

Statistické hodnocení obtížně měřitelných povrchů

Bc. Martin Mužný

Diplomová práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Martin Mužný
Osobní číslo:	T19545
Studijní program:	N3909 Procesní inženýrství
Studijní obor:	Řízení jakosti
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Statistické hodnocení obtížně měřitelných povrchů

Zásady pro vypracování

- student má za úkol zjistit jaký je rozdíl mezi vyhodnocením pomocí ISO 4287, ISO 4288 a ISO 25 178.
- provést kontrolu povrchů pomocí mikroskopu
- Dále provede analýzu povrchů na bezkontaktním profiloměru ZIGO
- Následně naměřená data drsnosti povrchu budou vyhodnocena pomocí programů Minitab a Statistika.

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

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999.
2. ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 1999.
3. BUMBÁLEK, L.- BUMBÁLEK, B.: Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu, Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně.
4. MELOUN, Milan. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešení úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4

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

Datum zadání diplomové práce: **5. ledna 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2021**

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

L.S.

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

Ve Zlíně dne 1. dubna 2021

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 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

Tématem diplomové práce je statistické hodnocení obtížně měřitelných povrchů. Teoretická část popisuje normy ČSN EN ISO 4287, 4288, 25178 a jejich podrobný obsah, metodami snímání povrchu, dále statistickými metodami a průřez konvenčním a nekonvenčním obráběním. Praktická část je věnována porovnání drsnosti vygravírovaného povrchu dle parametrů drsnosti Sa a Sz pomocí statistických metod.

Klíčová slova: parametry drsnosti, normy, statistické vyhodnocení, konvenční obrábění, nekonvenční obrábění

ABSTRACT

The topic of the diploma thesis is the statistic a levaluation of difficult-to-measure surfaces. The theoretical part describes the standards ČSN EN ISO 4287, 4288, 25178 and their detailed content, surface sensing methodologies, statistical methods and cross-section of conventional and unconventional processing. The practical part is devoted to the comparison of the roughness of the engraved surface according to the roughness parameters Sa and Sz using statistical methods.

Keywords: roughness, parameters, standards, statistical evaluation, conventional machining, unconventional machining

„Jsem si jist, že jsme pány svého osudu, že naše úkoly, jež před námi leží, nejsou nad naše síly a že žádná dřina a úsilí nejsou větší, než můžeme snést. Dokud věříme tomu, co děláme a dokud máme nezdolnou vůli vítězit, vítězství je naše.“

[Winston Churchill]

Poděkování

Rád bych poděkoval své vedoucí diplomové práce Ing. Mileně Kubišové, Ph.D. za vstřícnost, ochotu, odborné vedení, pozitivní přístup a motivaci.

Dále bych rád poděkoval své rodině a přítelkyni za podporu a motivaci při mém studiu.

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 NORMY A JEJICH SEZNAM A STRUČNÝ OBSAH	12
1.1 ČSN EN ISO 4287	12
1.1.1 Bod č. 3 normy ČSN EN ISO 4287	12
1.1.2 Bod č. 4 ČSN EN ISO 4287	12
1.2 ČSN EN ISO 4288	13
1.2.1 Bod č.4 Odhadování parametrů.....	13
1.2.2 Bod č.5 pravidla pro porovnání měřených hodnot s tolerančními mezemi	13
1.2.3 Bod č.6 Hodnocení parametrů.....	13
1.2.4 Bod č.7 Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji.....	13
1.3 ČSN EN ISO 25178	13
1.3.1 ČSN EN ISO 25178-2	14
1.3.2 ČSN EN ISO 25178-3	16
1.3.3 ČSN EN ISO 25178-6	16
1.3.4 ČSN EN ISO 25178-601	17
1.3.5 ČSN EN ISO 25178-602	18
1.3.6 ČSN EN ISO 25178-603	18
1.3.7 ČSN EN ISO 25178-604	19
1.3.8 ČSN EN ISO 25178-605	20
1.3.9 ČSN EN ISO 25178-606	21
1.5 2D A 3D PARAMETRY POVRCHU	22
1.5.1 2D parametry povrchu.....	22
1.5.2 3D parametry povrchu.....	23
1.6.1 Snímání povrchu dotykovou metodou	24
1.6.2 Snímání povrchu bezdotykovou metodou.....	25
1.6.3 Porovnání dotykové a bezdotykové metody měření drsnosti povrchu	25
1.6.4 Srovnání 2D a 3D	25
1.7 PRAVIDLO 16 %	26
1.8 PRAVIDLO MAXIMA	26
2 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT	27
2.1 METODIKA EDA	27
2.1.1 Graf časové řady	27
2.1.2 Histogram	27
2.1.3 Box-plotové diagramy.....	28
2.1.4 Vypočítané hodnoty při metodě EDA.....	30
2.2 TESTOVÁNÍ NORMALIT	32
2.2.1 Q-Q Graf	32
2.2.2 Pravděpodobnostní graf v minitabu	33

2.2.3	Statistické testy normality	34
2.3	CENTRÁLNÍ LIMITNÍ TEORÉM.....	35
2.4	TESTY OUTLIERŮ	35
2.5	F- TEST	36
2.6	T-TEST.....	36
2.7	CLUSTROVÁ ANALÝZA DAT	36
3	OBRÁBĚNÍ.....	38
3.1	KONVENČNÍ	38
3.1.1	Soustružení	38
3.1.2	Vyvrátání.....	38
3.1.3	Broušení	38
3.1.4	Hoblování a obrážení	39
3.1.5	Protahování a protlačování.....	39
3.1.6	Vrtání.....	39
3.1.7	Frézování.....	39
3.2	NEKONVENČNÍ	40
3.2.1	Elektroerozivní obrábění	40
3.2.2	Elektrochemické obrábění.....	40
3.2.3	Obrábění ultrazvukem	40
3.2.4	Obrábění laserem	41
3.2.5	Obrábění paprskem elektronů	41
3.2.6	Obrábění plazmou	41
3.2.7	Obrábění vodním paprskem	41
4	CÍLE PRÁCE	43
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	44
5	HODNOTY	45
6	VYHODNOCENÍ HODNOT SA	46
6.1	NAMĚŘENÁ DATA SA	46
6.2	METODIKA EDA	46
6.2.1	Vypočítané hodnoty metodiky EDA.....	46
6.2.2	Metodika EDA graf časové řady.....	47
6.3	TEST NA OUTLIERY	54
6.4	CLUSTROVÁ ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT	55
7	VYHODNOCENÍ PARAMETRU DRSNOSTI SZ.....	60
7.1	NAMĚŘENÉ HODNOTY SZ	60
7.2	VYPOČÍTANÉ HODNOTY PRO METODIKU EDA PARAMETRU SZ.....	60
7.3	METODIKA EDA GRAF ČASOVÉ ŘADY	61
7.4	METODIKA EDA SUMARIZAČNÍ ZPRÁVA	62
7.5	TEST NA OUTLIERY	68

7.6	CLUSTROVÁ ANALÝZA NAMĚŘENÝCH DAT	69
ZÁVĚR		74
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		75
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		78
SEZNAM OBRÁZKŮ		79
SEZNAM TABULEK		81

ÚVOD

Kvalita z hlediska strojírenské výroby většinou klade důraz na přesnost rozměrů, přesnost geometrického tvaru a drsnosti povrchu.

Je možné stanovit jaké musí být vlastnosti hodnocené plochy v závislosti na drsnosti povrchu, aby byla zabezpečena funkce součásti. Vyhodnocení parametrů drsnosti povrchů má význam pro konstrukci i stanovení technologických parametrů ve výrobě. Drsnost má přímý vliv na životnost a spolehlivost součásti. Povrch, který vykazuje větší drsnost je rychleji opotřebováván a disponuje větším koeficientem tření. Pro měření drsnosti používáme normy ČSN EN ISO 4287, 4288, 25178.

Tato práce se zabývá statistickým vyhodnocením parametrů drsnosti S_a a S_z , které byly naměřeny na vzorcích, kde byla lasery s různými nastaveními vygravírovaná plocha. Cílem bylo zjistit, který povrch je nejlepší z hlediska zmíněných dvou parametrů a to se pojí k použitému laseru a příslušnému nastavení.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 NORMY A JEJICH SEZNAM A STRUČNÝ OBSAH

1.1 ČSN EN ISO 4287

Tato norma pojednává o geometrických požadavcích na výrobky, popisuje strukturu povrchu profilovou metodou a uvádí obecné termíny parametrů drsnosti povrchu a jejich definici. [1]

Touto problematikou se zabývá bod č.3 a č.4 ČSN EN ISO 4287

1.1.1 Bod č. 3 normy ČSN EN ISO 4287

Bod č. 3 je věnován definici obecných termínů a názvů geometrických parametrů.

obecné termíny: filtr profilu, souřadnicový systém, skutečný povrch, profil povrchu, základní profil, profil drsnosti, profil vlnitosti, střední čáry, základní délka, vyhodnocovaná délka. [1]

Názvy geometrických parametrů:P,R,W parametry, výstupek profilu,prohlubeň profilu, omezení výšky a nebo rozteče, prvek profilu, hodnota pořadnice, místní sklon, výška výstupku profilu, hloubka prohlubně profilu, výška prvku profilu, šířka prvku profilu, materiálová délka profilu na úrovni c. [1]

1.1.2 Bod č. 4 ČSN EN ISO 4287

Bod č. 4 je věnován definici parametrů profilu.

Výškové parametry (výstupky a prohlubně): Nejvyšší výška výstupku profilu, největší hloubka prohlubně profilu, největší výška profilu, průměrná výška profilu, celková výška profilu. [1]

Výškové parametry (průměrné hodnoty pořadnic): průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu, šikmost posuzovaného profilu, špičatost posuzovaného profilu.

Délkové parametry: průměrná šířka prvků profilu. [1]

Tvarové parametry: průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu. [1]

Křivky a odvozené parametry: materiálový poměr (nosný podíl), křivka materiálového poměru profilu (nosná křivka), rozdíl výšky úseku profilu, vzájemný materiálový poměr, empirické rozdělení výšek profilu. [1]

1.2 ČSN EN ISO 4288

Tato norma se týká geometrických požadavků na výrobu. Popisuje pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu a srovnává je s tolerančními mezemi určenými pro parametry struktury povrchu. [2]

1.2.1 Bod č.4 Odhadování parametrů

Zabývá se parametry definovanými na základní délce, odhady parametrů, odhad průměrných hodnot parametrů, parametry definovanými na vyhodnocované délce, křivky a odpovídající parametry, standardní vyhodnocované délky. [2]

1.2.2 Bod č.5 pravidla pro porovnání měřených hodnot s tolerančními mezemi

Zabývá se plochami na kontrolovaných prvcích, pravidlem šestnácti procent, pravidlem maxima, nejistotou měření. [2]

1.2.3 Bod č.6 Hodnocení parametrů

Zabývá se všeobecným hodnocením parametrů a parametry profilu drsnosti. [2]

1.2.4 Bod č.7 Pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji

Zabývá se základními pravidly pro určení mezní vlnové délky cut-off pro měření parametrů profilu drsnosti, měřením parametrů profilu drsnosti, postupem pro periodický profil drsnosti. [2]

1.3 ČSN EN ISO 25178

Norma ČSN EN ISO 25178 se skládá z následujících částí: 25178-1 (Indikace textury povrchu), 25178-2 (Termíny, definice a parametry textury povrchu), 25178-3 (Specifikace operátorů), 25178-6 (klasifikace metod měření textury povrchu), 25178-70 (Měřicí etalony), 25178-71 (softwarové měřicí etalony), 25178-601 (jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů), 25178-602 (Jmenovité charakteristiky bezdotykových přístrojů (konfokální chromatická sonda), 25178-603 (Jmenovité charakteristiky bezdotykových přístrojů (interferometrická mikroskopie s fázovým posuvem)), , 25178-604 (Jmenovité charakteristiky bezdotykových přístrojů (koherenční skenovací interferometrie)), 25178-605 (Jmenovité charakteristiky bezdotykových přístrojů (bodová

samozaostřovací sonda)), 25178-606 (Jmenovité charakteristiky bezdotkových přístrojů (změna zaostření)), 25178-701(kalibrace a měřicí etalony pro dotykové (hrotové) přístroje. [3]

V této práci jsou uvedeny normy: 25178-2,25178-3, 25178-6, 25178-601, 25178-602, 25178-603, 25178-604, 25178-605, 25178-606.

1.3.1 ČSN EN ISO 25178-2

Část druhá normy ČSN EN ISO 25178 určuje termíny, parametry a definice pro stanovení povrchové textury pomocí plošných metod. [3]

Bod č. 3 z normy ČSN EN ISO 25178-2

Bod č. 3 je věnován definici obecných termínů a názvů geometrických parametrů.[3]

Obecné termíny: Neideální model povrchu, mechanický povrch, elektromagnetický povrch, specifikace souřadnicového systému, primární povrch, S-L povrch, omezení stupnice povrchu, referenční povrch, hodnocená plocha, stanovená plocha. [3]

Termíny geometrického parametru: parametr pole, parametr prvku, V- parametr, S- parametr, výška, hodnota koordinace, místní vektor gradientu, funkce autokorelace, Fourierova transformace, úhlové spektrum. [3]

Termíny geometrického prvku: pík, vrch, přímka kurzu, prohlubeň, údolí, hřebenová přímka, sedlo, bod sedla, topografický prvek, plocha prvku, přímka prvku, bod prvku, obrysová přímka, segmentace, funkce segmentace, první vlastnost segmentace, druhá vlastnost segmentace, třetí vlastnost segmentace, strom změny, místní výška píku, místní hloubka prohlubně. [3]

Bod č.4 z normy ČSN EN ISO 25178-2

Bod č. 4 popisuje:

Výškové parametry: základ průměrné výšky čtvercem omezené stupnice povrchu. Šikmost omezené stupnice povrchu, špičatost omezené stupnice povrchu, maximální výška

píku omezené stupnice povrchu, maximální výška omezené stupnice povrchu, aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu. [3]

Prostorové parametry: délka autokorelace, poměr aspektu textury. [3]

Hybridní parametry: základ průměrného čtverce gradientu omezené stupnicí povrchu, poměr rozvinuté mezifázové plochy omezené stupnicí povrchu. [3]

Funkční a související parametry: poměr funkce plochy materiálu omezené stupnicí povrchu, poměr plochy materiálu omezené stupnicí povrchu, opačný poměr plochy materiálu omezené stupnici povrchu, parametr plochy pro rozvrstvenou omezenou funkční stupnici povrchů, povrch jádra, výška jádra, redukovaná výška píku, redukovaná hloubka údolí, poměr materiálu, křivka pravděpodobnosti plochy materiálu, základ průměrné úchytky čtverců údolí, základ průměrné úchytky čtverců plošiny, poměr materiálu, neplatný objem, neplatný objem údolí omezené stupnice povrchu, neplatný objem jádra omezené stupnice povrchu, objem materiálu, pík objemu materiálu omezené stupnicí povrchu, jádro objemu materiálu omezené stupnicí povrchu, extrémní výška píku, gradient hustoty funkce, fraktální metody, funkce stupnice objemu, funkce reaktivní plochy, délka stupnice pozorování, složitost fraktálního objemu, složitost fraktální plochy, stupnice přejetí, hladká drsná stupnice přejetí, práh. [3]

Bod č. 5 z normy ČSN EN ISO 25178-2

Stanovení parametrů plochy pro rozvrstvené funkční povrchy omezených stupnic povrchů, výpočet ekvivalentní přímky, výpočet parametrů S_{pk} a S_{vk} , výpočet parametrů S_{pq} a S_{vq} a S_{mq} . [3]

Bod č. 6 z normy ČSN EN ISO 25178-2

Obecně, Typ textury povrchu, Segmentace, Stanovení významných prvků, Část atributů prvku, statistické atributy, konvenční charakteristika prvku. [3]

Parametry pojmenovaného prvku: hustota píku, aritmetický průměr zakřivení píku, deset bodů výšky povrchu, pět bodů výšky povrchu, pět bodů výšky píku, pět bodů hloubky prohlubně, střední plocha vrchu, střední objem údolí, střední objem vrchu. [3]

1.3.2 ČSN EN ISO 25178-3

Tato část normy upřesňuje ucelené specifikace operátorů pro texturu povrchu pomocí plošných metod.[3]

Bod č. 3 z normy ČSN EN ISO 25178-3

Popisuje termíny a definice laterální periody meze. [3]

Bod č.4 z normy ČSN EN ISO 25178-3

Zabývá se kompletními specifikacemi operátoru. [3]

Metoda extrakce: vyhodnocovaná plocha, S-F povrch, S-L povrch, typy povrchu, S-filtr, vztahy S- filtru pro mechanické povrchy, vztahy S- filtru pro optické povrchy.

metoda přidružení

filtrace: F operace, L-filtr, definice plochy, S-L povrch, S-F povrch. [3]

1.3.3 ČSN EN ISO 25178-6

Bod č. 3 z normy ČSN EN ISO 25178-6

Bod č. 3 je věnován definici a termínům. [3]

Všeobecné termíny: měřicí souřadnicový systém, profil povrchu, hodnota souřadnice. [3]

Definice pro klasifikaci textury povrchu měřícími metodami: čárová profilovací metoda, metoda topografie plochy, metoda integrování plochy, metoda integrování plochy. [3]

Termíny a popisy pro specifické metody: skenování dotekovým hrotem, interferometrická mikroskopie s fázovým posuvem, PSI, kruhové interferometrické profilování, optické diferenciální profilování, koherenční skenovací interferometrie, CSI, konfokální mikroskopie, projekce strukturovaného světla, zaostřovací variační mikroskopie, digitální holografická mikroskopie, DHM, bodové samozaostřovací

profilování, skenovací elektronová mikroskopie s úhlovým rozlišením (SEM), stereoskopická SEM, skenovací tunelovací mikroskopie (STM), mikroskopie atomárních sil AFM, úplná integrace rozptylového světla, úhlové rozlišení rozptylu světla, metoda kapacity rovnoběžných desek, pneumatický měřicí systém. [3]

Bod č. 4 z normy ČSN EN ISO 25178-6

Popisuje klasifikační schéma. [3]

1.3.4 ČSN EN ISO 25178-601

Tato norma popisuje metrologické charakteristiky dotykových (hrotových) měřících přístrojů textury povrchu plochy. [3]

Bod č. 3 z normy ČSN EN ISO 25178-601

Všeobecné termíny a definice: souřadnicový systém přístroje, smyčka měření, uživatelské přizpůsobení, zbytková opravná plocha. [3]

Termíny a definice vztahované k laterálnímu skenovacímu systému: laterální skenovací systém, plošné referenční vedení, pohon jednotky X, pohon jednotky Y, laterální snímač polohy. [3]

Termíny a definice vztahované k snímacímu systému: snímací systém, sonda, digitalizační systém, hrot. [3]

Metrologické charakteristiky přístroje: měřící objem, odezva křivky, součinitel rozšíření, hluk přístroje, statický hluk, dynamický hluk, interval vzorkování na X, interval vzorkování na Y, digitalizační krok na Z, laterální rozklad, šířka meze pro úplnou výšku přenosu, maximální sklon, rychlost měření, dynamika snímacího systému, kritická dynamika snímacího systému. [3]

Bod č. 4 z normy ČSN EN ISO 25178-601

Popisuje souhrn typických metrologických charakteristik, jenž ovlivňují nejistotu měření měřících přístrojů. [3]

1.3.5 ČSN EN ISO 25178-602

Tato kapitola normy stanovuje konstrukční a metrologické charakteristiky bezdotykových přístrojů na měření textury povrchu s použitím konfokální chromatické sondy založené na axiálním chromatickém rozptylu bílého světla. [3]

Bod č. 3 z normy ČSN EN ISO 25178-602

Všeobecné termíny a definice: souřadnicový systém přístroje, smyčka měření, skutečný povrch obrobku, skutečný elektromagnetický povrch, primárně extrahovaný povrch, chyba měření, systematická chyba měření, justování měřicího přístroje, uživatelské přizpůsobení, korekce, zbytková opravná chyba. [3]

Termíny a definice vztažené k laterálnímu skenovacímu systému: laterální skenovací systém, plošné referenční vedení, pohon jednotky X, pohon jednotky Y, laterální snímač polohy. [3]

Termíny a definice vztažené k snímacímu systému: snímací systém, chromatická sonda, úhlová apertura, půlúhlová apertura, numerická apertura, konfokální chromatická mikroskopie, achromatický objektiv, objektiv s axiálním chromatickým rozptylem, světelný zdroj, dírka světelného zdroje, rozlišovací dírka, chromatická hloubka pole, pracovní vzdálenost, vertikální rozsah, optické pero, rozptýlený světelný signál. [3]

Metrologické charakteristiky přístroje: metrologická charakteristika, objem měření, hystereze, odezva křivky, součinitel rozšíření, hluk přístroje, statický hluk, dynamický hluk, interval vzorkování na X, interval vzorkování na Y, digitalizační krok na Z, laterální rozklad, šířka meze pro úplnou výšku přenosu, maximální přijatelný místní sklon, velikost tečky, doba integrace, frekvence měření. [3]

Bod č. 4 z normy ČSN EN ISO 25178-602

Popisuje souhrn metrologických charakteristik v tabulce. [3]

1.3.6 ČSN EN ISO 25178-603

Tato kapitola normy popisuje metrologické vlastnosti interferometrického fázového posunu PSI, a mikroskopů měřící texturu povrchu. [3]

Bod č. 2 z normy ČSN EN ISO 25178-603

Termíny a definice vztahující se ke všem metodám měření plochy textury povrchu: referenční plocha, souřadnicový systém přístroje, smyčka měření, skutečný povrch obrobku, povrchová sonda, měřící objem, odezva křivky, součinitel rozlišení, hluk přístroje, hluk měření, opakovatelnost topografie povrchu, interval vzorkování v x D_x , interval vzorkování v y D_y , digitalizace kroku v z D_z , laterální rozklad, šířka meze pro úplnou výšku přenosu, laterální mez periody, maximální místní sklon, přístrojová funkce přenosu, hystereze, metrologická charakteristika. [3]

Termíny vztahující se k x a y skenovacímu systému: plocha referenčního vedení, laterální skenovací systém, pohon jednotky x, pohon jednotky y, laterální poloha snímače, rychlost měření, statický hluk, dynamický hluk. [3]

Termíny a definice vztahující se k optickým systémům: zdroj světla, optická šířka pásma měření, optická vlnová délka měření, úhlová apertura, půlúhlová apertura, numerická apertura, Rayleighovo kritérium, Sparrowovo kritérium. [3]

Termíny a definice vztahující se k optickým vlastnostem obrobku: povrchový film, tenký film, tlustý film, optický hladký povrch, opticky drsný povrch, opticky nejednotný materiál. [3]

Termíny a definice specifické pro interferometrickou mikroskopii s fázovým posunem: Interferometrická mikroskopie s fázovým posunem PSI, algoritmus měření fázového posunu, algoritmus fáze rozbalení, vzorek náklonu, referenční střední kvadratická variace. [3]

Bod č. 3 z normy ČSN EN ISO 25178-603

Zobrazuje popisy ovlivňujících veličin. [3]

1.3.7 ČSN EN ISO 25178-604

Tato kapitola normy popisuje určité metrologické charakteristiky koherenční skenovací interferometrie systému pro 3D mapování výšky povrchu. [3]

Bod č. 2 z normy ČSN EN ISO 25178-604

Termíny a definice vztahující se ke všem metodám měření plochy textury povrchu: referenční plocha, souřadnicový systém přístroje, smyčka měření, skutečný povrch obrobku, povrchová sonda, měřící objem, odezva křivky, součinitel rozlišení, hluk

přístroje, hluk měření, opakovatelnost topografie povrchu, interval vzorkování v x D_x , interval vzorkování v y D_y , digitalizace vzorku v z D_z , laterální rozklad, šířka meze pro úplnou výšku přenosu W, laterální periody, maximální sklon, přístrojová funkce přenosu, hystereze. Metrologická charakteristika. [3]

Termíny vztahující se k x a y skenovacímu systému: plocha referenčního vedení, laterální skenovací systém, pohon jednotky x, pohon jednotky y, laterální poloha snímače, rychlost měření, statický hluk, dynamický hluk. [3]

Termíny a definice vztahující se k optickým systémům: zdroj světla, optická šířka pásma měření, optická vlnová délka měření, úhlová apertura, půlúhlová apertura, numerická apertura, Rayleighovo kritérium, Sparrowovo kritérium. [3]

Termíny a definice vztahující se k optickým vlastnostem obrobku: povrchový film, tenký film, tlustý film, optický hladký povrch, opticky drsný povrch, opticky nejednotný materiál. [3]

Termíny a definice specifické prokoherenční skenovací interferometrickou mikroskopii CSI: Koherenční skenovací interferometrie CSI, délka optické dráhy, signál koherenční skenovací interferometrie CSI signál, interferenční proužky, interferenční fáze, amplitudová modulace, modulační obálka, analýza režimu možnost zpracování signálu, práh modulace minimální modulace, sken koherenční skenovací interferometrie CSI sken, délka skenu, přírůstek skenu, rychlost skenu, elektivní prostředek vlnové délky, proužek-příkaz chyba, vibrace prostředí. [3]

Bod č. 3 z normy ČSN EN ISO 25178-604

Zobrazuje popisy ovlivňujících veličin. [3]

1.3.8 ČSN EN ISO 25178-605

Tato kapitola normy popisuje určité metrologické charakteristiky bezdotykových přístrojů měřící texturu povrchu použitím bodového samozaostřovacího snímání. [3]

Bod č. 3 z normy ČSN EN ISO 25178-605

Termíny a definice vztahující se ke všem metodám měření plochy textury povrchu: referenční plocha, souřadnicový systém přístroje, smyčka měření, skutečný povrch obrobku, povrchová sonda, měřící objem, odezva křivky, činitel zesílení, hluk přístroje, měření hluku, opakovatelnost topografie povrchu, interval vzorkování v x D_x , interval

vzorkování v y Dy, digitalizace vzorku v z Dz, laterální rozklad, šířka meze pro úplnou výšku přenosu W, laterální periody, maximální sklon, přístrojová funkce přenosu, hystereze. Metrologická charakteristika. [3]

Termíny vztahující se k x a y skenovacímu systému: plocha referenčního vedení, laterální skenovací systém, pohon jednotky x, pohon jednotky y, laterální poloha snímače, rychlost měření, statický hluk, dynamický hluk. [3]

Termíny a definice vztahující se k optickým systémům: zdroj světla, optická šířka pásma měření, optická vlnová délka měření, úhlová apertura, půlúhlová apertura, numerická apertura, Rayleighovo kritérium, Sparrowovo kritérium. [3]

Termíny a definice vztahující se k optickým vlastnostem obrobku: povrchový film, tenký film, tlustý film, optický hladký povrch, opticky drsný povrch, opticky nejednotný materiál. [3]

Termíny a definice specifické pro bodovou samozaostřovací sondu: snímací systém, bodová samozaostřovací sonda, bodové samozaostřovací profilování, objektiv, samozaostřovací snímač, samozaostřovací mechanismus, snímač z polohy, pracovní vzdálenost, velikost tečky, rozsah zaostření, vertikální rozsah, poměr měřitelné minimální odrazivosti, opakovatelnost zaostření, korelace hluku. [3]

Bod č. 4 z normy ČSN EN ISO 25178-605

Zobrazuje popisy ovlivňujících veličin. [3]

1.3.9 ČSN EN ISO 25178-606

Tato část normy definuje metrologické charakteristiky konkrétní bezkontaktní metody měření textury povrchu s použitím senzoru variace ohniska.

Body do 3.5 se shodují s kapitolou 605, bod 3.5 se odlišuje, proto je zde vypsán. [3]

Bod č. 3.5 z normy ČSN EN ISO 25178-606

Termíny a definice specifické pro nástroje senzoru variace zaostření: variace zaostření mikroskopie FV, senzor zaostřovací variace, snímací systém, algoritmus měření variace zaostření, zaostřovací informace, zaostření informační křivky, zdroj světla, úhlový rozsah osvětlení, úhlový rozsah koaxiálního osvětlení, minimální úhel dopadu kruhového osvětlení,

maximální úhel dopadu kruhového osvětlení, úhlový rozsah detekce, skenovací výška, polarizace, analyzér, polarizér, polarizační úhel, detekce polarizace, nastavení senzoru, gama, čas expozice, drsnost. [3]

1.4 Porovnání norem ČSN EN ISO 4287, 4288, 25178

Norma ČSN EN ISO 4287 se věnuje vysvětlení termínů a základních pojmů zároveň definuje parametry textury povrchu ve 2D. Norma ČSN EN ISO 4288 se věnuje odhadování parametrů drsnosti textury povrchu, stanovuje pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi, hodnotí všeobecně parametry povrchu a parametry profilu drsnosti, určuje pravidla a postupy pro kontrolu dotykovými přístroji. Norma ČSN EN ISO 25178 se skládá z více částí, část 2 popisuje termíny, definice a parametry textury povrchu ve 3D, část 3 popisuje specifikaci operátorů, část 6 popisuje klasifikaci metod měření textury povrchu a části 601-606 se věnují jmenovitým charakteristikám bezdotykových přístrojů.

1.5 2D a 3D parametry povrchu

1.5.1 2D parametry povrchu

Tyto parametry bývají nejčastěji použity k vyhodnocení struktury nasnímaného povrchu. Svou podstatou se nachází ve dvojrozměrném měření povrchu, kde vlastní měření je provedeno kontaktním drsnoměrem. [14]

Popsány jsou v normě ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288

Nejvyšší výška výstupku měřeného profilu R_p , Z_p představuje nejvyšší výšku výstupku profilu v měřeném rozsahu základní délky. [14]

Největší hloubkou prohlubně měřeného profilu je označováno R_v , Z_v představuje nejnižší prohlubeň měřeného profilu na rozsahu základní délky. [14]

Největší výškou profilu bývá označováno R_z a představuje součet dvou parametrů a to Z_p jako výšku nejvyššího výstupku a Z_v jako nejnižší prohlubeň v rozsahu základní délky. [14]

Rc označuje průměrnou výšku prvků profilů, je to průměrná hodnota parametrů výšek Z_t na rozsahu základní délky. [1]

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

Rt je parametr celkové výšky profilu, je vypočítán jako součet parametrů Z_p a Z_v na vyhodnocované délce. [1]

Ra je průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu, je to aritmetický průměr všech absolutních hodnot pořadnic $Z(x)$ na rozsahu základní délky l_r . Je označován jako jeden z nejdůležitějších parametrů drsnosti povrchu ve směru výšky. [1]

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

Parametr Rq je průměrná kvadratická úchylka hodnoceného povrchu, je to kvadratický průměr hodnot pořadnic $Z(x)$ na rozsahu základní délky. [1]

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

Rsk je parametrem šikmosti na vyhodnocovaném povrchu, je podílem průměrné hodnoty třetí mocniny pořadnic $Z(x)$ a třetí mocniny hodnoty Rq na rozsahu základní délky. [1]

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left| \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^3(x)| dx \right| \quad (4)$$

Rku je parametrem špičatosti na vyhodnocovaném povrchu, je podílem poměrné hodnoty čtvrté mocniny $Z(x)$, a čtvrté mocniny hodnoty Rq na rozsahu základní délky. [1]

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

1.5.2 3D parametry povrchu

Důležitým parametrem povrchu u 3D měření je parametr **Sa, který představuje aritmetický průměr výšky na omezené stupnici povrchu**, je to aritmetický průměr všech absolutních hodnot koordinace, uvnitř měřené plochy A . [3]

$$Sa = \frac{1}{A} \iint_A |Z(y, x)| dx, dy \quad (6)$$

Sq- je označen parametr základní průměrné výšky, která je určena čtvercem omezené stupnice povrchu Sq. [3]

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A |Z(y, x)| dx, dy} \quad (7)$$

Ssk je parametr, který označuje šikmost omezené stupnice povrchu, je to kvocient průměrné hodnoty koordinační krychle a zároveň hodnot krychle Sq uvnitř plochy A. [3]

$$Ssk = \frac{1}{S_q^3} \left[\frac{1}{A} \iint_A |Z^3(y, x)| dx, dy \right] \quad (8)$$

Sz je parametrem maximální výšky plochy, označuje hodnotu která je vyhodnocená uvnitř určené plochy A a je vyhodnocena od nejvyššího výstupku po nejhlubší prohlubeň. [3]

$$Sz = \max(Z(x, y)) + \min(Z(x, y)) \quad (9)$$

Sku je parametrem špičatosti na omezené stupnici povrchu, zde je kvocient průměrné čtvrté mocniny koordinace a k tomu hodnoty čtvrté mocniny Sq uvnitř vyhodnocované plochy A. [3]

$$Sku = \frac{1}{S_q^4} \left[\frac{1}{A} \iint_A |Z^4(y, x)| dx, dy \right] \quad (10)$$

1.6 Metody měření povrchu

1.6.1 Snímání povrchu dotykovou metodou

Stále nejpoužívanějším způsobem, kterým se měří drsnost povrchu je dotyková metoda. U dotykové metody je povrch měřen za pomoci snímacího hrotu, který zaznamenává profil měřeného povrchu a zároveň vypočítává parametry drsnosti profilu. Dotykové přístroje na snímání povrchu jsou složeny z mechanické části a elektrické části. [16]

Pro co nejpresnější měření drsnosti za pomoci kontaktního drsnoměru je nutné, aby hrot měl co nejmenší poloměr a nízký kontaktní tlak. Hrot drsnoměru je kuželového tvaru s oblým vrcholem, nejčastějším materiálem hrotu je safír nebo diamant. [17]

1.6.2 Snímání povrchu bezdotykovou metodou

Přístroj, který je určen pro bezdotykové snímání drsnosti povrchu používá k měření paprsky světla, které se odrážejí od cílového povrchu. Čím je měřený povrch více hladší, tím více roste zrcadlová složka, tím se zmenšuje složka rozptylová. Ideálně hladký povrch vykazuje vlastnost, kdy u zdrojového světla nedochází k rozptýlení. Bezdotykové snímání je použito u měření, kdy je povrch náchylný k mechanickému poškození ale i u měkkých materiálů. [18]

1.6.3 Porovnání dotykové a bezdotykové metody měření drsnosti povrchu

Výhody snímání povrchu dotykovou metodou

Mezi výhody se řadí zvláště jednoduchá obsluha, zřetelný vlnový profil nebo také možnost měření velkých vzdáleností. [17]

Nevýhody snímání povrchu dotykovou metodou

Jednou z nevýhod je opotřebení hrotu přístroje, poté je to měřící tlak, který může způsobit poškrábání měřeného vzorku, není schopen měřit viskózní povrchy, pomalá rychlost měření. [17]

Výhody snímání povrchu bezdotykovou metodou

Tato metoda nepoškodí měřený vzorek, měření dosahuje jemnější struktury, větší rychlost měření než u metody dotykové. [18]

Nevýhody snímání povrchu bezdotykovou metodou

Špatně odražený paprsek zvyšuje nepřesnost naměřených dat, poté je to velikost měřícího pole, která je omezená. [18]

1.6.4 Srovnání 2D a 3D

Ve 3D měření povrchu je potřeba nejprve určitým filtrem (operátorem) filtrovat profil povrchu abychom získali jeho 3D parametry drsnosti nebo vlnitosti. 3D parametry povrchu jsou stanoveny pro celou měřenou plochu, oproti tomu 2D parametry bývají průměrné hodnoty, které se vztahují na měřený počet základních délek.

Nejčastějšími a většinou i nejvíce používanými parametry pro stanovení kvality drsnosti povrchu jsou parametry Rz což je nejvyšší výška drsnosti profilu a Ra což je průměrná

profilová aritmetická úchylka. I při významně rozdílných profilech povrchu může být hodnota parametru R_a stejná. Z hodnoty R_a není vždy možné určit funkční vlastnosti hodně rozdílných povrchů a tak tedy nelze odpovědět na otázky, které se týkají schopnosti zadržování maziva, rychlosti opotřebení, nebo odolávání odhadovanému zatížení nebo na otázky vedoucí k náchylnosti vzniku trhlin v pozůstatcích po obrábění.

Charakteristika povrchu, která je vyhodnocována z prostorových parametrů je spolehlivější a souhrnnější než vypovídající hodnota doposud běžně využívaných profilových parametrů. Prostorové parametry je nutno stanovovat z výrazně většího souboru dat než parametry lineární. Sběr prostorových dat je také náročnější než obstarávání dat z lineárního měření. [14]

1.7 Pravidlo 16 %

Pravidlo šestnácti procent popisuje norma ČSN EN ISO 4288 a říká, že pro požadavky určené dolní mezí parametru nebo horní mezí parametru jsou povrchy přijatelné, když méně než 16% všech naměřených hodnot na vyhodnocovací délce je menších pro minimum určené na výkrese a v dokumentaci nebo větších v případě maxima uvedené taktéž na výkrese nebo ve výrobní dokumentaci. [2]

Jestliže není parametr označen příponou max, poté platí pravidlo 16%. [15]

1.8 Pravidlo maxima

Pravidlo maxima popisuje norma ČSN EN ISO 4288. Ve své podstatě říká, že je povrch považován za přijatelný, pokud hodnota naměřeného parametru není vyšší než fixní maximální hodnota předepsaná na výkrese nebo výrobní dokumentaci. [15]

Při ustanovení nejvyšší povolené hodnoty měřeného parametru je značka parametru doplněna příponou max, např. $Rz_1 \text{max.}$) [2]

2 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ DAT

2.1 Metodika EDA

Vychází z anglického názvu Exploratory data analysis, česky: průzkumná datová analýza, týká se provádění počátečního vyšetření dat, které může objevit určité vzorce, anomálie za pomoci souhrnných statistik a grafických znázornění. [4]

Mezi nejčastější metody této analýzy patří: graf časové řady, histogram, box-plotové diagramy, hodnoty míry středu (aritmetický průměr, medián, modus), hodnoty míry rozptylu (směrodatná odchylka, interkvartilové rozdělení, variační rozpětí, variační koeficient. [5]

2.1.1 Graf časové řady

Graf časové řady ukazuje pouze jednu proměnou v závislosti na čase. Na ose x je zobrazen čas a na ose y je zobrazena proměnná. [6]

Ve většině případů zobrazuje sekvenci v datech. Důležité na povšimnutí je hustota dat, vyhledávání vzorů jako jsou sinusoidy, velké píky nebo propadliny, outliers. [6]

2.1.2 Histogram

Ukazuje kolikrát se daná hodnota zobrazuje v datech. Používá se tehdy, když chceme vidět jaký je tvar distribuce, zda je výstup procesu distribuován přibližně normálně, zda může proces splnit požadavky zákazníka, určení zda jsou výstupy dvou nebo více procesů rozdílné. [7]

Typické tvary histogramu:

normální distribuce – představuje ideální rozdělení dat ve výrobním procesu, pomocí statistických metod se musí provést důkaz o normálním rozdělení. [7]

šikmá distribuce – Vrchol distribuce je mimo střed, tzv. ocas je jasně zřetelný, rozlišujeme kladnou a zápornou šikmost distribuce podle směru ocasu. [7]

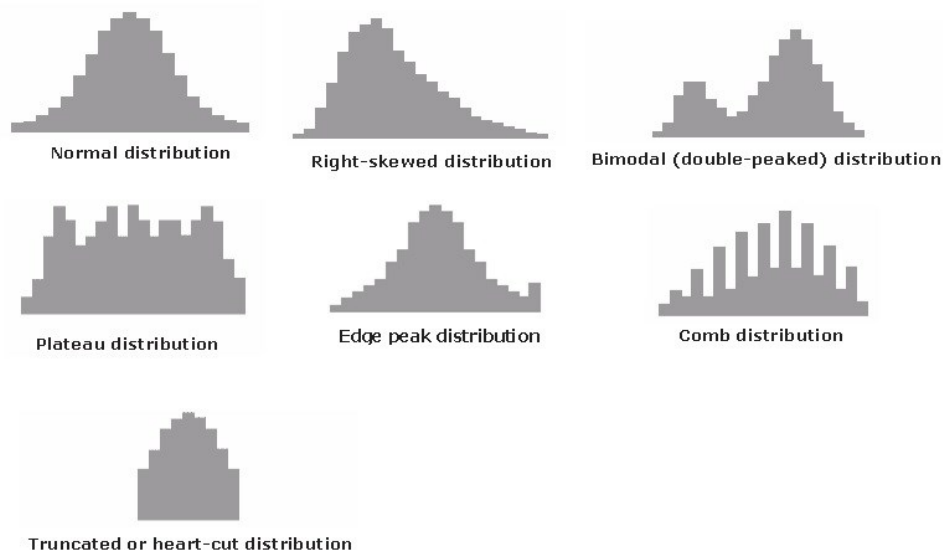
Bimodální distribuce – Vypadá jako zadní část velblouda dvouhrbého, tento případ může nastat, když jsou výsledky dvou procesů s různými distribucemi sloučeny do jedné sady dat.

plošná distribuce – dala by se nazvat víceúčelovou distribucí, je zde kombinováno více procesů s normální distribucí. [7]

distribuce krajního píku – vypadá jako normální rozdělení s tím že na jednom okraji má pík, tato distribuce bývá obvykle způsobena chybnou konstrukcí histogramu. [7]

hřebenová distribuce – sloupce jsou střídavě vysoké a krátké, toto rozdělení je často výsledkem zaokrouhlených dat nebo nesprávně sestaveného histogramu. [7]

zkrácená nebo přerušovaná distribuce – vypadá jako normální distribuce ale má oříznuté okraje, nejčastěji bývá způsobeno např. když dodavatel vyrábí výrobky s normální distribucí a poté spoléhá na kontrolu, aby oddělil to co je v mezích specifikace a co je mimo specifikaci. [7]



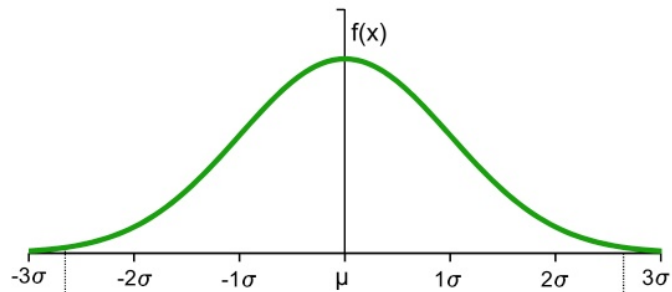
Obrázek 1 rozdělení distribucí z leva doprava: normální distribuce, doprava sešikmená distribuce, bimodální distribuce, rovinná distribuce, distribuce krajního píku, hřebenová distribuce, zkrácená nebo přerušovaná distribuce [7]

2.1.3 Box-plotové diagramy

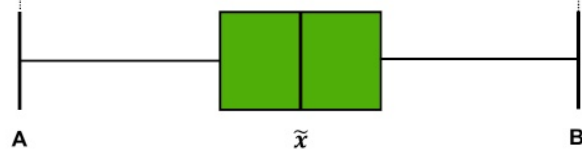
Box-plot nebo také nazýván krabicový a fousatý graf je schopen posoudit data pomocí kvantilů (popř. kvartilů). Kvantily jsou hodnoty, jenž rozdělují soubor dat na určitý počet stejně obsazených částí. Nejvíce používanými kvantily jsou kvartily. Rozlišujeme tři typy kvartilů, dolní nebo též první kvartil (odděluje nejmenších 25% dat od nejvyšších 75% dat), druhý nebo též střední kvartil (rozděluje data na dvě poloviny) a horní nebo též třetí

kvartil (oddělí nejmenších 75% dat od 25% nejvyšších dat). Je jednoduchý a vizuálně dobrý nástroj pro posouzení dat a jejich prezentaci. [8]

Graf hustoty pravděpodobnosti pro data s normálním rozdělením



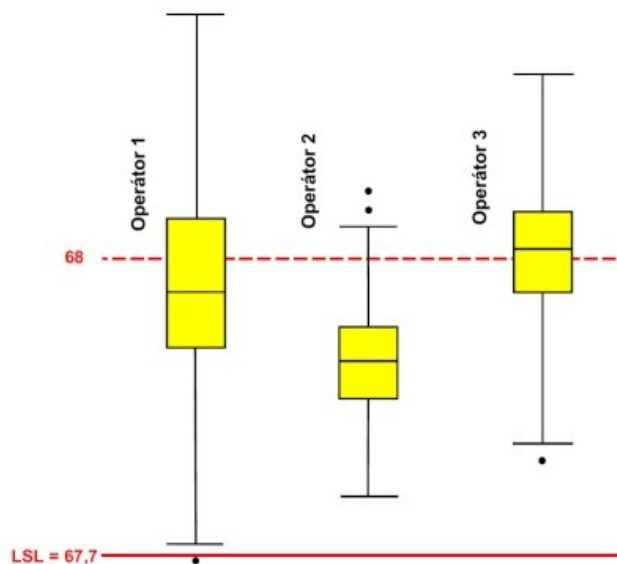
Box-Plot pro data s normálním rozdělením



Obrázek 2 Gaussovo rozdělení a boxplot [8]

Porovnání operátorů z jednotlivých směn

USL = 68,3



Obrázek 3 boxploty [8]

2.1.4 Vypočítané hodnoty při metodě EDA

Míry centrální tendence modus, medián, aritmetický průměr a míry variability směrodatná odchylka, interkvartilové rozdělení, rozpětí, variační koeficient, šikmost, špičatost. [5]

Modus je taková hodnota, která je v datovém souboru nejčastější. Např. Z hodnot 3, 2, 1, 9, 9, 5, 9, 7, 4, 2 je modus číslo 9. pokud je ve statistickém souboru více variant s maximální četností, potom modus neurčujeme. [5]

Medián – je padesátiprocentní kvantil rozděluje datový soubor (100 %) na dvě stejně velké části. 50% hodnot je menších než medián a 50% hodnot je větších nebo rovno mediánu. Medián má výhodu, že není zatížen extrémními hodnotami. [5]

Aritmetický průměr – v tomto případě bodový odhad aritmetického průměru se vypočítá pomocí vztahu. [5]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (11)$$

x_i – jednotlivé hodnoty

n – celkový počet naměřených hodnot

vlastnosti aritmetického průměru:

$$\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = 0 \quad (12)$$

Součet odchylek naměřených hodnot od aritmetického průměru je roven nule. [5]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (a + x_i)}{n} = a + \bar{x} \quad (13)$$

Když přičteme ke každé naměřené hodnotě konstantu a zvětší se o tuto aritmetický průměr. [5]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (bx_i)}{n} = b\bar{x} \quad (14)$$

Pokud vynásobíme každou naměřenou hodnotu konstantou b , tak o stejnou hodnotu se zvětší aritmetický průměr. [5]

Výhodou aritmetického průměru je, že je stanovován ze všech proměnných hodnot, proto nese maximum informací o výběrovém souboru. [5]

Nevýhodou aritmetického průměru je, citlivost na odlehlé hodnoty. [5]

Interkvartilové rozpětí – označuje se jako IQR, je definováno jako vzdálenost mezi horním a dolním kvantilem. Dolní kvartil (označen $x_{0,25}$) je také nazýván 25 procentní kvantil, 25% hodnot je menších než dolní kvartil a 75% hodnot je větších nebo rovno dolnímu kvantilu. Horní kvartil (označen $x_{0,75}$), také nazýván 75 procentní kvantil, to je takový kde 75% hodnot je menších než horní kvartil a 25% hodnot je větších nebo rovno hornímu kvantilu. [5]

$$IQR = x_{0,75} - x_{0,25} \quad (15)$$

Výběrová směrodatná odchylka – označovaná jako „s“ se vypočítá se jako odmocnina výběrového rozptylu „s²“ [5]

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (16)$$

Nevýhodou výběrové směrodatné odchylky je nemožnost porovnávat variability proměnných vyjádřených v různých jednotkách. [5]

variační rozpětí – je rozdíl mezi minimem x_{min} a maximem x_{max} [5]

$$R = x_{min} - x_{max} \quad (17)$$

Variační koeficient – bývá označován V_x , je bezrozměrný a uvádíme jej v procentech, udává z kolika procent se podílí směrodatná odchylka na aritmetickém průměru. [5]

$$V_x = \frac{s}{\bar{x}} * 100\% \quad (18)$$

Šikmost – šikmost popisuje symetrii dat, rozlišujeme na pozitivní a negativní. V distribuční křivce se mohou data na jedné straně zužovat více nežli na druhé straně, takovému zúžení můžeme říkat ocas, pokud je hodnota a_3 menší než nula jedná se o negativní šikmost, zmíněný ocas má na levé straně distribuce a pozitivní šikmost je taková u které hodnota a_3 vyšla vyšší než nula a má ocas na pravé straně distribuce. [27, 28]

$$a_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{N\sigma^3} \quad (19)$$

Špičatost – popisuje jaká je koncentrace dat kolem středu, pokud je špičatost a_4 kladná, znamená to, že většina hodnot náhodné veličiny leží blízko střední hodnoty a křivka je špičatější. Je-li špičatost a_4 záporná je distribuční křivka plošší. [28,29]

$$a_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{N\sigma^4} - 3 \quad (20)$$

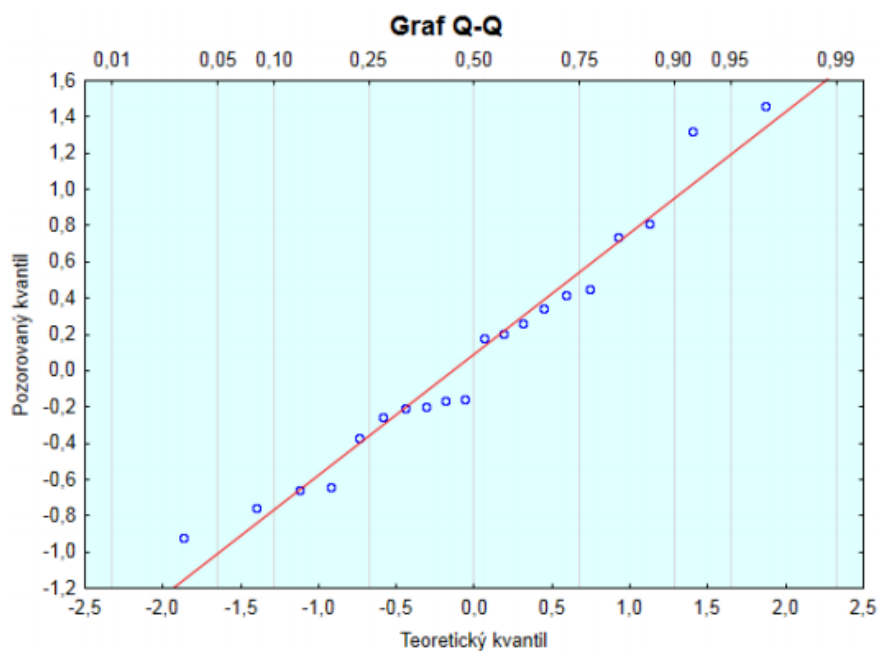
2.2 Testování normalit

Lze zjistit, jestli naměřená data pocházejí z gausova normálního rozdělení.

Nejlépe lze graficky poznat, zda se jedná o normální rozdělení či nikoliv pomocí Q-Q GRAFU nebo pravděpodobnostního grafu, který se nachází v programu minitab. Zda se jedná o normální rozdělení nebo ne, je nutno statisticky dokázat.

2.2.1 Q-Q Graf

Q-Q znamená kvantil – kvantil. Osa x má měřítko podle naměřených hodnot, osa y popisuje pozorovaný kvantil. Q-Q graf má v horní části druhé měřítko osy x, je nerovnoměrné a vyjadřuje u kterého kvantilu se s hodnotami pohybujeme. Čím blíže jsou body přímce tím víc se blíží k teoretickému rozdělení. [9]



Obrázek 4 příklad Q-Q grafu [10]

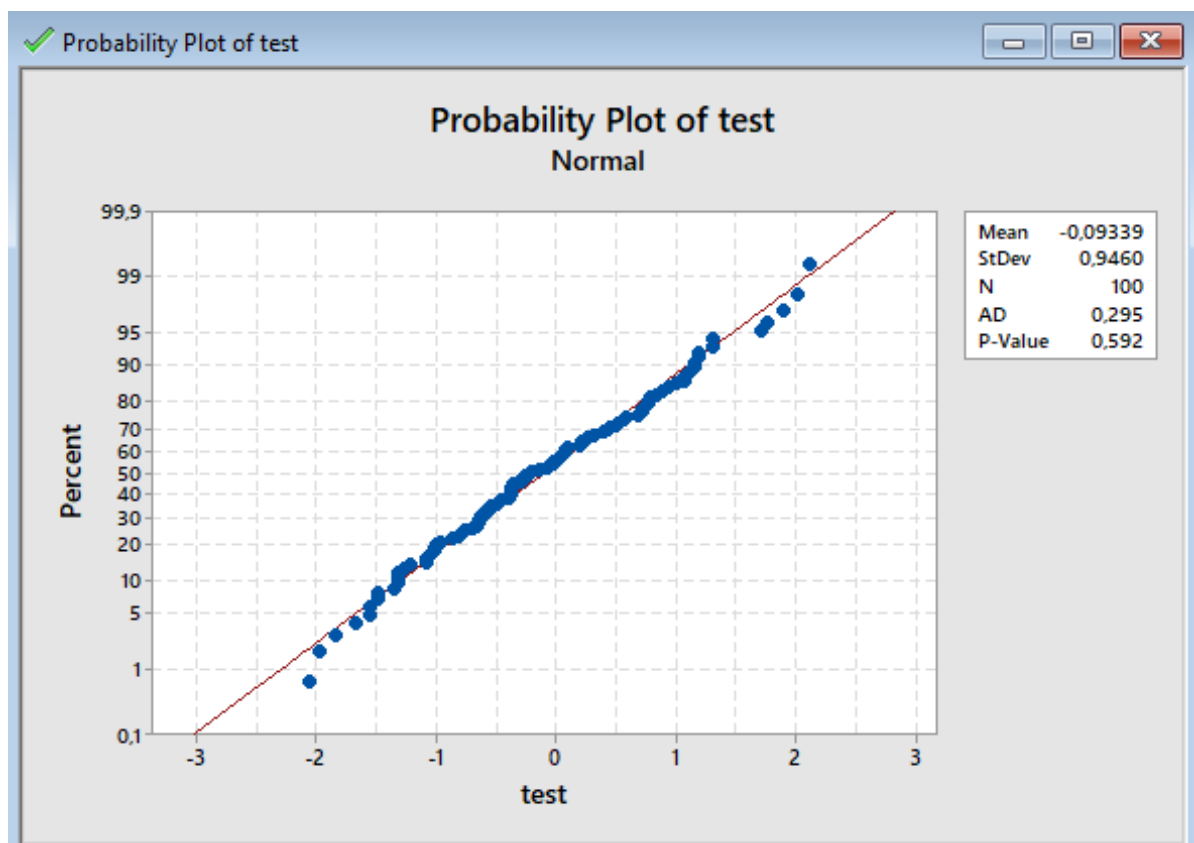
2.2.2 Praviděpodobnostní graf v minitabu

Osa x reprezentuje naměřené hodnoty x_i sledované veličiny srovnané podle velikosti, osa y představuje hodnoty empirické distribuční funkce vynášené na nelineární stupnici, vycházející z předpokladu normality [10]

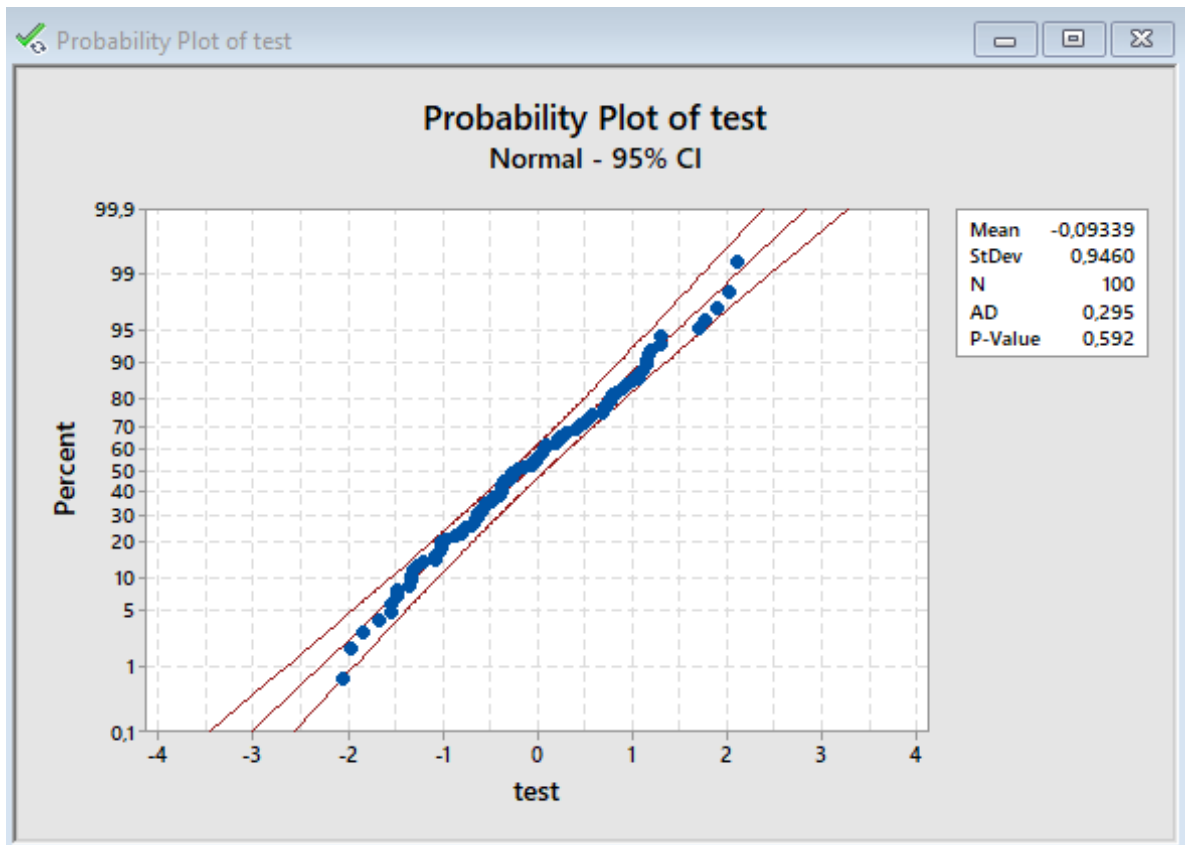
Rovnice proložené regresní přímkou:

$$E\{x_{(i)}\} = \mu + \sigma u_{(i)} \quad (21)$$

Stejně jako u Q-Q grafu, čím jsou blíže přímce, tím víc odpovídají normálnímu rozdělení. Graf je doplněn o výsledky některého z testů normality nebo většinou 95% pásem intervalu spolehlivosti. [10]



Obrázek 5 graf z minitabu ze 100 vygenerovaných hodnot normálního rozdělení



Obrázek 6 graf z minitabu ze 100 vygenerovaných hodnot normálního rozdělení s pásem intervalu spolehlivosti

2.2.3 Statistické testy normality

Anderson –Darlingův:

Tento test se využívá pro ověření, jestli hodnoty výběru pochází z určitého teoretického rozdělení (nemusí být pouze normální). Společně se Shapiro- Wilk testem se jedná o jeden z nejsilnějších statistických testů rozdělení. [11]

Shapiro – Wilkův:

Jeden z nejčastějších testů využívaných v různých softwarech. Uvádí se, že Shapiro – Wilkův test je méně spolehlivý při testování normality výběru s velkým množstvím identických hodnot. [11]

Další výhodou je, že není nutné specifikovat střední hodnotu a rozptyl. Zvládá testovat výběrový soubor s velikostí od 3 do 5000 vzorků. [12]

Kolmogorov – Smirnovův:

Test je využíván pro ověření, jestliže hodnoty výběru pochází z určitého teoretického výběru, rozdělení nemusí nutně být normální. Tato metoda porovnává vzdálenosti mezi distribuční funkcí na hodnotách výběru (četností) a distribuční funkcí teoretického rozdělení. Tento test se hodí i pro ověření, jestli data pocházející ze dvou výběrových souborů původně pocházejí ze stejného rozdělení. Tento test je pouze pravostranný [11]

Je slabším testem než je test Shapiro – Wilkův ale umožňuje porovnávat soubor i s více než 5000 vzorky. [12]

2.3 Centrální limitní teorém

Je to zákon, který říká, že pokud je provedeno velké množství výběrů o specifické velikosti opírající se o pravděpodobnostní princip, potom rozložení průměrů z výběrových souborů se bude blížit normálnímu rozdělení a výsledný celkový průměr z těchto průměrů bude podobný průměru v populaci. Nezávisí přitom na samotných hodnotách a jejich velikosti a jak jsou rozloženy. V podstatě lze říct, že pokud budu mít jakékoliv rozdělení základního souboru, střední hodnota výběrového souboru bude vždy normální, pokud rozsah zmíněného souboru dosáhne minimální velikosti. [14]

2.4 Testy outlierů

Outlier je datový bod, který je vzdálen od jiných pozorování. Tato odchylka může být způsobena proměnlivostí měření nebo může být interpretována jako experimentální chyba. Takovou chybu můžeme ze souboru vyloučit. Odlehlé hodnoty se klidně mohou objevit náhodně v jakékoliv distribuci, ale většinou poukazují buďto na chybu měření nebo že měřený soubor vykazuje zešikmenou distribuci. [14]

Na odhalení outlieru mohu použít metodu EDA a přímo z ní boxplotový graf, kdy odlehlou hodnotu znázorní hvězdička. Analogicky je potom možné využít následující postup: Za další je statisticky nutno dokázat, že se jedná o hrubou chybu nebo jen outlier. Z datového souboru vypočítám dohad aritmetického průměru a směrodatnou odchylku poté seřadím soubory od minima po maximum, zvolím hladinu významnosti α , a určím výpočtem hodnotu testovacího kritéria pro minimální a maximální hodnotu. [5]

$$T_n = \frac{x_n - \bar{x}}{s} \quad (22)$$

$$T_1 = \frac{\bar{x} - x_1}{s} \quad (23)$$

Ze statistických tabulek se zvolí kritická hodnota pro danou hladinu významnosti a rozsahu výběru. Je formulována nulová a alternativní hypotéza a poté je nutno provést posouzení a závěr. [5]

2.5 F- test

Nazýván také jako test shody rozptylů. Využívá metody testování hypotéz, kdy nulová hypotéza H_0 předpokládá rovnost rozptylů, proti tomu je alternativní hypotéza, která předpokládá že se rozptyly liší. Taktéž předpokládá, že oba výběry jsou nezávislé a pochází z normálního rozdělení. Pro testování rozptylů můžeme použít klasický Fisherův-Snedecorův F – test, modifikovaný Fisherův-Snedecorův (tento test není tak citlivý na normální rozdělení jako klasický F-test), F – test a robustní Jackknife F-test (používá se v případě, kdy jsou v souboru odlehlé hodnoty, které nemůžeme vyloučit). [13]

2.6 T-test

Testuje shodu středních hodnot dvou souborů, studentův t-test testuje nulovou hypotézu H_0 s shodností aritmetických průměrů proti alternativní hypotéze H_a , která předpokládá neshodnost aritmetických průměrů. Můžeme použít čtyři t-testy, každý je určen pro jiný účel. Klasický studentův test používá se v případě kdy mají obě testované hodnoty Gaussovo rozdělení, modifikovaný studentův je používán v případě, že výběry se odchylují od normálního rozdělení nebo se jedno z rozdělení významně liší v šikmosti od druhého rozdělení, robustní Jackknife test je použit v případě že ve výběrech jsou data odlehlá, test pro homoskedasticitu (konstantnost rozptylu) předpokládá H_0 : rovnost aritmetických průměrů a rovnost rozptylů oproti tomu robustní Jackknife test polohy pro heteroskedasticitu (nekonstantnost rozptylu, různorozptylovost) je využíván při nerovnosti rozptylů a různé velikosti rozsahů. [13]

2.7 Clustrová analýza dat

Může být využita k posouzení, jak se výrobky liší od konkurenčních nebo srovnávání přesnosti dvou měřidel k tomu je ale potřeba určit shlukovací kritérium (jakýkoliv smysluplný předmět pozorování). Clustrová analýza dat je extrémně citlivá na počet hodnot a odchýlené hodnoty. Oproti tomu však systematická chyba ani velikost měřítka

nebude mít vliv na dendrogram protože nebude měnit pearsonův korelační koeficient. Podobnost shluků je měřena různými způsoby, nejčastěji se využívá metody Euklidovské vzdálenosti, která je též nazývána jako geometrická metrika nebo Hammingova metrika které bývá nazývána jako Manhattanská metrika. Čím větší je hodnota vzdálenosti, tím menší je podobnost mezi shluky. [5]

Mezi nejčastější aglomerační způsoby výstavby dendrogramu shluků patří metoda nejbližšího souseda, metoda nejvzdálenějšího souseda, metoda průměrového linkování, Wardova metoda.

Metoda nejbližšího souseda – vzdálenost shluků je určena pomocí dvou objektů z různých shluků jejichž vzdálenost je nejkratší. Z této metody vycházejí dlouhé řetězce podobnosti.

Metoda nejvzdálenějšího souseda– vzdálenost shluků je určena pomocí dvou objektů z různých shluků, jejichž vzdálenost je nejdelší. V případě, že objekty tvoří oddělené shluky funguje tato metoda velmi dobře naopak se tato metoda nehodí, pokud se vyskytuje tendence k řetězení.

Metoda průměrného linkování–ze vzdálenosti všech párů objektů je vypočítána průměrná hodnota, která určuje vzdálenost shluku.

Wardova metoda –Na základně sumy čtverců přes všechny proměnné mezi dvěma shluky je vytvořena mezi těmito shluky vzdálenost. [5]

3 OBRÁBĚNÍ

3.1 Konvenční

3.1.1 Soustružení

Hlavní pohyb u soustružení představuje rotace obrobku, vedlejšími pohyby jsou podélný posuv, který je vykonáván souběžně s osou obrobku a příčný posuv, který je vykonáván kolmo na osu obrobku. Výsledkem podélného posuvu je válcová plocha a u příčného posuvu je to čelní rovinná plocha. [20]

Druhy soustruhů:

Poloautomatické soustruhy (hrotové, sklíčidlové), čelní soustruh, svislý soustruh, revolverový soustruh, hrotový soustruh, automatické soustruhy (bezkrivkové, křížové, revolverové, zapichovací), speciální soustruhy (bubnové, upichovací, podsoustružovací). [20]

3.1.2 Vyvrtávání

Hlavním pohybem u vyvrtávání je pohyb rotační. Rotační pohyb provádí na vodorovných vyvrtávačkách nástroj, který je upnutý ve vřetenu, na soustruzích tento rotační pohyb vykonává obrobek. Na soustruzích, posuv provádí nástroj, jenž je upnutý v nožové hlavě. Naopak na vodorovných vyvrtávačkách je posuv vykonáván nástrojem a to vysouváním pinoly se vřetenem, nebo obrobek, který je upnut na pracovním stole vodorovné vyvrtávačky. [20]

3.1.3 Broušení

Proces broušení je považován za dokončovací operaci při obrábění, kdy se odebírají drobné částičky třísky mnoho břitovým nástrojem, který se nazývá brusným kotoučem. Díky tomuto procesu dochází k tvorbě přesných rozměrů a určité drsnosti povrchu. Broušením je možné obnovovat řezivost nástrojů to je nazýváno ostřením. [21]

Podle druhu práce dělíme brusky na stojanové, hrotové, bezhroté, brusky na díry, rovinné, brusky na ostření nástrojů, speciální brusky. [22]

3.1.4 Hoblování a obrázení

Používá se při potřebě obrábět ploché povrchy nástrojem s jedním břitem. Hlavní pohyb vykonává obrobek a je přímočarý vratný, při obrázení je pohyb vykonáván nástrojem a je též přímočarý a vratný. [20]

Druhy hoblovek:

Dvoustranné, jednostranné, speciální

Druhy obrázeček:

Svislé, vodorovné [20]

3.1.5 Protahování a protlačování

Jedná se o dokončovací proces při obrábění, kdy se velice produktivním způsobem obrábí například tvarové díry nebo taktéž tvarové plochy. Rozdíl mezi těmito dvěma metodami je v konstrukci využívaných nástrojů, také je rozlišuje velikost úběru materiálu, který je možné odebrat na jeden pracovní zdvih a taky se rozlišují ve způsobu upnutí nástroje. [19]

3.1.6 Vrtání

Hlavní pohyb u vrtání je otáčivý řezný, nástroj vykonává rotaci i posuv. Za zvláštnost můžeme považovat řeznou rychlost, která bývá na obvodu nástroje nejvyšší a čím je vzdálenost k ose menší tím se zmenšuje i obvodová rychlost která je nakonec po dosáhnutí osy nulová, tato zvláštnost platí pro všechny osové operace jako je vyhrubování, vystružování apod. [20]

3.1.7 Frézování

Tato metoda odebírá materiál obrobku břitem nástroje, který se otáčí kolem své osy. U velké části případů je posuv vykonáván převážně kolmo k ose nástroje. Moderní stroje mohou pohyb vykonávat ve všech směrech, které jsou snadno měnitelné. Proces úběru materiálu není souvislý a jednotlivé zuby frézy odřezávají krátké třísky jiné tloušťky. Proces frézování rozlišujeme na sousledné a nesousledné. [19]

Sousledné frézování

Nástroj se otáčí ve směru posuvu obrobku. Když zub frézy vniká do obrobku vzniká maximální tloušťka třísky. Zub při vycházení z obrobku vytváří obrobenou plochu.

Nesousledné obrábění

Nástroj se otáčí proti směru posuvu obrobku. Zde naopak zub při vstupu do obrobku tvoří obrobenou plochu. Tloušťka třísky se poté postupně zvětšuje z minimální hodnoty po maximální. [19]

Druhy frézky:

Rovinné (portálové, stolové), Konzolové (univerzální, horizontální, vertikální), speciální (odvalovací, frézky na vačky, pantografické) [20]

Druhy frézy:

Tvarové, kotoučové, kuželové, čelní, válcové [20]

3.2 Nekonvenční

3.2.1 Elektroerozivní obrábění

Materiál z obrobku je odebírán vlivem elektrického výboje, který vzniká mezi zmíněným obrobkem a nástrojem. Tento proces se děje v kapalném dielektriku, které má za účel vyplnit pracovní mezeru, odplavuje odstraněný materiál, a zároveň chladí. Pohyb nástroje je kolmo k povrchu, kde se tvar nástroje kopíruje do povrchu obrobku. Podmínkou pro obrobitelnost materiálů je elektrická vodivost. Elektroda bývá nejčastěji vyrobena z grafitu nebo také mědi. Tato technologie je nejčastěji používána u kusové výroby se složitými tvary a to kvůli opotřebení nástroje. [23]

3.2.2 Elektrochemické obrábění

Principem se jedná o opak galvanického pokovení s několika rozdíly. Nástroj je připojen jako katoda naopak obrobek je připojen jako anoda. Elektrolyt protéká v mezeře vytvořené dvěma elektrodami, a to s celkem vysokou rychlostí kolem 10 m/s. Anoda je při průchodu stejnosměrného elektrického proudu řízeně rozpouštěna. U rozpouštění nástroje (katody), nastává kopírování členitého tvaru nástroje. Proud, který protéká obvodem je tisíckrát vyšší než proud, který je používán u galvanického pokovení. [23]

3.2.3 Obrábění ultrazvukem

O ultrazvuku je možné říci, že jde o akustické vlnění, které je nad hladinou slyšitelnosti lidí. Nástroj je rozkmitáván ultrazvukovými vlnami, které mají frekvenci kolem 20-30

kHz. Brusná zrna, které vylamují mikročástice z obráběného materiálu jsou rozptýlena ve vodě a odplavují odebraný materiál. Proudící voda k tomuto procesu způsobuje kavitaci a tím zvyšuje účinnost obrábění. Otvor vytvořen touto metodou má tvar nástroje. [23, 24]

3.2.4 Obrábění laserem

Laser je stimulovaný vysokoenergetický světelný paprsek, který je zaostřen do velmi malé plochy, která má průměr okolo 0,2 až 0,25 mm. Na obráběném povrchu se světelné záření přemění na teplo, jenž je kvůli vlastní vysoké teplotě v řádu 10^4 °C způsobí odpaření a roztavení materiálu. [23, 26]

Laserové gravírování

Během procesu gravírování laserem, paprsek odstraňuje materiál a vyvábí prohlubeň s různými povrchovými strukturami. Tavenina na okraji je vytlačována tlakem par odpařujícího a při ochlazení tuhne. Gravírování laserem se často používá v automobilovém průmyslu nebo elektromechanice. Typická hloubka laserového gravírování je 10 až 50 μm . Laser je bezkontaktní a přesná metoda. [30]

3.2.5 Obrábění paprskem elektronů

Paprsek elektronů je urychlen a soustředěn na povrch obráběné součásti, kde je přeměněn na teplo a nastává tavení materiálu. Aby technologie správně a účinně fungovala je potřeba tento proces provádět ve vakuu. Je možné obrábět elektricky nevodivé tak i vodivé materiály s menší hloubkou řezu od 0,5 po 1 mm. [23]

3.2.6 Obrábění plazmou

Plazma je elektricky vodivý stav plynu, který může vzniknout jako výboj mezi anodou a katodou nebo také při ionizaci plynu za vysoké teploty na 20000°C. Když se plazma setká s obrobkem dojde k tavení a poté odtékání obráběného materiálu. Plazma bývá také označována jako čtvrté skupenství plynu, které se na zemi téměř nevyskytuje. [23, 24, 25]

3.2.7 Obrábění vodním paprskem

Vodní paprsek pracuje na principu abraze, která je vyvolávána v obráběném materiálu, paprsek vystupuje z úzké trysky pod vysokým tlakem. Rychlost paprsku převyšuje rychlost

zvuku. Aby se zvýšila účinnost abraze paprsku tak je do kapaliny přidáváno různé brusivo.
[23, 25]

4 CÍLE PRÁCE

Cílem práce bylo vyhodnocení povrchů gravírovaných různými lasery s různými nastaveními. K vyhodnocení povrchů byly použity statistické metody s jejichž pomocí je možné zjistit, který povrch je nejlepší.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 HODNOTY

Naměřené parametry drsnosti Sa(aritmetický průměr výšky plochy)a Sz (maximální výška plochy), označeny pořadovými číslicemi, reprezentují vzorky, označeny stejnými pořadovými číslicemi ve sloupci test, které byly gravírovány různými lasery s různými nastaveními. Hodnoty Sa a Sz byly naměřeny na bezkontaktním drsnoměru ZygonewviewNx.

Tabulka 1 číslo vzorků a typy laserů

Test	Typ laseru	Čas gravírování [s]	Rychlost gravírování [mm/s]	Frekvence laseru [kHz]	Výkon [%]	Doba trvání [ns]
01	FiberFly30W	18,3	1100	30	20	-
02	FiberFly30W	17,1	1200	30	15	-
03	FiberFly VP 30W	23,8	800	30	50	50
04	FiberFly VP 30W	23,8	800	30	50	20
05	FiberFly VP 30W	23,8	800	30	50	8
06	FiberFly VP 30W	23,7	800	30	50	4
07	FlyAir Green Wave	15,3	1200	10	65	-
08	FlyAir Green Wave	14,6	1200	10	80	-
09	FiberFly50WPico	19,4	1000	500	50	-
10	FlyAir Green Wave	19,4	1000	500	90	-
11	FlyAir Green Wave	12,1	2000	500	50	-

6 VYHODNOCENÍ HODNOT SA

6.1 Naměřená data Sa

Tabulka 2 Naměřená data parametru drsnosti Sa

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Sa_01 [μm]	0,777	0,861	0,751	0,813	0,763	0,824	0,864	0,842	0,789	0,842
Sa_02 [μm]	0,570	0,570	0,577	0,558	0,595	0,608	0,559	0,598	0,554	0,588
Sa_03 [μm]	0,664	0,624	0,713	0,642	0,685	0,695	0,705	0,675	0,697	0,632
Sa_04 [μm]	0,391	0,373	0,406	0,406	0,401	0,405	0,381	0,409	0,389	0,405
Sa_05 [μm]	0,416	0,442	0,411	0,488	0,475	0,444	0,414	0,426	0,436	0,450
Sa_06 [μm]	0,256	0,293	0,299	0,286	0,328	0,317	0,302	0,311	0,323	0,282
Sa_07 [μm]	0,397	0,367	0,418	0,353	0,381	0,394	0,417	0,355	0,368	0,370
Sa_08 [μm]	0,463	0,492	0,499	0,483	0,477	0,499	0,473	0,479	0,500	0,471
Sa_09 [μm]	0,453	0,459	0,465	0,449	0,463	0,462	0,460	0,444	0,460	0,464
Sa_10 [μm]	0,733	0,737	0,747	0,739	0,739	0,744	0,743	0,739	0,739	0,738
Sa_11 [μm]	0,448	0,450	0,449	0,457	0,448	0,477	0,472	0,465	0,468	0,474

6.2 Metodika EDA

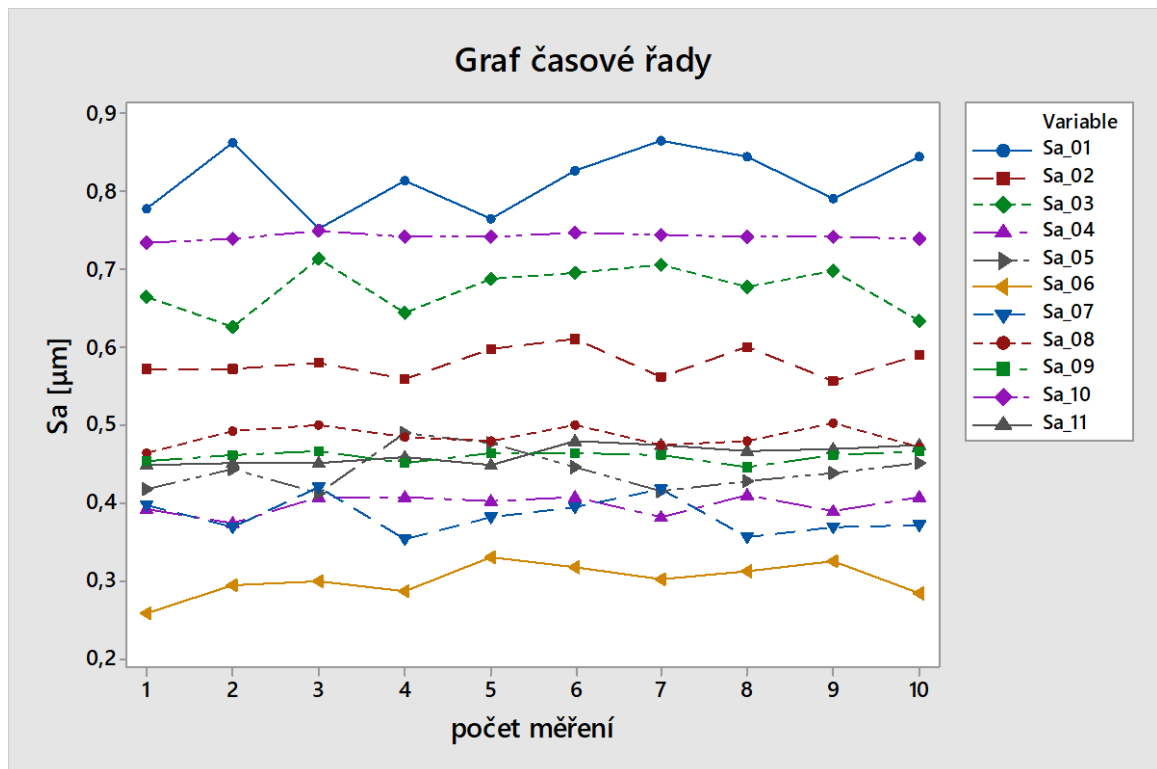
6.2.1 Vypočítané hodnoty metodiky EDA

Tabulka 3 Vypočítané hodnoty metodiky EDA

	arit.pr ům	směr. Odch	min	Q1	Mediá n	Q3	max	Var. Rozpě tí	IQR	Šikm	Špič
Sa_01 [μm]	0,813	0,041	0,751	0,774	0,819	0,847	0,864	0,113	0,073	-0,230	-1,450
Sa_02 [μm]	0,578	0,019	0,554	0,559	0,574	0,596	0,608	0,054	0,037	0,300	-1,300
Sa_03 [μm]	0,673	0,032	0,624	0,640	0,680	0,699	0,713	0,089	0,060	-0,440	-1,300
Sa_04 [μm]	0,397	0,012	0,373	0,387	0,403	0,406	0,409	0,036	0,019	-0,930	-0,410
Sa_05 [μm]	0,440	0,026	0,411	0,415	0,439	0,456	0,488	0,770	0,041	0,750	-0,21
Sa_06 [μm]	0,300	0,022	0,256	0,285	0,301	0,319	0,328	0,072	0,034	-0,680	0,420

	arit.pr ům	směr. Odch	min	Q1	Mediá n	Q3	max	Var. Rozpě tí	IQR	Šikm.	Špič.
Sa_07 [μm]	0,382	0,024	0,353	0,364	0,376	0,402	0,418	0,065	0,038	0,045	-1,120
Sa_08 [μm]	0,484	0,013	0,463	0,473	0,481	0,499	0,500	0,037	0,027	0,000	-1,410
Sa_09 [μm]	0,458	0,007	0,444	0,452	0,460	0,463	0,465	0,021	0,011	-1,110	1,210
Sa_10 [μm]	0,740	0,004	0,733	0,738	0,739	0,743	0,747	0,014	0,006	0,310	0,480
Sa_11 [μm]	0,461	0,012	0,448	0,449	0,461	0,473	0,477	0,029	0,024	0,110	-1,940

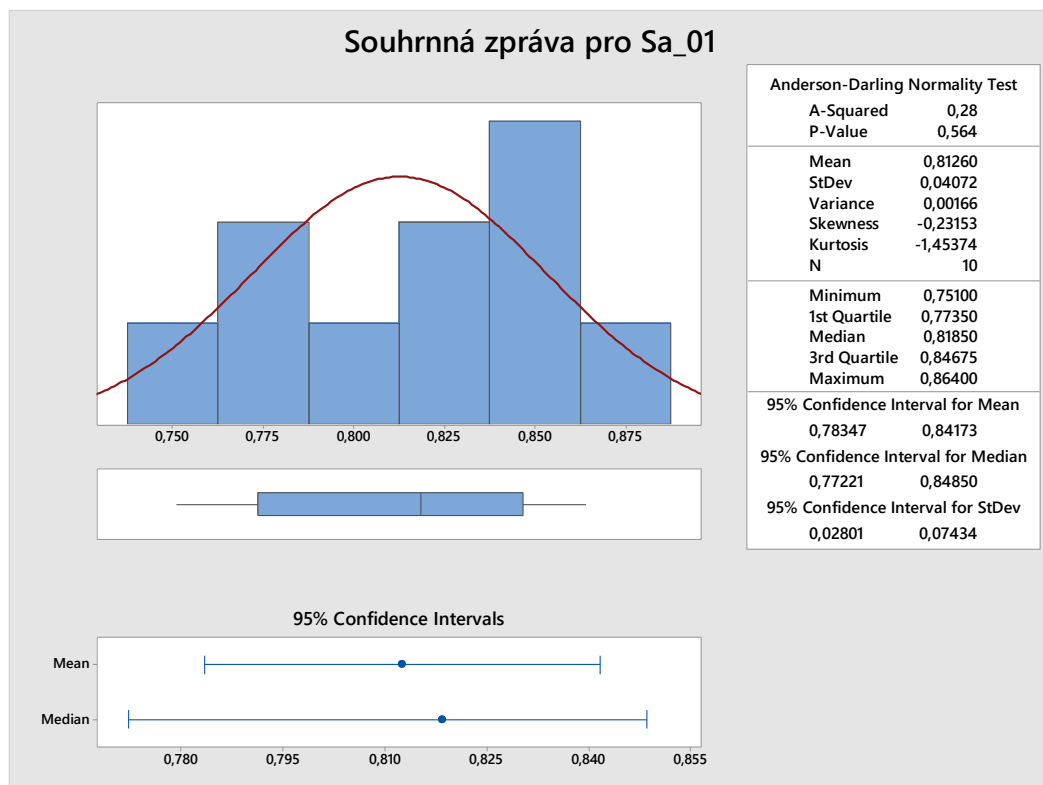
6.2.2 Metodika EDA graf časové řady



Obrázek 7 Graf časové řady parametru Sa

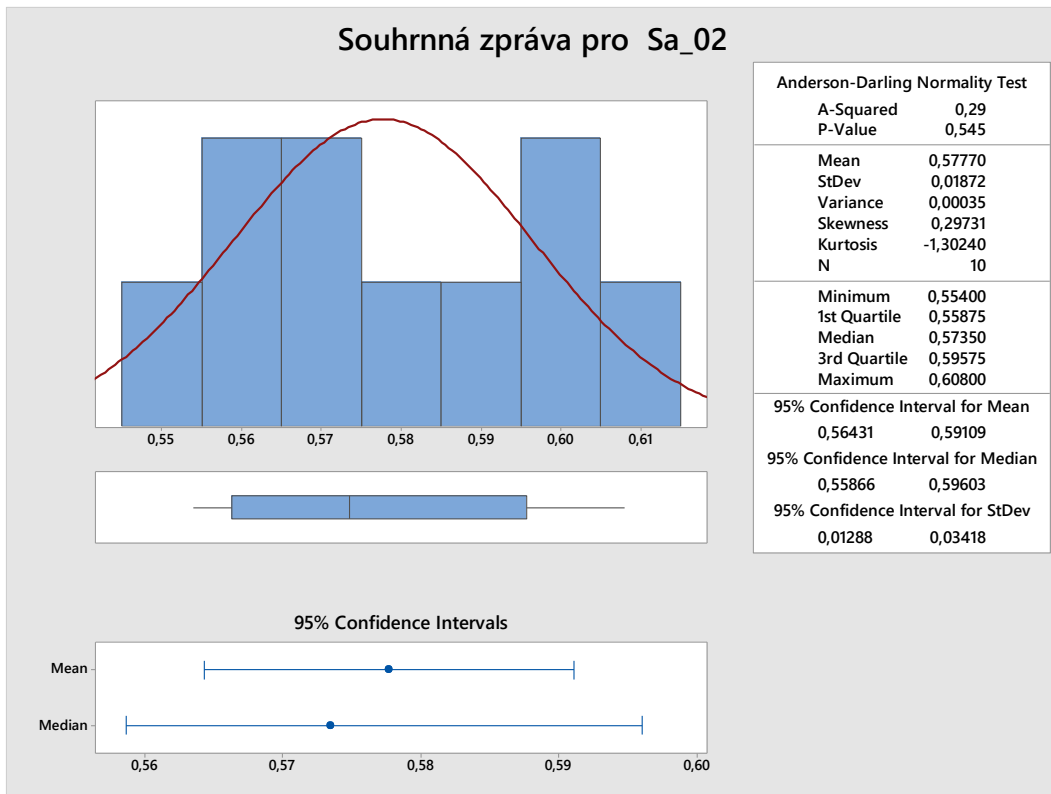
Podle grafu časové řady vychází nejlépe parametr drsnosti Sa₀₆

6.2.3 Metodika EDA souhrnná zpráva

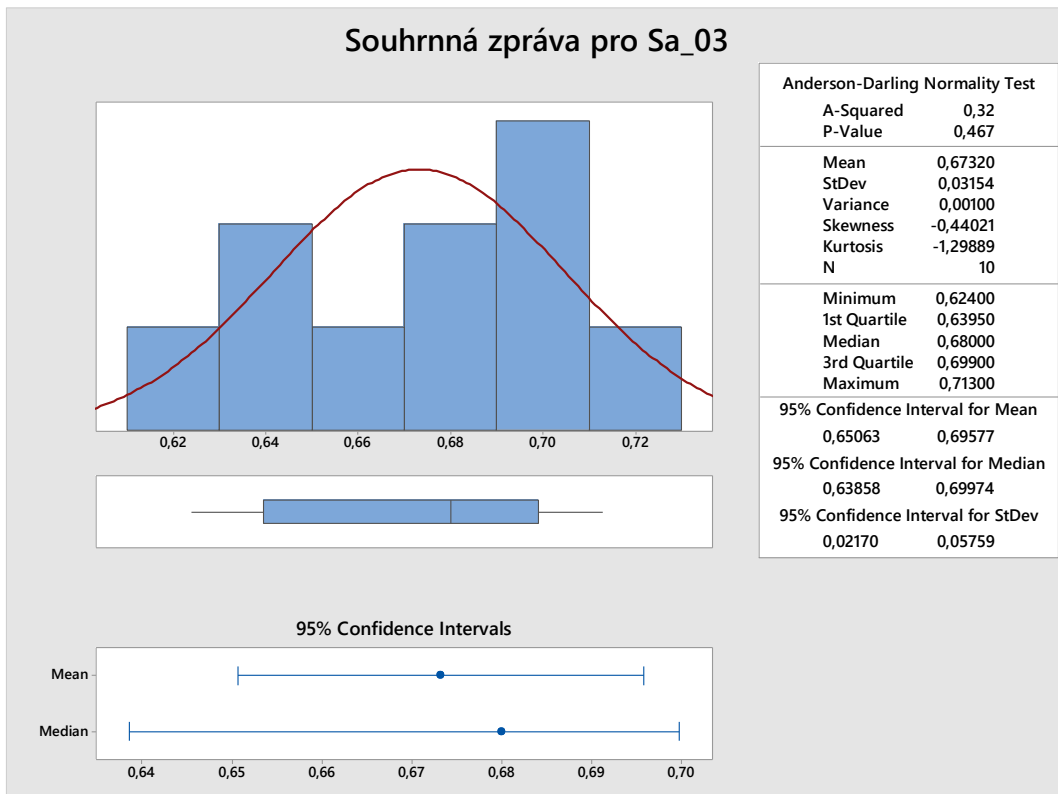


Obrázek 8 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa₀₁

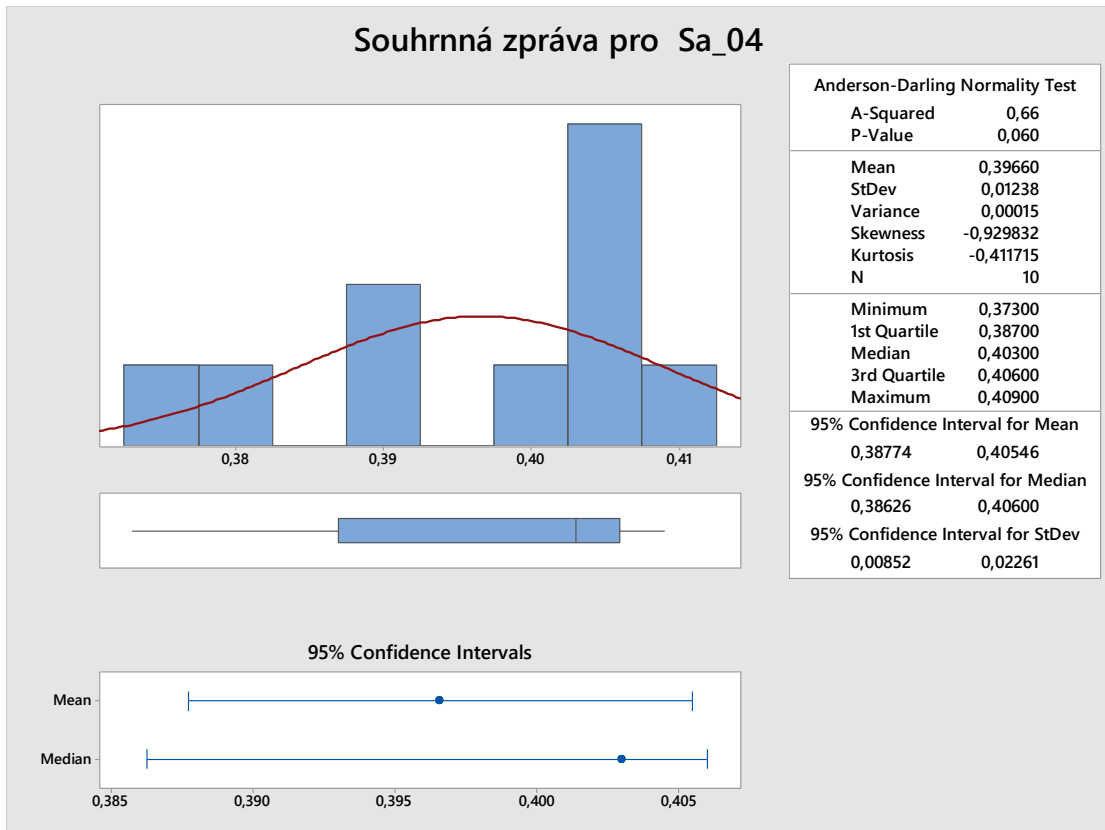
Je možné konstatovat, že naměřená data Sa₁ vykazují normální rozdělení, a to při Anderson-Darlingově testu normality, kdy nulová hypotéza říká, že data pocházejí z normálního rozdělení a oproti tomu stojí alternativní hypotéza která říká, že data nepocházejí z normálního rozdělení. S možností omylu 5% můžeme konstatovat, že nezamítáme nulovou hypotézu, protože hodnota $p = 0,564$ je větší než možnost omylu 0,05. Dále byly vypočítány hodnoty aritmetického průměru, směrodatné odchylky, šikmosti, špičatosti, byly zobrazeny hodnoty minima, prvního kvartilu, mediánu, třetího kvartilu a maxima a také byly vypočítány koefidenční intervaly pro aritmetický průměr, medián, směrodatnou odchylku. Tento postup byl proveden u následujících obrázků, kdy byla použita souhrnná zpráva.



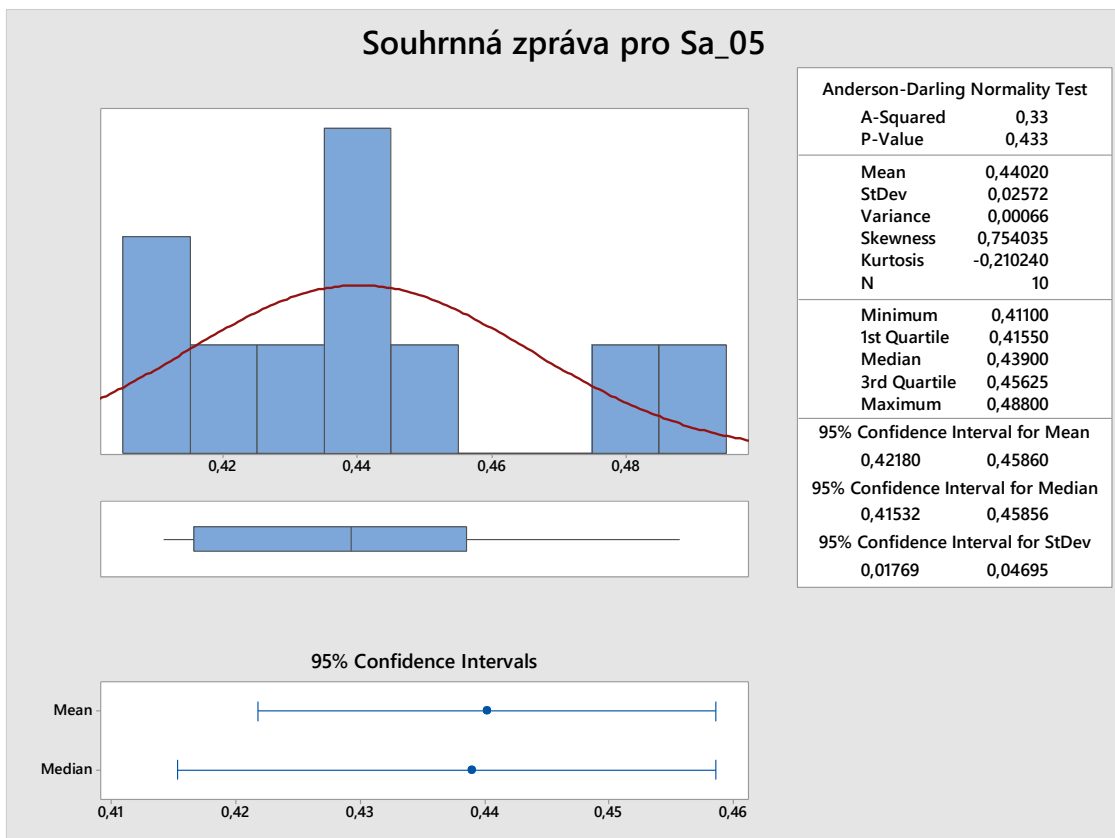
Obrázek 9 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_02



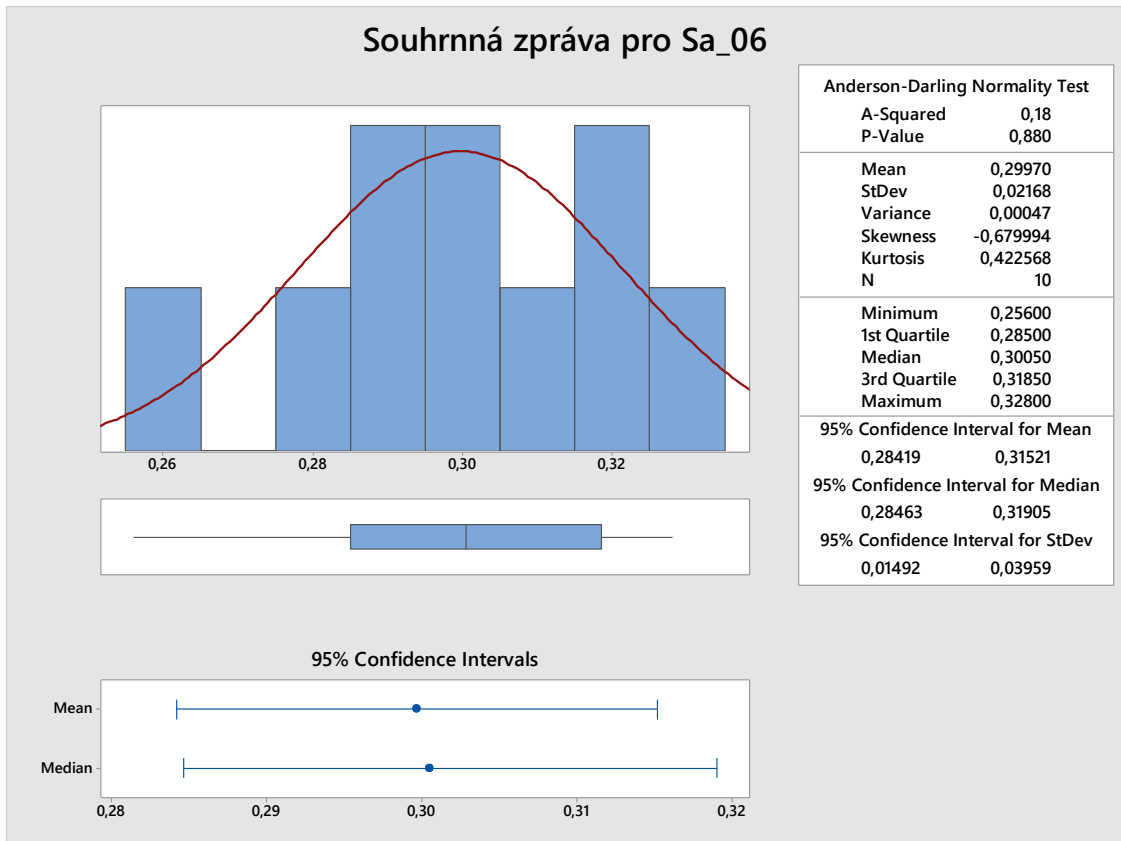
Obrázek 10 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_03



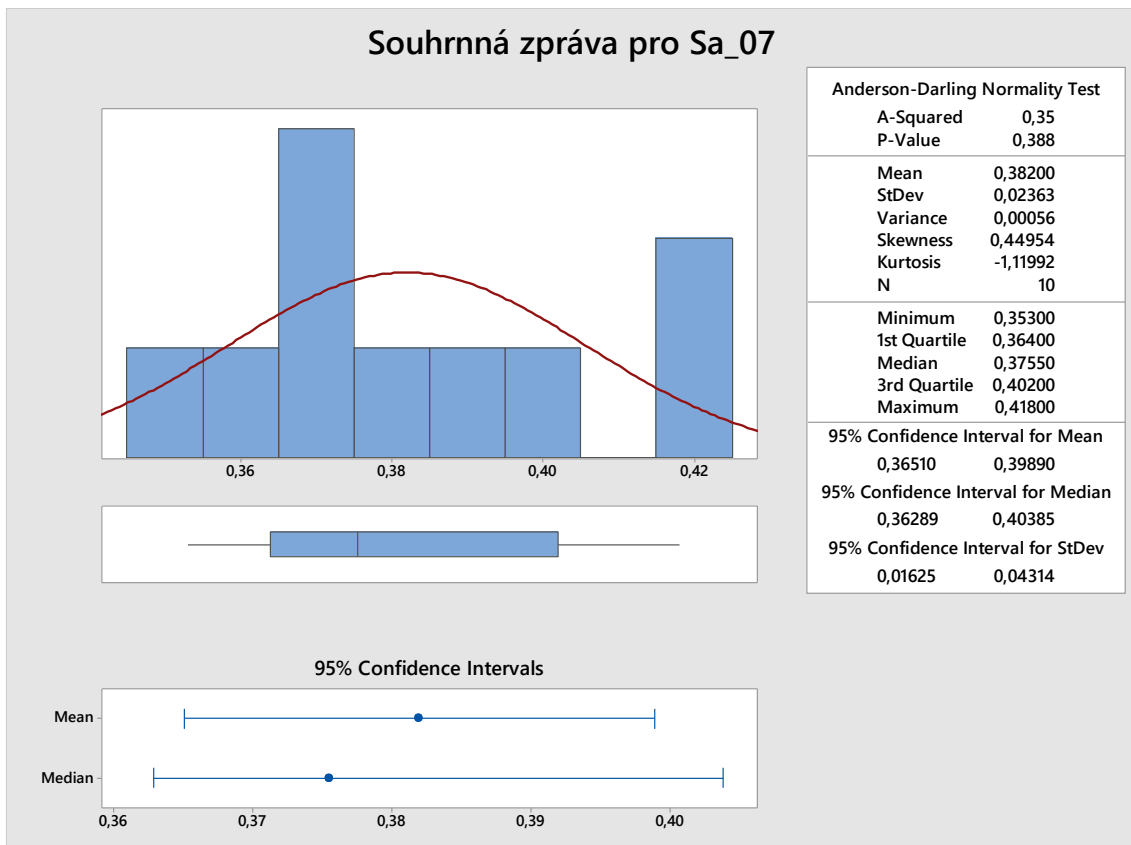
Obrázek 11 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_04



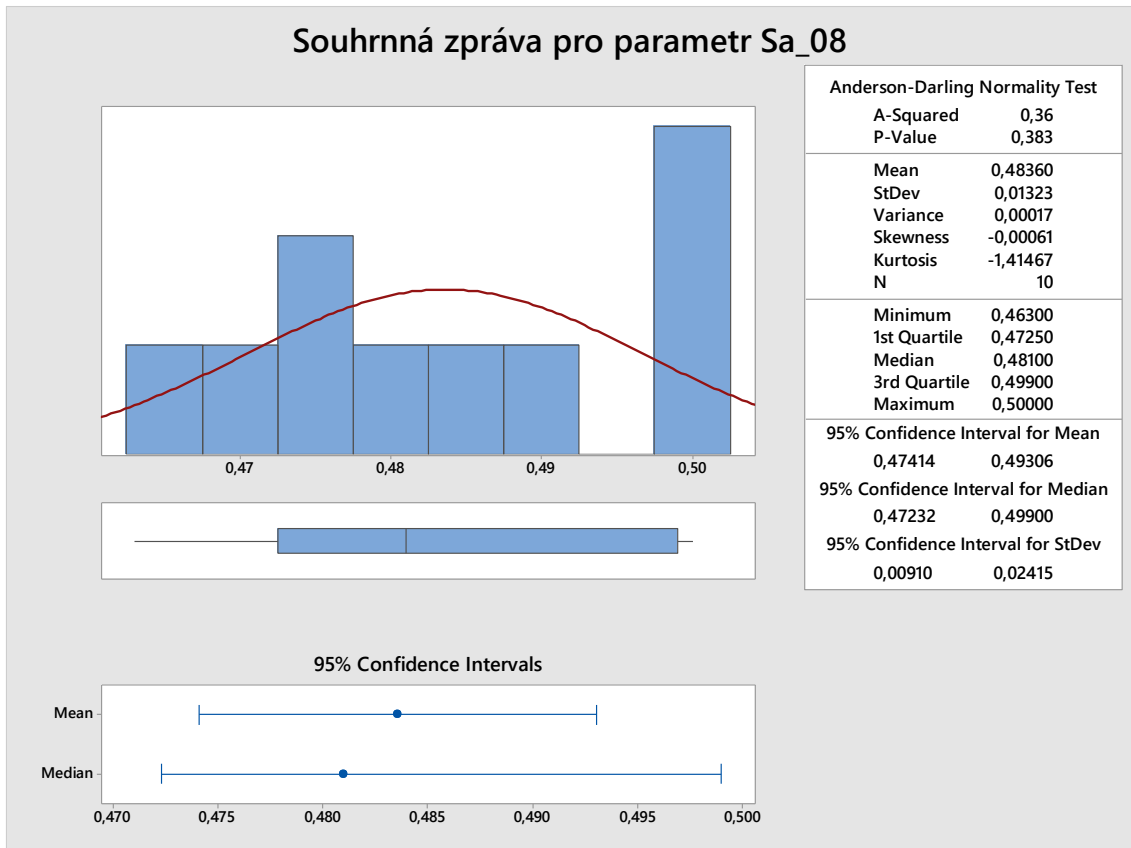
Obrázek 12 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_05



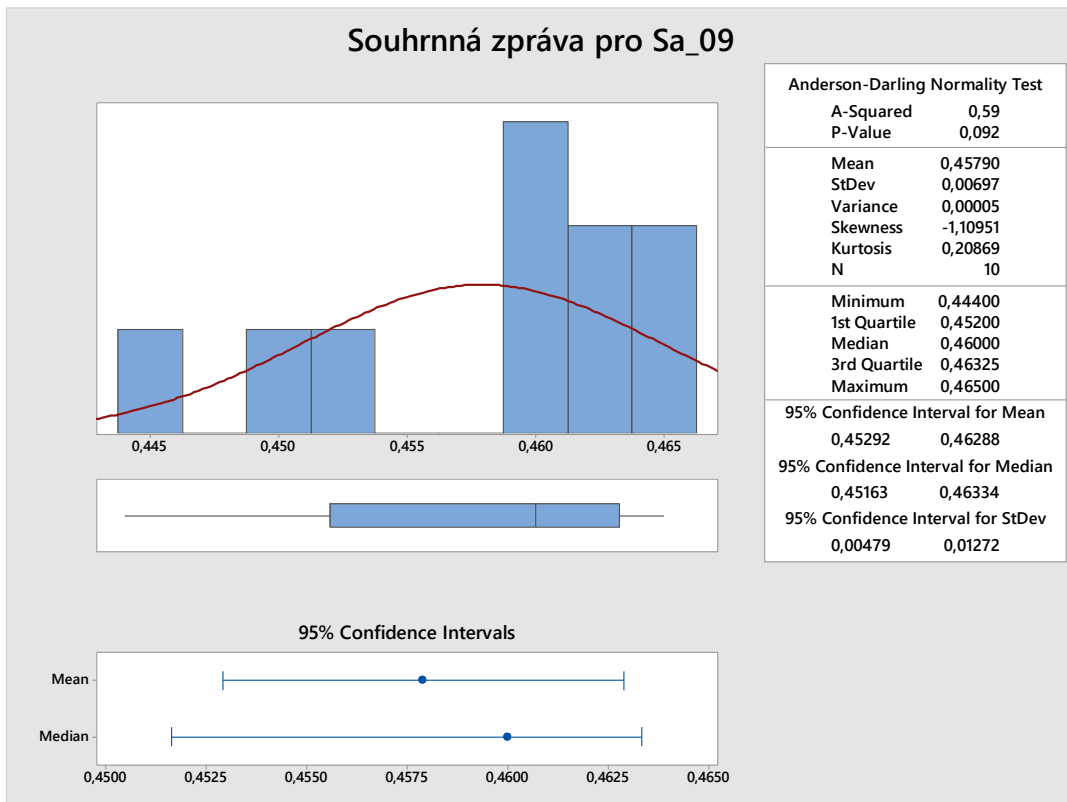
Obrázek 13 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_06



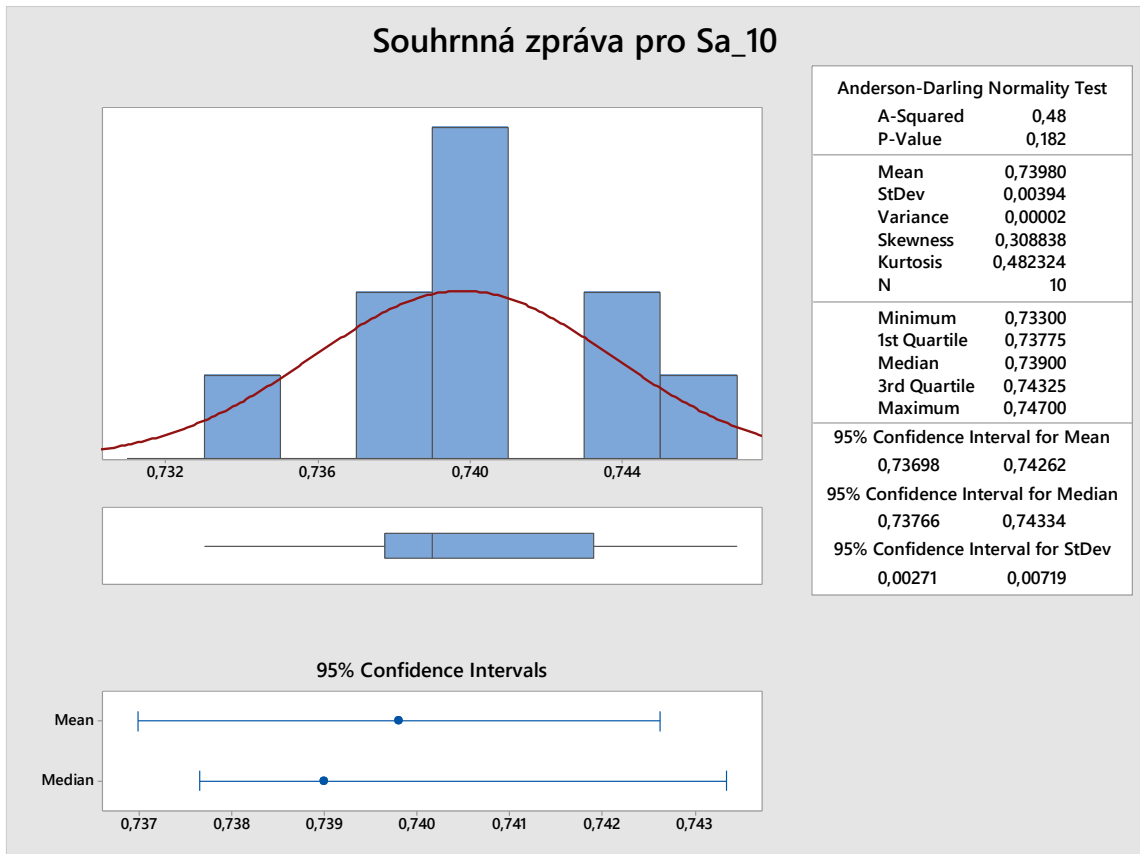
Obrázek 14 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_07



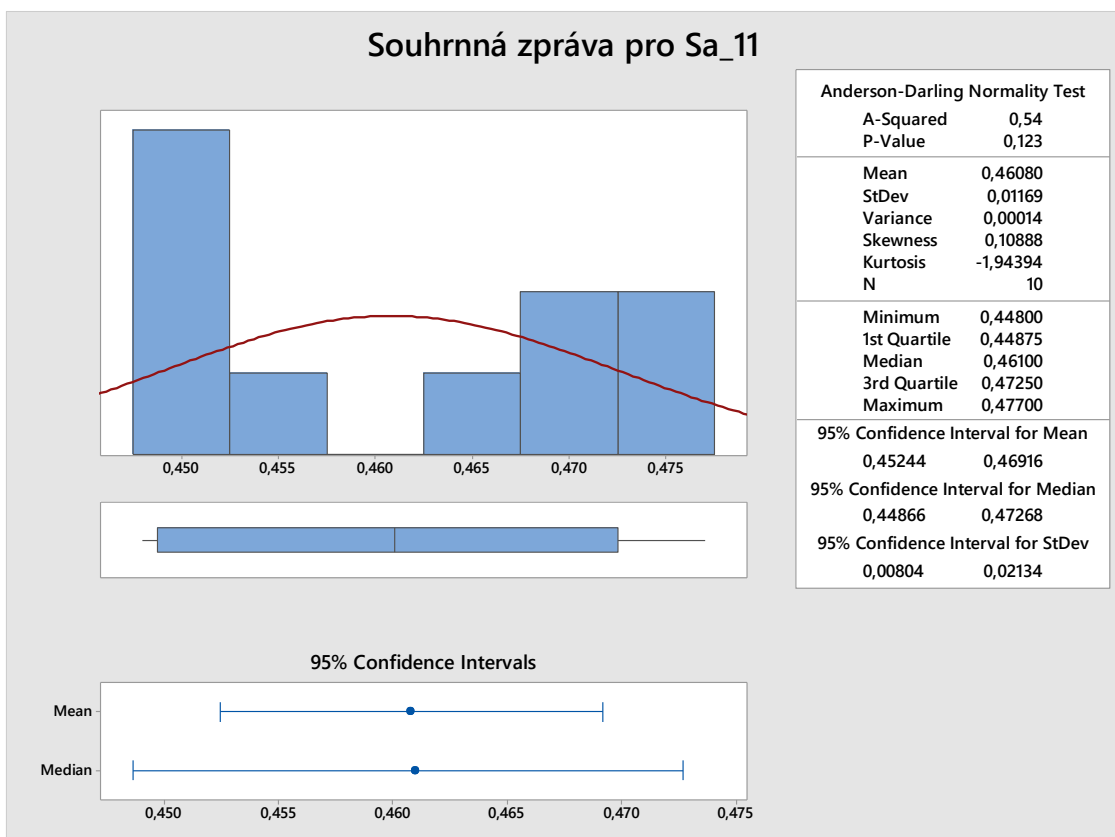
Obrázek 15 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_08



Obrázek 16 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_09



Obrázek 17 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_10



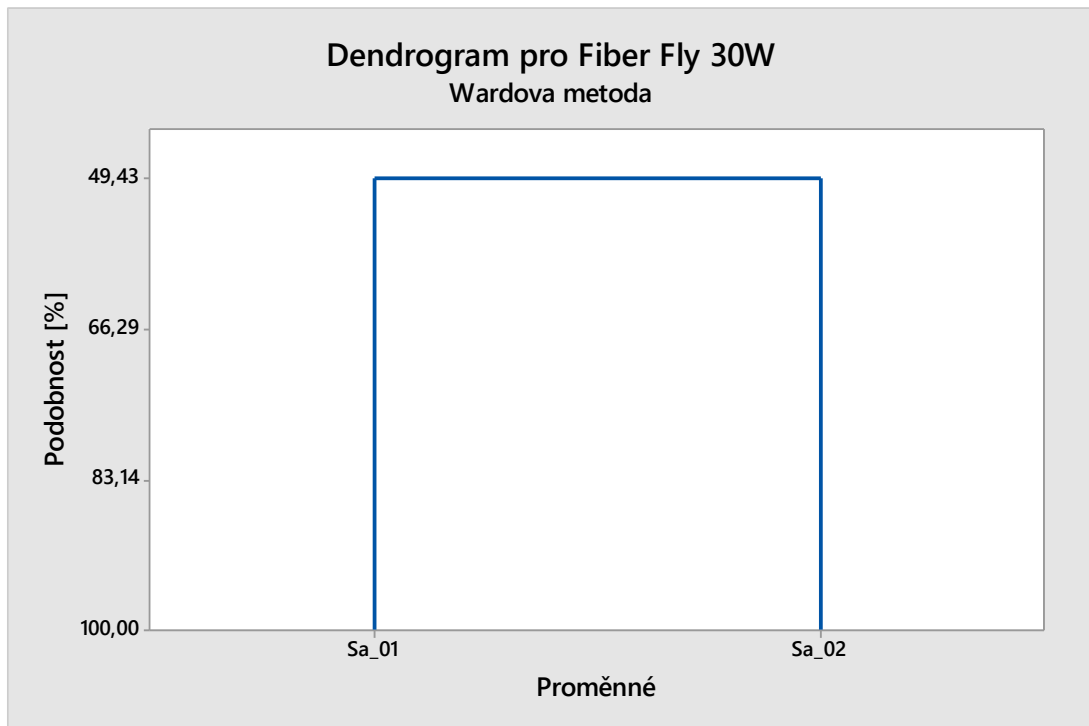
Obrázek 18 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_11

6.3 Test na outliery

Tabulka 4 Test outlierů pro parametr drsnosti Sa

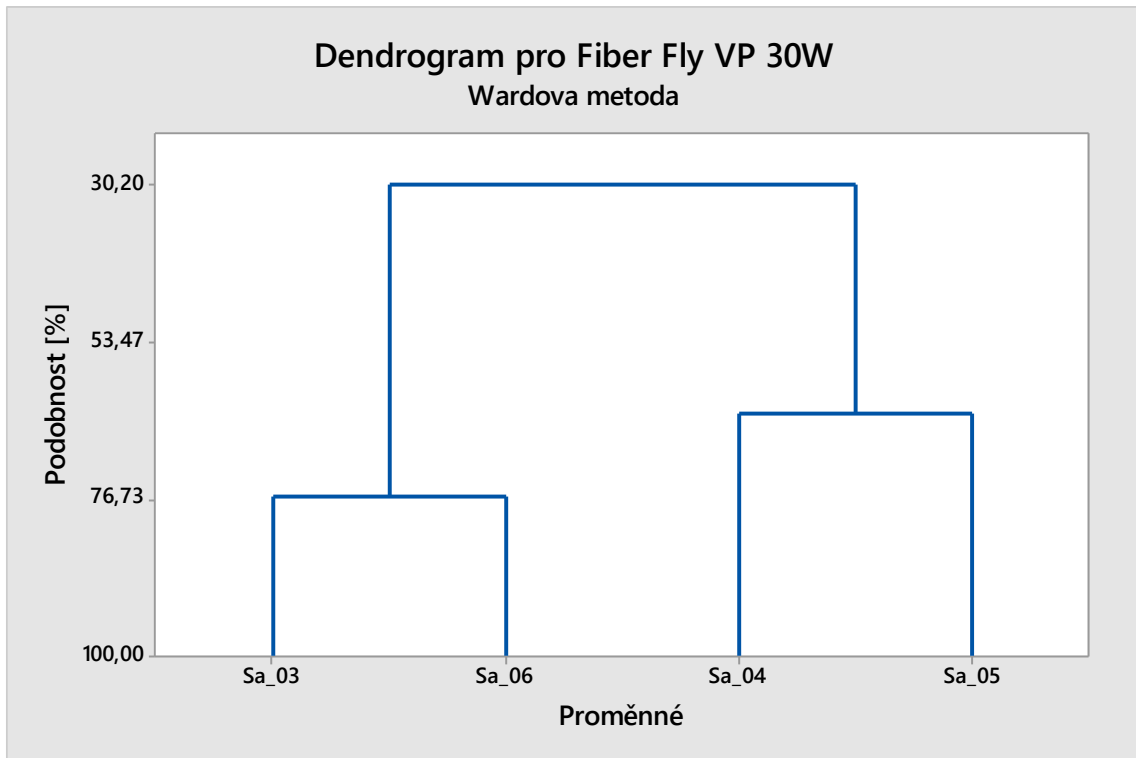
	Počet hodnot	Arit. Prům.	Směr. Odch.	Minimum	Maximum	P hodnota
Sa_01	10	0,813	0,041	0,751	0,864	1,000
Sa_02	10	0,578	0,019	0,554	0,608	0,862
Sa_03	10	0,673	0,032	0,624	0,713	1,000
Sa_04	10	0,397	0,012	0,373	0,409	0,342
Sa_05	10	0,440	0,026	0,411	0,488	0,406
Sa_06	10	0,299	0,022	0,256	0,328	0,219
Sa_07	10	0,382	0,024	0,353	0,418	1,000
Sa_08	10	0,484	0,013	0,463	0,500	1,000
Sa_09	10	0,458	0,007	0,444	0,465	0,239
Sa_10	10	0,740	0,004	0,733	0,747	0,452
Sa_11	10	0,461	0,012	0,448	0,477	1,000

U všech parametrů Sa byl vyhotoven test na outliery, data byla seřazena dle velikosti a v tomto případě nulová hypotéza říká, že všechny data pocházejí z normálního rozdělení oproti tomu alternativní hypotéza říká, že nejmenší a největší hodnota je outlier, hladina významnosti je stanovena na 0,05. P hodnoty které vyšly více než 0,05 nezamítají nulovou nulovou hypotézu.



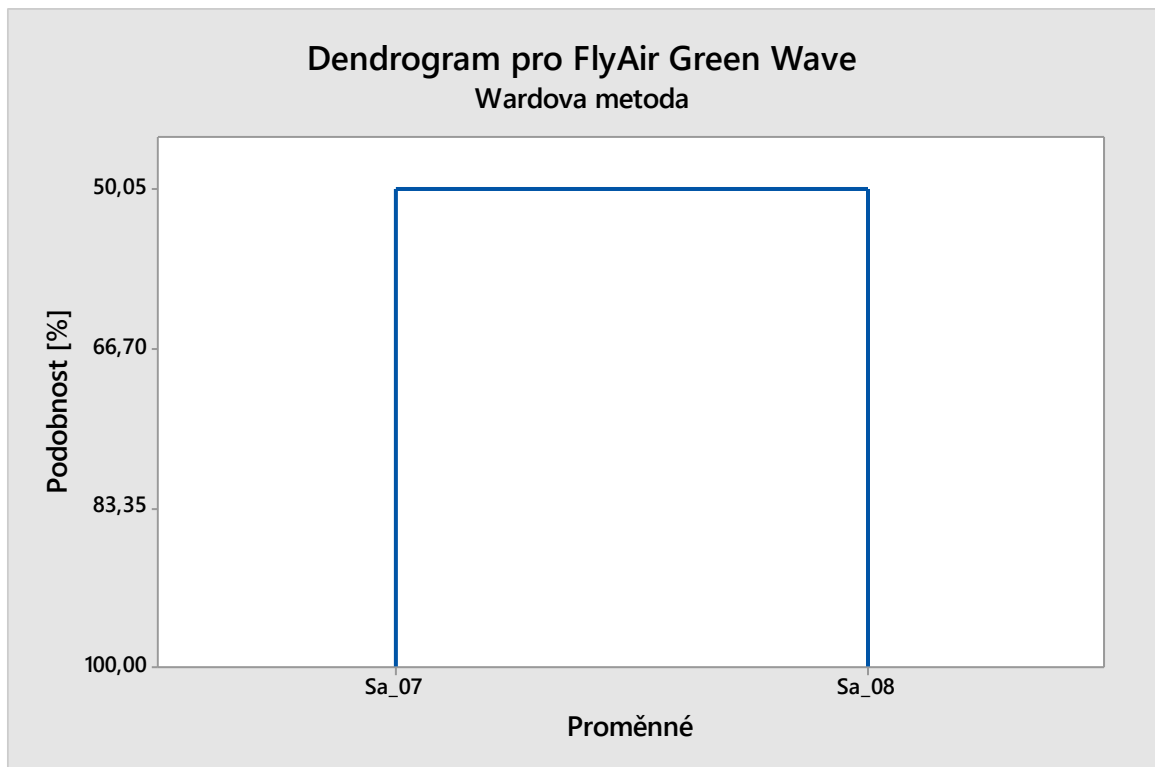
Obrázek 20 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sa naměřených ze vzorků z laseru FiberFly30W

Dále byly porovnávány parametry drsnosti Sa pro laser FiberFly30W s různými nastaveními. Clustrová analýza ukázala, že díky změnám parametrů na laseru jsou si parametry Sa podobny na 49,43%.



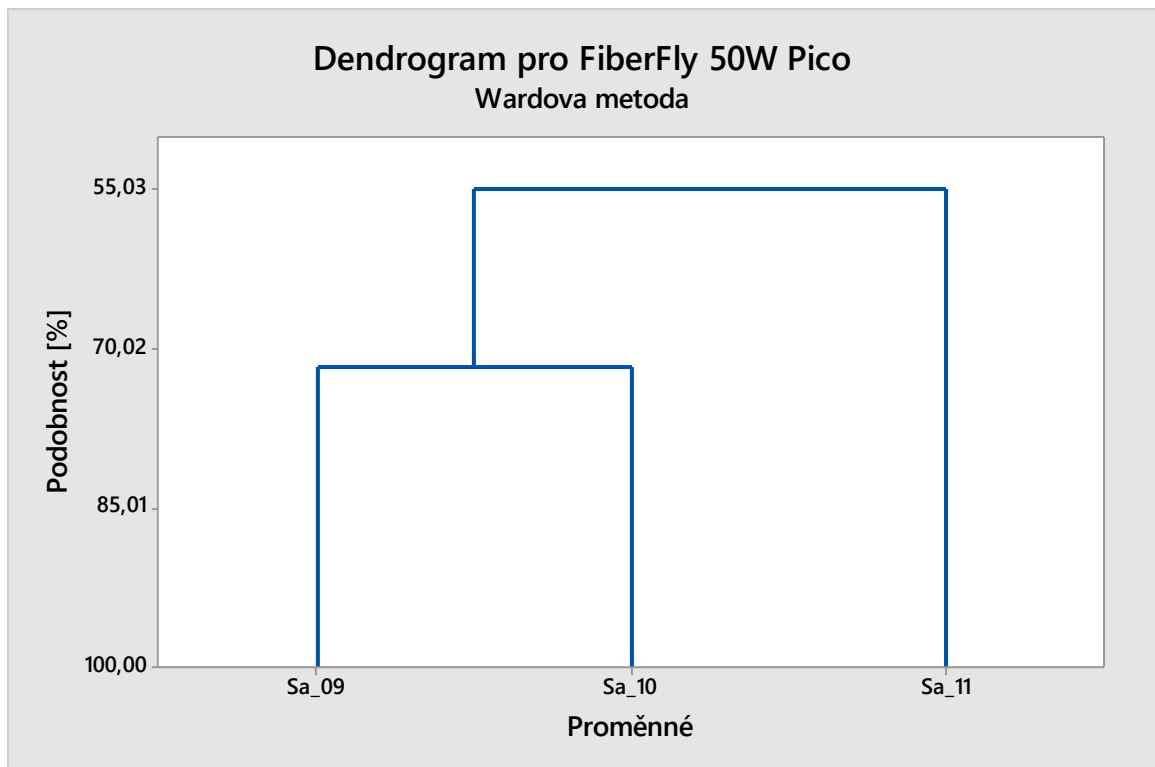
Obrázek 21 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sa naměřených ze vzorků z laseru FiberFly VP 30W

Dále byly porovnávány parametry drsnosti Sa pro laser FiberFly VP 30W s různými nastaveními. Clustrová analýza ukázala, že díky změněným parametrům na laseru jsou si parametry Sa_03 a Sa_06 podobny na 76,15% a následně tvoří shluk 1, parametry Sa_04 a Sa_05 na 63,95% a následně tvoří shluk 2. Shluk 1 a 2 jsou si podobny na 30,20%.



Obrázek 22 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sa naměřených ze vzorků z laseru FlyAir Green Wave

Dále byly porovnávány parametry drsnosti Sa pro laser Fly Air Green wave s různými nastaveními. Clustrová analýza ukázala, že díky změně parametrů na laseru jsou si parametry Sa podobny na 50,05%.



Obrázek 23 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sa naměřených ze vzorků z laseru FiberFly50WPico

Dále byly porovnávány parametry drsnosti Sa pro laser FiberFly50WPico s různými nastaveními. Clustrová analýza ukázala, že díky změněným parametrům na laseru jsou si parametry Sa_09 a Sa_10 podobny na 71,62% a následně tvoří shluk 1, parametr Sa_11 a shluk 1 je podoben na 55,03 %.

7 VYHODNOCENÍ PARAMETRU DRSNOSTI SZ

7.1 Naměřené hodnoty Sz

Tabulka 5 Naměřená data parametru drsnosti Sz

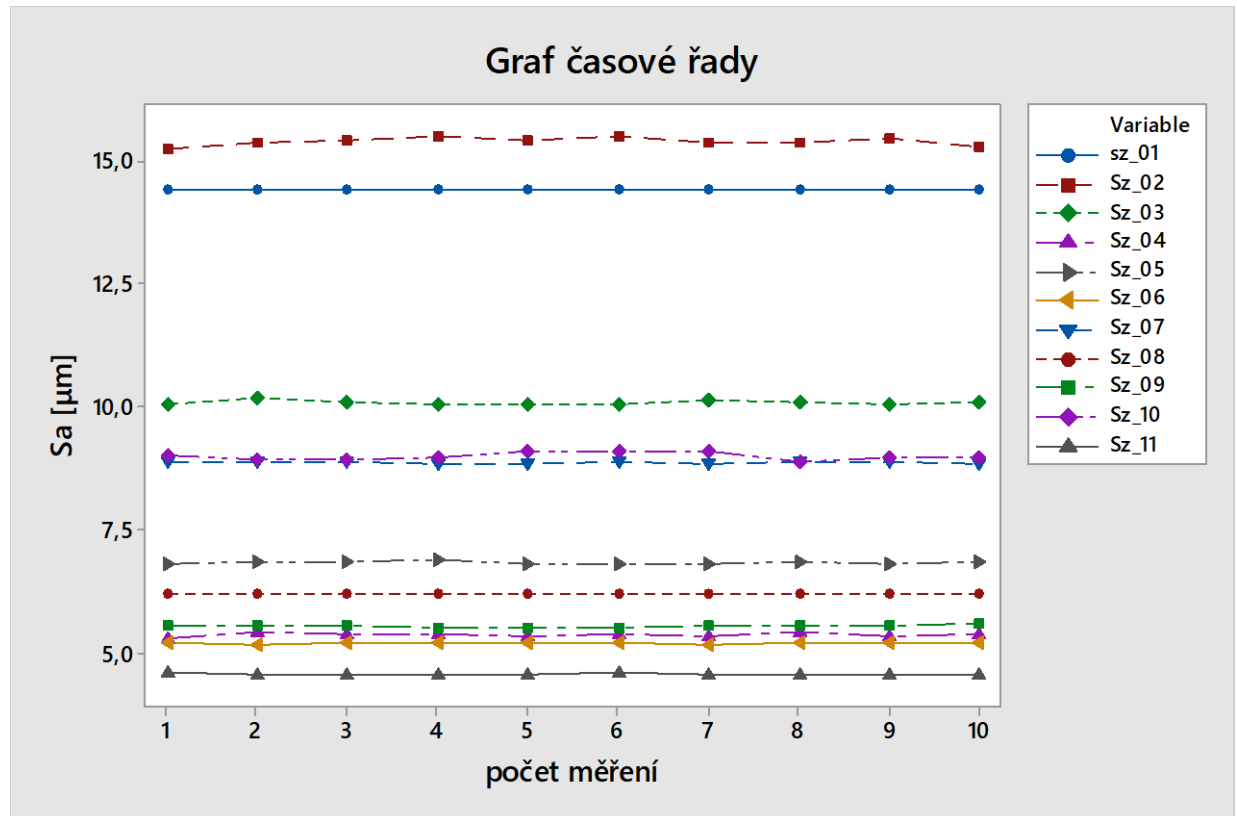
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Sz_01 [μm]	14,398	14,412	14,413	14,397	14,413	14,400	14,408	14,418	14,401	14,392
Sz_02 [μm]	15,212	15,359	15,415	15,485	15,398	15,482	15,359	15,362	15,465	15,296
Sz_03 [μm]	10,049	10,168	10,072	10,035	10,056	10,036	10,133	10,091	10,034	10,076
Sz_04 [μm]	5,271	5,411	5,347	5,362	5,339	5,345	5,304	5,400	5,327	5,364
Sz_05 [μm]	6,788	6,824	6,852	6,880	6,796	6,793	6,814	6,818	6,815	6,820
Sz_06 [μm]	5,174	5,169	5,180	5,200	5,188	5,183	5,160	5,185	5,202	5,176
Sz_07 [μm]	8,851	8,856	8,859	8,848	8,848	8,856	8,842	8,857	8,853	8,842
Sz_08 [μm]	6,181	6,186	6,185	6,185	6,174	6,172	6,186	6,177	6,176	6,182
Sz_09 [μm]	5,554	5,552	5,523	5,484	5,498	5,493	5,552	5,523	5,523	5,569
Sz_10 [μm]	8,991	8,916	8,897	8,944	9,085	9,083	9,068	8,890	8,966	8,948
Sz_11 [μm]	4,567	4,551	4,562	4,555	4,565	4,573	4,558	4,556	4,557	4,554

7.2 Vypočítané hodnoty pro metodiku EDA parametru Sz

Tabulka 6 Vypočítané hodnoty metodiky EDA

	arit pr.	směr odch	min	q1	medián	q3	max	var.ropzt	iqr	šikm	špič
Sz_01 [μm]	14,405	0,009	14,392	14,398	14,404	14,413	14,418	0,026	0,015	-0,010	-1,450
Sz_02 [μm]	15,383	0,086	15,212	15,343	15,380	15,469	15,485	0,273	0,126	-0,680	0,320
Sz_03 [μm]	10,075	0,045	10,034	10,036	10,064	10,101	10,168	0,134	0,066	1,210	0,750
Sz_04 [μm]	5,347	0,042	5,271	5,321	5,346	5,373	5,411	0,140	0,052	-0,210	0,200
Sz_05 [μm]	6,820	0,028	6,788	6,795	6,817	6,831	6,880	0,092	0,036	1,160	1,350
Sz_06 [μm]	5,182	0,013	5,160	5,173	5,182	5,191	5,202	0,042	0,018	0,120	-0,270
Sz_07 [μm]	8,851	0,006	8,842	8,847	8,852	8,856	8,859	0,017	0,010	-0,450	-1,090
Sz_08 [μm]	6,180	0,005	6,172	6,176	6,182	6,185	6,186	0,014	0,010	-0,410	-1,510
Sz_09 [μm]	5,527	0,029	5,484	5,497	5,523	5,552	5,569	0,085	0,056	-0,120	-1,340
Sz_10 [μm]	8,979	0,075	8,890	8,911	8,957	9,072	9,085	0,195	0,161	0,480	-1,400
Sz_11 [μm]	4,560	0,007	4,551	4,555	4,558	4,566	4,573	0,022	0,011	0,770	-0,110

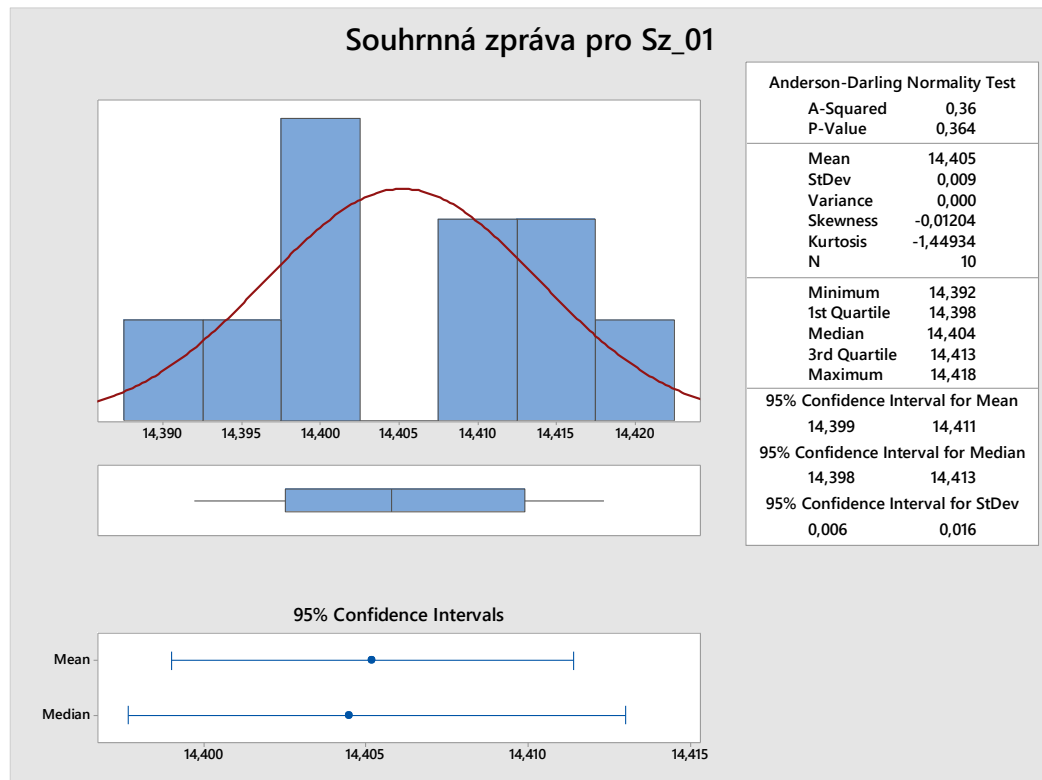
7.3 Metodika EDA graf časové řady



Obrázek 24 Graf časové řady parametru Sz

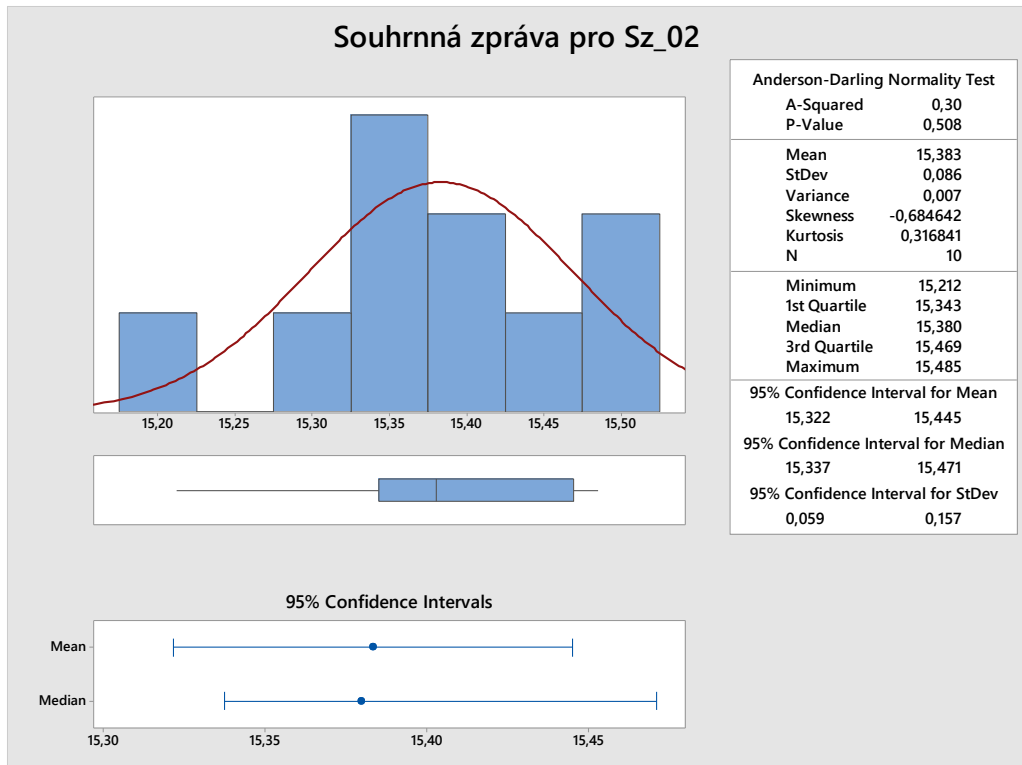
Podle grafu časové řady vychází nejlépe parametr drsnosti Sz_11

7.4 Metodika EDA sumarizační zpráva

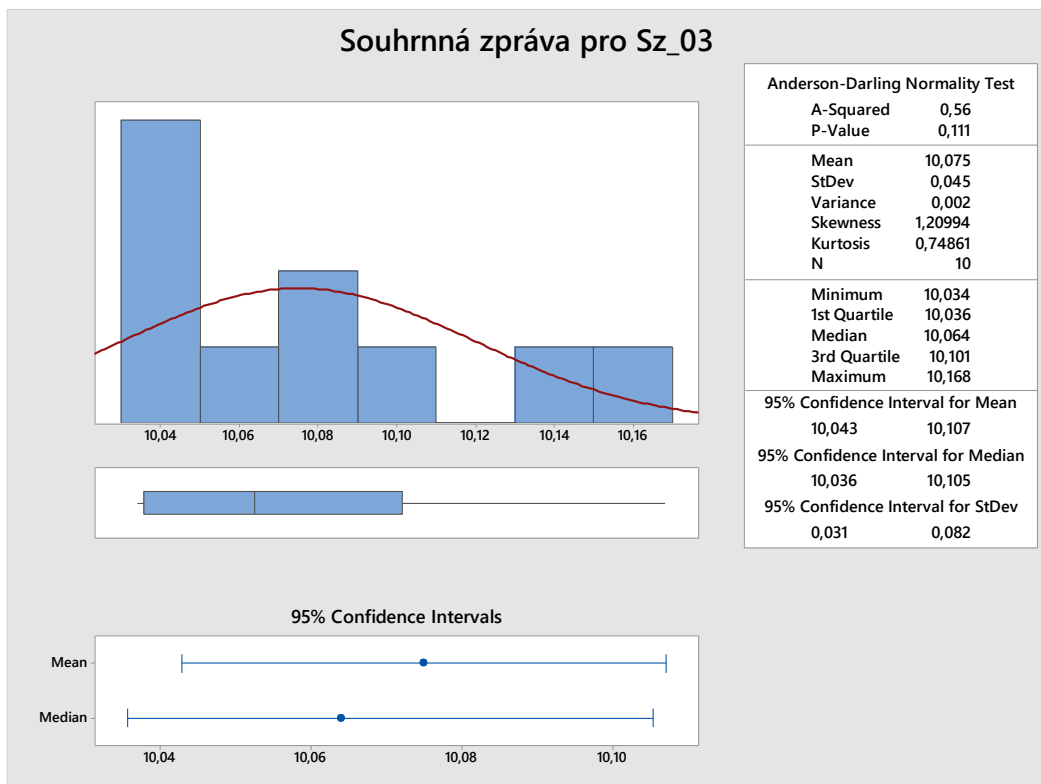


Obrázek 25 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_01

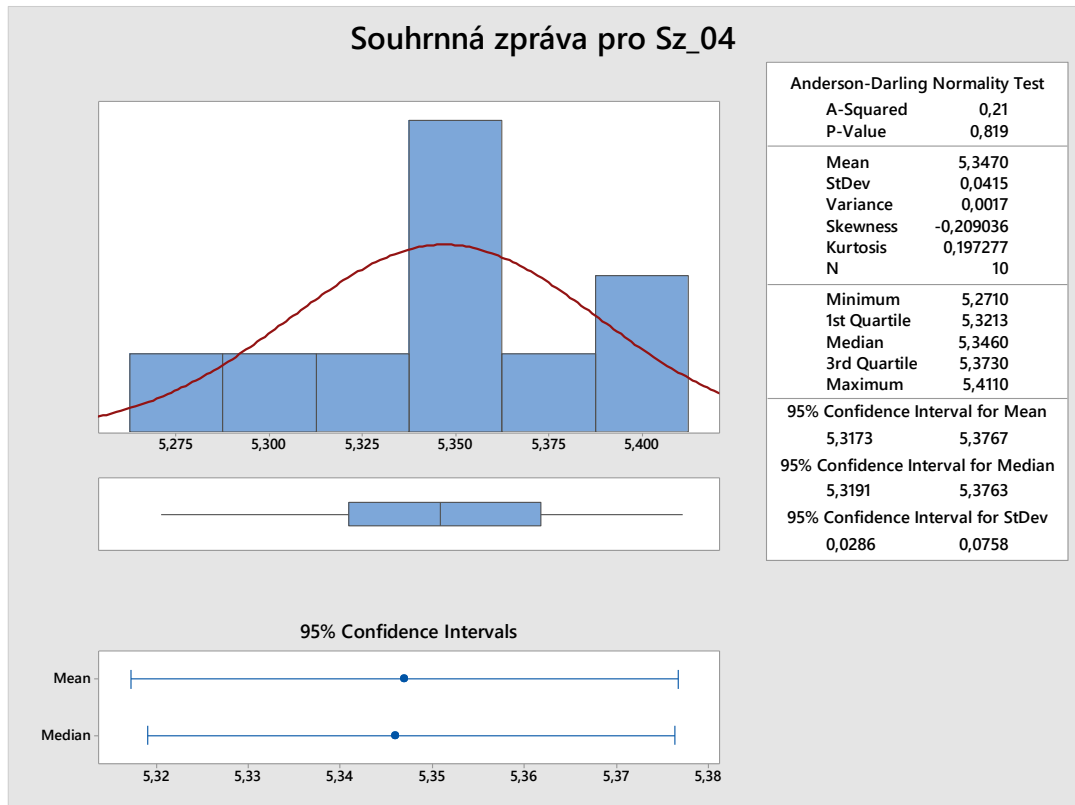
Je možné konstatovat, že naměřená data Sz_01 vykazují normální rozdělení, a to při Anderson-Darlingově testu normality, kdy nulová hypotéza říká, že data pocházejí z normálního rozdělení, oproti tomu stojí alternativní hypotéza, která říká, že data nepocházejí z normálního rozdělení. S možností omylu 5% je možné konstatovat že nezamítáme nulovou hypotézu protože hodnota $p = 0,364$ je větší než možnost omylu 0,05. Dále byly vypočítány hodnoty aritmetického průměru, směrodatné odchylky, šikmosti, špičatosti, byly zobrazeny hodnoty minima, prvního kvartilu, mediánu, třetího kvartilu a maxima a také byly vypočítány koeficientní intervaly pro aritmetický průměr, medián, směrodatnou odchylku. Tento postup byl proveden u následujících obrázků, kdy byla použita souhrnná zpráva.



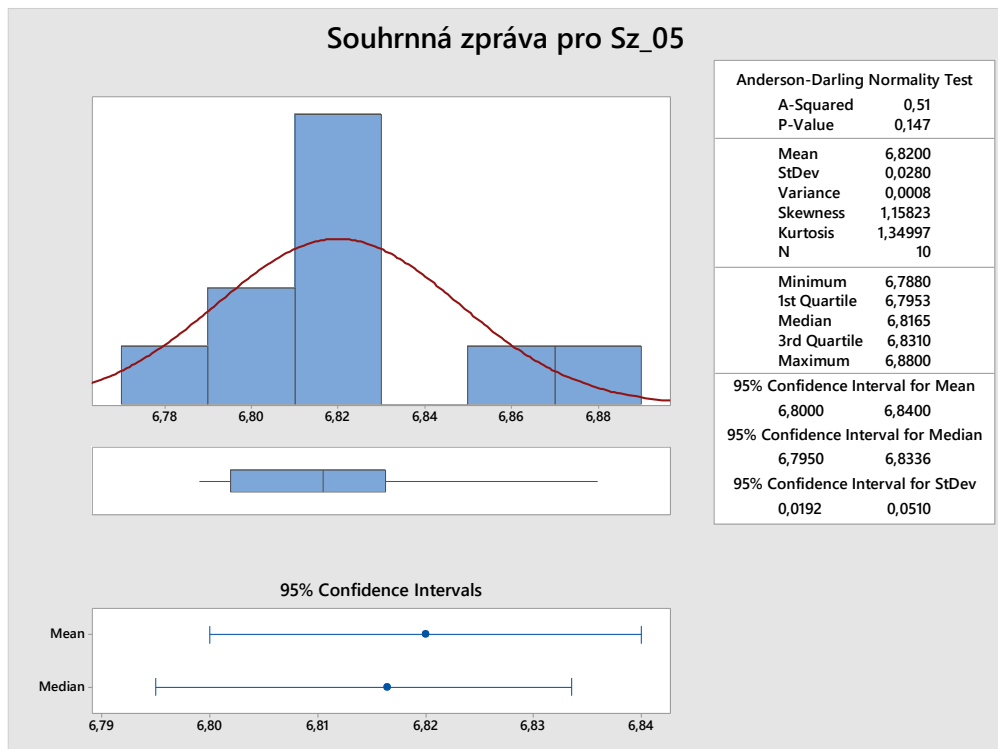
Obrázek 26 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_02



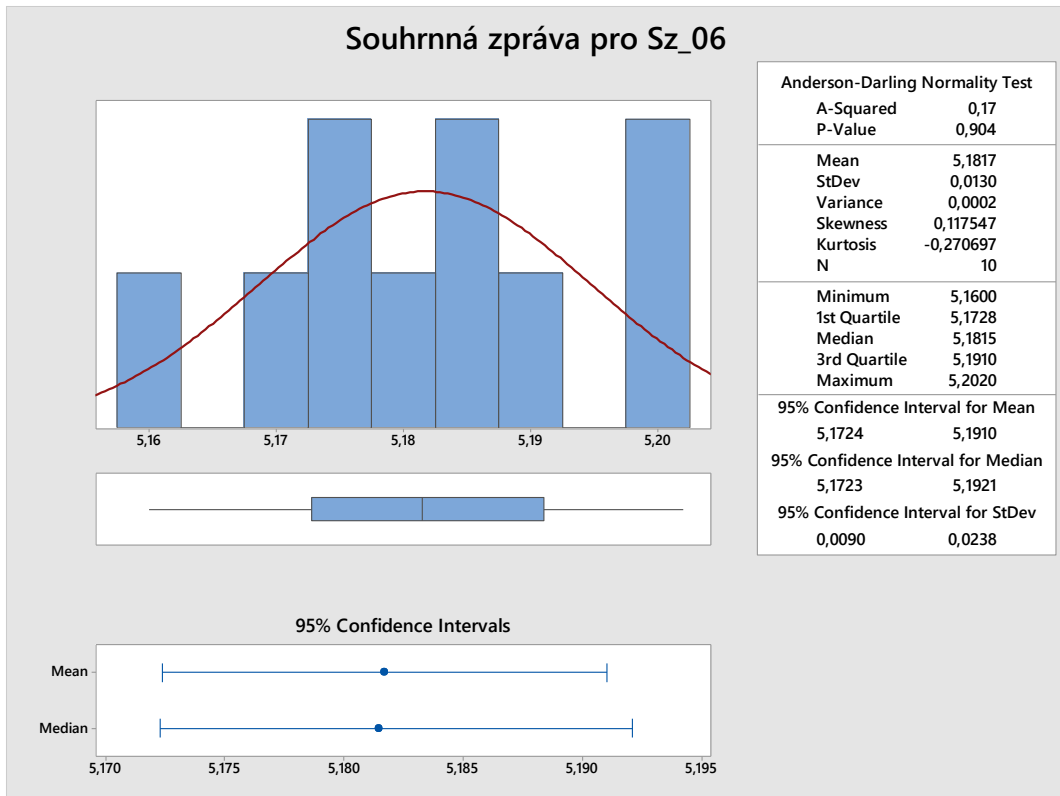
Obrázek 27 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_03



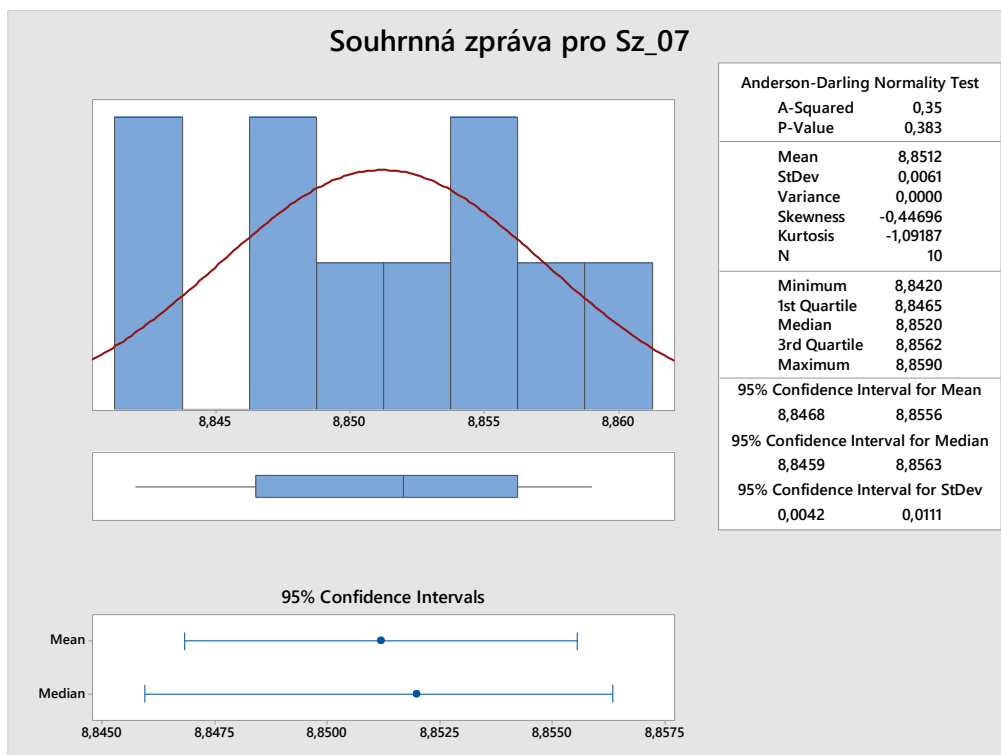
Obrázek 28 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_04



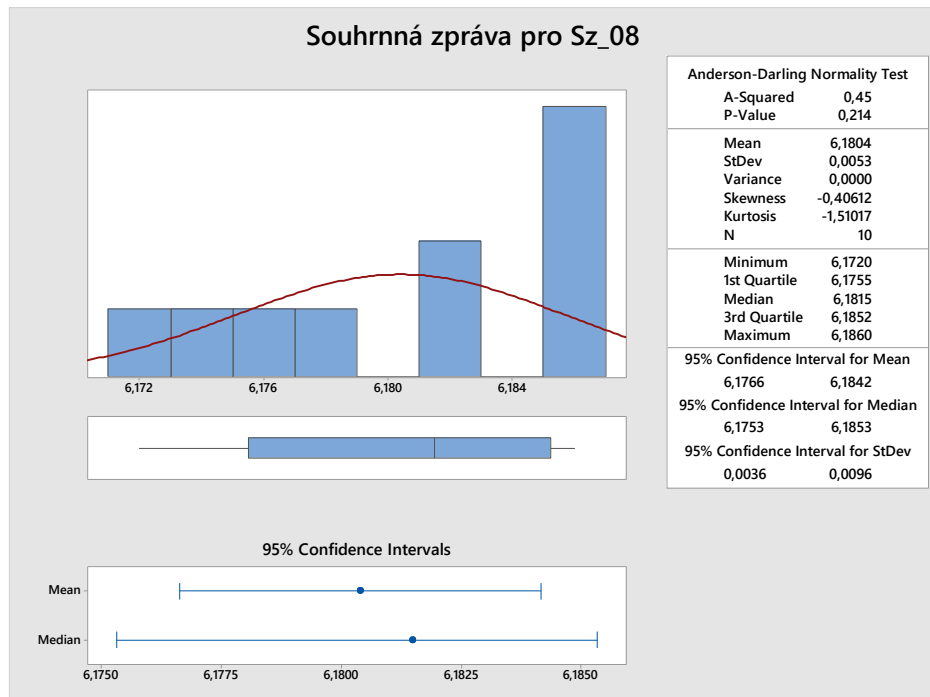
Obrázek 29 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_05



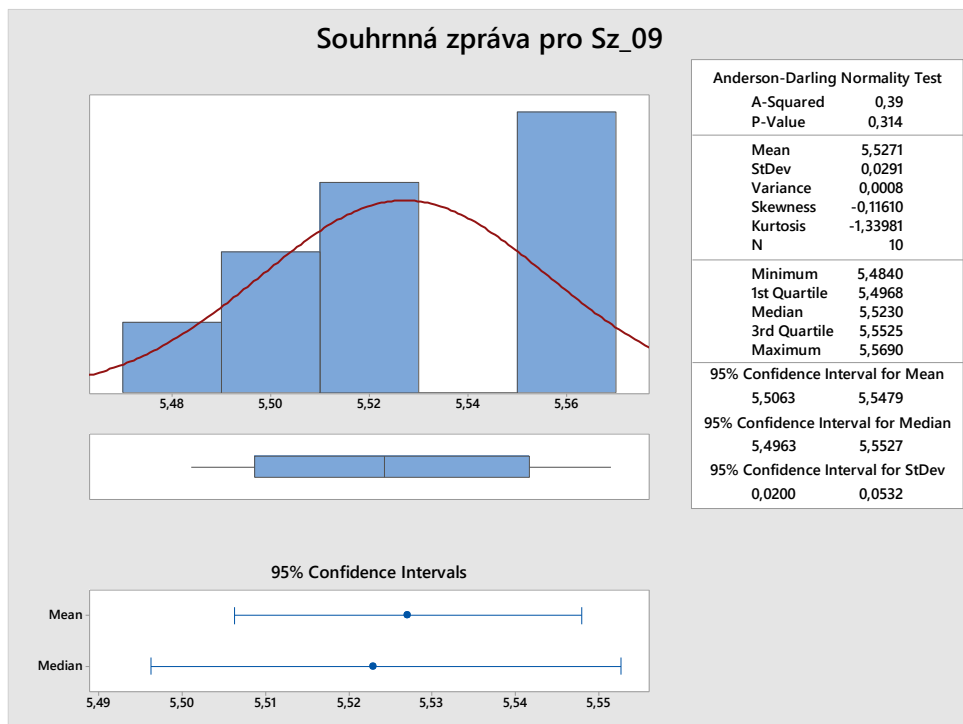
Obrázek 30 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_06



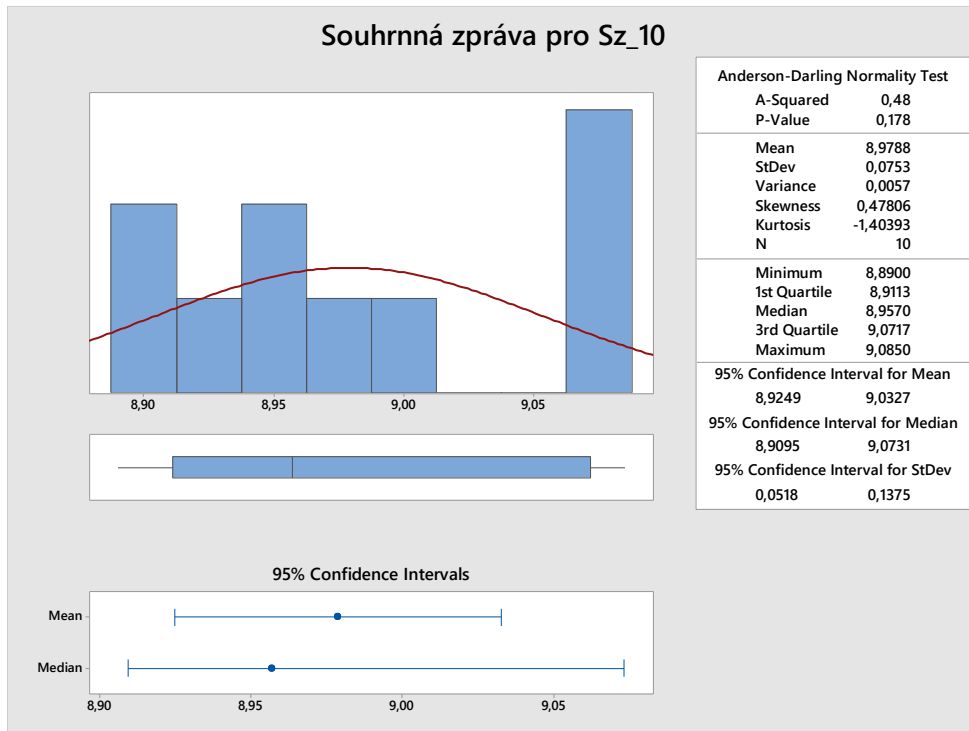
Obrázek 31 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_07



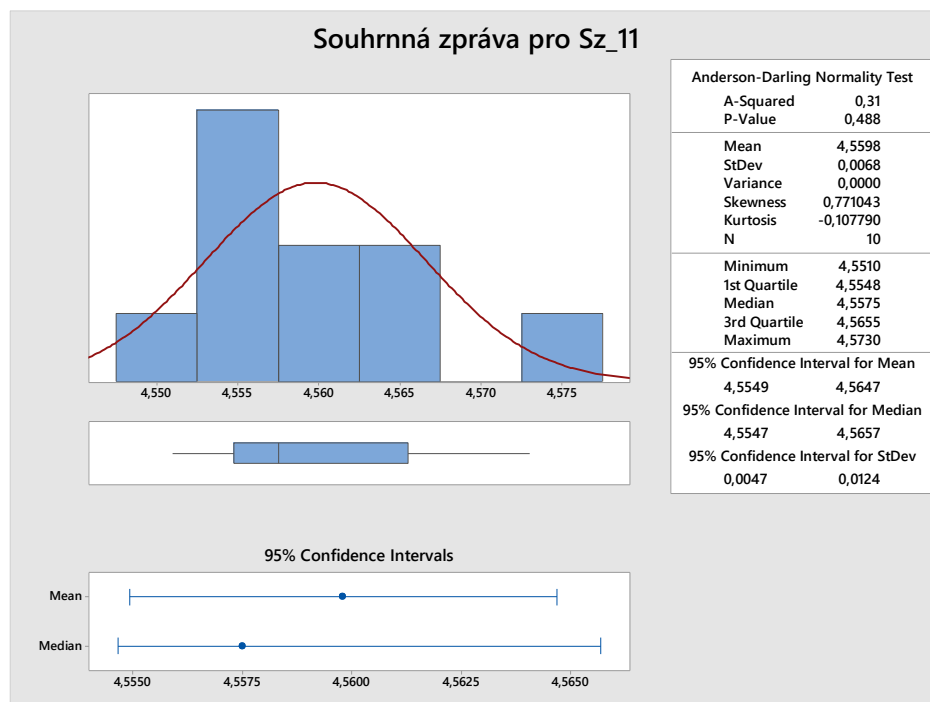
Obrázek 32 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_08



Obrázek 33 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_09



Obrázek 34 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_10



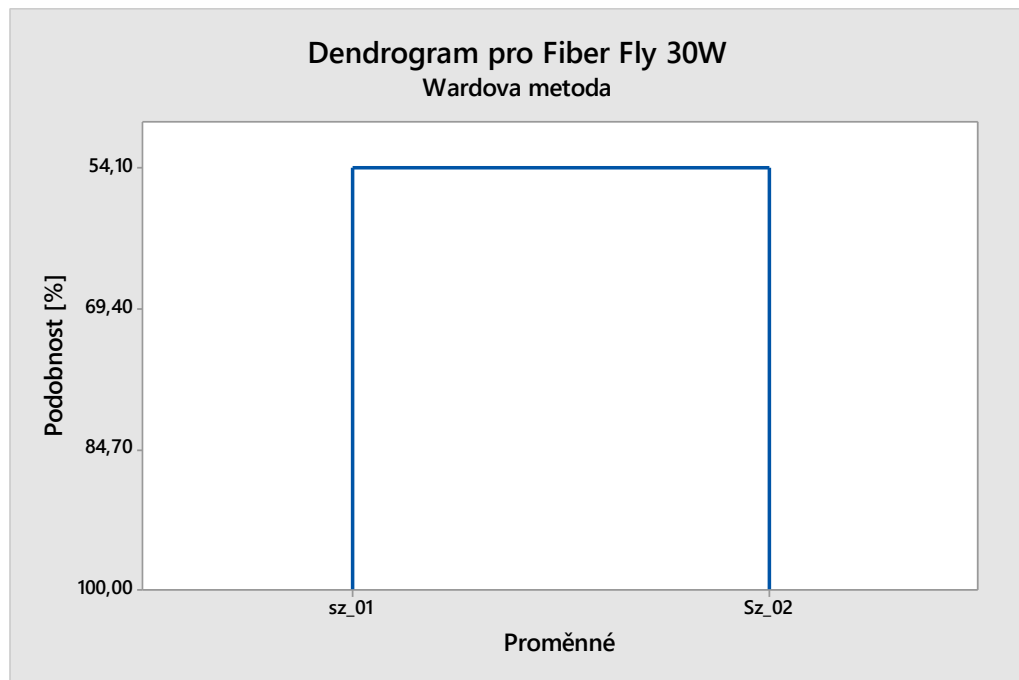
Obrázek 35 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_11

7.5 Test na Outliery

Tabulka 7 Test outlierů pro parametr drsnosti Sz

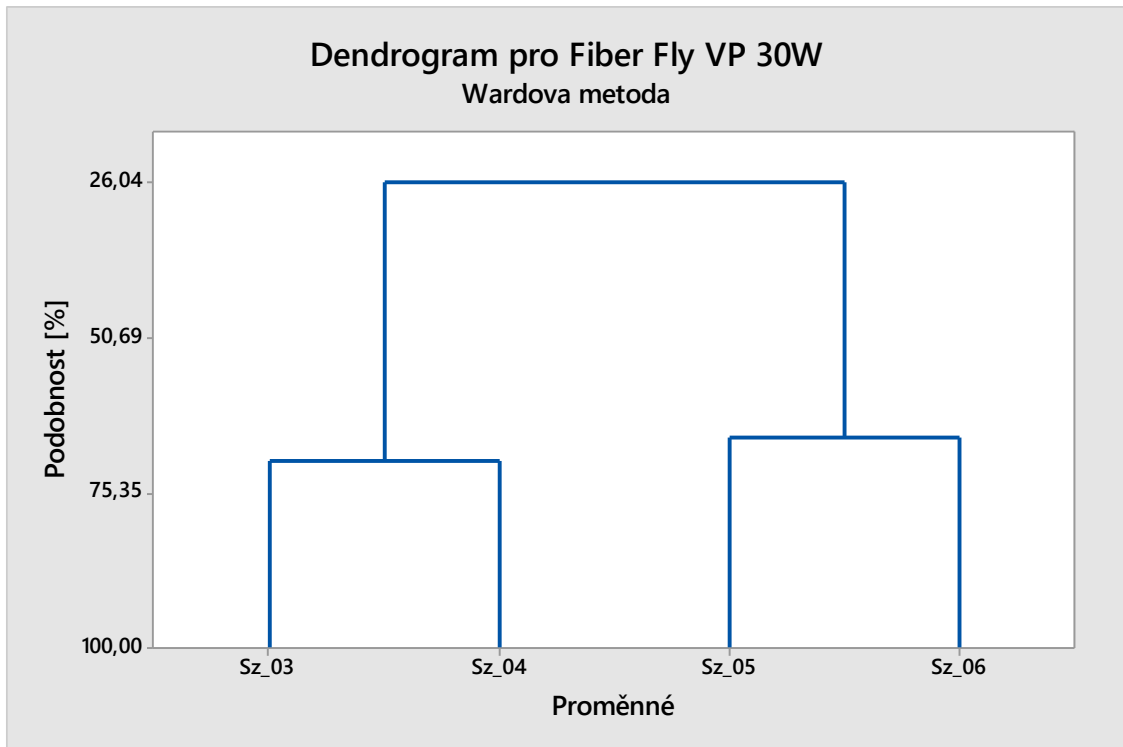
	Počet hodnot	Arit. Prům.	Směr. Odch.	Minimum	Maximum	P hodnota
Sz_01	10	14,405	0,009	14,392	14,418	1,000
Sz_02	10	15,383	0,086	15,212	15,485	0,243
Sz_03	10	10,075	0,045	10,034	10,168	0,169
Sz_04	10	5,347	0,042	5,271	5,411	0,448
Sz_05	10	6,820	0,028	6,788	6,880	0,117
Sz_06	10	5,182	0,013	5,160	5,202	0,753
Sz_07	10	8,851	0,006	8,842	8,859	1,000
Sz_08	10	6,180	0,005	6,172	6,186	0,926
Sz_09	10	5,527	0,029	5,484	5,569	1,000
Sz_10	10	8,979	0,075	8,890	9,085	1,000
Sz_11	10	4,560	0,007	4,551	4,573	0,302

U všech parametrů drsnosti Sz byl vyhotoven test na outliery, data byla seřazena dle velikosti a v tomto případě nulová hypotéza říká, že všechny data pocházejí z normálního rozdělení oproti tomu alternativní hypotéza říká, že nejmenší a největší hodnota je outlier, hladina významnosti je stanovena na 0,05. P hodnoty, které vyšly více než 0,05 nezamítají nulovou nulovou hypotézu.



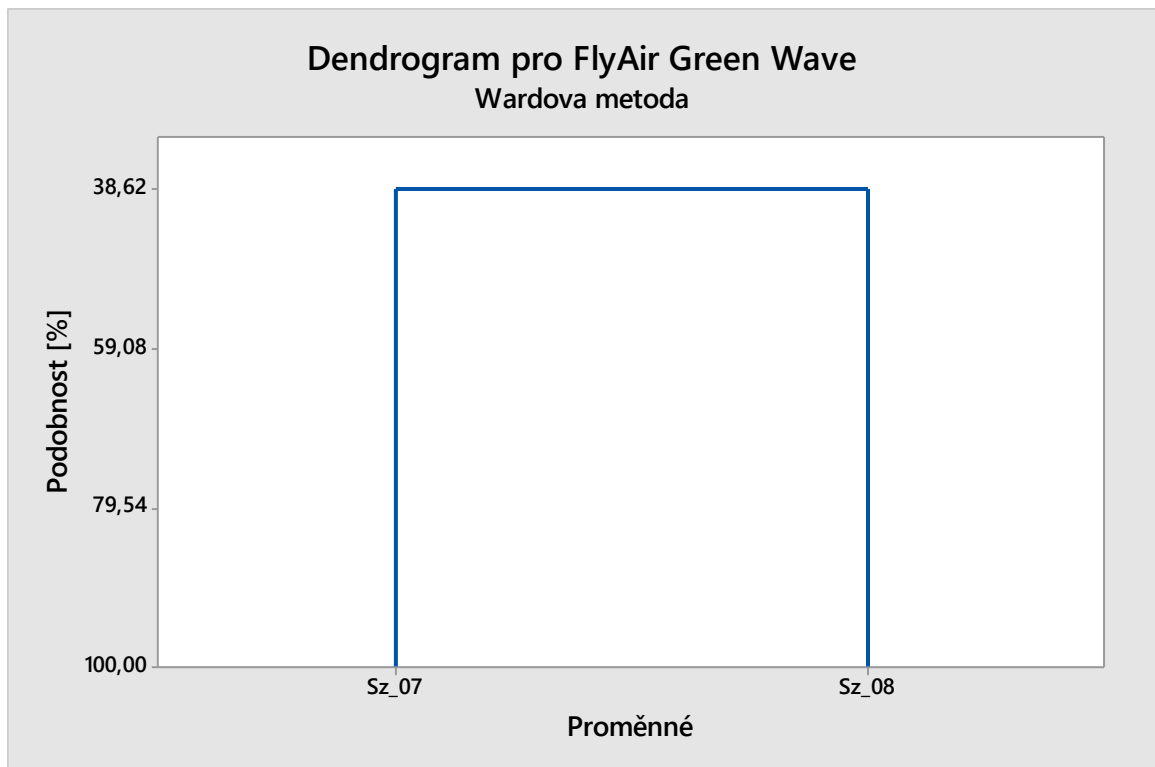
Obrázek 37 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sz naměřených ze vzorků z laseru FiberFly30W

Dále byly porovnávány parametry drsnosti Sz pro laser FiberFly30W s různými nastaveními. Clustrová analýza ukázala, že díky změněným parametrům na laseru jsou si parametry Sz podobny na 54,10%.



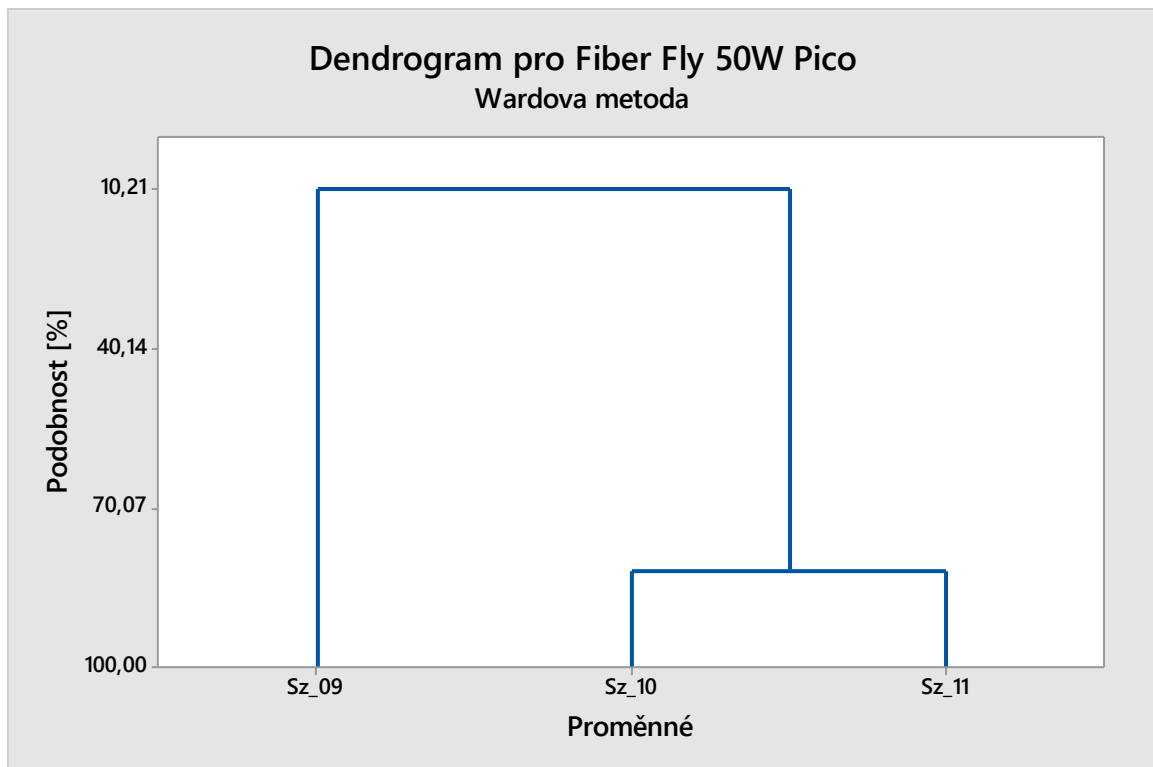
Obrázek 38 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sz naměřených ze vzorků z laseru FiberFly VP 30W

Dále byly porovnávány parametry drsnosti Sa pro laser FiberFly VP 30W s různými nastaveními. Clustrová analýza ukázala, že díky změněným parametrům na laseru jsou si parametry Sz_03 a Sa_04 podobny na 70,14% a následně tvoří shluk 1, parametry Sz_05 a Sa_06 na 66,41% a následně tvoří shluk 2. Shluk 1 a 2 jsou si podobny na 26,04%.



Obrázek 39 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sz naměřených ze vzorků z laseru FlyAir Green Wave

Dále byly porovnávány parametry drsnosti Sz pro laser Fly Air Green wave s různými nastaveními. Clustrová analýza ukázala, že díky změněným parametrům na laseru jsou si parametry Sz podobny na 38,62%.



Obrázek 40 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sz naměřených ze vzorků z laseru FiberFly50WPico

Dále byly porovnávány parametry drsnosti Sz pro laser FiberFly50WPico s různými nastaveními. Clustrová analýza ukázala, že díky změněným parametrům na laseru jsou si parametry Sz_10 a Sa_11 podobny na 91,90% a následně tvoří shluk 1, parametr Sz_09 a shluk 1 je podoben na 18,57 %.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo porovnat naměřené hodnoty parametru drsnosti S_a (aritmetický průměr výšky měřeného povrchu plochy) a S_z (maximální výšky měřené plochy) a vyhodnotit, který je nejlepší. Tyto parametry byly naměřeny na hliníkových destičkách, na kterých byly lasery vygravírovány testovací plochy. Testovací plochy byly vygravírovány různými typy laserů s různými nastaveními. Pro vyhodnocení nejlepšího povrchu byly použity statistické metody jako je metodika EDA (explorativní datová analýza), testování hypotéz u testů normality a outlierů a v poslední řadě clustrová neboli shluková analýza, která porovnávala podobnost naměřených dat.

U parametru drsnosti S_a vyšel nejlépe vzorek 06, vykazuje nejnižší aritmetický průměr naměřených hodnot. I když se u vzorku 06 vyskytuje zešikmení dat, testem normality bylo prokázáno, že data pocházejí z normálního rozdělení a test na výskyt outlierů prokázal jejich absenci. Na grafu časové řady parametru drsnosti S_a je názorně vidět, že vzorek 06 vykazuje nejmenší hodnotu všech naměřených parametrů S_a . U clustrové neboli shlukové analýzy se vzorek 06 nejvíce podobá průběhu vzorku 08. Vzorek 06 odpovídá laseru FiberFly VP 30W s parametry uvedenými v tabulce č.1 a vzorek 08 odpovídá laseru FlyAir green Wave s parametry uvedenými v tabulce č.1.

U parametru drsnosti S_z vyšel nejlépe vzorek 11, vykazuje nejnižší aritmetický průměr naměřených hodnot. Vzorek 11 také vykazuje mírné zešikmení, ale testem normality bylo prokázáno, že data pocházejí z normálního rozdělení a test na výskyt outlierů prokázal jejich absenci. Na grafu časové řady parametru drsnosti S_z je názorně vidět, že vzorek 11 vykazuje nejmenší hodnotu všech naměřených parametrů S_z . U clustrové neboli shlukové analýzy se vzorek 11 nejvíce podobá průběhu vzorku 10. Vzorek 11 a 10 odpovídá laseru FiberFly50WPico s parametry uvedenými v tabulce č.1.

Pokud budeme posuzovat vygravírované povrchy podle parametru drsnosti S_a , tak nejlepší hodnoty vykazuje povrch na vzorku 06. Pokud budeme posuzovat vygravírované povrchy podle parametru S_z tak nejlépe obstály hodnoty ze vzorku 11 a tím i použité lasery dle tabulky č.1.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda -Termíny, definice a parametry struktury povrchu, 1999. Březen 1999.
- [2] ČSN EN ISO 4288: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda -Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu, 1999. Březen 1999.
- [3] ČSN EN ISO 25178: Geometrické specifikace produktu (GPS)- Textura povrchu: Plocha, 2012. Prosinec 2012.
- [4] Towards Data science: EDA [online], 2018. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://towardsdatascience.com/exploratory-data-analysis-8fc1cb20fd15>
- [5] Meloun M., Militký M. and Forina M. Chemometrics for analytical chemistry. New York: Ellis Horwood (1992). ISBN 01-312-6376-5.
- [6] Learnche [online], 2021 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://learnche.org/pid/data-visualization/time-series-plots>
- [7] Asq [online], 2021 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://asq.org/quality-resources/histogram>
- [8] Box ploty [online], 2017 [cit. 2021-03-12]. Dostupné z: <http://kvalita-jednoduse.cz/box-plot/>
- [9] Statsoft.cz [online] Praha: [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013_10_09_StatSoft_Jak_se_pozna_normalita_pomoci_grafu.pdf
- [10] Npj - národní středisko pro podporu jakosti [online], [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://www.csq.cz/fileadmin/user_upload/Spolkova_cinnost/Odborne_skupiny/Statisticke_metody/sborniky/2006/05_12_Testy_normality.pdf

- [11] Abonyi, J., Feil, B. *Cluster Analysis for Data Mining and System Identification*, 1st ed., Basel, Birkhäuser Basel, 2007.
- [12] *Statistické testy normality [online]*, 2015.[cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://fu.ff.cuni.cz/STAT/14_testy_rozdeleni.html
- [13] MELOUN, Milan a Jiří MILITKÝ, 2012. *Interaktivní statistická analýza dat*. Praha: Karolinum. ISBN 978-802-4621-739.
- [14] ING. KUBIŠOVÁ, Milena, 2018. *Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů nenormativním způsobem*. Zlín. Dizertační práce. UTB.
- [15] *Drsnost povrchu pravidlo 16% a pravidlo maxima [online]*, [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.jenoptik.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>
- [16] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie část 1: měření drsnosti povrchu dotykovými profilometry*. Ostrava: 2004.
- [17] Murat, D., Ensarioglu, C. *Surface roughness analysis of greater cutting depths during hard turning*, *Materials Testing*, , 2017, Vol. 59
- [18] *Non-contact Surface Roughness/Profile Measuring Instruments*, Keyence [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/ss/products/microscope/roughness/equipment/non-contact-instruments.jsp>
- [19] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. -. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
- [20] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. *Strojírenská technologie 3*. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-718-3207-3.
- [21] *Broušení [online]*, [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.steeltec.cz/brouseni-a-jeho-podstata/>

- [22] Brusky [online],[cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1244>
- [23] MORÁVEK, Rudolf, 1999. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita. ISBN 80-708-2518-9.
- [24] MAŇKOVÁ, Ildikó, 2000. *Progresívnetechnológie: Advanced method sof material removal*. Košice: Vienala. ISBN 80-709-9430-4.
- [25] FU Guizhong. *A deep-learning-based approach for fast and robust steel surface defects classification*. *Optics and Lasers in Engineering*. (2019) Vol. 121
- [26] HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK, 2001. *Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia*. ISBN 80-718-3244-8.
- [27] Skewness [online],[cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/s/skewness.asp>
- [28] KUTÁLKOVÁ, Eva a Petr PONÍŽIL, -. *Zpracování experimentu: přednáška šikmost, špičatost*. ve Zlíně: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/zprac_exp/ZE2.pdf [cit. 2021-04-20].
- [29] Kurtosis [online], [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.simplypsychology.org/kurtosis.html>
- [30] Laser engraving [online], [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/en_SG/solutions/applications/laser-marking/laser-engraving/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	Trojrozměrný prostor.
2D	Dvourozměrný prostor
Směr.odch	Směrodatná odchylka.
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rz	Největší výška profilu
Rt	Celková výška profilu
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu
Rc	Průměrná výška prvků profilu
Rp	Největší výška výstupku profilu
Rq	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
Sa	Aritmetický průměr výšky povrchu ve 3D
Sz	Maximální výška plochy
Sq	Základní průměr výšky
Ssk	Šikmost omezené stupnice povrchu
Sku	Špičatost omezené stupnice povrchu
Rku	Špičatost posuzovaného profilu
Rsk	Špičatost posuzovaného profilu
Arit.prům	Aritmetický průměr
Var. Rozpt.	Variační rozpětí
Šikm.	Šikmost
Špič.	Špičatost
IQR	Interkvartilové rozdělení

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 rozdělení distribucí zleva doprava: normální distribuce, doprava sešikmená distribuce, bimodální distribuce, rovinná distribuce, distribuce krajního píku, hřebenová distribuce, zkrácená nebo přerušovaná distribuce [7].....	28
Obrázek 2 Gaussovo rozdělení a boxplot [8].....	29
Obrázek 3 boxploty [8]	29
Obrázek 4 příklad Q-Q grafu [10]	32
Obrázek 5 graf z minilabu ze 100 vygenerovaných hodnot normálního rozdělení.....	33
Obrázek 6 graf z minitabu ze 100 vygenerovaných hodnot normálního rozdělení s pásem intervalu spolehlivosti.....	34
Obrázek 7 Graf časové řady parametru Sa	47
Obrázek 8 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_01.....	48
Obrázek 9 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_02.....	49
Obrázek 10 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_03.....	49
Obrázek 11 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_04.....	50
Obrázek 12 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_05.....	50
Obrázek 13 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_06.....	51
Obrázek 14 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_07.....	51
Obrázek 15 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_08.....	52
Obrázek 16 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_09.....	52
Obrázek 17 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_10.....	53
Obrázek 18 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sa_11.....	53
Obrázek 19 Shluková analýza pro všechny parametry drsnosti Sa	55
Obrázek 20 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sa naměřených ze vzorků z laseru FiberFly30W.....	56
Obrázek 21 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sa naměřených ze vzorků z laseru FiberFly VP 30W.....	57
Obrázek 22 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sa naměřených ze vzorků z laseru FlyAir Green Wave.....	58
Obrázek 23 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sa naměřených ze vzorků z laseru FiberFly50WPico.....	59
Obrázek 24 Graf časové řady parametru Sz	61
Obrázek 25 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_01.....	62
Obrázek 26 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_02.....	63
Obrázek 27 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_03.....	63
Obrázek 28 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_04.....	64
Obrázek 29 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_05.....	64

Obrázek 30 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_06.....	65
Obrázek 31 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_07.....	65
Obrázek 32 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_08.....	66
Obrázek 33 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_09.....	66
Obrázek 34 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_10.....	67
Obrázek 35 Souhrnná zpráva pro parametr drsnosti Sz_11.....	67
Obrázek 36 Shluková analýza pro všechny parametry drsnosti Sz	69
Obrázek 37 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sz naměřených ze vzorků z laseru FiberFly30W	70
Obrázek 38 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sz naměřených ze vzorků z laseru FiberFly VP 30W.....	71
Obrázek 39 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sz naměřených ze vzorků z laseru FlyAir Green Wave.....	72
Obrázek 40 Shluková analýza pro parametry drsnosti Sz naměřených ze vzorků z laseru FiberFly50WPico.....	73

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 číslo vzorků a typy laserů	45
Tabulka 2 Naměřená data parametru drsnosti Sa	46
Tabulka 3 Vypočítané hodnoty metodiky EDA	46
Tabulka 4 Test outlierů pro parametr drsnosti Sa.....	54
Tabulka 5 Naměřená data parametru drsnosti Sz	60
Tabulka 6 Vypočítané hodnoty metodiky EDA	60
Tabulka 7 Test outlierů pro parametr drsnosti Sz.....	68

