

Statistické hodnocení obtížně měřitelných povrchů

Bc. Jan Sečka

Diplomová práce
2024



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Jan Sečka
Osobní číslo: T22369
Studijní program: N0788A270007 Řízení jakosti
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Statistické hodnocení obtížně měřitelných povrchů

Zásady pro vypracování

- Literární rešerše k problematice hodnocení povrchů.
- Statistické nalezení a stanovení diferencí mezi vyhodnocováním povrchů ve shodě s ISO 21920-1, ISO 21920-2 a ISO 25178.
- Provede se kontrola povrchů pomocí mikroskopu.
- Dále bude udělána analýza povrchů na bezkontaktním profiloměru.
- Následně budou naměřená data drsnosti povrchu statisticky hodnocena.

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

Seznam doporučené literatury:

1. *ČSN EN ISO 21920-1: Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Profil – Část 1: Indikace textury povrchu.* (2023) (01.06.2023). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
2. *ČSN EN ISO 21920-2: Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Profil – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu.* (2023) (01.06.2023). Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
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, Jiří MILITKY a Martin HILL. *Statistická analýza vícerozměrných dat v příkladech.* Praha: Academia, 2012. Gerstner. ISBN 978-80-200-2071-0

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

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2024**

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

L.S.

doc. Ing. Martin Bednařík, Ph.D. v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 27. února 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou 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 – diplomovou 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 diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

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

Ve Zlíně dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

V reakci na rostoucí poptávku po složitých a přesných výrobcích vzniká potřeba tyto výrobky hodnotit, zejména pokud mají nepřístupné oblasti vyžadující přesnost při hodnocení povrchu. Proto je naléhavě nutné zkoumat nové přístupy ke kontrole těchto vlastností. Hlavní náplní mé diplomové práce je statistické vyhodnocování těžko měřitelných povrchů. Pomocí zkušebních vzorků se pokusím vyhodnotit obtížně měřitelný povrch a následně jej reprodukovat pomocí silikonu. Srovnávací analýza bude provedena porovnáním těchto replikovaných povrchů s měřeními získanými z původních zkušebních vzorků, přičemž ke sběru dat bude použit bezkontaktní profilometr Zygo NewView™ 8000. Cílem tohoto výzkumu je zjistit proveditelnost navržené metody a posoudit, zda se replikované hodnoty statisticky významně liší od hodnot původních součástí.

Klíčová slova: Drsnost povrchu, nekonvenční obrábění, obtížně měřitelné povrchy, normy na měření povrchů, replikování povrchu

ABSTRACT

In response to the growing demand for complex and precise products, there is a need to evaluate these products, especially if they have inaccessible areas requiring precision in surface evaluation. Therefore, there is an urgent need to investigate new approaches to control these properties. The main focus of my master thesis is the statistical evaluation of hard measurable surfaces. Using test specimens, I will attempt to assess the complexities of a difficult to measure surface and then reproduce it using silicone. Comparative analysis will be performed by comparing these replicated surfaces with measurements obtained from the original test samples, using a non-contact profilometer from zygo NewView™ 8000 to collect data. The aim of this research is to determine the implementability of the proposed method and to assess whether the replicated values are statistically significantly differs to those of the original components.

Keywords: Surface roughness, unconventional machining, difficult to measure surfaces, surface measurement standards, surface replication

Rád bych vyjádřil svou vděčnost Ing. Mileně Kubišové Ph.D., vedoucí mé diplomové práce, za její ochotu, trpělivost a odborné rady během celého procesu vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za jejich neustálou podporu během mého studia.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ.....	11
1.1 ELEKTROEROZIVNÍ OBRÁBĚNÍ	11
1.2 ELEKTROCHEMICKÉ OBRÁBĚNÍ	12
1.3 OBRÁBĚNÍ ULTRAZVUKEM	14
1.4 OBRÁBĚNÍ LASEREM.....	15
1.5 OBRÁBĚNÍ PAPRSKEM ELEKTRONŮ	17
1.6 OBRÁBĚNÍ PLAZMOU	18
1.7 OBRÁBĚNÍ VODNÍM PAPRSKEM.....	20
2 DOKONČOVACÍ METODY.....	23
2.1 BROUŠENÍ	23
2.2 HONOVÁNÍ	24
2.3 PÍSKOVÁNÍ	25
2.4 LAPOVÁNÍ	26
3 NORMY ČSN EN ISO ZAMĚŘUJÍCÍ SE NA HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU.....	28
3.1 ČSN EN ISO 21920-1.....	28
3.1.1 Toleranční přejímací pravidla	28
3.1.2 Elementy specifikace pro indikaci specifikace textury povrchu profilu	29
3.1.3 Pravidla pro indikaci specifikace textury povrchu profilu	31
3.2 ČSN EN ISO 21920-2.....	33
3.2.1 Obecné termíny	34
3.2.2 Termíny geometrických parametrů	40
3.2.3 Termíny geometrických prvků	42
3.2.4 Výškové parametry pole	45
3.3 ČSN EN ISO 25178-2.....	47
3.3.1 Materiálový objem	47
3.3.2 Více měřítkové geometrické (fraktálové metody)	49
3.3.3 Parametr prvků	50
4 STATISTIKA.....	54
4.1 EXPLORATORNÍ ANALÝZA DAT (EDA)	54
4.1.1 Graf časové řady	54
4.1.2 Histogramy	55
4.1.3 Box-plotové diagramy	56
4.1.4 T-test	57
4.1.5 F-test.....	58

4.1.6	Shluková analýza	59
5	CÍLE PRÁCE	62
II	PRAKTICKÁ ČÁST	63
6	PŘÍPRAVA VZORKŮ A REPLIK VZORKŮ	64
6.1	KONTROLA POVRCHU MIKROSKOPEM	66
6.2	USTAVENÍ DÍLCE PRO MĚŘENÍ A NASTAVENÍ PŘÍSTROJE	68
7	ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	71
7.1	EXPLORATORNÍ ANALÝZA DAT (EDA)	71
7.1.1	Graf časové řady	71
7.2	GRAFICKÝ SUMÁŘ	73
7.3.1	T-test	78
7.3.2	F-test	79
7.4	SHLUKOVÁ ANALÝZA	82
	ZÁVĚR	83
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	84
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	90
	SEZNAM OBRÁZKŮ	91
	SEZNAM TABULEK	93

ÚVOD

Měření a hodnocení povrchů představuje klíčový aspekt v mnoha odvětvích průmyslu a vědy. Nicméně, existují povrchy, které se vyznačují zvláštními vlastnostmi či složitostí, což činí jejich měření náročným úkolem. Tato kategorie povrchů, nazývaná obtížně měřitelné povrchy. Určení kvality povrchu prostřednictvím měření je nezbytné pro zajištění jednotnosti, detekci vad, optimalizaci procesů a zajištění správné funkčnosti produktů. Měření povrchů poskytuje data nezbytná k identifikaci odchylek od specifikací a k optimalizaci výrobních procesů, což má za následek kvalitnější výsledky. Historicky bylo měření povrchů prováděno převážně ručně pomocí jednoduchých měřicích nástrojů. Tento proces byl poměrně pracný a závisel na dovednostech operátora. Důraz byl kladen na zkušenosti a odbornost jednotlivce. V současnosti se měření povrchů stalo výrazně automatizovanějším a přesnějším díky pokroku v technologii. Moderní techniky zahrnují použití 3D skenování, laserového měření, optických senzorů a strojového vidění. Tyto technologie umožňují rychlé a přesné měření povrchů s minimální lidskou intervencí a zvyšují opakovatelnost a spolehlivost výsledků.

Tato diplomová práce se zabývá konceptem obtížně měřitelných povrchů, jejich charakteristikami a výzvami spojenými s jejich přesným hodnocením.

V této práci se zaměřím na identifikaci analogií mezi výrobkem, který byl zpracován metodou EDM, a silikonovým odlitkem. Tuto analýzu podobností provedu pomocí statistických postupů.

Cílem této práce je zjištění podobností mezi výrobkem a jeho replikou která bude vyrobena za pomoci silikonové hmoty.

I. TEORETICKÁ ČÁST

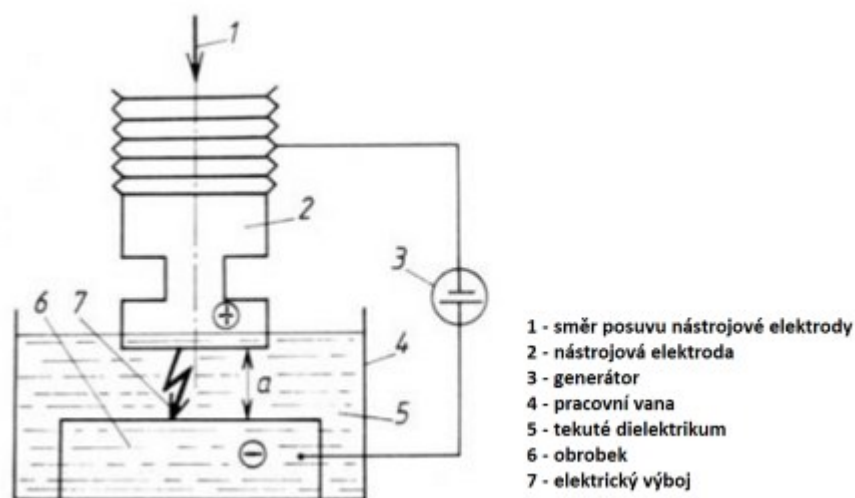
1 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Tradiční obráběcí postupy, jako je soustružení, vrtání, tvarování a frézování, jsou obtížně použitelné pro extrémně tvrdé a křehké materiály. Netradiční obráběcí postupy se používají v případech, kdy tradiční obráběcí postupy nejsou z níže uvedených důvodů proveditelné, uspokojivé nebo nákladově efektivní. Obecně by se dalo říct, že u nekonvenčních metod neodchází zbytkový materiál ve formě třísky, ale ve formě spodin.

1.1 Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění (EDM) elektrotermické obrábění. Přesné obrábění pomocí tohoto nekonvenčního způsobu lze provádět na elektricky vodivých a polovodivých materiálech. obrábění EDM lze použít k vrtání kruhových otvorů, nekruhové otvory, vytvářet profily a zhotovovat složitých tvarových výlisků makro i mikro rozměrů. [1,2]

Elektroerozivní obrábění je termoelektrický obráběcí proces, při kterém se materiál odebírá nebo erodovaný z obrobku v důsledku energii ze série elektrických výbojů. generovaných mezi elektrodou nástroje a obrobkem. Elektrodou ponořenou do dielektrického prostředí. Elektrický výboj nebo jiskry, které vznikají v mezeře, odstraňují elektricky vodivý materiál, obrobek i nástrojový materiál tavením odpařováním. Dielektrické médium působí jako deionizační prostředek. mezi elektrodou a obrobkem, čímž se poskytuje optimální podmínky pro vznik jisker a také odplavuje nečistoty vzniklé v jiskřišti. Mechanismus eroze při elektroerozivním obrábění je velmi složitý jev a zahrnuje mnoho fyzikálních procesů. [2]



Obrázek 1 schéma metody EDM [3]

Vhodné dielektrikum pro elektroerozivní obrábění by mělo být schopno poskytovat vhodné podmínky pro iniciaci a udržení dobrého účinného elektrického výboje, chladného elektrody a odvádět nečistoty z elektrod, jiskřiště (proplachování). Nejběžnější dielektrika jsou uhlovodíkové oleje, například petrolej. Na drátové EDM se používá deionizovaná voda. Destilovaná voda má pro některé speciální aplikace. Existují dvě trysky, jedna pro vodu z vodovodu a druhá pro stlačený vzduch v blízkosti jiskřiště. Když je obrábění u konce působí směs plynu a vody jako dielektrické médium. [2]

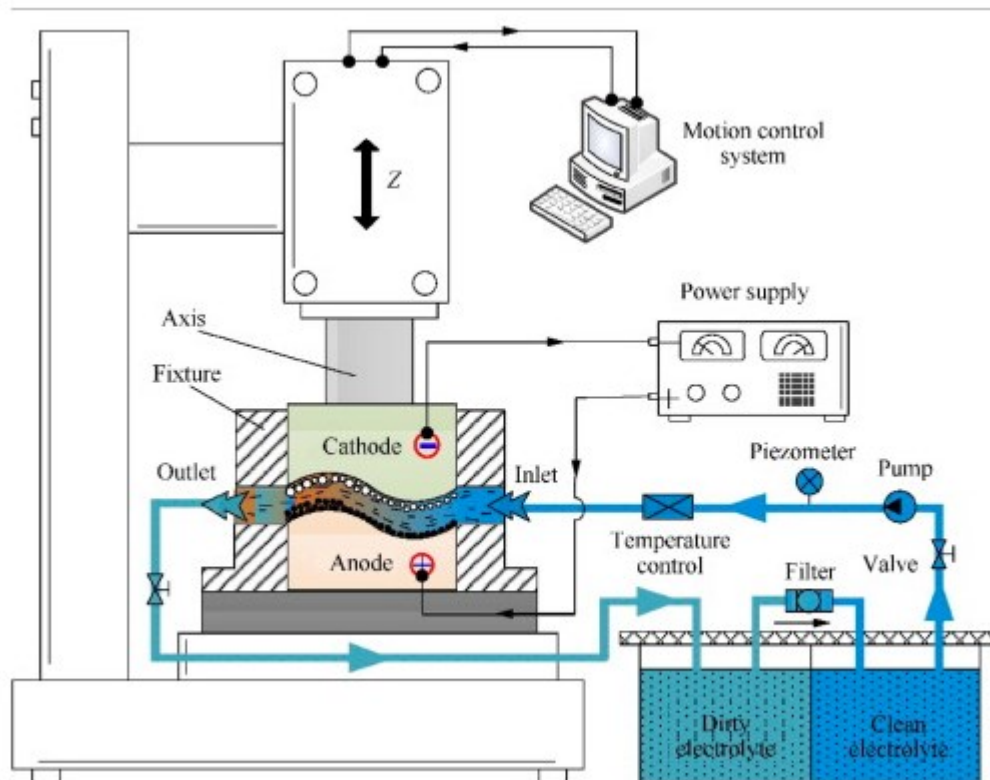
Několik faktorů ovlivňuje kvalitu povrchu při elektrickém výbojovém obrábění (EDM):

- Kratší impulzy jsou preferovány pro dosažení jemnější povrchové úpravy.
- Je klíčové nalézt vhodný poměr mezi impulzním proudem a rychlostí obrábění; nižší proud zlepšuje povrch, ale současně omezuje počet zpracovávaných výrobků v daném časovém úseku.
- Nižší frekvence pulzů přispívá k dosažení lepšího povrchu.
- Rychlé odstranění nečistot během proplachování dielektrika má za následek lepší kvalitu povrchu a snižuje riziko vytváření přetavené vrstvy.
- Rovněž hraje roli volba typu dielektrické kapaliny a správná vzdálenost mezi nástrojem a obrobkem. [1,2]

1.2 Elektrochemické obrábění

Elektrochemické obrábění (ECM) je netradiční obráběcí proces. Obrobek je anoda a před tvarovaný nástroj je katoda. Na obrobek a nástroj se přivádí stejnosměrné nebo pulzní napětí (10-40 V). Během procesu se katodový nástroj pohybuje směrem k obrobku a udržuje velmi malou mezeru mezi elektrodami (0,05-0,6 mm). Materiál obrobku se odstraňuje mechanismem anodického rozpouštění, který se řídí Faradayovými zákony elektrolýzy. [3, 4]

Hustota proudu je obvykle 20-200 ampérů na centimetr čtvereční. Elektrolyt (vodný roztok NaCl nebo NaNO₃) proudí vysokou rychlostí (10-60 m/s) mezerou mezi elektrodami, aby se reakce udržela v klidu a aby se odstranil produkt rozpouštění, bublinky a reakční teplo. ECM vytváří přibližný zrcadlový obraz nástroje na obrobku. [5]



Obrázek 2 schéma metody ECM [5]

ECM má několik hlavních výhod. Jedná o bezkontaktní metodu obrábění, je vhodná pro obtížně obrobitelné materiály, bez ohledu na jejich tvrdost a pevnost. Během procesu se tvarovaný katodový nástroj neopotřebovává, protože se na katodě uvolňuje pouze vodík. Kromě toho lze dosáhnout vysokých rychlostí úběru materiálu, vysoké přesnosti obrábění a dobré kvality povrchu bez výskytu deformací, mikrotrhlín, zbytkových napětí, přetavené vrstvy nebo tepelně ovlivněných zón. Kromě toho se ECM vzhledem k nákladům na předběžný vývoj nástrojů a upínacích přípravků a také k investicím potřebným pro unikátní obráběcí stroje používá speciálně při velko-sériové výrobě, aby se snížily náklady. [5,6]

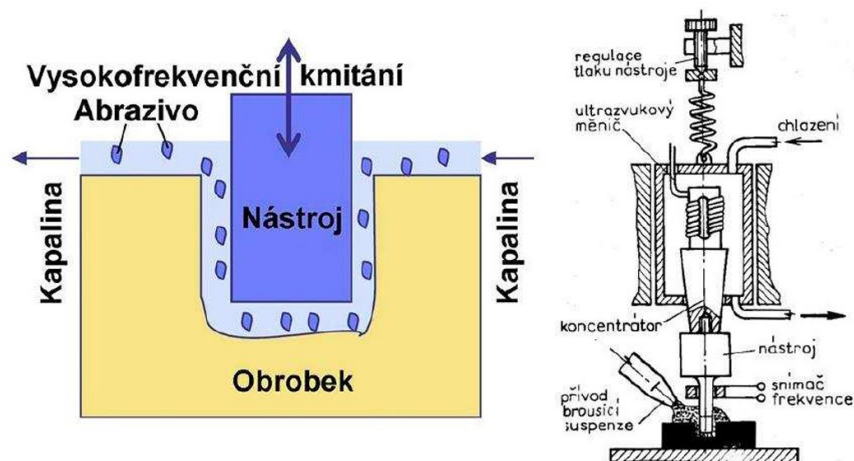
Drsnost povrchu, která se používá k určení a vyhodnocení kvality povrchu je jedním z hlavních atributů výrobku. Hraje důležitou roli kvůli zvýšeným požadavkům na kvalitu. Nicméně i když jsou rozměry součásti v rámci rozměrových tolerancí, stále existují možnosti, že se v parametrech vyřadí součást pro nedostatek požadované drsnosti povrchu. Studium vlivu různých parametrů obrábění na drsnost povrchu byla provedena za účelem analýzy vhodných kombinací parametrů, které lze vytvořit pro dosažení řízené drsnosti povrchu. V literatuře existuje mnoho relevantních výzkumů nízké drsnosti povrchu při ECM. procesů. Byly zkoumány vlivy rychlosti proudění elektrolytu a elektrického potenciálu

během procesu elektrochemického obrábění pro generování různých povrchových charakteristik byly úspěšně studovány prostřednictvím experimentů a získané výsledky byly hodnoty drsnosti povrchu na vzorku titanu obráběného metodou ECM, se pohybovaly v rozmezí 2,4 až 2,93 μm . [6]

1.3 Obrábění ultrazvukem

Ultrazvukové vlnění je základní formou vibrací a jeho aplikace jsou poměrně časté, například ultrazvukové polohování netopýrů, ultrazvukové čištění v životě a ultrazvukové testování v medicíně. Interakce mezi ultrazvukovými vlnami a daným prostředím při přenosu může vyvolat ultrazvukové účinky, jako jsou mechanické účinky, kavitace a tepelné účinky. Ultrazvukové vibračně asistované obrábění (UVAM) je netradiční metoda obrábění, která využívá převodník (piezoelektrická keramika/magnetostrikční) pro přeměnu vysokofrekvenční elektrické energie na energii vysokofrekvenčních mechanických vibrací a aplikuje ji do procesu obrábění a realizuje úběr materiálu mechanickým účinkem a kavitací. [7]

Ultrazvukové obrábění (USM) je netradiční technika obrábění, která využívá ultrazvukových vibrací nástroje k dopadu brusných částic na obrobek, což vede k úběru materiálu především procesem mikrotřískování, přímým úderem brusiva a kavitačním efektem. Střídavé pulzy se transformují na mechanické vibrace a přes sonotrodu se zesilují do nástroje, který je tvarován podle požadované dutiny. Parametry ovlivňující proces jsou frekvence vibrací, amplituda, brusný a nástrojový materiál. USM se stal atraktivním procesem pro obrábění standardních otvorů a průchozích dutin v keramice díky mechanismu úběru materiálu založenému na úderu [7,8]



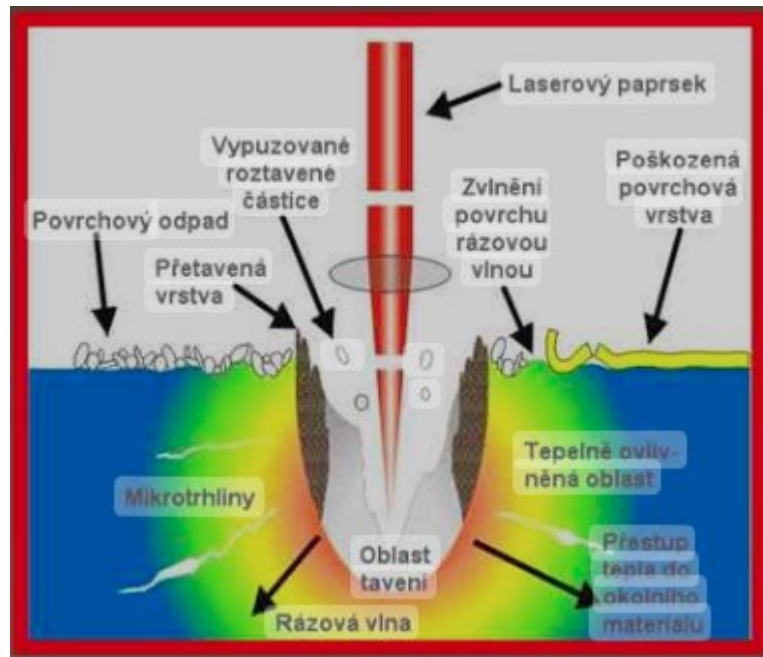
Obrázek 3 princip ultrazvukového obrábění USM [10]

1.4 Obrábění laserem

Protože se jedná o jedinečný nástroj s rozmanitým využitím v různých oblastech strojírenství, stal se laser volbou pro mnoho výrobců. Obrábění laserovým paprskem (LBM) je jednou z mnoha oblastí, které se rychle rozvíjejí. LBM je jedním z nejrozšířenějších pokročilých procesů bezkontaktního obrábění pomocí tepelné energie, který lze použít na celou řadu materiálů, z nichž některé nelze obrábět ani běžnými výrobními postupy. Laserový paprsek je zaměřen na tavení a odpařování nežádoucího materiálu z výchozího materiálu. Je vhodný pro řezání geometricky složitých profilů a vytváření miniaturních otvorů v plechu. Z různých typů laserů používaných pro obrábění v průmyslu jsou nejrozšířenější lasery CO₂ a Nd:YAG. V posledních letech výzkumníci zkoumali řadu způsobů, jak zlepšit výkonnost procesu LBM analýzou různých faktorů, které ovlivňují kvalitativní charakteristiky. Experimentální a teoretické studie ukazují, že výkonnost procesu lze výrazně zlepšit správnou volbou parametrů laseru, parametrů materiálu a provozních parametrů. [11,12]

Proces odstranění materiálu při laserovém tavení (LBM) zahrnuje několik fází, včetně tavení, odpařování a chemické degradace, což zahrnuje porušení chemických vazeb vedoucích k degradaci materiálů. Při zaměření laserového paprsku s vysokou hustotou energie na upravený povrch dojde k absorpci tepelné energie, což způsobí zahřátí a transformaci upraveného objemu do stavu taveniny, odpařeniny nebo chemicky změněného stavu, který lze snadno odstranit pomocí proudu vysokotlakého asistenčního plynového

paprsku. Tento plynový paprsek urychluje transformovaný materiál a vyvrhuje jej ze zóny obrábění. [11,12]



Obrázek 4 Obrábění laserovým paprskem [13]

Obrábění laserovým paprskem může být použit v mnoha konfiguracích:

Hlavní konfigurace LBM jsou: vrtání, řezání a drážkování, soustružení a frézování a mikroobrábění různých materiálů obrobků. Vrtání laserovým paprskem se stalo uznávaným ekonomickým postupem pro vrtání tisíců těsně rozmístěných otvorů v konstrukcích. Existují dva typy vrtání laserovým paprskem: vrtání trepanem a vrtání příklepovým laserovým paprskem. Trepanální vrtání zahrnuje řezání po obvodu vytvářeného otvoru, zatímco příklepové vrtání "proráží" přímo materiál obrobku bez relativního pohybu laseru a obrobku. Neodmyslitelnou výhodou procesu laserového příklepového vrtání je zkrácení doby zpracování. Operace řezání a drážkování laserovým paprskem našly uplatnění při děrování, řezání a značení kovů, keramiky a plastů. Řezání laserovým paprskem je lepší než jakákoli konvenční či nekonvenční metoda řezání díky univerzálnosti materiálu, absenci opotřebení nebo výměny nástroje, vysokému využití materiálu a flexibilitě výroby a vysoké přesnosti a kvalitě hran. [11,12]

V případě, kde bychom obráběli laserovým paprskem materiál titan můžeme dosahovat střední aritmetickou odchylku drsnosti kolem $8,7 \mu\text{m}$. [12]

1.5 Obrábění paprskem elektronů

Tavení elektronovým svazkem (Electron Beam Melting, EBM) je jedním z procesů AM (aditivní výroba), který se již používá pro hromadnou výrobu kovových součástí v leteckém a lékařském průmyslu, protože umožňuje snadnou výrobu složitých struktur a vynikajících materiálů.

EBM je proces AM založený na tavení kovového prášku (PBF), při němž se k selektivnímu tavení prášku používá elektronový svazek (EB). Vzhledem k tomu, že proces EBM nahrazuje takové tradiční procesy, jako je odlévání, zásadní otázka se týká posouzení udržitelnosti procesu, a tedy zátěže životního prostředí spojené s tímto procesem, na kterou lze poukázat prostřednictvím posouzení životního cyklu. Předběžné analýzy zjistily vyšší energetickou náročnost procesů AM než u subtraktivních a objemových procesů.

Většina aplikací s EB-PBF se opírá o vysoce výkonné slitiny, jako je Inconel 718 a Ti-6Al-4V. Druhá jmenovaná slitina nabízí vynikající mechanické vlastnosti a vysokou odolnost proti korozi a byla původně vyvinuta v leteckém průmyslu, kde je poměr pevnosti a hmotnosti velmi důležitý [14,15]

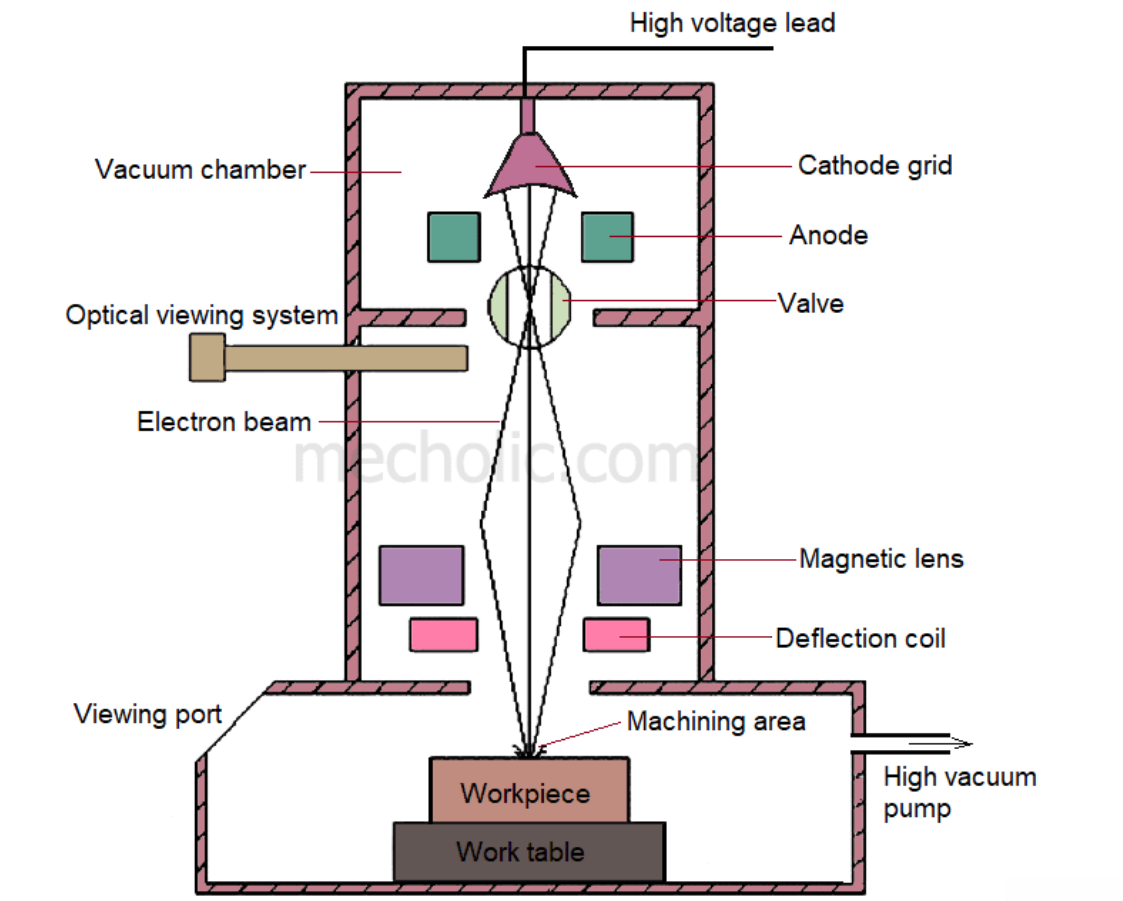
Funkce:

Svazek elektronového paprsku (EBM) pracuje v pulzním režimu, který je dosažen vhodným předpětím předsazené mřížky za katodou. Přepínací impulsy jsou přivedeny do předpínací mřížky tak, aby délka pulsu mohla oscilovat v rozmezí od 50 μ s do 15 ms. Proud svazku přímo koreluje s počtem elektronů emitovaných katodou nebo dostupných ve svazku, a může dosahovat hodnot od 200 μ A do 1 ampéru. [14,15]

Zvyšování proudu svazku přímo zvyšuje energii jednoho impulsu, a stejně tak prodloužení doby trvání pulzu zvyšuje celkovou energii pulzu. Vysokoenergetické pulzy (přesahující 100 J/puls) jsou schopny obrábět větší otvory na silnějších deskách. Hustota energie a hustota výkonu jsou ovlivňovány energií na puls a velikostí místa. Velikost skvrny je následně řízena stupněm zaostření, který je dosažen elektromagnetickými čočkami. [14,15]

V kombinaci vyšší hustoty energie s menší velikostí skvrny lze dosáhnout rychlejšího odstraňování materiálu, i když velikost otvoru může být menší. Rovina zaostření se nachází na povrchu obrobku nebo těsně pod ním. Elektronový paprsek je generován prostřednictvím rozdílu potenciálů mezi záporně nabitou katodou a kladně nabitou anodou. Rychlejší, i když by velikost otvoru byla menší. Rovina zaostření by se nacházela na povrchu obrobku nebo

těsně pod ním. Elektronový paprsek je generován rozdílem potenciálů mezi záporně nabitou katodou a kladně nabitou anodou. [14,15]



Obrázek 5 obrábění elektronovým paprskem [16]

1.6 Obrábění plazmou

Reaktivní plazmové proudy poháněné za atmosférického tlaku se široce používají k povrchové úpravě, jako je aktivace povrchu, čištění, sterilizace, nanášení povlaků a leptání. Během posledních 15 let byla v Leibnizově institutu pro modifikaci povrchu (IOM) vyvinuta technologie leptání reaktivním plazmovým paprskem (Plasma Jet Machining-PJM), která je určena především pro přesné obrábění optických povrchů. Rostoucí poptávka po asférických a volně tvarovaných optických prvcích s velmi vysokou přesností tvaru povrchu vyžaduje vedle mechanicko-abrazivních technik, jako je soustružení, broušení a leštění, i takovéto nekonvenční metody obrábění. [17,18]

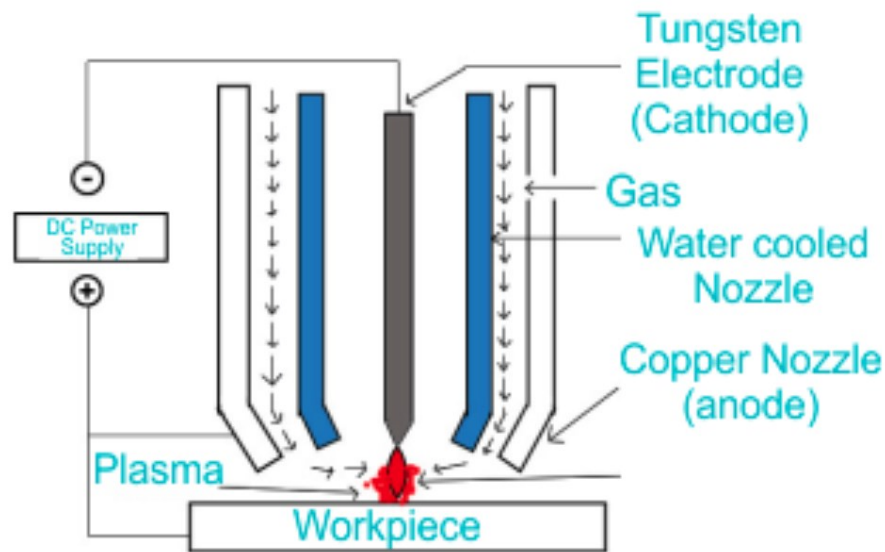
Plazma je navíc podporováno vodou chlazenou tryskou a jeho hustota může uvnitř plazmového svazku dosahovat až $2 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$. V důsledku vysoké teploty se plazma rozpíná a proudí nadzvukovou rychlostí z trysky na obrobek. Uvnitř plazmového oblouku může teplota stoupnout až na $30\,000 \text{ °C}$. Teplotu lze nastavit relativně podle tloušťky materiálu a rychlosti řezání elektricky vodivých materiálů. Stabilita oblouku je pro žádoucí výkony prioritní. [17,18]

Vzduch byl poprvé představen jako plazmový plyn v roce 1964. Proces řezání pomocí plynu se realizuje prostřednictvím trysky. Introdukce vzduchu umožnila zvýšení rychlosti řezání a současně výrazné zlepšení kvality řezu. Kvůli rychlejší erozi elektrody se v tomto procesu upřednostňuje zirkoniová katoda před wolframovou, přičemž vzduch slouží jako plazmový plyn. [17,18]

Plazmové obloukové hořáky se vstřikováním dusíku (N_2) do vody byly poprvé využity v roce 1970. Princip procesu je jednoduchý: do oblouku se vstřikuje 1 nebo 2 l/min vody, a téměř polovina této vody je buď disociována nebo odpařena obloukem. Tento postup umožňuje vytvářet velké čtvercové řezy bez zaoblení na vrchní straně. [17,18]

Vynález zavedení kyslíkové plazmy se vstřikováním vody se datuje na počátek 80. let 20. století, což vedlo ke zlepšení kvality řezu pro měkké plechy o tloušťce 25 mm nebo menší. Nízká amplitudová oscilační složka obloukového proudu (zvlnění proudu) výrazně zvýšila rychlost eroze elektrody. Tento objev ovlivnil zvlnění proudu tak, aby dodávalo menší energii, což prodloužilo životnost elektrolytu, elektrody a trysky tím, že eliminovalo překmitů a sklonů proudu. [17,18]

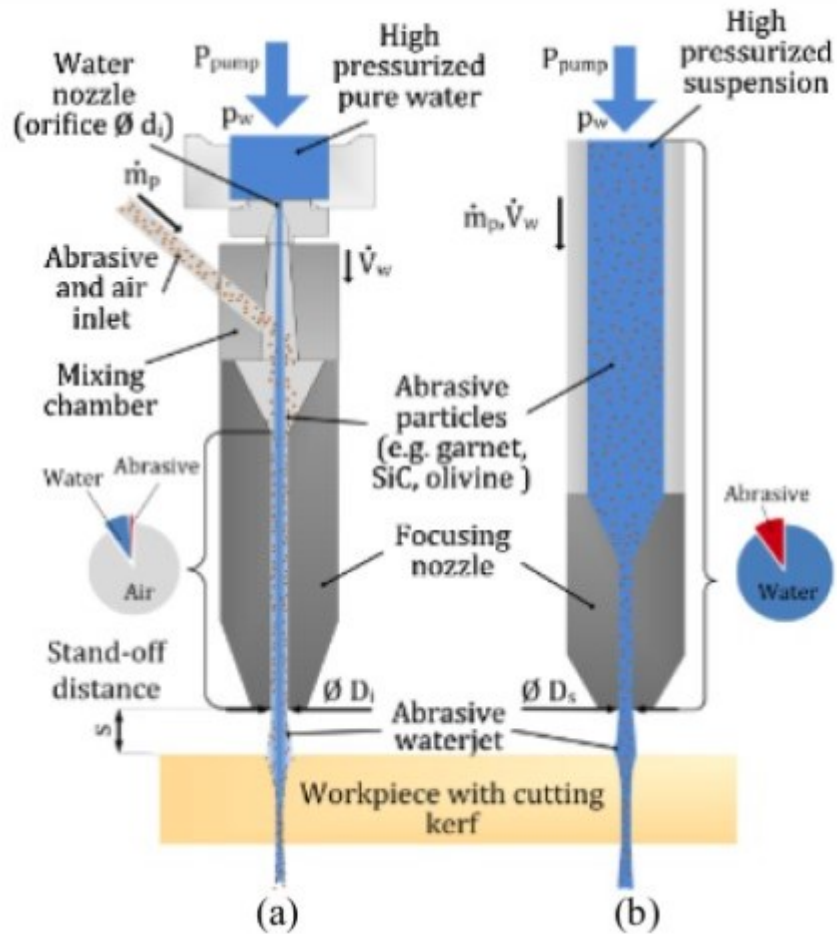
V 80. letech 20. století bylo představeno zavedení hafniové vložkové elektrody, která má přibližně 1,5krát delší životnost než zirkoniová vložková katoda. Dnes jsou nejběžnější elektrody pro řezání plazmovým obloukem vyrobeny z hafniové vložkové elektrody, která může dosáhnout proudu až 100 A pro systémy s chlazením vzduchem a až 400 A pro systémy s chlazením kapalinou. [17,18]



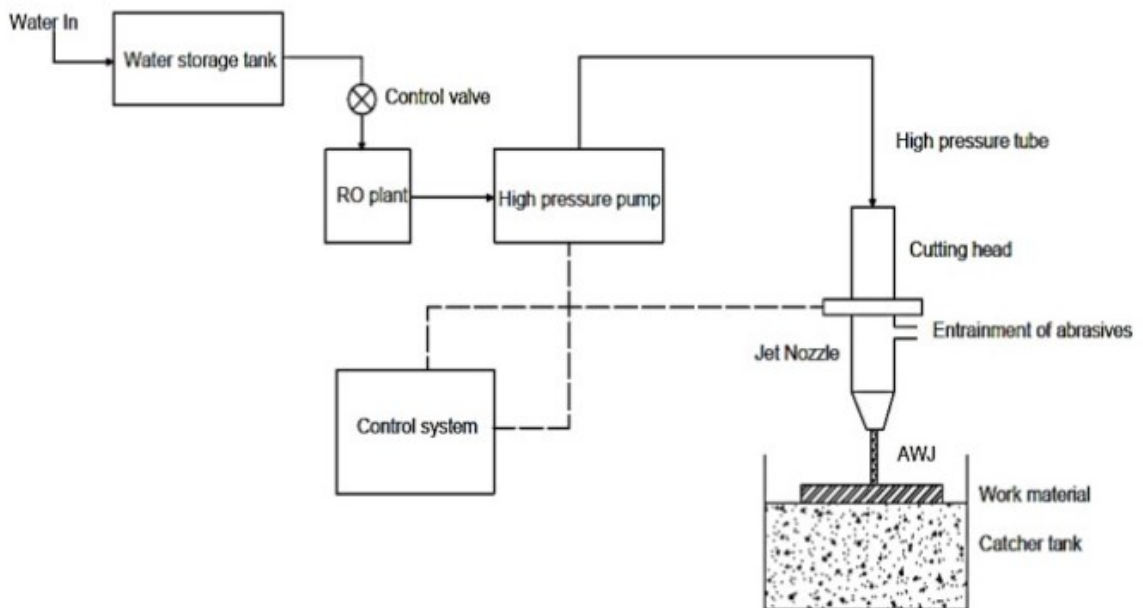
Obrázek 6 obrábění paprskem plazmy [19]

1.7 Obrábění vodním paprskem

Abrazivní vodní paprsek (AWJ) nachází široké uplatnění ve výrobním průmyslu při obrábění široké škály materiálů, jako jsou kovy a nekovy. Důvodem volby obrábění AWJ je skutečnost, že v řezné zóně nevzniká teplo, ale při obrábění tvrdých materiálů je teplo menší; schopnost obrábět všechny druhy materiálů, jako jsou kovy, nekovy, kompozity, keramika; vyšší rychlost úběru materiálu než u drátového elektroerozivního obrábění a vytváření lepší integrity povrchu než u laserového obrábění; řezání tlustých součástí v rozsahu 250 mm (závisí na materiálech); absence tepelné deformace obrobků, ale schopnost řezat složité tvary; existence minimální řezné síly na obrobky a dosažení lepší rozměrové přesnosti díky zanedbatelné deformaci; vrtání hornin a čištění povrchu. Proces AWJ se dělí na dva způsoby generování trysek, a to na trysku se vstřikováním abraziva (tři fáze – vzduch, abrazivo a voda) a na trysku s abrazivní suspenzí (dvě fáze – abrazivo a voda). Rozdíly v těchto technikách jsou způsobeny různými způsoby míchání abraziva a vody. U injektážního typu se AWJ vytváří vstřikováním abraziva do vysokorychlostního proudu vody přes směšovací komoru, zatímco u suspenzního typu se voda i abrazivo předem smíchají a vstupují přímo do hlavy trysky. [20,21]



Obrázek 7 a – vstřikovací typ AWJM b – suspenzní typ AWJM [20]



Obrázek 8 schéma AWJM [20]

Chladicí voda se používá ke snížení teploty olejového čerpadla. Vysokotlaký generátor je vybaven zesilovačem a akumulátorem pro generování vysokého tlaku a skladování vysokotlaké vody. Zesilovač funguje jako umocňovač, protože převádí energii z nízkotlaké hydraulické kapaliny na ultra vysokotlakou vodu. Hydraulický systém dodává kapalinovou energii vratnému pístu ve střední části zesilovače. Koncový spínač, umístěný na každém konci dráhy pístu, dává elektronickému ovládacímu signálu k posunu směrového regulačního ventilu a mění směr pohybu pístu. Sestava zesilovače s pístem na každé straně pístu vytváří tlak v obou směrech. Zatímco jedna strana zesilovače je ve vstupním zdvihu, opačná strana vytváří výstupní ultra vysoký tlak. Během vstupního zdvihu pístu vstupuje filtrovaná voda do vysokotlakého válce přes sestavu zpětného ventilu. Po změně směru pohybu pístu je voda stlačena a vystupuje jako ultra vysokotlaká voda. Tlak vody je přibližně 200-400 MPa a prochází otvorem, jehož průměr je přibližně 0,2-0,3 mm [13]. Akumulátor uchovává energii vysokotlaké vody, aby se snížila tlaková ztráta v dalším stupni. Rychlost výstupního proudu vody se blíží 200-300 m/s. [20,21,22]

Vývoj počítačů a softwaru pro řízení a další vylepšení umožnily řezat tvary velmi blízké čisté velikosti a povrchové úpravě. Ploché desky, jako jsou materiály, vyžadují pouze dvě řízené osy (X, Y) s další ručně nebo počítačem řízenou třetí osou (Z) pro přizpůsobení tloušťce desky, ale řídicí technologie je nyní schopna pracovat s osmi koordinovanými osami. [22]

2 DOKONČOVACÍ METODY

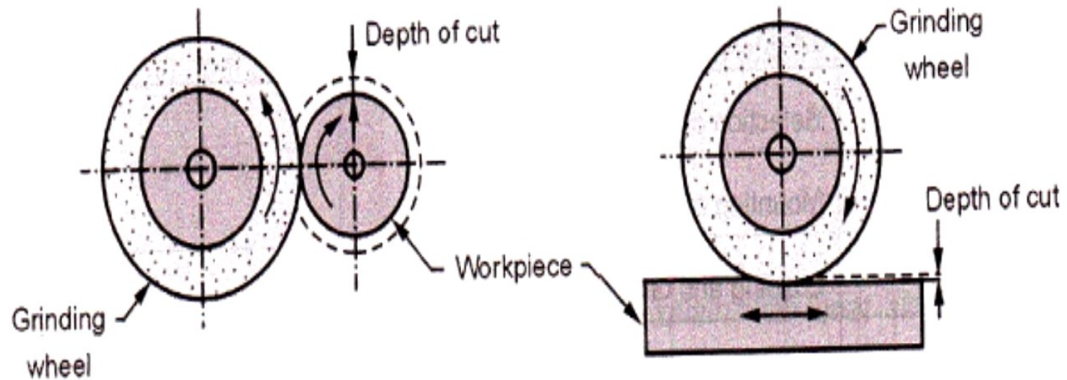
Dosahování dokonalosti při obrábění často závisí na důkladných detailech přesného dokončování. Proces jemné povrchové úpravy zahrnuje širokou škálu technik, včetně přesného obrábění, broušení, galvanického pokovování, tryskání, leštění, eloxování, nanášení práškových barev, pískování, lakování a dalších. Tento rozsáhlý soubor nástrojů umožňuje výrobcům jemně ladit vyrobené díly a zlepšovat jejich vlastnosti různými způsoby.

Lze si představit hotový díl jako plátno, které čeká na poslední tahy štětcem. Výrobci využívají specifické dokončovací operace k poskytnutí vyrobeným součástem tvrdosti, přilnavosti, pájitelnosti, elektrické vodivosti, hladkosti, odolnosti proti korozi, odolnosti proti opotřebení a dalším vlastnostem. Tyto operace jsou uzpůsobeny konkrétním vlastnostem, které jsou požadovány pro danou součást.

2.1 Broušení

Broušení je jedním z nejstarších obráběcích procesů. Starověcí lidé se stali prvními brusiči, když zjistili, že lze vzít dva kameny a třít je o sebe, aby vznikly nástroje a zbraně. Nyní brusiči používají nejmodernější techniky k odstraňování materiálu, aby vytvořili své výrobky. Na dnešním globálním trhu je stále náročnějším úkolem zefektivnit proces obrábění. Jedním z hlavních omezujících faktorů rychlosti výroby broušení je tepelné poškození. Toto poškození lze snížit použitím řezné kapaliny, která odvádí teplo vznikající při interakci s obrobkem a maže oba povrchy, aby se snížilo tření. [23,24]

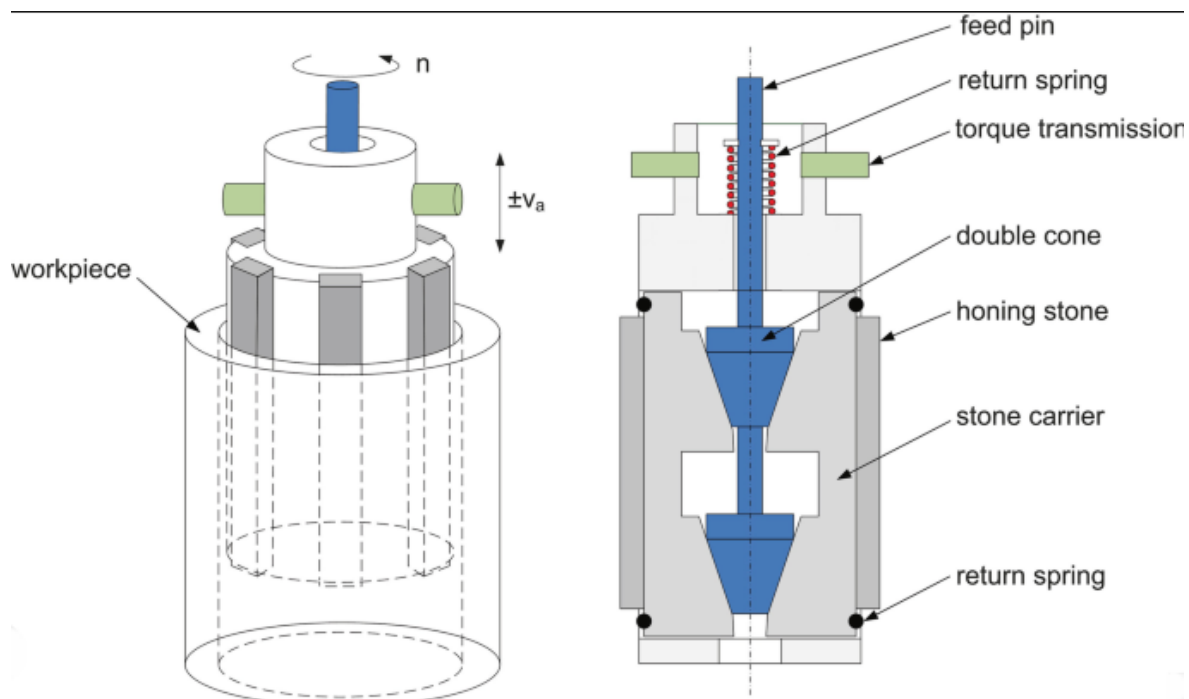
Mechanika obrábění je fyzikální spojení mezi nástroji a obrobkem, které ze své podstaty vede k efektivnímu úběru materiálu při obrábění. U přesných obráběcích procesů, jako je broušení, může být význam mechaniky obrábění ještě zřejmější. Brusná síla silně ovlivňuje rychlost úběru materiálu, rozměrovou a tvarovou přesnost, celistvost povrchu a podpovrchové vrstvy, termodynamiku broušení, dynamiku, životnost kotouče a deformaci obráběcího systému. [23,24]



Obrázek 9 Schéma broušení [25]

2.2 Honování

Honování je jemné obrábění pomocí hlavy vybavené brusnými kameny pro zlepšení povrchových vlastností. Honovací nástroj vykonává současně rotační a oscilační axiální pohyb za účelem vytvoření křížového šrafování. Brusné kameny se pomocí honovacího přitlaku přitlačují k povrchu obrobku za účelem odstranění materiálu. Tento proces se používá k odstranění zvlnění při obrábění a ke zlepšení geometrického tvaru i drsnosti povrchu. Tento proces může přinést různé atraktivní výhody, včetně nízké drsnosti povrchu, úspory nákladů a úzkých rozměrových i geometrických tolerancí. Pro zajištění technických požadavků jsou nezbytné před obráběcí operace, jako je soustružení, vrtání a vyvrtávání. Klíčovými procesními parametry operace honování jsou tangenciální rychlost, lineární rychlost, honovací tlak a vlastnosti chladicích kapalin. Kromě toho mezi faktory související s brusnými kameny patří typ brusiva, velikost zrn a hustota brusiva. Lze konstatovat, že obráběcí charakteristiky operace honování jsou ovlivněny velkým počtem faktorů. Výběr optimálních faktorů pro zlepšení kvality a produktivity honování je proto náročným požadavkem. [26,27]



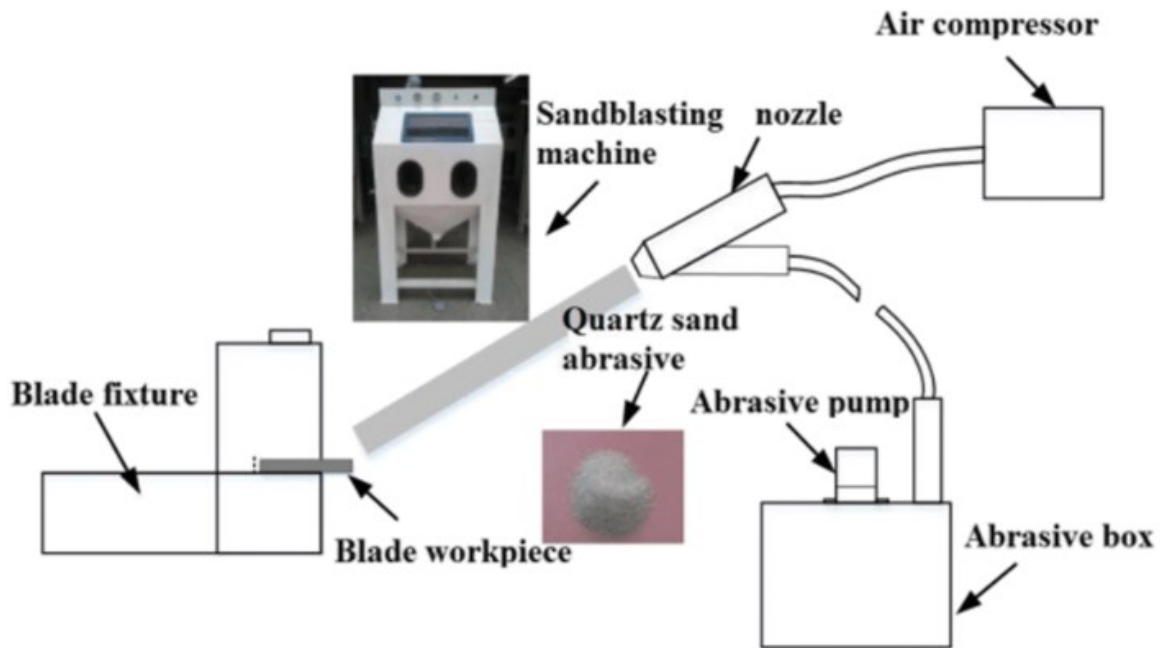
Obrázek 10 Honovací hlava [28]

2.3 Pískování

Pískování je také známé jako abrazivní tryskání. V podstatě se jedná o násilné házení proudu abrazivního materiálu proti povrchu. Operace pískování se provádí pod vysokým tlakem za účelem vyhlazení drsného povrchu, zdrsňení hladkého/tvarování povrchu a odstranění jeho nečistot. Existuje několik variant pískování, například tryskání kuličkami, tryskání sodou a tryskání. Před zahájením pískování je povinné znát jeho materiály a výhody a nevýhody. [29,30]

Pískování je proces pohánění abraziva pomocí kapaliny pod tlakem nebo stlačeného plynu jako hnacího plynu. Pro tento proces existuje mnoho obecných termínů, které obecně souvisejí s abrazivními médii používanými při pískování. [29,30]

Pískovací stroje se běžně používají k: Pískování, známé spíše jako pískování, je operace, při níž je proud abrazivního média pod vysokým tlakem násilně hnán proti povrchu za účelem vyrovnání drsného povrchu, zdrsňení hladkého povrchu, tvarování povrchu nebo odstranění povrchových nečistot. [29,30]

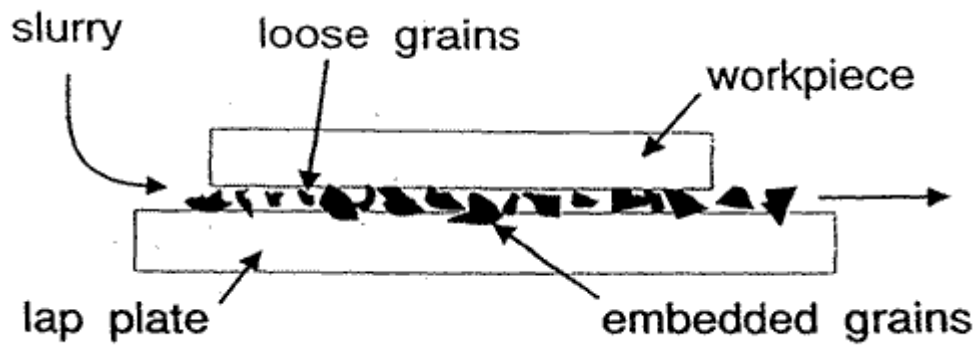


Obrázek 11 schéma pískování [31]

2.4 Lapování

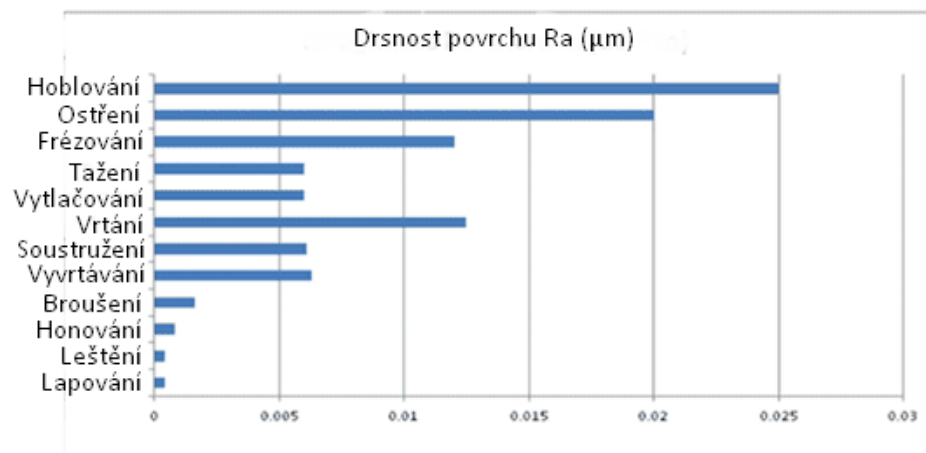
Lapování je základní proces planarizace, který umožňuje dosáhnout vysokého stupně rovinnosti a rovnoběžnosti obráběných obrobků. Stalo se klíčovou technologií dokončování při výrobě několika dílů, např. ventilových desek, keramických těsnicích kroužků nebo plátkovaných křemíkových destiček. Proces lapování je velmi složitý a je ovlivněn mnoha technologickými podmínkami. Model procesu se skládá z několika komponent: lapovací desky, brusné suspenze, obrobků a obráběcího stroje. Tyto prvky rozhodujícím způsobem ovlivňují mechanismus tvorby povrchu a určují kvalitu obrobků, opotřebení nástroje a celkovou účinnost procesu. Kromě toho lze vstupní faktory procesu lapování rozdělit na kontrolovatelné a nekontrolovatelné. Do první skupiny patří především parametry obrábění, tj. lapovací tlak, rychlost otáčení lapovací desky a kondicionálních kroužků, druhy brusných zrn, stav nástroje a doba obrábění. Mezi neovlivnitelné parametry patří teplota okolí, rozložení velikosti zrn, vibrace, vnitřní napětí atd. [32]

Oboustranné lapování je klíčovou technologií pro dosažení vysoké účinnosti a rovinnosti při výrobě rovinně rovnoběžných povrchů obrobků, jako jsou destičky, optické desky a další. [33]



Obrázek 12 proces lapování [34]

povrchová úprava, při nichž se jako brusný prostředek používají sypké brusné prášky při obvykle nízkých rychlostech. Je to proces vyhrazený pro výrobky, které vyžadují velmi přísné tolerance rovinnosti, rovnoběžnosti, tloušťky nebo povrchové úpravy.

Obrázek 13 orientační tabulka možné dosažitelnosti střední aritmetické drsnosti R_a [34]

3 NORMY ČSN EN ISO ZAMĚŘUJÍCÍ SE NA HODNOCENÍ KVALITY POVRCHU

Všem odvětvím přináší normy značnou významnost, neboť nám poskytují cennou podporu při kontrole kvality. Tím, že stanovují postupy pro vyhodnocování a porovnávání dat, umožňují nám efektivně monitorovat a zajišťovat kvalitu v různých procesech a oblastech.

Normy definují minimální požadavky na bezpečnost a kvalitu výrobků, služeb a procesů. Pomáhají zajistit, že výrobky jsou bezpečné pro spotřebitele a splňují stanovené standardy.

Normy umožňují mezinárodní obchod tím, že vytvářejí společné standardy, které mohou být přijaty a používány v různých zemích. To usnadňuje obchodní vztahy a snižuje překážky pro mezinárodní obchod.

Dále mohou podporovat inovace tím, že stanovují společné postupy a normy pro nové technologie. To usnadňuje vývoj a přijímání nových inovací.

Normy také chrání spotřebitele tím, že stanovují minimální standardy pro výrobky a služby. Spotřebitelé mohou mít důvěru v produkty označené normami.

Některé normy obsahují požadavky na environmentální udržitelnost a minimalizaci negativních dopadů na životní prostředí. Pomáhají podporovat odpovědný přístup k výrobě a službám.

Celkově lze říct, že normy hrají klíčovou roli při zajištění bezpečnosti, kvality a efektivity v mnoha odvětvích a jsou základem pro správnou funkci společnosti a mezinárodního obchodu.

3.1 ČSN EN ISO 21920-1

Tato norma má za úkol poskytnout definice, termíny a parametry, které slouží k indikaci textury povrchu profilovými metodami.

3.1.1 Toleranční přijímací pravidla

Určení tolerančních přijímacích pravidel je důležité pro stanovení způsobu aplikace tolerančních mezí na naměřené hodnoty parametrů. Pokud jde o texturu povrchu profilu, existují tři základní přístupy k tomu, jak tyto toleranční mezery aplikovat. [35]

Toleranční přejímací pravidlo 16 %

Toto pravidlo znamená že: 16 % všech naměřených hodnot smí překročit horní toleranční mez a 16 % všech naměřených hodnot smí překročit dolní toleranční mez. [35]

T16%

Obrázek 14 Značka tolerančního přejímacího pravidla 16%

Toleranční přejímací pravidlo MAXIMA

Toto pravidlo nedovoluje žádné naměřené hodnotě překročit toleranční mez. [35]

Tmax

Obrázek 15 Značka tolerančního přejímacího pravidla maxima

Toleranční přejímací pravidlo medián

Toleranční přejímací pravidlo medián platí pro parametr, u něhož je na řádku uvedena značka „Tmed“. [35]

Pro uplatnění tolerančního přejímacího pravidla se použijí alespoň tři měřené hodnoty. Vyšší počet měření může být specifikován v „dalších požadavcích“. [35]

Tmed

Obrázek 16 Značka tolerančního přejímacího pravidla medián

3.1.2 Elementy specifikace pro indikaci specifikace textury povrchu profilu

Indikace textury povrchu profilu specifikuje požadavky na povrch součásti a také na operátor specifikace. [35]

Povinná indikace explicitně specifikovaná

- Grafická značka textury povrchu profilu.
- Značka parametru textury povrchu profilu.

- Toleranční mez parametru textury povrchu profilu.
- Pro parametry bez stanovených výchozích hodnot platí: indikace indexu vložení profilového L-filtru pro R-parametry, nebo indexu vložení profilového S-filtru pro W-parametry. [35]

Volitelné indikace pro specifikaci nestandardních nebo dalších požadavků

- Typ tolerance. (horní, dolní, nebo oboustranná toleranční mez)
- Značka „T16%“. „Tmax“ nebo „Tmed“ pro specifikace tolerančního přejímacího pravidla.
- Typ profilového S-filtru.
- Index vložení profilového S-filtru.
- Typ profilového L-filtru pro R-parametry, nebo typ profilového S-filtru pro W-parametry.
- Index vložení profilového L-filtru pro R-parametry, nebo index vložení profilového S-filtru pro W-parametry.
- Hodnocená délka „le“ pro parametry vztažené k hodnocené délce. Úseková délka „lsc“ a počet úseků „nsc“ pro parametry vztažené k úsekové délce.
- Metoda přiřazení a element přiřazení profilového F-operátoru.
- Index vložení profilového F-operátoru.
- Metoda extrakce profilu.
- Značka „OR“ pro upřesnění dalších požadavků.
- Výrobní proces.
- Povrchové nerovnosti a jejich směr.
- Směr profilu.
- Značka „Scn“ specifikující třídu nastavení.

3.1.3 Pravidla pro indikaci specifikace textury povrchu profilu

Grafická značka indikující texturu povrchu profilu

Pokud se uvede grafická značka textury povrchu potom indikuje požadavky na povrch součásti. [35]

Parametr textury povrchu profilu

Značka parametru musí být vždy uvedena a zahrnuje dvě informace podstatné pro výklad požadavku. [35]

- První velké písmeno značky parametru uvádí, který měřítkem vymezený profil (R, W nebo P) je základem pro výpočet.
- Následující písmeno nebo písmena uvádí, která definice parametru je použita.

Hodnota toleranční meze parametru textury povrchu profilu

Toleranční meze specifikovaného parametru jsou vždy uvedeny přímo za označením tohoto parametru a jsou odděleny jednou mezerou. [35]

Typy tolerancí

Požadavek na texturu povrchu profilu může být specifikován jako jednostranná nebo oboustranná tolerance. [35]

Značky jsou:

U – pro horní toleranční mez (upper)

L – pro dolní toleranční mez (lower)

Toleranční přijímací pravidlo

Toleranční přijímací pravidlo musí být označeno jako "Tmax" pro pravidlo maxima, "T16%" pro pravidlo 16 %, nebo "Tmed" pro pravidlo mediánu. Výchozím pravidlem je toleranční přijímací pravidlo maxima a platí s nebo bez označení "Tmax". [35]

Typ profilového S-filtru

Pro profilový S-filtr lze použít všechny typy profilových filtrů ze souboru ISO 16610. [35]

Index vložení profilového S-filtru

Index vložení profilového S-filtru určuje, které laterální složky malého měřítka jsou odstraněny (viz ISO 21920-2). Hodnota indexu vložení profilového S-filtru je udávána v milimetrech (mm). [35]

Typ profilového L-filtru (pro R-parametr) nebo typ profilového S-filtru (pro W-parametr)

Pro profilový L-filtr nebo profilový S-filtr lze použít všechny typy profilových filtrů ze souboru ISO 16610. [35]

Index vložení profilového L-filtru (pro R-parametr) nebo index vložení profilového S-filtru (pro W-parametr)

Hodnota indexu vložení profilového L-filtru určuje, které laterální složky velkého měřítka jsou odstraněny pro R-parametry, zatímco hodnota indexu vložení profilového S-filtru určuje, které laterální složky malého měřítka jsou odstraněny pro W-parametry (viz ISO 21920-2). Tyto indexy vložení profilových filtrů jsou vyjádřeny v milimetrech (mm). [35]

Hodnocená délka

Hodnocená délka le specifikuje délku použitou pro identifikaci geometrických struktur, které charakterizují profil stanovený měřítkem (viz ISO 21920-2). Tato hodnota je udávána v milimetrech (mm). [35]

Úseková délka

Úseková délka l_{sc} specifikuje délku použitou k výpočtu výškových parametrů na základě vrchů a údolí profilu (viz ISO 21920-2). [35]

Počet úseků

Počet úseků n_{sc} určuje počet úsekových délek použitých pro výpočet výškových parametrů na základě vrcholů a údolí profilu (viz ISO 21920-2). Tento počet musí být kladné celé číslo. [35]

Metoda přiřazení a element přiřazení profilového F-operátoru

Metoda přiřazení a element přiřazení profilového F-operátoru určuje, jakým způsobem je z profilu odstraněn tvar (viz ISO 21920-2). Značky pro metody přiřazení a elementy přiřazení profilového F-operátoru specifikují, jak je z profilu odstraněn tvar (viz ISO 21920-2). [35]

Index vložení profilového F-operátoru

Index vložení profilového F-operátoru specifikuje, které složky tvaru jsou z profilu odstraněny (viz ISO 21920-2). [35]

Metoda extrakce profilu

Indikace metody extrakce profilu specifikuje, že se použije nestandardní extrakce měřítkem vymezeného profilu. [35]

Další požadavky OR(n)

Značka „OR(n)“ označuje, že další požadavky lze nalézt jako volný text na jiném místě v technické specifikaci produktu. Pokud je pouze jedna indikace s požadavkem OR(n), pak $n = 1$. Pro více požadavků se hodnota n postupně zvyšuje. [35]

Výrobní proces

Indikace výrobního procesu pomáhá zajistit, že je dosaženo požadovaných charakteristik povrchu. Společně s ostatními indikacemi pomáhá zaručit, že je výsledný povrch vyroben s požadovanými vlastnostmi. Indikovaný výrobní proces je použit k vytvoření konečného povrchu. [35]

Povrchové nerovnosti a jejich směr

Indikace povrchové nerovnosti a jejího směru obsahuje požadavky na výrobní proces. [35]

Směr profilu

Směr profilu se musí indikovat, když je profil získán ve stanoveném nestandardním směru. [35]

Třída nastavení Scn

Značka Scn indikuje, která třída nastavení se má použít pro určení výchozích hodnot. Pokud parametry nemají stanovené výchozí hodnoty, musí být určena třída nastavení nebo výchozí hodnota indexu vložení profilového L-filtru nebo výchozí hodnota indexu vložení profilového S-filtru. [35]

3.2 ČSN EN ISO 21920-2

Tato norma má za úkol poskytnout definice, termíny a parametry, které slouží k indikaci textury povrchu profilovými metodami. [36]

3.2.1 Obecné termíny

Skin model

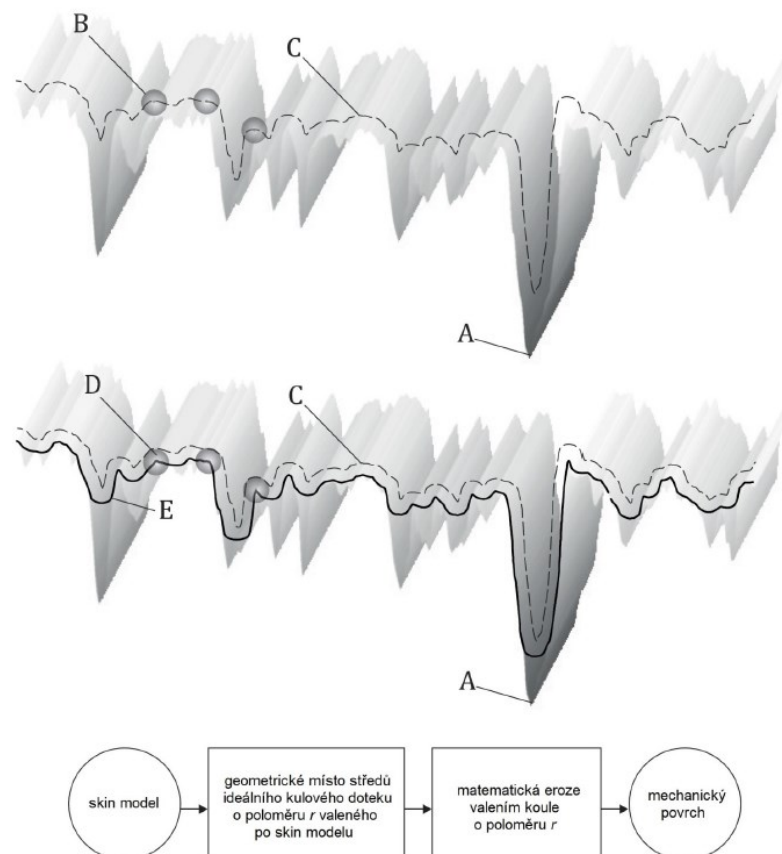
Model neideálního povrchu. [36]

Textura povrchu

Geometrické nepravidelnosti obsažené v měřítku vymezeném povrchu. [36]

Mechanický povrch

Rozhraní eroze vzniká, když se koule o poloměru r valí po geometrickém místě středů ideálního kulového doteku o stejném poloměru r , který je opět valen po povrchu modelu součásti. [36]



Obrázek 17 mechanický povrch

Legenda:

A skin model

B ideální kulový dotek poloměru r

C obalová křivka určující geometrické místo středů ideálního kulového doteku B valeného po skin modelu.

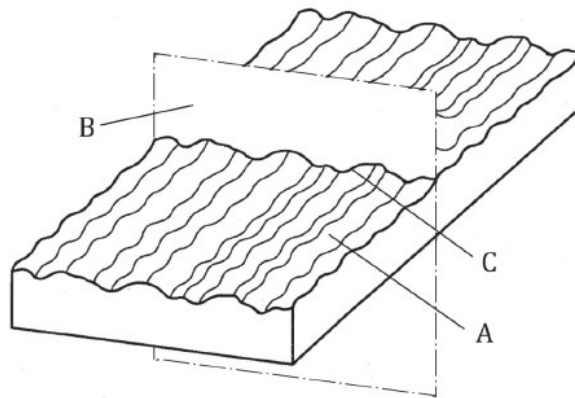
D koule o poloměru r

E mechanický povrch: rozhraní matematické eroze vzniklé valením koule D po obalové křivce C.

Čára profilu

Průniková čára skin modelu a sečné roviny kolmé ke skin modelu a ve stanoveném směru.

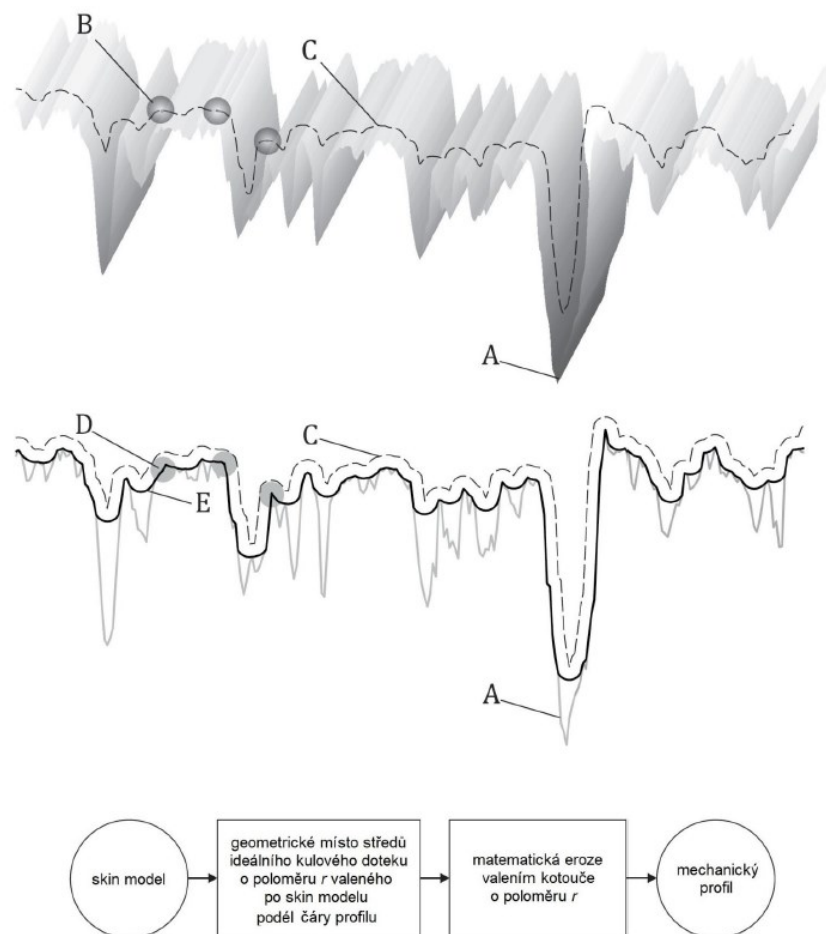
[36]



Obrázek 18 čára profilu (A – skin model, B – sečná rovina, C – čára profilu)

Mechanický profil

Rozhraní matematické eroze vzniká, když se kotouč o poloměru r valí po geometrickém místě středů ideálního kulového doteku o stejném poloměru r , který je valen podél čáry profilu po povrchu modelu součásti. [36]



Obrázek 19 mechanický profil [36]

Legenda:

A skin model

B ideální kulový dotek poloměru r

C obalová křivka určující geometrické místo středů ideálního kulového doteku B valeného po skin modelu

D koule o poloměru r

E mechanický povrch: rozhraní matematické eroze vzniklé valením koule D po obalové křivce C

Elektromagnetický povrch

Povrch získaný elektromagnetickou interakcí se skin modelem součásti

Elektromagnetický profil

Profil získaný elektromagnetickou interakcí se skin modelem součásti

Pomocný povrch

Povrch, jiný než mechanický nebo elektromagnetický, získaný interakcí se skin modelem součásti

Pomocný profil

Profil, jiný než mechanický nebo elektromagnetický, získaný interakcí se skin modelem součásti

Souřadnicový systém specifikace

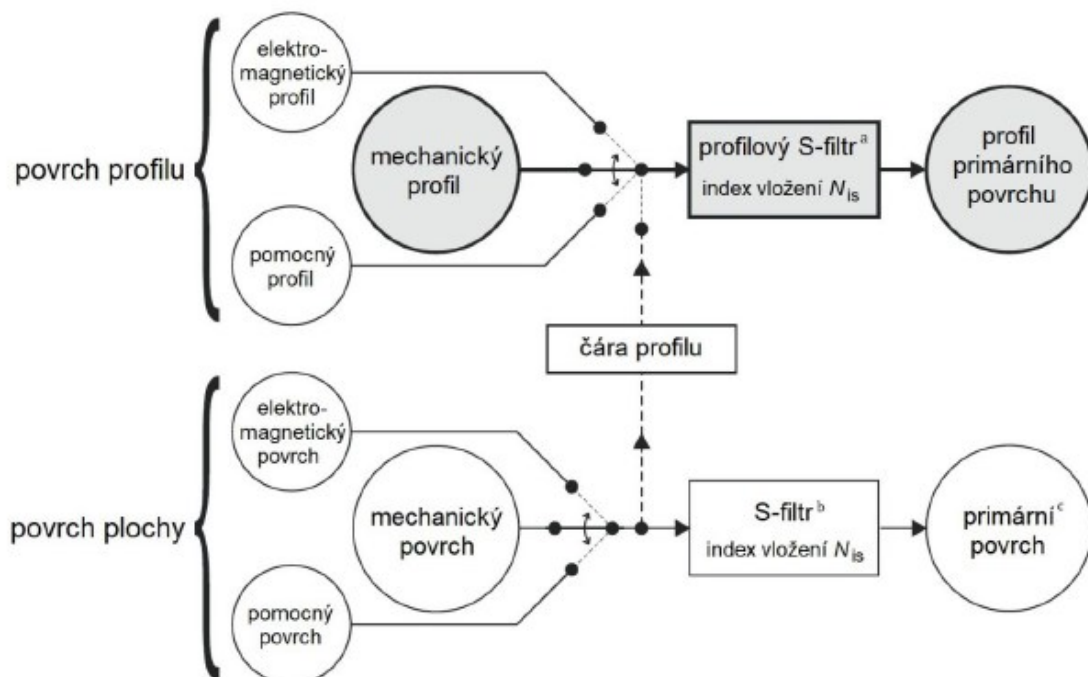
Soustava souřadnic, která slouží pro specifikaci parametrů textury povrchu

Index vložení

Číslo nebo soubor čísel indikující relativní úroveň vložení pro konkrétní primární matematický model

Profil primárního povrchu

Čára profilu povrchu je získána tak, že je reprezentována jako specifikovaný primární matematický model s určeným indexem vložení. [36]



Obrázek 20 Definice primárního povrchu a profilu primárního povrchu [36]

Profilový filtr

Operátor filtrace aplikovaný na profil

Profilový S-filtr

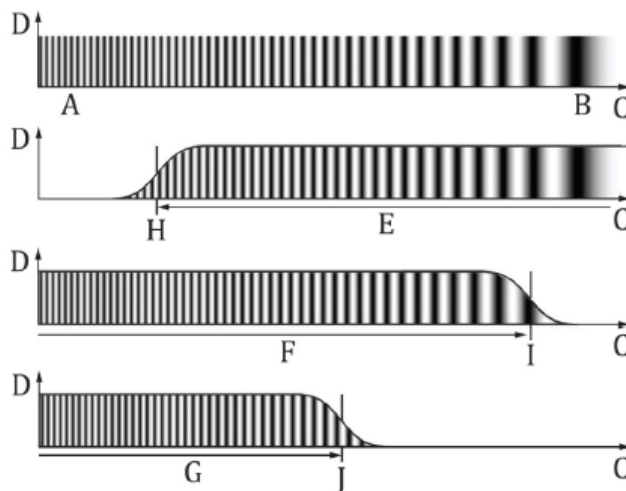
Profilový filtr, který odstraní laterální složky malého měřítka z profilu

Profilový L-filtr

Profilový filtr, který odstraní laterální složky velkého měřítka profilu

Profilová F-operace

Operace, který vyloučí vliv tvaru z profilu

**Legenda**

- A malé měřítko (např. krátké vlnové délky)
- B velké měřítko (např. dlouhé vlnové délky)
- C souřadnicová osa pro měřítko
- D souřadnicová osa pro amplitudu
- E složky vymezené měřítkem a extrahované profilovým S-filtrem
- F složky vymezené měřítkem a extrahované profilovou F-operací
- G složky vymezené měřítkem a extrahované profilovým L-filtrem
- H index vložení N_s pro profilový S-filtr
- I index vložení N_f pro profilovou F-operaci
- J index vložení N_c pro profilový L-filtr

Obrázek 21 vztahy mezi S-filtrem, L-filtrem a F-operací [36]

Měřítkem vymezený profil

Složky struktury profilu v rozsahu měřítka mezi specifikovanými indexy vložení [36]

Primární profil

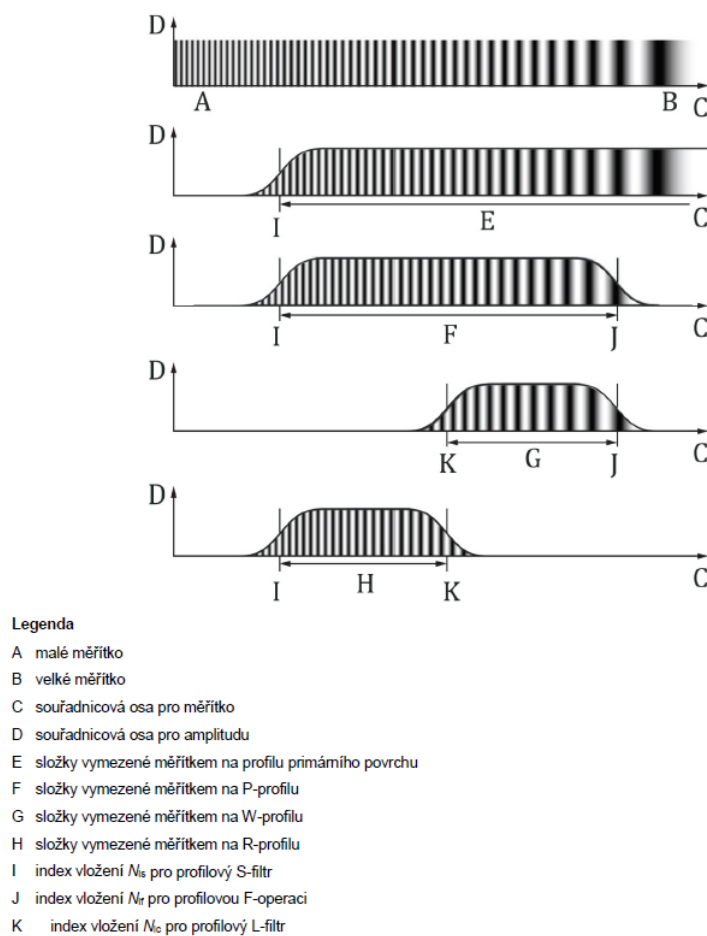
Měřítkem vymezený profil v libovolné poloze x je odvozen z primárního povrchu odstraněním tvaru pomocí profilové F-operace s indexem vložení N_{if} . [36]

Profil vlnitosti

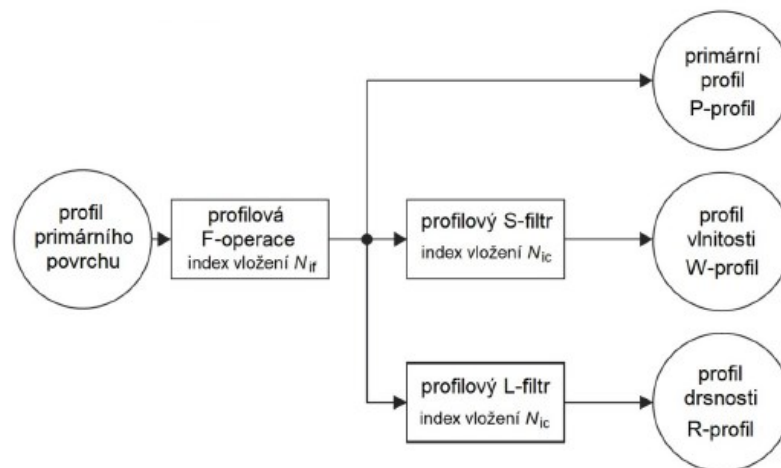
W-profil je měřítkem vymezený profil v libovolné poloze x , který je odvozen z primárního profilu odstraněním laterálních složek malého měřítka pomocí určitého typu profilového S-filtru s indexem vložení N_{ic} . [36]

Profil drsnosti

R-profil je měřítkem vymezený profil v libovolné poloze umístění x , který je odvozen z primárního profilu odstraněním laterálních složek velkého měřítka pomocí určitého typu profilového L-filtru s indexem vložení N_{ic} . [36]



Obrázek 22 vztahy mezi profilem primárního povrchu, P-profilem, W-profilem a R-profilem [36]



Obrázek 23 měřící postup pro určení P-profilu, W-profilu a R – profilu [36]

Referenční čára

Čára odpovídající konkrétní laterální složce velkého měřítka. [36]

Hodnocená délka

l_e – délka ve směru osy x použitá pro rozpoznání geometrických struktur charakterizujících měřítkem vymezený profil. [36]

Úseková délka

l_{sc} – délka ve směru osy x použitá pro získání parametrů vztažených k úsekové délce. [36]

Počet úseků

Celé číslo použité k získání parametrů vztažených k úsekové délce. [36]

3.2.2 Termíny geometrických parametrů

Parametr pole

Parametr stanovený ze všech bodů na měřítkem vymezeném profilu. [36]

Parametr prvku

Parametr stanovený z podmnožiny předurčených topografických prvků na měřítkem vymezeném profilu. [36]

Parametr vztažený k hodnocené délce

Parametr definovaný pro hodnocenou délku. [36]

Parametr vztažený k úsekové délce

Parametr stanovený pro soubor úsekových délek. [36]

P-parametr

Parametr stanovený z primárního profilu. [36]

W-parametr

Parametr stanovený z profilu vlnitosti. [36]

R-parametr

Parametr stanovený z profilu drsnosti. [36]

Výška

Znaménkovaná normálová vzdálenost od referenční čáry k měřítkem vymezenému profilu. [36]

Hloubka

Výška vynásobený číslem minus jedna. [36]

Hodnota pořadnice

Výška posuzovaného měřítkem vymezeného profilu. [36]

Místní sklon

První derivace měřítkem vymezeného profilu vzhledem k poloze x . [36]

Místní zakřivení

Zakřivení měřítkem vymezeného profilu vzhledem k poloze x . [36]

Autokorelační funkce

Funkce, která popisuje korelaci mezi měřítkem vymezeného profilem z a stejným profilem prostorově posunutým o hodnotu t_x . [36]

Fourierova transformace

Operátor, který transformuje měřítkem vymezený profil z do fourierovy domény. [36]

Amplitudová spektrální hustota

Absolutní hodnota Fourierovy transformace měřítkem vymezeného profilu z . [36]

Výkonová spektrální hustota

Funkce popisující rozložení výkonu měřítkem vymezeném profilu z využívající Fourierovu transformaci. [36]

3.2.3 Termíny geometrických prvků

Segmentace

Metoda, která rozděluje měřítkem vymezený profil do jasně odlišených prvků, se nazývá diskretizace nebo segmentace. [36]

Segmentace referenční čarou

Operace vyhodnocující přestoupení referenční čáry měřítkem vymezeným profilem ve spojení s kombinačním algoritmem, který ponechá soubor významných segmentů, se nazývá detekce překročení referenční čáry. [36]

Předělová segmentace

Operace filtrace, která prostorově rozkládá profil na vzájemně se vylučující části tohoto profilu. [36]

Výstupek

Bod na profilu, který je vyšší než všechny ostatní body v blízkém okolí uvažovaného bodu.

Nejvyšší bod vrcholu. [36]

Počet výstupků

Celé číslo představující počet významných výstupků v rámci hodnocené délky. [36]

Prohlubeň

Bod na profilu, který je nižší než všechny ostatní body v blízkém okolí uvažovaného bodu.

Nejnižší bod údolí. [36]

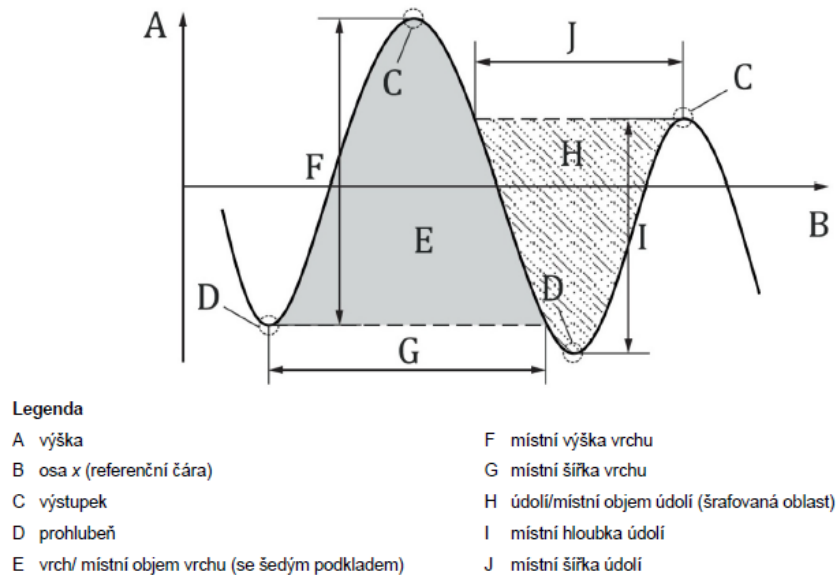
Počet prohlubní

Celé číslo představující počet významných prohlubní v rámci hodnocené délky. [36]

Vrch

Taková oblast okolo výstupku, kde všechny maximální vzestupné cesty končí na výstupku, se nazývá exocortex. Jedná se o souvislou část měřítkem vymezeného profilu, která směřuje

vně (z materiálu do okolního média) nad referenční čarou a je vymezena dvěma přilehlými body, ve kterých mění hodnoty své pořadnice. [36]



Obrázek 24 profil drsnosti [36]

Místní výška vrchu

Výškový rozdíl mezi výstupkem a nejvyšší prohlubní spojenou s tímto výstupkem. [36]

Místní šířka vrchu

Délka čáry protínající vrch ve výšce odpovídající nejvyšší prohlubni spojené s tímto vrchem. [36]

Místní objem vrchu

Poměr plochy vrchu nad nejvyšší prohlubní spojenou s tímto vrchem k hodnocené délce. [36]

Výška výstupku

Výškový rozdíl mezi výstupkem a referenční čarou. [36]

Údolí

Taková oblast okolo prohlubně, kde všechny maximální sestupné cesty končí v prohlubni, se nazývá endocortex. Jedná se o souvislou část měřítkem vymezeného profilu, která směřuje dovnitř (z okolního média do materiálu) pod referenční čarou a je vymezena dvěma přilehlými body, ve kterých mění hodnoty své pořadnice. [36]

Místní hloubka údolí

Výškový rozdíl mezi prohlubní a nejnižším výstupkem spojeným s touto prohlubní. [36]

Místní šířka údolí

Délka čáry protínající údolí ve výšce odpovídající nejnižšímu výstupku spojenému s tímto údolím. [36]

Místní objem údolí

Poměr plochy údolí pod nejnižším výstupkem spojeným s tímto údolím k hodnocené délce. [36]

Hloubka prohlubně

Výškový rozdíl mezi prohlubní a referenční čarou. [36]

Prvkový motiv

Vrch nebo údolí vymezené předělovou segmentací. [36]

Topografický prvek

Čárový prvek nebo bodový prvek na měřítkem vymezeném profilu. [36]

Čárový prvek

Vrch nebo údolí. [36]

Bodový prvek

Výstupku nebo prohlubeň. [36]

Strom změn vrchů

Diagram, který popisuje vztahy mezi výstupky a prohlubněmi roztríděnými podle jejich místních výšek vrchů. [36]

Strom změn údolí

Diagram, který popisuje vztahy mezi prohlubněmi a výstupky roztríděnými podle jejich místních hloubek údolí. [36]

Pročištění

Metoda zjednodušení stromu změn, ve kterém jsou odstraněny čáry od výstupků (nebo prohlubní) k jejich připojeným prohlubním (nebo výstupkům). [36]

Wolfovo pročištění

Pročištění, které odstraňuje čáry na stromu změn, probíhá od výstupku (nebo prohlubně) s nejmenší místní výškou vrchu (nebo místní hloubkou údolí) až po výstupek (nebo prohlubeň) s určenou místní výškou vrchu (nebo místní hloubkou údolí). [36]

Výškové rozlišení

Minimální místní výška vrchu nebo místní hloubka údolí na měřítkem vymezeném profilu je nejnižší hodnota výšky vrcholu nebo hloubky údolí, která se vyskytuje v profilu.

Minimální výška výstupku nebo hloubka prohlubně na měřítkem vymezeném profilu je nejnižší hodnota výšky výstupku nebo hloubky prohlubně v profilu. [36]

Výškové rozlišení výstupku

Minimální výška výstupku využítá jako prahová hodnota během segmentace. [36]

Hloubkové rozlišení prohlubně

Minimální hloubka prohlubně využítá jako prahová hodnota během segmentace. [36]

Profilový element

Vrch následovaný údolím nebo údolí následované vrchem. [36]

Výška profilového elementu

Součet výšky výstupku a hloubky prohlubně profilového elementu. [36]

Rozteč profilového elementu

Vzdálenost na referenční čáře mezi začátkem dvou sousedních profilových elementů. [36]

3.2.4 Výškové parametry pole**Střední aritmetická výška**

P_a , W_a , R_a

Parametr „střední aritmetická výška“ je aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic. [36]

Vypočítá se podle vzorce:

$$R_a = \frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} |z(x)| dx \quad (1)$$

Efektivní výškaP_q, W_q, R_q

Parametr „efektivní výška“ je druhá odmocnina střední kvadratické hodnoty pořadnic. [36]

Vypočítá se podle vzorce:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_e} \int_0^{l_e} z^2(x) dx} \quad (2)$$

ŠikmostP_{sk}, W_{sk}, R_{sk}Parametr „šikmost“ je podíl střední kubické hodnoty pořadnic a hodnoty třetí mocniny R_q. [36]

Vypočítá se podle vzorce:

$$R_{sk} = \frac{1}{R_q^3 * l_e} \int_0^{l_e} z^3(x) dx \quad (3)$$

ŠpičatostParametr „špičatost“ je podíl střední kvantické hodnoty pořadnic a hodnoty čtvrté mocniny R_q. [36]

Vypočítá se podle vzorce

$$R_{ku} = \frac{1}{R_q^4 * l_e} \int_0^{l_e} z^4(x) dx \quad (4)$$

Celková výškaP_t, W_t, R_t

Parametr „celková výška“ je součet největší výšky a největší hloubky. [36]

Vypočítá se ze vzorce:

$$R_t = \max(z(x)) - \min(z(x)) \quad (5)$$

Maximální výška úseku

Parametr „maximální výška úseku“ je maximální hodnota rozdílu mezi nejvyšší hodnotou pořadnice a nejnižší hodnotou pořadnice vypočítaná v rámci úseku o délce l pohybujícího se po hodnocené délce le . [36]

Vypočítá se podle vzorce:

$$R_{zx}(l) = \max(\Delta z(x_0)), \text{ kde } \Delta z(x_0) = \max(z(x)) - \min(z(x)) \quad (6)$$

3.3 ČSN EN ISO 25178-2

Tato norma má za úkol poskytnout definice, termíny a parametry, které slouží k měření textury povrchu pomocí plošných metod. [37]

3.3.1 Materiálový objem

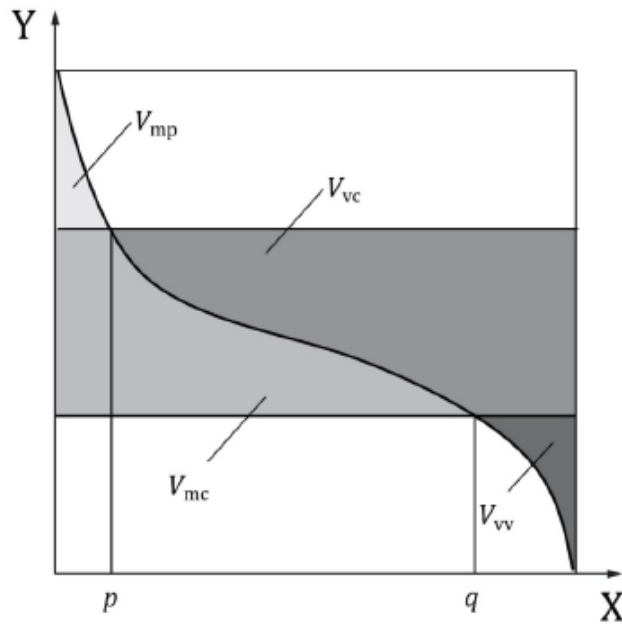
Parametr materiálového objemu

$V_m(p)$

Parametr "materiálový objem" je definován jako objem materiálu na jednotku plochy při daném materiálovém poměru p a je vypočítán z křivky plošného materiálového poměru. [37]

Vypočítá se podle vzorce:

$$V_m(p) = \frac{K}{100\%} \int_0^P [S_{mc}(q) - S_{mc}(p)] d_q \quad (7)$$



Obrázek 25 Parametry prázdný objem a materiálový objem, X – plošný materiálový poměr, Y – výška [37]

Materiálový objem výstupku

V_{mp}

Parametr „materiálový objem výstupku“ označuje objem materiálu vytvořeného výstupkem při daném materiálovém poměru p . [37]

Vypočítá se podle vzorce:

$$V_{mp} = V_m(p) \quad (8)$$

Materiálový objem jádra

Parametr „materiálový objem jádra“ se definuje jako rozdíl mezi materiálovými objemy při daném materiálovém poměru p a q . [37]

Vypočítá se podle vzorce:

$$V_{mc} = V_m(q) - V_m(p) \quad (9)$$

3.3.2 Více měřítkové geometrické (fraktálové metody)

Morfologická objemová měřítková funkce

Tato funkce stanovuje objem mezi morfologickou horní obálkou (morfologické uzavření) a spodní obálkou (morfologické otevření), které jsou vytvářeny pomocí strukturního prvku ve tvaru čtvercové horizontální rovinné plošky, v závislosti na měřítku c , což je rozměr tohoto strukturního prvku. Objemově měřítková funkce je obvykle vykreslována jako logaritmus z objemu v závislosti na logaritmu měřítka. Objem je obvykle násoben konstantou K a převeden na jednotku mikrometr krychlový na milimetr čtvereční. [37]

Měrná plocha

Měrná plocha je definována jako poměr plochy, která je stanovena pomocí trojúhelníkových plošek o stálé ploše c , k hodnocené ploše. Tato metoda pokládání tvarových plošek se nazývá plošně měřítková metoda. [37]

Plošně měřítková funkce

Tato funkce stanovuje měrnou plochu v závislosti na měřítku c . Obvykle je vykreslena jako logaritmus měrné plochy v závislosti na logaritmu měřítka. Měřítka c představuje plochu trojúhelníkových tvarových plošek a je vyjádřeno v jednotkách laterální délky na druhou. [37]

Měrná délka

Měrná délka je definována jako poměr délky, která je stanovena pokládáním úseček o délce c , k promítnuté délce L . Promítnutá délka L je obvykle menší než délka strany povrchu. Měrnou délku lze vypočítat pro každý řádek nebo každý sloupec povrchu. Poté je stanoven průměr hodnot měrné délky vypočítaných na řádcích nebo sloupcích. Tato metoda pokládání úseček se nazývá délkově měřítková metoda. [37]

Délkově měřítková funkce

Tato funkce stanovuje měrnou délku v závislosti na měřítku c . Obvykle je vykreslena jako logaritmus měrné délky v závislosti na logaritmu měřítka. Měřítka c představuje délku úsečky a je vyjádřeno v jednotkách laterální délky. [37]

Měřítko pozorování

Měřítko pozorování je určeno rozměrem strukturního prvku v objemově měřítkové funkci, plochou trojúhelníkových tvarových plošek v plošně-měřítkové funkci nebo délkou úsečky v délkově-měřítkové funkci. [37]

Objemově měřítková fraktálová komplexnost

Parametr „objemově měřítková fraktálová komplexnost“ se vypočítá jako 1 000násobek sklonu objemově měřítkové funkce v rámci definované domény měřítka pozorování. Činitel 1 000 je zaveden k zamezení příliš velkého počtu nul v desetinném čísle. [37]

Plošně měřítková fraktálová komplexnost

Parametr „plošně měřítková fraktálová komplexnost“ se vypočítá jako -1 000násobek sklonu plošně měřítkové funkce v rámci definované domény měřítka pozorování. Činitel 1 000 je zaveden k zamezení příliš velkého počtu nul v desetinném čísle. [37]

Délkově měřítková fraktálová komplexnost

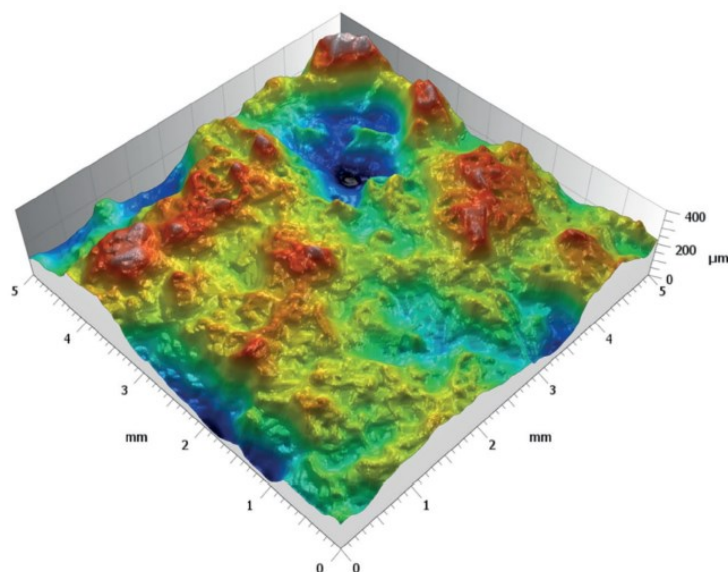
Parametr „délkově měřítková fraktálová komplexnost“ se vypočítá jako -1 000násobek sklonu délkově měřítkové funkce v rámci definované domény měřítka pozorování. Činitel 1 000 je zaveden k zamezení příliš velkého počtu nul v desetinném čísle. [37]

3.3.3 Parametr prvků

Obecně

Charakterizace prvku nemá definované specifické parametry prvku, ale je založena na technice rozpoznávání vzorů, které lze použít k charakterizaci určitých prvků na měřítkem vymezeném povrchu. Proces charakterizace prvku je rozdělen do pěti etap:

- Výběr typu prvku textury
- Segmentace
- Stanovení významných prvků
- Výběr atributů prvku
- Statistická kvantifikace atributů prvku [37]



Obrázek 26 Příklad ilustrativního povrchu [37]

Typ prvku textury

Tři hlavní typy prvků textury jsou plošné prvky (vrchy a údolí), čárové prvky (údolní a hřebenové čáry) a bodové prvky (výstupky, prohlubně a sedlové body). Je důležité vybrat vhodný typ prvku textury pro funkci kontrolovaného povrchu. [37]

Třída prvku	Typ prvku textury	Označení
Plošná	Vrch	H
	Údolí	D
Čárová	Údolní čára	C
	Hřebenová čára	R
Bodová	Výstupek	P
	Prohlubeň	V
	Sedlový bod	S

Obrázek 27 Typy prvků textury [37]

Segmentace

Segmentace se používá k určení oblastí měřítkem vymezeného povrchu, které definují prvky. Proces segmentace spočívá především v nalezení všech vrchů a údolí na měřítkem vymezeném povrchu. To obvykle vede k nadměrné segmentaci povrchu, a tak jsou „menší“ segmenty pročištěny (odříznuty), aby se dosáhlo vhodné segmentace měřítkem vymezeného povrchu. [37]

Kritérium rozměru	Označení	Práh
Místní výška vrchu / místní hloubka údolí (Wolfovo pročištění)	Wolfprune	Stanovená výška / hloubka nebo procentní část z parametru Sz
Objem vrchu / objem údolí	VolS	Stanovený objem
Plocha vrchu / plocha údolí	AreaS	Stanovená plocha, nebo procentní část z hodnocené plochy
Obvod vrchu / obvod údolí	PerS	Stanovená délka

Obrázek 28 Kritéria rozměrů pro segmentaci [37]

Stanovení významných prvků

„Funkce“ neovlivňuje všechny prvky stejným způsobem; různé prvky se různě vzájemně ovlivňují. Je proto nezbytné odlišit funkčně významné prvky od funkčně nevýznamných. Pro každou konkrétní funkci povrchu je nutné definovat funkci segmentace, která identifikuje významné a nevýznamné prvky definované segmentací. Pro charakterizaci se používá soubor významných prvků. [37]

Třída prvku	Metoda stanovení významných prvků	Označení	Určující parametr
Plošná	Vrch je významný, je-li jeho údolní čára zcela pod vodorovnou rovinou v dané výšce, jako by to byl ostrov obklopený vodní hladinou ^a	Closed c	Výška se definuje z materiálového poměru nebo absolutní výšky
	Údolí je významné, je-li jeho hřebenová čára zcela nad vodorovnou rovinou v dané výšce, takže tekutina uvnitř údolí nemůže uniknout do sousedního údolí ^a [viz obrázek 21 b), prvky C a D]	Closed c	Výška se definuje z materiálového poměru nebo absolutní výšky
	Vrch je významný, je-li jeho nejvyšší sedlový bod nad vodorovnou rovinou v dané výšce, jako kdyby dva sousední vrchy byly spojeny nad vodní hladinou ^a	Open c	Výška se definuje z materiálového poměru nebo absolutní výšky
	Údolí je významné, je-li jeho nejnižší sedlový bod pod vodorovnou rovinou v dané výšce, takže tekutina uvnitř údolí může přetékat do sousedního údolí ^a [viz obrázek 21 a), prvky A a B]	Open c	Výška se definuje z materiálového poměru nebo absolutní výšky
Bodová	Výstupek je významný, má-li jednu z N největších výšek výstupků	Top	N je celé číslo
	Prohlubeň je významná, má-li jednu z N největších hloubek prohlubní	Bot	N je celé číslo
Plošná, čárová, bodová	Použití všech prvků	All	–

Obrázek 29 Metody stanovení významných prvků [37]

Výběr atributů prvků

Jakmile je stanoven soubor významných prvků, je nutné určit vhodné atributy prvků pro charakterizaci. Většina atributů jsou rozměry prvku, například délka, plocha nebo objem prvku. [37]

Třída prvku	Atributy prvků	Označení
Plošná	Místní výška vrchu/místní hloubka údolí	Hh/Dd
	Plocha vrchu nebo údolí	Ah/Ad
	Objem vrchu nebo údolí	Vh/Vd
	Otevřený/uzavřený místní prázdný objem údolí na prahu c protnutí prahovou rovinou ^a	Vlv
	Otevřený/uzavřený místní materiálový objem vrchu na prahu c protnutí prahovou rovinou ^a	Vlmv
	Kruhovitost vrchu nebo údolí ^b	Mrn
	Činitel tvaru vrchu nebo údolí ^b	Mff
	Ekvivalentní průměr vrchu nebo údolí ^b	Med
	Poměr stran vrchu nebo údolí ^b	Mar
Čárová	Délka údolní čáry nebo hřebenové čáry	Lcr
Bodová	Výška výstupku	Hp
	Hloubka prohlubně	Hv
	Výška sedlového bodu	Hs
	Místní střední zakřivení v rozhodujícím bodě	Curvature
Plošná, čárová, bodová	Atribut získá hodnotu ze sčítání	Count

Obrázek 30 Atributy prvků [37]

Statistiky atributů prvků

Stanovení vhodné statistiky atributů významných prvků, parametru prvku a případně histogramu hodnot atributů je závěrečnou částí charakterizace prvku. [37]

Statistika atributů	Označení	Práh
Střední aritmetická hodnota atributu	Mean	–
Maximální hodnota atributu	Max	–
Minimální hodnota atributu	Min	–
Směrodatná odchylka hodnot atributu	StdDev	–
Procento nad stanovenou hodnotou	Perc	Prahová hodnota v jednotkách atributu
Histogram	Hist	–
Součet hodnot atributu	Sum	–
Součet všech hodnot atributu dělený hodnocenou plochou	Density	–

Obrázek 31 Statistiky atributů prvků [37]

4 STATISTIKA

4.1 Exploratorní analýza dat (EDA)

Srovnatelnost dat je častým tématem v celé řadě statistických aplikací. Často jsou data shromažďována takovým způsobem, že jsou v podstatě rozdělena do několika podskupin, jejichž srovnatelnost je třeba posoudit. K tomu dochází například tehdy, když se údaje sbírají v několika centrech.

Průzkumná analýza dat (Exploratory Data Analysis, EDA) je proces popisu dat pomocí statistických a vizualizačních technik s cílem upozornit na důležité aspekty těchto dat pro další analýzu. Zahrnuje prozkoumání souboru dat z mnoha úhlů pohledu, jeho popis a shrnutí, aniž by byly učiněny jakékoli předpoklady o jeho obsahu.

Stejně jako všechno na světě mají i data své nedostatky. Surová data jsou obvykle zkreslená, mohou obsahovat odlehlé hodnoty nebo příliš mnoho chybějících hodnot. Model postavený na takových datech vede k neoptimálnímu výkonu. Ve spěchu, aby se dostali do fáze strojového učení, někteří odborníci na data buď zcela vynechají proces průzkumné analýzy dat (EDA), nebo odvedou velmi průměrnou práci. To je chyba s mnoha důsledky, které zahrnují generování nepřesných modelů, generování přesných modelů, ale na nesprávných datech, nevytváření správných typů proměnných při přípravě dat a neefektivní využívání zdrojů. [38,39]

Hlavní body, proč provádíme exploratorní analýzu dat:

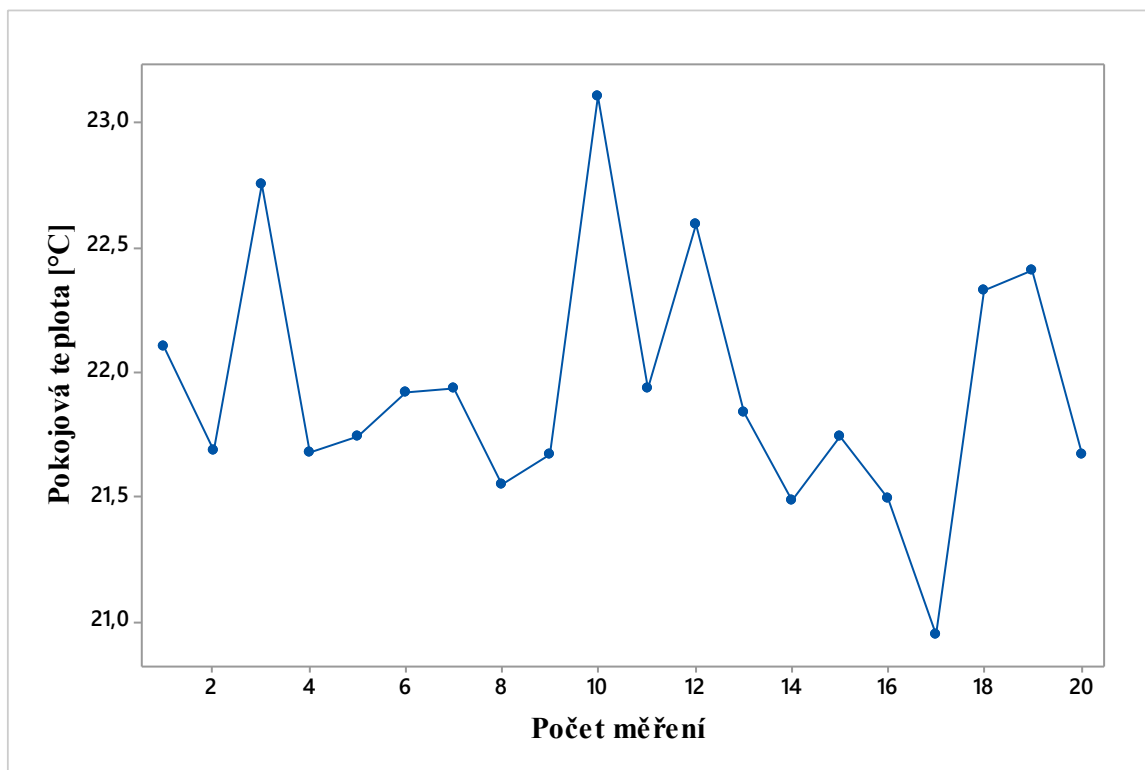
- vytváření grafů/nákresů, které pomáhají porozumět datům.
- zkoumání rozložení jednotlivých proměnných
- čištění dat (od hrubých chyb které by nám mohli zkreslovat výsledky)
- odhalení odlehlých hodnot/anomálií, které vám umožní vyvodit závěry o datech

K tomu nám slouží několik nástrojů

4.1.1 Graf časové řady

Graf časové řady je typ vizualizace dat časové řady, kde jsou datové body uspořádány do mřížky. Jedna osa (obvykle x) představuje časový index a druhá hodnotu toho, co je sledováno.

Síla grafů časových řad spočívá v tom, že trendy, nepravidelnosti a další vlastnosti dat jsou okamžitě zřejmé. Nemusíte procházet surová data, abyste je našli. [38,39]



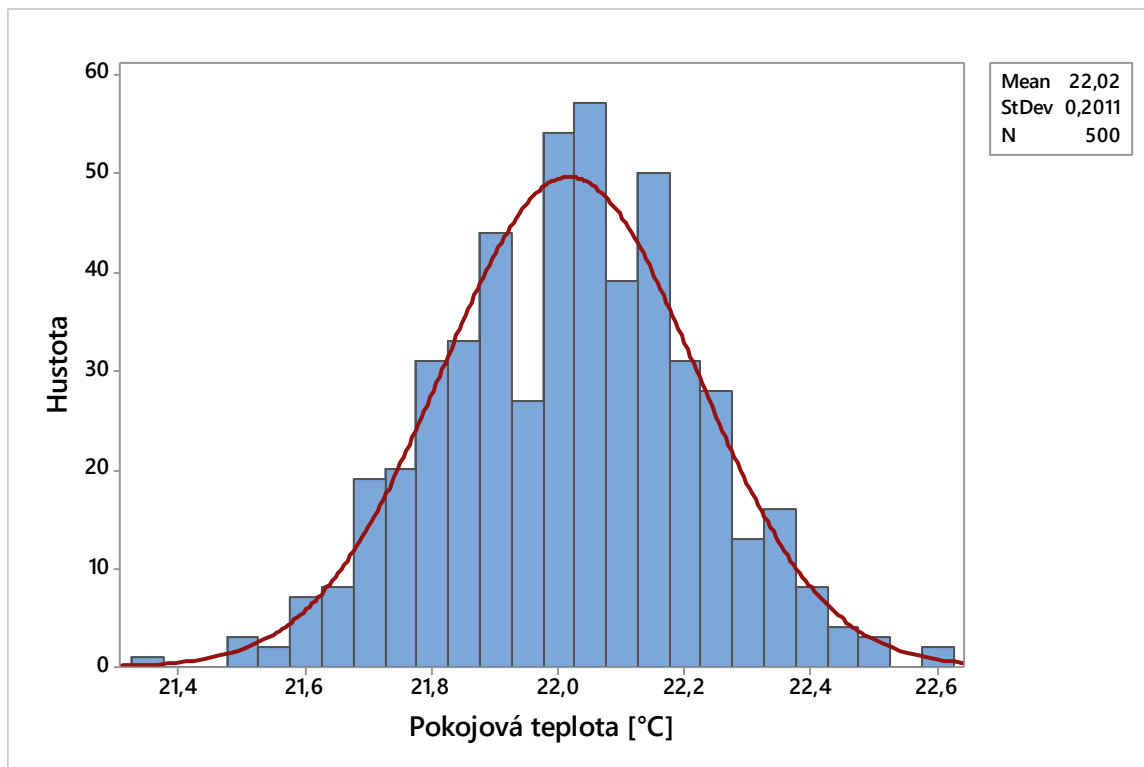
Obrázek 32 Graf časové řady

Zde máme graf časové řady. Na ose y máme napsané o co se jedná, v tomhle případě je zde Pokojevá teplota, a na ose x máme počet měření. Takže například z tohoto grafu můžeme vyčíst, že při dvacátém měření byla teplota cca 21,8 [°C]

4.1.2 Histogramy

Histogram je grafické znázornění datových bodů uspořádaných do uživatelem zadaných rozsahů. Histogram, podobný sloupcovému grafu, zhušťuje datové řady do snadno interpretovatelné vizuální podoby tím, že bere mnoho datových bodů a seskupuje je do logických rozsahů.

Na základě histogramu můžeme identifikovat, zda byla data v průběhu měření ovlivněna, a zda vykazují normální Gaussovské rozdělení. To nám umožňuje získat informace o aritmetickém průměru, neboť normalita dat je pro tento parametr klíčová. [38,39]



Obrázek 33 Histogram

U histogramu máme na ose y Hustotu neboli četnost hodnot, kde nejčetnější by to mělo být uprostřed pokud bychom měli symetrickou Gaussovu křivku též známou jako distribuční křivku. Na ose x máme popsané, o jaký parametr se jedná, dále máme u grafu vypočítaný průměr neboli Mean pak směrodatnou odchylku což je zde popsáno jako StDev. a celkový počet měření což je zde 500.

4.1.3 Box-plotové diagramy

Box-plot, známý též jako Krabicový graf, představuje jednu z grafických metod v oblasti statistiky, která umožňuje vyhodnotit data prostřednictvím kvartilů. V této prezentaci se pokusím srozumitelně vysvětlit, jak ho vytvořit, jaké informace nám poskytuje o datovém souboru a jak ho lze prakticky využít.

Úvod ke kvantilovým charakteristikám

Předtím než se ponoříme do samotného Box-Plotu, je užitečné se zaměřit na kvantilové charakteristiky, na kterých je tato grafická metoda postavena.

Kvantily jsou hodnoty, které rozdělují uspořádaný soubor hodnot do určitého počtu stejně obsazených částí. Obecně jsou označovány jako x_p , kde „p“ představuje procentní kvantil.

[38,39]

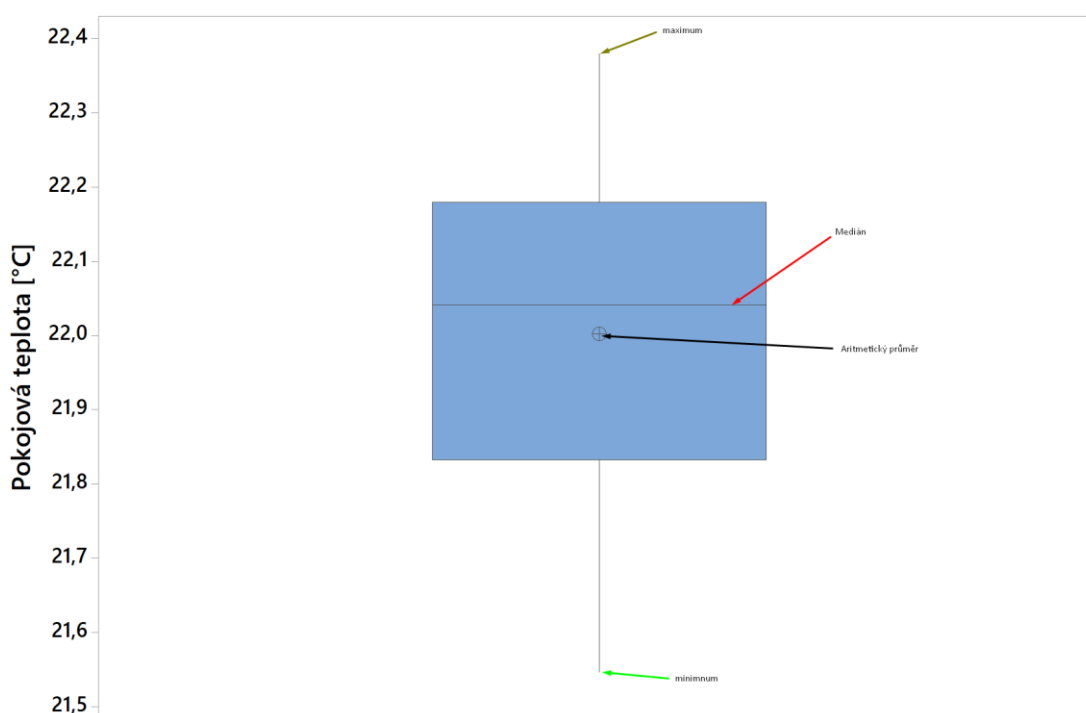
Mezi nejčastěji používané kvantily patří kvartily. Tyto hodnoty rozdělují soubor do čtyř částí, přičemž každá zahrnuje 25 % jednotek. Kvartily jsou označovány jako:

x_{25} = dolní kvartil

x_{50} = druhý kvartil, známý též jako Medián (často označováný jako x s vlnkou)

x_{75} = horní kvartil

V statistických nástrojích jsou kvartily často označovány Q_{25} , Q_{50} a Q_{75} nebo Q_1 , Q_2 a Q_3 . [38,39]



Obrázek 34 Krabicový graf neboli box plot

Zde máme box plot graf, na ose y máme naše data což je zde pokojová teplota, červená šipka ukazuje na čáru uprostřed, a to nám ukazuje medián, modré pole, na které ukazuje černá šipka nám značí, že spodní čára tohoto pole je první kvartil (Q_1) a vrchní čára je třetí kvartil (Q_3) pak máme zbylá data označená čarou a dole máme označenou zelenou barvou minimum a nahoře na konci čáry označeno hnědou barvou je maximum.

4.1.4 T-test

Studentův t-test (nazývaný také T-test) se používá k porovnání průměrů mezi dvěma skupinami a není třeba vícenásobného porovnání, protože se sleduje testovací kritérium P, zatímco ANOVA se používá k porovnání průměrů mezi třemi nebo více skupinami. [38,39]

Stejně jako u jiných testů existují dva druhy hypotéz: nulová hypotéza a alternativní hypotéza. Nulová hypotéza předpokládá, že mezi průměry existuje statisticky významný rozdíl, zatímco alternativní hypotéza předpokládá, že mezi průměry neexistuje statisticky významný rozdíl. [38,39]

Jedno vzorkový t-test se používá k porovnání průměru jedné skupiny s teoretickým průměrem nebo s hodnotou z jiného zdroje. Například, můžete použít jedno vzorkový t-test k porovnání průměrného času, který studenti potřebují k vyřešení určité úlohy, se stanovenou standardní dobou pro její řešení. [38,39]

Dvou vzorkový t-test se používá k porovnání průměrů dvou nezávislých skupin.

Párový t-test se používá k porovnání průměrů dvou spojených skupin, tj. když jsou data ze stejných jednotek, například před a po léčbě. To může být užitečné k určení, zda se nějaká intervence nebo léčba projevuje statisticky významnými změnami v průměrech měřených proměnných. [38,39]

4.1.5 F-test

F-test je statistická metoda používaná k porovnání rozptylů mezi třemi nebo více skupinami. ANOVA určuje, zda jsou rozptyly těchto skupin statisticky signifikantně odlišné. Principiálně se ANOVA snaží rozložit celkovou variabilitu pozorovaných dat na dvě části: variabilitu mezi skupinami a variabilitu uvnitř skupin.

F-test, který je součástí ANOVA, se používá k určení, zda jsou rozdíly mezi rozptyly skupin statisticky významné. Výsledkem F-testu je testovací kritérium F

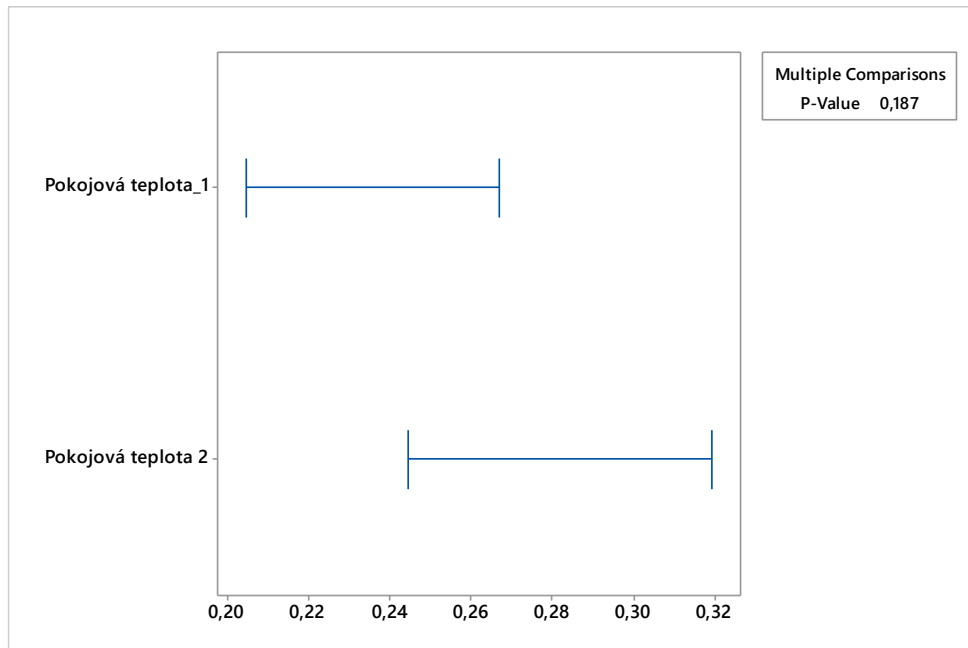
Při použití F-testu v rámci analýzy variance (ANOVA) se obvykle formulují dvě hypotézy:

Nulová hypotéza (H_0): předpokládá, že existuje alespoň jeden statisticky významný rozdíl mezi rozptyly skupin.

Alternativní hypotéza (H_A): tvrdí, že mezi rozptyly skupin neexistuje žádný statisticky významný rozdíl. Jinými slovy, všechny skupiny mají stejný rozptyl.

Alternativní hypotéza

Při analýze výsledků F-testu se rozhoduje na základě hodnoty F -hodnoty a příslušného p -hodnoty. Pokud je p -hodnota menší než stanovená hladina významnosti (často 0,05), zamítáme nulovou hypotézu ve prospěch alternativní hypotézy a interpretujeme to jako důkaz o existenci statisticky významných rozdílů mezi průměry skupin. [38,39]



Obrázek 35 F-test souhrnný graf

4.1.6 Shluková analýza

Shluková analýza, používá k identifikaci skupin objektů nebo pozorování s podobnými vlastnostmi do jednotlivých skupin nazývaných shluky. Cílem shlukové analýzy je nalézt vnitřní strukturu dat a seskupit je do shluků tak, aby objekty v jednom shluku byly si podobnější než objekty v ostatních shlucích.

Použití shlukové analýzy:

Může pomoci zredukovat složitost dat tím, že seskupí podobné pozorování do jednoho shluku, což usnadní následnou analýzu. Poskytuje intuitivní zobrazení dat pomocí vizualizací shluků, což může pomoci uživatelům lépe porozumět struktuře dat. [40]

Vzdálenost mezi shluky se počítá různými způsoby



Obrázek 36 Metoda nejbližšího souseda

V metodě nejbližšího souseda se vzdálenost mezi shluky určuje jako nejkratší vzdálenost mezi jednotlivými objekty v těchto shlucích. [40]



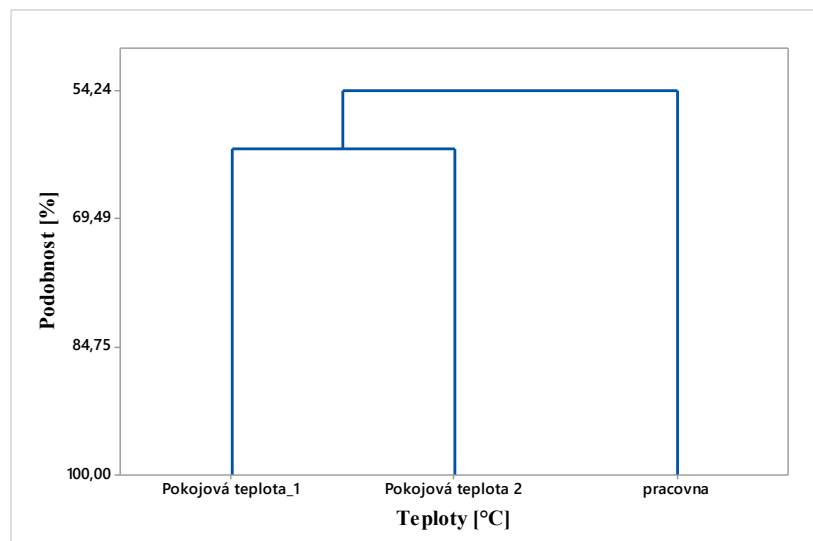
Obrázek 37 Metoda nejvzdálenějšího souseda

V metodě nejvzdálenějšího souseda je vzdálenost mezi dvěma shluky definována jako maximální vzdálenost mezi jejich jednotlivými objekty. [40]



Obrázek 38 Metoda průměrné vazby

V metodě průměrné vazby je vzdálenost mezi dvěma shluky stanovena jako průměr vzdáleností mezi všemi jejich objekty. [40]



Obrázek 39 shluková analýza – Dendrogram

Zde máme dendrogram, který nám říká, jaká podobnost je, mezi jakými shluky dat.

Na ukázce máme tři shluky dat a můžeme z grafu vyčíst, že první dva shluky dat což je pokojová teplota 1 a 2 je podobná na 61,16 % a tyto dva shluky jsou s dalším shlukem dat který se nazývá pracovní podobný na 54,24 %. [40]

5 CÍLE PRÁCE

Hlavním úkolem této práce bylo provést literární rešerši na téma hodnocení povrchů, což zahrnovalo podrobné zkoumání relevantních norem pro analýzu povrchů. Následně jsme provedli kontrolu pomocí mikroskopu, abychom se ujistili, že zkoumaný materiál na daném místě nevykazuje žádné povrchové vady.

Jako další krok bude provedena analýza povrchů pomocí bezkontaktního profilometru Zygo. Následně budou data vyhodnocena, abychom identifikovali případné hrubé chyby a zkoumali podobnosti mezi povrchy kovového výrobku a otiskové hmoty. Veškerá tato data budou podrobena statistickému vyhodnocení.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 PŘÍPRAVA VZORKŮ A REPLIK VZORKŮ

Cílem mé práce bylo zjistit, jak měřit povrchy na místech, která jsou obtížně dostupná. K tomu jsem využil otiskovou hmotu Siloflex a porovnával jsem výsledky s několika výrobky, které jsem musel nechat rozřezat abych je mohl bezkontaktním profilometrem změřit.

Kov je složen z nízkouhlíkové slitiny složené z niklu, chromu, molybdenu a niobu.



Obrázek 40 Použitá otisková hmota

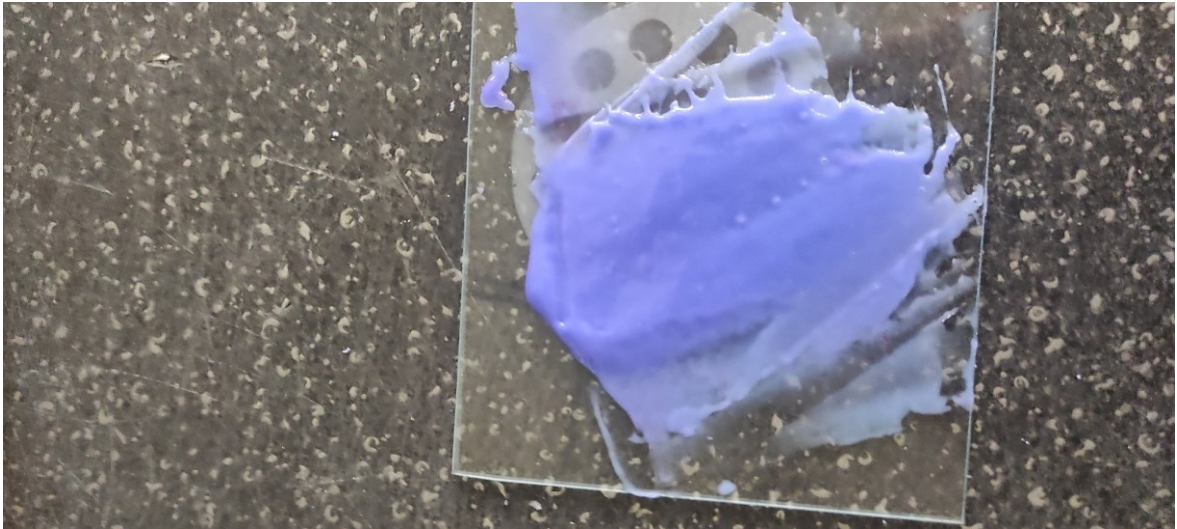
Příprava:

Na sklíčko jsem si nachystal pásek silikonového materiálu a katalyzátoru



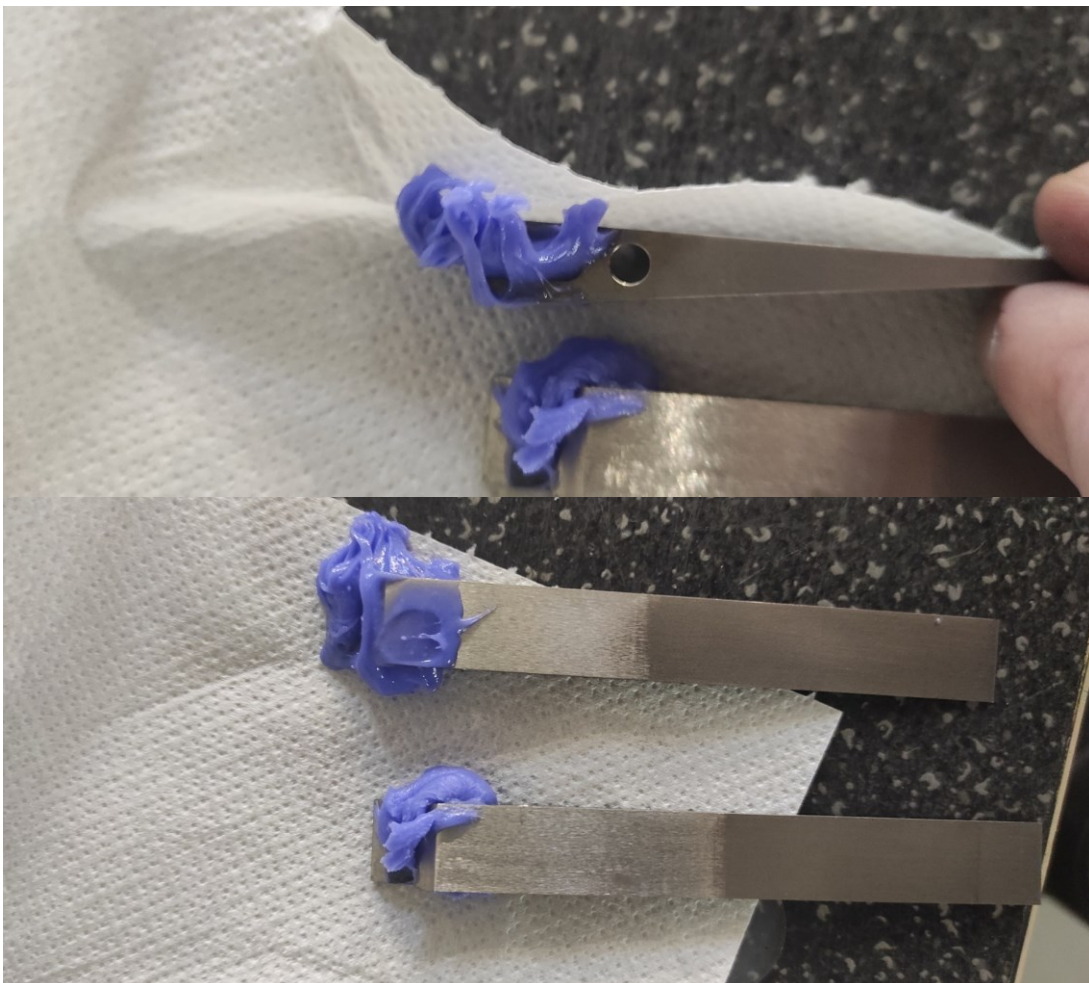
Obrázek 41 Ukázka katalyzátoru a silikonu v tekutém stavu

následně jsem je opatrně smíchal abych se vyhnul vzduchovým bublinkám ve směsi které by mi mohli poškodit výslední obtisk.



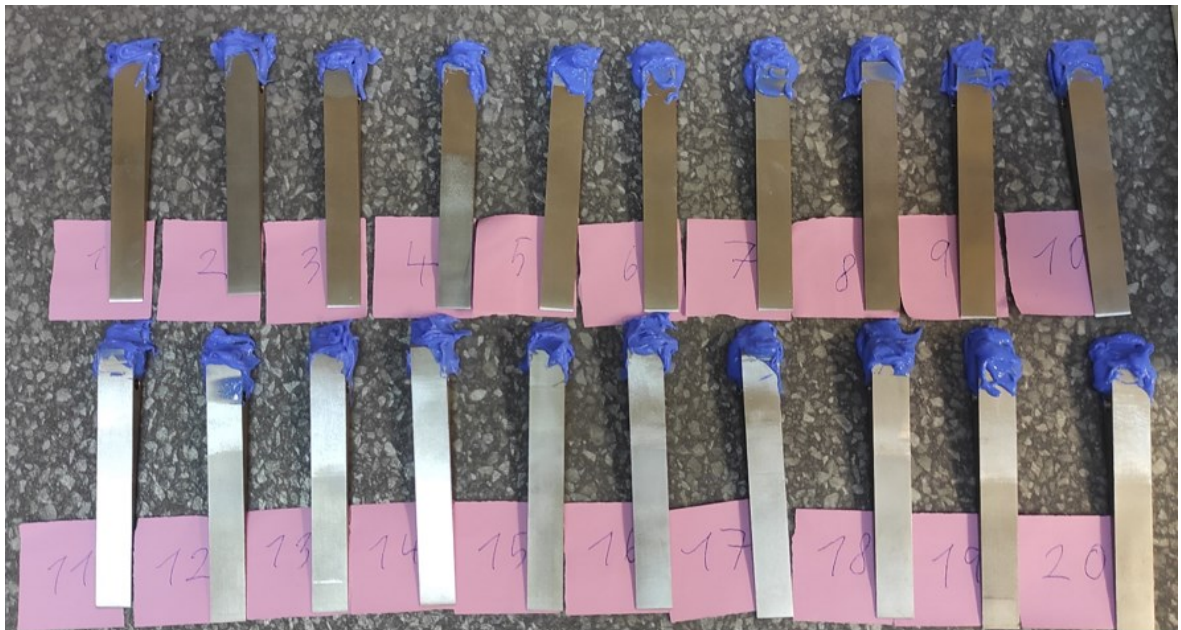
Obrázek 42 smíchaná otisková hmota

Touto otiskovou hmotou jsem vyplnil, těžko přístupný povrch, který jsem chtěl replikovat.



Obrázek 43 otisková hmota vyplněná v kuse

Dále už to potřebovalo jenom čas na ztuhnutí, pak jsem to vyjmul, a ořezal.

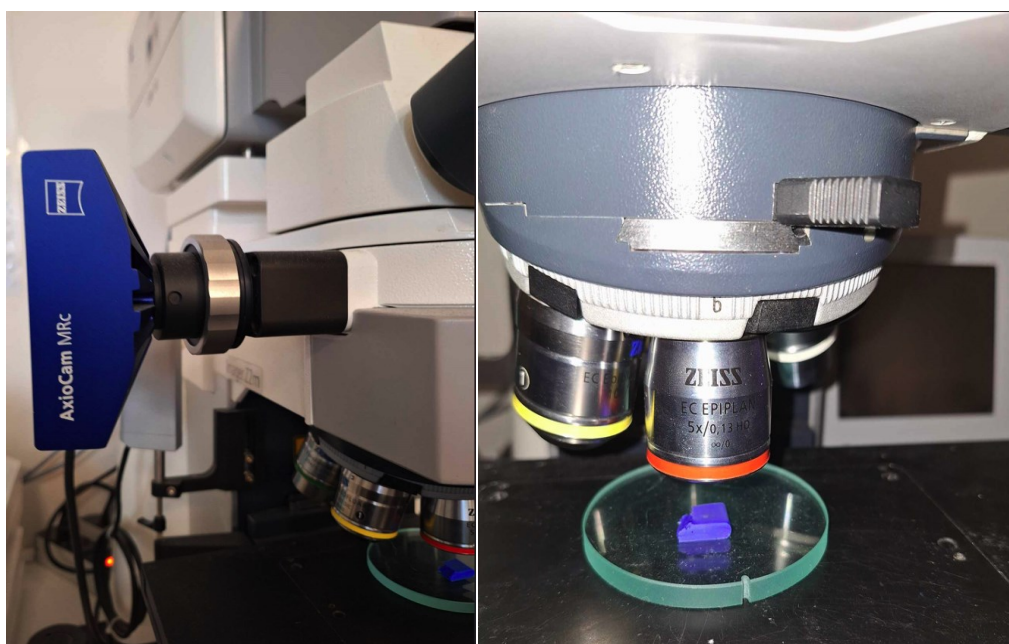


Obrázek 44 celkem 20 různých replik

Obtisků bylo uděláno celkem 20

6.1 Kontrola povrchu mikroskopem

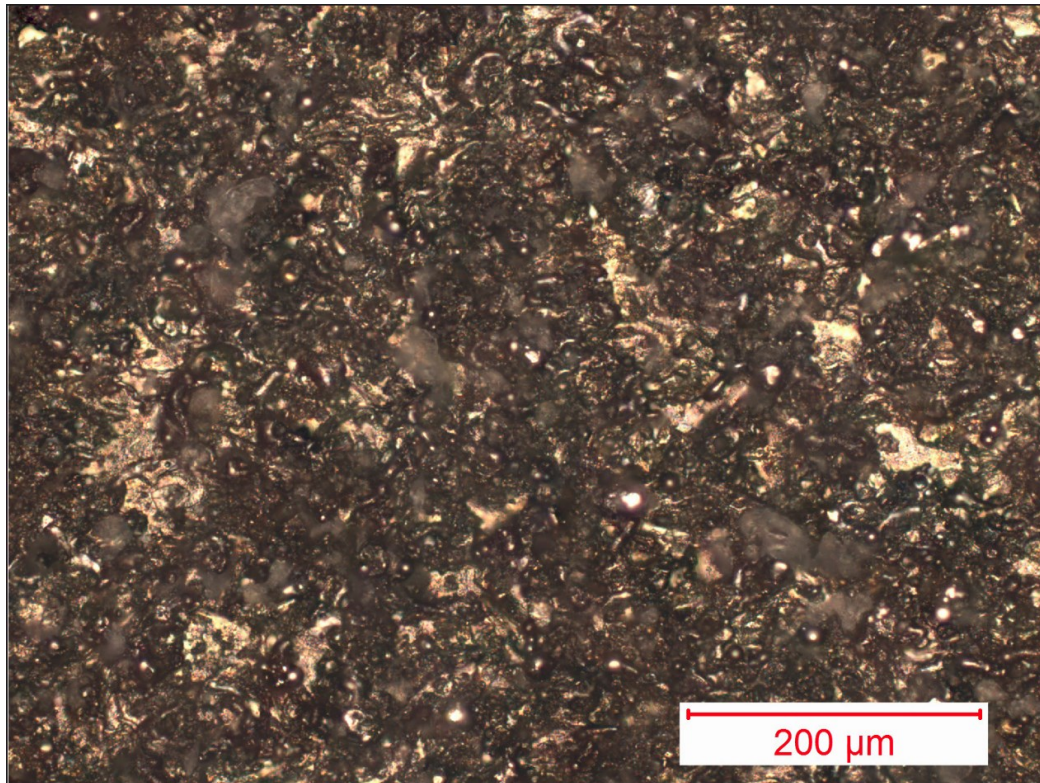
Kontrola povrchu mikroskopem je důležitá, jelikož potřebujeme důkladně prozkoumat povrch výrobku a zjistit případné nečistoty, vadné oblasti nebo nedostatky, které by mohly ovlivnit výsledky měření 3D profilometrem.



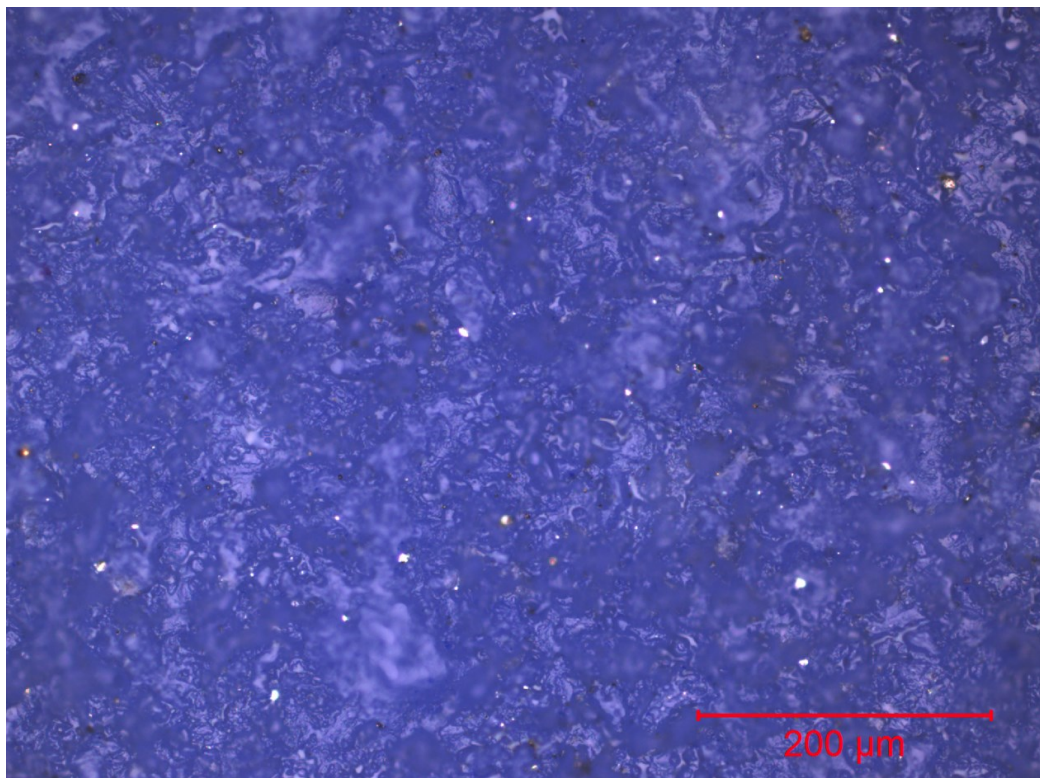
Obrázek 45 kontrola pomocí mikroskopu

Byl zde použit objektiv: EC Epiplan-Neofluar 20x/0.50 HD DIC M27

Zde máme ukázkou povrchu pod mikroskopem:



Obrázek 46 materiál kov pod zvětšením 200 μm



Obrázek 47 silikon (otisková hmota) pod zvětšením 200 μm

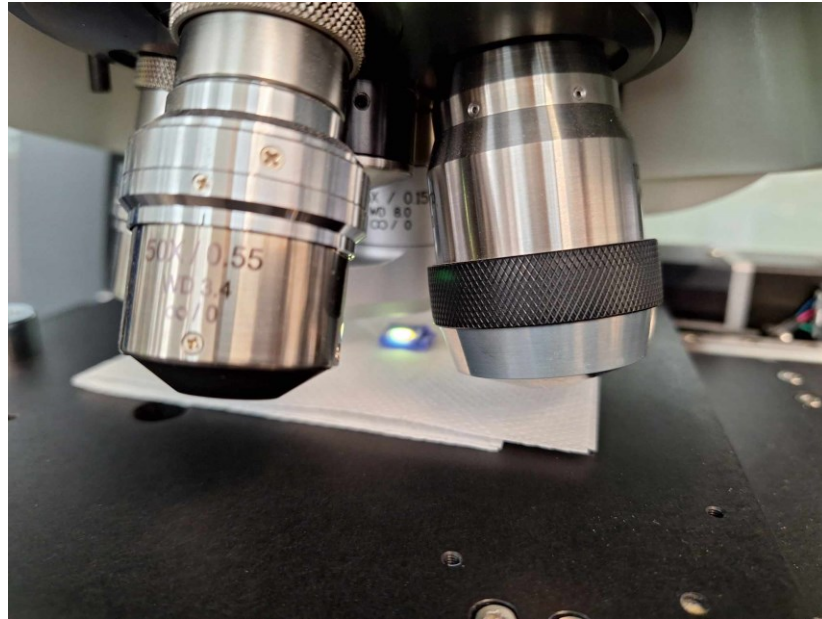
Povrchy byly zkontrolovány pod mikroskopem a nebyly zde nalezeny nedostatky, které by mohly ovlivnit následné měření na 3D profilometru.

6.2 Ustavení dílce pro měření a nastavení přístroje

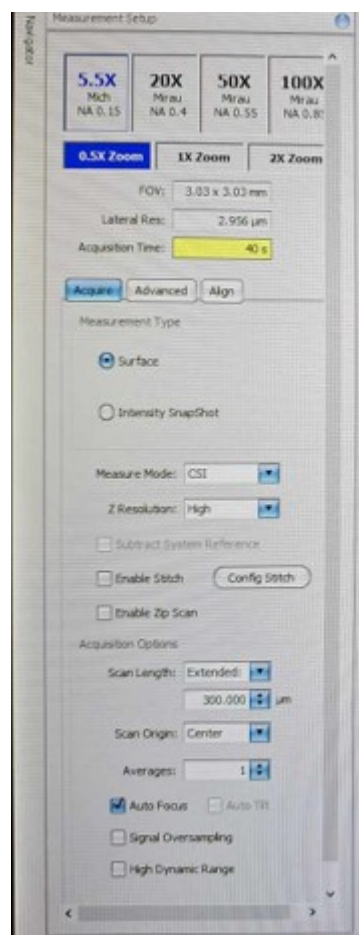
Naměřená data byla měřena na přístroji Zygo NewView 8000.



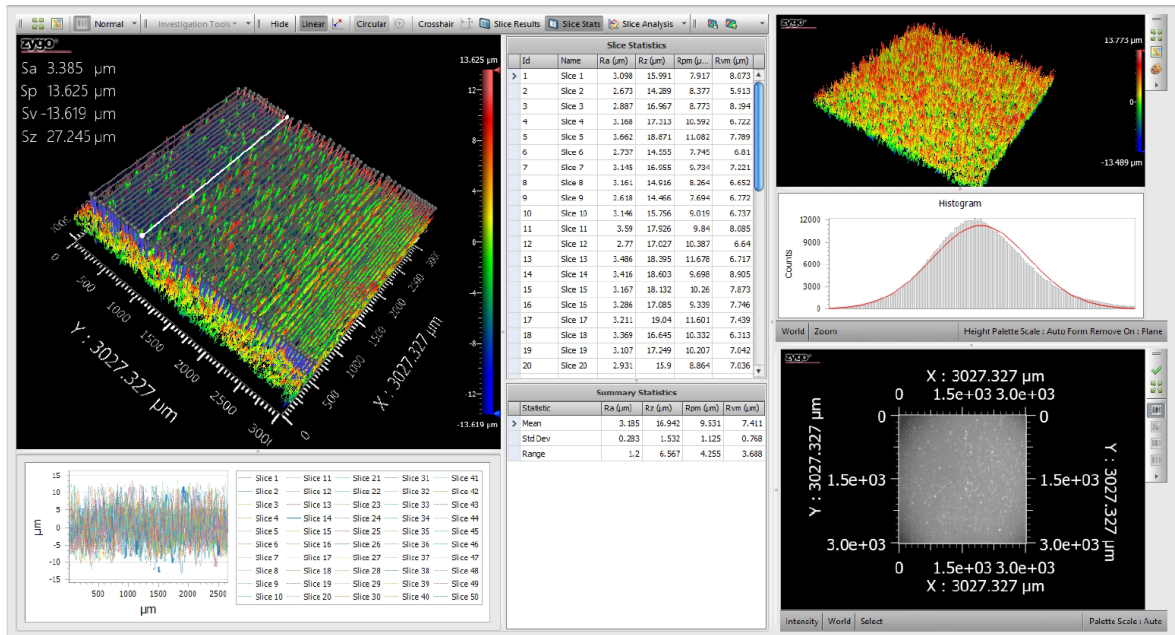
Obrázek 48 optický profilometr [41]



Obrázek 49 ustavený silikon



Obrázek 50 Nastavení přístroje



Obrázek 51 Ukázka výsledků, které se naměřili na profilometru

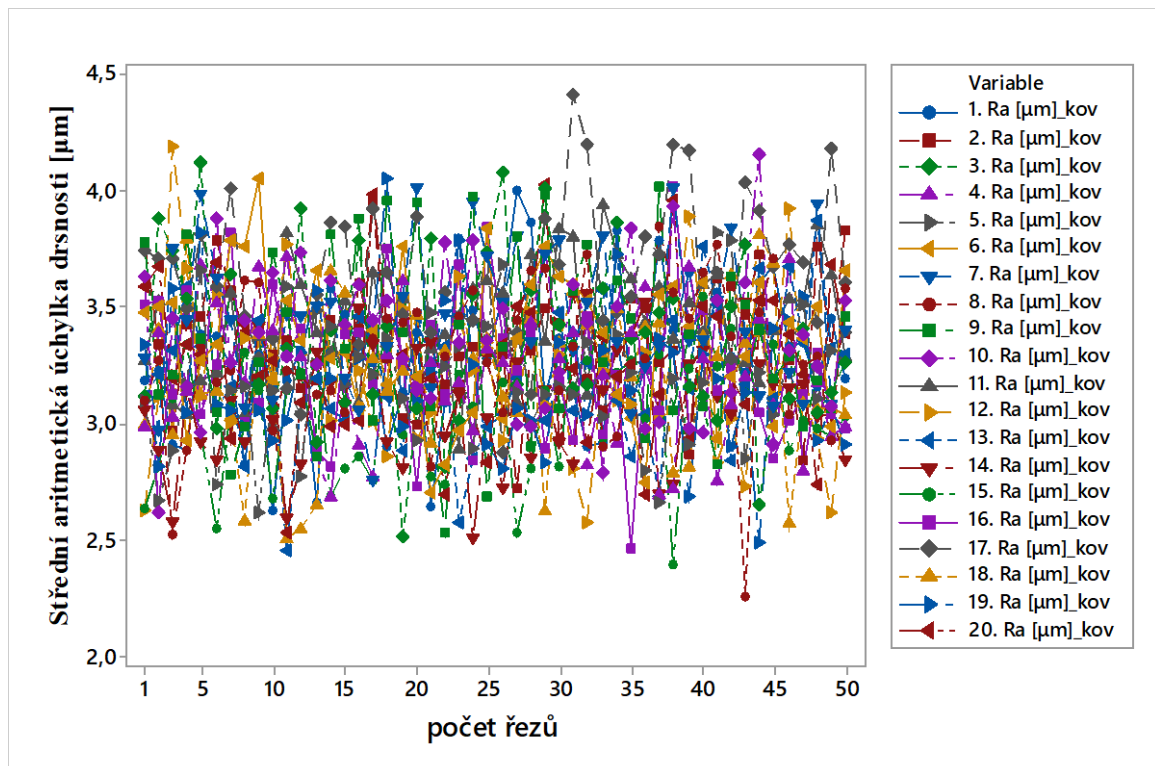
Zde jsou naměřené hodnoty, které budou následně podrobeny statistickému vyhodnocení.

7 ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

7.1 Exploratorní analýza dat (EDA)

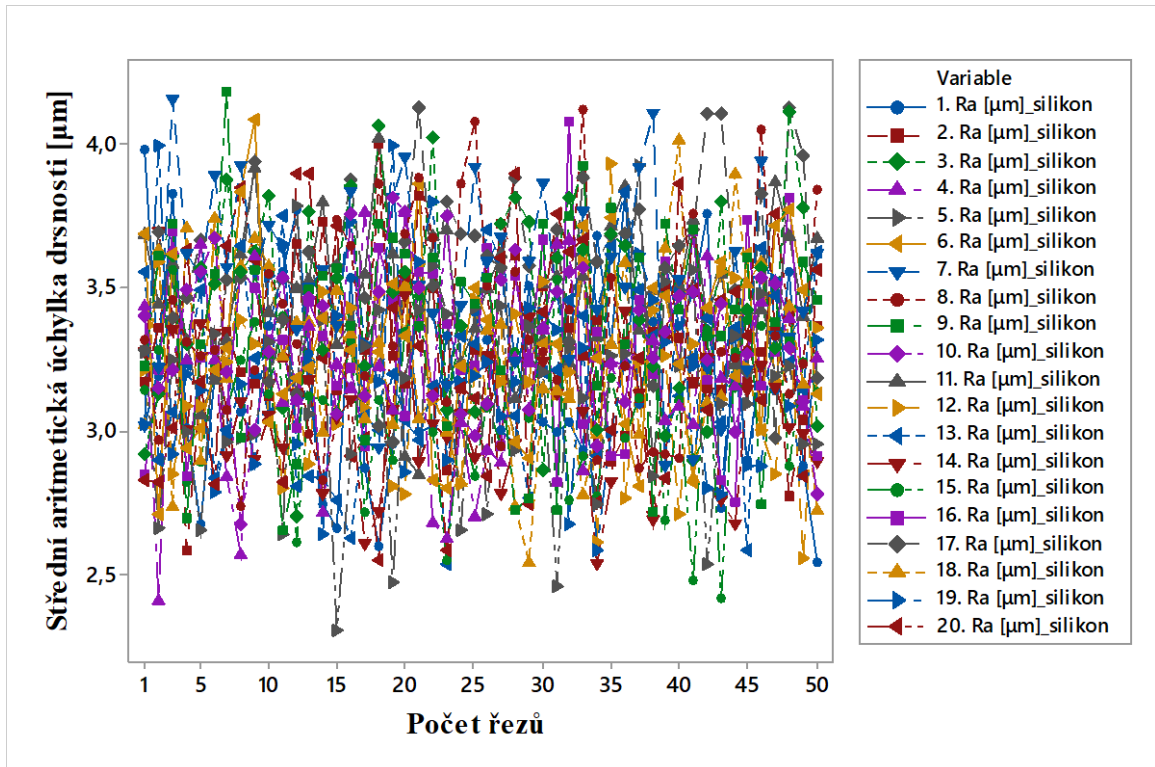
Cílem je prozkoumání a porozumění datům, snažíme se vizualizovat data a podle toho můžeme mít například podezření na odlehlé hodnoty nebo podezření na nějakou systematickou chybu což můžeme následně podle dalších statistických metod kontrolovat.

7.1.1 Graf časové řady



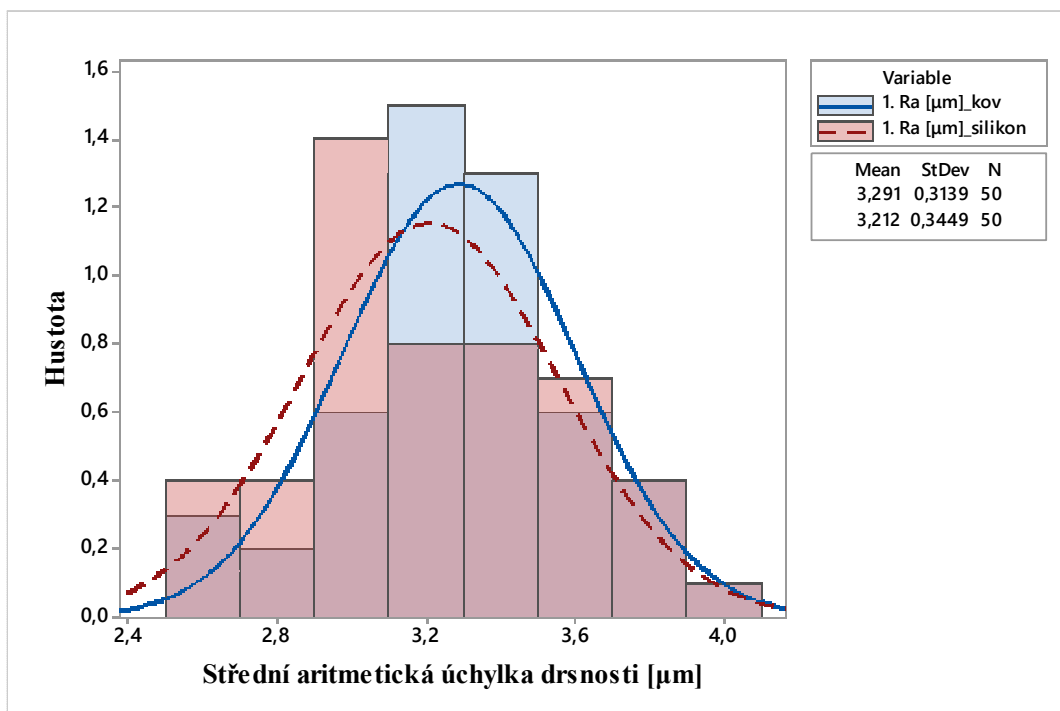
Obrázek 52 graf časové řady všech naměřených hodnot u kovového dílce

Zde mám graf časové řady při měření kovového dílce. Tento graf je dobré použít, když chceme zkontrolovat, zda nemám v souboru dat hrubé chyby, kdybychom v nějakém ze souboru dat měli hrubou chybu tak by se nám znatelně lišila od zbytku hodnot, tím pádem mohu konstatovat, že na první pohled to vypadá, že jsou naměřená data v pořádku bez výrazných chyb.



Obrázek 53 graf časové řady všech otiskových hmot

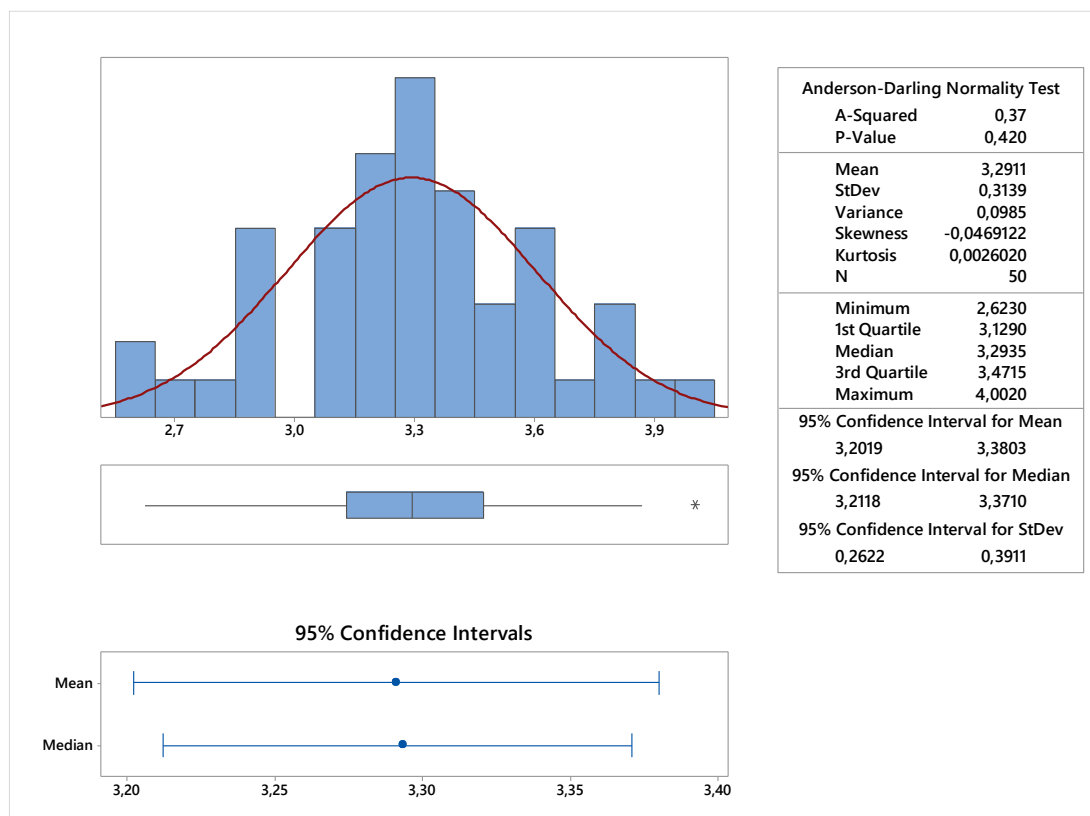
Zde jsem provedl kontrolu u materiálu silikonu, můžeme vidět že jako v předešlém případě u kovu, i zde nemáme žádné viditelné hrubé chyby máme zde jen chybu náhodnou.



Obrázek 54 Histogram porovnání silikon a kov č.1

Histogram je důležité použít abychom zkontrolovali, jak jsou data rozložena kolem střední hodnoty neboli průměru to znamená, že kontrolujeme rozptyl hodnot. Na grafu můžeme vidět Gaussovu křivku na které můžeme zpozorovat, že tyto data mají normální distribuci. Můžeme si akorát všimnout, že pro silikon je zde vyšší rozptyl dat. U všech ostatních dat to vyšlo velice podobně.

7.2 Grafický sumář



Obrázek 55 grafický sumář pro kov č.1

Zde můžeme vidět, že test normality podle Anderson Darlinga vychází testovací kritérium $p = 0,42$, jelikož jsme zvolili chybu prvního řádu $\alpha = 0,05 \%$ což znamená, že spolehlivost $1 - \alpha = 95 \%$, $\alpha < p$:nezamítáme nulovou hypotézu s možností omylu 5% , která nám říká, že tyto data pochází z normálního rozdělení.

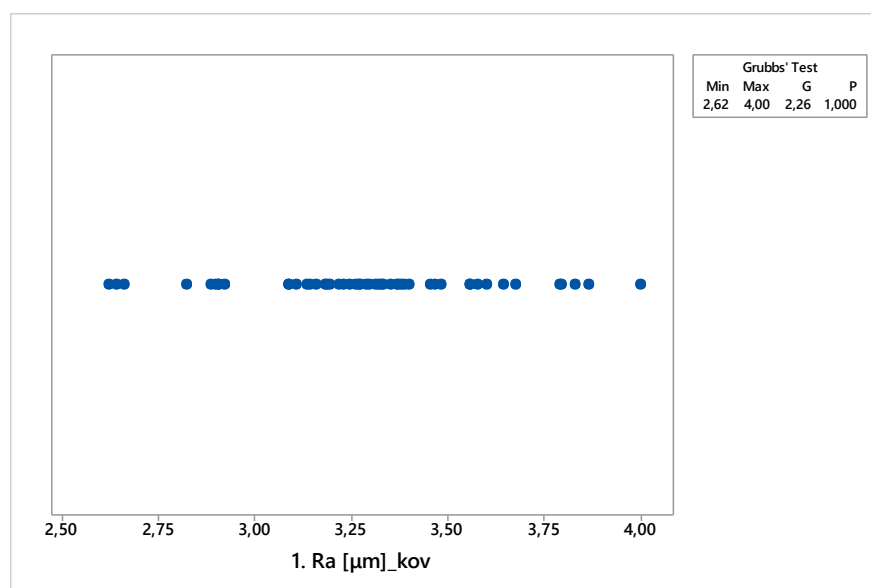
Aritmetický průměr, který je počítán z 50 naměřených hodnot je zde $3,2911 \mu\text{m}$ směrodatná odchylka $0,3139$

U Box plotu můžeme vidět, že podle tohoto grafu je zde hvězdičkou označená hodnota, a tak musíme otestovat tuto hodnotu, zda jedná o odlehlou hodnotu anebo chybu, k tomu použijeme Grubbsův test na odlehlé hodnoty.

Počet měření n = 50

Tabulka 1 Výsledné hodnoty u kovu

Parametr	Aritmetický průměr	směrodatná odchylka	variační koeficient	minimum	medián	maximum
1. Ra [μm] _{kov}	3,2911	0,3139	9,54	2,623	3,2935	4,0020
2. Ra [μm] _{kov}	3,3549	0,2575	7,68	2,725	3,3305	3,9590
3. Ra [μm] _{kov}	3,3590	0,3658	10,89	2,512	3,3440	4,1180
4. Ra [μm] _{kov}	3,2081	0,2951	9,20	2,684	3,1910	3,7550
5. Ra [μm] _{kov}	3,1854	0,2833	8,89	2,618	3,1675	3,8180
6. Ra [μm] _{kov}	3,3580	0,3059	9,11	2,706	3,3790	4,0530
7. Ra [μm] _{kov}	3,4379	0,3006	8,74	2,753	3,4400	4,0110
8. Ra [μm] _{kov}	3,3162	0,2796	8,43	2,524	3,2910	3,8450
9. Ra [μm] _{kov}	3,3492	0,3789	11,31	2,531	3,3290	4,0230
10. Ra [μm] _{kov}	3,3560	0,3201	9,54	2,617	3,3675	4,1530
11. Ra [μm] _{kov}	3,4284	0,2516	7,34	2,893	3,4190	3,9380
12. Ra [μm] _{kov}	3,2204	0,3368	10,46	2,575	3,1930	4,1900
13. Ra [μm] _{kov}	3,1969	0,2930	9,17	2,457	3,1740	3,8740
14. Ra [μm] _{kov}	3,0733	0,2570	8,36	2,511	3,0915	3,5550
15. Ra [μm] _{kov}	3,0480	0,2644	8,67	2,399	3,0930	3,5480
16. Ra [μm] _{kov}	3,2380	0,3082	9,52	2,463	3,2330	4,0160
17. Ra [μm] _{kov}	3,6419	0,3171	8,71	2,880	3,6490	4,4120
18. Ra [μm] _{kov}	3,2020	0,3277	10,23	2,504	3,2540	3,8170
19. Ra [μm] _{kov}	3,2033	0,3026	9,45	2,489	3,1805	4,0500
20. Ra [μm] _{kov}	3,2601	0,3238	9,93	2,530	3,2420	4,0280

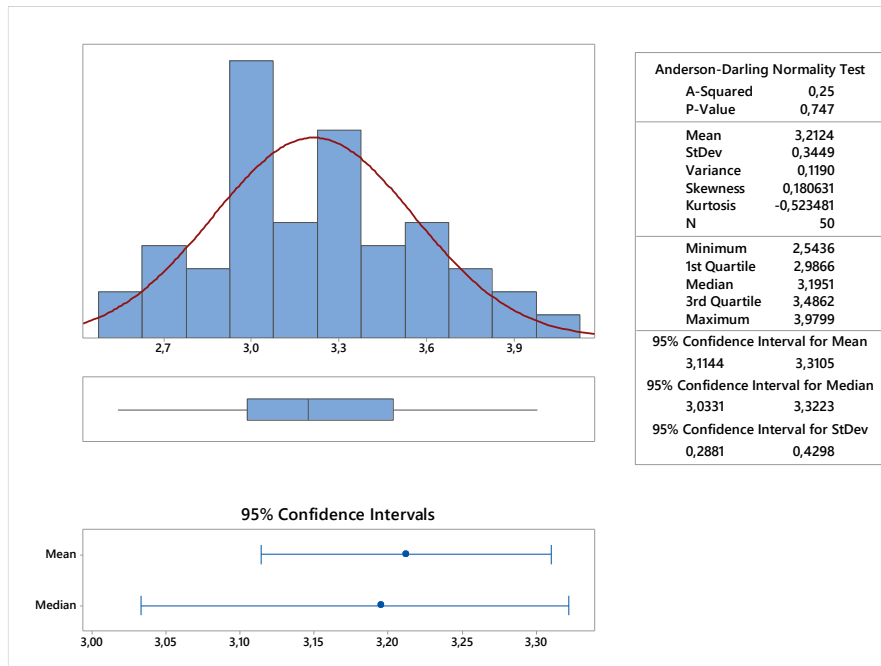


Obrázek 56 Grubbsův test na odlehlé hodnoty

Dle Grubbsova testu vidíme že testovací kritérium $P=1$ což znamená, jelikož jsme zvolili chybu prvního řádu $\alpha = 0,05 \%$, spolehlivost $1-\alpha = 95 \%$, $\alpha < p$ nezamítáme nulovou hypotézu s možností omylu 5% , která nám říká že se v těchto datech je buď nejvyšší nebo nejnižší hodnota hrubá chyba nebo omyl. To znamená že hodnota, která podle box plotu vyšla jako hrubá chyba je jen odlehlejší hodnota.

Tabulka 2 výsledky Grubbsova testu na odlehlé hodnoty pro kov

Parametr	Grubbsův test	
	testovací kritérium p	výsledek
1. Ra [μm] _{kov}	1,000	Nezamítáme H ₀
2. Ra [μm] _{kov}	0,596	Nezamítáme H ₀
3. Ra [μm] _{kov}	0,886	Nezamítáme H ₀
4. Ra [μm] _{kov}	1,000	Nezamítáme H ₀
5. Ra [μm] _{kov}	1,000	Nezamítáme H ₀
6. Ra [μm] _{kov}	1,000	Nezamítáme H ₀
7. Ra [μm] _{kov}	0,987	Nezamítáme H ₀
8. Ra [μm] _{kov}	0,160	Nezamítáme H ₀
9. Ra [μm] _{kov}	1,000	Nezamítáme H ₀
10. Ra [μm] _{kov}	0,519	Nezamítáme H ₀
11. Ra [μm] _{kov}	1,000	Nezamítáme H ₀
12. Ra [μm] _{kov}	0,135	Nezamítáme H ₀
13. Ra [μm] _{kov}	0,464	Nezamítáme H ₀
14. Ra [μm] _{kov}	1,000	Nezamítáme H ₀
15. Ra [μm] _{kov}	0,581	Nezamítáme H ₀
16. Ra [μm] _{kov}	0,465	Nezamítáme H ₀
17. Ra [μm] _{kov}	0,629	Nezamítáme H ₀
18. Ra [μm] _{kov}	1,000	Nezamítáme H ₀
19. Ra [μm] _{kov}	0,182	Nezamítáme H ₀
20. Ra [μm] _{kov}	0,749	Nezamítáme H ₀

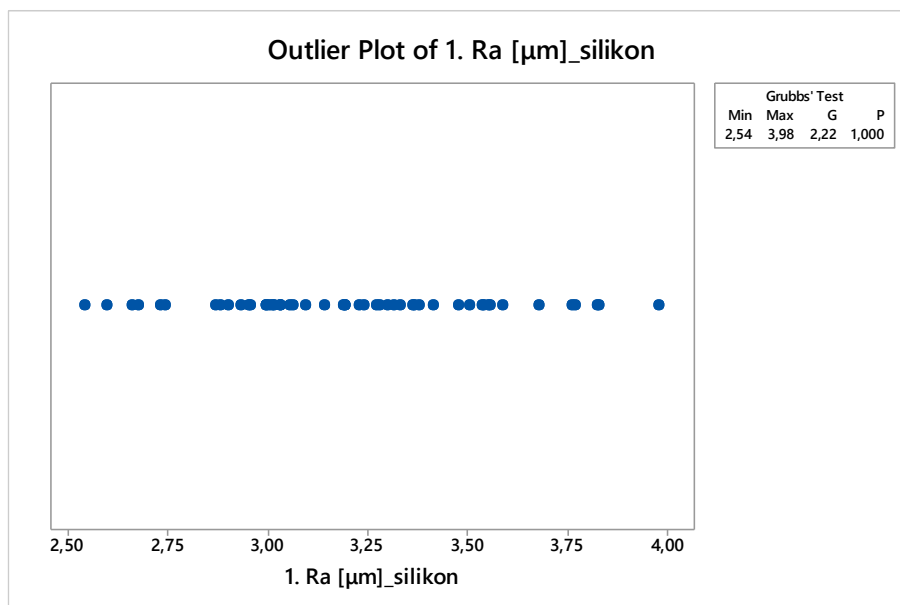


Obrázek 57 grafický sumář pro silikonový otisk č. 1

Zde můžeme vidět, že test normality podle anderson darlinga vychází testovací kritérium $p = 0,747$, jelikož jsme zvolili chybu prvního řádu $\alpha = 0,05 \%$ což znamená že spolehlivost $1 - \alpha = 95 \%$, $\alpha < p$:nezamítáme nulovou hypotézu s možností omylu 5 %, která nám říká že tyto data pochází z normálního rozdělení.

Aritmetický průměr, který je počítán z 50 naměřených hodnot je zde 3,2124 μm směrodatná odchylka 0,3449.

Pro jistotu je dobré zkontrolovat, zda se nevyskytují v souboru dat odlehlé hodnoty



Obrázek 58 Grubbsův test na odlehlé hodnoty silikon č. 1

Dle Grubbsova testu vidíme že testovací kritérium $P = 1$ což znamená, jelikož jsme zvolili chybu prvního řádu $\alpha = 0,05 \%$, spolehlivost $1-\alpha = 95 \%$, $\alpha < p$ nezamítáme nulovou hypotézu s možností omylu 5% , která nám říká že se v těchto datech je buď nejvyšší nebo nejnižší hodnota hrubá chyba nebo omyl. To znamená že hodnota, která podle box plotu vyšla jako hrubá chyba je jen odlehlejší hodnota.

Počet měření $n = 50$

Tabulka 3 Výsledné hodnoty u otiskové hmoty

Parametr	Aritmetický průměr	směrodatná odchylka	variační koeficient	minimum	medián	maximum
1. Ra [μm] _{silikon}	3,2124	0,3449	10,74	2,544	3,1951	3,9799
2. Ra [μm] _{silikon}	3,2882	0,2641	8,03	2,584	3,2641	4,0030
3. Ra [μm] _{silikon}	3,4363	0,3492	10,16	2,703	3,4999	4,1146
4. Ra [μm] _{silikon}	3,2065	0,3151	9,83	2,411	3,2426	3,7652
5. Ra [μm] _{silikon}	3,1235	0,3505	11,22	2,308	3,1994	3,9232
6. Ra [μm] _{silikon}	3,3043	0,3139	9,50	2,713	3,2795	4,0870
7. Ra [μm] _{silikon}	3,5119	0,3159	9,00	2,882	3,5366	4,1573
8. Ra [μm] _{silikon}	3,3566	0,3468	10,33	2,737	3,2904	4,1237
9. Ra [μm] _{silikon}	3,3711	0,3587	10,64	2,657	3,4359	4,1834
10. Ra [μm] _{silikon}	3,3277	0,2598	7,81	2,680	3,3534	3,8109
11. Ra [μm] _{silikon}	3,4821	0,2402	6,90	2,854	3,5032	4,0258
12. Ra [μm] _{silikon}	3,1975	0,3001	9,39	2,555	3,2112	3,9355
13. Ra [μm] _{silikon}	3,1957	0,3203	10,02	2,539	3,2032	3,8346
14. Ra [μm] _{silikon}	3,0778	0,2519	8,19	2,539	3,0718	3,6950
15. Ra [μm] _{silikon}	3,0905	0,2761	8,93	2,422	3,1151	3,5629
16. Ra [μm] _{silikon}	3,2846	0,3016	9,18	2,751	3,2542	4,0828
17. Ra [μm] _{silikon}	3,5684	0,2996	8,40	2,963	3,5843	4,1306
18. Ra [μm] _{silikon}	3,2494	0,3282	10,10	2,545	3,1916	4,0137
19. Ra [μm] _{silikon}	3,2055	0,3329	10,39	2,589	3,1969	3,9968
20. Ra [μm] _{silikon}	3,2703	0,3885	11,88	2,554	3,2760	3,8989

Tabulka 4 výsledky Grubbsova testu na odlehlé hodnoty pro silikon

Parametr	grubbsův test	
	testovací kritérium p	výsledek
1. Ra [μm] _{silikon}	1,000	Nezamítáme H0
2. Ra [μm] _{silikon}	0,252	Nezamítáme H0
3. Ra [μm] _{silikon}	1,000	Nezamítáme H0
4. Ra [μm] _{silikon}	0,464	Nezamítáme H0
5. Ra [μm] _{silikon}	0,855	Nezamítáme H0
6. Ra [μm] _{silikon}	0,514	Nezamítáme H0
7. Ra [μm] _{silikon}	1,000	Nezamítáme H0
8. Ra [μm] _{silikon}	1,000	Nezamítáme H0
9. Ra [μm] _{silikon}	1,000	Nezamítáme H0
10. Ra [μm] _{silikon}	0,513	Nezamítáme H0
11. Ra [μm] _{silikon}	0,345	Nezamítáme H0
12. Ra [μm] _{silikon}	0,572	Nezamítáme H0
13. Ra [μm] _{silikon}	1,000	Nezamítáme H0
14. Ra [μm] _{silikon}	0,589	Nezamítáme H0
15. Ra [μm] _{silikon}	0,643	Nezamítáme H0
16. Ra [μm] _{silikon}	0,310	Nezamítáme H0
17. Ra [μm] _{silikon}	1,000	Nezamítáme H0
18. Ra [μm] _{silikon}	0,851	Nezamítáme H0
19. Ra [μm] _{silikon}	0,737	Nezamítáme H0
20. Ra [μm] _{silikon}	1,000	Nezamítáme H0

7.3 Testování podobností za pomoci T-testu a F-testu

7.3.1 T-test

U T-testu zjišťujeme, zda mají dva námi vybrané soubory dat statisticky významnou anebo nevýznamnou podobnost aritmetických průměrů.

Pro použití T-testu a F-testu je důležité zkontrolovat graf časové řady, zda nejsou v souboru dat nějaké hrubé chyby a dále otestovat normalitu dat.

Důležité je si zvolit nulovou hypotézu a hypotézu alternativní a dále chybu prvního řádu.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 \rightarrow$ pro základní soubor dat

$H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2 \rightarrow$ pro výběrový soubor dat

$H_a = \text{Non}$

$\alpha = 5 \%$

spolehlivost $1 - \alpha = 1 - 0,05 = 95 \%$

Když je $\alpha < p$ tak nezamítáme H_0

Tabulka 5 Výsledky T-testů

porovnání		T-test	
kov	silikon	testovací kritérium	výsledek
1. Ra [μm]_kov	1. Ra [μm]_silikon	0,236	Nezamítáme H0
2. Ra [μm]_kov	2. Ra [μm]_silikon	0,204	Nezamítáme H0
3. Ra [μm]_kov	3. Ra [μm]_silikon	0,282	Nezamítáme H0
4. Ra [μm]_kov	4. Ra [μm]_silikon	0,979	Nezamítáme H0
5. Ra [μm]_kov	5. Ra [μm]_silikon	0,334	Nezamítáme H0
6. Ra [μm]_kov	6. Ra [μm]_silikon	0,388	Nezamítáme H0
7. Ra [μm]_kov	7. Ra [μm]_silikon	0,233	Nezamítáme H0
8. Ra [μm]_kov	8. Ra [μm]_silikon	0,523	Nezamítáme H0
9. Ra [μm]_kov	9. Ra [μm]_silikon	0,768	Nezamítáme H0
10. Ra [μm]_kov	10. Ra [μm]_silikon	0,629	Nezamítáme H0
11. Ra [μm]_kov	11. Ra [μm]_silikon	0,278	Nezamítáme H0
12. Ra [μm]_kov	12. Ra [μm]_silikon	0,720	Nezamítáme H0
13. Ra [μm]_kov	13. Ra [μm]_silikon	0,984	Nezamítáme H0
14. Ra [μm]_kov	14. Ra [μm]_silikon	0,929	Nezamítáme H0
15. Ra [μm]_kov	15. Ra [μm]_silikon	0,433	Nezamítáme H0
16. Ra [μm]_kov	16. Ra [μm]_silikon	0,447	Nezamítáme H0
17. Ra [μm]_kov	17. Ra [μm]_silikon	0,237	Nezamítáme H0
18. Ra [μm]_kov	18. Ra [μm]_silikon	0,472	Nezamítáme H0
19. Ra [μm]_kov	19. Ra [μm]_silikon	0,972	Nezamítáme H0
20. Ra [μm]_kov	20. Ra [μm]_silikon	0,887	Nezamítáme H0

7.3.2 F-test

U F-testu zjišťujeme, zda mají dva námi vybrané soubory dat statisticky významnou anebo nevýznamnou podobnost směrodatné odchylky neboli rozptylu dat.

$H_0: \sigma_1 = \mu\sigma_2 \rightarrow$ pro základní soubor dat

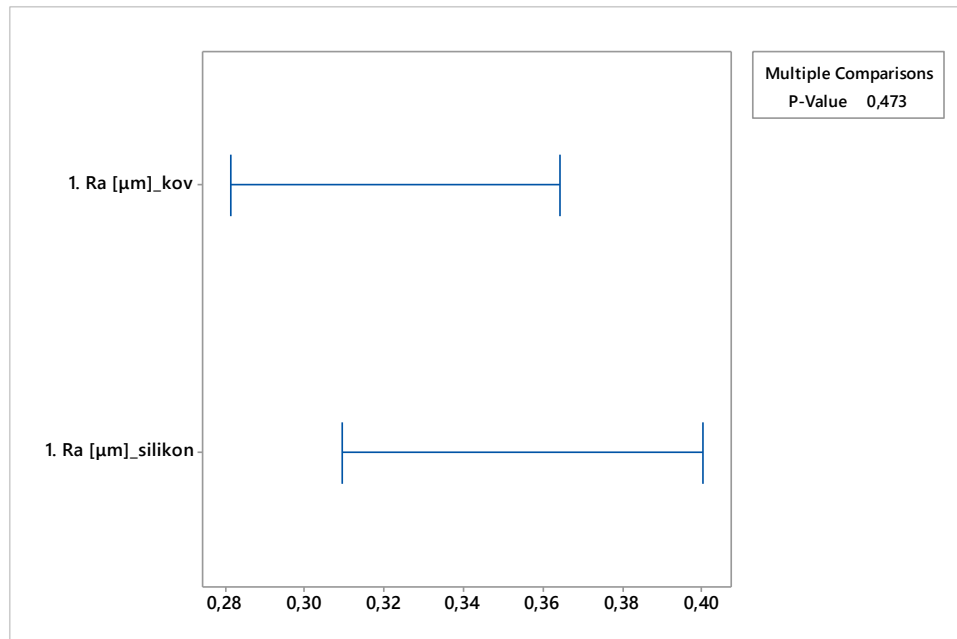
$H_0: S_1 = S_2 \rightarrow$ pro výběrový soubor dat

$H_a = \text{Non}$

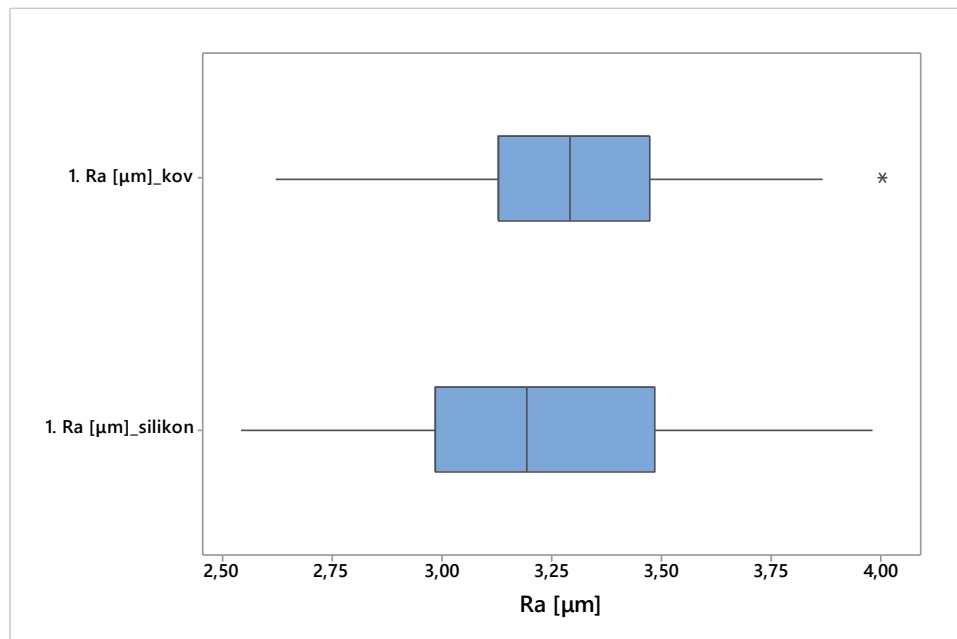
$\alpha = 5\%$

spolehlivost $1 - \alpha = 1 - 0,05 = 95\%$

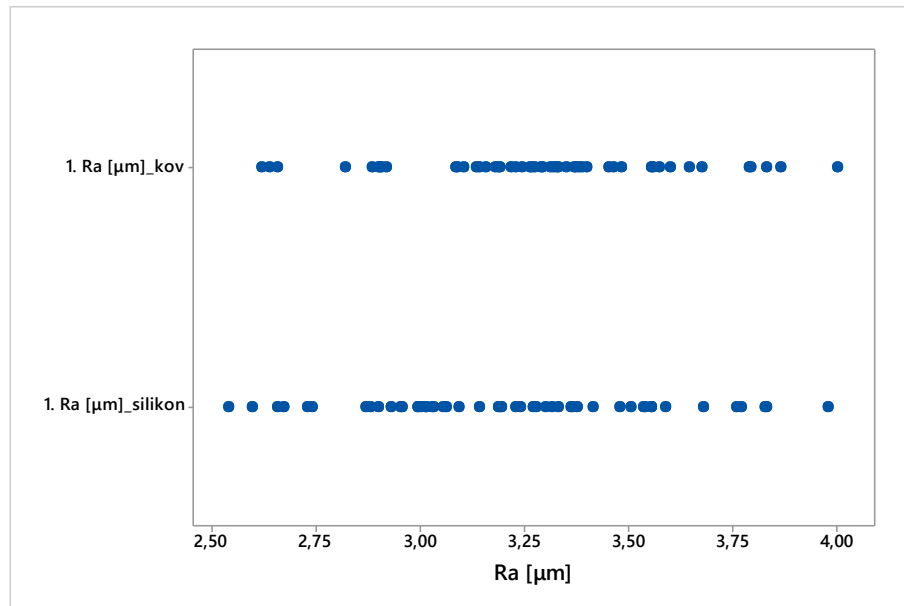
Když je $\alpha < p$ tak nezamítáme H0



Obrázek 59 F-test souhrnný graf



Obrázek 60 F-test – boxplot



Obrázek 61 value plot

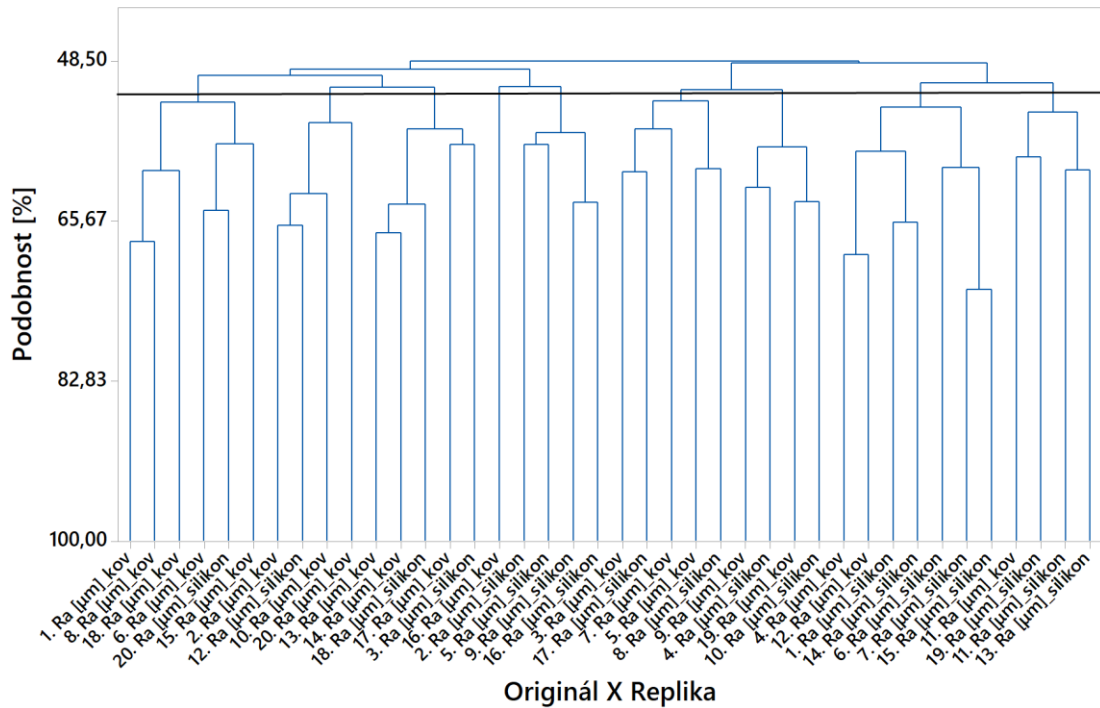
Tabulka 6 výsledky F-testů

porovnání		F-test	
kov	silikon	testovací kritérium	výsledek
1. Ra [µm]_kov	1. Ra [µm]_silikon	0,473	Nezamítáme H0
2. Ra [µm]_kov	2. Ra [µm]_silikon	0,875	Nezamítáme H0
3. Ra [µm]_kov	3. Ra [µm]_silikon	0,698	Nezamítáme H0
4. Ra [µm]_kov	4. Ra [µm]_silikon	0,618	Nezamítáme H0
5. Ra [µm]_kov	5. Ra [µm]_silikon	0,130	Nezamítáme H0
6. Ra [µm]_kov	6. Ra [µm]_silikon	0,838	Nezamítáme H0
7. Ra [µm]_kov	7. Ra [µm]_silikon	0,693	Nezamítáme H0
8. Ra [µm]_kov	8. Ra [µm]_silikon	0,117	Nezamítáme H0
9. Ra [µm]_kov	9. Ra [µm]_silikon	0,655	Nezamítáme H0
10. Ra [µm]_kov	10. Ra [µm]_silikon	0,127	Nezamítáme H0
11. Ra [µm]_kov	11. Ra [µm]_silikon	0,731	Nezamítáme H0
12. Ra [µm]_kov	12. Ra [µm]_silikon	0,448	Nezamítáme H0
13. Ra [µm]_kov	13. Ra [µm]_silikon	0,498	Nezamítáme H0
14. Ra [µm]_kov	14. Ra [µm]_silikon	0,879	Nezamítáme H0
15. Ra [µm]_kov	15. Ra [µm]_silikon	0,745	Nezamítáme H0
16. Ra [µm]_kov	16. Ra [µm]_silikon	0,877	Nezamítáme H0
17. Ra [µm]_kov	17. Ra [µm]_silikon	0,680	Nezamítáme H0
18. Ra [µm]_kov	18. Ra [µm]_silikon	0,991	Nezamítáme H0
19. Ra [µm]_kov	19. Ra [µm]_silikon	0,522	Nezamítáme H0
20. Ra [µm]_kov	20. Ra [µm]_silikon	0,126	Nezamítáme H0

7.4 Shluková analýza

Shluková analýza je důležitá, protože pomáhá identifikovat vnitřní vzorce a struktury v datech, což umožňuje nahlédnout do složitých jevů a porozumět jim.

Jako poslední statistickou metodu použijí shlukovou analýzu, zde budeme hledat podobnosti mezi shluky dat kovu a silikonu.



Obrázek 62 Dendrogram u shlukové analýzy kde se porovnává kov a silikon

Z grafu můžeme vyčíst, že podobnost mezi shluky kovu je 68 % a když vezmeme nejlepší shodu u silikonu tak to máme 73 % ale hlavní co nás zajímá je to, že celková shoda je někde kolem 50 %.

ZÁVĚR

Cílem mé diplomové práce bylo seznámení s druhy obrábění a metody dokončování kde bylo mým úkolem, seznámení se s metodami obráběním, včetně těch které byly potřebné pro výrobu mého zkušební vzorku, dále důkladné procházení norem na měření povrchům, které jsou potřeba abychom zajistili jednotnost naměřených výsledků, spolehlivost v daném postupu který je popsán v normách, a na závěr máme to nejdůležitější a to, probádání několika metod statistické kontroly dat, díky čemuž zjistíme jak postupovat při vyhodnocování naměřených dat postupu kontroly těchto dat a nakonec interpretaci těchto dat.

V praktické části jsem se zaměřil na zhodnocení povrchu originálu a repliky kde originál měl plochu která byla obráběna metodou EDM a následně pískována a replika byla zhotovena za pomoci otiskové hmoty ze silikonu. První jsem musel povrchy zkontrolovat pod mikroskopem abychom se ujistili, že povrchy nejsou poškozené, dále byli povrchy změřeny na 3D profilometru a výsledné hodnoty byli podrobeny statistické analýze a což zahrnovalo mnoho metod mezi prvními byla vizualizace dat abychom mohli vizuálně ověřit, zda jsou námi naměřená data bez nenáhodných chyb, dále zkontrolování hrubých chyb na což jsem použil Grubbsův test. Byla provedena i kontrola rozptylů mezi daty, i jejich aritmetických průměrů. Na závěr mohu říct že podobnost mezi daty originálu a repliky je 95 % tabulka 1 oproti tabulka 3. Když vezmeme v potaz celkovou shodu dat, tak můžeme říct, že celková shoda byla kolem 50 % viz. obrázek 62.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] PRAMANIK, A.; BASAK, A.K.; LITTLEFAIR, G.; DEBNATH, S.; PRAKASH, C. et al. Methods and variables in Electrical discharge machining of titanium alloy – A review. Online. Heliyon. 2020,roč.6, č. 12. ISSN 24058440.
DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05554. [cit. 2024-02-12].
- [2] MARKOPOULOS, Angelos P.; PAPAZOGLU, Emmanouil-Lazaros a KARMIRIS-OBRATAŃSKI, Panagiotis. Experimental Study on the Influence of Machining Conditions on the Quality of Electrical Discharge Machined Surfaces of aluminum alloy Al5052. Online.Machines.2020,roč.8,č.1.ISSN2075-1702.
DOI: 10.3390/machines8010012. [cit. 2024-02-12].
- [3] ŘASA, Jaroslav. Strojírenská technologie 3/2.díl: Obráběcí stroje pro automatizovanou výrobu, fyzikální technologie obrábění. Scientia, 2005. ISBN 80-7183-336-3. [cit. 2024-02-12]. (obrázek:1)
- [4] WANG, Yudi; XU, Zhengyang; MENG, Deman; LIU, Lin a FANG, Zhongdong. Study on surface roughness of large size TiAl intermetallic blade in electrochemical machining. Online. Journal of Manufacturing Processes. 2022, roč. 76, s. 1-10. ISSN 15266125. DOI:10.1016/j.jmapro.2022.01.035. [cit. 2024-02-16].
- [5] XU, Zhengyang a WANG, Yudi. Electrochemical machining of complex components of aero-engines: Developments, trends, and technological advances. Online. Chinese Journal of Aeronautics. 2021, roč. 34, č. 2, s. 28-53. ISSN 10009361. DOI:10.1016/j.cja.2019.09.016. [cit. 2024-02-16].
- [6] CAO, WenJian; WANG, DengYong; CUI, GuoWei a ZHU, Di. Anodic dissolution mechanism of TA15 titanium alloy during counter-rotating electrochemical machining. Online. Science China Technological Sciences. 2022, roč. 65, č. 6, s. 1253-1262. ISSN 1674-7321. DOI:10.1007/s11431-021-1999-7. [cit. 2024-02-16].
- [7] YANG, Zhichao; ZHU, Lida; ZHANG, Guixiang; NI, Chenbing a LIN, Bin. Review of ultrasonic vibration-assisted machining in advanced materials. Online. International Journal of Machine Tools and Manufacture. 2020, roč. 156. ISSN 08906955. DOI:1016/j.ijmactools.2020.103594. [cit. 2024-02-16].
- [8] BHARATHI, V.; ANILCHANDRA, A.R.; SANGAM, Shantanu Sanjay; SHREYAS, S. a SHANKAR, Siddesh B. A review on the challenges in machining of ceramics. Online.

Materials Today: Proceedings. 2021, roč. 46, s. 1451-1458. ISSN 22147853. DOI:10.1016/j.matpr.2021.03.019. [cit. 2024-02-16].

[9] FENG, Yixuan; HSU, Fu-Chuan; LU, Yu-Ting; LIN, Yu-Fu; LIN, Chorng-Tyan et al. Surface roughness prediction in ultrasonic vibration-assisted milling. Online. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing. 2020, roč. 14, č. 4, s. JAMDSM0063-JAMDSM0063. ISSN 1881-3054.

DOI:10.1299/jamdsm.2020jamdsm0063. [cit. 2024-02-16].

[10] FOHMAN, Vojtěch. Ultrazvukové obrábění. Bakalářská. Praha: ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, 2017. [cit. 2024-02-16] (obrázek:3)

[11] MATHEW, Jose; GOSWAMI, G.L.; RAMAKRISHNAN, N. a NAIK, N.K. Parametric studies on pulsed Nd: YAG laser cutting of carbon fibre reinforced plastic composites. Online. Journal of Materials Processing Technology. 1999, roč. 89-90, s. 198-203. ISSN 09240136.

DOI:10.1016/S0924-0136(99)00011-4. [cit. 2024-02-16].

[12] MUTHURAMALINGAM, T.; AKASH, Ravi; KRISHNAN, Shravan; PHAN, Nguyen Huu; PI, Vu Ngoc et al. Surface quality measures analysis and optimization on machining titanium alloy using CO₂ based laser beam drilling process. Online. Journal of Manufacturing Processes. 2021, roč. 62, s. 1-6. ISSN 15266125.

DOI:10.1016/j.jmapro.2020.12.008. [cit. 2024-02-16].

[13] MARKOVÁ, Diana. Obrábění laserem. Online. In: Slide player. 2005. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3213736/>. [cit. 2024-02-16]. (obrázek:4)

[14] LUNETTO, Vincenzo; GALATI, Manuela; SETTINERI, Luca a IULIANO, Luca. Unit process energy consumption analysis and models for Electron Beam Melting (EBM): Effects of process and part designs. Online. Additive Manufacturing. 2020, roč. 33. ISSN 22148604. DOI:10.1016/j.addma.2020.101115. [cit. 2024-02-17].

[15] C. B. CAROLO, Lucas a COOPER O., Robert E. A review on the influence of process variables on the surface roughness of Ti-6Al-4V by electron beam powder bed fusion. Online. Additive Manufacturing. 2022, roč. 59, č. part A. ISSN 22148604. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103103>. [cit. 2024-02-17].

- [16] Electron beam machining. Online. Mecholic. DOI:1011889/comments/default. [cit. 2024-02-17]. (obrázek:5)
- [17] GOSTIMIROVIĆ, Marin; RODIĆ, Dragan; SEKULIĆ, Milenko a ALEKSIĆ, Andjelko. An Experimental Analysis of Cutting Quality in Plasma Arc Machining. Online. *Advanced Technologies & Materials*. 2020, roč. 45, č. 1, s. 1-8. ISSN 2620147X. DOI:10.24867/ATM-2020-1-001. [cit. 2024-02-18].
- [18] KARTHICK, M.; ANAND, P.; MEIKANDAN, M.; SEKAR, S.; NATRAYAN, L. et al. Optimization of Plasma Arc Cutting Parameters on Machining of Inconel 718 Superalloy. Online. *Journal of Nanomaterials*. 2022, roč. 2022, s. 1-13. ISSN 1687-4129. DOI:10.1155/2022/7181075. [cit. 2024-02-18].
- [19] Plasma Arc Machining: Learn Diagram, Construction, Working, Advantages. Online. Testbook. Dostupné z: <https://testbook.com/mechanical-engineering/plasma-arc-machining>. [cit. 2024-02-18]. (obrázek:6)
- [20] NATARAJAN, Yuvaraj; MURUGESAN, Pradeep Kumar; MOHAN, Mugilvalavan a LIYAKATH ALI KHAN, Shakeel Ahmed. Abrasive Water Jet Machining process: A state of art of review. Online. *Journal of Manufacturing Processes*. 2020, roč. 49, s. 271-322. ISSN 15266125. DOI:10.1016/j.jmapro.2019.11.030. [cit. 2024-02-27].
- [21] KALE, Anusha; S.K., Singh; N., Sateesh a SUBBIAH, Ram. A review on abrasive water jet machining process and its process parameters. Online. *Materials Today: Proceedings*. 2020, roč. 26, s.1032-1036. ISSN 22147853. DOI:10.1016/j.matpr.2020.01.309. [cit. 2024-02-27].
- [22] SARAVANAN, S.; VIJAYAN, V.; SUTHAHAR, S.T. Jaya; BALAN, A.V.; SANKAR, S. et al. A review on recent progresses in machining methods based on abrasive water jet machining. Online. *Materials Today: Proceedings*. 2020, roč. 21, s. 116-122. ISSN 22147853. DOI:10.1016/j.matpr.2019.05.373. [cit. 2024-02-27].
- [23] MENG, Qingyu; GUO, Bing; ZHAO, Qingliang; LI, Hao Nan; JACKSON, Mark J. et al. Modelling of grinding mechanics: A review. Online. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2023, roč. 36, č. 7, s. 25-39. ISSN 10009361. DOI:10.1016/j.cja.2022.10.006. [cit. 2024-02-28].
- [24] CHIPAKWE, V.; SEMSARI, P.; KARLKVIST, T.; ROSENKRANZ, J. a CHELGANI, S. Chehreh. A critical review on the mechanisms of chemical additives used in grinding and

their effects on the downstream processes. Online. Journal of Materials Research and Technology. 2020, roč. 9, č. 4, s. 8148-8162. ISSN 22387854

DOI:10.1016/j.jmrt.2020.05.080. [cit. 2024-02-28].

[25] Grinding Machine: Working principle of grinding machine, Types of Grinding Machines. Online. Mechtechguru.com. 2020.

Dostupné:<https://mechtechguru.com/2020/05/grinding-machine-working-principle-of-grinding-machine-types-of-grinding-machines/>. [cit. 2024-02-28]. (obrázek:9)

[26] Nguyen, TT., Vu, TC. & Duong, QD. Multi-responses optimization of finishing honing process for surface quality and production rate. J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 42, 604 (2020).

DOI:10.1007/s40430-020-02690-y. [cit. 2024-02-29].

[27] URVILLE, C.; SOUVIGNET, T.; DIMKOVSKI, Z. a CABANETTES, F. Honing process parameters influence on surface topographies. Online. Procedia CIRP. 2022, roč. 108, s. 448-453. ISSN 22128271.

DOI:10.1016/j.procir.2022.03.070. [cit. 2024-02-29].

[28] HOFFMEISTER, Hans-Werner. Honing. Online. In: CHATTI, Sami; LAPERRIÈRE, Luc; REINHART, Gunther a TOLIO, Tullio (ed.). CIRP Encyclopedia of Production Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019, s. 904-911. ISBN 978-3-662-53119-8. DOI:10.1007/978-3-662-53120-4_6430. [cit. 2024-02-29].(obrázek:10)

[29] MITURSKA-BARAŃSKA, Izabela; RUDAWSKA, Anna a DOLUK, Elżbieta. The Influence of Sandblasting Process Parameters of Aerospace Aluminium Alloy Sheets on Adhesive Joints Strength. Online. Materials. 2021, roč. 14, č. 21. ISSN 1996-1944

DOI:10.3390/ma14216626. [cit. 2024-02-29].

[30] OSAK, Patrycja; MASZYBROCKA, Joanna; ZUBKO, Maciej; RAK, Jan; BOGUNIA, Sylwia et al. Influence of Sandblasting Process on Tribological Properties of Titanium Grade 4 in Artificial Saliva for Dentistry Applications. Online. Materials. 2021, roč. 14, č. 24.

ISSN 1996-1944. DOI:10.3390/ma14247536. [cit. 2024-02-29].

[31] Machining schematic diagram of the sandblasting machine. Online. ResearchGate.

Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Machining-schematic-diagram-of-the-sandblasting-machine_fig2_337474117. [cit. 2024-02-29]. (obrázek:11)

[32] PIOTROWSKI, Norbert. Tool Wear Prediction in Single-Sided Lapping Process. Online. Machines. 2020, roč. 8, č. 4. ISSN 2075-1702.

DOI:10.3390/machines8040059. [cit. 2024-02-29].

[33] PAN, Bo; KANG, Renke; ZHU, Xu; DU, Dongxing; HUANG, Wen et al. Formation mechanism of concave and convex surface shapes in double-sided lapping. Online. Journal of Materials Processing Technology. 2022, roč. 309. ISSN 09240136.

DOI:10.1016/j.jmatprotec.2022.117749. [cit. 2024-02-29].

[34] MIROSLAV GAJDA, Martin Krčál. What is Lapping? Online. Lap master. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/dokument/PhMKVY94CKRou5EB?kontrola=1>. [cit. 2024-02-29]. (obrázek:12,13)

[35] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN ISO 21920-1, Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Profil – Část 1: Indikace textury povrchu.. 01.06.2023. 2023.

[36] ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A STÁTNÍ ZKUŠEBNICTVÍ. ČSN EN ISO 21920-2, Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Profil – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu.. 01.06.2023. 2023.

[37] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN EN ISO 25178-2, Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. 2012.

[38] PATA, Vladimír a KUBIŠOVÁ, Milena. Statistické metody hodnocení jakosti strojírenských povrchů. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická, 2018. ISBN 9788074547409.

[39] PETERSEN, Anne Helby; MARKUSSEN, Bo a CHRISTENSEN, Karl Bang. Exploratory data structure comparisons: three new visual tools based on principal component analysis. Online. Journal of Applied Statistics. 2021, roč. 48, č. 9, s. 1675-1695. ISSN 0266-4763. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02664763.2020.1773772>. [cit. 2024-02-29].

[40] YUAN, Chunhui a YANG, Haitao. Research on K-Value Selection Method of K-Means Clustering Algorithm. Online. J. 2019, roč. 2, č. 2, s. 226-235. ISSN 2571-8800. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/j2020016>. [cit. 2024-04-26].

[41] NewView™ 9000 with Coherence Scanning Interferometry Technology. Online. Nenalezený vydavatel. Dostupné z: <https://www.zygo.com/Products/Metrology Systems/3D Optical Profilors/NewView 9000>. [cit. 2024-04-18]. (obrázek 48)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

EDM – (electro discharge machining) elektroerozivní obrábění

ECM – (electro chemical machining) elektrochemické obrábění

USM- (ultrasonic machining) obrábění ultrazvukem

UVAM – Ultrazvukové vibračně asistované obrábění

ECM- (electro chemical machining) – elektro chemické obrábění

LBM – (laser beam machining) – obrábění laserem

EBM – (Electron beam melting) – obrábění elektronovým paprskem

PJM – (plazma jet machining) – obrábění plazmou

AWJM- (abrasive water jet machining) – obrábění vodním paprskem

T16% - 16 % všech naměřených hodnot smí překročit horní toleranční mez

Tmax – Toto pravidlo nedovoluje žádné naměřené hodnotě překročit toleranční mez

EDA- (exploratory data analysis) – exploratorní datová analýza

Q1 = dolní kvartil

Med = střední hodnota

Q3 = horní kvartil

ANOVA – (analyze of variance) analýza rozptylu

H0 – nulová hypotéza

HA – alternativní hypotéze

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 schéma metody EDM [3]	11
Obrázek 2 schéma metody ECM [5].....	13
Obrázek 3 princip ultrazvukového obrábění USM [10]	15
Obrázek 4 Obrábění laserovým paprskem [13]	16
Obrázek 5 obrábění elektronovým paprskem [16]	18
Obrázek 6 obrábění paprskem plazmy [19].....	20
Obrázek 7 a – vstříkovací typ AWJM b – suspenzní typ AWJM [20]	21
Obrázek 8 schéma AWJM [20]	21
Obrázek 9 Schéma broušení [25].....	24
Obrázek 10 Honovací hlava [28]	25
Obrázek 11 schéma pískování [31].....	26
Obrázek 12 proces lapování [34]	27
Obrázek 13 orientační tabulka možné dosažitelnosti střední aritmetické drsnosti Ra [34].	27
Obrázek 14 Značka tolerančního přejímacího pravidla 16%.....	29
Obrázek 15 Značka tolerančního přejímacího pravidla maxima	29
Obrázek 16 Značka tolerančního přejímacího pravidla medián	29
Obrázek 17 mechanický povrch	34
Obrázek 18 čára profilu (A – skin model, B – sečná rovina, C – čára profilu)	35
Obrázek 19 mechanický profil [36]	36
Obrázek 20 Definice primárního povrchu a profilu primárního povrchu [36]	37
Obrázek 21 vztahy mezi S-filtrem, L-filtrem a F-operací [36].....	38
Obrázek 22 vztahy mezi profilem primárního povrchu, P-profilem, W-profilem a R-profilem [36].....	39
Obrázek 23 měřicí postup pro určení P-profilu, W-profilu a R – profilu [36]	40
Obrázek 24 profil drsnosti [36].....	43
Obrázek 25 Parametry prázdný objem a materiálový objem, X – plošný materiálový poměr, Y – výška [37].....	48
Obrázek 26 Příklad ilustrativního povrchu [37]	51
Obrázek 27 Typy prvků textury [37]	51
Obrázek 28 Kritéria rozměrů pro segmentaci [37]	52
Obrázek 29 Metody stanovení významných prvků [37].....	52
Obrázek 30 Atributy prvků [37]	53
Obrázek 31 Statistiky atributů prvků [37]	53
Obrázek 32 Graf časové řady.....	55

Obrázek 33 Histogram	56
Obrázek 34 Krabicový graf neboli box plot	57
Obrázek 35 F-test souhrnný graf	59
Obrázek 36 Metoda nejbližšího souseda	59
Obrázek 37 Metoda nejvzdálenějšího souseda	60
Obrázek 38 Metoda průměrné vazby	60
Obrázek 39 shluková analýza – Dendogram	60
Obrázek 40 Použitá otisková hmota	64
Obrázek 41 Ukázka katalyzátoru a silikonu v tekutém stavu	64
Obrázek 42 smíchaná otisková hmota	65
Obrázek 43 otisková hmota vyplněná v kuse	65
Obrázek 44 celkem 20 různých replik	66
Obrázek 45 kontrola pomocí mikroskopu	66
Obrázek 46 materiál kov pod zvětšením 200 μm	67
Obrázek 47 silikon (otisková hmota) pod zvětšením 200 μm	67
Obrázek 48 optický profilometr [41]	68
Obrázek 49 ustavený silikon	69
Obrázek 50 Nastavení přístroje	69
Obrázek 51 Ukázka výsledků, které se naměřili na profilometru	70
Obrázek 52 graf časové řady všech naměřených hodnot u kovového dílce	71
Obrázek 53 graf časové řady všech otiskových hmot	72
Obrázek 54 Histogram porovnání silikon a kov č. 1	72
Obrázek 55 grafický sumář pro kov č. 1	73
Obrázek 56 Grubbsův test na odlehlé hodnoty	74
Obrázek 57 grafický sumář pro silikonový otisk č. 1	76
Obrázek 58 Grubbsův test na odlehlé hodnoty silikon č. 1	76
Obrázek 59 F-test souhrnný graf	80
Obrázek 60 F-test – boxplot	80
Obrázek 61 value plot	81
Obrázek 62 Dendogram u shlukové analýzy kde se porovnává kov a silikon	82

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Výsledné hodnoty u kovu	74
Tabulka 2 výsledky Grubbsova testu na odlehlé hodnoty pro kov	75
Tabulka 3 Výsledné hodnoty u otiskové hmoty	77
Tabulka 4 výsledky Grubbsova testu na odlehlé hodnoty pro silikon	78
Tabulka 5 Výsledky T-testů	79
Tabulka 6 výsledky F-testů	81