

# Hodnocení jakosti leštěných povrchů v 2D a 3D

Bc. Eva Rakúsová

---

Diplomová práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Eva Rakúsová**

Osobní číslo: **T16149**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení jakosti leštěných povrchů v 2D a 3D**

Zásady pro vypracování:

1. **Popište základní 2D a 3D charakteristiky pro hodnocení jakosti povrchů se zaměřením na drsnost**
2. **Vyberte a popište vhodné metody měření**
3. **Provedte měření jakosti povrchů**
4. **Vyberte vhodné metrologicko–statistické metody pro hodnocení a porovnání jakosti povrchů**
5. **Hodnocení a závěr**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. ČSN EN ISO 4287 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda Termíny, definice, a parametry struktury povrchu. Český normalizační institut, Praha 1999
2. ČSN EN ISO 4288 Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Český normalizační institut, Praha 1999
3. Ramachandran, K. M. – Tsokos, CH.P.: Mathematical Statistics with applications. USA: Academic Press, 2009. 824s. ISBN 9780080951706.
4. Stout, K. Liam Blunt: Three Dimensional Surface Topography. London: Butterworth-Heinemann, 2000. 320 s. ISBN 9781857180268
5. Gajda, V. Základy statistiky v příkladech. Ostrava: Ostravská univerzita, 2006. 85s.

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Dr. Ing. Vladimír Pata**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2018**

Termín odevzdání diplomové práce:

**18. května 2018**

Ve Zlíně dne 5. dubna 2018



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



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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně .....3.5.2018.....

.....Rakúsová.....

<sup>1)</sup> 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 nevydávajíc 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 nahlášení 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.

<sup>2)</sup> 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, užití-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).

<sup>31</sup> 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 díla:

(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 udělení svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybného 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 přihlídáne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá měřením povrchu v 2D 3D a to kontaktním a bezkontaktním způsobem. Teoretická část je rozdělena na 3 části, přičemž první část je zaměřena na všeobecné termíny a definice a druhá část na principy hodnocení drsnosti povrchu. Třetí část se věnuje statistickým metodám využitelným při vyhodnocení. Praktická část se zabývá nejprve měřením leštěných povlakovaných povrchu forem a následně je provedena komparace jejich výsledků vhodnými matematicko-statickými metodami s využitím neparametrických metod teorie hypotéz.

Klíčová slova: jakost, leštěný povrch, povlak, forma

## **ABSTRACT**

The master thesis is focused on 2D and 3D surface measurement by contact and contactless methods. The theoretical part is divided into three parts, where the first part is dedicated to general terms, definitions, and the second part to methods, both related to surface roughness. The third part brings closer sight to the statistical methods which may be used for evaluation. Practical part deals with measurement of polished coated surfaces and consequently the results are analysed by appropriate mathematical-statistical methods with the use of non-parametrical methods of hypothesis theory.

Keywords: quality, polished surface, coating, mould

Děkuji vedoucímu práce doc. Dr. Ing. Vladimírovi Patovi za jeho cenné rady a čas při vypracovávání diplomové práce. Také děkuji svým blízkým za podporu.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČASŤ</b> .....	<b>11</b>
<b>1 KONTAKTNÉ A BEZKONTAKTNÉ METÓDY MERANIA POVRCHU</b> .....	<b>12</b>
1.1 SNÍMANIE POVRCHU KONTAKTNÝM SPÔSOBOM.....	12
1.2 SNÍMANIE POVRCHU BEZKONTAKTNÝM SPÔSOBOM.....	14
1.2.1 CLA snímač .....	14
1.2.2 Laserový snímač.....	15
1.3 PRÍSTROJE TAYLOR HOBSON LTD. ....	15
1.3.1 Talysurf CLI.....	15
1.3.1.1 Talysurf CLI 2000 .....	16
1.3.2 Talysurf CCI 3000 Å.....	17
1.3.3 Talyround 365 .....	18
1.3.4 Form Talysurf PGI.....	18
<b>2 HODNOTENIE POVRCHU</b> .....	<b>19</b>
2.1 ZÁKLADNÉ POJMY .....	19
2.1.1 Profily.....	19
2.1.2 Dĺžky merania .....	20
2.2 2D PARAMETRE DRSNOSTI.....	21
2.2.1 Amplitúdové parametre.....	21
2.2.2 Dĺžkové parametre .....	23
2.2.3 Tvarové parametre .....	23
2.2.4 Krivky a zodpovedajúce parametre.....	23
2.3 3D PARAMETRE DRSNOSTI.....	24
2.4 PRAVIDLÁ PRE POROVNÁVANIE NAMERANÝCH HODNÔT S TOLERANČNÝMI MEDZAMI.....	27
2.4.1 Pravidlo 16%.....	27
2.4.2 Pravidlo maxima .....	27
2.5 VÝHODY 3D MERANIA OPROTI 2D .....	27
<b>3 METÓDY MATEMATICKO-ŠTATISTICKÉHO VYHODNOTENIA</b> .....	<b>29</b>
3.1 ZÁKLADY TEÓRIE HYPOTÉZ.....	29
3.1.1 Postup testovania hypotéz .....	29
3.1.2 Chyba I. a II. druhu .....	30
3.1.3 F-test.....	31
3.1.4 T-test .....	31
3.2 TESTOVANIE NORMALÍT .....	32
3.2.1 Normálne rozdelenie pravdepodobnosti .....	32
3.2.2 Normované normálne rozdelenie pravdepodobnosti .....	33
3.2.3 Chí-kvadrát test .....	34
<b>II PRAKTICKÁ ČASŤ</b> .....	<b>36</b>
<b>4 ÚPRAVA POVRCHU</b> .....	<b>37</b>



4.1	LEŠTENIE.....	37
4.2	POVLAKY FORIEM PRE VSTREKOVANIE.....	38
<b>5</b>	<b>SNÍMANIE POVRCHU .....</b>	<b>40</b>
5.1	PRÍSTROJ .....	40
5.2	PRÍPRAVA.....	40
5.3	NASTAVENIE PROGRAMU .....	41
<b>6</b>	<b>MATEMATICKO-ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE .....</b>	<b>45</b>
6.1	AlTiN.....	46
6.1.1	AlTiN Rz.....	46
6.1.2	AlTiN Ra.....	48
6.1.3	AlTiN RSm .....	49
6.2	CrN.....	50
6.2.1	CrN Rz .....	50
6.2.2	CrN Ra .....	51
6.2.3	CrN RSm.....	52
6.3	DLC.....	53
6.3.1	DLC Rz .....	53
6.3.2	DLC Ra .....	54
6.3.3	DLC RSm.....	55
6.4	NEPARAMETRICKÉ TESTY .....	56
6.4.1	AlTiN Rz.....	56
6.4.2	AlTiN Ra.....	57
6.4.3	AlTiN RSm .....	57
6.4.4	CrN Rz .....	57
6.4.5	CrN Ra .....	58
6.4.6	CrN RSm.....	58
6.4.7	DLC Rz .....	58
6.4.8	DLC Ra .....	59
6.4.9	DLC RSm.....	59
6.5	ZÁVEREČNÉ ZHODNOTENIE .....	60
	<b>ZÁVER .....</b>	<b>63</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY .....</b>	<b>64</b>
	<b>ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....</b>	<b>66</b>
	<b>ZOZNAM OBRÁZKOV .....</b>	<b>68</b>
	<b>ZOZNAM TABULIEK .....</b>	<b>69</b>

## ÚVOD

V súčasnosti veľmi napreduje priemyselná výroba a to vo všetkých smeroch. Nároky a požiadavky na produkty sa zvyšujú. Tomu je potrebné prispôbovať spôsoby výroby, ale aj spôsob následnej kontroly a hodnotenia produktov. Dôležitou súčasťou produktov, ktorá sa hodnotí, je povrch, keďže ovplyvňuje mnoho funkčných vlastností. Kvalita povrchu sa často najrýchlejšie zhodnotí podľa merania charakteristík a parametrov drsnosti povrchu. Požiadavky na drsnosť povrchu sa zapisujú do dokumentácie výrobku podľa platných noriem a jej meranie je možné previesť rôznymi spôsobmi. Kvôli zlepšeniu vlastností foriem pre vstrekovanie sa povrchy vylepšujú nanášaním povlakov na vopred upravenú vrchnú vrstvu materiálu. Používajú sa napríklad povlaky CrN, DLC a AlTiN. Zvyšujú tvrdosť a odolnosť proti opotrebeniu a z pohľadu vstrekovania plastov majú výhodu zabezpečujú zníženie nalepovania plastov na formu. Produkty sa merajú na viacerých miestach a získané hodnoty z jedného produktu sa zväčša štatisticky vyhodnocujú, aby sa dokázala platnosť výsledkov po celom povrchu.

## **I. TEORETICKÁ ČASŤ**

# 1 KONTAKTNÉ A BEZKONTAKTNÉ METÓDY MERANIA POVRCHU

V súčasnosti sa dosahuje badateľný pokrok v oblasti merania kvality povrchov, pričom metódy aj prístroje sa stále vyvíjajú, aby sa dosiahli presnejšie výsledky. Metódy možno rozdeliť na:

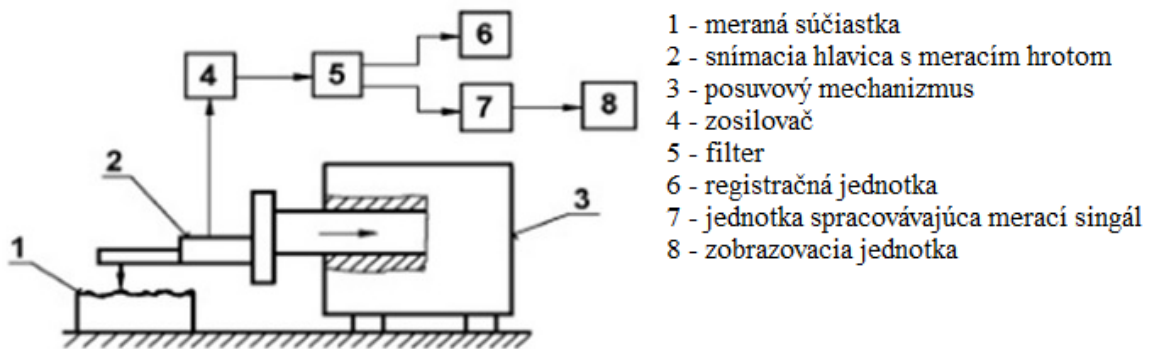
- Kvalitatívne (porovnávacie) – Porovnávame navzájom dva povrchy, ktoré musia byť obrobené tým istým spôsobom. Drsnosť jedného je známa, pričom zisťujeme či je druhý povrch hladší alebo drsnejší, alebo sa nachádza v rozmedzí určitých drsností. Využívajú sa vzorkovnice alebo mikroskopy
- Kvalitatívne (parametrické) – Drsnosť povrchu vyjadrujeme číselne v rôznych parametroch. Využívajú sa prístroje ako profilomere alebo interferometre, ktoré vyhodnocujú určené odchýlky povrchu od svojej vopred určenej nulovej hodnoty. [9]

Prístroje a zariadenia, ktoré sa využívajú na kontrolu a meranie parametrov štruktúry povrchu, sa rozdeľujú podľa spôsobu kontaktu meracieho prístroja s vyhodnocovaným povrchom na:

- kontaktné
- bezkontaktné. [7]

## 1.1 Snímanie povrchu kontaktným spôsobom

Tento spôsob merania štruktúry povrchu je najrozšírenejším v praxi. Využíva prístroj nazývaný profilometer, ktorý sa skladá z mechanickej a elektrickej časti. Je založený na snímaní povrchu pomocou ostrého hrotu upevneného na rameno. Hrot je vyrobený z diamantu a má tvar kužeľa s  $90^\circ$  alebo  $60^\circ$  vrcholovým uhlom, zaoblením 2,5 alebo 10  $\mu\text{m}$ . Táto časť je napojená na elektromotor zaisťujúci priamočiary pohyb po súčiastke uloženej na stole. Pohyb ramena vo vertikálnom smere je spôsobený nerovnosťami, výstupkami a priehlbami, ktorý je následne transformovaný na elektrický signál. Na spracovanie signálu sa využívajú elektromagnetický, piezoelektrický alebo elektro-indukčný snímač. Meracia sila, ktorú je potrebné vytvoriť, aby hrot presne kopíroval profil, sa pohybuje v rozmedzí mN až 10 mN. [6, 9] Schéma profilometra je na Obrázku 1.



Obrázok 1 Profilometer [9]

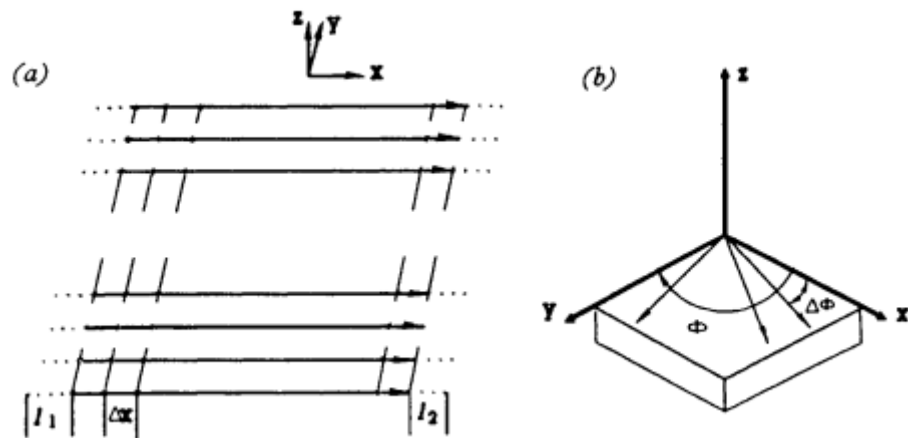
Medzi výhody dotykového spôsobu merania patrí jednoduchá obsluha a konštrukcia prístrojov, presná definícia pomocou ISO noriem, schopnosť prekonať zbytky materiálov a olejový povlak, priamosť čítania výsledkov, menšie veľkosti snímača, možnosti merania vnútorných povrchov a tolerancia voči znečisteniu. [9]

Medzi nevýhody možno zaradiť možnosť poškodenia vzoriek meracím hrotom a potrebná tvarová dostupnosť na súčiastke pre merací hrot, zložitosť pre priestorové vyhodnocovanie, limitácia meracích materiálových povrchov, potrebná filtrácia a nižšia rýchlosť merania. [9]

Povrch zosnímaný dotykovým spôsobom je možné vyhodnotiť aj priestorovo. K tomu je potrebné dodať ďalší rozmer, čo je možné 2 spôsobmi:

- a) Raster meranie – pri tejto metóde sa zozbiera určité množstvo rovnomerne rozmiestnených profilov, ktoré sa porovnávajú so spoločným začiatkom súradnicového systému. Súradnice  $x$  a  $z$  vychádzajú z bežného merania povrchu, pričom súradnica  $y$  sa zozbiera takýmto spôsobom merania.
- b) Radiálne meranie – pri tejto metóde nie sú profily navzájom rovnobežné, avšak všetky vychádzajú z jedného súradnicového systému a zvierajú spolu radiálny uhol. Z súradnica a  $R$  vychádzajú z jednotlivých meraní, pričom tretí rozmer je rádius udávaný uhlom  $\varphi$ . Táto metóda je zriedkavejšie používaná kvôli zložitejšej vizualizácii výsledkov. [6]

Na Obrázku 2 sú náčrty oboch spôsobov.



Obrázok 2 Raster a radiálny spôsob merania [6]

## 1.2 Snímanie povrchu bezkontaktným spôsobom

Povrch môže byť snímaný bezkontaktné rôznymi spôsobmi. Či už pomocou skenovacích mikroskopov alebo optickými metódami, medzi ktoré patria:

- Leskomery
- Interferometre
- Konfokálne mikroskopy. [6]

Optické bezkontaktné meranie je založené na posudzovaní povrchu pomocou svetelného lúča, ktorý sa z určitého povrchu buď odráža alebo sa rozptyľuje. Hĺbka vniknutia svetelného lúča do povrchu zvislá na súčiniteli absorpcie meraného materiálu ovplyvňuje výsledok merania tak, ako aj iné vlastnosti materiálu. Sklony a uhly produktu tvoria kritické miesta merania, kvôli rôznym odrazivostiam. V hraničných miestach je možné, že sa lúč neodrazí do detektora bezchybne a dáta sa nezaznamenajú správne. Cena prístrojov a softwarov je pomerne vyššia, čo taktiež patrí medzi nevýhody bezkontaktného merania. Medzi výhody patria vysoká rýchlosť snímania, možnosť merania aj na citlivých materiáloch a fakt, že produkty sa pri meraní nemôžu poškodiť ako pri použití snímača s diamantovým hrotom. Bezdotykové meranie môže fungovať na princípe rôznych snímačov. [10]

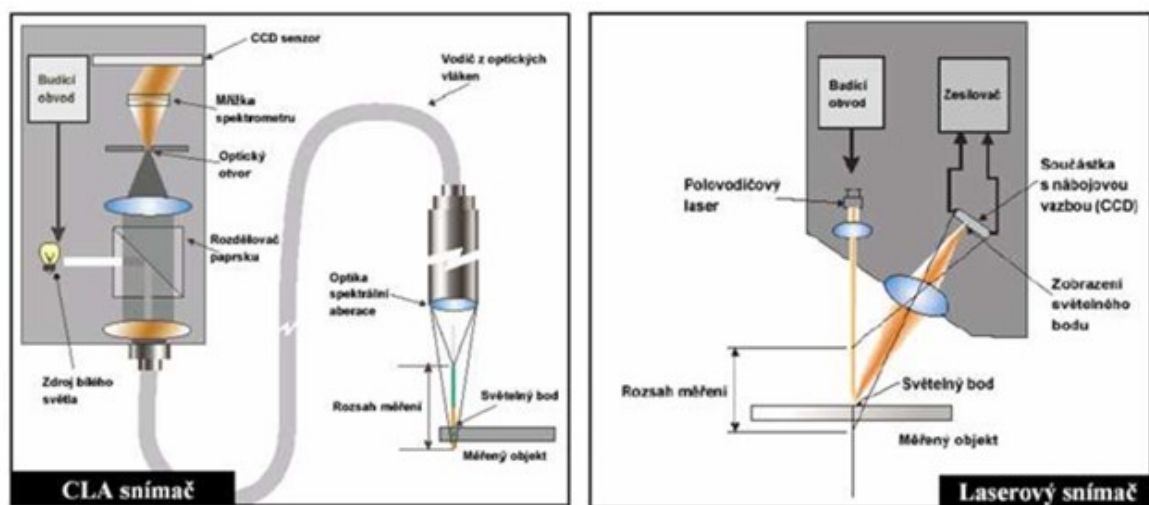
### 1.2.1 CLA snímač

CLA snímač funguje na princípe rozkladu bieleho svetla. To prechádza optikou so spektrálnou aberáciou čím je nasmerované na kontrolovaný povrch. Svetlo sa rozkladá podľa vlnových dĺžok. V každom bode povrchu sa zaostrí iba svetlo určitej vlnovej dĺžky. Následne sa svetlo odráža a prechádza otvorom späť, pričom otvor prepustí iba svetlo zaostrenej vlnovej

dĺžky. Prepustené svetlo sa pomocou spektrometra vychýli na CCD senzor, kde sa všetkým bodom priradí priestorová poloha. [7]

### 1.2.2 Laserový snímač

Z polovodičového laseru je vyslaný lúč, ktorý sa po odrazení od meraného povrchu vracia späť do optického zariadenia. Tu sa lúč zaostrí na CCD snímacom poli, ktoré zaisťuje špičkovú hodnotu rozdelenia množstva svetla v danom bode lúča. Použitím CCD obrazových prvkov na ploche bodu lúča sa následne určia polohy zameraných bodov. [7] Na Obrázku je základný princíp CLA a laserového snímača.



Obrázok 3 CLA a laserový snímač [12]

## 1.3 Prístroje Taylor Hobson Ltd.

Spoločnosť Taylor Hobson Ltd. Patrí medzi výrobcov techniky zameranej na meranie textúry a tvaru povrchu a zároveň sa zúčastňuje na vytváraní a normalizácii metodiky merania a parametrov pre spracovávanie výsledkov a vyhodnotenie. Využívajú zároveň kontrolné postupy a získané parametre na posudzovanie funkčných vlastností povrchu. [21]

### 1.3.1 Talysurf CLI

Rada vysoko účinných meracích prístrojov zabezpečujúcich rýchle priestorové meranie a hodnotenie povrchu, ktoré má vysoké rozlíšenie s univerzálnym využitím na rôzne druhy materiálov. Meracia technika môže byť:

- dotyková – indukčný dotykový spôsob Form Talysurf
- bezdotyková – laserová triangulačná sonda, CLA konfokálny snímač. [1]

Meranie a analýza je prebieha v 3 osách (X,Y,Z) s rýchlosťou až do 30 m/s. Prístroj je primárne vytvorený pre 3D merania avšak súčasne je možné vykonať komplexné 2D meranie pomocou zakomponovaných mechanických a analytických prostriedkov. Prístroj má 3 veľkostné prevedenia a to:

- Talysurf CLI 2000
  - vysoká presnosť a rýchlosť merania
  - merací priestor 200x200x200 mm
  - pre veľké i malé súčiastky
  - možnosť merať viac súčiastok naraz s posuvom z jednej na druhú
- Talysurf CLI 1000
  - presnosť, rýchlosť software a programovateľnosť ako Talysurf CLI 2000
  - merací priestor 100x100x100 mm
  - malé a stredné súčiastky
- Talysurf CLI 500
  - ekonomická a priestorová efektívnosť
  - 50x50x50 mm
  - malé súčiastky. [11, 12]

### ***1.3.1.1 Talysurf CLI 2000***

Výrazný pokrok vo vývoji meracích systémov, najmä bezdotykových, zvyšuje možnosti rozšírenia kontrolných operácií do úplne nových súčiastkových a materiálových oblastí. Medzi ktoré patria napríklad kontroly:

- plošných obvodov,
- foriem a výrobkov z dentálnych tvárných hmôt,
- plastových súčiastok automobilov,
- brúsiacich kotúčov,
- elektronických pamätí. [11]

V prístrojoch Talysurf CLI 2000 sa využívajú rôzne meracie systémy zhodnotené v nasledujúcej Tabuľke 1.



Tabuľka 1 Talysurf CLI 2000 parametre [11]

Merací systém	Typ	Rozsah	Rozlíšenie	
			Vertikálne	Horizontálne
Laserový	Triangulačný laser (2000 Hz)	10 mm	1,0 $\mu\text{m}$	30 $\mu\text{m}$
		30 mm	3,0 $\mu\text{m}$	70 $\mu\text{m}$
Konfokálny (CLA)	Chromatic Length Aberration (5000 Hz)	3 mm	100 nm	5 $\mu\text{m}$
		1 mm	30 nm	2 $\mu\text{m}$
		300 $\mu\text{m}$	10 nm	1 $\mu\text{m}$
Indukčný	Form Talysurf Dia hrot R2 $\mu\text{m}$	2,5 mm	40 nm	2 $\mu\text{m}$
		500 $\mu\text{m}$	10 nm	2 $\mu\text{m}$
		100 $\mu\text{m}$	2 nm	2 $\mu\text{m}$

### 1.3.2 Talysurf CCI 3000 Å

Vlastnosti meracieho systému Talysurf CCI 3000 Å sú zhrnuté v Tabuľke 2 a požiadavky na meranú súčiastku v Tabuľke 3.

Tabuľka 2 Talysurf CCI 3000 Å parametre [11]

Vlastnosti meracieho systému	
<b>Rozlíšiteľnosť</b>	0,1Å (10 pm)
<b>Priečne rozlíšenie (X,Y)</b>	0,36 $\mu\text{m}$
<b>Rozsah merania</b>	100 $\mu\text{m}$
<b>Priemerná doba merania</b>	10-20 s
<b>Upínacie stoly XY</b>	Ručne ovládané (50 x 50 mm)
	Programovo riadené (250 x 200 mm)
<b>Veľkosť pracovného priestoru</b>	300 x 300 x 200 mm

Tabuľka 3 Talysurf 3000 možnosti súčiastky [11]

Požiadavky na meranú súčiastku	
Hmotnosť meraných súčiastok	Max 10 kg
Odrazivosť svetla	0,3 – 100 %
Typ povrchu	od hrubých až po jemne dokončené

Prístroj je založený na princípe interferometra. Umožňuje bezkontaktné meranie a analýzu drsnosti povrchu, vertikálnych prevýšení a mikrorozmerov. Je možné ním merať povrchy polovodičov, povrchy dokončované diamantovými nástrojmi alebo leštením, optické súčiastky a pod. Rozsah jedného merania je viac ako jeden milión dátových bodov. [11]

### 1.3.3 Talyround 365

Prístroj je možné využiť na hodnotenie kruhovitosti a textúry povrchu vo všetkých osách s využitím presných sklenených mierok a precíznym riadením pohybu, snímaním povrchu ramenom s diamantovým hrotom o veľkosti 5  $\mu\text{m}$ . Je typický nízkym systémovým šumom a veľmi vysokou hustotou nasnímaných dát. Takisto je možné hodnotenie funkčných vlastností ako drsnosť na tesniacich plochách, schopnosť udržať olej alebo opotrebenie rezného nástroja. Pri meraní je potrebné dbať na dostatočný rozstup meraných bodov a automatické vystredenie sústavy stôl - súčiastka. [11,12]

### 1.3.4 Form Talysurf PGI

Interferometrický dotykový prístroj, ktorého prednosťou je mechanická stabilita veľký rozsah merania s maximálnou dĺžkou posuvu až 200 mm a zdvihom v osi Z 12,5 mm, rozlíšenie až do 0,8 mm a možnosť automatickej kalibrácie. Okrem toho sa vyznačuje aj nižším elektronickým a systémovým šumom v porovnaní s predchádzajúcimi modelmi. [11,12]

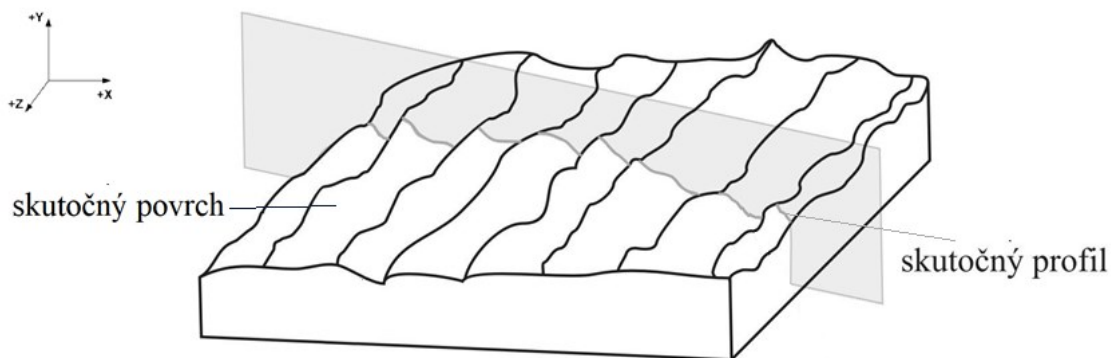
## 2 HODNOTENIE POVRCHU

Kvalita povrchu alebo jeho drsnosť je súbor nerovností s pomerne krátkou vzdialenosťou, ktoré vznikajú pri výrobe súčiastky alebo vplyvmi výroby. Do úvahy sa neberú chyby povrchu vyskytujúce sa iba zriedkavo, spôsobené chybami materiálu alebo poškodením ako napr. trhlinky, preložky a vruby. Drsnosť má zreteľný vplyv na životnosť a spoľahlivosť súčiastky a takisto ovplyvňuje priebehy fyzikálnych a chemických javov sprevádzajúcich činnosť funkčného povrchu. Nie je možné ju merať priamo, preto sa vyhodnocuje meraním vhodných charakteristík a parametrov, ktoré sa považujú za kritéria drsnosti povrchu. Termíny, definície a parametre a ich jednotky charakterizujúce povrch sú sformulované v platných normách ČSN EN ISO. [3,18]

### 2.1 Základné pojmy

#### 2.1.1 Profily

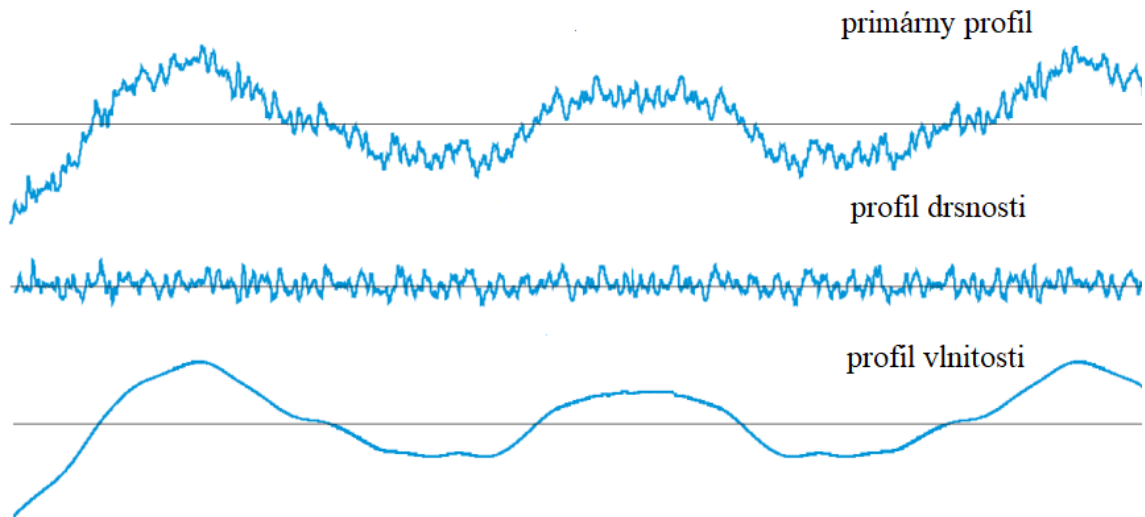
Podľa normy ČSN EN ISO 4287, ktorá opisuje 2D meranie drsnosti, skutočný povrch je ten povrch, ktorý vymedzuje dané teleso a oddeľuje ho od okolitého prostredia. Skutočný profil zodpovedá profilu, ktorý vznikne ako priesečnica skutočného povrchu a určitej roviny (väčšinou roviny, ktorá je kolmá k rovine rovnobežnej so skutočným povrchom vo vyhovujúcom smere. Volí sa podľa prevládajúceho smeru nerovností, čo je buď v priečnom alebo pozdĺžnom smere. Pri určovaní parametrov štruktúry povrchu je potrebné zvolit' vhodný súradnicový systém. [3,4] Na obrázku 4 možno vidieť skutočný povrch a skutočný profil.



Obrázok 4 Skutočný povrch a skutočný profil [13]

Filtráciou podľa normy DIN EN ISO 11 562 sa z nefiltrovaného primárneho profilu (P-profil) získa profil drsnosti (R-profil) a profil vlnitosti (W-profil). Veličiny definované na týchto

profiloch sú analogicky označené ako P,R a W parametre. Filter profilu rozdeľuje zložky na dlhovlnné a krátkovlnné. [13] Na obrázku 5 sú vyobrazené typy profilov.



Obrázok 5 Profily [13]

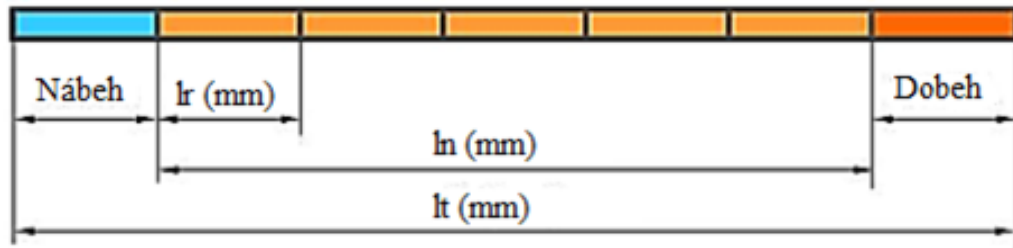
### 2.1.2 Dĺžky merania

Pri 2D meraní drsnosti sú dôležité 3 dĺžky:

- snímaná dĺžka „ $l_t$ “,
- vyhodnocovaná dĺžka „ $l_n$ “,
- základná dĺžka „ $l_r$ “. [7]

Snímaná dĺžka je kompletná dĺžka dotyku medzi snímacím zariadením a povrchom obsahujúca nábeh, vyhodnocovanú dĺžku a dobeh. Vyhodnocovaná dĺžka pozostáva z jednej alebo viacerých ( $n$ ) základných dĺžok, pričom najčastejšie ich je 5. Základná dĺžka sa používa na identifikovanie nepravidelností popisujúcich hodnotený profil. Parametre drsnosti povrchu sa zväčša určujú na tejto dĺžke. Volí sa na základe predpokladanej drsnosti daného profilu a môže mať veľkosti 0,08 mm, 0,25 mm, 0,8 mm a 8 mm. Ak má teda základná dĺžka 0,8 mm, vyhodnocovaná dĺžka má potom 4 mm. [7,23] Na obrázku 6 sú zakreslené dĺžky merania, teda nábeh, vyhodnocovaná dĺžka so základnými dĺžkami a dobeh.

$$\text{Nábeh} = l_r \text{ (mm)} \quad \text{Dobeh} = l_r \text{ (mm)} \quad l_n = n \times l_r \text{ (mm)} \quad l_t = l_n + 2 \times l_r \text{ (mm)}$$



Obrázok 6 Dĺžky pri meraní [23]

## 2.2 2D parametre drsnosti

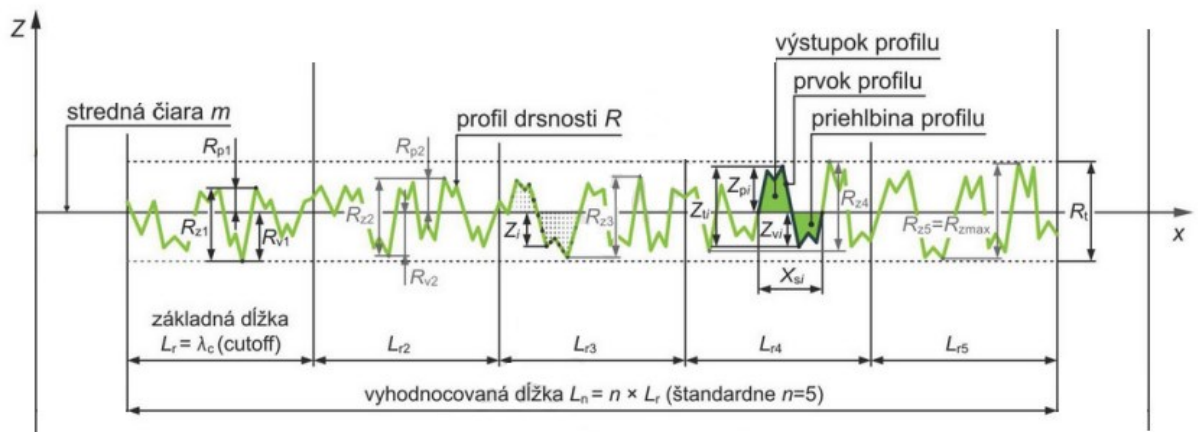
2D parametre, ktoré charakterizujú skúmaný profil, sa rozdeľujú na amplitúdové (výškové), dĺžkové a tvarové. Ďalej je možné ich rozdeliť podľa toho, či sú definované na základnej alebo vyhodnocomanej dĺžke. V prípade, že sú definované na základnej dĺžke, výsledné parametre sú vypočítajú ako aritmetický priemer hodnôt jednotlivých základných dĺžok. Sú presne definované podľa normy ČSN EN ISO 4287. [3,4]

### 2.2.1 Amplitúdové parametre

- **Výška najväčšieho výstupku profilu  $R_p$**  – najväčšia výška  $Z_p$  výstupku profilu v rozsahu základnej dĺžky [3]
- **Hĺbka najväčšej priehlbiny profilu  $R_v$**  – najväčšia hĺbka  $Z_v$  priehlbiny profilu v rozsahu základnej dĺžky [3]
- **Najväčšia výška profilu  $R_z$**  – súčet výšky najväčšieho výstupku a hĺbky najväčšej priehlbiny v rozsahu základnej dĺžky ( $R_z = Z_p + Z_v$ ). [3]
- **Priemerná výška prvok profilu  $R_c$**  – priemerná hodnota výšok  $Z_t$  prvkov profilu v rozsahu základnej dĺžky. [3]

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

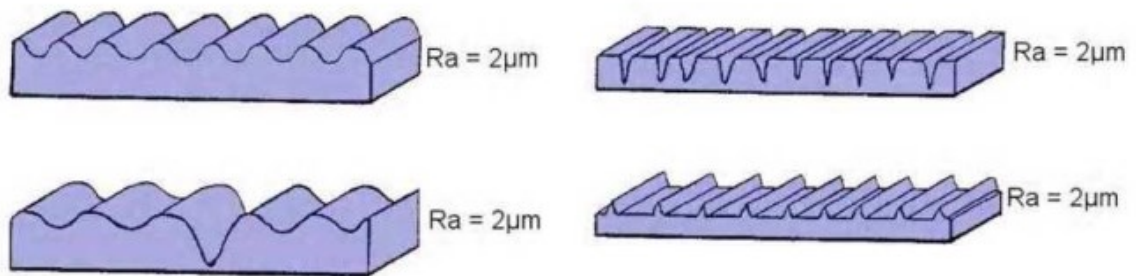
- **Celková výška profilu  $R_t$**  - súčet výšky najväčšieho výstupku a hĺbky najväčšej priehlbiny v rozsahu vyhodnocomanej dĺžky. [3]



Obrázok 7 Základné parametre [3]

- Stredná aritmetická odchýlka posudzovaného profilu  $R_a$**  – aritmetický priemer absolútnych hodnôt súradníc  $Z(x)$  profilu v rozsahu základnej dĺžky. Je to jeden z najčastejšie meraných parametrov napriek tomu, že neposkytuje 100% informácie o tvare nerovností povrchu vzhľadom na jednotlivé možnosti výroby súčiastok. [3] Na Obrázku 8 sú vyobrazené rôzne tvary a výškové parametre, ktoré majú rovnakú hodnotu  $R_a$ .

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

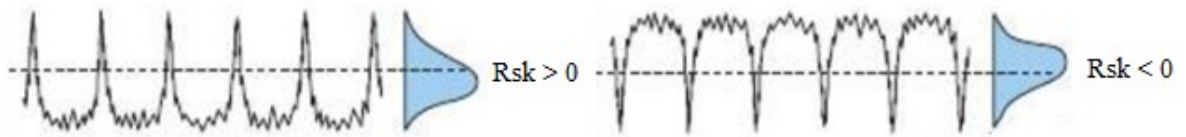

 Obrázok 8 Rôzne tvary a výškové parametre s rovnakou hodnotou  $R_a$  [13]

- Priemerná kvadratická odchýlka posudzovaného profilu  $R_q$**  – kvadratický priemer súradníc  $Z(x)$  v rozsahu základnej dĺžky. [3]

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

- Šikmosť posudzovaného profilu  $R_{sk}$**  – podiel priemernej hodnoty tretích mocnín súradníc  $Z(x)$  a tretej mocniny hodnoty  $R_q$  v rozsahu základnej dĺžky. [3]

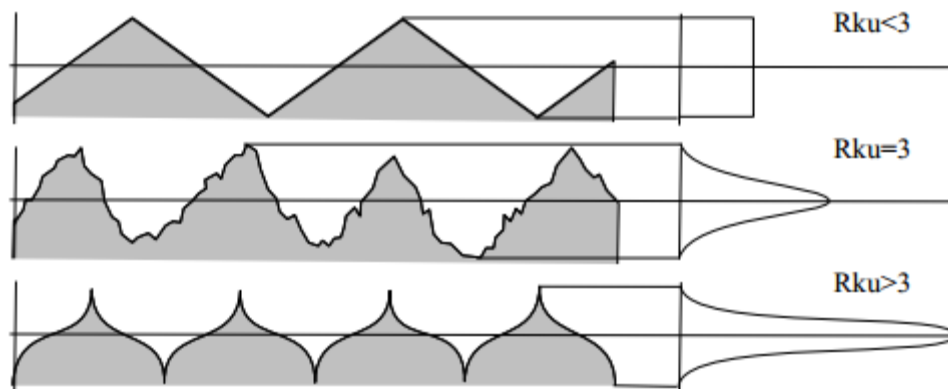
$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3} \left[ \frac{1}{l} \int_0^l |Z^3 x| dx \right] \quad (4)$$



Obrázok 9 Šikmost' profilu [13]

**Špicatost' posudzovaného profilu  $Rku$**  – podiel priemernej hodnoty štvrtých mocnín súradníc  $Z(x)$  a štvrtej mocniny hodnoty  $Pq$ ,  $Rq$  alebo  $Wq$  v rozsahu základnej dĺžky. [3]

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left[ \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^4 x| dx \right] \quad (5)$$



Obrázok 10 Špicatost' profilu [4]

### 2.2.2 Dĺžkové parametre

- **Priemerná šírka prvkov profilu  $Rsm$**  - stredná aritmetická hodnota šírok  $Xs$  prvkov profilu v rozsahu základnej dĺžky. [3]

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xs_i \quad (6)$$

### 2.2.3 Tvarové parametre

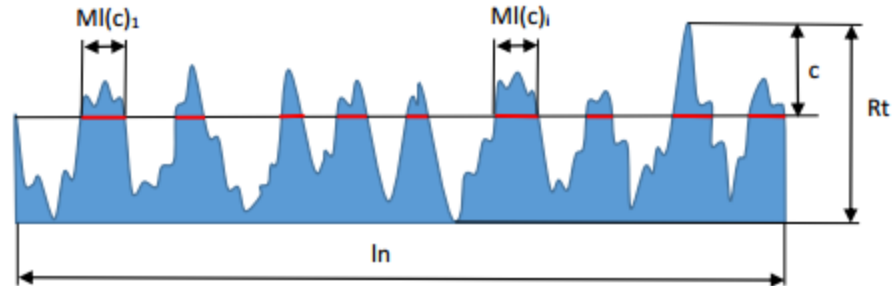
- **Priemerný kvadratický sklon posudzovaného profilu** – kvadratický priemer sklonu súradníc  $dZ/dX$  v rozsahu základnej dĺžky. [3]

### 2.2.4 Krivky a zodpovedajúce parametre

- **Materiálový podiel profilu  $Rmr(c)$**  – pomer dĺžky materiálu prvkov profilu  $M(c)$  na zodpovedajúcej úrovni  $c$  k vyhodnocovanej dĺžke. [3]

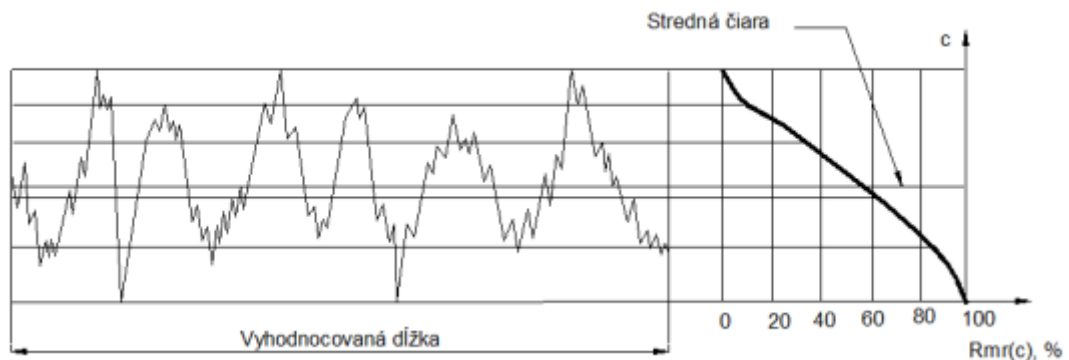
$$Rmr(c) = \frac{Ml}{ln} \quad (7)$$

$$Ml = \sum_{i=1}^n Mi \quad (8)$$



Obrázok 11 Materiálový podiel profilu [13]

- **Krivka materiálového pomeru profilu** – inak nazývaná aj Abbott Firestoneova krivka – predstavuje materiálový pomer profilu v závislosti od výšky úrovne. [3]

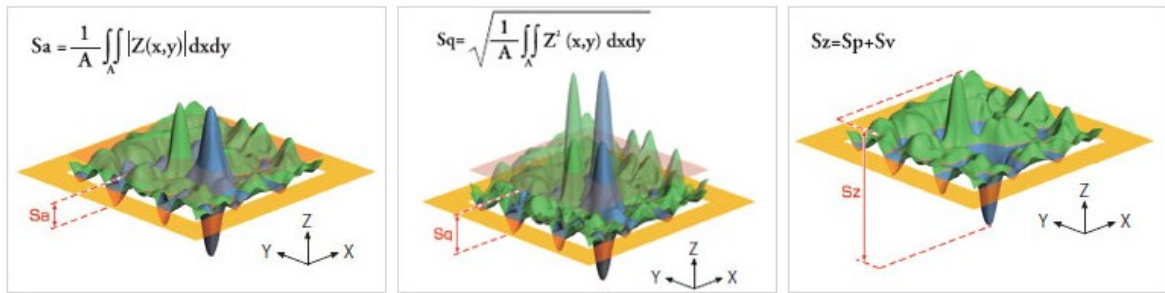


Obrázok 12 Krivka materiálového podielu [13]

### 2.3 3D parametre drsnosti

3D parametrami drsnosti sú sa zaoberajú normy radu ČSN EN ISO 25 178, avšak rôzni výrobcovia meracích zariadení si parametre prispôbujú. Výhodou priestorového merania je, že umožňuje vyobrazenie farebného rozlíšenia výšok nerovností profilu v takzvaných mapách povrchu. Povrch je teda prezentovaný objektívnejšie aj vizuálnejšie ako celok, nie v jednotlivých profiloch ako v prípade 2D parametrov. 3D parametre sú však podobné ako 2D, pričom sú namiesto písmena R označené písmenom S. [12,22] Na Obrázku 13 sú zakreslené 3D parametre Sa, Sq a Sz.



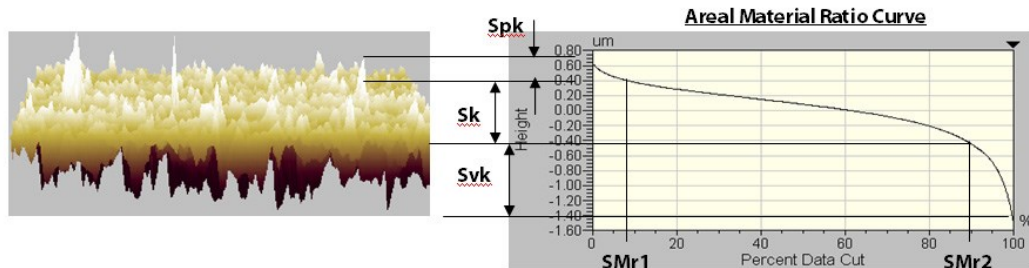


Obrázok 13 3D parametre [125]

Na základe noriem radu ČSN EN ISO 25 178 sa 3D parametre rozdeľujú na:

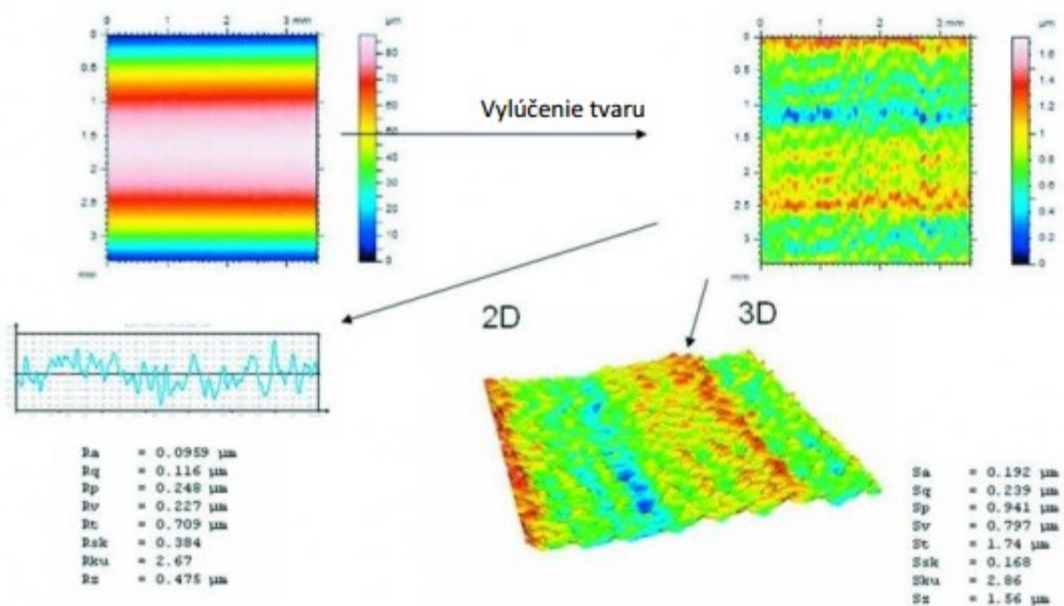
- Výškové parametre (väčšina z nich je odvodená z parametrov 2D)
  - Sa - Priemerná aritmetická odchýlka povrchu
  - Sq - Priemerná kvadratická odchýlka (RMS) povrchu
  - St - Celková výška povrchu
  - Sp - Výška najväčšieho výstupku
  - Sv - Hĺbka najväčšej priehlbiny
  - Sz - Najväčšia výška povrchu
  - Ssk - Šikmosť krivky rozdelení výšok
  - Sku - Špicatosť krivky rozdelení výšok [22]
- Priestorové parametre
  - Sal - dĺžka autokorekcie
  - Str – pomer aspektov textúry [22]
- Hybridné parametre
  - Sdq - Kvadratický sklon povrchu
  - Sdr – Pomerná rozvinutá styková plocha Plošné a objemové parametre [22]
- Funkčné a súvisiace parametre
  - Smr - Nosný pomer v danej hĺbke (potrebná je medzná hodnota a referenčný údaj)
  - Smc – Opačný pomer v danej hĺbke (potrebná je medzná hodnota a referenčný údaj)
  - Sk – Hĺbka jadra drsnosti
  - Spk – Redukovaná výška výstupku
  - Svk – Redukovaná výška priehlbín [22]

- Zmiešané parametre
  - Std – Smer textúry povrchu. [22]



Obrázok 14 Krivka materiálového podielu v 3D [21]

Na obrázku 14 možno vidieť zmeraný 3D povrch, z ktorého je zostrojená krivka materiálového podielu. Na odmeranom 3D povrchu na obrázku 15 sú zobrazené niektoré možnosti spracovania priestorového merania povrchov, ku ktorým patrí aj vylúčenie tvaru a získanie profilu drsnosti a jeho následné vyobrazenie v rôznych pohľadoch. Taktiež je možné vytvoriť rez s 2D profilom a určiť zodpovedajúce 2D parametre. [6]



Obrázok 15 3D vyhodnotenie profilu [73]

Z priestorovo zobrazenej povrchovej štruktúry je možné určiť aj funkčné vlastnosti povrchu ako opotrebenie alebo korózia povrchu, proces starnutia, trenie, požadované podmienky pre mazanie alebo tesnenie dotykových plôch, únavové vlastnosti či vhodnosť povrchu pre nanášanie povlakov a náterov. Dáva možnosť kvantitatívne študovať geometrické a rozmerové

zmeny profilu povrchu počas výrobného procesu, po ňom alebo počas funkčného využitia súčiastky. [8]

## 2.4 Pravidlá pre porovnávanie nameraných hodnôt s tolerančnými medzami

### 2.4.1 Pravidlo 16%

Ak sú na výkresovej alebo výrobnej dokumentácii uvedené požiadavky určujúce drsnosť povrchu a sú špecifikované medzami parametrov, dolnou alebo hornou medzou, viac než 16% nameraných hodnôt parametra musia byť väčšie resp. menšie ako daná medza. V prípade, že sú stanovené horná a dolná medza, parameter je označený bez indexu „max“. [3]

### 2.4.2 Pravidlo maxima

Ak je v požiadavkách špecifikovaná najväčšia hodnota parametru označená indexom „max“, počas kontroly nesmie na celom povrchu žiadna z nameraných hodnôt parametru presiahnuť hodnotu uvedenú v dokumentácii. [3]

## 2.5 Výhody 3D merania oproti 2D

1. Topografia povrchu je prirodzene trojrozmerná, preto významným znakom 3D merania povrchu je možnosť reprezentovať jeho prirodzené charakteristiky, čo 2D meranie neumožňuje. V prípadoch, že sa na 2D profile vyskytuje väčšia priehlbina, nie je možné určiť či sa jedná o dieru v povrchu, alebo o žľab. Vtedy priestorovo zobrazený úsek povrchu jasne identifikuje všetky nie len kvalitatívne znaky ako diery, žľaby, anizotropia, nehomogenita povrchu, ale veľkosti, tvary a objemy týchto znakov môžu byť aj kvantitatívne vypočítané.
2. Parametre získané 3D topografiou sú realistickejšie než 2D parametre, najmä ak ide o parametre vyjadrujúce extrémny, vzhľadom na to, že profil sa zhoduje s vertikálnym rezom povrchu, pričom tento rez nemusel prechádzať skutočnými maximálnymi výstupkami a priehlbunami. Vtedy sú extrémny len akýmsi náznakom skutočných hodnôt. Avšak 3D meraním sú tieto skutočné parametre jednoduchšie odhaliteľné.
3. 3D merania môžu poskytnúť nové využiteľné parametre, ako napríklad množstvo mazacieho oleja, objem triesok, dotyková plocha, ktoré nie sú dostupné z 2D analýzy povrchu. Tieto parametre sú veľmi prospešné pre inžinierov a tribológov a umožňujú im analýzy funkčných vlastností povrchov.

4. Zo štatistického uhla pohľadu, čím sú získané dáta nezávislejšie, tým je viac možností hodnotenia súboru vlastností náhodného procesu. Štatistická analýza 3D povrchu je spoľahlivejšia a reprezentatívnejšia ak je založená na väčšom množstve dát, to znamená, že 3D analýza môže znížiť rozptyl parametrov, hlavné tých, ktoré sú počítané z teoreticky stacionárnych povrchov získaných napríklad elektrotriskovým alebo abrazívnym obrábaním.
5. Jedným z najvýznamnejších znakov 3D topografickej analýzy je, že vizualizácia prebieha cez počítač. S pomocou počítača a technikami úpravy obrázkov môže byť ktorékoľvek meranie povrchu, i dotykové, vykreslené spôsobom podobným ako cez mikroskop.
6. Veľa systémov meracích v 2D stále využíva analógový systém, pričom takmer všetky 3D systémy sú digitálne. Výhoda digitálnych systémov je, že majú funkciu narábať s dátami tak, ako požaduje ich používateľ. Takéto systémy sú preto flexibilné v ich schopnosti spracovávať dáta, poskytnúť vhodné ukladanie dát a ich následné vyhľadávanie. Taktiež je jednoduché ich ovládať. [6]

### 3 METÓDY MATEMATICKO-ŠTATISTICKÉHO VYHODNOTENIA

#### 3.1 Základy teórie hypotéz

Štatistická hypotéza predstavuje tvrdenie o určitej vlastnosti základného súboru. Ak nepoznáme celý základný súbor, čo je väčšina prípadov, nemôžeme žiadnu domnienku potvrdiť na 100%. Preto sa hypotézy testujú a na základe testovania označujú ako platné alebo neplatné. Hypotézy môžu byť:

- Parametrické – týkajú sa napríklad strednej hodnoty, mediánu, rozptylu. Je možné ich zapísať ako matematickú rovnosť alebo nerovnosť testovaných parametrov či testovanou a predpokladanou hodnotou.
- Neparametrické – týkajú sa napríklad závislosti premenných alebo typu rozdelenia. [2,7]

Parametrické testy sa môžu zaoberať parametrom jednej, dvoch (porovnávacie testy) alebo viac ako dvoch populácií (ANOVA). [7]

##### 3.1.1 Postup testovania hypotéz

Pri testovaní je potrebné dodržať nasledujúci postup:

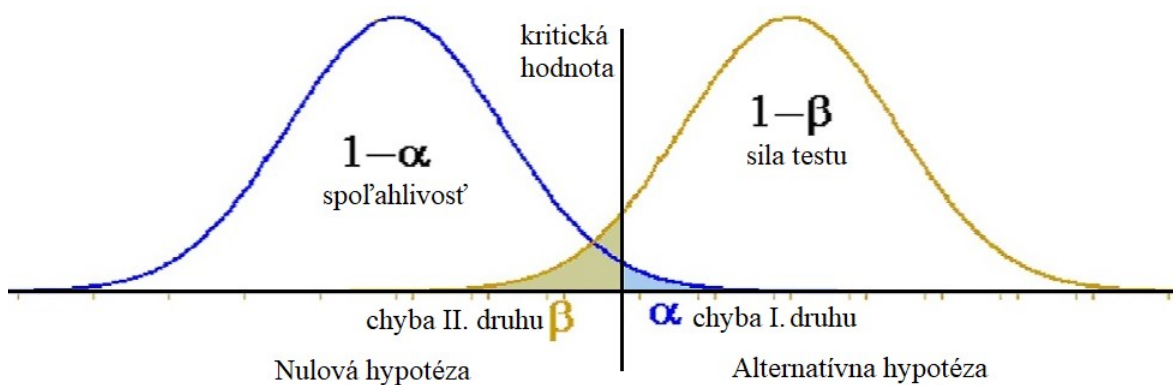
1. Formulácia nulovej hypotézy  $H_0$
2. Formulácia alternatívnej hypotézy  $H_A$
3. Voľba hladiny významnosti  $\alpha$
4. Výpočet kritickej hodnoty  $H_K$
5. Výpočet testovacieho kritéria  $H_{TK}$
6.  $H_{TK} > H_K \Rightarrow$  zamietnutie  $H_0$   
 $H_{TK} < H_K \Rightarrow$  zamietnutie  $H_A$

Nulová hypotéza  $H_0$  je tvrdenie o základnom súbore na základe výberového súboru, ktoré predstavuje rovnovážny stav. Zapisuje sa ako „=“ a je to predpoklad pri testovaní. Oproti nej sa stavia alternatívna hypotéza  $H_A$ , ktorá sa môže byť:

- jednostranná, teda zapísaná znamienkami „>“ alebo „<“
- obojstranná, teda zapísaná znamienkom „≠“. [2,7]

### 3.1.2 Chyba I. a II. druhu

Chyby I. a II. druhu predstavujú nežiadúce situácie pri štatistickom rozhodovaní. Ich pravdepodobnosti by mali byť minimálne. Veľkosť chyby  $\alpha$ , teda hladiny významnosti, volíme pred testovaním, väčšinou  $\alpha=0,05$  (prípadne 0,01). Veľkosť chyby II. druhu  $\beta$  sa odvíja od zvolenej hladiny významnosti. Ich závislosť znázorňuje Obrázok 16. [2]



Obrázok 16 Závislosť pravdepodobností chýb I. a II. druhu

Výsledok štatistického testu, ktorý zamieta nulovú hypotézu, sa označuje za štatisticky významný. Ak je rozhodnutie správne, nazývame ho spoľahlivosť. Ak však zamietneme  $H_0$ , ktorá v skutočnosti platí, dopúšťame sa chyby I. druhu. V prípade, že je správnym rozhodnutím zamietnutie  $H_0$  a platí  $H_A$ , toto rozhodnutie sa nazýva sila testu. Ak  $H_A$  platí, a my  $H_0$  nezamietneme, dopúšťame sa chyby II. druhu. [2,5]

Tabuľka 4 Chyba I. a II. druhu [7]

Skutočnosť	Výsledok testu	
	Nezamietame $H_0$	Zamietame $H_0$
Platí $H_0$	Rozhodnutie je správne	<b>Chyba I. druhu</b>
	Pravdepodobnosť rozhodnutia $1-\alpha$ (spoľahlivosť)	Pravdepodobnosť rozhodnutia $\alpha$ (hladina významnosti)
Platí $H_A$	<b>Chyba II. Druhu</b>	Rozhodnutie je správne
	Pravdepodobnosť rozhodnutia ( $\beta$ )	Pravdepodobnosť rozhodnutia $1-\beta$ (sila testu)

### 3.1.3 F-test

F-test je metóda testovania významnosti rozdielu dvoch rozptylov  $s_1^2$  a  $s_2^2$  výberových súborov o rozsahu  $n_1$  a  $n_2$ , pričom  $n_1$  a  $n_2$  nemusia byť rovnaké. Zisťujú sa ním rozdiely medzi populáciami  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  a  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$  za predpokladu pre F-test, že rozdelenie pravdepodobností oboch súborov je normálne. Používa sa napríklad v prípade porovnávania presnosti dvoch metód merania. [7,15]

Tabuľka 5 F-test postup [1]

<b>Nulová hypotéza <math>H_0</math></b>	$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	
<b>Alternatívna hypotéza <math>H_A</math></b>	$\sigma_1^2 > \sigma_2^2$	$\sigma_1^2 < \sigma_2^2$
<b>Kritická hodnota <math>H_K</math></b>	určenie z tabuliek podľa $n_1-1$ a $n_2-1$	
<b>Testovacie kritérium <math>H_{TK}</math></b>	$H_{TK} = \frac{s_1^2(n_1)}{s_2^2(n_2)}$	

### 3.1.4 T-test

T-test je metóda testovania významnosti rozdielu dvoch priemerov  $\bar{x}_1$  a  $\bar{x}_2$  výberových súborov o rozsahu  $n_1$  a  $n_2$  a výberovými rozptylmi  $s_1^2$  a  $s_2^2$ . Zisťujú sa ním rozdiely medzi populáciami s rozdeleniami  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  a  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ . [7,15]

Tabuľka 6 T-test postup [2]

<b>Nulová hypotéza <math>H_0</math></b>	$\mu_1^2 = \mu_2^2$		
<b>Alternatívna hyp. <math>H_A</math></b>	$\mu_1^2 > \mu_2^2$	$\mu_1^2 < \mu_2^2$	$\mu_1^2 \neq \mu_2^2$
<b>Kritická hodnota <math>H_K</math></b>	$H_K = \frac{t'_{0,05} \cdot \frac{s_1^2}{n_1 - 1} + t''_{0,05} \cdot \frac{s_2^2}{n_2 - 1}}{\frac{s_1^2}{n_1 - 1} + \frac{s_2^2}{n_2 - 1}}$		
<b>Testovacie kritérium <math>H_{TK}</math></b>	<b>Predpoklad</b> $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$	$H_{TK} = \frac{ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 }{\sqrt{n_1 \cdot s_1^2 + n_2 \cdot s_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$	
	<b>Predpoklad</b> $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$	$H_{TK} = \frac{ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 }{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1 - 1} + \frac{s_2^2}{n_2 - 1}}}$	

T-testu predchádza F-test, ktorého výsledkom môže byť predpoklad zhodnosti  $\sigma_1^2$  a  $\sigma_2^2$  alebo nezhodnosti  $\sigma_1^2$  a  $\sigma_2^2$ , podľa čoho sa postupuje pri vykonaní testu. [7]

### 3.2 Testovanie normalít

Väčšine parametrických testov predchádza testovanie normálneho rozdelenia súboru, k čomu slúžia testy normalít. Normálne rozdelenie je možné najskôr overiť graficky, napríklad pomocou zostrojenia histogramu a posúdenia jeho tvaru alebo krabicových diagramov. [9]

#### 3.2.1 Normálne rozdelenie pravdepodobnosti

Spojité náhodná veličina má normálne (Gaussovo) rozdelenie ak je definované funkciou:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

kde:

$f(x)$  - hustota pravdepodobnosti náhodnej veličiny  $X$ ,

$\mu$  - stredná hodnota náhodnej veličiny  $X$ ,

$\sigma$  - smerodajná odchýlka náhodnej veličiny  $X$ . [1,2]

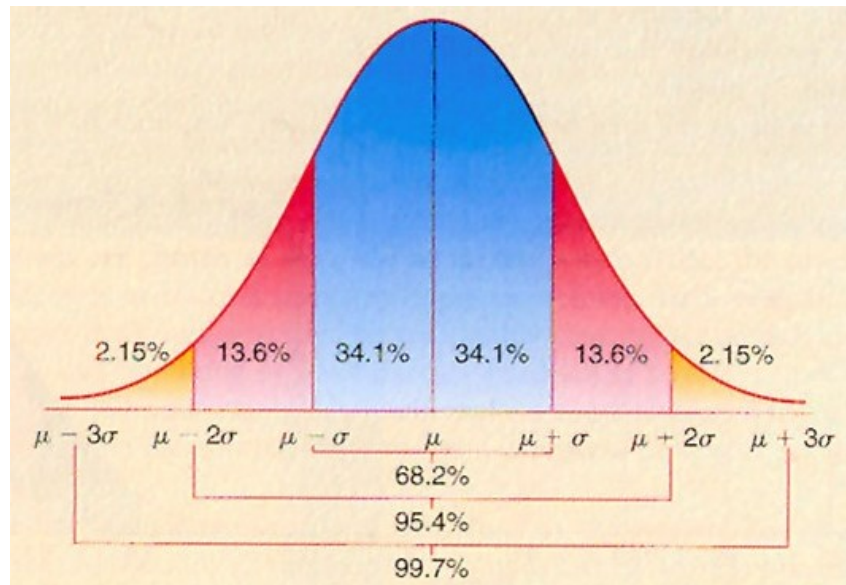
Je to jedno z najdôležitejších rozdelení z pohľadu štatistických účelov, ktoré sa vyskytuje pri opakovanom meraní tej istej veličiny pri rovnakých podmienkach. Namerané hodnoty sa odchyľujú od skutočných hodnôt pôsobením náhodných chýb a môžu nadobúdať hodnoty v intervale  $<-\infty; +\infty>$ . Normálne rozdelenie je možné vyobraziť ako Gaussovu krivku, funkciu priemeru a smerodajnej odchýlky. Gaussova krivka je symetrická s jedným vrcholom, kde sú hodnoty zvonovito rozdelené okolo strednej hodnoty. Tá sa rovná modusu i mediánu. Z Obrázku 17 možno vidieť, že pre Gaussovo normálne rozdelenie platí, že v rozmedzí hodnôt

- $\mu \pm 1\sigma$  sa nachádza 68,2 % všetkých hodnôt súboru,
- $\mu \pm 2\sigma$  sa nachádza 95,6 % všetkých hodnôt súboru,
- $\mu \pm 3\sigma$  sa nachádza 99,7 % všetkých hodnôt súboru.

Zvyšok hodnôt, teda 0,3 % , má natoľko nízku pravdepodobnosť výskytu, že sú v praxi považované za chybu merania (odľahlé hodnoty) a vylučujú sa z hodnotenia. [10,5]

Graf normálneho rozdelenia je na Obrázku 17.





Obrázok 17 Normálne rozdelenie [2]

### 3.2.2 Normované normálne rozdelenie pravdepodobnosti

V rovnici funkcie Gaussovho rozdelenia sa nachádzajú konštanty  $\pi$  a  $e$  a parametre daného rozdelenia  $\mu$  a  $\sigma$ . Pre konkrétny súbor sú tieto parametre takisto konštantné, avšak pre rôzne súbory sa líšia, čím sa líši aj tvar krivky. Z tohto dôvodu sa zaviedla nová náhodná veličina  $u$ . Pri transformácii náhodnej veličiny  $X(\mu, \sigma)$  na náhodnú veličinu  $Z(0,1)$  s normovaným normálnym rozdelením postupujeme podľa vzťahu:

$$z_i = \frac{(x_i - \mu)}{\sigma} \quad (10)$$

kde:

$x_i$  – hodnota náhodnej veličiny  $X$

$\mu$  - stredná hodnota náhodnej veličiny  $X$ ,

$\sigma$  - smerodajná odchýlka náhodnej veličiny  $X$ ,

$z_i$  - normovaná veličina o parametroch  $\mu_{(N)} = 0$  a  $\sigma_{(N)} = 1$ .

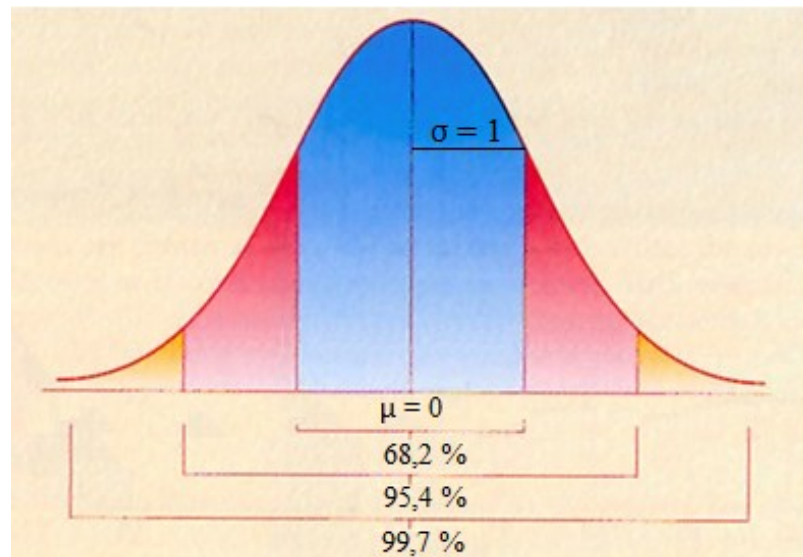
Transformáciou je normovaná náhodná veličina definovaná funkciou

$$f(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (11)$$

kde:

$z$  – relatívna hodnota normovanej veličiny. [2,9]

Pre hodnoty tohto rozdelenia sú vytvorené tabuľky. Graf normovaného normálneho rozdelenia je na Obrázku 18.



Obrázok 18 Normované normálne rozdelenie [14]

### 3.2.3 Chí-kvadrát test

$X^2$  test je inak nazývaný test dobrej zhody. Je univerzálny pre diskkrétne aj spojité distribučné funkcie, ktorých rozsah  $n$  je dostatočne veľký, zväčša väčší ako 100. [5]

Postup:

- Formulácia nulovej hypotézy (rozdelenie súboru je normálne) a alternatívnej hypotézy (rozdelenie súboru nie je normálne)
- Rozdelenie výberu do  $k$  intervalov s početnosťami  $n_j$  ( $j=1,2,\dots,k$ )
- Výpočet empirických triednych početností  $n_j$
- Transformácia horných medzí  $x_j$  na hodnoty normovanej premennej  $u_j$  pre výberový súbor podľa

$$u_j = \frac{x_j - \bar{x}}{s} \quad (12)$$

kde:

$\mu$  - priemer základného súboru

$\sigma$  - smerodajná odchýlka základného súboru

$\bar{x}$  - priemer výberového súboru

$s$  - smerodajná odchýlka výberového súboru

- Vyhľadanie zodpovedajúcich hodnôt distribučnej funkcie normovaného normálneho rozdelenia  $\Phi(u_j)$  pre každé  $j$
- Výpočet teoretickej pravdepodobnosti  $p_i$ , že hodnoty ležia v  $i$ -tom intervale

$$p_j = \Phi(u_j) - \Phi(u_{j-1}) \quad (13)$$

- Určenie kritickej hodnoty  $\chi_{\alpha}^2(v)$  ak

$$v = k - s - p - 1 \quad (14)$$

Kde:

$k$  – počet tried

$s$  – počet tried, ktorých  $n \cdot p_i < 5$  (tieto triedy sa zlučujú so susednými triedami)

$p$  – počet parametrov rozdelenia, ktoré nepoznáme, v prípade overovania normálneho rozdelenia je to 2

- Výpočet hodnoty testovacieho kritéria

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(n_j - np_j)^2}{np_j} \quad (15)$$

- Záver

$\chi_{\alpha}^2(v) > \chi^2 \Rightarrow H_0$  platí

$\chi^2 > \chi_{\alpha}^2(v) \Rightarrow H_A$  platí. [9,20]

## **II. PRAKTICKÁ ČASŤ**

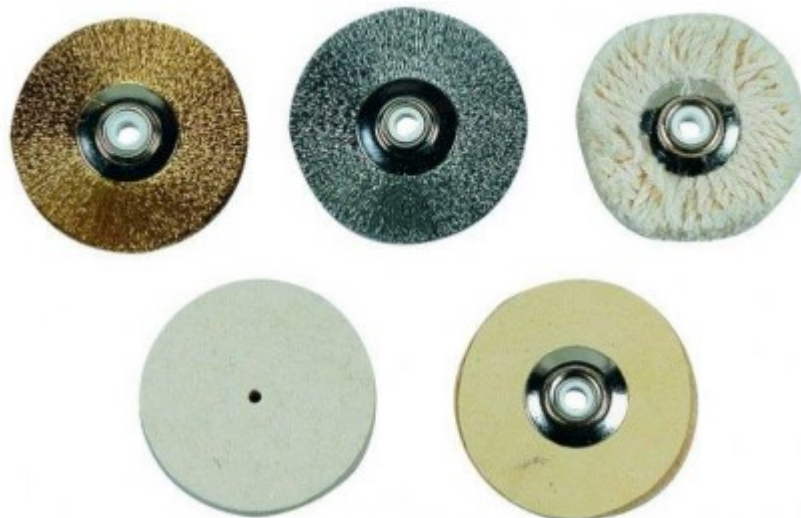
## 4 ÚPRAVA POVRCHU

### 4.1 Leštenie

Leštenie patrí medzi dokončovacie operácie úpravy povrchu. Cieľom dokončovania je zlepšenie mechanických a fyzikálnych vlastností ako aj kvality povrchu. Môže byť mechanické, chemické alebo elektrochemické. [28]

Pracuje sa pri ňom s nedefinovanou geometriou rezného klina. Pôsobením zŕn tvrdých brúsiacich materiálov, ktoré sú pevne uchytené na leštiacom nástroji, hrubovacie leštenie, alebo voľne nanesené medzi nástrojom a obrobkom, jemné, dokončovacie, sa odstraňujú drobné nerovnosti, presnejšie vrcholky nerovností, získava sa zrkadlový lesk a drsnosť povrchu až  $Ra < 0,1 \mu\text{m}$ . [28,29]

Pri mechanickom leštení kotúčom sa pred procesom naniesie na kotúč zmes brúsiva, pridajú sa zrná brúsiva do základného materiálu kotúča, naniesie sa naň leštiaca pasta alebo sa počas leštenia kotúč polieva leštiacim prostriedkom. Výsledok ovplyvňuje druh a zrnitosť brúsiva, obvodová rýchlosť kotúča, tlak súčiastky na kotúč, jeho materiál a vlastnosti, druh a množstvo mazacej alebo chladiacej kvapaliny. Ďalej sa využíva leštenie kefami, leštenie prebieha jemnými drôtenými kovovými vláknami alebo prírodnými či syntetickými štetinami, alebo pásmi. Pásový prstenec sa natiahne na dva kotúče a súčiastky sa k nim pritláčajú. Výhodou pásového leštenia je väčšia pracovná plocha. [28,29] Na Obrázku 19 možno vidieť rôzne leštiace kotúče



Obrázok 19 Rôzne leštiace kotúče [8]

1. Ručné leštenie:
  - a) Obrobok nie je upnutý, ale v ruke a leští ho leštiaci nástroj upnutý na hriadeli leštiaceho stoja
  - b) Obrobok je upnutý na stole v podložke a je leštený nástrojom upnutým v ručnej elektrickej alebo pneumatickej brúske
2. Strojové leštenie – zariadenia:
  - a) Univerzálne leštičky
  - b) Špeciálne jednúčelové leštičky
  - c) Leštiace linky. [29]

## 4.2 Povlaky foriem pre vstrekovanie

Povlak je časť materiálu nanosená na základný povrch, líšiaca sa od základného materiálu chemickým a zväčša aj fázovým zložením so zreteľne oddeleným (bezdifúznym) rozhraním. Povaľkovanie predstavuje proces nanášania veľmi tenkej vrstvy povlaku na hotový a tepelne spracovaný čistý podklad, v našom prípade leštený. Povlak môže mať vysokú tvrdosť, príľnavosť k povrchu, odolnosť voči opotrebeniu alebo únavovému porušeniu. Tvorí tepelnú a koróznú bariéru, zabezpečuje elimináciu nalepovania plastu na povrch foriem. Takisto umožňujú jednotnejší povrch v tesných priestoroch oblastí ako je rebrovanie alebo rôzne úzke výklenky a štrbiny, čím sa zvyšuje kvalita. Povlak by mal byť homogénny po celom povrchu s rozptylom max. 20%. Základné metódy povaľkovania sú chemická depozícia z plynnej fázy CVD, plazmové nanášanie rozkladom pár PACVD a fyzikálna depozícia PVD. [25]

**AlTiN** povlak sa nanáša v hrúbke 2 až 4 vrstiev. Vyznačuje sa tvrdosťou až 33GPa, koeficientom trenie 0,65. Má vysokú tepelnú odolnosť do výšky 900°C. Vyskytuje sa zväčša v čiernej farbe. [26]

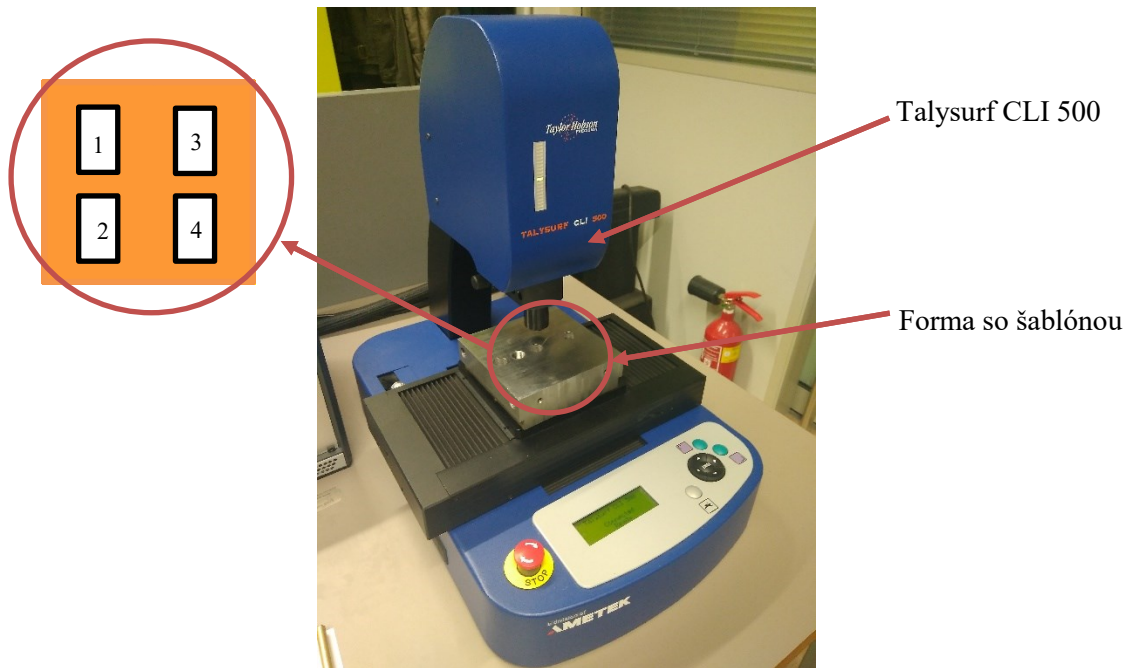
**CrN** povlak sa vyznačuje vysokou odolnosťou voči abrázii, korózii a oxidácii a vysokou medzou v šmyku pri obmedzenom mazaní, koeficientom trenia 0,75. Viacvrstvový povlak, v rozmedzí 1-4 vrstiev, ktorý sa vyznačuje dobrou adhéziiou, je možné nanášať vďaka tvrdosti v hodnote až 23 GPa a nízkej adhéziiou povlaku. Vyznačuje sa tepelnou odolnosťou až 600°C. Máva kovovo striebornú farbu. [24,26]

**DLC** sú kvázi diamantové uhľikové povlaky. Vyznačujú sa vysokou tvrdosťou (až 30 GPa), odolnosťou voči korózii a opotrebeniu. Majú vynikajúce klzné vlastnosti. Sfarbené sú do šeda až čierna. Existuje 7 typov tohto povlaku, pričom vlastnosti vysoko závisia od toho, o aký typ ide. [27]

## 5 SNÍMANIE POVRCHU

### 5.1 Prístroj

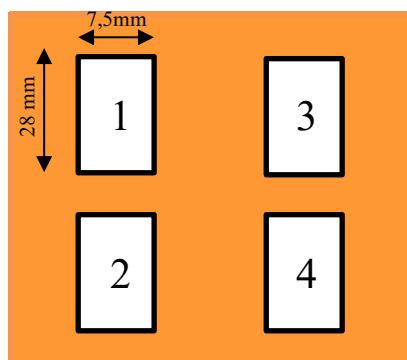
Meranie prebehlo na 3D meracom skeneri Talysurf CLI 500, Obrázok 20. Je možné ho použiť na 3D vyhodnotenie povrchu alebo na 2D analýzu jednotlivých profilov. Je plne automatický vo všetkých 3 osách X,Y a Z. Merací rozsah je 50 x 50 x 50 mm a veľkosť stolčeka 500 x 310 mm.



Obrázok 20 Talysurf CLI 500

### 5.2 Príprava

Na prácu boli použité 3 povlakované formy pre vstrekovanie. Pred meraním sme vyrobili šablóny, podľa ktorých sa meranie uskutočňovalo. Tie vyčlenili 4 výrezy na meranie, nazvané ako CUT 1-4. Tvar takejto šablóny je na Obrázku 21.

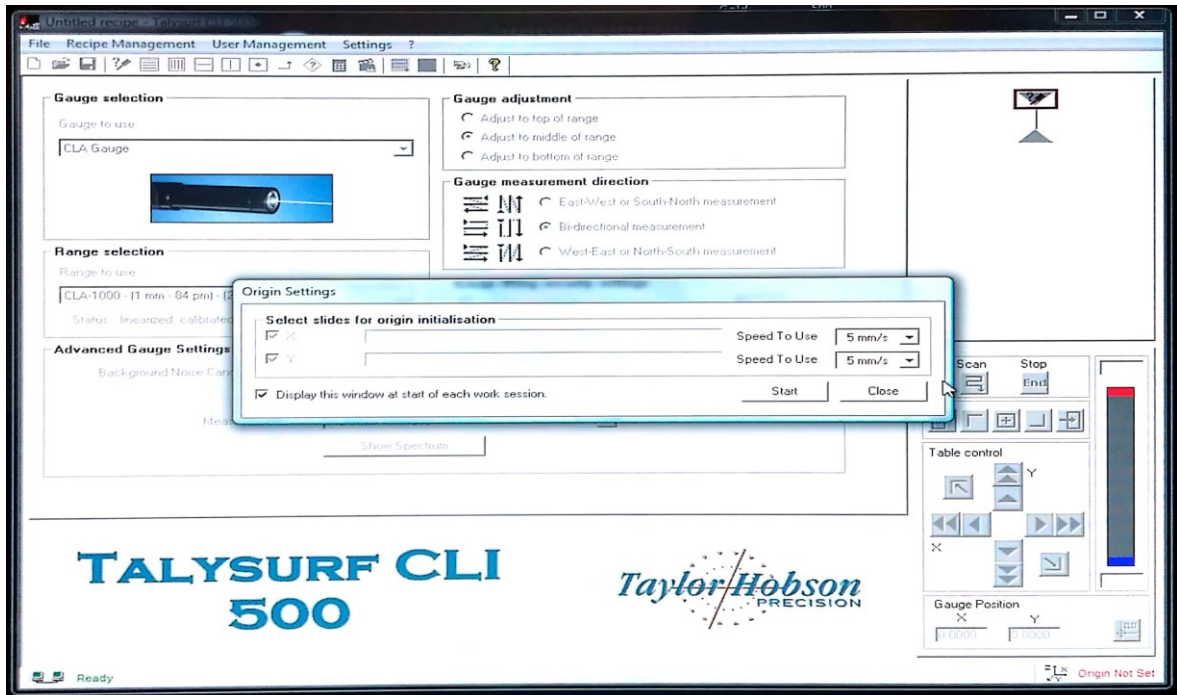


Obrázok 21 Šablóna merania



### 5.3 Nastavenie programu

Používaný 3D skener sa ovláda pomocou programu Talymap. Po jeho spustení a stlačení tlačidla START dôjde k načítaniu kalibračných súborov a kontrole koncových polôh pohybového stolčeka skeneru.



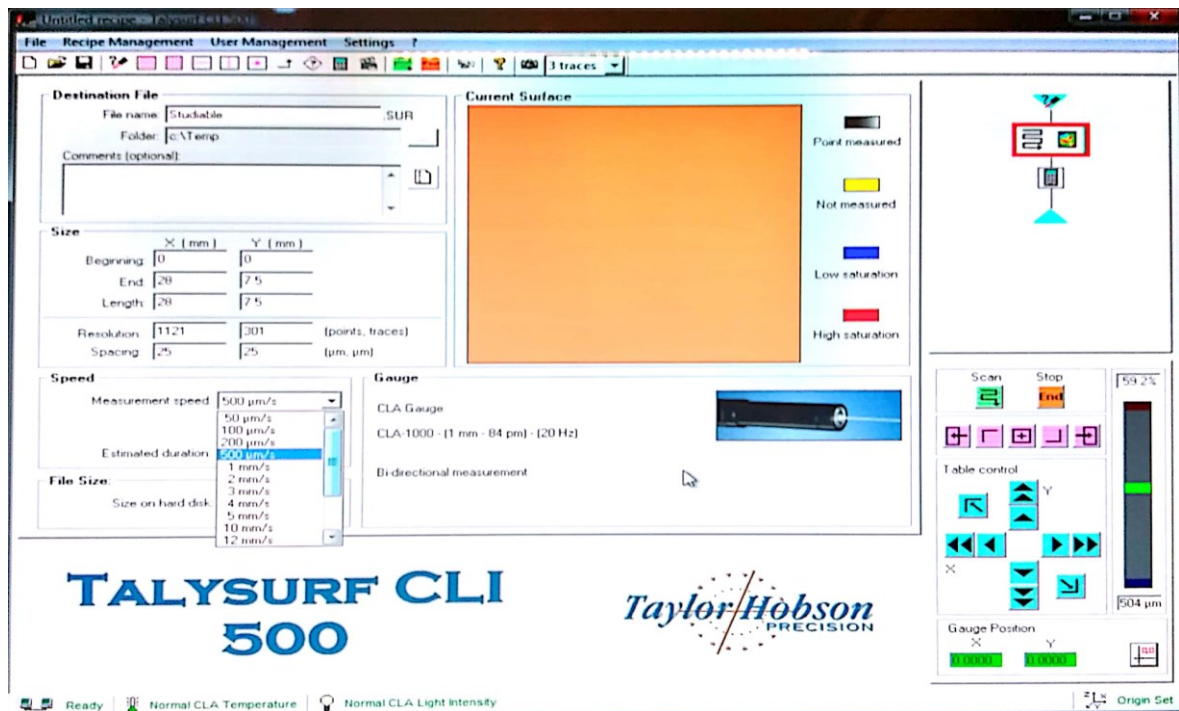
Obrázok 22 Spustenie programu Talymap

Pri nastavovaní vlastného meracieho programu je najskôr potrebné nastaviť maximálnu odrazivosť polychromatického lúča od meraného povrchu. Tá sa nastavuje mechanicky na skeneri a zároveň je potrebné sledovať intenzitu odrazivosti v programe Talymap, viď. Obrázok 23. Bola nastavená na 62,8%.



Obrázok 23 Nastavenie odrazivosti v Talymape

Následne sa nastavuje meracia plocha. V našom prípade je to plocha merania v jednotlivých CUToch. Spôsob merania je West to East, takže v zmysle osi X. V ďalšom kroku je treba určiť rýchlosť merania, celkovú dobu merania a veľkosť medzery medzi meraniami v smere osi X a Y. Nastavovanie parametrov v programe Talysmap je na Obrázku 24.



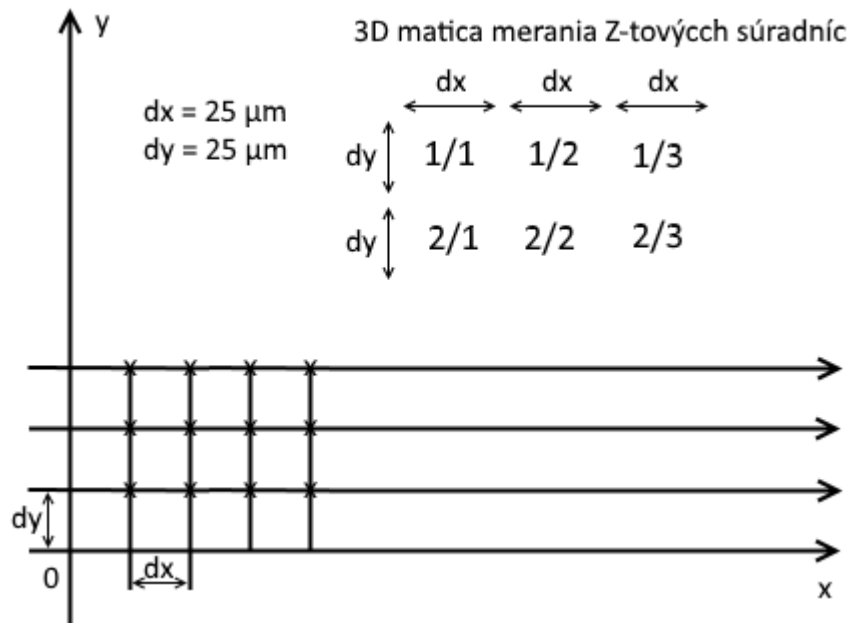
Obrázok 24 Nastavenie parametrov v Talysape

Nastavené parametre platiace pre každý 1 CUT sú zapísané v Tabuľke 7.

Tabuľka 7 Parametre merania

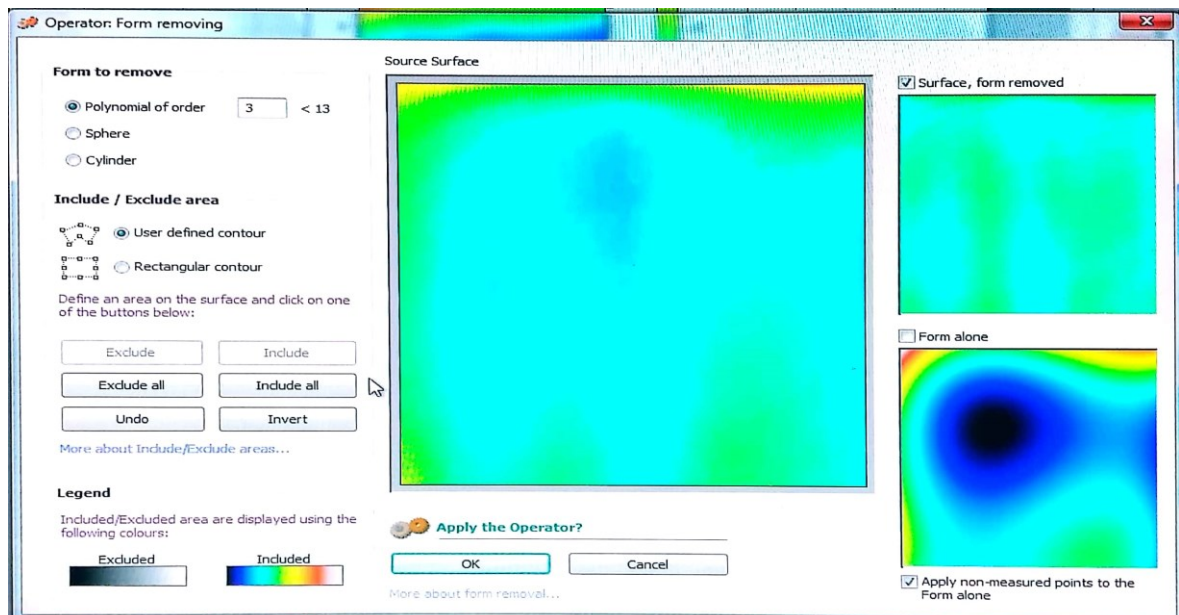
Parameter	Plocha merania	Rýchlosť merania	Doba merania	Krok
Nastavená hodnota	28 x 7,5 mm	500 µm/s	4 h 56 min	25 µm

Meranie hodnôt je vykonávané podľa matice na Obrázku 25, teda meranie prebieha pozdĺž osi X, po vzdialenostiach dx. Po zmeraní celej určenej dĺžky a presúva meracie po osi Y o dy, kde sa opäť meria v smere osi X.



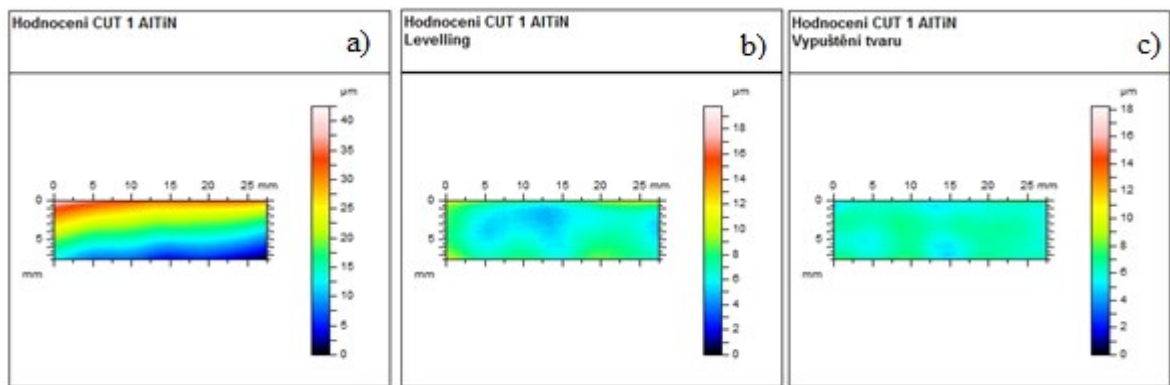
Obrázok 25 Matica merania

Po takmer 60 hodinách merania máme všetky údaje zaznamenané a môžeme ich spracovať v programe Talymap. Pre každý CUT je potrebné vykonať vyrovnanie (levelling) a vypustenie tvaru (form removal). Príklad vypustenia tvaru je na Obrázku 26.

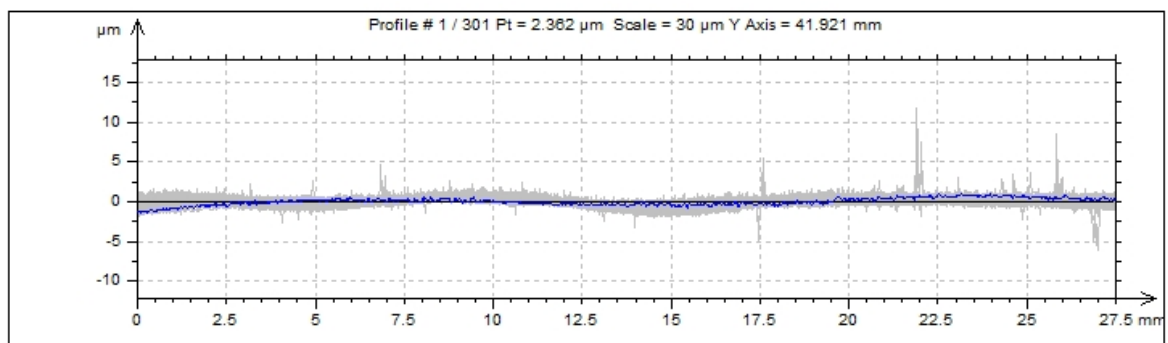


Obrázok 26 Vypustenie tvaru

V prípade, že sme objavili jasnú chybu pri meraní v podobe škrabancov alebo iných povrchových väd, je potrebné povrch vyretušovať a následne hodnotiť. Po vykonaní týchto krokov vyhodnotíme parametre Rz, Ra a Rsm. Príklady výsledkov pri vyhodnocovaní sú ukázané na povlaku AlTiN – CUT 1 na Obrázkoch 27 a 28.



Obrázok 27 a) primárne získaný povrch b) levelling c) form removal



Obrázok 28 Profil povrchu

Číselné hodnoty získané z programu Talymap je potrebné previezť do textového editora, prípadne iného programu, aby sme ich mohli ďalej spracovávať.

## 6 MATEMATICKO-ŠTATISTICKÉ VYHODNOTENIE

Pomocou programu Minitab 14 boli dáta vyhodnotené. Pre každý povlak a premennú Rz, Ra a RSm bol vytvorený krabicový diagram a graf časovej rady vyjadrujúci závislosť jednotlivých CUTov. Zároveň bola vyčíslená deskriptívna štatistika skladajúca sa z charakteristík:

- Priemer
- Smerodajná odchýlka
- Variačný koeficient
- Minimum
- Dolný kvartil
- Medián
- Horný kvartil
- Maximum
- Intervkartilové rozpätie
- Šikmosť.

Individuálne pre každý CUT bola pomocou hypotézy overovaná normalita rozdelenia dát použitím testu Anderson-Darling.

**Nulová hypotéza  $H_0$ :** Dáta pochádzajú zo základného súboru  $N(\mu, \sigma^2)$

**Alternatívna hypotéza  $H_A$ :** Dáta nepochádzajú zo základného súboru  $N(\mu, \sigma^2)$

s konfidenčnou úrovňou  $1-\alpha = 0,95$  pre 301 hodnôt.

## 6.1 AlTiN

### 6.1.1 AlTiN Rz

Tabuľka 8 AlTiN Rz deskriptívna štatistika

Charakteristika (pri rozsahu merania 301)										
Premenná	Aritmetický priemer [ $\mu\text{m}$ ]	smerodajná odchýlka [ $\mu\text{m}$ ]	variálny koeficient [%]	Minimum parametea [ $\mu\text{m}$ ]	Q1 [ $\mu\text{m}$ ]	Medián [ $\mu\text{m}$ ]	Q3 [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum parametea [ $\mu\text{m}$ ]	IQR [ $\mu\text{m}$ ]	šikmosť
<b>Rz CUT 1</b>	0,48491	0,09676	19,95	0,319	0,4110	0,471	0,5435	0,985	0,1325	0,94
<b>Rz CUT 2</b>	0,89014	0,14611	19,95	0,554	0,7810	0,895	0,9825	1,581	0,2015	0,62
<b>Rz CUT 3</b>	0,42524	0,06428	15,12	0,307	0,3765	0,413	0,4680	0,685	0,0915	0,75
<b>Rz CUT 4</b>	0,51105	0,07249	14,19	0,382	0,4585	0,508	0,5460	0,864	0,0875	1,43

Všetky testy normality rozdelenia prebehli podľa vzoru testovania parametra Rz na povrchu AlTiN CUT 1, kde:

$$H_0: R_{Z_{\text{AlTiN\_CUT1}}} \in N(\mu, \sigma^2)$$

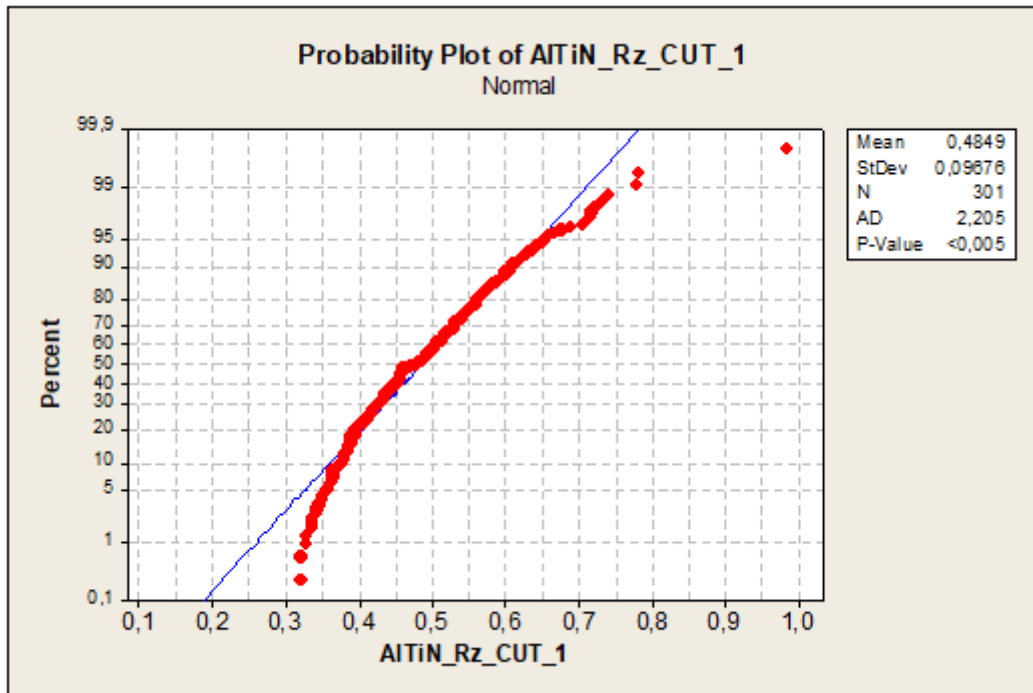
$$H_A: R_{Z_{\text{AlTiN\_CUT1}}} \notin N(\mu, \sigma^2)$$

s konfidenčnou úrovňou  $1-\alpha = 0,95$ .

#### Výsledok testu

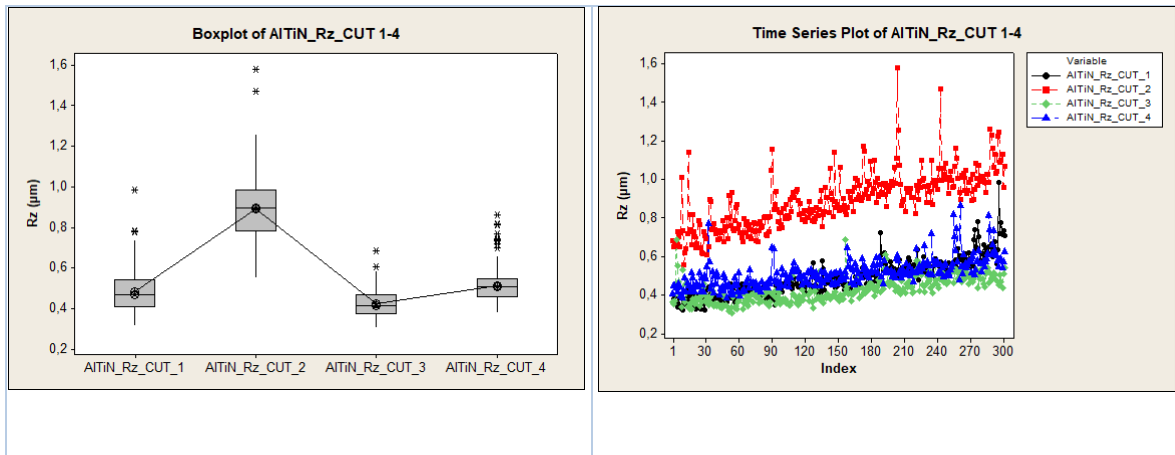
#### Zhodnotenie:

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o normálnom rozdelení dát na povrchu AlTiN CUT 1 v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ , keďže hodnota P je nižšia ako hodnota 0,005, viď Obrázok 29.



Obrázok 29 Test normality pre AITiN CUT 1

Tabuľka 9 Súhrn AITiN Rz



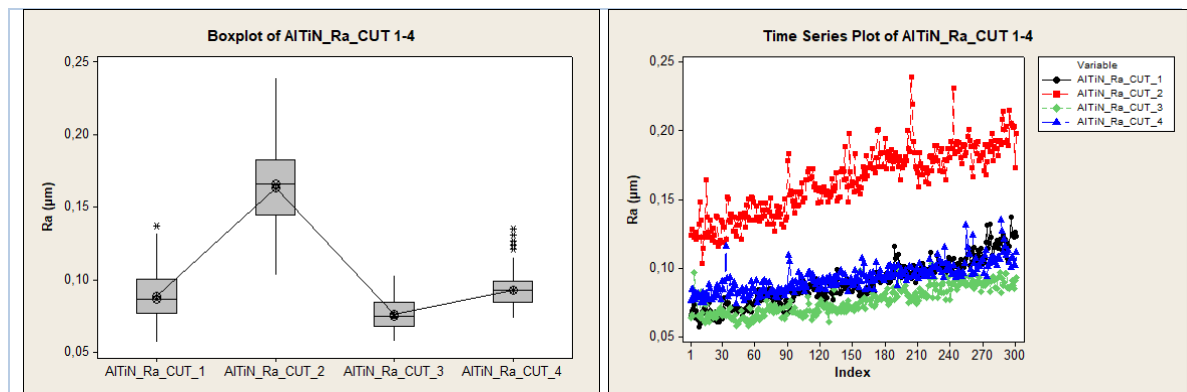
	Normalita rozdelenia	Zhodnotenie
<b>Rz CUT 1</b>	NIE (P < 0,005)	IQR menšie ako pri CUT 2, ale väčšie jako 3,4
<b>Rz CUT 2</b>	ÁNO (P = 0,040)	Priemerná hodnota je väčšia ako v ostatných CUToch, takisto všetky hodnoty sú vyššie, čo môže byť spôsobené vychýlenými hodnotami. Smerodajná odchýlka aj IQR sú pomerne väčšie. Podľa časovej rady sa hodnoty neprekrývajú s ostatnými CUTmi.
<b>Rz CUT 3</b>	NIE (P < 0,005)	
<b>Rz CUT 4</b>	NIE (P < 0,005)	Viac vychýlených hodnôt, nižšie IQR, väčšie zošíkmenie doprava

6.1.2 AlTiN Ra

Tabuľka 10 AlTiN Ra deskriptívna štatistika

Charakteristika (pri rozsahu merania 301)										
Premenná	Aritmetický premer [ $\mu\text{m}$ ]	smerodajná odchýlka [ $\mu\text{m}$ ]	variálny koeficient [%]	Minimum parametrova [ $\mu\text{m}$ ]	Q1 [ $\mu\text{m}$ ]	Medián [ $\mu\text{m}$ ]	Q3 [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum parametrova [ $\mu\text{m}$ ]	IQR [ $\mu\text{m}$ ]	šikmosť
<b>Ra CUT 1</b>	0,089159	0,016249	18,22	0,057	0,0770	0,087	0,1005	0,137	0,0235	0,40
<b>Ra CUT 2</b>	0,163490	0,024220	14,82	0,103	0,1445	0,166	0,1825	0,239	0,0380	-0,04
<b>Ra CUT 3</b>	0,076282	0,010193	13,36	0,058	0,0680	0,075	0,0850	0,103	0,0170	0,36
<b>Ra CUT 4</b>	0,092854	0,010243	11,03	0,074	0,0850	0,093	0,0990	0,135	0,0140	0,76

Tabuľka 11 Súhrn AlTiN Ra



	Normalita rozdelenia	Zhodnotenie
<b>Ra CUT 1</b>	NIE (P < 0,005)	Vyšší variálny koeficient ako pri ostatných CUToch
<b>Ra CUT 2</b>	NIE (P < 0,005)	Priemerná hodnota je väčšia, takisto všetky hodnoty sú vyššie. Smerodajná odchýlka aj IQR sú pomerne väčšie, záporné zošikmenie. Podľa časovej rady sa hodnoty neprekrývajú s ostatnými CUTmi.
<b>Ra CUT 3</b>	NIE (P < 0,005)	Hodnoty sú pomerne nižšie.
<b>Ra CUT 4</b>	NIE (P < 0,005)	Viac vychýlených hodnôt, väčšie zošikmenie doprava, nižšie IQR.

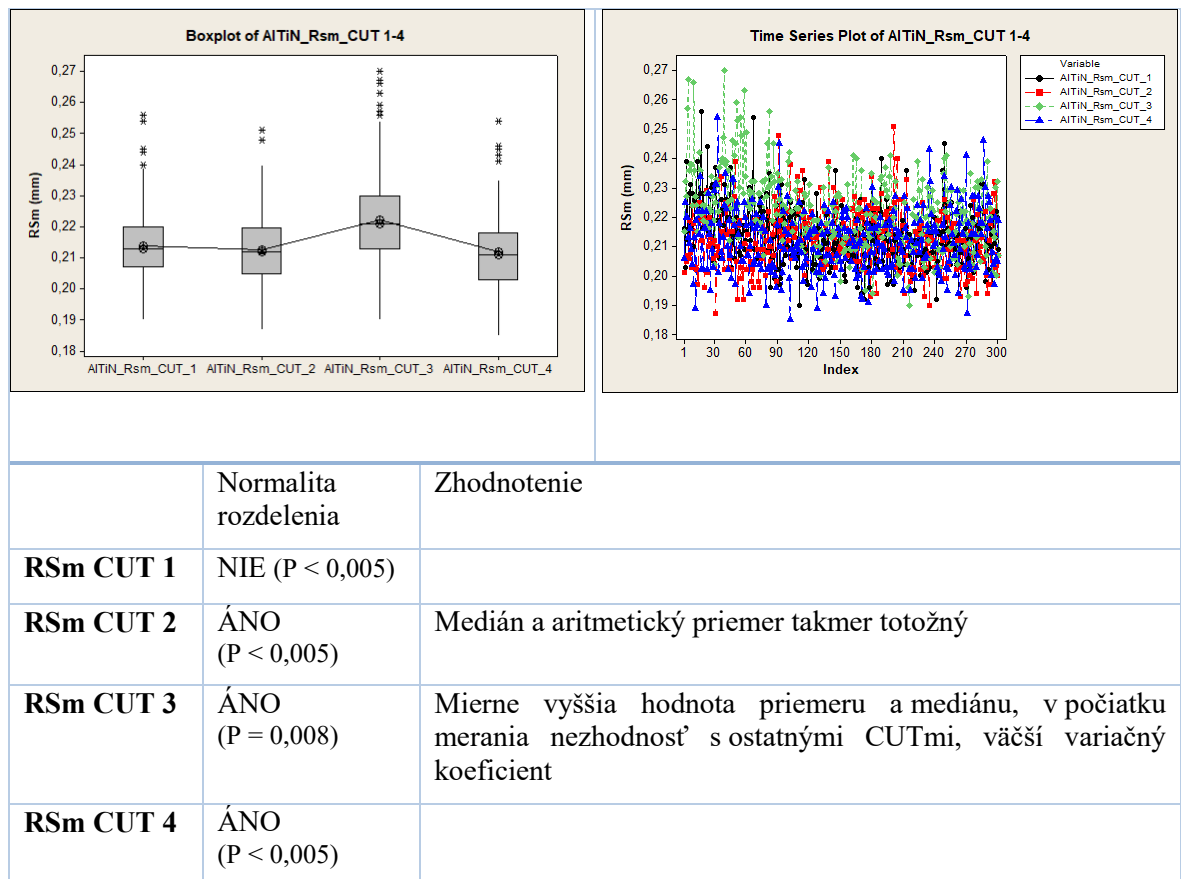


6.1.3 AlTiN RSm

Tabuľka 12 AlTiN RSm deskriptívna štatistika

Charakteristika (pri rozsahu merania 301)										
Premenná	Aritmetický priemer [μm]	smerodajná odchýlka [μm]	variálny koeficient [%]	Minimum parametrova [μm]	Q1 [μm]	Medián [μm]	Q3 [μm]	Maximum parametrova [μm]	IQR [μm]	Šikmost' [μm]
<b>RSm CUT 1</b>	0,21400	0,01062	4,96	0,1900	0,207	0,213	0,2200	0,256	0,0130	0,63
<b>RSm CUT 2</b>	0,21266	0,01041	4,89	0,1870	0,205	0,212	0,2195	0,251	0,0145	0,39
<b>RSm CUT 3</b>	0,22206	0,01323	5,96	0,1900	0,213	0,221	0,2300	0,270	0,0170	0,61
<b>RSm CUT 4</b>	0,21181	0,01087	5,13	0,18500	0,203	0,211	0,2180	0,254	0,0150	0,45

Tabuľka 13 Súhrn AlTiN RSm



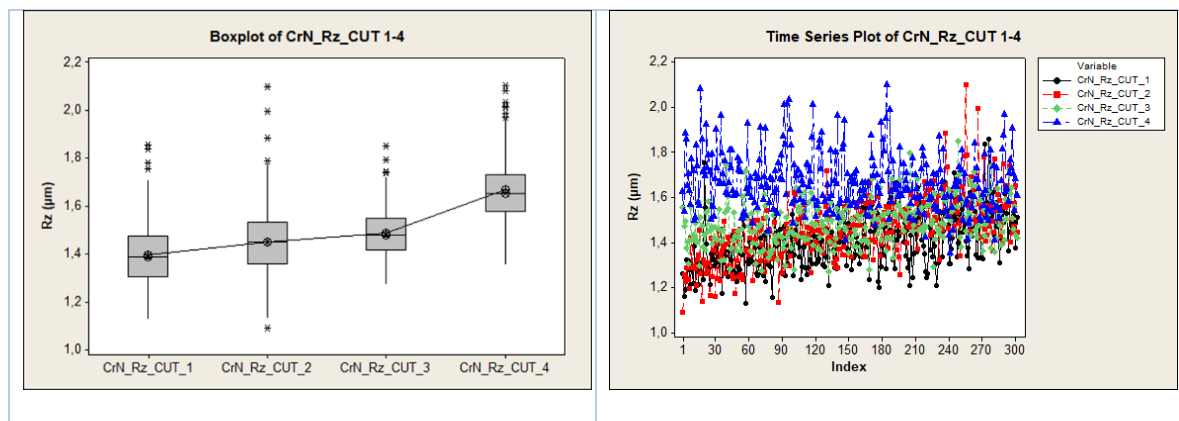
## 6.2 CrN

### 6.2.1 CrN Rz

Tabuľka 14 CrN Rz deskriptívna štatistika

Charakteristika (pri rozsahu merania 301)										
Premenná	Aritmetický priemer [ $\mu\text{m}$ ]	smerodajná odchýlka [ $\mu\text{m}$ ]	variálny koeficient [%]	Minimum parametrova [ $\mu\text{m}$ ]	Q1 [ $\mu\text{m}$ ]	Medián [ $\mu\text{m}$ ]	Q3 [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum parametrova [ $\mu\text{m}$ ]	IQR [ $\mu\text{m}$ ]	šikmost'
<b>Rz CUT 1</b>	1,3985	0,1197	8,56	1,130	1,306	1,391	1,4750	1,858	0,1690	0,62
<b>Rz CUT 2</b>	1,4530	0,1381	9,50	1,091	1,361	1,450	1,5325	2,102	0,1715	0,58
<b>Rz CUT 3</b>	1,4880	0,0979	6,58	1,272	1,420	1,482	1,5485	1,851	0,1285	0,40
<b>Rz CUT 4</b>	1,6693	0,1302	7,80	1,355	1,578	1,655	1,7340	2,103	0,1560	0,68

Tabuľka 15 Súhrn CrN Rz



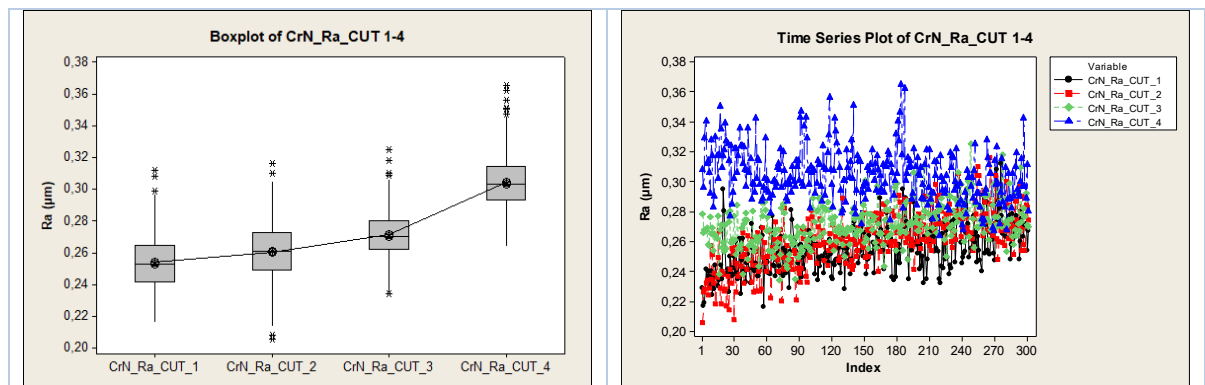
	Normalita rozdelenia	Zhodnotenie
<b>Rz CUT 1</b>	NIE ( $P < 0,005$ )	Vyšší variálny koeficient
<b>Rz CUT 2</b>	ÁNO ( $P = 0,053$ )	Kladne aj záporne vychýlené hodnoty, najvyšší variálny koeficient
<b>Rz CUT 3</b>	ÁNO ( $P = 0,129$ )	Nižšie IQR.
<b>Rz CUT 4</b>	NIE ( $P < 0,005$ )	Kladné vychýlené hodnoty a pomerne vyšší priemer a medián. Prvotné hodnoty sa podľa časovej rady vôbec nezhodujú s ostatným CUTmi.

6.2.2 CrN Ra

Tabuľka 16 CrN Ra deskriptívna štatistika

Charakteristika (pri rozsahu merania 301)										
Premenná	Aritmetický priemer [ $\mu\text{m}$ ]	smerodajná odchýlka [ $\mu\text{m}$ ]	variálny koeficient [%]	Minimum parametrova [ $\mu\text{m}$ ]	Q1 [ $\mu\text{m}$ ]	Medián [ $\mu\text{m}$ ]	Q3 [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum parametrova [ $\mu\text{m}$ ]	IQR [ $\mu\text{m}$ ]	šikmosť
<b>Ra CUT 1</b>	0,25442	0,01597	6,28	0,216	0,242	0,253	0,2645	0,312	0,0225	0,57
<b>Ra CUT 2</b>	0,26049	0,01895	7,27	0,206	0,249	0,261	0,2730	0,316	0,0240	-0,09
<b>Ra CUT 3</b>	0,27124	0,01390	5,13	0,234	0,262	0,270	0,2800	0,325	0,0180	0,39
<b>Ra CUT 4</b>	0,30462	0,17540	5,76	0,264	0,293	0,303	0,3145	0,365	0,0215	0,50

Tabuľka 17 Súhrn AlTiN Ra



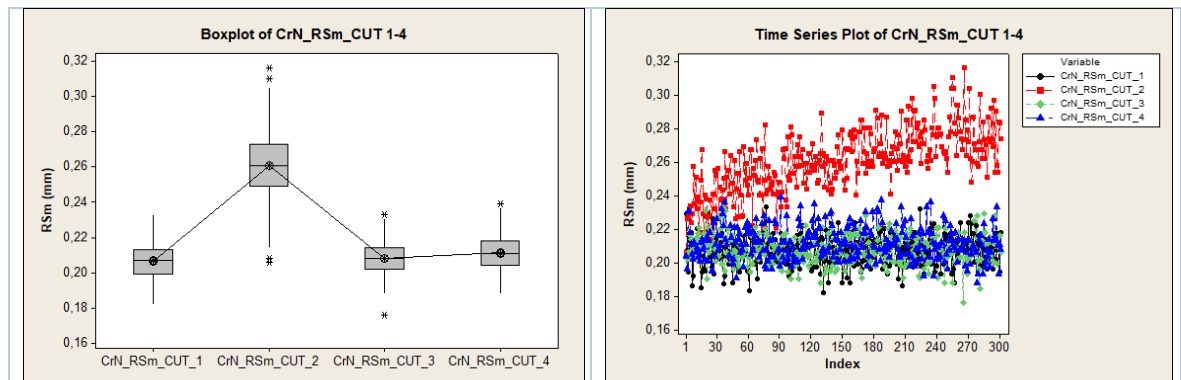
	Normalita rozdelenia	Zhodnotenie
<b>Ra CUT 1</b>	NIE ( $P < 0,005$ )	Najväčšie zošikmenie doprava.
<b>Ra CUT 2</b>	ÁNO ( $P = 0,225$ )	Kladné aj záporné vychýlené hodnoty, nízke zošikmenie doľava, vyšší variálny koeficient.
<b>Ra CUT 3</b>	ÁNO ( $P = 0,070$ )	Kladné aj záporné vychýlené hodnoty.
<b>Ra CUT 4</b>	ÁNO ( $P = 0,009$ )	Spočiatku oveľa vyššie hodnoty ako v ostatných CUToch.

6.2.3 CrN RSm

Tabuľka 18 CrN RSm deskriptívna štatistika

Charakteristika (pri rozsahu merania 301)										
Premenná	Priemer [μm]	smerodajná odchýľka [μm]	variálny koeficient [%]	Minimum [μm]	Q1 [μm]	Medián [μm]	Q3 [μm]	Maximum [μm]	IQR [μm]	šikmosť
<b>RSm CUT 1</b>	0,20655	0,00935	4,53	0,182	0,1990	0,207	0,213	0,233	0,0140	0,04
<b>RSm CUT 2</b>	0,26049	0,01895	7,27	0,206	0,2490	0,261	0,273	0,316	0,0240	-0,09
<b>RSm CUT 3</b>	0,20791	0,00891	4,28	0,176	0,2020	0,208	0,214	0,233	0,0120	-0,08
<b>RSm CUT 4</b>	0,21151	0,00978	4,63	0,188	0,2045	0,211	0,218	0,239	0,0135	0,40

Tabuľka 19 Súhrn CrN RSm



	Normalita rozdelenia	Zhodnotenie
<b>RSm CUT 1</b>	ÁNO (P = 0,362)	Žiadne vychýlené hodnoty, nízke zošikmenie
<b>RSm CUT 2</b>	ÁNO (P = 0,225)	Väčšie IQR, vyššie hodnoty počas celého merania, vychýlené hodnoty
<b>RSm CUT 3</b>	ÁNO (P = 0,313)	Vychýlené hodnoty na obe strany
<b>RSm CUT 4</b>	NIE (P < 0,005)	Väčšie zošikmenie doprava

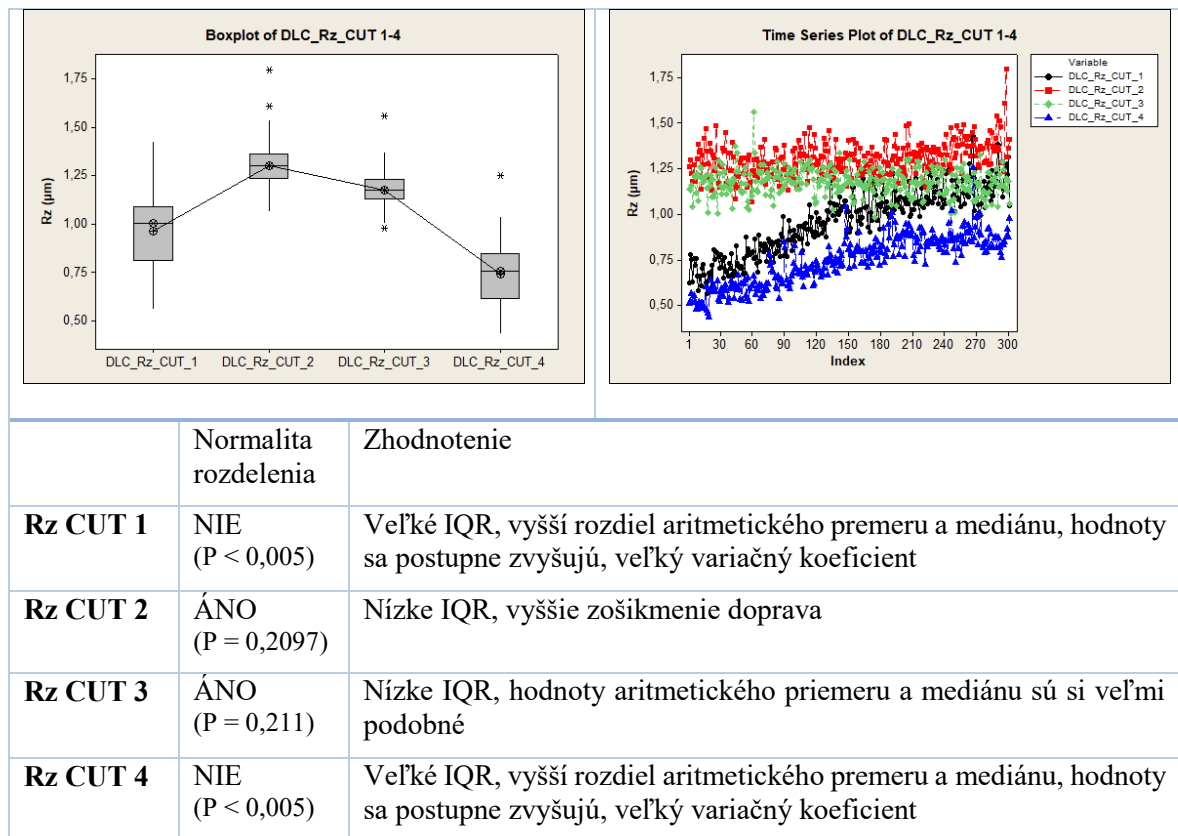
### 6.3 DLC

#### 6.3.1 DLC Rz

Tabuľka 20 DLC Rz deskriptívna štatistika

Charakteristika (pri rozsahu merania 301)										
Premenná	Aritmetický priemer [ $\mu\text{m}$ ]	smerodajná odchýlka [ $\mu\text{m}$ ]	variálny koeficient [%]	Minimum parametrova [ $\mu\text{m}$ ]	Q1 [ $\mu\text{m}$ ]	Medián [ $\mu\text{m}$ ]	Q3 [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum parametrova [ $\mu\text{m}$ ]	IQR [ $\mu\text{m}$ ]	šikmosť
Rz CUT 1	0,96650	0,18160	18,79	0,562	0,8115	1,006	1,0925	1,429	0,2810	-0,12
Rz CUT 2	1,30350	0,09120	7,00	1,065	1,2380	1,300	1,3615	1,795	0,1235	0,70
Rz CUT 3	1,17750	0,07380	6,27	0,980	1,1320	1,178	1,2290	1,561	0,0970	0,25
Rz CUT 4	0,74265	0,13691	18,44	0,436	0,6185	0,760	0,8490	1,254	0,2305	-0,03

Tabuľka 21 Súhrn DLC Rz

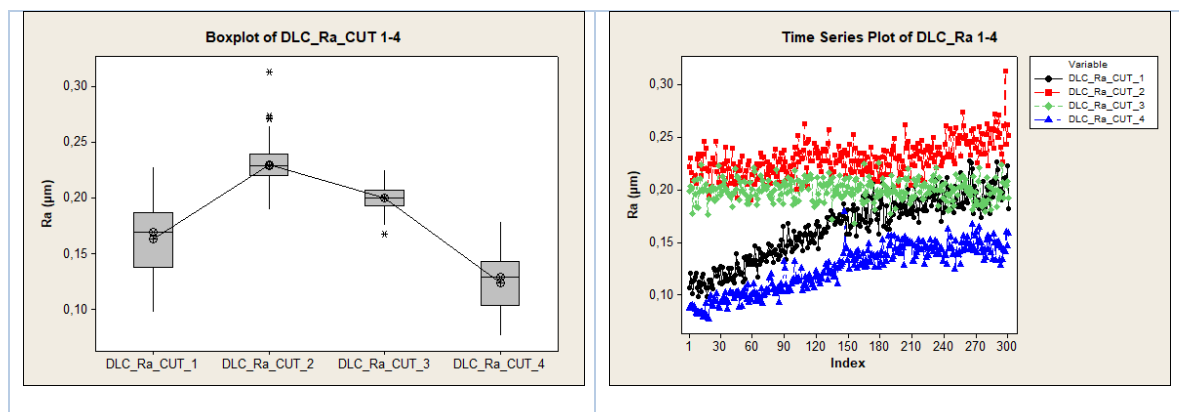


6.3.2 DLC Ra

Tabuľka 22 DLC Ra deskriptívna štatistika

Charakteristika (pri rozsahu merania 301)										
Premenná	Aritmetický priemer [ $\mu\text{m}$ ]	smerodajná odchýlka [ $\mu\text{m}$ ]	variálny koeficient [%]	Minimum parametra [ $\mu\text{m}$ ]	Q1 [ $\mu\text{m}$ ]	Medián [ $\mu\text{m}$ ]	Q3 [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum parametra [ $\mu\text{m}$ ]	IQR [ $\mu\text{m}$ ]	šikmosť
<b>Ra CUT 1</b>	0,16370	0,03077	18,80	0,1385	0,1385	0,170	0,187	0,228	0,0485	-0,28
<b>Ra CUT 2</b>	0,23025	0,01583	6,88	0,1900	0,2200	0,229	0,240	0,313	0,0200	0,68
<b>Ra CUT 3</b>	0,19996	0,00998	4,99	0,1680	0,1930	0,200	0,207	0,225	0,0140	-0,07
<b>Ra CUT 4</b>	0,12400	0,02230	17,98	0,0770	0,1040	0,129	0,143	0,179	0,0390	-0,26

Tabuľka 23 Súhrn DLC Ra



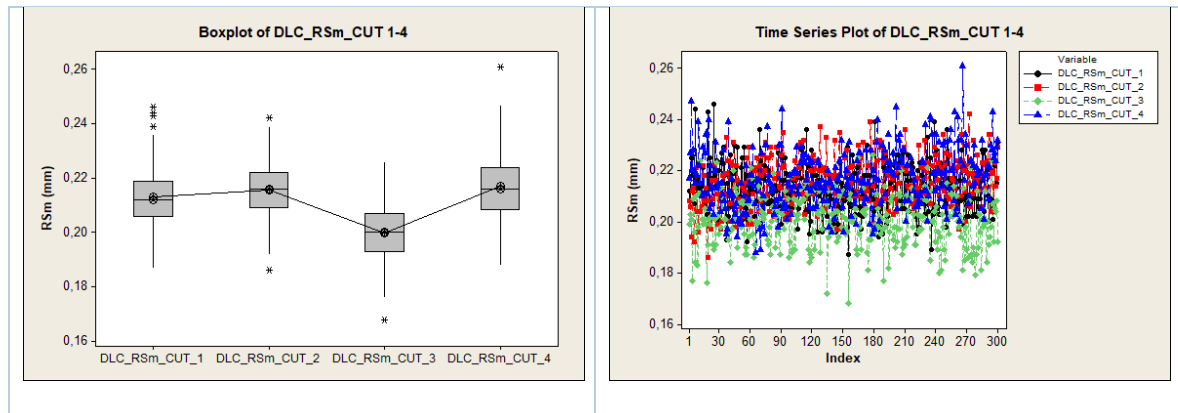
	Normalita rozdelenia	Zhodnotenie
<b>Ra CUT 1</b>	NIE (P < 0,005)	Vysoký variálny koeficient, vyšší rozdiel premeru a mediánu, hodnoty sa postupne zvyšujú
<b>Ra CUT 2</b>	ÁNO (P = 0,008)	Väčšie zošikmenie doprava, vychýlené hodnoty
<b>Ra CUT 3</b>	ÁNO (P = 0,331)	Nízke interkvartilové rozpätie, nízke zošikmenie
<b>Ra CUT 4</b>	NIE (P < 0,005)	Vysoký variálny koeficient, vyšší rozdiel premeru a mediánu, hodnoty sa postupne zvyšujú

6.3.3 DLC RSm

Tabuľka 24 DLC RSm deskriptívna štatistika

Charakteristika (pri rozsahu merania 301)										
Premenná	Aritmetický priemer [ $\mu\text{m}$ ]	smernodajná odchýľka [ $\mu\text{m}$ ]	variálny koeficient [%]	Minimum parametra [ $\mu\text{m}$ ]	Q1 [ $\mu\text{m}$ ]	Medián [ $\mu\text{m}$ ]	Q3 [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum parametra [ $\mu\text{m}$ ]	IQR [ $\mu\text{m}$ ]	Šikmosť [ $\mu\text{m}$ ]
RSm CUT 1	0,21292	0,00985	4,63	0,187	0,2060	0,212	0,219	0,246	0,0130	0,40
RSm CUT 2	0,21573	0,00960	4,45	0,186	0,2090	0,216	0,222	0,242	0,0130	-0,02
RSm CUT 3	0,19996	0,00998	4,99	0,168	0,1930	0,200	0,207	0,226	0,0140	-0,07
RSm CUT 4	0,21687	0,01146	5,29	0,188	0,2085	0,216	0,224	0,261	0,0155	0,32

Tabuľka 25 Súhrn DLC RSm



Premenná	Normalita rozdelenia	Zhodnotenie
RSm CUT 1	ÁNO (P = 0,038)	Viacero kladných vychýlených hodnôt
RSm CUT 2	ÁNO (P = 0,391)	Veľmi nízke zošikmenie
RSm CUT 3	ÁNO (P = 0,331)	Pomerne nižšie hodnoty
RSm CUT 4	ÁNO (P = 0,227)	Najväčší variálny koeficient

## 6.4 Neparametrické testy

Vzhľadom na to, že pri vyhodnotení meraní nebola hypotézou potvrdená normalita rozdeľovania všetkých dát, budeme postupovať neparametrickým testom, testovaním mediánu merania Kruskal-Wallis testom. Všetky testovania prebehli podľa nasledujúceho príkladu Rz parametra na povrchu povlaku AlTiN.

### 6.4.1 AlTiN Rz

**Nulová hypotéza  $H_0$ :**

$$\text{Median}_{\text{AlTiN\_Rz\_CUT\_1}} = \text{Median}_{\text{AlTiN\_Rz\_CUT\_2}} = \text{Median}_{\text{AlTiN\_Rz\_CUT\_3}} = \text{Median}_{\text{AlTiN\_Rz\_CUT\_4}}$$

**Alternatívna hypotéza  $H_A$ :**

$$\text{Median}_{\text{AlTiN\_Rz\_CUT\_1}} \neq \text{Median}_{\text{AlTiN\_Rz\_CUT\_2}} \neq \text{Median}_{\text{AlTiN\_Rz\_CUT\_3}} \neq \text{Median}_{\text{AlTiN\_Rz\_CUT\_4}}$$

s konfidenčnou úrovňou  $1-\alpha = 0,95$ .

**Výsledok testu:**

Tabuľka 26 AlTiN Rz Kruskal-Wallis test

Povrch	Počet hodnôt	Medián ( $\mu\text{m}$ )	Ave Rank	Z
AlTiN Rz CUT_1	301	0,4710	480,7	-7,02
AlTiN Rz CUT_2	301	0,8950	1048,8	25,71
AlTiN Rz CUT_3	301	0,4130	297,7	-17,56
AlTiN Rz CUT_4	301	0,5080	582,9	-1,13
Spolu	1204		602,5	

$$H = 765,02 \quad DF = 3 \quad P = 0,000$$

$$H = 765,03 \quad DF = 3 \quad P = 0,000 \quad (\text{adjusted for ties});$$

H - testová štatistika

DF – počet stupňov voľnosti

P – P-hodnota

Hodnota prispôsobená pre ties je vypočítaná softvérom v prípade, že pri pozorovaní sa objaví 2 alebo viac rovnakých hodnôt.

**Zhodnotenie:**

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o rovnosti mediánov na povrchu AlTiN v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ .



Parameter Rz sa na povrchu AlTiN líši v mediáne štatisticky významne, tzn. nelíši sa náhodne, čo má za následok, že parameter Rz kolíše na povrchu formy s povlakom AlTiN.

#### 6.4.2 AlTiN Ra

##### *Výsledok testu:*

DF = 3 P = 0,000

DF = 3 P = 0,000 (adjusted for ties)

##### *Zhodnotenie:*

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o rovnosti mediánov na povrchu AlTiN v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ .

Parameter Ra sa na povrchu AlTiN líši v mediáne štatisticky významne, tzn. nelíši sa náhodne, čo má za následok, že parameter Ra kolíše na povrchu formy s povlakom AlTiN.

#### 6.4.3 AlTiN RSm

##### *Výsledok testu:*

P = 0,000

P = 0,000 (adjusted for ties)

##### *Zhodnotenie:*

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o rovnosti mediánov na povrchu AlTiN v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ .

Parameter RSm sa na povrchu AlTiN líši v mediáne štatisticky významne, tzn. nelíši sa náhodne, čo má za následok, že parameter RSm kolíše na povrchu formy s povlakom AlTiN.

#### 6.4.4 CrN Rz

##### *Výsledok testu:*

P = 0,000

P = 0,000 (adjusted for ties)

##### *Zhodnotenie:*

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o rovnosti mediánov na povrchu CrN v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ .

Parameter Rz sa na povrchu CrN líši v mediáne štatisticky významne, tzn. nelíši sa náhodne, čo má za následok, že parameter Rz kolíše na povrchu formy s povlakom CrN.

#### 6.4.5 CrN Ra

##### *Výsledok testu:*

P = 0,000

P = 0,000 (adjusted for ties)

##### *Zhodnotenie:*

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o rovnosti mediánov na povrchu CrN v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ .

Parameter Ra sa na povrchu CrN líši v mediáne štatisticky významne, tzn. nelíši sa náhodne, čo má za následok, že parameter Ra kolíše na povrchu formy s povlakom CrN.

#### 6.4.6 CrN RSm

##### *Výsledok testu:*

P = 0,000

P = 0,000 (adjusted for ties)

##### *Zhodnotenie:*

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o rovnosti mediánov na povrchu CrN v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ .

Parameter RSm sa na povrchu CrN líši v mediáne štatisticky významne, tzn. nelíši sa náhodne, čo má za následok, že parameter RSm kolíše na povrchu formy s povlakom CrN.

#### 6.4.7 DLC Rz

##### *Výsledok testu:*

P = 0,000

P = 0,000 (adjusted for ties)

##### *Zhodnotenie:*

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o rovnosti mediánov na povrchu DLC v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ .

Parameter Rz sa na povrchu DLC líši v mediáne štatisticky významne, tzn. nelíši sa náhodne, čo má za následok, že parameter Rz kolíše na povrchu formy s povlakom DLC.

#### 6.4.8 DLC Ra

##### *Výsledok testu:*

$$P = 0,000$$

$$P = 0,000 \text{ (adjusted for ties)}$$

##### *Zhodnotenie:*

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o rovnosti mediánov na povrchu DLC v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ .

Parameter Ra sa na povrchu DLC líši v mediáne štatisticky významne, tzn. nelíši sa náhodne, čo má za následok, že parameter Ra kolíše na povrchu formy s povlakom DLC.

#### 6.4.9 DLC RSm

##### *Výsledok testu:*

$$P = 0,000$$

$$P = 0,000 \text{ (adjusted for ties)}$$

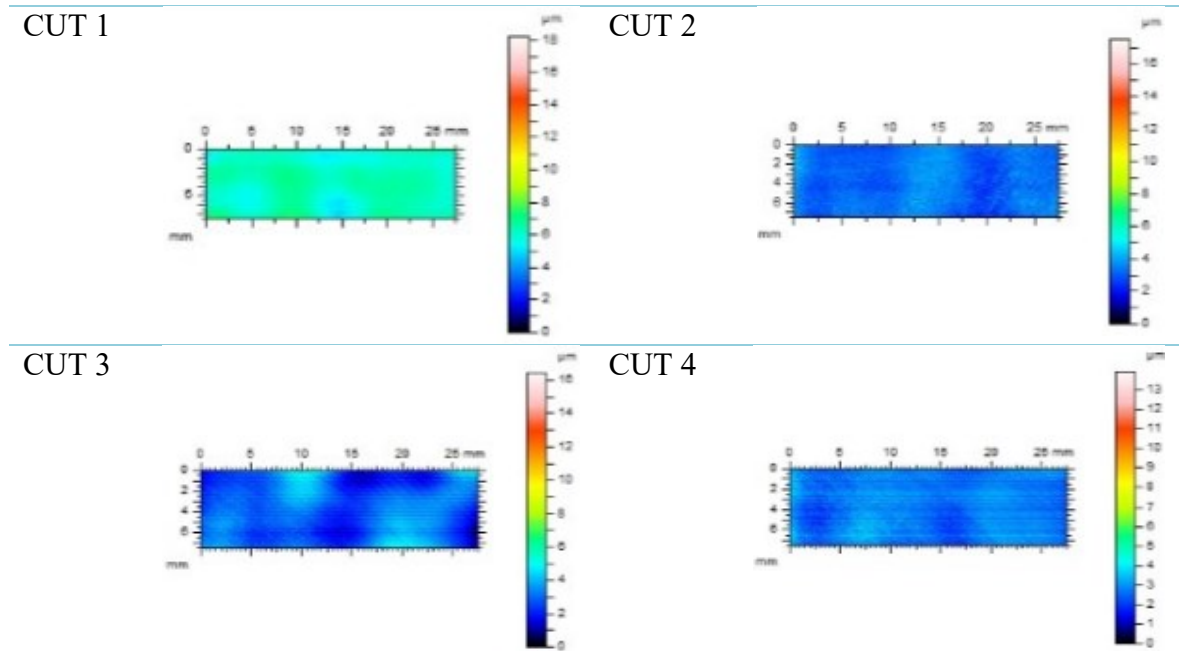
##### *Zhodnotenie:*

Zamietam nulovú hypotézu  $H_0$  o rovnosti mediánov na povrchu DLC v prospech alternatívnej hypotézy  $H_A$ .

Parameter RSm sa na povrchu DLC líši v mediáne štatisticky významne, tzn. nelíši sa náhodne, čo má za následok, že parameter RSm kolíše na povrchu formy s povlakom DLC.

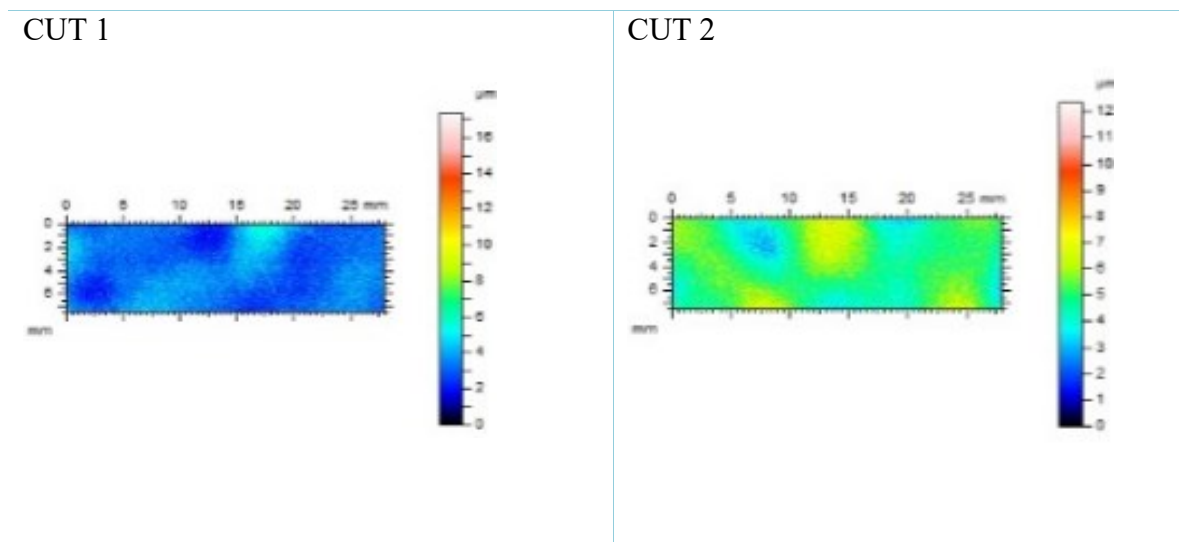
## 6.5 Závěrečné zhodnotenie

Tabuľka 27 AlTiN

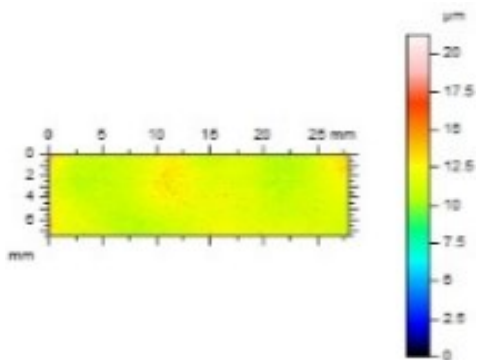


Pre povlak AlTiN sú hodnoty drsnosti povrchu v Cute 2 podstatne vyššie ako v ostatných. Normálové rozdelenie dát nebolo dokázané pri všetkých hodnotách. Všetky hodnoty okrem Ra CUT 2 vykazujú mierne zošíkmenie doprava a jednotlivé CUTY sa líšia štatisticky významne. Z merania teda vyplýva, že povrch je nerovnomerný, čo mohlo byť spôsobené buď leštením alebo nanosením povlaku.

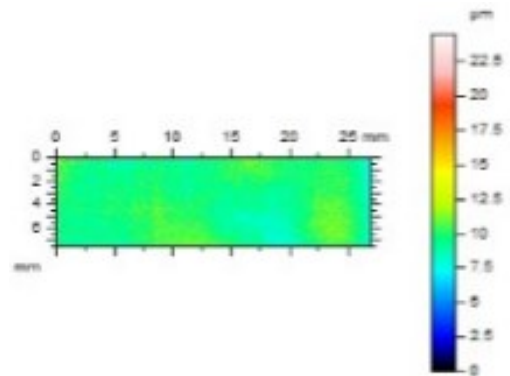
Tabuľka 28 CrN



CUT 3



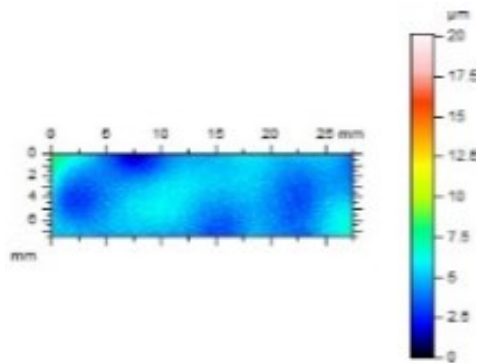
CUT 4



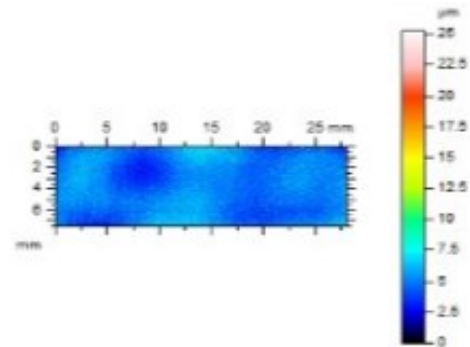
Pre povlak CrN sa hodnoty od prvého po posledný CUT zvyšujú. Takmer všetky hodnoty vykazujú mierne zošikmenie doprava a vychýlené hodnoty. Hodnoty majú bližšie k normálovému rozdeleniu, ale nie všetky, avšak navzájom sa líšia štatisticky významne. Je preukázaná nerovnosť povrchu, a to lešteného aj povlakovaného.

Tabuľka 29 DLC

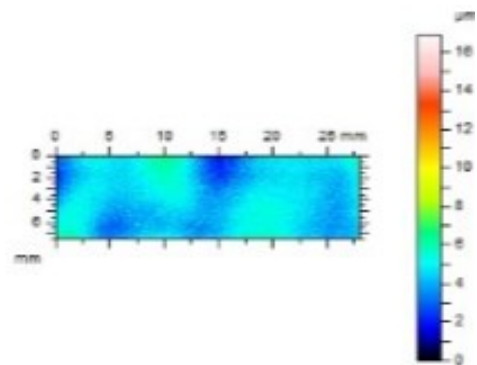
CUT 1



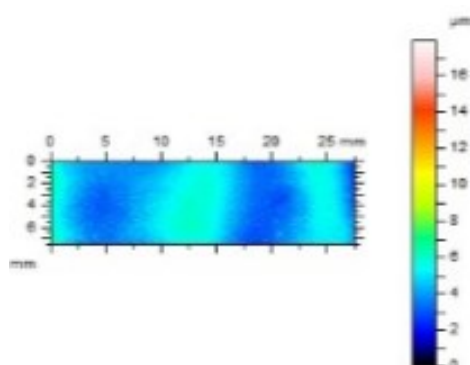
CUT 2



CUT 3



CUT 4



---

Pre povlak DLC sa hodnoty pomerne líšia v intervkartilovom rozpätí ako aj vo veľkostiach hodnôt. Vykazujú viac zošikmenie doľava. Hodnoty CUTu 1 sú podobné hodnotám CUTu 4, a hodnoty CUTu 2 hodnotám CUTu 3. Avšak medzi sebou sa líšia štatisticky významne, teda povrch leštený a povlakovaný je nerovnomerný.

---

Hodnoty drsnosti povrchu sa pre všetky povlaky líšia, teda sú heterogénne. Spôsobí to mohla ako dokončovacia úprava povrchu, leštenie, tak následne nanesenie povlakov.

## ZÁVER

Cieľom teoretickej časti práce bolo objasniť základné pojmy a definície týkajúce sa drsnosti povrchu a spôsoby merania a vyhodnocovania povrchov. Ďalej bolo zámerom objasniť teórie hypotéz použité pre štatistické vyhodnotenie.

Praktická časť sa venovala meraniu drsnosti povrchu pomocou prístroja Taylor Hobson CLI 500 v laboratóriu technologickej fakulty a vyhodnoteniu výsledkov. Merané boli 3 vyleštené povlaňkované formy pre technológiu vstrekovania s povlakmi typu AlTiN, CrN a DLC. Pred samotným meraním sme na pomocou šablóny rozmerov 28mm x 7,5 mm povrch rozdelili na 4 časti, CUTy. Po spustení prístroja sme nastavili odrazivosť a meracie parametre. Meranie trvalo 4h a 56 min pre 1 CUT, teda spolu takmer 6 desiatok hodín.

Zo zaznamenaných dát som 3D povrch spracovala pomocou softvéru Talymap. Z povrchu bolo potrebné najprv oddeliť vlnitosť a vypustiť tvar. Zaujímali nás hodnoty parametrov Rz, Ra a RSm, ktoré sme z odmeraného povrchu získali. Hodnoty bolo potrebné previesť do číselného formátu a následne som ich vyhodnotila pomocou programu Minitab 14.

V programe Minitab som povrch hodnotila pomocou deskriptívnej štatistiky, krabicového diagramu a grafu časovej rady. Z testov Anderson-Darling pre zistenie normality bolo zjavné, že nie všetky hodnoty majú normálne rozdelenie, preto sme nemohli vykonať parametrické testy. Z neparametrických testov Kruskal-Wallis bolo zistené, že pre všetky 3 povlaky sa hodnoty na jednotlivých meraných CUToch líšia, teda povlak nie je rovnomerne nanosený. Táto nehomogenita môže byť spôsobená leštením povrchu alebo nanosením povlaku na povrch.

**ZOZNAM POUŽITEJ LITERATURY**

- [1] Gajda, V. *Základy statistiky v příkladech*. Ostrava: Ostravská univerzita, 2006. 85s.
- [2] MELOUN, Milan, MILITKÝ, Jiří. *Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4
- [3] ČSN EN ISO 4287 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda Termíny, definice, a parametry struktury povrchu*. Český normalizační institut, Praha 1999
- [4] ČSN EN ISO 4288 *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Český normalizační institut, Praha 1999
- [5] Ramachandran, K. M. - Tsokos, CH.P.: *Mathematical Statistics with applications*. USA: Academic Press, 2009. 824s. ISBN 9780080951706.
- [6] Stout, K. Liam Blunt: *Three Dimensional Surface Topography*. London: Butterworth-Heinemann, 2000. 320 s. ISBN 9781857180268
- [7] PATA, Vladimír. *Přednášky Statistické zpracování naměřených dat*
- [8] *E-shop s náradím* [online]. [cit. 2018-18-03]. Dostupné z: <http://www.prakticke-naradie.sk/product/sada-5ks-lestiacich-kotucov-prebrusku-spe-50/>
- [9] KONEČNÝ, Jan. *Hodnocení struktury povrchu bezkontaktní metodou*. [online]. [cit. 2018-1-24]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_veřejne.php?file\\_id=68527](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_veřejne.php?file_id=68527).
- [10] Bumbálek, B., Obvody, V., Ošťádal, B.: *Drsnost povrchu*, SNTL Praha, 1989
- [11] NOVÁK, Z. *Prostorové měření a hodnocení textury povrchu přístroji Taylor Hobson Ltd*. [online]. [cit. 2018-1-25]. Dostupné: [http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/2\\_Novak\\_3D\\_mereni\\_textury.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf).
- [12] *Taylor Hobson - Roughness, Roundness and Non-Contact Metrology* [online]. 2011 cit. 2018-01-24]. Dostupné z WWW: <http://www.taylor-hobson.com/>.
- [13] GÖRÖG, A., SAMARDŽIOVÁ, M.: *Metrológia a kvalita technologických procesov Metrology and quality of technological processes*. Trnava: Materiálovotechnologická fakulta STU, 2016. 329 s. ISBN 978-80-8096-225-8
- [14] Smerodajná odchýlka [online]. [cit. 2018-1-24]. <Dostupné z: <http://manufacturingindia.weebly.com/blog/standard-deviation-inventory-for-delivery>>



- [15] *Štatistická teória* [online]. [cit. 2018-1-24]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/stat-potr/POTR/Teorie>
- [16] *Drsnosť a 3D parametre* [online]. [cit. 2018-1-24]. Dostupné z: [https://www.olym-pus-ims.com/vi/knowledge/metrology/roughness/3d\\_parameter/](https://www.olym-pus-ims.com/vi/knowledge/metrology/roughness/3d_parameter/)
- [17] *Metrológia* [online]. [cit. 2018-1-24]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha10.pdf>
- [18] Frolo, D.: *Hodnocení jakosti povrchů na portfoliu polymerních výrobků pro automobilový průmysl*. Zlín, 2014. 91 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně.
- [19] *Testy normality* [online]. [cit. 2018-1-24]. Dostupné z: [https://lms2.umb.sk/plugin-file.php/124374/mod\\_resource/content/1/Testy\\_normality.pdf](https://lms2.umb.sk/plugin-file.php/124374/mod_resource/content/1/Testy_normality.pdf)
- [20] *Úvod do štatistiky* [online]. [cit. 2018-1-24]. Dostupné z: <http://el-dum.phil.muni.cz/mod/resource/view.php?id=1839>
- [21] *Funkčné parametre* [online]. [cit. 2018-1-24]. Dostupné z: [https://www.michmet.com/3d\\_s\\_functional\\_parameters.htm](https://www.michmet.com/3d_s_functional_parameters.htm)
- [22] ČSN EN ISO 25 178-2 *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice, a parametry textury povrchu*. Český normalizační institut, Praha 2012
- [23] PEŠIČKA, Ladislav. *Geometrická specifikace výrobků strojírenské výroby (GPS)*. Praha: ČNI, 2006. 49 s.
- [24] *Povlak Eifeler CrN* [online]. [cit. 2018-27-02]. Dostupné z: <http://www.commercservice.sk/crn.html>
- [25] *Plastikárska technológia a povlakovanie* [online]. [cit. 2018-27-02]. Dostupné z: <https://www.ptonline.com/articles/know-your-mold-coatings>
- [26] *Staton a služby povlakovania* [online]. [cit. 2018-27-02]. Dostupné z: <http://www.staton.sk/sluzby/povlakovanie/nasa-ponuka-povlakov/>
- [27] Bláhová, O.: *Povlaky – struktura a složení, cvičení 7*. Západočeská univerzita v Plzni – Fakulta strojní. [online]. [cit. 2018-28-02]. Dostupné z: [http://www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/data/cviceni\\_7.pdf](http://www.kmm.zcu.cz/Blahova/CDPOU/content/data/cviceni_7.pdf)
- [28] Doc. Ing. Zdenko Lipa, CSc., Prof. Ing. Alexander Janáč, CSc. *Dokončovacie spôsoby obrábania* 1. vydanie Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2000, ISBN 80-227-1324- 4
- [29] *Dokončovacie operácie* [online]. [cit. 2018-18-03]. Dostupné z: <http://int.spsoa-ub.cz/projekty/ov3000/STROJ/NASTROJAR/NAIII-Dokoncovaci%20operace%20-%20lesteni.pdf>

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

2D	Dvojmerný priestor
3D	Trojmerný priestor
ANOVA	Analysis of variance
ČSN	Česká štátna norma
CUT	výrez, časť
EN	Európska norma
GPS	Geometrické požiadavky na výrobu
$H_0$	Nulová hypotéza
$H_A$	Alternatívna hypotéza
ISO	Medzinárodná organizácia pre normalizáciu
$l_r$	Základná dĺžka profilu drsnosti
$l_n$	Vyhodnocovaná dĺžka profilu drsnosti
$l_t$	Celková dĺžka snímania
$R_c$	Priemerná výška prvku profilu
$R_{ku}$	Špicatosť posudzovaného profilu
$R_{mr}$	Materiálový pomer profilu
$R_p$	Najväčšia výška profilu
$R_q$	Priemerná kvadratická odchýlka profilu
$R_{sm}$	Priemerná šírka prvkov profilu
$R_t$	Celková výška profilu
$R_v$	Najväčšia priehlbina profilu
$R_z$	Najväčšia výška profilu
X, Y, Z	Osy v daných smeroch
$Z_p$	Výška výstupku profilu
$Z_t$	Výška prvku profilu

---

$Z_v$	Hĺbka priehlbiny profilu
$\alpha$	Chyba 1. druhu
$\beta$	Chyba 2. druhu
$\mu$	Priemer výberového súboru
$1 - \alpha$	Spol'ahlivosť
$1 - \beta$	Sila testu
$Q_1$	1.kvartil
$Q_3$	3.kvartil
IQR	interkvartilové rozpätie

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

<i>Obrázok 1 Profilometer [9]</i> .....	13
<i>Obrázok 2 Raster a radiálny spôsob merania [6]</i> .....	14
<i>Obrázok 3 CLA a laserový snímač [12]</i> .....	15
<i>Obrázok 4 Skutočný povrch a skutočný profil [13]</i> .....	19
<i>Obrázok 5 Profily [13]</i> .....	20
<i>Obrázok 6 Dĺžky pri meraní [23]</i> .....	21
<i>Obrázok 7 Základné parametre [3]</i> .....	22
<i>Obrázok 8 Rôzne tvary a výškové parametre s rovnakou hodnotou Ra [13]</i> .....	22
<i>Obrázok 9 Šikmosť profilu [13]</i> .....	23
<i>Obrázok 10 Špičatosť profilu [4]</i> .....	23
<i>Obrázok 11 Materiálový podiel profilu [13]</i> .....	24
<i>Obrázok 12 Krivka materiálového podielu [13]</i> .....	24
<i>Obrázok 13 3D parametre [125]</i> .....	25
<i>Obrázok 14 Krivka materiálového podielu v 3D [21]</i> .....	26
<i>Obrázok 15 3D vyhodnotenie profilu [73]</i> .....	26
<i>Obrázok 16 Závilosť pravdepodobností chýb I. a II. druhu</i> .....	30
<i>Obrázok 17 Normálne rozdelenie [2]</i> .....	33
<i>Obrázok 18 Normované normálne rozdelenie [14]</i> .....	34
<i>Obrázok 19 Rôzne leštiace kotúče [8]</i> .....	37
<i>Obrázok 20 Talysurf CLI 500</i> .....	40
<i>Obrázok 21 Šablóna merania</i> .....	40
<i>Obrázok 22 Spustenie programu Talymap</i> .....	41
<i>Obrázok 23 Nastavenie odrazivosti v Talymape</i> .....	41
<i>Obrázok 24 Nastavenie parametrov v Talymape</i> .....	42
<i>Obrázok 25 Matica merania</i> .....	43
<i>Obrázok 26 Vypustenie tvaru</i> .....	43
<i>Obrázok 27 a) primárne získaný povrch b) levelling c) form removal</i> .....	44
<i>Obrázok 28 Profil povrchu</i> .....	44
<i>Obrázok 29 Test normality pre ALTiN CUT 1</i> .....	47

**ZOZNAM TABULIEK**

<i>Tabuľka 1 Talysurf CLI 2000 parametre [11]</i> .....	17
<i>Tabuľka 2 Talysurf CCI 3000 Å parametre [11]</i> .....	17
<i>Tabuľka 3 Talysurf 3000 možnosti súčiastky [11]</i> .....	18
<i>Tabuľka 4 Chyba I. a II. druhu [7]</i> .....	30
<i>Tabuľka 5 F-test postup [1]</i> .....	31
<i>Tabuľka 6 T-test postup [2]</i> .....	31
<i>Tabuľka 7 Parametre merania</i> .....	42
<i>Tabuľka 8 AlTiN Rz deskriptívna štatistika</i> .....	46
<i>Tabuľka 9 Súhrn AlTiN Rz</i> .....	47
<i>Tabuľka 10 AlTiN Ra deskriptívna štatistika</i> .....	48
<i>Tabuľka 11 Súhrn AlTiN Ra</i> .....	48
<i>Tabuľka 12 AlTiN RSm deskriptívna štatistika</i> .....	49
<i>Tabuľka 13 Súhrn AlTiN RSm</i> .....	49
<i>Tabuľka 14 CrN Rz deskriptívna štatistika</i> .....	50
<i>Tabuľka 15 Súhrn CrN Rz</i> .....	50
<i>Tabuľka 16 CrN Ra deskriptívna štatistika</i> .....	51
<i>Tabuľka 17 Súhrn AlTiN Ra</i> .....	51
<i>Tabuľka 18 CrN RSm deskriptívna štatistika</i> .....	52
<i>Tabuľka 19 Súhrn CrN RSm</i> .....	52
<i>Tabuľka 20 DLC Rz deskriptívna štatistika</i> .....	53
<i>Tabuľka 21 Súhrn DLC Rz</i> .....	53
<i>Tabuľka 22 DLC Ra deskriptívna štatistika</i> .....	54
<i>Tabuľka 23 Súhrn DLC Ra</i> .....	54
<i>Tabuľka 24 DLC RSm deskriptívna štatistika</i> .....	55
<i>Tabuľka 25 Súhrn DLC RSm</i> .....	55
<i>Tabuľka 26 AlTiN Rz Kruskal-Wallis test</i> .....	56
<i>Tabuľka 27 AlTiN</i> .....	60
<i>Tabuľka 28 CrN</i> .....	60
<i>Tabuľka 29 DLC</i> .....	61