžka posuvu v osiach X x Y x Z	50 mm
Osové rozlíšenie	5 μ m
Rýchlosť merania	30, 15, 10, 5, 1, 0,5, mm/s
Rýchlosť polohovania (osy X x Y)	30 mm/s maximum
Rozmery D x H x V	500 x 310 x 450 mm
Nosnosť	10 kg
Hmotnosť	55 kg



Obr.28 Uloženie predlžovacej podložky

7.3 Uloženie vzorky

Vzorka po očistení a označení meracej plochy je pripravená na meranie. Ďalším krokom je polozenie vzorky na predlžovaciú podložku. Ešte raz chcem pripomenúť opatrnosť pri pokladaní vzorky tak, aby neprišlo k dotyku s meracou šošovkou, pretože nielen že by sa nedalo uskutočniť dané meranie, ale to najpodstatnejšie, došlo by k poškodeniu prístroja.



Obr. 29 Uloženie vzorky a) vzorka b) meraná oblasť (vyhodnocovaný povrch) c) základňa (podložka) d) fixačná hmota e) smer merania

7.4 Kalibrácia

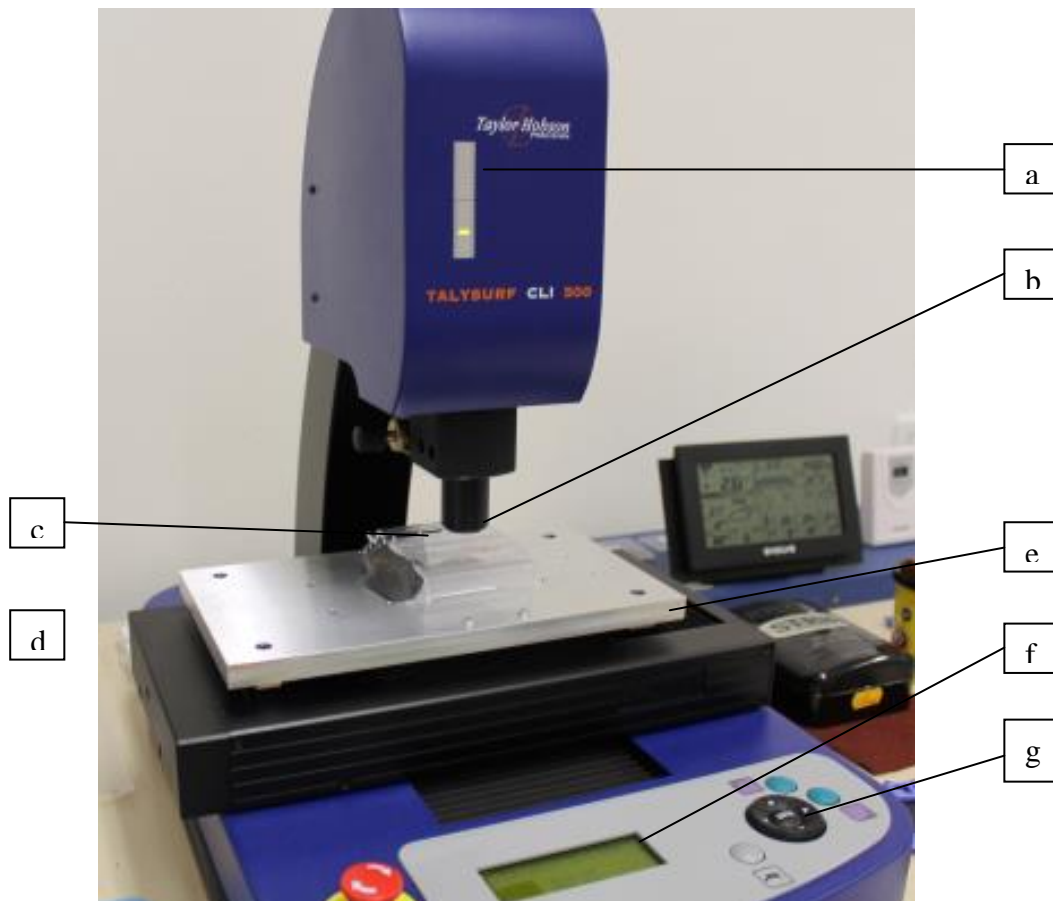
Po uložení vzorky som si spustila softvér, ktorým sa ovláda merací prístroj. Po spustení sa klikne na tlačidlo štart a program sám spustí automatickú kalibráciu prístroja.



Obr.30 Kalibrácia prístroja

8 POSTUP MERANIA

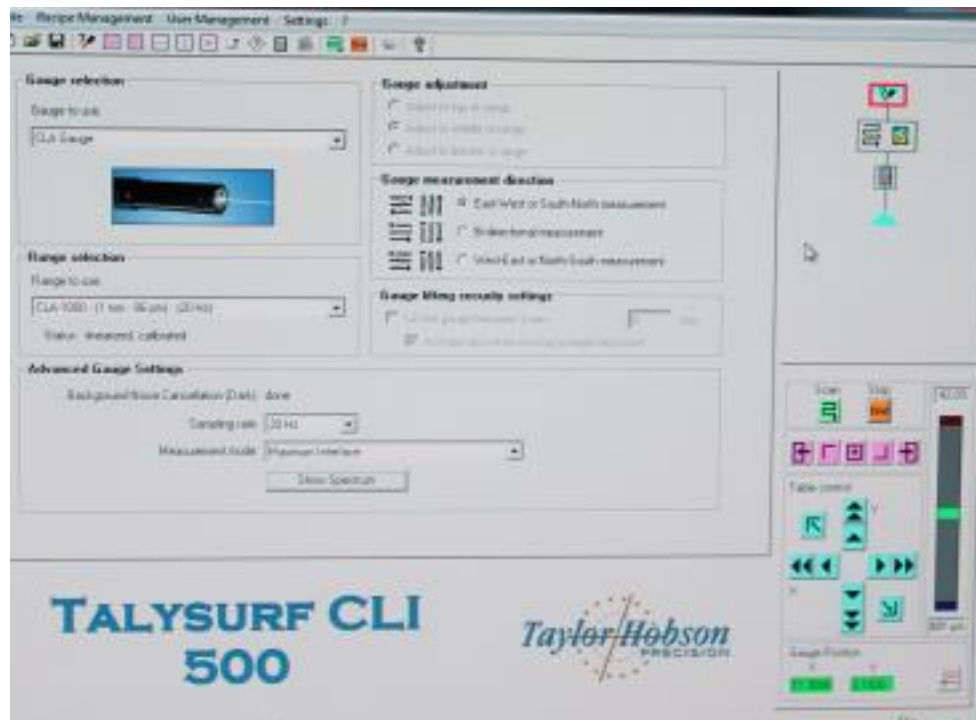
Merania prebiehali pri každej z 10 vzoriek rovnako, preto uvediem jeden príklad ako ukážku postupu merania s prístrojom Talysurf CLI 500. Pre lepší prehľad v opisoch postupu by som najskôr uviedla obrázok s popisom funkčných častí.



Obr.31 Meranie vzorky a) ukazovateľ odrazivosti b) uloženie čočky

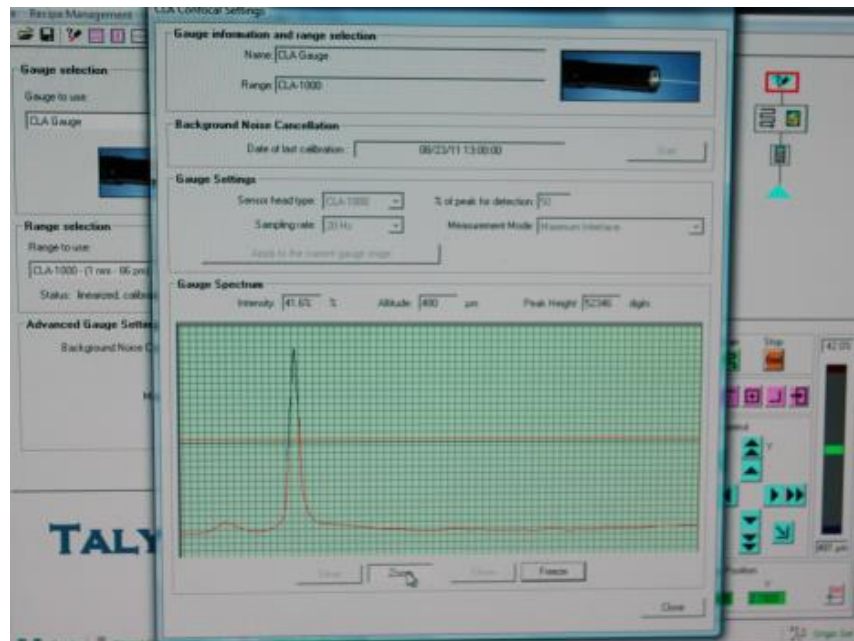
c) meraná vzorka d) fixačná hmota e) predlžovacia podložka f) informačný displej g) ovládanie posuvu vzorky

Prvým krokom po kalibrácii je nastavenie počiatku. To sa uskutočnilo posúvaním podložky do polohy v ktorej snímací lúč bol umiestnený na okraji meracieho políčka. Potom nasledovalo nastavenie odrazivosti meranej časti objektu v počiatočnom bode merania. Odrazivosť by nemala klesnúť pod 40% čoho som sa striktnie držala. Na obr. 32 som klikla na prvú ikonku vpravo, ďalej na ikonku show spectrum, pričom sa otvorilo nové okno s popisom danej odrazivosti.



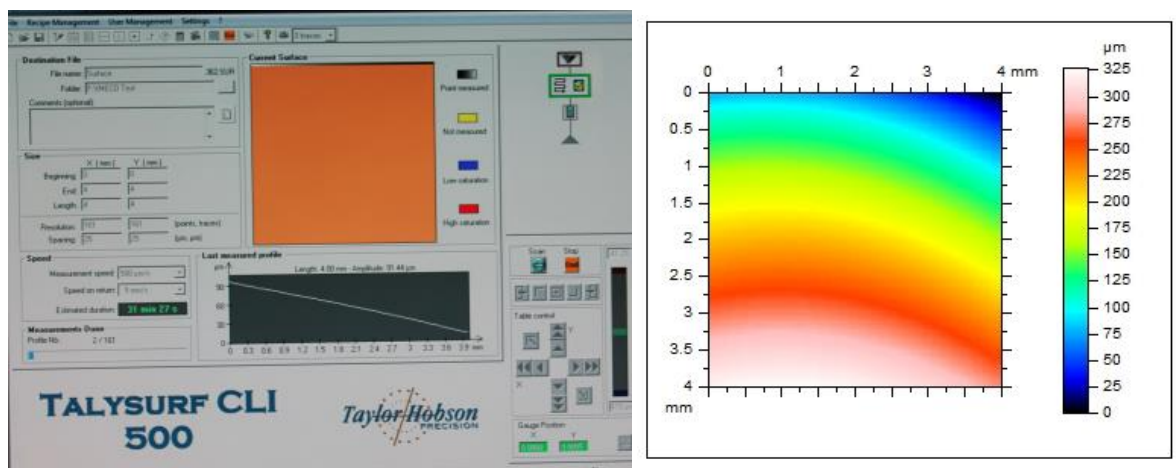
Obr.32 Základné nastavenie

Potom som klikla na zoom a nastavila odrazivosť približovaním šošovky k ploche merania. Odrazivosť sa dá kontrolovať na troch miestach, buď na monitore pc, na danom prístroji dole v informačnom displeji a na ukazovateli odrazivosti (Obr. 17,a) Prvé dve možnosti popisujú intenzitu odrazivosti percentuálne, avšak posledná z nich nám ukazuje len stupnicu a farebné rozlíšenie podľa čoho sa dá určiť či je odrazivosť dostatočná. Ja som volila kombináciu dvoch metód a to ukazovateľa odrazivosti a kontrolovala som percentuálnu intenzitu odrazivosti na pc, pretože tam je veľmi dobre vidieť percentá intenzity, ale aj amplitúdu. Potom sa okno uzavrie stlačením tlačidla close.



Obr.33 Nastavenie odrazivosti

Po zatvorení okna prepne na políčko merania určíme plochu merania. V mojom prípade som merala plochu 4 x 4 mm a krokovanie som zadávala 25 μm .. Nakoniec stlačíme tlačítko scan (Obr. 18 a) čím spustíme meranie. Po meraní sa nám zobrazí graf (Obr. 18 b), ktorý som si po každom meraní uložila.



Obr. 34 a) priebeh merania b) výsledok merania

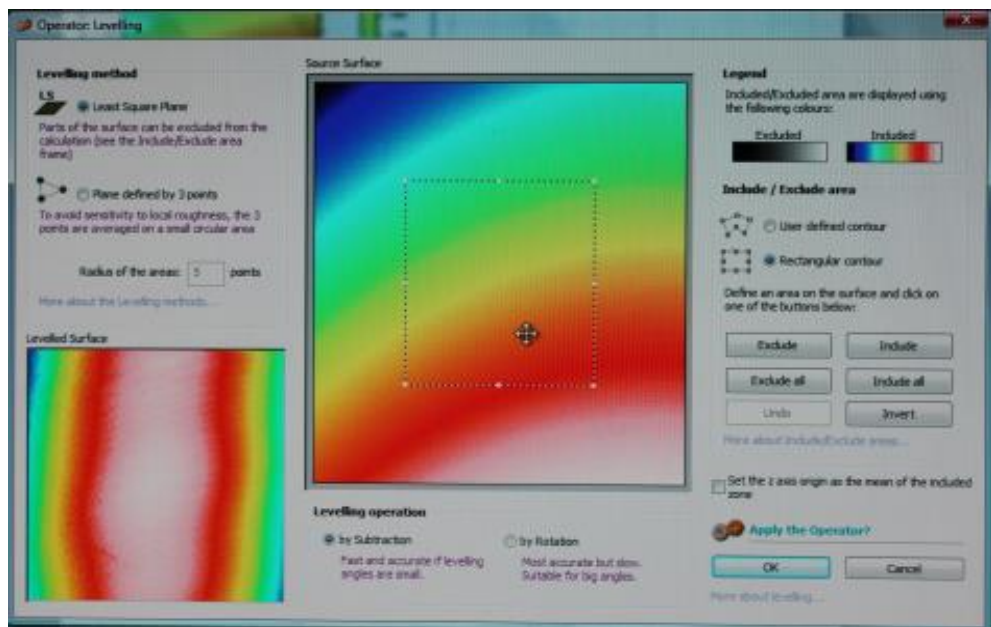
9 SPRACOVANIE MERANIA

Po premeraní všetkých desiatich častí som začala spracovávať merania tak, aby som sa dopracovala k výsledkom, ktoré by som mohla vyhodnotiť a nasledovne prísť na metódy opísania daného povrchu čo najpodrobnejšie. Po otvorení výsledku merania v programe Talymap gold som pokračovala takto:

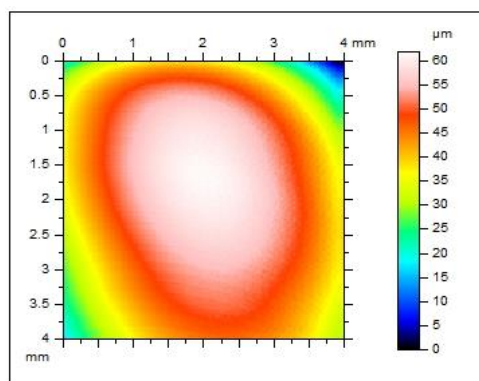
Pozn. Vysvetlenie je prevedené na meranej časti A_JV.

1. Operators – Levelling – Least square plane – ok

Ide o odstránenie vlnitosti metódou najmenších štvorcov.



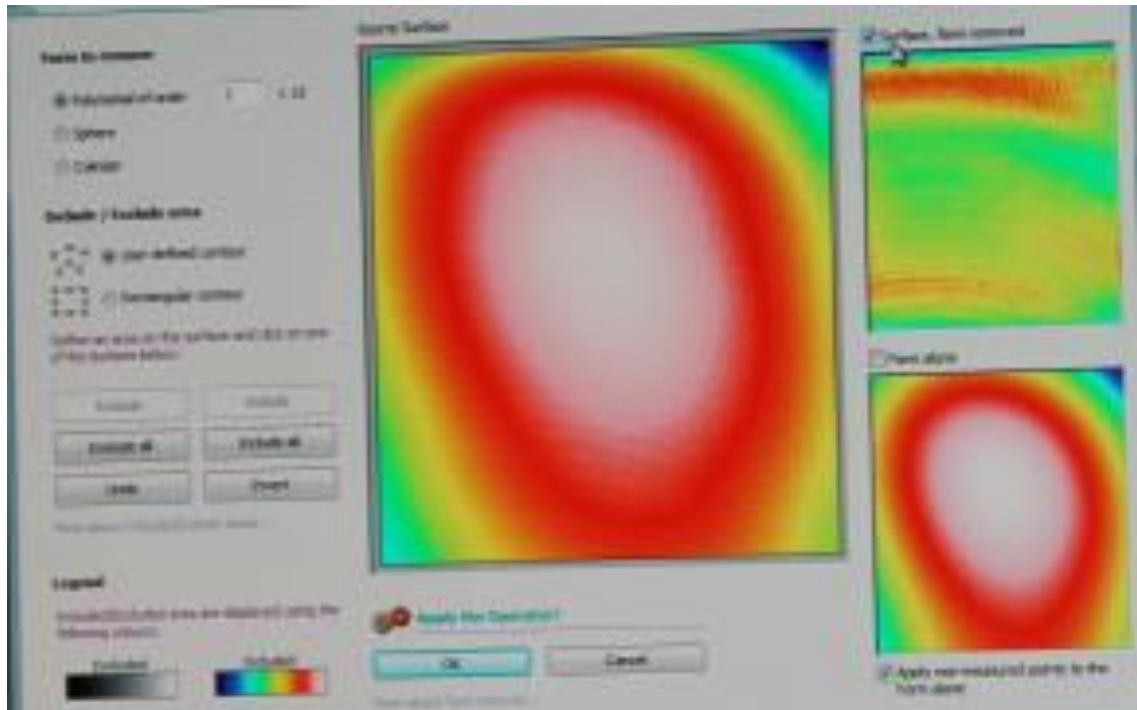
Obr. 35 Odstránenie vlnitosti



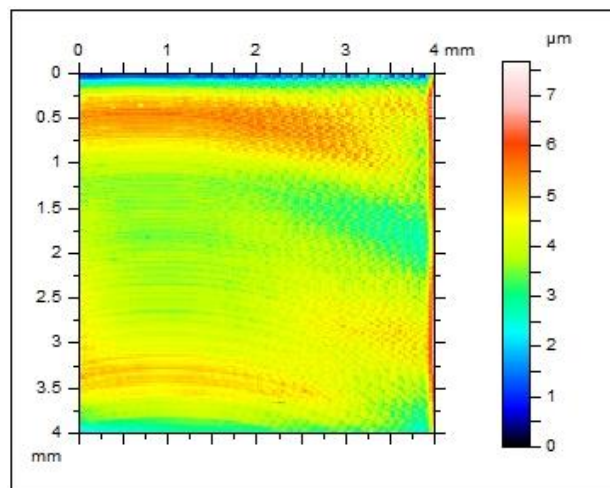
Obr. 36 Výsledok zrovnania A_JV

2. Operators – Form removal – Surface, form removed

Zrovnaný povrch preložím polynomom, aby sa dostal do roviny.

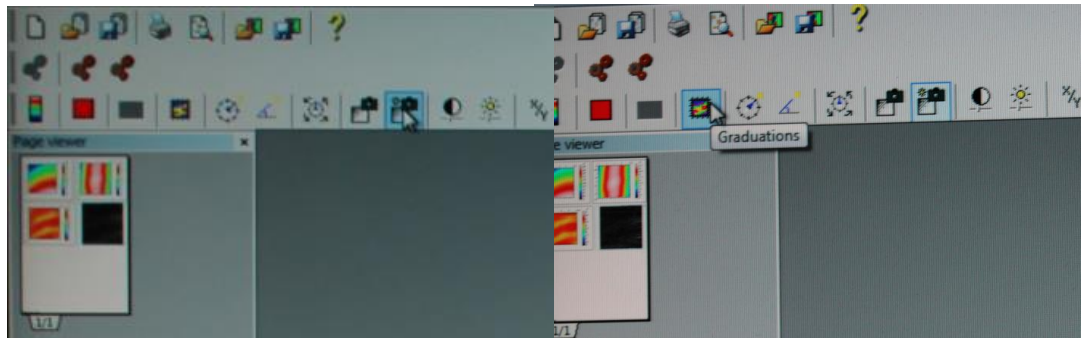


Obr. 37 Preloženie polynomom 3 stupňa

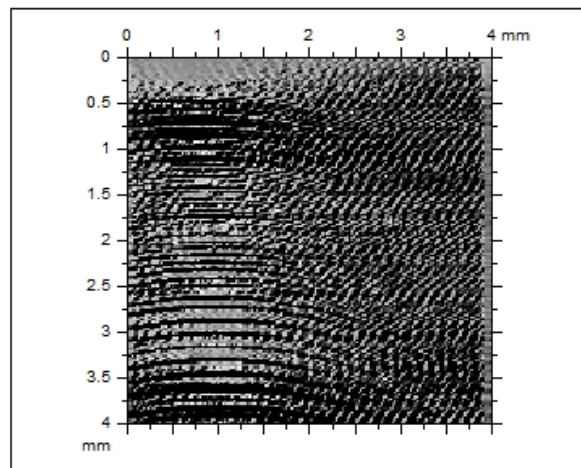


Obr. 38 Výsledok preloženia A_JV

3. Studies – Photo Simulation



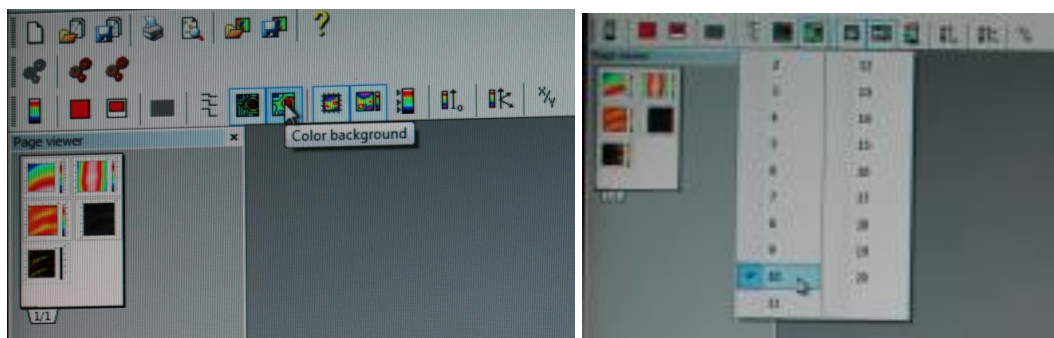
Obr. 39 Vľavo – zmenenie uhľa osvitu, vpravo – stupňovanie



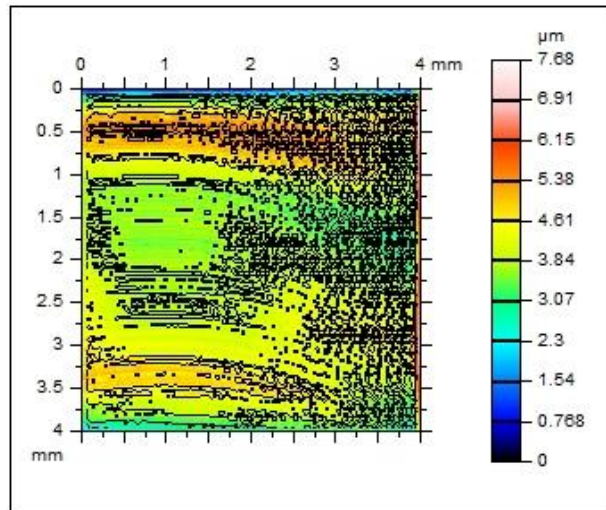
Obr. 40 Výsledok foto simulácie po úpravách časti A_JV

4. Studies – Contour diagram

Po vytvorení diagramu som klikla na ikonu color background a na ikonku počet rezov, kde som ich zvolila 10.

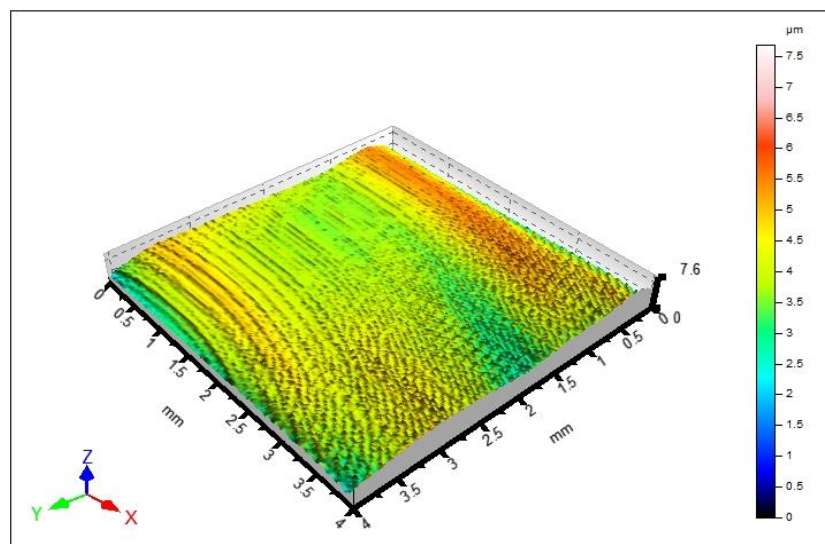


Obr. 41 Úpravy Contour diagramu



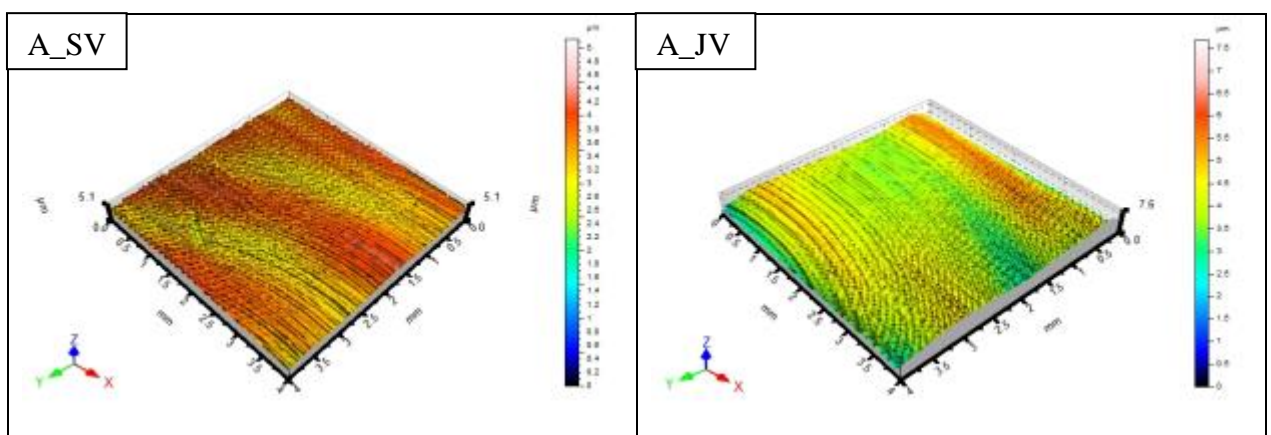
Obr. 42 Contour diagram A_JV

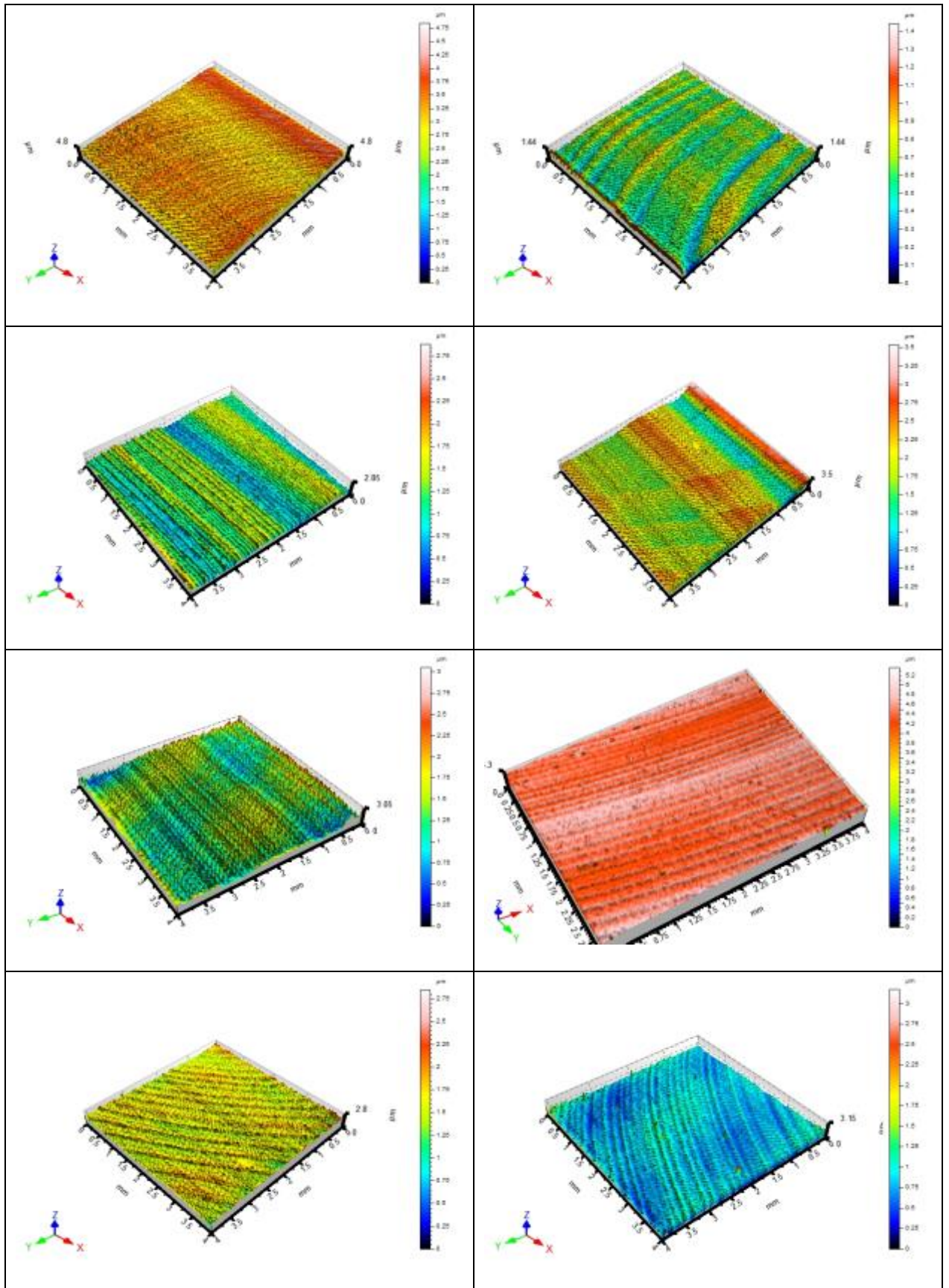
5. Studies – 3D View



Obr. 43 3D pohľad na meraní časť A_JV

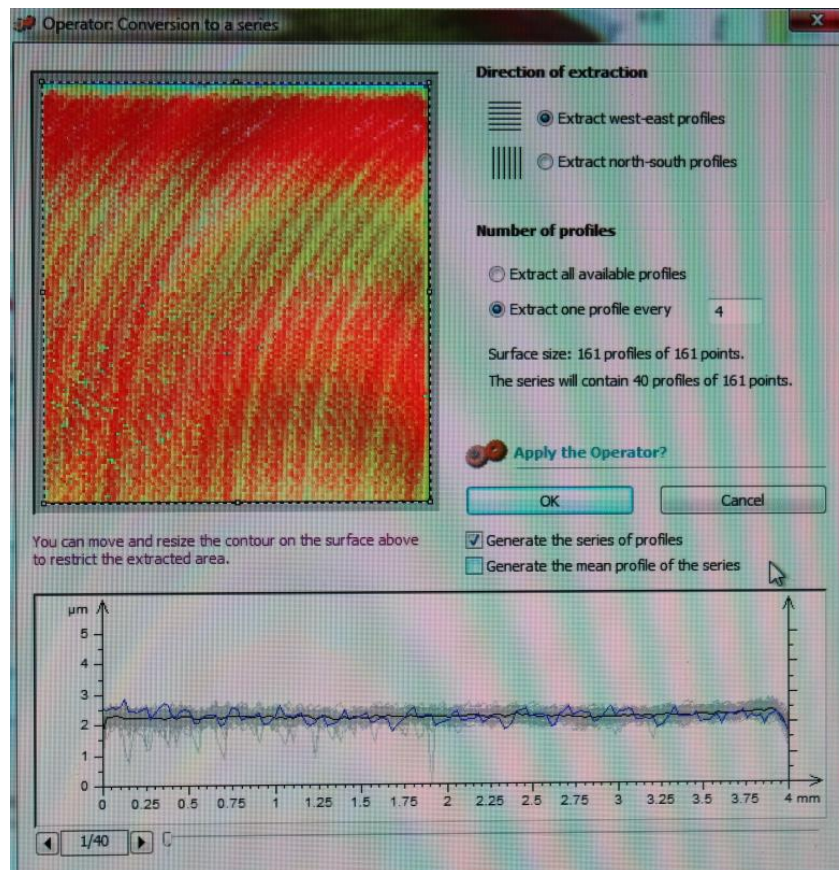
Tab.4. Porovnanie 3D snímok





6. Operator – convert into a series of profiles

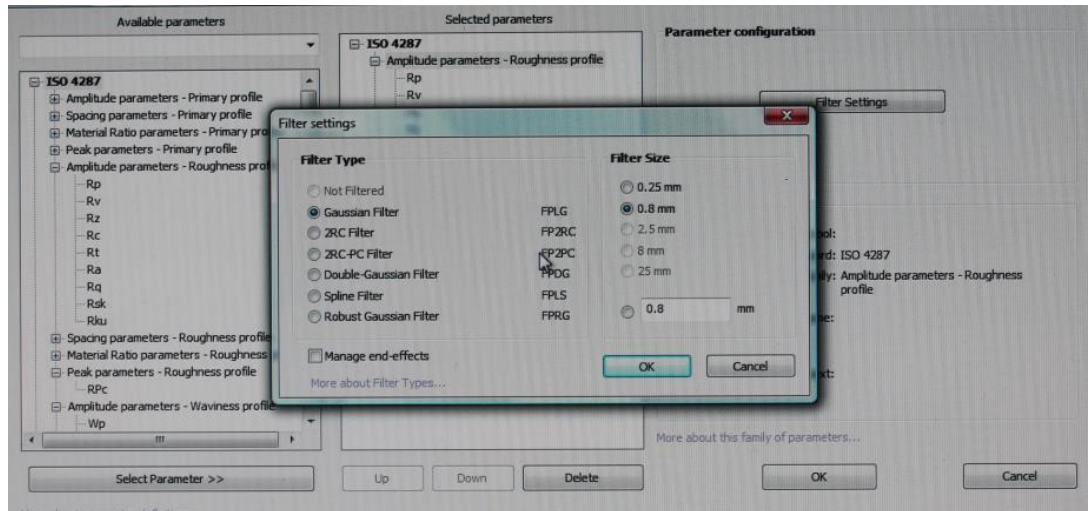
Zadala som si nastavenie ako je vidieť na obrázku nižšie. Extrahovanie som zadala zo západu na východ. Extrahovanie som nastavila po 4 krokoch a dala ok.



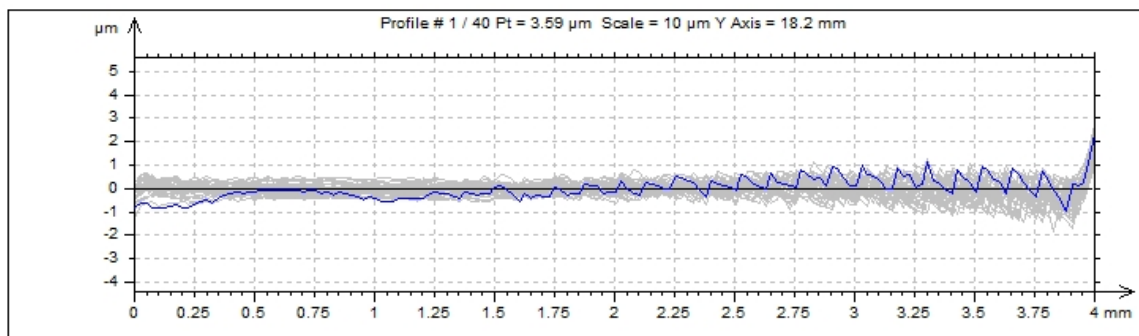
Obr. 44 Nastavenie pre analýzu

7. Studies - Parameters Table

Dostala som tabuľku s hodnotami. Keďže som si chcela z toho nechať len hodnoty Ra a Rz urobila som zopár úprav. Klikla som pravým tlačidlom myši na vrch tabuľky, klikla na parameter list. Otvorilo sa okno, potom som klikla na filter setting. Nastavila som Gaussovský filter a základnú dĺžku 0,8, a zaškrtila manage end-effects a dala ok. Potom som nastavila iba štatistické parametre Ra a Rz, ostatné som zo stĺpčeka amplitúdové parametre vymazala. Získané hodnoty som si uložila pre lepšie spracovanie do skicára a neskôr upravila do tabuľky. Všetky záznamy o postupe s fotkami sú uložené na cd.



Obr.45 Nastavovanie výsledkov



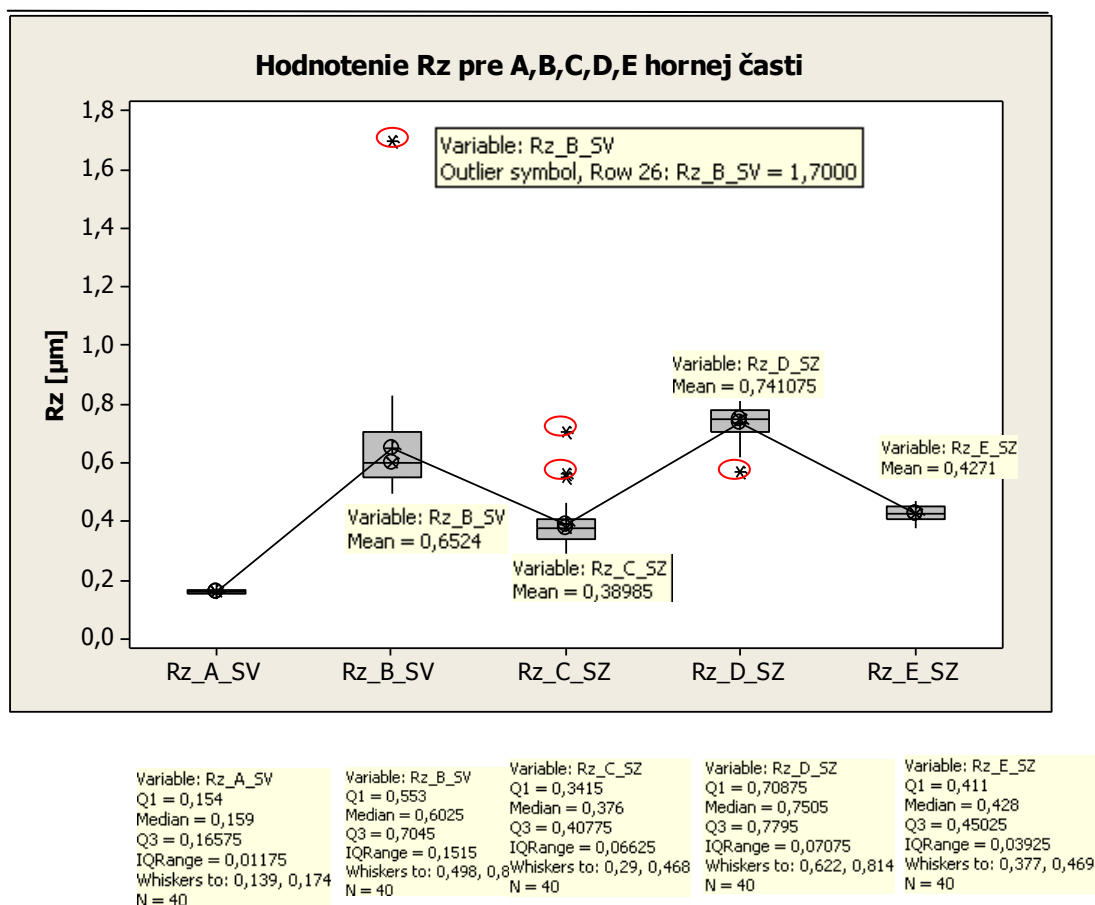
ISO 4287		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Amplitude parameters - Roughness profile											
Rz	µm	0.607	0.62	0.599	0.756	0.638	0.589	0.605	0.536	0.589	0.515
Ra	µm	0.131	0.123	0.111	0.132	0.12	0.108	0.119	0.117	0.104	0.114

Obr.46 Výsledok spracovania dát

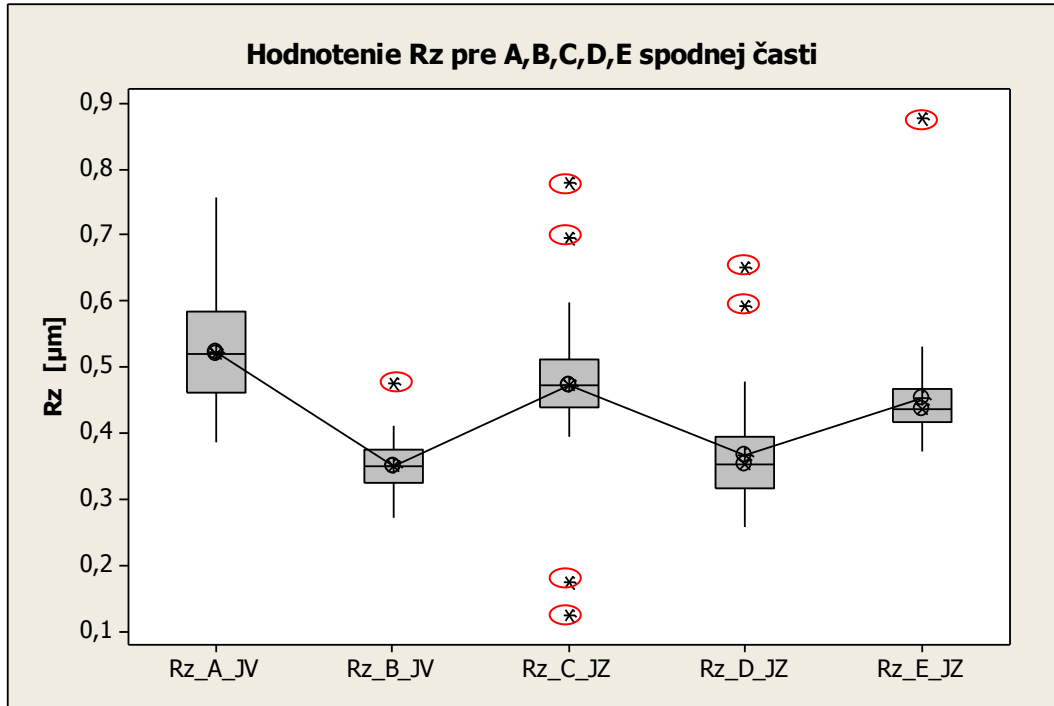
10 VYHODNOTENIE MATEMATICKÝMI METÓDAMI

10.1 Štatistické spracovanie

Štatistické vyhodnotenie som si zvolila ako prvú voľbu pre popisanie povrchu namera-
ných častí. Pre spracovávanie výsledkov som použila program minitab 16. Pre kontrolu
hodnôt som si zvolila Boxplotové diagramy.

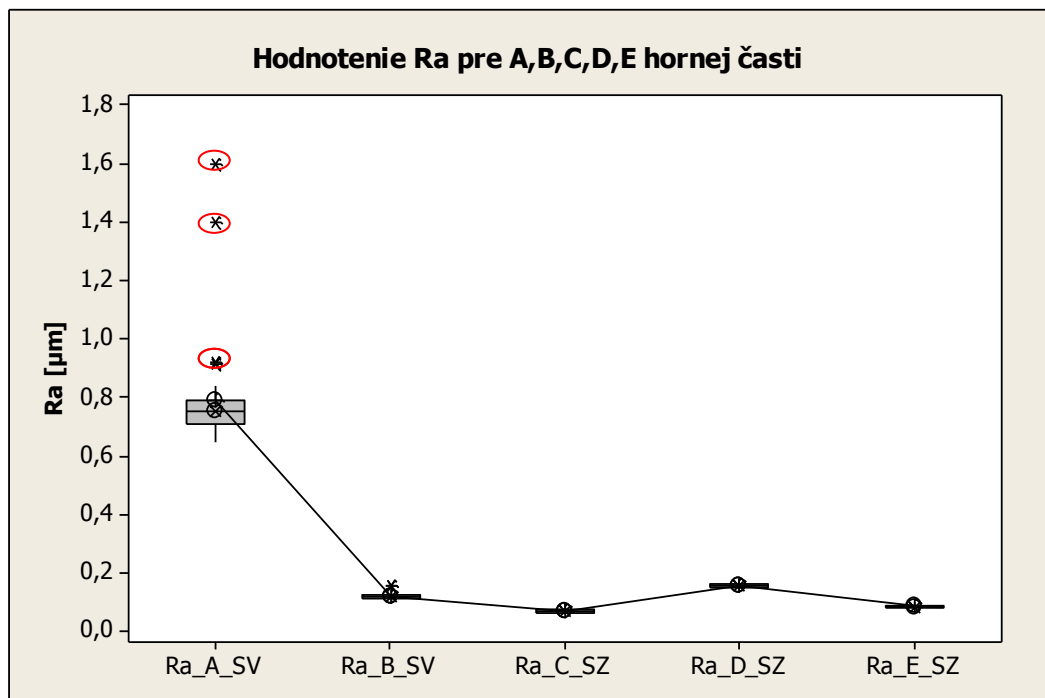


Graf č.3 Boxplotový diagram pre Rz A,B,C,D,E dielov hornej časti výrobku



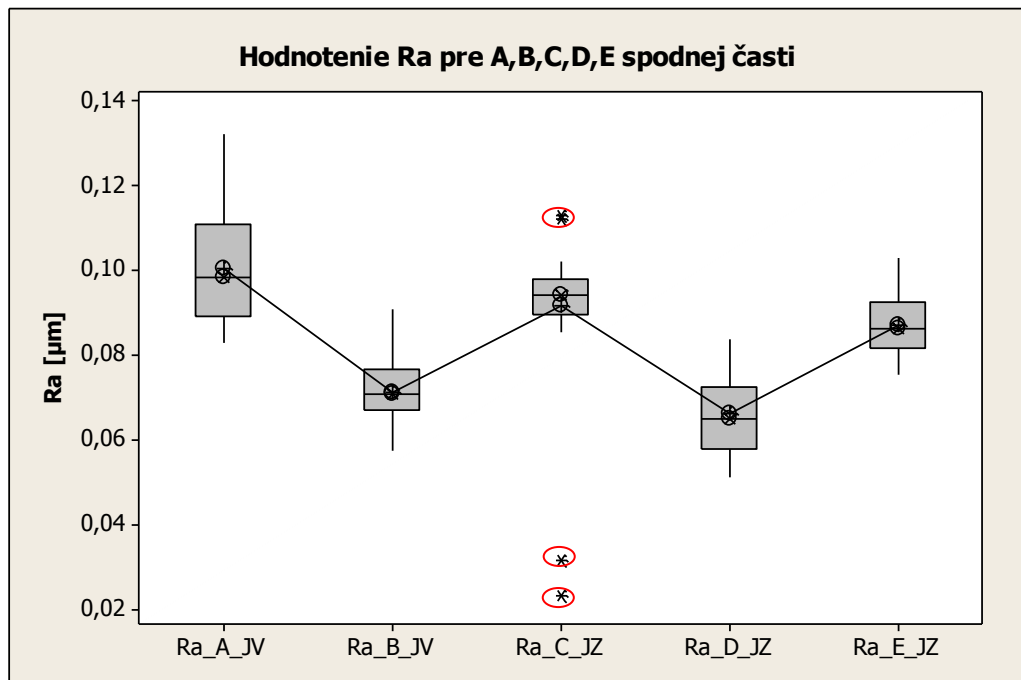
Variable: Rz_A_JV Q1 = 0,462 Median = 0,5205 Q3 = 0,5845 IQRRange = 0,1225 Whiskers to: 0,388, 0, N = 40	Variable: Rz_B_JV Q1 = 0,327 Median = 0,3495 Q3 = 0,376 IQRRange = 0,049 Whiskers to: 0,272, 0,41 N = 40	Variable: Rz_C_JZ Q1 = 0,4395 Median = 0,474 Q3 = 0,51125 IQRRange = 0,07175 Whiskers to: 0,396, 0,599 N = 40	Variable: Rz_D_JZ Q1 = 0,3175 Median = 0,354 Q3 = 0,39475 IQRRange = 0,07725 Whiskers to: 0,259, 0,47 N = 40	Variable: Rz_E_JZ Q1 = 0,4175 Median = 0,4365 Q3 = 0,46725 IQRRange = 0,04975 Whiskers to: 0,374, 0,532 N = 40
--	--	---	--	--

Graf č.4 Boxplotový diagram pre Rz A,B,C,D,E dielov spodnej časti výrobku



Variable: Ra_A_SV Q1 = 0,7105 Median = 0,7545 Q3 = 0,7925 IQRRange = 0,082 Whiskers to: 0,651, 0,844 N = 40	Variable: Ra_B_SV Q1 = 0,11125 Median = 0,1205 Q3 = 0,12825 IQRRange = 0,017 Whiskers to: 0,0996, 0,14 N = 40	Variable: Ra_C_SZ Q1 = 0,0642 Median = 0,07145 Q3 = 0,078825 IQRRange = 0,014625 Whiskers to: 0,0571, 0,0983 N = 40	Variable: Ra_D_SZ Q1 = 0,153 Median = 0,1585 Q3 = 0,16375 IQRRange = 0,01075 Whiskers to: 0,14, 0,179 N = 40	Variable: Ra_E_SZ Q1 = 0,081625 Median = 0,08515 Q3 = 0,09035 IQRRange = 0,008725 Whiskers to: 0,0778, 0,0994 N = 40
---	---	---	--	--

Graf č.5 Boxplotový diagram pre Ra A,B,C,D,E dielov hornej časti výrobku






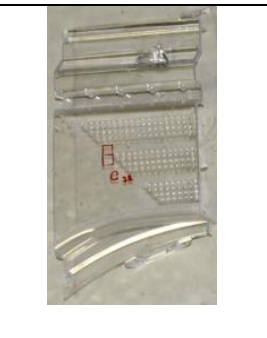


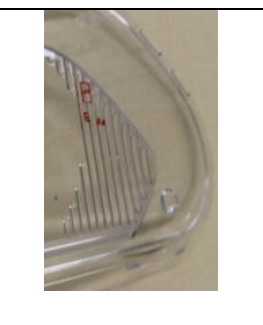
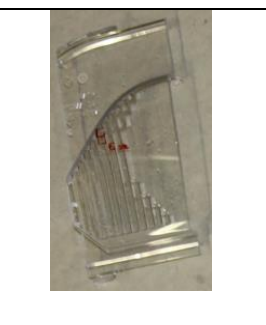


Variable: Ra_A_JV Q1 = 0,089075 Median = 0,09845 Q3 = 0,11075 IQRRange = 0,021675 Whiskers to: 0,0829, 0,132 N = 40	Variable: Ra_B_JV Q1 = 0,06705 Median = 0,07085 Q3 = 0,07665 IQRRange = 0,0096 Whiskers to: 0,0576, 0,0908 N = 40	Variable: Ra_C_JZ Q1 = 0,089625 Median = 0,0942 Q3 = 0,09795 IQRRange = 0,008325 Whiskers to: 0,0854, 0,102 N = 40	Variable: Ra_D_JZ Q1 = 0,058225 Median = 0,06505 Q3 = 0,07245 IQRRange = 0,014225 Whiskers to: 0,0512, 0,0837 N = 40	Variable: Ra_E_JZ Q1 = 0,081625 Median = 0,08655 Q3 = 0,092475 IQRRange = 0,01085 Whiskers to: 0,0756, 0,103 N = 40
---	---	--	--	---






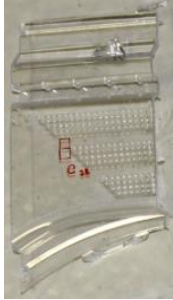
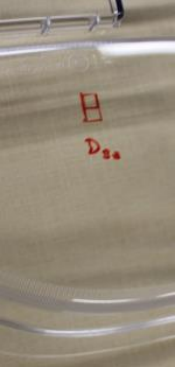

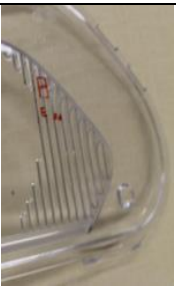
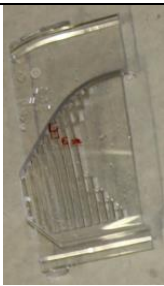
Graf č.6 Boxplotový diagram pre Ra A,B,C,D,E dielov hornej časti výrobku

V daných grafoch som vyznačila červenými krúžkami hodnoty, ktoré presiahli 1,5 IQR. Tieto hodnoty považujem za vychýlené, ich vznik sa dá pripísať patrne chybnému snímaniu. Je to istým ukazovateľom prítomnosti chýb na povrchu. Po tomto zistení som tento fakt overila aj mikroskopicky. Dané hodnoty podľa ČSN EN ISO 4288 z roku 1997 nesmú byť zahrnuté do hodnotenia parametrov kvality povrchu.

Tab.č. 5 Mediány parametra Ra všech skúmaných častí

	<p>Ra_A_SV Med (x) = 0,76 μm</p>	<p>Ra_A_JV Med (x) = 0,10 μm</p>	
	<p>Ra_B_SV Med (x) = 0,12 μm</p>	<p>Ra_B_JV Med (x) = 0,07 μm</p>	
	<p>Ra_C_SZ Med (x) = 0,07 μm</p>	<p>Ra_C_JZ Med (x) = 0,09 μm</p>	
	<p>Ra_D_SZ Med (x) = 0,16 μm</p>	<p>Ra_D_JZ Med (x) = 0,07 μm</p>	
	<p>Ra_E_SZ Med (x) = 0,09 μm</p>	<p>Ra_E_JZ Med (x) = 0,09 μm</p>	

Tab.č. 6 Mediány parametra Rz vřetkých skúmaných řastí

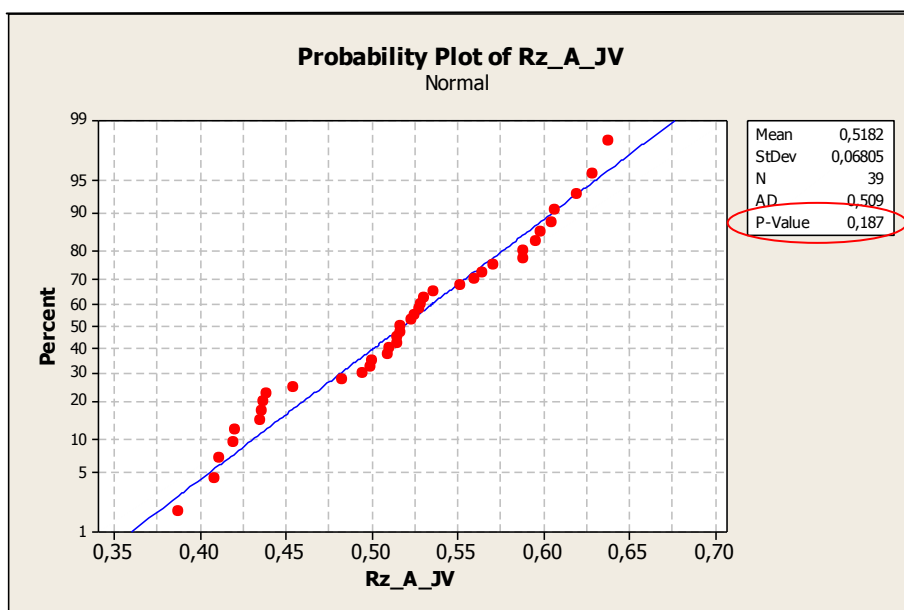
	<p>Rz_A_SV</p> <p>Med (x) = 0,16 μm</p>	<p>Rz_A_JV</p> <p>Med (x) = 0,52 μm</p>	
	<p>Rz_B_SV</p> <p>Med (x) = 0,60 μm</p>	<p>Rz_B_JV</p> <p>Med (x) = 0,35 μm</p>	
	<p>Rz_C_SZ</p> <p>Med (x) = 0,38 μm</p>	<p>Rz_C_JZ</p> <p>Med (x) = 0,47 μm</p>	
	<p>Rz_D_SZ</p> <p>Med (x) = 0,75 μm</p>	<p>Rz_D_JZ</p> <p>Med (x) = 0,35 μm</p>	
	<p>Rz_E_SZ</p> <p>Med (x) = 0,43 μm</p>	<p>Rz_E_JZ</p> <p>Med (x) = 0,44 μm</p>	

Po Boxplotových diagramoch a ich porovnaní som sa rozhodla zistiť či namerané dáta s normálnym rozdelením pochádzajú z toho istého základného súboru. Pred tým ako môžem urobiť T- testy a F- testy, musím vedieť, či sa dajú dáta testovať. Preto som najskôr spravila testovanie normality dát.

V minitabe 16 postupujeme takto:

Stat – Basic statistics – Normality test.

Po otvorení okna si zadáme hodnoty testovania dvojklikom a zvolíme test normality. Dáta som podrobila technike Anderson –Darlingovmu testu. Ak sú všetky hodnoty p – value vyššie ako 0,05, je možné ďalšie testovanie dát. Hodnoty p- value normality testu sú vypísané v tabuľke č. 6. Grafy normality testov sú v prílohe P1.



Graf č.7 Výsledok testu normality dát

Tab.č. 7 Získané p- hodnoty z testov normality

	<u>Rz</u>	<u>Ra</u>		<u>Rz</u>	<u>Ra</u>
A_SV	0,90 μm	0,19 μm	A_JV	0,19 μm	0,07 μm
B_SV	0,08 μm	0,57 μm	B_JV	0,86 μm	0,65 μm
C_SZ	0,92 μm	0,25 μm	C_JZ	0,91 μm	0,42 μm
D_SZ	0,40 μm	0,17 μm	D_JZ	0,95 μm	0,08 μm
E_SZ	0,29 μm	0,40 μm	E_JZ	0,07 μm	0,14 μm

Testovanie normality dát

Hypotéza nulová mi tvrdí že: Namerané dáta s normálnym rozdelením pochádzajú zo základného súboru.

Hypotéza alternatívna mi tvrdí, že: Namerané dáta s normálnym rozdelením nepochádzajú z toho istého základného súboru.

Tieto tvrdenia sú s konfidenčnou úrovňou $1-\alpha = 0,95$ s možnosťou omylu 5 percent.

Postup v minitabe:

10.1.1 F- testy

Stat – Basic statistics – 2 Variances.

Nastavím Samples in different columns (vzorky z odlišných stĺpcov) a zadám si stĺpce, ktoré chcem porovnať.

V mojom prípade to bolo hodnoty vzorky Ra A_sv a Ra A_jv. Takto som postupovala pozdĺž celého výstrelu a porovnávala hornú a spodnú stranu medzi sebou.

Príklad výsledku z minitabu:

Test and CI for Two Variances: Ra_A_SV; Ra_A_JV

Method

Null hypothesis $\text{Sigma}(\text{Ra_A_SV}) / \text{Sigma}(\text{Ra_A_JV}) = 1$
 Alternative hypothesis $\text{Sigma}(\text{Ra_A_SV}) / \text{Sigma}(\text{Ra_A_JV}) \text{ not} = 1$
 Significance level $\text{Alpha} = 0,05$

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Ra_A_SV	38	0,062	0,004
Ra_A_JV	34	0,013	0,000

Ratio of standard deviations = 4,868
 Ratio of variances = 23,702

95% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(3,463; 6,799)	(11,993; 46,231)
Continuous	(3,156; 6,874)	(9,963; 47,246)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	37	33	23,70	0,000
Levene's Test (any continuous)	1	70	29,75	0,000

10.1.2 t- testy (závislé na F- testoch)

Z vyplývajúcej závislosti na f-testoch som ich zaradila až na druhé poradie.

Stat – Basic statistics – 2-Sample test.

Nastavím rovnako ako v prvom prípade Samples in different columns.

Avšak políčko assume equal variances volím podľa F – testu. Zaškrknem ak v F – teste hypotézu nezamietam, ak zamietam F – test políčko zostane prázdne.

V oboch prípadoch ma zaujíma p- hodnota, podľa ktorej vyhodnocujem testy.

Two-Sample T-Test and CI: Ra_A_SV; Ra_A_JV

Two-sample T for Ra_A_SV vs Ra_A_JV

	N	Mean	StDev	SE Mean
Ra_A_SV	38	0,7550	0,0617	0,010
Ra_A_JV	34	0,1033	0,0127	0,0022

Difference = $\mu(\text{Ra_A_SV}) - \mu(\text{Ra_A_JV})$
 Estimate for difference: 0,6517
 95% CI for difference: (0,6310; 0,6724)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 63,64 P-Value = 0,000 DF = 40

Tab. 8 Testovanie hypotéz, F- testy a t- testy

<u>F-test</u> $H_0: \sigma_{RA_{sv}} = \sigma_{RA_{jv}}$ $H_A: \text{non}$	<u>t-test</u> $H_0: \mu_{RA_{sv}} = \mu_{RA_{jv}}$ $H_A: \text{non}$
Zamietam	Zamietam
Zamietam	Zamietam
Zamietam	Zamietam
Nezamietam	Zamietam
Zamietam	Zamietam

V tabuľke je vidieť, že zamietam vo veľkej väčšine H_0 , v prospech hypotézy alternatívnej. Preto môžem vo všetkých F- testoch okrem 4-tého povedať že, na konfidenčnej úrovni $1-\alpha = 0,95$ s možnosťou omylu 0,05 zamietam, že dané vzorky(v 1. prípade Ra A_sv a Ra A_jv) sú si rovné.

Z čoho jednoznačne plynie, že medzi priemernými hodnotami SV a JV existuje významný štatistický rozdiel. Mnou prevedené t- testy boli realizované na základe predchádzajúcich F- testov, opäť na konfidenčnej úrovni $1-\alpha = 0,95$ s možnosťou omylu 0,05. Tabuľka je súčasťou vyhodnocovacieho postupu a pre mňa je smerodajné, že som zamietla nulovú hypotézu.

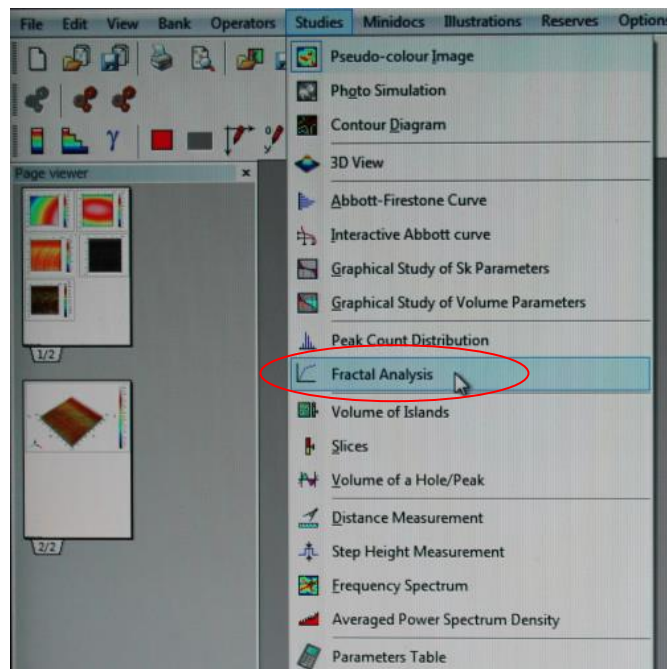
10.2 Fraktálna dimenzia

Druhou metódou, ktorú som zvolila pre vyhodnotenie povrchu je zistenie fraktálnej dimenzie. Tá nám hovorí na rozdiel od štatistického hodnotenia o zložitosti povrchu. Čím je číslo fraktálnej dimenzie vyššie, tým je skúmaný povrch zložitejší.

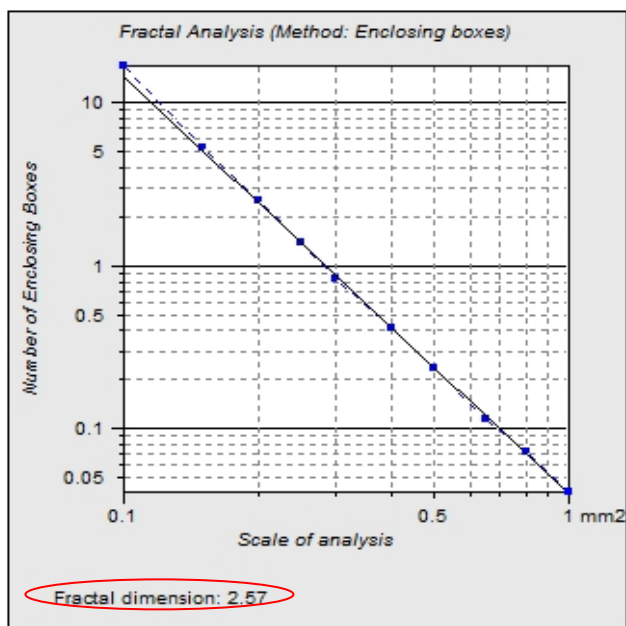
Postup zistenia fraktálnej dimenzie:

V programe Talymap gold zadáme Studies – Fraktal Analysis.

Dostaneme graf fraktálnej analýzy kde v ľavo dole vidíme číslo fraktálnej dimenzie.



Obr.47 Postup zistenia fraktálnej dimenzie



Obr.48 Fraktálna analýza

Tab. 9 Získané hodnoty fraktálnych dimenzií

	FD_1	FD_2	
	<u>A</u> _{sv}	<u>A</u> _{jv}	
	2,57	2,43	
	<u>B</u> _{sv}	<u>B</u> _{jv}	
	2,51	2,61	
	<u>C</u> _{sz}	<u>C</u> _{jz}	
	2,55	2,48	
	<u>D</u> _{sz}	<u>D</u> _{jz}	
2,74	2,55		
<u>E</u> _{sz}	<u>E</u> _{jz}		
2,65	2,49		

Z tabuľky 8 je zřejmé, že najvyššia hodnota fraktálnej dimenzie hornej časti je časť Dsz s hodnotou 2,74 a najnižšia hodnota je v časti Bsv s číslom 2,51.

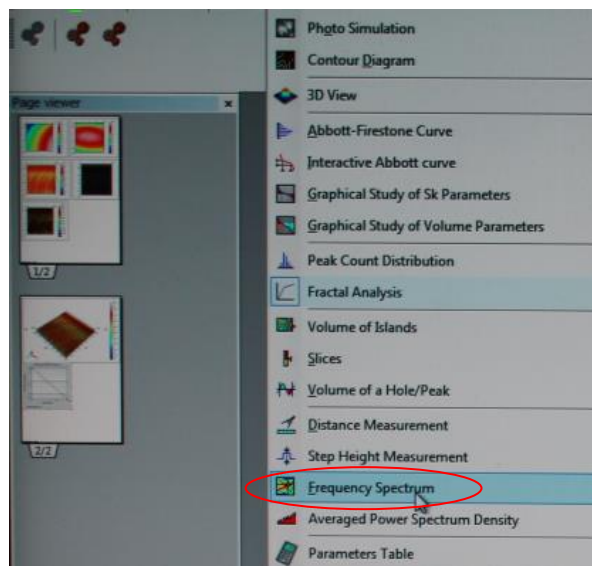
Ajv je časťou s najnižšou fraktálnou dimenziou na spodnej strane výstreku s hodnotou 2,43. A časť Bjv s číslom 2,61 je najvyššou hodnotou v spodnej časti výrobku. Fraktálna dimenzia FD_1 sa dosť značne líši najmä na konci výrobku, kde môžeme pozorovať zvýšenie zložitosti povrchu materiálu. FD_2 je po celej dĺžke kolísavá.

Porovnaním FD_1 a FD_2 je jasne vidieť, že každá časť má úplne inú zložitosť povrchu a najmenšie rozdiely sú v strednej časti (časti B, C) výrobku.

10.3 FFT - Fast Fourier Transformation

Poslednú metódu, ktorú som aplikovala na namerané dáta je Rýchla Fourierova transformácia. Na základe charakteristiky grafov, kde vidíme vyššie harmonické a šum, je vidieť rozdiely v tvaroch povrchu výrobku.

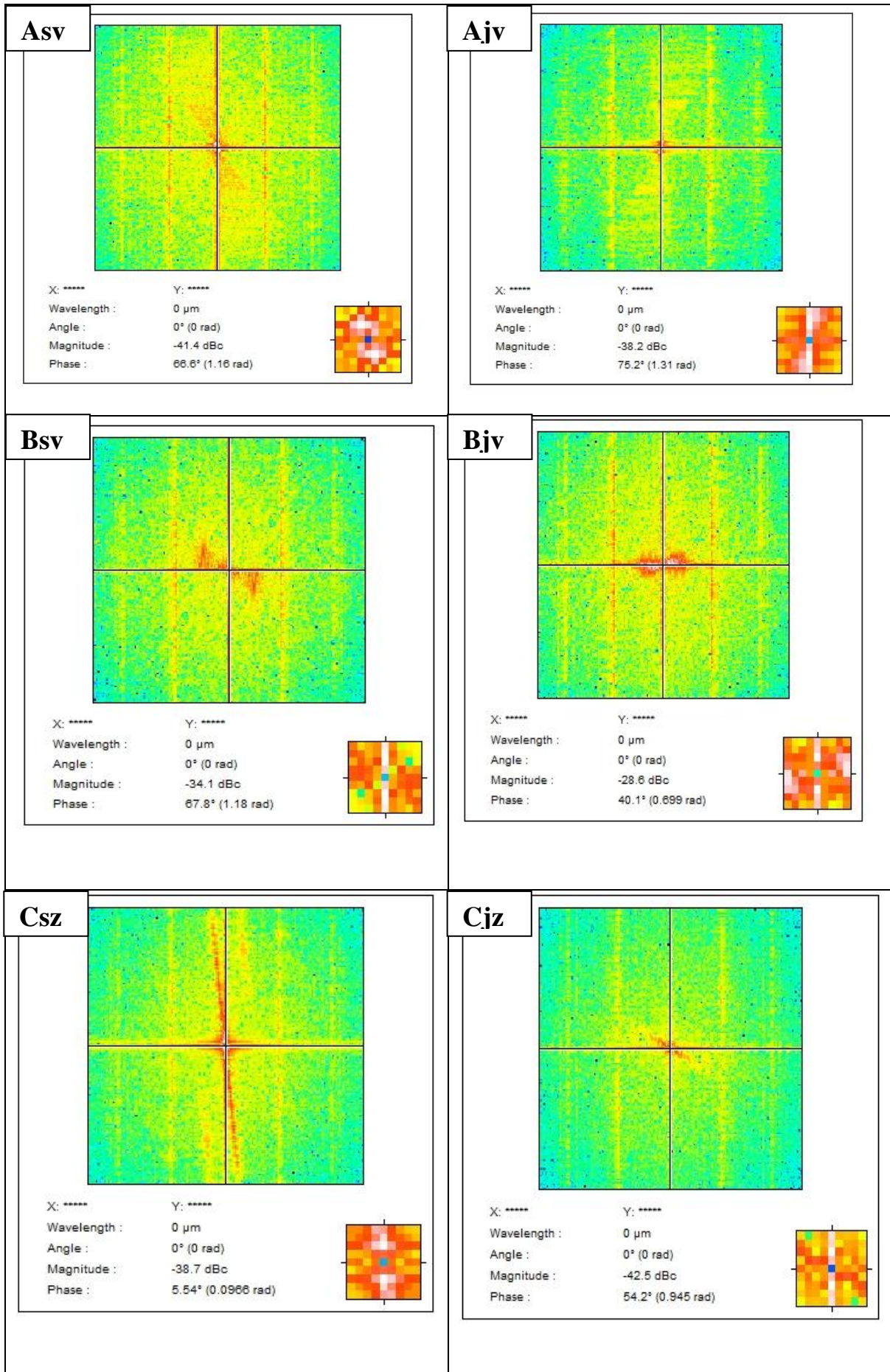
Pre zistenie som použila opäť program Talymap gold zadáme Studies – Frequency spectrum.

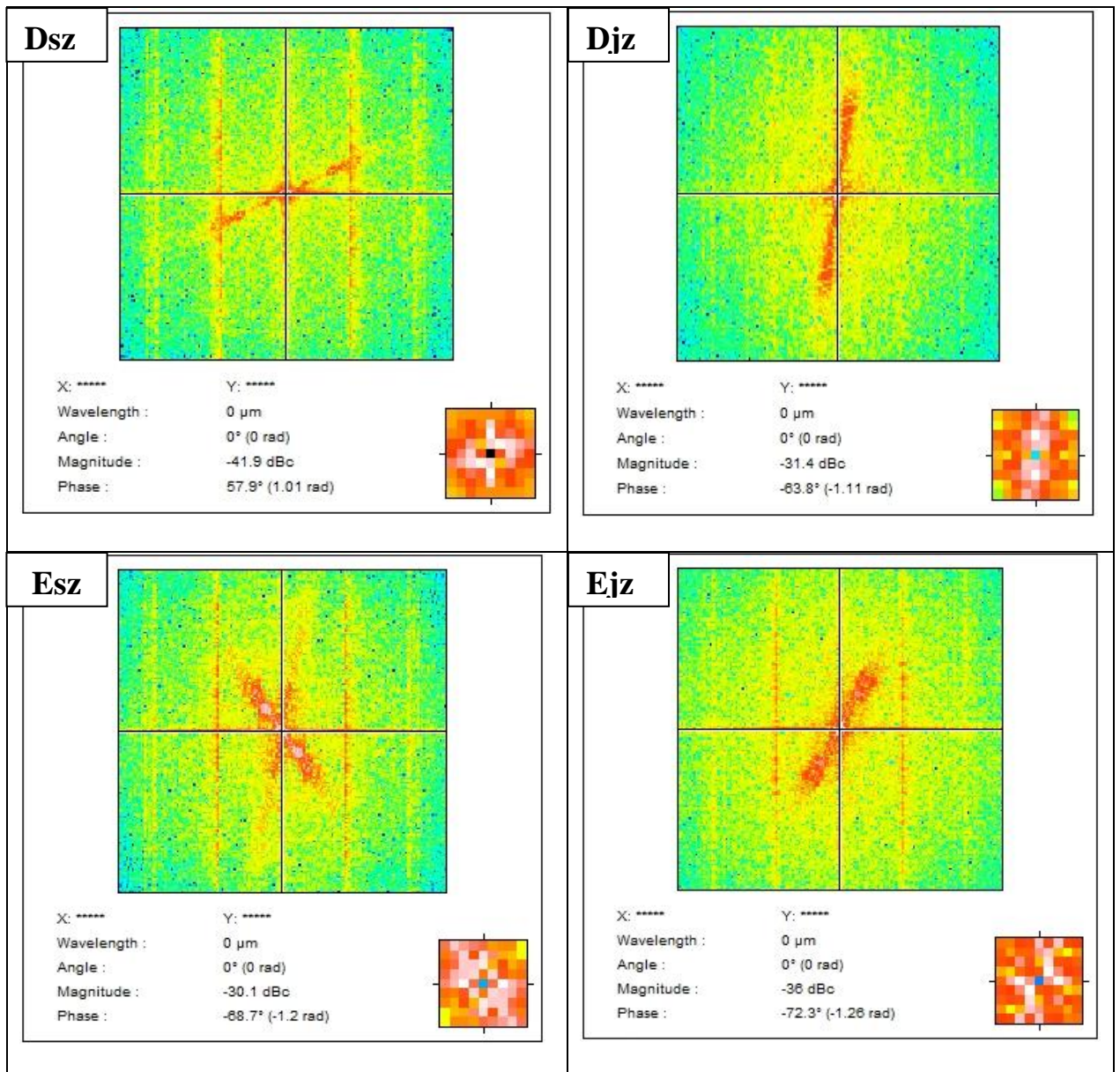


Obr.49 Postup zistenia frekvenčného spektra

10.3.1 Výsledky FS

Tab. 10 Grafy jednotlivých vyhodnotení FFT pre všetky skúmané diely





Tabuľka 9 mi vypovedá o charakteristikách povrchu výrobku formou frekvenčných spektrier. Červené čiary mi zobrazujú vyššie harmonické a žlté čiary mi zobrazujú nižšie harmonické. Žlté rozptýlenie v grafoch mi reprezentuje šum. Ako môžeme vidieť na grafoch kusu A a B výrobku sa mierne sebedopodobajú, avšak ostatné grafy (C,D,E kusy) medzi sebou z hľadiska vyšších harmonických sú úplne rozdielne.

ZÁVER

Na záver diplomovej práce môžem skonštatovať, že vopred zadané ciele boli splnené. Pri kompletnom hodnotení kvality povrchu výrobku z polymetylmakrylátu bude veľmi záležať na matematických metódach. Túto skutočnosť umocňuje samotná zložitosť meraného dielu. Cieľom bolo nájsť vhodné matematické metódy, ktoré klasifikujú povrch skúmaných častí výrobku. Tento cieľ bol aj patrične dosiahnutý, a preto by som rada doporučila postup pre hodnotenie pre laikov až k ľuďom, ktorý sa danou problematikou zaoberajú.

Ako minimálny level by som doporučila znalosť kvartilov, detekciu vychýlených hodnôt a z toho plynúcich box – plotových diagramov a orientáciu v nich. Kto má túto úroveň vidí, že aritmetické priemery v našom prípade nie sú vhodné pre popis povrchu.

Do druhej úrovne by som doporučila znalosť teórie hypotéz pod ktorú spadá znalosť normalít, t- testov, F- testov a ich správne vyhodnotenie a interpretácia. V našom prípade mali dostatočnú výpovednú hodnotu.

Ako tretiu úroveň by som doporučila znalosť fraktálov a Fourierovej analýzy, ktorá nám nehovorí o drsnosti, ale zahrňuje aj vlnitosť povrchu a hovorí o povrchu ako takom.

Na základe štatistického vyhodnotenia si dovoľujem tvrdiť, že rozdiely medzi hornou a spodnou časťou meraného objektu sú značne veľké. Ale aj samotná drsnosť v každej z častí má kolísavý charakter. Prekvapením je, že drsnosť povrchu a celkový povrch je odlišný pozdĺžne, ale aj priečne cez celý výrobok.

Konfokálne snímanie a správne vyhodnotenie výsledkov nám dáva veľmi dobrý obraz o skutočnom povrchu výrobkov. Každopádne sa dá povedať, že má jednoznačne prínos pre strojársky priemysel. Najzákladnejšou prekážkou k jeho využívaniu pre priemysel je obstarávacia cena.

Diplomová práca, ktorej som sa venovala splnila moje očakávania. Získala som nový rozhľad v problematike hypotéz a fraktálov. Mala som možnosť zmerať si jednotlivé časti výrobku na Taylor Hobson prístroji. Vyskúšala som rôzne matematické metódy na skúmanie povrchu a štatisticky som ich vyhodnotila. Táto skúsenosť ma obohatila o cenné vedomosti, zlepšila moje zručnosti v spracovávaní dát a v neposlednom rade mi pomohla zostaviť doporučenie pre štatistické vyhodnotenie meraného povrchu ako celku.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY

- [1] BUMBÁLEK L., BUMBÁLEK B., *Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu*, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně.
- [2] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požiadavky na výrobky (GPS) - Štruktúra povrchu: Profilová metóda- Termíny, definice a parametry štruktúry povrchu*. 1999.
- [3] RAMÍK J., *Statistika*, Slezská univerzita v Opavě, Karviná, 2007, s.175.
- [4] Transformace signálu do frekvenční domény, kmitočtová analýza [online], [cit.2013-03-15], Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/daq/Ka05-03.htm>.
- [5] Fraktál. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Addbot, 10. marec 2013 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://sk.wikipedia.org/wiki/Fraktál>.
- [6] *Fraktální geometrie a fraktály* [online], [cit. 2013-04-2], Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/fraktaly/geometrie.html>.
- [7] *Příklady fraktálov* [online], [cit. 2013-04-3], Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/fraktaly/rozdeleni.html#koch>.
- [8] *Dynamické systémy* [online], [cit. 2013-04-8], Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/fraktaly/rozdeleni.html#koch>.
- [9] Vztah fraktální dimenze a rázové houževnatosti vybraných kompozitních materiálu: Autoreferát disertační práce [online]. Brno, 2006 [cit. 2013-04-15]. ISBN 3301V007. Dostupné z: http://wood.mendelu.cz/cz/sections/Props/files/autoreferat_premyslovska.pdf. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. Vedoucí práce Horáček P.
- [10] *Fraktály* [online], [cit. 2013-04-21], Dostupné z: http://www.fit.vutbr.cz/~tisnovpa/fract/clanky/1.htm#tth_sEc1.2.
- [11] Falconer, K., *Fractal Geometry*, John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [12] *Definice fraktálu*, Pokrývacia dymenzia D_p [online], [cit. 2013-04-8], Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/fraktaly/definice.html#hb>.
- [13] Hypotéza. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 9.marec 2013 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://sk.wikipedia.org/wiki/Hypotéza>.

- [14] Testování statistických hypotéz. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Addbot. Wikimedia Foundation, 10.3. 2013 [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Testování_statistických_hypotéz.
- [15] PATA V., Prednášky: *Testovanie hypotéz*, 2012,
- [16]
- [17] *Metóda ANOVA* [online], [cit. 2013- 05-2], Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/ANOVA.htm>.
- [18] *Základy štatistiky* [online], [cit. 2013- 05-2], Dostupné z: <http://files.cfkr.eu/200000080-0f29110223/ZAKLADYstatistikySKRIPTA2.pdf>.
- [19] Konfokální mikroskop. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Addbot, 9.3.2013 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Konfokální_mikroskop.
- [20] *Bezkontaktní profiloměry* [online], [cit. 2013-05-03]
Dostupný z: <http://www.imeco-th.cz/Download/Profilomery%20bezkontaktni.pdf>
- [21] *Snímače Taylor Hobson* [online], [cit. 2013- 05-12], Dostupné z http://www.imeco-th.cz/imeco_th_cz_3.htm.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

resp.	[-]	respektíve
tj.	[-]	to je
napr.	[-]	na príklad
DFT	[-]	diskrétna fourierova transformácia
$f(t)$	[-]	funkcia
A/D	[-]	analógovo-digitálny
Δ	[-]	rozdiel
F integrál	[-]	Fourierov integrál
Hz	[-]	Hertz
N	[ks]	počet
π	[-]	matematická konštanta
ω	[rad/s]	uhlová rýchlosť
t	[s]	čas
T	[s]	perióda
λ	[m]	vlnová dĺžka
Σ	[-]	suma (súčet)
\int	[-]	integrál
FT	[-]	Fourierova trnaformácia
Exp	[-]	exponent
τ	[s]	perióda
IDFT	[-]	Inverzná diskretna Fourierova transformácia
G_{xx}	[-]	výkonné spektrum
IFS	[-]	Iteration function system
TEA	[-]	Time Escape algorithms

D	[-]	Dimenzia
D _p	[-]	Pokrývacia dimenzia
ANOVA	[-]	Analysis of variance
H	[-]	hypotéza
σ	[-]	odchýlka
F	[-]	funkcia
\bar{x}_i	[-]	výberový priemer
s	[-]	výberový rozptyl
P	[-]	pomer korelácie
NA	[-]	numerická apertura
CLI	[-]	command line interface
CLA	[-]	Chromatic Length Aberration
CCD	[-]	Charge-coupled device
IQR	[-]	interkvartilové rozpätie
FFT	[-]	Fast Fourier Transformatiom
PC	[-]	Personal Computer
CD	[-]	Compact Disc
P	[μm]	Parameter vypočítaný zo základného súboru
R	[μm]	Parameter vypočítaný z profilu drsnosti
W	[μm]	Parameter vypočítaný z profilu vlnitosti

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr.1 Klasifikácia povrchov [1].....	13
Obr.2 Prenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [2].....	13
Obr.3 Povrchový profil [2].....	14
Obr. 4 Prvok profilu [2].....	15
Obr.5 Miestny sklon [2].....	16
Obr.6 Materiálová dĺžka [2].....	16
Obr.7 Najväčšia výška výstupku profilu [2]	17
Obr. 8 Najväčšia hĺbka priehlbiny profilu [2]	17
Obr. 9 Najväčšia výška profilu [2].....	18
Obr. 10 Výška prvkov profilu [2].....	18
Obr. 11 Šírka prvkov profilu [2].....	19
Obr. 12 Vzorkovanie signálu (DFT).....	23
Obr .13 Autokorelácia: zlá a správna špecifikácia modelu [3].....	24
Obr.14 a)Kochova vložka (vľavo), b)Voštinova štruktúra(vpravo) [7].....	27
Obr. 15 Cantorova množina [7].....	27
Obr. 16 Sierpinského tesnenie [7].....	28
Obr. 17 Ukážka Mandelbrotovej množiny [7].....	28
Obr. 18 Juliove množiny [7].....	29
Obr. 19 Bifurkačný diagram s rôznymi koeficientmi [8].....	30
Obr. 20 Lorenzov atraktor [8].....	30

Obr.21 Znázornenie rôznych možností pokrývania bodov, krivky a plochy [12].....	35
Obr .22 Ukážka snímania konfokálnou metódou [19]	51
Obr. 23 Spôsob konfokálneho snímania [19]	52
Obr. 24 CLA snímač.....	55
Obr. 25 Indukčný snímač.....	55
Obr. 26 Laserový snímač.....	56
Obr .24 Merané objekty.....	60
Obr .25 Určenie súradnicového systémému.....	61
Obr. 26 Príprava vzoriek na meranie rezaním.....	62
Obr. 27 Merací prístroj Talysurf CLI 500.....	63
Obr. 28 Uloženie predlžovacej podložky.....	64
Obr. 29 Uloženie vzorky.....	65
Obr. 30 Kalibrácia prístroja.....	65
Obr. 31 Meranie vzorky.....	66
Obr .32 Základné nastavenie.....	67
Obr .33 Nastavenie odrazivosti.....	68
Obr .34 a) priebeh merania b) výsledok merania.....	68
Obr. 35 Odstránenie vlnitosti.....	69
Obr. 36 Výsledok zrovnania A_JV.....	69
Obr. 37 Preloženie polynomom 3 stupňa.....	70
Obr. 38 Výsledok preloženia A_JV.....	70
Obr. 39 Vľavo – zmenenie uhľa osvitu, vpravo – stupňovanie.....	71
Obr. 40 Výsledok foto simulácie po úpravách časti A_JV.....	71
Obr. 41 Úpravy Contour diagramu.....	71

Obr. 42 Contour diagram A_JV.....	72
Obr. 43 3D pohľad na meranú časť A_JV.....	72
Obr. 44 Nastavenie pre analýzu.....	73
Obr. 45 Nastavovanie výsledkov.....	74
Obr. 46 Výsledok spracovania dát.....	74
Obr. 47 Postup zistenia fraktálnej dimenzie.....	83
Obr. 48 Fraktálna analýza.....	84
Obr. 49 Postup zistenia frekvenčného spektra.....	85

ZOZNAM TABULIEK

Tab.1. Výber štatistickej metódy[16].....	39
Tab.2. Platnosť nulovej alebo alternatívnej hypotézy	41
Tab.3. Technická špecifikácia prístroja.....	62
Tab.4. Porovnanie 3D snímok.....	71
Tab. 5 Mediány parametra Ra všetkých skúmaných častí.....	77
Tab. 6 Mediány parametra Rz všetkých skúmaných častí.....	78
Tab. 7 Získané p- hodnoty z testov normality.....	80
Tab. 8 Testovanie hypotéz, F- testy a t- testy.....	82
Tab. 9 Získané hodnoty fraktálnych dimenzií.....	84
Tab. 10 Grafy jednotlivých vyhodnotení FFT pre všetky skúmané diely.....	85

ZOZNAM GRAFOV

Graf č.1 Ukážka studentovho rozdelenia [17]	43
Graf č.2 Ukážka Fischerovovho rozdelenia [17]	44
Graf č.3 Boxplotový diagram pre Rz A,B,C,D,E dielov hornej časti výrobku.....	74
Graf č.4 Boxplotový diagram pre Rz A,B,C,D,E dielov spodnej časti výrobku.....	75
Graf č.5 Boxplotový diagram pre Ra A,B,C,D,E dielov hornej časti výrobku.....	75
Graf č.7 Výsledok testu normality dát.....	79

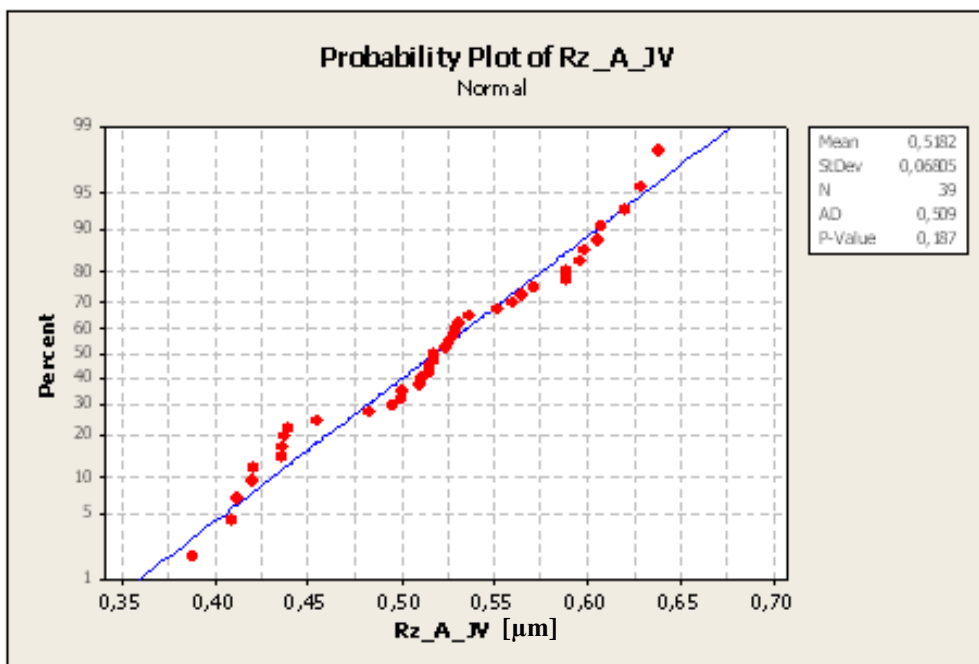
ZOZNAM PRÍLOH

PRÍLOHA P1: VÝSLEDKY TESTOV NORMALÍT

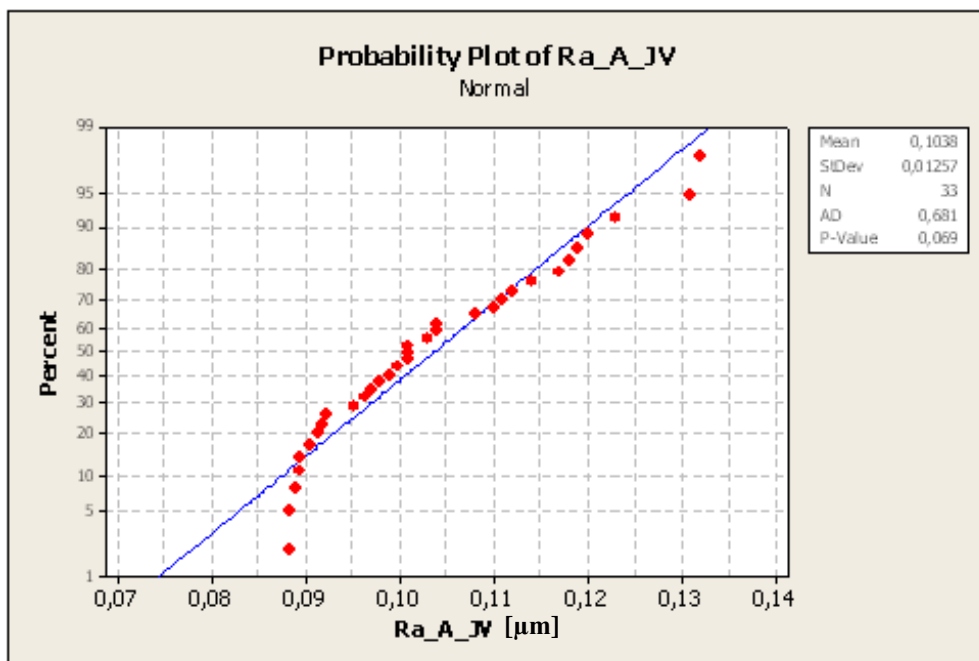
PRÍLOHA P2: GRAFY FRAKTÁLNYCH DIMENZIÍ

PRÍLOHA P3: PREKLADOVÝ SLOVNÍK

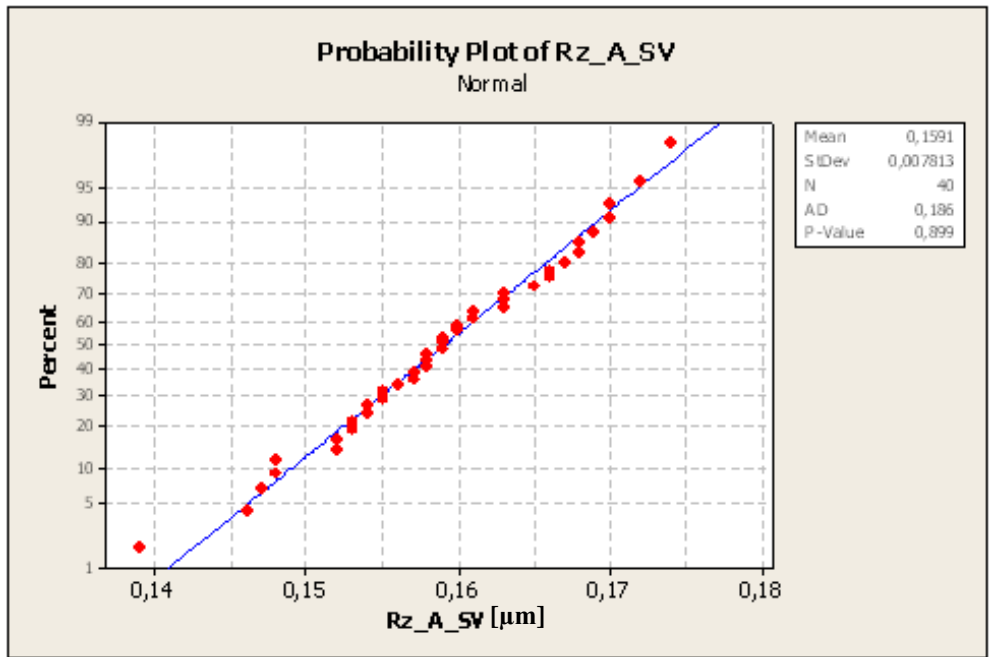
PRÍLOHA P1: VÝSLEDKY TESTOV NORMALÍT



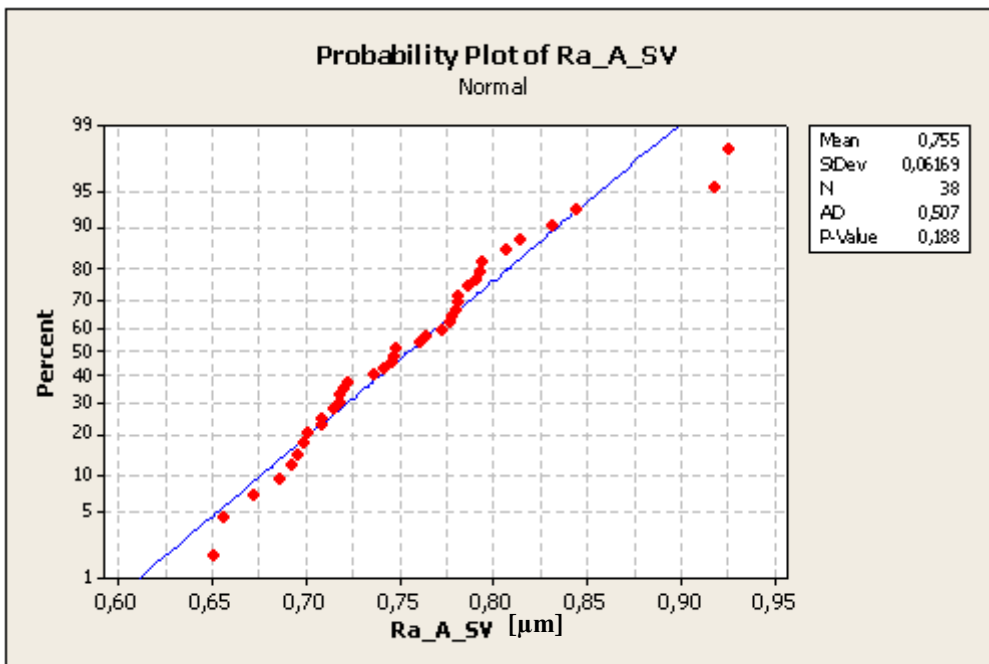
Graf č. 1



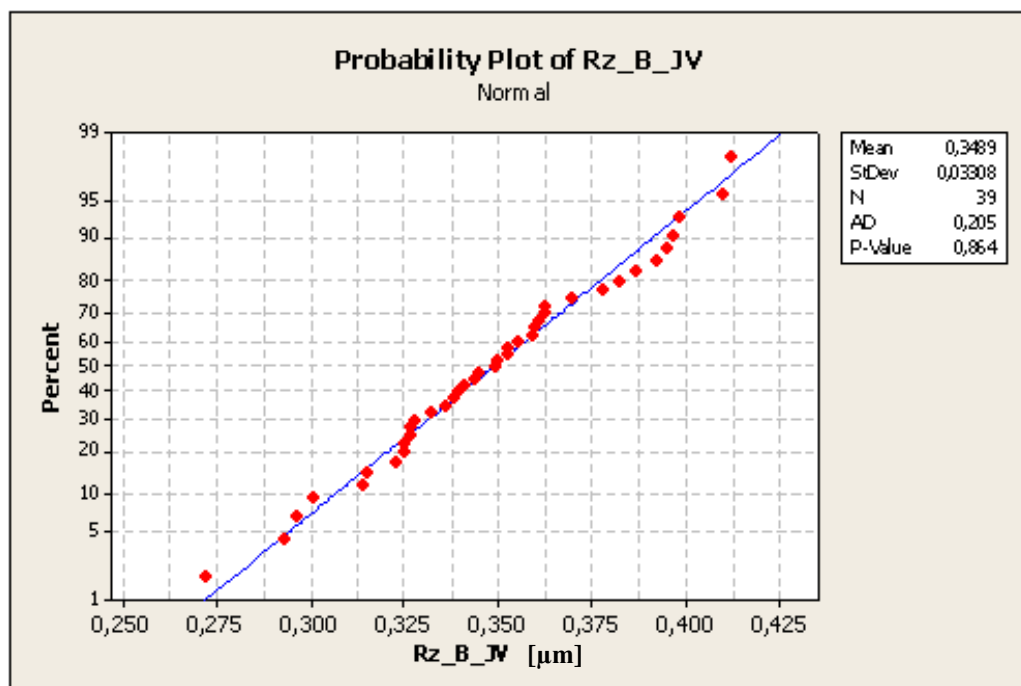
Graf č. 2



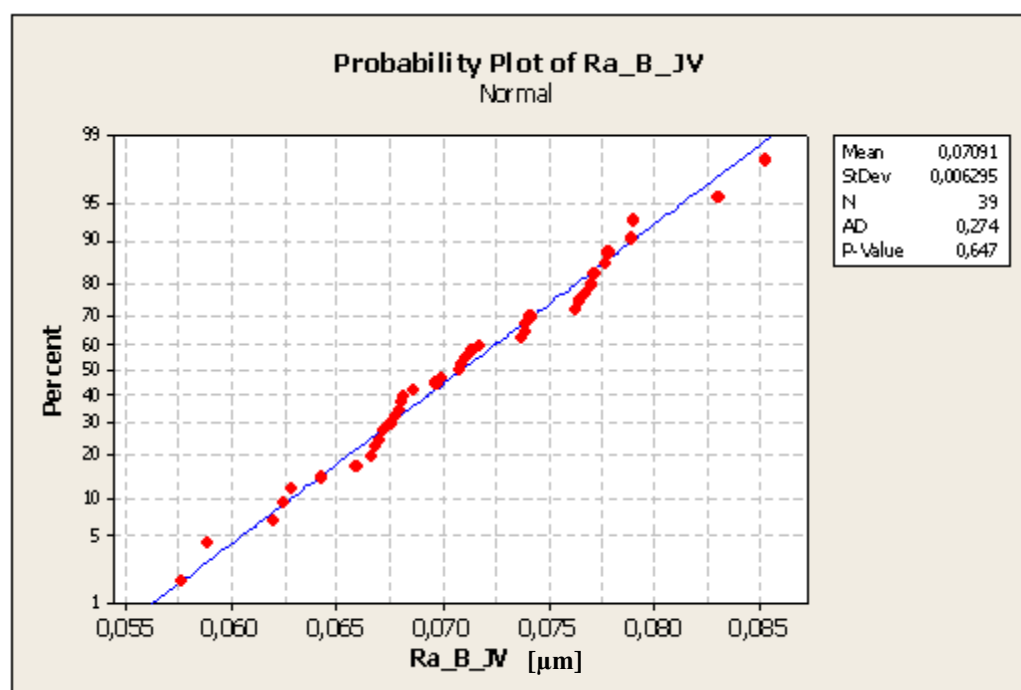
Graf č. 3



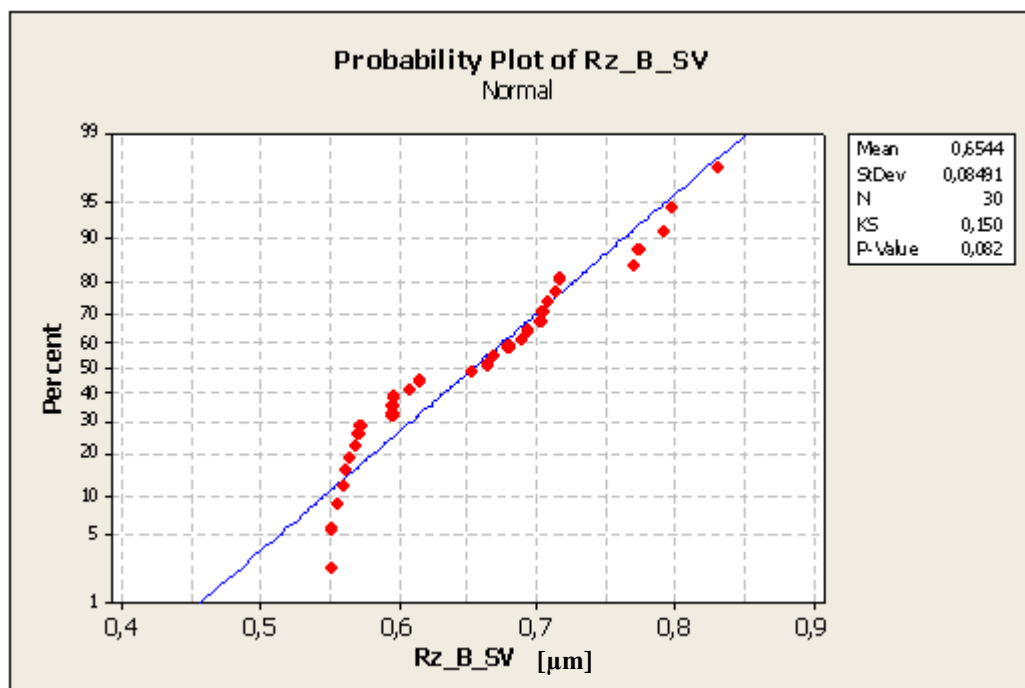
Graf č. 4



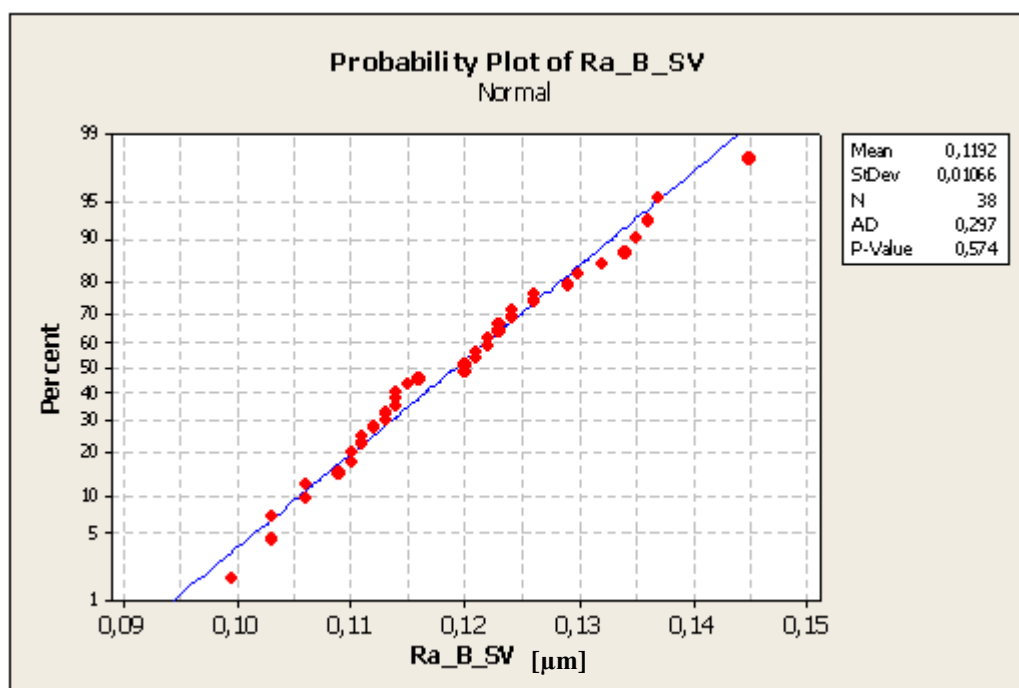
Graf č. 5



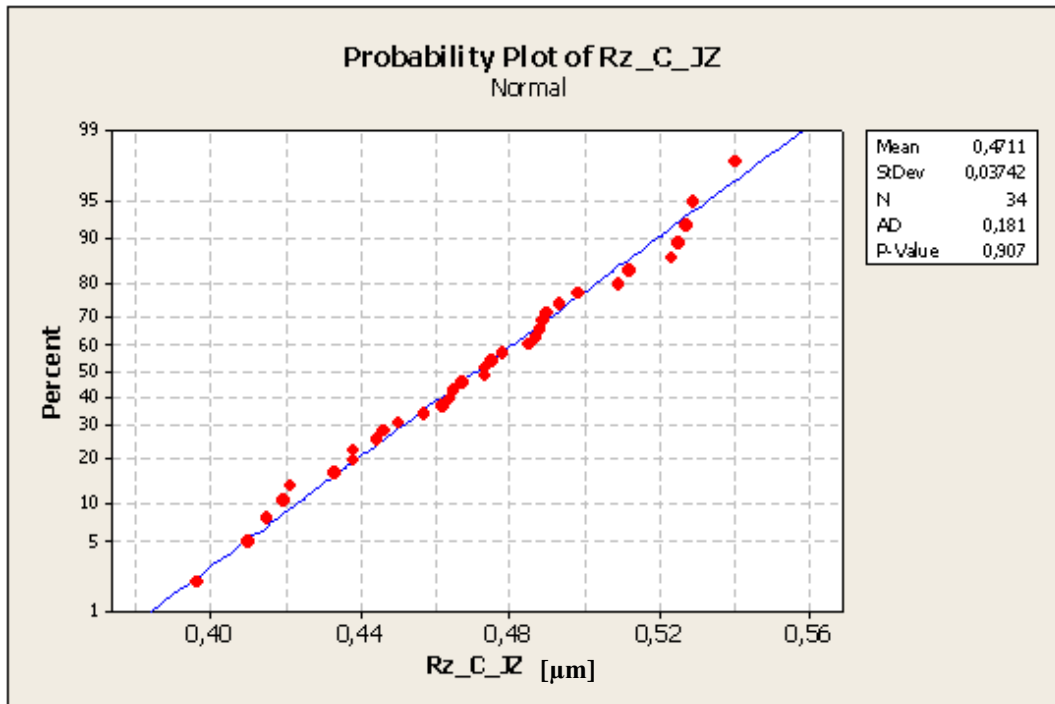
Graf č. 6



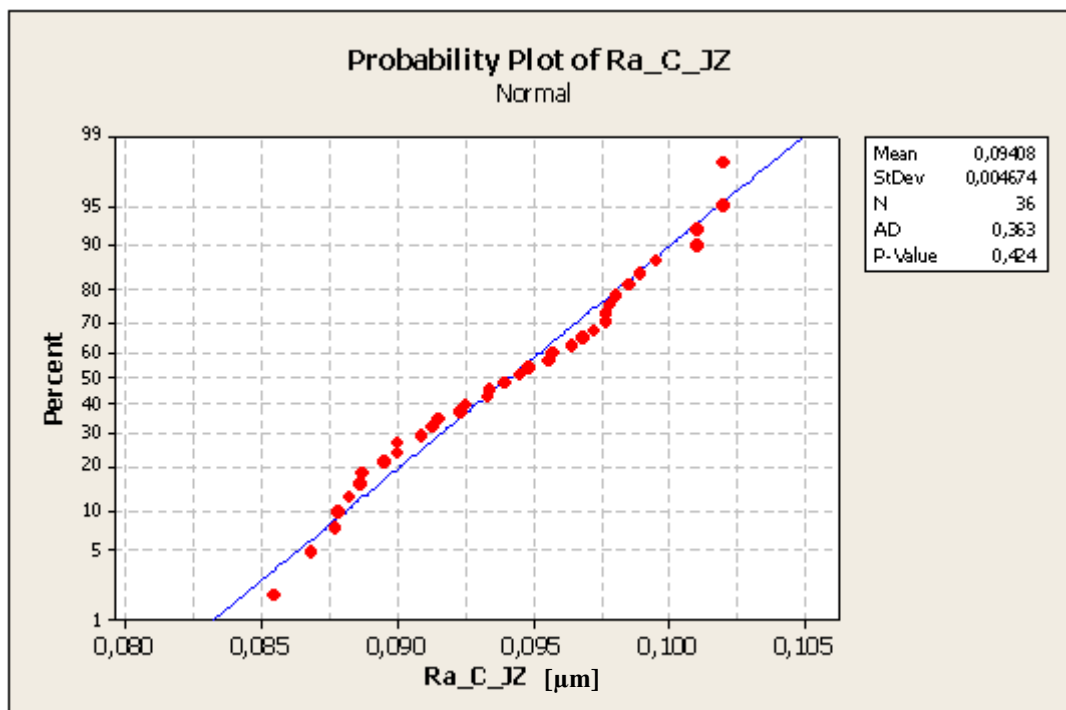
Graf č. 7



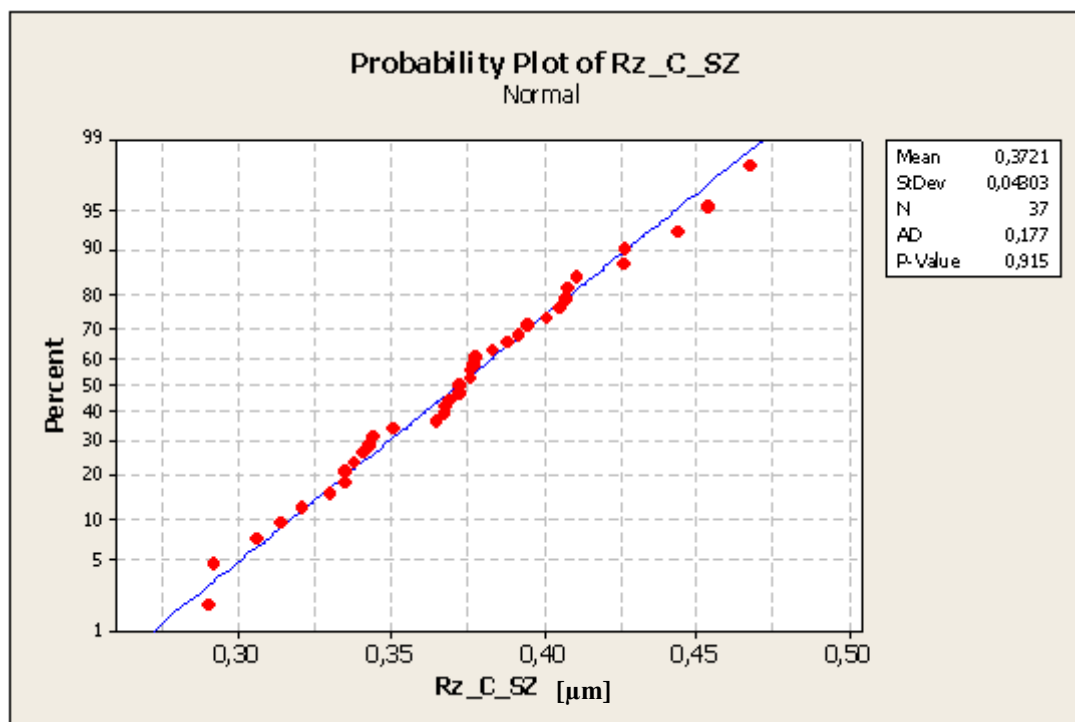
Graf č. 8



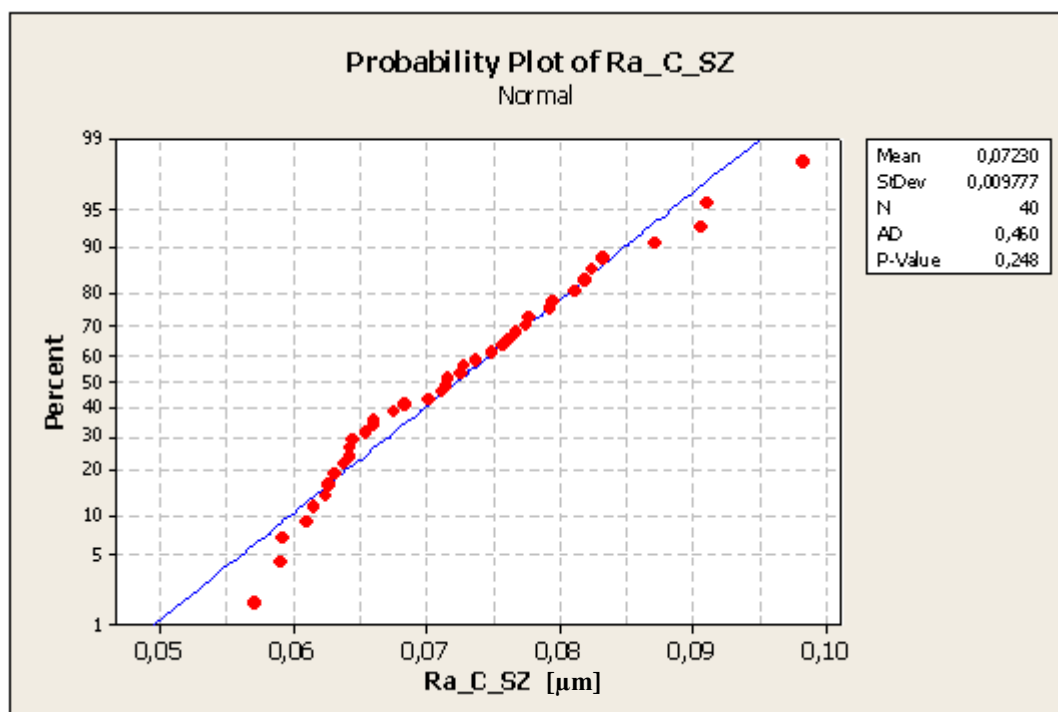
Graf č. 9



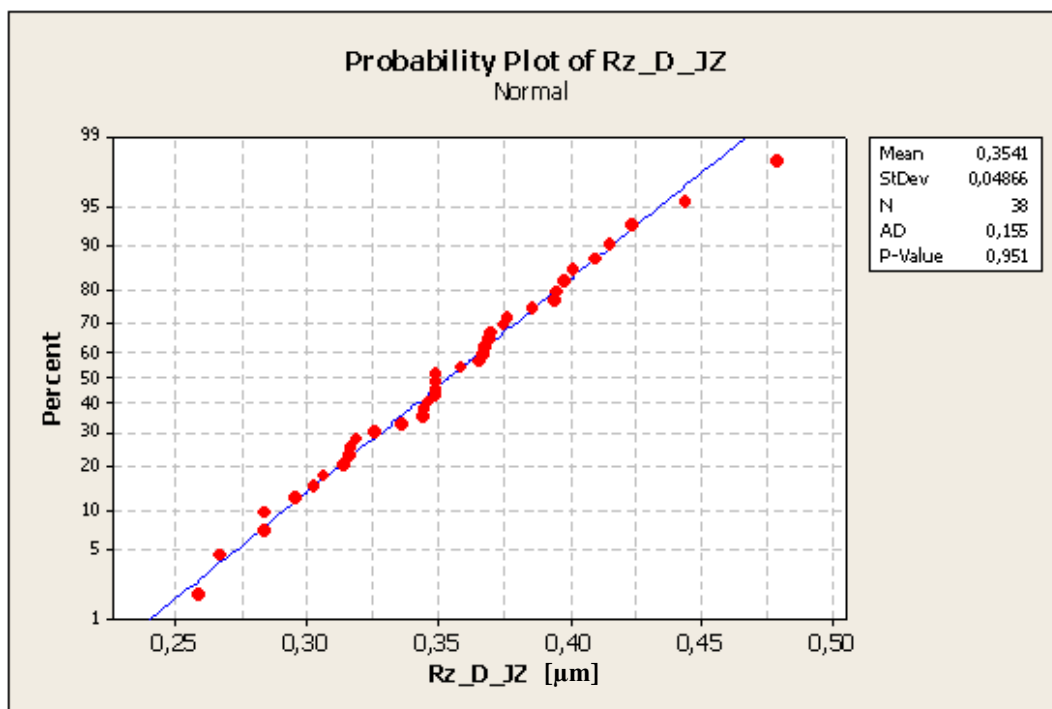
Graf č. 10



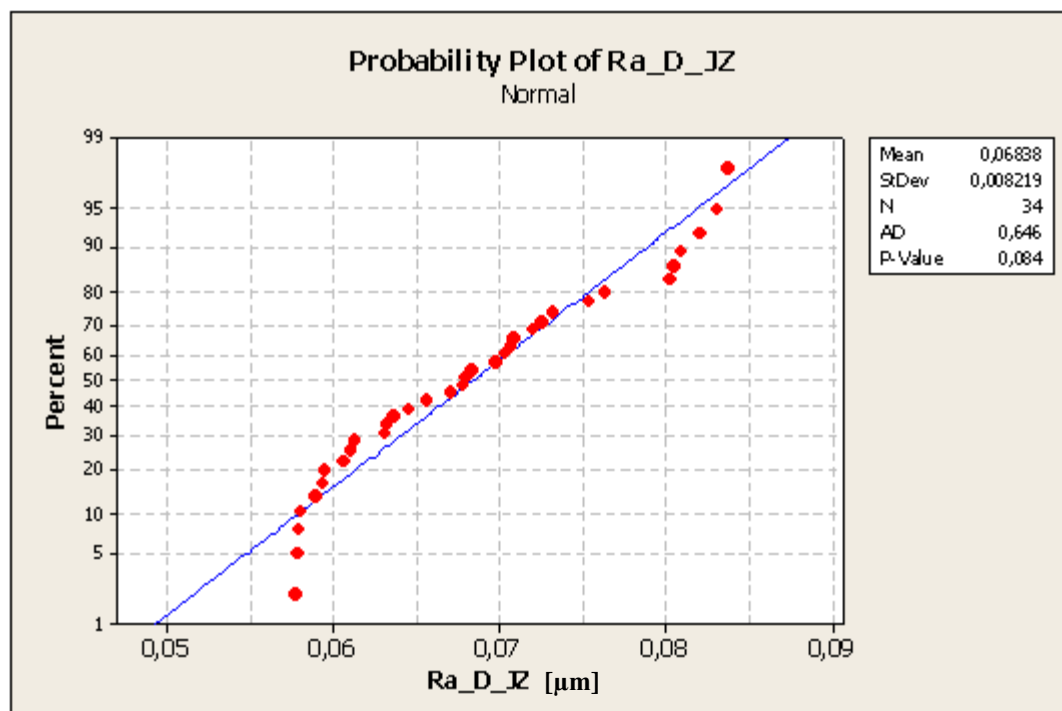
Graf č. 11



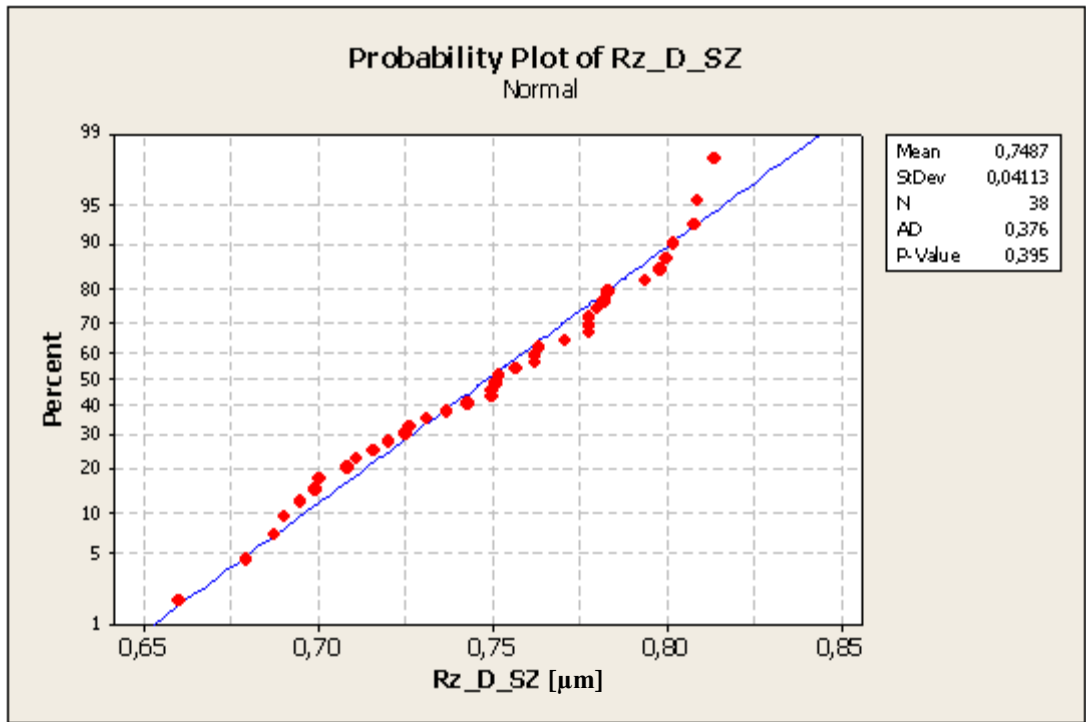
Graf č. 12



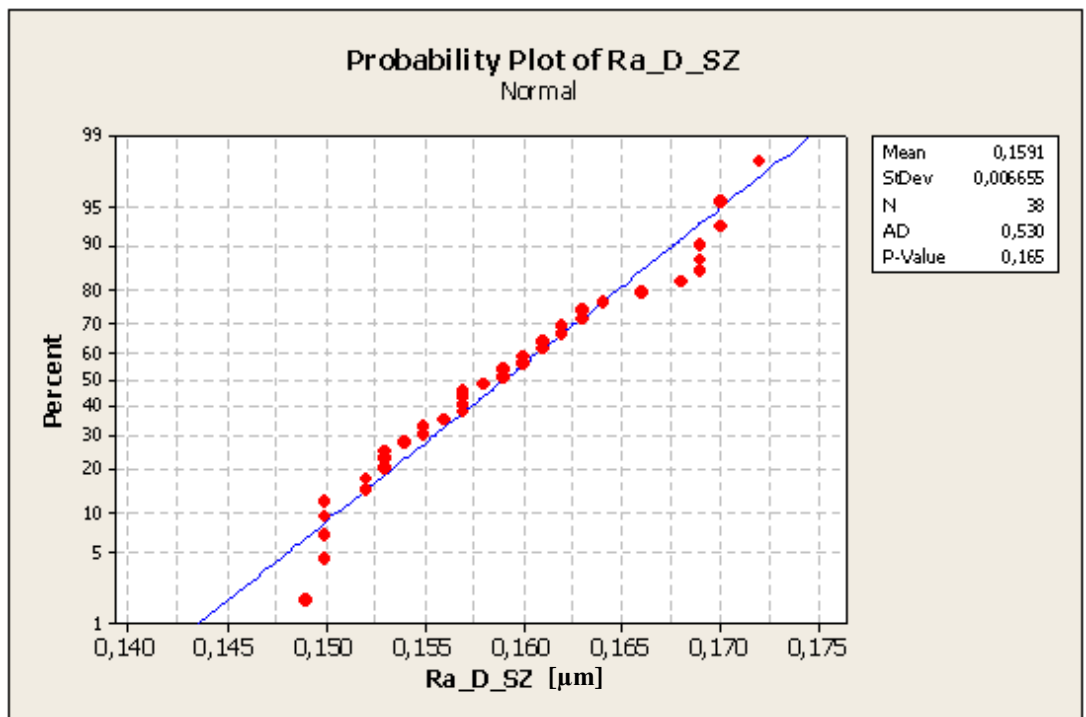
Graf č. 13



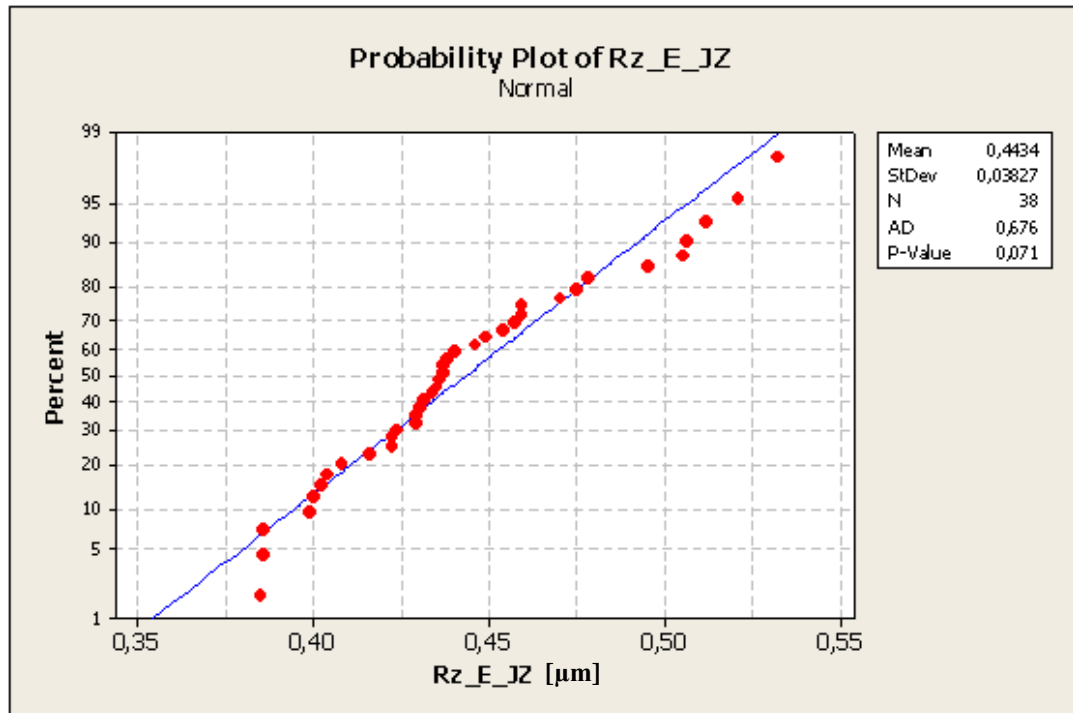
Graf č. 14



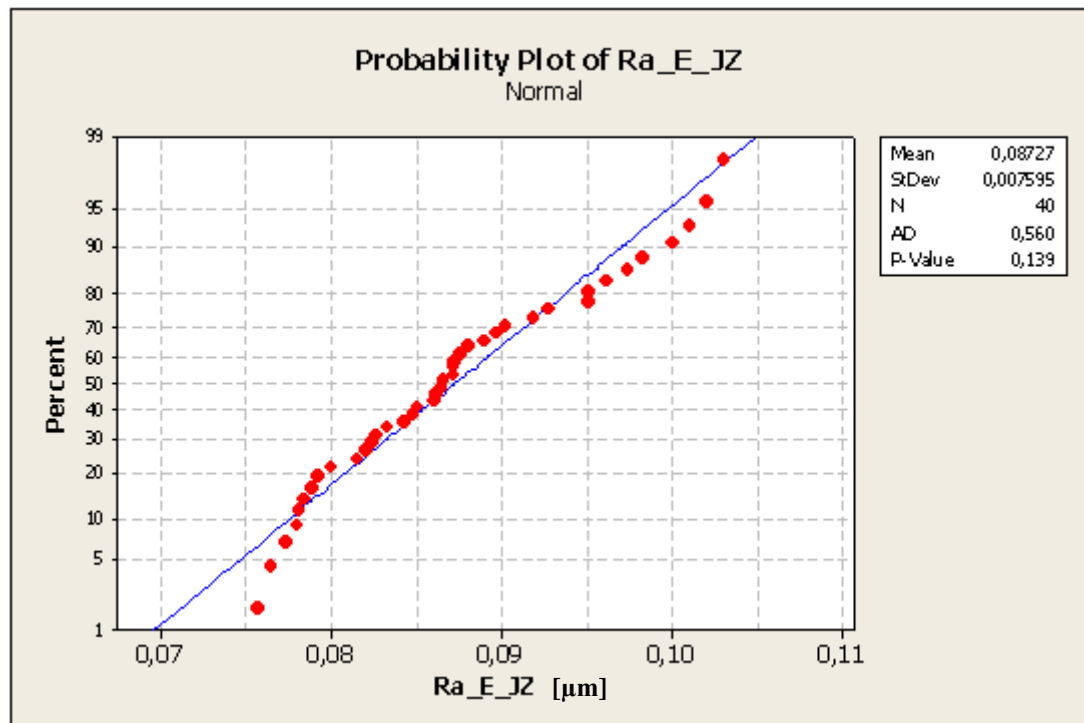
Graf č. 15



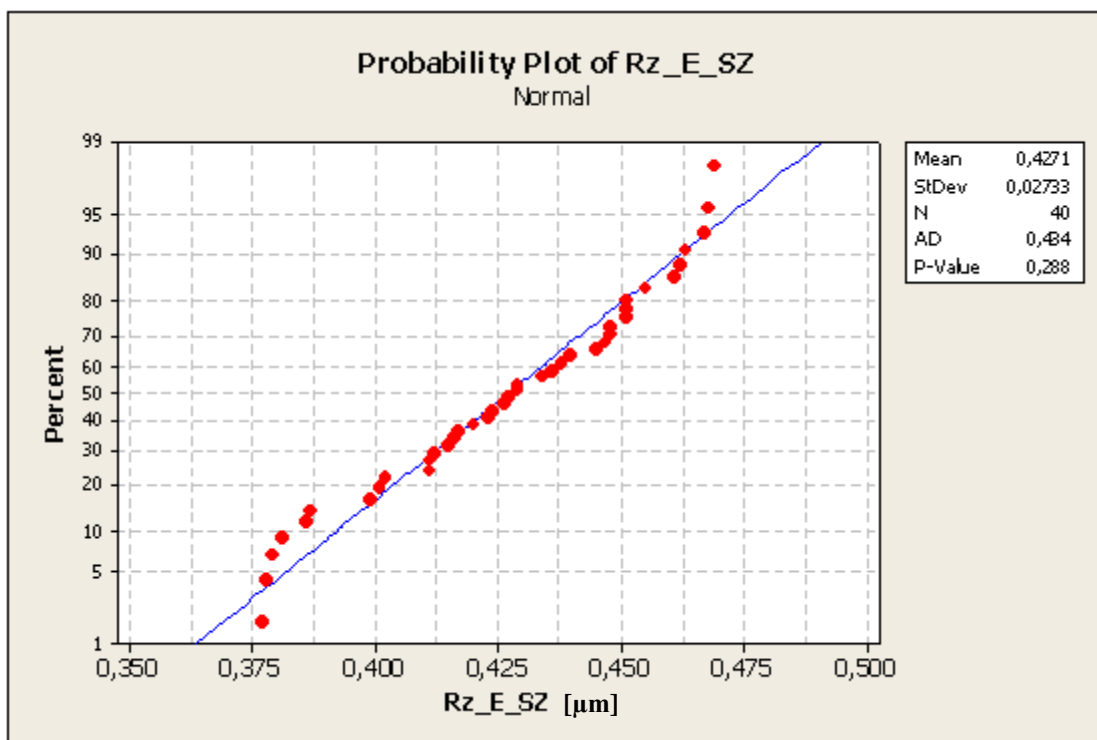
Graf č. 16



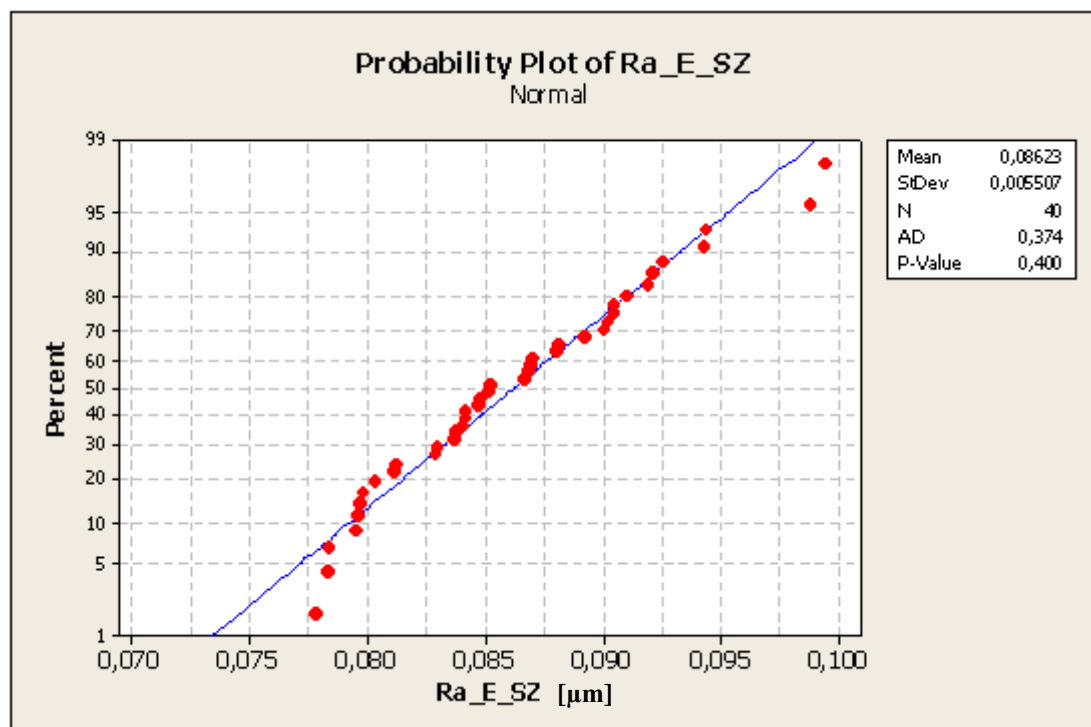
Graf č. 17



Graf č. 18

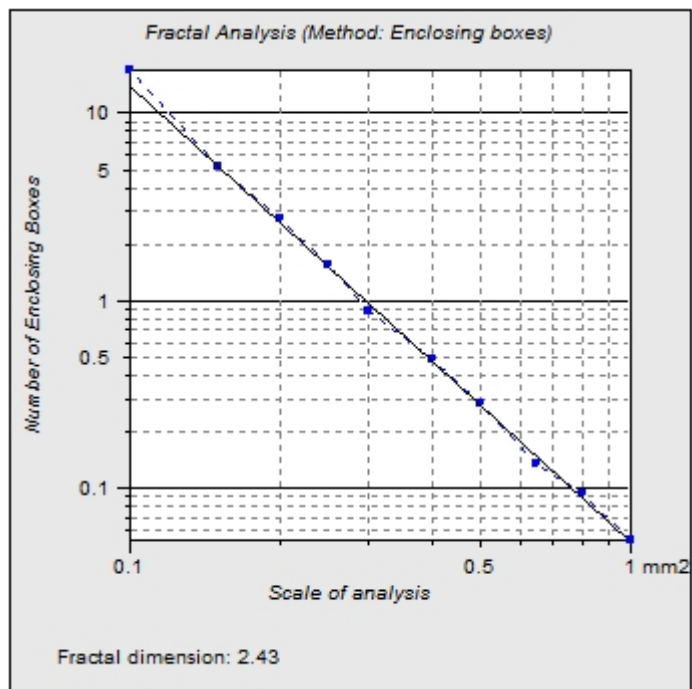


Graf č. 19

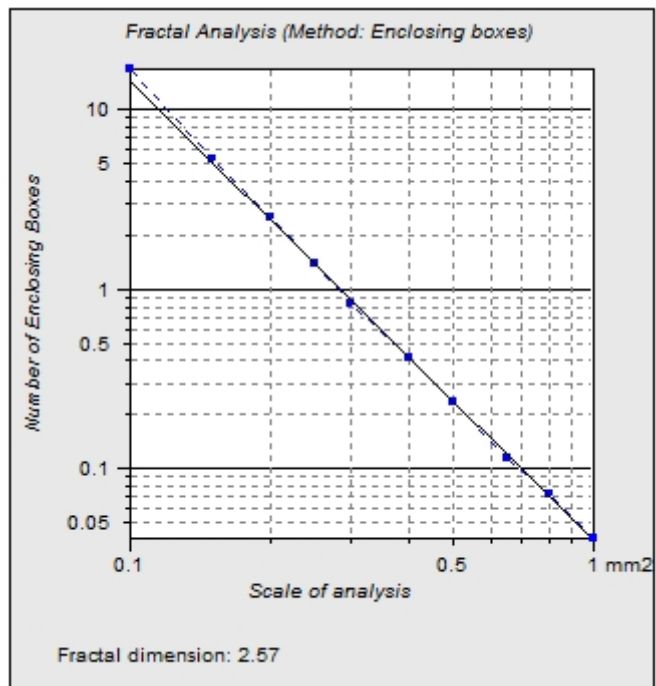


Graf č. 20

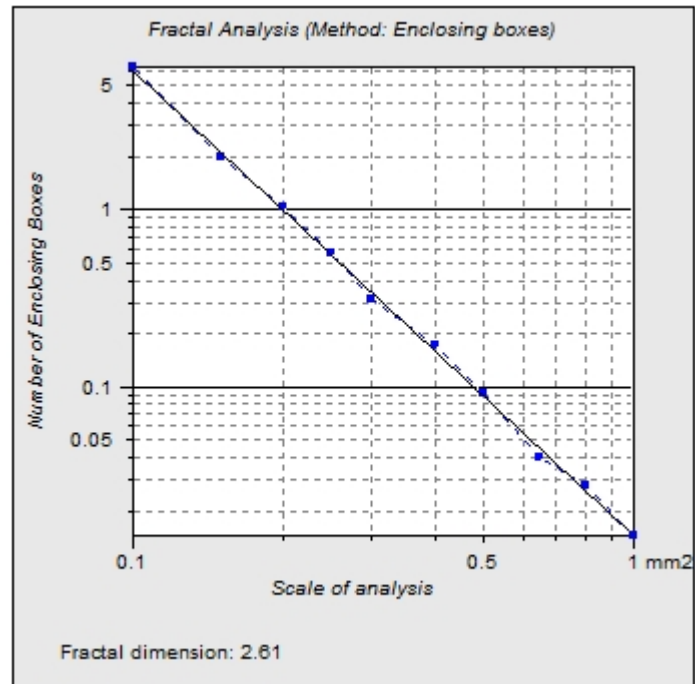
PRÍLOHA P2: GRAFY FRAKTÁLNYCH DIMENZIÍ



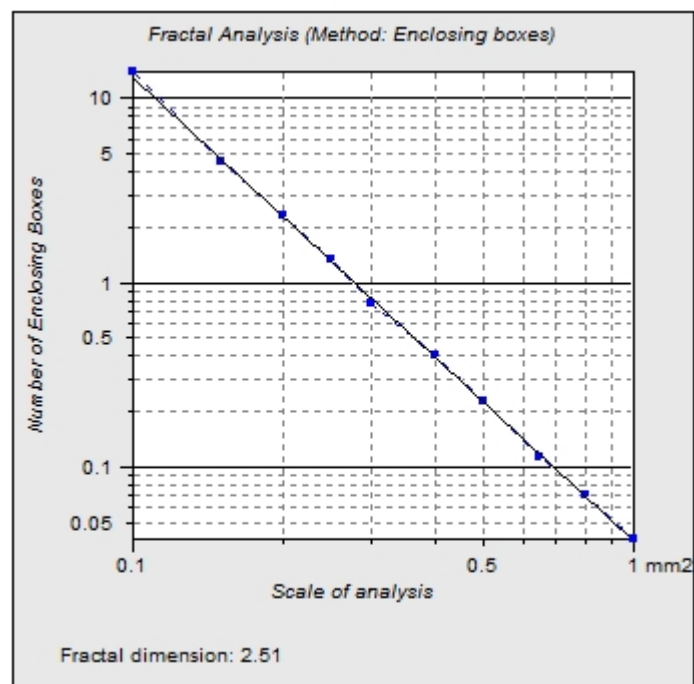
Graf č.1 A_JV



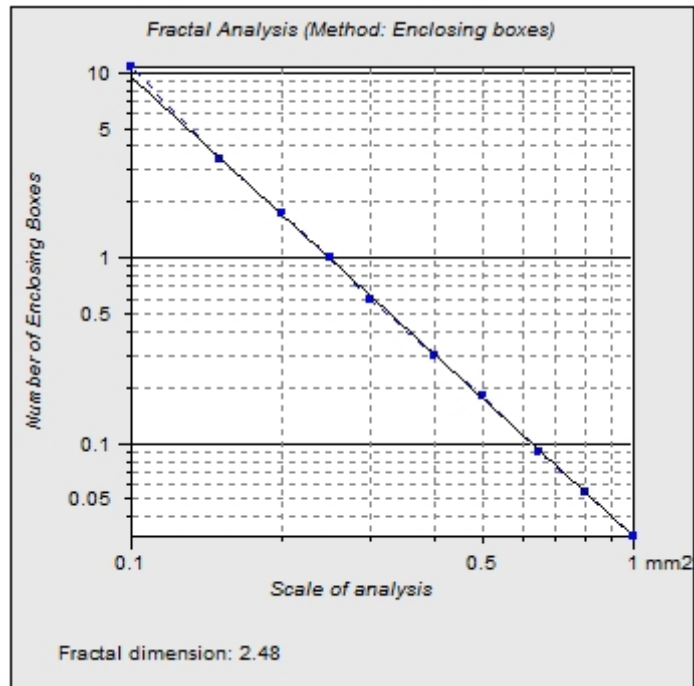
Graf č.2 A_SV



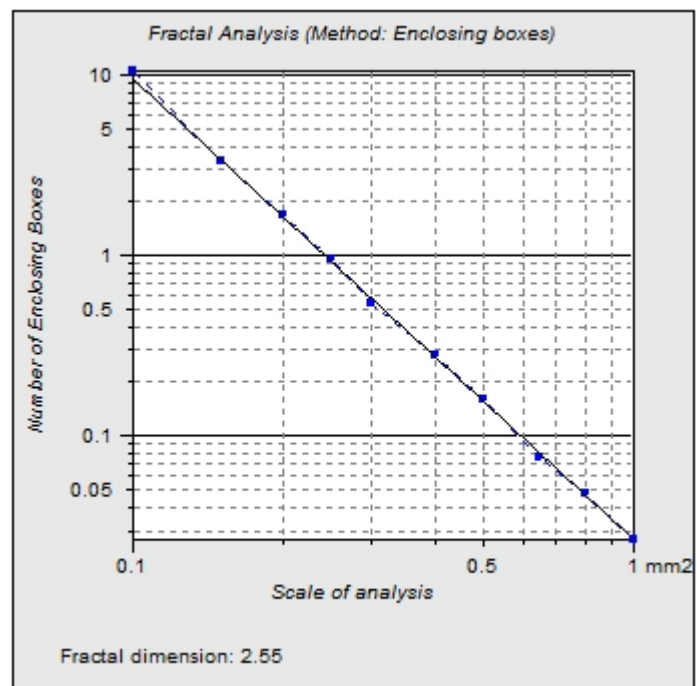
Graf č.3 B_JV



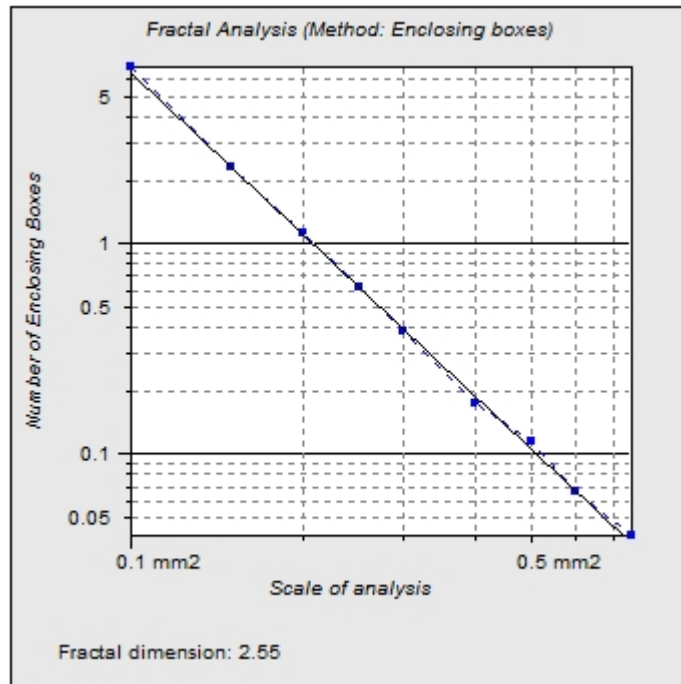
Graf č.4 B_SV



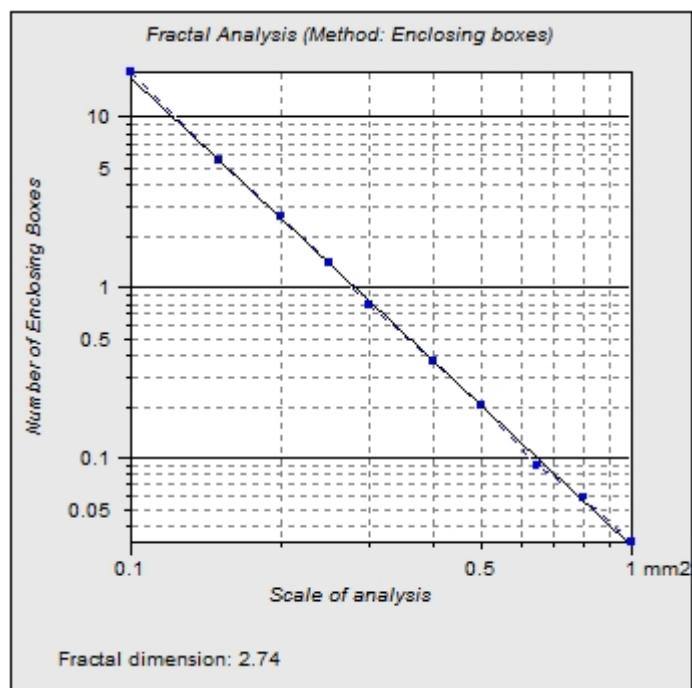
Graf č.5 C_JZ



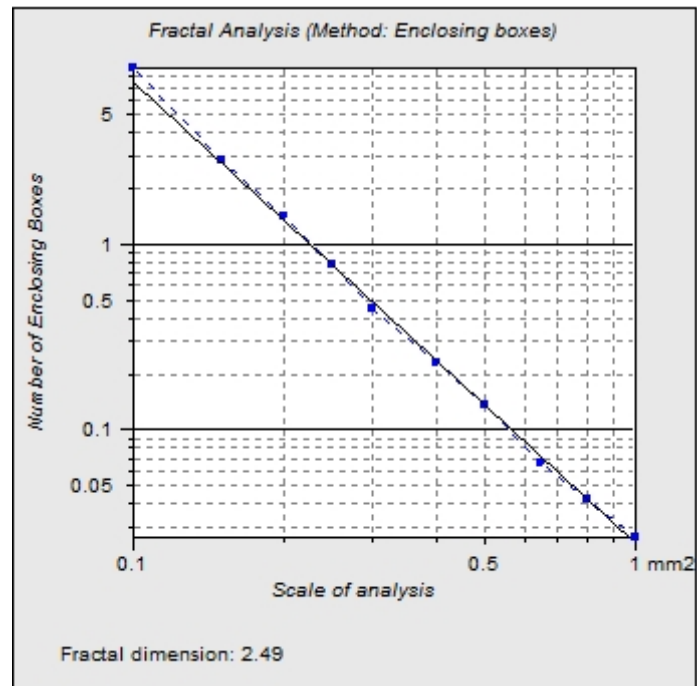
Graf č.6 C_SZ



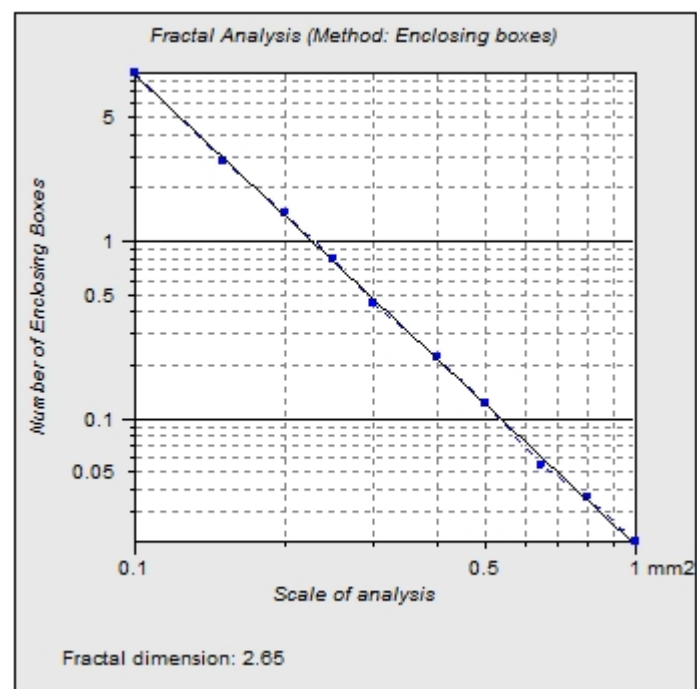
Graf č.7 D_JZ



Graf č.8 D_SZ



Graf č.9 E_JZ



Graf č.10 E_SZ

PRÍLOHA P3: PREKLADOVÝ SLOVNÍK

Cut-off	Záver
Iteration function system	Iteračný funkčný systém
Time Escape algorithms	Algoritmus časového úniku
P – value	P hodnota
Analysis of variance	Analýza odchýlky
Degree of freedom	Stupeň voľnosti
Chromatic Length Aberration	Odchýlka chromatickej dĺžky
Show spectrum	Zobraziť spektrum
Zoom	Priblíženie
Personal Computer	Osobný počítač
Close	Zatvoriť
Scan	Snímanie
Levelling	Vyrovnávanie
Least square plane	Najmenšia štvorcová doska
Form removal	Odstránenie formy
Surface	Povrch
Photo Simulation	Foto simulácia
Contour diagram	Diagram obrysov
Color background	Farebné pozadie

3D View	3D zobrazenie
Convert into a series of profils	Konvertovať do série profilov
Parameters Table	Tabuľka parametrov
Filter setting	Nastavenie filtra
Manage end-effects	Riadit' koncové efekty
Compact disc	Kompaktný disk
Basic statistics	Základné štatistiky
Normality test	Test normality
Variances	Odchýlky
2-Sample test	Dvojvzorkový test
Samples in different columns	Vzorky v rôznych stĺpcoch
Studies	Štúdie
Fraktal Analysis	Fraktálna analýza
Frequency spectrum	Frekvenčné spektrum
Level	Úroveň