

Hodnocení jakosti konvenčních povrchů kovových dílů

Bc. Jiří Loubal

Diplomová práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Jiří Loubal
Osobní číslo:	T22367
Studijní program:	N0788A270007 Řízení jakosti
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Hodnocení jakosti konvenčních povrchů kovových dílů

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 či ISO 25178.
- Provedení průzkumové analýzy obrobených povrchů s využitím bezkontaktního profiloměru.
- Statistické vyhodnocení povrchových komparací naměřených dat dle odpovídajících softwarů.

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 MILITKÝ 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 2025**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2025**

L.S.

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

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

Ve Zlině dne 10. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení diplomové práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 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(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....

podpis autora

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením jakosti povrchu dílů vyrobených konvenčním obráběním, se zaměřením na soustružení. V návaznosti na předchozí bakalářskou práci je zde provedena podrobná exploratorní analýza dat (EDA) parametrů drsnosti Ra a Rz změřených pomocí bezkontaktního profilometru. Data jsou dále statisticky zpracována a vizualizována pomocí nástrojů jako jsou histogramy a boxploty. Výsledky ukazují významné rozdíly mezi kónusovými a rovinnými plochami, přičemž byly identifikovány odlehlé hodnoty a nesrovnalosti v odběru vzorků. Práce rovněž navrhuje metodiku správného odebrání a značení vzorků pro zajištění spolehlivosti měření a kvality výroby.

Klíčová slova: soustružení, drsnost povrchu, bezkontaktní profilometr, exploratorní analýza dat, odlehlé hodnoty, kónusová a rovinná plocha

ABSTRACT

This master thesis deals with the evaluation of surface quality of part produced by conventional machining, with focus on turning. Following on from the previous bachelor thesis, a detailed exploratory data analysis (EDA) of the roughness parameters Ra and Rz measured using a non-contact profilometer is performed. The data are further statistically processed and visualized using tools such as histogram and boxplots. The results show significant differences between cone and plane surfaces, while outliers and sampling discrepancies were identified. The work also suggests a methodology for proper sampling and labeling to ensure measurement reliability and production quality.

Keywords: turning, surface roughness, non-contact profilometer, exploratory data analysis, outliers, cone and flat surface

Rád bych tímto poděkoval své vedoucí diplomové práce, Ing. Mileně Kubišové Ph.D., ze její trpělivé, vstřícné a odborné vedení po celou dobu vypracovávání této práce. Velmi si vážím jejích cenných rad, podnětných připomínek a ochoty věnovat mi svůj čas i v náročných obdobích. Velké díky patří také za její pozitivní přístup, který byl pro mě velkou motivací.

OBSAH

ÚVOD.....	11
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 KONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ.....	13
1.1 SOUSTRUŽENÍ.....	13
1.2 FRÉZOVÁNÍ	16
1.3 VRTÁNÍ, VYHRUBOVÁNÍ A VYSTRUŽOVÁNÍ	18
1.3.1 Vrtání.....	18
1.3.2 Vyhrubování.....	18
1.3.3 Vystružování	18
1.4 HOBLOVÁNÍ A OBRÁŽENÍ.....	19
1.4.1 Hoblování	19
1.4.2 Obrážení	20
1.5 PROTAHOVÁNÍ A PROTLAČOVÁNÍ	21
1.5.1 Protahování	21
1.5.2 Protlačování.....	21
1.6 DOKONČOVACÍ OPERACE	22
1.6.1 Broušení	22
1.6.2 Honování	24
1.6.3 Lapování.....	24
1.6.4 Superfinišování	25
1.6.5 Válečkování a kuličkování	25
2 HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU	27
2.1 NORMY	27
3 STATISTICKÁ ANALÝZA EDA	28
3.2 HISTOGRAM	29
3.3 BOXPLOT.....	30
3.4 ANDERSON-DARLINGŮV TEST NORMALITY	31
3.5 PRAVDĚPODOBNOSTNÍ GRAF	32
3.6 TESTY ODLEHLÝCH HODNOT	33
3.6.1 Tukeyho metoda.....	33
3.6.2 Grubbsův test odlehlých hodnot.....	34
II PRAKTICKÁ ČÁST	35
4 CÍLE PRÁCE	36
5 MĚŘENÉ VZORKY A PŘÍSTROJ	37
5.1 VZORKY	37
5.2 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJ	38

5.2.1	Nastavení přístroje a měření	38
6	STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	41
6.1	TABULKOVÉ A GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT	41
6.1.1	Graf časové řady	44
6.1.2	Grafický sumář	45
6.1.3	Odlehlé hodnoty	48
6.1.4	Pravděpodobnostní graf.....	50
6.2	TABULKOVÉ A GRAFICKÉ HODNOCENÍ OPRAVENÝCH DAT	51
6.2.1	Graf časové řady opravených dat	52
6.2.2	Grafické sumáře opravených dat	53
6.2.3	Grubbsův test odlehlých hodnot.....	57
6.3	NÁVRH MANUÁLU	60
ZÁVĚR.....		62
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		63
SEZNAM OBRÁZKŮ		67
SEZNAM TABULEK.....		69
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		70

ÚVOD

Tato diplomová práce tematicky navazuje na mou bakalářskou práci, která byla zaměřena na hodnocení jakosti povrchu rotačních dílů zpracovaných soustružením, broušením a válečkováním. V uvedené práci byla zkoumána jakost povrchu z hlediska technologických možností, použitých metod obrábění a parametrů drsnosti, přičemž důraz byl kladen na pochopení vlivu jednotlivých technologií na konečný stav povrchu obrobených dílů.

Hlavní motivací této diplomové práce je prohloubit a rozšířit poznatky získané během studia a zaměřit se na komplexní hodnocení konvenčně obráběných povrchů, a to nejen z pohledu výrobní technologie, ale také z hlediska statistického zpracování dat. V současném výrobním prostředí, kde je kladen důraz na přesnost, opakovatelnost a ekonomickou efektivitu, je důkladné hodnocení jakosti povrchu nezbytným předpokladem pro zajištění kvality výrobků a jejich spolehlivosti při provozu. Práce si proto klade za cíl nejen popsat jednotlivé metody konvenčního obrábění, ale zejména analyzovat naměřené hodnoty parametrů povrchu s využitím exploratorní analýzy dat, statistických testů a grafických nástrojů.

V rámci praktické části byly měřeny vzorky čepů vyrobené soustružením, přičemž měření bylo provedeno pomocí bezkontaktního profilometru. Tato data byla následně statisticky zpracována a vyhodnocena dle příslušných norem (ISO 21920-1, ISO 21920-2 a ISO 25178-2). Diplomová práce se rovněž věnuje detekci odlehlých hodnot a hledání souvislostí mezi různými skupinami dat. Součástí je i návrh opatření vedoucích ke zlepšení systému měření a kontroly kvality v konkrétním výrobním prostředí.

Práce tedy kombinuje poznatky z oblasti obrábění, metrologie a statistické analýzy a nabízí nejen teoretický přehled, ale také praktický přínos v podobě konkrétního doporučení pro praxi.

I TEORETICKÁ ČÁST

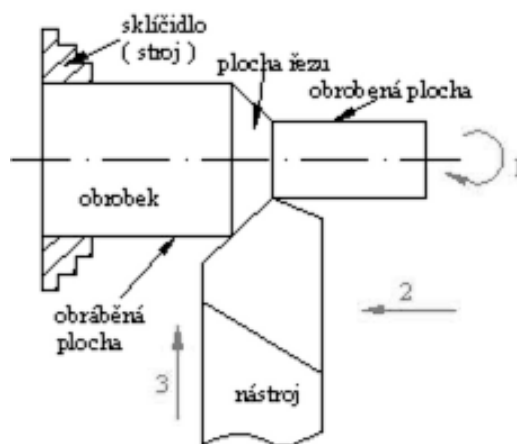
1 KONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Obrábění je klíčovým procesem ve výrobním průmyslu, který zahrnuje odstraňování materiálu z obrobku, za účelem dosažení požadovaného tvaru a rozměru. Konvenční metody obrábění, jako jsou soustružení, frézování, vrtání a broušení, jsou nedílnou součástí moderní výroby a hrají kritickou roli při vytváření přesných a kvalitních komponentů pro širokou škálu aplikací.

Typickým znakem konvenčního obrábění je přímý kontakt řezného nástroje s obrobkem. Ve většině případů se potom může mluvit o tzv. třískovém obrábění. Pokud se nejedná o dokončovací operace, jako jsou válečkování a kuličkování, tak k odběru třísky nedochází.

1.1 Soustružení

Soustružení je jednou z nejstarších a nejrozšířenějších metod obrábění. Používá se k vytváření rotačně symetrických součástí. Tato operace se provádí na soustruzích, kde se obrobek otáčí kolem své osy (hlavní řezný pohyb) a řezný nástroj se pohybuje ve dvou směrech a koná tzv. přísuv a posuv (vedlejší řezné pohyby). Obrobek je upnutý do sklíčidla a otáčí se vysokou rychlostí, zatím co se soustružnický nůž pohybuje po povrchu obrobku a odřezává určenou vrstvu materiálu ve formě třísky. [1, 2]



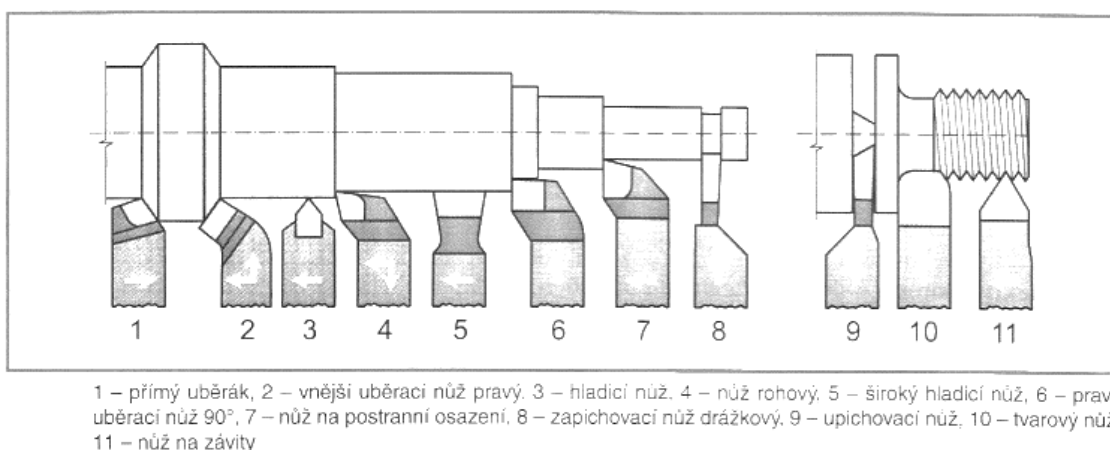
Obrázek 1 Schéma soustružení [3]

Základní typy soustružení:

- Podélné soustružení – nůž se pohybuje paralelně s osou otáčení obrobku, čímž se vytváří válcový povrch. Využívá se pro soustružení jak vnějších, tak vnitřních ploch, rovněž sem jde zařadit soustružení závitů.

- Příčné soustružení – nůž se pohybuje kolmo k ose otáčení, což umožňuje vytváření čelních ploch, drážek, zápichů nebo tak lze odříznout část obrobku.
- Soustružení tvarových ploch – řezný nástroj sleduje specifický profil, díky tomu můžeme vytvořit složitější tvary kulového nebo kuželovitěho typu. Tvarové plochy lze vytvářet několika způsoby: kopírování, sdruženými posuvy, tvarovými noži nebo v dnešní době hlavně pomocí CNC soustruhů.

Typické řezné nástroje pro soustružení jsou vyrobeny z rychlořezných ocelí (HSS), slinutého karbidu nebo řezné keramiky. V případě slinutých karbidů a keramiky není z těchto materiálů vyrobený celý nůž, ale pouze tzv. výměnné břitové destičky. Podle toho, pro jaký typ nože jsou tyto destičky vyrobeny je lze po opotřebení pouze otočit a pokračovat dál v práci, což snižuje jak výrobní čas, tak i náklady. [1, 2]



Obrázek 2 Druhy soustružnických nožů [4]

Soustružení lze aplikovat na širokou škálu materiálů, ať už jde o oceli, hliník, měď či plasty. Každopádně každý materiál vyžaduje specifický výběr nástrojů a nastavení řezných parametrů, aby nedocházelo např. k velké tvorbě tepla.

Řezné podmínky:

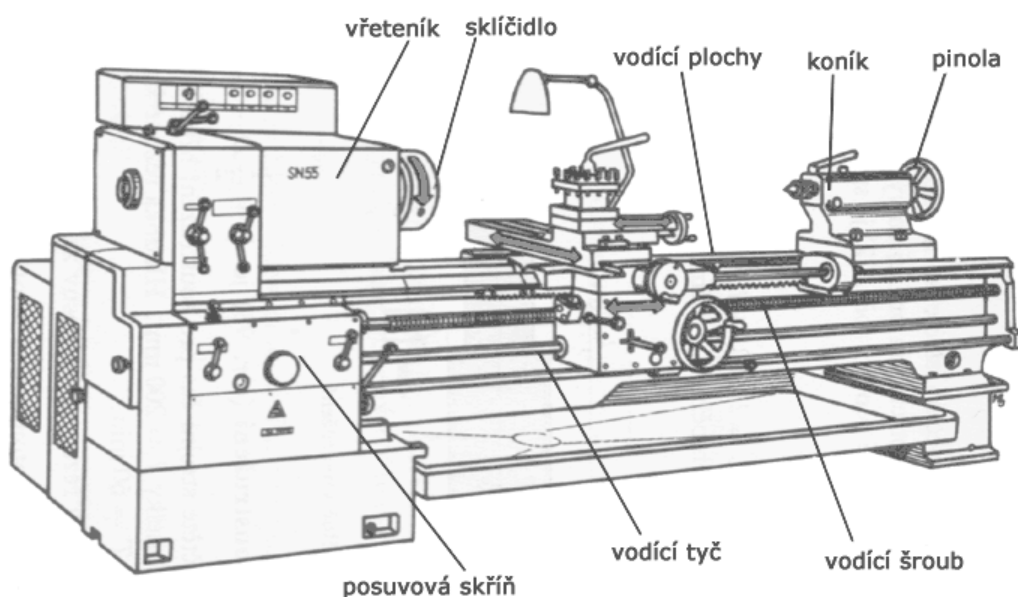
- Řezná rychlost (v_c) – jedná se o rychlost jakou se obvod obrobku pohybuje proti nástroji, obvykle se udává v metrech za minutu (m/min). V praxi se řezná rychlost pohybuje od 5 m/min až například u slitin hliníku nad 1000 m/min. Vyšší řezná rychlost může zvýšit produktivitu, ale dochází k rychlejšímu opotřebení nástroje.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m/min]} \quad (1)$$

- Posuv (f) – jedná se o vzdálenost ve směru osy, kterou nástroj urazí na obrobku za jednu otáčku vřetene. S velikostí toho parametru souvisí drsnost obrobeného povrchu. V případě, že se jedná o hrubování, může dosahovat hodnoty až 3 mm, ale pokud chceme docílit co nejlepšího povrchu při soustružení na čisto, může klesnout až na 0,03 mm. Tyto hodnoty, ale závisí na obráběném materiálu a geometrii nástroje.
- Hloubka řezu (a) – tloušťka odřezávaného materiálu z obrobku, kterou nástroj odebere při jednom záběru. Její velikost se pohybuje v desetinách až jednotkách milimetru v závislosti na materiálu a nástroji. [1, 2]

Typy soustruhů:

- Hrotový soustruh – je to univerzální druh soustruhu, který se používá pro širokou škálu operací. Má dvě hlavní části vřeteno a koník, mezi které se upíná obrobek.
- Revolverový soustruh – má revolverovou hlavu s několika nástroji, což umožňuje rychlou změnu nástroje a zvýšení produktivity.
- Čelní soustruh – speciální typ soustruhu určený pro obrábění velkých a těžkých obrobků s krátkou délkou.
- CNC soustruhy – moderní soustruhy řízené počítačem, což nám umožňuje docílit vysoké přesnosti a obrábění složitých tvarů.



Obrázek 3 Univerzální hrotový soustruh [5]

Výhody:

- Vysoká přesnost a kvalita povrchu
- Možnost obrábění různých materiálů
- Vhodné pro výrobu jak malých, tak velkých sérií

Nevýhody:

- Relativně pomalý proces ve srovnání s některými nekonvenčními metodami obrábění
- Vyšší náklady na nástroje a údržbu
- Omezená flexibilita pro složité tvary bez použití speciálních nástrojů nebo CNC technologie

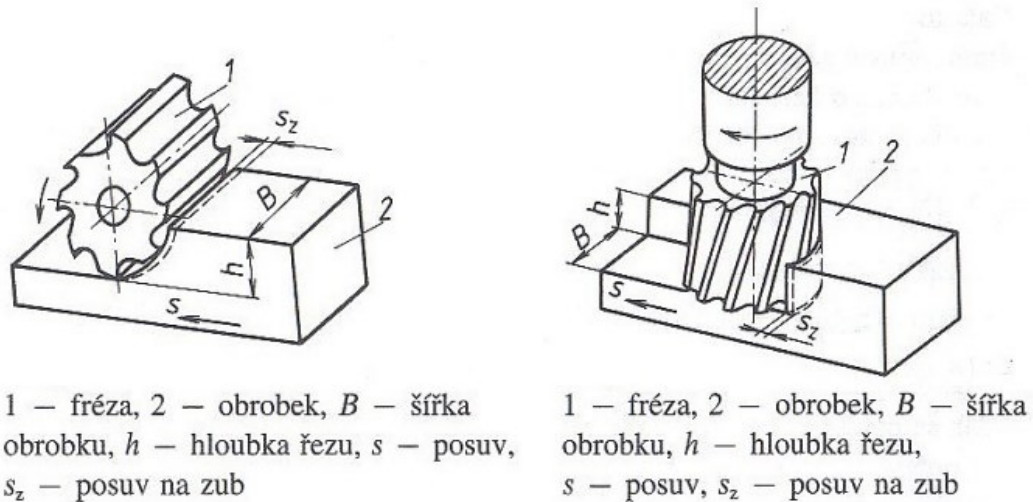
1.2 Frézování

Frézování je jeden z nejrozšířenějších a nejuniverzálnějších obráběcích procesů, který se používá k vytvoření různých tvarů a povrchů na obrobku. Tato operace se provádí na frézkách, kde hlavní pohyb (rotační) provádí vícebřitý nástroj – fréza a vedlejší pohyby (posuvy v osách X, Y a Z) koná obrobek upnutý do pracovního stolu.

Z technologického hlediska podle toho, jak je orientována osa nástroje k obrobku rozlišujeme dva hlavní způsoby frézování, a to čelní a válcové.

Čelní frézování je technika, při které je osa nástroje kolmo k obráběné ploše. Tento proces je často používán pro hrubování a dokončování velkých ploch, zarovnání povrchů a vytváření přesných rovinných ploch na obrobku.

Válcové frézování je metoda, při které je osa nástroje rovnoběžná s obráběnou plochou. Typickou aplikací je drážkování – vytváření dlouhých drážek nebo štěrbin v obrobku, frézování profilů – vytváření specifických profilů a tvarů na povrchu obrobku a rovinné frézování – vytváření dlouhých a úzkých rovinných ploch. [6, 7]

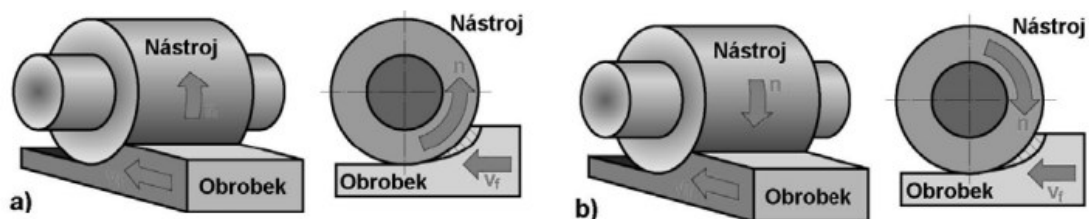


Obrázek 4 Válcové a čelní frézování [8]

Frézování ještě dělíme podle toho, jak rotuje fréza vzhledem k posuvu obrobku, na sousledné a nesousledné frézování.

Sousledné frézování metoda, při které se směry otáčení frézy a posuvu obrobku shodují. Síly působící na obrobek jsou v tomto případě směřovány dolů, což snižuje vibrace a zlepšuje kvalitu povrchu. Řezné břity frézy vstupují do obrobku při maximální tloušťce třísky a postupně ji ztenčují, dokud nedojde k jejímu oddělení. Proto se využívá pro dokončovací operace. Odvádění třísek s pracovní oblastí je lepší než u nesousledného frézování. Používá se spíše při CNC obrábění.

Nesousledné frézování metoda, při které se směry otáčení frézy a posuvu obrobku liší. Síly působící na obrobek jsou směřovány nahoru, což může způsobit větší vibrace a zhoršit kvalitu povrchu. Řezné břity frézy vstupují do obrobku při minimální tloušťce třísky a postupně ji zvyšují, dokud se neoddělí. Je vhodnější pro starší stroje, z důvodu menšího rizika vtahování obrobku do nástroje. [6, 7]



Obrázek 5 Nesousledné a sousledné frézování [9]

1.3 Vrtání, vyhrubování a vystružování

Jsou to základní operace v oblasti třískového obrábění, které umožňují vytvoření nebo úpravu otvorů s požadovanými rozměry, tvarem a kvalitou povrchu. Nejčastěji se při obrábění děr využívají vícebřité nástroje. Hlavní pohyb při těchto operacích zpravidla vykonává nástroj, zatímco vedlejší pohyb probíhá rovnoběžně s jeho osou. U obrábění děr na soustruzích je však situace opačná a hlavní pohyb zajišťuje obrobek. [10, 11]

1.3.1 Vrtání

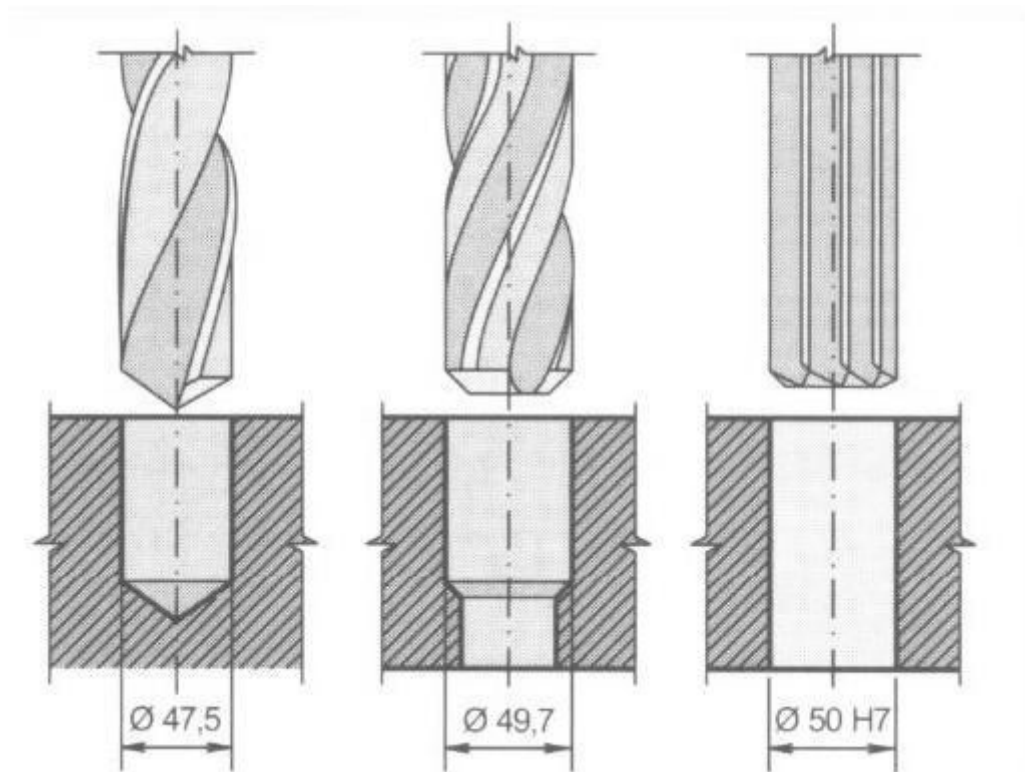
Vrtání je proces, při kterém se vytvářejí otvory do plného materiálu nebo se zvětšují již existující otvory zhotovené např. předvrtáním, předlitím či předlisováním. K tomuto účelu se používá vrták, jehož osa bývá obvykle kolmá k ploše obráběného materiálu. Rozlišujeme vrtání průchozích a neprůchozích děr. Vrtáky jsou zpravidla dvoubřité nástroje. Rozlišujeme vrtáky šroubovitě, dělové, středící, korunkový aj. Strojní vrtačky poté dělíme podle konstrukce a to na: stolní, sloupcové, stojanové, otočné a speciální.

1.3.2 Vyhrubování

Vyhrubování je proces, který následuje po vrtání a slouží ke zvětšení již vyhotoveného otvoru. Používá se nástroj zvaný výhrubník. Jde o několikabřitý nástroj obvykle tří až čtyř.

1.3.3 Vystružování

Vystružování je přesná dokončovací operace, která zlepšuje kvalitu povrchu a přesnost rozměrů otvoru. Tento proces následuje obvykle po vyhrubování. Nástroj se nazývá výstružník. Jedná se o vícebřitý nástroj, může mít čtyři až osmnáct břitů. Výstružníky rozlišujeme ruční a strojní. Ruční se používají pro menší otvory a manuální aplikace. Strojní jsou vhodné pro sériovou výrobu. [10, 11]



Obrázek 6 Vrtání, vyhrubování a vystružování [12]

1.4 Hoblování a obrážení

Hoblování a obrážení jsou tradiční metody třískového obrábění, které mají v průmyslové výrobě dlouhou historii. Ačkoli jsou dnes často nahrazovány modernějšími technologiemi, jako je frézování nebo CNC obrábění. Jejich aplikace zůstávají důležité zejména, když jsou vyžadovány specifické povrchové vlastnosti nebo geometrie obrobku.

Obě metody jsou charakteristické především svou schopností vytvářet rovinné nebo profilované plochy s vysokou přesností a opakovatelností. Používají se především při obrábění velkých a těžkých obrobků nebo při výrobě drážek a jiných specifických tvarů. [13]

1.4.1 Hoblování

Základním princip hoblování spočívá v tom, že obrobek je upnut na pracovní stůl, který vykonává přímočarý vratný pohyb podél pevně uchyceného nástroje. Obrábění probíhá pouze během pohybu stolu jedním směrem (řezný pohyb), zatímco zpětný pohyb je neproduktivní. [13]

Výhody:

- Vysoká přesnost při obrábění rovinných ploch

- Schopnost obrábět velké a těžké obrobky
- Jednoduchost nástroje a nízké náklady na jeho výrobu

Nevýhody:

- Nízká produktivita kvůli neproduktivnímu zpětnému pohybu
- Omezené použití na rovinné a jednoduché tvarové plochy
- Nižší flexibilita ve srovnání s moderními metodami obrábění

1.4.2 Obrážení

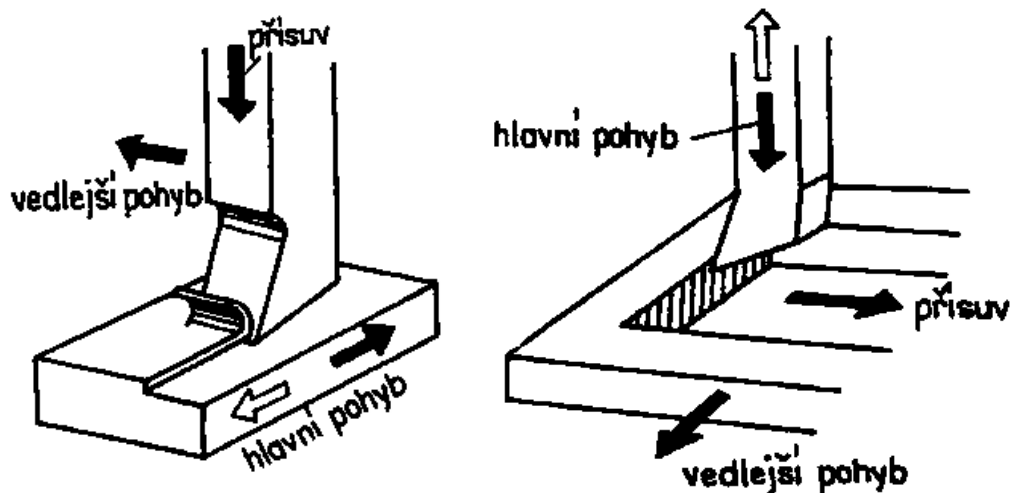
Na rozdíl od hoblování, se zde pohybuje nástroj, zatímco obrobek je pevně upnut na pracovním stole. Obrábění probíhá stejným způsobem jako při hoblování, během řezného pohybu je materiál odebírán, zatímco zpětný pohyb je neproduktivní. [13]

Výhody:

- Schopnost obrábět složitější tvary než při hoblování, například vnitřní drážky nebo profily
- Vysoká přesnost při výrobě malých a středních obrobků

Nevýhody:

- Nízká produktivita
- Omezené použití na specifické aplikace



Obrázek 7 Hoblování a obrážení [14]

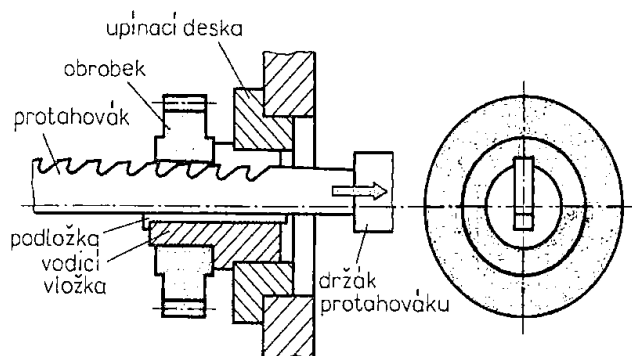
1.5 Protahování a protlačování

Protahování a protlačování jsou významné metody obrábění, které se používají pro vytváření složitých tvarů s vysokou přesností a opakovatelností. Tyto metody nacházejí uplatnění především v sériové a hromadné výrobě, kde je klíčová efektivita a jednotnost vyrobených dílů. [15]

1.5.1 Protahování

Protahování je třískové obrábění, při kterém se tvar obrobku mění postupným odebráním materiálu pomocí speciálního nástroje zvaného protahovací trn. Tento nástroj je charakteristický svou stupňovitou konstrukcí, kde jednotlivé zuby postupně zvyšují hloubku řezu. Nástroj je namáhaný tahem, z toho důvodu se konstruuje štíhlejší a delší.

Během protahování je nástroj tažen obrobkem, přičemž dochází k postupnému odebrání materiálu v ose pohybu. Tato metoda je vhodná především pro vytváření přesných profilů, jako jsou drážky, vnitřní tvary nebo zuby ozubených kol. [15]

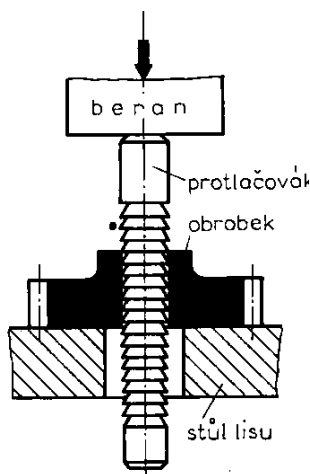


Obrázek 8 Protahování [16]

1.5.2 Protlačování

Protlačování je proces, při kterém je nástroj (protlačovací trn) vtlačován do obrobku, aby vytvořil požadovaný tvar. Nástroj je namáhaný na tlak a vzpěr, a proto se vyrábí kratší.

Tento proces se využívá při výrobě drážek, otvorů nebo tvarových dutin, kde je kladen důraz na vysokou kvalitu povrchu a přesné rozměry. [15]



Obrázek 9 Protlačování [16]

1.6 Dokončovací operace

Dokončovací operace představují klíčovou část výrobního procesu, zaměřenou na dosažení požadovaných vlastností hotového výrobku. Tyto operace mají za cíl zlepšit geometrickou přesnost, povrchovou jakost, mechanické vlastnosti nebo estetický vzhled výrobku. Jejich správné provedení ovlivňuje kvalitu, funkčnost a životnost výrobku.

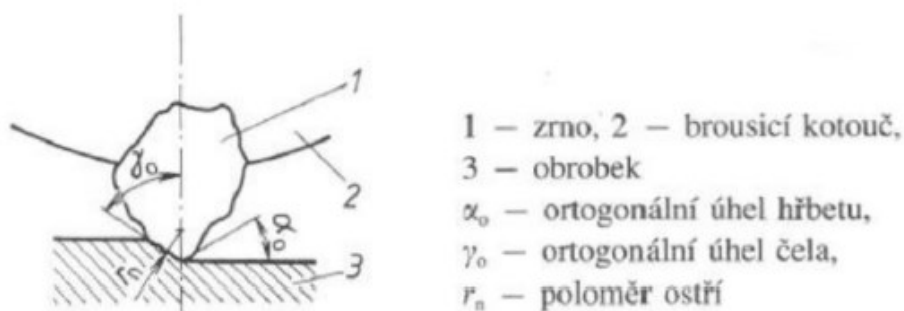
Z pohledu konvenčních metod obrábění rozlišujeme tyto: broušení, honování, lapování, superfinišování, válečkování a kuličkování.

1.6.1 Broušení

Broušení je dokončovací proces obrábění, při kterém se z povrchu materiálu odstraňuje tenká vrstva za účelem dosažení požadované geometrie, přesnosti rozměrů a povrchové jakosti. Tato technologie využívá abrazivní nástroje, které mají schopnost velmi efektivně odebírat materiál s vysokou přesností.

Broušení je založeno na působení abrazivních částic, které jsou pojivem upevněny na povrchu brusného nástroje (brusný kotouč). Tyto částice působí jako malé řezné hrany, které pronikají do materiálu, oddělují ho ve formě třísky velmi drobných rozměrů. Proces je charakteristický vysokými otáčkami nástroje a relativně malým množstvím odebraného materiálu.

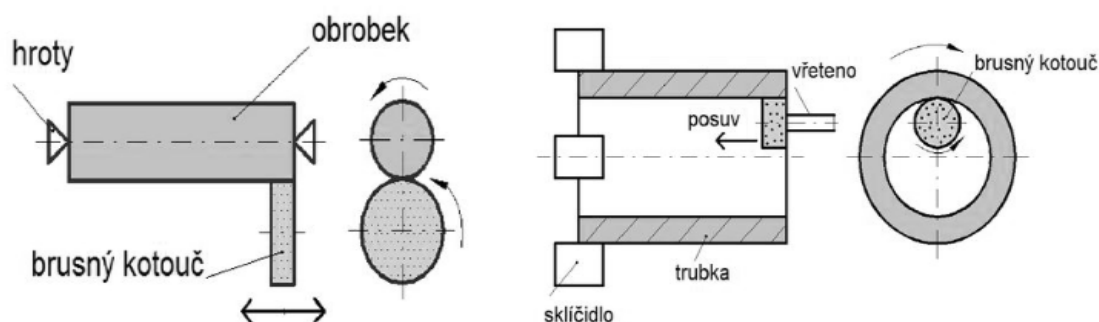
Z hlediska mechaniky procesu se jedná o složitou interakci mezi brusným nástrojem, obrobkem a chladicí kapalinou. Důležitou roli hrají síly působící na obrobek, teplo vznikající třením a struktura abrazivního materiálu. [17, 18]



Obrázek 10 Brusné zrno [19]

Typy broušení:

- Rovinné broušení – slouží k obrábění rovinných ploch. Nástrojem je brusný kotouč, který se pohybuje po povrchu obrobku, a to obvodem nebo čelem. Používá se například pro broušení ploch pro vedení strojů.
- Válcové broušení – slouží k obrábění vnějších nebo vnitřních válcových ploch. Obrobek se otáčí kolem své osy a brusný kotouč postupně odstraňuje materiál. Používá se například při výrobě hřídelí a ložisek.
- Bezhraté broušení – efektivní metoda pro obrábění rotačních dílů, které nejsou upnuty v hrotech. Obrobek je veden mezi rotujícími kotouči, a to brusným a podpurným.
- Profilové broušení – používá se pro vytváření složitých tvarů, jako jsou drážky, zuby ozubených kol nebo jiné specifické geometrie. Brusné kotouče mají speciální profil odpovídající požadovanému tvaru. [17, 18]

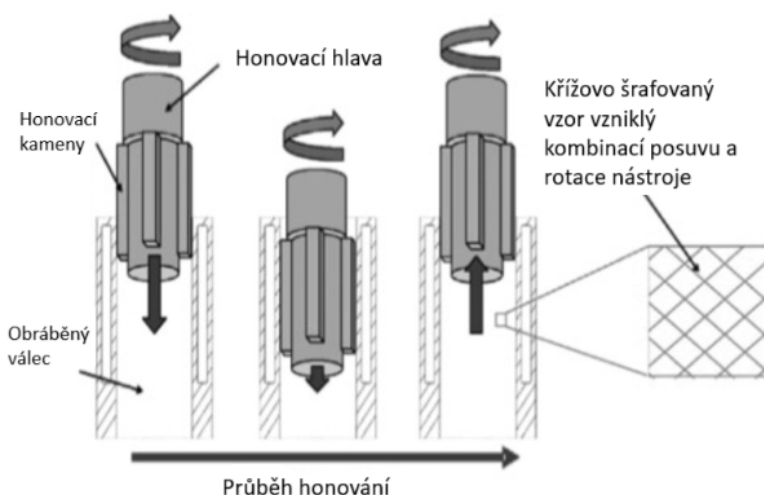


Obrázek 11 Válcové broušení vnější a vnitřní [20]

1.6.2 Honování

Honování je dokončovací operace, která se používá k dosažení vysoké geometrické přesnosti a velmi nízké povrchové drsnosti. Proces honování je specificky zaměřen na úpravu válcových ploch, například vnitřních stěn válců motorů, hydraulických válců nebo ložiskových pouzder. Kromě zlepšení přesnosti a povrchové jakosti pomáhá honování také k odstranění vad vzniklých při předchozích výrobních krocích, jako jsou otřepty nebo mikroskopické deformace.

Honování je charakteristické kombinací rotačního a vratného pohybu honovacího nástroje tvořeného honovací hlavou, která obsahuje několik abrazivních kamenů po povrchu obrobku. Tento pohyb zajišťuje rovnoměrné odebrání materiálu a vytváří specifickou geometrii povrchu označovanou jako křížově šrafovaný vzor. Toto šrafování je důležité zejména v aplikacích, kde je nutná optimální distribuce maziva. [22]



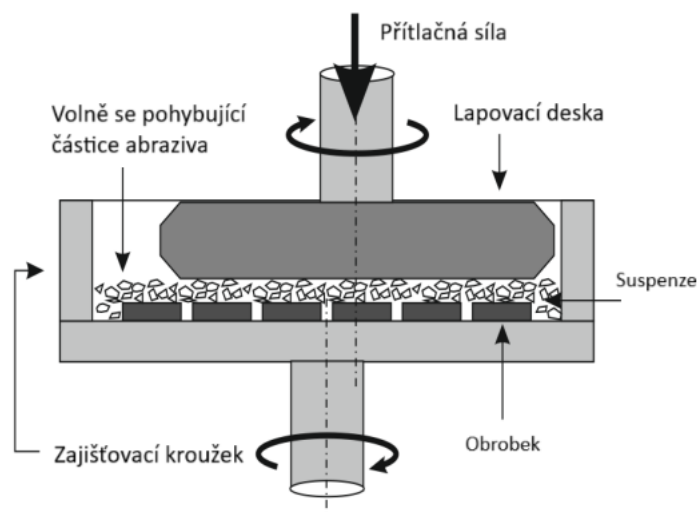
Obrázek 12 Honování [22]

1.6.3 Lapování

Lapování je dokončovací operace, jejímž cílem je dosažení extrémně hladkého povrchu a vysoké rozměrové přesnosti. Tento proces je charakteristický použitím jemným abrazivních částic, které jsou smíchány s nosnou kapalinou a aplikovány na povrch obrobku. Lapování je vhodné pro úpravu rovinných i zakřivených ploch a je využíváno v aplikacích, kde je kriticky důležitá přesnost a kvalita povrchu, například v optice, mikroelektronice a přesném strojírenství.

Lapování spočívá v jemném odebrání materiálu abrazivními částicemi, které se pohybují mezi obrobkem a lapovací plochou (nástrojem). Tento proces využívá kombinaci tlakové

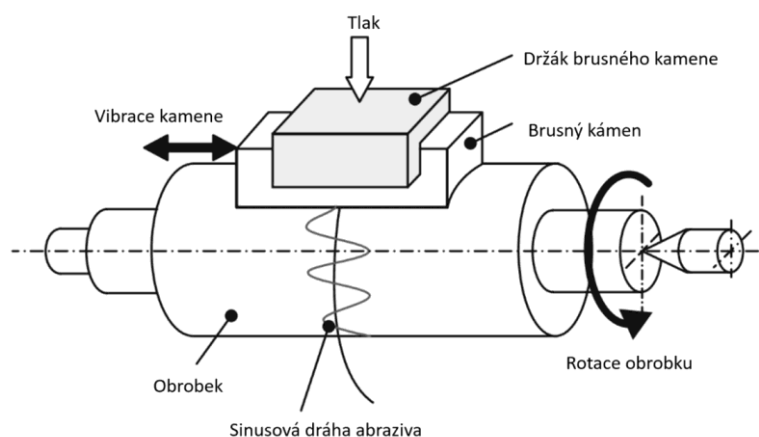
síly a tření, přičemž abrazivní částice jsou vtlačovány do lapovacího nástroje, aby efektivně odstraňovaly materiál z povrchu obrobku. [23, 24]



Obrázek 13 Lapování [23]

1.6.4 Superfinašování

Superfinašování je dokončovací operace, která slouží ke zlepšení kvality povrchu a dosažení velmi nízké drsnosti. Tento proces je charakterizován jemným odebíráním materiálu s využitím abrazivního nástroje, který vykonává oscilující pohyb za současného působení tlaku. Hlavní aplikace superfinašování jsou přesné součásti, jako jsou ložiska, válce, hřídele a další rotační komponenty v automobilovém, leteckém a strojírenském průmyslu. [25]



Obrázek 14 Superfinašování [25]

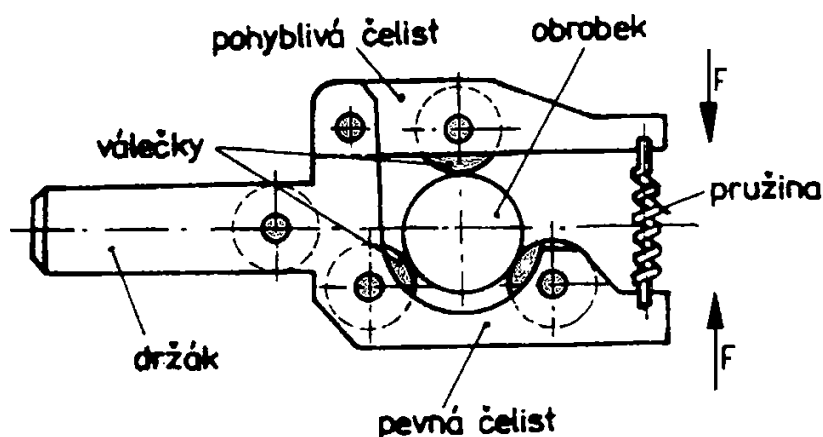
1.6.5 Válcování a kuličkování

Válcování a kuličkování jsou mechanické dokončovací procesy, které slouží ke zlepšení kvality povrchu a zvýšení mechanických vlastností obrobku. Oba procesy využívají

plastickou deformaci povrchových vrstev materiálu, což vede k vyhlazení povrchu, zlepšení únavové pevnosti a zvýšení odolnosti vůči opotřebení. Tyto metody jsou používány u komponentů, které jsou vystaveny vysokému namáhání. [26, 27, 28, 29]

Válečkování

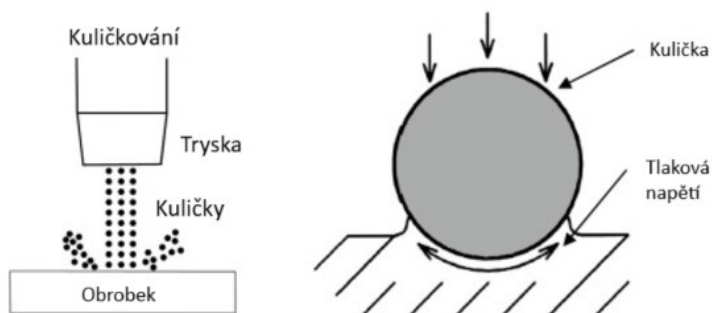
Válečkování je založeno na mechanickém stlačování povrchu obrobku pomocí tvrdého válečku nebo sady válečků, které působí tlakem na povrch. Tento tlak způsobuje plastickou deformaci povrchových vrstev, čímž dochází k vyhlazení povrchu, zpevnění materiálu a odstranění drobných povrchových vad. [26, 27, 28, 29]



Obrázek 15 Válečkování [14]

Kuličkování

Kuličkování je proces mechanického zpevňování povrchu, při kterém je na obrobek vystřelována řada malých kuliček (ocelových, skleněných nebo keramických). Tyto kuličky narážejí na povrch obrobku vysokou rychlostí, což vede k plastické deformaci povrchových vrstev. Tento proces zlepšuje povrchovou pevnost a odolnost vůči únavovým trhlinám. [26, 27, 28, 29]



Obrázek 16 Kuličkování [30]

2 HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU

Hodnocení jakosti povrchu je klíčové při procesech a kontrole kvality, protože ovlivňuje funkční vlastnosti, jako jsou tření, opotřebení, těsnost nebo estetika. Normy ČSN EN ISO 21920-1, ČSN EN ISO 21920-2 a ČSN EN ISO 25178-2 se věnují popisu a měření jakosti povrchu, přičemž každá z nich se zaměřuje na konkrétní aspekty.

2.1 Normy

ČSN EN ISO 21920-1

- Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Profil – Část 1: Indikace textury povrchu
- Tato norma specifikuje pravidla pro indikaci textury povrchu profilovými metodami v technické dokumentaci produktu pomocí grafických značek. [31]

ČSN EN ISO 21920-2

- Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Profil – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu
- Tato norma specifikuje termíny, definice a parametry pro texturu povrchu pomocí profilových metod. [32]

ČSN EN ISO 25178-2

- Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu
- Tato norma specifikuje parametry pro texturu povrchu pomocí plošných metod. [33]

3 STATISTICKÁ ANALÝZA EDA

Exploratorní analýza dat (EDA) je důležitým pomocníkem při zpracování dat. Poskytuje prvotní přehled o vlastnostech souborů dat. Poskytuje pohled na odhalování základních struktur, identifikaci vzorců, vztahů mezi proměnnými, anomálií a možné odlehlé hodnoty. Na rozdíl od inferenčních metod, které slouží k testování předem zvolených hypotéz. EDA jako taková podává otevřený a nestrukturovaný způsob analýzy, jehož výsledkem je hlubší porozumění datům.

Analýza pomocí EDA se označuje jako datově řízená, protože pomocí ní většinou dochází ke vzniku nových hypotéz, které se následně mohou prověřit pomocí inferenčních metod. V praxi se EDA často používá během výzkumů k zpracování dat, ale i v průmyslové kontrole kvality, kde slouží k rychlému odhalování výrobních chyb či nestandardních jevů.

Součástí EDA jsou jak kvantitativní, tak vizuální metody, které jsou užitečné při pochopení rozložení a vlastností dat. Tyto metody napomáhají k rychlé identifikaci odlehlých hodnot, směřování dat nebo určení, zda se jedná o normální či asymetrické rozdělení. Správné provedení této základní analýzy je nezbytné pro výběr vhodných statistických metod při dalších stádiích analýzy.

Mezi nástroje EDA patří např. grafy časové řady, histogramy, boxploty, testy normality, pravděpodobnostní grafy, testy odlehlých hodnot a mnoho dalších. [34, 35]

3.1 Graf časové řady

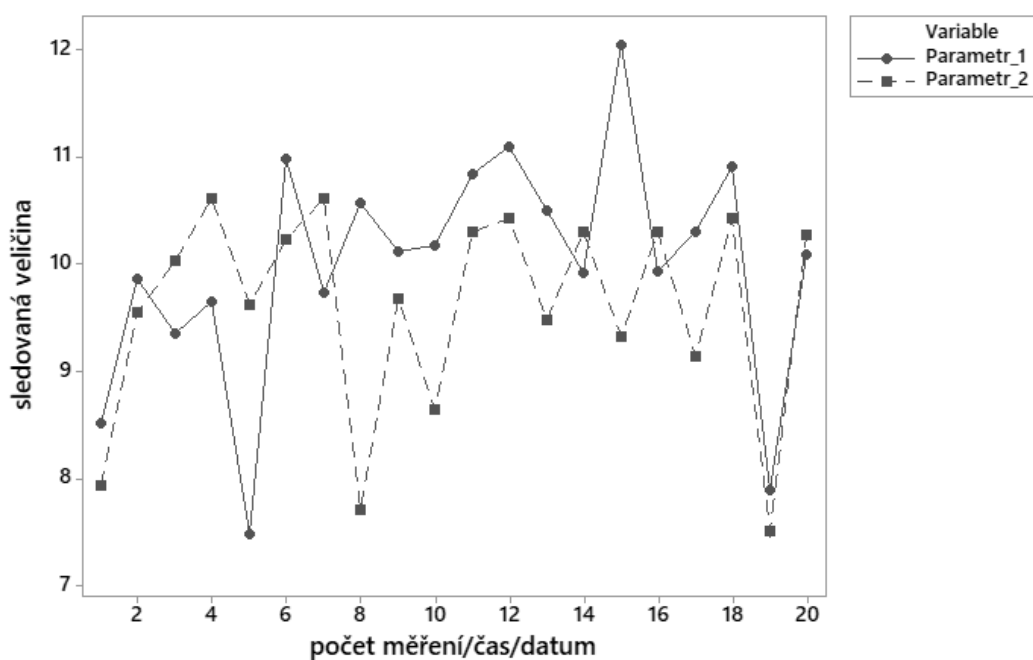
Graf časové řady je jedním ze základních vizualizačních nástrojů používaný pro analýzu dat zaznamenaných v nějaké časové posloupnosti. Využívá se k zobrazení vývoje jedné či více proměnných v čase. Horizontální osa reprezentuje např. pořadí měření, čas nebo datum a vertikální osa znázorňuje hodnotu sledované veličiny (viz. obr. 17.). [34, 35]

Tento graf poskytuje informace o:

- Vzniku trendů (např. zda jde o rostoucí či klesající vývoj)
- Výkyvech dat (sezónní či cyklické)
- Náhlých změnách nebo anomáliích (např. porucha stroje)
- Vývoji více proměnných v čase

Co se týče průmyslové výroby, jedná se o cenný nástroj pro monitorování stability výrobního procesu a odhalení odchylek, které mohou naznačit např. opotřebení nástroje nebo chybu obsluhy.

Na uvedeném příkladu (obr. 17) je zobrazen graf časové řady pro dva sledované parametry. Z grafu je zřejmé, že hodnoty obou parametrů kolísají, přičemž u toho prvního jsou výkyvy výraznější. Z hlediska výroby, takové chování může naznačovat narašení v její konzistenci nebo rozdíl v podmínkách jednotlivých šarží. [34, 35]



Obrázek 17 Příklad grafu časové řady [vlastní]

3.2 Histogram

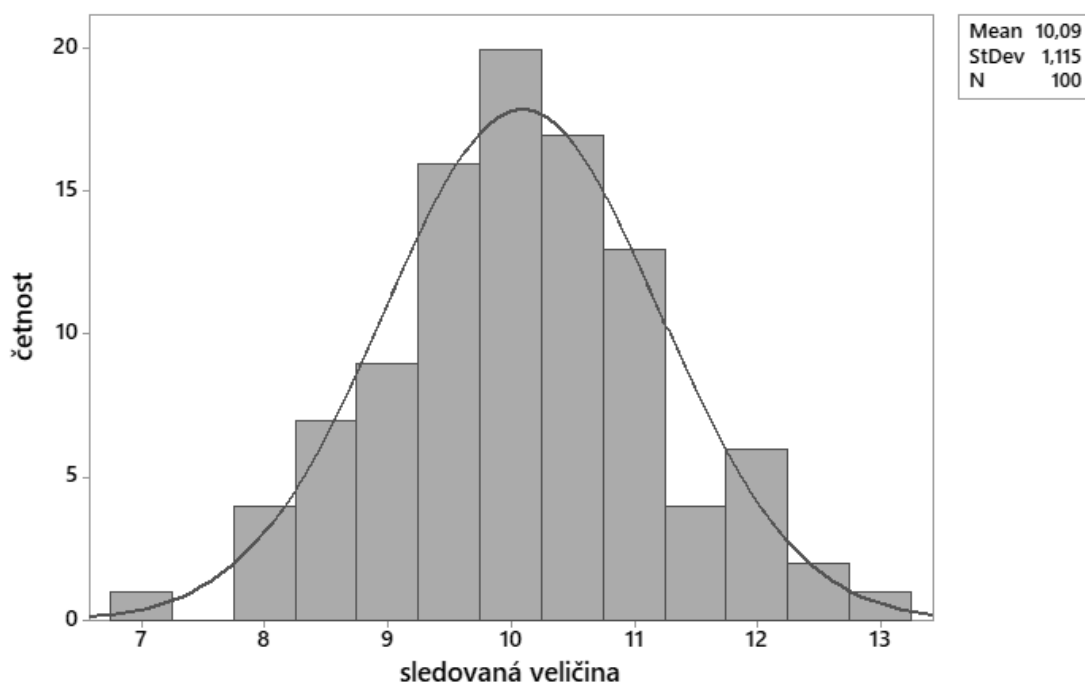
Jedná se o další ze základních nástrojů EDA, který graficky znázorňuje četnosti hodnot sledované veličiny. Je to sloupcový graf, v kterém je souvislá množina dat rozdělená do jednotlivých intervalů. Pro každý interval je v grafu zakreslený sloupec, jeho výška odpovídá četnosti hodnot, které do něj spadají. [34, 35]

Poskytuje informace o:

- Rozložení dat (zda jde o normální, zešikmené nebo vícečetné)
- Odlehlých hodnotách a extrémech
- Symetrii či šikmosti rozložení dat

Praktické využití histogramu spočívá např. v ověření, zda rozdělení dat odpovídá teoretickému modelu (např. normální rozdělení). To je následně důležité při volbě dalších statistických metod. [34, 35]

Na uvedeném příkladu (obr. 18) je zobrazen histogram sestavený ze 100 hodnot. Graf zobrazuje klasické Gaussovské rozdělení, které je typické pro data s normálním rozdělením. Gaussova křivka v grafu ilustruje shodu empirického rozložení s teoretickou normální křivkou, zároveň je zde zobrazen aritmetický průměr (10,09) a směrodatná odchylka (1,115).



Obrázek 18 Příklad histogramu [vlastní]

3.3 Boxplot

Boxplot neboli krabicový graf je dalším grafickým nástrojem sloužícím k vizualizaci rozložení dat a identifikaci odlehlých hodnot. Hlavní výhodou boxplotu je zobrazení základních statistických charakteristik datového souboru jako jsou medián, kvartily a extrémy. [34, 35]

Základní prvky boxplotu (viz. obr. 19):

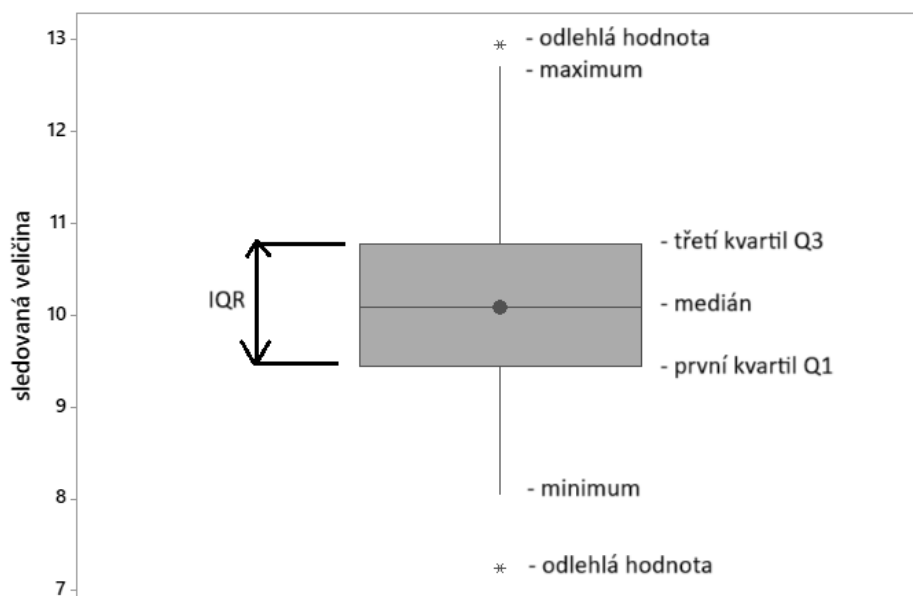
- Box neboli krabice, ta znázorňuje interkvartilové rozpětí (IQR), což je interval mezi prvním (Q1) a třetím kvantilem (Q3), který obsahuje 50 % dat.
- Medián (Q2) ten je označený čarou uvnitř krabice a udává střední hodnotu dat.

- „Vousy“ to jsou čáry které směřují od krabice k minimální a maximální hodnotě, která se ještě nepovažuje za odlehlou.
- Odlehlé hodnoty jsou v boxplotu zobrazeny jako samostatné body, které jsou mimo rozsah standardního rozpětí.

Poskytuje informace:

- Rozložení datových skupin a slouží k jejich porovnání (např. data z různých směn).
- O tom, zda jsou v souboru dat nějaké odlehlé nebo extrémní hodnoty, které mohou být zapříčiněny např. chybou měření.
- Symetrii dat – v případě že je medián uprostřed krabice a vousy jsou přibližně stejně dlouhé, lze uvažovat o symetrické rozdělení

Na uvedeném příkladu (obr. 19) zobrazen boxplot se zakreslenými popisky prvků viz. výše „Základní prvky boxplotu“. [34, 35]



Obrázek 19 Příklad boxplotu [vlastní]

3.4 Anderson-Darlingův test normality

Jedná se o statistický test hypotéz, který má za úkol ověřit, zda data pochází z normálního rozdělení či nikoli. Jde o rozšířenou formu Kolmogorov-Smirnovova testu, který se zaměřuje na chování dat v krajních oblastech rozdělení (ne středových hodnot). [34, 35]

Test spočívá v porovnání empirické distribuční funkce dat s teoretickou distribuční funkcí normálního rozdělení. Pokud je rozdíl mezi těmito funkcemi vyšší tím je i vyšší hodnota testovací statistiky, s čímž stoupá pravděpodobnost, že data pochází z jiného rozdělení než normálního. [34, 35]

Při provedení tohoto testu si stanovíme hypotézu nulovou a alternativní spolu s hladinou významnosti:

- H_0 – nulová hypotéza tvrdí že data pochází z normálního rozdělení.
- H_A – alternativní hypotéza tvrdí že data nepochází z normálního rozdělení
- α – hladina významnosti

Tyto hypotézy potvrzujeme či zamítáme na základě výstupu testu:

- A^2 – testovací statistika, čím vyšší hodnota, tím víc se data odchyľují od normality.
- p-hodnota: v případě že je menší než zvolená hladina významnosti ($\alpha = 0,05$), zamítá se nulová hypotéza a platí tedy hypotéza alternativní což znamená, že data pochází z nenormálního rozdělení.

Často je tento test používán spolu s vizuálnímu nástroji jako jsou dříve zmíněné histogramy nebo boxploty. Je důležitý v případech, když potřebujeme rozhodnout, zda pro budoucí analýzu budeme používat metody předpokládající normalitu, jako jsou např. t-test nebo ANOVA. [34, 35]

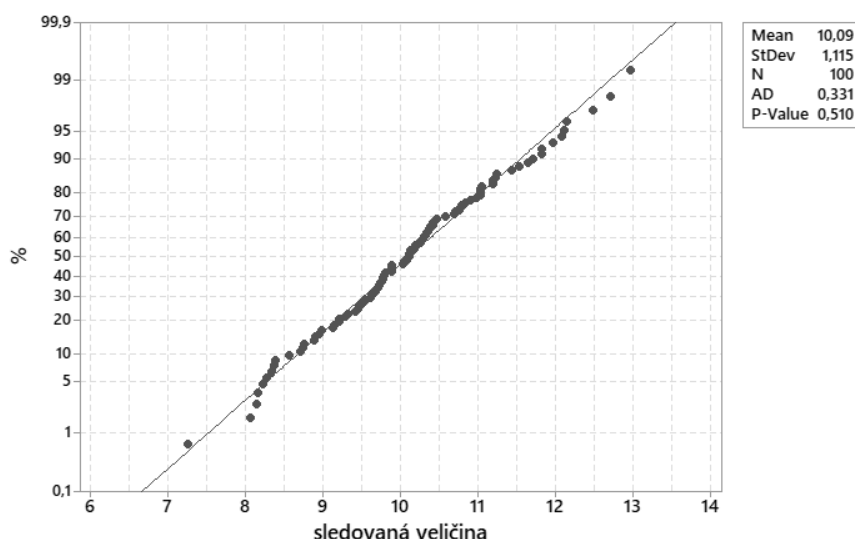
3.5 Pravděpodobnostní graf

Pravděpodobnostní graf neboli Q-Q graf, je grafický nástroj, který se používá pro ověření shody dat s určitým teoretickým rozdělením, nejčastěji s normálním. Tento graf slouží jako doplněk nebo vizuální alternativa k jinému testu normality, jako je například Anderson-Darlingův test.

Graf zobrazuje kvantily empirických dat proti kvantilům teoretického rozdělení. V případě, že data skutečně sledují teoretický model (např. normální rozdělení), tak body v grafu leží přibližně na přímce. Odchýlení bodů od přímky pak naznačuje, že jsou data asymetrická, mají výraznější špičatost nebo že pochází z více datových souborů.

Na příkladu (obr. 20) můžeme vidět, že graf byl vytvořen ze souboru o 100 hodnotách. Výsledky ukazují hodnotu Anderson-Darlingova testu = 0,331 a p-hodnotu = 0,510. Obě

tyto hodnoty jsou vyšší než hladina významnosti $\alpha = 0,05$, z čehož vyplývá, že nulová hypotéza se nezamítá a naměřená data jsou v souladu s normálním rozdělením. [34, 35]



Obrázek 20 příklad pravděpodobnostního grafu [vlastní]

3.6 Testy odlehlých hodnot

Odlehlé hodnoty jsou data v souboru, která se výrazně liší od ostatních hodnot v souboru. Vznikají např. chybným měřením, poruchami zařízení nebo nějakými neobyčejnými událostmi. Odhalené těchto hodnot je velmi důležité z důvodu, že můžou výrazně ovlivnit výsledky statistické analýzy, zejména u těch, které jsou citlivé na extrémy.

K rozpoznání odlehlých hodnot využívají jak grafické, tak numerické metody. Zde se konkrétně zaměříme na Tukeyho metodu a Grubbsův test. [34, 35]

3.6.1 Tukeyho metoda

Boxplotová neboli Tukeyho metoda je jednoduchý nástroj pro odhalení odlehlých hodnot. Jak název napovídá k jeho vizualizaci se využívá boxplot. Nezávisí na typu rozdělení dat, je neparametrická a nevyžaduje tedy normalitu. Vychází z interkvartilového rozpětí (IQR), které je rozdílem mezi třetím (Q3) a prvním kvantilem (Q1). Graficky jsou tyto hodnoty zobrazeny na obr. 19 výše. [34, 35]

Odlehlé hodnoty jsou identifikovány takto:

$$\text{odlehlá hodnota} > Q3 + 1,5 (3) * IQR \text{ nebo } \text{odlehlá hodnota} < Q1 - 1,5 (3) * IQR$$

Pro extrémně odlehlé hodnoty se IQR násobí třemi.

3.6.2 Grubbsův test odlehlých hodnot

Jedná se o statistický test, kterým se ověřuje, zda největší nebo nejmenší hodnota v souboru dat je statisticky významně odlišná od ostatních, tedy že je možné ji považovat jako odlehlou. Předpokládá, že data pochází z normálního rozdělení. V případě, že tomu, tak není výsledek může být nespolehlivý nebo chybný. [34, 35]

Při provedení tohoto testu si stanovíme hypotézu nulovou a alternativní spolu s hladinou významnosti:

- H_0 – nulová hypotéza tvrdí že se v souboru nenachází žádná odlehlá hodnota
- H_A – alternativní hypotéza tvrdí že se v souboru nachází právě jedna odlehlá hodnota
- α – hladina významnosti
- Výpočet testovacího kritéria

$$G = \frac{\max |x_i - \bar{x}|}{s} \quad (2)$$

○ Kde:

- $\bar{x}$ je aritmetický průměr
 - x_i je hodnota s největší odchylkou od průměru
 - s je směrodatná odchylka
- hodnota G se poté porovná s kritickou hodnotou získanou z tabulek. Pokud je G hodnota vyšší nulová hypotéza se zamítá a hodnota je považována za odlehlou.

Při využití matematické softwaru jako je například minitab. Tak při provedení Grubbsova test obdržíme tzv. p-hodnotu, kterou následně porovnáme s hladinou významnosti α většinou volíme 0,05. V případě, že je p-hodnota vyšší, než hladina významnosti potvrzujeme nulovou hypotézu a hodnota není považována za odlehlou. [34, 35]

II PRAKTICKÁ ČÁST

4 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce bylo provést literární rešerši zaměřenou na problematiku hodnocení povrchů konvenčně obráběných dílů. Dále se práce zaměřuje na statistické stanovení rozdílů mezi metodami vyhodnocování povrchů podle norem ISO 21920-1, ISO 21920-2 a ISO 25178.

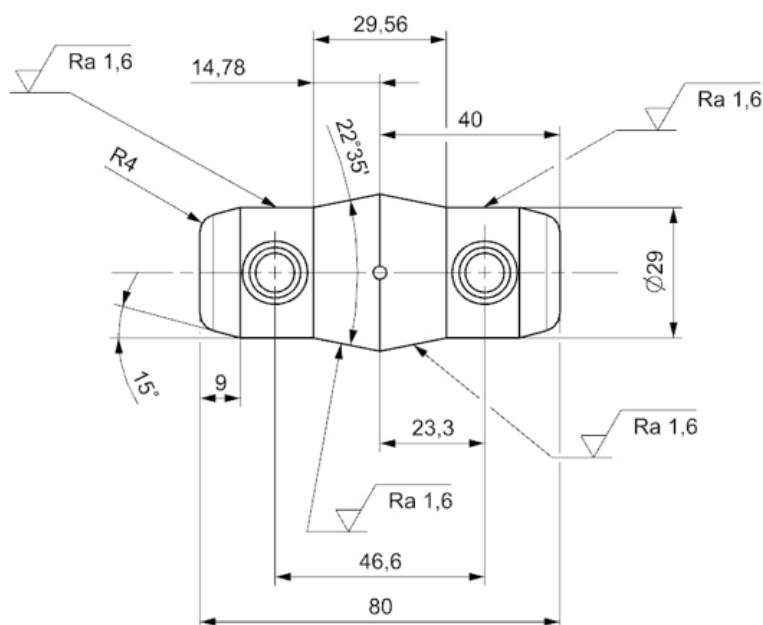
V praktické části je cílem provést průzkumovou analýzu soustružených povrchů pomocí bezkontaktního profilometru a následně statisticky vyhodnotit komparace naměřených dat. Vyhodnocení bude provedeno s využitím programu Minitab.

5 MĚŘENÉ VZORKY A PŘÍSTROJ

5.1 Vzorky

Pro statistickou analýzu bylo dodáno 30 kusů čepů zhotovených pomocí soustružení. Čepy byly vyrobeny z tvrdé hliníkové slitiny s vysokým obsahem mědi (4-5 %). Základní rozměry vzorku viz. obr. 21. Obě kontrolované plochy měly dle výkresu předepsanou hodnotu povrchu $Ra = 1,6 \mu\text{m}$.

Na obr. 22 je zobrazeno uložení jednotlivých čepů, tak jak byly dodány.



Obrázek 21 Rozměry měřeného dílu



Obrázek 22 Uložení měřených vzorků

5.2 Měřicí přístroj

Jednotlivá měření byla provedena v laboratoři na bezkontaktním profilometru Zygo NewView 8000 (obr. 23).



Obrázek 23 Bezkontaktní profilometr Zygo NewView 8000 [36]

5.2.1 Nastavení přístroje a měření

Před zahájením měření byla provedena kalibrace a nastavení základních měřících parametrů profilometru. Rovněž byl vyrovnán stůl profilometru viz. obr. 24.

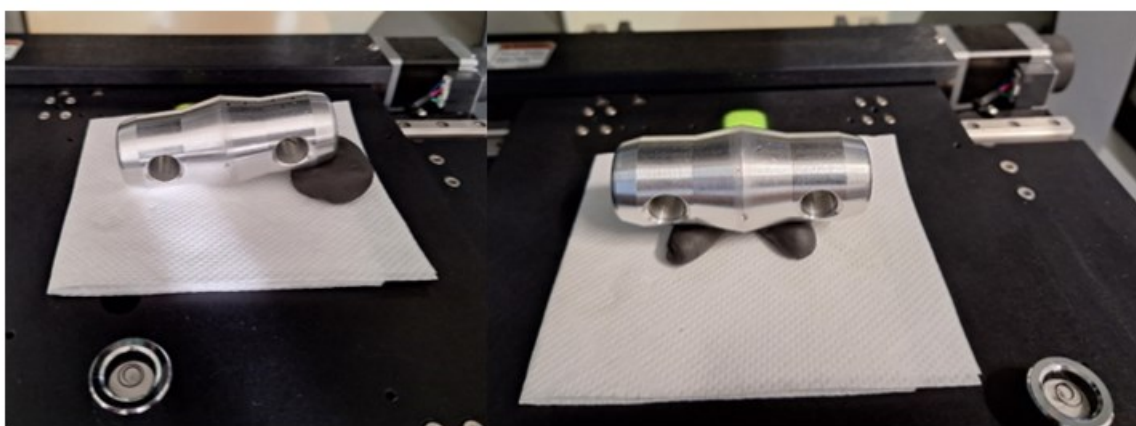
Pro všechna měření byl zvolen objektiv 5,5 x 0,15, který poskytoval kompromis mezi rozlišením a velikostí pozorovaného pole. Tento objektiv umožnil spolehlivý záznam výškových nerovností na ploše 3 x 3 mm.

Dále se provedlo zarovnání vzorku a korekce naklonění měřeného povrchu, jak je vidět na obr. 25, z důvodu eliminování globálního sklonu plochy a aby výsledky nebyly ovlivněny geometrickým posuvem. Poté se zaostřilo na střední rovinu vzorku. Software si vyhodnotí, zda je měřený vzorek dostatečně nasvícen a můžeme zahájit měření. Profilometr naskenuje zvolenou oblast vzorku a výsledek se poté zobrazí na monitoru (obr. 27).

Na obr. 26. jsou zobrazeny mikroskopické snímky měřených povrchů na snímku a) je zobrazena kónusová plocha a na snímku b) rovinná plocha. Na snímku b) je rovněž patrný konkávní přechod mezi plochami.



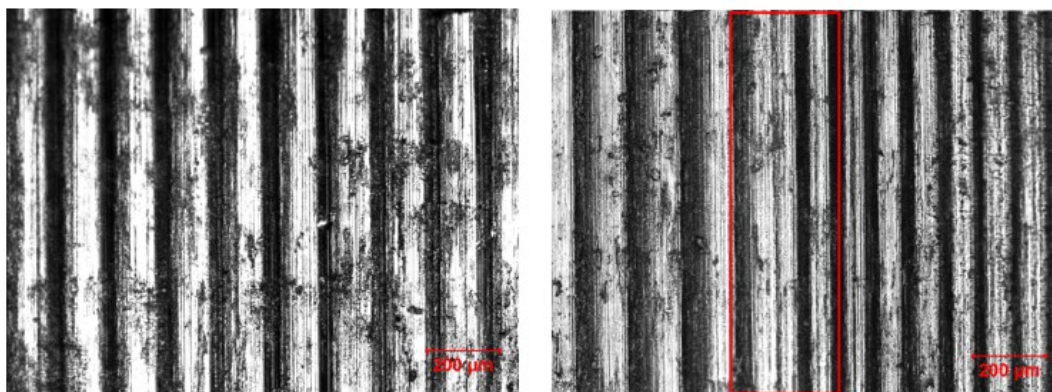
Obrázek 24 Vyrovnání stolu profilometru



a)

b)

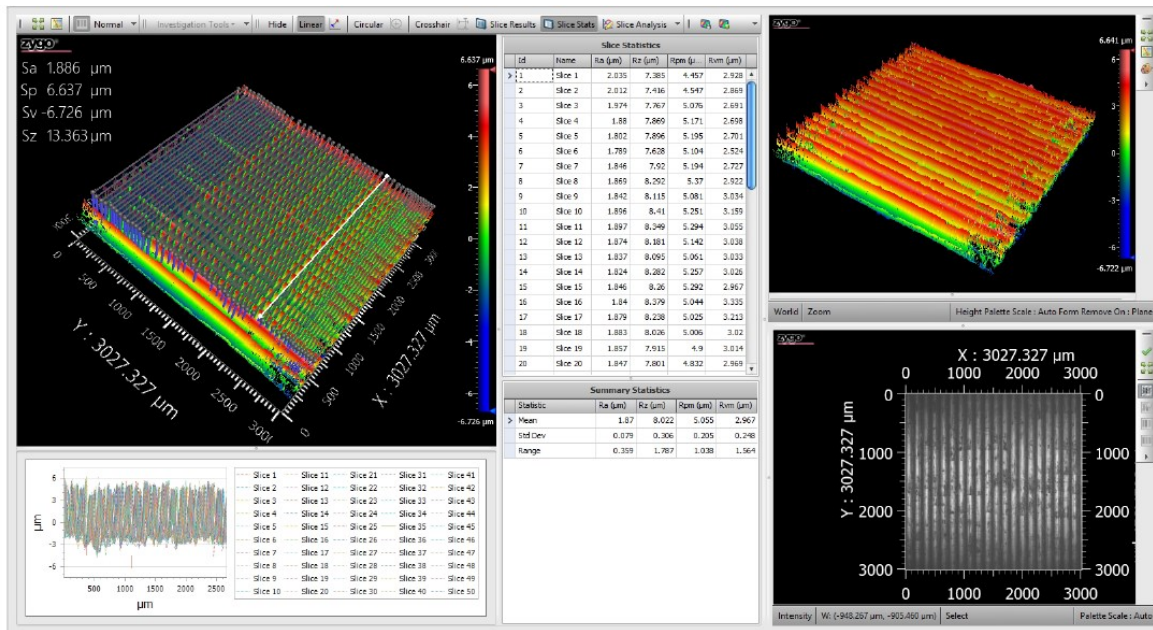
Obrázek 25 Měření kónusové (a) a rovinné plochy (b)



a)

b)

Obrázek 26 Přiblížení kónusové (a) a rovinné plochy (b)



Obrázek 27 Výsledky měření z profilometru pro rovinnou plochu

6 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ NAMĚŘENÝCH DAT

6.1 Tabulkové a grafické zpracování naměřených dat

Do následujících čtyřech tabulek byly statisticky zpracovány výsledky měření parametrů Ra a Rz pro rovinné a kónusové plochy. Data byla zpracována v programu Minitab a následně převedena to tabulkového formátu v programu MS Excel.

Jednotlivé hodnoty aritmetického průměru, směrodatné odchylky, minima, maxima a mediánu byla získána z 50 řezů provedených na každém vzorku.

Při prvním pohledu na výsledky můžeme říct, že se data chovají relativně konzistentně s výjimkou vzorku č. 26, kde všechny hodnoty výrazně vybočují. Toto chování si přiblížíme v dalším bodě za pomoci grafu časové řady.

Tabulka 1 Výsledky měření pro Ra kónus

Č. vzorku	Parametr Ra [μm] kónus		Minimum	Medián	Maximum	počet měření
	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka				
1	0,9096	0,0320	0,8460	0,9115	1,0040	50
2	1,6597	0,0582	1,5440	1,6490	1,8190	50
3	0,8074	0,0398	0,7470	0,7985	0,8800	50
4	0,8154	0,0457	0,7560	0,8016	0,8650	50
5	0,8518	0,0403	0,7860	0,8440	0,9730	50
6	1,5294	0,0604	1,4650	1,5100	1,7080	50
7	1,8219	0,0514	1,7420	1,8100	1,9510	50
8	1,6575	0,0404	1,5870	1,6440	1,7590	50
9	0,8503	0,0367	0,7790	0,8460	0,9380	50
10	0,8075	0,0335	0,7570	0,8030	0,9240	50
11	1,7032	0,0801	1,6180	1,6710	1,8920	50
12	1,7372	0,0280	1,6870	1,7325	1,8310	50
13	0,8343	0,0505	0,7520	0,8245	0,9360	50
14	0,9013	0,0383	0,8110	0,9070	0,9690	50
15	0,8775	0,0225	0,8220	0,8770	0,9310	50
16	1,7499	0,0633	1,6490	1,7325	1,9270	50
17	1,6392	0,0443	1,5320	1,6255	1,7780	50
18	0,7979	0,0557	0,7230	0,7845	0,9100	50
19	1,6104	0,0815	1,5220	1,5760	1,7930	50
20	0,8752	0,0266	0,8200	0,8735	0,9540	50
21	0,8976	0,0226	0,8610	0,8965	0,9490	50
22	0,8199	0,0271	0,7500	0,8135	0,8850	50
23	0,8380	0,0308	0,7790	0,8300	0,9380	50
24	0,8460	0,0257	0,7810	0,8480	0,9010	50
25	1,6250	0,0761	1,5360	1,5990	1,8910	50
26	3,3800	0,1235	3,1980	3,3650	3,8500	50
27	1,6680	0,0880	1,5760	1,6325	1,9410	50
28	1,5395	0,0690	1,4530	1,5215	1,7290	50
29	1,7422	0,0457	1,6720	1,7375	1,8760	50
30	0,7874	0,0286	0,7370	0,7885	0,8570	50

Tabulka 2 Výsledky měření pro Rz kónus

Č. vzorku	Parametr Rz [μm] kónus		Minimum	Medián	Maximum	počet měření
	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka				
1	4,0241	0,1822	3,6470	4,0570	4,4880	50
2	6,7987	0,2006	6,2780	6,8395	7,1530	50
3	3,8285	0,2628	3,3160	3,8540	4,2640	50
4	4,1728	0,1909	3,8220	4,1275	4,8070	50
5	4,0794	0,2385	3,6380	4,0595	4,7130	50
6	6,2297	0,2856	5,7060	6,1710	6,9850	50
7	7,6081	0,2316	7,1470	7,5935	8,1430	50
8	6,9162	0,1738	6,4850	6,9070	7,4120	50
9	4,0153	0,1982	3,6460	4,0020	4,3830	50
10	3,7965	0,1907	3,3860	3,8100	4,3110	50
11	7,0568	0,2724	6,6260	7,0075	7,6620	50
12	7,3334	0,2323	6,9960	7,2860	7,8070	50
13	3,9271	0,3367	3,3930	3,9945	4,6310	50
14	4,1465	0,2671	3,6050	4,1855	4,5740	50
15	4,0284	0,1592	3,7420	3,9900	4,4450	50
16	7,2773	0,2217	6,8100	7,2965	7,7080	50
17	6,6837	0,2480	6,2970	6,6270	7,1530	50
18	3,9011	0,3460	3,4350	3,8180	4,6820	50
19	6,5504	0,2914	6,0110	6,5470	7,1920	50
20	3,8041	0,1686	3,4400	3,8045	4,2610	50
21	4,1423	0,2314	3,8130	4,0665	4,6810	50
22	3,9045	0,1539	3,5850	3,9135	4,2510	50
23	3,7984	0,2487	3,4390	3,7400	4,5400	50
24	3,8398	0,2018	3,3940	3,8795	4,1850	50
25	6,5329	0,2215	6,1010	6,5575	7,0070	50
26	13,4360	0,3250	12,5870	13,4690	13,9400	50
27	6,6363	0,1830	6,2450	6,6460	7,1820	50
28	6,2238	0,1816	5,9940	6,1965	6,9830	50
29	7,2859	0,2318	6,8820	7,2535	7,8360	50
30	3,7265	0,2781	3,1810	3,7345	4,2620	50

Tabulka 3 Výsledky měření pro Ra rovina

Č. vzorku	Parametr Ra [μm] rovina		Minimum	Medián	Maximum	počet měření
	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka				
1	1,8953	0,1168	1,7780	1,8635	2,3910	50
2	1,8703	0,0794	1,7240	1,8465	2,0830	50
3	1,9299	0,1025	1,7550	1,8920	2,1800	50
4	1,9135	0,1247	1,7560	1,8670	2,4150	50
5	1,9237	0,0733	1,8170	1,9095	2,1350	50
6	1,8704	0,0431	1,7570	1,8750	1,9690	50
7	1,8642	0,0806	1,6390	1,8660	2,0860	50
8	1,8450	0,0881	1,7060	1,8285	2,1480	50
9	1,8739	0,0791	1,6540	1,7965	1,9700	50
10	1,8511	0,1459	1,6930	1,8010	2,3240	50
11	1,8737	0,0454	1,7230	1,8810	1,9560	50
12	1,9018	0,0597	1,7770	1,9015	2,0670	50
13	1,9740	0,1179	1,8630	1,9355	2,4160	50
14	1,8995	0,0862	1,7620	1,8800	2,1480	50
15	1,8206	0,1002	1,6440	1,8065	2,1180	50
16	1,8417	0,0704	1,6500	1,8415	1,9620	50
17	1,7926	0,0537	1,6330	1,8035	1,8910	50
18	1,8315	0,0728	1,6370	1,8490	2,0380	50
19	1,8391	0,0459	1,7470	1,8430	1,9370	50
20	1,8588	0,1080	1,6860	1,8325	2,3090	50
21	1,7753	0,0722	1,5130	1,7765	1,9100	50
22	1,8377	0,0713	1,7320	1,8290	2,0450	50
23	1,8358	0,0596	1,7310	1,8285	2,0970	50
24	1,8068	0,0392	1,7110	1,8150	1,8860	50
25	1,8425	0,0783	1,7380	1,8230	2,1950	50
26	3,8834	0,1547	3,4370	3,8760	4,2370	50
27	1,8093	0,0632	1,6900	1,8010	2,0030	50
28	1,8022	0,0713	1,6280	1,7875	2,0250	50
29	1,8393	0,0630	1,6790	1,8415	2,0100	50
30	1,8089	0,0505	1,7100	1,7985	2,0370	50

Tabulka 4 Výsledky měření pro Rz rovina

Č. vzorku	Parametr Rz [μm] rovina		Minimum	Medián	Maximum	počet měření
	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka				
1	7,5902	0,2591	7,1620	7,5750	8,3990	50
2	8,0220	0,3062	7,3850	7,9715	9,1720	50
3	8,0560	0,3112	7,3690	7,8940	9,1560	50
4	7,7195	0,2128	7,3810	7,6995	8,3470	50
5	8,1057	0,3178	7,5590	8,1005	9,4070	50
6	7,8690	0,2603	7,4660	7,8345	8,4070	50
7	8,2133	0,2898	7,5770	8,2250	8,8350	50
8	7,9588	0,2831	7,3790	7,9745	8,4110	50
9	7,7833	0,2671	7,3850	7,7305	8,5590	50
10	7,8524	0,3351	7,2500	7,8480	8,6340	50
11	8,1211	0,2660	7,6850	8,0690	8,8900	50
12	7,9481	0,3258	7,5800	7,9955	8,5760	50
13	8,1133	0,2948	7,3270	8,1510	8,8170	50
14	8,0946	0,2981	7,6270	8,0675	8,9650	50
15	7,7329	0,3166	6,7330	7,7450	8,3640	50
16	8,0433	0,4633	7,2090	7,9655	9,0520	50
17	7,9656	0,2790	7,4560	7,9130	8,6340	50
18	7,8905	0,2464	7,2660	7,8780	8,4130	50
19	8,0782	0,3308	7,5660	8,0155	9,1760	50
20	7,8474	0,3008	7,1270	7,8110	8,7560	50
21	7,6911	0,2326	7,2130	7,7100	8,1980	50
22	7,9300	0,3301	7,2520	7,8900	8,5670	50
23	7,9551	0,3335	7,4040	7,9055	8,8320	50
24	7,9166	0,2073	7,1310	7,9430	8,3050	50
25	7,8545	0,2564	7,3410	7,8685	8,4670	50
26	13,6210	0,6650	11,0190	13,5910	14,7560	50
27	8,0547	0,4412	7,4360	7,9205	9,2860	50
28	7,6272	0,2243	7,1400	7,6435	8,2810	50
29	7,8678	0,2487	7,4650	7,8560	8,4640	50
30	7,7215	0,2381	7,2720	7,7230	8,3250	50

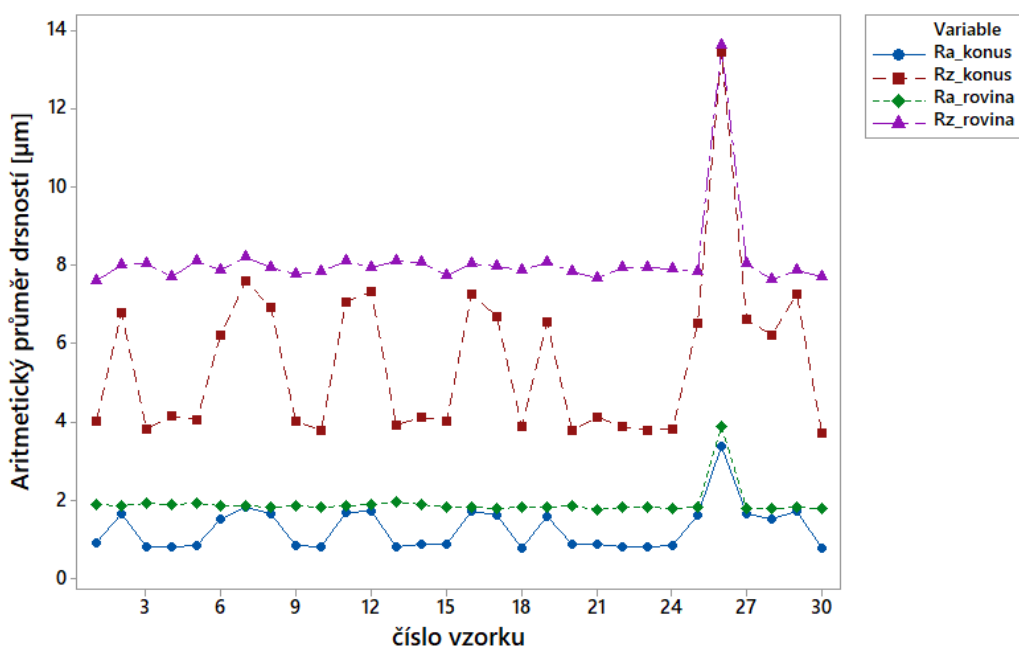
6.1.1 Graf časové řady

Pro zlepšení orientace v datech byl vytvořen graf časové řady.

Na základě grafického zobrazení průměrných hodnot drsnosti Ra a Rz jak pro kónusové, tak rovinné plochy je patrné, že u vzorku č. 26 dochází ke skokovému nárůstu, a to ve všech čtyřech případech. Můžeme jej tedy považovat za možný odlehlý bod. Tohle tvrzení bude potřeba ověřit.

U parametrů Ra a Rz kónusové plochy (červená a modrá čára) lze pozorovat větší rozptyl hodnot. Tohle chování mohlo být způsobeno např. smícháním dvou výrobních souborů. Tedy, že se může jednat o výrobu z dvou různých dnů. Kde mohlo dojít ke špatnému nastavení řezných vlastností nebo spuštění výroby s vadným nástrojem.

Tento jev v datech bude dále testován.



Obrázek 28 Graf časové řady všechny parametry

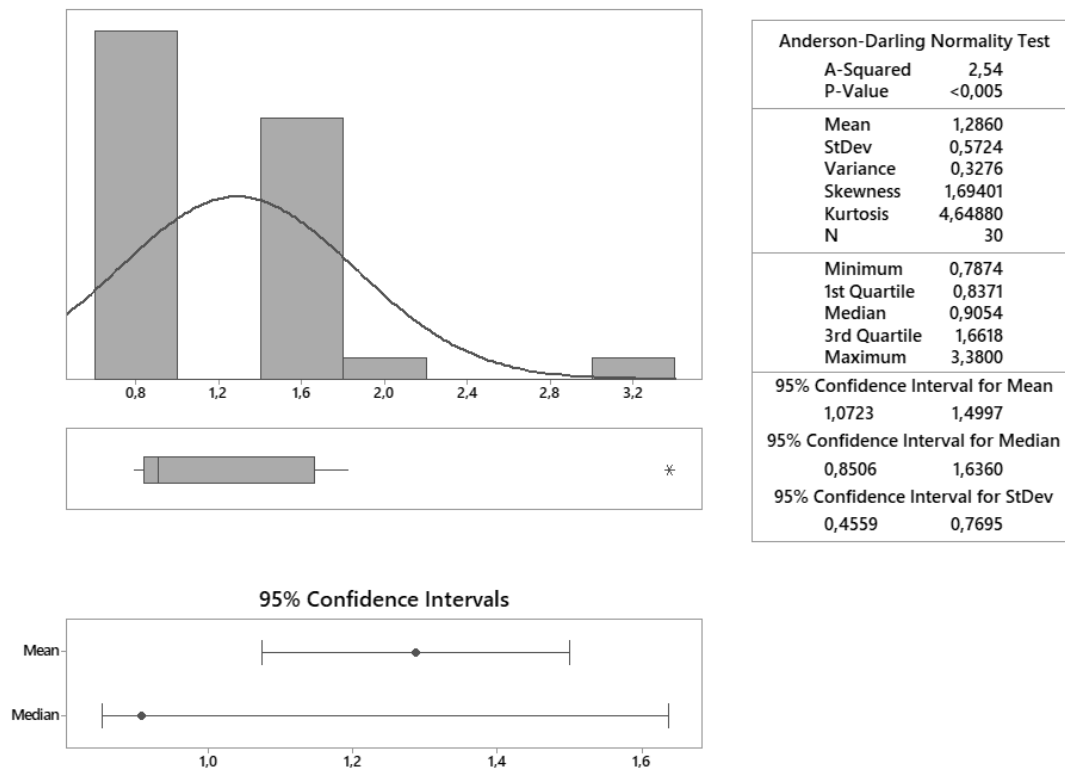
6.1.2 Grafický sumář

U všech čtyř souborů dat byl proveden Anderson-Darlingův test normality. Z výsledků je patrné že hodnoty p jsou ve všech případech nižší než 0,005, jsou tedy menší než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$ %, což vedlo k zamítnutí nulové hypotézy o tom, že data pochází z normálního rozdělení. Pro přehlednost byly výsledky testů vloženy do tabulky č.5.

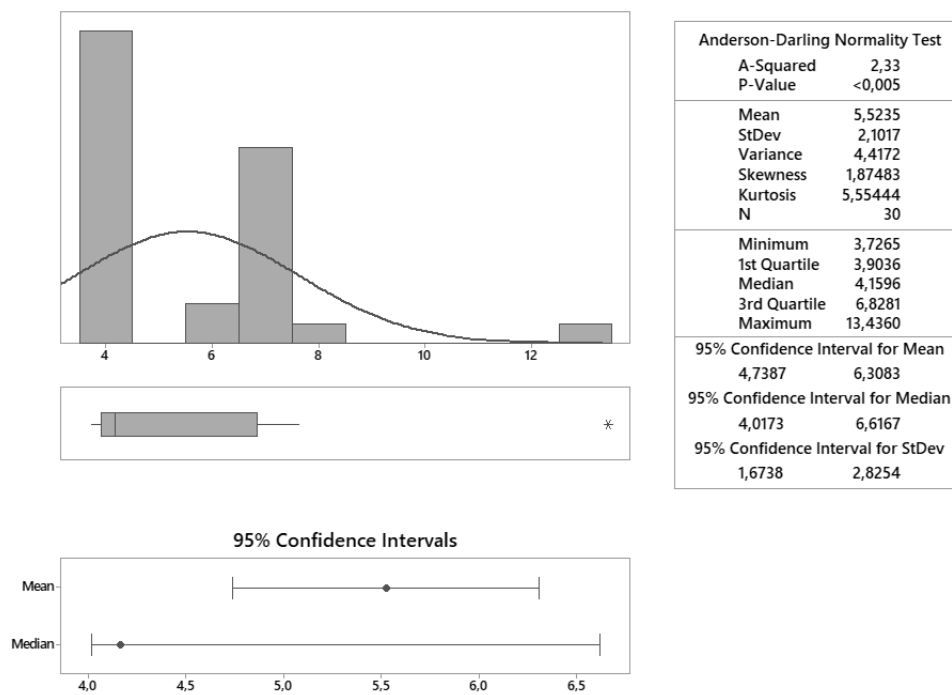
Histogramy a boxploty tuto skutečnost vizuálně podporují. Dále je z nich a hodnot v tabulkách patrná značná šikmost a vysoká hodnota špičatosti, které taky poukazují na nelineární rozdělení a přítomnost odlehlých hodnot. Hlavně hodnoty pro vzorek č. 26 byly ve všech případech vyhodnoceny jako extrémní odlehlé hodnoty.

Z histogramů pro parametry kónusové plochy (viz. obr. 29 a 30) si potvrzujeme podezření z grafu časové řady, a to že se soubory dat jak pro parametr Ra tak Rz skládají ze dvou souborů. Důvodem jsou vždy dva viditelné shluky hodnot. U parametr Ra se jedná o hodnoty

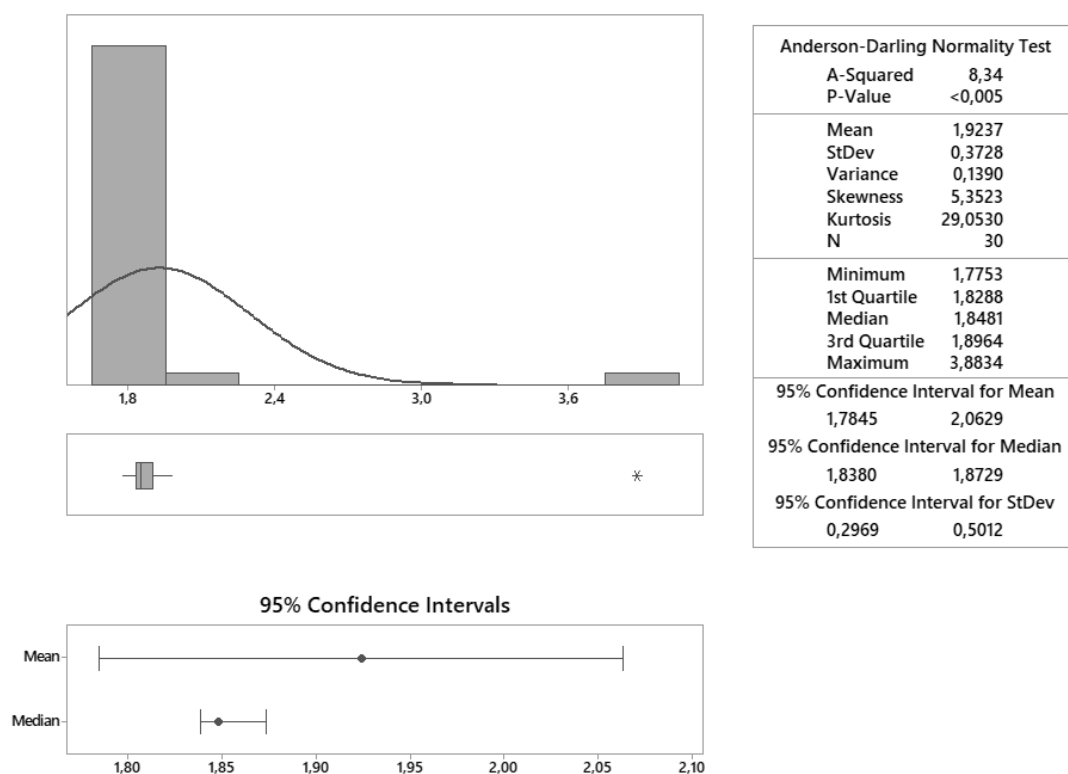
kolem 0,8 a 1,6 μm . U parametru Rz zase 4 a 7 μm . Tohle chování si ještě potvrdíme za pomoci pravděpodobnostního grafu.



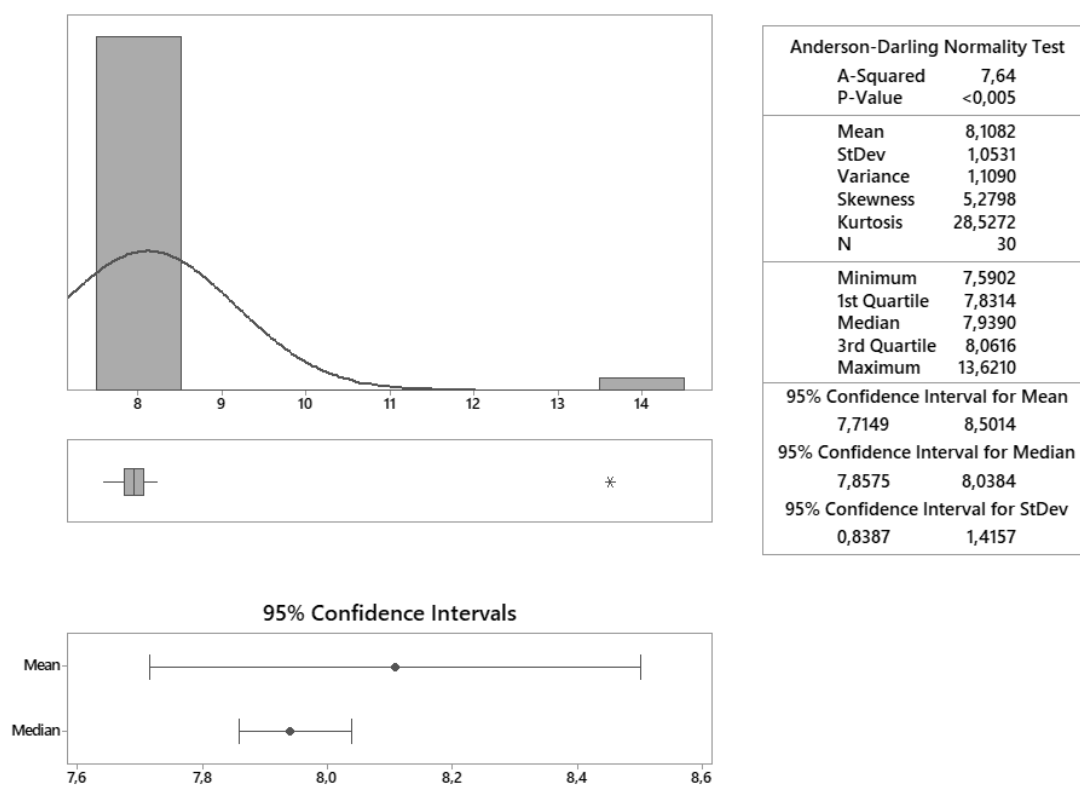
Obrázek 29 Grafický sumář pro Ra [μm] konus



Obrázek 30 Grafický sumář pro Rz [μm] kónus



Obrázek 31 Grafický sumář pro Ra [μm] rovina



Obrázek 32 Grafický sumář pro Rz [μm] rovina

Tabulka 5 Výsledky Anderson-Darlingova testu normality

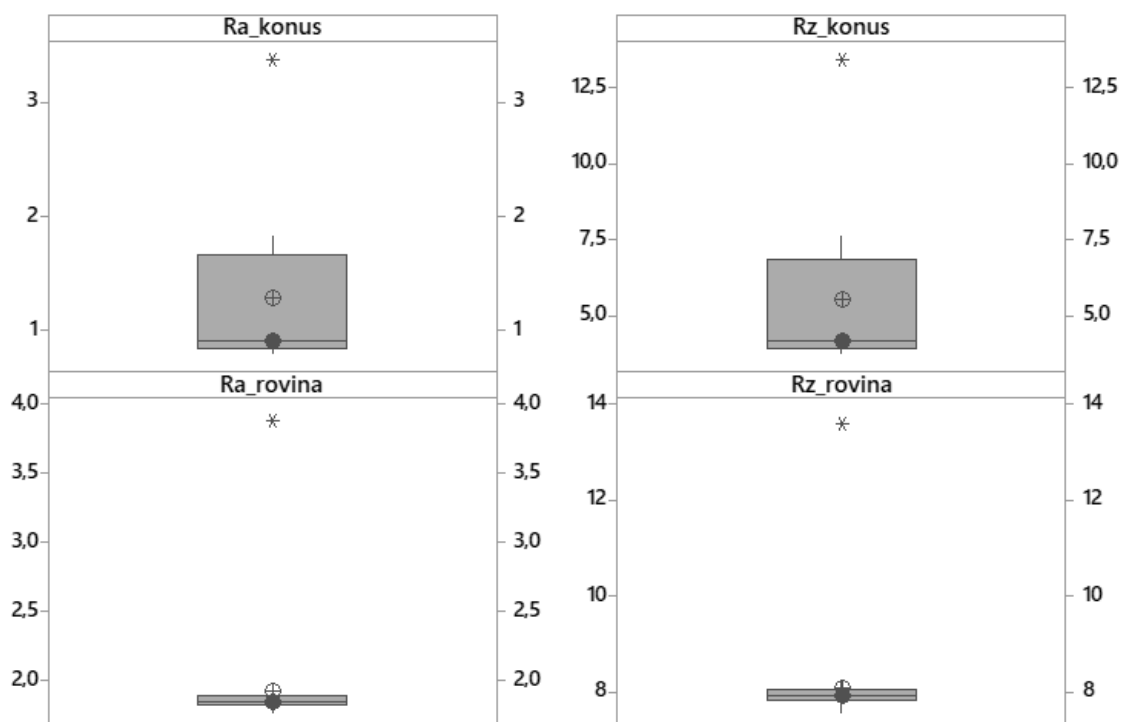
Parametr	p hodnota	hladina významnosti	počet vzorků	výsledek
Ra_konus	<0,005	0,05	30	zamítám H_0
Rz_konus	<0,005	0,05	30	zamítám H_0
Ra_rovina	<0,005	0,05	30	zamítám H_0
Rz_rovina	<0,005	0,05	30	zamítám H_0

6.1.3 Odlehlé hodnoty

Odlehlé hodnoty byly identifikovány pomocí boxplotové neboli Tukeyho metody. Tohle metoda říká, že hodnoty jsou považovány za odlehlé pokud:

$$\text{hodnota} > Q3 + 1,5 * IQR \quad \text{nebo} \quad \text{hodnota} < Q1 - 1,5 * IQR$$

Jelikož jsou data zpracovány v programu Minitab tak jsou tyto hodnoty označeny hvězdičkou v příložených boxplotech (viz. obr. 33). Na základě tohoto kritéria byl vzorek č. 26 klasifikován jako hrubá chyba a byl z další analýzy vyloučen.



Obrázek 33 Boxploty pro Tukeyho metodu

Kvůli této chybě jsme se rozhodli vzorek č. 26 přeměřit. Důvodem chyby bylo poškození vzorku, které nebylo zprve zřetelně vidět. V následující tabulce (viz tab. 6) jsou již přeměřená data, která budou použita pro další analýzu.

Tabulka 6 Přeměřené hodnoty vzorku č.26

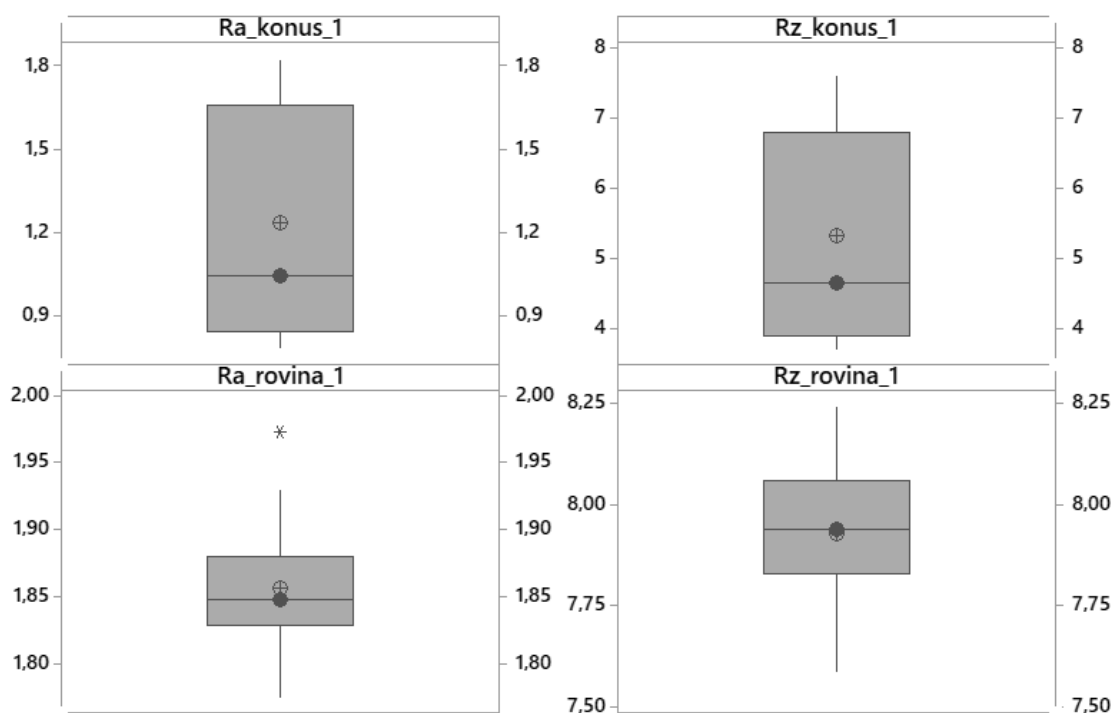
parametr	Aritmetický průměr	Směrodatná odchylka	Minimum	Medián	Maximum	počet měření
Ra_konus [μm]	1,6085	0,0755	1,4837	1,6235	1,8748	50
Rz_konus [μm]	6,8382	0,2445	6,3574	6,8546	7,3124	50
Ra_rovina [μm]	1,8759	0,0532	1,7480	1,8862	1,9753	50
Rz_rovina [μm]	8,2423	0,2901	7,5440	8,2249	8,8732	50

Na následujícím obr. 34 můžeme vidět boxplotové grafy pro parametry Ra a Rz obou ploch již s přeměřenými hodnotami vzorku č. 26.

Z grafů pro kónusovou plochu je patrné, že průměrná hodnota je výrazně posunutá od mediánu. Zároveň je zřejmé, že v oblasti od minima po medián jsou hodnoty více zhuštěny, a naopak od mediánu po maximum vykazují větší rozptyl. Tohle chování nám znovu poukazuje na to, že jsou data složena ze dvou souborů.

U rovinné plochy můžeme pozorovat rovnoměrnější rozdělení dat v celém rozsahu grafů. Což nám naznačuje, že data budou mít normální rozdělení. Zároveň v grafu pro parametr Ra můžeme vidět jednu potencionálně odlehlou hodnotu.

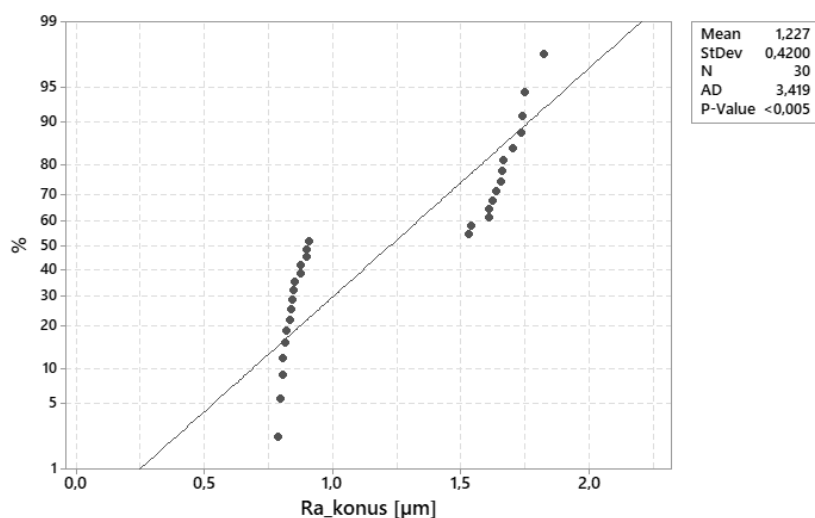
Všechna tato tvrzení budou dále testována.



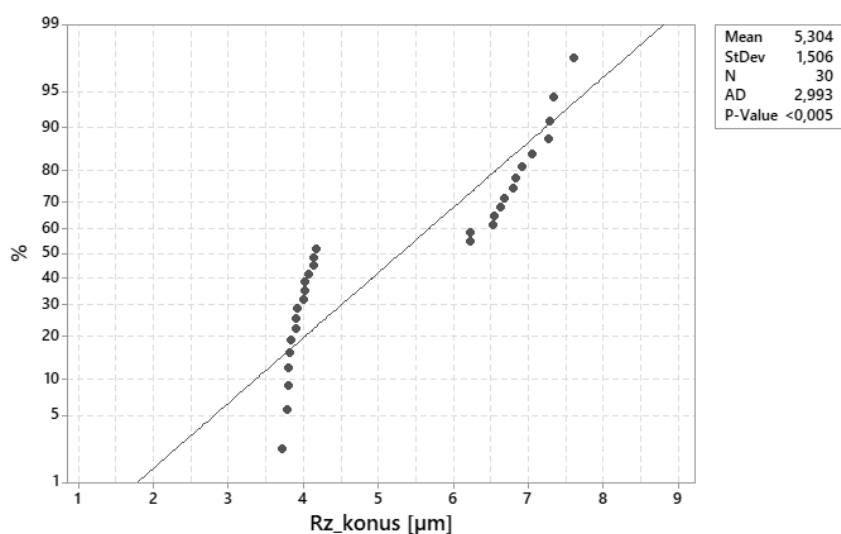
Obrázek 34 Boxploty po přeměření vzorku č. 26

6.1.4 Pravděpodobnostní graf

Podezření vzniklé při hodnocení grafů časové řady, histogramů i boxplotů bylo potvrzeno za použití pravděpodobnostních grafů. Je patrné, že data pro kónusovou plochu nevykazují náhodné odchylky od normálního rozdělení, ale znaky, které svědčí o smíšení dvou dílčích souborů dat. Jak už bylo řečeno tento stav mohl nastat z důvodu změny řezných podmínek či vadou nástroje. Data proto budou pro další analýzu rozdělena na dvě skupiny (viz tab.7).



Obrázek 35 Pravděpodobnostní graf pro Ra kónus



Obrázek 36 Pravděpodobnostní graf pro Ra kónus

6.2 Tabulkové a grafické hodnocení opravených dat

Z těchto tabulek je patrné, že tyto dva soubory vznikly díky nevhodnému odebírání vzorků. Při odebírání vzorků pro hodnocení došlo k jejich smíchání v čase. Takže ranní směna a odpolední směna je dala všechny dohromady náhodně. Což je vidět v tab. 7.

Tabulka 7 Tabulky rozdělení parametrů Ra a Rz kónusové plochy do dvou skupin

č. vzorku	Ra_konus_1 [μm]
1	0,9096
3	0,8074
4	0,8154
5	0,8518
9	0,8503
10	0,8075
13	0,8343
14	0,9013
15	0,8775
18	0,7979
20	0,8752
21	0,8976
22	0,8199
23	0,8380
24	0,8460
30	0,7874

č. vzorku	Ra_konus_2 [μm]
2	1,6597
6	1,5294
7	1,8219
8	1,6575
11	1,7032
12	1,7372
16	1,7499
17	1,6392
19	1,6104
25	1,6250
26	1,6085
27	1,6680
28	1,5395
29	1,7422

č. vzorku	Rz_konus_1 [μm]
1	4,0241
3	3,8285
4	4,1728
5	4,0794
9	4,0153
10	3,7965
13	3,9271
14	4,1465
15	4,0284
18	3,9011
20	3,8041
21	4,1423
22	3,9045
23	3,7984
24	3,8398
30	3,7265

č. vzorku	Rz_konus_2 [μm]
2	6,7987
6	6,2297
7	7,6081
8	6,9162
11	7,0568
12	7,3334
16	7,2773
17	6,6837
19	6,5504
25	6,5329
26	6,8382
27	6,6363
28	6,2238
29	7,2859

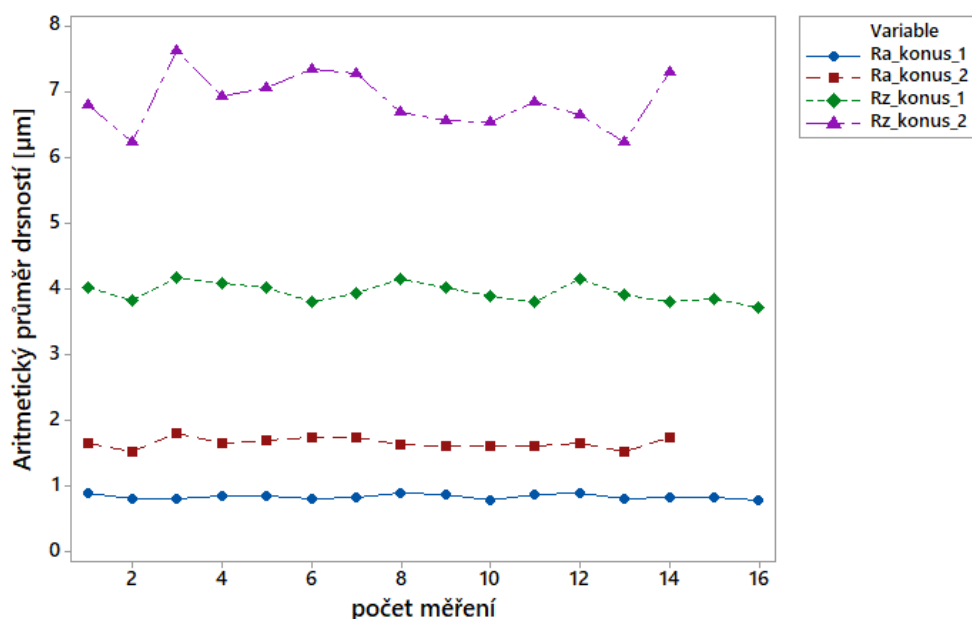
6.2.1 Graf časové řady opravených dat

Pro parametry kónusové a rovinné plochy byly vytvořeny dva separátní grafy (obr. 37 a 38).

Z grafu (obr. 37) je patrné že první skupina dat pro parametr Ra vykazuje nízké hodnoty, pohybující se v intervalu přibližně 0,75 až 0,9 μm a rovnoměrný průběh bez zřetelných výkyvů, což svědčí o stabilním procesu. Oproti tomu druhá skupina se pohybuje v intervalu kolem 1,5 až 1,7 μm . Můžeme tedy tvrdit, že druhá sada dílů byla vyrobena přesněji s požadavkem na drsnost $Ra = 1,6 \mu\text{m}$.

U parametru Rz je tento rozdíl výraznější. První skupina dat se pohybuje kolem hodnoty 4 μm , zatímco ta druhá v intervalu 6,5 až 7,5 μm . Tyhle výsledky potvrzují statisticky i technologicky významný rozdíl mezi těmito dvěma skupinami.

Lze konstatovat, že první skupina vykazuje nižší a stabilnější drsnost, zato druhá má vyšší drsnosti a rozptyl. Tohle chování může být způsobeno změnou nástroje nebo řezných podmínek.

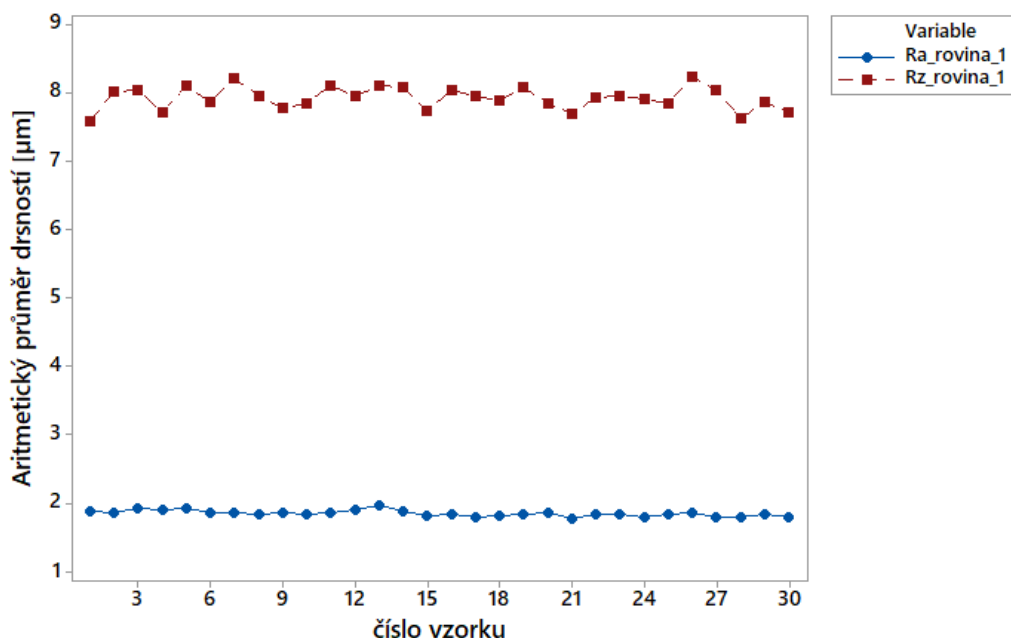


Obrázek 37 Graf časové řady po opravě dat kónusové plochy

Z grafu (obr. 38) je patrné že hodnoty obou parametrů jsou stabilní a rovnoměrné, bez výrazných výkyvů nebo odlehlých hodnot.

Ra se pohybuje v intervalu přibližně 1,8 až 1,95 μm a nevykazuje žádný trend směrem dolů či nahoru. Takové chování vykazuje i parametr Rz v rozmezí hodnot 7,5 až 8,2 μm .

Tohle stabilní chování v čase naznačuje, že tyto plochy byly obrobena za konzistentních podmínek, z hlediska nástroje tak i řezných podmínek.

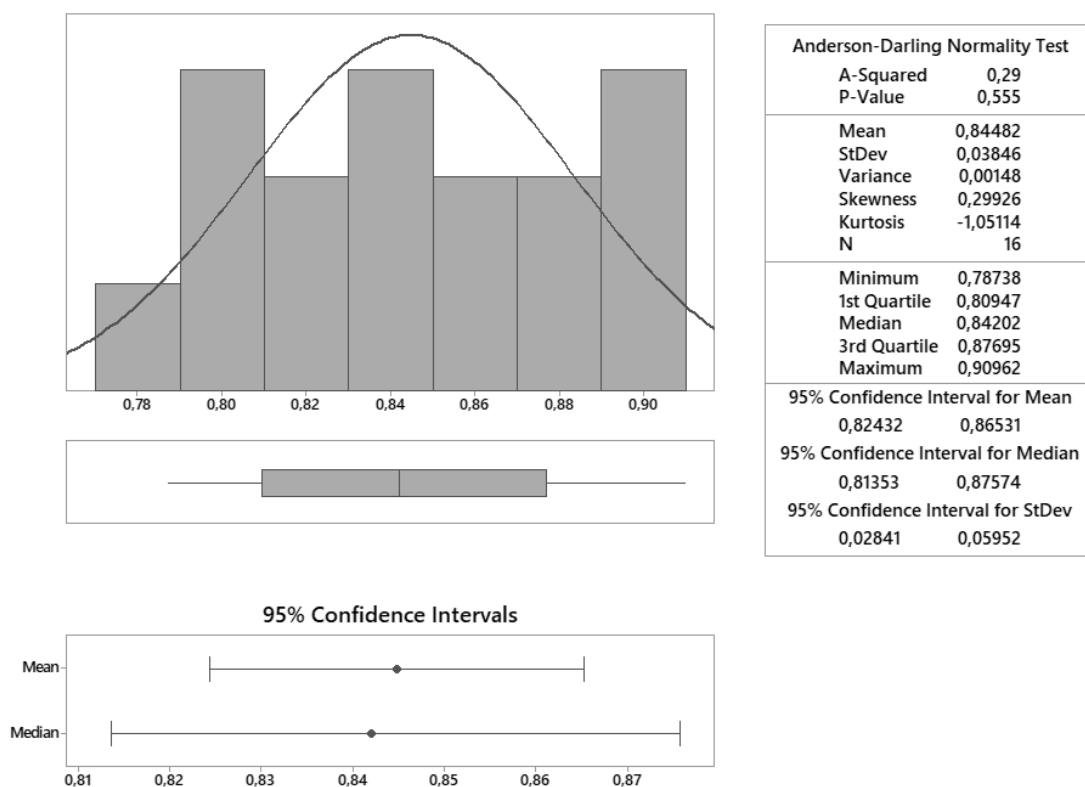
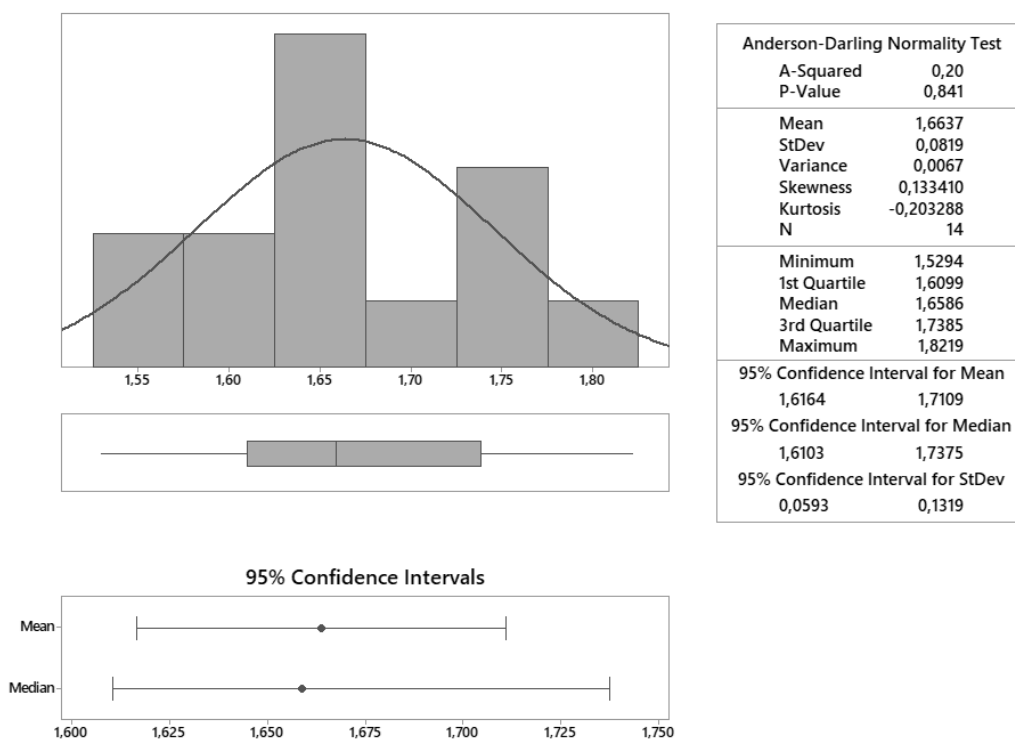


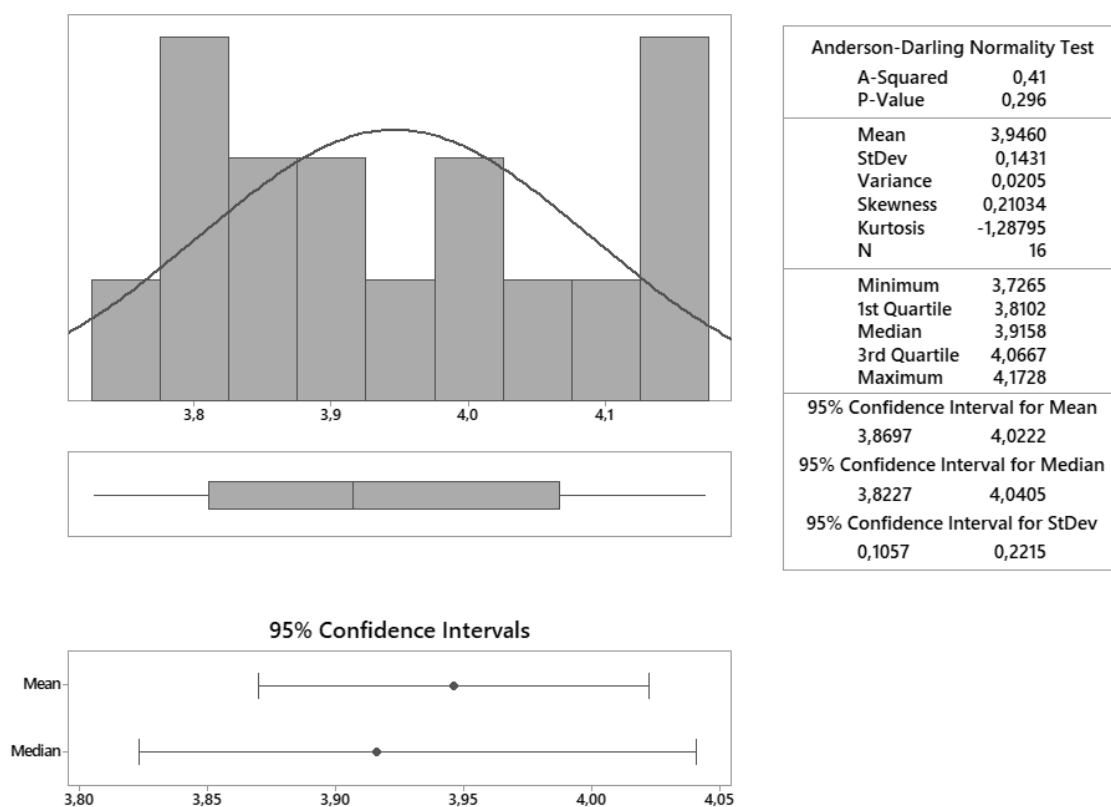
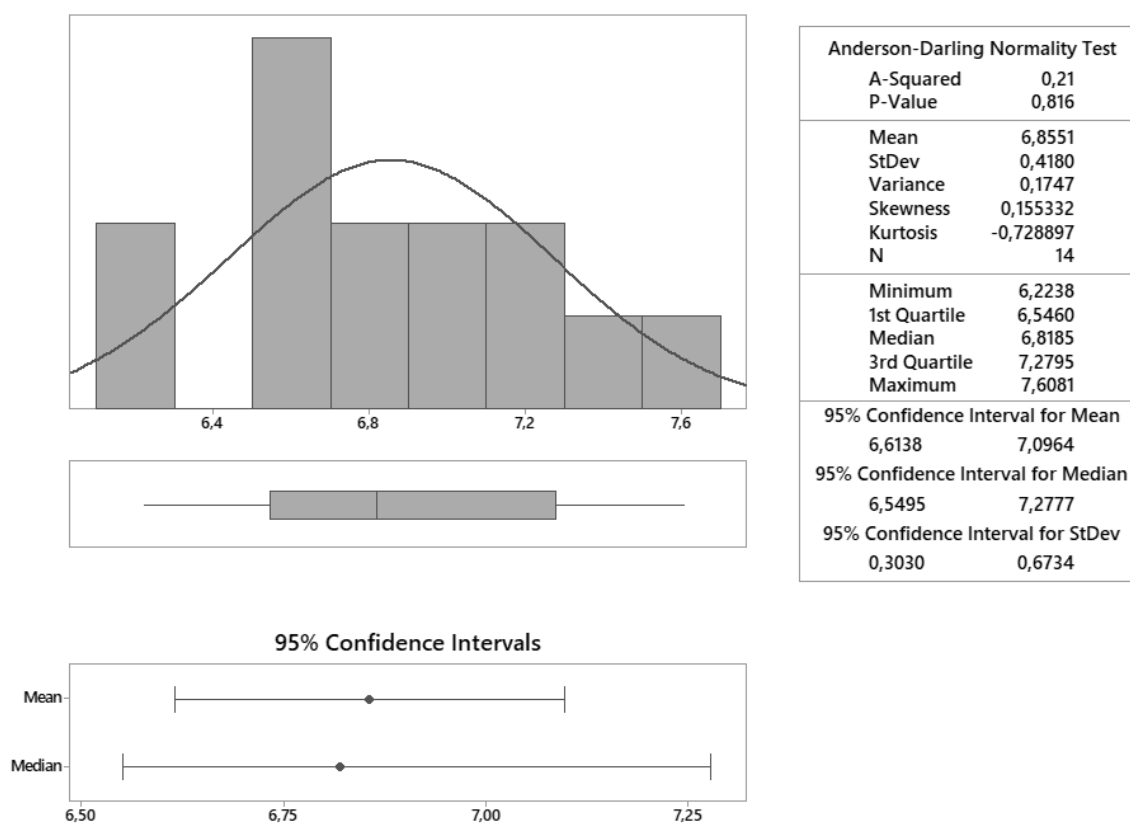
Obrázek 38 Graf časové řady po opravě dat rovinné plochy

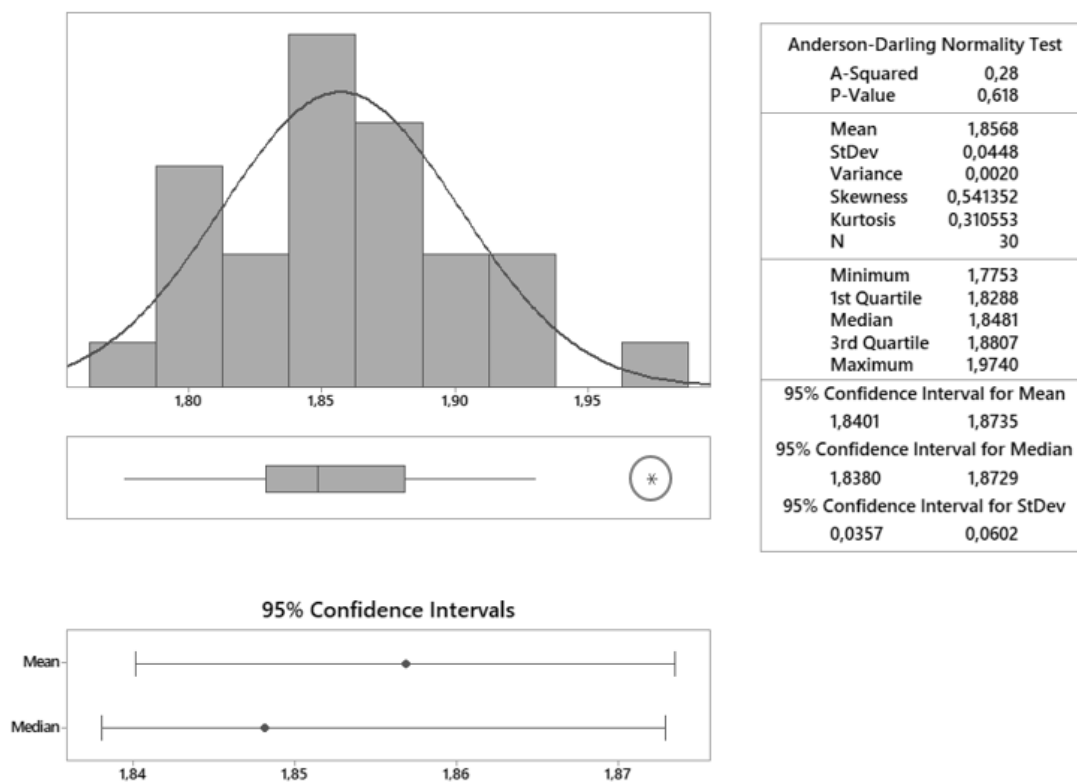
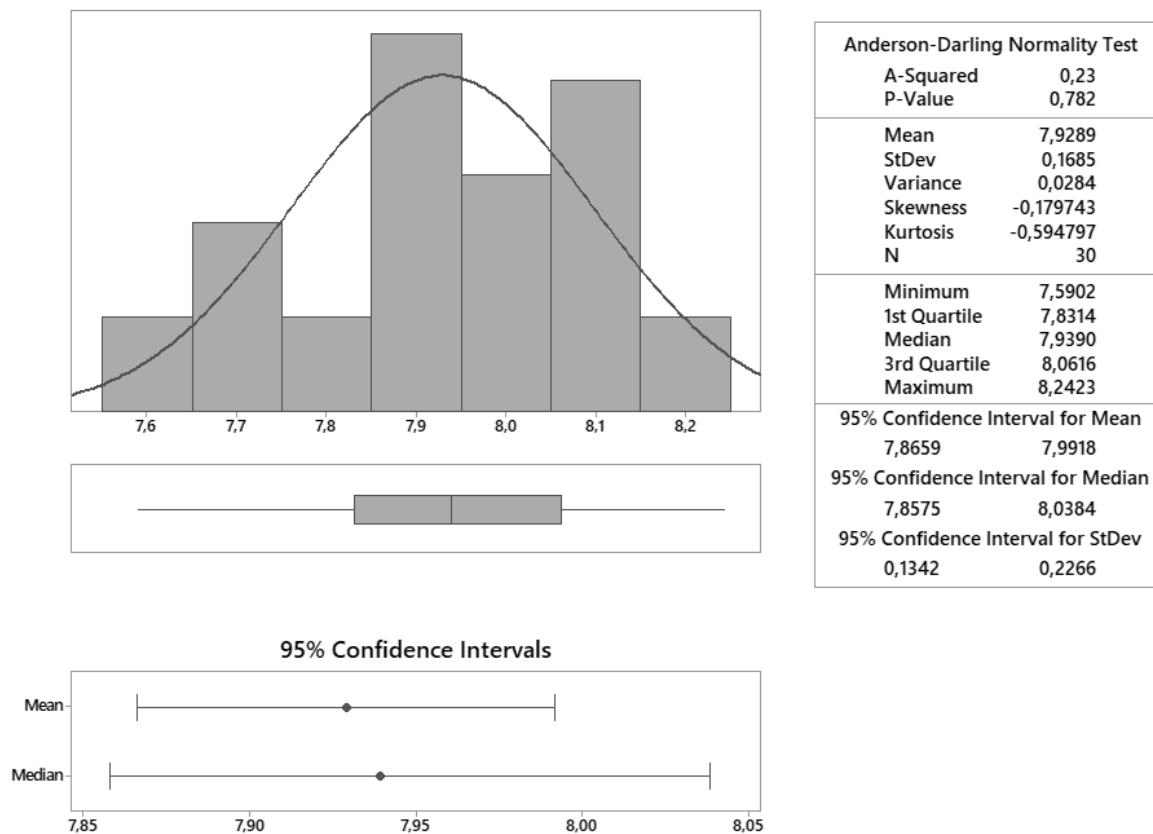
6.2.2 Grafické sumáře opravených dat

Pro všechny nové soubory dat byl proveden Anderson-Darlingův test normality. Z výsledků je patrné, že p-hodnoty jsou ve všech případech vyšší než zvolená hladina významnosti $\alpha = 0,05$, což vedlo k potvrzení nulové hypotézy o tom, že data pochází z normálního rozdělení. Pro přehlednost jsou výsledky zobrazeny v tabulce č. 8.

Histogramy tuhle skutečnost graficky podporují. Z grafů není patrná žádná vysoká hodnota šikmosti nebo špičatosti, které by poukazovali na nějaký vznik nějakého trendu. U obrázku č. 43 je z histogramu a boxplotu patrná přítomnost jedné odlehlé hodnoty. Tahle hodnota bude dále podrobena Grubbsovu testu odlehlých hodnot.

Obrázek 39 Grafický sumář pro první skupinu Ra [μm] kónusObrázek 40 Grafický sumář pro druhou skupinu Ra [μm] kónus

Obrázek 41 Grafický sumář pro první skupinu Rz [μm] kónusObrázek 42 Grafický sumář pro druhou skupinu Rz [μm] kónus

Obrázek 43 Grafický sumář pro Ra [μm] rovina po opravě datObrázek 44 Grafický sumář pro Rz [μm] rovina po opravě dat

Tabulka 8 Výsledky Anderson-Darlingova testu normality

Parametr	p hodnota	hladina významnosti	počet vzorků	výsledek
Ra_konus_1	0,555	0,05	16	nezamítám H_0
Ra_konus_2	0,841	0,05	14	nezamítám H_0
Rz_konus_1	0,296	0,05	16	nezamítám H_0
Rz_konus_2	0,816	0,05	14	nezamítám H_0
Ra_rovina_1	0,618	0,05	30	nezamítám H_0
Rz_rovina_1	0,782	0,05	30	nezamítám H_0

6.2.3 Grubbsův test odlehlých hodnot

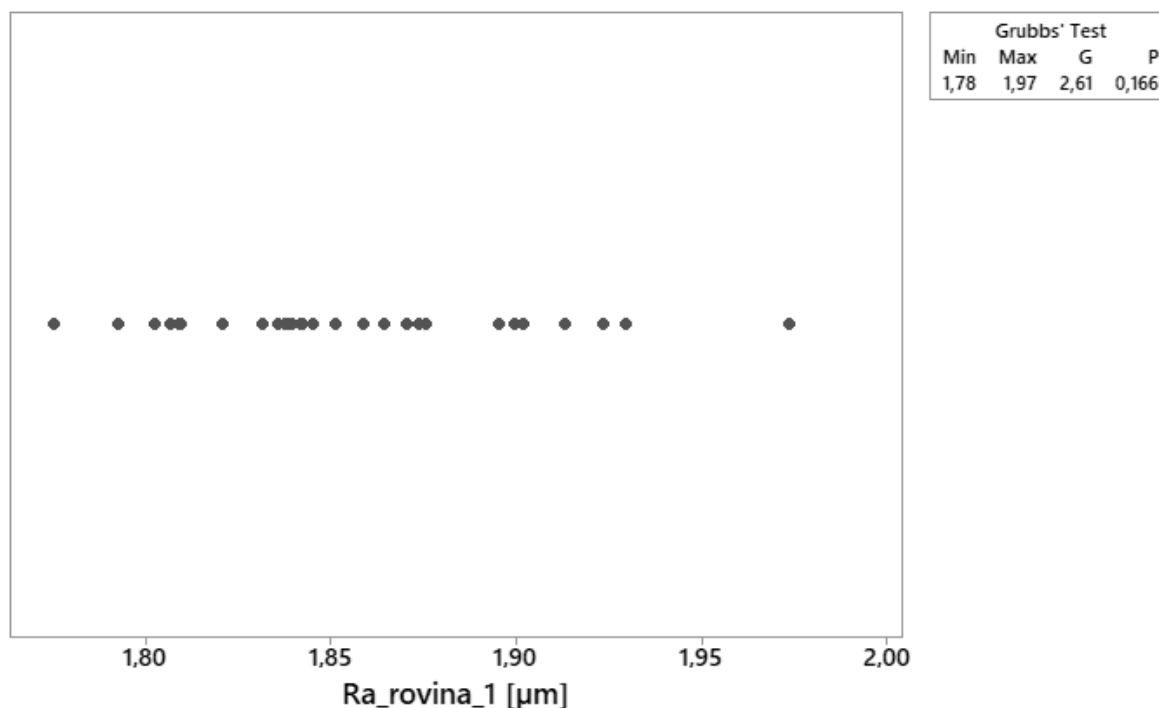
Kvůli podezření, že maximální hodnota u parametru Ra rovinné plochy je odlehlá, byl proveden Grubbsův test odlehlých hodnot. Tento test můžeme pro ověření odlehlé hodnoty použít, jelikož byla v předešlém kroku potvrzena normalita souboru.

Stanovení nulové a alternativní hypotézy a hladiny významnosti:

- H_0 – největší hodnota souboru není odlehlá
- H_A – největší hodnota souboru je odlehlá
- $\alpha = 0,05$

Hodnota p pro testovaný soubor vyšla 0,166 (obr. 45) je tedy vyšší než hladina významnosti α , můžeme tedy tvrdit, že platí nulová hypotéza a testovaná hodnota není odlehlá.

Pro kontrolu byl test proveden i pro zbylé soubory a výsledky byly vloženy do tabulky č. 9. V žádném z nich nebyla odhalena žádná odlehlá hodnota.

Obrázek 45 Grubbsův test odlehlých hodnot parametru Ra_{rovina_1}

Tabulka 9 Výsledky Grubbova testu

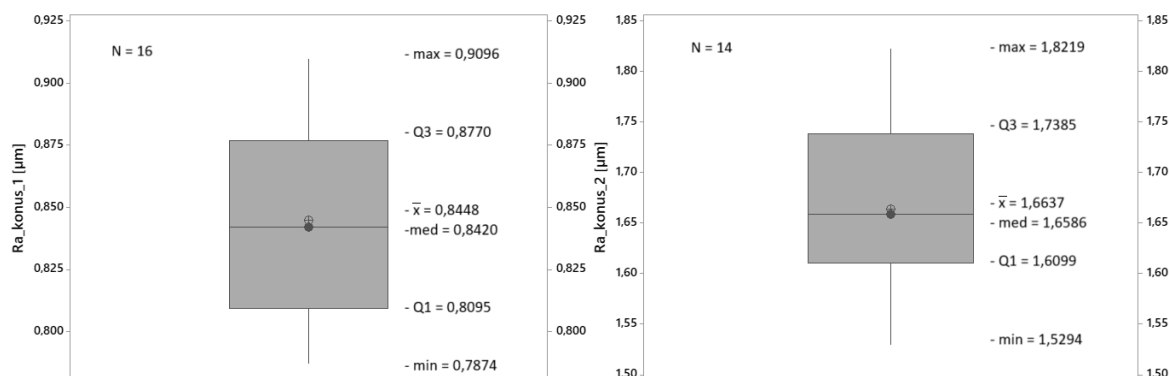
Parametr	p hodnota	hladina významnosti	počet vzorků	výsledek
Ra_konus_1	1,000	0,05	16	nezamítám H_0
Ra_konus_2	0,544	0,05	14	nezamítám H_0
Rz_konus_1	1,000	0,05	16	nezamítám H_0
Rz_konus_2	0,805	0,05	14	nezamítám H_0
Ra_rovina_1	0,166	0,05	30	nezamítám H_0
Rz_rovina_1	1,000	0,05	30	nezamítám H_0

Pro přehlednost všech souborů byly vytvořeny krabicové grafy. Do nich byly vypsány hodnoty pro ně typické (minimum, maximum, první a třetí kvartil, medián a průměrná hodnota).

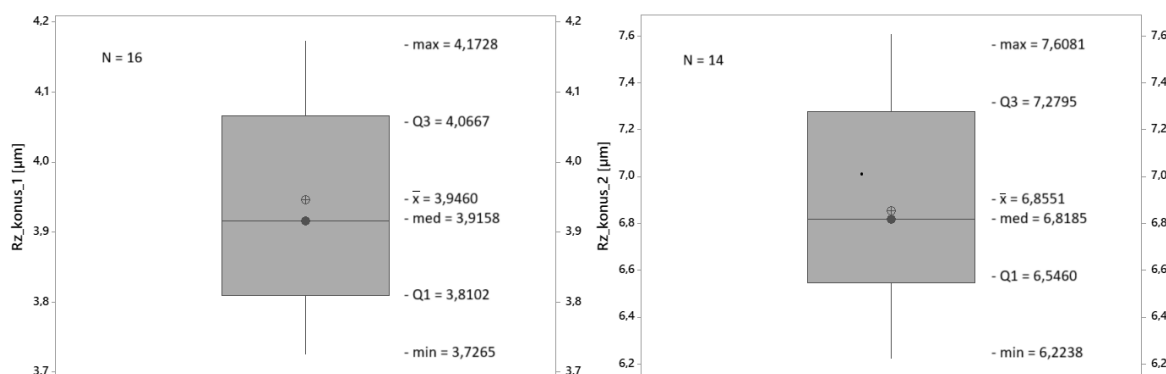
Po rozdělení dat pro kónusovou plochu na dva soubory (obr. 46 a 47), můžeme konstatovat, že jsou data rovnoměrně rozloženy. A je tak potvrzeno, že tyto data pochází ze dvou soborů.

Parametry rovinné (obr. 48) plochy jsou symetrické a kompaktní. Vykazují nízký rozptyl a konzistentní rozložení hodnot, což potvrzuje rovnoměrnost obrábění a stabilitu měření. U parametru Ra byla zaznamenána jedná odlehlá hodnota, ale po předešlém testování nebyla označena za chybu.

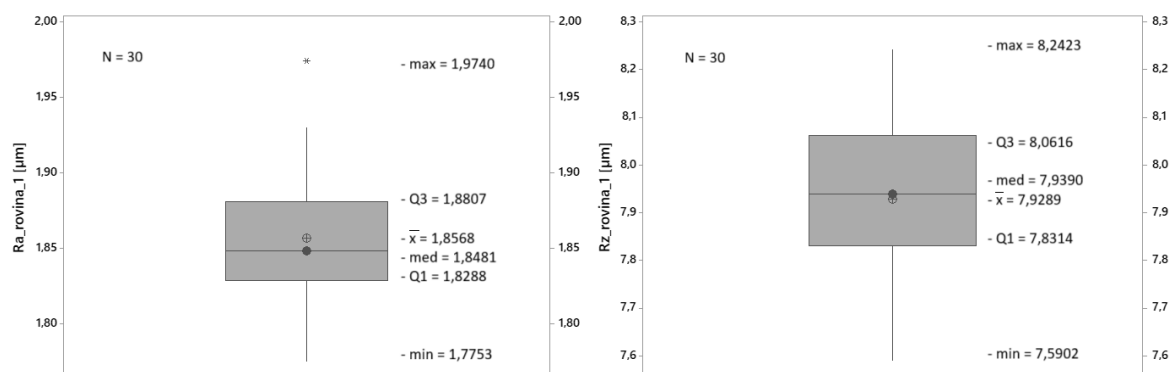
Můžeme říct, že rovinné plochy dosahovali vyšší hodnoty drsnosti, ale s menším rozptylem. Druhá skupina drsnosti pro kónusovou plochu vykazovala hodnoty srovnatelné či menší než rovinná plocha. A první skupina kónusové plochy má hodnoty drsnosti výrazně menší než dvě předešlé.



Obrázek 46 Boxploty pro parametry Ra kónusové plochy



Obrázek 47 Boxploty pro parametry Rz kónusové plochy



Obrázek 48 Boxploty pro parametry Ra a Rz rovinné plochy

6.3 Návrh manuálu

Při hodnocení bylo zjištěno nestandartní odebírání vzorků, které téměř zapříčinilo nemožnost správného hodnocení. Pro optimalizaci kontroly kvality byl nastaven plán odebírání vzorků, tak aby nedocházelo k dalším chybám.

1) Obecná pravidla

- Vzorky pro měření drsnosti povrchu musí být odebírány systematicky a oddělené pro každou směnu.
- Každý odebraný vzorek musí být jasně označen a to:
 - Datem výroby (stačí označit na přiděleném boxu pro odebírání vzorků)
 - Písmenem pro danou směnu tedy R pro ranní a O pro odpolední
 - Pořadovým číslem např. R-01 (jedná se tedy o první vzorek z ranní směny)

2) Frekvence a množství odebíraných vzorků

- Každý den musí být odebráno:
 - 15 vzorků z ranní směny
 - 15 vzorků z odpolední směny
- Vzorky se odebírají náhodně, ale rovnoměrně v průběhu celé směny (nikoli všechny na začátku nebo na konci)

3) Časový harmonogram odebírání vzorků

- Ranní směna (6:00 – 14:00)
 - 1) Prvních pět vzorků bude odebráno mezi 6:30 – 8:00
 - 2) Druhých pět bude odebráno mezi 8:01 – 10:30
 - 3) Posledních pět bude odebráno mezi 10:31 – 13:30
- Odpolední směna (14:00 – 22:00)
 - 1) Prvních pět vzorků bude odebráno mezi 14:30 – 16:00
 - 2) Druhých pět bude odebráno mezi 16:01 – 18:30
 - 3) Posledních pět bude odebráno mezi 18:31 – 20:30

4) Záznam dat

- Každý odebraný vzorek musí být zapsán fyzicky do kontrolního listu s těmito údaji:
 - Čas odběru vzorku
 - Jméno odpovědného operátora
 - Označení stroje
 - Číslo nástroje
- Každý operátor odpovídá za zodpovědné vyplnění tohoto listu

5) Předání vzorků

- Po odebrání série vzorků jak z ranní, tak odpolední směny musí být vzorky doručeny na měření (ještě před opuštěním pracoviště)
- Nesmí dojít k smíchání vzorků mezi směny. Vždy tedy ukládejte vzorky do dvou oddělených boxů. Označených příslušnou značkou (např. pro ranní směnu R-24-4, kde čísla značí datum odběru vzorků)

6) Zodpovědnost

- Za dodržování postupu odpovídá vždy mistr směny.
- Nedodržování postupu se bude hodnotit jako závažné porušení pravidel kontroly kvality.

7) Podpisy zodpovědných zaměstnanců

Poznámka:

- Při posledním měření došlo k chybnému vyhodnocení z důvodu smíchání dvou sérií vzorků z různých směn, což mělo negativní vliv na spolehlivost dat a kvalitu výroby. Pro zajištění správné funkce kontroly kvality a kvality výroby je požadováno striktní dodržování tohoto manuálu.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala hodnocením jakosti povrchu rotačních dílů vyrobených soustružením. Cílem bylo provést detailní statistickou analýzu parametrů drsnosti Ra a Rz naměřených bezkontaktním profilometrem a následně zhodnotit vliv typu obrobené plochy na výslednou jakost povrchu.

Z praktické části vyplynulo, že drsnost povrchu je silně ovlivněna typem soustružené plochy. Na základě těchto výsledků lze konstatovat, že typ soustružené plochy má významný vliv na výslednou hodnotu drsnosti Ra i Rz. Hodnoty drsnosti rovinných ploch jsou výrazně vyšší než u ploch kónusových. To je v rozporu s výkresovou dokumentací, kde byla pro oba typy ploch stanovena hodnota $Ra = 1,6 \mu\text{m}$. Pokud by měly být hodnoty drsnosti skutečně stejné, jak stanovuje výkres, měly by být i naměřené hodnoty srovnatelné. Z toho důvodu lze říci, že některé z analyzovaných dílů nesplňují požadované parametry a měly by být buď opraveny, nebo vyřazeny z oběhu, případně recyklovány.

Analýza pravděpodobnostních grafů dále odhalila, že v případě kónusových ploch došlo k vytvoření dvou výrazně odlišných skupin dat. Tento jev byl pravděpodobně způsoben výrobou v různých směnách nebo za rozdílných technologických podmínek. Při zpětné analýze se potvrdilo, že špatná organizace odběru vzorků vedla k promíchání dílů z různých výrobních šarží. V důsledku toho bylo obtížné korektně posoudit konzistenci výrobního procesu.

Z těchto zjištění vyplývá, že vedle samotného měření je nezbytné věnovat pozornost také organizaci a systému odběru vzorků. V práci byl proto navržen optimalizovaný manuál kontroly kvality, který má za cíl zvýšit spolehlivost dat a přispět ke zlepšení celkového procesu výroby a kontroly jakosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Dean McClements. *What is Turning in Machining?* Online. Xometry. 2022. Dostupné z: <https://www.xometry.com/resources/machining/what-is-turning-in-machining/>. [cit. 2025-01-23].
- [2] YE, Ronan. *What is Turning: Definition, Types, Operations, Parameters.* Online. 3ERP. 2023. Dostupné z: <https://www.3erp.com/blog/turning/>. [cit. 2025-01-23].
- [3] *Soustružení.* Online. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/ZAV2-Soustru%C5%BEn%C3%AD-UT.pdf>. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 1)
- [4] *Strojní obrábění.* Online. Dostupné z: <https://www.stredniskolaoselce.cz/data/download/file/okal/strojn%C3%AD%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD.pdf>. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 2)
- [5] *Obrázek univerzálního hrotového soustruhu SU18/2000A.* Online. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/02000.html>. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 3)
- [6] Kat de Naoum. *15 Types of Milling Operations.* Online. Xometry. 2023. Dostupné z: <https://www.xometry.com/resources/machining/types-of-milling-in-machining/>. [cit. 2025-01-23].
- [7] YE, Ronan. *23 Types of Milling Operations: Learn About Milling Processes and Their Applications.* Online. 3ERP. 2024. Dostupné z: <https://www.3erp.com/blog/milling-operations-types/>. [cit. 2025-01-23].
- [8] *Základy frézování.* Online. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/zaklady_frezovani.pdf. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 8)
- [9] *Technologie obrábění.* Online. Nenalezený vydavatel. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_001/Technologie%20Obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/02%20Text%20pro%20e-learning/Technologie%20obrabeni%2002%20Fr%C3%A9zov%C3%A1n%C3%AD.pdf. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 5)
- [10] GONG, Sirui; WANG, Han; HE, Xiaolong; WANG, Zhenlong a WANG, Yukui. One Step Fabrication of Micro-hole on SiCp/Al Cambered Surface by Micro-EDM and Mechanical-reaming Combined Machining. Online. *International Journal of Precision*

Engineering and Manufacturing-Green Technology. 2023, roč. 10, č. 4. ISSN 2288-6206. DOI: 10.1007/s40684-022-00474-4. [cit. 2025-01-23].

[11] *Drilling vs Boring vs Reaming: What's the Difference?* Online. ECOREPRAP. 2024. Dostupné z: <https://ecoreprap.com/cnc-machining/drilling-vs-boring-vs-reaming/>. [cit. 2025-01-23].

[12] *Vyhrubování, vystružování.* Online. Dostupné z: https://coptel.cz/pluginfile.php/16637/mod_resource/content/1/Vyhrubov%C3%A1n%C3%AD%20a%20Vystru%C5%BEov%C3%A1n%C3%AD.pdf. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 6)

[13] *Difference Between Shaping and Planing.* Online. Difference.minaprem.com. Dostupné z: <http://www.difference.minaprem.com/machining/difference-between-shaping-and-planing/>. [cit. 2025-01-23].

[14] Strojírenství. *Eluc* [online]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/lekce/hoblovani-obrazeni> [cit. 2025-01-23] (obrázek: 7, 15)

[15] LEVY, Robert. *What Is Broaching and How Does It Work?* Online. The Federal Group USA. 2023. Dostupné z: <https://www.tfgusa.com/what-is-broaching-and-how-does-it-work/>. [cit. 2025-01-23].

[16] *Protahování, protlačování.* Online. Dostupné z: https://www.sokolska.cz/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_19-12.pdf. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 8, 9)

[17] BRINKSMEIER, E.; TÖNSHOFF, H. K.; CZENKUSCH, C. a HEINZEL, C. Modelling and optimization of grinding processes. Online. *Journal of Intelligent Manufacturing*. Roč. 9, č. 4. ISSN 09565515. DOI: 10.1023/A:1008908724050. [cit. 2025-01-23].

[18] 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. ISSN 10009361. DOI: 10.1016/j.cja.2022.10.006. [cit. 2025-01-23].

[19] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2. (obrázek: 10)

[20] *Broušení.* Online. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/13996505/>. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 11)

- [21] MAWANDIYA, Bimal Kumar; SONAGARA, Akshay; BALAR, Tejas; PATEL, Kaushik M. a SHAH, Dhaval B. Productivity improvement in honing machining process. Online. *Materials Today: Proceedings*. 2022, roč. 59, s. 283-288. ISSN 22147853. DOI: [10.1016/j.matpr.2021.11.114](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.114). [cit. 2025-01-23].
- [22] UHLMANN, Eckart; SPUR, Günter a KLEINSCHNITKER, Michael. Honing and Superfinishing. Online. In: *Handbook of Ceramics Grinding and Polishing*. Elsevier, 2015, s. 234-262. ISBN 9781455778584. DOI: [10.1016/B978-1-4557-7858-4.00005-4](https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7858-4.00005-4). [cit. 2025-01-23].
- [23] DEACONESCU, Andrea a DEACONESCU, Tudor. Improving the Quality of Surfaces Finished by Lapping by Robust Parameter Design. Online. *Journal of Economics, Business and Management*. 2014, s. 1-4. ISSN 23013567. DOI: [10.7763/JOEBM.2014.V2.88](https://doi.org/10.7763/JOEBM.2014.V2.88). [cit. 2025-01-23].
- [24] DOI, Toshiro K.; OHNISHI, Osamu; UHLMANN, Eckart a DETHLEFS, Arne. Lapping and Polishing. Online. In: *Handbook of Ceramics Grinding and Polishing*. Elsevier, 2015, s. 263-325. ISBN 9781455778584. DOI: [10.1016/B978-1-4557-7858-4.00006-6](https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7858-4.00006-6). [cit. 2025-01-23].
- [25] MICALLEF, Christian; ZHUK, Yuri a ARIA, Adrianus Indrat. Recent Progress in Precision Machining and Surface Finishing of Tungsten Carbide Hard Composite Coatings. Online. *Coatings*. 2020, roč. 10, č. 8. ISSN 2079-6412. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/coatings10080731>. [cit. 2025-01-23].
- [26] SCHOLTES, B. a VOEHRINGER, O. Mechanical Surface Treatment. Online. In: *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*. Elsevier, 2001, s. 5253-5261. ISBN 9780080431529. DOI: [10.1016/B0-08-043152-6/00916-5](https://doi.org/10.1016/B0-08-043152-6/00916-5). [cit. 2025-01-23].
- [27] VAARA, Joona; KUNNARI, Aleksi a FRONDELIUS, Tero. Literature review of fatigue assessment methods in residual stressed state. Online. *Engineering Failure Analysis*. 2020, roč. 110. ISSN 13506307. DOI: [10.1016/j.engfailanal.2020.104379](https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104379). [cit. 2025-01-23].
- [28] SINGLA, Anil Kumar; BANERJEE, Mainak; SHARMA, Aman; SINGH, Jagtar; BANSAL, Anuj et al. Selective laser melting of Ti6Al4V alloy: Process parameters, defects and post-treatments. Online. *Journal of Manufacturing Processes*. 2021, roč. 64, s. 161-187. ISSN 15266125. DOI: [10.1016/j.jmapro.2021.01.009](https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.01.009). [cit. 2025-01-23].

- [29] DELGADO, P.; CUESTA, I.I.; ALEGRE, J.M. a DÍAZ, A. State of the art of Deep Rolling. Online. *Precision Engineering*. 2016, roč. 46, s. 1-10. ISSN 01416359. DOI:10.1016/j.precisioneng.2016.05.001. [cit. 2025-01-23].
- [30] *Comprendre le processus de grenaillage et son fonctionnement*. Online. Kangfeides. Dostupné z: <https://kabrasives.com/fr/blog/grenaillage-2/>. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 16)
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] VRBOVÁ, Hana; KUBIŠOVÁ, Milena; PATA, Vladimír; KNEDLOVÁ, Jana; JAVOŘÍK, Jakub et al. Approach to Heterogeneous Surface Roughness Evaluation for Surface Coating Preparation. Online. *Coatings*. 2024, roč. 14, č. 4. ISSN 2079-6412. DOI:10.3390/coatings14040471. [cit. 2025-01-23].
- [35] KUBIŠOVÁ, M.; PATA, V.; SÝKOROVÁ, L.; HÝLOVÁ, L. a ŠUBA, O. Multi-parameter surface-quality analysis. Online. *Materiali in tehnologije*. 2018, roč. 52, č. 1, s. 23-26. ISSN 15802949. DOI:10.17222/mit.2017.095. [cit. 2025-01-23].
- [36] INC., Machineweb. *ZYGO NEWVIEW 3D OPTICAL SURFACE PROFILER*. Online. MachineTo.. Dostupné z: <https://www.machinetools.com/en/models/zygo-newview-3d-optical-surface-profiler>. [cit. 2025-01-23]. (obrázek: 23)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma soustružení [3]	13
Obrázek 2 Druhy soustružnických nožů [4]	14
Obrázek 3 Univerzální hrotový soustruh [5]	15
Obrázek 4 Válcové a čelní frézování [8]	17
Obrázek 5 Nesousledné a sousledné frézování [9]	17
Obrázek 6 Vrtání, vyhrubování a vystružování [12]	19
Obrázek 7 Hoblování a obrážení [14]	20
Obrázek 8 Protahování [16]	21
Obrázek 9 Protlačování [16]	22
Obrázek 10 Brusné zrna [19]	23
Obrázek 11 Válcové broušení vnější a vnitřní [20]	23
Obrázek 12 Honování [22]	24
Obrázek 13 Lapování [23]	25
Obrázek 14 Superfinašování [25]	25
Obrázek 15 Válečkování [14]	26
Obrázek 16 Kuličkování [30]	26
Obrázek 17 Příklad grafu časové řady [vlastní]	29
Obrázek 18 Příklad histogramu [vlastní]	30
Obrázek 19 Příklad boxplotu [vlastní]	31
Obrázek 20 příklad pravděpodobnostního grafu [vlastní]	33
Obrázek 21 Rozměry měřeného dílu	37
Obrázek 22 Uložení měřených vzorků	37
Obrázek 23 Bezkontaktní profilometr Zygo NewView 8000 [36]	38
Obrázek 24 Vyrovnání stolu profilometru	39
Obrázek 25 Měření kónusové (a) a rovinné plochy (b)	39
Obrázek 26 Přiblížení kónusové (a) a rovinné plochy (b)	39
Obrázek 27 Výsledky měření z profilometru pro rovinnou plochu	40
Obrázek 28 Graf časové řady všechny parametry	45
Obrázek 29 Grafický sumář pro Ra [μm] kónus	46
Obrázek 30 Grafický sumář pro Rz [μm] kónus	46
Obrázek 31 Grafický sumář pro Ra [μm] rovina	47
Obrázek 32 Grafický sumář pro Rz [μm] rovina	47
Obrázek 33 Boxploty pro Tukeyho metodu	48
Obrázek 34 Boxploty po přeměření vzorku č. 26	50

Obrázek 35 Pravděpodobnostní graf pro Ra kónus	50
Obrázek 36 Pravděpodobnostní graf pro Ra kónus	51
Obrázek 37 Graf časové řady po opravě dat kónusové plochy	52
Obrázek 38 Graf časové řady po opravě dat rovinné plochy	53
Obrázek 39 Grafický sumář pro první skupinu Ra [μm] kónus.....	54
Obrázek 40 Grafický sumář pro druhou skupinu Ra [μm] kónus	54
Obrázek 41 Grafický sumář pro první skupinu Rz [μm] kónus.....	55
Obrázek 42 Grafický sumář pro druhou skupinu Rz [μm] kónus.....	55
Obrázek 43 Grafický sumář pro Ra [μm] rovina po opravě dat	56
Obrázek 44 Grafický sumář pro Rz [μm] rovina po opravě dat	56
Obrázek 45 Grubbsův test odlehlých hodnot parametru Ra_rovina_1	58
Obrázek 46 Boxploty pro parametry Ra kónusové plochy	59
Obrázek 47 Boxploty pro parametry Rz kónusové plochy	59
Obrázek 48 Boxploty pro parametry Ra a Rz rovinné plochy	59

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Výsledky měření pro Ra kónus.....	41
Tabulka 2 Výsledky měření pro Rz kónus.....	42
Tabulka 3 Výsledky měření pro Ra rovina	43
Tabulka 4 Výsledky měření pro Rz rovina	44
Tabulka 5 Výsledky Anderson-Darlingova testu normality	48
Tabulka 6 Přeměřené hodnoty vzorku č.26	49
Tabulka 7 Tabulky rozdělení parametrů Ra a Rz kónusové plochy do dvou skupin	51
Tabulka 8 Výsledky Anderson-Darlingova testu normality	57
Tabulka 9 Výsledky Grubbsova testu	58

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

HSS	Rychlořezná ocel
v_c	Řezná rychlost
D	Průměr
n	Otáčky
f	Posuv
a	Hloubka řezu
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
EDA	Exploratorní analýza dat
IQR	Interkvartilové rozpětí
Q1	První kvartil
Q3	Třetí kvartil
Q2/med	Medián
Min	Minimum
Max	Maximum
H_0	Nulová hypotéza
H_a	Alternativní hypotéza
α	Testovací kritérium
$\bar{x}$	Aritmetický průměr
s	Směrodatná odchylka
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rz	Největší výška profilu
μm	Mikrometr
mm	Milimetr