

Hodnocení jakosti konvexních a konkávních ploch

Jan Sečka

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jan Sečka
Osobní číslo:	T19239
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Hodnocení jakosti konvexních a konkávních povrchů

Zásady pro vypracování

- Nastudování rozdílnosti při vyhodnocování pomocí ISO 4287, ISO 4288 a ISO 25 178.
 - provedení kontroly povrchů pomocí optického mikroskopu a určení konvexních a konkávních povrchů.
 - Provedení analýzy povrchů na bezkontaktním profilometrem
 - Vyhodnocení naměřených data drsnosti povrchu pomocí programu Minitab
-

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

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999.
2. ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999.
3. ČSN EN ISO 25178-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 2012.
4. MELOUN, Milan. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešení včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milena Kubišová, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **3. ledna 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

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

Ve Zlíně dne 24. února 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji 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;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – 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);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem 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.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta: Jan Sečka

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na hodnocení jakosti konvexních a konkávních povrchů, takzvaných tvarových ploch. Teoretická část zahrnuje obecné pojmy a názvy, pojmenovává povrchy materiálů a definuje hodnocení povrchu podle jednotlivých norem. Praktická část se zabývá samotným vyhodnocením naměřených dat za pomoci programu Minitab 21.

Klíčová slova: konvexní a konkávní povrchy, zhodnocení kvality povrchů, měření drsnosti

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the quality assessment of convex and concave surfaces, so-called shaped surfaces. The theoretical part includes general terms and names, names the material surfaces, and defines the surface evaluation according to the different standards. The practical part deals with evaluating the measured data using Minitab 21.

Keywords: convex and concave surfaces, surface quality assessment, roughness measurement

Zde bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce Ing. Mileně Kubišové, Ph.D. za projevenou ochotu a trpělivost a za sdělení odborných informací v průběhu vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat rodině, která mě po čas celého studia podporuje.

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

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 OBRYŠ POVRCHU TVARU	11
1.1 POVRCHY KONVEXNÍHO TYPU	11
1.2 POVRCHY KONKÁVNÍHO TYPU.....	12
2 TYPY POVRCHŮ I MATERIÁLŮ	13
2.1 MATERIÁLY	13
2.1.1 Kovy	13
2.1.2 Polymery	13
2.1.3 Keramika	13
2.1.4 Kompozity	14
2.2 POVRCHY	14
3 NORMY ČSN ISO, KTERÉ SE ZAMĚŘUJÍ NA HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU	16
3.1 ČSN EN ISO 4287	16
3.1.1 Obecné termíny	16
3.1.2 Geometrické parametry	18
3.1.3 Výškové parametry	19
3.1.4 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic)	21
3.1.5 Délkové parametry	21
3.1.6 Tvarové parametry	22
3.2 ČSN EN ISO 4288	22
3.2.1 Odhadování parametrů	22
3.2.2 Pravidla pro porovnávání naměřených hodnot s tolerančními mezemi	23
3.2.3 Hodnocení parametrů	24
3.3 ČSN EN ISO 25178-2.....	24
3.3.1 Obecné termíny	24
3.3.2 Definice parametru pole,	26
4 TYPY PROFILOMETRŮ K HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHŮ	28
4.1 OPTICKÝ PROFILOMETR.....	28
4.2 DOTYKOVÝ PROFILOMETR.....	29
5 ZÁKLADY STATICKÉHO HODNOCENÍ DAT	31
5.1 STATISTICKÉ POJMY	31
5.2 VYUŽITÍ	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	33
6 CÍLE PRÁCE	34
7 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	35

7.1	MĚŘENÉ MATERIÁLY	35
7.2	ZAHÁJENÍ MĚŘENÍ	36
7.3	NAMĚŘENÉ HODNOTY	38
7.3.1	Silon	38
7.3.2	Polypropylen	42
8	STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT.....	46
	ZÁVĚR	57
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	58
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	60
	SEZNAM OBRÁZKŮ	61
	SEZNAM TABULEK.....	63

ÚVOD

V průběhu let se při potřebě vyrábět produkty, které mají užší tolerance na výrobu, začalo více a více hledět i na kvalitu povrchů, a ta se nedala měřit tak jednoduše jako například rozměr délky, a tak se začali vyvíjet novější technologie, které umožňují meteorologovi zhodnotit, 2D a 3D strukturu povrchu, aby se předešlo nehodám, které by mohl způsobit špatně obrobený kus v rizikovém odvětví. Pro měření povrchu se nejčastěji používají bezkontaktní profilometry a zpracované výpočetní programy, které jsou většinou dodávány společně s přístrojem.

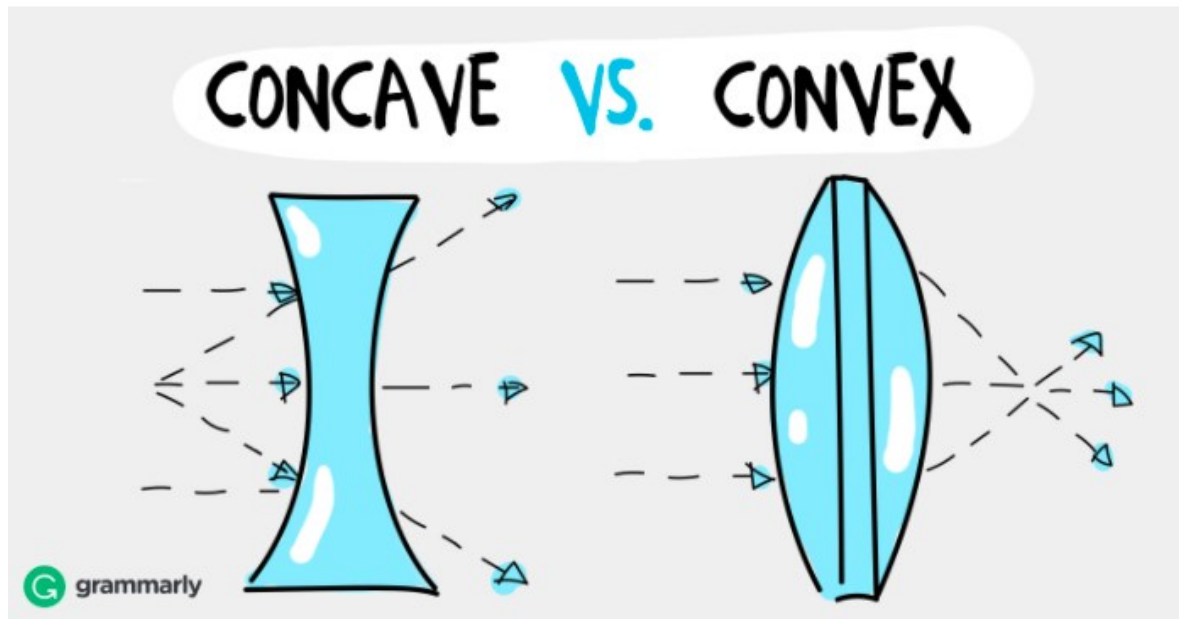
V této bakalářské práci se budu zabývat metodami úpravy povrchů, kterými se dosáhne kvalitnější struktury. Dále budu hodnotit dva různé materiály, na kterých byli vyfrézovány čtyři plochy, dvě konvexní a dvě konkávní, za pomoci kulové frézy, které změřím pomocí bezkontaktního profilometru, v tomto případě se jedná o profilometr Talysurf CLI 500 od výrobce Taylor Hobson.

Cílem této práce je vyhodnotit naměřená data a podrobit je analýze.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRYS POVRCHU TVARU

Konkávni a konvexní se nejčastěji používají jako přídavná jména k popisu obrysu nebo povrchu tvaru. Termíny se v běžné řeči často nepoužívají, ale jsou důležité pro použití ve vědě a matematice. S pojmy konvexní a konkávni se s největší pravděpodobností setkáte při diskusi o zrcadlech, čočkách v brýlích nebo kontaktních čočkách. [1]



Obrázek 1 ukázka konvexního a konkávniho povrchu [1]

1.1 Povrchy konvexního typu

Konvexní tvar je opakem konkávniho tvaru. Zakřivuje se směrem ven a jeho střed je silnější než jeho okraje. Stejně jako konkávni, konvexní lze použít jako přídavné jméno pro povrch nebo čáru, která se zakřivuje směrem ven, a má také využití v geometrii, kde popisuje polygon s vnitřními úhly menšími nebo rovnými 180° .

Stejně jako u konkávni povrchů, většinou používáme konvexní k popisu procesů spojených s čočkami, zrcadly a odrazem. Vypouklé zrcadlo bude vypadat menší, kvůli způsobu, jakým se světlo odráží zpět od ní. Konvexní čočky mohou být použity v mikroskopech, lupách a brýlích.

Konvexní se také používá jako přídavné jméno v matematice a geometrii, tj. je to název pro typ tvaru nebo navenek zakřivené čáry. [2]

1.2 Povrchy konkávního typu

Popisují tvar, který se zakřivuje dovnitř, například boční zrcátko u automobilu.

Nejčastěji používáme konkávní k popisu procesů spojených s čočkami, zrcadly a odrazem. Například konkávní zrcadlo kvůli vyššímu odrazu světla z něj bude vypadat vyšší. Konkávní čočky mohou být použity v předmětech, jako jsou dalekohledy, fotoaparáty a čočky v brýlích. Konkávní můžete použít pro méně vědecké popisy, když popisujete například něco, co se zakřivuje dovnitř jako kráter nebo výmol nebo žaludek velmi hubené osoby.

Konkávní lze použít jako přídavné jméno v matematice a geometrii, tj. je to název pro typ tvaru nebo dovnitř zakřivené čáry. [2]

2 TYPY POVRCHŮ I MATERIÁLŮ

Materiály přednostně dělíme na kovy, polymery, keramika, kompozity.

2.1 Materiály

2.1.1 Kovy

Kovy jsou jedny z nejdůležitějších materiálů ve výrobě a ve stavebnictví. Řadíme mezi ně železo, hliník, měď, zinek, cín, olovo, titan. Mnoho kovů, které v dnešní době používáme, jsou z velké části slitiny.

2.1.2 Polymery

Polymer je jakákoli třída přírodních nebo syntetických látek složených z velmi velkých molekul, nazývaných makromolekuly, což jsou násobky jednodušších chemických jednotek nazývaných monomery. Polymery tvoří mnoho materiálů v živých organismech a jsou základem mnoha minerálů a umělých materiálů. [3],[4]

2.1.3 Keramika

Keramika je klasifikována jako anorganické a nekovové materiály, které jsou nezbytné pro náš každodenní průmyslové odvětví. Inženýři zabývající se keramickými materiály, jsou lidé, kteří navrhují postupy, díky nimž je možné tyto výrobky vytvořit. Tvoří nové druhy keramických výrobků a nacházejí různá využití pro keramické výrobky v každodenním životě.

Keramika je všude kolem nás. Tato kategorie materiálů zahrnuje věci jako dlaždice, cihly, talíře, sklo a toalety. Keramiku lze nalézt v produktech, jako jsou hodinky (křemenné ladící vidlice-zařízení pro udržování času v hodinkách), sněhová obloha (piezoelektrická keramika, která namáhá, když je na ni aplikováno napětí), automobily (zapalovací svíčky a části keramických motorů nacházející se v závodních automobilech), a telefonní linky. Lze je také nalézt na raketoplánech, zařízeních (smaltované nátěry) a letadlech (nosní kužely). V závislosti na způsobu tvorby může být keramika buď hustá nebo lehká. Typicky budou vykazovat vynikající tvrdost; jsou však často křehké povahy. Keramika může být také formována tak, aby sloužila jako elektricky vodivý materiál v předmětech propouštějících elektřinu skrze svou hmotu nebo izolátory.

Některé keramiky, jako supravodiče, také vykazují magnetické vlastnosti. [4],[5]

2.1.4 Kompozity

Kompozit je materiál vyrobený ze dvou nebo více různých materiálů, které jsou v této kombinaci pevnější než jednotlivé materiály samy o sobě. Jednoduše řečeno, kompozity jsou kombinací komponentů. Kompozity jsou obvykle navrženy s ohledem na konkrétní použití, jako je přidaná pevnost, účinnost nebo trvanlivost.

2.2 Povrchy

Všechny povrchy lze dále rozdělit nebo rozlišit na tři různé typy: ploché povrchy, zakřivené povrchy a složené zakřivené povrchy. Tyto povrchy dále potřebujeme upravit, abychom například dosáhli lepšího estetického vzhledu.

Vzhledem k širokému spektru technologií pro upravení jakosti povrchu, se povrch dále rozděluje dle způsobu použité metody:

- elektrochemické
- mechanické
- chemické
- organické povlaky
- tepelné
- vakuové

Mechanické

- v této kategorii se nachází otryskávání, omílání, broušení, leštění
- tyto úkony provádíme abychom sjednotili povrch a případně povrch připravili pro další zpracování

Elektrochemické

- odstraňuje kov selektivním způsobem z povrchu obrobku přeměnou kovu na ionty pomocí aplikovaného elektrického pole

Chemické

- chemická povrchová úprava je modifikace hliníkového povrchu chemickými procesy
- tento typ povrchové úpravy se používá nejčastěji jako způsob předúpravy pro následné dokončovací operace, jako je eloxování nebo práškové lakování

Organické povlaky

- organický povlak je typ povlaku, jehož primární složky jsou odvozeny, buď z rostlinné nebo živočišné hmoty nebo ze sloučenin bohatých na uhlík
- tyto povlaky se primárně používají k zajištění povrchové úpravy aditivního typu na materiálech, na které jsou aplikovány

Tepelné

- tepelné zpracování je proces zahřívání kovu, aniž by nedosáhl svého roztaveného stádia, a pak ochlazování kovu kontrolovaným způsobem, aby se zvolily požadované mechanické vlastnosti
- tepelné zpracování se používá buď k tomu, aby byl kov pevnější, poddajnější, odolnější vůči oděru nebo aby byl více tažný

Vakuové

- vakuové potahování, také známé jako nanášení tenkých vrstev, je proces ve vakuové komoře, při kterém se na povrch substrátu nanáší velmi tenká a stabilní vrstva povlaku, která jej chrání před silami, které by jej mohly opotřebovat nebo snížit jeho účinnost

3 NORMY ČSN ISO, KTERÉ SE ZAMĚŘUJÍ NA HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU

ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288, ČSN EN ISO 25178-2. Jsou to normy, které jsou hlavním tématem této bakalářské práce, díky kterým, máme přesně stanoveno, jak povrchy hodnotit. [6]

3.1 ČSN EN ISO 4287

V této normě jsou určeny definice a parametry u struktur povrchu materiálů, které se zabývají profilovou metodou.

„Základní popisované geometrické parametry: základní profil, vlnitost, drsnost.“ [6]

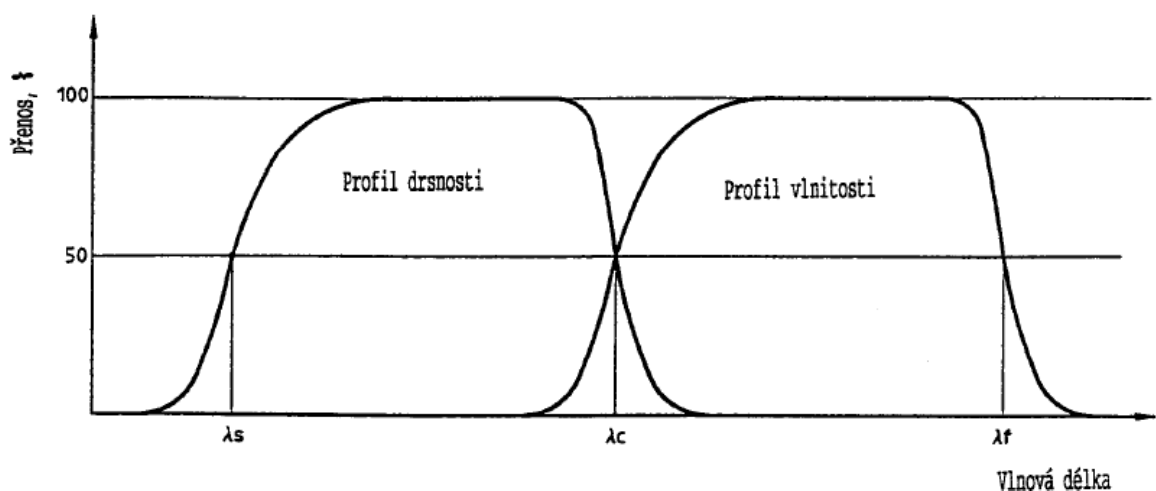
3.1.1 Obecné termíny

- *„Filtr profilu-rozčleňující profily na dvě složky: krátkovlnné a dlouhovlnné.“*

λ_s filtr profilu-udává hranice mezi kratšími složkami vln nacházející se na povrchu materiálu a drsností.“ [6]

„ λ_c filtr profilu-filtr udávající hranice mezi drsností a vlnitostí.“ [6]

„ λ_f filtr profilu-filtr udává hranice mezi delšími složkami vln nacházejících se na povrchu, a vlnitostí.“ [6]



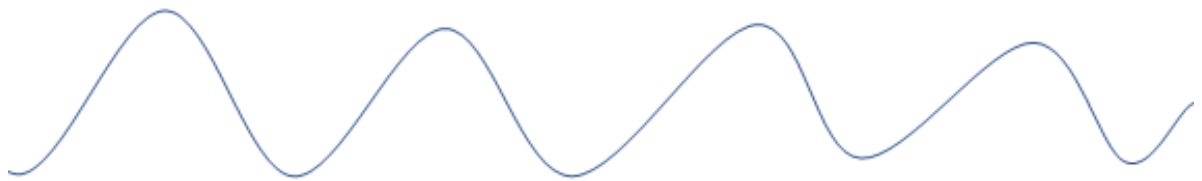
Obrázek 2 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti

Mezní vlnová délka (λ_c) -označuje hranici, vlnové délky menší jsou drsnosti a delší vlnové délky jsou vlnitosti.

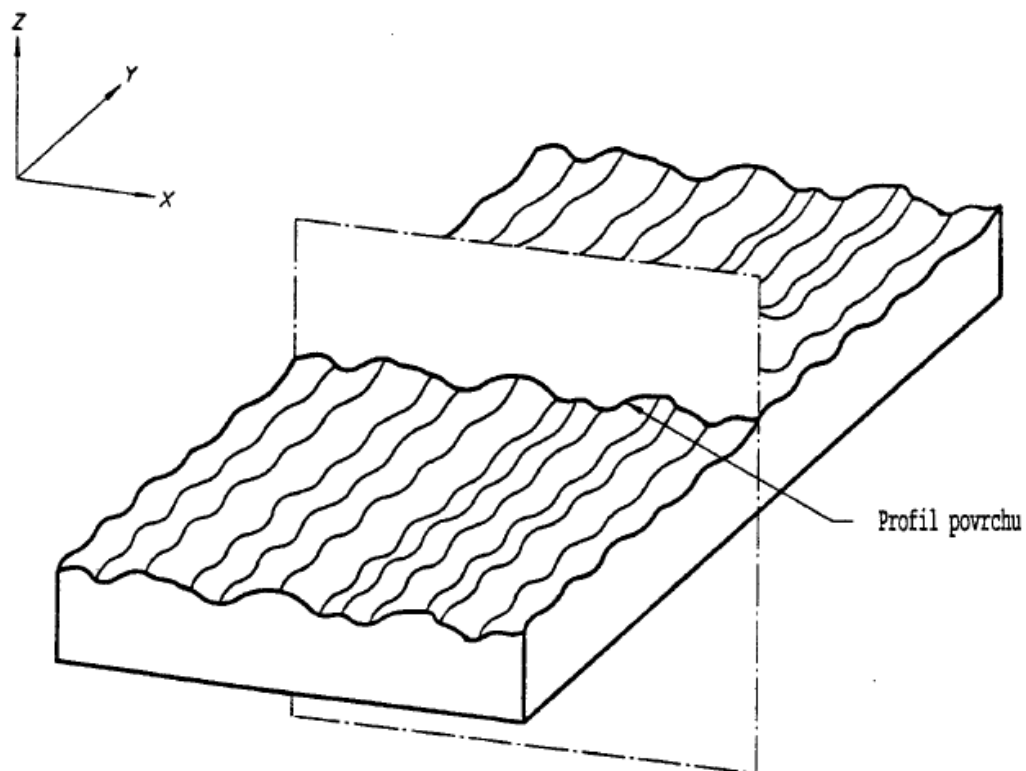
Základní profil – jakmile aplikujeme krátkovlnný profil λ_s zůstane úplný profil



Obrázek 3 Drsnost povrchu [6]



Obrázek 4 Vlnitost povrchu [6]



Obrázek 5 – Profil povrchu [6]

„Skutečný povrch – povrchu který omezuje těleso a zároveň ho odděluje od okolního prostředí.“

„Profil povrchu – profil který vznikne jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny.“
[6]

3.1.2 Geometrické parametry

„*P*-parametr – tento parametr můžeme vypočítat ze základního profilu

R-parametr – tento parametr můžeme vypočítat z profilu drsnosti

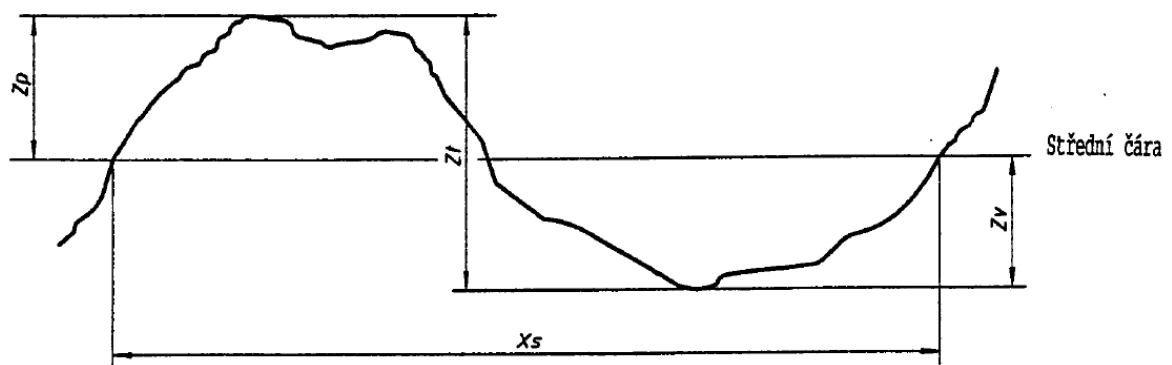
W-parametr – tento parametr můžeme vypočítat z vlnitosti povrchu

Výstupek profilu – část posuzovaného profilu která směřuje z povrchu ven a spojuje dva přilehlé body na průřezu profilu s osou x

Prohlubeň profilu – označujeme oblast na posuzovaném profilu, kterou tvoří křivka pod střední čarou, a je ohraničená body které leží na této čáře, zároveň je rovnoběžná s osou x

Omezení výšky nebo rozteče – nejmenší výška a rozteč výstupků u posuzovaného profilu, které můžeme brát v úvahu

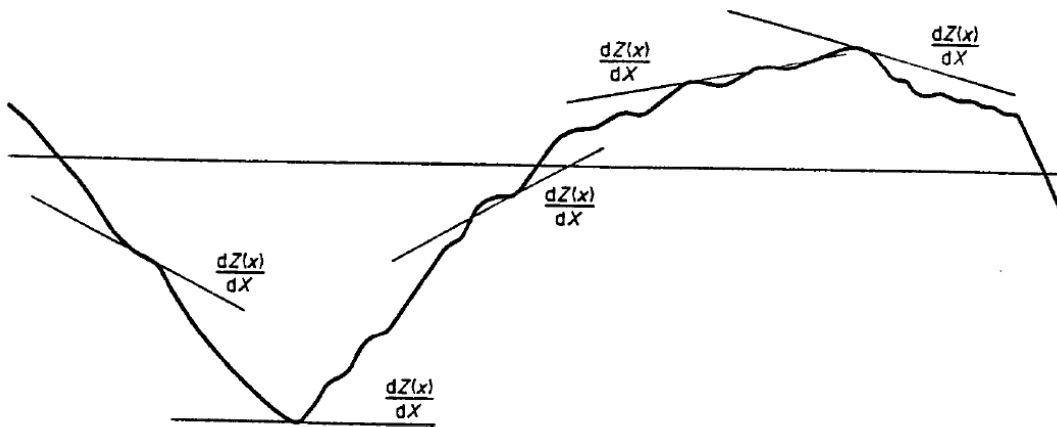
Prvek profilu – výstupek profilu a jeho přilehlá prohlubeň.“ [6]



Obrázek 6 Prvek profilu [6]

„Hodnota pořadnice – kterákoliv výška posuzovaného profilu v poloze x .

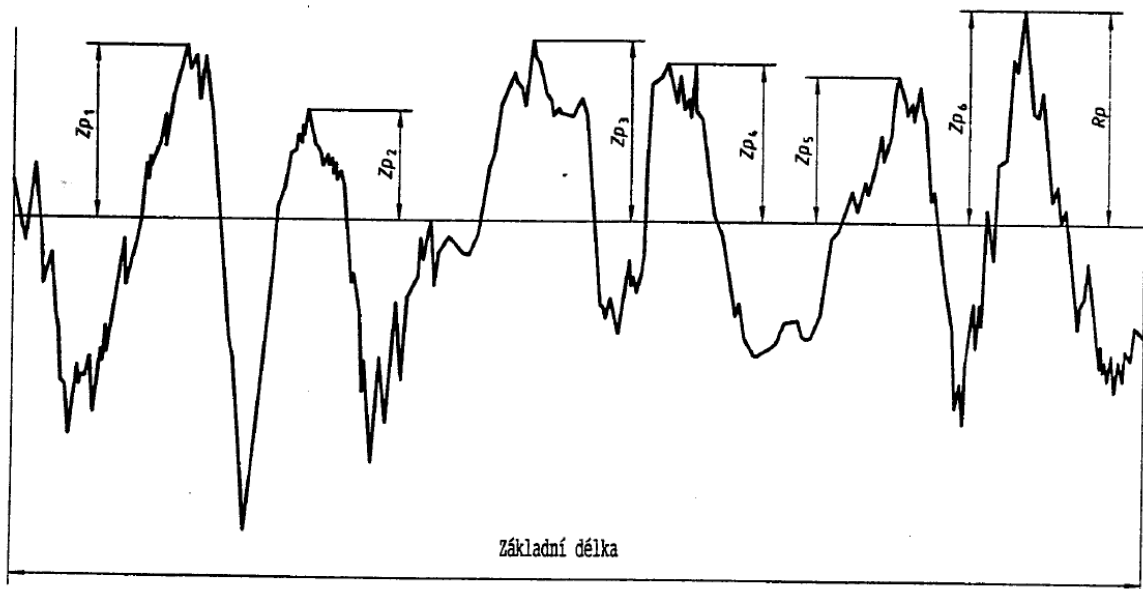
Místní sklon – náklon posuzovaného profilu v poloze x_i .“ [6]



Obrázek 7 Místní sklon [6]

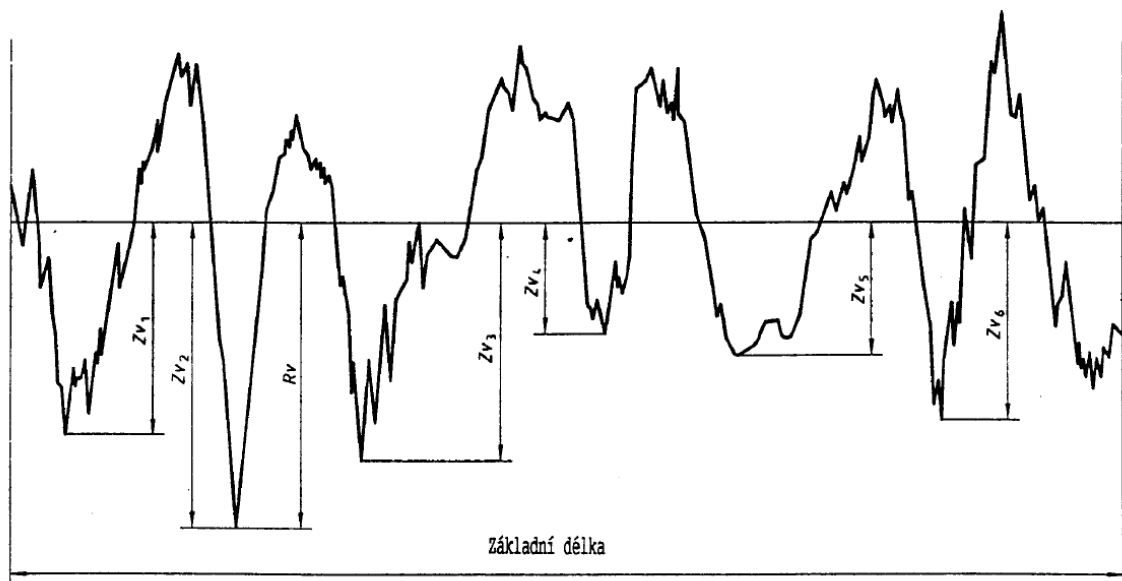
3.1.3 Výškové parametry

- „*Největší výška výstupku profilu* – výška kterou značíme Z_p v rozmezí základní délky pro nejvyšší výstupek profilu.“ [6]



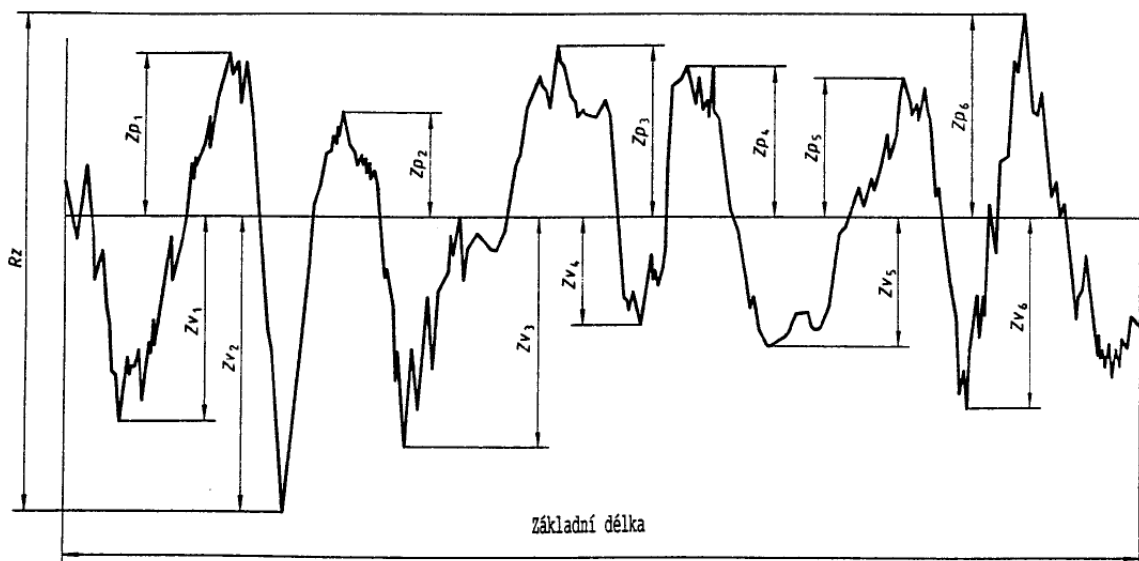
Obrázek 8 Největší výška výstupků profilu [6]

- „*Největší hloubka prohlubně profilu* – hloubku značíme Z_v a je to nejnižší prohlubeň profilu v rozsahu základní délky.“ [6]



Obrázek 9 Největší hloubka prohlubní profilu [6]

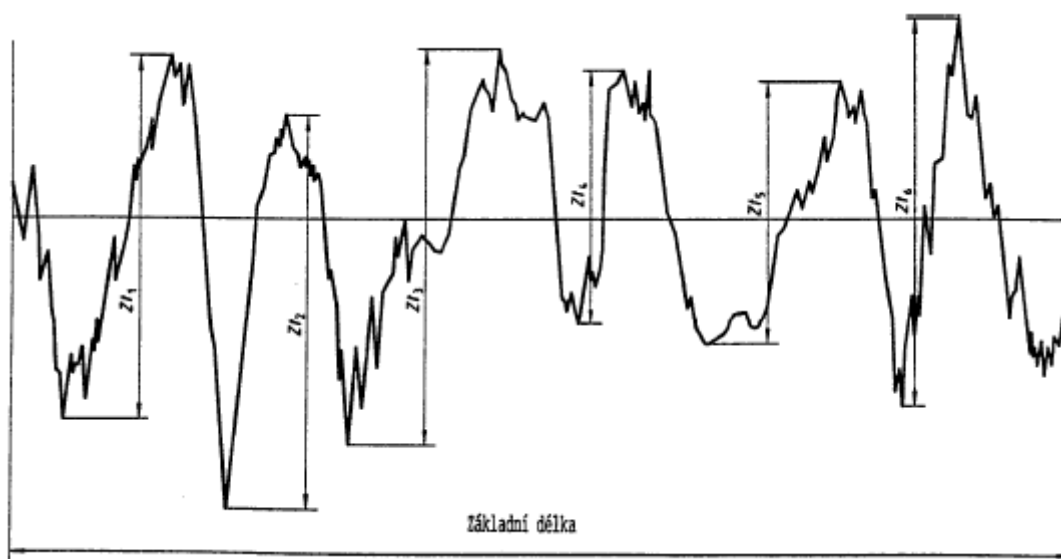
- „*Největší výška profilu* – největší výšku profilu získáme tak že sečteme nejvyšší hloubky výstupku profilu a nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky.“ [6]



Obrázek 10 Největší výška profilu [6]

- „*Průměrná výška prvků profilu* – P_c , R_c , W_c : průměrná hodnota výšek Z_t elementu v rozsahu základní délky.“ [6]

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



Obrázek 11 výška prvků profilu (příklad drsnosti profilu) [6]

- **Celková výška profilu** – součet výšek Z_p a Z_v což znamená že sečteme nejvyšší výstupek profilu a hloubky a nejnižší prohlubně elementu v rozsahu vyhodnocované délky [6]

3.1.4 Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic)

- „**Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu** – P_a , R_a , W_a : aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ v hranici základní délky.“ [6]

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

- „**Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu** – P_q , R_q , W_q : kvadratický průměr pořadnic $Z(x)$ v rozsahu základní délky.“ [6]

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

- „**Šikmost posuzovaného profilu** – P_{sk} , R_{sk} , W_{sk} : podíl třetích mocnin průměrné hodnoty pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty P_q , R_q nebo W_q v rozsahu základní délky.“ [6]

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

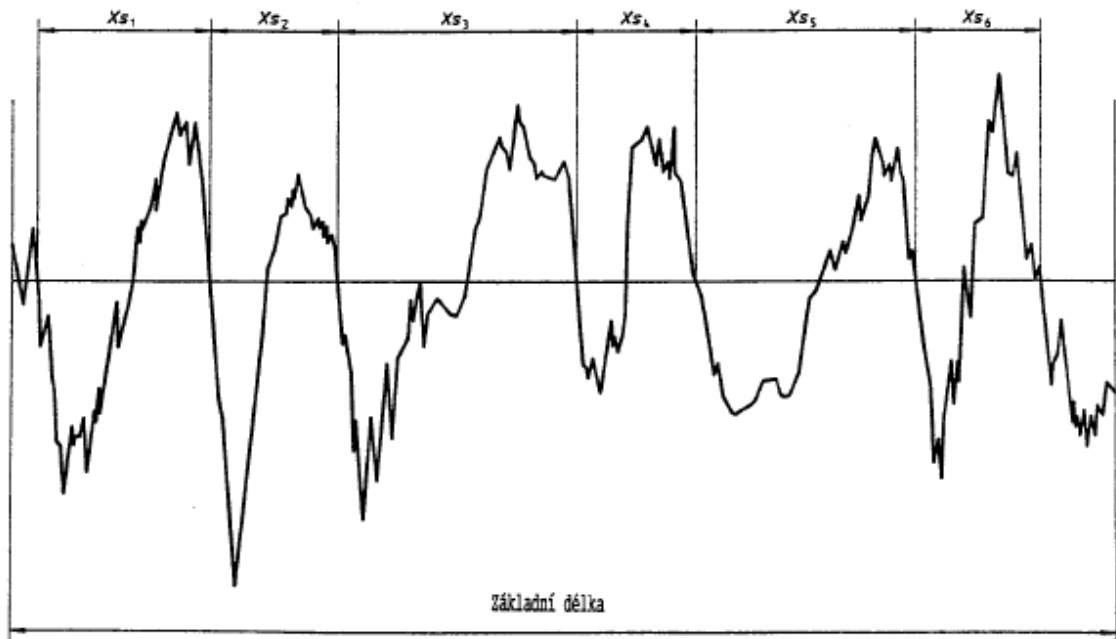
3.1.5 Délkové parametry

- „**Průměrná šířka prvků profilu** – P_{Sm} , R_{Sm} , W_{Sm} : Prvek profilu X_s , jeho aritmetický průměr šířek v rozsahu základní délky.“ [6]

$$PSm, RSm, WSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si} \quad (5)$$

3.1.6 Tvarové parametry

„Průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu – $P\Delta q$, $R\Delta q$, $W\Delta q$: kvadratický průměr sklonů pořadnic dZ/dX v rozsahu základní délky.“ [6]



Obrázek 12 šířka prvků profilu [6]

3.2 ČSN EN ISO 4288

„Tato norma stanovuje pravidlo pro porovnávání měřených hodnot a tolerančních mezí které jsou stanoveny pro parametry struktury povrchu v ISO, 4287, ISO 12085, ISO 13565-2, ISO 13565-3. Dále také specifikuje standartní pravidlo pro výběr mezních vlnových délek pro parametry profilu drsnosti podle ISO 4287, které měříme díky dotykovým přístrojům, kterým se věnuje norma ISO 3274. Zabývá se geometrickými požadavky na výrobku.“ [7]

3.2.1 Odhadování parametrů

- Parametry definované na základní délce

„Odhad parametrů – tento odhad je vypočítáván z naměřených dat pouze z jedné základní délky.“

Odhad průměrných hodnot parametrů – vypočítán vyčíslením aritmetického průměru odhadu parametrů ze všech základních délek.“ [7]

- **Parametry definované na vyhodnocované délce**

„Pro definované parametry (P_t , R_t , W_t) na vyhodnocované délce je odhadovaná hodnota vypočítávána pomocí naměřených dat z vyhodnocované délky rovné normalizovanému počtu základních délek.“ [7]

- **Standartní vyhodnocované délky**

„Platí jen pouze pokud není na výkresu uvedeno jinak.“

R-parametr: vyhodnocovaná délky.

P-parametr: vyhodnocovaná délka je rovna délce měřeného prvku.“ [7]

3.2.2 Pravidla pro porovnávání naměřených hodnot s tolerančními mezemi

- **Plochy na kontrolovaných prvcích**

- jako první se musíme ujistit, že plocha, kterou budeme kontrolovat, má celistvý povrch (bez vrypů, rýh), k tomu nám poslouží vizuální zkouška
- dále musíme zkontrolovat, že daný povrch je správně odmaštěný
- z technické dokumentace obrobku zjistíme, zda je povrch homogenní nebo heterogenní
- pokud máme předepsanou horní mez parametru, tak budeme počítat jen s plochami, které mají vyšší hodnoty

- **Pravidlo 16. %**

„Jsou-li uvedené požadavky dle technické dokumentace anebo dle výkresu na horní mez parametru. Může přesahovat maximálně 16 % naměřených hodnot nad horní mez parametru. Horní mez můžeme udávat jako součet směrodatné odchylky a aritmetického průměru.“ [7]

„Pro dolní mez parametru platí stejné pravidlo 16.“ % [7]

- **Pravidlo maxima**

„Dle uvedených požadavků v technické dokumentaci anebo výkresu na největší hodnotu parametru, nesmí žádná hodnota parametru na celém kontrolovaném povrchu překročit tuto hodnotu.“ [7]

3.2.3 Hodnocení parametrů

- **Všeobecně**

Parametry, které se zabývají strukturami povrchů, nelze využívat pro vyobrazení vad povrchu, které jsou například rýhy nebo póry.

Když chceme určit, zda je povrch obrobku ve shodě se specifikací, tak určíme soubor jednotlivých parametrů, ze kterých bude každý parametr určen na vyhodnocované délce.

[7]

- **Měření parametrů profilu drsnosti**

Po vizuální kontrole, zda je povrch celistvý, se podíváme, na které části povrchu by se mohli nacházet kritické hodnoty.

Když nemáme určený směr, kterým máme měřit, tak budeme polohovat obrobek tak, abychom naměřili největší hodnoty parametrů Ra, Rz. Pro izotropní materiál nezáleží, jakým směrem budeme povrch měřit, takže si ho můžeme libovolně zvolit.

3.3 ČSN EN ISO 25178-2

3.3.1 Obecné termíny

Neideální model povrchu – model fyzického rozhraní obrobku s jeho environmentem

Mechanický povrch – erozní rozmezí, vymezené valením koule o poloměru r vnějším povrchu modelu obrobku, která má střed shodný se středem ideálního doteku o poloměru r

Elektromagnetický povrch – povrch získaný vzájemným elektromagnetickým oůsobením s povrchem modelem obrobku. [8]

- **Primární povrch**

„Je to část povrchu získaná za předpokladu že část povrchu bude reprezentována specifikovaným primárním matematickým modelem, který bude mít specifikovaný index vnoření.“

Primárně extrahovaný povrch – konečný soubor datových bodů vzorkovaných z primárního povrchu.“ [8]

- **Filtr povrchu**

„S-filtr – filtr povrchu, který odstraní malou laterální stupnici z povrchu, což je předpoklad pro dosažení primárního povrchu.

L-filtr – filtr povrchu, který odstraní laterální stupnici z primárního povrchu nebo S-F povrchu.

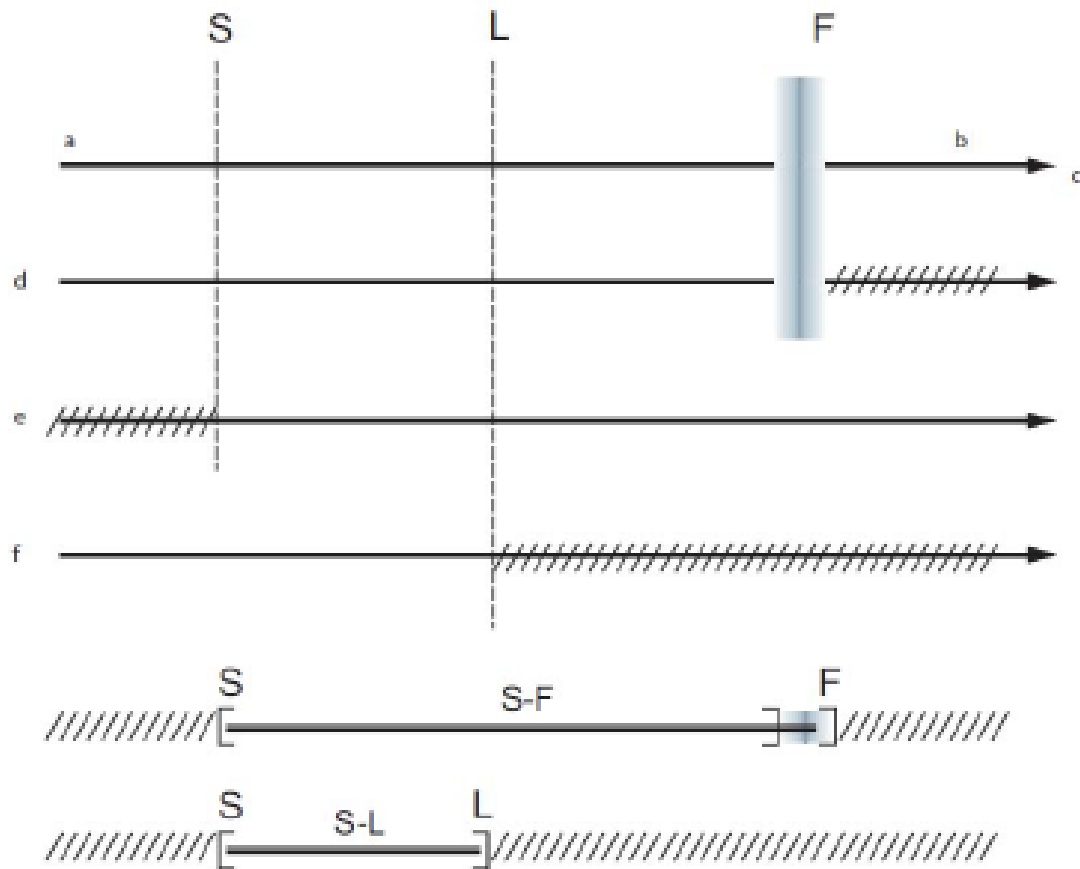
F-operace – tato operace vyloučí vliv tvaru z primárního povrchu.“ [8]

- **S-F povrch**

„Jedná se o povrch, který je odvozený z primárního povrchu pomocí vyloučení vlivu tvaru a to uděláme použitím F-operace.“ [8]

- **S-L povrch**

„Povrch, který je odvozený od S-F povrchu, vyloučením vlivu velké stupnice při použití L-filtru.“ [8]



Obrázek 13 Vztahy mezi S-filtrem, L-filtrem, F-operací a S-F a S-L povrchy [8]

- **Referenční povrch**

„Povrch, který je vztažen k omezené stupnici povrchu dle příslušného kritéria.“ [8]

- **Hodnocená plocha**

„Omezení části stupnice povrchu pro specifikování plochy s ohledem na její hodnocení.“ [8]

- **Stanovená plocha**

„Část plochy hodnocení pro stanovení parametrů charakterizujících omezení stupnice povrchu.“ [8]

3.3.2 Definice parametru pole,

„V níže uvedených terminologických položkách je každý termín vymezen jeho parametrem neboli zkratkou a následně jeho značkou. Zatímco zkrácené termíny se mohou skládat z více

písmen, značka sestává, pokud je potřeba pouze samostatného písmena s indexem. Značky jsou použity v rovnicích zvedených v tomto dokumentu. Důvod pro toto odlišení je, abychom zamezili nesprávnému výkladu sloučených písmen jako je indikace vícevětého počtu násobků mezi veličinami v rovnicích. Parametry jsou použity ve výrobní dokumentaci, technických výkresech a datových listech.“ [8]

- **Výškové parametry**

„Všechny výškové parametry jsou stanoveny na základě určené plochy.“ [8]

„**Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu** – vymezení průměrné hodnoty čtverce hodnot koordinace uvnitř plochy definice.“ (A) [8]

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A z^2(x, y) dx dy} \quad (6)$$

„**Šikmost omezené stupnice povrchu** – kvocient průměrné hodnoty koordinační krychle a hodnot a krychle S_q uvnitř určené plochy.“ (A) [8]

$$S_{sk} = \frac{1}{S_q^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A z^3(x, y) dx dy \right] \quad (7)$$

„**Špičatost omezené stupnice povrchu** – Kvocient průměrné čtvrté mocniny hodnoty koordinace a hodnoty čtvrté mocniny S_q uvnitř určené plochy.“ [8]

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

„**Maximální výška piku omezené stupnice povrchu** – největší hodnota výšky piku uvnitř určené plochy. [8]

Maximální hloubka prohlubně omezené stupnice povrchu – hloubka prohlubně uvnitř určené plochy zmenšená o její nejmenší hodnotu. [8]

Maximální výška omezené stupnice povrchu – součet maximální hodnoty výšky piku a maximální hodnoty hloubky prohlubně uvnitř určené plochy. [8]

Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu – aritmetický průměr absolutních hodnot koordinace uvnitř určené plochy (A)“ [8]

$$S_a = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A z(x, y) dx dy} \quad (9)$$

4 TYPY PROFILOMETRŮ K HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHŮ

Profilometr je zařízení, které se používá k extrakci topografických dat z povrchu. Může to být jednobodový, liniový sken nebo dokonce úplný trojrozměrný sken. Účelem profilometru je získat morfologii povrchu, výšku kroku a drsnost povrchu. To lze provést pomocí fyzické sondy nebo pomocí světla.

Profilometry můžeme rozdělit na: kontaktní, bezkontaktní. Do bezkontaktních profilometrů můžeme zařadit metodu optickou a do kontaktních metodu dotykovou.

Profilometry se často používají při hodnocení povrchů kovových chirurgických implantátů. Tyto implantáty jsou zpracovány různými způsoby, aby došlo k chemickým a topografickým úpravám povrchu ke zlepšení procesu osseointegrace a biomechanického výkonu implantátů.

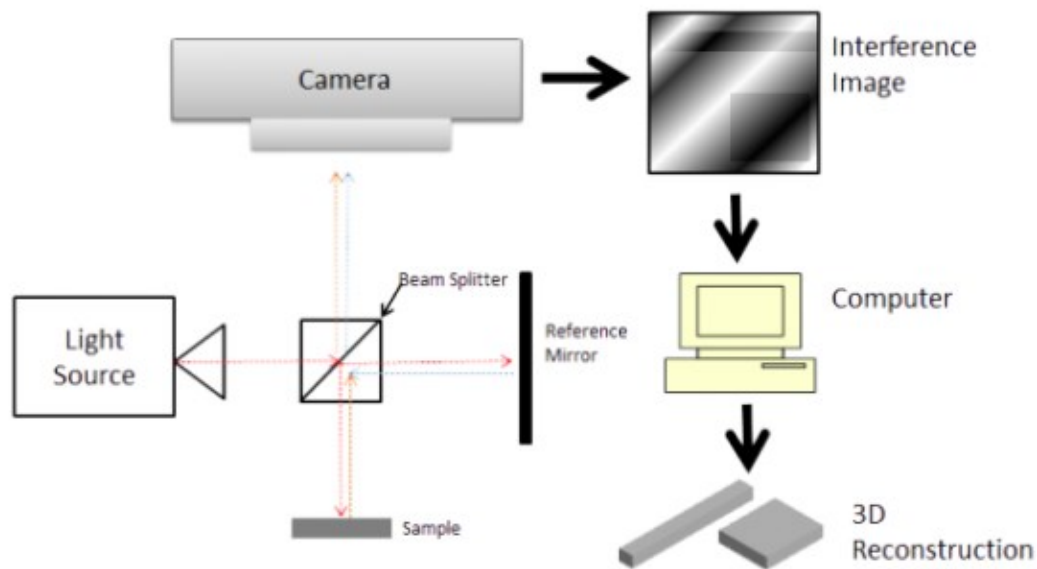
Profilometry generují obraz výšky povrchu. Velikost měřené oblasti a velikost sondy nastavují horní a dolní limit velikosti znaků, které lze charakterizovat. Povaha sondy a síla vyvíjená sondou na povrch omezují rozsah povrchů, které lze těmito technikami zkoumat. [9],[10]

4.1 Optický profilometr

Optický profilometr je typ mikroskopu, ve kterém je světlo z lampy rozděleno do dvou cest pomocí rozdělovače paprsků. Jedna cesta směřuje světlo na testovaný povrch, druhá cesta směřuje světlo do referenčního zrcadla. Odrazy od dvou povrchů jsou rekombinovány a promítány na detektor pole.

- Použití

Optický profilometr, jako je profilm3D, jsou interferenční mikroskopy a používají se k měření výškových změn, jako je drsnost povrchu. Na površích s velkou přesností pomocí vlnové délky světla jako pravítka. Optické interferenční profilování je dobře zavedenou metodou pro získání přesných měření povrchu. [11],[12]



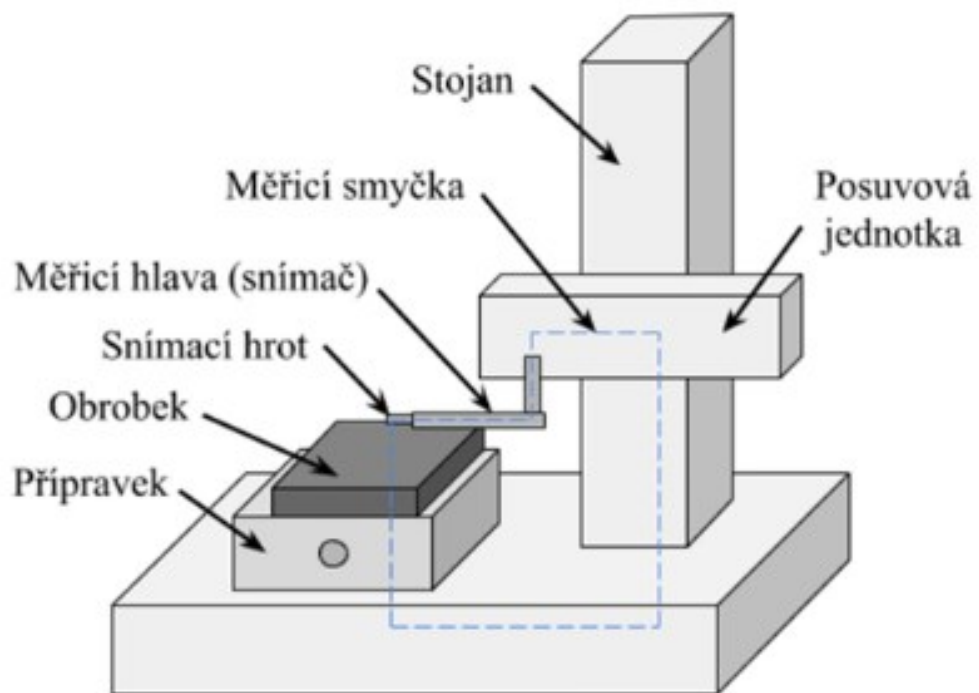
Obrázek 14 schéma optického profilometru [10]

4.2 Dotykový profilometr

Dotykové profilometry používají sondu k detekci povrchu a fyzicky pohybují sondou podél povrchu, aby se získala výška povrchu. Protože profilometr doteku zahrnuje fyzické pohyby v osách X, Y a Z při zachování kontaktu s povrchem, je pomalejší než bezkontaktní techniky.

- Použití

Ačkoli optické techniky jsou vhodnější pro relativně měkké materiály, technika dotyková je vhodnější pro zkoumání velkých oblastí se značnými sklony v povrchové struktuře. Výhodou této metody je, že je přímá, levnější a reprodukovatelná.



Obrázek 15 schéma dotykového profilometru [10]

5 ZÁKLADY STATICKÉHO HODNOCENÍ DAT

5.1 Statistické pojmy

Modus – hodnota které se v souboru vyskytuje nejčastěji neboli má nejvyšší četnost.

Medián – zde hraje roli, zda je počet souboru lichý či sudý, v případě že je lichý seřadíme hodnoty do řady od nejmenšího po největší a hodnota přesně uprostřed se nazývá medián.

Aritmetický průměr – vypočítáme jej součtem všech hodnot souboru a následně vydělením celkovým počtem čísel v souboru.

Šikmost – touto metodou zjišťujeme, zda jsou hodnoty symetricky rozřazeny okolo aritmetického průměru

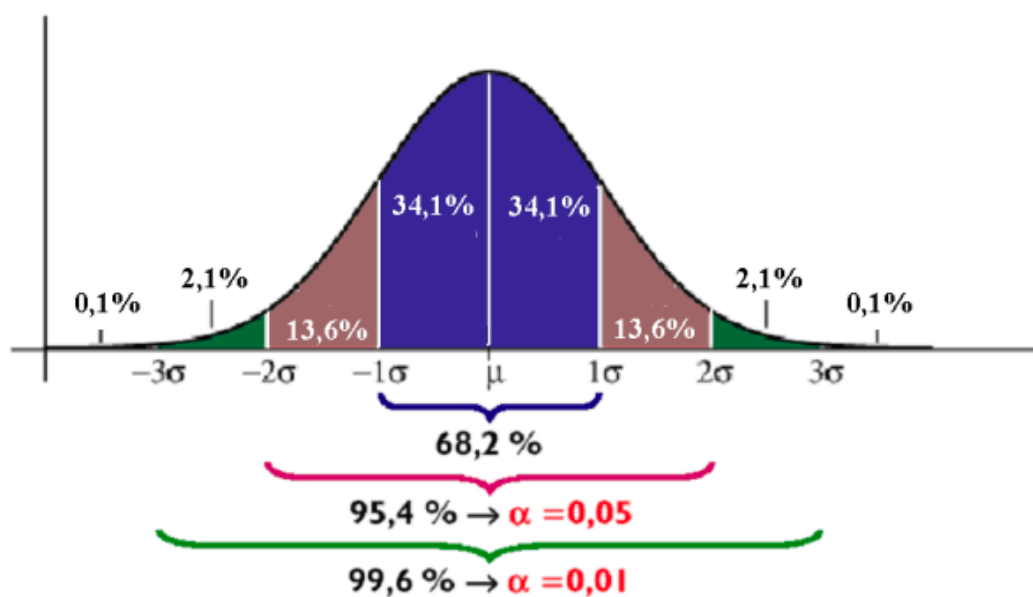
Špičatost – získáme tak, že porovnáme četnost hodnot, které jsou blízko a daleko od aritmetického průměru

Směrodatná odchylka – určuje, jak moc jsou jednotlivé hodnoty souboru odchýleny od aritmetického průměru.

Rozptyl – udává nám, jak daleko jsou v našem souboru hodnot jednotlivá data rozptýlena.

Normální rozdělení – Náhodné chyby, které jsou způsobené velkým počtem či malých, neznámých a vzájemně nezávislých příčin, jsou rovněž rozděleny přibližně normálně.

[13],[14],[17]



Obrázek 16 Hustota normálního (Gaussova) rozdělení hodnot [18]

Na obrázku 17 vidíme hustotu rozdělení hodnot, když vezmeme aritmetický průměr a přidáme jednu směrodatnou odchylku tak bude do daných hranic spadat 68,2 % ze veškerých hodnot souboru.

5.2 Využití

Cílem statistické analýzy je identifikovat trendy.

Statistika učí lidi používat omezený vzorek k vytváření inteligentních a přesných závěrů o větší populaci, k prezentaci výsledků používáme tabulky a grafy. [15]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je seznámení se s typy povrchů a jejich případnými úpravami, odlišnostmi jednotlivých norem, které se zabývají hodnocením povrchu a typy profilometrů pro měření drsnosti. Změřit dané materiály na bezkontaktním profilometru, vyextrahovat potřebná data a statisticky je zpracovat v programu minitab 21.

7 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

7.1 Měřené materiály

Pro měření byli vybrány dva různé materiály, na kterých se nachází dvě konvexní a konkávní plochy. Materiály: Polypropylen, sylon.



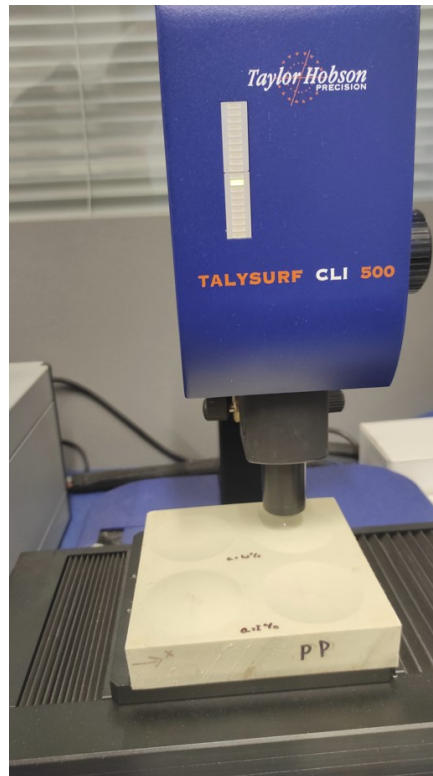
Obrázek 17 Polypropylen



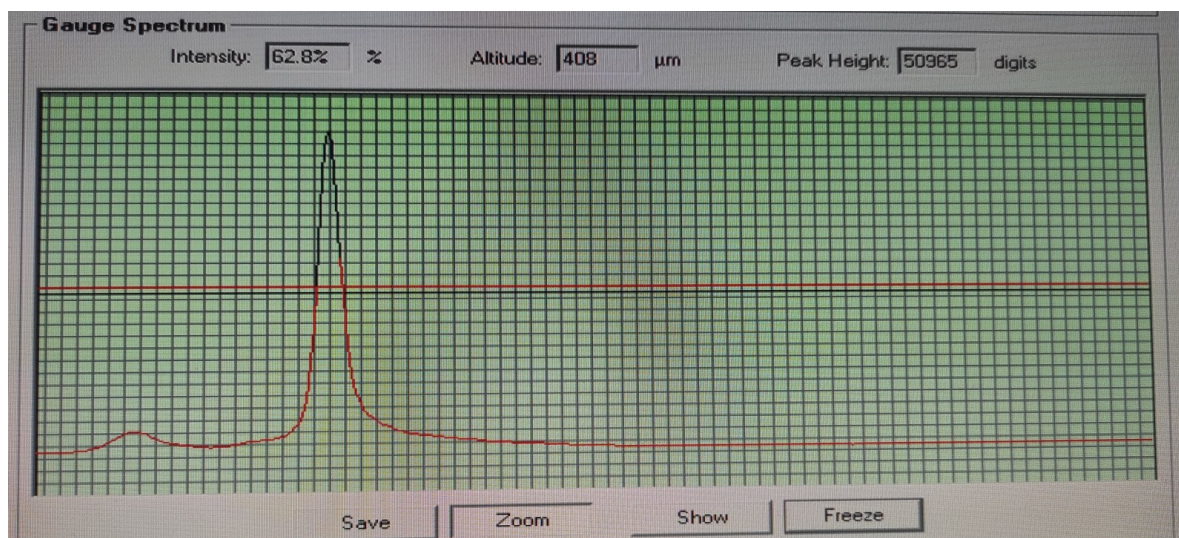
Obrázek 18 Sylon

7.2 Zahájení měření

Před začátkem měření musíme dílec očistit od prachu a různých nečistot, dále dílec ustavíme.

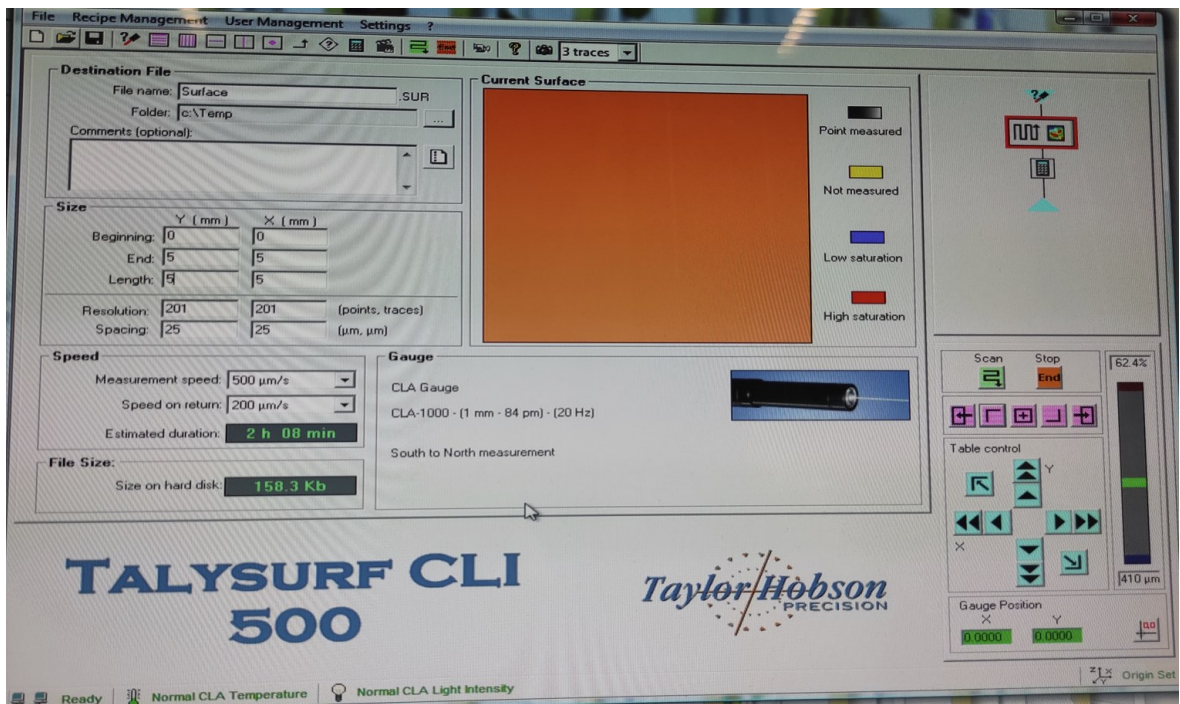


Obrázek 19 Ustavení měřeného dílce



Obrázek 20 kalibrace ostroty paprsku

Paprsek profilometru musíme nastavit tak abychom měli co nejostřejší křivku.



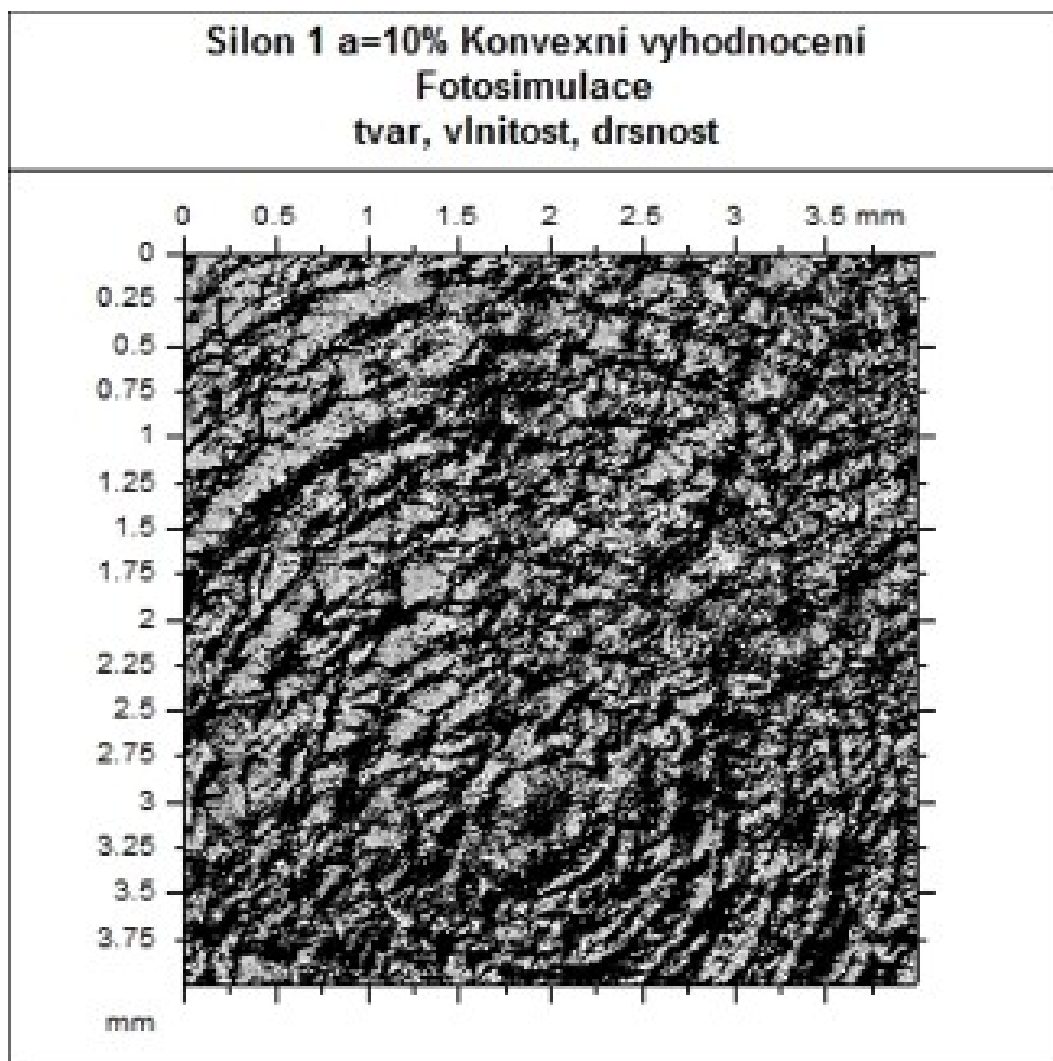
Obrázek 21 Nastavení hodnot měření

Nastavíme výchozí hodnoty posuvu, rychlosti, přesnosti. Program nám vypočítá čas měření dané plochy.

7.3 Naměřené hodnoty

Naměřené hodnoty v ose E-W neboli ose x. Hodnoty Ra, Rv- Rz Rp

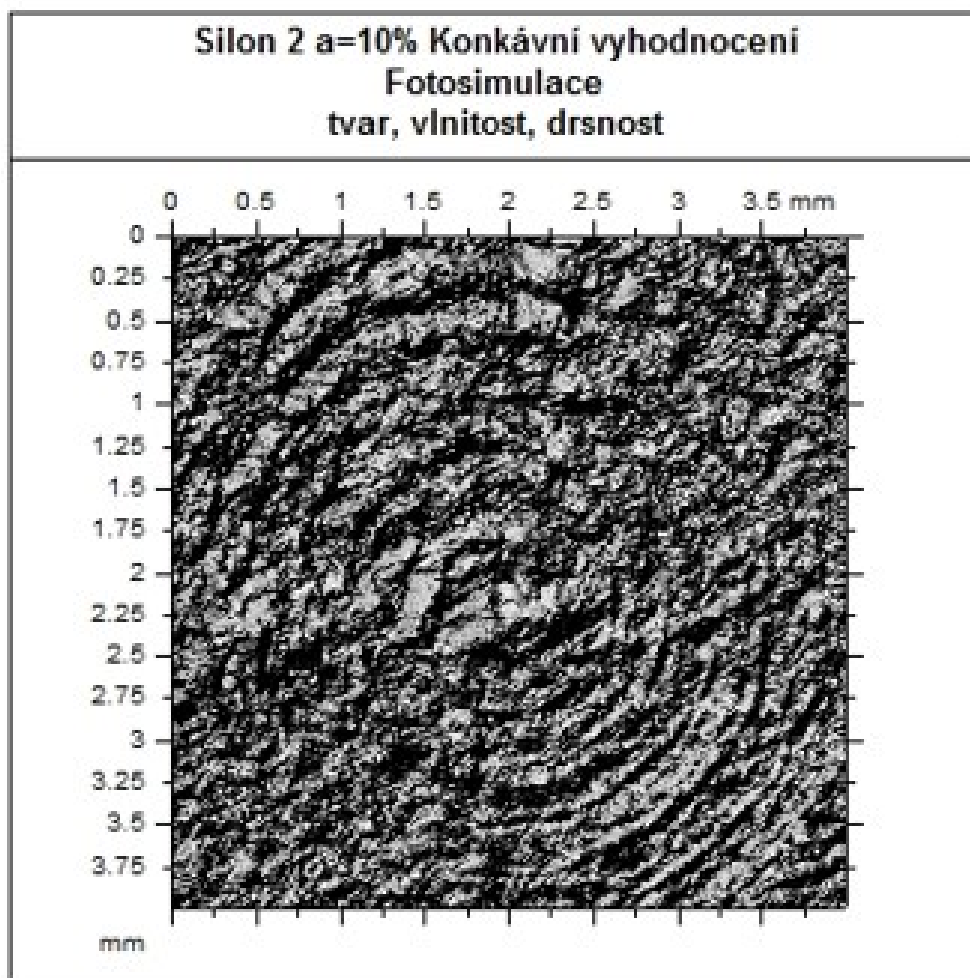
7.3.1 Silon



Obrázek 22 Silon a=10% konvexní tvar

Tabulka 1 Silon 1 E-W a=10% konvexní tvar

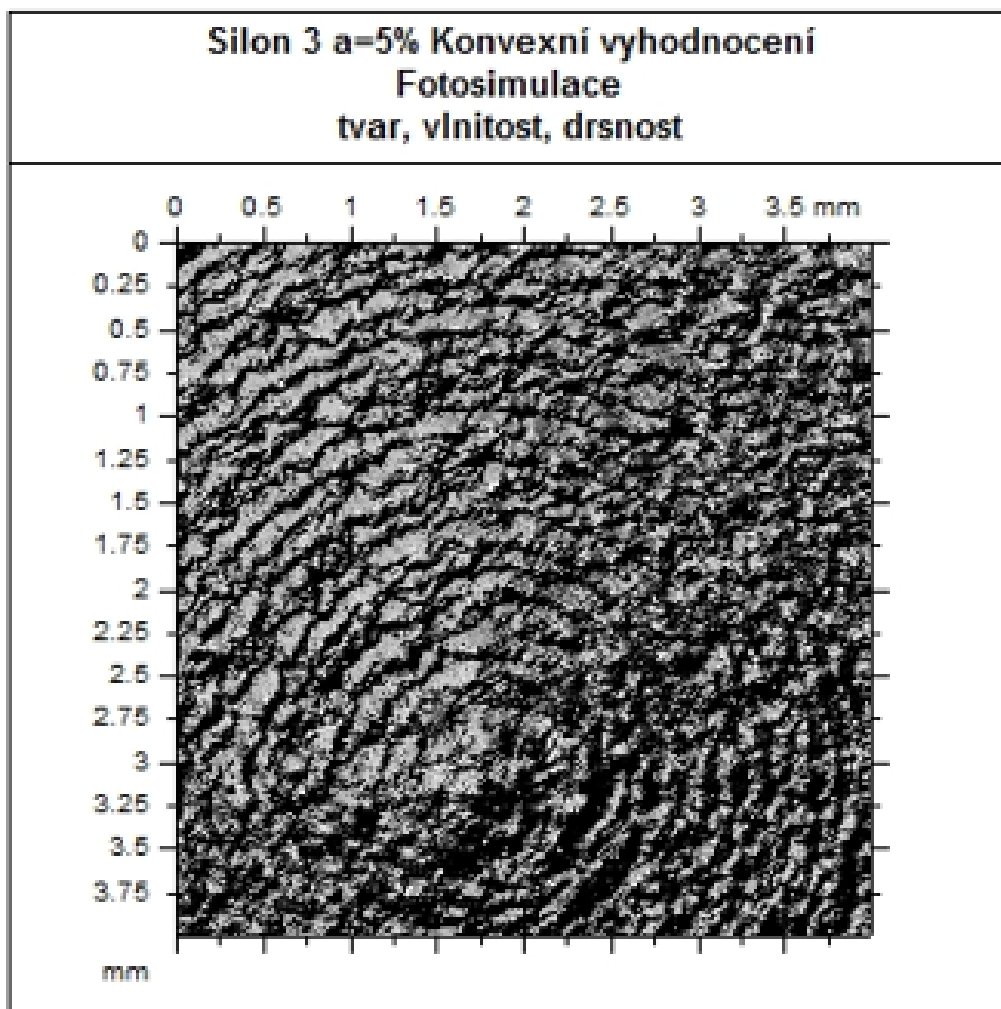
Silon 1 E-W a=10% konvexní				
	Ra [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]
\bar{x}	3,894	12,572	21,642	9,070
s	0,985	5,012	6,705	2,310
s ²	0,970	25,122	44,958	5,336
Q ₁	3,247	9,360	17,047	7,434
Med	3,615	11,147	19,814	8,458
Q ₃	4,181	13,910	24,069	10,311



Obrázek 23 Silon a=10% konkávní tvar

Tabulka 2 Silon 2 E-W a=10% konkávní tvar

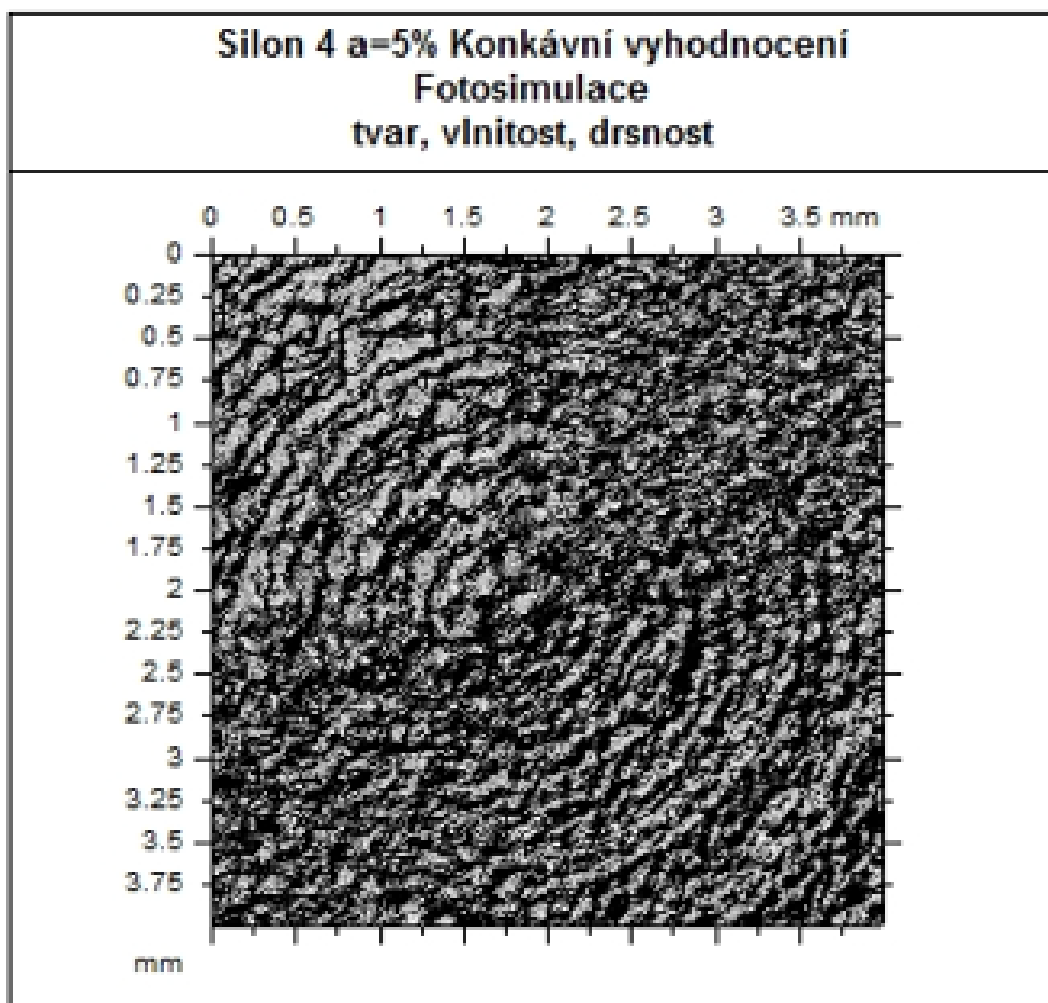
Silon 2 E-W a=10% konkávní				
	Ra [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]
\bar{x}	3,274	9,811	18,931	9,120
s	0,665	3,136	4,685	2,548
s^2	0,443	9,833	21,950	6,491
Q₁	2,815	7,603	15,520	7,306
Med	3,284	9,358	18,921	8,679
Q₃	3,643	11,639	22,037	10,569



Obrázek 24 Silon a=5% konvexní tvar

Tabulka 3 Silon 3 E-W a=5% konvexní tvar

Silon 3 E-W a=5% konvexní				
	Ra [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]
\bar{x}	4,588	14,677	24,709	10,032
s	0,735	2,914	3,985	1,854
s ²	0,540	8,489	15,878	3,436
Q ₁	4,130	12,601	22,181	8,658
Med	4,505	14,492	24,527	9,890
Q ₃	4,992	16,331	26,881	11,166

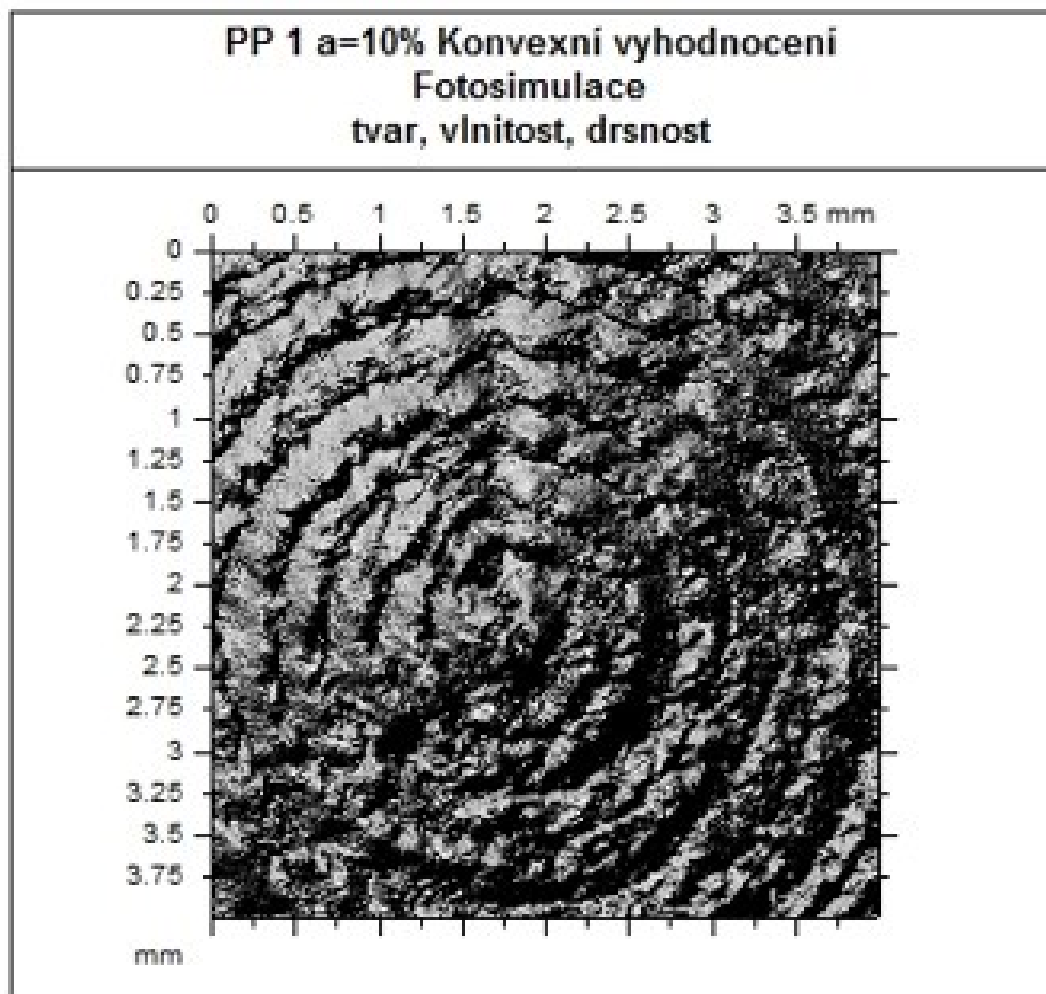


Obrázek 25 Silon a=5% konkávní tvar

Tabulka 4 Silon 4 E-W a=5% konkávní tvar

Silon 4 E-W a=5% konkávní				
	Ra [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]
\bar{x}	3,599	11,790	20,275	8,486
s	0,711	2,506	3,969	2,095
s ²	0,506	6,280	15,750	4,390
Q ₁	2,937	9,975	17,088	6,918
Med	3,636	11,850	20,414	8,203
Q ₃	4,177	13,544	23,248	9,772

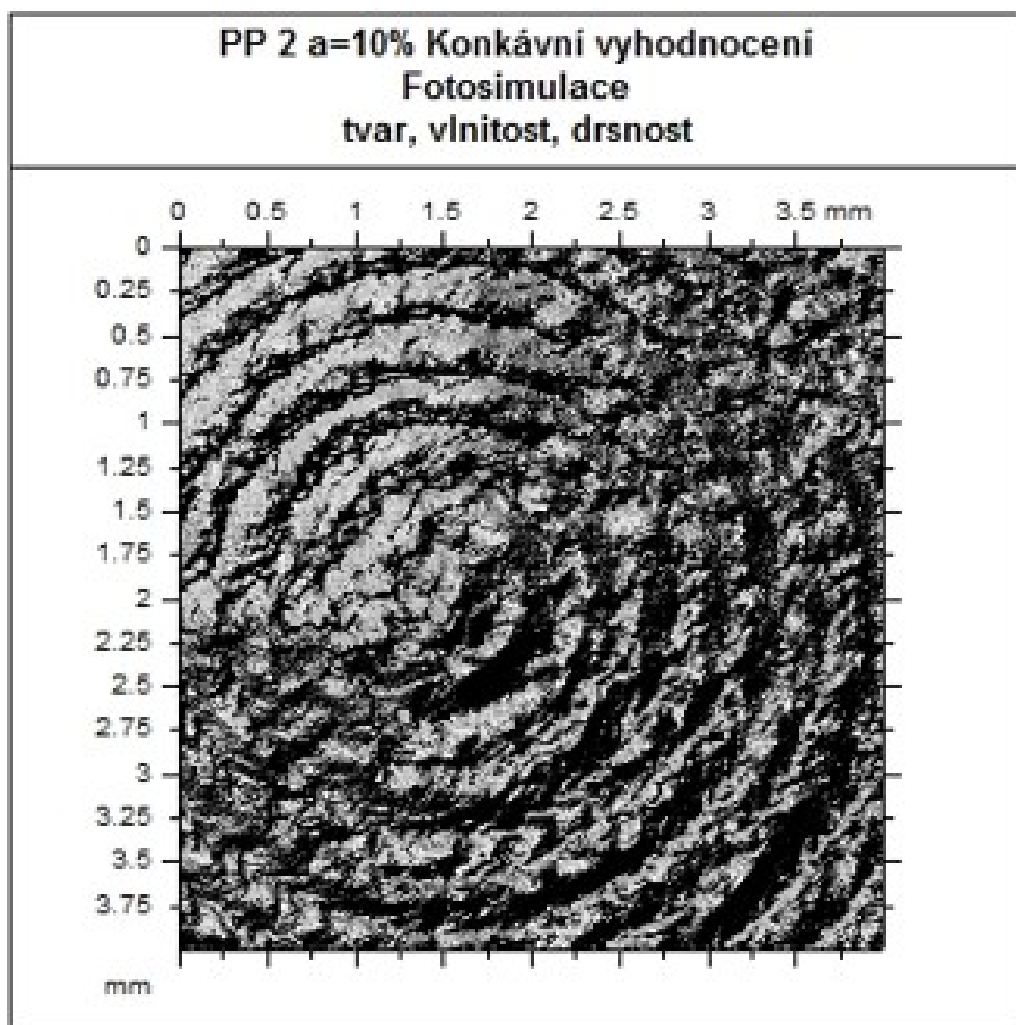
7.3.2 Polypropylen



Obrázek 26 Polypropylen a=10% konvexní tvar

Tabulka 5 PP 1 E-W a=10% konvexní tvar

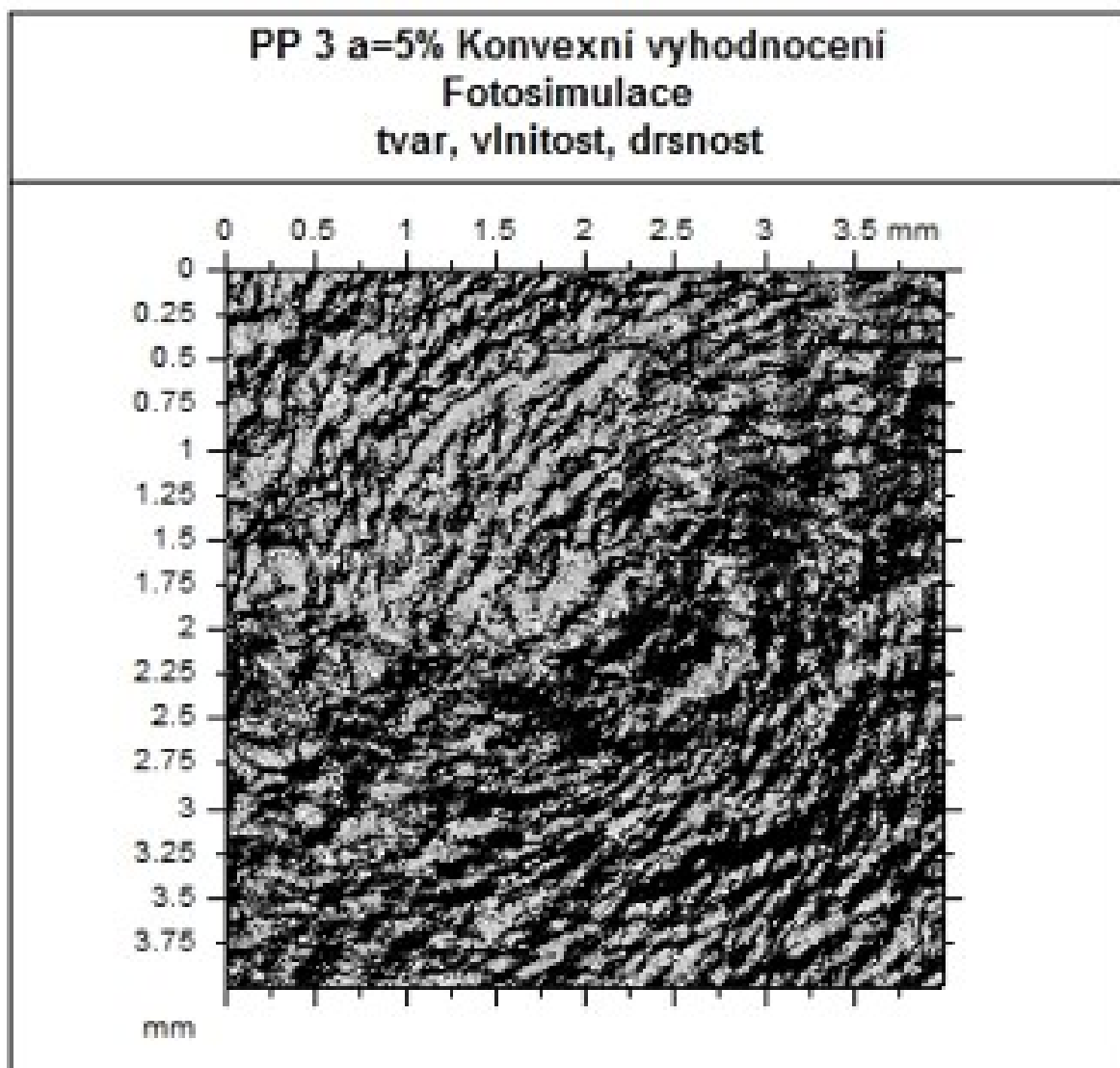
PP 1 E-W a=10% konvexní				
	Ra [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]
\bar{x}	4,495	10,900	20,758	9,858
s	1,053	2,797	4,437	2,016
s ²	1,109	7,821	19,691	4,066
Q ₁	3,691	9,019	17,456	8,445
Med	4,520	10,734	20,701	9,472
Q ₃	5,109	12,424	22,938	11,010



Obrázek 27 Polypropylen a=10% konkávní tvar

Tabulka 6 PP 2 E-W a=10% konkávní povrch

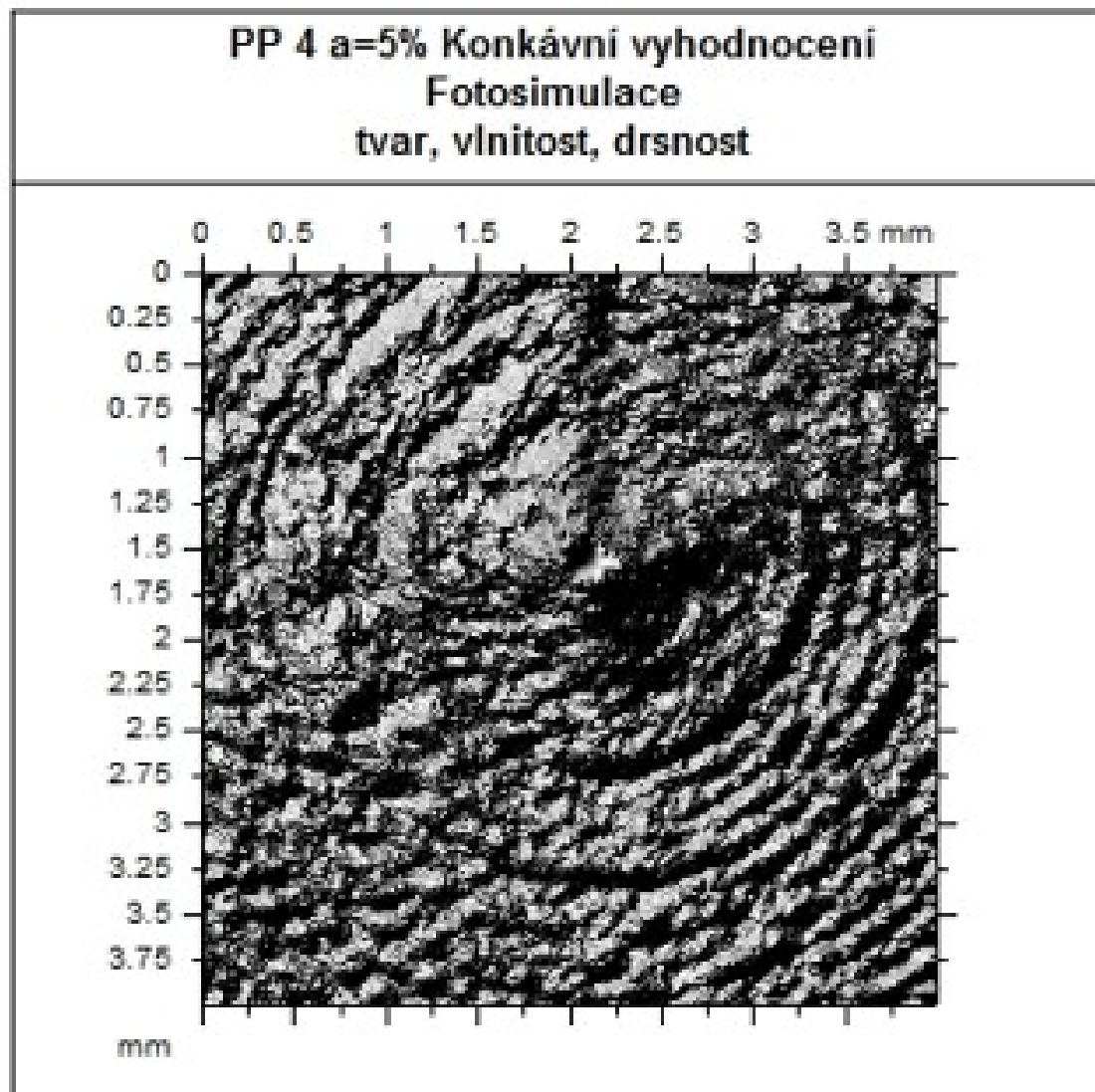
PP 2 E-W a=10% konkávní				
	Ra [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]
\bar{x}	4,460	11,631	21,635	10,004
s	1,126	2,921	5,599	2,979
s ²	1,269	8,532	31,347	8,877
Q ₁	3,670	9,603	11,186	7,720
Med	4,307	11,186	20,765	9,390
Q ₃	5,037	13,274	24,518	11,951



Obrázek 28 Polypropylen a=5% konvexní tvar

Tabulka 7 PP 3 E-W a=5% konvexní povrch

PP 3 E-W a=5% konvexní				
	Ra [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]
\bar{x}	3,607	9,533	19,750	10,218
s	0,992	4,030	7,419	3,859
s ²	0,984	16,244	55,042	14,895
Q ₁	2,841	7,234	14,725	7,241
Med	3,320	8,308	17,449	8,973
Q ₃	4,143	10,268	22,682	12,164



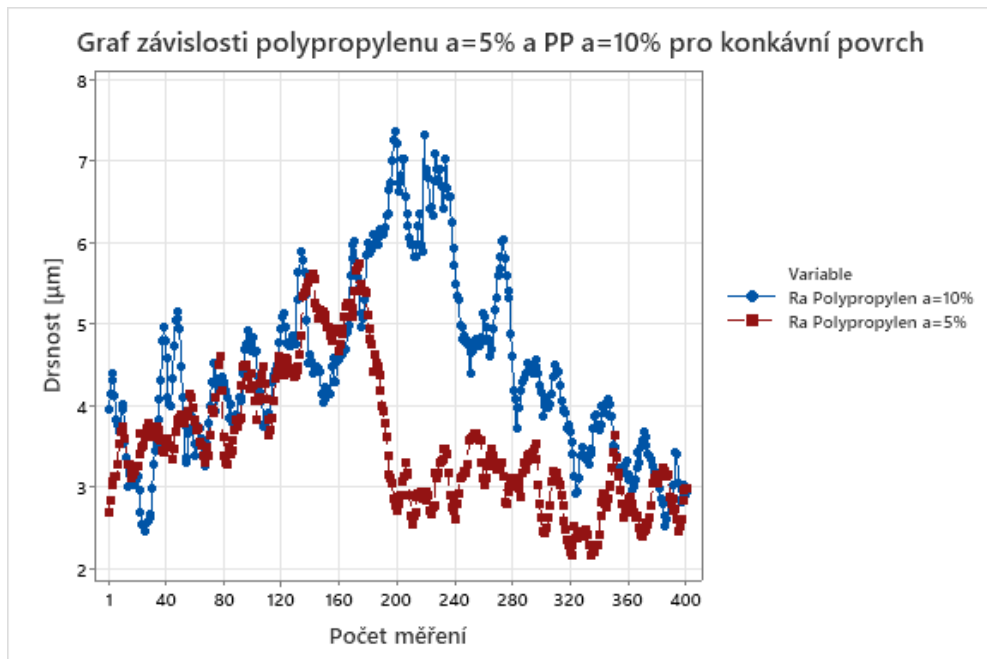
Obrázek 29 Polypropylen a=5% konkávní tvar

Tabulka 8 PP 4 E-W a=5% konkávní

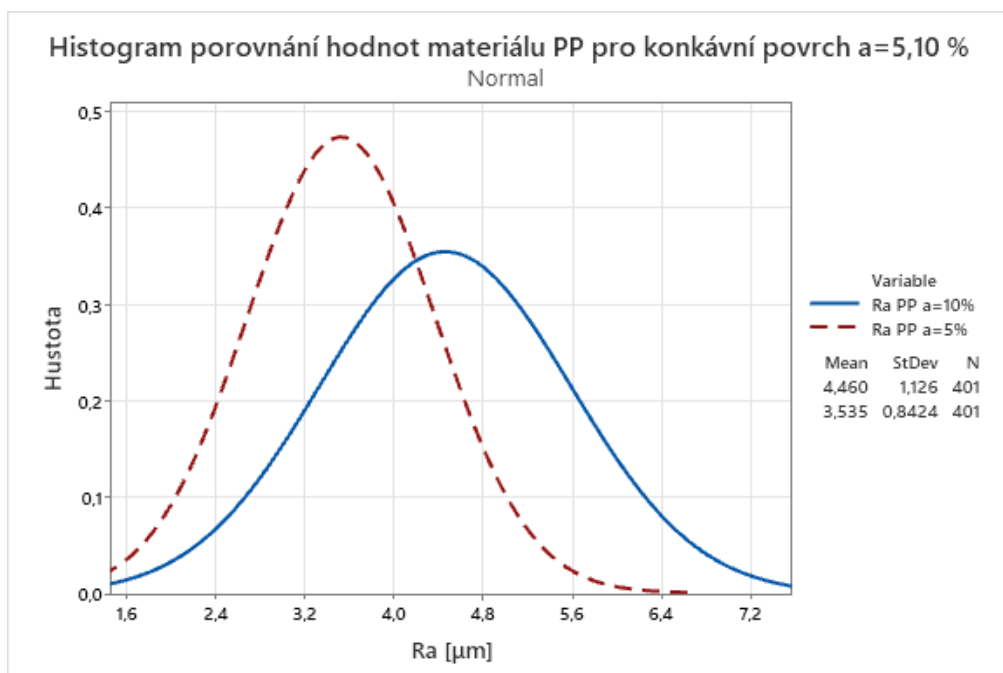
PP 4 E-W a=5% konkávní				
	Ra [μm]	Rv [μm]	Rz [μm]	Rp [μm]
x	3,535	8,466	17,494	9,028
s	0,842	1,881	3,911	2,419
s ²	0,710	3,537	15,297	5,853
Q ₁	2,907	6,953	14,261	7,161
Med	3,345	8,361	17,219	8,639
Q ₃	3,979	9,801	20,301	10,684

8 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT

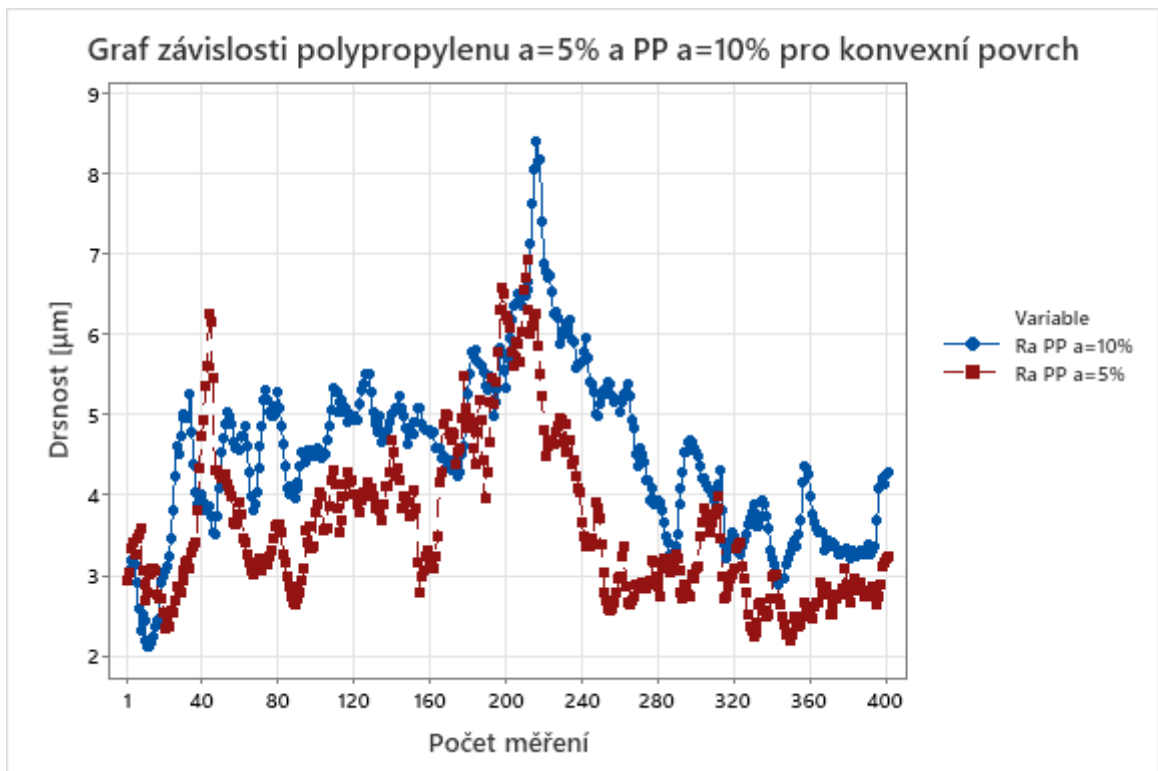
Při statistickém vyhodnocování dat jsem využil program minitab 21. Ze začátku bych porovnal parametr R_a , R_z , ve směru osy x neboli E–W pro konvexní a konkávní povrch u polypropylenu pro parametr $a=5\%$, který budu porovnávat se stejným materiálem, ale s hodnotou parametru $a=10\%$. Můžeme na první pohled vidět větší odlišnosti, které vznikly při obrábění daných ploch.



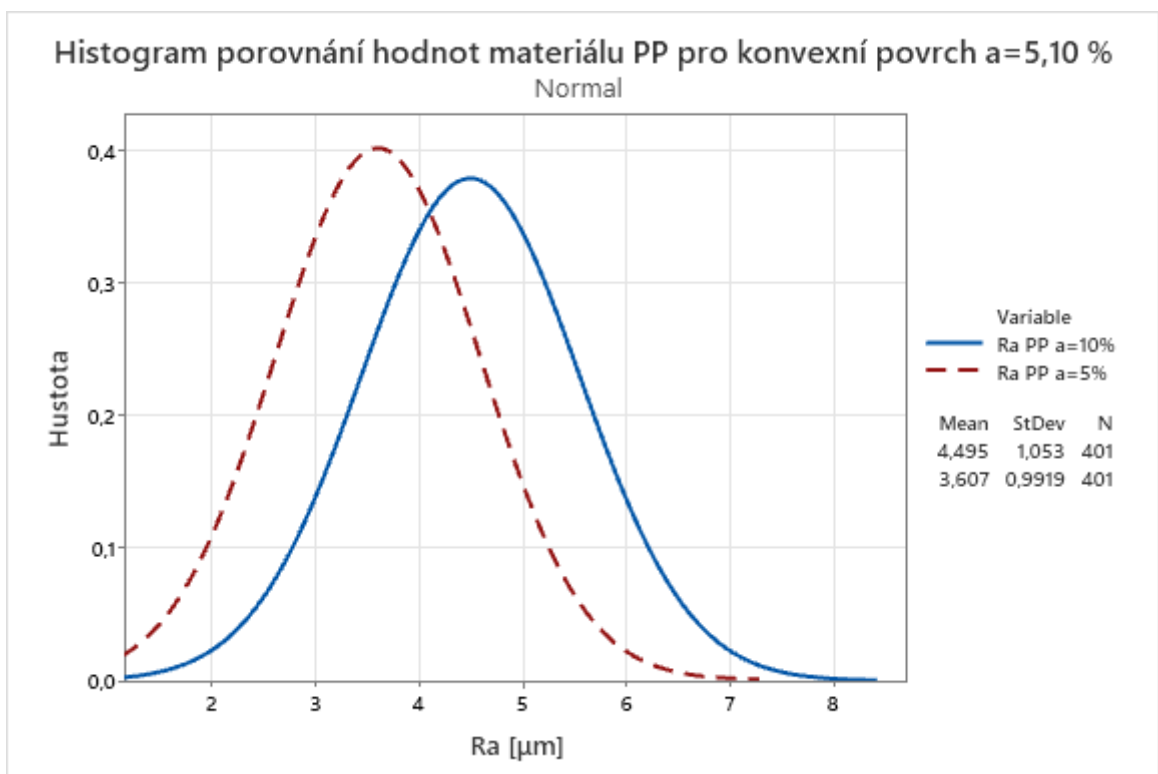
Obrázek 30 Porovnání konkávních povrchů polypropylenu pro parametr Ra



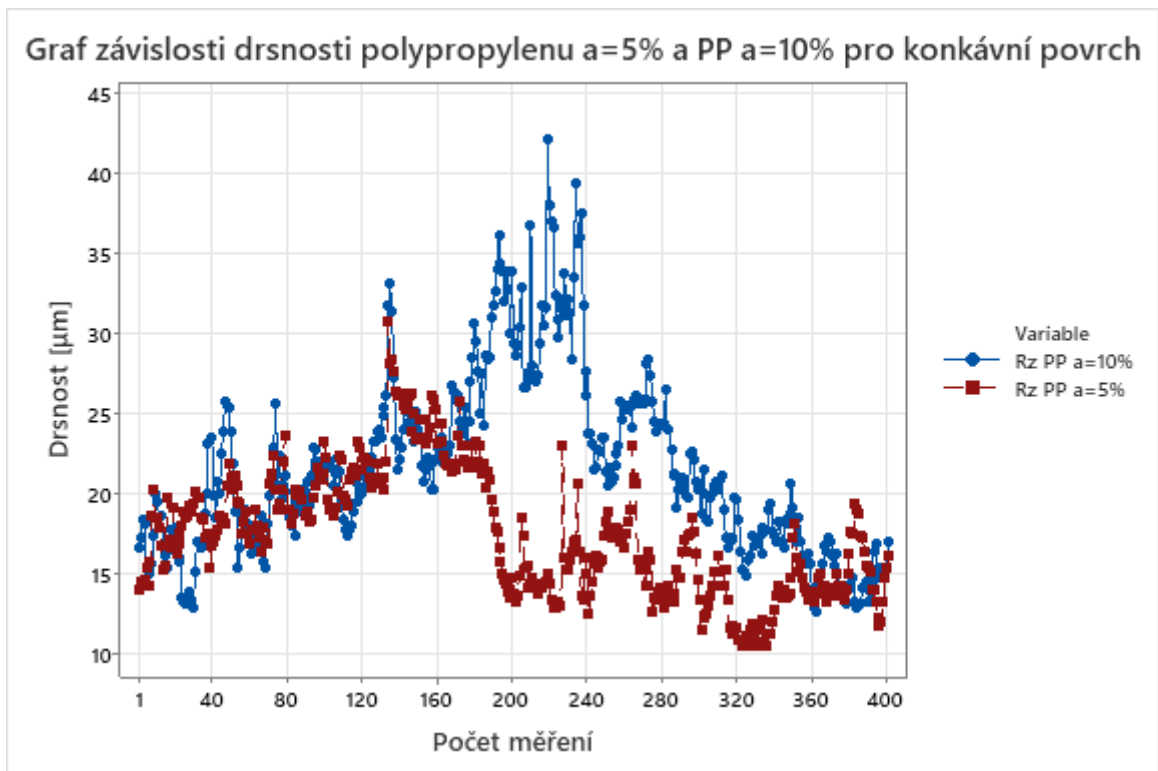
Obrázek 31 Histogram materiálu Polypropylenu pro parametr a=5,10%, Ra při konkávním povrchu



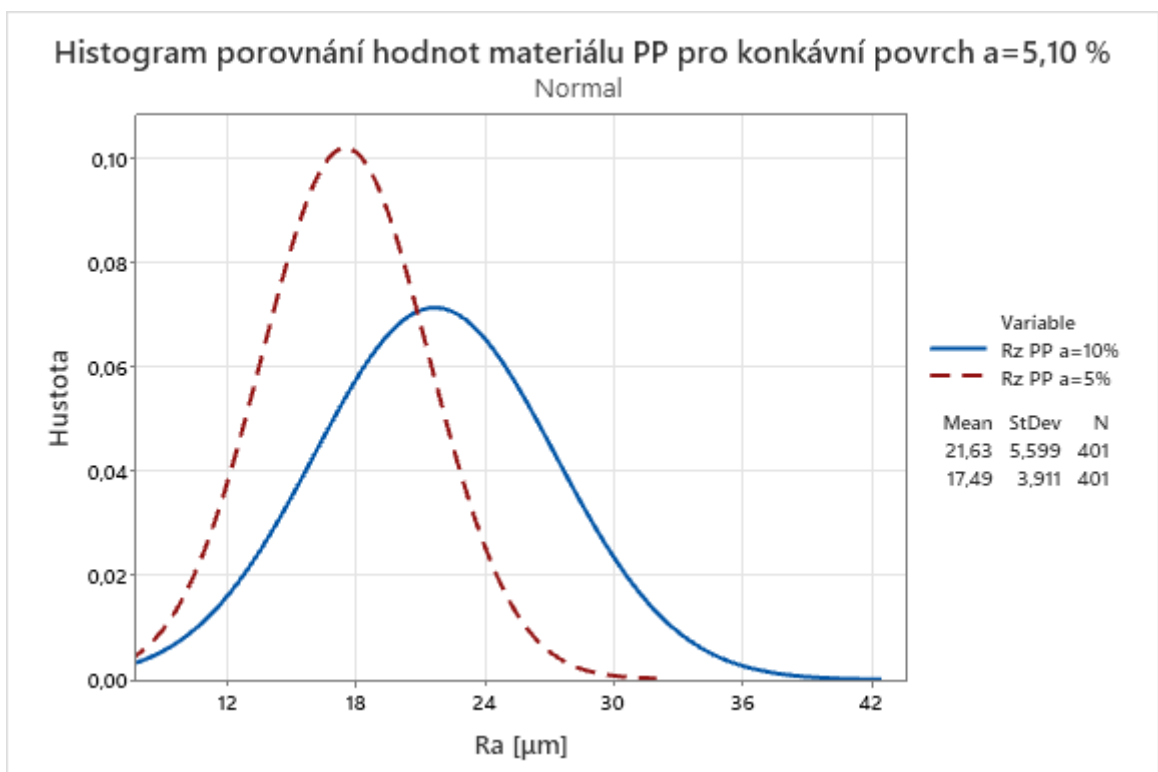
Obrázek 32 Porovnání konvexních povrchů polypropylenu pro parametr Ra



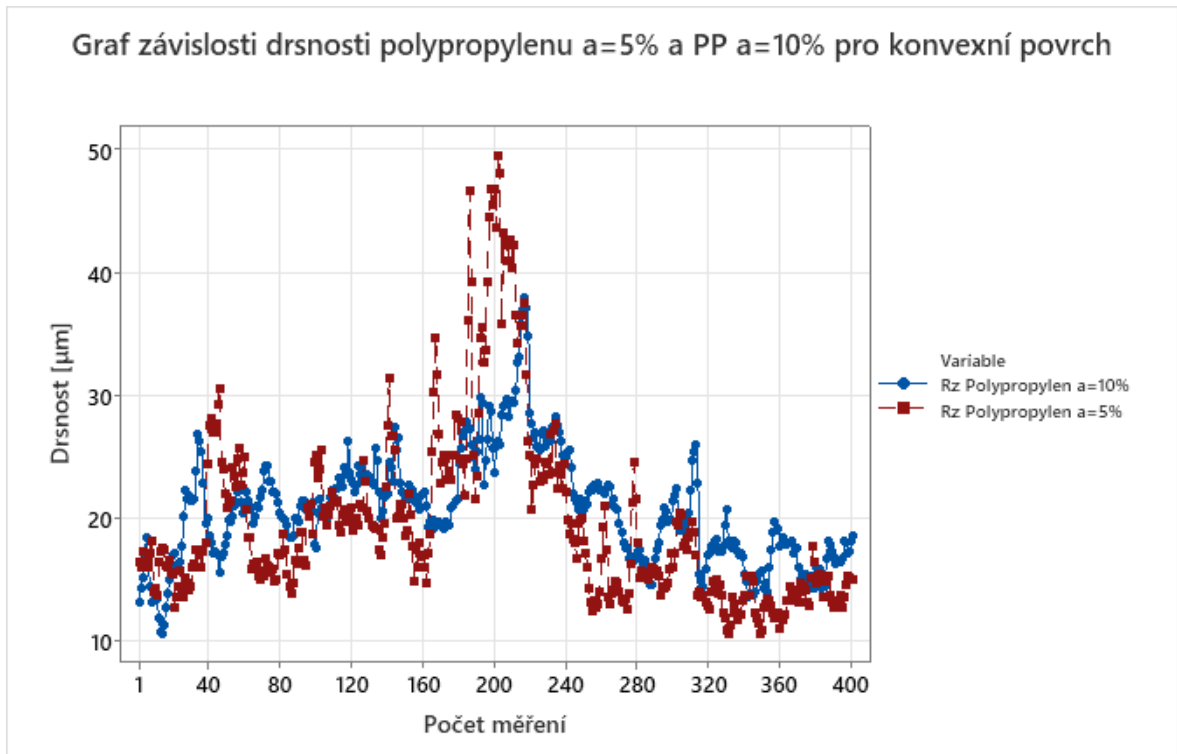
Obrázek 33 Histogram materiálu Polypropylenu pro parametr a=5,10 %, Ra při konvexním povrchu



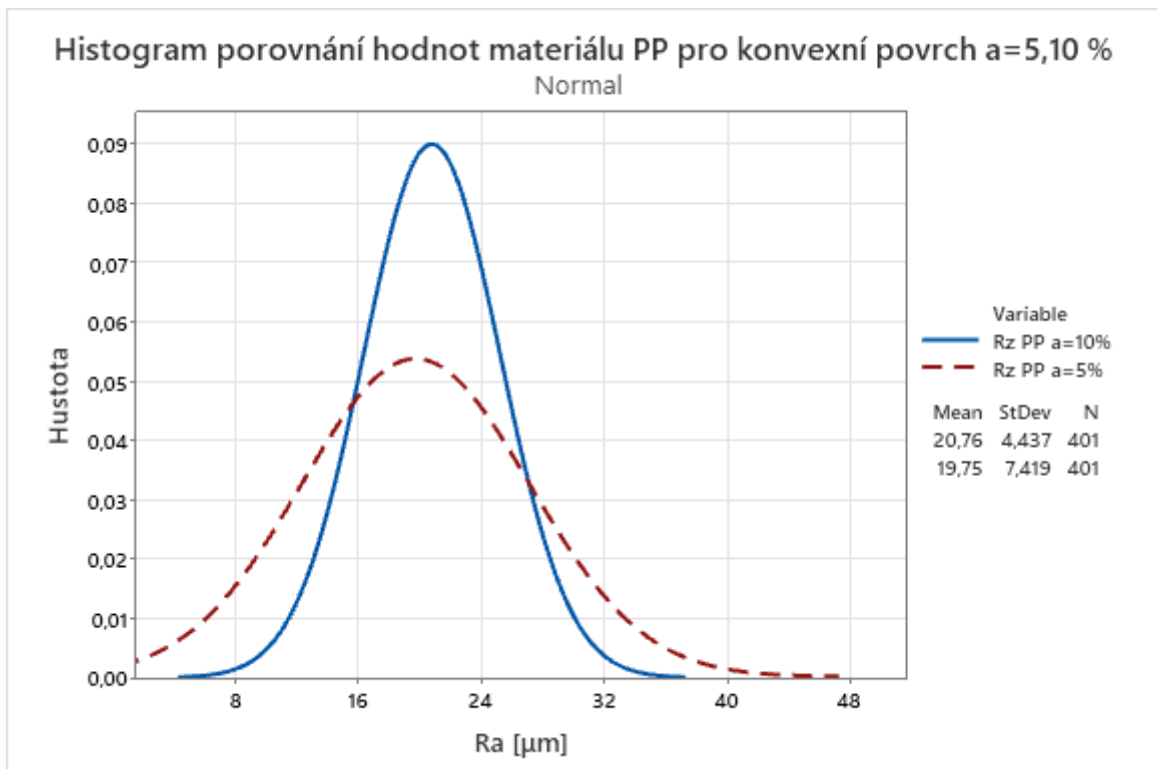
Obrázek 34 Porovnání konkávních povrchů polypropylenu pro parametr Rz



Obrázek 35 Histogram materiálu Polypropylenu pro parametr a=5,10%, Rz při konkávním povrchu

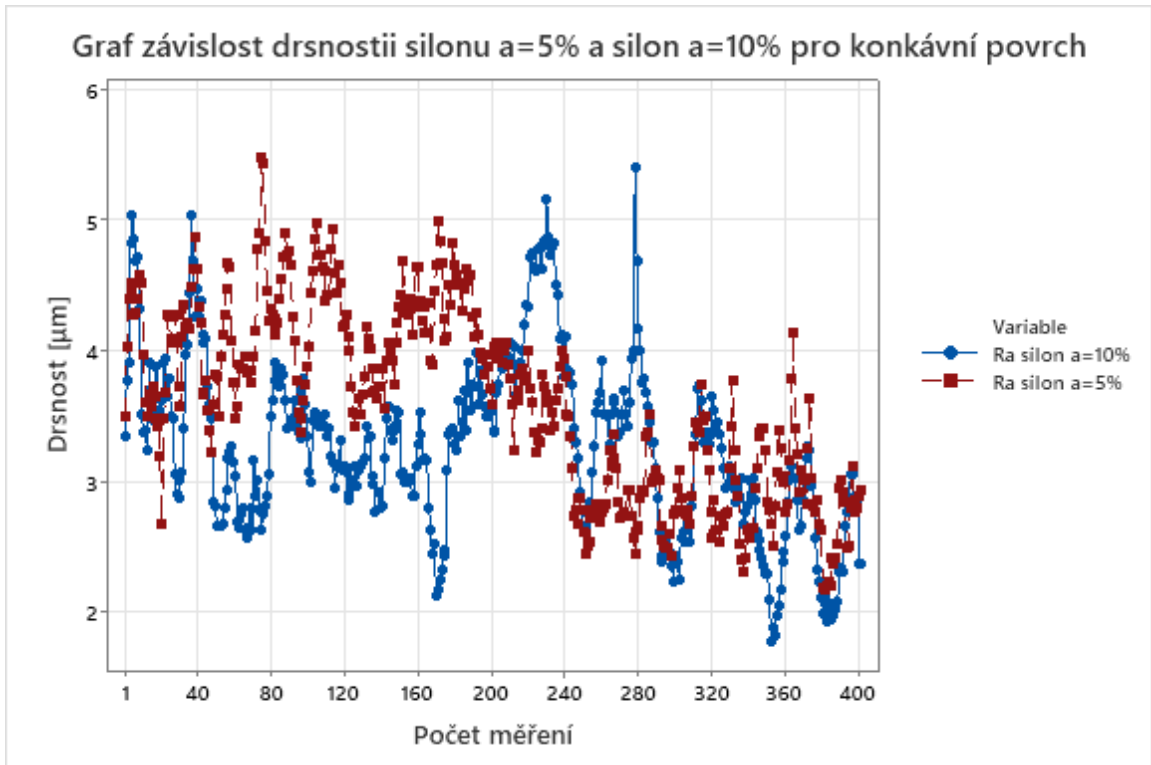


Obrázek 36 Porovnání konvexních povrchů polypropylenu pro parametr Rz

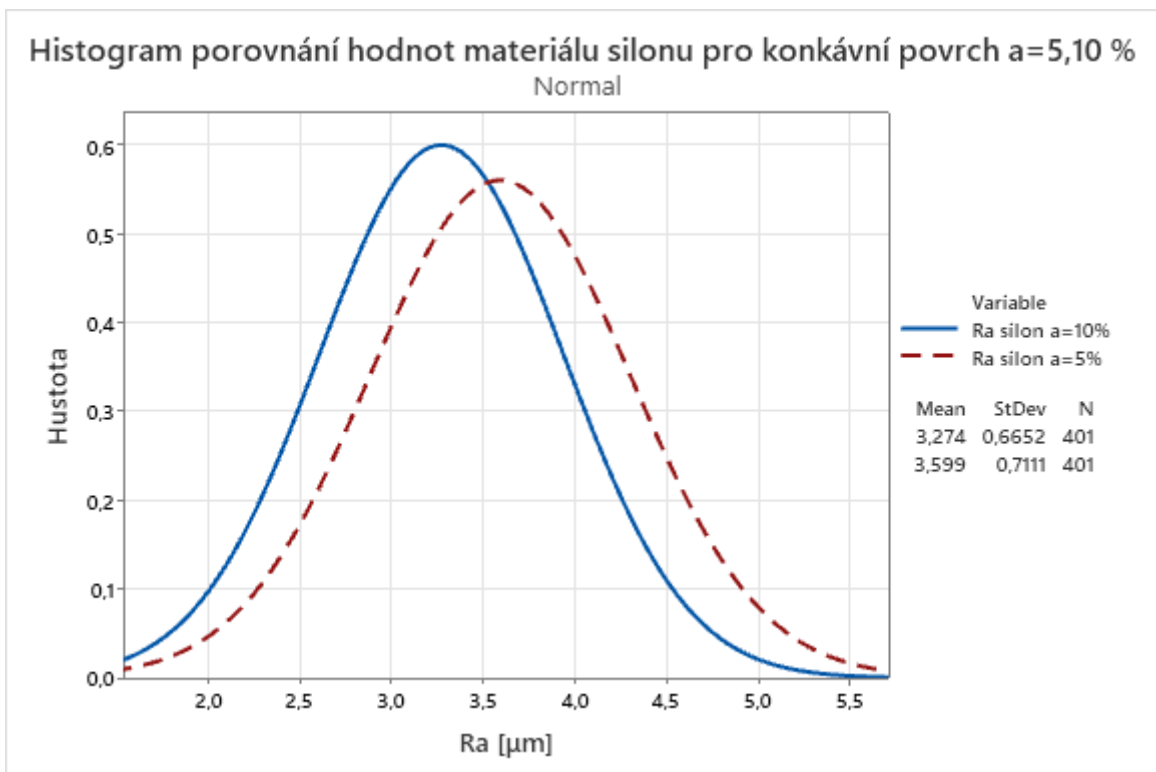


Obrázek 37 Histogram materiálu Polypropylenu pro parametr a=5,10 %, Rz při konvexním povrchu

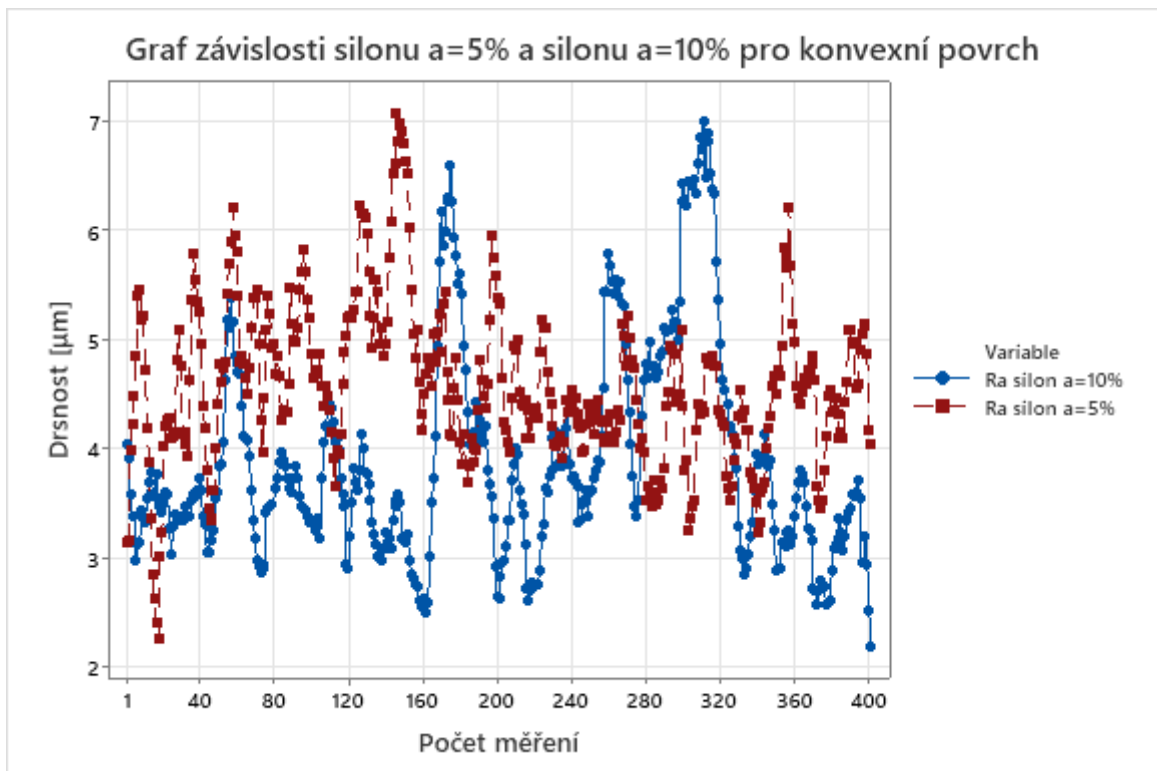
Jako další porovnáme u materiálu silonu parametr Ra, Rz, ve směru osy x neboli E-W pro parametr a=5 % a parametr a=10 %.



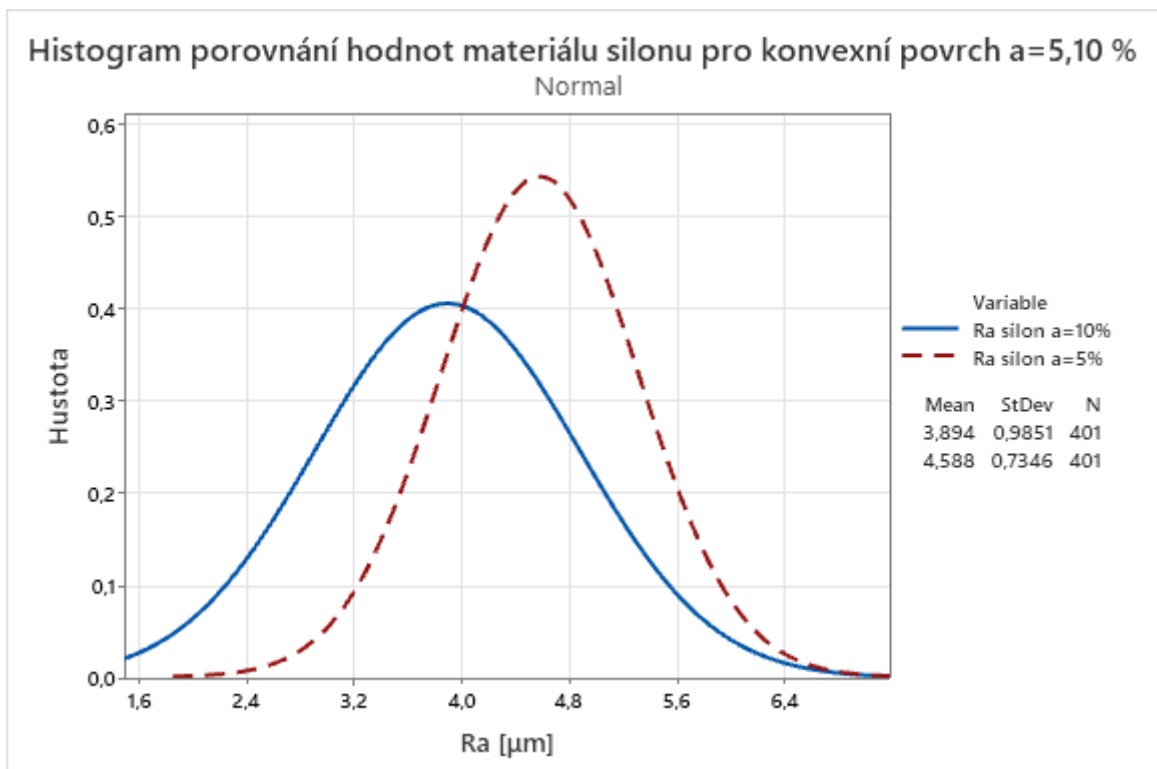
Obrázek 38 Porovnání konkávních povrchů silonu pro parametr Ra



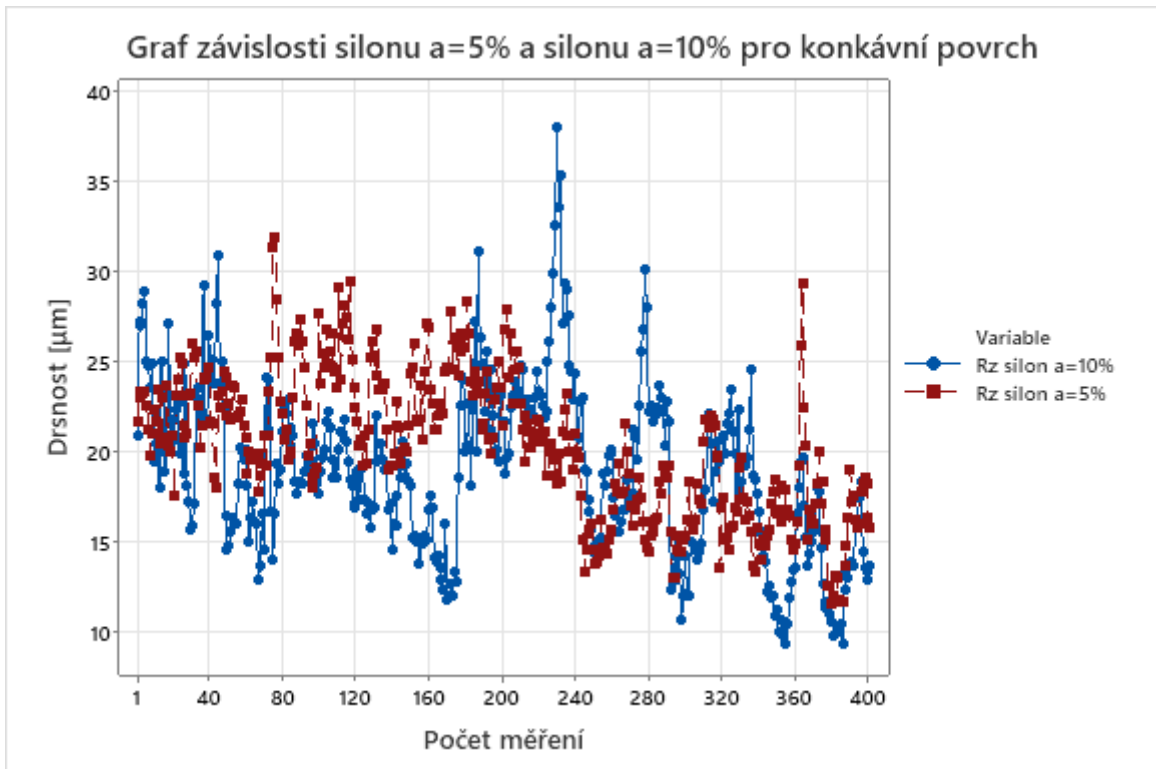
Obrázek 39 Histogram materiálu silonu pro parametr a=5,10 %, Ra při konkávním povrchu



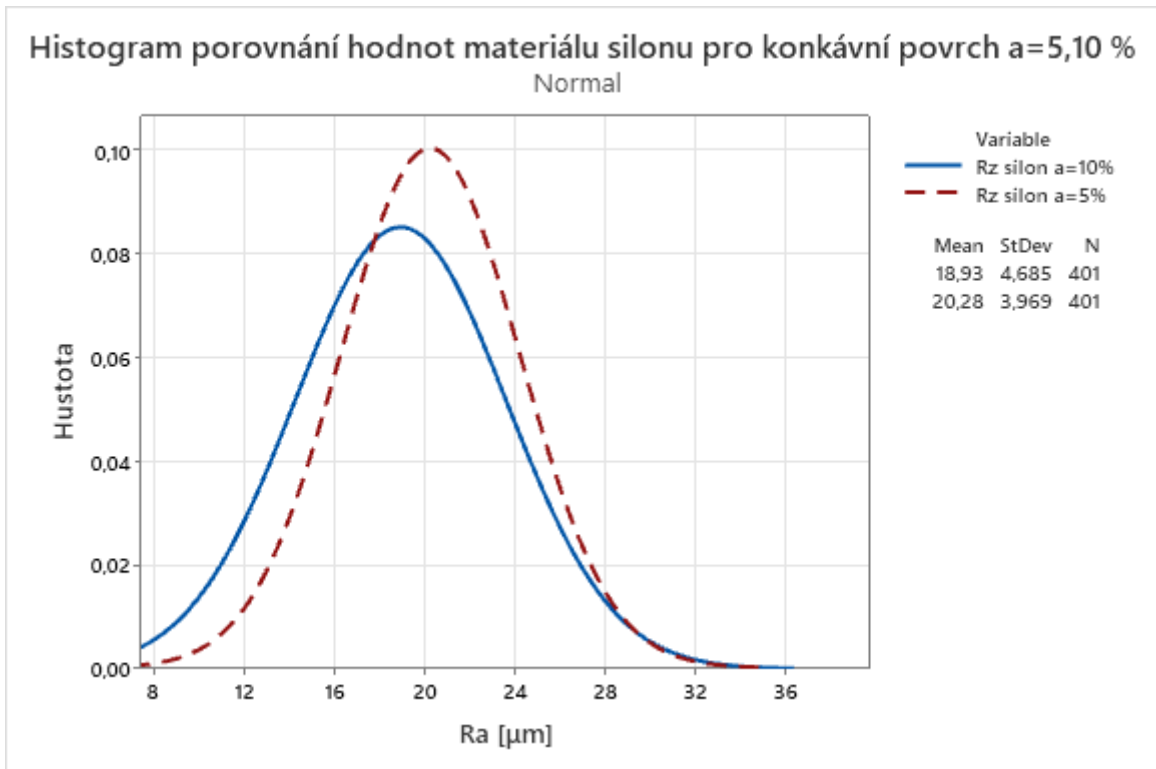
Obrázek 40 Porovnání konvexních povrchů silonu pro parametr Ra



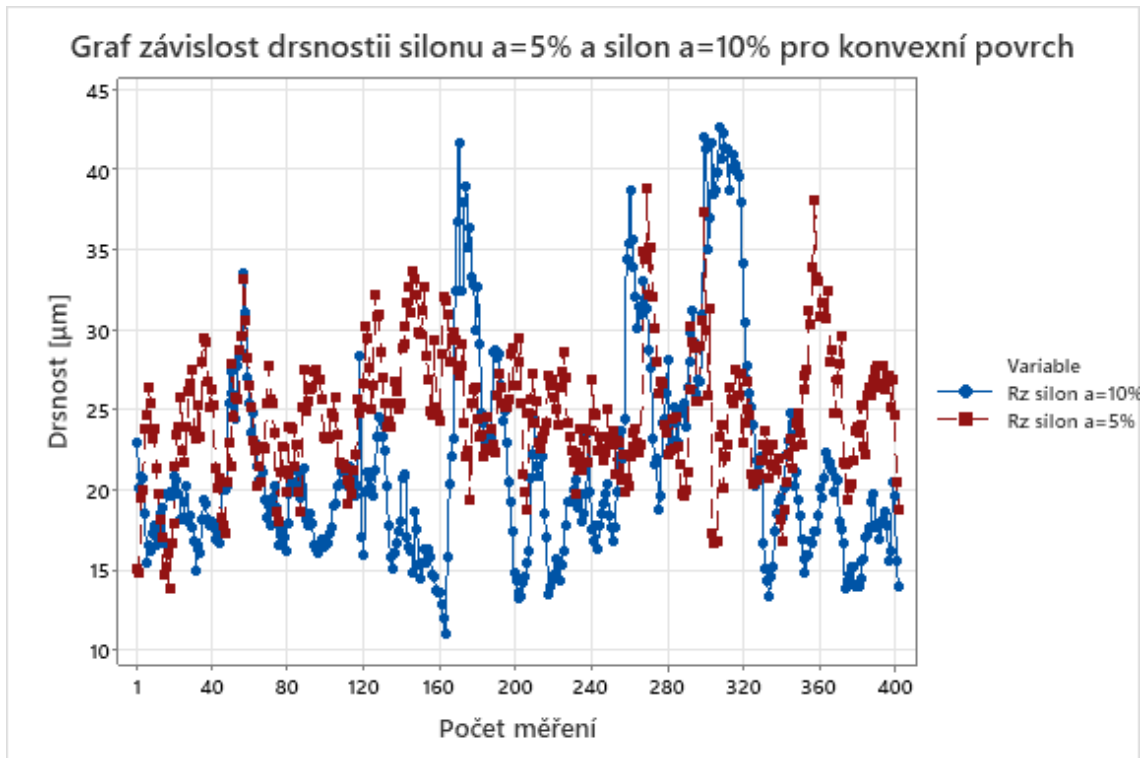
Obrázek 41 Histogram materiálu silonu pro parametr a=5,10 %, Ra při konvexním povrchu



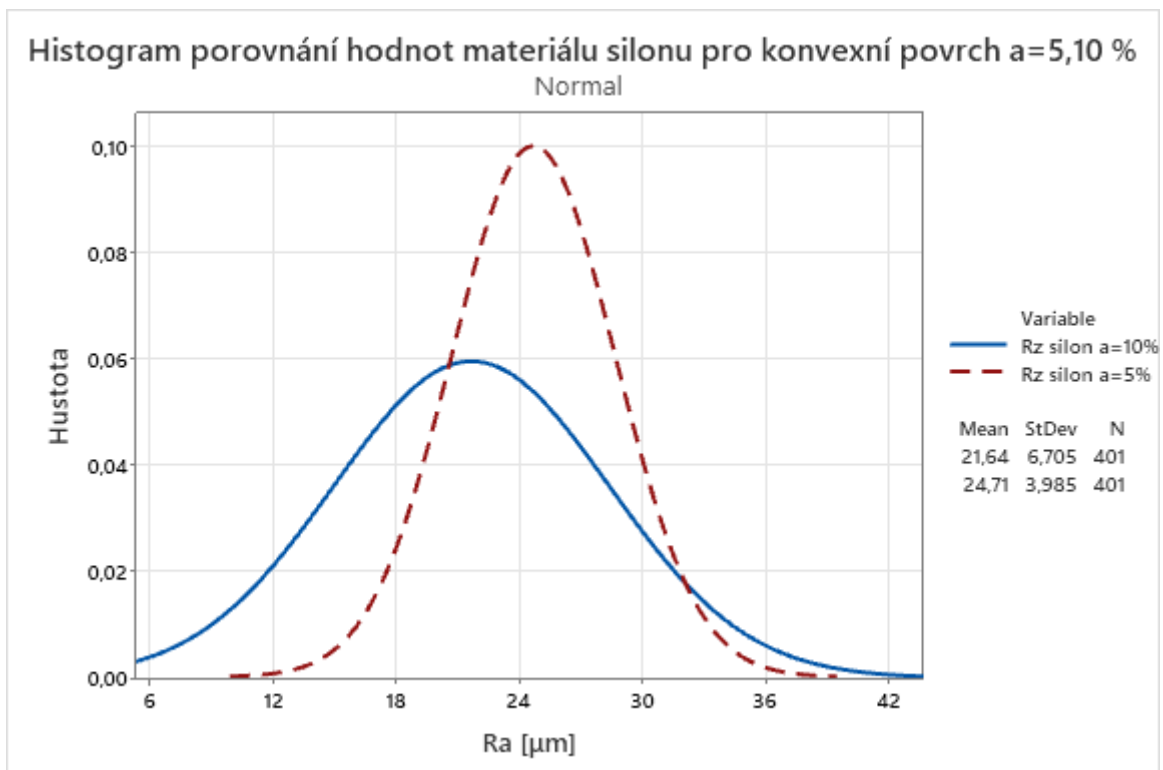
Obrázek 42 Porovnání konkávních povrchů silonu pro parametr Rz



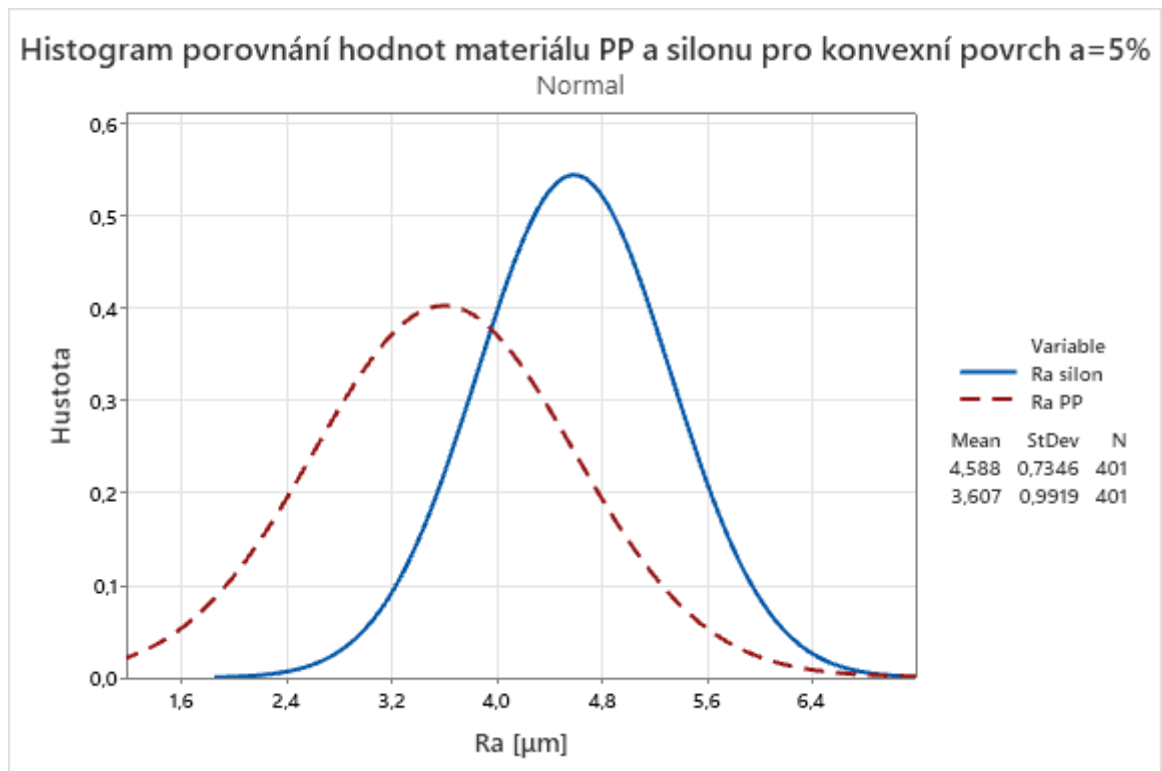
Obrázek 43 Histogram materiálu silonu pro parametr a=5,10%, Rz při konkávním povrchu



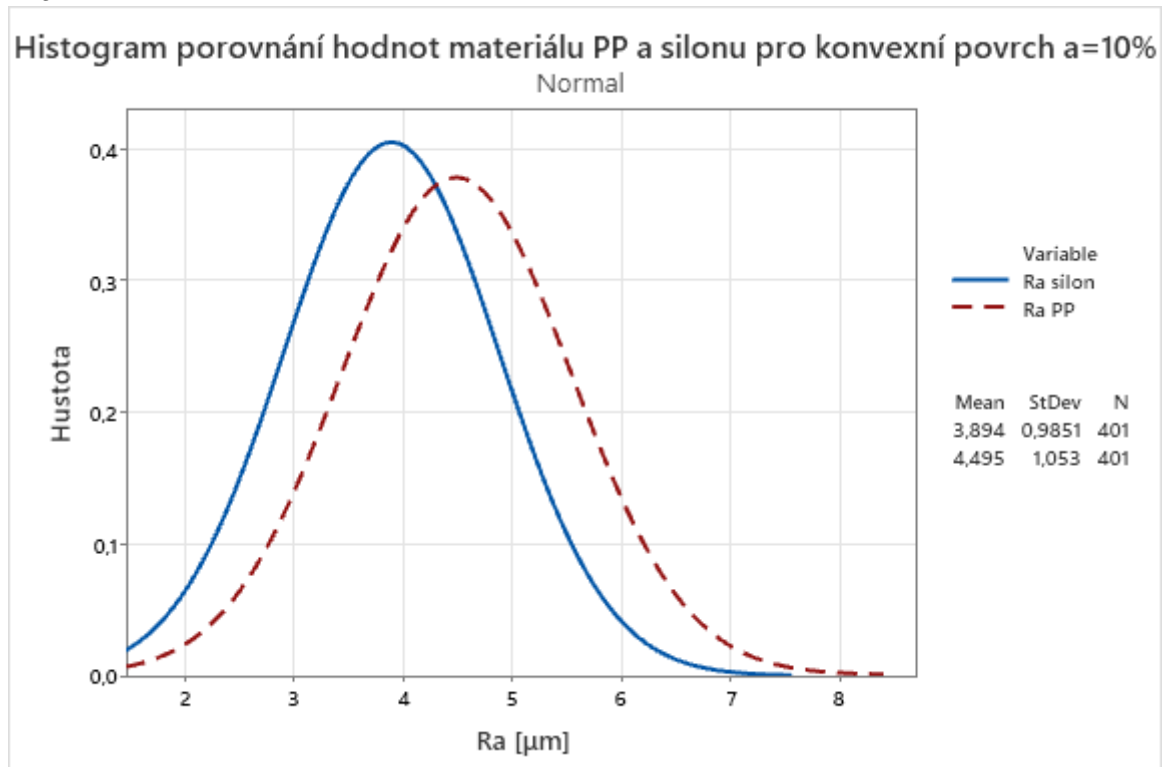
Obrázek 44 Porovnání konvexních povrchů silonu pro parametr Rz



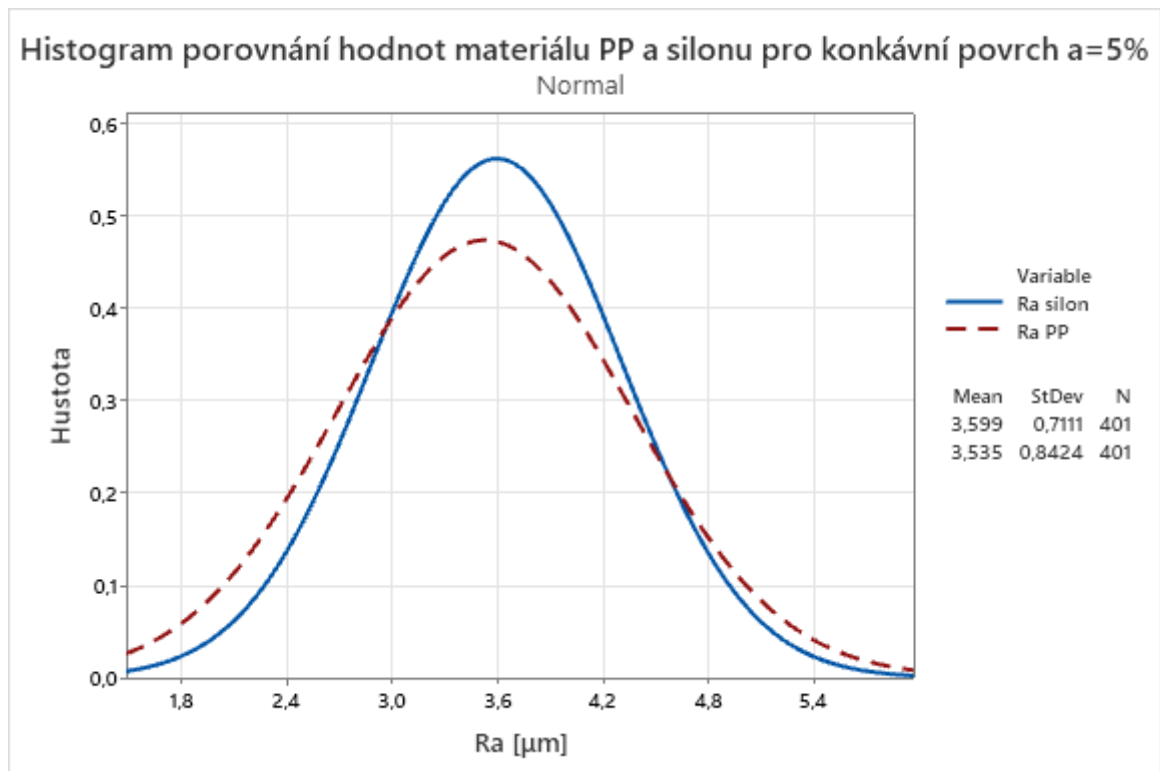
Obrázek 45 Histogram materiálu silonu pro parametr a=5,10 %, Rz při konvexním povrchu
Dále porovnáme hodnoty stejných povrchů pro jiné materiály, vidíme zde převážně horší drsnost u silonu a znatelně lepší výsledky pro polypropylen pro hodnoty Rz.



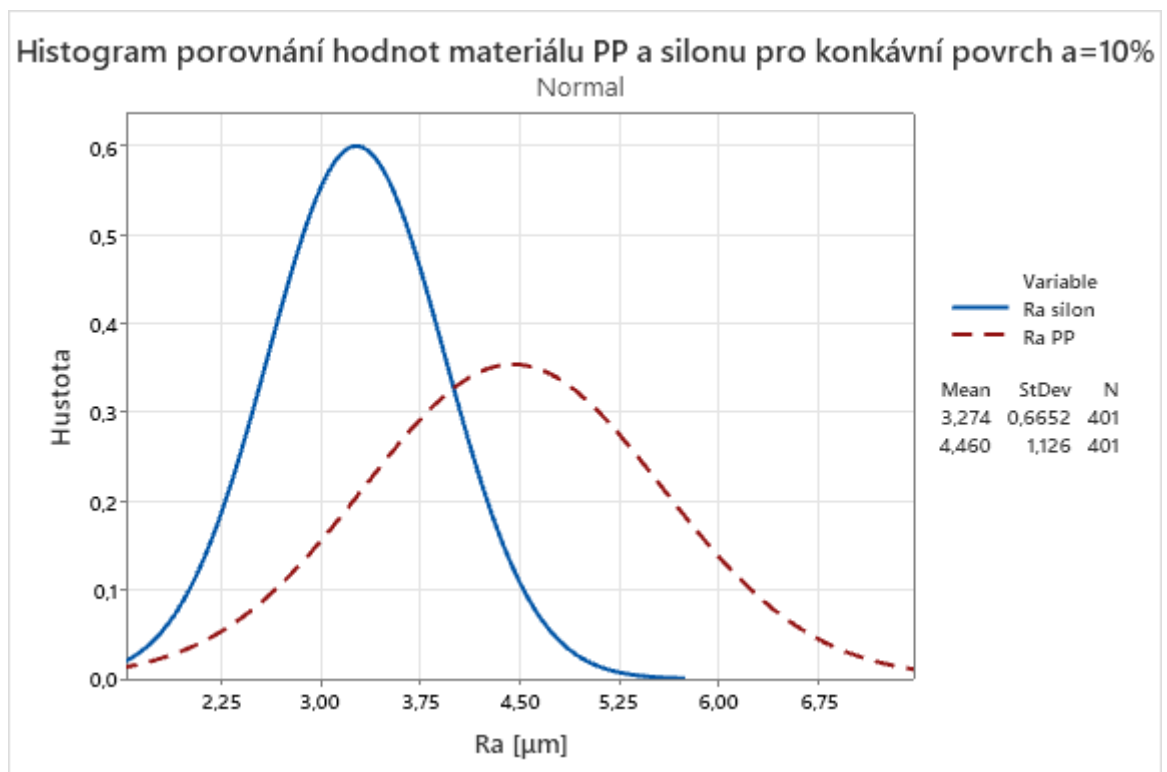
Obrázek 46 Histogram porovnání hodnot Ra materiálů PP. a silonu u konvexního povrchu $a=5\%$



Obrázek 47 Histogram porovnání hodnot materiálů PP. a silonu u konvexního povrchu $a=10\%$



Obrázek 48 Histogram porovnání hodnot materiálů PP. a silonu u konkávního povrchu $a=5\%$



Obrázek 49 Histogram porovnání hodnot materiálů PP. a silonu u konkávního povrchu $a=10\%$

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo seznámit se s normami pro vyhodnocování drsnosti povrchu, seznámit se s různými druhy povrchů a materiálů. V praktické části jsem se zaměřil na zhodnocení povrchu dvou výrobků, které byli každé z jiného materiálu a každý z těchto výrobků měl 4 frézované plochy, které byli vyfrézovány za pomoci kulové frézy, dva z povrchů měli parametr a – hloubka řezu 0,4mm a další dva měli hloubku řezu 0,8mm. Dvě plochy byli konkávní a další dvě plochy byli konvexní, snímané hodnoty byli ve směru E-W (osa x). Při měření a následném extrahování dat byli z naměřených parametrů (tvar, vlnitost, drsnost) vyfiltrovány tvar, a vlnitost. Následovalo statistické zhodnocení dat, kde jsou vidět velké odchylky drsnosti které jsou příčinou dané metody obrábění a řeznými podmínkami.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Convex and Concave surface. Grammarly blog [online]. 2021 [cit. 2021-10-22]. Dostupné z: <https://www.grammarly.com/blog/concave-vs-convex/>
- [2] Rozdíl mezi konvexními a konkávními čočkami. Rozdíl mezi konvexními a konkávními čočkami [online].2019 [cit.2022-05-08] Dostupné z: <https://cs.weblogographic.com/difference-between-convex>
- [3] Polymery. Polymery [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/01.html>
- [4] Types of Materials. Letstalkscience [online]. 2020, 6.24. 2020 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/backgrounders/types-materials>
- [5] Different types of metals. Makeitfrommetal [online]. 2021 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://makeitfrommetal.com/different-types-of-metal-facts-and-uses/>
- [6] ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda-Termíny, definice a parametr struktury povrchu. Březen 1999.
- [7] ČSN EN ISO 4288: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda-Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Březen 1999.
- [8] ČSN EN ISO 25178-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 2012.
- [9] MURTHY, N.S. Techniques for analyzing biomaterial surface structure, morphology and topography. Surface Modification of Biomaterials [online]. Elsevier, 2011, 2011, s. 232-255 [cit. 2021-11-13]. ISBN 9781845696405. Dostupné z: doi:10.1533/9780857090768.2.232
- [10] Optical profilometer [online]. 2021 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.nanoscience.com/techniques/optical-profilometry/>
- [11] Přenosné drsnoměry [online]. 2011, 13. 04. 2011 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prenosne-drsnomery>
- [12] Taylor–Hobson: Exploring Surface Texture, a fundamental guide to the measurement of surface finish (Taylor Hobson Ltd.,Leicester, England, 2003).

- [13] TYKAL, Miroslav. Normalizace struktury povrchu, současný stav a trendy vývoje. In: Kvalita a Geometrické specifikace produktů [online]. 2005 [cit. 2021-0322]. Dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/41_Tykal_TNK7.pdf
- [14] MĚŘÍNSKÁ, D., V. PATA, M. KUBIŠOVÁ a L. SÝKOROVÁ. Statistical point of view on polymer (Nano)composite preparation. Materials Science Forum [online]. 2019, 952, 267–274 [cit. 2022-04-27]. ISSN 16629752. Dostupné z: doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.952.267
- [15] NEUBAUER Jiří, Marek SEDLAČÍK a Oldřich KŘÍŽ. Základy statistiky: aplikace v technických a ekonomických oborech. 3., rozšířené vydání. Praha: Grada Publishing, 2021.
- [16] Statistical evaluation of measurement data. Brainkart [online]. 2018 [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: https://www.brainkart.com/article/Statistical-Evaluation-of-Measurement-Data_12715/
- [17] MELOUN, M., J. MILITKÝ. Kompendium statistického zpracování dat. 3. vyd. Praha: Univerzita Karlova, 2012.982 s. ISBN 978-80-246-2196-8

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ČSN Česká státní norma

EN Evropská norma

ISO Mezinárodní organizace pro normalizaci

lr Základní délka profilu drsnosti

a Hloubka řezu

s Směrodatná odchylka

$x_{0,25}$ První kvartil

$x_{0,75}$ Třetí kvartil

Med Medián

s^2 Rozptyl

2D Dvourozměrný

3D trojrozměrný

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 ukázka konvexního a konkávního povrchu [1]	11
Obrázek 2 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti	16
Obrázek 3 Drsnost povrchu [6].....	17
Obrázek 4 Vlnitost povrchu [6]	17
Obrázek 5 – Profil povrchu [6]	17
Obrázek 6 Prvek profilu [6]	18
Obrázek 7 Místní sklon [6]	19
Obrázek 8 Největší výška výstupků profilu [6]	19
Obrázek 9 Největší hloubka prohlubní profilu [6].....	20
Obrázek 10 Největší výška profilu [6].....	20
Obrázek 11 výška prvků profilu (příklad drsnosti profilu) [6]	21
Obrázek 12 šířka prvků profilu [6]	22
Obrázek 13 Vztahy mezi S-filtrem, L-filtrem, F-operací a S-F a S-L povrchy [8]	26
Obrázek 14 schéma optického profilometru [10]	29
Obrázek 15 schéma dotykového profilometru [10]	30
Obrázek 16 Hustota normálního (Gaussova) rozdělení hodnot [18]	31
Obrázek 17 Polypropylen	35
Obrázek 18 Silon	35
Obrázek 19 Ustavení měřeného dílce	36
Obrázek 20 kalibrace ostrosti paprsku.....	36
Obrázek 21 Nastavení hodnot měření.....	37
Obrázek 22 Silon a=10% konvexní tvar	38
Obrázek 23 Silon a=10% konkávní tvar	39
Obrázek 24 Silon a=5% konvexní tvar	40
Obrázek 25 Silon a=5% konkávní tvar	41
Obrázek 26 Polypropylen a=10% konvexní tvar	42
Obrázek 27 Polypropylen a=10% konkávní tvar	43
Obrázek 28 Polypropylen a=5% konvexní tvar	44
Obrázek 29 Polypropylen a=5% konkávní tvar	45
Obrázek 30 Porovnání konkávních povrchů polypropylenu pro parametr Ra	47
Obrázek 31 Histogram materiálu Polypropylenu pro parametr a=5,10%,Ra při konkávním povrchu	47
Obrázek 32 Porovnání konvexních povrchů polypropylenu pro parametr Ra	48

Obrázek 33 Histogram materiálu Polypropylenu pro parametr $a=5,10\%$, R_a při konvexním povrchu	48
Obrázek 34 Porovnání konkávních povrchů polypropylenu pro parametr R_z	49
Obrázek 35 Histogram materiálu Polypropylenu pro parametr $a=5,10\%$, R_z při konkávním povrchu	49
Obrázek 36 Porovnání konvexních povrchů polypropylenu pro parametr R_z	50
Obrázek 37 Histogram materiálu Polypropylenu pro parametr $a=5,10\%$, R_z při konvexním povrchu	50
Obrázek 38 Porovnání konkávních povrchů silonu pro parametr R_a	51
Obrázek 39 Histogram materiálu silonu pro parametr $a=5,10\%$, R_a při konkávním povrchu	51
Obrázek 40 Porovnání konvexních povrchů silonu pro parametr R_a	52
Obrázek 41 Histogram materiálu silonu pro parametr $a=5,10\%$, R_a při konvexním povrchu	52
Obrázek 42 Porovnání konkávních povrchů silonu pro parametr R_z	53
Obrázek 43 Histogram materiálu silonu pro parametr $a=5,10\%$, R_z při konkávním povrchu	53
Obrázek 44 Porovnání konvexních povrchů silonu pro parametr R_z	54
Obrázek 45 Histogram materiálu silonu pro parametr $a=5,10\%$, R_z při konvexním povrchu	54
Obrázek 46 Histogram porovnání hodnot R_a materiálů PP. a silonu u konvexního povrchu $a=5\%$	55
Obrázek 47 Histogram porovnání hodnot materiálů PP. a silonu u konvexního povrchu $a=10\%$	55
Obrázek 48 Histogram porovnání hodnot materiálů PP. a silonu u konkávného povrchu $a=5\%$	56
Obrázek 49 Histogram porovnání hodnot materiálů PP. a silonu u konkávného povrchu $a=10\%$	56

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Silon 1 E-W a=10% konvexní tvar	38
Tabulka 2 Silon 2 E-W a=10% konkávní tvar	39
Tabulka 3 Silon 3 E-W a=5% konvexní tvar	40
Tabulka 4 Silon 4 E-W a=5% konkávní tvar	41
Tabulka 5 PP 1 E-W a=10% konvexní tvar	42
Tabulka 6 PP 2 E-W a=10% konkávní povrch	43
Tabulka 7 PP 3 E-W a=5% konvexní povrch	44
Tabulka 8 PP 4 E-W a=5% konkávní	45