

Hodnocení jakosti homogenních povrchů

Krupková Vendula

Bakalářská práce
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Vendula Krupková
Osobní číslo:	T17190
Studijní program:	B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Technologická zařízení
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Hodnocení jakosti homogenních povrchů

Zásady pro vypracování

- Seznámení se s problematikou hodnocení povrchů.
- kontrola povrchů pomocí optického mikroskopu, za účelem nalezení charakteristické plochy
- Provedení analýzy na bezkontaktním profiloměru.
- Následně naměřená data drsnosti povrchu budou vyhodnocena pomocí programů 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 řešené úlohy 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: **2. ledna 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **22. května 2020**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

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

Ve Zlíně dne 10. února 2020

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:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zaměřuje na bezdotykové měření homogenních povrchů. První část textu uvádí teorii týkající se norem zabývajících se jakostí povrchu. Konkrétně jsou zde popsány normy ČSN EN 4287, ČSN EN 4288 a ČSN EN 25178-2. Dále pak stručně uvádí teorii o bezkontaktním měření a chybách měření. Praktická část se zabývá bezdotykovým měřením homogenních plastových dílců a vyhodnocením získaných výsledků.

Klíčová slova: Jakost povrchu, bezkontaktní měření.

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on a homogeneous surface measuring with the non-contact method. The first part states that theory concern standards deal with surface quality. Specifically are there describes ISO EN ISO 4287, ISO EN ISO 4288 and ISO EN 25178-2. Then briefly describes the theory of non-contact method and measurement mistake. The practical part deal with the non-contact measurement of plastic homogeneous component and evaluation of obtained results.

Keywords: Surface quality, non-contact measurement.

Tímto bych chtěla poděkovat své vedoucí bakalářské práce Ing. Mileně Kubišové Ph.D. za poskytnuté materiály, čas, ochotu, cenné rady a konzultace, které mi byly poskytnuty v průběhu zpracování mé práce.

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

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 JAKOST POVRCHU	10
1.1 DRSNOST POVRCHU	10
2 NORMY ČSN EN ISO ZYBÝVAJÍCÍ SE STRUKTUROU POVRCHU	12
2.1 ČSN EN ISO 4287	12
2.2 ČSN EN ISO 4288	21
2.3 ČSN ISO 25178-2.....	28
3 PRINCIP BEZKONTAKTNÍHO SNÍMÁNÍ POVRCHU	33
3.1 CLA SNÍMAČ	34
3.2 LASEROVÝ SNÍMAČ	35
3.3 TAYLOR HOBSON	36
4 VHODNOCOVÁNÍ POVRCHŮ	37
4.1 CHYBY MĚŘENÍ	37
5 HOMOGENNÍ A HETEROGENNÍ MATERIÁLY	38
5.1 HETEROGENNÍ POVRCHY	38
5.2 HOMOGENNÍ POVRCHY	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
6 VZORKY	41
6.1 VZORKY TYPU A	41
6.2 VZORKY TYPU B.....	44
7 PŘÍPRAVA VZORKŮ	45
8 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ	47
8.1 TALYSURF CLI 500	47
9 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU	49
10 ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ DAT	54
10.1 KONTROLA NA VÝSKYT ODLEHLÝCH HODNOT.....	54
10.2 METODA DEA.....	55
10.3 GRAFY.....	60
10.4 POROVNÁNÍ POMOCI GAUSSOVY KŘIVKY	65
ZÁVĚR	70
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	71
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	73
SEZNAM OBRÁZKŮ	76
SEZNAM TABULEK	78

ÚVOD

Tématem této bakalářské práce je bezkontaktní měření homogenních povrchů, následné zpracování a vyhodnocení výsledků měření.

V současné době se setkáváme s rostoucími požadavky na kvalitu povrchu. Tento požadavek roste především kvůli velkému vlivu jakosti povrchu na mechanické i fyzikální vlastnosti povrchové vrstvy a má zásadní vliv na funkčnost daného výrobku. Pro přesné měření tedy využíváme moderní techniku, která se stále zdokonaluje a poskytuje nám přesnější data. Ne vždy ale bylo možné takto přesná data získat.

Historie měření a zkoumání povrchu sahá o mnoho let zpátky, kdy byl povrch pouze vizuálně srovnáván s kalibračním vzorkem. I tehdy začaly nároky stoupat a začaly být používány optické přístroje, které dokázaly povrch zvětšit a výsledky byly následně porovnány s etalonem. Doba šla v před a s ní i inovace v oblasti techniky. Digitální měřicí přístroje již vykazovaly mnohem větší přesnost. Dalšími výhodami také byla malá hmotnost a vysoká rychlost. S těmito výhodami moderních strojů pro získávání přesných výsledků měření roste také pořizovací cena, která může být rozhodující pro zvolení měřicího zařízení.

Inovacemi neprocházejí jen přístroje sloužící k měření povrchů. Kvalitativními pokroky procházejí také metodiky hodnocení struktury povrchu.

V teoretické části je bakalářské práce zaměřena na jakost a drsnost povrchu, jsou zde uvedeny a popsány normy zabývající se jakostí povrchu jak pro 2D, tak i pro 3D měření. Dále jsou zde zmíněny přístroje pro měření jakosti povrchu, stručné popsání homogenních a nehomogenních povrchů, nebo chyby měření.

V praktické části jsou uvedeny a popsány vzorky, které byly využity pro měření. Dále je zde popsán postup měření jakosti povrchu pomocí přístroje Talysurf CLI 500 od společnosti Taylor Hobson. V poslední části je uvedeno zpracování a vyhodnocení získaných parametrů v programu Excel.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 JAKOST POVCHU

S novými pokroky v oblasti techniky jsou zvyšovány nároky i na jakost povrchu funkčních ploch strojních součástí. Dosažení požadované hodnoty jakosti povrchu je důležité zejména kvůli funkčnosti výrobku, ale ovlivňuje i životnost, jeho hlučnost, elektrickou vodivost, přestup tepla, korozivzdornost i estetickou stránku dané součásti.

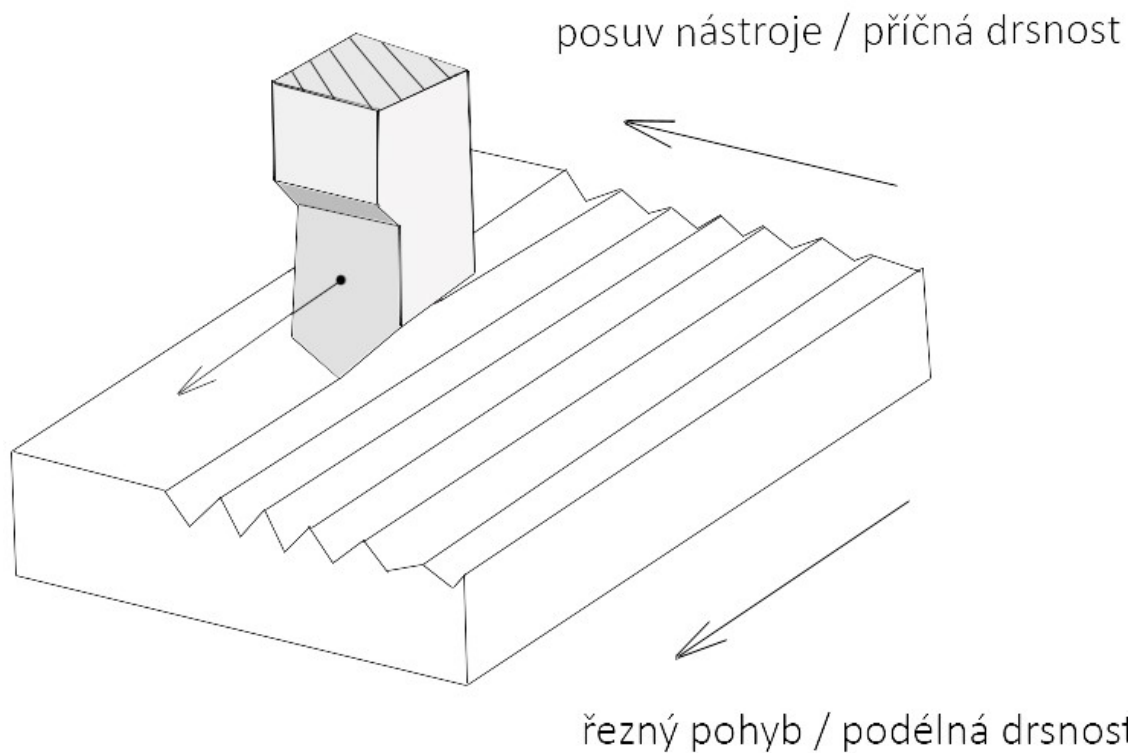
Pod pojmem jakost povrchu se rozumí geometrická a rozměrová přesnost, přesnost polohy a drsnosti povrchu i chemické a fyzikální změny, které nastávají v důsledku použití daných výrobních technologií.

Při použití jakékoliv technologie výrobek získává svou vlastní jakost což zahrnuje drsnost tvar a rozměr. [1]

1.1 Drsnost povrchu

Drsnost, označována také jako mikrogeometrie je nerovnost definována jako malé odchylky od ideálního povrchu součásti. Tyto odchylky vznikají v důsledku odebírání třísky, a to při hrubovacích i dokončovacích operacích. Je ovlivněna především použitou technologií obrábění, velikostí posuvů, hloubkou třísky, řeznou rychlostí, nástrojem, jeho geometrií a opotřebením. Další faktory ovlivňující drsnost je prostředí probíhajícího procesu, materiál obráběné součásti, nebo jiskrové výboje, které při obrábění vyvolávají řezné nástroje.

Drsnost povrchu je nejvíce se vyskytující parametr v technické praxi a je posuzována ve směru příčném a podélném. [1] [2]



Obrázek 1 Parametry pro posuzování drsnosti

Množství a míra odchylek od ideálního povrchu je do značné míry ovlivněna právě tím, jestli jde o operace hrubovací nebo dokončovací.

Funkční plochy součástí vyžadují mnohem kvalitnější povrch. Proto se používají dokončovací operace s úběrem třísky, jako broušení, honování, lapování, nebo také metody bez odběru třísky, které zahrnují kuličkování, válečkování, hlazení a jiné metody, které se ale také projeví na ceně výrobku. [2]

2 NORMY ČSN EN ISO ZYBÝVAJÍCÍ SE STRUKTUROU POVRCHU

ČSN ISO EN 4287, ČSN EN ISO4288 a ČSN EN ISO 25187-2 jsou normy na základě jejichž pravidel a poznatků je vypracována tahle bakalářská práce.

2.1 ČSN EN ISO 4287

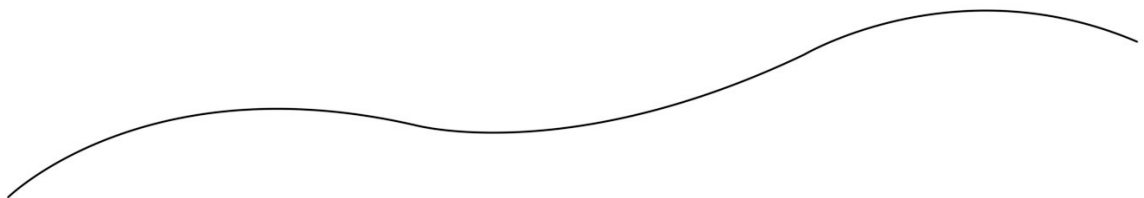
ISO ČSN EN 4287 je norma, která se zabývá profilovou metodou (nejvyužívanější metoda hodnocení povrchu), definicemi, termíny a parametry struktury povrchu.

Základní geometrické parametry, které jsou v téhle normě popsány jsou:

- Základní profil
- Vlnitost
- Drsnost

Mezi těmito parametry se rozlišují hranice pomocí vlnových délek.

Největší vlnové délky zahrnuje tvar. Může se jednat o záměrně vytvořenou nerovnou plochu, která by byla označena za úmyslně vytvořenou, nebo v opačném případě se bude jednat o neúmyslně vytvořenou nerovnost tvaru, která může vzniknout při obrábění, nebo tepelnou deformací. [3]



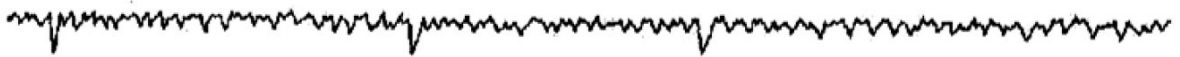
Obrázek 2 Tvar povrchu [6]

Menší vlnové délky bude zahrnovat vlnitost. Je to parametr, který se dá popsat jako periodicky se opakující nerovnosti. Vlnitost může být způsobena chvěním, špatným nastavením řezných podmínek, nebo malou tuhostí. [3]



Obrázek 3 Vlnitost povrchu [6]

Pod drsnost se řadí nejmenší vlnové délky. Jsou to nejmenší nerovnosti, které zanechává řezný nástroj a jsou ovlivněny především nastavenými řeznými podmínkami. Jedná-li se o technologie vstřikování, odlévání, nebo kování drsnost povrchu výrobku je dána drsností stěn formy. [3]



Obrázek 4 Drsnost povrchu [6]

➤ **Obecné termíny**

• ***Filtr povrchu***

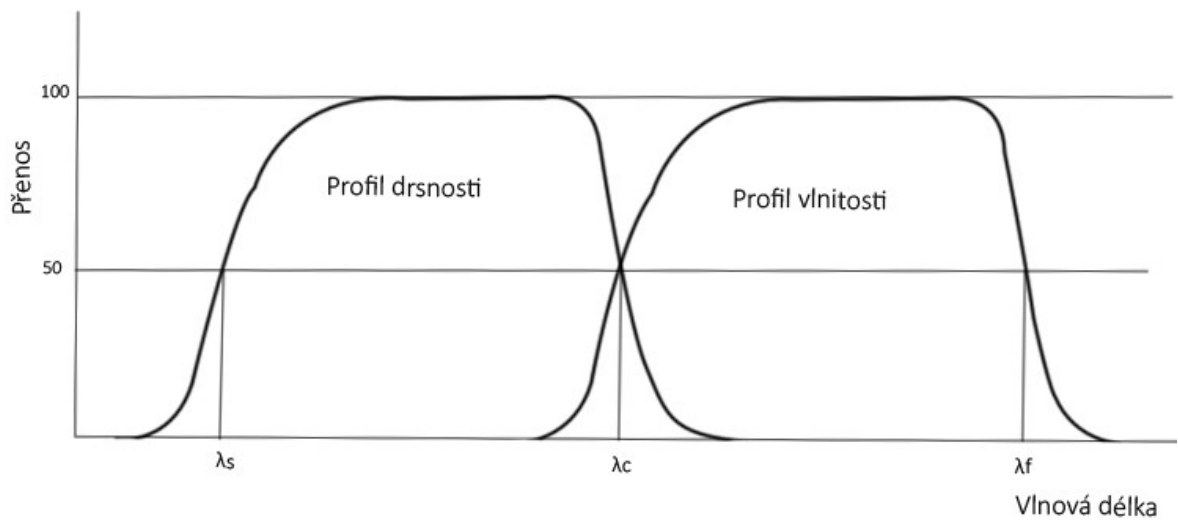
Slouží pro vhodné vyhodnocení drsnosti povrchu. Je jedním ze základních parametrů a umožňuje separovat profily podle vlnových délek. Tyhle profily se dají rozdělit na dlouhovlnné a krátkovlnné složky.

Rozeznáváme tři filtry profilu definované v ISO 11562. Jejich charakteristiky jsou přenosné, ale mají rozdílné hodnoty mezních vlnových délek.

λ_s - filtr určující rozhraní mezi drsností a menšími nerovnostmi

λ_c - filtr určující rozhraní mezi drsností a vlnitostí

λ_f -filtr určující rozhraní mezi vlnitostí a složkami vln s větší délkou, které jsou přítomny na povrchu.



Obrázek 5 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [3]

Základem pro hodnocení parametrů profilu je profil základní, a proto není kvůli téhle skutečnosti filtrován.

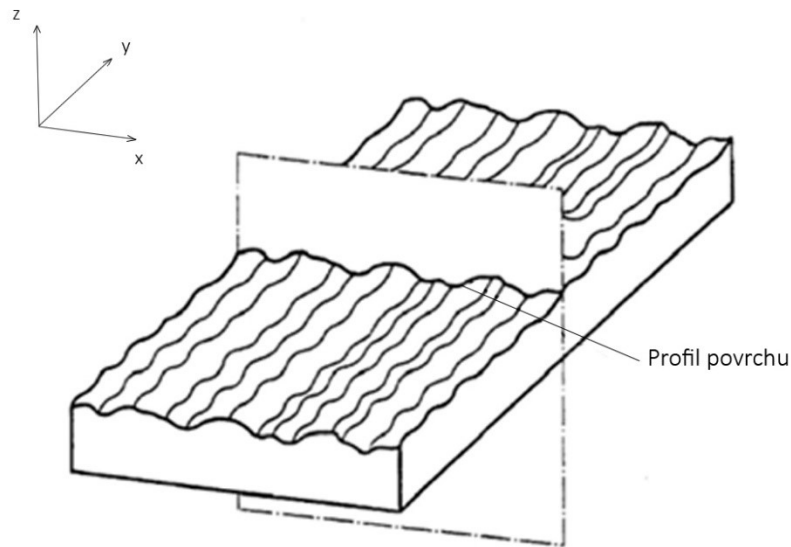
Pro získání vlnitosti ze základního profilu je třeba vyloučit všechny vlnové délky v rozmezí delších než λ_f a kratších než λ_c . Získání drsnosti ze základního profilu je dosaženo díky vyloučení vlnových délek, které jsou určeny jako kratší, než λ_s a delší než λ_c . [3]

- ***Souřadnicový systém***

Ve většině případů se setkáváme s pravoúhlým souřadnicovým systémem. Je to systém, ve kterém jsou přesně definovány jednotlivé parametry struktury povrchu. Osy a jejich orientace jsou znázorněny na obrázku č.6. [3]

- ***Profil povrchu***

Je chápán jako rovina protínající skutečný povrch. Jako vhodný směr řezu je obvykle považována kolmá rovina na rovinu rovnoběžnou s povrchem. [3]



Obrázek 6 Profil povrchu [3]

- **Základní profil (P-profil)**

Profil sloužící pro aplikaci filtru určujícího rozhraní mezi drsností a kratšími vlnovými délkami (filtr λ_s). Základní profil také slouží pro hodnocení P-parametrů. [3]

- **Profil drsnosti (R-profil)**

Nerovnosti malých vlnových délek, díky kterým hodnotíme R-parametry. [3]

- **Profil vlnitosti (W-profil)**

Dá se označit jako vlnové délky menší než λ_f a větší než λ_c díky kterým hodnotíme W-parametry. [3]

- **Základní délka**

Bývá měřena ve směru osy x a rozpoznává nerovnosti daného profilu po jeho vlnové délce. Základní délka může být vyhodnocována pro profil drsnosti (l_r), profil vlnitosti (l_w), a základní profil (l_f). [3]

- ***Vyhodnocovaná délka (l_n)***

Délka, která je skutečně použita pro posouzení hodnoceného profilu. [3]

- ***Prvek profilu***

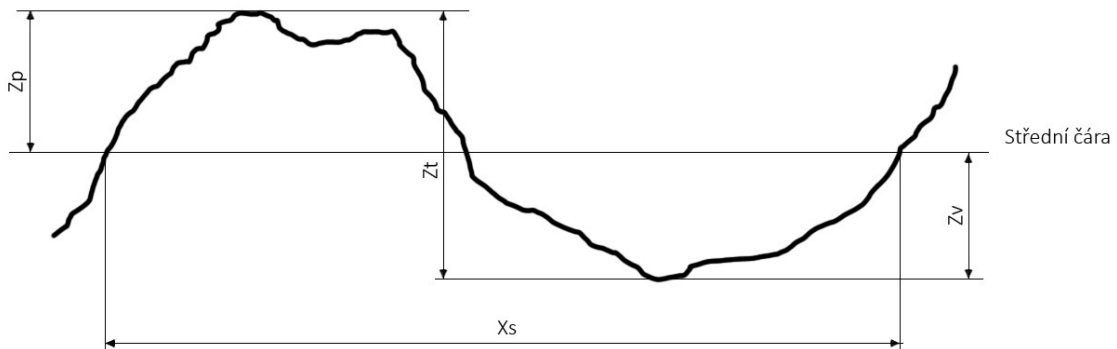
Je označení pro kladnou část profilu nad střední čarou a přilehlou zápornou část profilu pod střední čarou nacházející se v rozmezí základní délky. [3]

- ***Prohlubeň profilu***

Jako prohlubeň je označována oblast na posuzovaném profilu, která je tvořena křivkou pod střední čarou, ohraničená body ležícími na této čáře, která je zároveň rovnoběžná s osou x.

- ***Výstupek profilu***

Výstupek profilu je možné definovat jako oblast prvku profilu, který je tvořen křivkou nad střední čarou, ohraničen body ležícími na této čáře, která je zároveň rovnoběžná s osou x.



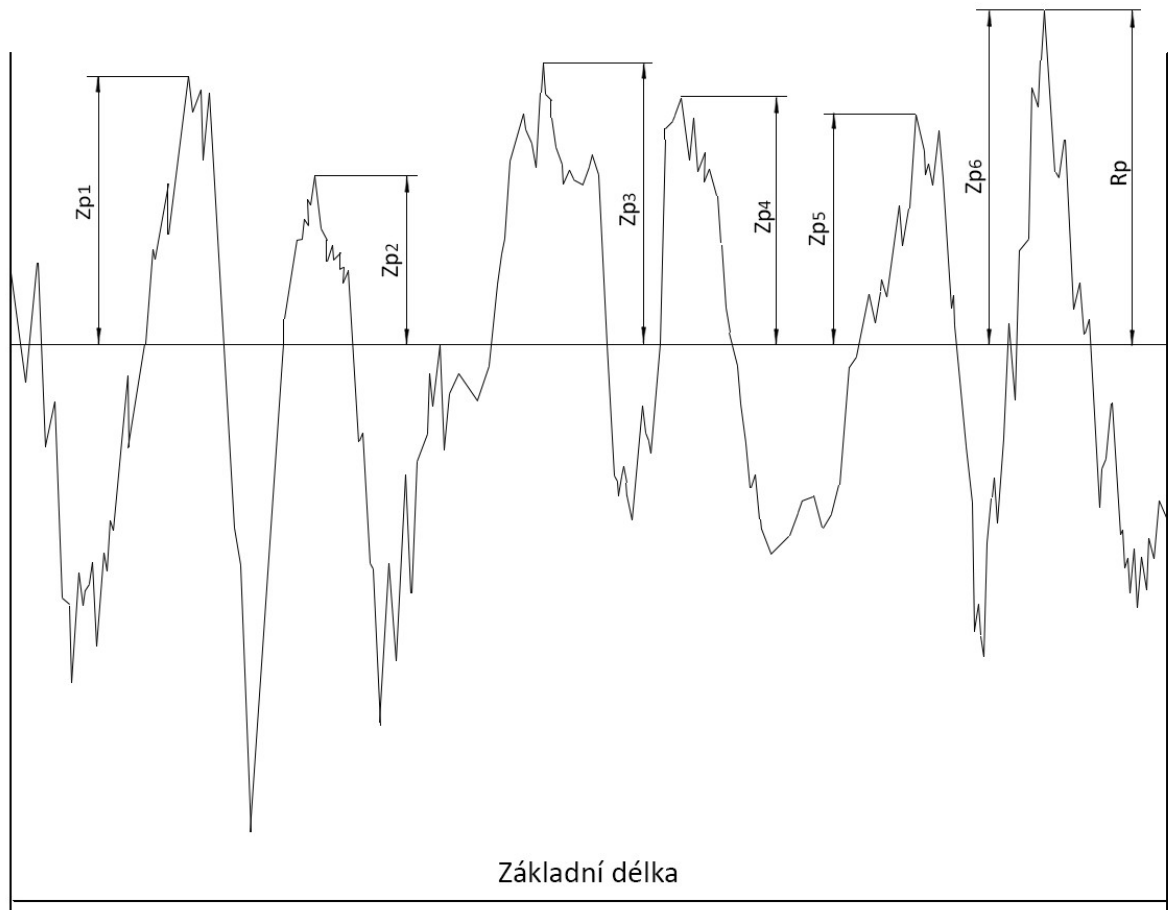
Obrázek 7 Prvek profilu [3]

- ***Definice parametrů profilu povrchu***

Parametry profilu povrchu jsou parametry, které bývají nejvíce využívány v technické praxi. Jsou využívány zejména při použití kontaktního drsnoměru, díky kterému získáme dvourozměrný obraz povrchu. [3]

- **Výškové parametry (výstupy a prohlubně)**
 - **Největší výška výstupku profilu (P_p , R_p , W_p)**

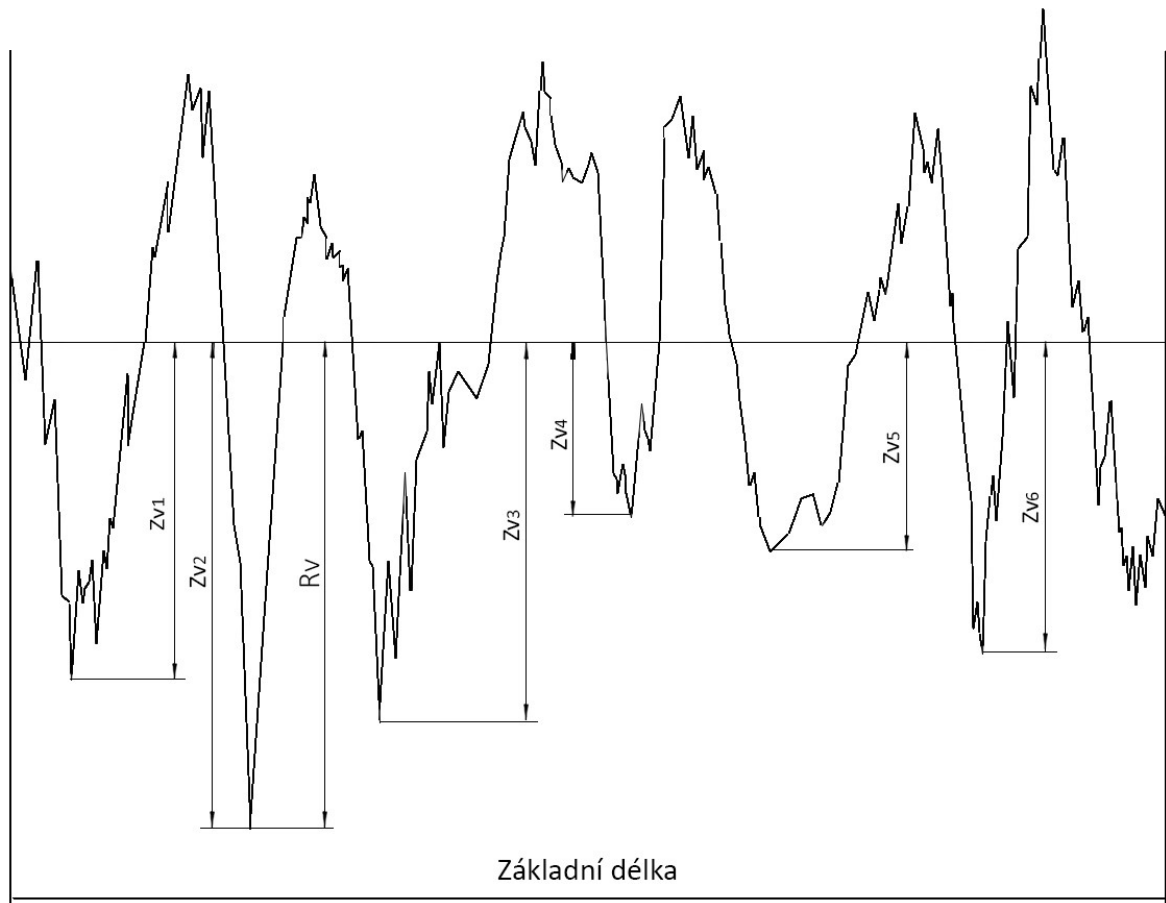
Označení pro největší naměřený výčnělek profilu v rozmezí základní délky.



Obrázek 8 Zobrazení nejvyššího výstupku profilu drsnosti [3]

- **Největší hloubka prohlubně profilu (P_v , R_v , W_v)**

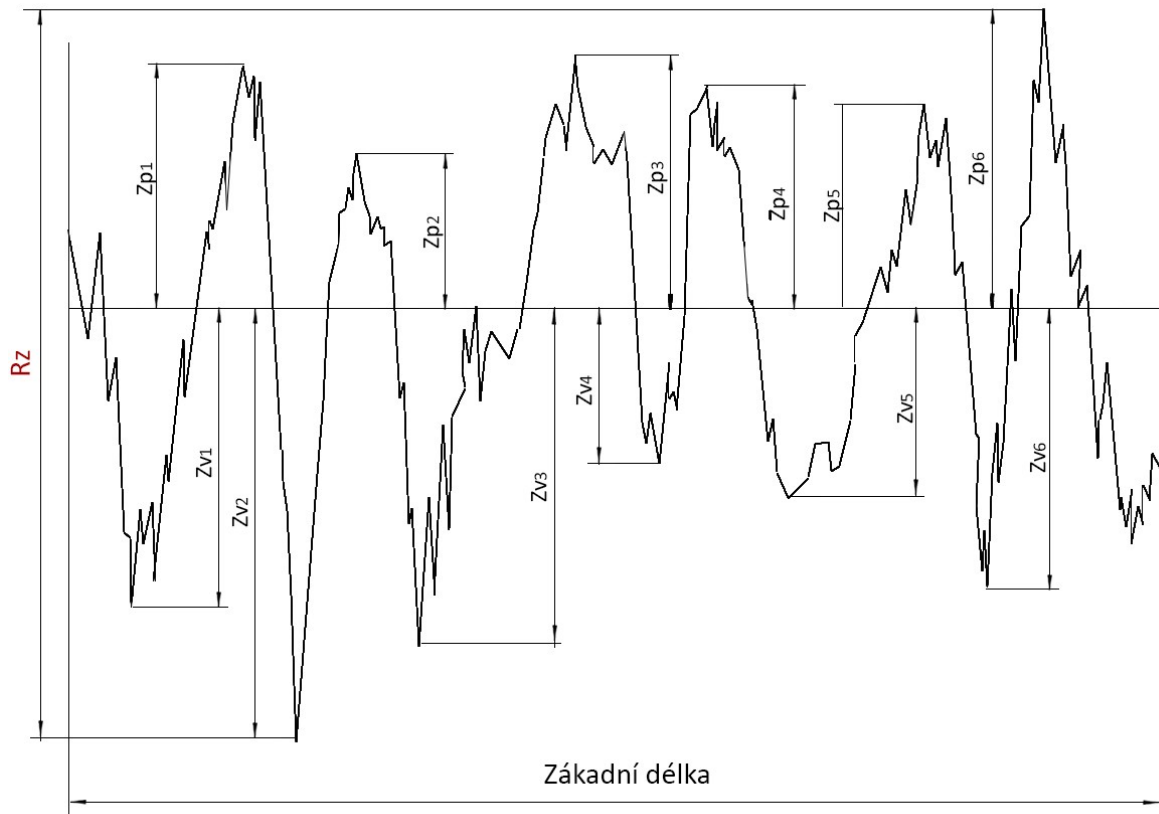
Největší hloubka prohlubně profilu je charakterizována jako parametr, který slouží k zobrazení vzdálenosti mezi střední čarou a nejnižším bodem, který se nachází v oblasti zkoumaného profilu. [3]



Obrázek 9 Příklad největší hloubky profilu drsnosti [3]

- **Největší výška profilu (P_z, R_z, W_z)**

Je parametr označující součet největší hloubky a výšky profilu v rozsahu základní délky. Tedy součet Z_v a Z_p . [3]



Obrázek 10 Největší výška profilu (příklad profilu drsnosti) [3]

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

- **Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu (P_a, R_a, W_q)**

Je definována jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic Z_x v rozsahu základní délky. [3]

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



Obrázek 11 Průměrná aritmetická úchylka profilu (příklad pro drsnost profilu) [3]

○ **Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu (P_q , R_q , W_q)**

Charakterizována jako střední kvadratická úchylka filtrovaného profilu v rozsahu základní délky. [3]

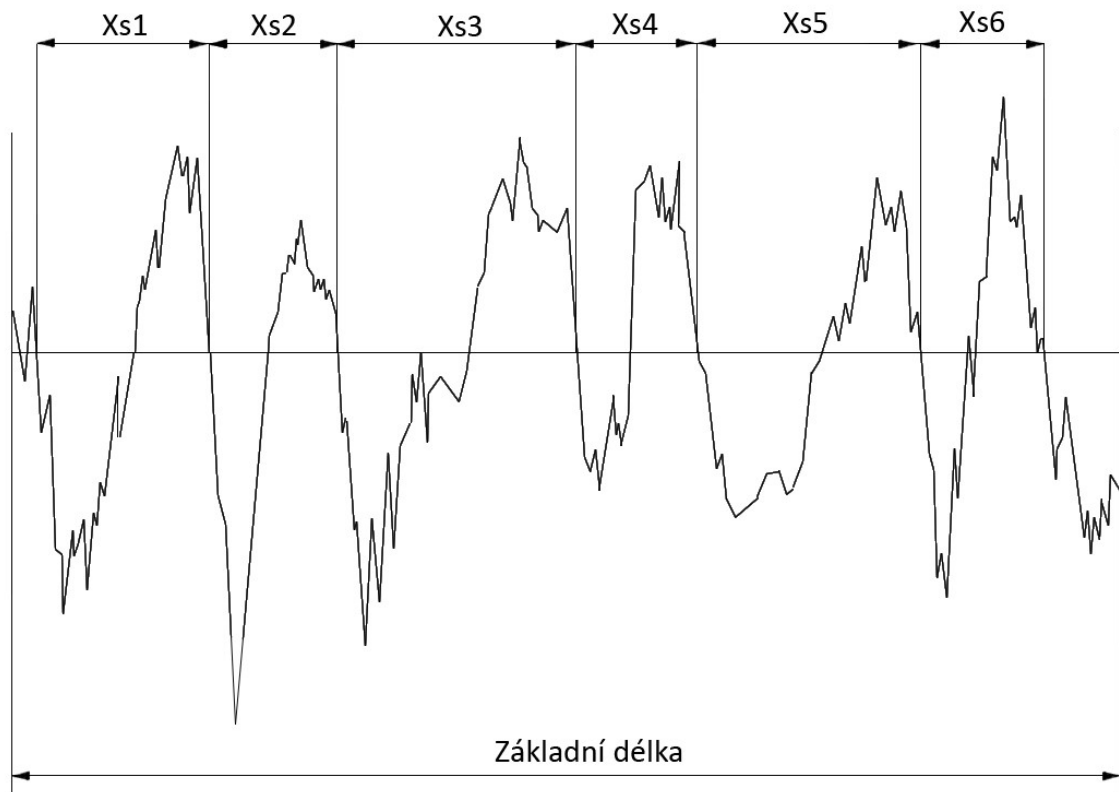
$$P_q, R_q, W_q = \sqrt{\frac{1}{l} * \int_0^l |Z^2(x)| * dx} \quad (2)$$

• **Délkové parametry**

○ **Průměrná šířka prvků profilů (P_{sm} , R_{sm} , W_{sm})**

Je hodnota rovnající se aritmetickému průměru šířek prvků profilu v rozmezí základní délky. [3]

$$P_{sm}, R_{sm}, W_{sm} = \frac{1}{m} \sum_{l-1}^m x_s \quad (3)$$



Obrázek 12 Šířka prvků profilu vztažená k základní délce [3]

2.2 ČSN EN ISO 4288

Při hodnocení povrchu vycházíme právě z normy ČSN EN ISO 4288. Tato norma se zabývá pravidly pro porovnávání naměřených hodnot se stanovenými tolerančními mezemi, které jsou uvedeny výše podle normy ČSN EN ISO 4287.

Také určuje pravidla pro určení mezních vlnových délek pro drsnost povrchu, způsoby, díky kterým lze parametry odhadnout pomocí výpočtů, nebo pravidla a postup pro kontrolu dotykovými přístroji. [4]

➤ Odhadování parametrů

Při odhadování parametrů počítáme jen z hodnot naměřených na jedné základní délce.

Pro určení průměrných hodnot je používán aritmetický průměr odhadu parametrů pro hodnoty z jednotlivých vlnových délek. [4]

- ***Parametry definované na základní délce***

Definované parametry na vyhodnocované délce jsou odhady hodnot parametrů vypočítaných díky datům naměřených na vyhodnocované délce, která je podle normy rovna počtu základních délek. [4]

- ***Křivky a odpovídající parametry***

Odhad hodnoty parametru pro křivky a odpovídající parametry je vypočítán naměřeným datům z jedné křivky, která je vypočítána z vyhodnocovací délky. [4]

➤ **Pravidla pro porovnávání naměřených hodnot**

- ***Vyšetřované plochy na zkoumaných prvcích***

Před začátkem porovnávání s požadavky uvedenými na technické dokumentaci, nebo výkrese je nutné zjistit, jestli je základní struktura na celém povrchu kontrolovaného výrobku homogenní, nebo se na jednotlivých plochách struktura liší. K zjištění, jestli je povrch homogenní, nebo heterogenní nám slouží vizuální zkouška.

Jestliže je posuzovaná plocha v celém rozsahu homogenní, budou parametry z celého povrchu použity pro srovnání s hodnotami uvedenými na technické dokumentaci, nebo výkrese.

V případě, že se struktury povrchu na různých místech budou lišit (bude-li povrch heterogenní), budou tyto plochy brány k posouzení jednotlivě.

Je-li určena horní mez parametru, použijeme jen plochy, které mají nejvyšší hodnoty parametru. [4]

- ***Pravidlo 16-ti %***

Jsou-li v technické dokumentaci, nebo výkrese uvedeny požadavky na horní mez parametru, může maximálně 16 % veškerých naměřených hodnot ležet nad touto hodnotou. Horní mez lze chápat jako součet aritmetického průměru a směrodatné odchylky.

Stejné pravidlo platí pro dolní mez parametru, kde přijatelné procento vybraných parametrů překračujících hodnotu dolní meze zaznamenanou na výkrese, nebo technické dokumentaci je do 16 %. [4]

- ***Pravidlo maxima***

Jestliže je v daném výkrese, nebo technické dokumentaci uvedena maximální hodnota, nesmí ji překročit žádná z naměřených hodnot daných parametrů. [4]

- ***Nejistota měření***

Po dokončení měření a určení shody, nebo neshody s požadavky, musí proběhnout porovnání podle ISO 14253-1, podle které budou výsledky porovnány se specifikovanými hodnotami a uváženými nejistotami měření. [4]

➤ **Hodnocení parametrů**

Parametry, které nám určují strukturu povrchu se nevztahují na vady daného povrchu, které na výrobku mohou vzniknout, což je důvod proč tyto vady při vyhodnocování struktury povrchu nemohou být brány v potaz.

Spolehlivost správnosti měření je především závislá na počtu vykonaného měření daného povrchu. [4]

➤ **Kontrola dotykovými přístroji (pravidla a postupy)**

- ***Určení mezní vlnové délky cut-off pro měření parametrů profilu drsnosti***

Výběr základní vlnové délky je určen především požadavkem na výrobní dokumentaci, nebo výkrese. Jestliže je ve výrobní dokumentaci základní délka určení, je mezní vlnová délka cut-off λ_c rovna této základní délce. Není-li tak dáno a vlnová délka není specifikována, je volena délka postupem rozepsaným v **Měření parametrů profilu drsnosti**, která je uvedena níže. [4]

- *Měření parametrů profilu drsnosti*

Při výběru směru měření, není-li blíže určen, závisí především na tom, jestli je zkoumaný povrch izotropní, nebo anizotropní. V případě izotropního povrchu je směr řezu libovolný.

Jestliže se ale jedná o povrch anizotropní, je zvykem vést řez tak, aby odpovídal největším hodnotám parametrů drsnosti povrchu, kde tento směr musí splňovat kolmost k poloze povrchu. K měření je vždy použita ta část povrchu, ve které je předpokládán výskyt kritických hodnot. Nalézt tuto část povrchu je možné vizuálně. Pro kvalitní měření a získání navzájem nezávislých výsledků je měření rovnoměrně rozloženo.

Další důležitou věcí, kterou se řídíme při určování hodnot parametrů profilu drsnosti je skutečnost, jestli je profil drsnosti shledán jako periodický, nebo neperiodický. Kde neperiodický povrch může vzniknout například broušením. Po rozhodnutí, zda se jedná o periodický profil drsnosti, nebo ne, a není dáno jinak, jsou postupy pro měření parametrů profilu drsnosti rozepsány v odstavci **Postup pro neperiodický profil drsnosti a Postup pro Periodický profil drsnosti**. [4]

- *Postup pro neperiodický profil drsnosti*

Pro neperiodické profily drsnosti je používán následující postup:

Nejdříve je odhadnut požadovaný parametr profilu drsnosti jakýmkoli vhodným způsobem (neznámé parametry profilu mohou být R_a , R_z , R_{z1max} , nebo R_{zm}). Dalším krokem je odhad základní délky s pomocí tabulek 1, 2 a 3. Po nastavení základní délky, odhadnuté pomocí výše zmíněných tabulek, do daného měřicího přístroje, získáme reprezentativní měření.

Dále jsou srovnávány hodnoty naměřené s rozsahem hodnot v tabulkách 1, 2 a 3 v rozsahu odhadnuté základní délky. V případě, že měřené hodnoty jsou mimo rozsah v rámci naší odhadované základní délky, je přístroj nastaven na větší, respektive

menší základní délku. V tomhle případě získáme novou reprezentativní hodnotu, kterou opět porovnááme.

Po získání reprezentativní hodnoty pro jednu základní délku zjistíme, zda je naše výsledná kombinace hodnot a základní délky uvedena v tabulkách 1, 2, nebo 3.

V obou případech, budou-li naše hodnoty v rozsahu použité základní délky, mohou být shledány jako správné.

V posledním kroku získáme reprezentativní měření žadáných parametrů s využitím základní vlnové délky, která byla získána. [4]

Tabulka 1 Základní délky drsnosti pro měření R_a , R_q , R_{sk} , R_{ku} , $R_{\Delta q}$, křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily [4]

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

Tabulka 2 Základní délky drsnosti pro měření R_a , R_q , R_{sk} , R_{ku} , $R_{\Delta q}$, křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily [4]

$Rz^{1)}$ $Rz1max^{2)}$ [μm]	Základní délka drsnosti l_r [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti l_n [mm]
$(0,025) < Rz, Rz1max \leq 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < Rz, Rz1max \leq 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < Rz, Rz1max \leq 10$	0,8	4
$10 < Rz, Rz1max \leq 50$	2,5	12,5
$50 < Rz, Rz1max \leq 200$	8	40
¹⁾ Rz je použito při měření Rz, Rv Rp Rc a Rt ²⁾ Rz1max. je použito jen při měření Rz1max., Rv1max., Rp1max. a Rc1max.		

• **Postup pro periodický profil drsnosti**

Prvním krokem je odhadnout parametr R_{sm} na povrchu s neznámou drsností. Dále při postupu určení základní vlnové délky u periodického profilu drsnosti používáme pouze tabulku č.3. Z téhle tabulky podle námi odhadnutého parametru R_{sm} určíme vlnovou délku cut-off.

Nastane-li sporný případ je možné využití mezní vlnové délky (základní vlnové délky), zjištěné v předchozím kroku pro změření hodnoty.

Jestliže naše nová získaná hodnota R_{sm} odpovídá jiné mezní vlnové délce (větší, nebo menší) než délce, která byla zjištěna v prvním případě, zvolíme jako novou mezní vlnovou délku větší, nebo menší podle tabulky č. 3.

V posledním kroku je získáno reprezentativní měření daných parametrů za použití získané mezní vlnové délky. [4]

Tabulka 3 Základní délky drsnosti pro měření R-parametrů periodických profilů s R_{sm} periodických a neperiodických profilů [4]

Rsm [μmm]	Základní délka drsnosti lr [mm]	Vyhodnocovaná délka drsnosti ln [mm]
$0,013 < R_{sm} \leq 0,04$	0,08	0,4
$0,04 < R_{sm} \leq 0,13$	0,25	1,25
$0,13 < R_{sm} \leq 0,4$	0,8	4
$0,4 < R_{sm} \leq 1,3$	2,5	12,5
$1,3 < R_{sm} \leq 4$	8	40

2.3 ČSN ISO 25178-2

ČSN EN ISO 25187 je norma, která se zabývá zkoumáním povrchu ve 3D, což znamená, že výškové parametry nejsou vztahovány ke střední čáře profilu drsnosti, jak tomu bylo v případě zkoumání povrchu ve 2D, ale využívá souřadnicový systém o třech navzájem kolmých osách.

Konkrétně norma ČSN EN ISO 25187-2 se zabývá parametry, definicemi a termíny stanovující povrchovou texturu díky plošným metodám. [5]

Srovnáme-li značení parametrů uvedené v normě ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 25187-2 zjistíme, že je ekvivalentní. Značení pro normu zabývající se definicemi, parametry a termíny pro zkoumání povrchu ve 2D je kupříkladu R_v , R_p . Pro stejný případ parametrů, ale ve 3D modelu je označení S_v , S_p .

➤ Termíny geometrického parametru

- ***Parametr pole***

Je parametr, který je stanoven ze všech bodů v omezené stupnici povrchu. [5]

- ***Parametr prvku***

Je parametr stanovený z podmnožiny předurčených topografických prvků z omezení stupnice povrchu. [5]

- ***V-parameter***

Objem materiálu, nebo zrušený objem pole, nebo parametr prvku. [5]

- ***S-parameter***

Pole, nebo parametr prvku, který není V-parametrem. [5]

- ***Výška***

Vyznačená kolmá vzdálenost z referenčního povrchu k omezení stupnice povrchu. (Výška je záporná, pokud bod leží od referenčního povrchu ve směru materiálu.) [5]

- ***Hodnota koordinace***

Výškové omezení stupnice povrchu v poloze x, y. (Souřadnicový systém je založen na referenčním povrchu. [5]

➤ **Termíny geometrického prvku**

- ***Pik***

Oblast okolo piku taková, že směr všech maximálních cest končí v piku. [5]

- ***Vrch***

Oblast okolo piku taková, že směr všech maximálních cest končí v piku [5]

- ***Přímka kurzu***

Přímka oddělující přilehlé vrchy [5]

- ***Prohlubeň***

Nejnižší bod na povrchu, který je nižší než všechny body v jeho okolí. [5]

- ***Údolí***

Oblast okolo prohlubně taková, že směr všech maximálních cest končí v prohlubni. [5]

- ***Sedlo***

Sada bodů na omezené stupnici povrchu, kde se kříží hřebenové přímky a přímky kurzu. [5]

- ***Bod sedla***

Jeden bod příslušného sedla. [5]

- ***Topografický prvek***

Plocha, přímka, nebo bod prvku vymežující stupnici povrchu. [5]

- ***Plocha prvku***

Vrch, nebo údolí. [5]

- ***Přímka prvku***

Přímka kurzu, nebo hřebenová přímka. [5]

- ***Bod prvku***

Pik, prohlubeň, nebo bod sedla. [5]

- ***Obrysová přímka***

Přímka na povrchu sestávající z bodů stejné výšky. [5]

- ***Segmentace***

Metoda, která odděluje omezenou stupnici povrchu do odlišných oblastí. [5]

- ***Funkce segmentace***

Funkce, která rozděluje sadu „událostí“ do dvou odlišných sad vymezujících významné události a nevýznamné události, splňující tři vlastnosti segmentace. [5]

- ***Strom změny***

Graf, kde každá obrysová přímka je vymezena body proti výšce tak, že přilehlé obrysové přímky tvoří přilehlé body grafu. (Piky a prohlubně jsou reprezentovány na stromu změny pomocí konců přímek. Body sedla jsou reprezentovány pomocí spojovacích přímek.) [5]

- ***Pročištění***

Zjednodušená metoda stromu změny, ve kterém jsou přímky z piků (nebo prohlubní) z nichž jsou odstraněny nejbližší připojené body sedla. [5]

- ***Místní výška piku***

Rozdíl mezi výškou piku a nejbližšího přilehlého sedla v oblasti stromu změny. [5]

- ***Místní hloubka prohlubně***

Rozdíl mezi hloubkou nejbližšího připojeného sedla na stromu změny a hloubkou prohlubně. [5]

- ***Wolfovo pročištění***

Pročištění, kde přímky jsou odstraněny, aby od piku/prohlubně s nejmenší místní výškou/hloubkou piku/prohlubně až do piku/prohlubně do se specifickou místní výškou piku/prohlubně. (Místní výšky/hloubky piku/prohlubně se budou měnit v průběhu Wolfova pročištění, jako odstraňující čáry od stromu změny bude také odstraněn přidružený bod sedla.) [5]

- *Výška piků Wolf*

Minimální práh, ve kterém je pik prořezán na základě průniku Wolf. [5]

- *Hloubka prohlubně Wolf*

Minimální práh, ve kterém je prohlubeň prořezána na základě průniku Wolf. [5]

- *Výška rozlišování*

Minimální výška piků Wolf, nebo hloubka prohlubně Wolf omezené stupnice povrchu, které by měly být vzaty v úvahu. (Výška rozlišování je obvykle jako procento S_z) [5]

➤ **Definice parametru pole**

V níže uvedených terminologických položkách je každý termín vymezen jeho parametrem (zkratkou termínu), a následně jeho značkou. Zatím co zkrácené termíny se mohou skládat z více písmen, značka sestává, pokud je potřeba pouze ze samotného písmena s indexem. Značky jsou použity v rovnicích uvedených v tomto dokumentu. Důvod pro toto odlišení je, aby nedošlo k nesprávnému výkladu sloučených písmen jako je indikace vícevětého počtu násobků mezi veličinami v rovnicích. Parametry (zkrácené termíny) jsou použity ve výrobní dokumentaci, technických výkresech a datových listech. [5]

- *Výškové parametry*

- *Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu (S_q)*

Vymezení průměrné hodnoty čtverce hodnot koordinace uvnitř plochy. [5]

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A |z^2(x, y)| dx dy} \quad (4)$$

- *Šikmost omezené stupnice povrchu (S_{sk})*

Kvocient průměrné hodnoty koordinační krychle a hodnot krychle S_q uvnitř určené plochy. [5]

$$S_{sk} = \frac{1}{S_q^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A |z^3(x, y)| dx dy \right] \quad (5)$$

- *Špičatost omezené stupnice povrchu (S_{ku})*

Kvocient průměrné čtvercové mocniny hodnoty koordinace a hodnoty čtvrté mocniny S_q uvnitř určené plochy. [5]

$$S_{ku} = \frac{1}{S_q^4} \left[\frac{1}{A} \iint_A |z^4(x, y)| dx dy \right] \quad (6)$$

- **Maximální výška piku omezené stupnice povrchu (S_p)**

Největší hodnota výšky piku uvnitř určené plochy. [5]

- **Maximální hloubka prohlubně omezené stupnice povrchu (S_v)**

Hloubka prohlubně uvnitř určené plochy zmenšená o její nejmenší hodnotu. [5]

- **Maximální výška omezené stupnice povrchu (S_z)**

Součet maximální hodnoty výšky piku a maximální hodnoty hloubky prohlubně uvnitř určené plochy.

- **Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu (S_a)**

Aritmetický průměr absolutních hodnot koordinace uvnitř určené plochy. [5]

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |z(x, y)| dx dy \quad (7)$$

3 PRINCIP BEZKONTAKTNÍHO SNÍMÁNÍ POVRCHU

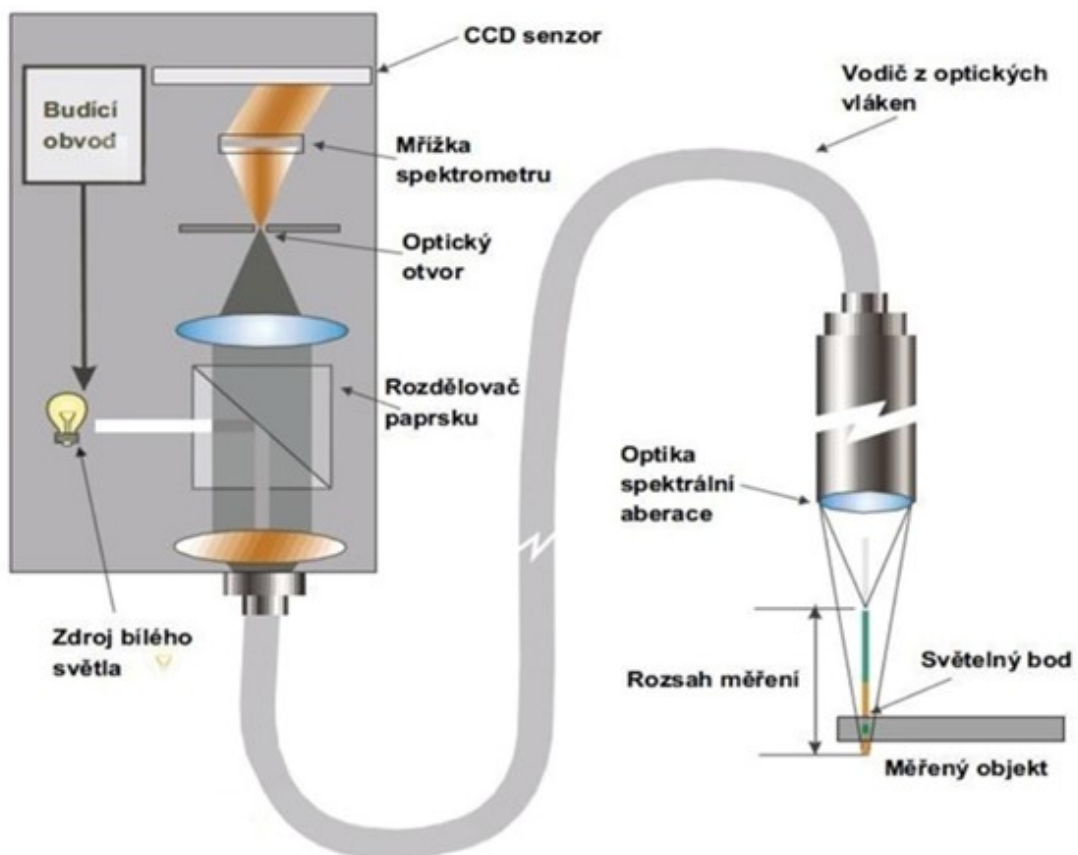
V minulosti bylo pro měření struktury povrchu používáno dotykových měřidel. Tento způsob měření sebou ale nese řadu nevýhod a je proto často nahrazován modernějšími bezkontaktními měřidly.

Tento způsob měření nalézá uplatnění především ve vědeckém a laboratorním prostředí. Využívají se především optické způsoby snímání. Pro toto měření je využíváno světelného paprsku. Tento paprsek je promítán na daný povrch, kde je v závislosti na nerovnostech, způsobených použitým způsobem zpracování, rozptýlen. Je-li paprsek promítán na hladký povrch má tendence rozptylovat se především v zrcadlovém směru. Se zvyšující se hladkostí povrchu zároveň dochází ke snižování rozptylové složky. Pak pro ideálně hladký povrch bude rozptyl světla nulový.

Bezdotykový způsob snímání je používán především u povrchů, které jsou náchylné na mechanické poškození. Dalšími výhodami přisuzovanými k tomuto způsobu měření je vysoká rychlost snímání a získání velkého množství datových údajů textury povrchu. Při využívání bezdotykového měření je nutné zajistit umístění přístroje na antivibrační podložku a dbát na řádné očištění zkoumaných povrchů. Otřesy i nečistoty by mohly nepříznivě ovlivnit měření. [7] [14]

3.1 CLA snímač

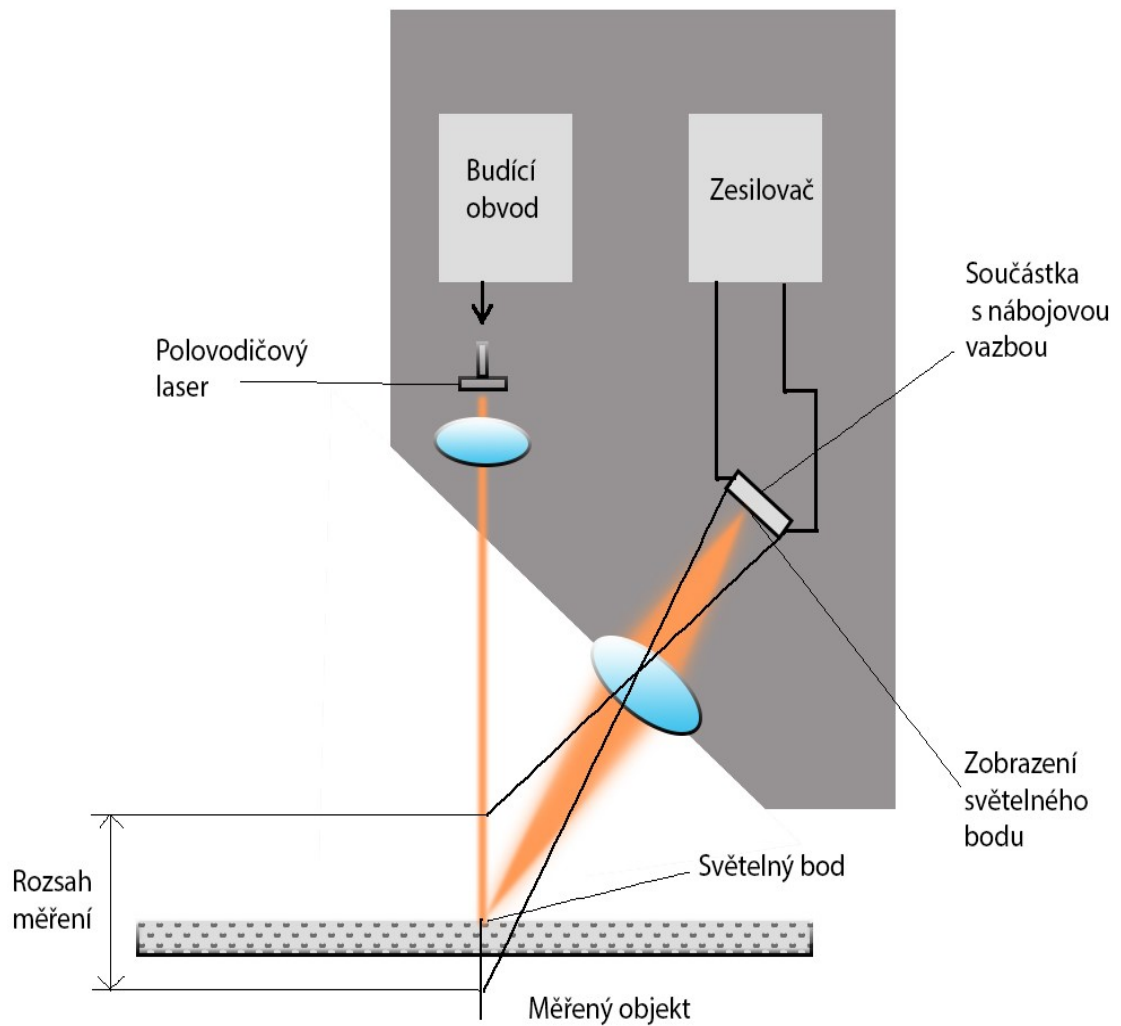
Jedná se o velice přesný bezkontaktní snímač, jehož princip snímání se zakládá na bílém světle. Toto světlo je rozkládáno podle vlnových délek a je namířeno na kontrolovaný povrch, kde na každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka. Otvorem k vyhodnocení je pak propouštěno jen světlo zaostřené vlnové délky. Prošlé světlo dopadá na CCD snímač a každý bod dostane svou prostorovou polohu. Výhodami těchto snímačů je vysoké rozlišení, rychlost snímání a přesnost. [7] [14]



Obrázek 13 schéma LCA snímače [8]

3.2 Laserový snímač

Laserové snímače jsou založeny na vyslání laserového paprsku na zkoumanou plochu. Odražený paprsek je po-té promítán na CCD, nebo CMOS snímač. Značná výhoda těchto snímačů je rychlost snímání dat za jednotku času. Záznam dat je závislý na rychlosti načítání dat použitého snímače. [7]



Obrázek 14 Schéma laserového snímače [8]

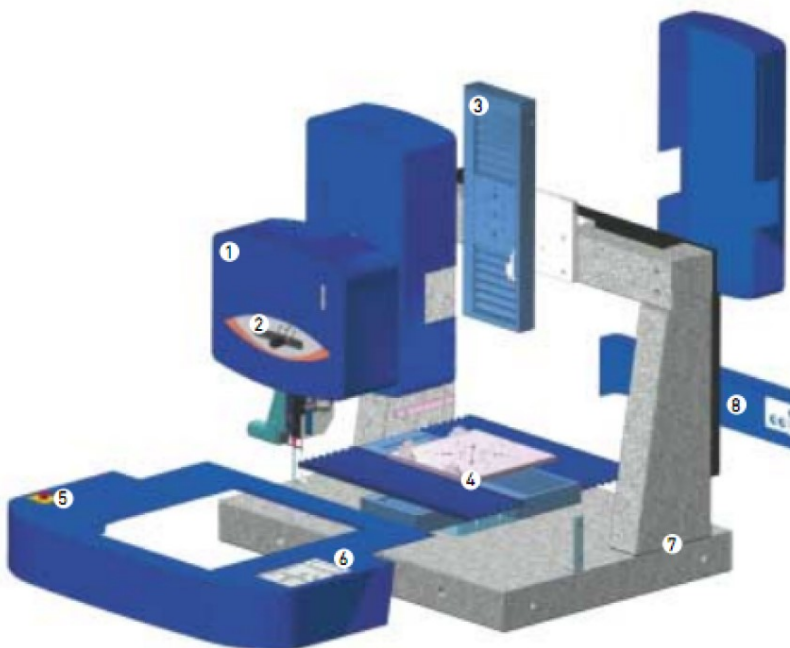
3.3 Taylor Hobson

Taylor Hobson Ltd. Je výrobce měřicí techniky, jehož výroba má již dlouholetou tradici. Kromě výroby strojů a systémů pro získávání dat tvaru a textury povrchu se zabývá i normalizací metodik měření, zpracováním výsledků a jejich vyhodnocením. Kromě výše zmíněného, zkoumá využití kontrolních postupů a naměřených dat pro posuzování funkčních vlastností povrchu. [9]

➤ Talysurf CLI

Přístroje Talysurf CLI se vyznačují vysokým rozlišením a velice rychlým snímáním a vyhodnocováním výsledků získaných při měření daného povrchu. Systém využívá měření ve třech osách a je možné využít kontaktní, nebo bezkontaktní techniku. Tyhle přístroje jsou vhodné pro měření většího množství součástí, a to pro jeden profil řezu (2D), nebo pro profil plochy povrchu (3D). [9]

3. vertikální (z) osa
4. Horizontální (X-Y) osa
5. nouzové zastavení
6. ovládací klávesnice
7. žulový základ
8. panel připojení



Obrázek 15 Talysurf CLI snímač [10]

4 VHODNOCOVÁNÍ POVRCHŮ

Po dokončení měření a získání veškerých potřebných dat je nutné tato data ověřit. K tomuto účelu slouží testování hypotéz. Tento způsob testování nám pomáhá určit zda naše experimentálně získaná data vyhovují předpokladu. Do tohoto testování spadá i ověřování parametrů normálního rozdělení, kde normální rozdělení spadá mezi ty nejpoužívanější rozdělení pravděpodobnosti spojité náhodné veličiny. [11]

4.1 Chyby měření

V životě se nesetkáme s žádným měřicím přístrojem, nebo měřicí metodou, která by nebyla zatížena chybou. Bude-li probíhat měření jedné veličiny za konstantních podmínek, hodnoty měření se budou lišit. Při získávání dat dochází k chybám, které tvoří rozdíl mezi skutečnou a naměřenou hodnotou. Tyto chyby jsme schopni rozdělit na náhodné, systematické a hrubé.

➤ Náhodné chyby

Neexistuje měření, které by neobsahovalo náhodné chyby. Jsou to chyby, které není možné definovat ani kontrolovat. Nabíhají náhodně a v různých velikostech, kdy malé chyby se vyskytují daleko častěji než chyby velké. [11]

➤ Systematické chyby

Jsou to chyby, které měření zatěžují opakovaně. Chyby tohoto typu mohou být způsobeny nepřesnostmi zvoleného přístroje, nebo nevhodnou měřicí metodou. Systematické chyby ovlivňují správnost měření a je možné je odstranit změnou měřidla. [11]

➤ Hrubé chyby

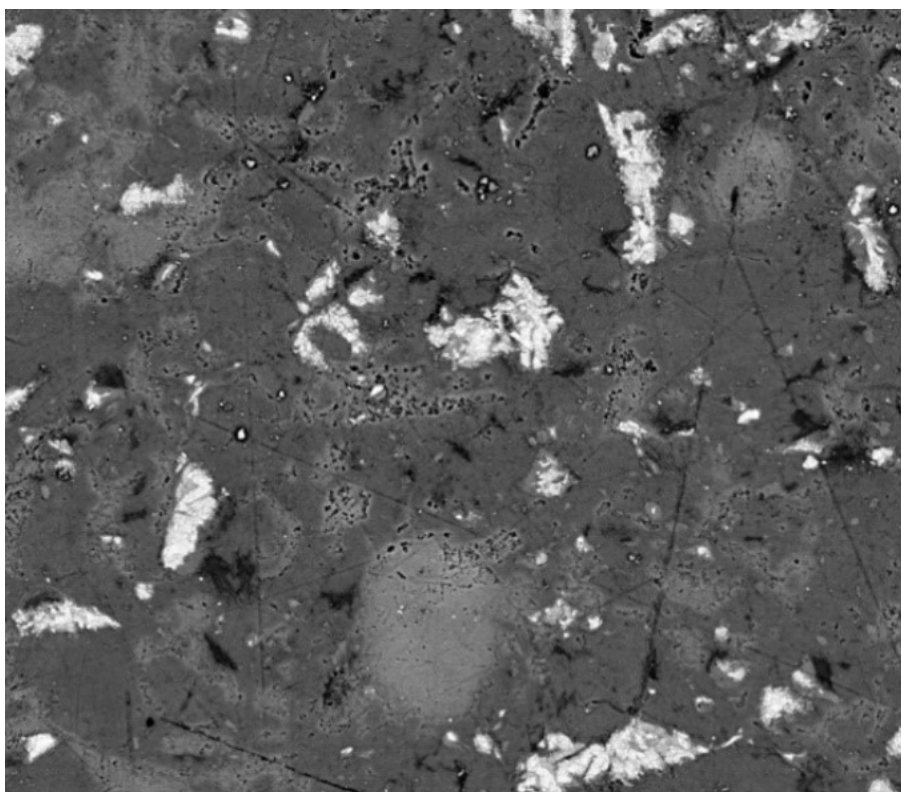
Hrubá chyby je značně odlišná od zbytku hodnot, díky čemu je snadno rozpoznatelná. Po zjištění výskytu se hrubé chyby vylučují pro zamezení zkreslení naměřených výsledků. Jako příčina vzniku hrubých chyb je považováno nesprávně provedené měření, vada přístroje, špatná manipulace s přístrojem aj. [11]

5 HOMOGENNÍ A HETEROGENNÍ MATERIÁLY

5.1 Heterogenní povrchy

Vyznačují se jiným složením a vlastnostmi v různých částech svého objemu. Tyto látky jsou tvořeny více složkami, které jsou rozlišitelné okem, lupou, nebo mikroskopem a způsobují strukturální variabilitu. Variabilita povrchu může být neuspořádaná, periodická, nebo vrstvená.

Heterogenní materiály mohou vznikat různými způsoby. Mezi tyto způsoby řadíme chemickou reakci jednotlivých složek, což způsobí vznik dalších fází, nebo smícháním netečných látek, popřípadě kombinací obou způsobů. Jako heterogenní materiály považujeme například beton, dřevo, nebo trabekulární kost. [12]

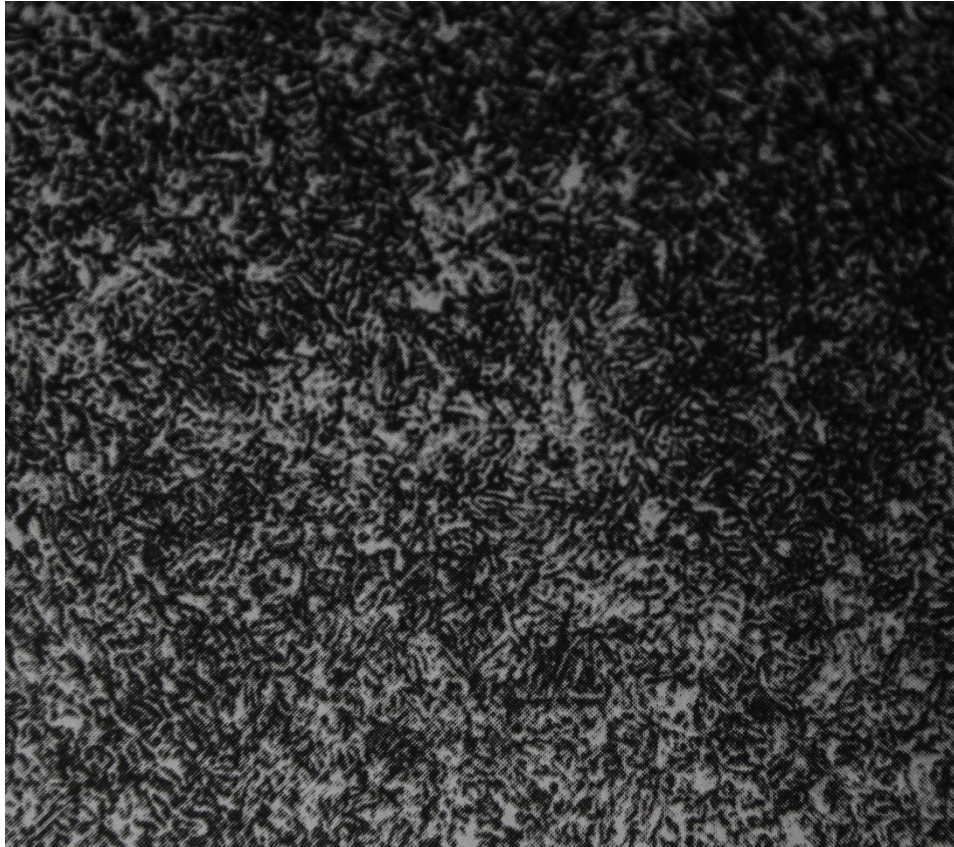


Obrázek 16 struktura cementové pasty [12]

5.2 Homogenní povrchy

Celý objem homogenních materiálů má stejné složení i vlastnosti ve všech směrech. Homogenní látky mohou být tvořeny buď jedinou látkou, nebo se mohou skládat z více látek, které nejsou rozlišitelné. Při zkoumání povrchu těchto materiálů není experiment závislý na délkovém měřítku. [12]

Homogenní povrchy budou tedy tvořeny homogenními látkami. K těmto homogenním povrchům můžeme přiřadit i materiál tvořen strukturou sorbitu, který je zobrazen na obrázku č. 17. Tato struktura vzniká vysokopopouštěním martenzitu. Jedná se o proces rozpadu jehlic martenzitu při vzniku jemné struktury kuličkového cementitu v základní feritické hmotě.



Obrázek 17 struktura sorbitu (zvětšeno 500x)[13]

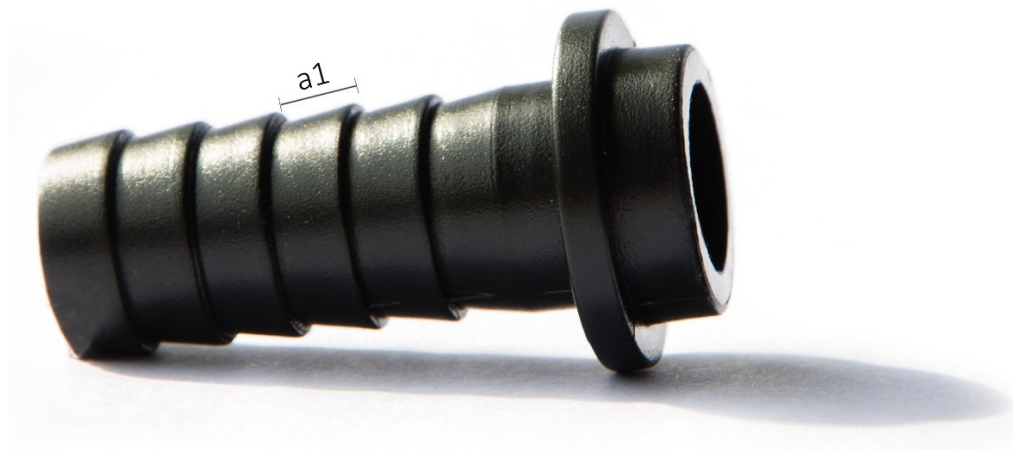
II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 VZORKY

Pro testování byly zvoleny dva výrobky dále označovány jako vzorky typu A a vzorky typu B. Každý typ vzorku má tři zástupce, na kterých byla zkoumána a vyhodnocována jedna plocha. Dohromady bylo tedy použito 6 testovaných vzorků a bylo vyhodnocováno 6 testovaných ploch.

6.1 Vzorky typu A

Jako testovaný výrobek typu A byla zvolena hadicová koncovka. Pro měření byly zajištěny 3 vzorky a u každého z nich probíhalo měření na vybrané ploše. Tyto plochy budou dále označovány jako plochy a1, a2, a3.



Obrázek 18 Hadicová koncovka

Obrázek č. 17 zobrazuje jeden z výrobků, který byl využit k měření této bakalářské práce. Zároveň obrázek představuje plochu, na které bylo měření provedeno, a to na vzorcích 1 až 3. Rozměry zkoumané plochy jsou voleny 2x2 mm.

Zvolené hadicové koncovky jsou vyrobeny z HDPE (vysokohustotní polyethylen). Polyethylen obecně je jeden z nejvyužívanějších plastů, který se řadí mezi termoplasty. Konkrétně HDPE je materiál tvořen lineárními řetězci, díky kterým je schopen vysokého stupně krystalinity.

Zkoumané výrobky byly vyrobeny technologií vstřikování což je nejvyužívanější způsob výroby plastových dílů a výrobků. Zkoumaný povrch je tedy odrazem povrchu vstřikovací formy.



Obrázek 19 struktura povrchu zkoumaného povrchu

Při prohlídce výrobků jsou zřetelně viditelné dělicí roviny i některé vady, které mohly vzniknout při výrobě, nebo následné manipulaci s výrobky.



Obrázek 20 viditelná dělicí rovina



Obrázek 21 vada

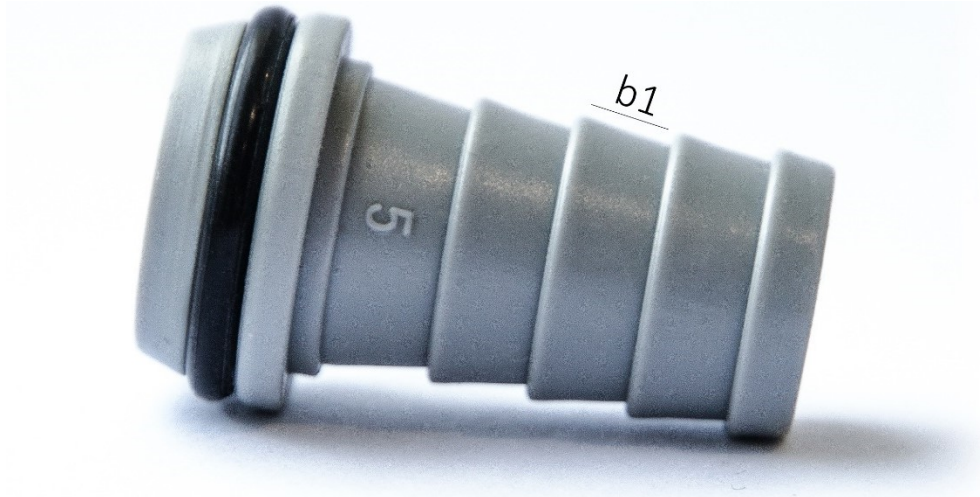
Na obrázcích č.21 a 22 jsou zaznamenány příklady vad, které byly nalezeny na některých z 3 použitých výrobků. V případě výskytu jakýchkoliv vad na plochách, které by měly být použity pro účely měření, je nutné takto znehodnocené plochy vyřadit a určit místo nich plochy náhradní.



Obrázek 22 vada

6.2 Vzorky typu B

Jako druhý výrobek pro zkoumání ploch byl zvolen hadicový adaptér. Byly opět zajištěny 3 vzorky a u každého z nich byla zkoumána a vyhodnocována jedna plocha. Tyto plochy jsou dále označovány jako plochy b1, b2, b3.



Obrázek 23 hadicový adaptér

Opět jde o vstříkovaný díl. Jakost povrchu bude tedy dána jakostí povrchu vstříkovací formy. Na výrobcích typu B byla tedy opět patrná dělicí rovina, ale u těchto vzorků nebyly přítomny žádné výrazné chyby a vady.



Obrázek 24 dělicí rovina

7 PŘÍPRAVA VZORKŮ

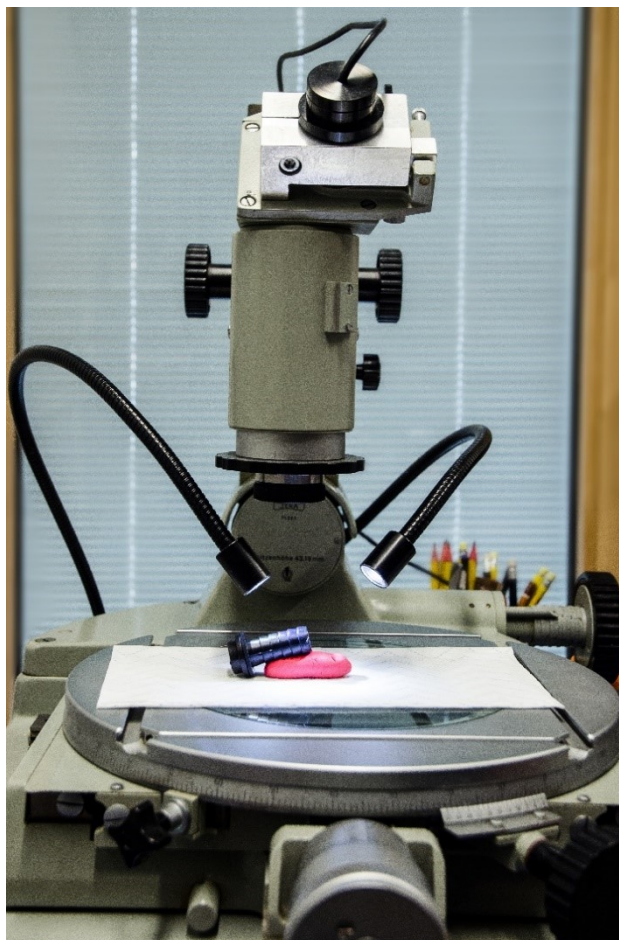
Manipulace s díly, které byly použity pro měření musí být velice opatrná a je nutné dbát na to, aby nedošlo k jejich potlučení, nebo poškrábání. Zmíněné poškození povrchu zkoumaného výrobku by mohlo vést ke zkreslení, nebo znehodnocení získaných výsledků.

Měření povrchu materiálu vyžaduje pečlivou kontrolu a očištění daného výrobku. Konkrétně plochy, která bude zkoumána. Nejdříve byly vzorky očištěny za pomoci kartáče s velice jemnými štětinami. Po očištění kartáčem následovalo odstranění nečistot a prachu pomocí vzduchového kompresoru.



Obrázek 25 čištění jemným kartáčem

Další kontrola byla provedena pod mikroskopem s okulárovou kamerou AM423B. Zvolené měřené plochy byly zkoumány na výskyt drobných škrábanců, oděrek a zbývajících nečistot, kvůli kterým by měření mohlo být ovlivněno nepříznivým způsobem.



Obrázek 26 kontrola pod mikroskopem



Obrázek 27 kontrola pod mikroskopem (detail)

8 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ

Pro měření jakosti povrchu byl využit systém Talysurf CLI, který již byl popsán výše. Tato měřicí zařízení jsou konstruována ve třech velikostech. Výsledky této práce byly pořízeny na přístroji Talysurf CLI 500.

8.1 Talysurf CLI 500

Ze tří zmiňovaných přístrojů je Talysurf CLI 500 prostorově nejúspornější. Jeho skromné rozměry jej předurčují pro měření převážně menších součástí s hmotností zhruba do 10 kg.



Obrázek 28 přístroj Talysurf CLI 500

Je navržen pro snímání jakosti a kvality povrchu, a to jak z jednoho profilu řezu (2D) tak i profilu plochy povrchu (3D). Tento přístroj je možné použít pro dotykové i bezdotykové měření povrchu, a to ve třech navzájem kolmých osách. Hlavní parametry přístroje jsou značeny v tabulce č.4.

Parametry Talysurf CLI 500	
Měřicí prostor	50 x 50 x50 mm
Délka posuvu	50 mm
Osové rozlišení	5 μm
Nosnost	10 kg
Hmotnost	55 kg
Rychlost měření	0,5; 1; 5; 10; 30 mm/s
Rozměry přístroje	500 x 310 x 450 mm

Tabulka 4 Parametry přístroje Talysurf CLI 500

Měřicí přístroj je dále vybaven programem TalyMap, také od společnosti Taylor Hobson. Tento program je schopen zobrazit měřenou strukturu povrchu vícero způsoby. Také barevně rozlišuje výšky a nabízí zvětšení celku, nebo jen určitých částí. Umožňuje vyhodnocování povrchu standardními funkcemi jako například analýza výstupků, výšek, hustota a velikost zrn, a to pro 2D i 3D měření. Práce s tímto programem je velice příjemná, rychlá a nenáročná. Jeho použití značným způsobem zjednodušuje a urychluje proces měření. Každý krok, který byl proveden je možné sledovat v procesové dokumentaci.

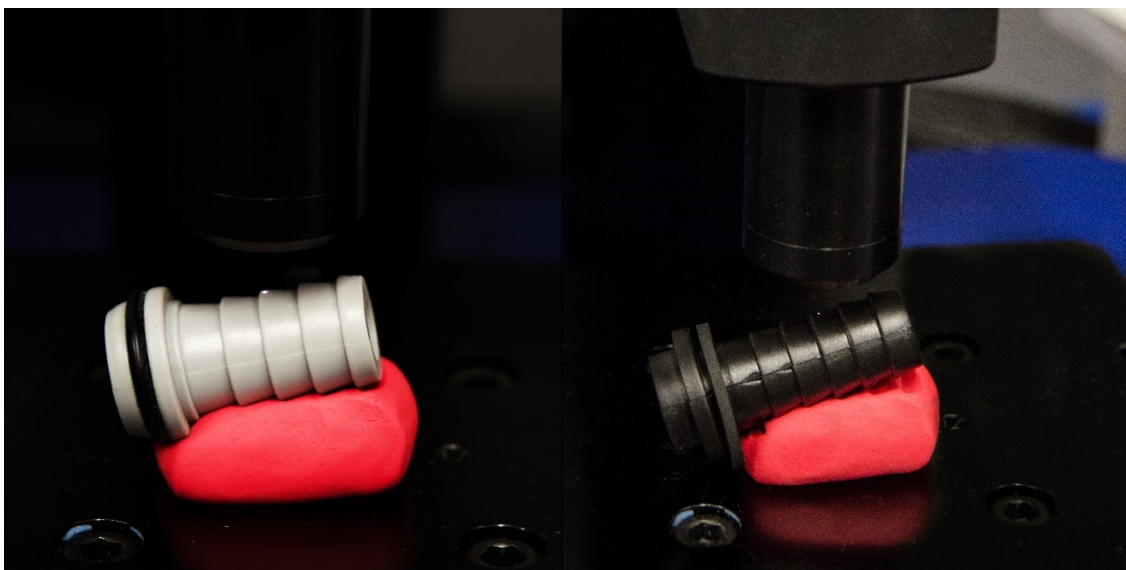
9 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

Po důkladném očištění a kontrole měřené plochy je možné začít s měřením.



Obrázek 29 snímání povrchu

Nejdříve je potřeba vzorek upevnit k základně. Pro připevnění vzorku je použito fixační hmoty. Díky této hmotě je vzorek nastaven tak, aby měřená plocha byla kolmá k ose měřicí čočky.

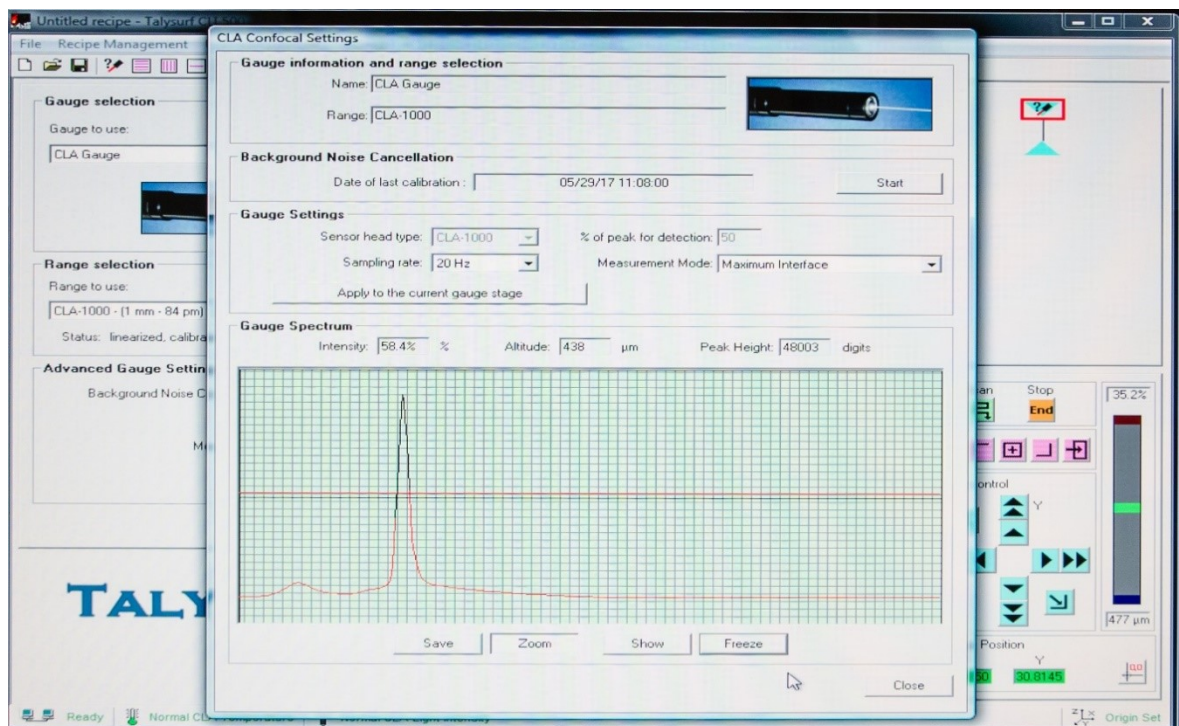


Obrázek 30 uchycení vzorků

Po upevnění vzorku byl spuštěn software. Po spuštění bylo nutné nejdříve provést automatickou kalibraci přístroje.

Dalším krokem je nastavení směru měření. Je třeba si uvědomit v jakých souřadnicích měříme, aby nedošlo k překročení hranice povrchu měřeného výrobku. V případě nastavení špatných souřadnic může měření probíhat mimo zvolenou plochu a je třeba měření opakovat se správně nastavenými souřadnicemi.

Dalším velice důležitým nastavením je odrazivost. Doporučená odrazivost by neměla klesnout pod 40 %. Je to hodnota, která je nastavována ručně a může být kontrolována jak na obrazovce, tak na hlavě měřicího přístroje. Odrazivost se mění se vzdáleností snímací čočky od povrchu zkoumaného materiálu. Nastavovaná hodnota odrazivosti v případě mých měření neklesla pod 40 %.



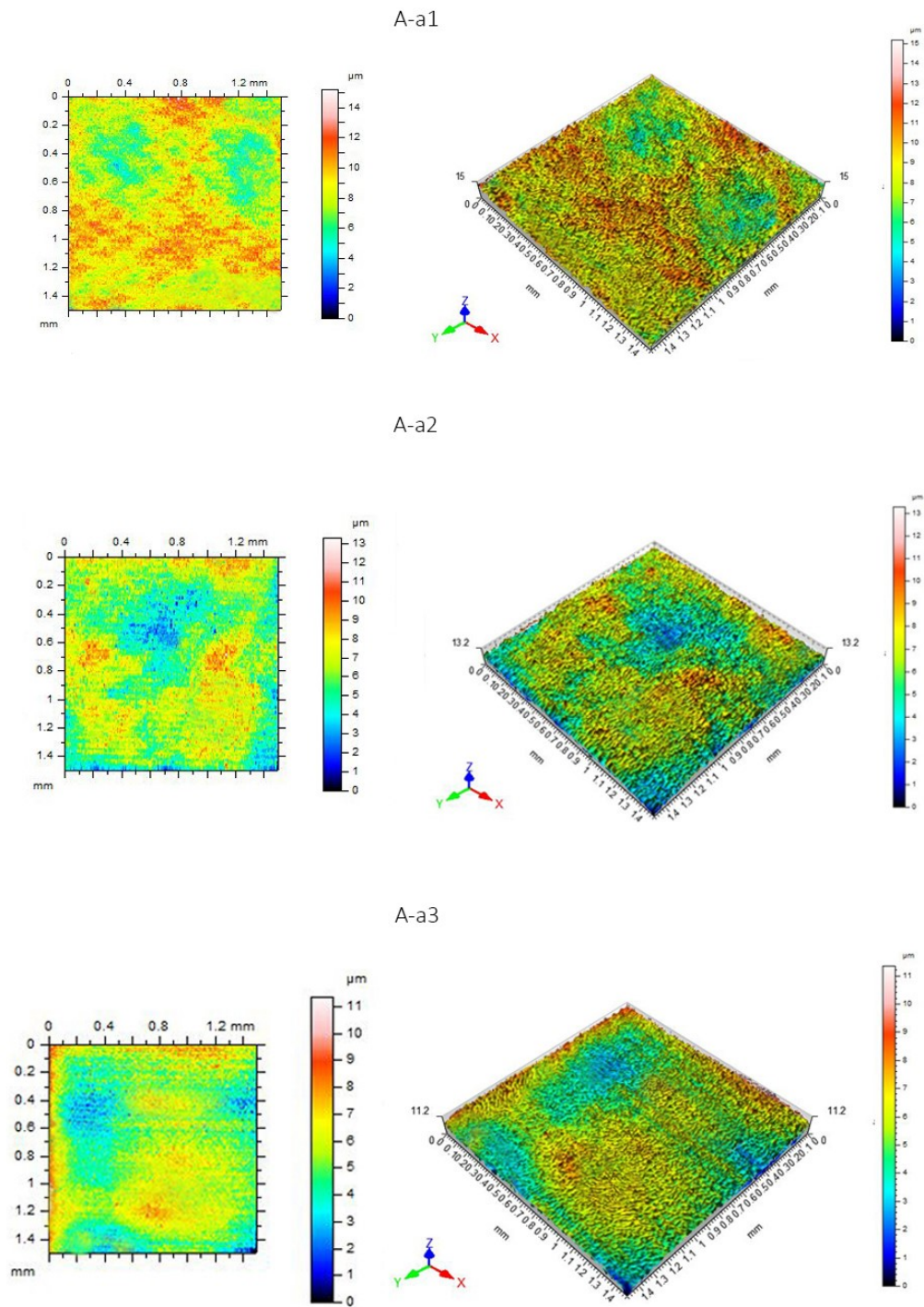
Obrázek 31 odrazivost

Poslední krok před zahájením měření je nastavení parametrů snímání. Nastavované parametry zahrnují i velikost snímací plochy. Pro všechna měření byla tedy zvolena plocha, Počet příčných a podélných řezů na snímací ploše, rychlost posuvu při snímání, rychlost posuvu při návratu.

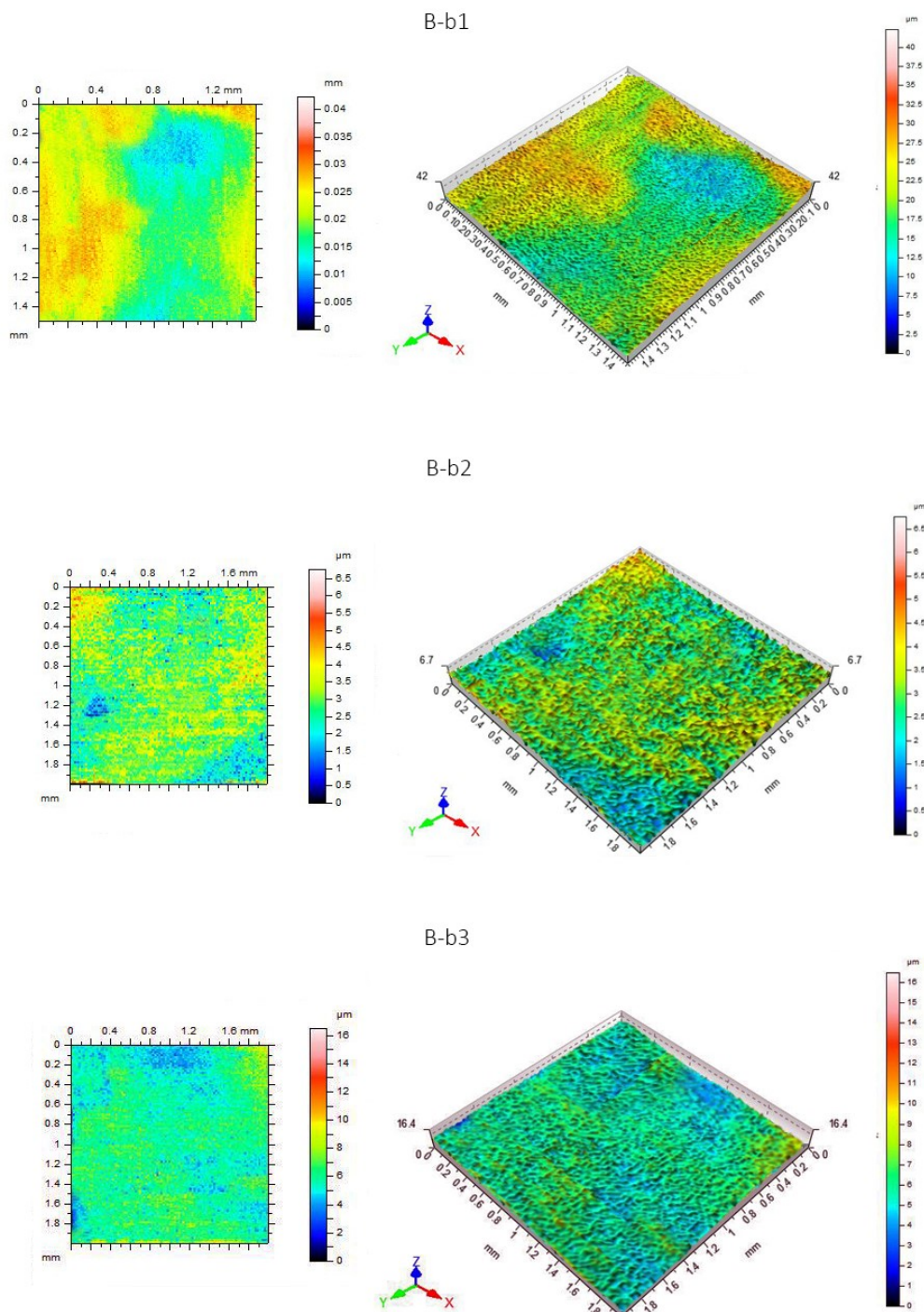
Po nastavení veškerých potřebných parametrů je možné zahájit měření zmáčknutím tlačítka SCAN.

Všechna nastavení přístroje byla totožná u každé z měřených ploch.

Následně po dokončení snímání povrchu bylo potřeba vytvořit složku v programu TalyMap. Tento pracovní soubor byl pojmenován po zkoumaném vzorku. Následným krokem bylo odstranění tvaru a poté i vlnitosti dle norem ČSN EN ISO 4287 A ČSN EN ISO 4288. Díky těmto krokům získáme vyhovující profil drsnosti. Následně mohla být vytvořena fotosimulace a program vykreslil 3D profil povrchu.



Obrázek 32 nasnímaný povrch vzorků typu A



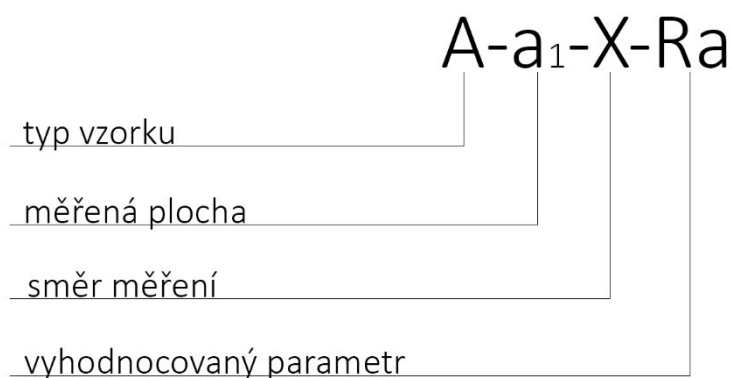
Obrázek 33 nasnímaný povrch vzorků typu B

Na obrázcích 33. a 34. jsou znázorněny plochy získané z daných vzorků a bylo jim přiděleno měřítko, osa a stupnice. Tyto plochy dále mohly být podrobeny rozboru, a to v řezu příčném i podélném. Ze získaných hodnot byly zpracovány, vyhodnocovány a porovnávány parametry R_a a R_z .

10 ZPRACOVÁNÍ A VYHODNOCENÍ DAT

Parametry R_a a R_z získány bezdotykovým měřením byly převedeny do programu excel, kde proběhlo jejich zpracování. Při převádění naměřených dat byl problém s tečkou, která byla použita jako separát, což následně Excel nebyl schopen rozpoznat. Z tohoto důvodu byl použit textový editor, ve kterém byla desetinná tečka převedena na desetinou čárku.

Dále byla naměřená data rozdělena podle typu vzorku, plochy, která byla zkoumána, zpracovávané hodnoty a směru ve kterém byla hodnota získána. Pro lepší představu je rozdělení zobrazeno na následujícím obrázku.

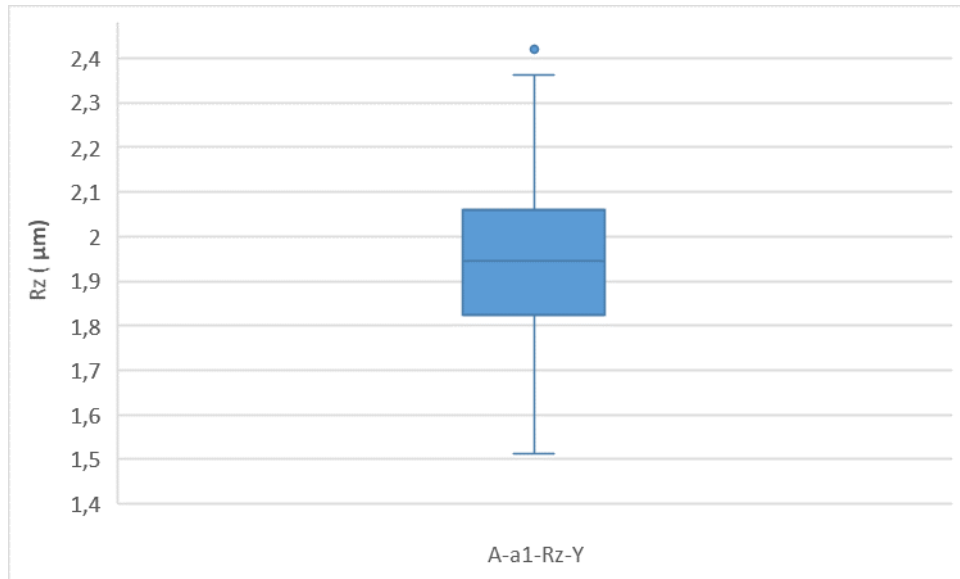


Obrázek 34 označení vzorků

10.1 Kontrola na výskyt odlehlých hodnot

Před začátkem zpracování je nutné zkontrolovat soubory dat na výskyt odlehlých hodnot. Kdyby se prokázal výskyt odlehlé hodnoty (minimální, nebo maximální) bude tato hodnota označena za hrubou chybu a ze souboru musí být vyloučena. Práce s takovou hodnotou v souboru by mohlo ovlivnit výsledky, které by se staly nereprezentovatelnými.

Pro kontrolu byly využity boxplotové (krabicové) grafy, kde by odlehlé hodnoty byly vykresleny jako body za tzv. „vousy“, což slouží k rychlé detekci těchto nežádoucích hodnot.



Obrázek 35 krabicový diagram pro odhalení odlehlých hodnot.

Na obrázku č. 34 je vyobrazen krabicový diagram pro plochu A-a1-Rz-Y. Z vytvořeného grafu je patrný výskyt odlehlé hodnoty za vrchní oblastí krabicového grafu. Tato hodnota nebyla označena za hrubou chybu a ze souboru vyřazena nebyla.

Tímto způsobem byla zkontrolována všechna data. V případě výskytu odlehlé hodnoty bylo postupováno stejně jak v reprezentativním případě. Hrubé chyby ve zkoumaných souborech nebyly přítomny což dokazuje normální rozdělení dat.

10.2 Metoda DEA

Tato metoda byla použita pro odhalení zvláštností, která by mohla naměřená data obsahovat a pro ověření jejich předpokladů. Tato metoda využívá klasických statistických metod.

V této bakalářské práci je za předpokladu normálního rozdělení dat využito výpočtů průměru, směrodatné odchylky, minima, maxima, prvního kvartilu, mediánu a druhého kvartilu pro všechna naměřená data hodnot R_a a R_z . Všechny hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Výpočet aritmetického průměru:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (8)$$

Výpočet výběrové směrodatné odchylky:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (9)$$

Tabulka 5 Statistické vyhodnocení Hodnot (A-X-Ra)

A-X-Ra			
plocha	a1	a2	a3
průměr [μm]	0,213	0,195	0,191
směrodatná odchylka [μm]	0,012	0,020	0,014
minimum [μm]	0,188	0,149	0,164
první kvartil [μm]	0,204	0,181	0,182
medián [μm]	0,212	0,194	0,190
třetí kvartil [μm]	0,219	0,209	0,199
maximum [μm]	0,241	0,247	0,224

Tabulka 6 Statistické vyhodnocení hodnot (A-Y-Ra)

A-Y-Ra			
plocha	a1	a2	a3
průměr [μm]	0,175	0,205	0,161
směrodatná odchylka [μm]	0,023	0,024	0,021
minimum [μm]	0,130	0,149	0,117
první kvartil [μm]	0,159	0,186	0,146
medián [μm]	0,171	0,204	0,158
třetí kvartil [μm]	0,187	0,221	0,175
maximum [μm]	0,229	0,274	0,213

Tabulka 7 Statistické vyhodnocení hodnot (A-X-Rz)

A-X-Rz			
plocha	a1	a2	a3
průměr [μm]	1,858	2,143	1,979
směrodatná odchylka [μm]	0,122	0,220	0,228
minimum [μm]	1,579	1,680	1,511
první kvartil [μm]	1,782	1,958	1,799
medián [μm]	1,854	2,165	1,971
třetí kvartil [μm]	1,993	2,300	2,129
maximum [μm]	2,149	2,680	2,626

Tabulka 8 Statistické vyhodnocení hodnot (A-Y-Rz)

A-X-Rz			
plocha	a1	a2	a3
průměr [μm]	1,944	2,135	2,030
směrodatná odchylka [μm]	0,181	0,221	0,193
minimum [μm]	1,514	1,650	1,545
první kvartil [μm]	1,823	1,968	1,898
medián [μm]	1,945	2,140	2,027
třetí kvartil [μm]	2,048	2,305	2,157
maximum [μm]	2,362	2,630	2,530

Tabulka 9 Statistické vyhodnocení hodnot (B-X-Ra)

B-X-Ra			
plocha	b1	b2	b3
průměr [μm]	0,193	0,194	0,181
směrodatná odchylka [μm]	0,023	0,022	0,021
minimum [μm]	0,143	0,145	0,133
první kvartil [μm]	0,177	0,176	0,164
medián [μm]	0,192	0,194	0,182
třetí kvartil [μm]	0,206	0,210	0,197
maximum [μm]	0,250	0,261	0,230

Tabulka 10 Statistické vyhodnocení hodnot (B-Y-Ra)

B-Y-Ra			
plocha	b1	b2	b3
průměr [μm]	0,194	0,204	0,195
směrodatná odchylka [μm]	0,020	0,026	0,023
minimum [μm]	0,147	0,153	0,153
první kvartil [μm]	0,179	0,185	0,177
medián [μm]	0,192	0,200	0,188
třetí kvartil [μm]	0,207	0,226	0,214
maximum [μm]	0,249	0,274	0,262

Tabulka 11 Statistické vyhodnocení hodnot (B-X-Rz)

B-X-Rz			
plocha	b1	b2	b3
průměr [μm]	1,872	1,659	1,655
směrodatná odchylka [μm]	0,643	0,174	0,177
minimum [μm]	0,720	1,240	1,236
první kvartil [μm]	1,335	1,520	1,515
medián [μm]	1,815	1,670	1,666
třetí kvartil [μm]	2,328	1,770	1,762
maximum [μm]	3,680	2,060	2,056

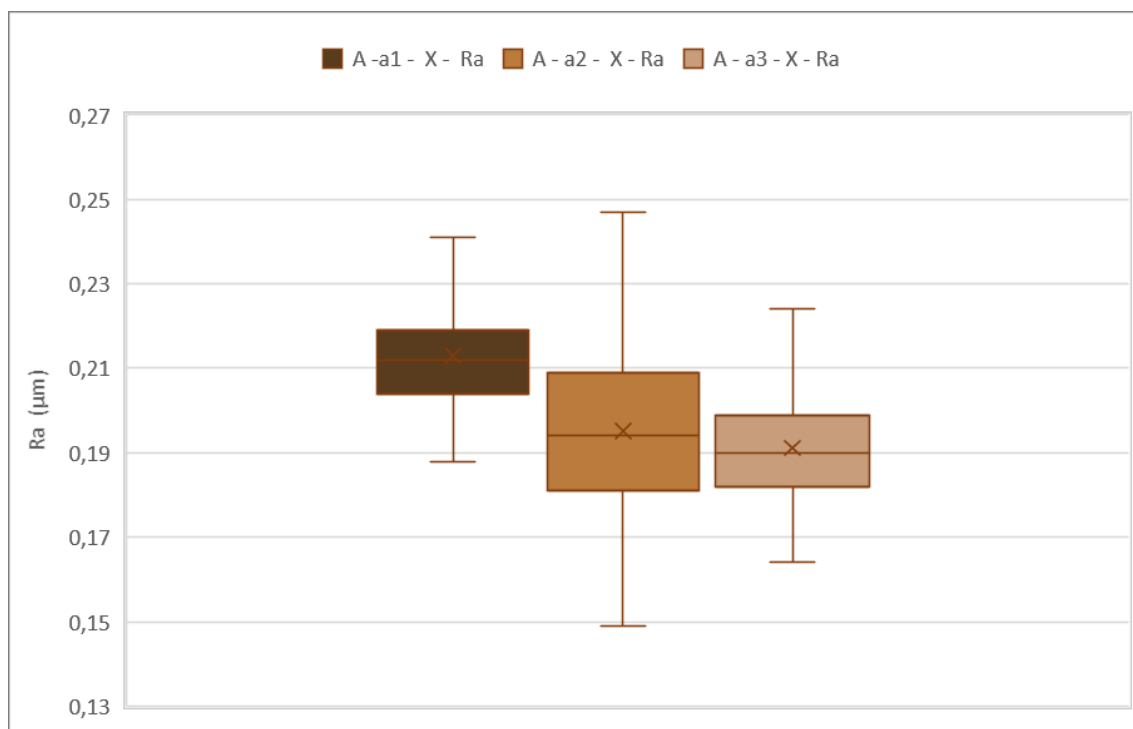
Tabulka 12 Statistické vyhodnocení hodnot (B-Y-Rz)

B-Y-Rz			
plocha	b1	b2	b3
průměr [μm]	1,798	1,780	1,649
směrodatná odchylka [μm]	0,572	0,167	0,167
minimum [μm]	0,318	1,421	1,290
první kvartil [μm]	1,388	1,661	1,530
medián [μm]	1,758	1,791	1,660
třetí kvartil [μm]	2,216	1,886	1,755
maximum [μm]	3,148	2,161	2,030

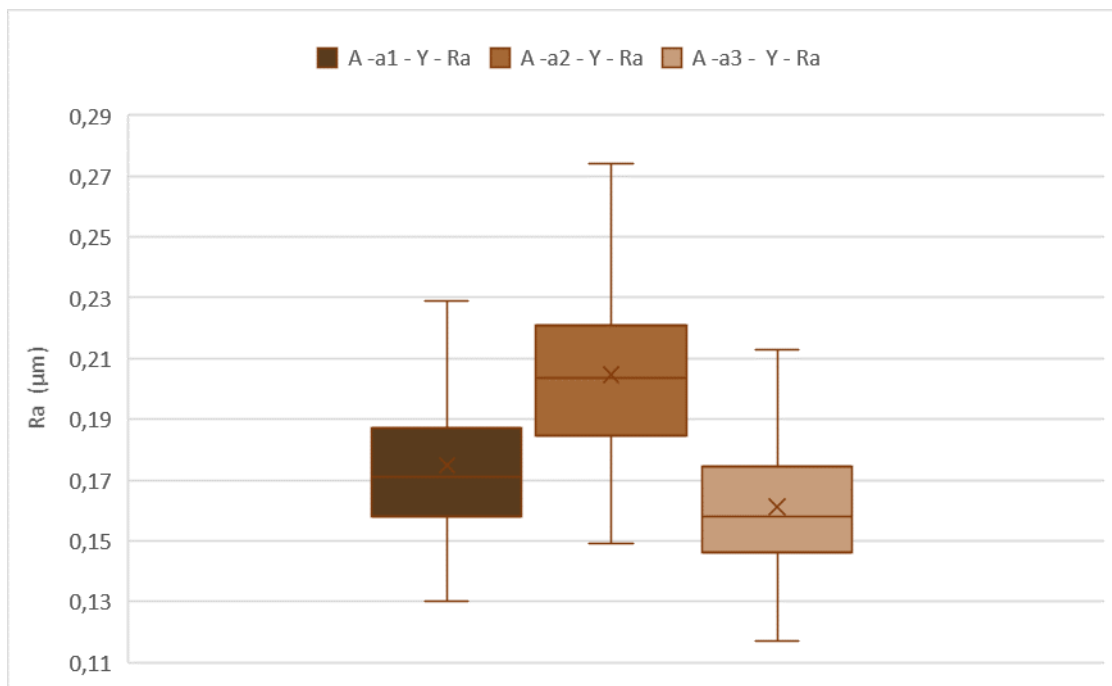
10.3 Grafy

Jako první byly pomocí naměřených hodnot opět sestaveny krabicové grafy, které byly v prvním případě použity k odhalení odlehklých hodnot. V tomto případě jsou grafy použity za účelem srovnání dat a jejich vizualizace. Tento typ grafů pracuje na principu kvartilů, kdy střední část je ohraničena prvním a třetím kvantilem. Ve střední části grafu se pak dále vyskytuje příčka, která znázorňuje medián. Dále grafy obsahují tzv. „vousy“, které nám pomáhají k představě o variabilitě dat pod prvním kvantilem a pod třetím kvantilem. Krom bodů, které znázorňují již zmiňované odlehklé hodnoty zde lze nalézt i křížek, který bude zobrazovat aritmetický průměr hodnot.

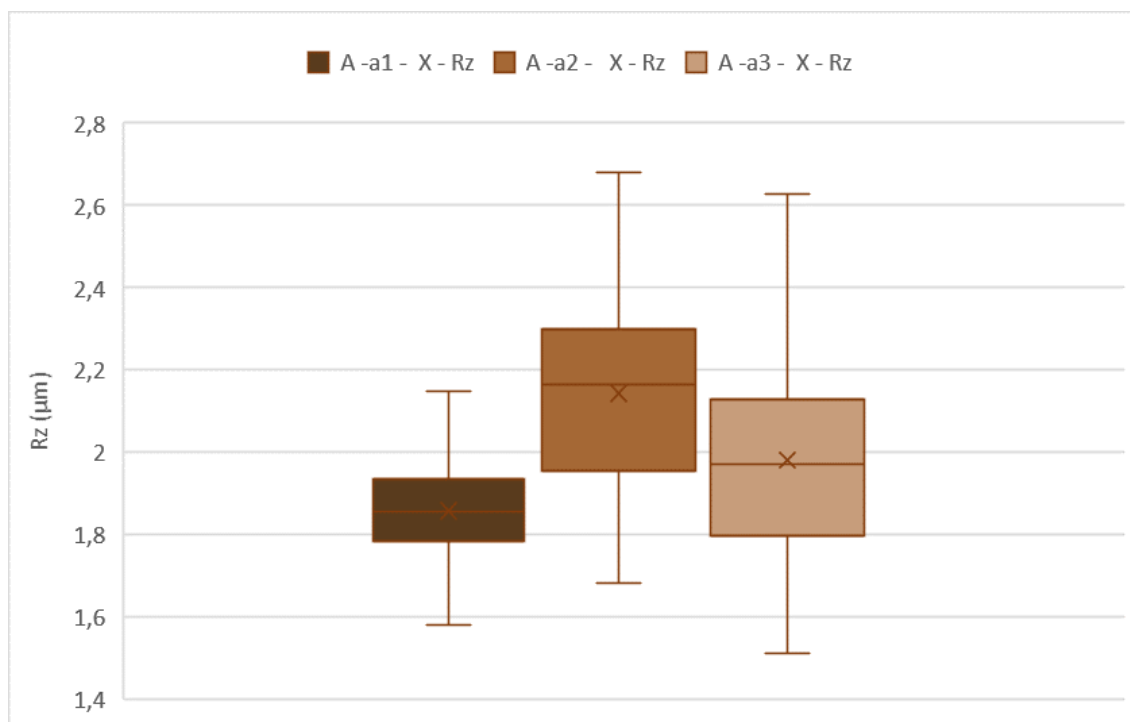
V následujících grafech jsou srovnávány hodnoty jednoho typu vzorku pro konkrétní parametr v ose, ze které byly hodnoty získány. Pro lepší představu, krabicový graf na obrázku č. 35 je sestavený z hodnot naměřených pro vzorek typu A, parametr Ra a v ose X.



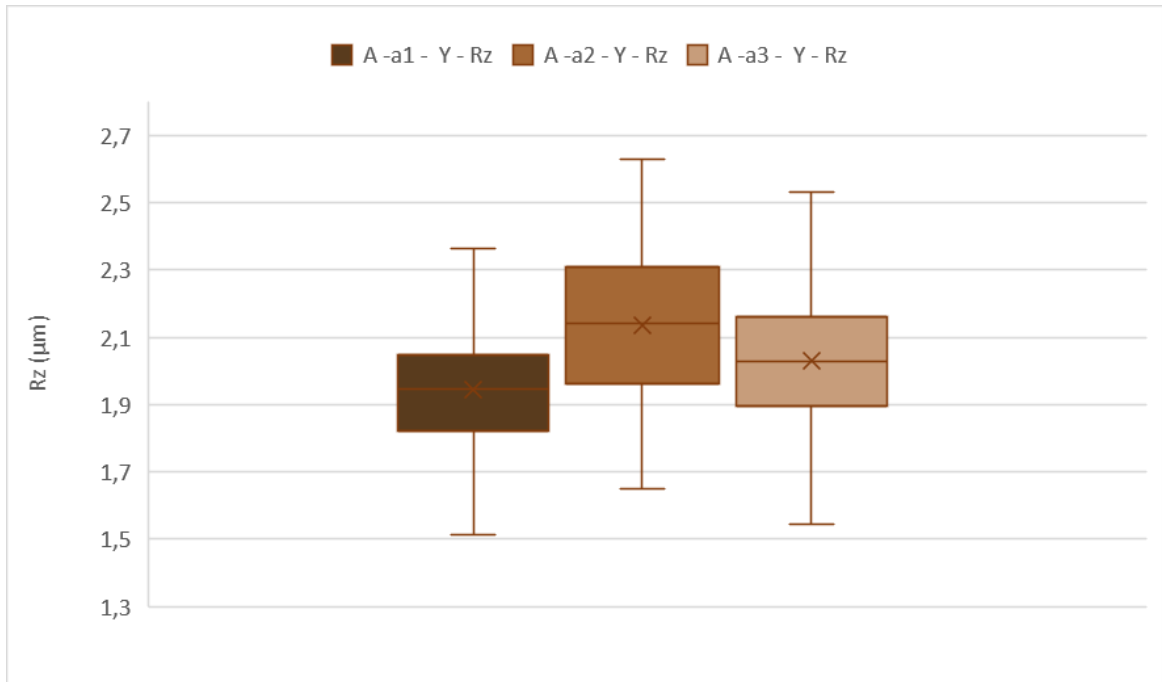
Obrázek 36 Krabicový graf (A-X-Ra)



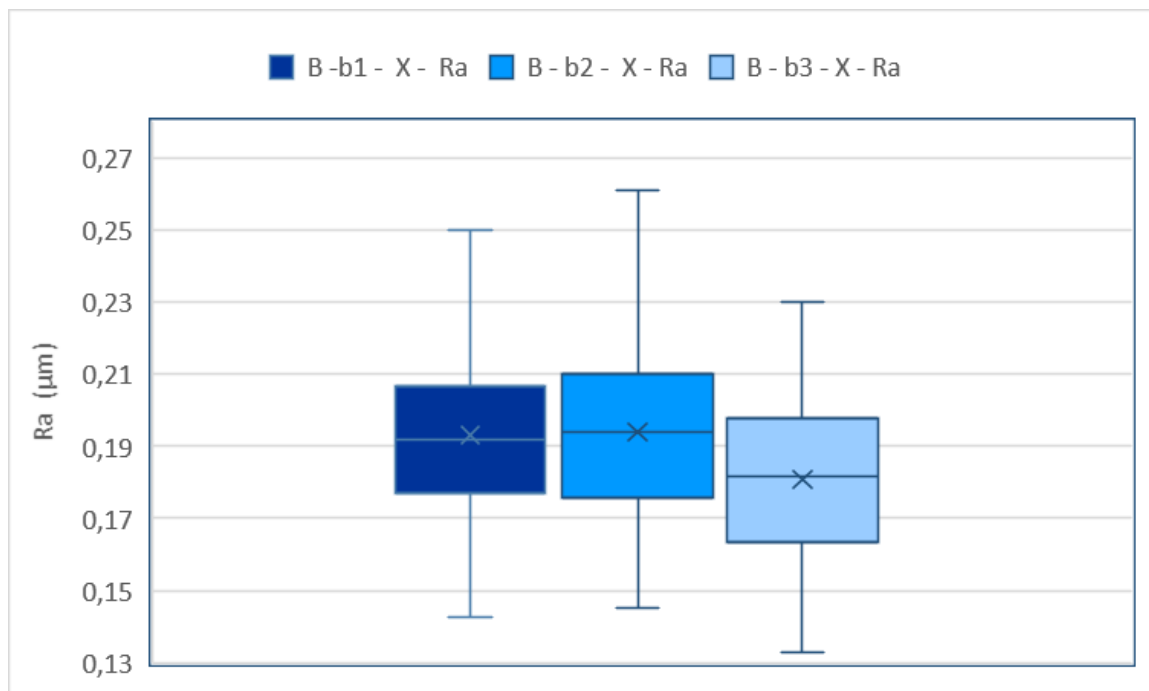
Obrázek 37 Krabicový graf (A-Y-Ra)



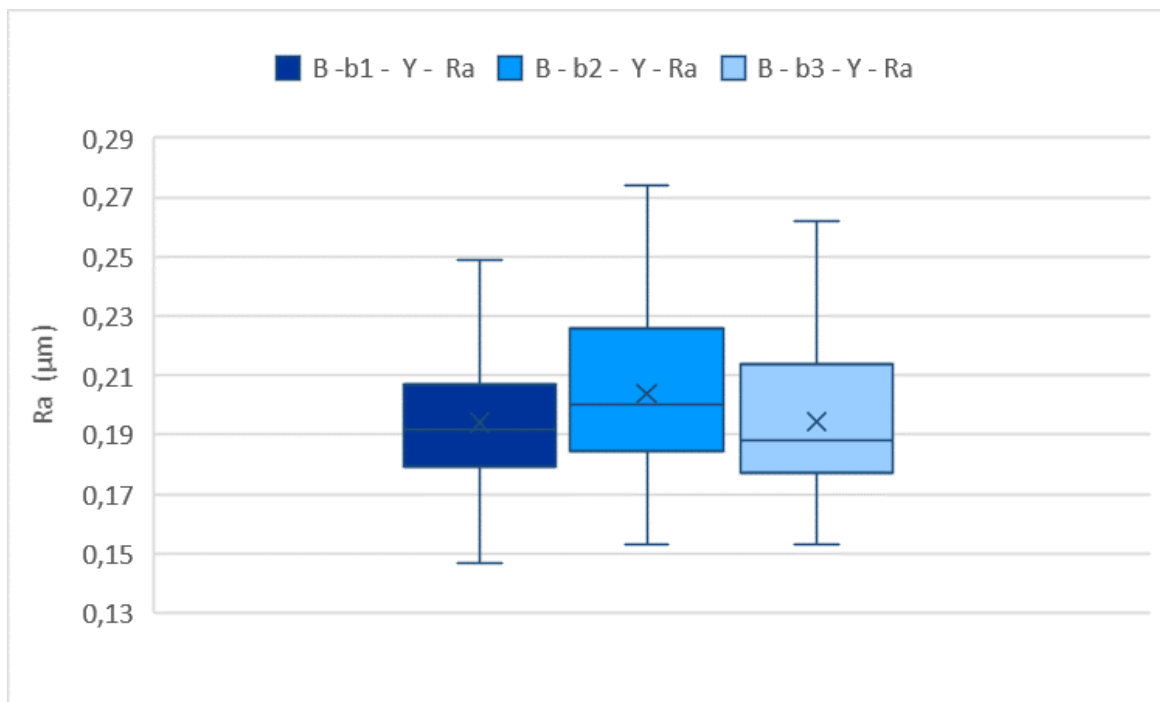
Obrázek 38 Krabicový graf (A-X-Rz)



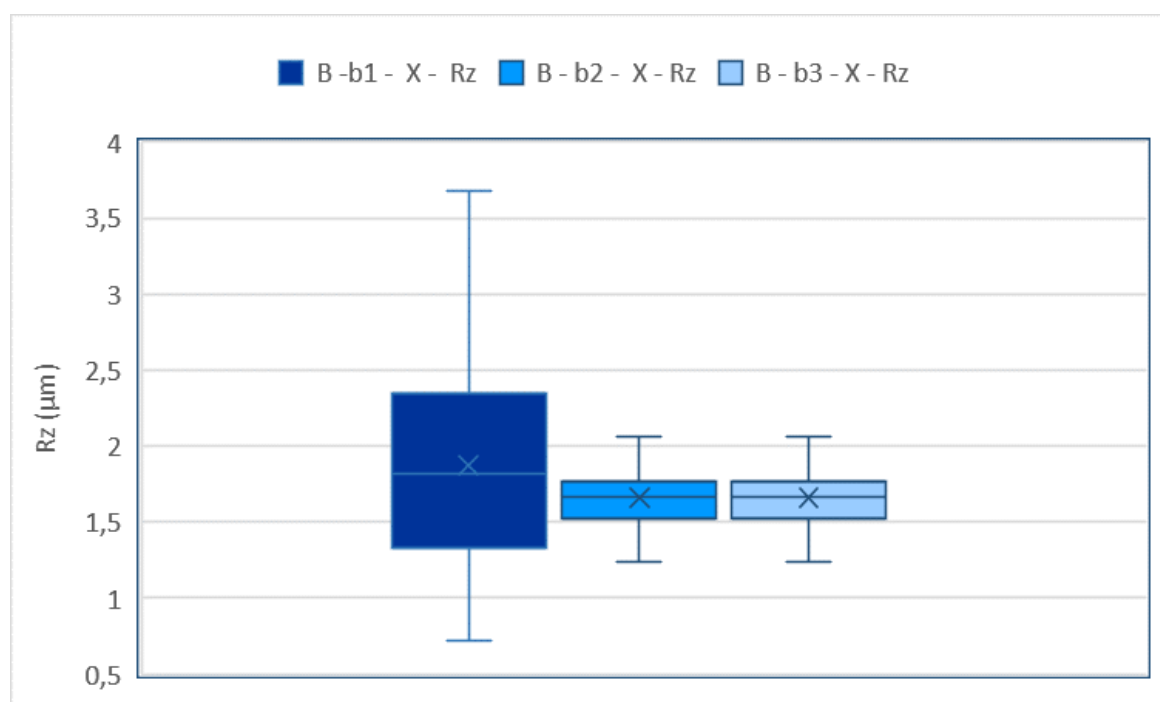
Obrázek 39 Krabicový graf (A-Y-Rz)



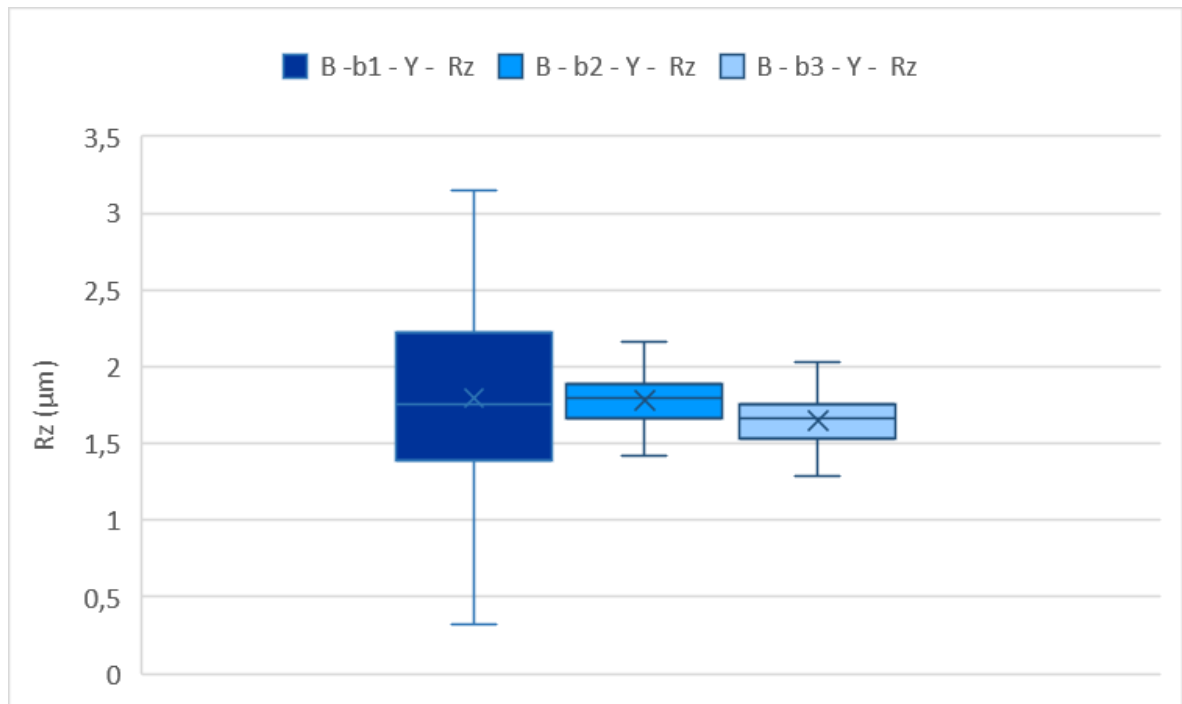
Obrázek 40 Krabicový graf (B-X-Ra)



Obrázek 41 Krabicový graf (B-Y-Ra)



Obrázek 42 Krabicový graf (B-X-Rz)



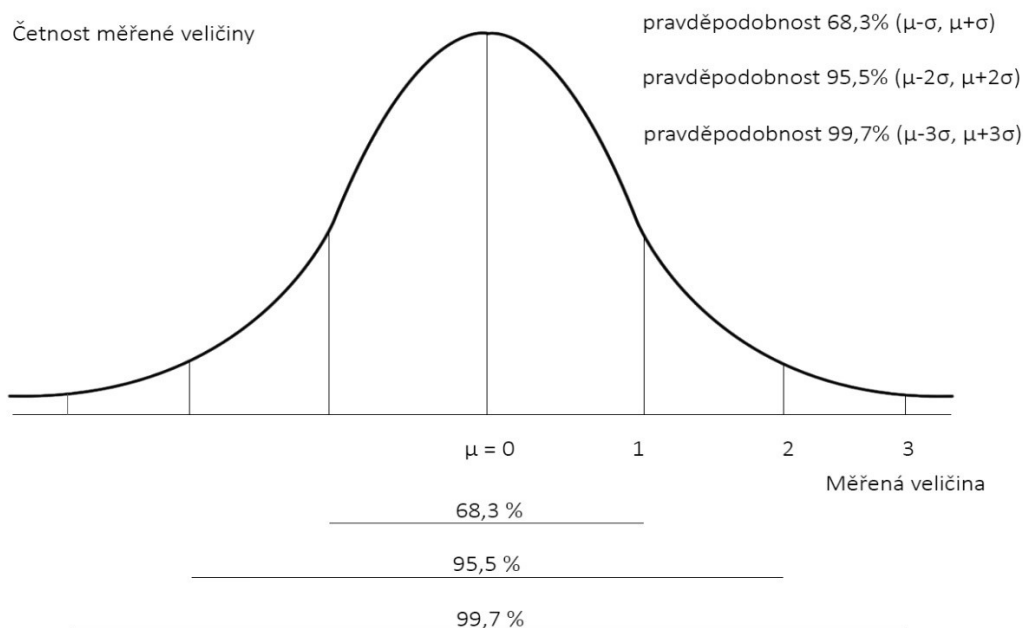
Obrázek 43 Krabicový graf (B-Y-Rz)

Z krabicových diagramů, které byly vytvořeny ze získaných dat je patrný největší rozdíl u vzorků typu B, konkrétně plochy b1 pro hodnoty Rz jak v ose X, tak i v ose Y. Z daných grafů je pro tyto hodnoty patrný největší rozptyl a šikmost hodnot, zatím co hodnoty B-b2-Y-Rz, B-b3-Y-Rz, B-b2-X-Rz, B-b3-X-Rz vykazují rozptyl nejmenší. I přes tuhle skutečnost jsou rozdíly průměru a mediánů relativně malé.

10.4 Porovnání pomoci Gaussovy křivky

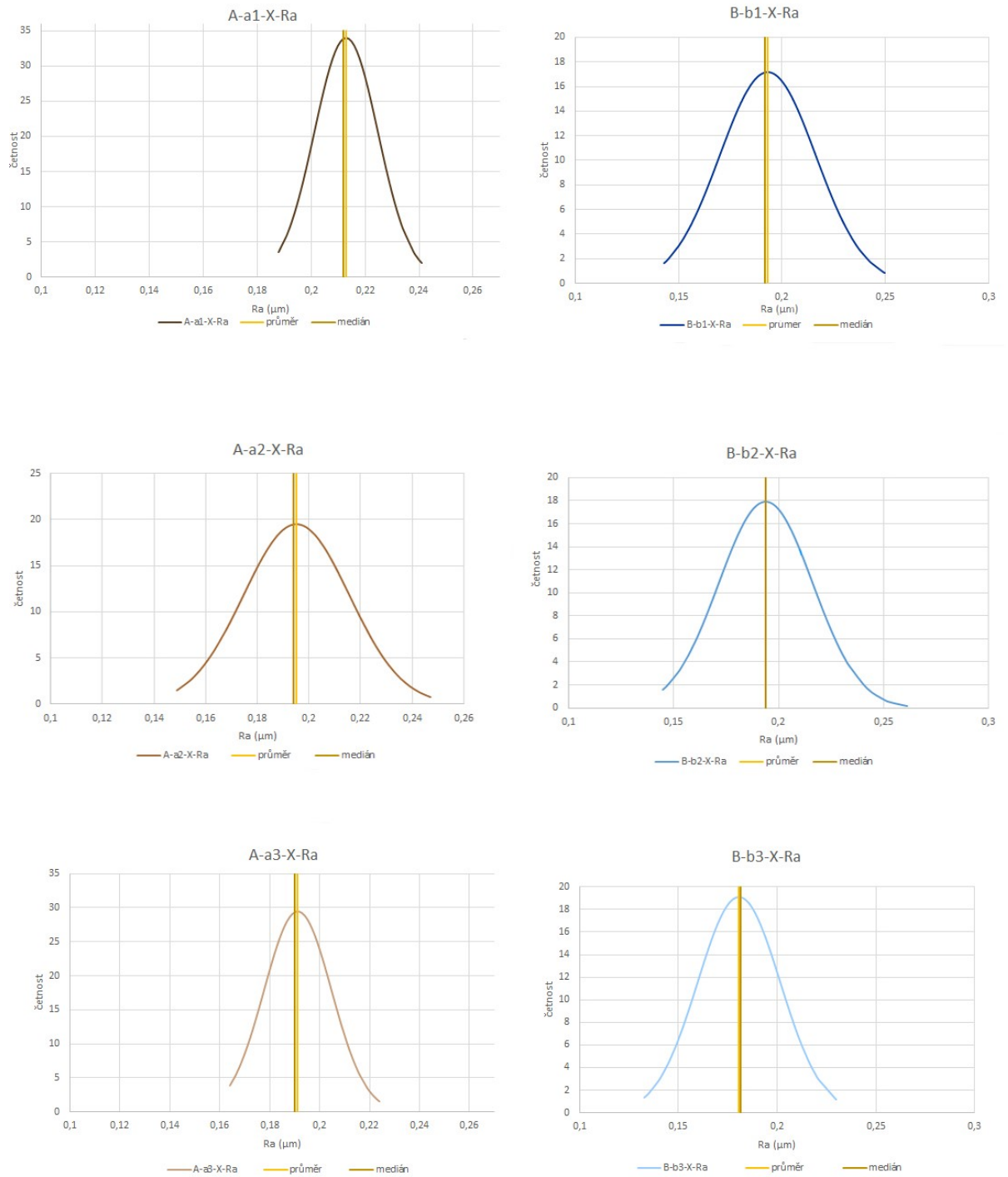
Normální nebo taky Gaussovo rozdělení je považováno za jedno z nejdůležitějších rozdělení spojitého typu. Gaussova křivka je sestavena za pomoci průměru a směrodatné odchylky, kdy každá křivka má vždy jedno maximum, které představuje i průměrnou hodnotu daného souboru dat. Gaussova křivka nám ukazuje, že většina hodnot, které budou naměřeny se budou pohybovat v blízkém okolí průměrné hodnoty a čím vzdálenější budou tyto hodnoty od hodnoty průměrné, tím více bude klesat jejich četnost. Tedy pravděpodobnost výskytu dat ve střední části grafu je mnohem větší než při jejich okrajích. Tento předpoklad platí pro hodnoty, které jsou větší než hodnota průměrná stejně tak jako pro hodnoty menší. Gaussova křivka je tedy symetrická na obě strany a postupně klesá a s klesající četností s^2 se zvětšuje její špičatost.

V následujícím obrázku je znázorněna obecná Gaussova křivka, kde je znázorněna klesající pravděpodobnost výskytu dat v procentech, směrem od středu křivky.

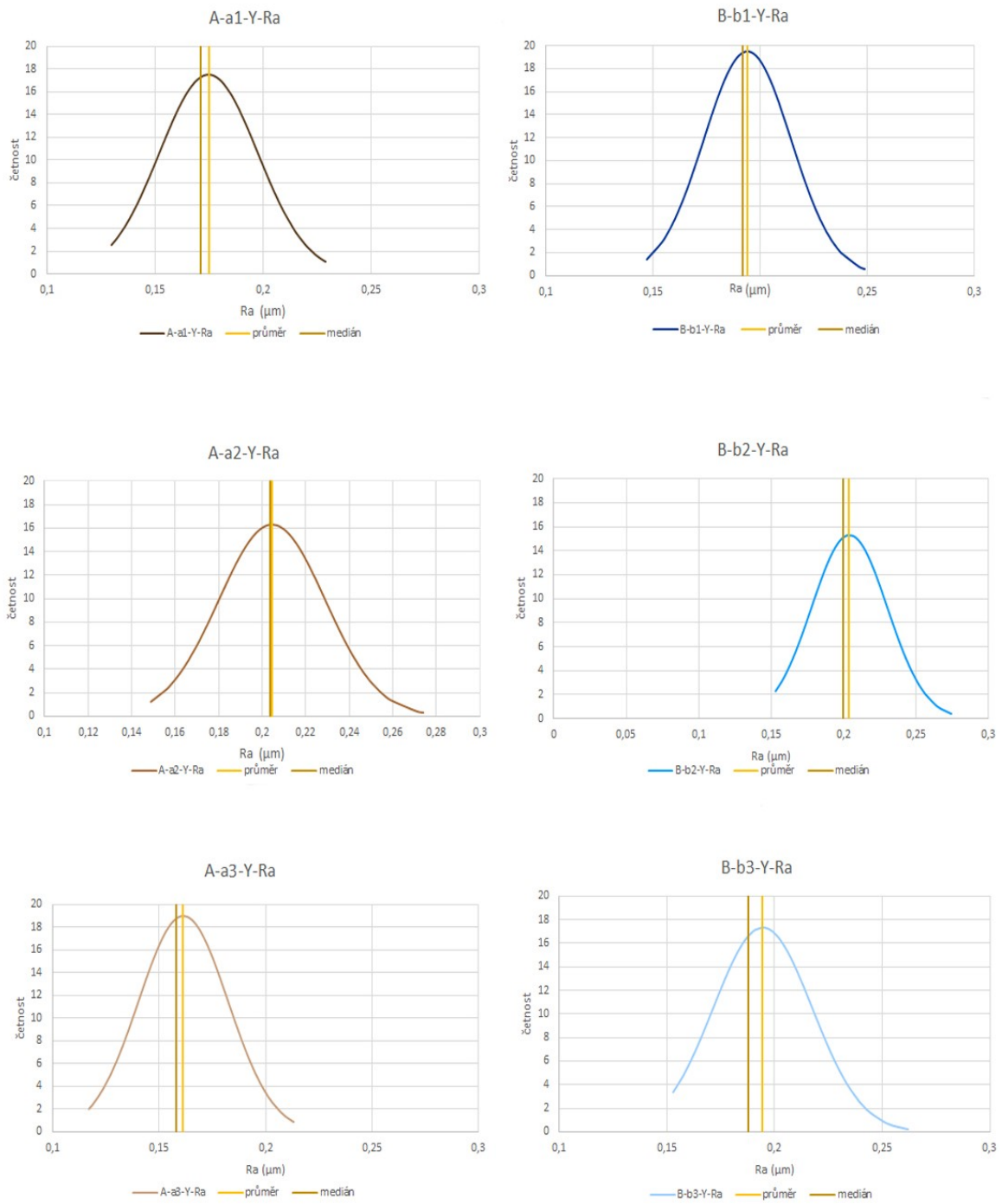


Obrázek 44 Obecná Gaussova křivka

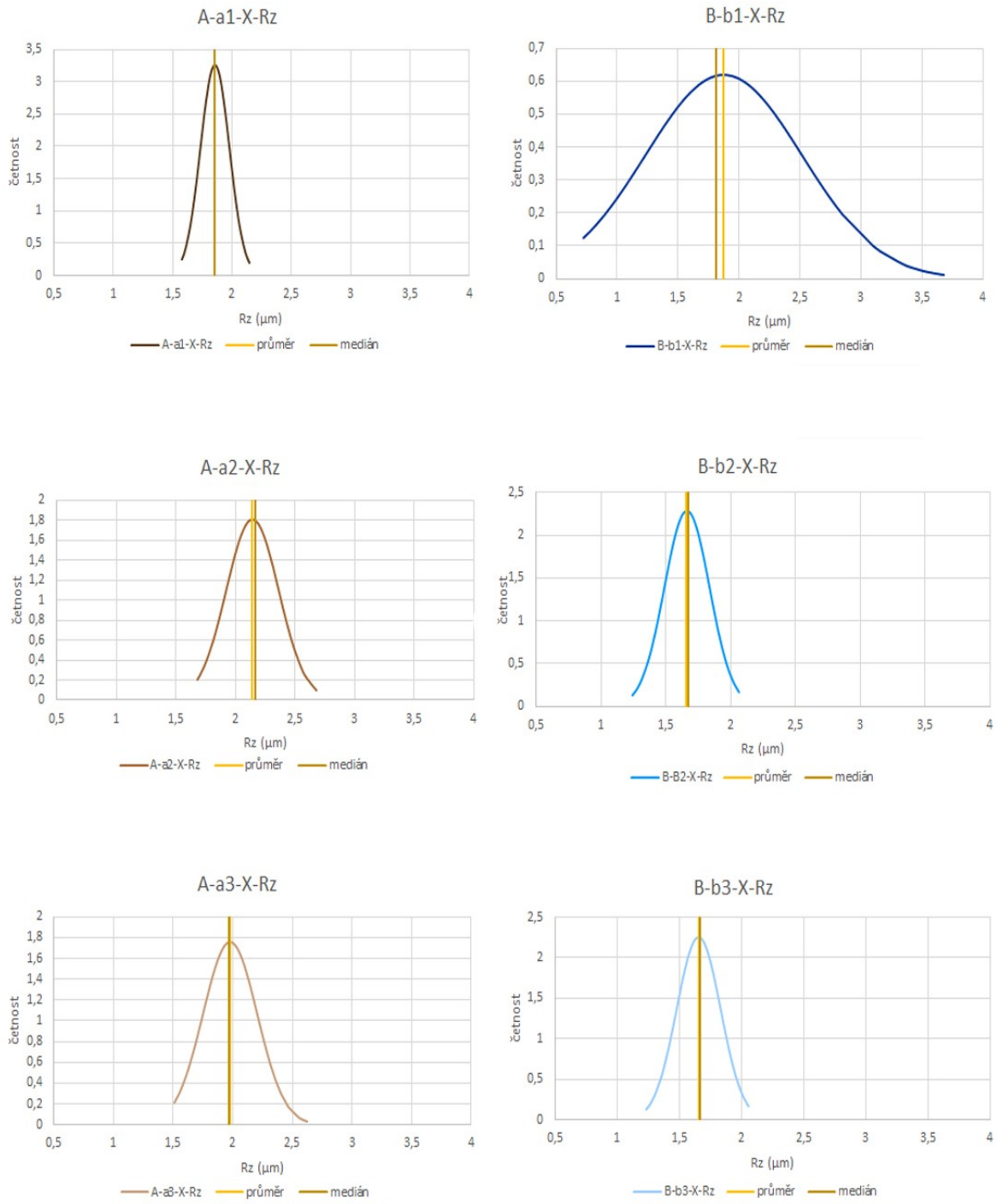
V následujících grafech jsou porovnávány výsledky měření mezi výrobky typu A a B. Pro všechna data R_a a R_z v osách X a Y jsou vytvořeny grafy, a jsou zde znázorněny průměry a mediány. Na základě těchto grafů je následně snadné vyhodnotit a porovnat rozdíly mezi všemi soubory.



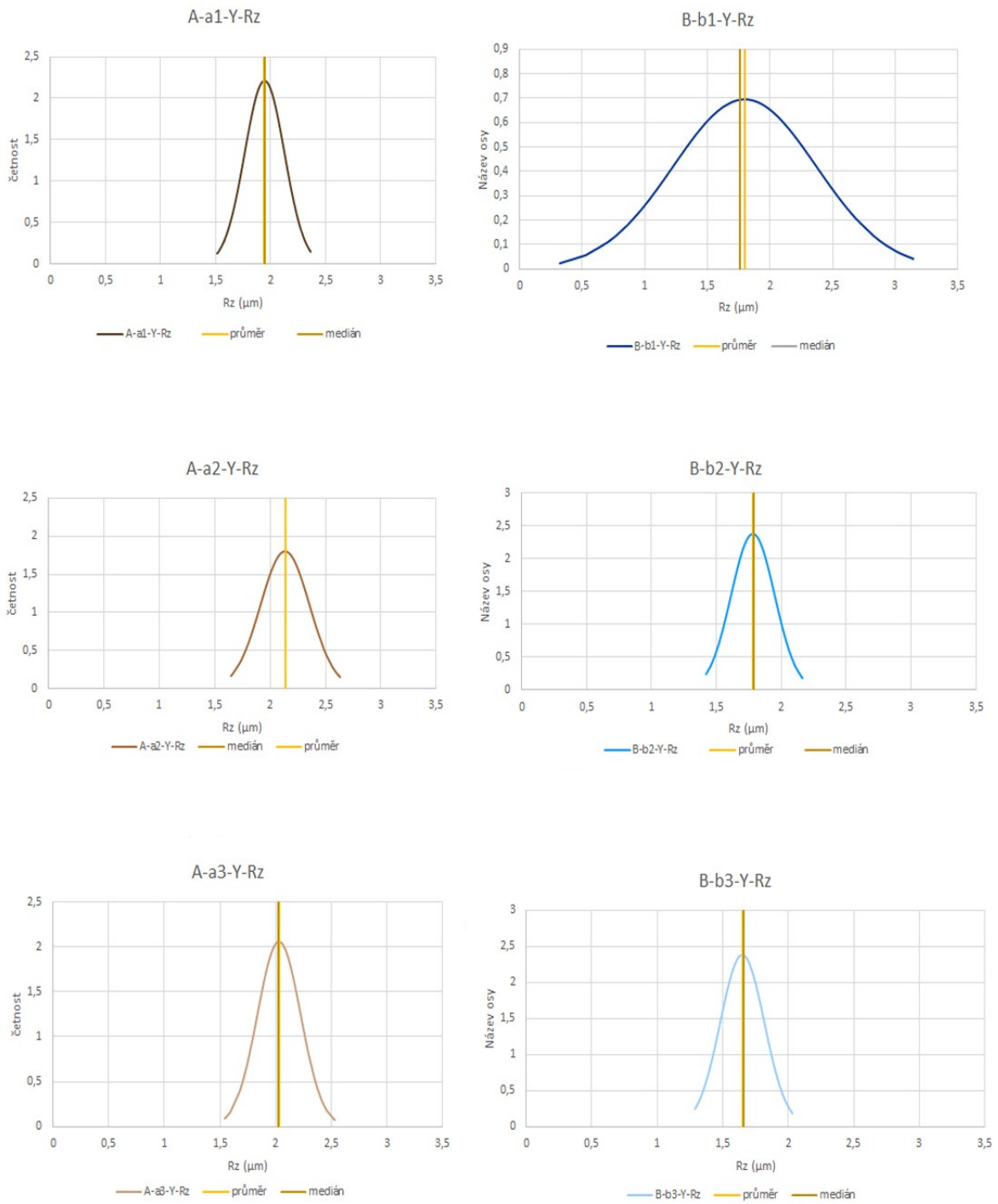
Obrázek 45 Gaussovo porovnání (X-Ra)



Obrázek 46 Gaussovo porovnání (Y-Ra)



Obrázek 47 Gaussovo porovnání (X-Rz)



Obrázek 48 Gaussovo porovnání (Y-Rz)

ZÁVĚR

Teoretická část bakalářské práce se zaměřovala na problematiku spjatou s měřením a hodnocením kvality povrchu. V první řadě byla charakterizována jakost a drsnost povrchu s následným uvedením norem, zabývajících se měřením a hodnocením kvality povrchu. Spolu s normami jsou zde popsány i parametry, které kvalitu povrchu blíže specifikují. Dále pak byly popsány způsoby měření kvality povrchu bezkontaktním způsobem, přístroje pro měření jakosti povrchu od společnosti Taylor Hobson, chyby měření, homogenní a nehomogenní povrchy.

Praktická část se zabývala měřením jakosti homogenních (stejnorodých) povrchů, kde jako homogenní povrchy byly vybrány součástky vyrobeny z polymeru, konkrétně z HDPE (vysokohustotní polyethylen). Jsou zde zobrazeny a popsány použité vzorky, konkrétně dva typy vzorků uváděných jako vzorky typu A a B. Krom popisu a označení vzorků je zde také uveden přístroj, na kterém měření probíhalo, nebo také znázorněna příprava a postup měření. Pro zpracování výsledků měření byly vybrány hodnoty R_a a R_z , získané v osách X a Y u každé zkoumané plochy.

Při vyhodnocování byly nejdříve soubory dat vyšetřeny na výskyt odlehlých hodnot. Pro odhalení byly použity krabicové grafy, které usnadnily stanovení výskytu odlehlých hodnot jak maximálních, tak i minimálních.

Po vyšetření dat na výskyt odlehlých hodnot v prvním kroku, byly do tabulek uvedeny základní parametry souborů dat zahrnující průměr, směrodatnou odchylku, minimum, první kvartil, medián, třetí kvartil a maximum. Z těchto tabulek je patrné, že hodnoty R_a se u vzorků typu A a B příliš neliší, zatím co hodnoty R_z vycházejí nižší u všech ploch vzorků typu B.

Jako další vyhodnocení byly zvoleny krabicové grafy a Gaussova křivka. Z obou typů grafů je patrné, že největší rozptyl hodnot byl zjištěn u plochy B-b1- R_z jak v ose X, tak i v ose Y. Na druhou stranu B-b2- R_z a B-b3- R_z v osách X i Y vykazují rozptyl nejmenší. Dále pak je patrný minimální rozdíl průměrů a mediánů, které jsou v Gaussových grafech znázorněny jednotlivými přímkami odlišenými barvami, kde se tyto přímky ve většině případů překrývají. U krabicových grafů, kde průměr je znázorněn řížkem a medián vodorovnou přímkou jsou také patrný minimální rozdíly těchto hodnot.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HOLEŠOVSKÝ, František. Jakost obráběných povrchů. první. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně, 2003. 179 s. ISBN 80-7044-539-4.
- [2] BUMBÁLEK, Bohumil, Vladimír OBVODY a Bohuslav OŠTÁDAL. Drsnost povrchu. 1. vyd. Praha: SNTL, 1989, 338 s.
- [3] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [4] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu..* Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [5] ČSN EN ISO 25178-2. *Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [6] WHITEHOUSE, D. Surfaces and their measurement. London: HPS, 2002, xi, 395 p. ISBN 978-80-7300-249-7.
- [7] Bumbálek, L. a kol. Kontrola a měření. Informatorium, spol. s r.o. Praha, 2009. ISBN 978-80-7333-072-9
- [8] Měření drsnosti povrchu [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z WWW: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1103>
- [9] NOVÁK, Zdeněk. Prostorové měření a hodnocení textury povrchu přístroji Taylor Hobson Ltd. [online]. [cit. 2020-01-30] dostupné z: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf
- [10] Talysurf CLI: 3DSurface Profiling Systems. [online]. [cit. 2020.01.30]. Dostupné z: http://www.f-di.hu/cli_systems.pdf
- [11] SCHOVÁNEK, Petr a Vítězslav HAVRÁNEK. Chyby a nejistoty měření. [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/pext2-nejistoty.pdf>
- [12] NĚMEČEK, Jiří. Mikrostruktura heterogenních materiálů a její popis. [online]. [cit. 2020-01-30]. Dostupné z: http://ksm.fsv.cvut.cz/~nemecek/teaching/dmpo/lectures/D32MPO_01.pdf

- [13] HLUCHÝ, M. MODRÁČEK, O. PAŇÁK, R. (2002) Strojírenská technologie 1. Metalografie a tepelné zpracování. Praha Scientia [cit. 2020-04-11].
- [14] MELOUN, Milan a Jiří Militký. Kompendium statistického zpracování dat. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621968.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

2D	[-]	Dvourozměrný prostor
3D	[-]	Trojrozměrný prostor
ČSN	[-]	Česká státní norma
EN	[-]	Evropská norma
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro normalizaci
A	[mm ²]	Určená plocha
lr	[mm]	Základní délka profilu drsnosti
ln	[mm]	Vyhodnocovaná délka profilu drsnosti
lt	[mm]	Celková délka snímání
n	[-]	Počet základních délek
Pa	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Pc	[μm]	Průměrná výška profilu
Pmr(c)	[%]	Materiálový poměr profilu
Pp	[μm]	Největší výška výstupku profilu
Pq	[μm]	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
Pv	[μm]	Největší hloubka profilu
Pz	[μm]	Největší výška profilu
Ra	[μm]	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rc	[μm]	Průměrná výška prvku profilu
Rku	[μm]	Špičatost posuzovaného profilu
Rmr	[%]	Materiálový poměr profilu
Rp	[μm]	Největší výška profilu
Rq	[μm]	Průměrná kvadratická úchylka profilu
Rsm	[μmm]	Průměrná šířka prvků profilu

Rv	[μm]	Největší prohlubeň profilu
Rt	[μm]	Celková výška profilu
Rz	[μm]	Největší výška profilu
Wc	[μm]	Průměrná výška prvků profilu
Wmr(c)	[%]	Materiálový poměr profilu
Wp	[μm]	Největší výška výstupku profilu
Wq	[μm]	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
Wv	[μm]	Největší hloubka profilu
X, Y, Z	[-]	Osy v daných směrech
Zp	[μm]	Výška výstupku profilu
Zt	[μm]	Výška prvku profilu
Zv	[μm]	Hloubka prohlubně profilu
Sa	[μm]	Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu
Sq	[μm]	Základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu
Sz	[μm]	Maximální výška omezené stupnice povrchu
Ssk	[μm]	Šikmost omezené stupnice povrchu
Sku	[μm]	Špičatost omezené stupnice povrchu
\bar{x}	[-]	Aritmetický průměr
s	[-]	Směrodatná odchylka
s^2	[-]	Rozptyl
Xs	[μm]	Šířka prvku profilu
Zp	[μm]	Výška výstupku profilu
Zt	[μm]	Výška prvku profilu
Zv	[μm]	Hloubka prohlubně profilu
δt	[-]	Relativní přírůstek

Δy_t	[-]	Absolutní přírůstek
L_c	[μm]	Rozhraní mezi drsností a vlnitostí
L_f	[μm]	Rozhraní pro povrch a vlnitost
L_s	[μm]	Rozhraní pro povrch a drsnost
n	[-]	Počet měření
λ_s	[mm]	Vlnová délka vymežující povrch a drsnost
λ_c	[mm]	Vlnová délka vymežující drsnost a vlnitost
λ_f	[mm]	Vlnová délka vymežující povrch a vlnitost

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Parametry pro posuzování drsnosti	11
Obrázek 2 Tvar povrchu [6].....	12
Obrázek 3 Vlnitost povrchu [6]	12
Obrázek 4 Drsnost povrchu [6].....	13
Obrázek 5 Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [3].....	14
Obrázek 6 Profil povrchu [3]	15
Obrázek 7 Prvek profilu [3]	16
Obrázek 8 Zobrazení nejvyššího výstupku profilu drsnosti [3].....	17
Obrázek 9 Příklad největší hloubky profilu drsnosti [3].....	18
Obrázek 10 Největší výška profilu (příklad profilu drsnosti) [3]	19
Obrázek 11 Průměrná aritmetická úchylnka profilu (příklad pro drsnost profilu) [3] .	20
Obrázek 12 Šířka prvků profilu vztažená k základní délce [3].....	21
Obrázek 13 schéma LCA snímače [8]	34
Obrázek 14 Schéma laserového snímače [8]	35
Obrázek 15 Talysurf CLI snímač [10].....	36
Obrázek 16 struktura cementové pasty [12]	38
Obrázek 17 struktura sorbitu (zvětšeno 500x)[13]	39
Obrázek 18 Hadicová koncovka	41
Obrázek 19 struktura povrchu zkoumaného povrchu	42
Obrázek 20 viditelná dělicí rovina.....	42
Obrázek 21 vada	43
Obrázek 22 vada	43
Obrázek 23 hadicový adaptér	44
Obrázek 24 dělicí rovina.....	44
Obrázek 25 čištění jemným kartáčem.....	45
Obrázek 26 kontrola pod mikroskopem.....	46
Obrázek 27 kontrola pod mikroskopem (detail).....	46
Obrázek 28 přístroj Talysurf CLI 500	47
Obrázek 29 snímání povrchu	49
Obrázek 30 uchycení vzorků	49
Obrázek 31 odrazivost	50
Obrázek 32 nasnímaný povrch vzorků typu A	52

Obrázek 33 nasnímaný povrch vzorků typu B.....	53
Obrázek 34 označení vzorků.....	54
Obrázek 35 krabicový diagram pro odhalení odlehlých hodnot.....	55
Obrázek 36 Krabicový graf (A-X-Ra).....	60
Obrázek 37 Krabicový graf (A-Y-Ra).....	61
Obrázek 38 Krabicový graf (A-X-Rz).....	61
Obrázek 39 Krabicový graf (A-Y-Rz).....	62
Obrázek 40 Krabicový graf (B-X-Ra).....	62
Obrázek 41 Krabicový graf (B-Y-Ra).....	63
Obrázek 42 Krabicový graf (B-X-Rz).....	63
Obrázek 43 Krabicový graf (B-Y-Rz).....	64
Obrázek 44 Obecná Gaussova křivka.....	65
Obrázek 45 Gaussovo porovnání (X-Ra).....	66
Obrázek 46 Gaussovo porovnání (Y-Ra).....	67
Obrázek 47 Gaussovo porovnání (X-Rz).....	68
Obrázek 48 Gaussovo porovnání (Y-Rz).....	69

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Základní délky drsnosti pro měření Ra , Rq , Rsk , Rku , $R\Delta q$, křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily [4]	25
Tabulka 2 Základní délky drsnosti pro měření Ra , Rq , Rsk , Rku , $R\Delta q$, křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily [4]	26
Tabulka 3 Základní délky drsnosti pro měření R-parametrů periodických profilů s Rsm periodických a neperiodických profilů [4]	27
Tabulka 4 Parametry přístroje Talysurf CLI 500.....	48
Tabulka 5 Statistické vyhodnocení Hodnot (A-X-Ra)	56
Tabulka 6 Statistické vyhodnocení hodnot (A-Y-Ra)	56
Tabulka 7 Statistické vyhodnocení hodnot (A-X-Rz)	57
Tabulka 8 Statistické vyhodnocení hodnot (A-Y-Rz)	57
Tabulka 9 Statistické vyhodnocení hodnot (B-X-Ra).....	58
Tabulka 10 Statistické vyhodnocení hodnot (B-Y-Ra).....	58
Tabulka 11 Statistické vyhodnocení hodnot (B-X-Rz).....	59
Tabulka 12 Statistické vyhodnocení hodnot (B-Y-Rz).....	59