

**Využití statistických metod
pro kvalitativní hodnocení jakosti povrch
bezkontaktním způsobem**

Bc. Ondřej Třávníček

Diplomová práce
2014



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej Švajda**
Osobní číslo: **T12855**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Využití statistických metod pro zkvalitnění
hodnocení jakosti povrchů bezkontaktním způsobem**

Zásady pro vypracování:

Teoretická část:

- 1. Dle platných norem ČSN EN ISO definujte základní pojmy v oblasti hodnocení kvality povrchu.**
- 2. Popište způsoby snímání povrchů se zaměřením na bezkontaktní způsoby.**
- 3. Popište způsoby skenování povrchu.**
- 4. Popište problematiku fraktální geometrie.**
- 5. Vyberte a popište vhodnou matematicko-statistickou metodu hodnocení kvality povrchu.**

Praktická část:

- 1. Vyberte a nastavte snímací zařízení.**
- 2. Nasnímejte povrch.**
- 3. Použijte vhodnou matematicko-statistickou metodu pro zhodnocení kvality povrchu z nasnímaných dat.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

[1] KREVELEN, D, K NIJENHUIS a Gregory Frederick MEYERS. *Properties of polymers: their correlation with chemical structure : their numerical estimation and prediction from additive group contributions*. 4th, completely rev. ed. / Amsterdam: Elsevier, c2009, xxvi, 1004 p. ISBN 978-008-0548-197.

[2] SOONG, T. *Fundamentals of probability and statistics for engineers*. Hoboken, NJ: John Wiley, c2004, xiv, 391 p. ISBN 04-708-6814-7.

[3] SAWYER, Linda C, David T GRUBB a Gregory Frederick MEYERS. *Polymer microscopy*. 3rd ed. / New York: Springer, c2008, xiv, 540 p. ISBN 03-877-2627-6.

[4] SAWYER, Linda C, David T GRUBB a Gregory Frederick MEYERS. *Three-dimensional surface topography*. 2nd ed. London: Penton Press, 2000, xxii, 285 s. ISBN 18-571-8026-7.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Pata
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

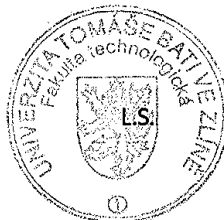
10. února 2014

Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2014

Ve Zlíně dne 10. února 2014


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

Éberu na v domí, 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);

Éberu na v domí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložena v písemném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložena u vedoucího práce;

Ébyl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se 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, zejména § 35 odst. 3 2);

Éberu na v domí, že podle § 60 3) odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití kolního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;

Éberu na v domí, že podle § 60 3) odst. 2 a 3 mohu užívat své dílo o 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);

Éberu na v domí, 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;

Éberu na v domí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popřípadě soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3).

Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

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

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce šVyuffití statistických metod pro zkvalitn ní hodnocení jakosti povrch bezkontaktním zp sobemõ bylo v teoretické ásti popsat základní pojmy a definice v oblasti hodnocení jakosti povrchu, popsat bezkontaktní zp soby snímání povrch a rozebrat problematiku fraktální geometrie. Jedním z hlavních úkol bylo popsat vhodné matematicko-statistické metody hodnocení kvality povrchu, které budou následn pouflity v praktické ísti diplomové práce,

Praktická ást má za cíl nasnímat, pomocí vhodného m ícího za ízení, povrch výrobku a následn pomocí vhodných matematicko-statistických metod tyto data vyhodnotit.

Klí ová slova: jakost povrchu, fraktální geometrie, bezkontaktní snímání, statistika, hypotézy

ABSTRACT

The aim of the thesis "Application of statistical methods to improve evaluation quality surfaces without contact" were in the theoretical section describe the basic concepts and definitions for evaluating the quality of the surface, describe ways contactless sensing surfaces and analyze the problems of fractal geometry. One of the main tasks was to describe appropriate mathematical and statistical methods for assessing the quality of the surface, which will then be used in practically clear thesis,

The practical part is intended to be scanned using a suitable measuring device, the product surface and then using appropriate mathematical and statistical methods to evaluate these data.

Keywords: surface quality, fractal geometry, proximity sensing, statistics, hypothesis

Poděkování

Touto cestou bych bych chtěl poděkovat mému vedoucímu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce.

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

OBSAH.....	7
I. TEORETICKÁ ÁST.....	9
1. DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJM V OBLASTI HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU.....	9
1.1 Obecné termíny.....	9
1.2 Geometrické parametry.....	10
1.3 Definice parametrů profilu povrchu.....	12
1.3.1 Výškové parametry a výstupky a prohlubně.....	12
1.3.2 Výškové parametry- průměrné hodnoty po adnic.....	13
1.3.3 Délkové parametry.....	13
1.3.4 Tvarové parametry.....	14
1.3.5 Křivky a odvozené parametry.....	14
1.4 Odhadování parametrů.....	15
1.5 Pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerancemi.....	16
1.6 Parametry profilu drsnosti.....	16
2. BEZKONTAKTNÍ ZPŮSOBY MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU.....	16
2.1 Měření za řízení.....	17
2.2 Snímání.....	19
2.3 Software.....	20
3. MATEMATICKO-STATISTICKÉ METODY HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU.....	21
3.1 Měřící sada.....	21
3.2 Fourierova transformace.....	23
3.3 Boxplotový diagram.....	23
3.4 Hodnocení vzorků pomocí F-test.....	24
3.5 Hodnocení vzorků pomocí t-test.....	25
3.6 Hodnocení vzorků pomocí metody Anova.....	25
3.7 Hodnocení vzorků pomocí Kruskal-Wallisovi metody.....	27
3.8 Fraktální geometrie.....	27
3.8.1 Fraktál.....	27
3.8.2 Hausdorffova fraktální dimenze.....	30
3.8.3 Pokrývací dimenze.....	30

II PRAKTICKÁ ÁST	32
1. ZADÁNÍ	33
2. SNÍMÁNÍ POVRCHU	34
3. MATEMATICKO-STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT PRO DRSNOST	36
3.1 Kontrola vychýlených dat	36
3.2 Boxplotový diagram	41
3.3 Anova	44
3.3.1 Parametr drsnosti Ra ve sm ru W-E	44
3.3.2 Parametr drsnosti Rz ve sm ru W-E	44
3.3.3 Parametr drsnosti Ra ve sm ru N-S	45
3.3.4 Parametr drsnosti Rz ve sm ru N-S	45
3.4 Profil drsnosti	46
3.5 Fraktální dimenze	47
4. MATEMATICKO-STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT PRO VLNITOST	50
4.1 Kontrola vychýlených dat	51
4.2 Boxplotový diagram	56
4.3 Aritmetický průměr	58
4.4 Regresní analýza	60
4.5 Profil vlnitosti	65
5. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ DAT	67
6. ZÁVĚR	73
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	74
SEZNAM OBRÁZKŮ	76
SEZNAM VZORCŮ	77
SEZNAM GRAFŮ	79
SEZNAM TABULEK	80
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	81
SEZNAM PŘÍLOH	83

I. TEORETICKÁ ÁST

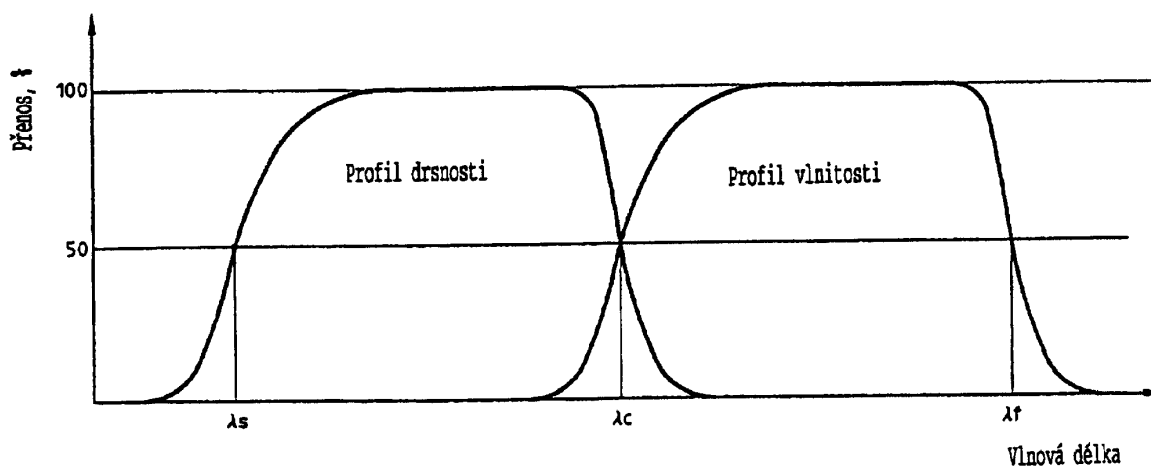
1. DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJM V OBLASTI HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU

Problematikou geometrických požadavků na výrobu z hlediska struktury povrchu se detailně zabývá norma SN EN ISO 4287, v které jsou popsány všechny pojmy, definice a parametry povrchu.

1.1 Obecné termíny

Filtr povrchu

Filtr povrchu rozděluje profily na složky dlouhovlnné a krátkovlnné



Obr.: 1.1 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [1]

λ_s filtr profilu definuje rozhraní drsností a kratšími složkami vln které jsou na profilu.

λ_c filtr profilu definuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti

λ_f filtr profilu definuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln na povrchu

Souadnicový systém

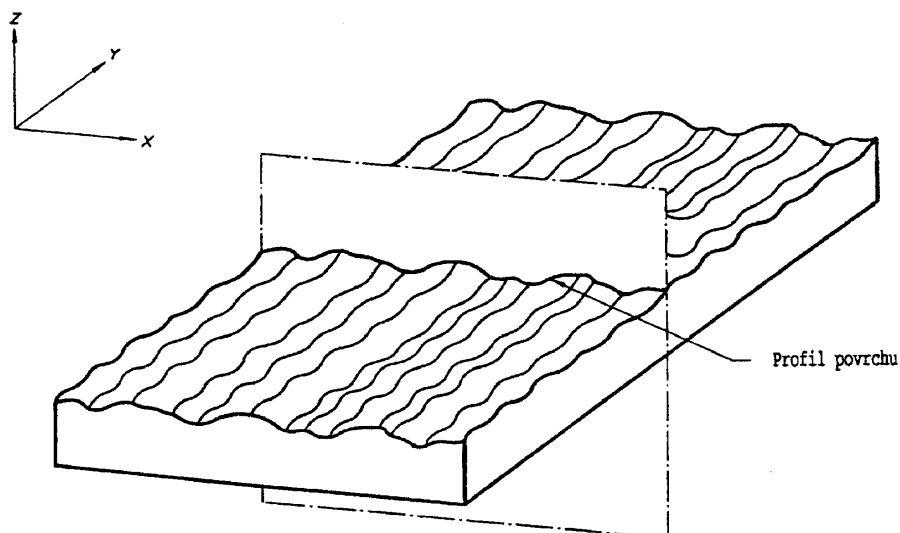
V souadnicovém systému jsou definovány parametry struktury povrchu. Nejčastěji je používán pravoúhlý kartézský souadnicový systém, který je orientován vůči povrchu dle Obr. 1.2

Skutečný povrch

Je to povrch, který omezuje těleso a odděluje ho od okolí.

Profil povrchu

Vzniká na průsečnici roviny, nejčastěji kolmé ke skutečnému profilu.



Obr. 1.2 Profil povrchu [1]

Základní profil

Základní profil tvoří základ pro hodnocení základního profilu

Profil drsnosti

Z profilu drsnosti se vychází při hodnocení parametrů profilu drsnosti. Je odvozený od základního profilu s , dlouhovlnné složky jsou potlačeny filtrem c , profil je poznamenán v Obr. 1.1

Profil vlnitosti

Profil vlnitosti je základem při hodnocení parametrů profilu vlnitosti. Odvozuje se postupnou aplikací filtru profilu f , který potlačuje dlouhovlnné složky a c , potlačující krátkovlnné složky, na základní profil.

Střední šířky

Střední čára profilu drsnosti odpovídá dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu c

Střední čára profilu vlnitosti odpovídá dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu f

Střední čára základního profilu nejmenších tverců přiléhajících jmenovitěmu tvaru základního profilu

Základní délka ve směru osy X slouží k rozpoznávání nerovností, které charakterizují měřený profil

Vyhodnocovaná délka ve směru osy X slouží k posouzení měřeného profilu, měření obsahovat jednu nebo více základních délek. [1]

1.2 Geometrické parametry

P-parametr

Parametr je odvozen ze základního profilu.

R-parametr

Parametr je odvozen z profilu drsnosti.

W-parametr

Parametr je odvozen z profilu vlnitosti.

Výstupek profilu

Výstupek smůje ven z profilu. Je to část posunovaného profilu, která spojuje dva p ílehlé body na pr se íku s osou X.

Prohlube profilu

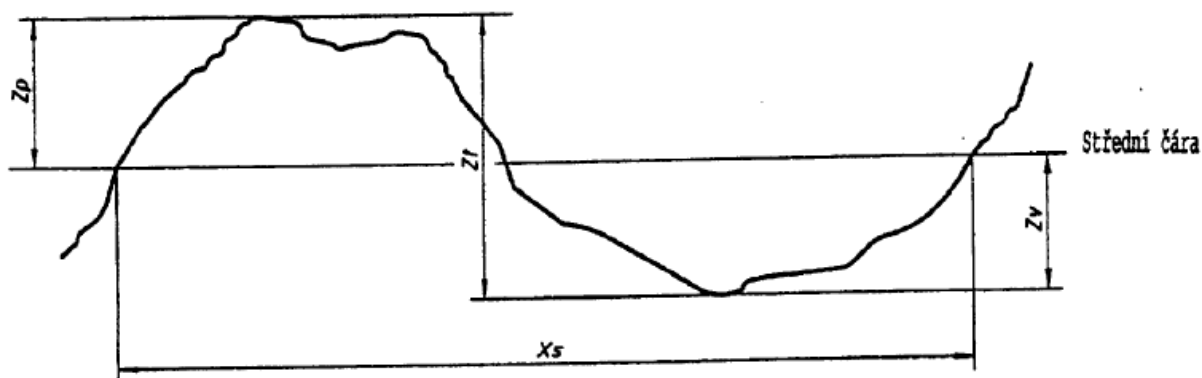
Prohlube smůje dovnitř profilu. Je to část posunovaného profilu, která spojuje dva p ílehlé body na pr se íku s osou X.

Omezení vý-ky nebo rozte e

Nejmen-í vý-ka a nejmen-í rozte výstupku a prohlubní daného profilu.

Prvek profilu

Prvek profilu je výstupek profilu a k n mu p ílehlé prohlube .



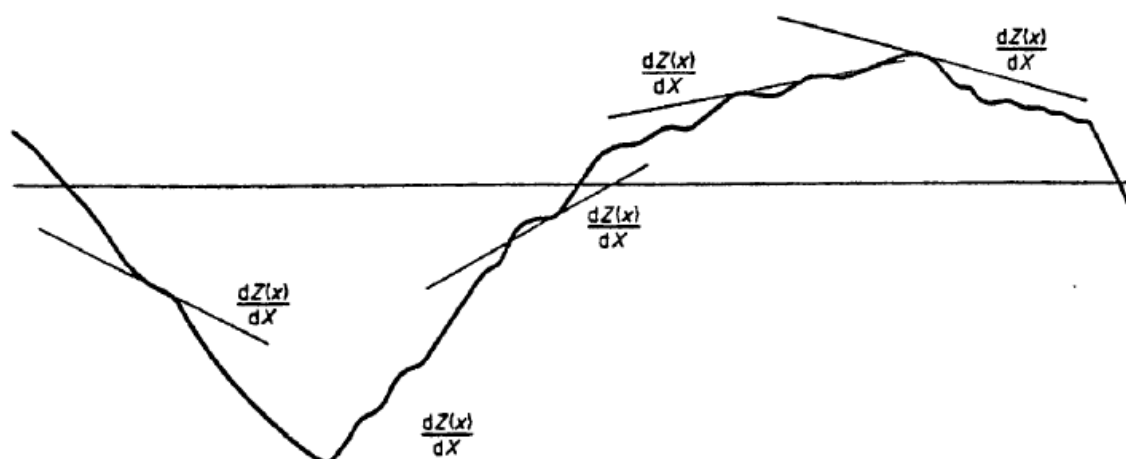
Obr. 1.3 Prvek profilu [1]

Hodnota po adnic

Tato hodnota je vý-ka posuzovaného profilu v libovolném míst ě osy X.

Místní sklon dZ/dX

Sklon daného profilu v poloze x_i Obr. 1.3



1.4 Místní sklon [1]

Obr.

Vý-ka výstupku profilu Z_p

Vzdálenost nejvy-šího bodu výstupku profilu od osy X Obr.1.3

Hloubka prohlubn ě profilu Z_v

Vzdálenost nejnižšího bodu výstupku profilu od osy X Obr.1.3

Výška prvku profilu Z_t

Součet výšky výstupku a hloubky prohlubně profilu Obr.1.3

Průměrná výška prvku profilu X_s

Délka osy X, která protíná prvek profilu [1]

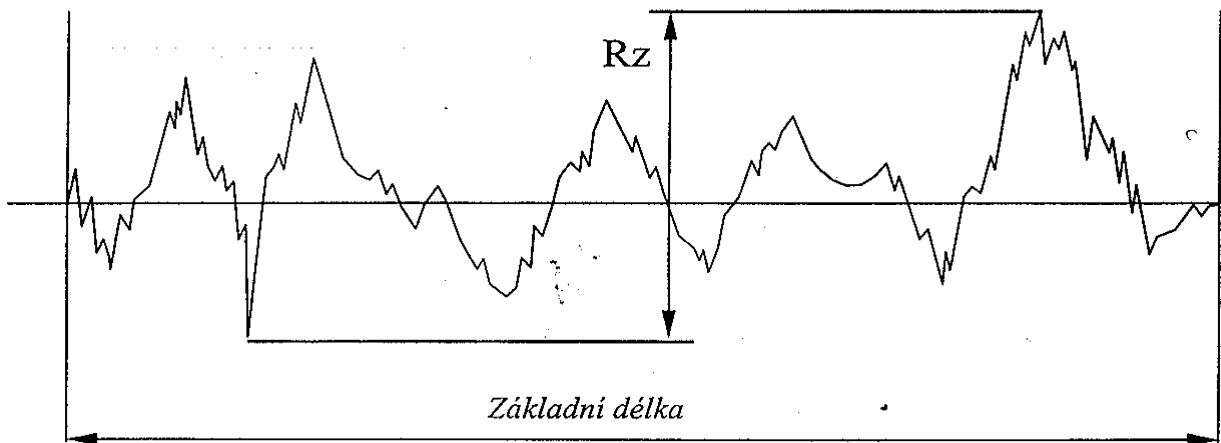
1.3 Definice parametrů profilu povrchu

Definice vychází z normy SN EN ISO 4287

1.3.1 Výškové parametry výstupky a prohlubně

Největší výška profilu P_z , R_z , W_z

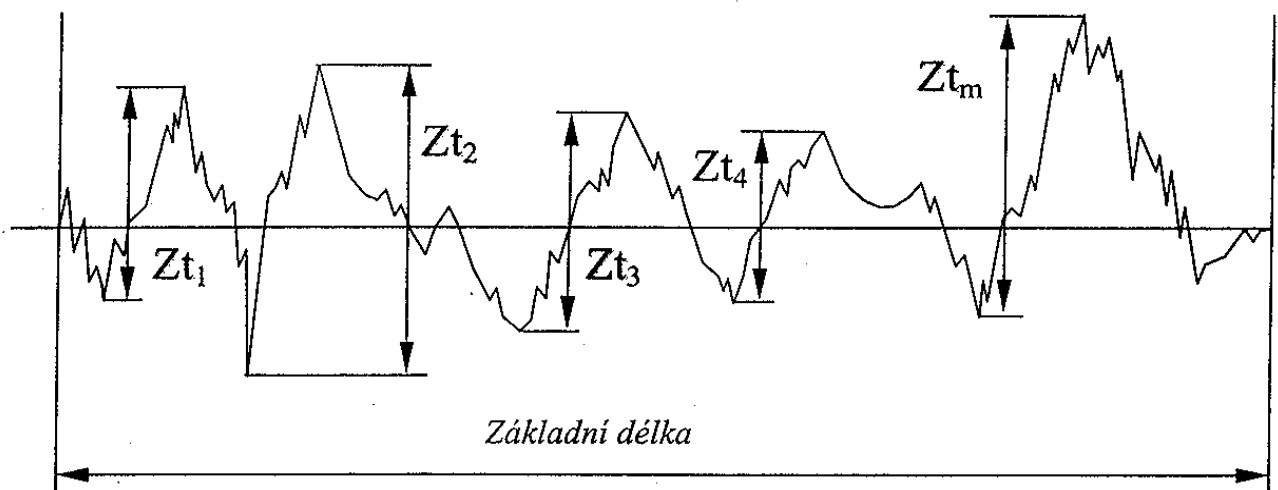
Jedná se o součet nejvyšší výšky výstupku profilu a nejhlubší hloubky prohlubně na základní délce profilu. Obr. 1.5



Obr. 1.5 Největší výška profilu R_z [2]

Průměrná výška prvků profilu P_c , R_c , W_c

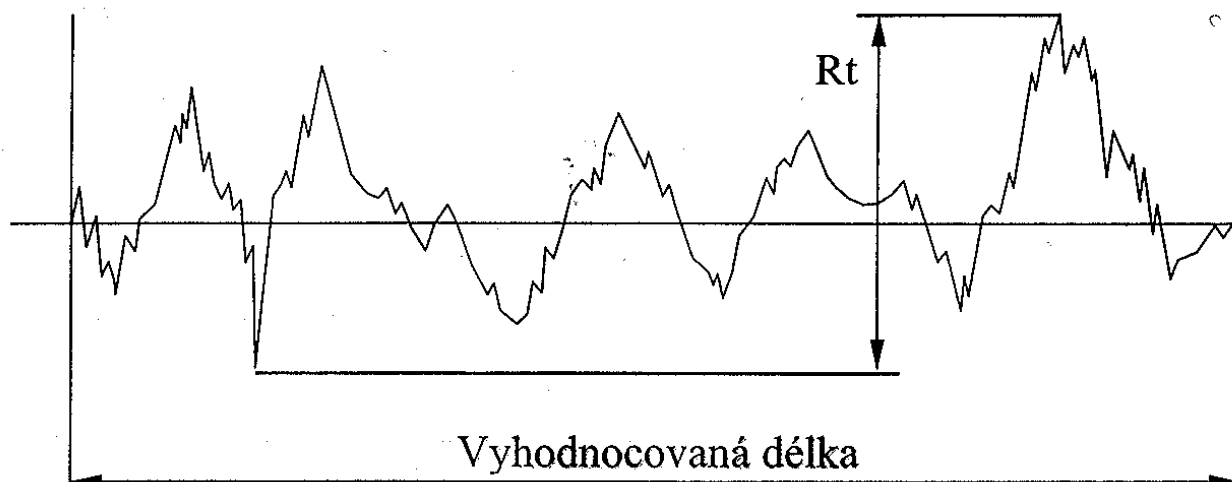
Je průměrná výška prvků Z_t profilu v rozmezí základní délky. Obr. 1.6



Obr.1.6 Průměrná výška prvků profilu [2]

Celková výška profilu P_t , R_t , W_t

Součet nejvyšší výšky výstupku profilu Z_p a hloubky nejhlubší prohlubně profilu Z_v na základní délce daného profilu. Obr.1.7

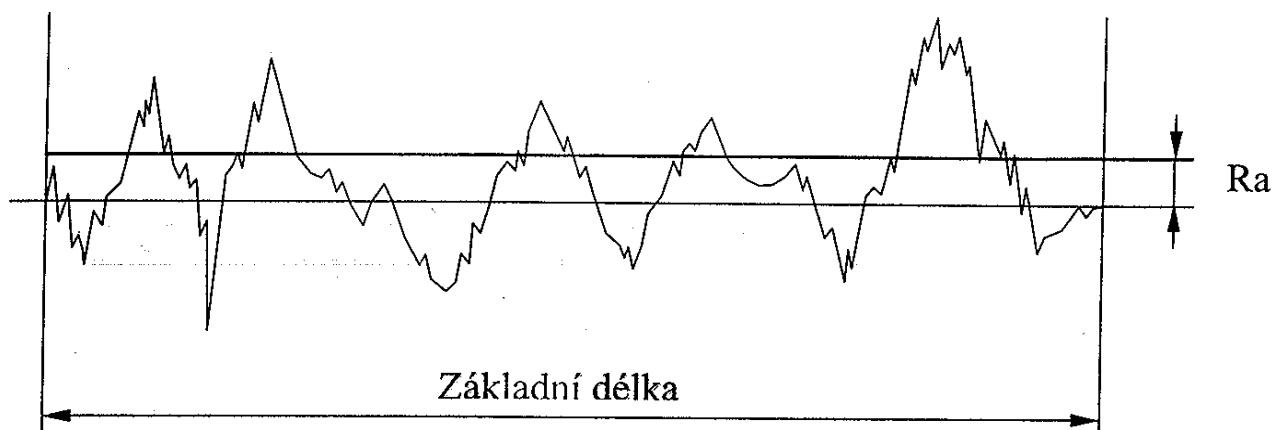


Obr.1.7 Celková výška profilu R_t [2]

1.3.2 Výškové parametry - průměrné hodnoty po adnic

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu P_a , R_a , W_a

Aritmetická hodnota průměru absolutních hodnot po adnic $Z(x)$ na rozsahu základní délky daného profilu.



Obr. 1.8 Aritmetická úchylka R_a [2]

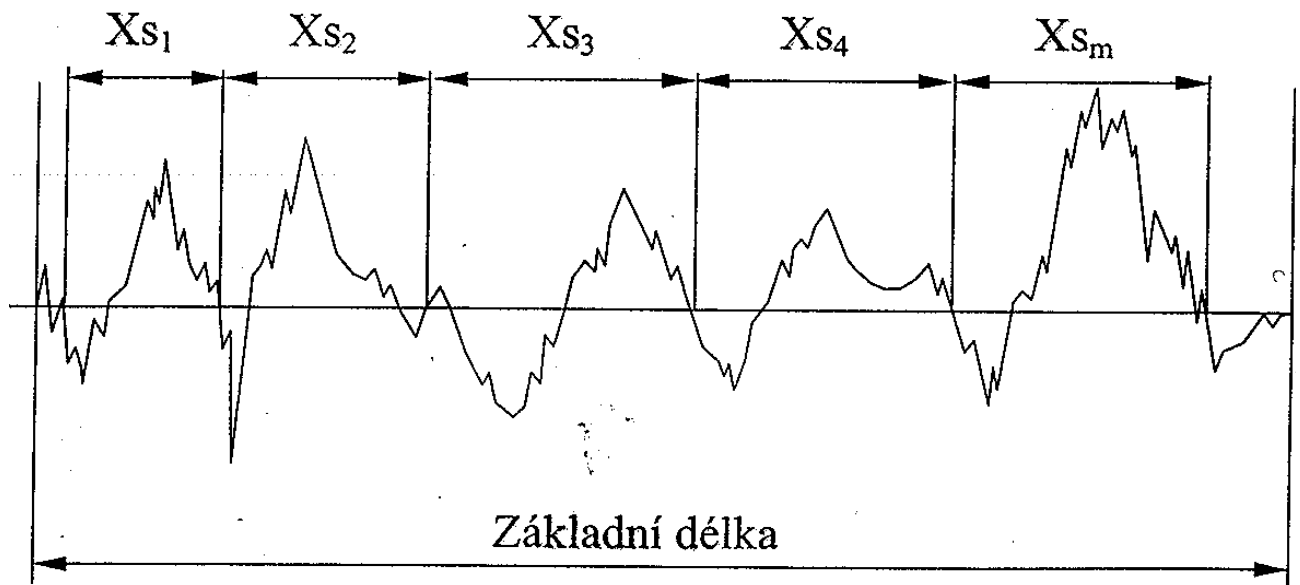
Aritmetická úchylka R_a

$$P_a, R_a, W_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad (1.1)$$

1.3.3 Délkové parametry

Průměrná šířka prvků profilu P_{Sm} , R_{Sm} , W_{Sm}

Jedná se o průměrnou velikost šířek X_s prvků profilu na základní délce.[1] [2]



Obr.1.9 Průměrná šířka RS_m [2]

Průměrný kvadratický sklon profilu [2]

$$PS_m, RS_m, WS_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i} \quad (1.2)$$

1.3.4 Tvarové parametry

Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu

Tvarový parametr hodnocení struktury povrchu, který představuje kvadratický průměrný sklon po adnic dZ/dX na základní délce. Průměrný sklon je úhel svírající profil se střední čarou. [3]

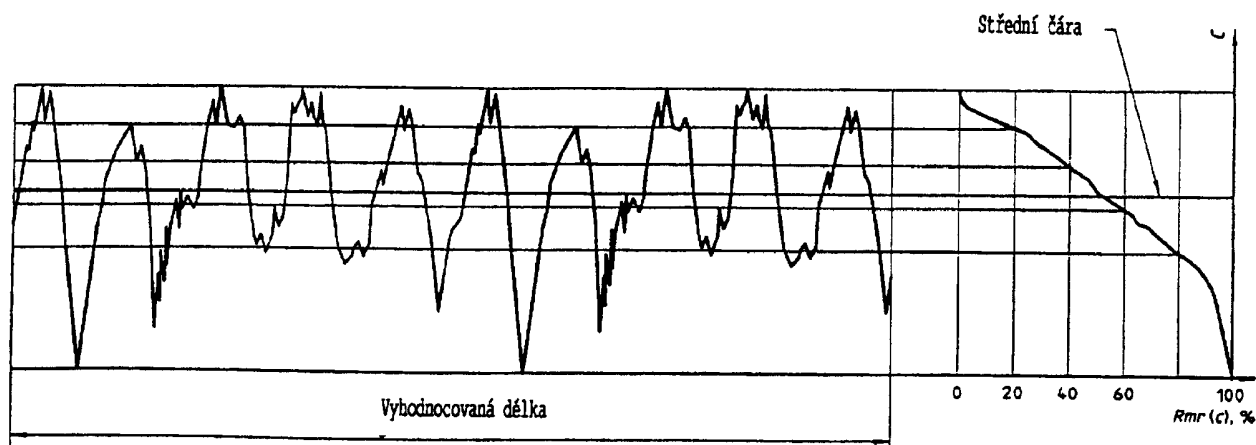
1.3.5 Kivky a odvozené parametry

Materiálový poměr profilu o nosný podíl

Poměr nosné délky materiálu částí profilu $MI(c)$ na dané úrovni c , na vyhodnocované délce. Je stanoven z délek stykových povrchů. Slouží k lepšímu vyhodnocení způsobilosti povrchu. [3]

Kivka materiálového poměru profilu - nosná kivka

Tato kivka reprezentuje materiálový poměr profilu v souladu s výškou úrovně. Obr.1.10 Může být vykládána jako funkce kumulativní pravděpodobnosti hodnot po adnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky. [1]



Obr. 1.10 Křivka materiálového poměru [1]

Rozdíl výšky úseku profilu

Jedná se o svislou vzdálenost mezi úrovněmi dvou úseků daného profilu.

$$R_c = C(R_{mr1}) - C(R_{mr2}) \quad (R_{mr1} < R_{mr2}) \quad (1.3)$$

Vzájemný materiálový poměr

Materiálový poměr, který je určený na úrovni části profilu R_c , vztažený k profilu C_0

Empirické rozdělení výšek profilu

Hustota pravděpodobnosti po adnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky [1]

1.4 Odhadování parametrů

Při odhadování hodnot parametrů se vychází normy SN EN ISO 4288 [4]

Parametry definované na základní délce

Odhad hodnot parametrů se vypočítává z naměřených dat pouze na základní délce.

Odhad průměrných hodnot parametrů se odhaduje z výpočtu, vyjádřením aritmetických průměrů odhadu parametrů ze všech jednotlivých základních délek.

Parametry definované na vyhodnocované délce

Pro parametry P_t , R_t , W_t , se vypočítává odhad hodnoty parametru za pomoci měřených dat z vyhodnocované délky rovnající se normalizovanému poměru základních délek.

Křivky a odpovídající parametry

Pro křivky a odpovídající parametry se odhad vypočítává za pomoci naměřených dat z jedné křivky, pořízené na základě vyhodnocované délky

Standardní vyhodnocované délky

Pokud výkres nepopisuje metodu, vyhodnocuje se délka pomocí:

- R-parametr : vyhodnocovaná délka je popsána normou SN EN ISO 4288
- P- parametr : vyhodnocovaná délka je stejná jako měřený prvek
- parametr dle metody Motif : vyhodnocovaná délka je definována v normě ISO 12085:96 12085:96[4]

1.5 Pravidla pro porovnání měřených hodnot s tolerančními mezemi

Při porovnání měřených hodnot s tolerančními mezemi je nutné provést kontrolu homogenity povrchu, ta je nejíst ji vizuální. Pokud se povrch jeví jako homogenní, je možné porovnávat hodnoty parametrů z celého povrchu souísti s předepsanými hodnotami.

Je-li struktura povrchu v jednotlivých místech souísti rozdílná, je nutné porovnávat hodnoty parametrů s pořádky dle dokumentace oddílů .

Pravidlo 16%

Pokud jsou pořádky na hodnoty drsnosti vyjádřeny pomocí horní nebo dolní meze parametru, uplatňuje se pravidlo 16%.

Pro povrchy s horní mezí parametru platí, že nad hodnotou, danou výrobní dokumentací, nesmí lefet více než 16% parametrů, měřených na základní délce.

Pro povrchy s dolní mezí parametru platí, že pod hodnotou, danou výrobní dokumentací, nesmí lefet více než 16% parametrů, měřených na základní délce.

Pokud povrch nesplňuje podmínky pro horní a dolní mez parametru, je nevyhovující.

Pravidlo maxima

Jsou-li hodnoty drsnosti ve výrobní dokumentaci specifikovány jako největší hodnota parametru, nesmí žádná z naměřených hodnot parametru na celém hodnoceném povrchu tuto mez překročit.

Nejistota měření

Při určování odchylek se specifikací, danou výrobní dokumentací, je nutné dodržet pravidla dle normy ISO 14253-1.

Nehomogenity povrchu jsou započítány v pořádku 16%, proto je v případě porovnávání výsledku měření s horními a dolními mezemi ufl neuvážujeme.

1.6 Parametry profilu drsnosti

Při kontrole struktury povrchu se nesmí uvažovat s vadami povrchu, jako jsou rýhy a póry.

Pokud se vyhodnocovaná délka R-parametru dle SN EN ISO 4287 nerovně pti základním délkám, je jejich horní a dolní mez předepsána a vztahena k ptnásobku základní délky.

ím je vyšší počet měření a delší měřená délka, tím přesněji je určení, zda povrch vyhovuje předepsaným hodnotám.

2. BEZKONTAKTNÍ ZPŮSOBY MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU

Konvenční dotykové měření struktury je vzhledem k neustále se zvyšujícím pořádkům na přesnost, rychlost a komplexnost, doplňováno nebo zcela nahrazováno bezdotykovými metodami, které poskytují podstatně rozsáhlejší množství výstupních dat. Tyto informace umožňují přesnější a realistické hodnocení kontrolovaného povrchu.

Progresivní měřicí přístroje vyvíjejí nejíst ji optické snímače, které oproti klasickým dotykovým metodám, kde je pro snímání povrchu používán hrot, nemají tendenci rozširovat výstupky a zužovat prohlubně. [5] [6]

2.1 Měření za řízení

Mezi zavedené výrobce měřicí techniky se zaměřením na hodnocení struktury povrchu patří firma Taylor Hobson Ltd., která se v neposlední řadě ve velké míře zabývá i vývojem v oblasti zpracování a vyhodnocování naměřených dat struktury povrchu. Pro bezkontaktní měření lze využít systémy:

Talysurf CCI

Interferometrický měřicí systém, sloužící k bezkontaktní kontrole a analýze drsnosti, mikro rozměrů a vertikálních převýšení. Přesnost měření v celém rozsahu 100 μm je 10 pm. Díky tomu, že výstup tohoto systému poskytuje přes 1 milion datových bodů na jedno měření, disponuje přístroj velmi vysokou rozlišitelností a citlivostí na odražené světlo a proto lze měřit i velmi hladké povrchy. [6]

Talysurf CLI

Systém umožní ujit měření indukčním dotykovým způsobem Form Talysurf, a nebo bezkontaktně pomocí laserové triangulační sondy a CLA konfokálního snímače, což poskytuje velkou variabilitu a neomezuje možnost měřit různé materiály a povrchy s velkou rychlostí a přesností.

Základní program měřicího přístroje tvoří software Talymap, obstarávající všechny řídicí, kontrolní, vyhodnocovací a informační úkony. Zahrnuje funkce pro vyhodnocování dat ve 2D a 3D s možností zautomatizování celého měřicího procesu [6]

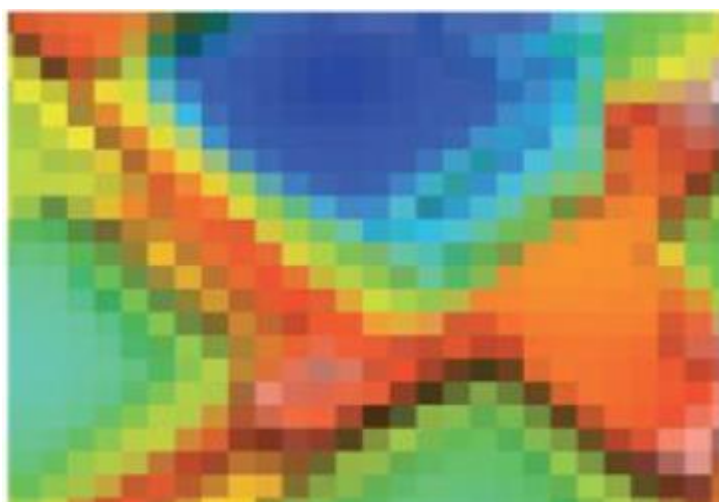


Obr. 2.1 Měřicí přístroj Talysurf CLI 500 [7]

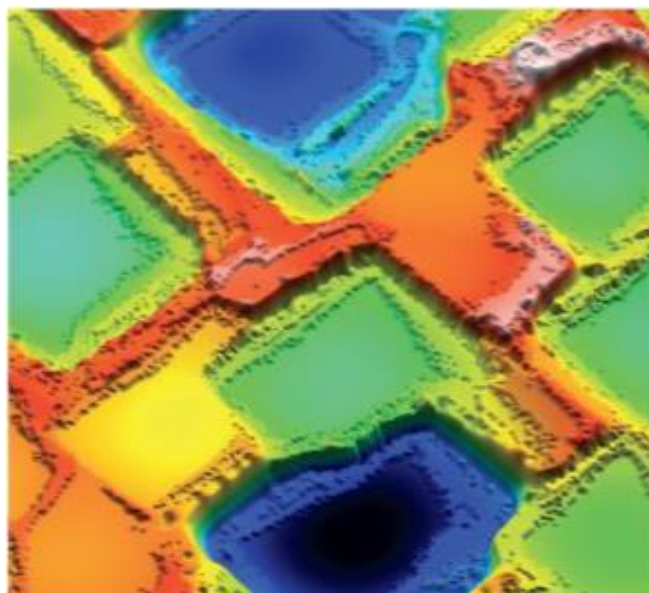
Talysurf CCI HD

Talysurf CCI HD je bezkontaktní optický 3D profilometr, který umožňuje měření tloušťky tenkých a tlustých vrstev, s velmi velkou, popřípadě minimální drsností povrchu, ve velmi vysokém rozlišení 2048x2048, které je zajištěno vysoce přesnou 3D kamerou s 4 miliony pixelů a vertikálním rozlišením 0,1 Å a . To dovozuje oproti rozlišení 640x480 měření velkých ploch s

odpovídající přesností, bez zkrácení způsobeným pířibřivacímí ořkami. [8]



Obr. 2.2 VGA technologie, rozlišení 640x480 [8]



Obr. 2.3 CCI HD rozlišení 2048x2048 [8]

Přístroj je mimo jiné vybaven funkcí pro automatické vyhledávání interferenčních proufků, čímž odpadá zdlouhavé manuální nastavování.

Další funkcí je automatické nastavení rozsahu, jenž nastaví ideální rozsah snímání na povrchu měřeného vzorku.

Měření tlustých vrstev - je možné měřit jednovrstvé i vícevrstvé povlaky. Z jednoho měření lze najednou sledovat více parametrů, jako jsou například 3D tloušťka, homogenita tloušťky vrstvy, drsnost rozhraní atd.

Měření tenkých vrstev - měření vrstev tenkých než 1,5 μm se vyřívá principu spirálového komplexního pole

Přístroj Talysurf CCI HD se vyřívá k měření především v oblastech optických přístrojů,

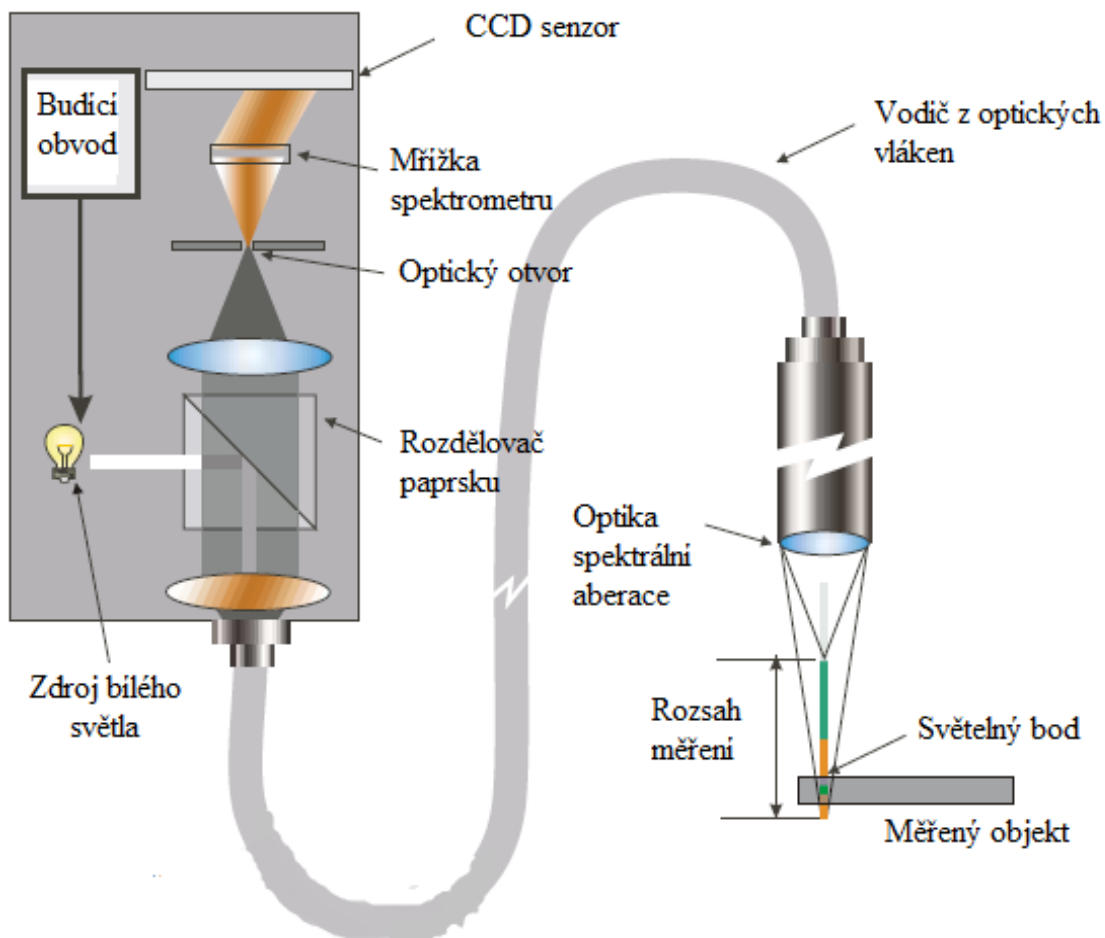
zdravotnických pomůcek, v energetice při měření solárních článků a v nemalé míře ve výzkumu a mnoha dalších. [8]

2.2 Snímání

Měřicí přístroje Talysurf využívají 3 druhy snímačů, pro kontaktní měření indukční snímač a pro bezkontaktní měření CLA snímač a laserový snímač, které budou dále popsány.

CLA Snímač

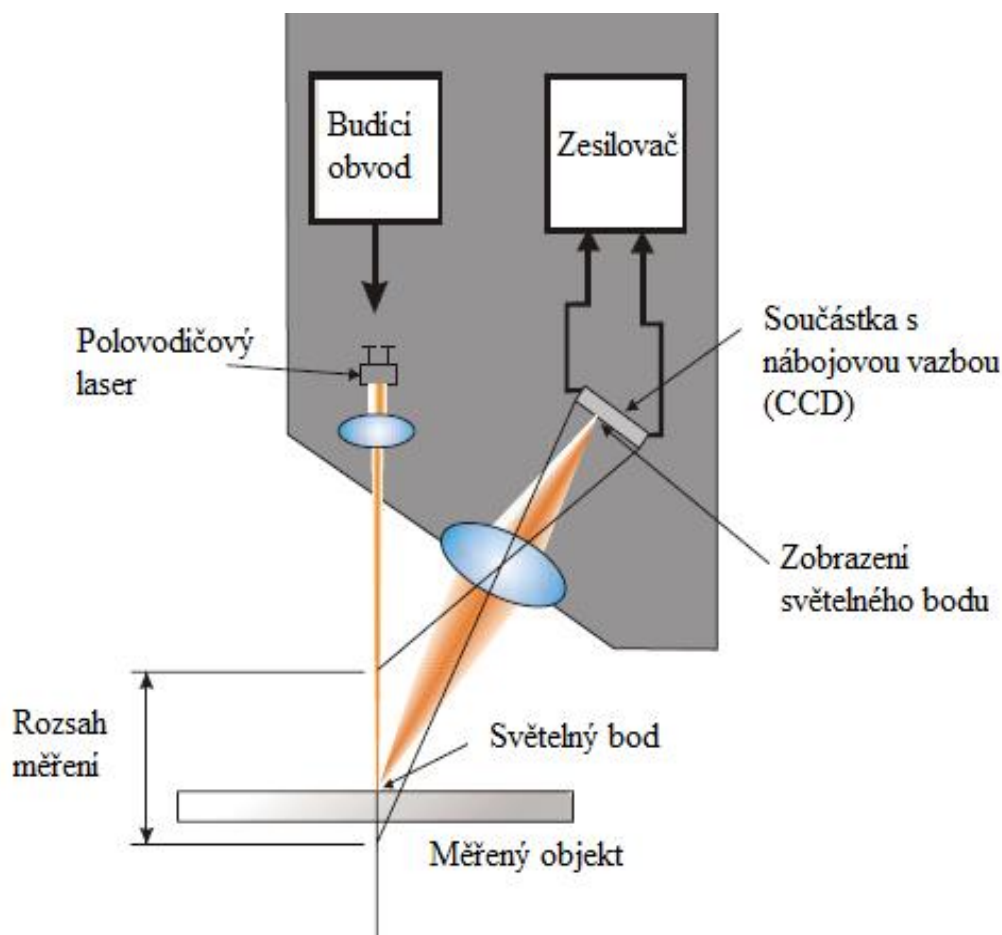
Optika se spektrální aberací rozkládá bílé světlo, které je směřováno na měřený povrch. Světlo je rozloženo podle vlnových délek, v každém bodě na povrchu je zaostřena pouze určitá vlnová délka. Světlo je odraženo od povrchu do optického otvoru kde dopadá na mřížku spektrometru, ten nasměruje světlo na CCD snímač, který zhodnotí povrch a určí jeho souadnice. [7]



Obr. 2.4 CLA snímač [7]

Laserový snímač

Paprsek generovaný polovodičovým laserem se odraží od snímaného povrchu součástí do objektivu snímací soustavy, která ho zaostří na povrch CCD snímače, který zjistí maximální hodnotu světla v bodě dopadu laserového paprsku, čímž se určí přesná poloha bodu v prostoru. [7]



Obr. 2.5 Laserový snímač [7]

2.3 Software

Míci p ístroje firmy Taylor Hobson Ltd vyuffívají jako program pro analýzu povrchu software Talymap, který umofl uje analýzu povrchu ve 2D, 3D a 4D. Tento program zabezpe uje rychlé a jednoduché zpracování dokumentace o analýzách s vyuflitím filtr a v deckých operátor pro zpracování dat a graficko-analitických studií. [9]

Typy analýz m ěněných dat:

2D profily

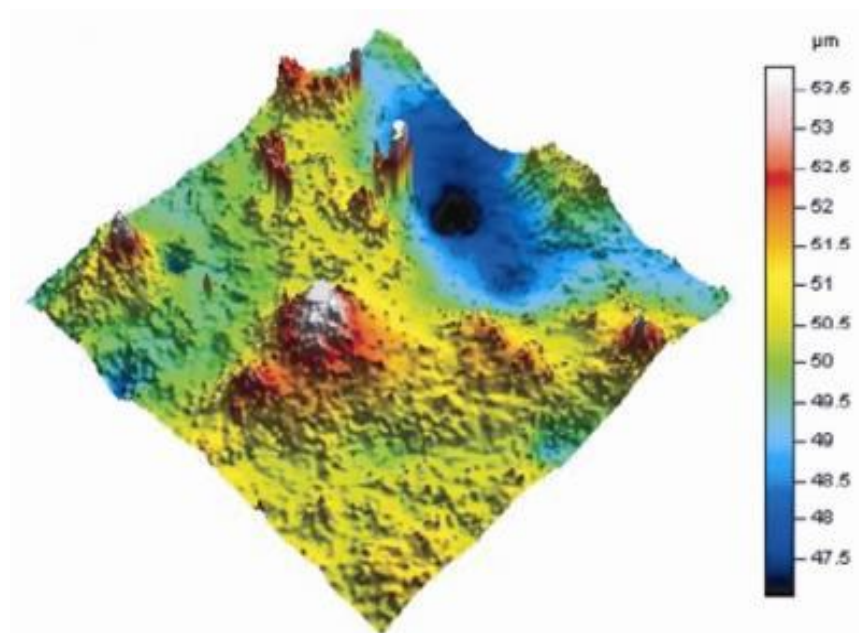
2D analýzy profil se vyuffívají ke studiu anizotropních povrch se stejnými charakteristikami. Anizotropní povrchy se vyzna ují orientovanou strukturou, po soustružení, brou-ení atd. , pop ípad periodickou strukturou, jaká vzniká nap íklad po tryskání. Profil povrchu se m í ve sm ru nejv t-í amplitudy nerovnosti.

Série 2D profil

Analýza více stejn dlouhých profil snímaných r znými sm ry. Stanovuje se pr m rná hodnota parametru.

3D profily

Analýza pouffívaná pro izotropní povrchy, kde se studují funk ní charakteristiky. Lze identifikovat defekty povrchu, jako jsou r zná po-kození, výstupky a prohlubn . Oproti 2D analýze pouze 3D umofl uje identifikovat izolované poruchy materiálu jako jsou deformace, výmoly nebo bubliny. [9] [10]



Obr. 2.6 Prostorové (3D) zobrazení profilu povrchu s barevným rozlišením výšek [10]

4D série 3D profil

Analýza série 3D profilů s využitím další rozměru jako je teplota nebo čas.

Software Talymap umožňuje využití řady operátorů sloužících normalizaci naměřených dat a vyrušení šumu, aberací nebo anomálií. Je možné si měřený povrch pro lepší orientaci vyrovnat, natočit popřípadě určit parametry, které je potřeba, a zbylé odfiltrovat. [9]

3. MATEMATICKO-STATISTICKÉ METODY HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU

3.1 časová řada

časová řada je sada hodnot v souboru, které jsou měřeny ve stanovených a časových úsecích. Data jsou seřazena chronologicky od minulosti do přítomnosti

Touto metodou je možné orientovaně rychle zjistit charakter zkoumaného procesu, popřípadě zjistit naměřených dat předpovědět jejich následný vývoj.

Graficky se časová řada znázorní pomocí spojnicového grafu, kde osu x tvoří časová proměnná a osu y naměřené hodnoty. [11]

Popisné charakteristiky

Charakteristiky polohy (průměry)

Pro analýzu pomocí časové řady je často nutné znát průměrné hodnoty:

$$- \text{prostý aritmetický průměr} \quad \bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^n}{n} \quad (3.1)$$

- vážený aritmetický průměr $\bar{y} = \frac{\sum_{t=1}^n v_t y_t}{\sum_{t=1}^n v_t}$ kde v_t je váha ukazatele y_t vase t . (3.2)

- vážený chronologický průměr $\bar{y}_{ch} = \frac{\frac{y_1 + y_2}{2} d_2 + \frac{y_2 + y_3}{2} d_3 + \dots + \frac{y_n + y_n}{2} d_n}{d_1 + d_2 + \dots + d_n}$ (3.3)

kde d_t je délka jednotlivých časových intervalů.

Charakteristiky variability

Nejpoužívanějšími mírami variability je rozptyl a směrodatná odchylka

- rozptyl je aritmetický průměr kvadrát odchylek od aritmetického průměru

$$s_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2, \quad (3.4)$$

- směrodatná odchylka je odmocninou rozptylu

$$s_y = \sqrt{s_y^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2}, \quad (3.5)$$

Míry dynamiky

Jsou ukazatelem základních rysů chování časových řad, patří sem:

- absolutní přírůstek (první diference) $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$ (3.6)

- průměrný absolutní přírůstek $\bar{\Delta} = \frac{\sum_{t=2}^n \Delta y_t}{n-1} = \frac{y_n - y_1}{n-1}$ (3.7)

- koeficient růstu $k_t = \frac{y_t}{y_{t-1}}$ kde $t = 2, \dots, n$, (3.8)

- průměrný koeficient růstu $\bar{k} = \sqrt[n-1]{k_2 \cdot k_3 \cdot \dots \cdot k_n} = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}}$ (3.9)

- relativní přírůstek $\delta_t = \frac{\Delta y_t}{y_{t-1}} = \frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}} = \frac{y_t}{y_{t-1}} - 1$ (3.10)

- průměrný relativní přírůstek $\bar{\delta} = \bar{k} - 1$ (3.11)

Korelace

Korelace znázorňuje relativní míru závislosti vzájemného vývoje dvou časových řad.

$$s_{xy} = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x}) \cdot (y_t - \bar{y})}{s_x \cdot s_y} \in (-1; 1). \quad (3.12)$$

Hodnoty korelace, které se přibližují k hodnotě -1 prozrazují, že dané časové řady mají v časovém vývoji naprosto opačný směr. Pokud se hodnoty přibližují k 1, vyvíjí se časové řady skoro shodně a vykazují stejnou relativní míru ve společném vývoji. [12]

3.2 Fourierova transformace

Fourierova transformace je obdobou Fourierovy řady. Jedná se o matematickou metodu k hodnocení periodických signálů a jejich převodění na součet signálů, které mají sinusový tvar a danou frekvenci s amplitudou. Tato metoda se používá například k řešení diferenciálních a algebraických rovnic. [13]

Dvourozměrná Fourierova transformace provádí rozložení obrazových intenzit mřížového obrazu na obraz prostorových frekvencí $F(f_x, f_y)$ [13]

$$F(f_x, f_y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y) \cdot \exp[-2\pi i(xf_x + yf_y)] dx dy \quad (3.13)$$

Fourierův integrál je komplexní integrál, definovaný parametrem funkce $f(t)$ na Fourierově obrazu $F(\omega)$. Je dán vztahem:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt \quad (3.14)$$

Zpětná transformace:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega \quad (3.15)$$

Diskrétní Fourierova transformace je určena jednoduše maticově.

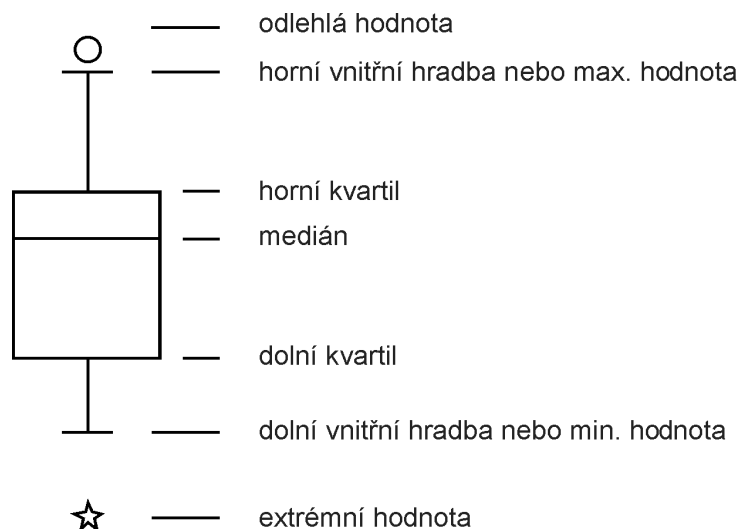
$$A_k = \sum_{j=0}^{n-1} a_j e^{-i\frac{2\pi}{n}jk} \quad k=0,1,2,\dots,n-1 \quad (3.16)$$

Inverze:

$$a_j = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} A_k e^{i\frac{2\pi}{n}jk} \quad j=0,1,2,\dots,n-1 \quad [13] \quad (3.17)$$

3.3 Boxplotový diagram

Boxplotový diagram, jinak krabicový graf, je nástrojem pro hodnocení symetrie a variability datového souboru, především jsou znázorněny extrémní a odchylovající se hodnoty. [14]



Obr. 3.1 Konstrukce Boxplotového diagramu [14]

- Odlehlá hodnota* - li-í se znateln od ostatních hodnot výb ru, m fle se jednat o chybu m ení.
- Maximální hodnota* - ohrani uje výb r z hora .
- Horní kvartil* - 75% hodnot výb ru, vzestupn se azených.
- Medián* - 50% hodnot výb ru, vzestupn se azených.
- Dolní kvartil* - 25% hodnot výb ru, vzestupn se azených.
- Minimální hodnota* - ohrani uje výb r ze spoda
- Extrémní hodnota* - hodnota které se výrazn li-í od ostatních hodnot výb ru, v t-inou se jedná o hrubou chybu m ení [15]

3.4 Hodnocení vzork pomocí F-test

Klasický Fisherův-Snedecorův F-test

Sloufí k ov ení nulové hypotézy $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$ (3.18) v í alternativní $H_A: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$ (3.19). Oba výb ry vycházejí z normálního rozd lení a jsou nezávislé.

Testovací kritérium má tvar.

$$F = \max \left(\frac{s_x^2}{s_y^2}, \frac{s_y^2}{s_x^2} \right) \quad (3.20)$$

Pokud platí hypotéza H_0 a $s_x^2 > s_y^2$, má F kritérium F -rozd lení s $\nu_1 = n_1 - 1$ a $\nu_2 = n_2 - 1$ stupni volnosti . V opa né p ípad je po adí stup volnosti zam n no. Poku je $F > F_{1-\alpha}(\nu_1, \nu_2)$, je nulová hypotéza H_0 o shodnosti rozptyl zamítnuta. Nevýhodou tohoto testu je jeho velká náchylnost na p edpoklad normality. [16]

Modifikovaný Fisherův-Snedecorův F-test

Pokud mají ob výb rová rozd lení jinou nejl normální -pi atost, je nutné vyuffít kvantil $F_{1-\alpha}(\nu_1, \nu_2)$ se stupn m volnosti ν_1 a ν_2 daných vzorci :

$$\nu_1 = \frac{n_1 - 1}{1 + \frac{\hat{g}_{2c}}{2}}, \quad \nu_2 = \frac{n_2 - 1}{1 + \frac{\hat{g}_{2c}}{2}},$$

$$\text{kde } \hat{g}_{2c} = \frac{2(n_1 + n_2) \left[\sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^4 + \sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \bar{y})^4 \right]}{\left[\sum_{i=1}^{n_1} (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{i=1}^{n_2} (y_i - \bar{y})^2 \right]^2} - 3 .$$

(3.21)

3.5 Hodnocení vzork pomocí t-test

T-test je nej častěji používaným testem, který testuje rozdíl dvou středních hodnot. Ze základního souboru s rozdělením $N(\mu, \sigma^2)$ se provede náhodný výběr rozsahu n , vypočte se výběrový průměr \bar{x} a směrodatnou odchylku s . Jako testová statistika se volí libovolná veličina.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \cdot \sqrt{n} \quad (3.22)$$

Kritické obory test polohy hypotézy $H_0: \mu = \mu_0$ proti odlišným možnostem H_A pro hladinu významnosti jsou vyznačeny v Tab. 3.1. Okrajové body kritického oboru představují 100% kvantily známých rozdělení. Velikost pravděpodobnosti je možné vyčíslit rovnou, namísto testování jestli překračují dané kvantily testové statistiky. [16]

Tab. 1 Kritické obory testů polohy hypotézy H_0 [16]

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

3.6 Hodnocení vzork pomocí metody Anova

Jedná se o analýzu rozptylu (Anova z anglického Analysis of Variance) používanou v praxi jako samostatnou metodu, která určuje vliv přípravy vzorku, přístroje a lidského faktoru na výsledky. Tato metoda se používá k mezilaboratorním a plánovaným experimentům, kde se cíleně sleduje vliv rozličných faktorů na výsledek.

Analýza Anova může dále také sloužit jako postup, který umožní analyzovat zdroje variability u lineárních statistických modelů. Úkolem analýzy Anova je zjistit, jestli jeden z kvalitativních popírá kvantitativních faktorů má významný vliv na sledovanou veličinu. [16]

Postup analýzy rozptylu Anova je následující:

1. Odhad parametrů základního modelu Anova.
2. Testování tohoto odhadu z hlediska jeho významnosti, konstrukce různých modelů.
3. Vyjádření slovek rozptylu a následné testování jejich významnosti.
4. Kontrola předpokladu normality a indikace výrazně odchylených hodnot.
5. Vylovení výsledků s ohledem na zadání dat a jejich případné úpravy. [16]

Jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA1)

Jednofaktorová analýza porovnává střední hodnoty dvou nebo více úrovní faktoru A tedy sloupců v matici dat. Cílem je zjistit, jestli je minimálně jedna sloupcová střední hodnota odlišná od ostatních.

Pro použití jednofaktorové analýzy rozptylu je nutné, aby data měla normální rozdělení, rozptyly sloupcových výběrů byly stejné a aby byl výběr prvků souboru náhodný.

Model má tvar: $x_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j$ kde $\mu \dots$ je aritmetický průměr hodnot v matici \bar{x} , $\alpha_i \dots$ efekt i-té úrovně faktoru A, $\beta_j = \bar{x}_j - \mu$, μ_i vyjadřuje sloupcový průměr \bar{x}_i . (3.23)

Statistická významnost se je testována pomocí F-testu, tak aby nulová hypotéza H_0 udávala všechny hodnoty jsou stejné, proti alternativní H_A se minimálně jedna hodnota odlišuje od zbylých.

$$\begin{aligned} x_{ij} &= \bar{x} + (\bar{x}_i - \bar{x}) + (x_{ij} - \bar{x}_i) \\ (x_{ij} - \bar{x})^2 &= [(\bar{x}_i - \bar{x}) + (x_{ij} - \bar{x}_i)]^2 \end{aligned} \quad (3.24)$$

Součtem přes i a j vyjádříme vzorec daného tvaru, kde poslední člen je roven 0

$$\begin{aligned} \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2 &= \sum_i \sum_j (\bar{x}_i - \bar{x})^2 + \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 + 2 \sum_i \sum_j (\bar{x}_i - \bar{x})(x_{ij} - \bar{x}_i), \\ S_0 &= S_A + S_R \end{aligned} \quad (3.25)$$

S_0 udává sumu čtverců odchylek od souhrnného průměru

$$S_0 = \sum_i \sum_j (x_{ij}^2) - \frac{T^2}{N} = S_A + S_R. \quad (3.26)$$

S_A je rozptyl mezi dílčími úrovněmi faktoru A, je roven

$$S_A = \sum_{i=1}^k \left(\frac{T_i^2}{n_i} \right) - \frac{T^2}{N} \quad (3.27)$$

S_R udává zbytkový rozptyl uvnitř dílčích úrovní, je dán rozdílem $S_0 - S_A$

Odhad rozptylu chyb σ^2 je dán průměrným reziduálním čtvercem MS_R

$$MS_R = \frac{S_R}{N - k} \quad (3.28)$$

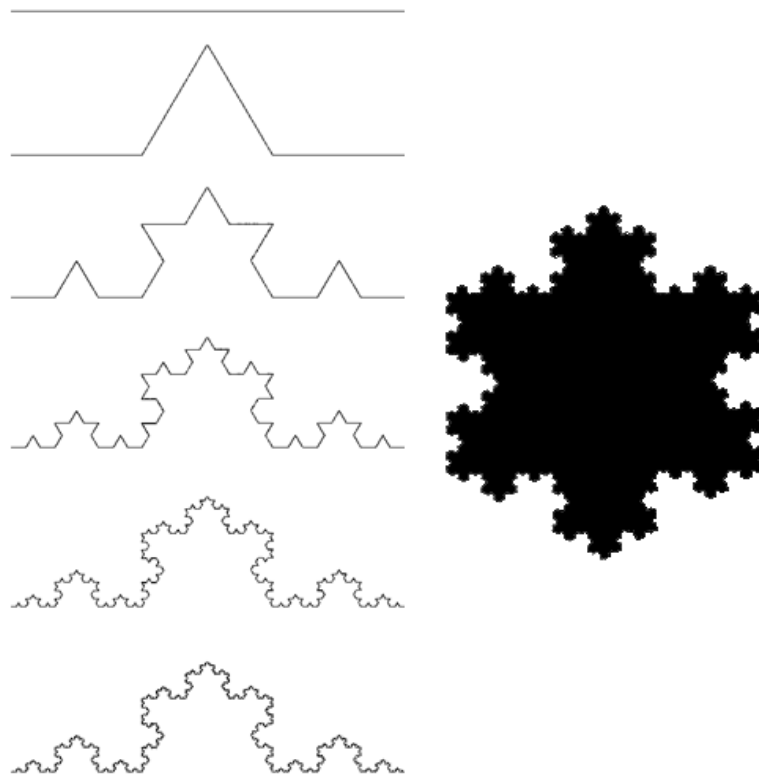
Kde: $T \dots$ suma hodnot matice

$T_i \dots$ sloupcové součty

Hypotézy jsou formulovány:

$$H_0: \alpha_i = 0 \quad H_1: \alpha_i \neq 0 \quad (3.29)$$

Pro faktor A je testová statistika dána vztahem:



Obr. 3.2 Kochova křivka a Kochova vločka [19]

Kochova křivka

Jedná se o nekonečnou, sobě podobnou, spojitou, nikde se neprotínající křivku, která nemá v žádném místě derivaci. Sobě podobnost je dána tím že každá část množiny je přesně zmenšenou kopií základní množiny a není závislá na měřítku.

Kochova křivka má necelý číselný charakter a fraktální dimenzi rovnou 1,2619 a proto z topologického hlediska je Kochova křivka mezi přímku, s fraktální dimenzí 1, a rovinnou plochou, která má fraktální dimenzi rovnou 2. Kochova křivka se řadí mezi fraktály IFS

Rozdělení fraktálů

Fraktály se dělí dle několika kritérií. V první řadě se dělí na matematické a přírodní, Matematické se dále dělí:

Dle algoritmu konstrukce: IFS (Iteration Function System) a ke konstrukce je použito cyklicky se opakujících transformací

TEA (Time Escape Algorithms) a jsou prováděny iterace pro stanovené hranice. Pro sestavení je použita komplexní rovina

Další dělení matematických fraktálů: Deterministické (pravidelné)

Stochastické (náhodné)

Sobě podobné

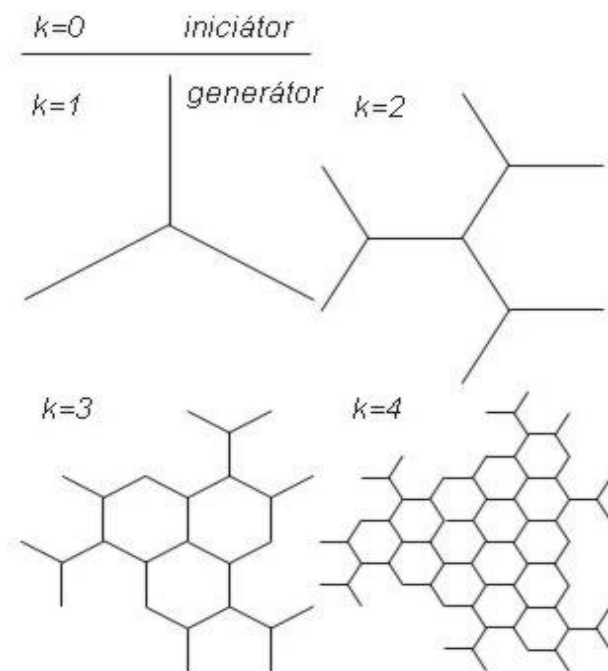
Sobě podobné

[20]

Základní fraktály

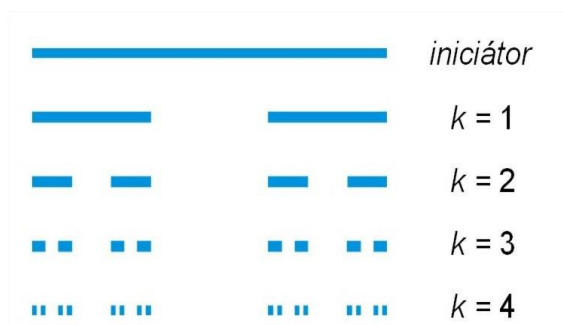
Kochova křivka

Voštinová struktura - iniciátorem je úsečka, generátorem jsou 3 úsečky svírající úhel 120°



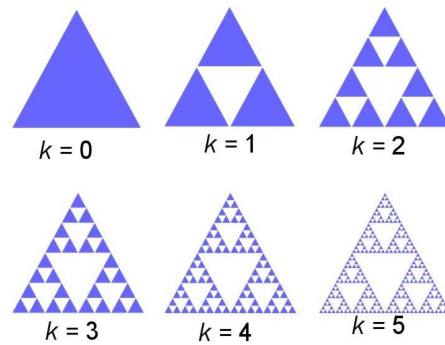
Obr. 3.3 Voštinová struktura [20]

Cantorova množina leží v intervalu $[0,1]$. Fraktální dimenze je 0,6309, Konstruuje se tak že se vždy vynechá druhá třetina intervalu.



Obr. 3.4 Konstrukce Cantorovy množiny [20]

Sierpinského těšnění vzniká rozdělením trojúhelníku na čtyři stejně velké trojúhelníky a vyjmutím prostředního.



Obr. 3.5 Konstrukce Sierpinského těsnění [20]

3.8.2 Hausdorffova fraktální dimenze

Hausdorffova fraktální dimenze je velmi důležitým matematickým prostředkem pro vyjádření komplexnosti struktur. Vyjaduje míru odlišnosti útvaru od klasického eukleidovského tvaru. [19]

Nechť E je neprázdná podmnožina m -rozměrného libovolného prostoru a $|U| = \sup \{|x-y|; x, y \in U\}$ průměrná množiny U .

Konečný systém množiny $\{U_i\}$ jest δ -pokrytí množiny E . Toto platí za předpokladu že $E = \bigcup_{i=1}^{\infty} U_i$ a současně pro všechna i platí $0 < |U_i| \leq \delta$.

Pro $s > 0$ je s -dimenzionální Hausdorffova míra $H(E)$ množiny E definována:

$$H(E) = \lim_{\delta \rightarrow 0} H_{\delta}(E). \quad (3.32)$$

kde

$$H_{\delta}(E) = \inf \left\{ \sum_{i=1}^{\infty} |U_i|^s; \{U_i\} \text{ je } \delta\text{-pokrytí } E \right\} \quad (3.33)$$

Hausdorffova dimenze množiny E , číslo $\dim_H E$ je dán vztah

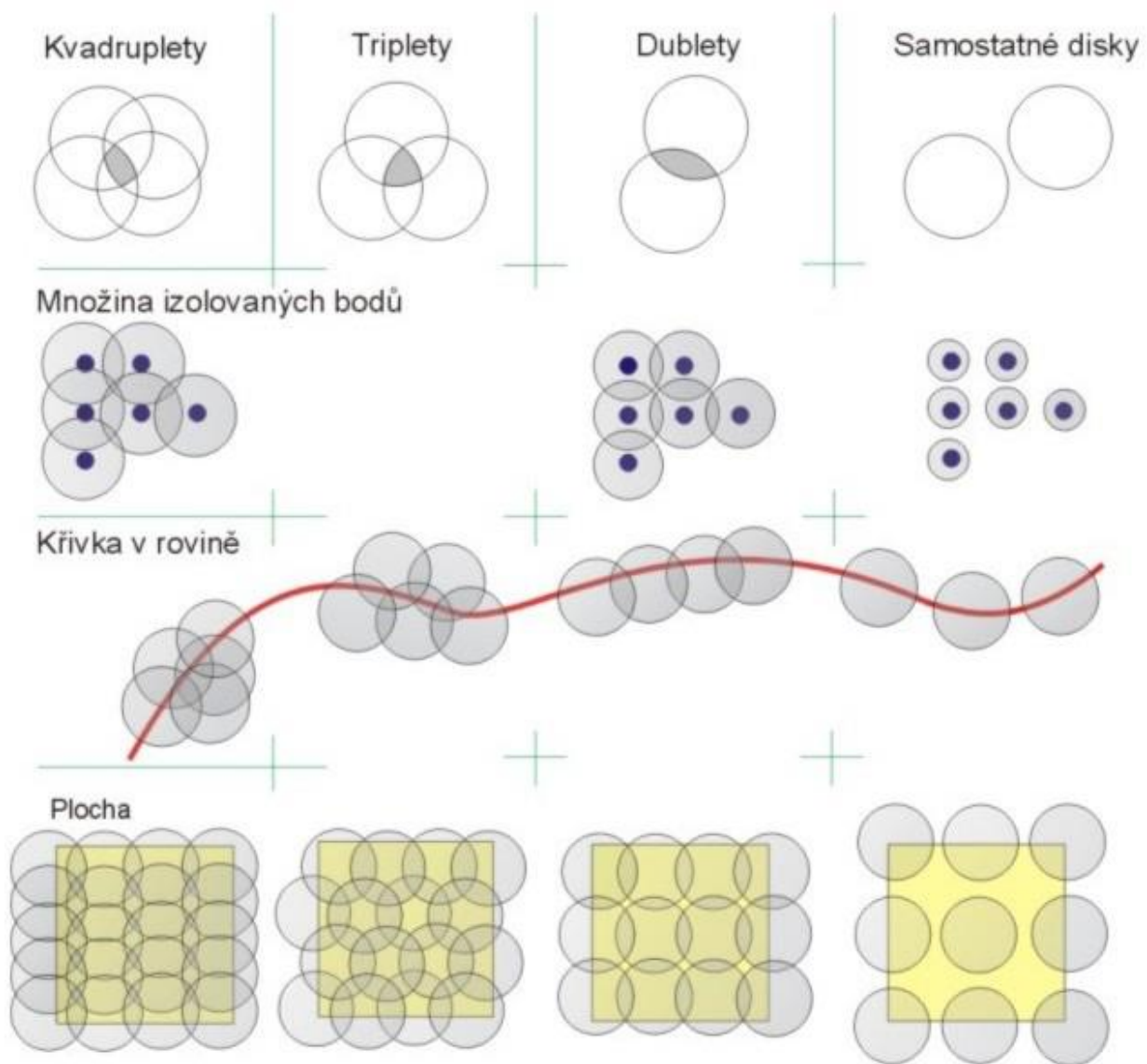
$$\dim_H E = \inf \{s; H(E) = 0\} = \sup \{s; H(E) = \infty\} \quad [21] \quad (3.34)$$

3.8.3 Pokrývací dimenze

Je-li množina S pokryta malými disky nebo koulemi, kde nejvíce množství disků nebo koulí má společné pokrytí nenulové, jedná se o uspořádané pokrytí Obr. 3.6. Toto uspořádané pokrytí může být rovno dvěma, třem a čtyřem. Otevřené pokrytí množiny S je souhrn konečně otevřených disků $A = \{A_1, \dots, A_m\}$ tak, že toto spojení pokrývá množinu S .

Otevřené pokrytí $B = \{B_1, \dots, B_m\}$ je označováno jako zjemněné množiny A , která je dána pro každé B_i , ve kterém jsou všechna A_k taková aby, $B_i \subset A_k$. Uspořádané pokrytí množiny A maximální celočíselné k takové, aby existovali nespojitě indexy i_1, \dots, i_k s $A_{i_1} \cap \dots \cap A_{i_k} \neq \emptyset$

Množina S má pokrývací dimenzi $D_p = n$ pouze tehdy pokud pro libovolný průměr r disku nebo koule $r > 0$ je pokrytí množiny S koulemi o poloměru r také, aby všechny body množiny S patřily maximálně do $n+1$ pokrývacích koulí. Nesmí se vyskytovat žádné pokrytí danými koulemi, pro které by každý bod množiny S patřil do n koulí. [20]



Obr. 3.6 Pokrývající dimenze [20]

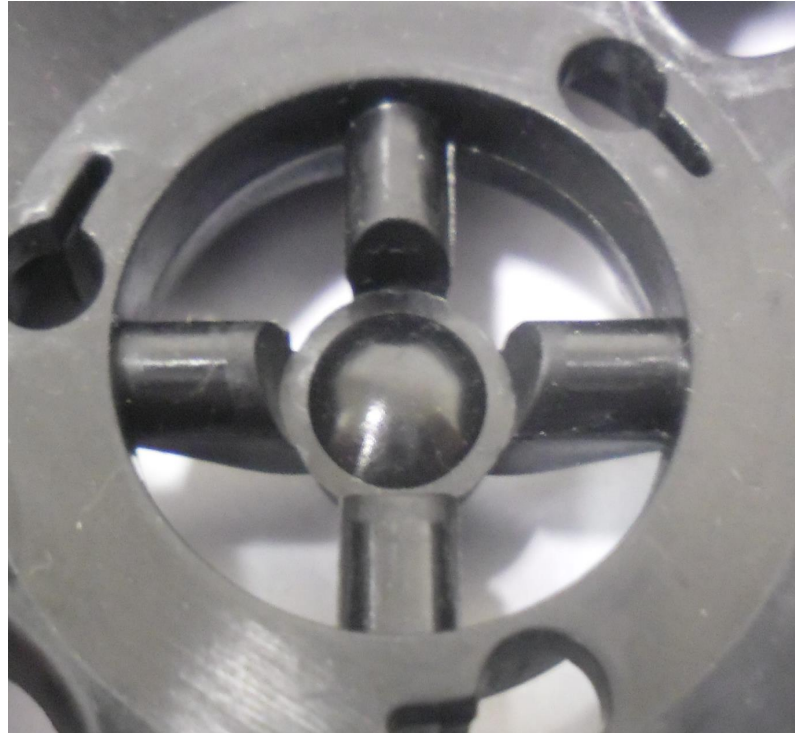
II. PRAKTICKÁ ÁST

1. ZADÁNÍ

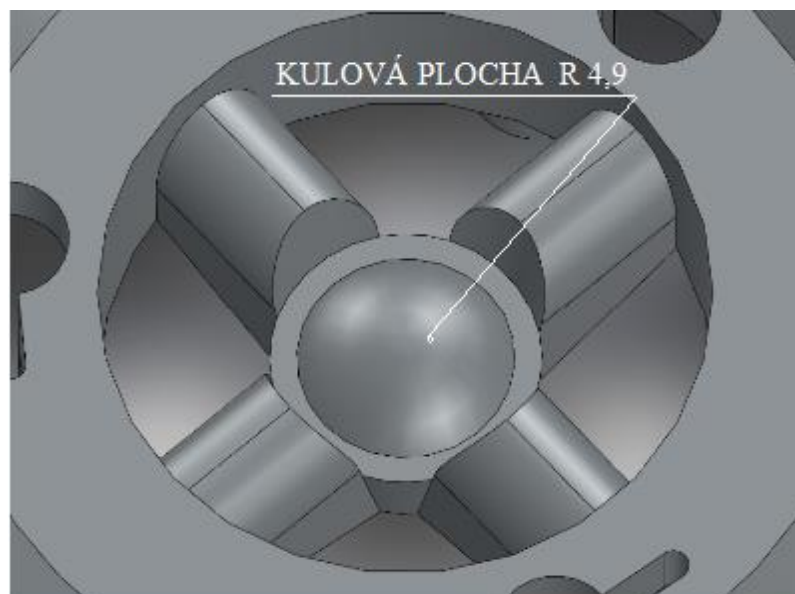
Hlavním cílem praktické části diplomové práce bylo, za pomoci vhodně zvoleného a správně nastaveného zařízení, bezkontaktně snímat kulovou plochu zadané součásti.

Dalším úkolem bylo, pomocí vhodných matematicko-statistických metod, vyhodnotit kvalitu povrchu pomocí snímaných dat.

Měnou součástí je výlisek části zprůměrovaného zrcátka automobilu Obr. 1.1 ; Příloha 1 vyroben z PA6-GF30. Hodnocená kulová plocha je funkční částí ustrojí pro nastavení polohy zprůměrovaného zrcátka.



Obr. 1.1 Snímaná kulové plochy



Obr.1.2 Model snímané plochy- modelováno v Solid Works

2. SNÍMÁNÍ POVRCHU

Pro snímání povrchu bylo využito měřicího přístroje od firmy Taylor Hobson, Talysurf CLI 500, který je vhodný, vzhledem ke své velikosti, pro snímání malých součástí.

Následně byly data zpracovány v programu TalyMap Gold.



Obr. 2.1 Talysurf CLI 500

Popis přístroje

Na Obr. 2.1. jsou vyznačeny součásti měřicího zařízení Talysurf CLI 500 se snímaným vzorkem.

1. Počítač se hodnotícím softwarem TalyMap Gold
2. Zdroj
3. Měřicí zařízení Talysurf CLI 500
4. Uložení sondy
5. Snímaný vzorek
6. Podložka (základna)
7. Ovládání přístroje

Postup měření na přístroji Talysurf CLI 500

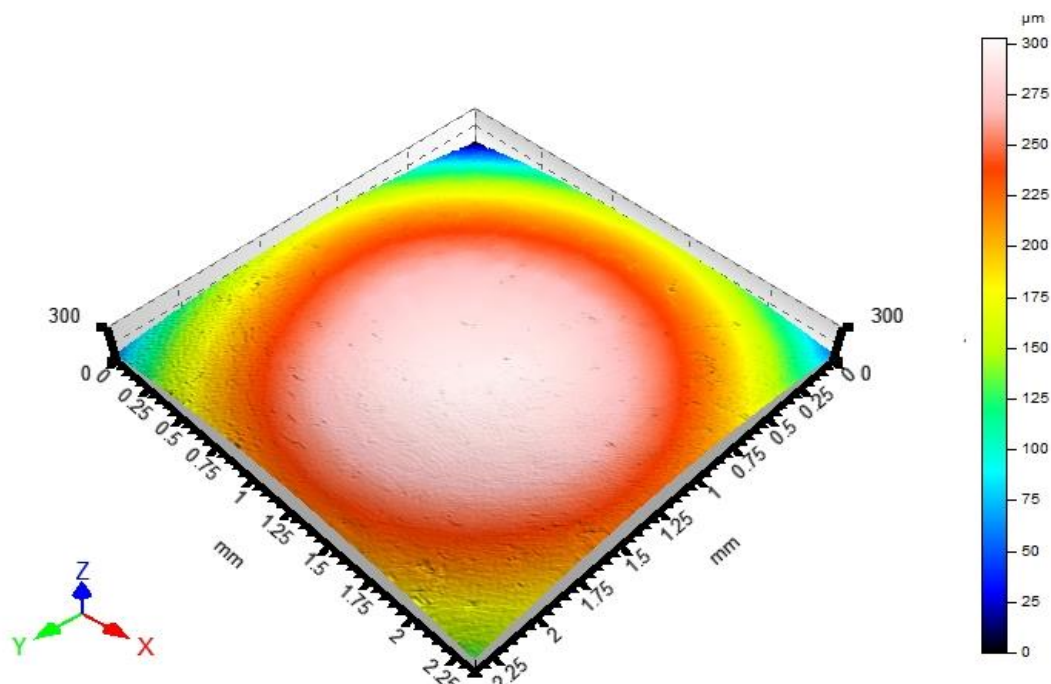
1. Založení vzorky do přístroje

2. Kalibrace měřicího přístroje obvykle po spuštění probíhá automaticky
3. Nastavení počítání měření
4. Nastavení parametrů přístroje
5. Snímání

Postup zpracování dat v programu TalyMap Gold

1. Rozložení tvaru na jednotlivé složky.

- po ukončení snímání vyhodnotí program snímaný povrch a vytvoří 3D model, ve kterém je zahrnut: tvar, drsnost a vlnitost. V první fázi je nutné potlačit složku tvaru a rozložit pouze na drsnost a vlnitost



Obr. 2.2 Nasnímaný povrch- tvar, drsnost, vlnitost

2. Hodnocení parametrů drsnosti

- nahrazení kulové plochy polynomem 2. až 12. stupně a nakonec funkcí Sphere
- pro všechny stupně polynomu a Sphere vytvořit fraktální dimenzi
- pro všechny stupně polynomu a Sphere vytvořit 3D profil
- u všech stupňů polynomu a Sphere, rozložit plochu na 48 úsečků ve směru W-E a N-S
- u všech stupňů polynomu a Sphere, pro oba směry W-E a N-S určit parametry drsnosti Ra a Rz a vypočítat pro jednotlivé úsečky odhady aritmetického průměru
- z vypočítaných hodnot průměru vytvořit tabulku pro následné zpracování dat v programu Minitab

3. Hodnocení parametrů vlnitosti

- nahrazení kulové plochy polynomem 2. až 12. stupně a nakonec funkcí Sphere
- pro všechny stupně polynomu a Sphere vytvořit fraktální dimenzi
- pro všechny stupně polynomu a Sphere vytvořit 3D profil

- u v-ech stup polynomu a Sphere, rozlofit plochu na 48 ez ve sm ru W-E a N-S
- u v-ech stup polynomu a Sphere, pro oba sm ry W-E a N-S ur it parametry vlnitosti Wa a Wz a vypo ítat pro jednotlivé ezy odhady aritmetického pr m ru z vypo ítaných hodnot pr m r vytvo it tabulku pro následné zpracování dat v programu Minitab

3. MATEMATICKO-STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT PRO DRSNOST

Program TalyMap Gold neumofl uje statistické zpracování dat a proto bylo nutné v-echny data nejprve p epsat do programu Minitab 14, který je ur en pro statistické výpo ty a tvorbu graf . Jelikož programy nejsou kompatibilní bylo nutné tento úkon provést postupn ru n .

Nejprve byla provedena kontrola vychýlených hodnot, následn byly vytvo ený boxplotové diagramy a pomocí metody Anova byly otestovány hypotézy.

V-echny statistické výpo ty a grafy byly vypracovány pomocí programu Minitab 14.

3.1 Kontrola vychýlených hodnot

P ed zahájením hodnocení nasnímaných dat je nutno nejprve provést kontrolu, zda se n které hodnoty výrazn ji nevychylují od ostatních. Mohlo by se jednat o výrazné defekty na m eném povrchu pop ípad chyby. Tyto chyby by výrazn zkreslovaly výsledek a ten by byl nepr kazný.

Parametr drsnosti Ra ve sm ru W-E

Tab.2 Tabulka statistických parametrů Ra ve směru W-E

Descriptive Statistics: 2_Ra_W-E; 3_Ra_W-E; 4_Ra_W-E; 5_Ra_W-E; 6_Ra_W-E; ...

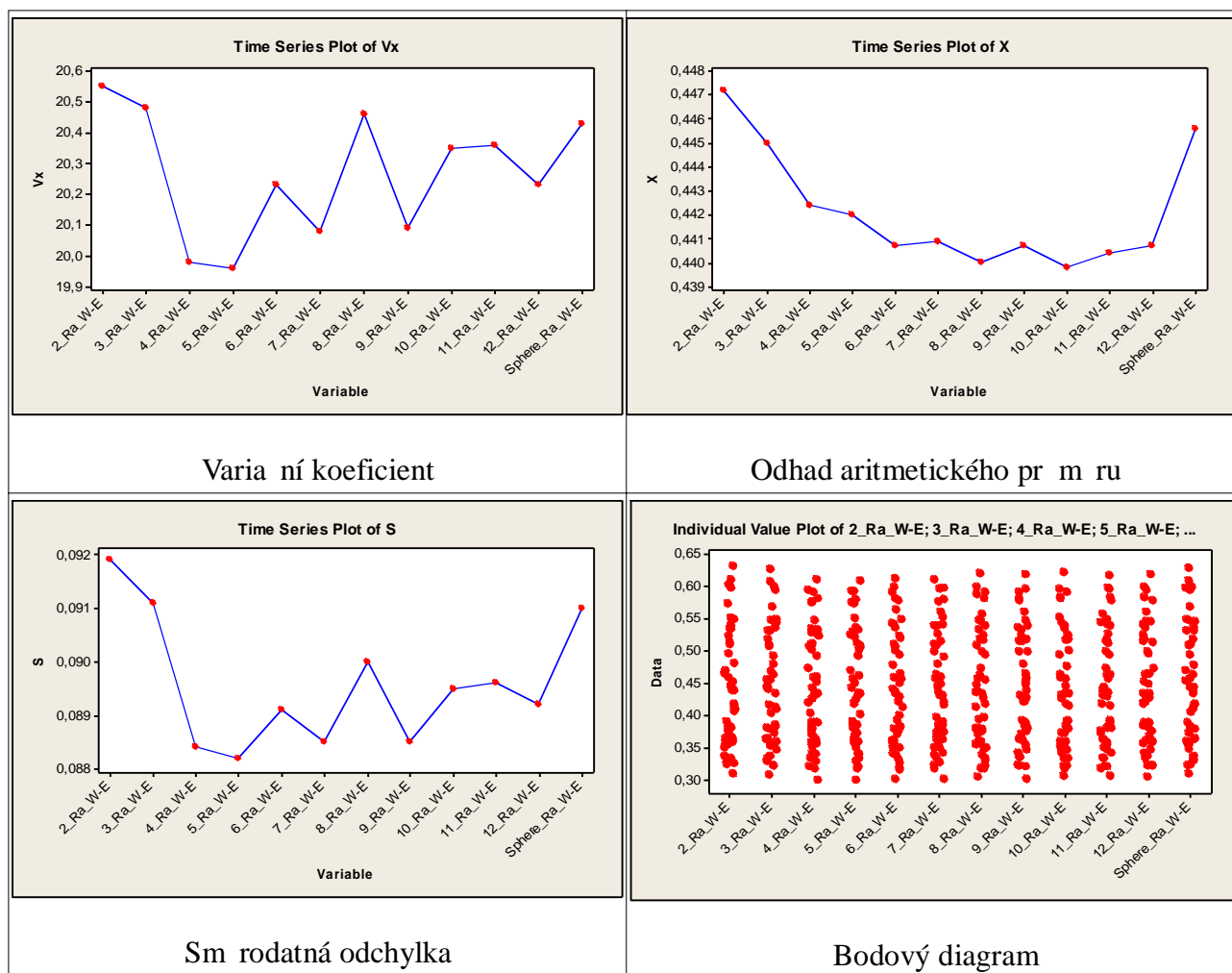
	\bar{X}	u_a	S	V_x	x_i MIN	Q1	\tilde{X}	Q3	x_i MAX	R	IQR
Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2_Ra_W-E	0,4472	0,0134	0,0919	20,55	0,3100	0,3650	0,4380	0,5340	0,6300	0,3200	0,1690
3_Ra_W-E	0,4450	0,0133	0,0911	20,48	0,3080	0,3630	0,4400	0,5300	0,6260	0,3180	0,1670
4_Ra_W-E	0,4424	0,0129	0,0884	19,98	0,3000	0,3620	0,4340	0,5230	0,6090	0,3090	0,1610
5_Ra_W-E	0,4420	0,0129	0,0882	19,96	0,3000	0,3620	0,4330	0,5210	0,6080	0,3080	0,1590
6_Ra_W-E	0,4407	0,0130	0,0891	20,23	0,3020	0,3610	0,4330	0,5190	0,6120	0,3100	0,1580
7_Ra_W-E	0,4409	0,0129	0,0885	20,08	0,3010	0,3620	0,4300	0,5150	0,6100	0,3090	0,1530
8_Ra_W-E	0,4400	0,0131	0,0900	20,46	0,3040	0,3600	0,4340	0,5180	0,6200	0,3160	0,1580
9_Ra_W-E	0,4407	0,0129	0,0885	20,09	0,3010	0,3630	0,4270	0,5170	0,6180	0,3170	0,1540
10_Ra_W-E	0,4398	0,0131	0,0895	20,35	0,3060	0,3600	0,4310	0,5180	0,6210	0,3150	0,1580
11_Ra_W-E	0,4404	0,0131	0,0896	20,36	0,3060	0,3620	0,4300	0,5160	0,6170	0,3110	0,1540
12_Ra_W-E	0,4407	0,0130	0,0892	20,23	0,3050	0,3610	0,4280	0,5170	0,6180	0,3130	0,1560
Sphere Ra W-E	0,4456	0,0133	0,0910	20,43	0,3100	0,3630	0,4380	0,5310	0,6270	0,3170	0,1680

V Tab. 3 jsou znázorn ny hodnoty varia ního koeficientu pro parametr drsnosti Ra sm ru W-E, které se pohybují v rozmezí 19,96 m afl 20,55 m , což je pom rn malé rozp tí a lze z toho usoudit že se v hodnotách nevyskytuje fládná významná chyba. To potvrzuje i bodový diagram, který rovn fl neprokázal fládnou výrazn vychýlenou hodnotu.

Hodnoty aritmetického pr m ru a sm rodané odchylky se ustálily p ibližn u polynomu 4. ádu. U polynom vy-ích ádu kolísají hodnoty okolo této míry.

Grafy z Tab. 3 jsou ve v t-í velikosti za azeny v Příloze 2.

Tab.3



Mezi variačním koeficientem, odhadem aritmetického průměru a směrodatnou odchylkou platí vztah:

$$V_x = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100$$

Parametr drsnosti Rz ve směru W-E

Tab.4 Tabulka statistických parametrů Rz ve směru W-E

Descriptive Statistics: 2_Rz_W-E; 3_Rz_W-E; 4_Rz_W-E; 5_Rz_W-E; 6_Rz_W-E; ...

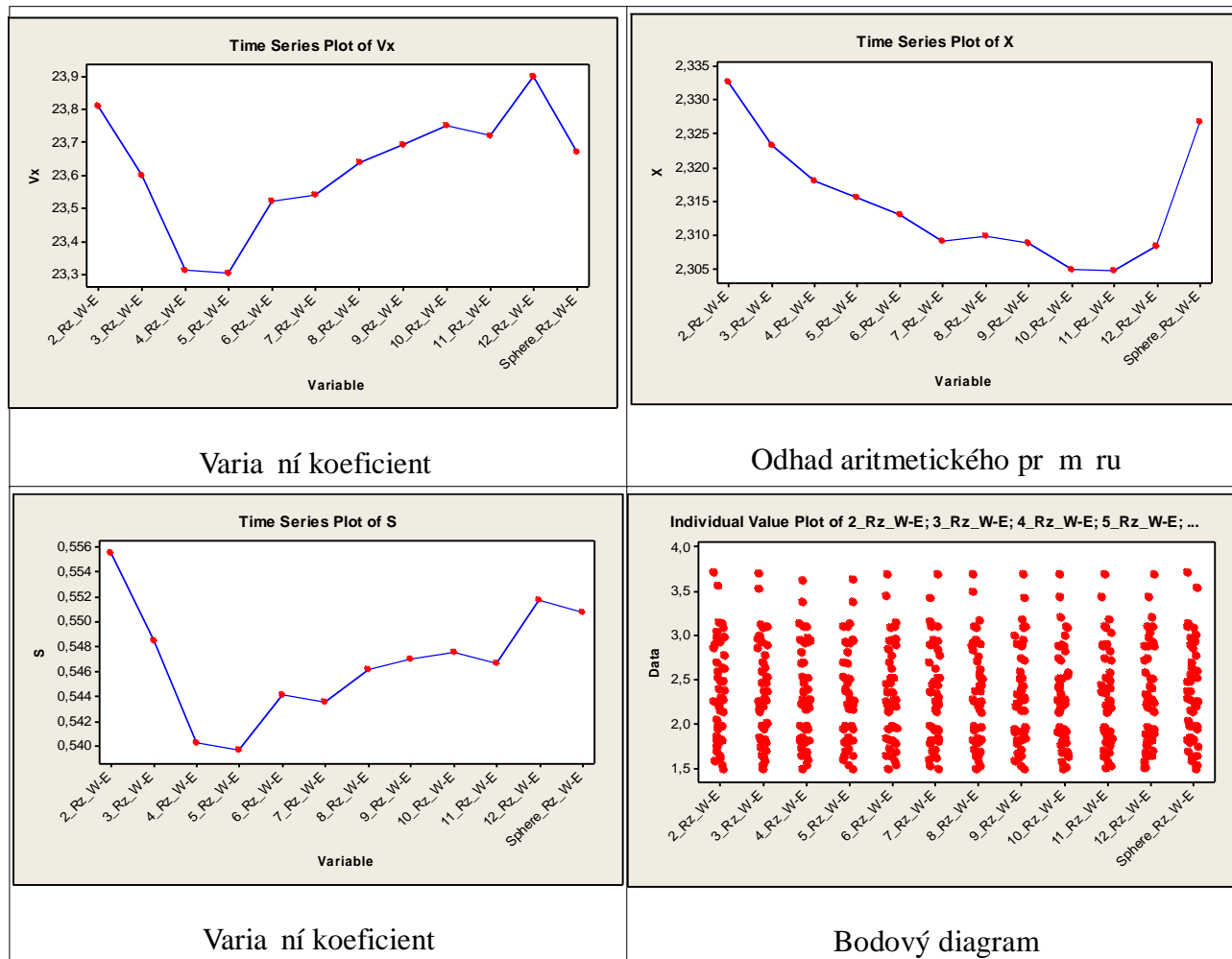
Variable	\bar{X}	u_a	S	V_x	x_i MIN	Q1	\tilde{X}	Q3	x_i MAX	R	IQR
Variable	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2_Rz_W-E	2,3326	0,0810	0,5555	23,81	1,4900	1,8200	2,2500	2,7700	3,7100	2,2200	0,9500
3_Rz_W-E	2,3232	0,0800	0,5484	23,60	1,4900	1,8200	2,2500	2,7700	3,7000	2,2100	0,9500
4_Rz_W-E	2,3179	0,0788	0,5402	23,31	1,4900	1,8200	2,2600	2,8000	3,6200	2,1300	0,9800
5_Rz_W-E	2,3155	0,0787	0,5396	23,30	1,4900	1,8200	2,2600	2,8000	3,6300	2,1400	0,9800
6_Rz_W-E	2,3130	0,0794	0,5441	23,52	1,4900	1,8200	2,2500	2,7700	3,6900	2,2000	0,9500
7_Rz_W-E	2,3091	0,0793	0,5435	23,54	1,4900	1,8200	2,2500	2,7700	3,6900	2,2000	0,9500
8_Rz_W-E	2,3098	0,0797	0,5461	23,64	1,4900	1,8200	2,2500	2,7600	3,6800	2,1900	0,9400
9_Rz_W-E	2,3087	0,0798	0,5469	23,69	1,4800	1,8300	2,2600	2,7400	3,6800	2,2000	0,9100
10_Rz_W-E	2,3049	0,0799	0,5475	23,75	1,4900	1,8300	2,2600	2,7400	3,6900	2,2000	0,9100
11_Rz_W-E	2,3047	0,0797	0,5466	23,72	1,5000	1,8300	2,2600	2,7400	3,6900	2,1900	0,9100
12_Rz_W-E	2,3083	0,0805	0,5517	23,90	1,5000	1,8300	2,2700	2,7400	3,6900	2,1900	0,9100
Sphere_Rz_W-E	2,3266	0,0803	0,5507	23,67	1,4900	1,8200	2,2500	2,7700	3,7100	2,2200	0,9500

V Tab. 5 jsou znázorněny hodnoty variačního koeficientu pro parametr drsnosti Rz ve směru W-E, které se pohybují v rozmezí 23,3 % až 23,9 %, což je poměrně malé rozpětí a lze z toho usoudit, že se v hodnotách nevyskytuje žádná významná chyba. To potvrzuje i bodový diagram, který rovněž neprokázal žádnou výraznou odchýlenou hodnotu.

Hodnoty aritmetického průměru a směrové odchylky se ustálily při fitování polynomu 4. řádu. U polynomu vyššího řádu kolísají hodnoty okolo této míry.

Grafy z Tab. 5 jsou ve větší velikosti zařazeny v Příloze 2.

Tab 5.



Mezi variačním koeficientem, odhadem aritmetického průměru a směrovou odchylkou platí vztah:

$$V_x = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 \quad \%$$

Parametr drsnosti Ra ve sm ru N-S

Tab.6 Tabulka statistických parametrů Ra ve směru N-S

Descriptive Statistics: 2_Ra_N-S; 3_Ra_N-S; 4_Ra_N-S; 5_Ra_N-S; 6_Ra_N-S; ...

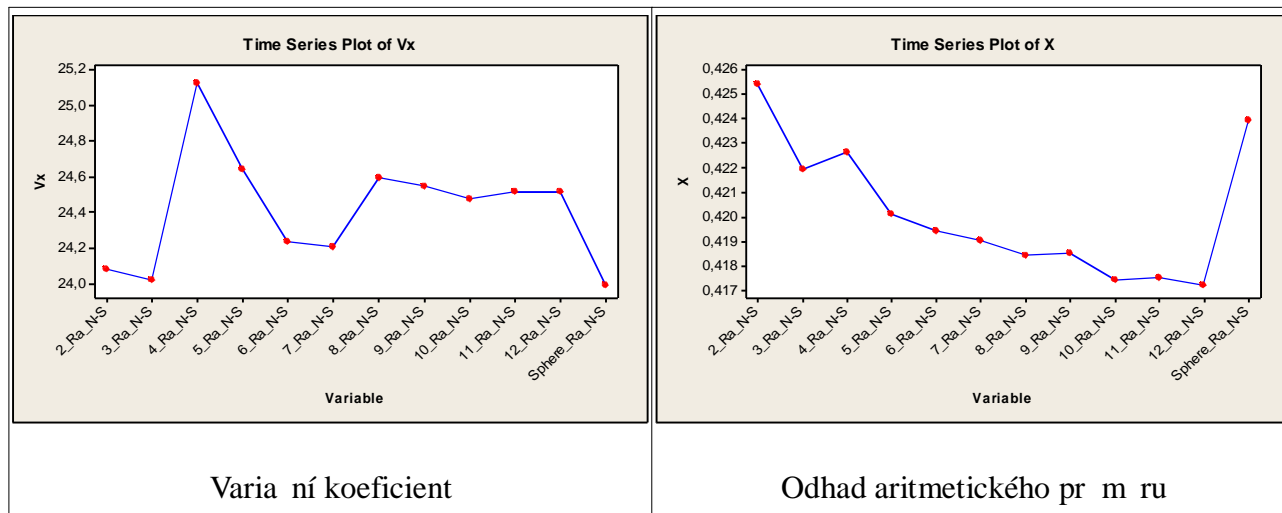
Variable	\bar{X} Mean	u_a SE Mean	S StDev	V_x CoefVar	x_i MIN Minimum	$Q1$ Q1	\tilde{X} Median	Q^3 Q3	x_i MAX Maximum	R Range	IQR IQR
2_Ra_N-S	0,4254	0,0149	0,1024	24,08	0,2330	0,3410	0,4170	0,5030	0,6310	0,3980	0,1620
3_Ra_N-S	0,4219	0,0148	0,1013	24,02	0,2280	0,3410	0,4120	0,4970	0,6250	0,3970	0,1560
4_Ra_N-S	0,4226	0,0155	0,1062	25,12	0,2300	0,3390	0,4100	0,4940	0,6470	0,4170	0,1550
5_Ra_N-S	0,4201	0,0151	0,1035	24,64	0,2290	0,3370	0,4080	0,4940	0,6340	0,4050	0,1570
6_Ra_N-S	0,4194	0,0148	0,1016	24,23	0,2340	0,3400	0,4080	0,4910	0,6300	0,3960	0,1510
7_Ra_N-S	0,4190	0,0148	0,1014	24,20	0,2320	0,3400	0,4070	0,4910	0,6240	0,3920	0,1510
8_Ra_N-S	0,4184	0,0150	0,1029	24,59	0,2280	0,3380	0,4070	0,4920	0,6290	0,4010	0,1540
9_Ra_N-S	0,4185	0,0150	0,1027	24,54	0,2280	0,3380	0,4070	0,4900	0,6290	0,4010	0,1520
10_Ra_N-S	0,4174	0,0149	0,1021	24,47	0,2270	0,3370	0,4080	0,4910	0,6230	0,3960	0,1540
11_Ra_N-S	0,4175	0,0149	0,1023	24,51	0,2280	0,3360	0,4070	0,4920	0,6240	0,3960	0,1560
12_Ra_N-S	0,4172	0,0149	0,1023	24,51	0,2280	0,3350	0,4070	0,4920	0,6220	0,3940	0,1570
Sphere_Ra_N-S	0,4239	0,0148	0,1017	23,99	0,2320	0,3410	0,4160	0,5010	0,6280	0,3960	0,1600

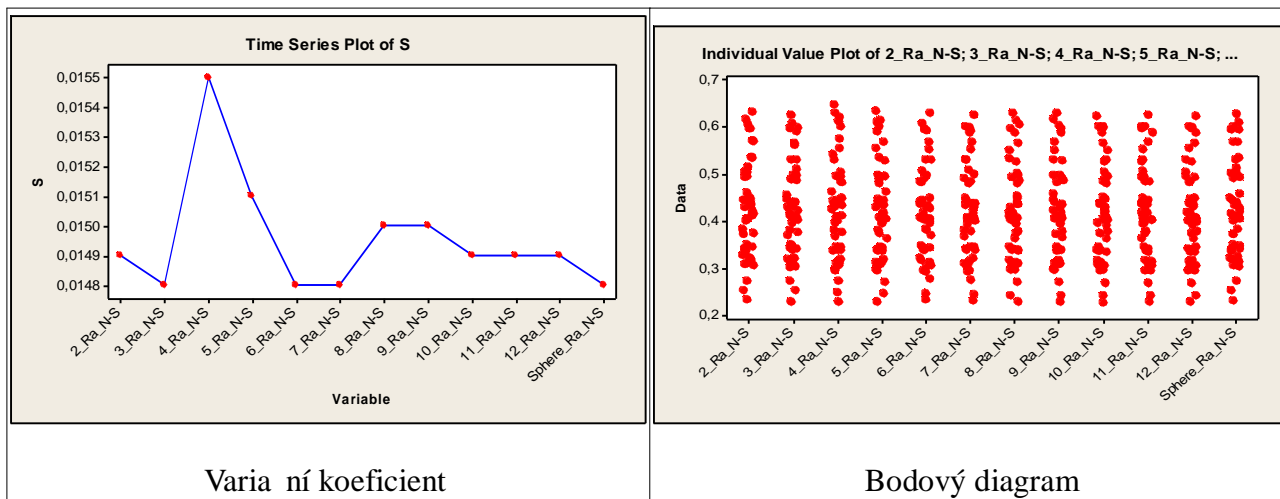
V Tab. 7 jsou znázorněny hodnoty variačního koeficientu pro parametr drsnosti Ra ve směru N-S, které se pohybují v rozmezí 23,99 m až 25,12 m, což je poměrně malé rozpětí a lze z toho usoudit, že se v hodnotách nevyskytuje žádná významná chyba. To potvrzuje i bodový diagram, který rovněž neprokázal žádnou výraznou odchýlenou hodnotu.

Hodnoty aritmetického průměru a směrodatné odchylky se ustálily přibližně u polynomu 6. řádu. U polynomů vyššího řádu kolísají hodnoty okolo této míry.

Grafy z Tab. 7 jsou ve větší velikosti zařazeny v Příloze 2.

Tab 7.





Varia ní koeficient

Bodový diagram

Mezi varia ní m koeficientem, odhadem aritmetického pr m ru a sm rodatnou odchylkou platí vztah:

$$V_x = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 \quad \%$$

Parametr drsnosti Rz ve sm ru N-S

Tab.8 Tabulka statistických parametrů Rz ve směru N-S

Descriptive Statistics: 2_Rz_N-S; 3_Rz_N-S; 4_Rz_N-S; 5_Rz_N-S; 6_Rz_N-S; ...

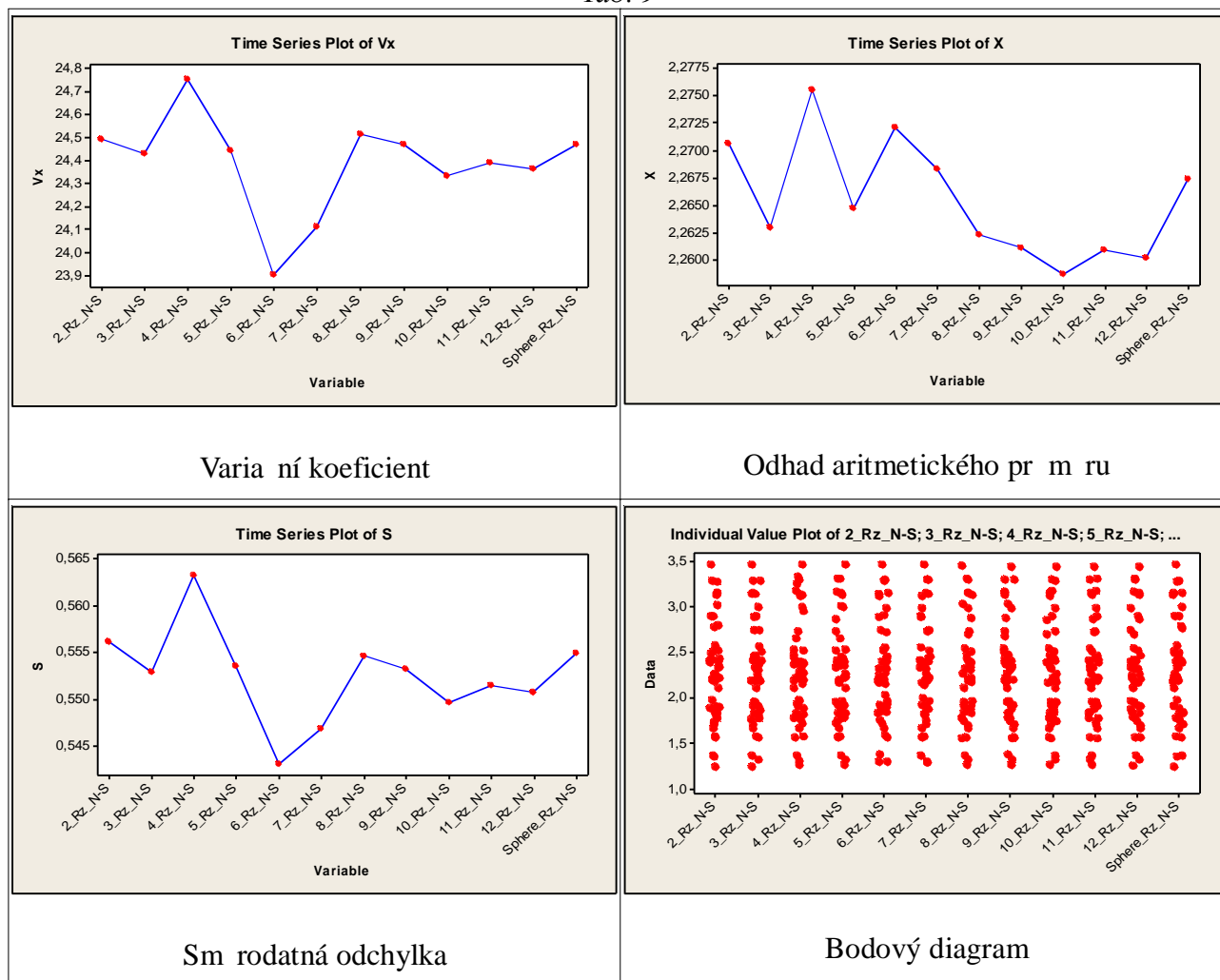
Variable	\bar{X} Mean	u_a SE Mean	S StDev	V_x CoefVar	x_i MIN Minimum	$Q1$ Q1	\tilde{X} Median	$Q3$ Q3	x_i MAX Maximum	R Range	IQR IQR
2_Rz_N-S	2,2706	0,0811	0,5561	24,49	1,2300	1,8200	2,2400	2,5600	3,4500	2,2200	0,7400
3_Rz_N-S	2,2630	0,0806	0,5528	24,43	1,2300	1,8200	2,2100	2,5500	3,4500	2,2200	0,7300
4_Rz_N-S	2,2755	0,0821	0,5631	24,75	1,2600	1,8200	2,2600	2,5200	3,4500	2,1900	0,7000
5_Rz_N-S	2,2647	0,0807	0,5535	24,44	1,2500	1,8200	2,2200	2,5200	3,4500	2,2000	0,7000
6_Rz_N-S	2,2721	0,0792	0,5431	23,90	1,2900	1,8900	2,2300	2,5400	3,4500	2,1600	0,6500
7_Rz_N-S	2,2683	0,0798	0,5468	24,11	1,2800	1,8700	2,2300	2,5400	3,4500	2,1700	0,6700
8_Rz_N-S	2,2623	0,0809	0,5546	24,51	1,2500	1,8300	2,2100	2,5300	3,4400	2,1900	0,7000
9_Rz_N-S	2,2611	0,0807	0,5532	24,47	1,2500	1,8200	2,2100	2,5300	3,4300	2,1800	0,7100
10_Rz_N-S	2,2587	0,0802	0,5496	24,33	1,2500	1,8300	2,2100	2,5300	3,4300	2,1800	0,7000
11_Rz_N-S	2,2609	0,0804	0,5515	24,39	1,2500	1,8300	2,2100	2,5300	3,4300	2,1800	0,7000
12_Rz_N-S	2,2602	0,0803	0,5507	24,36	1,2400	1,8300	2,2300	2,5300	3,4300	2,1900	0,7000
Sphere_Rz_N-S	2,2674	0,0809	0,5549	24,47	1,2300	1,8200	2,2200	2,5600	3,4500	2,2200	0,7400

V Tab. 9 jsou znázorněny hodnoty varia ního koeficientu pro parametr drsnosti Rz ve sm ru N-S, které se pohybují v rozmezí 23,9 m a 24,75 m, což je poměrně malé rozpětí a lze z toho usoudit, že se v hodnotách nevyskytuje žádná významná chyba. To potvrzuje i bodový diagram, který rovněž neprokázal žádnou výrazně vychýlenou hodnotu.

Hodnoty aritmetického průměru a směrodatné odchylky se ustálily u polynomu 5. řádu. U polynomu vyššího řádu kolísají hodnoty okolo této míry.

Grafy z Tab. 9 jsou ve větší velikosti zařazeny v Příloze 2.

Tab. 9



Mezi varia ním koeficientem, odhadem aritmetického pr m ru a sm rodatnou odchylkou platí vztah:

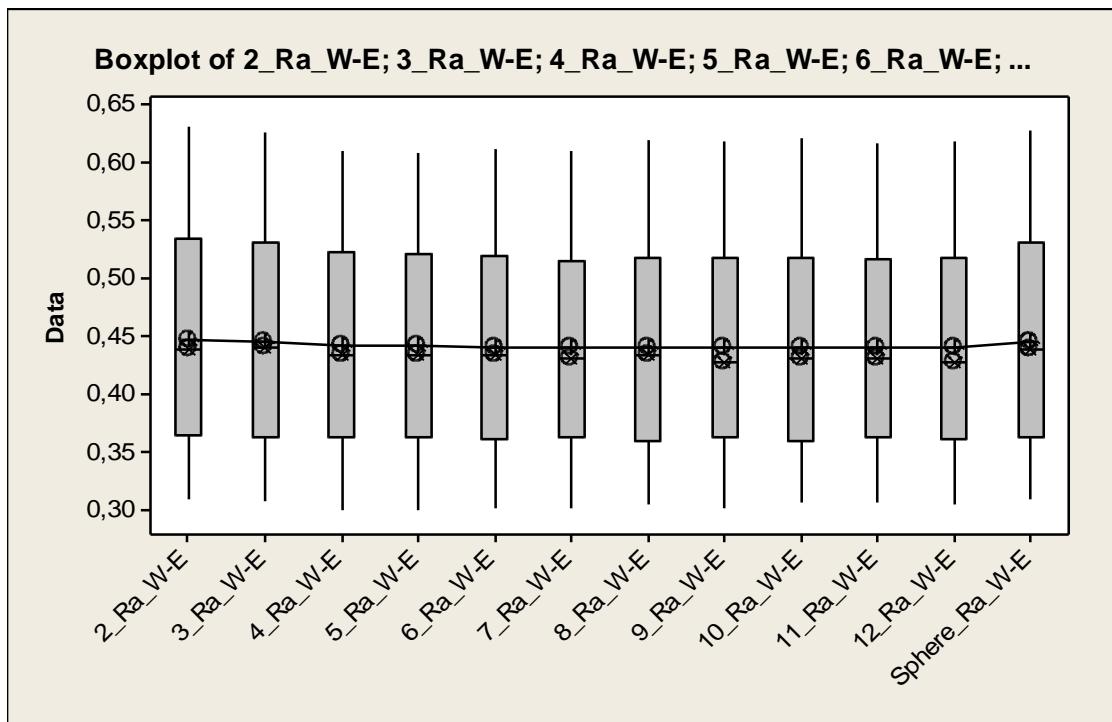
$$V_x = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 \%$$

3.2 Boxplotový diagram

Pro všechny parametry drsnosti byly sestaveny boxplotové diagramy, sloufící k porovnání odhad aritmetických pr m r a odhalení vychýlených hodnot.

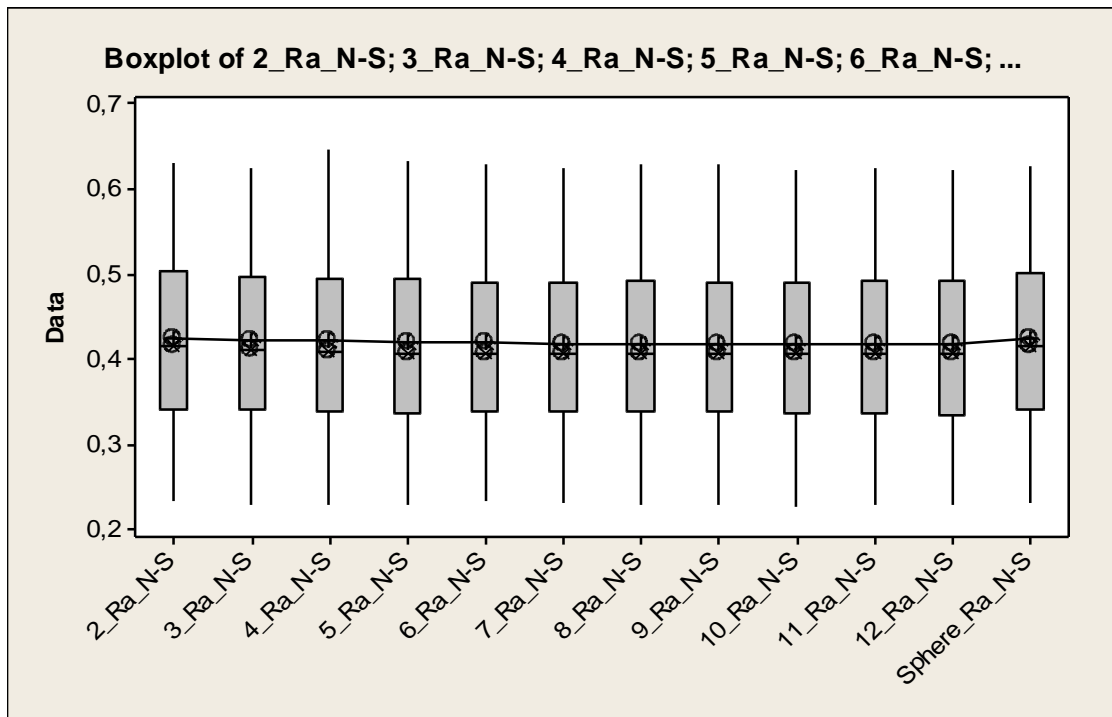
Parametr drsnosti Ra ve směru W-E

Graf 3.1 Boxplotový diagram parametru Ra ve směru W-E



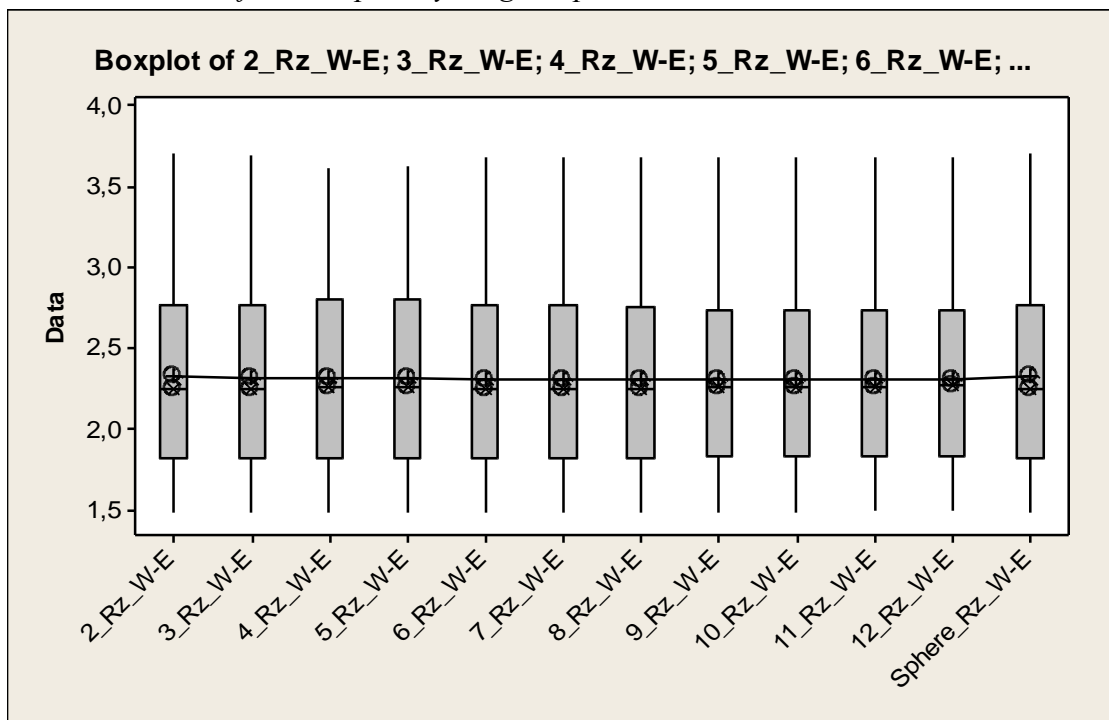
Parametr drsnosti Ra ve směru N-S

Graf 3.2 Boxplotový diagram parametru Ra ve směru N-S



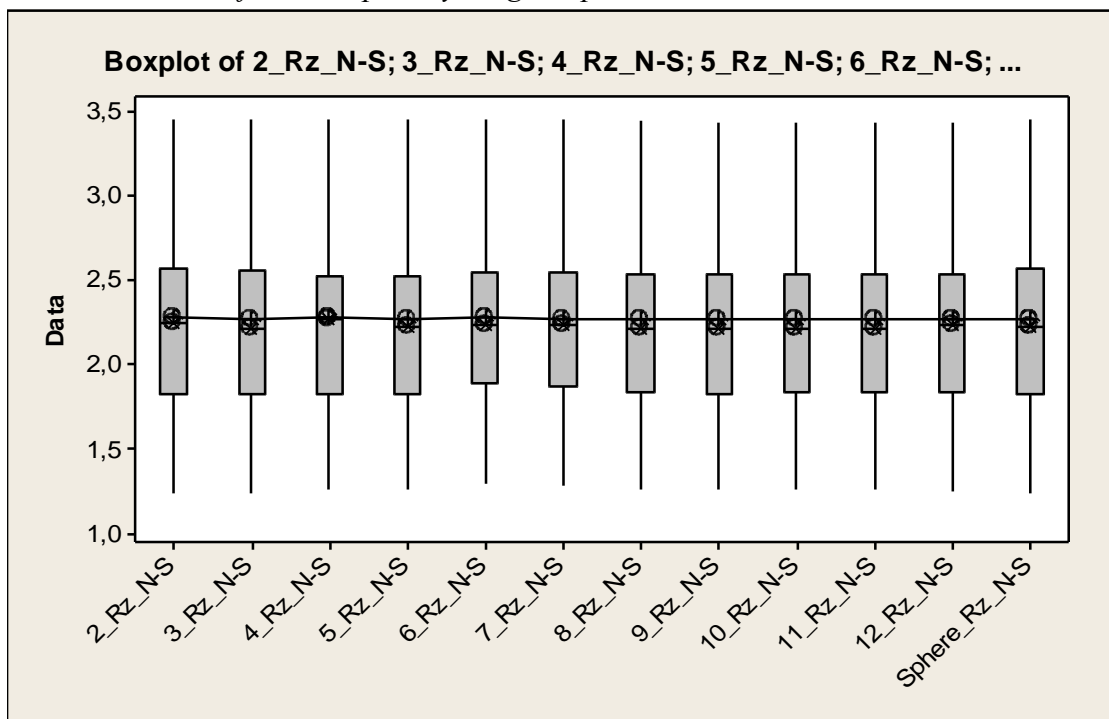
Parametr drsnosti Rz ve sm ru W-E

Graf 3.3 Boxplotový diagram parametru Rz ve směru W-E



Parametr drsnosti Rz ve sm ru N-S

Graf 3.4 Boxplotový diagram parametru Rz ve směru N-S



3.3 Metoda Anova

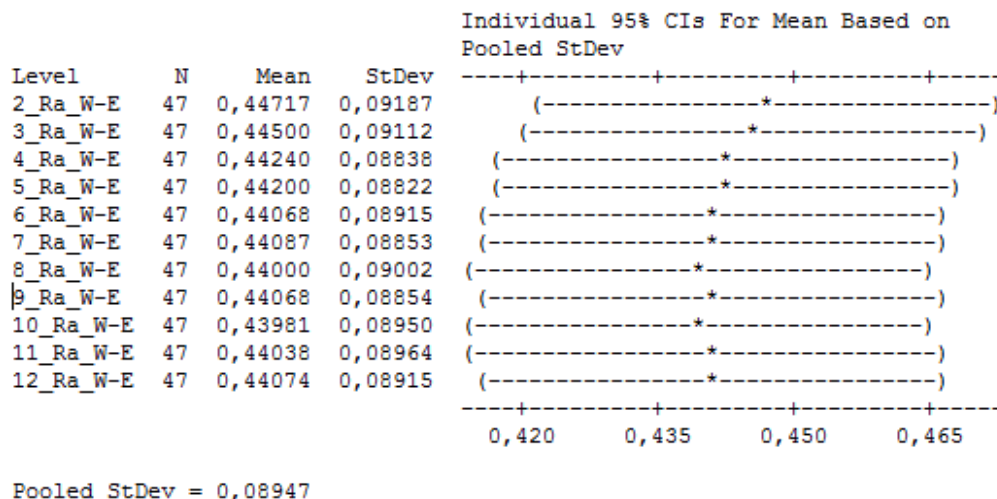
3.3.1 Parametr drsnosti Ra ve sm ru W-E

$H_{oi}: \mu R_a \text{ POL2. } W - E = \mu R_a \text{ POL3. } W - E = \dots = \mu R_a \text{ POL12. } W - E$
 $H_A: \text{NON}$
 $1 - \alpha = 0,95$

Jednocestná ANOVA

Pro parametr drsnosti Ra ve sm ru W-E vy-el parametr **P 0.99** .

S pravd podobností $1 - \alpha = 0,95$ nezamítám nulovou hypotézu , coflje pom r parametru Ra ve sm ru W-E, pocházející ze základního souboru s parametrem .



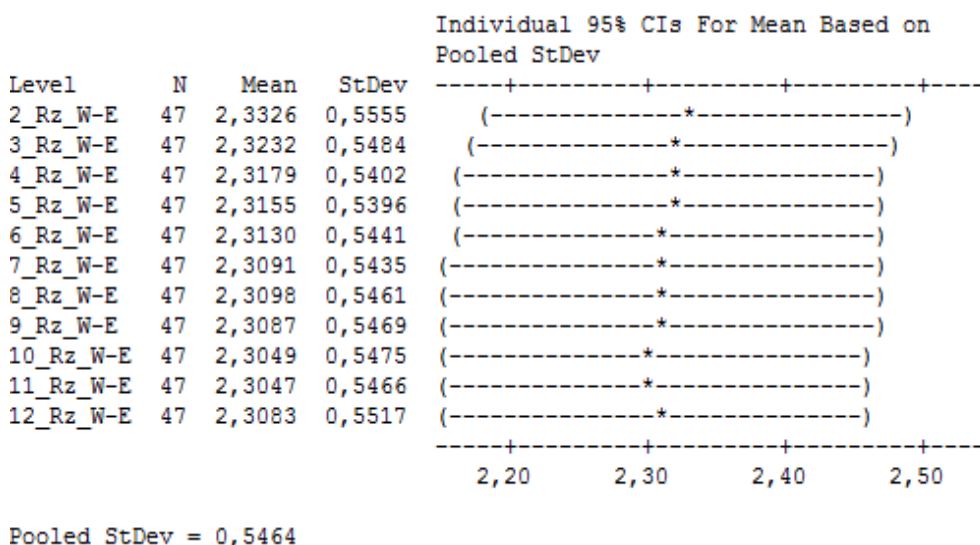
3.3.2 Parametr drsnosti Rz ve sm ru W-E

$H_{oi}: \mu R_z \text{ POL2. } W - E = \mu R_z \text{ POL3. } W - E = \dots = \mu R_z \text{ POL12. } W - E$
 $H_A: \text{NON}$
 $1 - \alpha = 0,95$

Jednocestná ANOVA

Pro parametr drsnosti Ra ve sm ru W-E vy-el parametr **P 0.99** .

S pravd podobností $1 - \alpha = 0,95$ nezamítám nulovou hypotézu , coflje pom r parametru Rz ve sm ru W-E, pocházející ze základního souboru s parametrem .



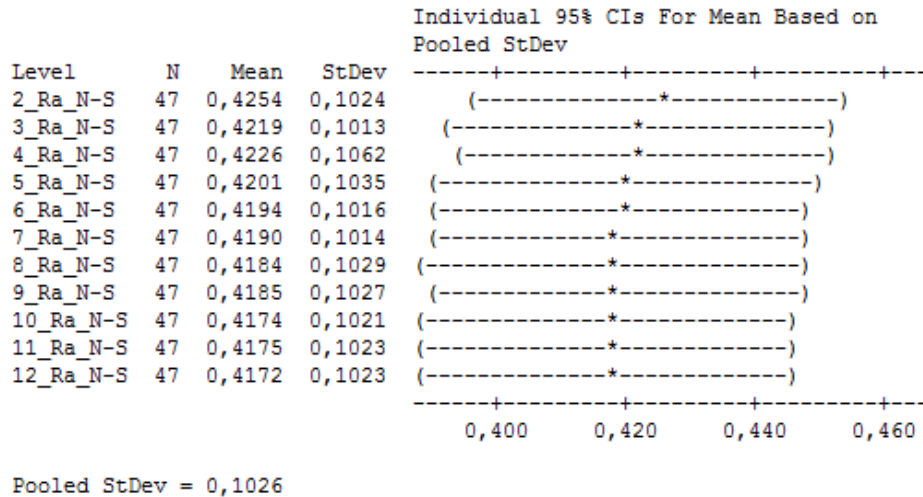
3.3.3 Parametr drsnosti Ra ve sm ru N-S

$H_{oi}: \mu R_a \text{ POL2. } N-S = \mu R_a \text{ POL3. } N-S = \dots = \mu R_a \text{ POL12. } N-S$
 $1 - \alpha = 0,95$

Jednocestná ANOVA

Pro parametr drsnosti Ra ve sm ru W-E vy-el parametr **P 0.99**.

S pravd podobností $1 - \alpha = 0,95$ nezamítám nulovou hypotézu, což je poměr parametru Ra ve sm ru N-S, pocházející ze základního souboru s parametrem.



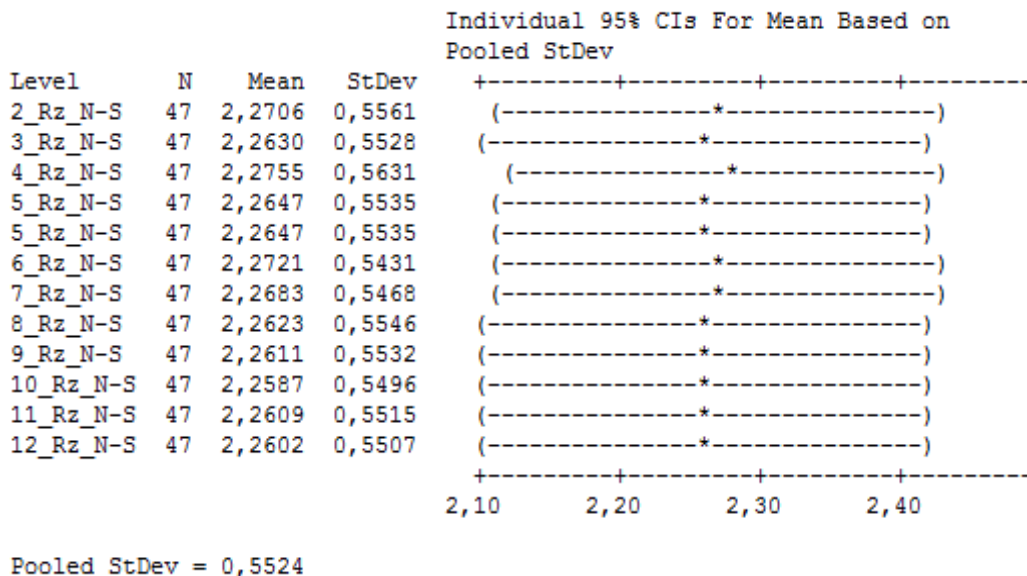
3.3.4 Parametr drsnosti Rz ve sm ru N-S

$H_{oi}: \mu R_z \text{ POL2. } N-S = \mu R_z \text{ POL3. } N-S = \dots = \mu R_z \text{ POL12. } N-S$
 $H_A: \text{NON}$
 $1 - \alpha = 0,95$

Jednocestná ANOVA

Pro parametr drsnosti Ra ve sm ru W-E vy-el parametr **P 0.99**.

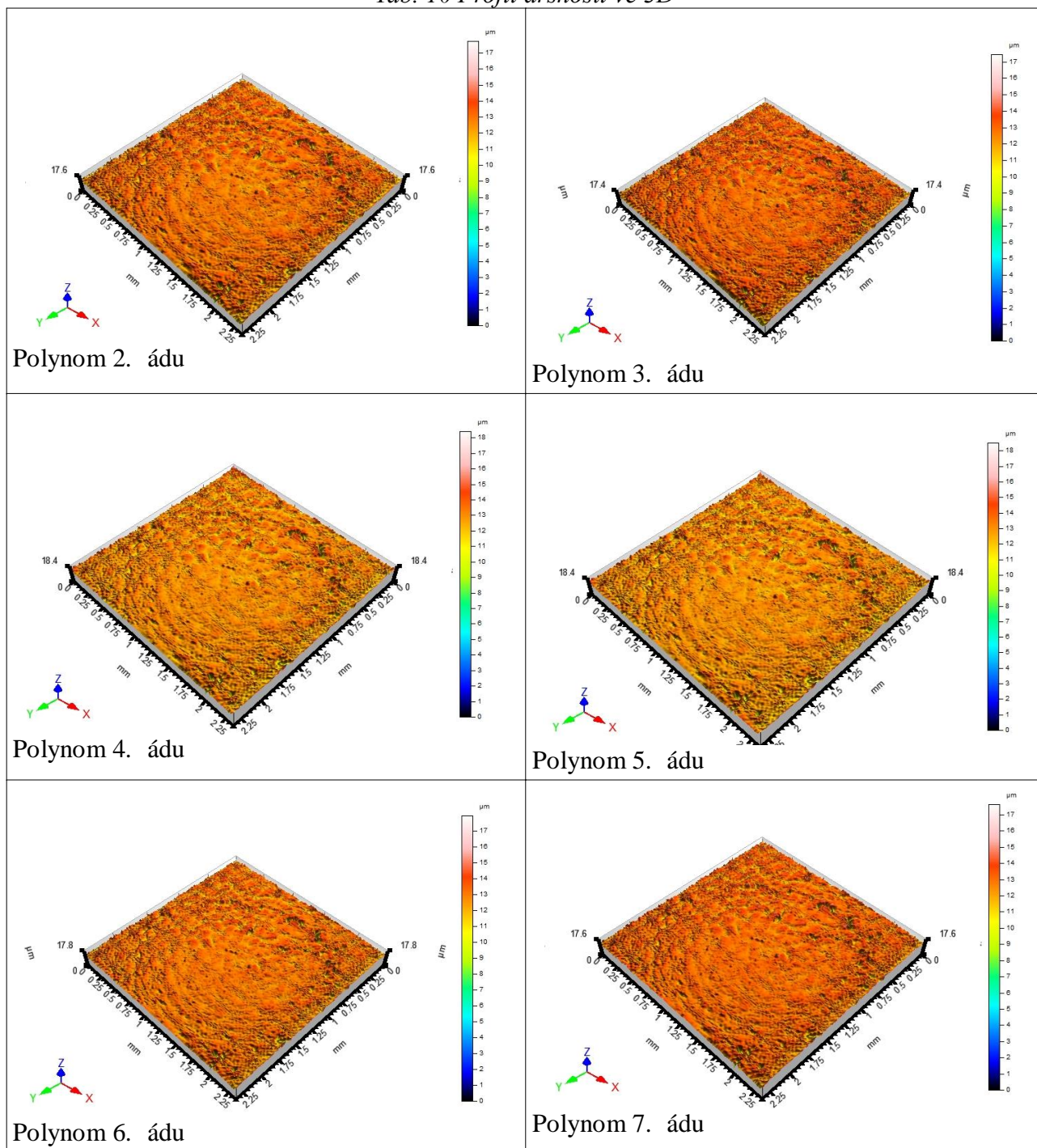
S pravd podobností $1 - \alpha = 0,95$ nezamítám nulovou hypotézu, což je poměr parametru Ra ve sm ru N-S, pocházející ze základního souboru s parametrem.

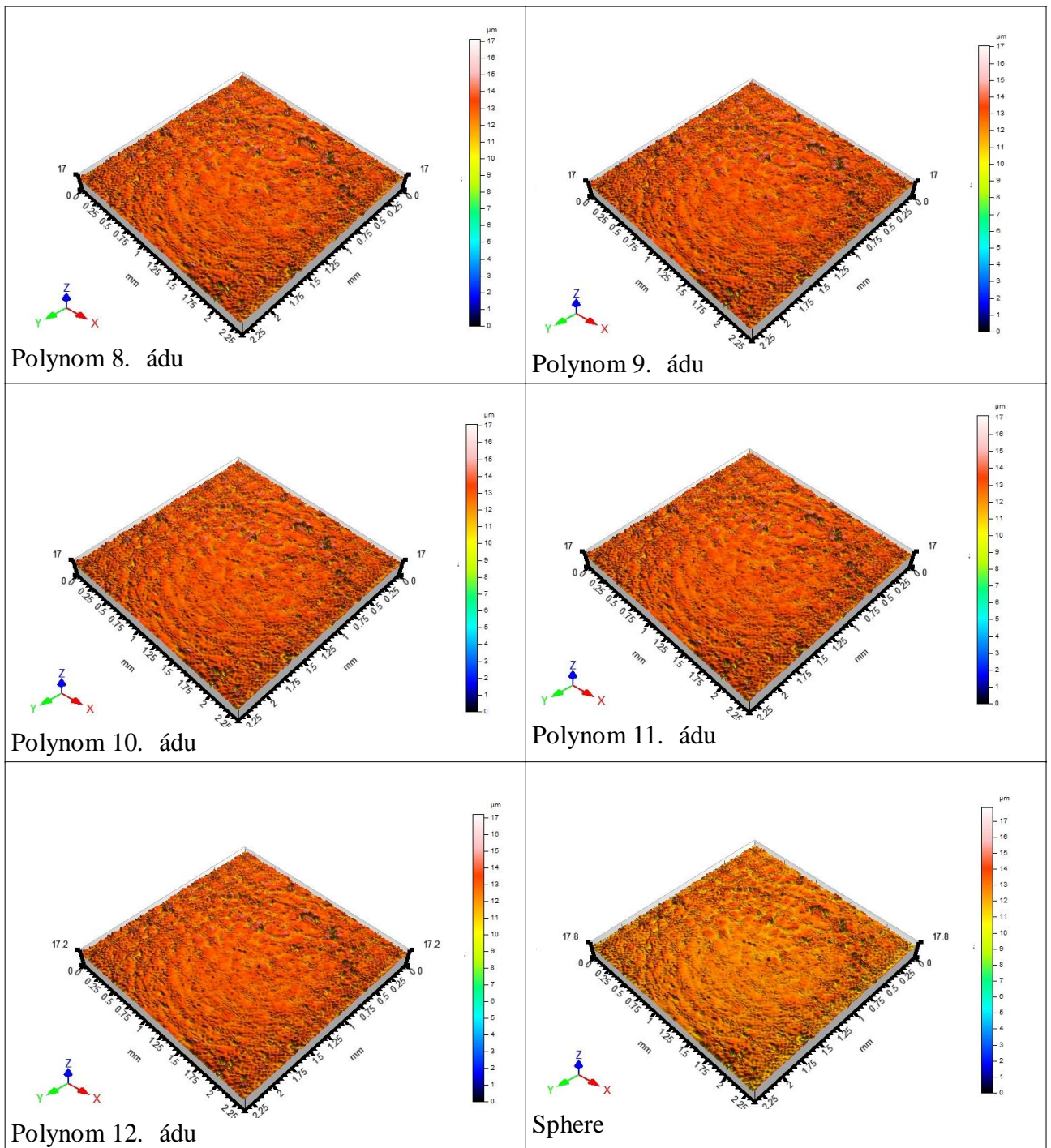


3.4 Profil drsnosti

V Tab.10 jsou jednotlivé profily drsnosti ve 3D dle řádu polynomu 2. až 7. řádu a Sphere. Na první pohled je zřejmé, že řád polynomu nemá na profil drsnosti výrazný vliv.

Tab. 10 Profil drsnosti ve 3D



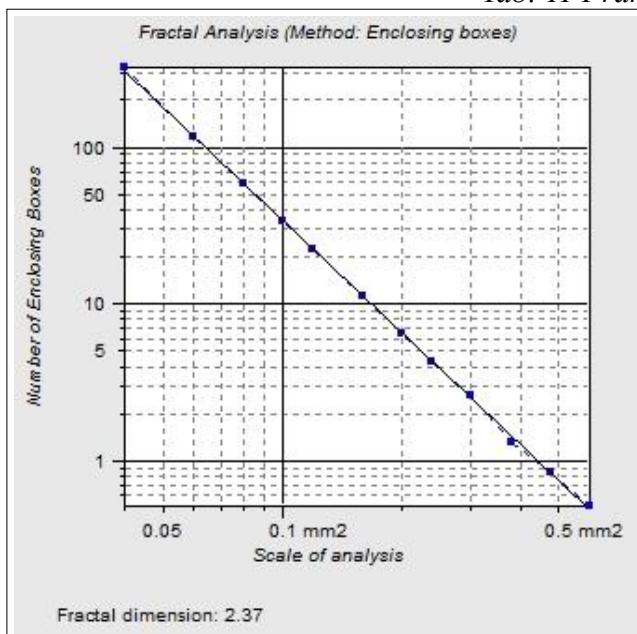


3.5 Fraktální dimenze

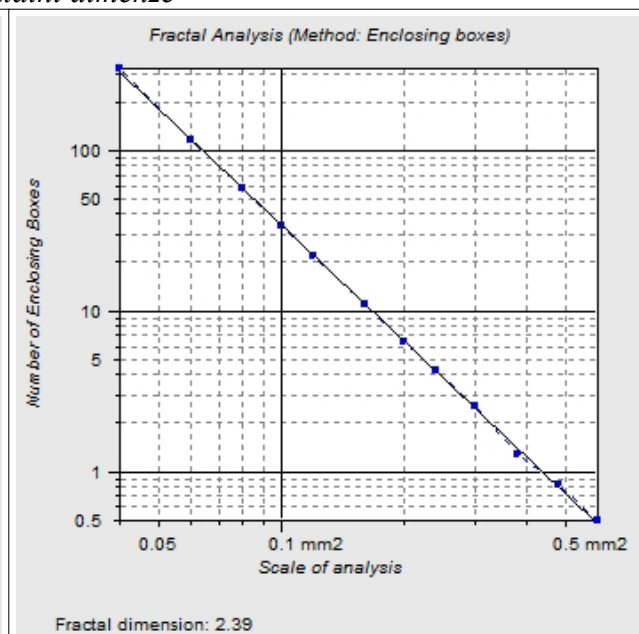
V Tab. 11 jsou seazeny jednotlivé fraktální dimenze dle ádu polynomu 2. afl 12. ádu a Sphere. P i blífl-ím porovnání hodnot pro jednotlivé fraktální dimenze, lze pozorovat, fl se zvy-újícím se ádem polynomu se rozdíl mezi jednotlivými hodnotami zmen-ují. Od polynomu 7. ádu se hodnota nem ní v bec.

P i zhotovování fraktální dimenze byla pouflita st ední hodnota p esnosti výpo tu.

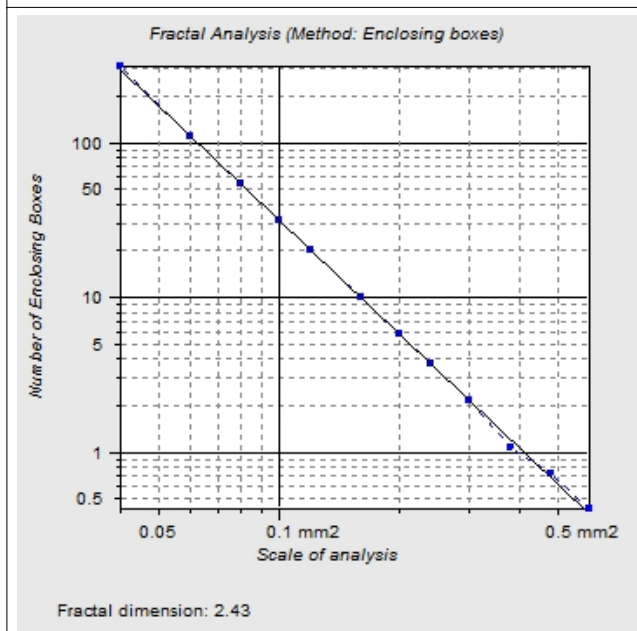
Tab. 11 Fraktální dimenze



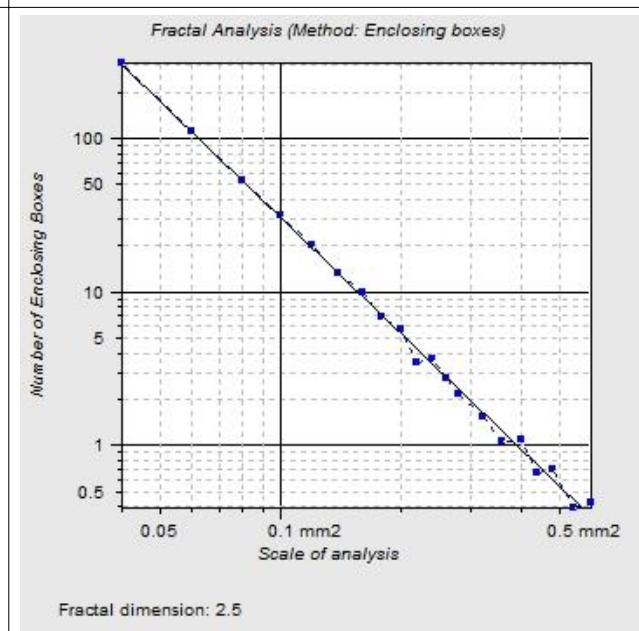
Polynom 2. ádu



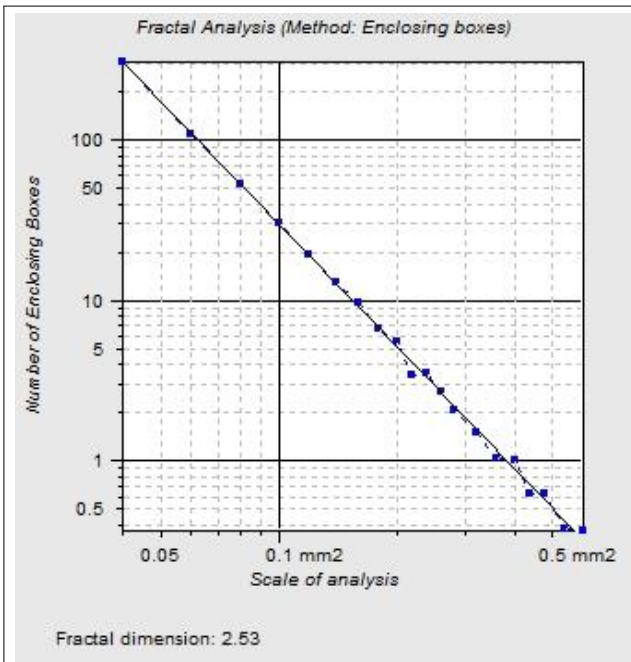
Polynom 3. ádu



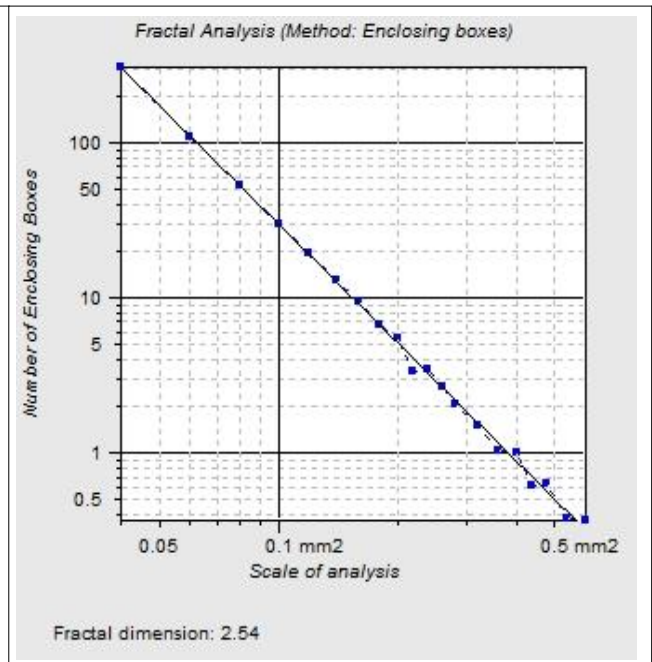
Polynom 4. ádu



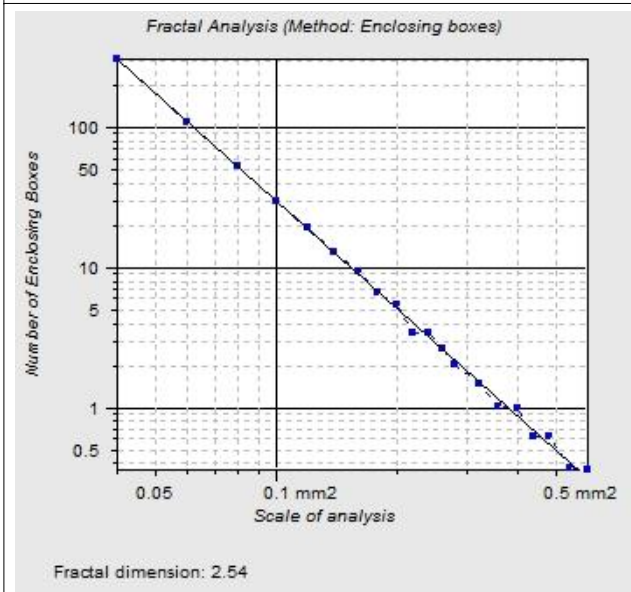
Polynom 5. ádu



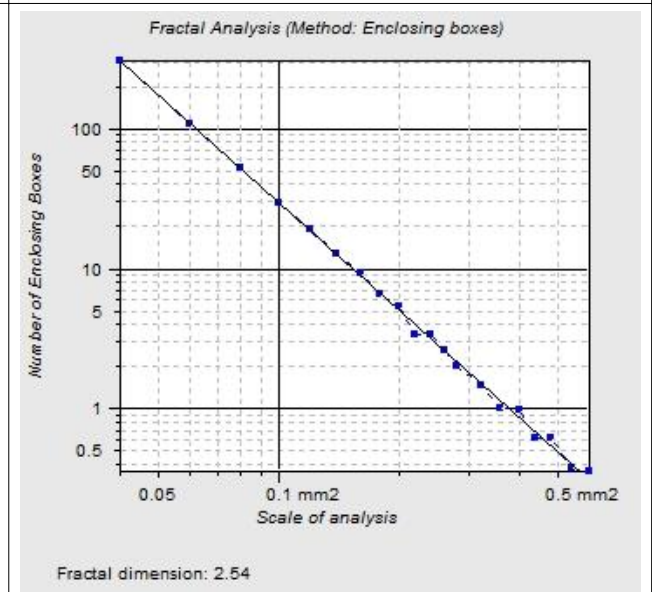
Polynom 6. ádu



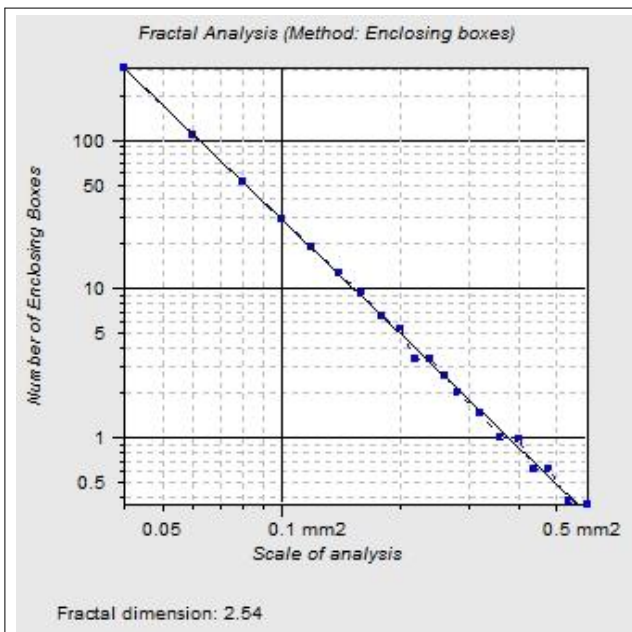
Polynom 7. ádu



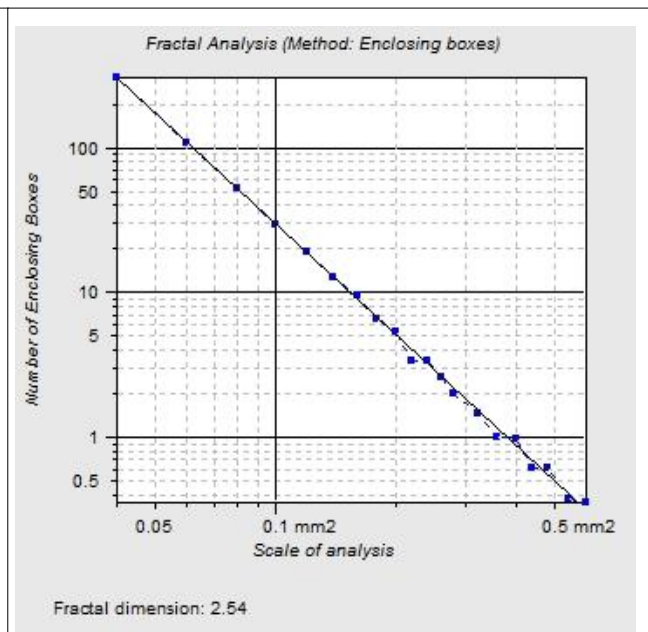
Polynom 8. ádu



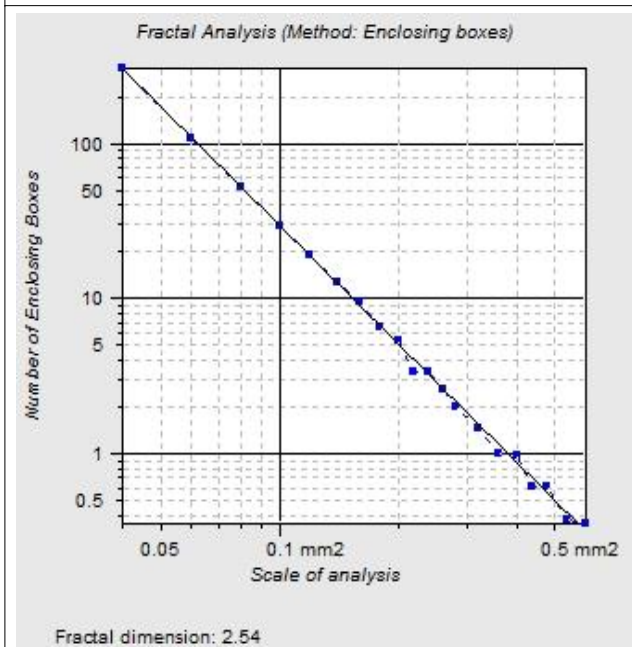
Polynom 9. ádu



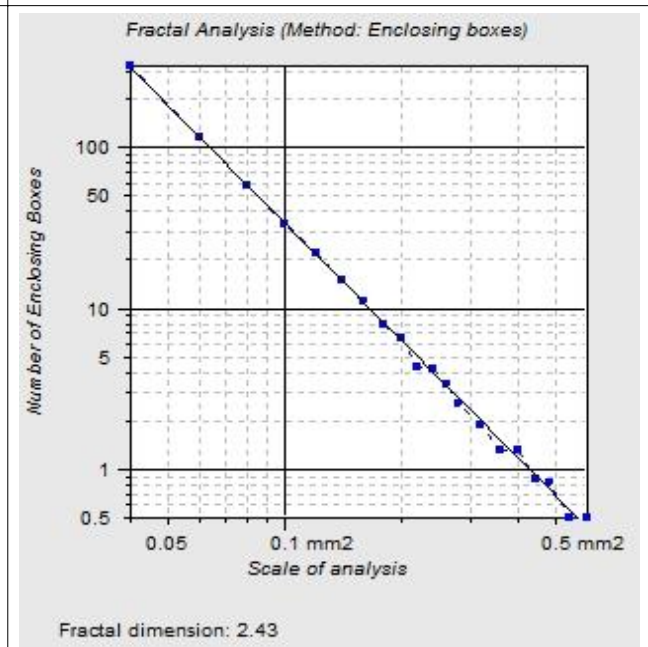
Polynom 10. ádu



Polynom 11. ádu



Polynom 12. ádu



Sphere

4. MATEMATICKO-STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT PRO VLNITOST

Nasnímaná data z programu TalyMap Gold byly přeneseny do statistického programu Mininab.

Nejprve byla provedena kontrola vychýlených hodnot, následně byly vytvořeny boxplotové diagramy a pomocí regresní analýzy byly otestovány hypotézy.

4.1 Kontrola vychýlených hodnot

Stejně jako u drsnosti byla nejprve provedena kontrola vychýlených hodnot.

Parametr vlnitosti W_a ve směru W-E

Tab.12 Tabulka statistických parametrů W_a ve směru W-E

Descriptive Statistics: 2_Wa_W-E; 3_Wa_W-E; 4_Wa_W-E; 5_Wa_W-E; 6_Wa_W-E; ...

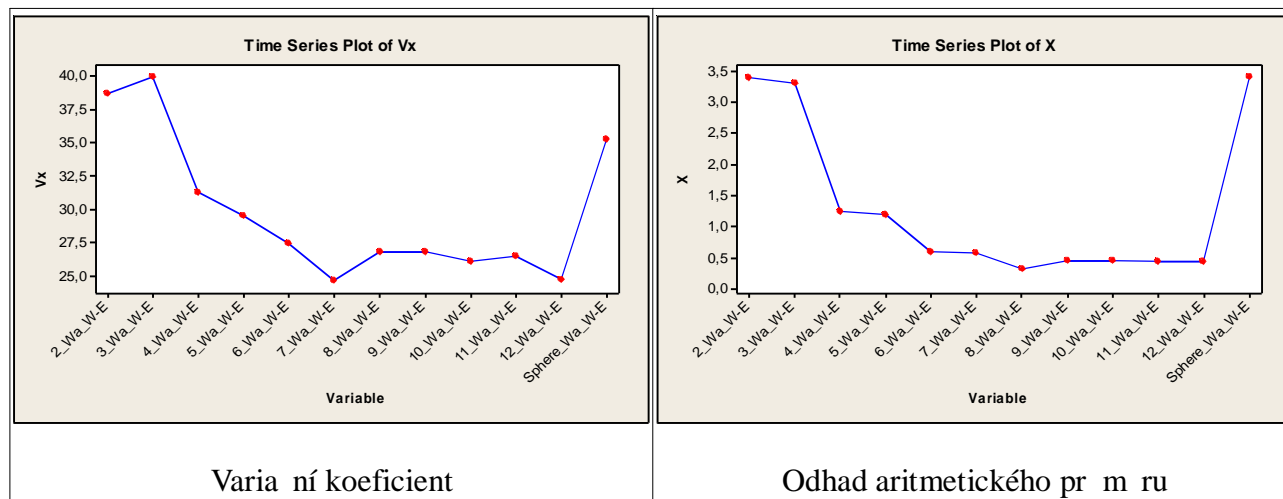
Variable	\bar{X} Mean	u_a SE Mean	S StDev	V_x CoefVar	$x_{i, MIN}$ Minimum	$Q1$ Q1	\tilde{X} Median	$Q3$ Q3	$x_{i, MAX}$ Maximum	R Range	IQR IQR
2_Wa_W-E	3,398	0,189	1,312	38,62	1,490	2,138	3,450	4,545	5,580	4,090	2,408
3_Wa_W-E	3,304	0,190	1,318	39,89	1,220	2,095	3,295	4,480	5,480	4,200	2,385
4_Wa_W-E	1,2380	0,0558	0,3867	31,24	0,5690	0,9160	1,1950	1,5150	2,3800	1,8110	0,5990
5_Wa_W-E	1,1843	0,0504	0,3492	29,49	0,6270	0,8958	1,1400	1,4200	2,2000	1,5730	0,5243
6_Wa_W-E	0,5871	0,0232	0,1608	27,38	0,3240	0,4680	0,5640	0,7040	1,0200	0,6960	0,2360
7_Wa_W-E	0,5683	0,0202	0,1401	24,66	0,3020	0,4608	0,5680	0,6835	0,9210	0,6190	0,2228
8_Wa_W-E	0,3106	0,0120	0,0832	26,78	0,1850	0,2490	0,3010	0,3550	0,5330	0,3480	0,1060
9_Wa_W-E	0,4544	0,0176	0,1218	26,81	0,2580	0,3695	0,4375	0,5378	0,8180	0,5600	0,1683
10_Wa_W-E	0,4433	0,0167	0,1156	26,08	0,2610	0,3555	0,4480	0,5120	0,8520	0,5910	0,1565
11_Wa_W-E	0,4403	0,0168	0,1164	26,44	0,2300	0,3510	0,4315	0,5168	0,8150	0,5850	0,1658
12_Wa_W-E	0,4359	0,0155	0,1076	24,69	0,2470	0,3620	0,4220	0,5050	0,8090	0,5620	0,1430
Sphere Wa_W-E	3.409	0.173	1.201	35.22	1.610	2.355	3.320	4.078	5.640	4.030	1.723

V Tab. 13 je možno vysledovat u variačního koeficientu snižující se trend od polynomu 2. stupně s malým zakolísáním u polynomu 7. stupně, je nutné si uvědomit ještě poslední bod časové řady je hodnota pro transformaci Sphere, tedy transformace určené speciálně pro měření a následné hodnocení kulových povrchů, například vrchlík.

Snižující trend variačního koeficientu je v korelaci s časovou řadou pro bodový odhad aritmetického průměru vlnitosti a bodového odhadu směrovatné odchylky.

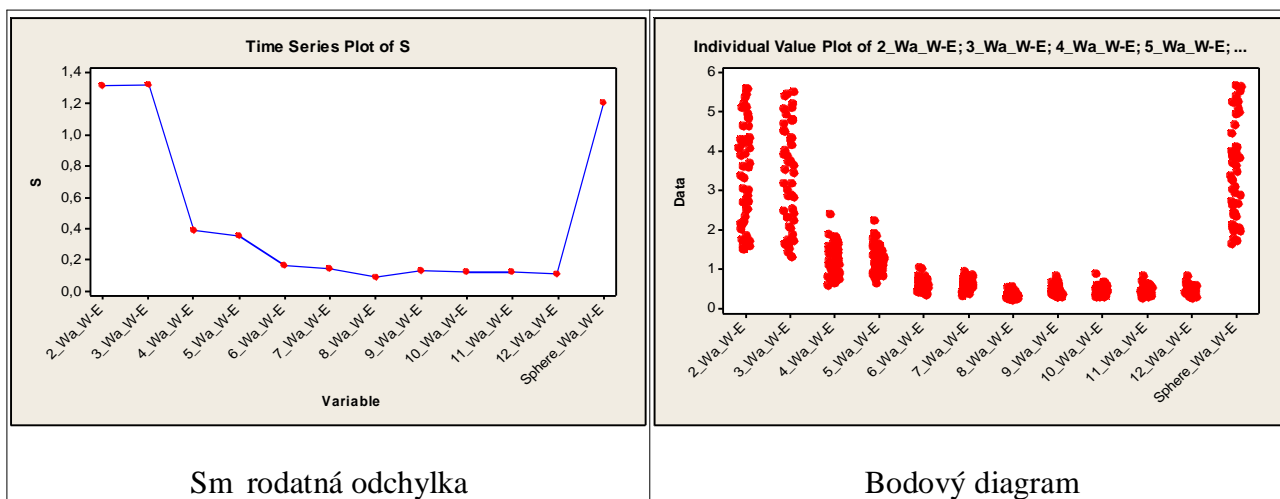
Grafy z Tab. 13 jsou ve větší velikosti zařazeny v Příloze 3.

Tab. 13



Variační koeficient

Odhad aritmetického průměru



Sm rodatná odchylna

Bodový diagram

Parametr vlnitosti Wz ve sm ru W-E

Tab.14 Tabulka statistických parametrů Wz ve směru W-E

Descriptive Statistics: 2_Wz_W-E; 3_Wz_W-E; 4_Wz_W-E; 5_Wz_W-E; 6_Wz_W-E; ...

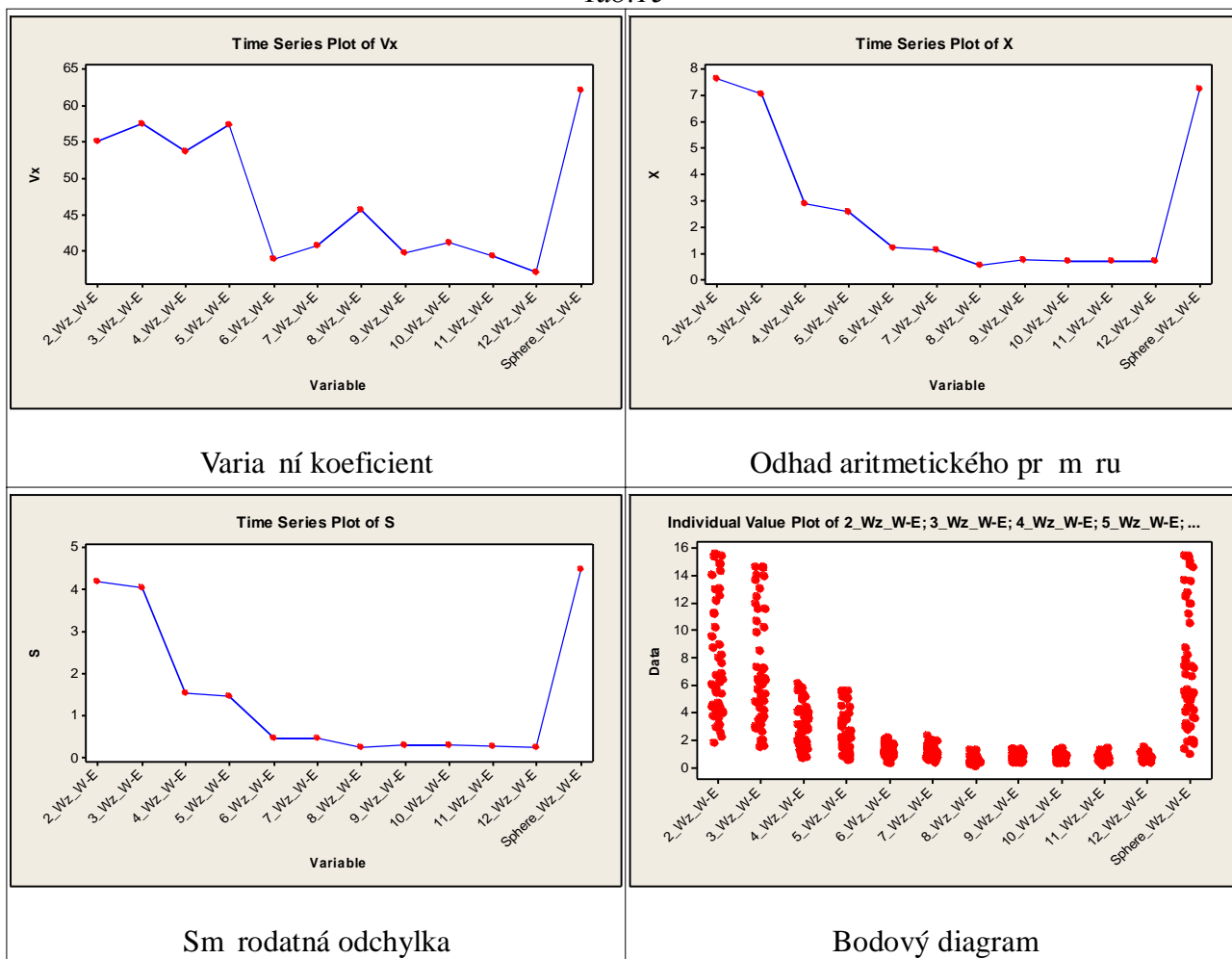
Variable	\bar{X}	u_a	S	V_x	x_l MIN	$Q1$	\tilde{X}	Q^3	x_l MAX	R	IQR
	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2_Wz_W-E	7,610	0,606	4,197	55,15	1,770	4,128	6,255	11,175	15,500	13,730	7,047
3_Wz_W-E	7,017	0,582	4,030	57,44	1,460	3,613	6,230	10,500	14,600	13,140	6,888
4_Wz_W-E	2,894	0,224	1,552	53,65	0,605	1,670	2,765	4,040	6,060	5,455	2,370
5_Wz_W-E	2,567	0,213	1,472	57,36	0,483	1,293	2,240	3,590	5,580	5,097	2,298
6_Wz_W-E	1,2077	0,0678	0,4694	38,87	0,2220	0,8458	1,1550	1,6050	2,0900	1,8680	0,7593
7_Wz_W-E	1,1382	0,0670	0,4643	40,79	0,3210	0,7483	1,1250	1,4875	2,2400	1,9190	0,7393
8_Wz_W-E	0,5714	0,0376	0,2608	45,65	0,0636	0,3755	0,5385	0,7210	1,1900	1,1264	0,3455
9_Wz_W-E	0,7570	0,0435	0,3015	39,82	0,3130	0,4853	0,7625	0,9565	1,3100	0,9970	0,4713
10_Wz_W-E	0,7146	0,0425	0,2946	41,23	0,2200	0,5148	0,6915	0,9580	1,3600	1,1400	0,4433
11_Wz_W-E	0,7084	0,0402	0,2786	39,33	0,1380	0,4913	0,7170	0,8813	1,3700	1,2320	0,3900
12_Wz_W-E	0,7080	0,0379	0,2624	37,06	0,2940	0,4768	0,7115	0,9038	1,4200	1,1260	0,4270
Sphere_Wz_W-E	7,226	0,648	4,487	62,10	0,950	3,708	5,555	11,700	15,400	14,450	7,993

V Tab. 15 je možno vysledovat u variačního koeficientu kolísání u polynomu 5. a 8. stupně, poslední bodové ady je hodnota pro transformaci Sphere, tedy transformace určené speciálně pro měření a následné hodnocení kulových povrchů, například vrchlík.

Z grafu plyne snižující se trend variačního koeficientu což je v korelaci s bodovou adou pro bodový odhad aritmetického průměru vlnitosti a bodového odhadu směrové odchylky.

Grafy z Tab. 15 jsou ve větší velikosti zařazeny v Příloze 3.

Tab.15



Mezi varia ním koeficientem, odhadem aritmetického pr m ru a sm rodatnou odchylkou platí vztah:

$$V_x = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 \%$$

Parametr vlnitosti Wa ve sm ru N-S

Tab.16 Tabulka statistických parametrů Wa ve směru N-S

Descriptive Statistics: 2_Wa_N-S; 3_Wa_N-S; 4_Wa_N-S; 5_Wa_N-S; 6_Wa_N-S; ...

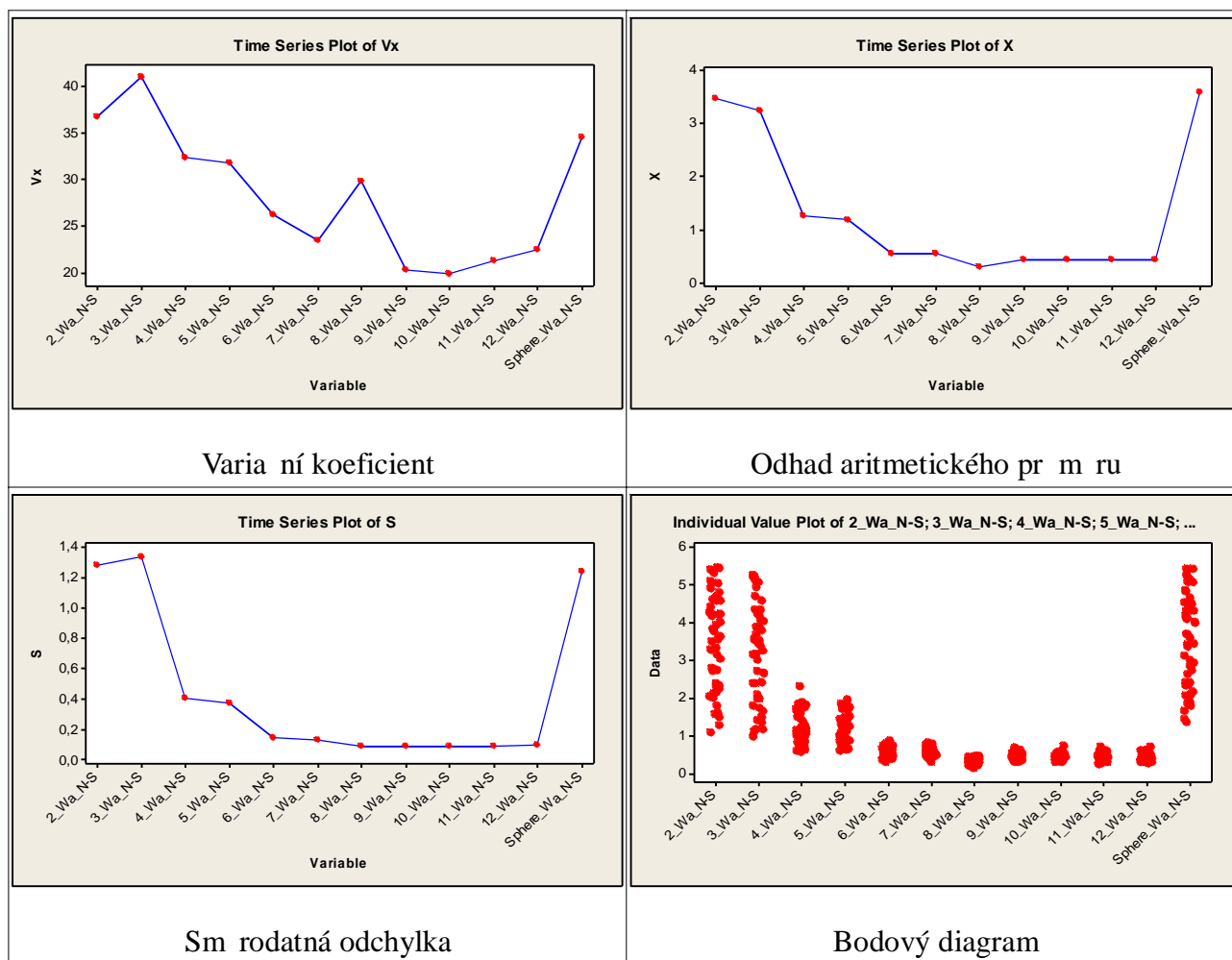
Variable	\bar{X} Mean	u_a SE Mean	S StDev	V_x CoefVar	$x_i MIN$ Minimum	$Q1$ Q1	\tilde{X} Median	$Q3$ Q3	$x_i MAX$ Maximum	R Range	IQR IQR
2_Wa_N-S	3,470	0,184	1,276	36,77	1,080	2,300	3,590	4,585	5,450	4,370	2,285
3_Wa_N-S	3,243	0,192	1,331	41,05	0,964	2,008	3,415	4,305	5,260	4,296	2,298
4_Wa_N-S	1,2586	0,0587	0,4068	32,32	0,5650	0,9948	1,1400	1,6325	2,3000	1,7350	0,6378
5_Wa_N-S	1,1746	0,0540	0,3739	31,83	0,5880	0,8383	1,2200	1,4250	1,9400	1,3520	0,5868
6_Wa_N-S	0,5533	0,0209	0,1450	26,21	0,2910	0,4183	0,5375	0,6948	0,8620	0,5710	0,2765
7_Wa_N-S	0,5428	0,0184	0,1272	23,44	0,2680	0,4438	0,5215	0,6558	0,7910	0,5230	0,2120
8_Wa_N-S	0,2964	0,0128	0,0884	29,81	0,1100	0,2220	0,2975	0,3558	0,4480	0,3380	0,1338
9_Wa_N-S	0,4426	0,0130	0,0898	20,28	0,2830	0,3673	0,4485	0,5028	0,6640	0,3810	0,1355
10_Wa_N-S	0,4342	0,0124	0,0859	19,79	0,2790	0,3703	0,4515	0,4988	0,7030	0,4240	0,1285
11_Wa_N-S	0,4332	0,0133	0,0921	21,27	0,2370	0,3830	0,4370	0,4863	0,6830	0,4460	0,1032
12_Wa_N-S	0,4296	0,0139	0,0965	22,46	0,2480	0,3768	0,4295	0,4950	0,6900	0,4420	0,1182
Sphere_Wa_N-S	3,576	0,178	1,234	34,51	1,340	2,393	3,675	4,533	5,430	4,090	2,140

V Tab. 17 je možno vysledovat u varia ního koeficientu kolísání u polynomu 8. stupn , poslední bod asové ady je hodnota pro transformaci Sphere, tedy transformace ur ené speciálně pro m ení a následné hodnocení kulových povrch , pop ípad vrchlík .

Z grafu plyne snižující se trend varia ního koeficientu což je v korelaci s asovou adou pro bodový odhad aritmetického pr m ru vlnitosti a bodového odhadu sm rodátné odchylky.

Grafy z Tab. 17 jsou ve v t-í velikosti za azeny v Příloze 3.

Tab.17



Mezi varia ním koeficientem, odhadem aritmetického pr m ru a sm rodátnou odchylkou platí vztah:

$$V_x = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 \quad \%$$

Parametr vlnitosti Wz ve sm ru N-S

Tab.18 Tabulka statistických parametrů Wz ve směru N-S

Descriptive Statistics: 2_Wz_N-S; 3_Wz_N-S; 4_Wz_N-S; 5_Wz_N-S; 6_Wz_N-S; ...

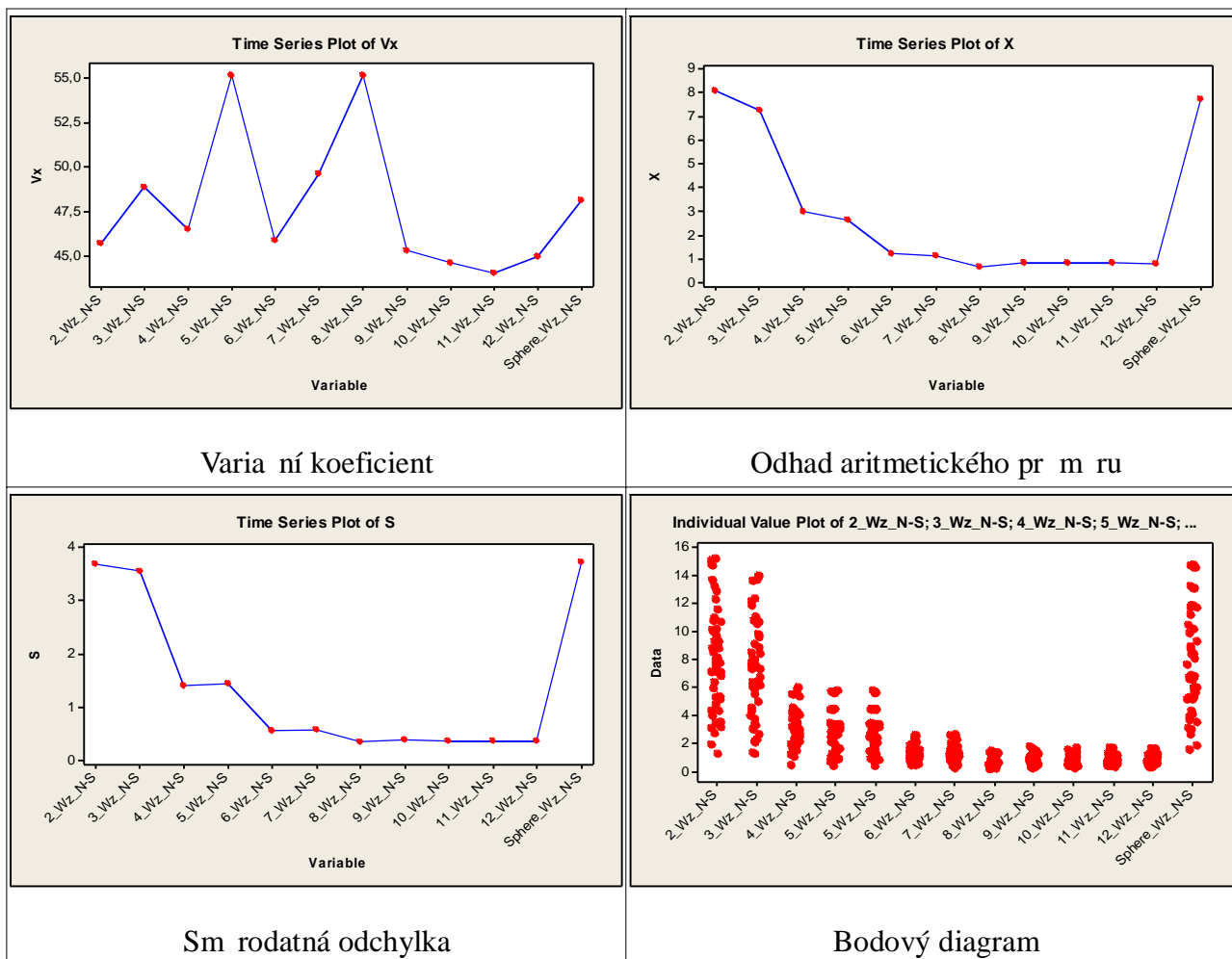
Variable	\bar{X}	u_a	S	V_x	$x_i MIN$	$Q1$	\tilde{X}	$Q3$	$x_i MAX$	R	IQR
	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	IQR
2_Wz_N-S	8,051	0,531	3,678	45,68	1,230	5,123	7,935	10,475	15,100	13,870	5,353
3_Wz_N-S	7,263	0,512	3,548	48,86	1,240	4,308	7,300	9,733	13,900	12,660	5,425
4_Wz_N-S	2,981	0,200	1,386	46,50	0,399	1,888	2,740	4,070	5,930	5,531	2,183
5_Wz_N-S	2,611	0,208	1,440	55,13	0,356	1,400	2,475	3,328	5,750	5,394	1,928
6_Wz_N-S	1,1904	0,0787	0,5455	45,83	0,3680	0,8073	1,0950	1,4575	2,5500	2,1820	0,6502
7_Wz_N-S	1,1248	0,0805	0,5580	49,61	0,1760	0,7735	1,0550	1,3275	2,5900	2,4140	0,5540
8_Wz_N-S	0,6082	0,0484	0,3350	55,09	0,1350	0,4013	0,5270	0,7468	1,3900	1,2550	0,3455
9_Wz_N-S	0,8116	0,0530	0,3673	45,26	0,1780	0,5520	0,7610	1,0650	1,6800	1,5020	0,5130
10_Wz_N-S	0,7830	0,0504	0,3491	44,58	0,2200	0,5053	0,6885	1,0775	1,6400	1,4200	0,5723
11_Wz_N-S	0,7965	0,0506	0,3504	43,98	0,2380	0,5465	0,7080	1,0475	1,6600	1,4220	0,5010
12_Wz_N-S	0,7706	0,0500	0,3461	44,91	0,2350	0,4753	0,7370	1,0650	1,5600	1,3250	0,5898
Sphere_Wz_N-S	7,724	0,536	3,712	48,06	1,520	5,115	6,695	10,925	14,700	13,180	5,810

V Tab. 19 je možno vysledovat u varia ního koeficientu kolísání u polynomu 5.a 8. stupn , poslední bod asové ady je hodnota pro transformaci Sphere, tedy transformace ur ené speciál pro m ení a následné hodnocení kulových povrch , pop ípad vrchlík .

Z grafu plyne sniřující se trend varia ního koeficientu coř je v korelaci s asovou adou pro bodový odhad aritmetického pr m ru vlnitosti a bodového odhadu sm rodátné odchylky.

Grafy z Tab. 19 jsou ve v t-í velikosti za azeny v Příloze 3.

Tab. 19



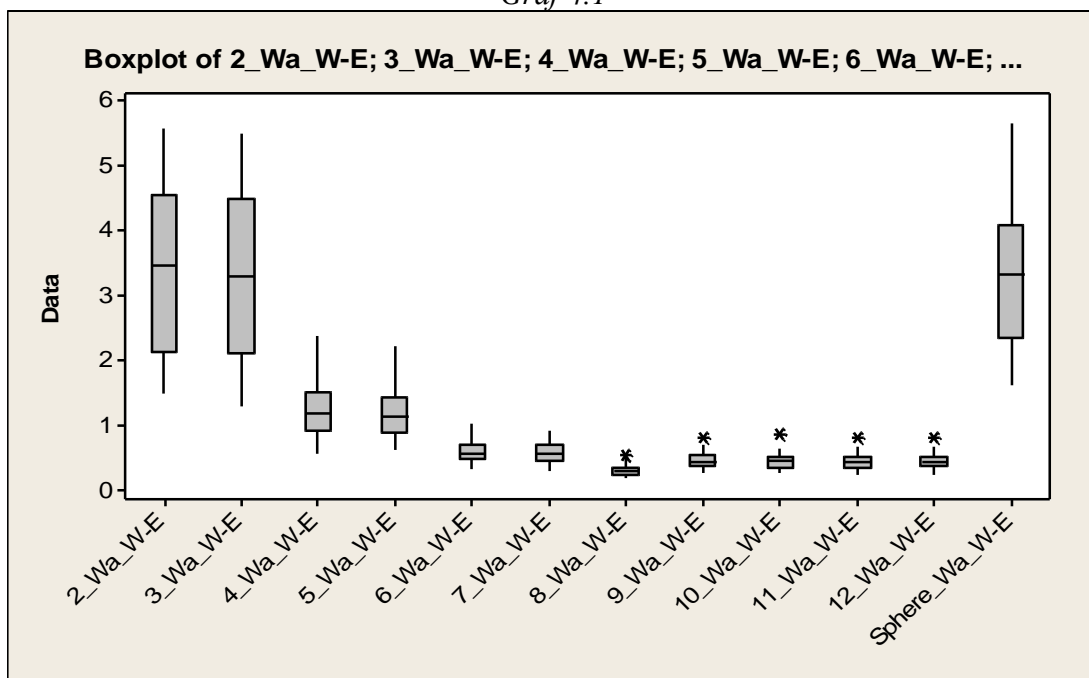
Mezi variačním koeficientem, odhadem aritmetického průměru a směrodatnou odchylkou platí vztah:

$$V_x = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100 \quad \%$$

4.2 Boxplotový diagram

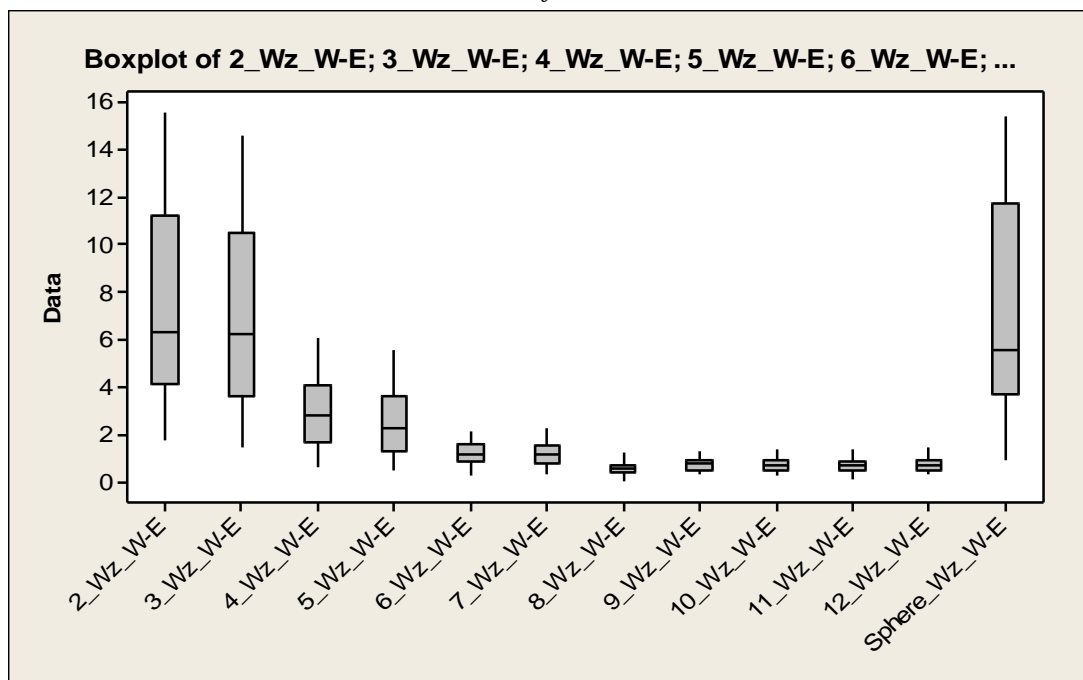
Parametr vlnitosti W_a ve směru W-E

Graf 4.1



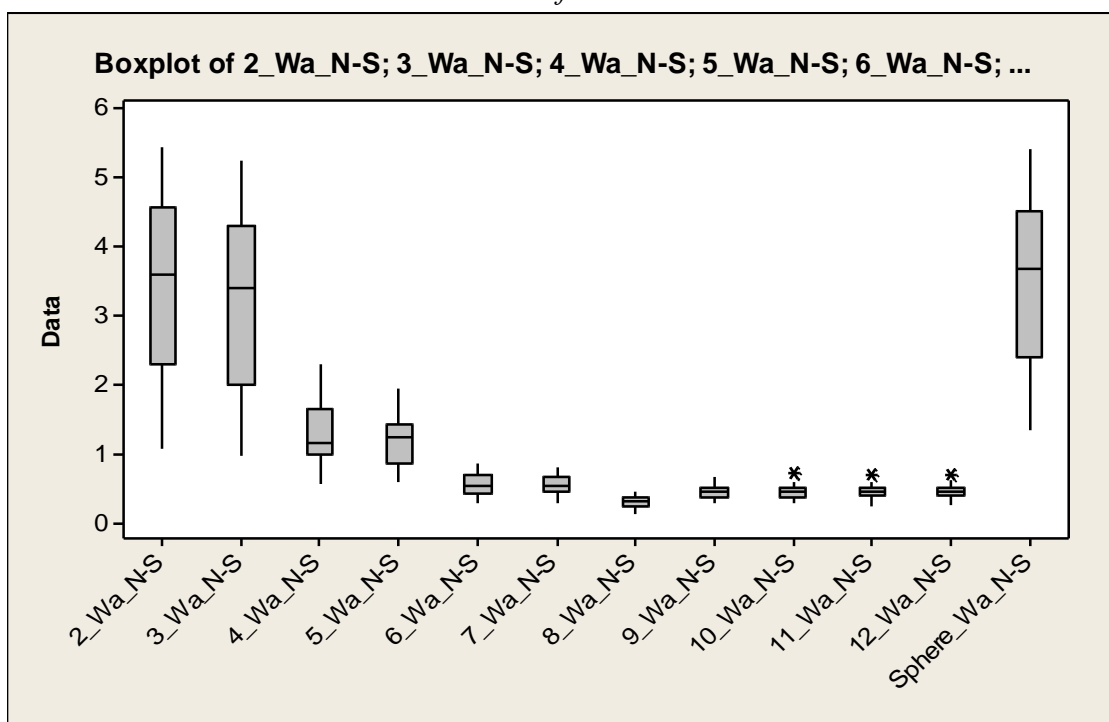
Parametr vlnitosti W_z ve směru W-E

Graf 4.2



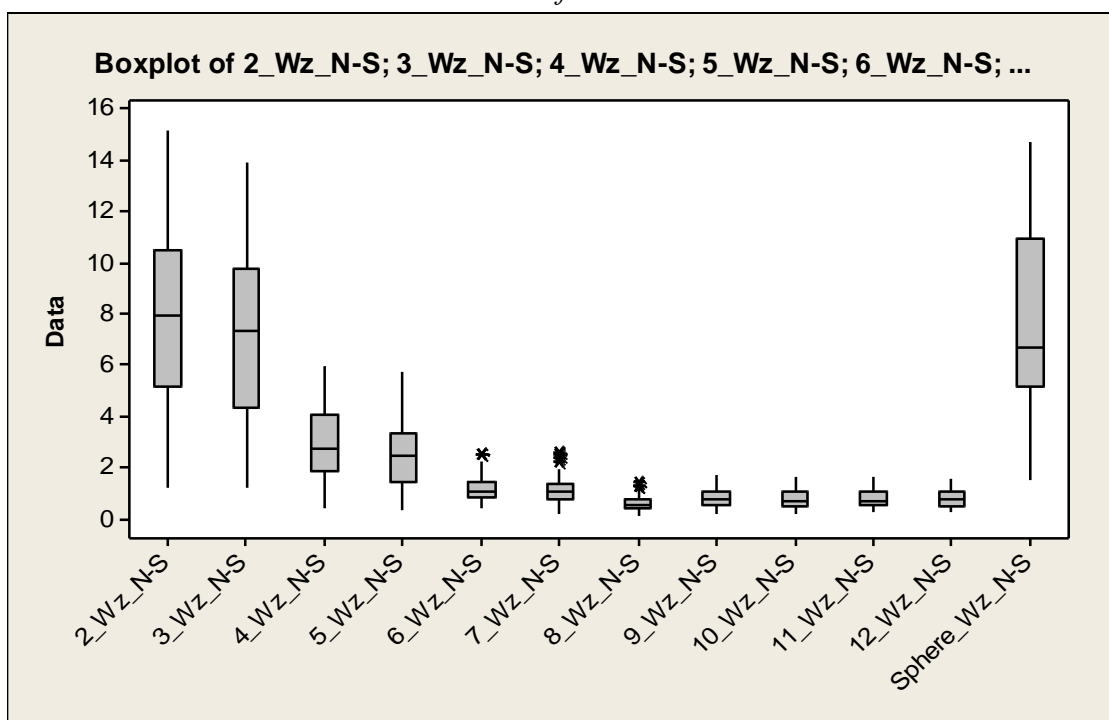
Parametr vlnitosti Wa ve sm ru N-S

Graf 4.3



Parametr vlnitosti Wz ve sm ru N-S

Graf 4.4

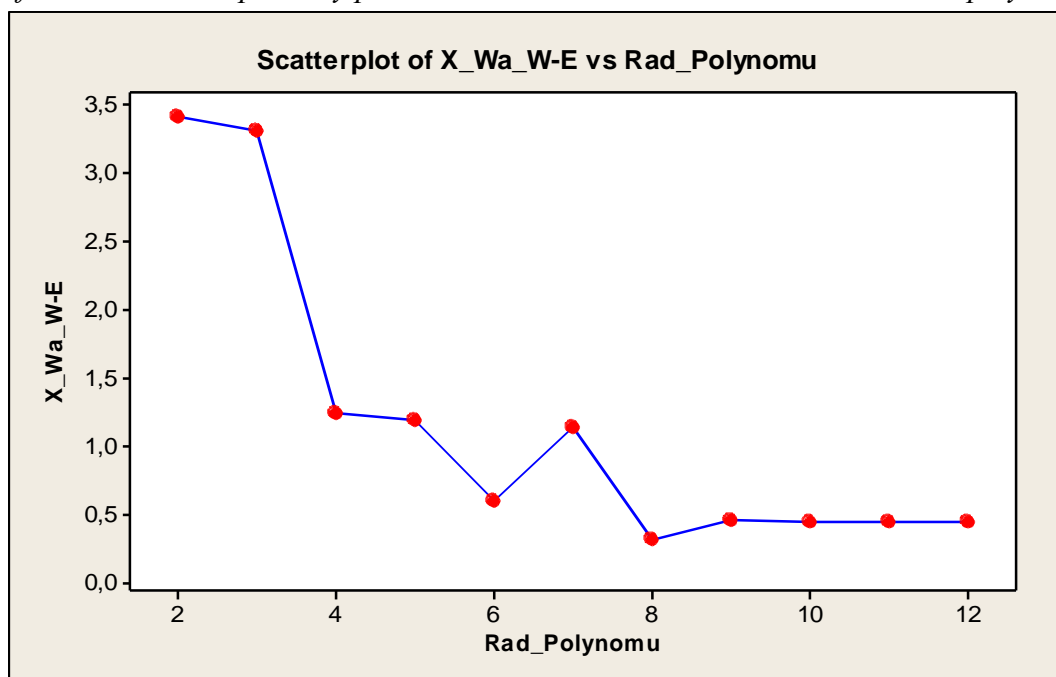


4.3 Aritmetický průměr

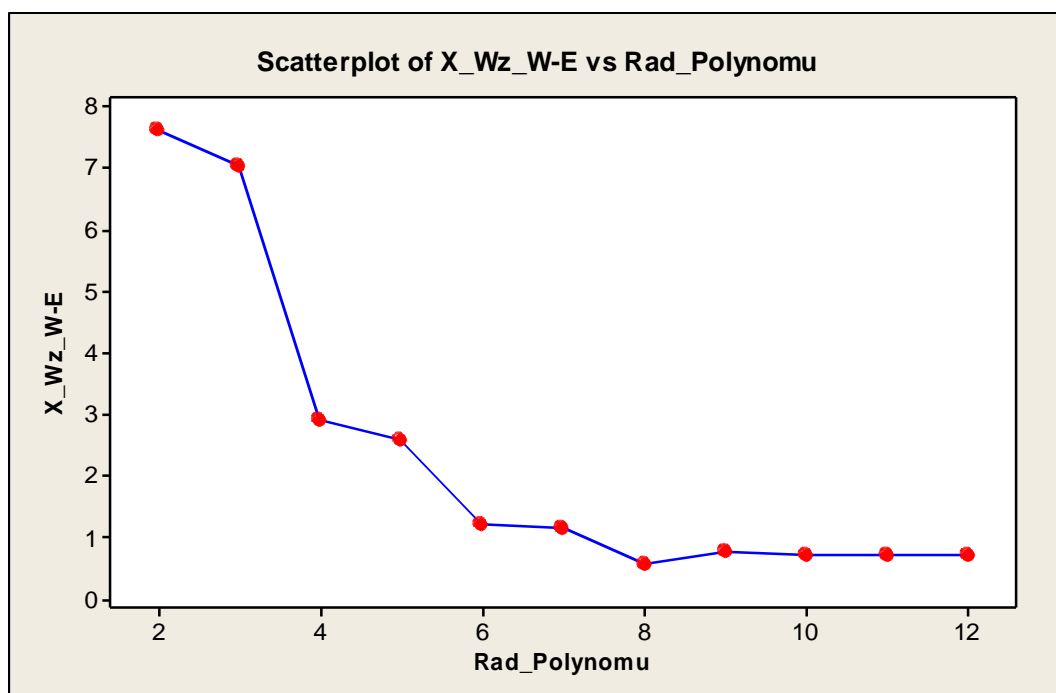
Tab. 20 Aritmetické průměry parametrů W_a a W_z

řád polynomu	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X_Wa_W-E	3,398	3,304	1,238	1,1843	0,5871	1,1382	0,3106	0,4544	0,4433	0,4403	0,4359
X_Wz_W-E	7,61	7,017	2,894	2,567	1,2077	1,1382	0,5714	0,757	0,7146	0,7084	0,708
X_Wa_N-S	3,47	3,243	1,2586	1,1746	0,5533	0,5428	0,2964	0,4426	0,4342	0,4332	0,4296
X_Wz_N-S	8,051	7,263	2,981	2,611	1,1904	1,1248	0,6082	0,8116	0,783	0,7965	0,7706

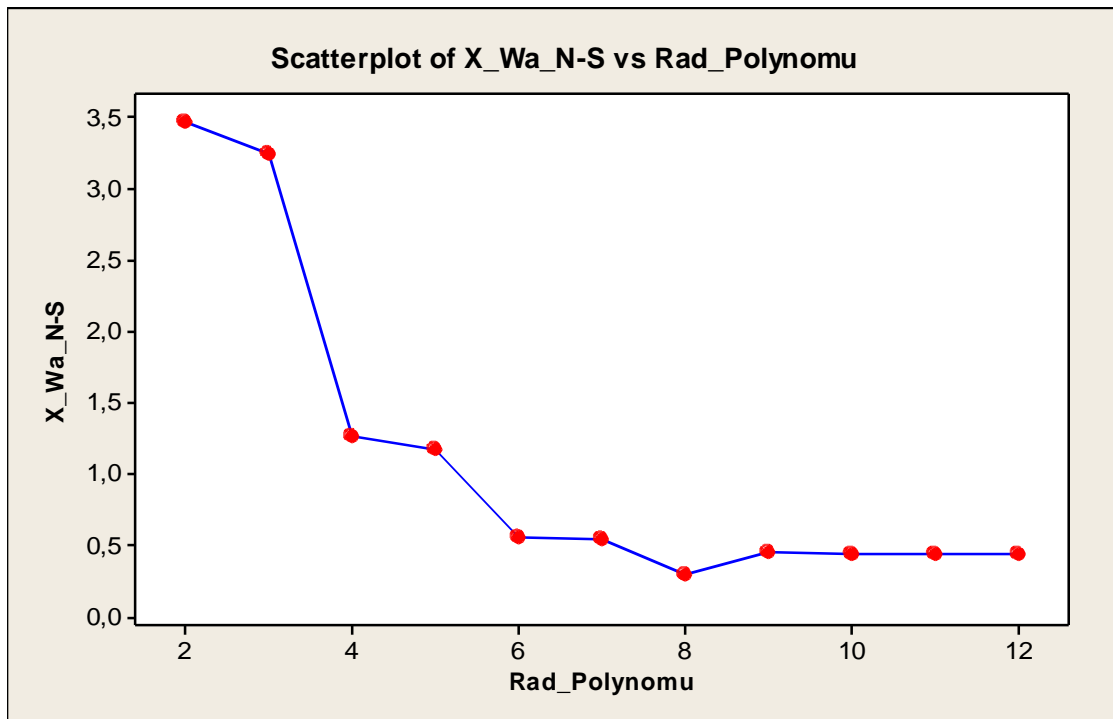
Graf 4.5 Aritmetické průměry parametru vlnitosti W_a ve směru W-E, dle řádu polynomu.



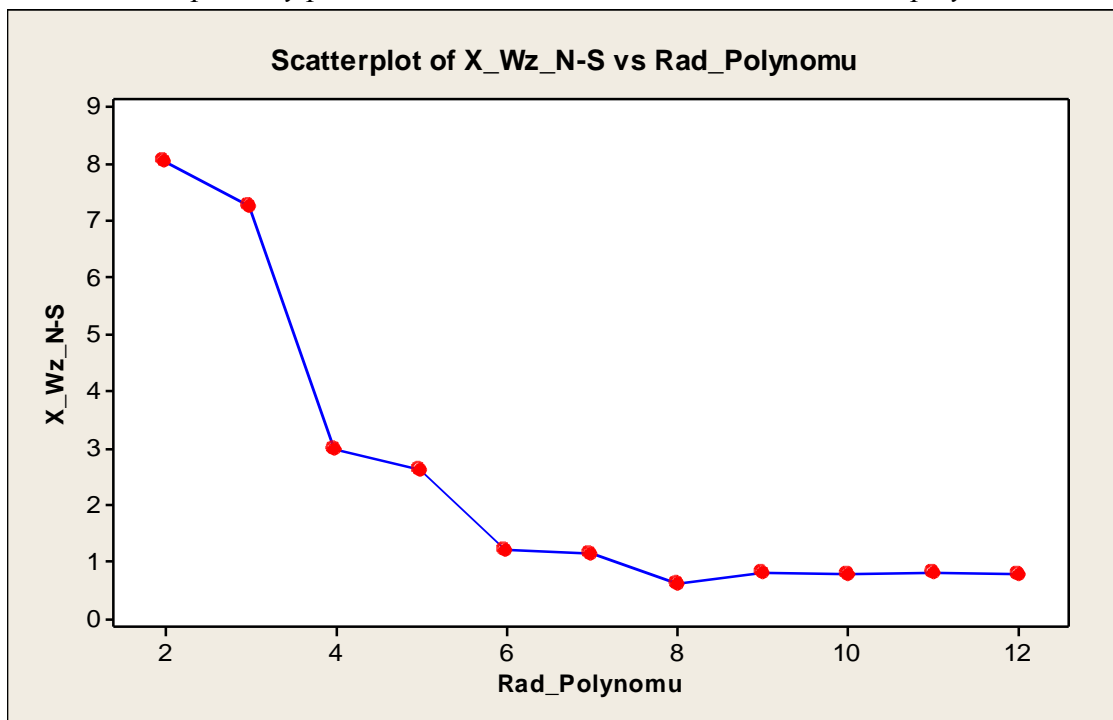
Graf 4.6 Aritmetické průměry parametru vlnitosti W_z ve směru W-E, dle řádu polynomu.



Graf 4.7 Aritmetické průměry parametru vlnitosti W_a ve směru N-S, dle řádu polynomu.



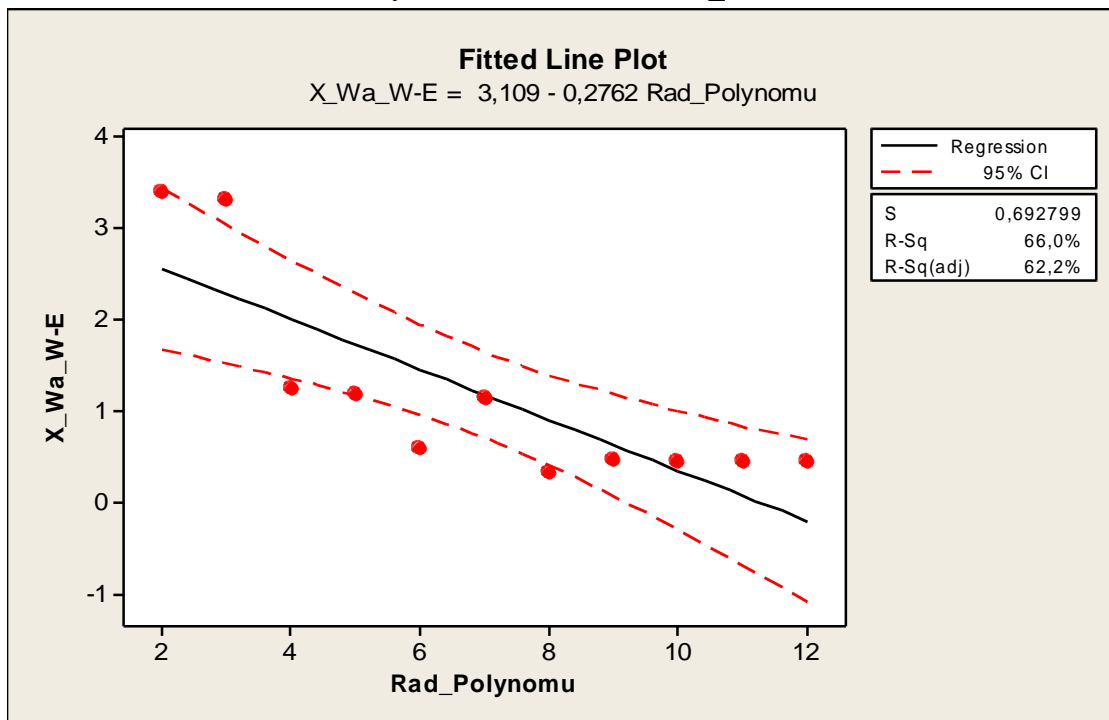
Graf 4.8 Aritmetické průměry parametru vlnitosti W_z ve směru N-S, dle řádu polynomu.



4.4 Regresní analýza

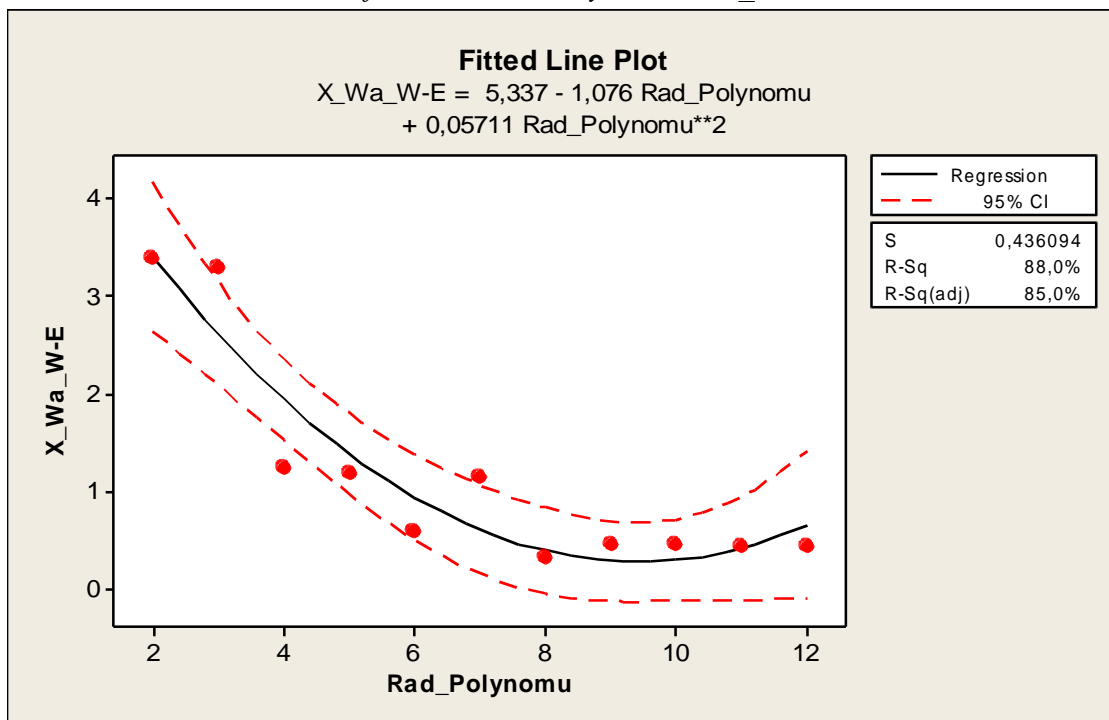
Regresní analýza pro aritmetický průměr W_a ve směru W-E

Graf 4.9 Lineární model W_a W-E



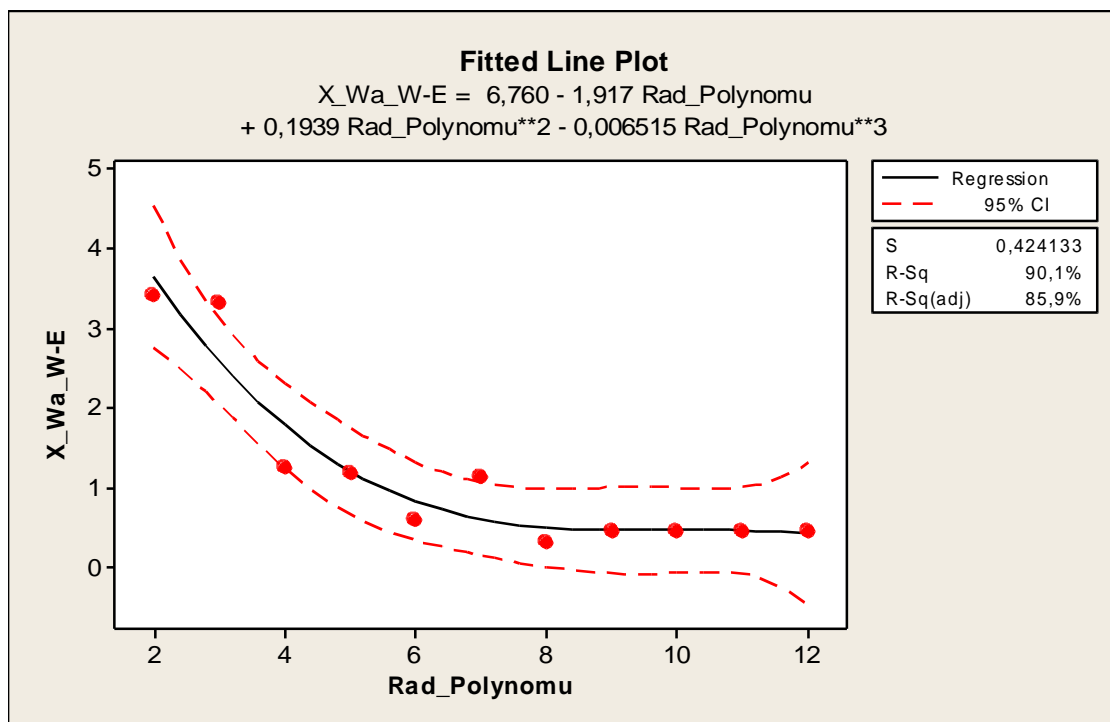
Hodnota R-Sq(adj) pro lineární model = 62,2 %

Graf 4.10 Kvadratický model W_a W-E



Hodnota R-Sq(adj) pro kvadratický model = 85,0 %

Graf 4.11 Kubický model Wa_{W-E}



Hodnota R-Sq(adj) pro lineární model = 85,9 %.

U kvadratického modelu je hodnota R-Sq(adj) nejvyšší z čehož plyne že kubický model je nejpřesnější a u dalších parametrů bude počítáno pouze s ním.

Pro výpočet a odhadu regresních koeficientů se vychází ze vzorce:

$$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 + \hat{\beta}_3 x^3$$

Při řešení otázky: jaká bude průměrná hodnota parametru vlnitosti Wa ve směru W-E, při měření koule, bude-li použít polynom 13. řádu

$$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 + \hat{\beta}_3 x^3 \quad \text{kde } x = 0 = \text{řád polynomu } 13$$

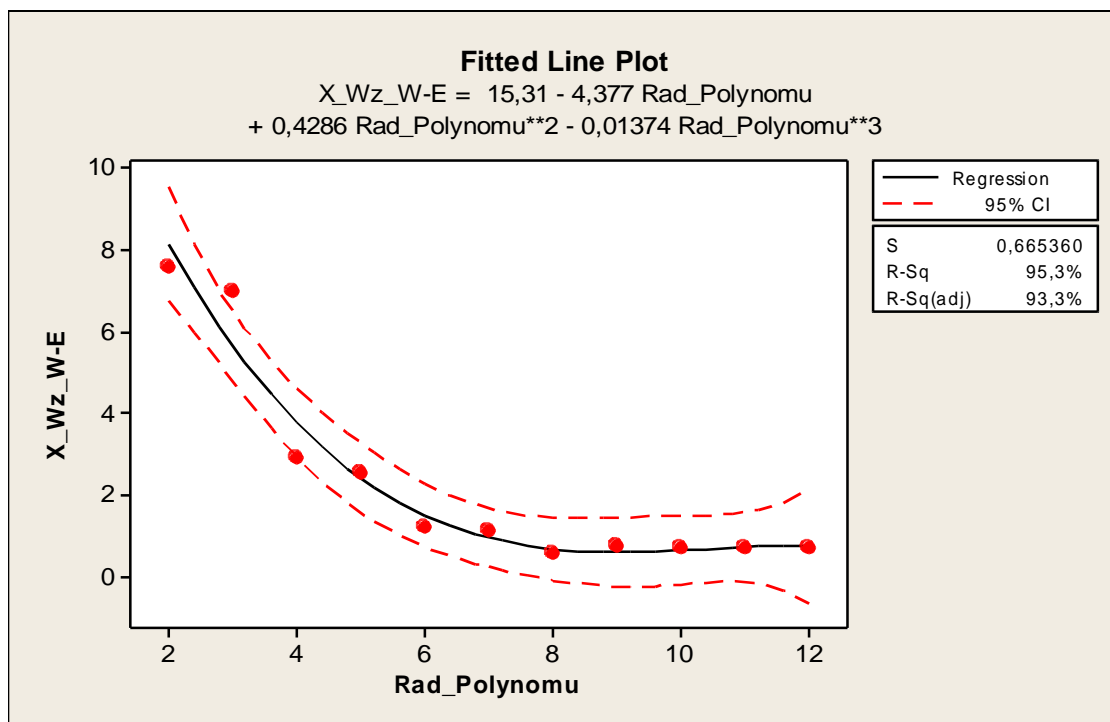
$$\bar{X}_{Wa(W-E)} = 6,76 - 1,917 \cdot 0 + 0,1939 \cdot 0^2 - 0,006515 \cdot 0^3$$

$$\bar{X}_{Wa(W-E)} = 6,76 - 1,917 \cdot 13 + 0,1939 \cdot 13^2 - 0,006515 \cdot 13^3 = 0,294645$$

Dle výpočtu nabývá aritmetický průměr $\bar{X}_{Wa(W-E)}$ pro polynom 13. řádu hodnotu 0,294645. Stejným způsobem lze vypočítat hodnotu aritmetického průměru pro libovolný řád polynomu.

Regresní analýza pro aritmetický průměr W_z ve směru W-E

Graf 4.12 Kubický model W_z W-E



Výpočet odhadu regresních koeficientů :

$$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 + \hat{\beta}_3 x^3$$

Při řešení otázky: jaká bude průměrná hodnota parametru vlnitosti W_z ve směru W-E, při měření koule, bude-li použít polynom 13. řádu

$$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 + \hat{\beta}_3 x^3 \quad \text{kde } x = 0 = \text{řád polynomu 13}$$

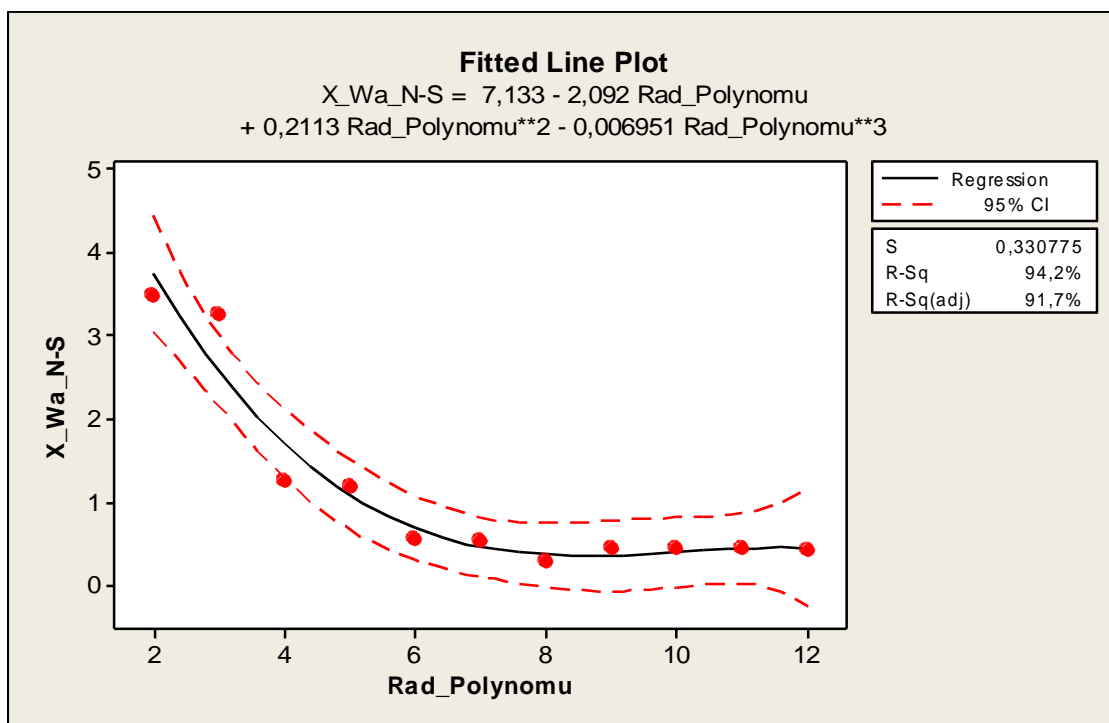
$$\bar{X}_{Wz(W-E)} = 15,31 - 4,377 \cdot 0 + 0,4286 \cdot 0^2 - 0,01374 \cdot 0^3$$

$$\bar{X}_{Wz(W-E)} = 15,31 - 4,377 \cdot 13 + 0,4286 \cdot 13^2 - 0,01374 \cdot 13^3 = 0,65562$$

Dle výpočtu nabývá aritmetický průměr $\bar{X}_{Wz(W-E)}$ pro polynom 13. řádu hodnotu 0,65562.

Regresní analýza pro aritmetický průměr W_a ve směru N-S

Graf 4.13 Kubický model W_a - W - E



Výpočet odhadu regresních koeficientů :

$$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 + \hat{\beta}_3 x^3$$

Při řešení otázky: jaká bude průměrná hodnota parametru vlnitosti W_a ve směru N-S, při měření koule, bude-li použít polynom 13. řádu

$$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 + \hat{\beta}_3 x^3 \quad \text{kde } x = 0 = \text{řád polynomu } 13$$

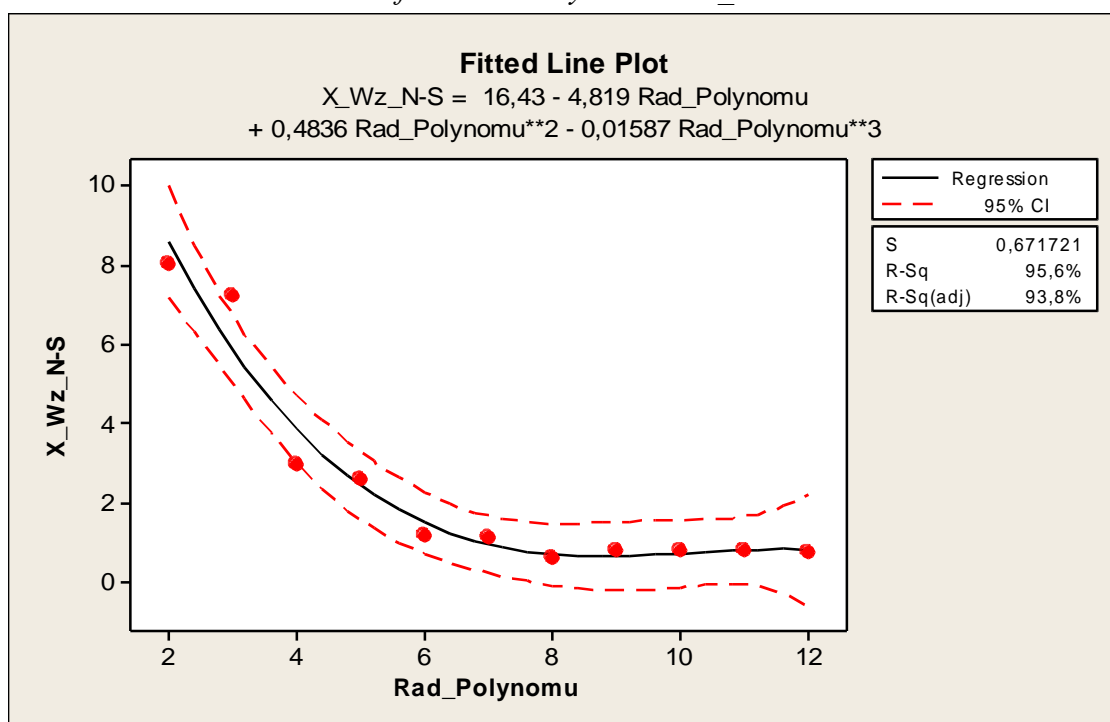
$$\bar{X}_{W_a(N-S)} = 7,133 - 2,092 \cdot 0 + 0,2113 \cdot 0^2 - 0,006951 \cdot 0^3$$

$$\bar{X}_{W_a(N-S)} = 7,133 - 2,092 \cdot 13 + 0,2113 \cdot 13^2 - 0,006951 \cdot 13^3 = 0,375353$$

Dle výpočtu nabývá aritmetický průměr $\bar{X}_{W_a(N-S)}$ pro polynom 13. řádu hodnotu 0,375353.

Regresní analýza pro aritmetický průměr W_z ve směru N-S

Graf 4.14 Kubický model W_z N-S



Výpočet odhadu regresních koeficientů :

$$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 + \hat{\beta}_3 x^3$$

Při řešení otázky: jaká bude průměrná hodnota parametru vlnitosti W_z ve směru N-S, při změně koule, bude-li použít polynom 13. řádu

$$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 x^2 + \hat{\beta}_3 x^3 \quad \text{kde } x = 0 = \text{řád polynomu } 13$$

$$\bar{X}_{Wz(N-S)} = 16,43 - 4,819 \cdot 0 + 0,4836 \cdot 0^2 - 0,01587 \cdot 0^3$$

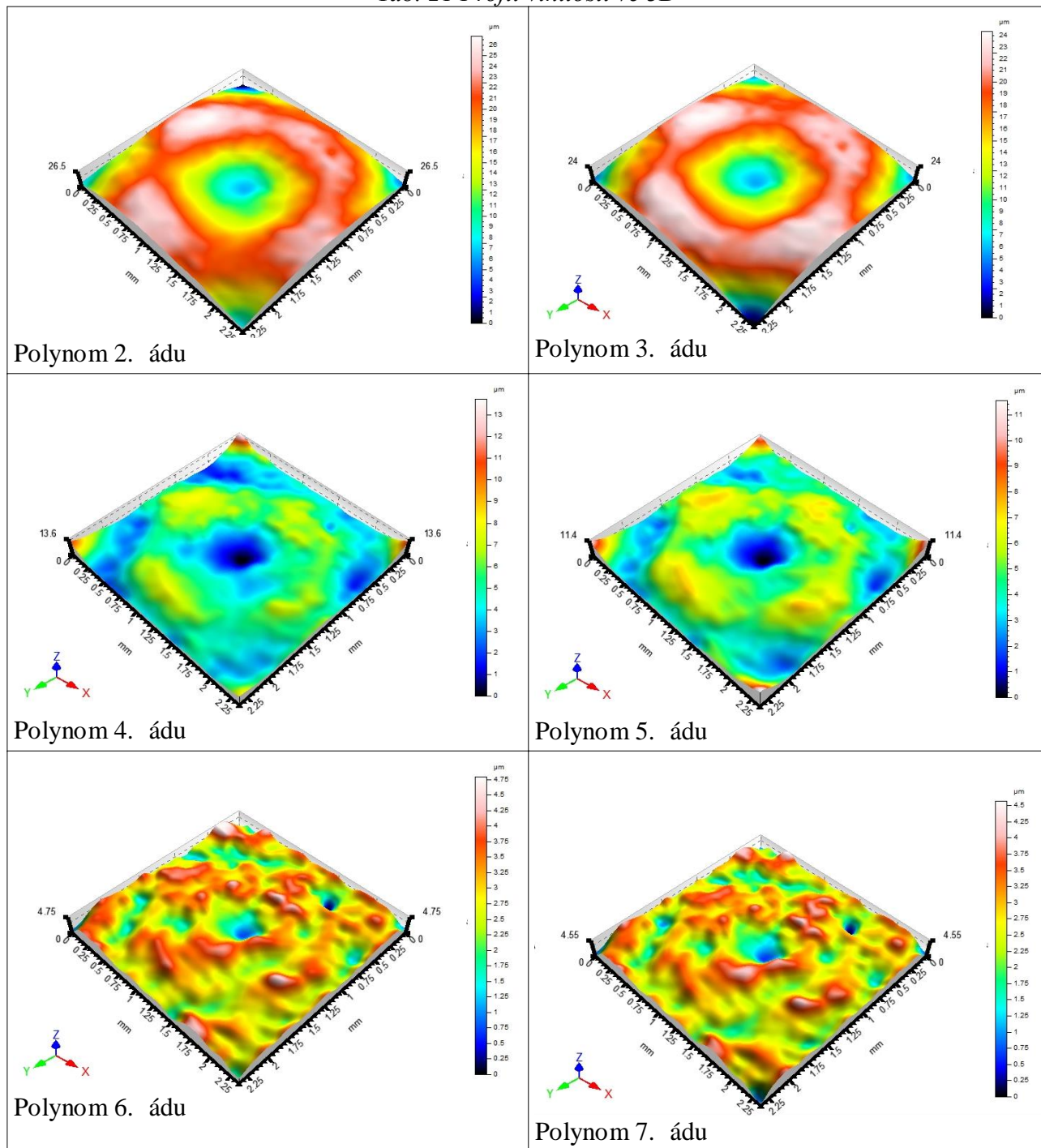
$$\bar{X}_{Wz(N-S)} = 16,43 - 4,819 \cdot 13 + 0,4836 \cdot 13^2 - 0,01587 \cdot 13^3 = 0,64501$$

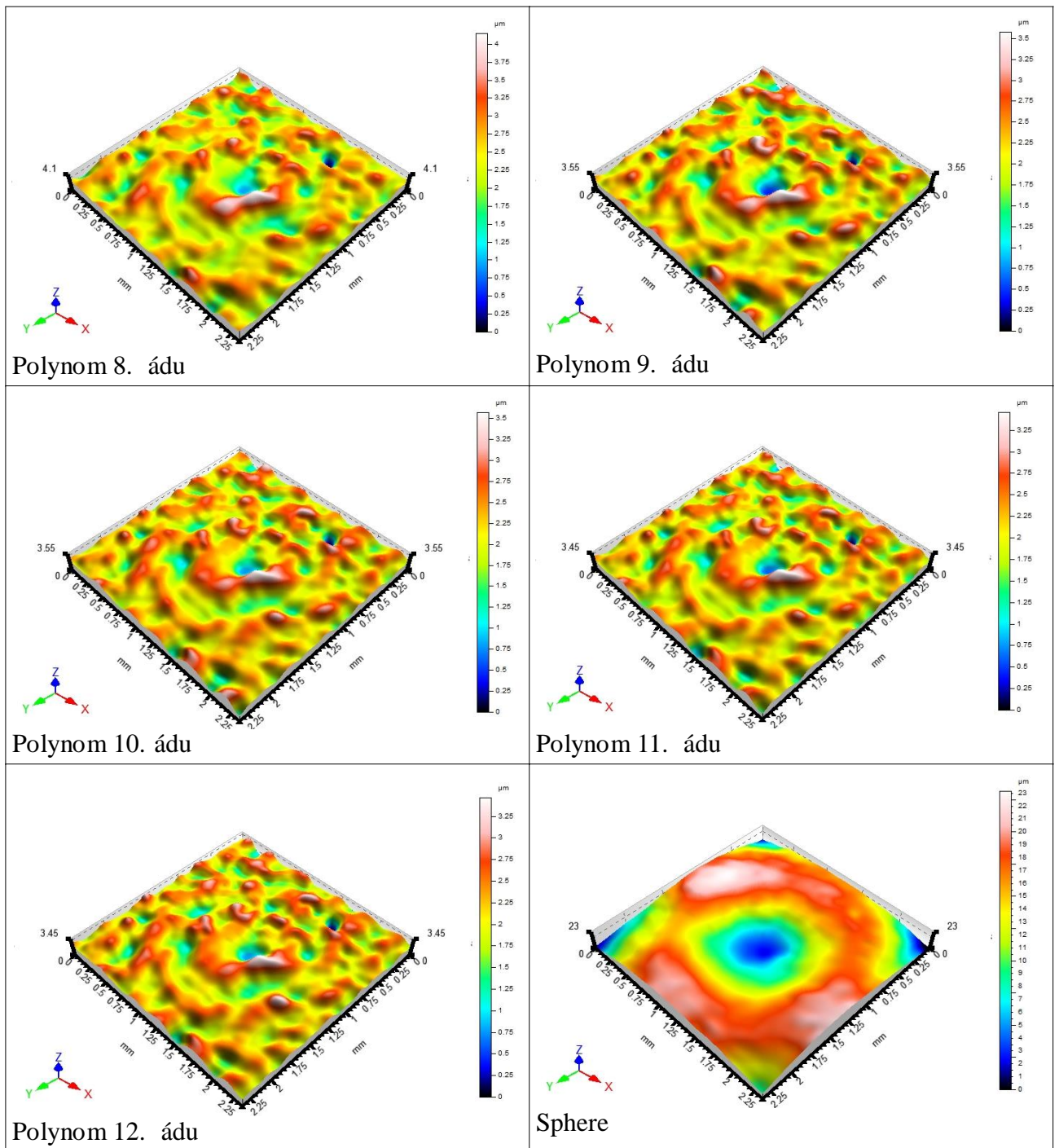
Dle výpočtu nabývá aritmetický průměr $\bar{X}_{Wz(N-S)}$ pro polynom 13. řádu hodnotu 0,375353.

4.5 Profil vlnitosti

V Tab. 21 jsou znázorněny profily vlnitosti pro jednotlivé řádky polynomu a pro Sphere. Na první pohled je zde vidět, že se profil v závislosti na řádku polynomu mění. Lze říci, že oproti profilu drsnosti, kde nebyly změny tak zřetelné, má řádek polynomu na profil vlnitosti velmi velký vliv.

Tab. 21 Profil vlnitosti ve 3D





5. ZÁVĚREČNÉ ZHODNOCENÍ DAT

V této kapitoly jsou vyhodnoceny data pomocí testu normality, F testu a T testu.

Test normality

Vypovídající hodnotu má P hodnota dle které vyhodnocujeme test. Výsledky test jsou uvedeny v příloze 4.

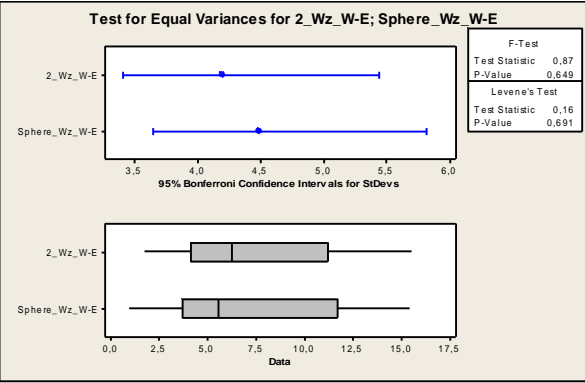
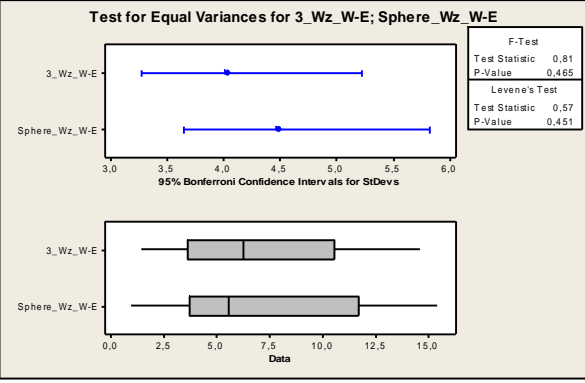
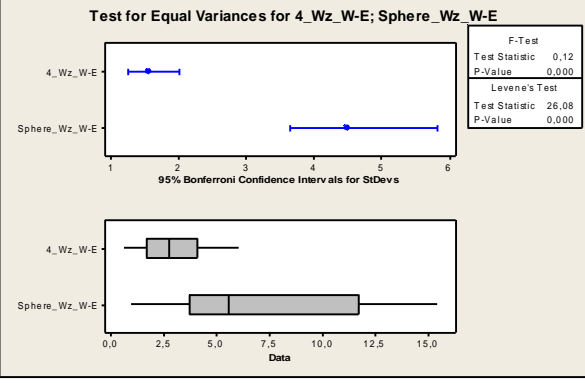
F- test

Vypovídající hodnotu má P hodnota dle které vyhodnocujeme test.

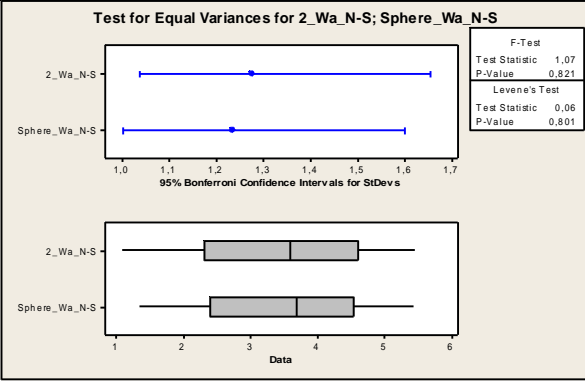
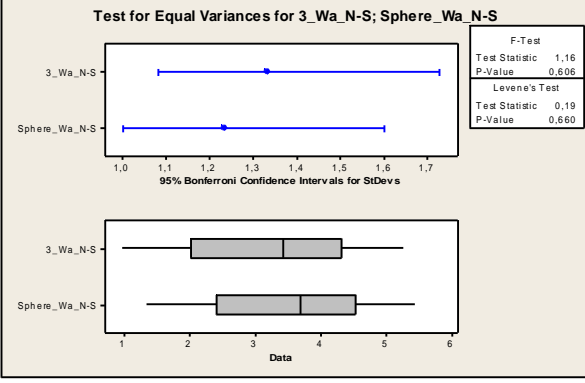
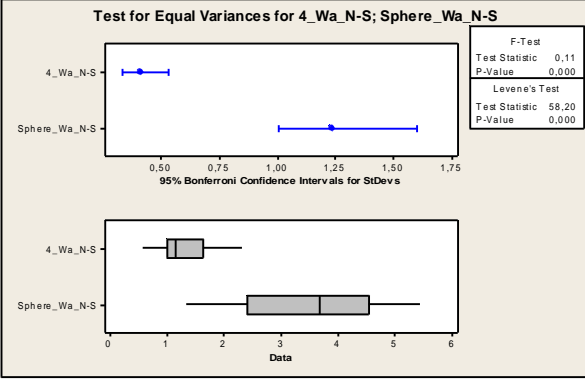
Tab.22 F-test pro parametry Wa ve směru $W-E$ x $Sphere_Wa_W-E$

Hypotézy	P-hodnota	Graf	Vyhodnocení
$H_0: \sigma_{2_Wa_W-E} = \sigma_{Sphere_Wa_W-E}$ $H_A: \text{NON}$ $1 - \alpha = 0,95$	0,545		Nezamítám fle rozptyl souboru 2_Wa_W-E a Sphere_Wa_W-E se li-í pouze náhodou s možností omylu 5%
$H_0: \sigma_{3_Wa_W-E} = \sigma_{Sphere_Wa_W-E}$ $H_A: \text{NON}$ $1 - \alpha = 0,95$	0,524		Nezamítám fle rozptyl souboru 3_Wa_W-E a Sphere_Wa_W-E se li-í pouze náhodou s možností omylu 5%
$H_0: \sigma_{4_Wa_W-E} = \sigma_{Sphere_Wa_W-E}$ $H_A: \text{NON}$ $1 - \alpha = 0,95$	0,000		Zamítám fle rozptyl souboru 4_Wa_W-E a Sphere_Wa_W-E se li-í pouze náhodou s možností omylu 5%

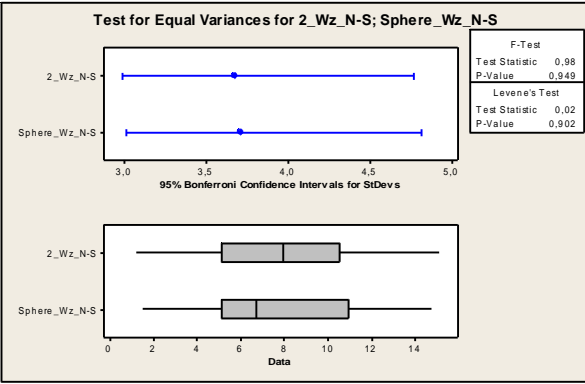
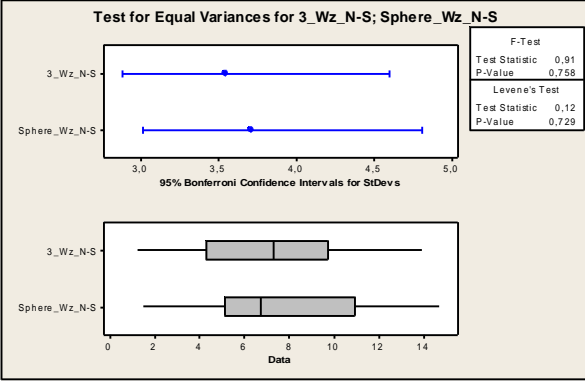
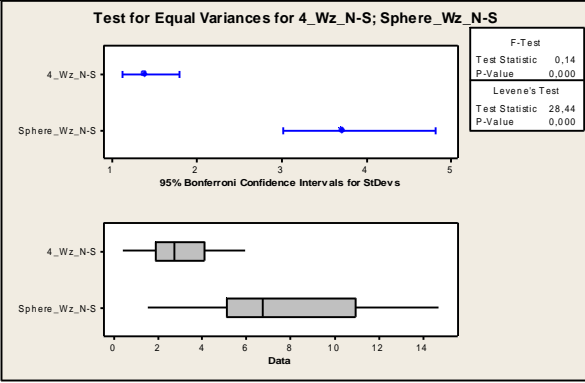
Tab.23 F-test pro parametry Wz ve směru W-E x Sphere_Wz_W-E

Hypotézy	P-hodnota	Graf	Vyhodnocení
$H_0: 2_{Wz_W-E} = Sphere_Wz_W-E$ $H_A: NON$ $1- = 0,95$	0,649		Nezamítám fle rozptyl souboru 2_Wz_W-E a Sphere_Wz_W-E se li-í pouze náhodou s mořností omylu 5%
$H_0: 3_{Wz_W-E} = Sphere_Wz_W-E$ $H_A: NON$ $1- = 0,95$	0,465		Nezamítám fle rozptyl souboru 3_Wz_W-E a Sphere_Wz_W-E se li-í pouze náhodou s mořností omylu 5%
$H_0: 4_{Wz_W-E} = Sphere_Wz_W-E$ $H_A: NON$ $1- = 0,95$	0,000		Zamítám fle rozptyl souboru 4_Wz_W-E a Sphere_Wz_W-E se li-í pouze náhodou s mořností omylu 5%

Tab.24 F-test pro parametry Wa ve směru $N-S$ x $Sphere_Wa_N-S$

Hypotézy	P -hodnota	Graf	Vyhodnocení
$H_0: \sigma_{2_Wa_N-S} = \sigma_{Sphere_Wa_N-S}$ $H_A: \text{NON}$ $1 - \alpha = 0,95$	0,821		<p>Nezamítám H_0 rozptyl souboru 2_Wa_N-S a Sphere_Wa_N-S se li-í pouze náhodou s možností omylu 5%</p>
$H_0: \sigma_{3_Wa_N-S} = \sigma_{Sphere_Wa_N-S}$ $H_A: \text{NON}$ $1 - \alpha = 0,95$	0,606		<p>Nezamítám H_0 rozptyl souboru 3_Wa_N-S a Sphere_Wa_N-S se li-í pouze náhodou s možností omylu 5%</p>
$H_0: \sigma_{4_Wa_N-S} = \sigma_{Sphere_Wa_N-S}$ $H_A: \text{NON}$ $1 - \alpha = 0,95$	0,000		<p>Zamítám H_0 rozptyl souboru 4_Wa_N-S a Sphere_Wa_N-S se li-í pouze náhodou s možností omylu 5%</p>

Tab.25 F-test pro parametry Wz ve směru N-S x Sphere _Wz_N-S

Hypotézy	P-hodnota	Graf	Vyhodnocení
$H_0: 2_Wz_N-S = Sphere_Wz_N-S$ $H_A: NON$ $1- = 0,95$	0,949		<p>Nezamítám fle rozptyl souboru 2_Wz_N-S a Sphere_Wz_N-S se li-í pouze náhodou s moflností omylu 5%</p>
$H_0: 3_Wz_N-S = Sphere_Wz_N-S$ $H_A: NON$ $1- = 0,95$	0,758		<p>Nezamítám fle rozptyl souboru 3_Wz_N-S a Sphere_Wz_N-S se li-í pouze náhodou s moflností omylu 5%</p>
$H_0: 4_Wz_N-S = Sphere_Wz_N-S$ $H_A: NON$ $1- = 0,95$	0,000		<p>Zamítám fle rozptyl souboru 4_Wz_N-S a Sphere_Wz_N-S se li-í pouze náhodou s moflností omylu 5%</p>

T- test

Vypovídající hodnotu má P hodnota dle které vyhodnocujeme test.

Tab.26 T-test pro parametry Wa ve směru W-E x Sphere _Wz_W-E

Hypotézy	P- hodnota	Vyhodnocení
$H_0: \mu_{2_Wa_W-E} = \mu_{Sphere_Wa_W-E}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,964	P hodnota je v t-í nejl 0,05, proto nezamítám nulovou hypotézu H_0
$H_0: \mu_{3_Wa_W-E} = \mu_{Sphere_Wa_W-E}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,685	P hodnota je v t-í nejl 0,05, proto nezamítám nulovou hypotézu H_0
$H_0: \mu_{4_Wa_W-E} = \mu_{Sphere_Wa_W-E}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,000	P hodnota je nulová, tj. men-í nejl 0,05, proto zamítám nulovou hypotézu H_0

Tab.27 T-test pro parametry Wz ve směru W-E x Sphere _Wz_W-E

Hypotézy	P- hodnota	Vyhodnocení
$H_0: \mu_{2_z_W-E} = \mu_{Sphere_Wz_W-E}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,665	P hodnota je v t-í nejl 0,05, proto nezamítám nulovou hypotézu H_0
$H_0: \mu_{3_Wz_W-E} = \mu_{Sphere_Wz_W-E}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,811	P hodnota je v t-í nejl 0,05, proto nezamítám nulovou hypotézu H_0
$H_0: \mu_{4_Wz_W-E} = \mu_{Sphere_Wz_W-E}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,000	P hodnota je nulová, tj. men-í nejl 0,05, proto zamítám nulovou hypotézu H_0

Tab.28 T-test pro parametry W_a ve směru N-S x Sphere $_Wz_N-S$

Hypotézy	P- hodnota	Vyhodnocení
$H_0: \mu_{2_Wa_N-S} = \mu_{Sphere_Wa_N-S}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,679	P hodnota je v t-í nejl 0,05, proto nezamítám nulovou hypotézu H_0
$H_0: \mu_{3_Wa_N-S} = \mu_{Sphere_Wa_N-S}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,206	P hodnota je v t-í nejl 0,05, proto nezamítám nulovou hypotézu H_0
$H_0: \mu_{4_Wa_N-S} = \mu_{Sphere_Wa_N-S}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,000	P hodnota je nulová, tj. men-í nejl 0,05, proto zamítám nulovou hypotézu H_0

Tab.29 T-test pro parametry W_z ve směru N-S x Sphere $_Wz_N-S$

Hypotézy	P- hodnota	Vyhodnocení
$H_0: \mu_{2_Wz_N-S} = \mu_{Sphere_Wz_N-S}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,666	P hodnota je v t-í nejl 0,05, proto nezamítám nulovou hypotézu H_0
$H_0: \mu_{3_Wz_N-S} = \mu_{Sphere_Wz_N-S}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,535	P hodnota je v t-í nejl 0,05, proto nezamítám nulovou hypotézu H_0
$H_0: \mu_{4_Wz_N-S} = \mu_{Sphere_Wz_N-S}$ $H_A: \text{NON}$ $1- \alpha = 0,95$	0,000	P hodnota je nulová, tj. men-í nejl 0,05, proto zamítám nulovou hypotézu H_0

6. ZÁVĚR

Diplomová práce měla za své cíle, v teoretické části objasnit problematiku spojenou s bezkontaktním snímáním povrchu a vysvětlit všechny pojmy náležící do oblasti hodnocení kvality povrchu. Jednou z nezanedbatelných kapitol je problematika fraktální geometrie.

Pro následné hodnocení nasnímaných dat, v praktické části diplomové práce, bylo nutné nejprve vybrat a následně popsat vhodnou matematicko-statistickou metodu hodnocení kvality povrchu, která bude mít pro naše data dostatečnou vypovídající hodnotu.

Praktická část diplomové práce popisuje snímání zadané soustavy, konkrétně pouze kulové plochy, která je u dílu funkční. Pro snímání byl zvolen a použit měřicí přístroj Talysurf CLI 500, který je k dispozici v laboratořích technologické fakulty. Při práci s nasnímanými daty bylo použito softwaru TalyMap Gold, ve kterém byla data rozložena na jednotlivé parametry drsnosti a vlnitosti. Po rozložení byly jednotlivé hodnoty nahrazeny polynomem 2. a 12. stupně a nakonec speciální transformací Sphere, určenou k hodnocení kulových ploch.

Hlavním úkolem praktické části diplomové práce bylo zjistit závislost stupně polynomu na jednotlivé parametry drsnosti a vlnitosti. Jednotlivé parametry bylo nutno porovnat s transformací Sphere a tím určit kolikátým stupněm polynomu lze tuto transformaci nahradit.

Porovnání dat bylo v závěrečné kapitole provedeno pomocí testu normality, F- testu a T- testu. Tyto testy hypotéz určily, že místo transformace Sphere lze použít polynom 2. stupně nebo popřípadě polynom 3. stupně ovšem s menší spolehlivostí, z čehož odvozuje nižší P-hodnoty.

SEZNAM POUŽITÉ LITERARY

- [1] SN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [2] ECH, Jaroslav. *Strojírenská metrologie*. 4. přeprac. vyd., 2. v nakl. CERM. Brno, 2005, 176 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-3070-2
- [3] NOVÁK, Zdeněk. Zvyšování kvality hodnoty struktury povrchu MM Průmyslové spektrum [online]. 2004, ročník 2004, číslo 12 [cit. 2014-02-17]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zvysovani-kvality-hodnoceni-struktury-povrchu-2.html>
- [4] SN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. 1999: Český normalizační institut, 1999.
- [5] Dotykové, nebo bezdotykové měření struktury povrchu?. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: SEND P edplatiné s.r.o, 2005, ročník 2005, číslo 6 [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dotykovne-nebo-bezdotykovne-mereni-struktury-povrchu.html>
- [6] NOVÁK, Zdeněk. PROSTOROVÉ MĚŘENÍ A HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU PŘÍSTROJI TAYLOR HOBSON Ltd. [online]. [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf
- [7] TAYLOR HOBSON. *Talysurf CLI: 3D profilometry*. 2004. Dostupné z: http://www.fdi.hu/cli_systems.pdf
- [8] CCI HD: HD-3D optické měření profilu povrchu a tloušťky vrstev. In: *Taylor Hobson* [online]. 2013 [cit. 2014-04-03]. Dostupné z: [http://www.imeco-th.cz/img/files/CCI_HD_low150dpi\(CZ\).pdf](http://www.imeco-th.cz/img/files/CCI_HD_low150dpi(CZ).pdf)
- [9] TAYLOR HOBSON LTD. *Program TalyMap: Nejmodernější software pro 2D, 3D a 4D povrchové analýzy*. 2008. Dostupné z: http://www.imeco-th.cz/img/files/Taly_map_cz_low.pdf
- [10] NOVÁK, Zdeněk. Interferometrická měření v nanometrologii. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: SEND P edplatiné s.r.o, 2010, ročník 2010, číslo 10 [cit. 2014-03-03]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/interferometricka-mereni-v-nanometrologii.html>
- [11] ARTLOVÁ, Markéta a Josef ARTL. Grafické metody analýzy ekonomických časových řad. *Statistika*. Praha: Český statistický úřad, 1995, číslo 32, s. 483-493. Dostupné z: http://nb.vse.cz/~arlt/publik/AA_GMAECCR_95.pdf
- [12] HANÁČKOVÁ, Jana a Lubor TVRDÝ. VUT OSTRAVY. *Úvod do analýzy časových řad*. 2003, 34 s. Dostupné z: http://gis.vsb.cz/pan-old/Skoleni_Texty/TextySkoleni/AnalyzaCasRad.pdf
- [13] SOONG, T. *Fundamentals of probability and statistics for engineers*. Hoboken, NJ: John Wiley, c2004, xiv, 391 p. ISBN 04-708-6814-7.
- [14] BUDÍKOVÁ, Marie. MASARYKOVA UNIVERZITA. *Statistika II*. Brno, 2006. Dostupné z: http://econ.muny.cz/data/PMSTII/PMSTII_dso.pdf
- [15] SN ISO 3534-1. *Statistika-slovník a značky: Část 1-Pravděpodobnost a obecné statistické termíny*. 1994. vyd. Praha: Český normalizační institut, 1994.

- [16] MELOUN, Milan. *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD*. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4
- [17] MILDE, David. Analýza rozptylu. In: *Web katedry analytické chemie UP v Olomouci* [online]. 2011 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://ach.upol.cz/user-files/intranet/09-anova-2011-1320420399.pdf>
- [18] BARNSLEY, Michael F. *Fractals everywhere*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1993, 531 s. ISBN 01-207-9069-6
- [19] VAN URA, Jiří. *Fraktály* [online]. 2006 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.fractals.webz.cz/>
- [20] HOTA, Vlastimil. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI. *Fraktální geometrie* [online]. 2009, 2011 [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: <http://www.ksr.tul.cz/fraktaly/index.html>
- [21] JINDIČKA, Martina Bevářová (ed. *Historie matematiky: 29. mezinárodní konference : Velké Meziříčí, 22.8.-26.8.2008*. 1. vyd. Praha: Matfyzpress, 2008. ISBN 978-807-3780-487
- [22] *Citace.com* [online]. 2004, 2014 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.citace.com/>

SEZNAM OBRÁZK

Teoretická část

Obr.: 1.1 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [1]

Obr. 1.2 Profil povrchu [1]

Obr. 1.3 Prvek profilu [1]

Obr. 1.4 Místní sklon [1]

Obr. 1.5 Největší výška profilu Rz [2]

Obr. 1.6 Průměrná výška prvků profilu [2]

Obr. 1.7 Celová výška profilu Rt [2]

Obr. 1.8 Aritmetická úchylka Ra [2]

Obr.1.9 Průměrná šířka RSm [2]

Obr. 1.10 Křivka materiálového poměru [1]

Obr. 2.1 Měřicí přístroj Talysurf CLI 500 [7]

Obr. 2.2 VGA technologie, rozlišení 640x480 [8]

Obr. 2.3 CCI HD rozlišení 2048x2048 [8]

Obr. 2.4 CLA snímač [7]

Obr. 2.5 Laserový snímač [7]

Obr. 2.6 Prostorové (3D) zobrazení profilu povrchu s barevným rozlišením výšek [10]

Obr. 3.1 Konstrukce Boxplotového diagramu [14]

Obr. 3.2 Kochova křivka a Kochova vložka [19]

Obr. 3.3 Voštinová struktura [20]

Obr. 3.4 Konstrukce Cantorovy množiny [20]

Obr. 3.5 Konstrukce Sierpinského těsnění [20]

Obr. 3.6 Pokrývající dimenze [20]

Praktická část

Obr. 1.1 Snímaná kulové plochy

Obr.1.2 Model snímané plochy

Obr. 2.1 Talysurf CLI 500

Obr. 2.2 Nasnímaný povrch- tvar, drsnost, vlnitost

SEZNAM VZORC

- (1.1) Aritmetická úchylka R_a
- (1.2) Průměr \bar{x} profilu
- (1.3) Rozdíl výšky úseku profilu
- (3.1) Prostý aritmetický průměr
- (3.2) Vážený aritmetický průměr
- (3.3) Vážený chronologický průměr
- (3.4) Rozptyl
- (3.5) Směrodatná odchylka
- (3.6) Absolutní průměrná odchylka
- (3.7) Průměrný absolutní průměrná odchylka
- (3.8) Koeficient r souvislosti
- (3.9) Průměrný koeficient r souvislosti
- (3.10) Relativní průměrná odchylka
- (3.11) Průměrný relativní průměrná odchylka
- (3.12) Korelace
- (3.13) Dvourozměrná Fourierova transformace
- (3.14) Fourierův integrál
- (3.15) Zpětná transformace
- (3.16) Diskrétní Fourierova transformace
- (3.17) Inverze
- (3.18) Fisherův-Snedecorův F -test - Nulová hypotéza
- (3.19) Fisherův-Snedecorův F -test - Alternativní H_A
- (3.20) Fisherův-Snedecorův F -test - Testovací kritérium
- (3.21) Modifikovaný Fisherův-Snedecorův F -test
- (3.22) T -test o testovací statistika
- (3.23) Jednofaktorová analýza rozptylu
- (3.24) Statistická významnost
- (3.25) Součet $\sum_{i=1}^j p_i$
- (3.26) Suma čtverců odchylek od souhrnného průměru
- (3.27) Rozptyl mezi dílčími úrovněmi faktoru A
- (3.28) Odhad rozptylu chyb σ^2
- (3.29) Hypotézy
- (3.30) Testovací statistika
- (3.31) Testovací charakteristika
- (3.32) Dimenzionální Hausdorffova míra $H(E)$ množiny E

(3.33) Vyjádření dimenzionální Hausdorffova míra $H(E)$ množiny E

(3.34) Hausdorffova dimenze množin E

SEZNAM GRAF

Graf 3.1 Boxplotový diagram parametru R_a ve směru W-E

Graf 3.2 Boxplotový diagram parametru R_a ve směru N-S

Graf 3.3 Boxplotový diagram parametru R_z ve směru W-E

Graf 3.4 Boxplotový diagram parametru R_z ve směru N-S

Graf 4.1 Boxplotový diagram pro parametr vlnitosti W_a ve směru W-E

Graf 4.2 Boxplotový diagram pro parametr vlnitosti W_z ve směru W-E

Graf 4.3 Boxplotový diagram pro parametr vlnitosti W_a ve směru N-S

Graf 4.4 Boxplotový diagram pro parametr vlnitosti W_z ve směru N-S

Graf 4.5 Aritmetické průměry parametru vlnitosti W_a ve směru W-E, dle řádu polynomu.

Graf 4.6 Aritmetické průměry parametru vlnitosti W_z ve směru W-E, dle řádu polynomu.

Graf 4.7 Aritmetické průměry parametru vlnitosti W_a ve směru N-S, dle řádu polynomu.

Graf 4.8 Aritmetické průměry parametru vlnitosti W_z ve směru N-S, dle řádu polynomu.

Graf 4.9 Lineární model W_a _W-E

Graf 4.10 Kvadratický model W_a _W-E

Graf 4.11 Kubický model W_a _W-E

Graf 4.12 Kubický model W_z _W-E

Graf 4.13 Kubický model W_a _N-S

Graf 4.14 Kubický model W_z _N-S

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Kritické obory testů polohy hypotézy H_0 [16]

Tab.2 Tabulka statistických parametrů Ra ve směru $W-E$

Tab.3 V_x, X, S , Bodové diagram pro Ra_W-E

Tab.4 Tabulka statistických parametrů Rz ve směru $W-E$

Tab.5 V_x, X, S , Bodové diagram pro Rz_W-E

Tab.6 Tabulka statistických parametrů Ra ve směru $N-S$

Tab.7 V_x, X, S , Bodové diagram pro Ra_N-S

Tab.8 Tabulka statistických parametrů Rz ve směru $N-S$

Tab.9 V_x, X, S , Bodové diagram pro Rz_N-S

Tab. 10 Profil drsnosti ve 3D

Tab. 11 Fraktální dimenze

Tab.12 Tabulka statistických parametrů Wa ve směru $W-E$

Tab. 13 V_x, X, S , Bodové diagram pro Wa_W-E

Tab.14 Tabulka statistických parametrů Wz ve směru $W-E$

Tab. 15 V_x, X, S , Bodové diagram pro Wz_W-E

Tab.16 Tabulka statistických parametrů Wa ve směru $N-S$

Tab. 17 V_x, X, S , Bodové diagram pro Wa_N-S

Tab.18 Tabulka statistických parametrů Wz ve směru $N-S$

Tab. 19 V_x, X, S , Bodové diagram pro Wz_N-S

Tab. 20 Aritmetické průměry parametrů Wa a Wz

Tab. 21 Profil vlnitosti ve 3D

Tab.22 F-test pro parametry Wa ve směru $W-E$ x Sphere $_Wa_W-E$

Tab.22 F-test pro parametry Wz ve směru $W-E$ x Sphere $_Wz_W-E$

Tab.24 F-test pro parametry Wa ve směru $N-S$ x Sphere $_Wa_N-S$

Tab.25 F-test pro parametry Wz ve směru $N-S$ x Sphere $_Wz_N-S$

Tab.26 T-test pro parametry Wa ve směru $W-E$ x Sphere $_Wz_W-E$

Tab.27 T-test pro parametry Wz ve směru $W-E$ x Sphere $_Wz_W-E$

Tab.28 T-test pro parametry Wa ve směru $N-S$ x Sphere $_Wz_N-S$

Tab.29 T-test pro parametry Wz ve směru $N-S$ x Sphere $_Wz_N-S$

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Å	[-]	angstrom , $1\text{Å} = 0,1\text{ nm}$
HD	[-]	High-definition -vysoké rozlišení
atd.	[-]	a tak dále
VGA	[-]	Video Graphics Array -počítačový standard pro zobrazovací techniku
\hat{U}	[-]	suma (součet)
\int	[-]	integrál
Anova	[-]	Analysis of Variance ó analýza rozptylu
N	[-]	počet hodnot
IFS	[-]	Iteration Function System-
TEA	[-]	Time Escape Algorithms
W-E	[-]	West-East- směry západ-východ
N-S	[-]	North-south -směry sever-jih
R	[m]	parametr profilu drsnosti
W	[m]	parametr profilu vlnitosti
Mean	[-]	odhad aritmetického průměru
SE Mean	[-]	standardní chyba průměru
StDev	[-]	směrodatná odchylka
CoefVar	[-]	variační koeficient
Minimum	[-]	minimální hodnota
Q1	[-]	1. kvartil
Median	[-]	střední hodnota
Q3	[-]	3. kvartil
Maximum	[-]	maximální hodnota
Range	[-]	variační rozpětí výběrového souboru
IQR	[-]	interkvartilové rozpětí
\bar{X}	[-]	odhad aritmetického průměru
v_a	[-]	standardní chyba průměru

S	[-]	sm rodatná odchyška
V_x	[-]	varia ní koeficient
$x_{i\ MIN}$	[-]	minimální hodnota
\tilde{X}	[-]	st ední hodnota
$x_{i\ MAX}$	[-]	maximální hodnota
R	[-]	varia ní rozp tí výb rového souboru
IQR	[-]	interkvartilové rozp tí

SEZNAM P ÍLOH

P íloha 1. Výkres sou ásti

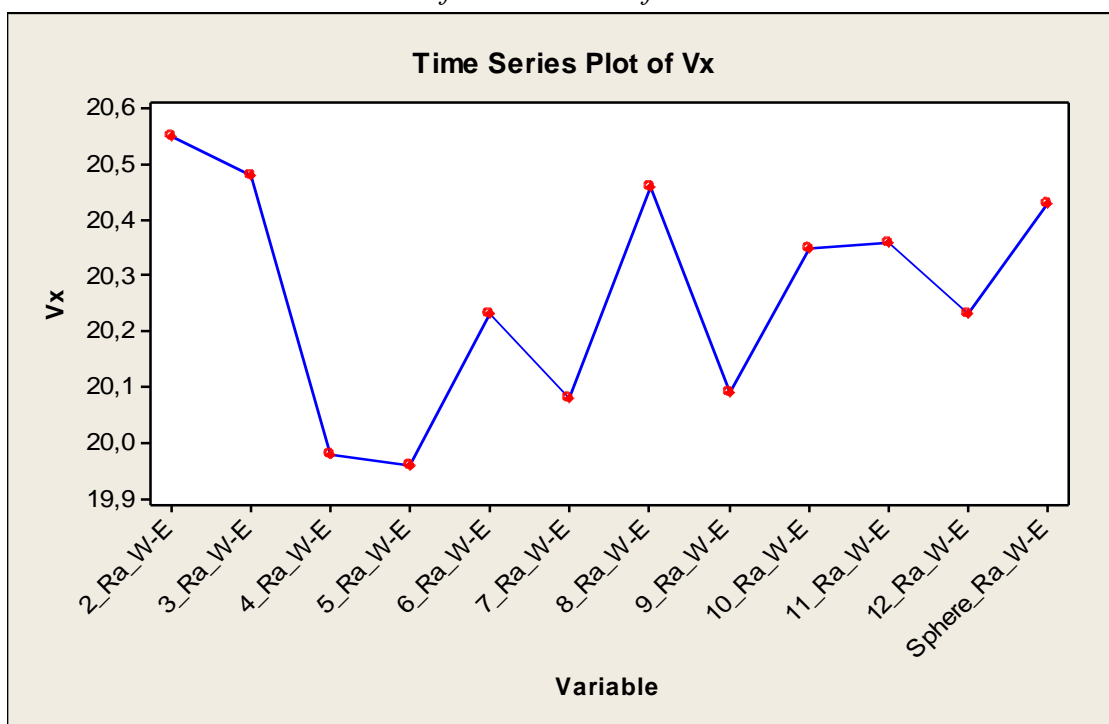
P íloha 2. Grafy -Kontrola vychýlených hodnot drsnosti

P íloha 3. Grafy -Kontrola vychýlených hodnot vlnitosti

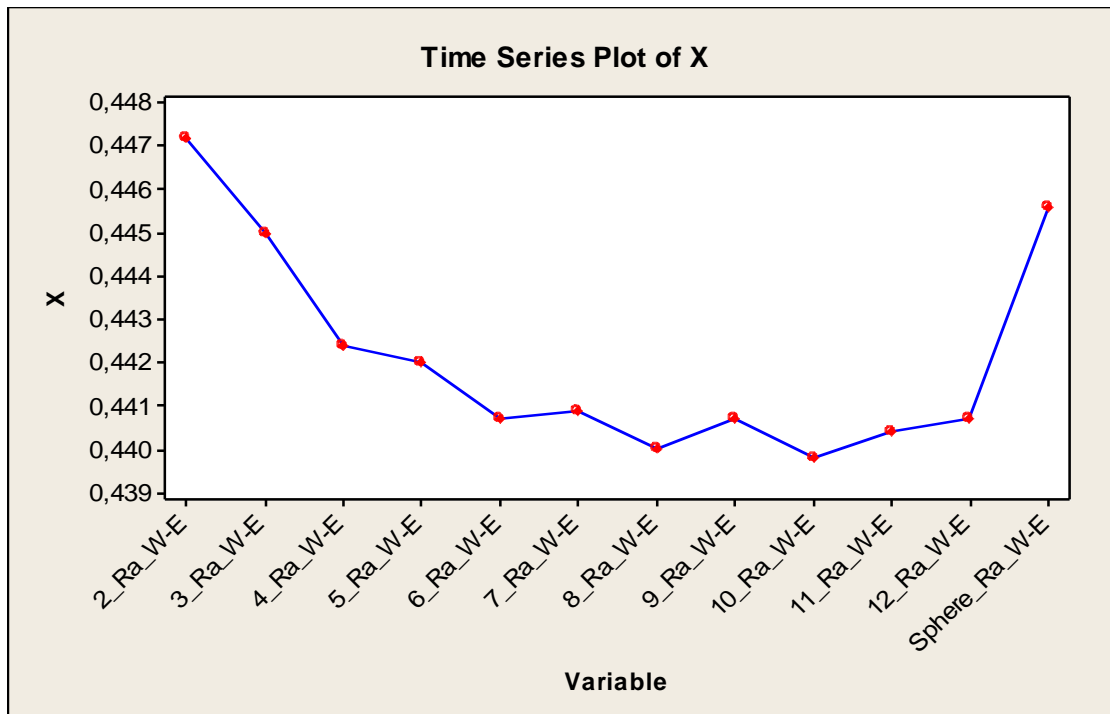
Příloha 2: Grafy -Kontrola vychýlených hodnot drsnosti

Parametr drsnosti Ra ve směru W-E

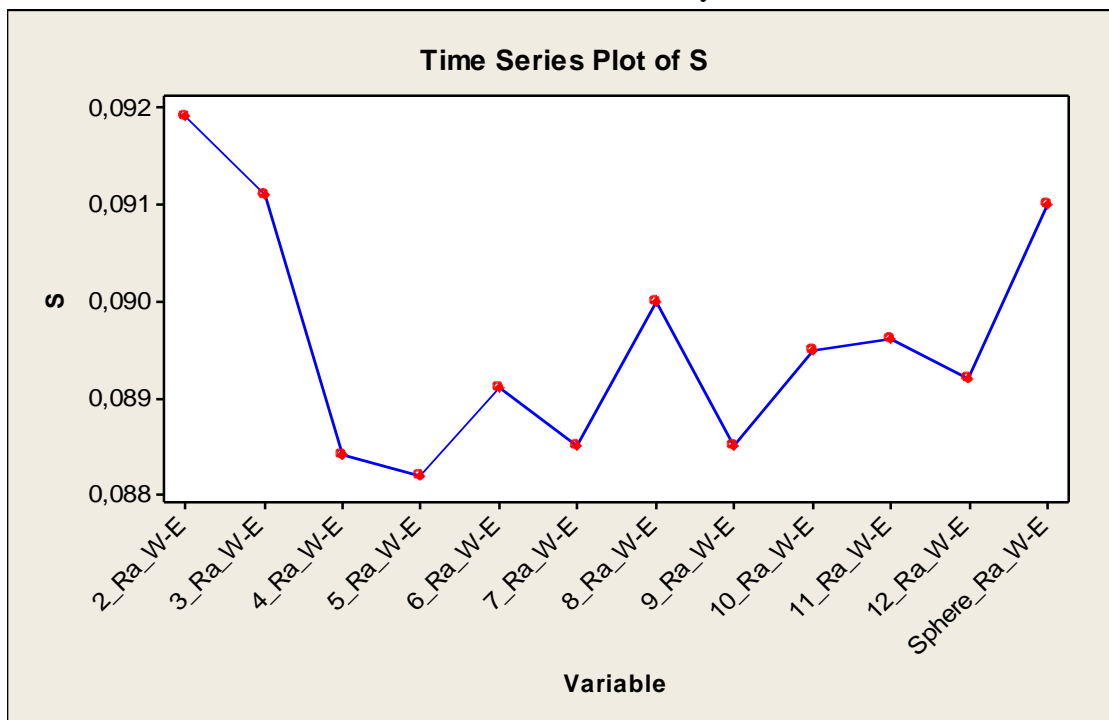
Graf 1. Variační koeficient



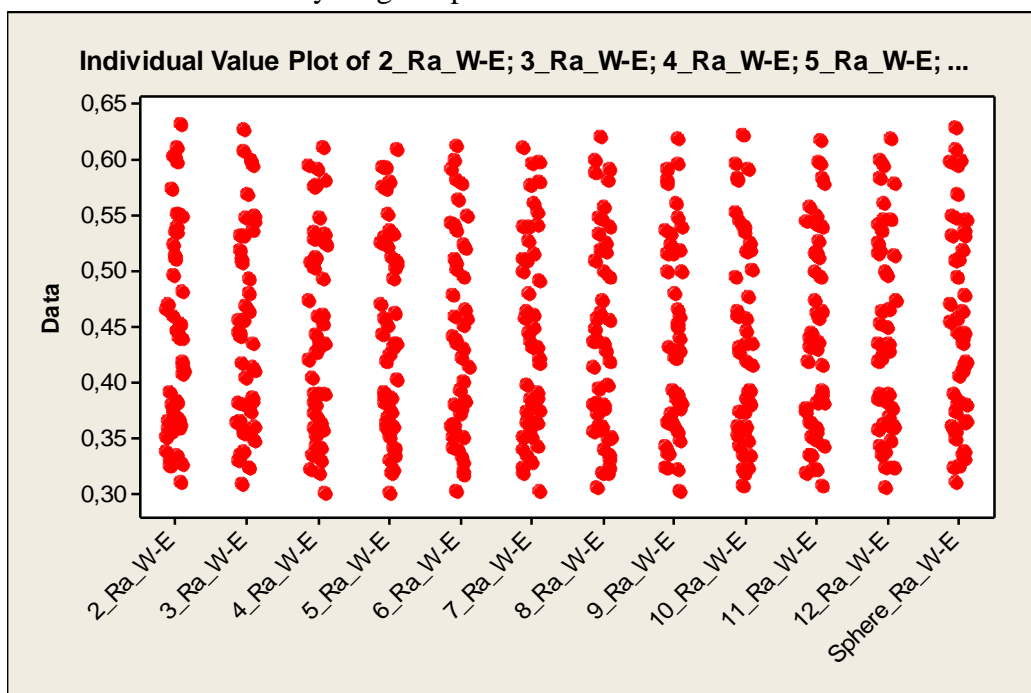
Graf 2. Odhad aritmetického průměru



Graf 3. Sm rodatná odchylka

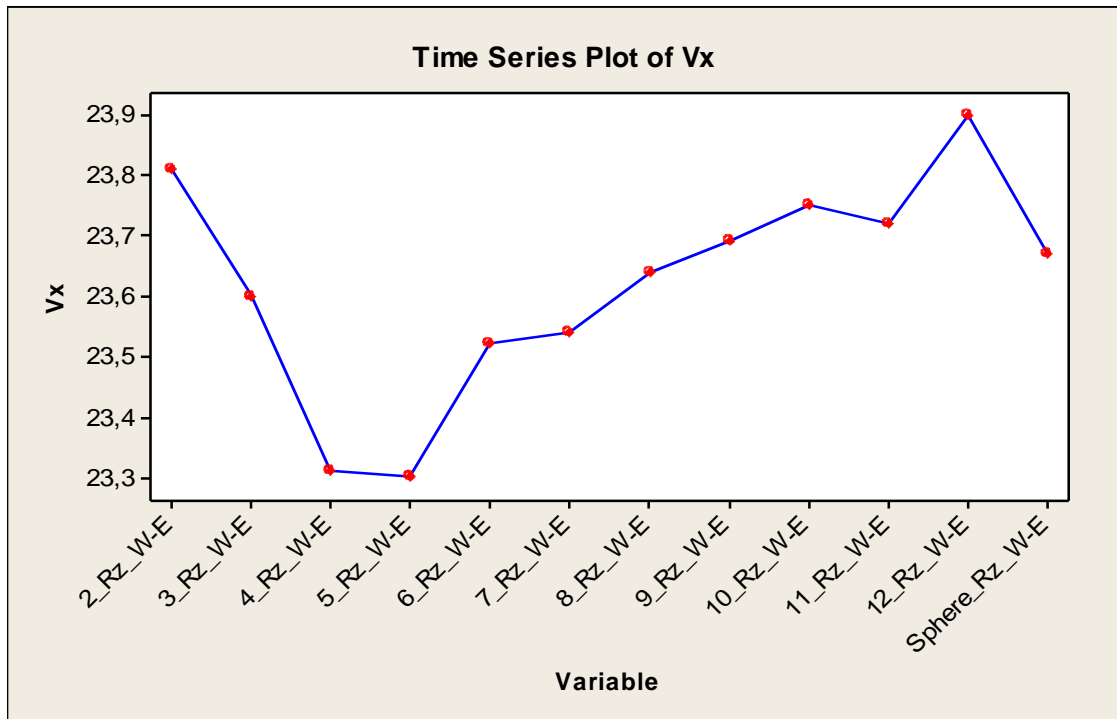


Graf 4. Bodový diagram parametru drsnosti Ra ve sm ru W-E

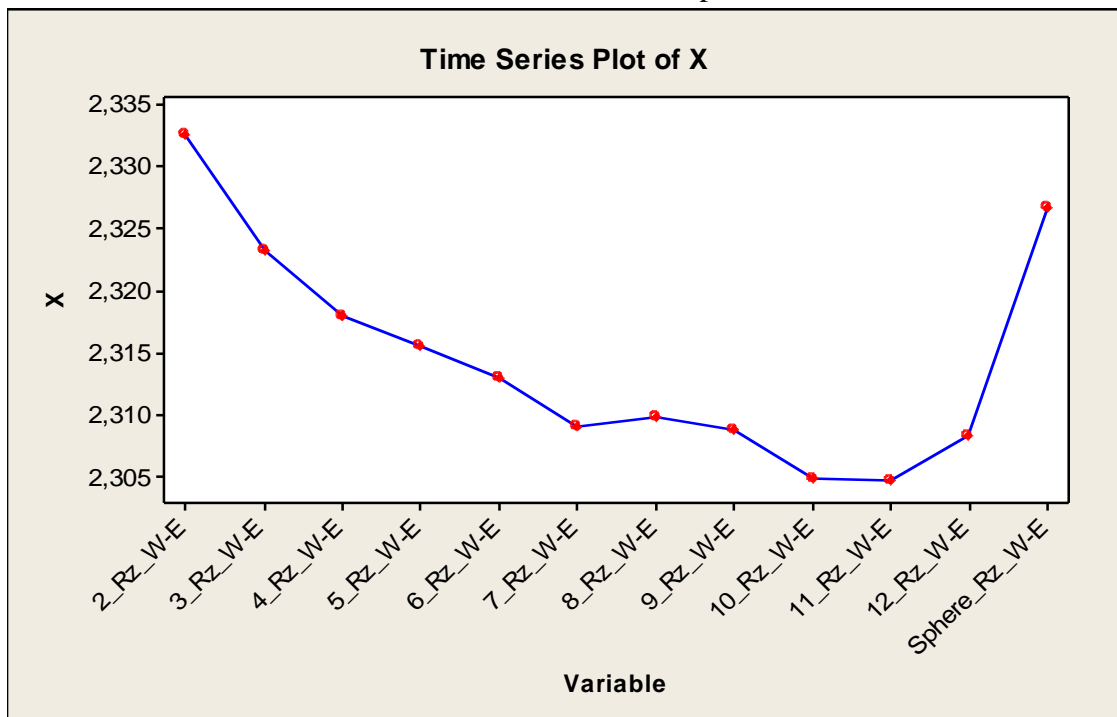


Parametr drsnosti Rz ve sm ru W-E

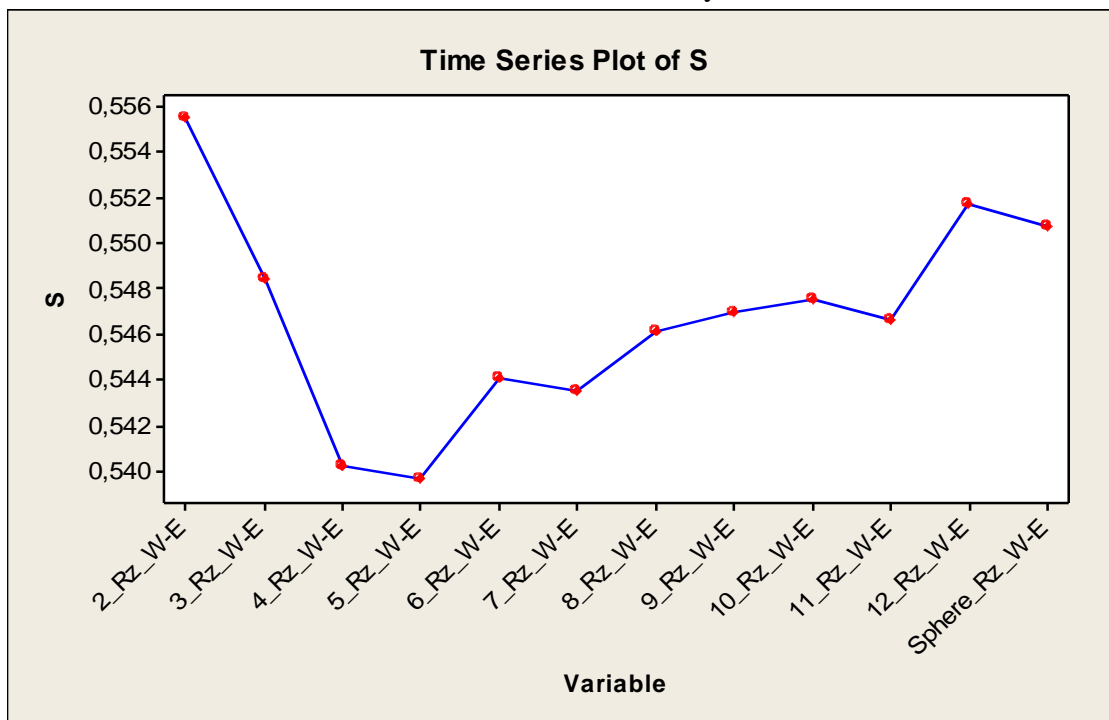
Graf 5. Varia ní koeficient



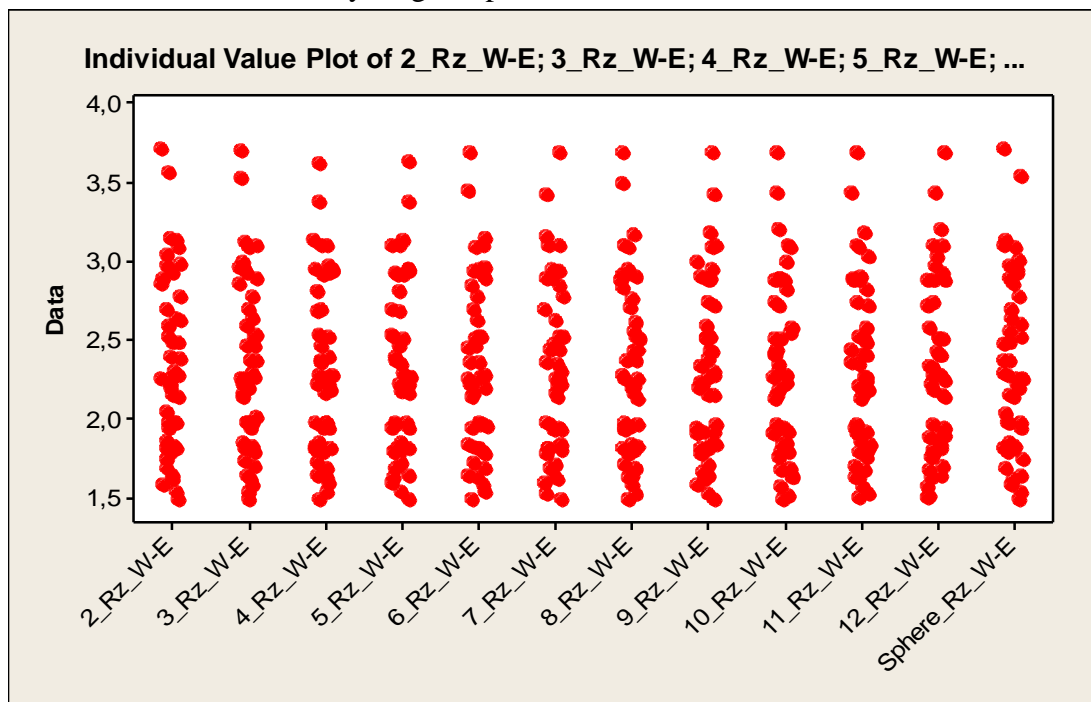
Graf 6. Odhad aritmetického pr m ru



Graf 7. Sm rodatná odchylka

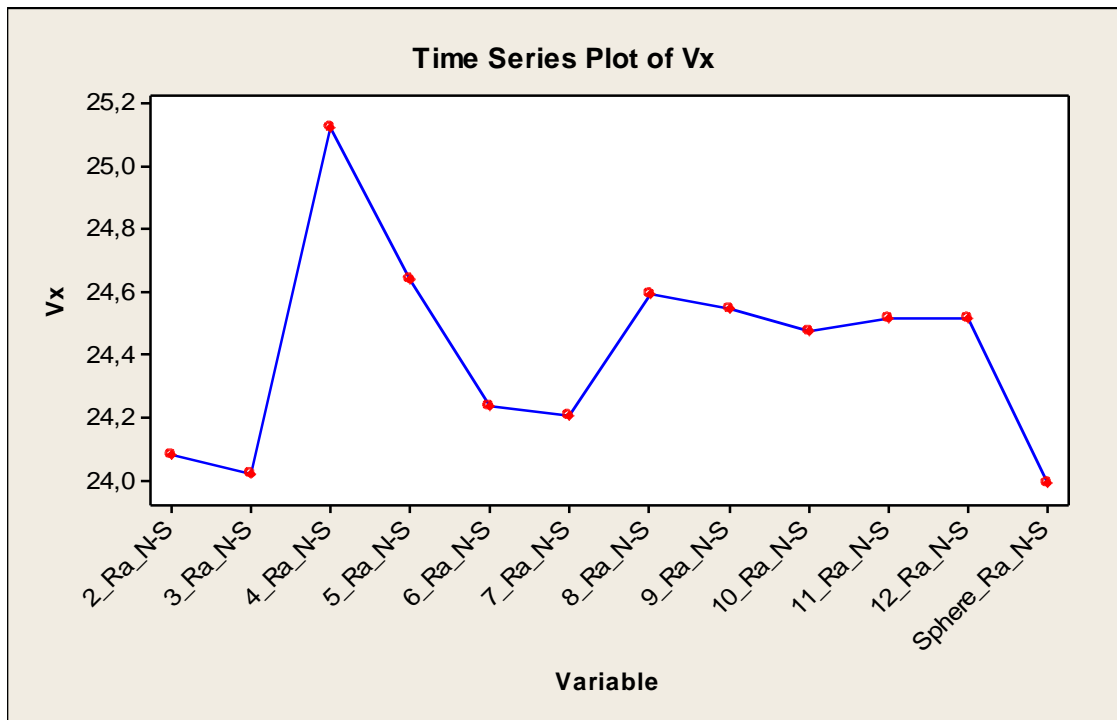


Graf 8. Bodový diagram parametru drsnosti Rz ve sm ru W-E

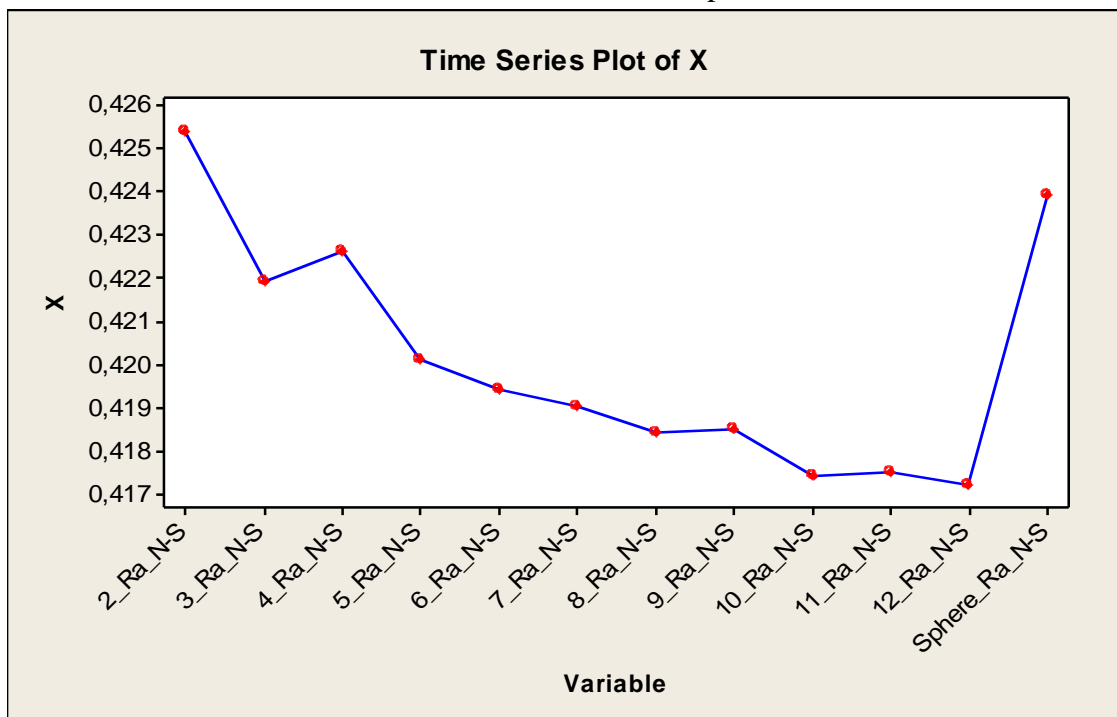


Parametr drsnosti Ra ve sm ru N-S

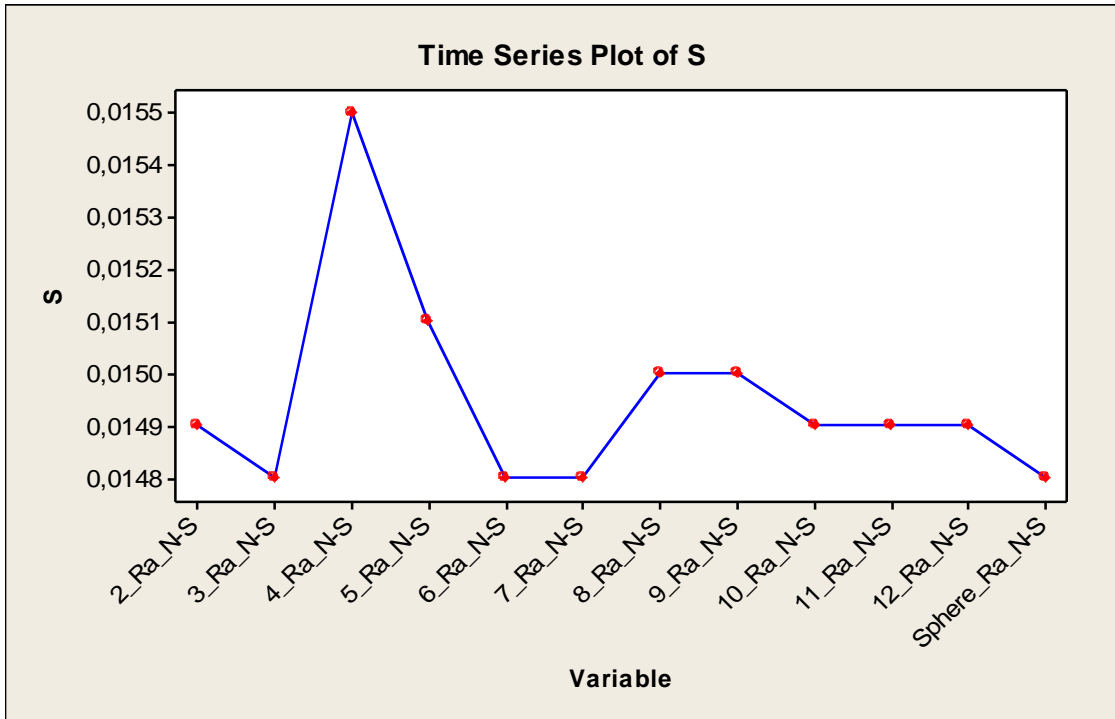
Graf 9. Varia ní koeficient



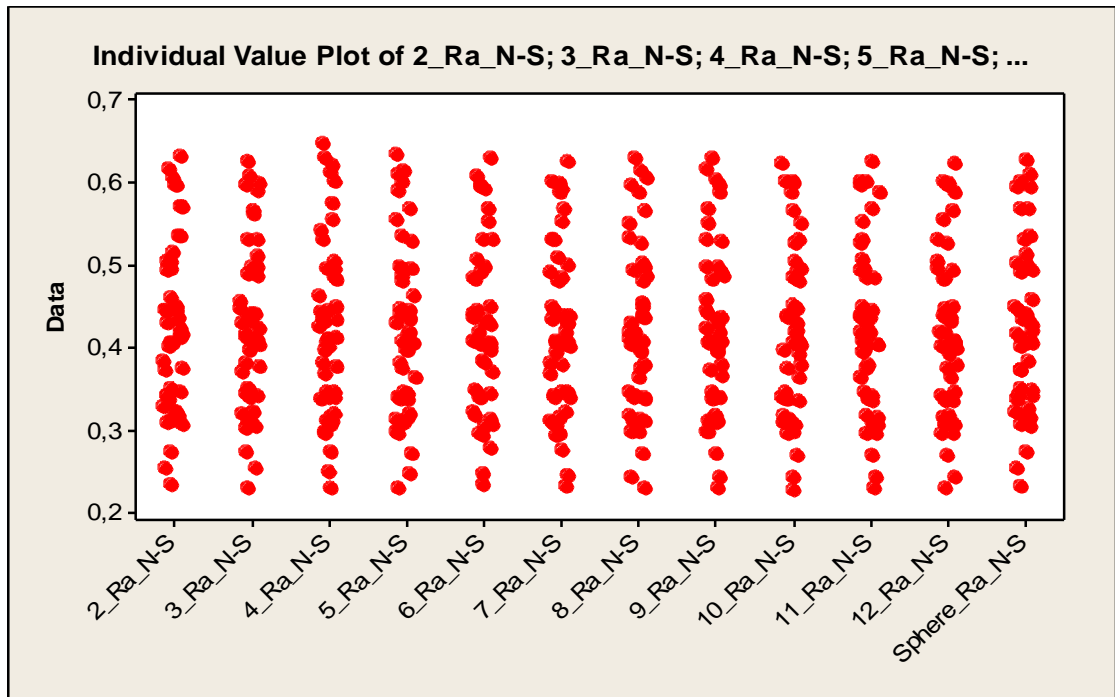
Graf 10. Odhad aritmetického pr m ru



Graf 11. Sm rodatná odchylka

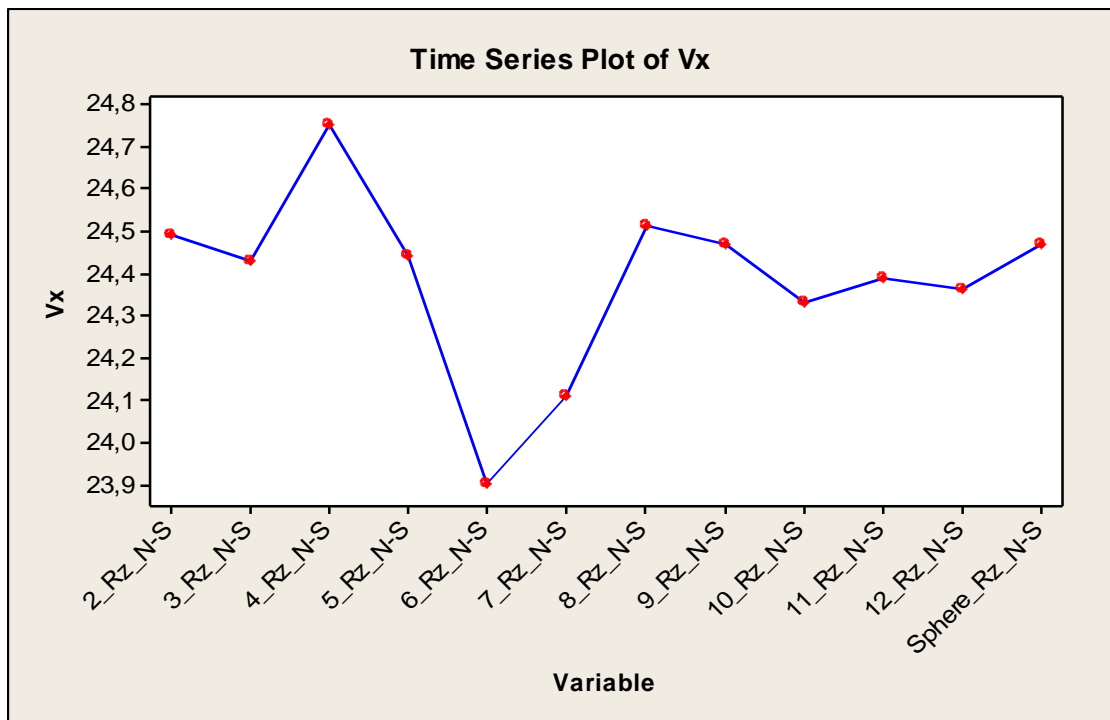


Graf 12. Bodový diagram parametru drsnosti Ra ve sm ru N-S

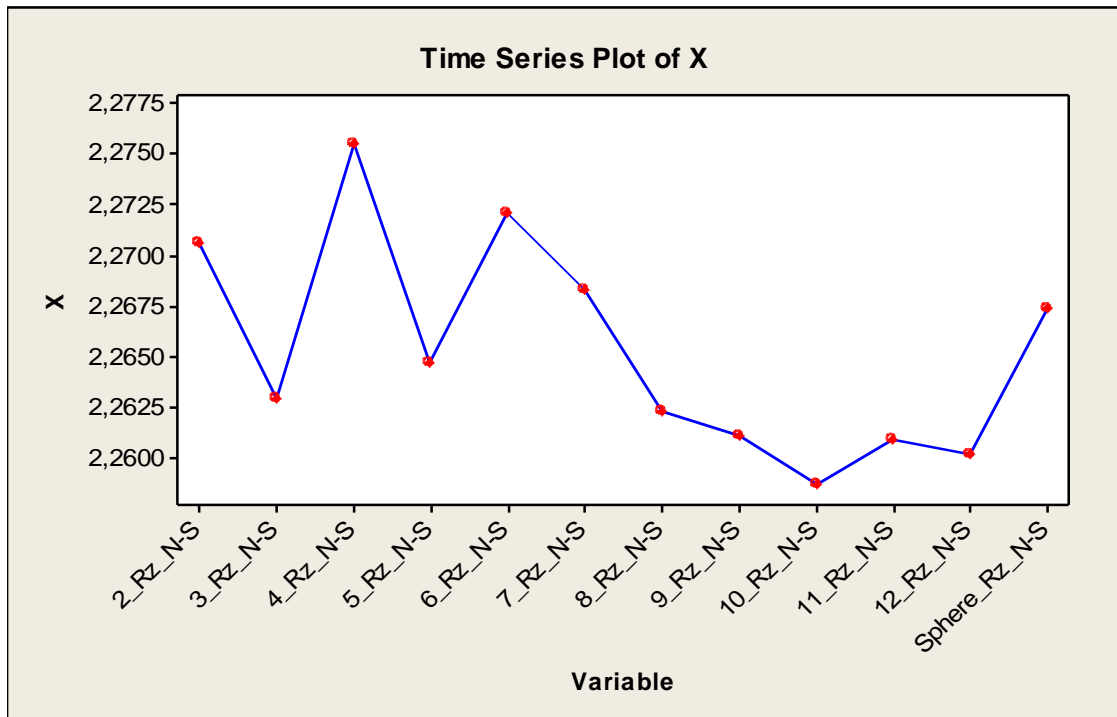


Parametr drsnosti Rz ve sm ru N-S

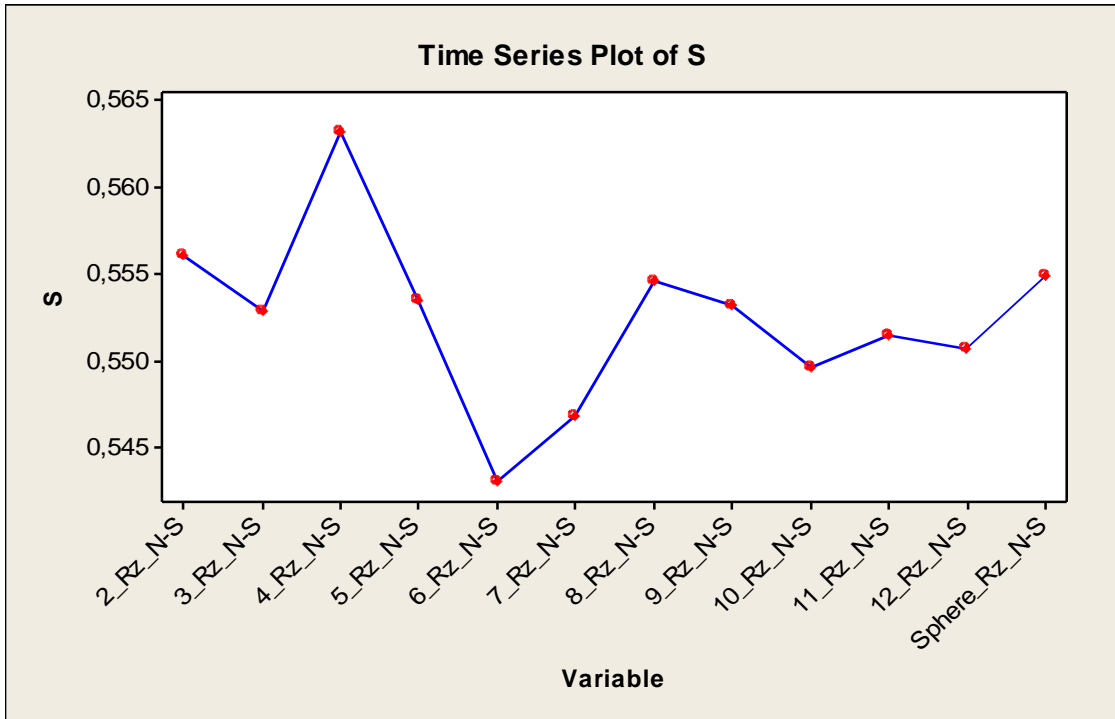
Graf 13. Varia ní koeficient



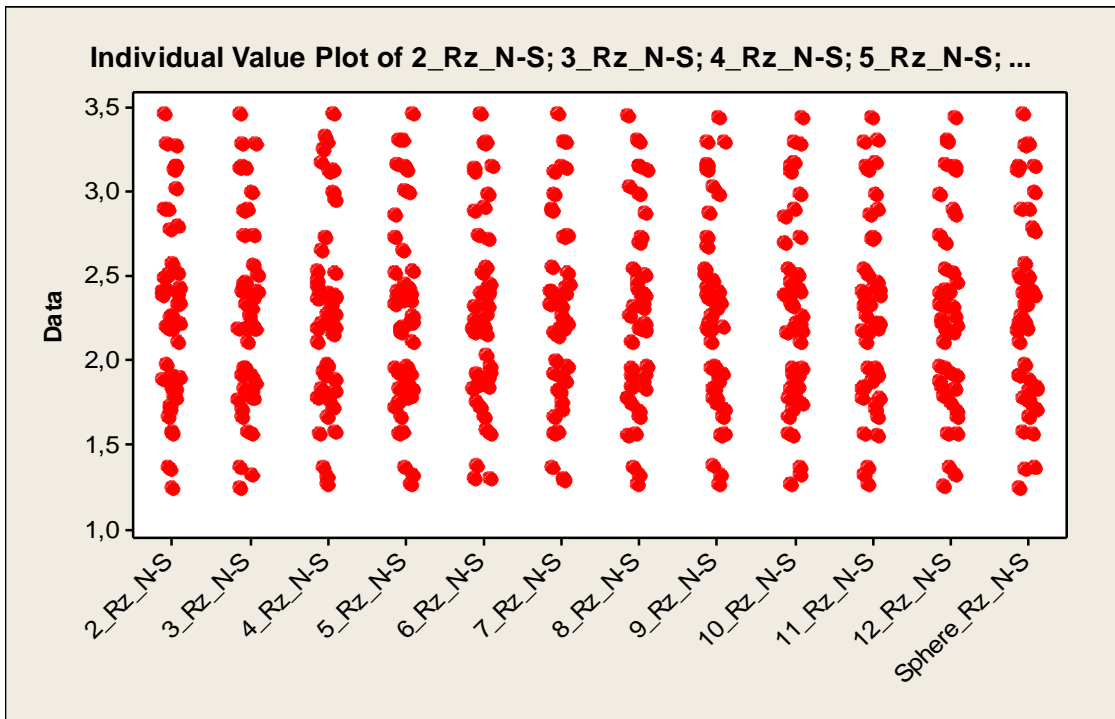
Graf 14. Odhad aritmetického pr m ru



Graf 15. Sm rodatná odchylka



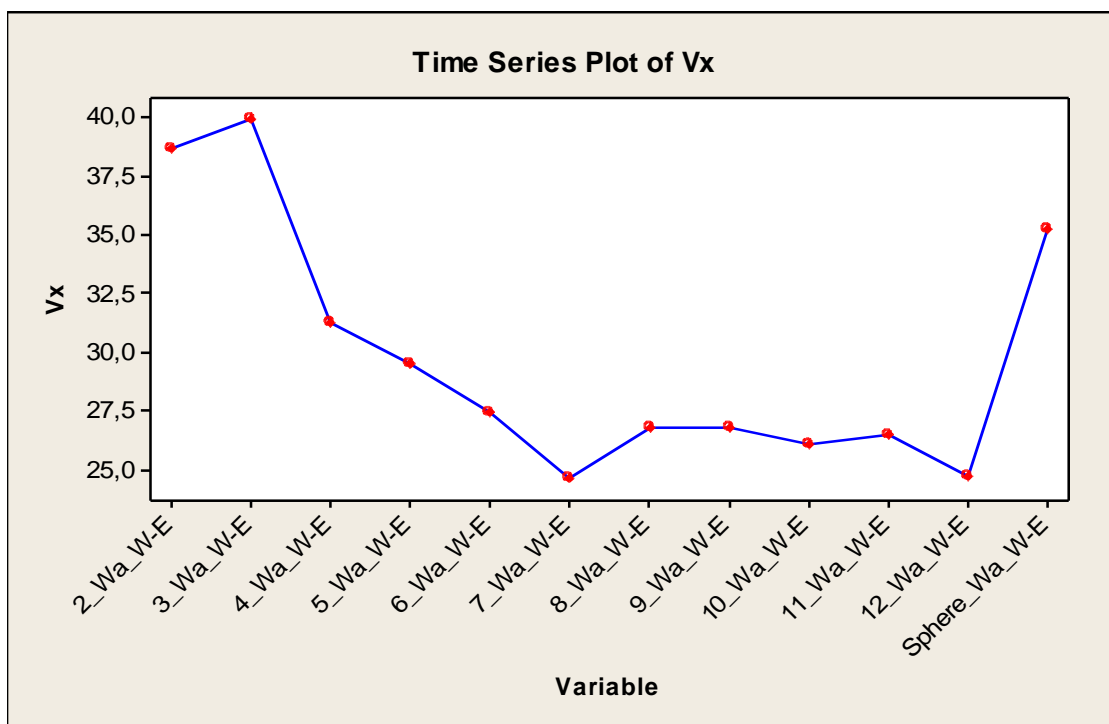
Graf 16. Bodový diagram parametru drsnosti Rz ve sm ru N-S



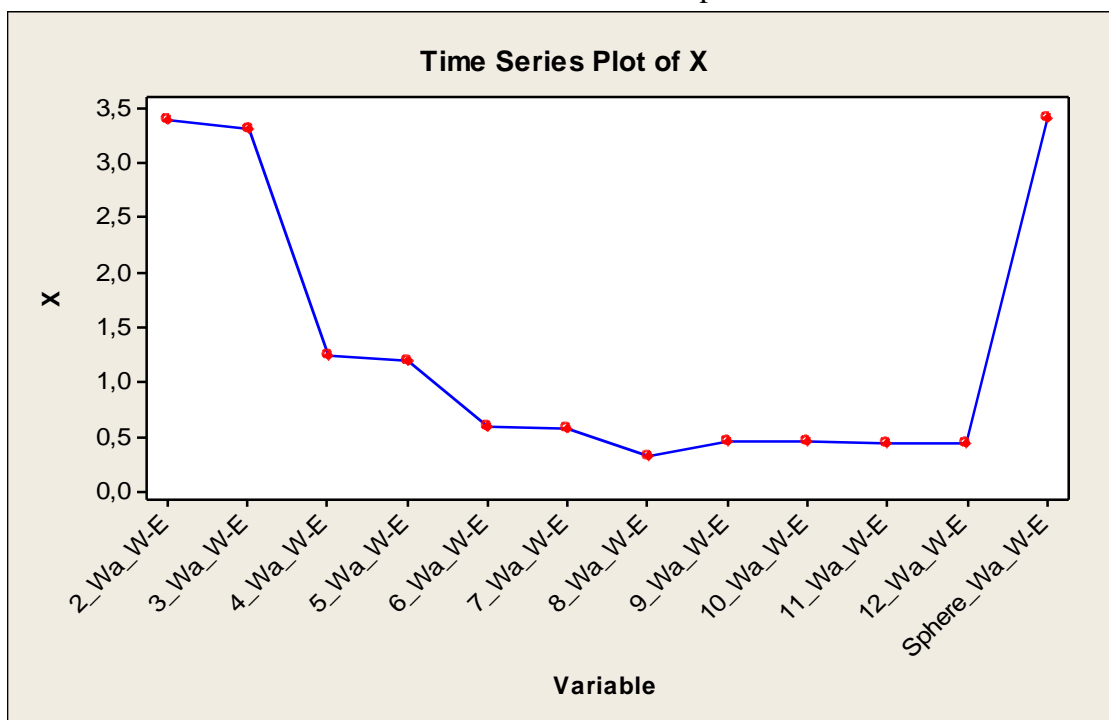
P íloha 3: Grafy -Kontrola vychýlených hodnot vlnitosti

Parametr vlnitosti Wa ve sm ru W-E

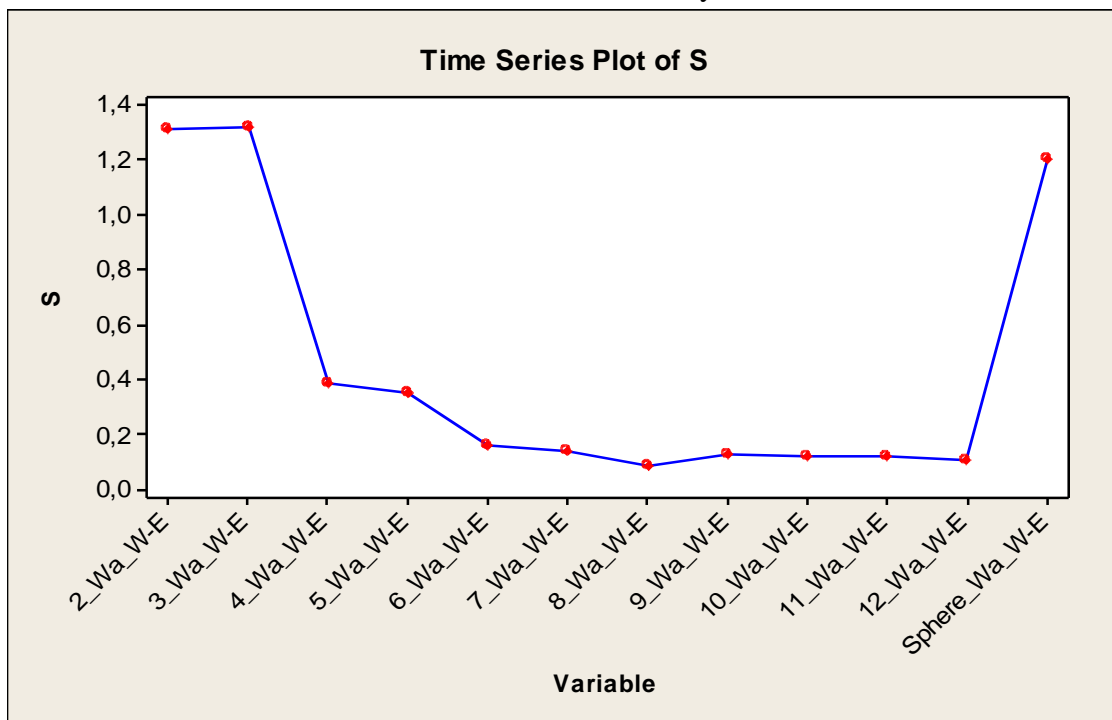
Graf 1. Varia ní koeficient



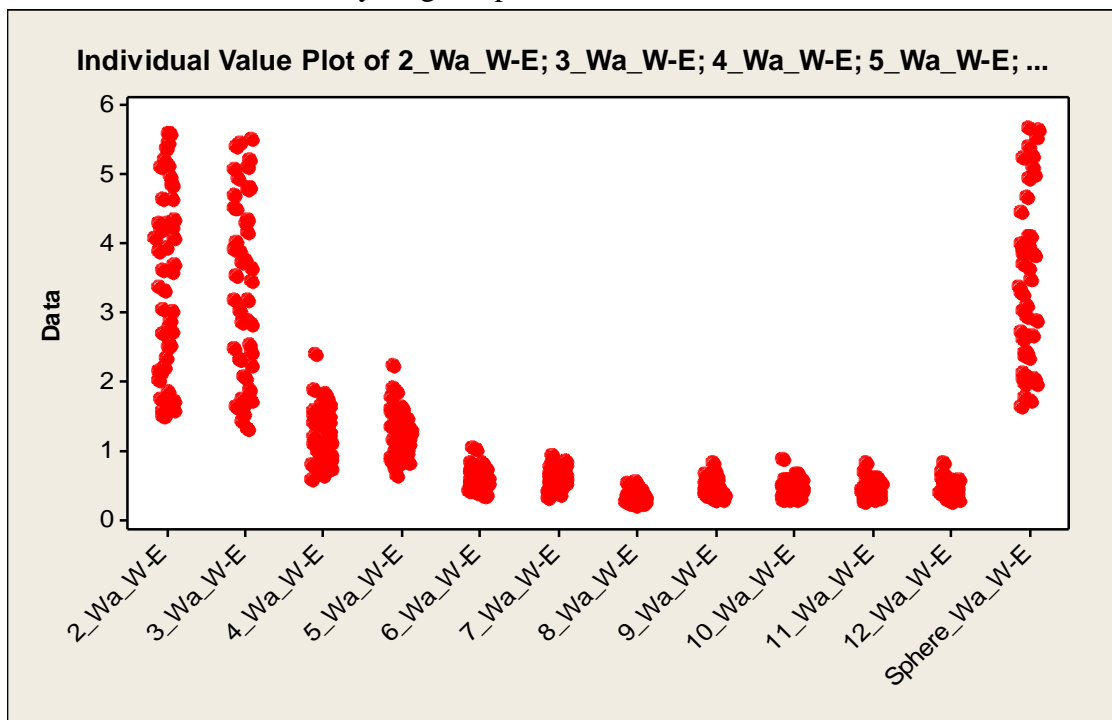
Graf 2. Odhad aritmetického pr m ru



Graf 3. Sm rodatná odchyľka

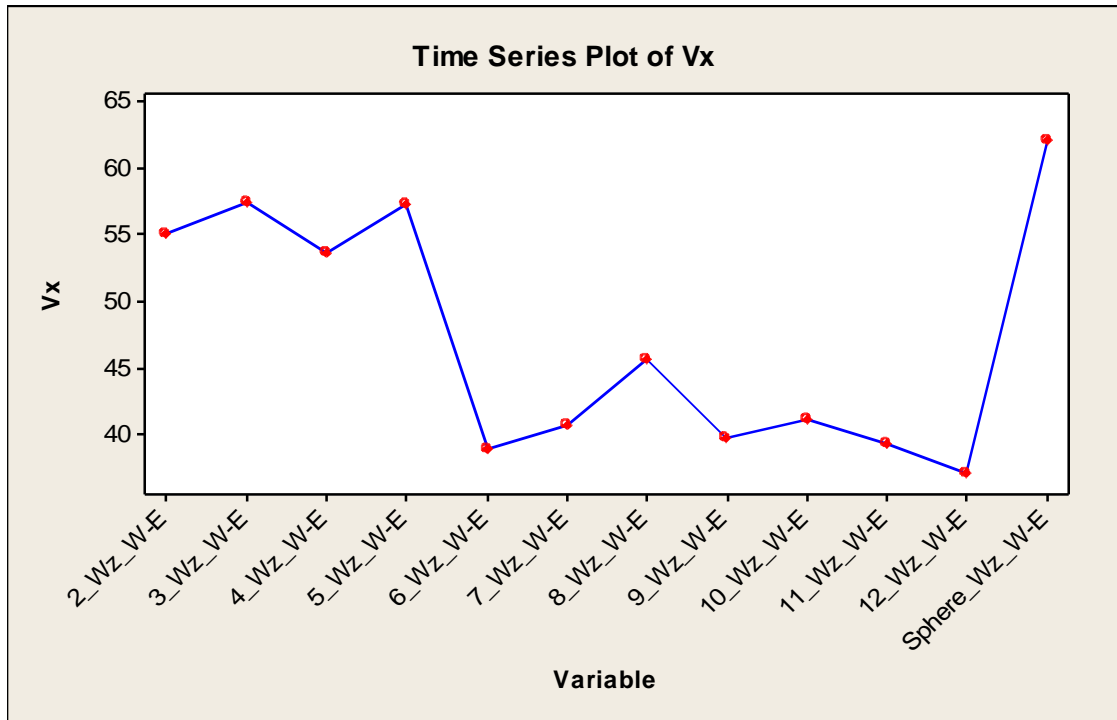


Graf 4. Bodový diagram parametru drsnosti Wa ve sm ru W-E

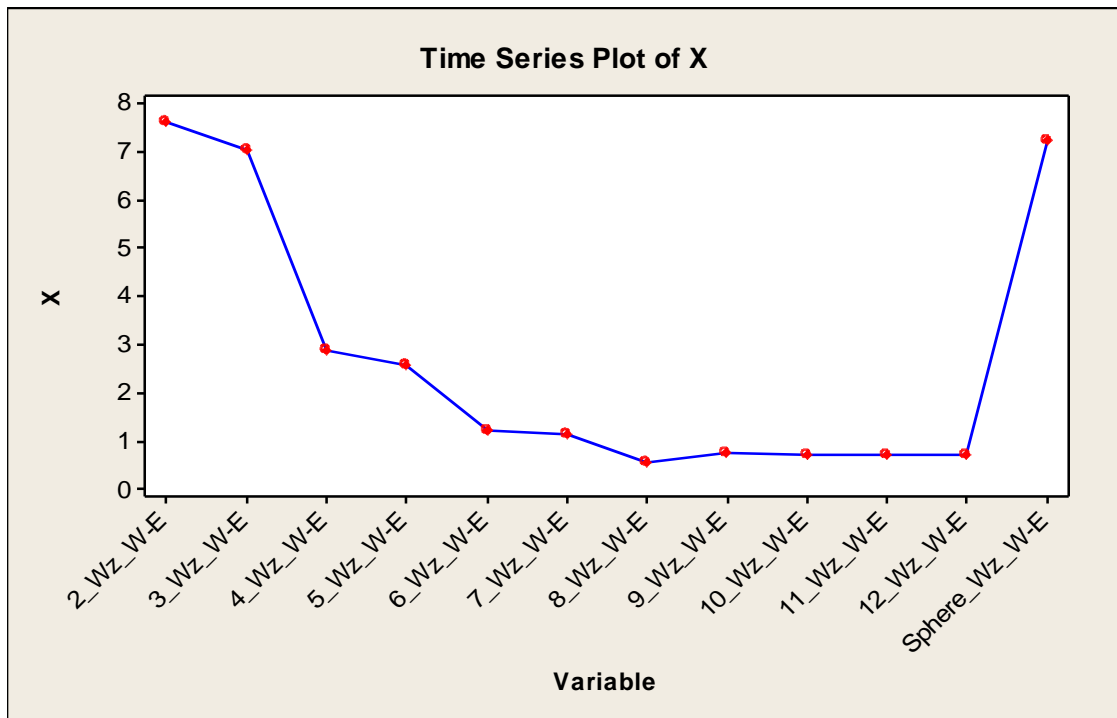


Parametr vlnitosti Wz ve sm ru W-E

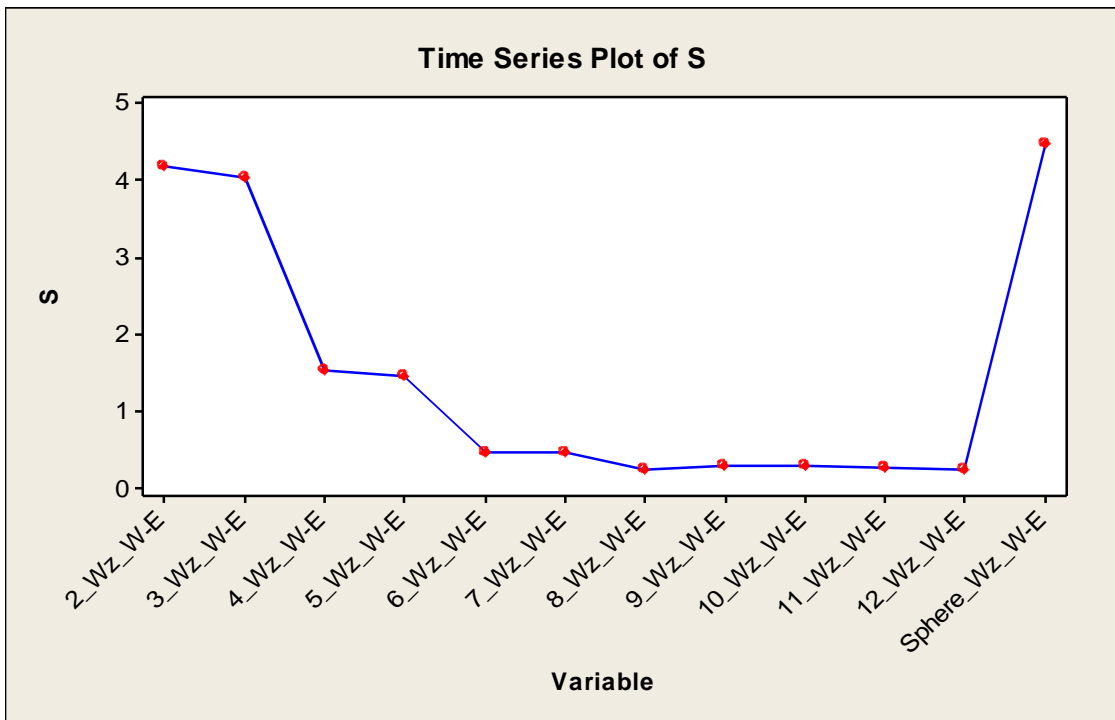
Graf 5. Varia ní koeficient



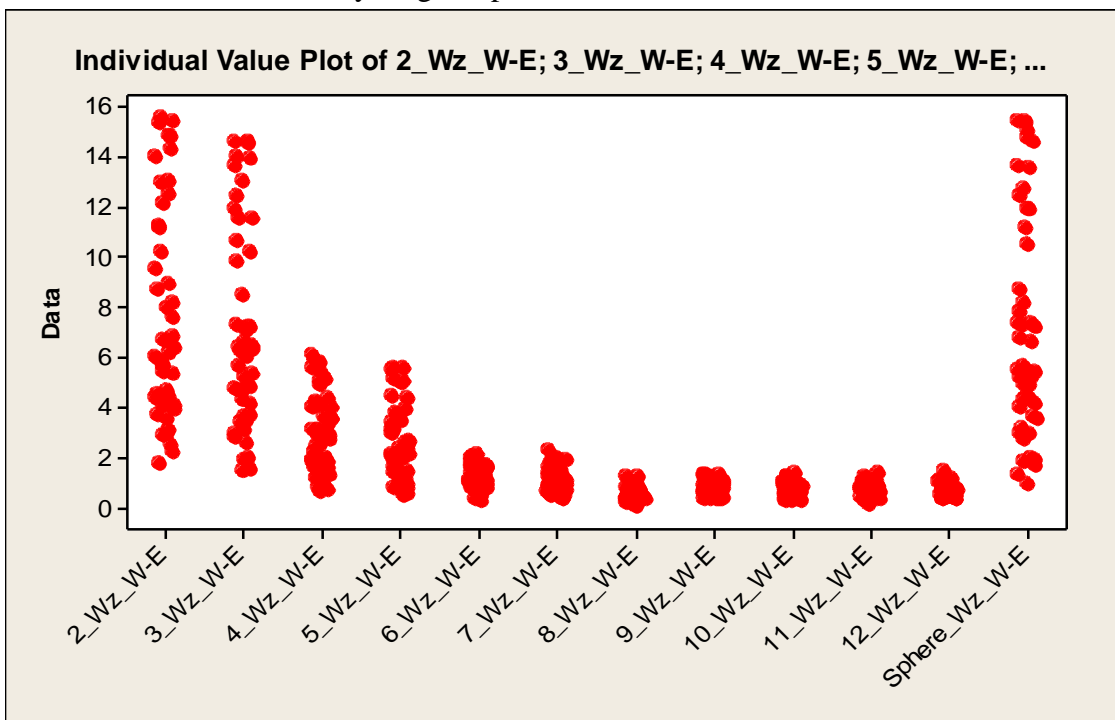
Graf 6. Odhad aritmetického pr m ru



Graf 7. Sm rodatná odchyľka

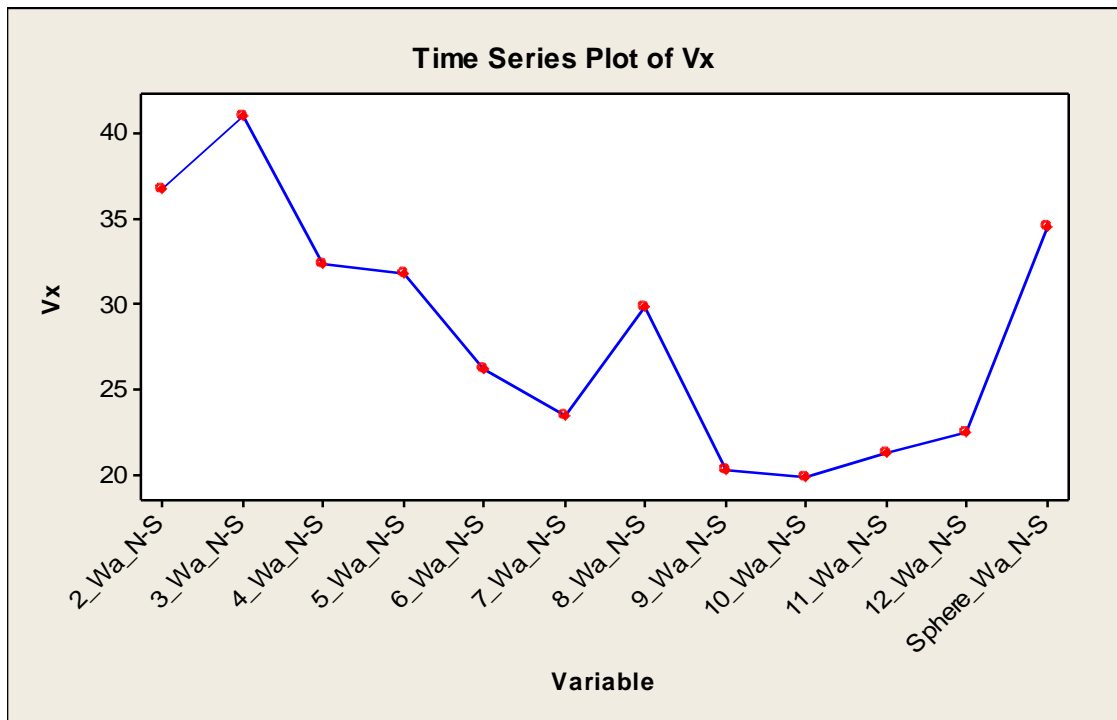


Graf: 8. Bodový diagram parametru drsnosti Wz ve sm ru W-E

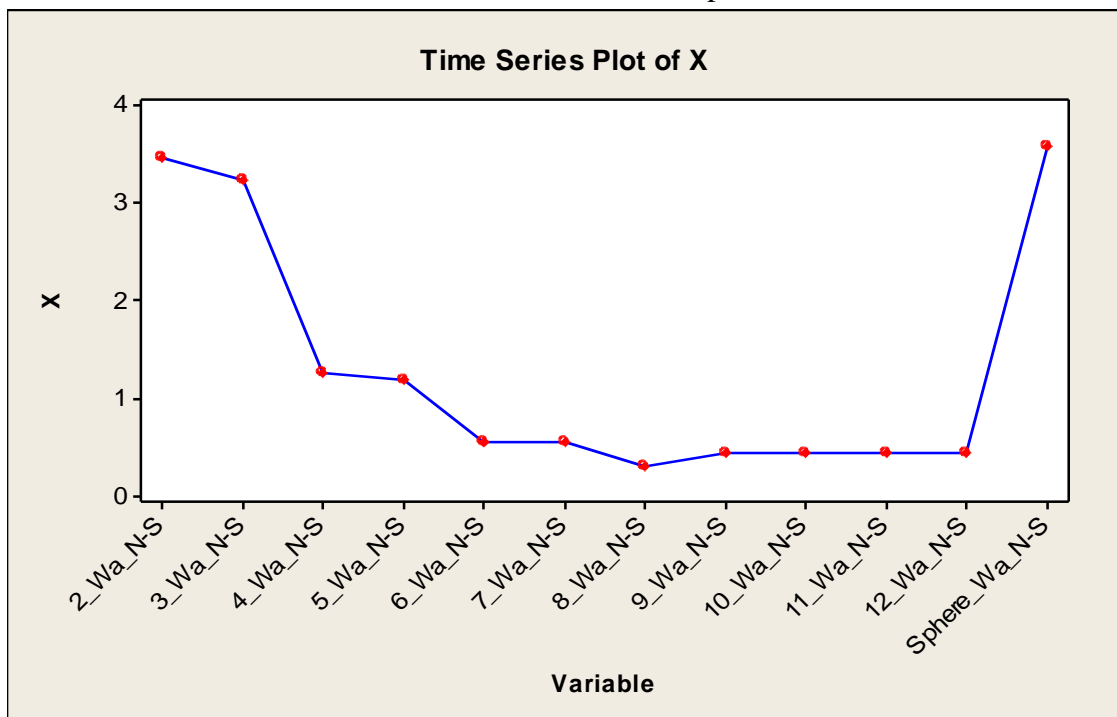


Parametr vlnitosti Wa ve sm ru N-S

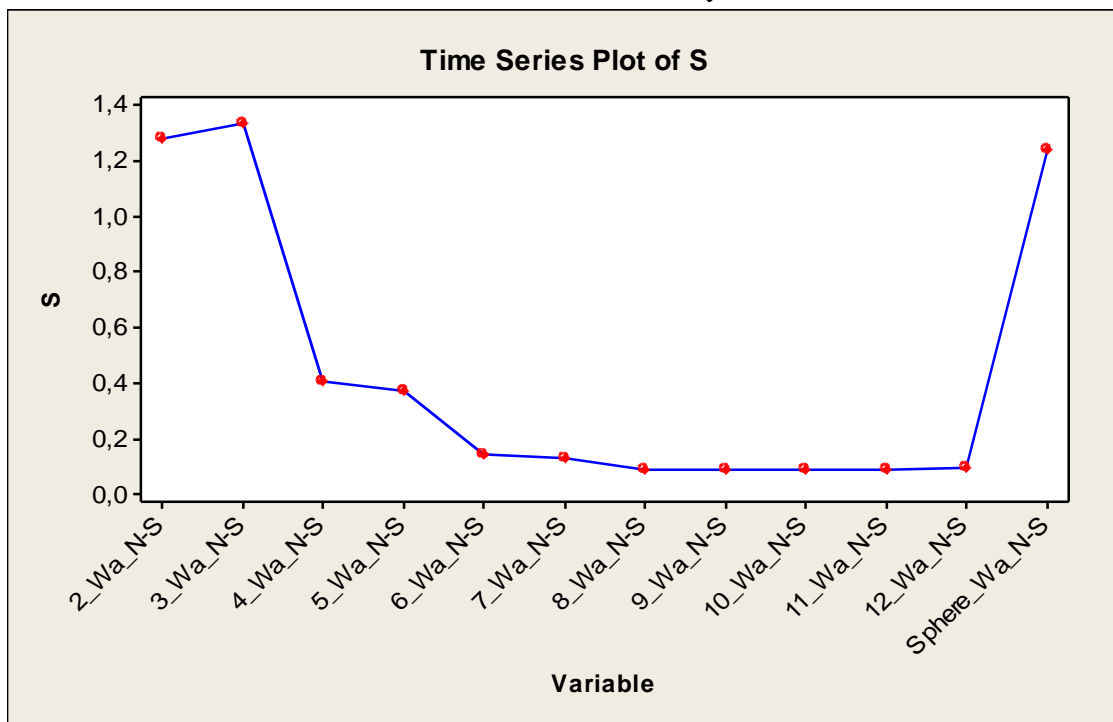
Graf 9. Varia ní koeficient



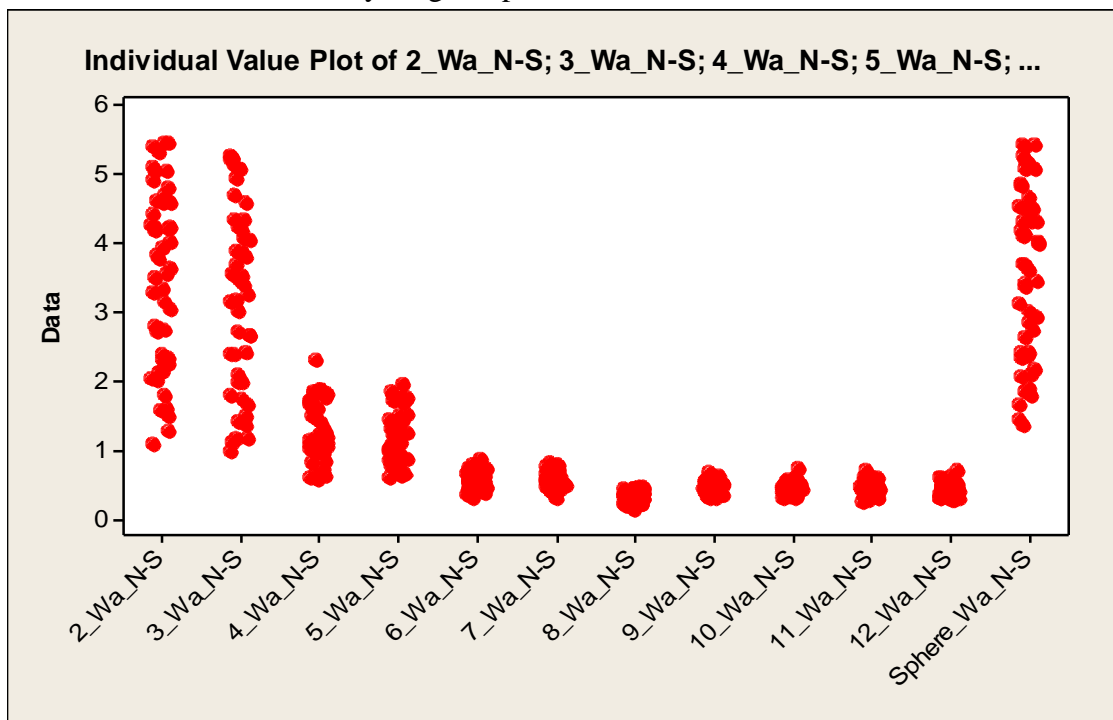
Graf 10. Odhad aritmetického pr m ru



Graf 11. Sm rodatná odchylka

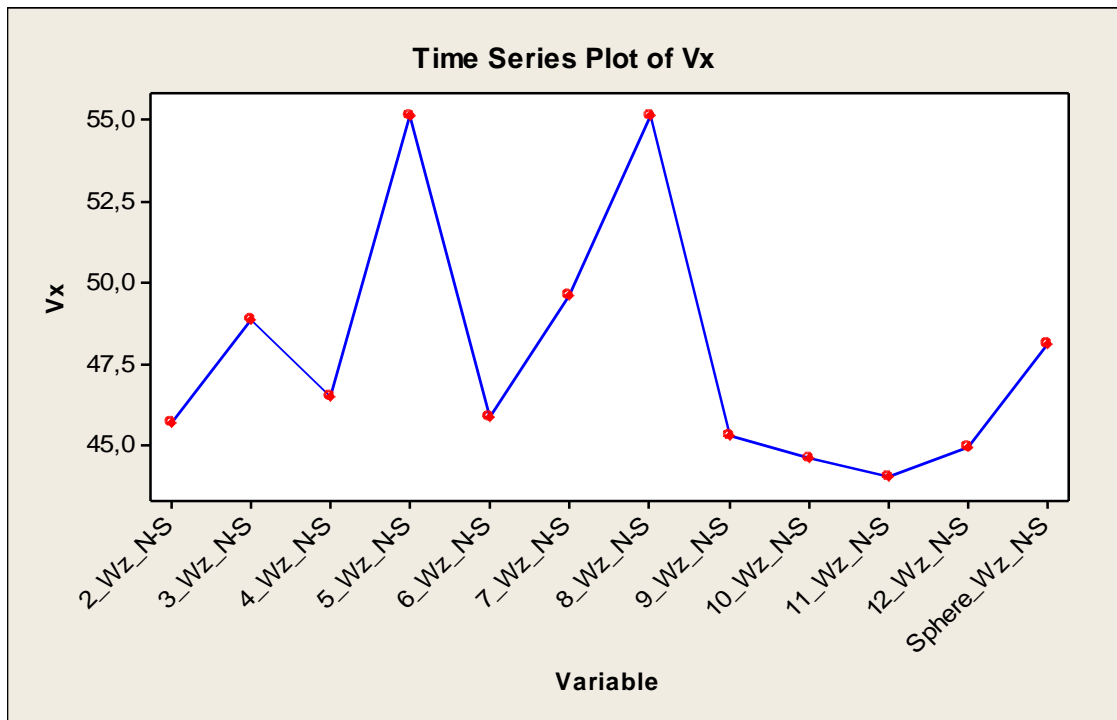


Graf 12. Bodový diagram parametru drsnosti Wa ve sm ru N-S

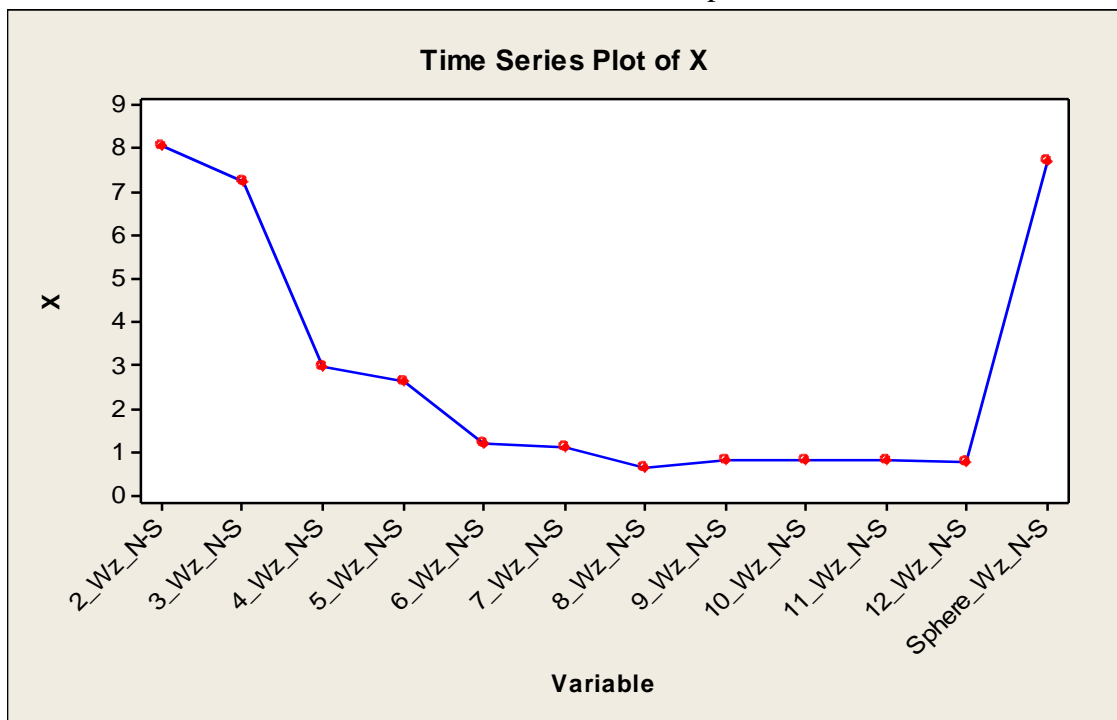


Parametr vlnitosti Wz ve sm ru N-S

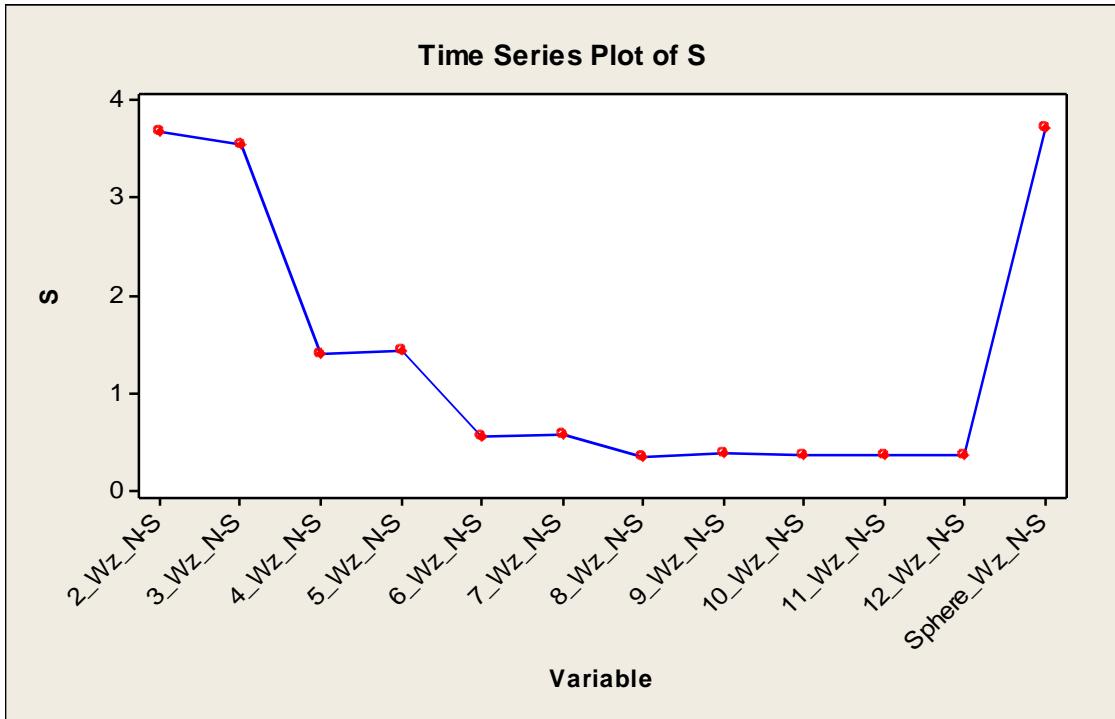
Graf 13. Varia ní koeficient



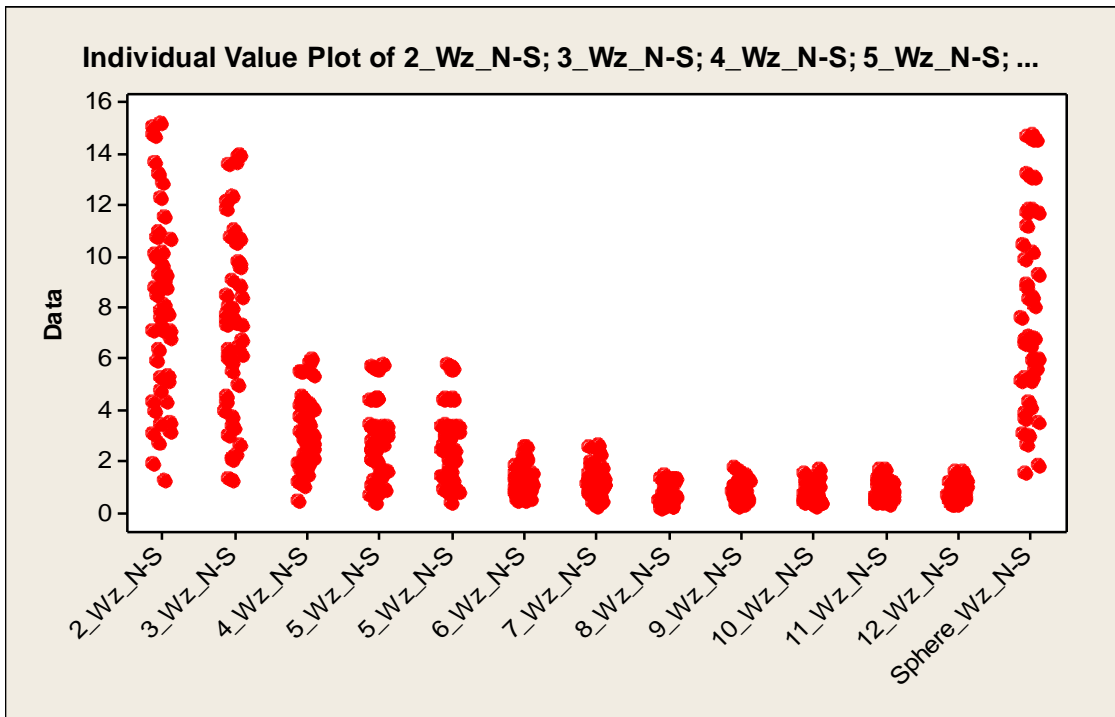
Graf 14. Odhad aritmetického pr m ru



Graf 15. Směrodatná odchylka

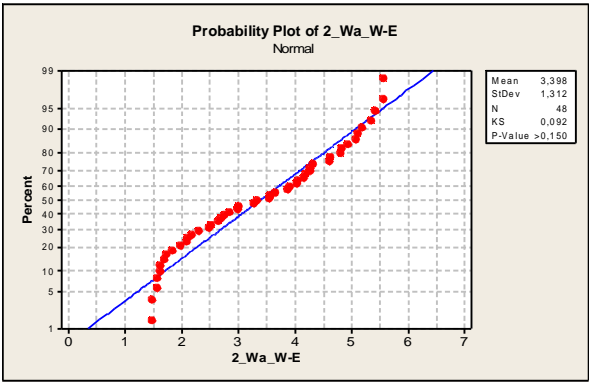
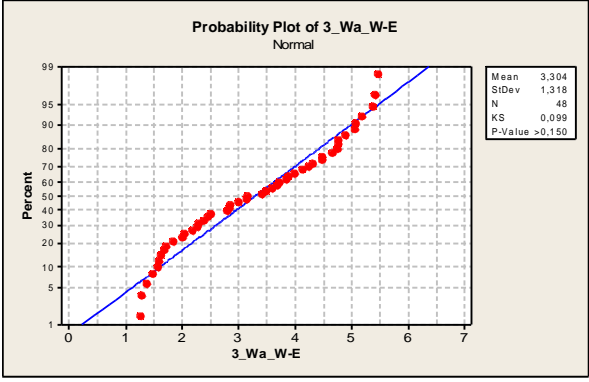
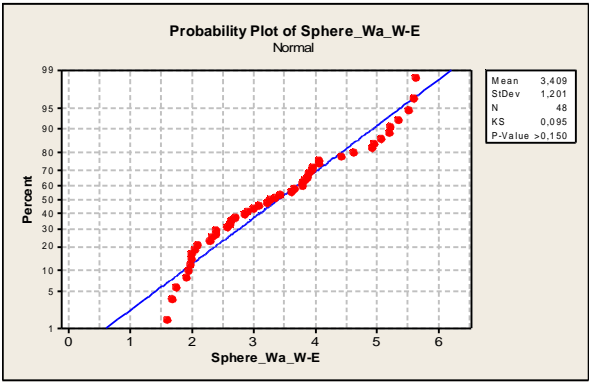


Graf: 16. Bodový diagram parametru drsnosti Wz ve sm ru N-S

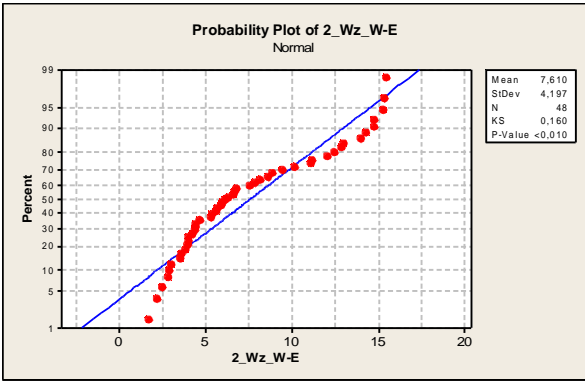
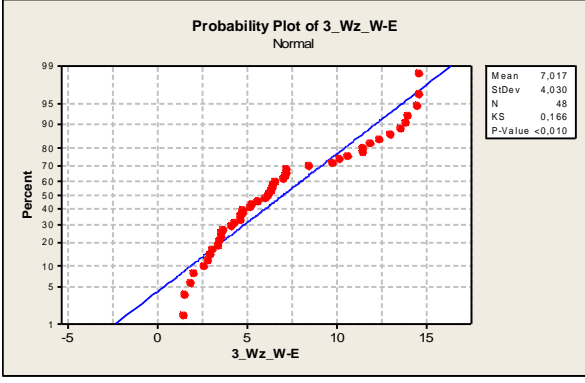
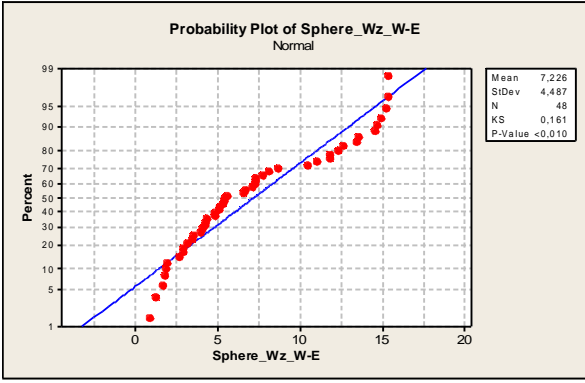


P úloha 4: Test normality

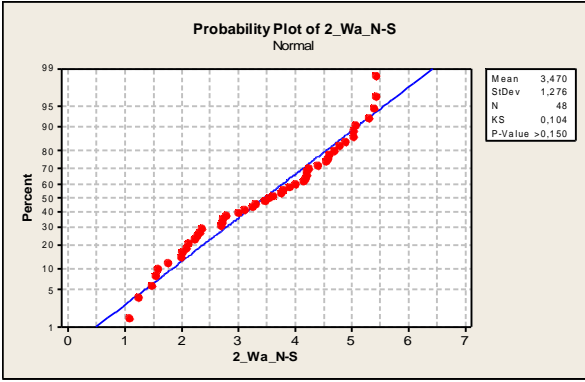
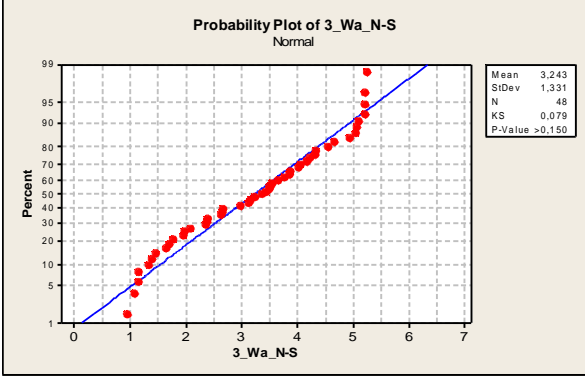
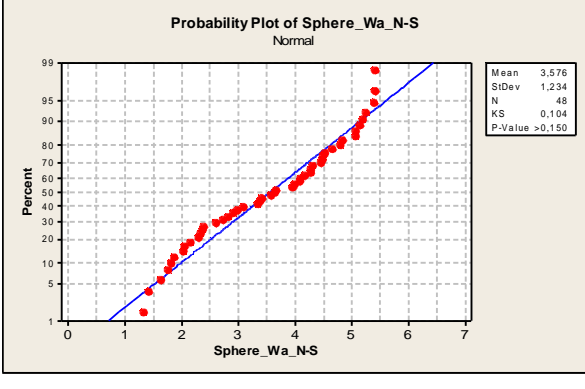
Tab 1. Test normality 2. a 3. stupně polynomu Wa_W-E a $Sphere_Wa_W-E$

Rovnice	P -hodnota	Graf	Vyhodnocení
H_0 : 2_Wa_W-E pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A : NON $1- = 0,95$	>0,150		P -hodnota > 0,15 > 0,05 Nezamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.
H_0 : 3_Wa_W-E pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A : NON $1- = 0,95$	>0,150		P -hodnota > 0,15 > 0,05 Nezamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.
H_0 : $Sphere_Wa_W-E$ pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A : NON $1- = 0,95$	>0,150		P -hodnota > 0,15 > 0,05 Nezamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.

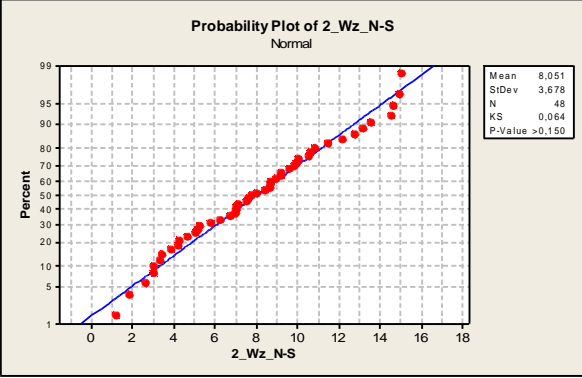
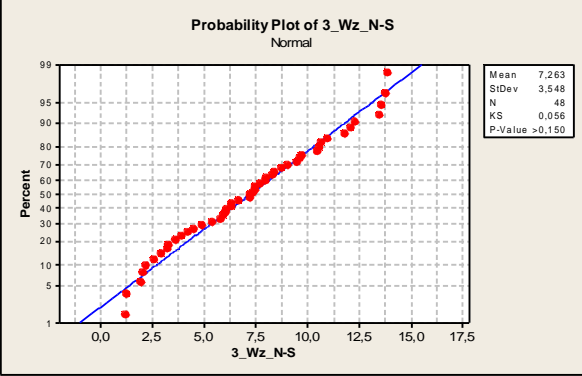
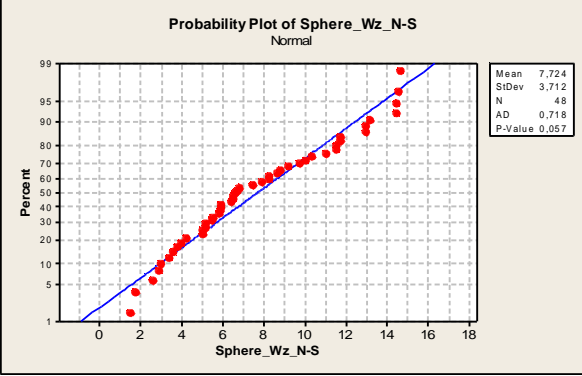
Tab 2. Test normality 2. a 3. stupně polynomu Wz_W-E a $Sphere_Wz_W-E$

Rovnice	P-hodnota	Graf	Vyhodnocení
<p>H_0: 2_Wz_W-E pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A: NON $1- = 0,95$</p>	<p><0,01</p>		<p>P-hodnota < 0,01 < 0,05 Zamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.</p>
<p>H_0: 3_Wz_W-E pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A: NON $1- = 0,95$</p>	<p><0,01</p>		<p>P-hodnota < 0,01 < 0,05 Zamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.</p>
<p>H_0: $Sphere_Wz_W-E$ pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A: NON $1- = 0,95$</p>	<p><0,01</p>		<p>P-hodnota < 0,01 < 0,05 Zamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.</p>

Tab 3. Test normality 2. a 3. stupně polynomu Wa_N-S a $Sphere_Wa_N-S$

Rovnice	P -hodnota	Graf	Vyhodnocení
H_0 : 2_Wa_N-S pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A : NON $1- = 0,95$	$>0,150$		<p>P -hodnota $> 0,15 > 0,05$ Nezamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.</p>
H_0 : 3_Wa_N-S pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A : NON $1- = 0,95$	$>0,150$		<p>P -hodnota $> 0,15 > 0,05$ Nezamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.</p>
H_0 : Sphere_Wa_N-S pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A : NON $1- = 0,95$	$>0,150$		<p>P -hodnota $> 0,15 > 0,05$ Nezamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.</p>

Tab 4. Test normality 2. a 3. stupně polynomu Wz_N-S a $Sphere_Wz_N-S$

Rovnice	P -hodnot a	Graf	Vyhodnocení
<p>H_0: 2_Wz_N-S pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A: NON $1- = 0,95$</p>	<p>>0,150</p>		<p>P -hodnota > 0,15 > 0,05 Nezamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.</p>
<p>H_0: 3_Wz_N-S pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A: NON $1- = 0,95$</p>	<p>>0,150</p>		<p>P -hodnota > 0,15 > 0,05 Nezamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.</p>
<p>H_0: $Sphere_Wz_N-S$ pochází ze zákl. souboru s norm. Rozd lením H_A: NON $1- = 0,95$</p>	<p>0,057</p>		<p>0,057 > 0,05 Nezamítám nulovou hypotézu, že data pochází ze základního souboru s normálním rozd lením.</p>