

Hodnocení jakosti povrchů dílů s proměnnou strukturou povrchu

Bc. Miroslav Schöfr

Diplomová práce
2017

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav Schöfr**

Osobní číslo: **T15421**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení jakosti povrchů dílů s proměnnou strukturou povrchu**

Zásady pro vypracování:

1. Teoretická část:
2. Popis vhodných metrologických postupů pro měření jakosti povrchu
3. Popis základních statistických metod využitelných pro měření vybraného dílu
4. Popis základních metrologických chyb, vyskytujících se při měření
5. Praktická část
6. Vytipování dílce s proměnnou strukturou povrchu
7. Popis vhodného postupu měření struktury povrchu v laboratoři i na dílenské úrovni
8. Statistické vyhodnocení výsledků měření
9. Závěr a porovnání měření v laboratoři s měřením na dílenské úrovni

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. SOUKUP, Josef a Jan SKOČILAS. Technická měření. 2., opr. a dopl. vyd. Ústí n. L.: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2014. ISBN 978-80-7414-730-2.
2. KAŇÁK, Jiří. Technická měření. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1084-0.
3. BERAN, Vlastimil. Technická měření. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. ISBN 80-7043-320-5.
4. STRÍŽ, Pavel a Helena SEBEROVÁ. Metody statistické analýzy. Bučovice: Martin Stríž, 2011. ISBN 978-80-87106-50-1.

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Vladimír Pata
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

2. ledna 2017

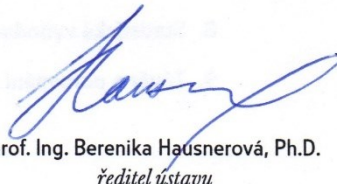
Termín odevzdání diplomové práce:

12. května 2017

Ve Zlíně dne 23. ledna 2017



doc. Ing. František Buňka, Ph.D.
děkan



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

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské 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.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výtěžku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá měřením drsnosti povrchu na dílech vyráběných metodou soustružení. Teoretická část popisuje základní pojmy a definice měření drsnosti povrchu podle norem ČSN EN ISO 4287 a ČSN EN ISO 4288. Její součástí je vysvětlení základních statistických metod pro vyhodnocování naměřených výsledků. Pro praktickou část byl zvolen díl, na kterém bude hodnocena struktura povrchu. Tento díl je vyroben rotačním soustružením z materiálu kulatého průřezu o průměru 21 milimetrů. Všechny výsledky budou zaznamenány a vyhodnoceny pomocí statistického softwaru Minitab.

Klíčová slova: Jakost povrchu, Statistické hypotézy, Chyby měření

ABSTRACT

This diploma thesis discusses about surface roughness measurement on parts produced by turning method. The theoretical part describes basic terms and definitions of surface roughness measurement according to ČSN EN ISO 4287 and ČSN EN ISO 4288. This part contains also an explanation of basic statistical methods for evaluation of measured results. The practical part evaluates the surface structure of selected components. The component is made by rotary turning of 21 millimeters diameter round material. All results will be recorded and evaluated in the Minitab statistical software.

Keywords: Quality of surface, Statistical hypothesis, Measurement errors

Tímto bych chtěl poděkovat panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za ochotu, předané znalosti a čas, který mi věnoval při pomoci s vypracováním diplomové práce.

Také bych chtěl poděkovat panu Jiřímu Stárkovi, který mi umožnil provést měření na přístroji, který se nachází v jeho společnosti.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	10
1 JAKOST POVRCHU.....	11
1.1 ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKY POVRCHU.....	12
1.1.1 Rozdělení dle způsobu obrábění	13
1.2 POSTUP PRO MĚŘENÍ JAKOSTI POVRCHU DOTYKOVÝM DRSNOMĚREM.....	13
1.3 PARAMETRY PROFILU	15
1.3.1 Střední čára.....	15
1.3.2 Profily.....	15
1.3.3 Filtry profilu	16
1.3.4 Amplitudové.....	16
1.3.4.1 Rv.....	17
1.3.4.2 Rp.....	17
1.3.4.3 Rz.....	17
1.3.4.4 Rt.....	18
1.3.4.5 Rc.....	18
1.3.4.6 Ra.....	18
1.3.4.7 Rq.....	19
1.3.5 Frekvenční.....	19
1.3.5.1 Rsm	19
1.3.6 Hybridní	20
1.3.6.1 Rmr	20
1.3.7 Dráha snímání	20
1.4 PRAVIDLA PRO HODNOCENÍ STRUKTURY POVRCHU	21
1.4.1 Pravidlo 16 – ti %.....	22
1.4.2 Pravidlo maxima	22
1.5 MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	22
1.5.1 Způsob snímání	23
2 POPIS ZÁKLADNÍCH STATISTICKÝCH METOD VYUŽITELNÝCH PRO MĚŘENÍ VYBRANÉHO DÍLU	24
2.1 TESTOVÁNÍ STATISTICKÝCH HYPOTÉZ.....	24
2.2 NULOVÁ A ALTERNATIVNÍ HYPOTÉZA	24
2.2.1 Chyba I. a II. druhu	25
2.2.2 Postup při testování	26
2.3 T-TEST.....	26
2.4 F-TEST.....	28
2.5 ANOVA	28
2.5.1 Jednofaktorová anova.....	29
2.5.1.1 Vzorce pro výpočet jednofaktorové anovy	29
2.5.2 Kruskal-Wallis test.....	30
2.5.3 Dvoufaktorová anova	30
3 POPIS ZÁKLADNÍCH METROLOGICKÝCH CHYB,	

VYSKYTUJÍCÍCH SE PŘI MĚŘENÍ	32
3.1 CHYBY MĚŘENÍ	32
3.1.1 Hrubé chyby	32
3.1.2 Systematické chyby	32
3.1.3 Náhodné chyby	33
3.1.4 Chyby měřicího zařízení	33
3.1.5 Chyby měřicí metody	33
3.1.6 Chyby způsobené okolními vlivy	33
3.2 PROBLEMATIKA PŘI MĚŘENÍ KONTAKTNÍM ZPŮSOBEM	33
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
4 VYTIPOVÁNÍ DÍLCE S PROMĚNNOU STRUKTUROU POVRCHU	35
5 POPIS VHODNÉHO POSTUPU MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU V LABORATOŘI I NA DÍLENSKÉ ÚROVNI	38
5.1 POSTUP PŘI MĚŘENÍ DÍLU PRO VÝSLEDNOU STATISTIKU	38
5.1.1 Značení a příprava dílů	38
5.1.2 Měřicí přístroj	39
5.1.3 Příprava přístroje	40
5.1.4 Podmínky měření	41
5.1.5 Práce s výsledky	42
5.1.6 Pojmenování jednotlivých částí dílu	43
5.1.7 Označení jednotlivých sak dílů	43
6 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	44
6.1 PROKÁZÁNÍ STEJNÝCH HODNOT DRSNOSTI NA VŠECH PLOCHÁCH JEDNOHO KUSU	44
6.1.1 Test normality naměřených dat pro první díl	44
6.1.2 Test normality naměřených dat pro druhý díl	46
6.1.3 Vyjádření k výsledkům testu normality	48
6.1.4 Testování rovnosti rozptylů	48
6.1.5 Testování rovnosti průměrů	51
6.1.6 Hodnocení výsledků	54
6.2 OPOTŘEBENÍ PRVNÍ SÉRIE KUSŮ	55
6.3 OPOTŘEBENÍ DRUHÉ SÉRIE KUSŮ	59
6.4 OPOTŘEBENÍ TŘETÍ SÉRIE KUSŮ	63
6.5 OPOTŘEBENÍ ČTVRTÉ SÉRIE KUSŮ	67
7 ZÁVĚR A POROVNÁNÍ MĚŘENÍ V LABORATOŘI S MĚŘENÍM NA DÍLENSKÉ ÚROVNI	72
ZÁVĚR	73
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	74
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	75
SEZNAM OBRÁZKŮ	76
SEZNAM TABULEK	79
SEZNAM PŘÍLOH	80

ÚVOD

V současné době se veškeré technologie, které se používají v metrologii, neustále zlepšují a zpřesňují. Technologie pro měření textury povrchu se začínají využívat stále ve větší míře, z důvodu kladení velkého důrazu na drsnost povrchu. Tato metoda měření se dříve používala převážně ve strojírenství, ale v dnešní době se rozšiřuje i do dalších oborů. Pro tato měření jsou v hojném počtu využívány malé kompaktní přístroje, které jsou určeny pouze pro měření struktury povrchu. Na laboratorní úrovni se můžeme setkat i se stroji, které měří strukturu povrchu pomocí laseru. Tyto stroje jsou však daleko nákladnější než přístroje kontaktní.

Tato diplomová práce bude seznamovat se základními metodami a postupy měření struktury povrchu na základě norem ČSN EN ISO. Je nutné znát základní statistické metody pro následnou práci s daty, které jsou získány pomocí příslušných přístrojů. V další části bude diplomová práce pojednávat o měření struktury povrchu na vybraných dílech. Součástí tohoto měření je popis přípravy dílů pro měření a popis měřicího přístroje. Důležitým krokem je nastavení vhodných podmínek měření, které mají vliv na jeho výsledky. S daty se bude dále pracovat pomocí statistického softwaru Minitab. Výsledky provedených statistických analýz budou okomentovány.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 JAKOST POVRCHU

Každý povrch má svoje vlastnosti, které všeobecně nazýváme jakostí povrchu. Mezi tyto vlastnosti řadíme rozměrovou přesnost, geometrickou přesnost a mechanické vlastnosti povrchové vrstvy. Nejčastěji vyhodnocovaným parametrem je drsnost, která nám popisuje strukturu povrchu. Patří sem vlnitost profilu, směr obrábění a další. Pro vyhodnocení drsnosti se nejčastěji používají přístroje navrženy speciálně pro toto měření. Můžeme však použít i metodu, kdy vyhodnocovaný vzorek porovnáváme s předem připravenými šablonami.

Struktura povrchu je vytvářena při jeho tvorbě. Vliv na výslednou hodnotu má řezná rychlost, posuv, šířka odebrané třísky a veškeré další parametry, které jsou specifické pro obrábění. Do parametru drsnosti nejsou započítány náhodné vady povrchu.

Subjektivní hodnocení:

- Barva
- Vzhled

Objektivní hodnocení:

- Komparační
- Přímé kontaktní
- Přímé bezkontaktní

Normy ČSN EN ISO:

ČSN EN ISO 4287 – tato mezinárodní norma stanoví termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu (drsnosti, vlnitosti a základního profilu) profilovou metodou.[5]

ČSN EN ISO 4288 – tato mezinárodní norma stanoví pravidla pro porovnávání měřených hodnot s tolerančními mezemi stanovenými pro parametry struktury povrchu v ISO 4287, ISO 12085, ISO 13565-2 a ISO 13565-3 [6]

1.1 Základní charakteristiky povrchu

Tvar – jedná se o křivku profilu, do které není zohledněna vlnitost a drsnost



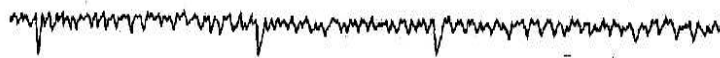
Obr. 1 Křivka profilu

Vlnitost – často také nazývána makronerovnost. Je nosnou křivkou drsnosti. Příčinou vzniku nejčastěji bývají vibrace a chvění, které vznikají v důsledku nedostatečné tuhosti stroje nebo výskytem vad ve vodících částech.



Obr. 2 Vlnitost

Drsnost – můžeme ji rozdělit na mikrometrickou oblast a nanometrickou oblast. Vzniká při styku nástroje s obrobkem



Obr. 3 Drsnost

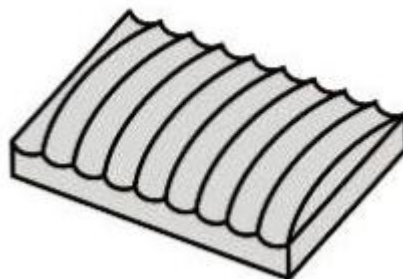
Chyby povrchu – vada, která vznikla například vyštípnutím materiálu při obrábění



Obr. 4 Chyba povrchu

1.1.1 Rozdělení dle způsobu obrábění

Periodický povrch – povrch, který má pravidelný směr obrábění. Nejčastěji vzniká při soustružení, vrtání, apod. Je důležité dodržet kolmý směr snímání na směr obrábění, v opačném případě by výsledky měření byly značně nižší.



Obr. 5 Periodický povrch [8]

Neperiodický povrch – povrch, který nemá pravidelný směr obrábění a tudíž měření drsnosti tohoto profilu není závislé na směru snímání. Vzniká většinou při kování, odlévání, apod.



Obr. 6 Neperiodický povrch [8]

1.2 Postup pro měření jakosti povrchu dotykovým drsnoměrem

Postup pro periodický povrch:

1. Odhad parametru R_{sm}
2. Podle tabulky se v závislosti na této hodnotě určí délka kroku
3. Náměr zkoumaného povrchu

4. Porovnání naměřené hodnoty R_{Sm} s hodnotou, která byla použita při prvním nastavení stroj. V případě, že se meze neshodují opakujeme měření pro novou hodnotu
5. Získání reprezentativního výsledku

R_{Sm} μmm	Základní délka drsnosti l_r mm	Vyhodnocovaná délka drsnosti l_n mm
$0,013 < R_{Sm} \leq 0,04$	0,08	0,4
$0,04 < R_{Sm} \leq 0,13$	0,25	1,25
$0,13 < R_{Sm} \leq 0,4$	0,8	4
$0,4 < R_{Sm} \leq 1,3$	2,5	12,5
$1,3 < R_{Sm} \leq 4$	8	40

Obr. 7 Tabulka hodnot pro periodický profil [6]

Postup pro neperiodický povrch:

1. Odhad parametru R_z nebo R_a
2. Podle tabulky se v závislosti na této hodnotě určí délka kroku
3. Náměr zkoumaného povrchu
4. Porovnání naměřené hodnoty R_z/R_a s hodnotou, která byla použita při prvním nastavení stroj. V případě, že se meze neshodují opakujeme měření pro novou hodnotu
5. Získání reprezentativního výsledku

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

Obr. 8 Tabulka hodnot pro parametr R_a , neperiodický profil [6]

$Rz^{1)} Rz1max.^{2)}$ μm	Základní délka drsnosti lr mm	Vyhodnocovaná délka drsnosti ln mm
(0,025) $<Rz, Rz1max. \leq 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < Rz, Rz1max. \leq 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < Rz, Rz1max. \leq 10$	0,8	4
$10 < Rz, Rz1max. \leq 50$	2,5	12,5
$50 < Rz, Rz1max. \leq 200$	8	40

¹⁾ Rz je použito při měření Rz, Rv, Rp, Rc, a Rt
²⁾ Rz1max. je použito jen při měření Rz1max., Rv1max., Rp1max. a Rc1max.

Obr. 9 Tabulka hodnot pro parametr Rz, neperiodický profil [6]

1.3 Parametry profilu

1.3.1 Střední čára

Jedná se o přímku, která prochází mezi vrcholy a prohlubněmi. Matematicky ji stanovíme následujícím vztahem: kde S_{pi} zastupují vrcholky a S_{vi} zastupují prohlubně.

$$\sum S_{pi} = \sum S_{vi}$$

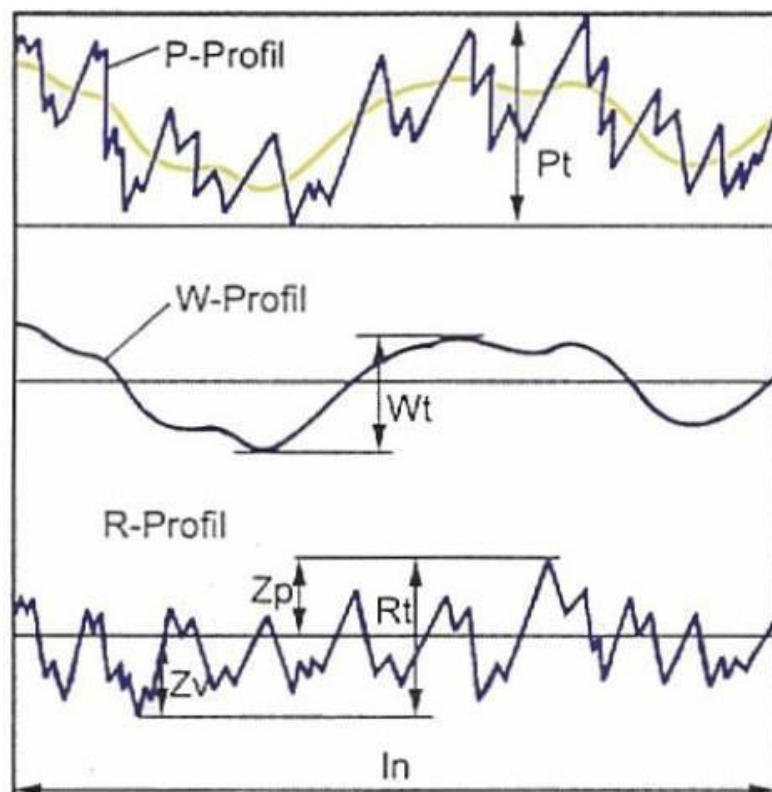
Pokud je dodržen tento vztah, pak je střední čára určena správně.

1.3.2 Profily

P – profil: základní profil. Tento parametr se získá pomocí filtru λ_s , který potlačuje krátkovlnné složky profilu.

R – profil: profil drsnosti. Získává se potlačením dlouhovlnných složek λ_c a nejkratších vlnových složek λ_s , ze základního profilu.

W – profil: profil vlnitosti. Pro tento profil se využívají filtry λ_c a λ_f .



Obr. 10 Základní profily [8]

1.3.3 Filtry profilu

Povrch profilu rozdělujeme dle velikosti rozteče na krátkovlnné složky a dlouhovlnné složky.

λ_s filtr – určuje rozmezí mezi krátkými složkami vln na povrchu a drsností

λ_c filtr – určuje rozmezí mezi složkami vlnitosti a drsností

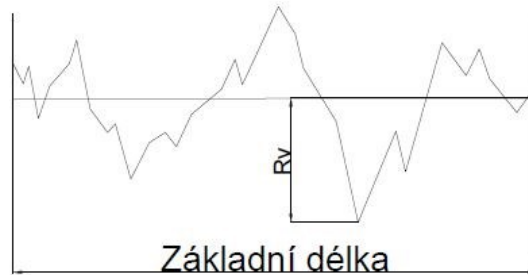
λ_f filtr – určuje rozmezí mezi dlouhými složkami vln na povrchu a vlnitostí

1.3.4 Amplitudové

Parametry, které určují velikost vrcholů a prohlubní od střední čáry.

1.3.4.1 R_v

Jedná se o největší hloubku prohlubní od střední čáry v rozsahu základní délky.



Obr. 11 Parametr R_v

1.3.4.2 R_p

Nejvyšší výška výstupku od střední čáry v rozsahu základní délky.



Obr. 12 Parametr R_p

1.3.4.3 R_z

Největší výška profilu. Jedná se o součet největšího výstupku a nejnižší prohlubně na základní délce. Výsledným parametrem je průměrná hodnota na vyhodnocované délce.



Obr. 13 Parametr R_z

1.3.4.4 R_t

Celková výška profilu. Součet nejvyššího výstupku a nejnižší prohlubně na vyhodnocované délce.



Obr. 14 Parametr R_t

1.3.4.5 R_c

Průměrná hodnota výšek profilu v rozsahu základní délky.

$$R_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_{t_i}$$

1.3.4.6 R_a

Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu.

$$R_a = \frac{1}{l_r} \times \int_0^{l_r} |Z(x)| dx$$

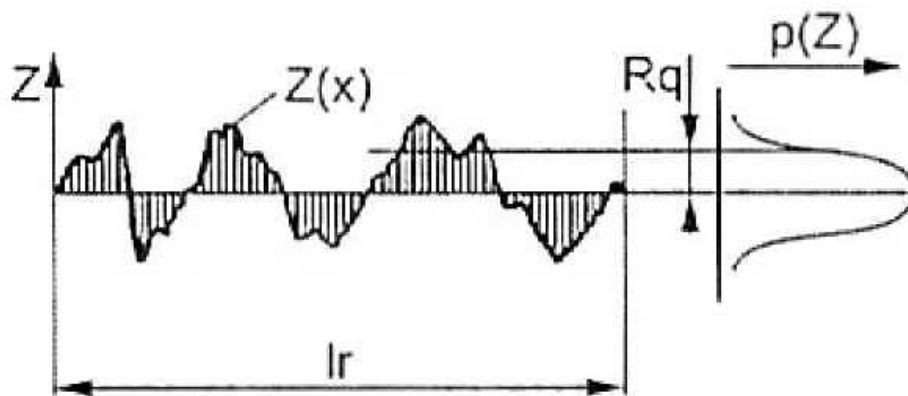


Obr. 15 Parametr R_a

1.3.4.7 Rq

Střední kvadratická hodnota odchylek na základní délce. Má význam při statistickém porovnání.

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \times \int_0^{lr} |Z^2(x)| dx}$$



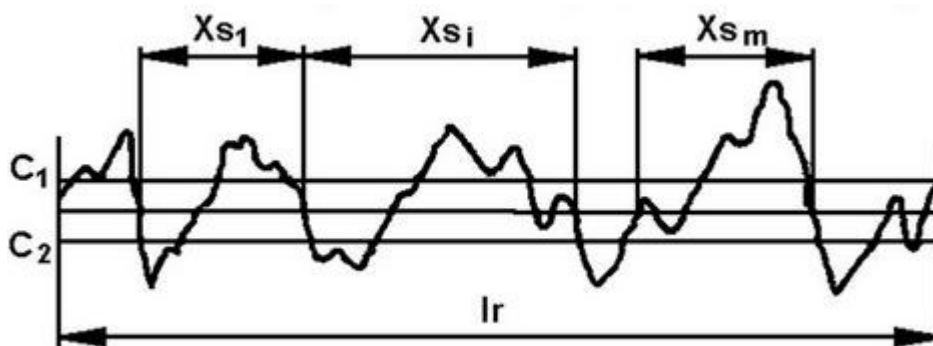
Obr. 16 Parametr Rq

1.3.5 Frekvenční

Parametry, které určují vzdálenost roztečí.

1.3.5.1 Rsm

Střední vzdálenost rýh. Výsledkem je aritmetický průměr šířek profilu na základní délce.



Obr. 17 Parametr Rsm [8]

1.3.6 Hybridní

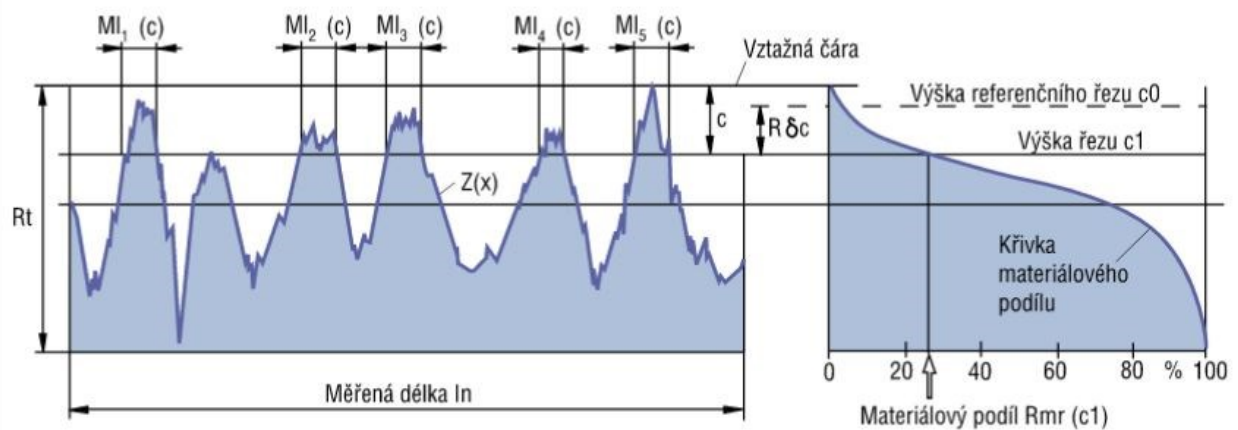
Kombinace obou předchozích parametrů.

1.3.6.1 Rmr

Křivka kumulovaných hodnot. Jedná se o poměr délky nosné plochy k vyhodnocované délce profilu v určené hloubce. Vyjadřuje se v procentech.

$$Rmr = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{ln} \times 100\%$$

Abbot-Firestonova křivka – nosná křivka. Spojitá neklesající.



Obr. 18 Parametr Rmr [8]

1.3.7 Dráha snímání

l_r – základní délka. Na této délce jsou snímány parametry. Jednotkou je milimetr.

l_n – vyhodnocovaná délka. Měla by obsahovat pět základních délek, ale pokud toho nejsme schopni, můžeme použít méně. Výsledkem je průměrná hodnota ze všech základních délek. Jednotkou je milimetr.

Náběh – slouží pro eliminaci rázů při rozjezdu měřícího hrotu. Jeho velikost je polovina základní délky. Jednotkou je milimetr.

Přeběh – slouží pro eliminaci nepřesnosti měření při zastavení měřícího hrotu. Jeho velikost je polovina základní délky. Jednotkou je milimetr.

l_t – celková délka snímání. Jedná se o součet vyhodnocované délky s náběhem a přeběhem. Jednotkou je milimetr.



Obr. 19 Dráha měření

1.4 Pravidla pro hodnocení struktury povrchu

1. Hodnocení sledované plochy provádíme pomocí hodnot získaných z přístroje pro měření parametrů struktury povrchu na sledované ploše a následným porovnáním s hodnotami požadovanými pro funkčnost sledované plochy výkresem nebo výrobní dokumentací. Při hodnocení vycházíme z normy ČSN EN ISO 4288. Sledovaný parametr přitom nabývá hodnoty s určitým rozptylem, s čímž výše citovaná norma počítá a stanovuje proto pravidlo 16 - ti %. Podle pravidel normy provedeme kontrolu homogenity povrchu. Je-li struktura povrchu homogenní, hodnoty parametrů určených z celého povrchu měřeného vzorku nebo obrobku budou použity pro porovnání s hodnotami uvedenými na výkrese nebo ve výrobní dokumentaci. [8]
2. V případě, že setkáme s dílem, který má více povrchů s rozdílnou strukturou, musíme měřit každý z těchto povrchů a to tak, abychom díl dostatečně popsaly v závislosti na výkresové dokumentaci
3. V případě, že na výkrese není určen směr, kterým máme danou součást měřit, musíme vybrat směr, ve kterém budou parametry drsnosti maximální
4. Pokud není předem určena oblast, ve které se má měření provádět, musíme měřit tu část součásti, na které očekáváme maximální hodnoty drsnosti. Tuto část můžeme vybrat na základě vizuální kontroly součásti. Měření na této části povrchu rozvrhneme tak, abychom ho dokonale popsali

1.4.1 Pravidlo 16 – ti %

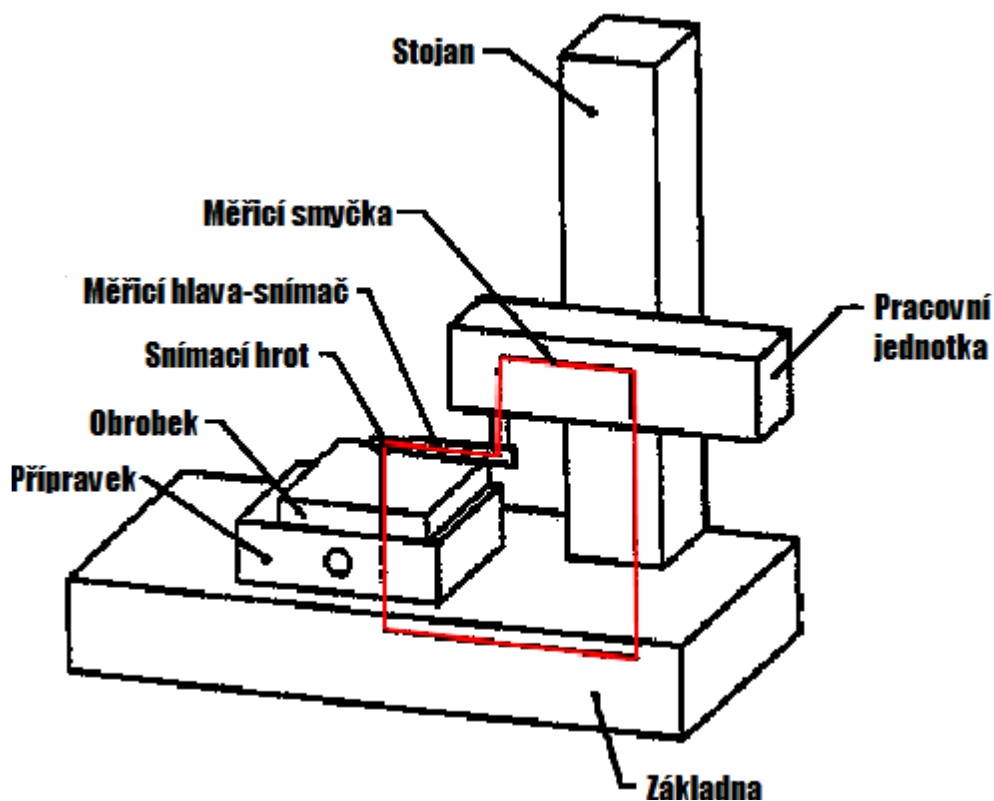
Pokud je na výkrese součásti značka drsnost bez indexu „max“, pak se můžeme řídit pravidlem 16 %. Toto pravidlo říká, že 16 % naměřených hodnot může ležet mimo toleranční pole předepsané na výkrese a tento díl můžeme označit za vyhovující.

1.4.2 Pravidlo maxima

Zápis drsnosti je v tomto případě doplněn o index „max“. Žádná z naměřených hodnot na dílu nesmí překročit předepsanou výkresovou dokumentaci.

1.5 Měřicí zařízení

Pro měření drsnosti se nejčastěji používají zařízení určená přímo k tomuto úkonu. Jedná se o mále přístroje, které jsou ve většině případů přenosné. Některé dokáží pracovat i jako bezdrátové a mohou se využívat pro kontrolu těžce přístupných míst. Výsledek měření se hned po vyhodnocení zobrazí na obrazovce, proto je měření velice rychlé. V současné době je možné toto vyhodnocení provádět i na strojích podstatně větších, které primárně nejsou určeny k tomuto účelu, jako jsou 3D měřicí stroje a kruhoměry.

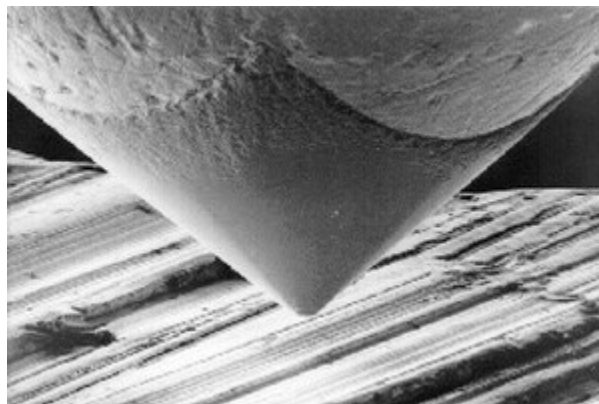


Obr. 20 Schéma měřicího zařízení

1.5.1 Způsob snímání

K samotnému měření jsou nejčastěji využívány měřicí hroty nebo laser. Parametry měřících hrotů:

- Hrot tvaru kužele
- 60° nebo 90° úhel kužele
- Zaoblení hrotu 2; 5; 10 μm
- Měřicí síla 0,6 ÷ 2 mN



Obr. 21 Ukázka měřícího hrotu

2 POPIS ZÁKLADNÍCH STATISTICKÝCH METOD VYUŽITELNÝCH PRO MĚŘENÍ VYBRANÉHO DÍLU

Po každém provedeném měření je důležité vyhodnotit výsledky. V případě jednotlivých měření známe hodnotu výsledku okamžitě a můžeme určit, jestli odpovídá předepsaným požadavkům. Pokud měříme velké série a chceme znát parametry celého souboru je potřeba data statisticky vyhodnocovat. Při statistickém vyhodnocení záleží na metodě, kterou pro daný problém zvolíme. Pokud zvolíme špatnou metodu nebo nedodržíme její postup, můžeme ovlivnit výsledky měření.

2.1 Testování statistických hypotéz

Mluvíme o tvrzení, které vyřkneme o daném souboru, který se skládá z více parametrů. Jejím základním úkolem je určit, jestli je toto tvrzení pravdivé nebo nikoliv. Snažíme se rozhodnout, jestli se naměřené soubory liší statisticky významně (hodně) nebo statisticky nevýznamně (málo) s možností omylu α .

Statistické hypotézy rozdělujeme na:

- Parametrické – vycházíme ze známého rozdělení sledované veličiny (střední hodnota, medián, rozptyl, relativní četnosti, atd.)
- Neparametrické – mluvíme o obecných vlastnostech souboru

2.2 Nulová a alternativní hypotéza

Jedná se o metodu, ve které spolu srovnáváme dvě hypotézy. První hypotézou, kterou stanovíme je hypotéza nulová, která se značí H_0 . Ve většině případů ji stanovujeme například pro rovnost rozptylů, rovnost průměrů nebo rovnost konstantní hodnoty.

Příklad: $H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_0: \mu_1 - \mu_2 = \text{konstanta}$

Opakem hypotézy nulové je hypotéza alternativní, kterou značíme H_A . V případě, že zamítneme platnost H_0 automaticky platí předem stanovená H_A . Alternativní hypotéza se ve většině případů stanoví jako rozdíl mezi soubory. Můžeme ji rozdělit na jednostrannou, v tom

případě od sebe soubory rozlišujeme znaménky větší nebo menší ($>$, $<$). Druhou možností je oboustranná alternující hypotéza. Značí se znaménkem nerovnosti (\neq).

Příklad: $H_A: \mu_1 \neq \mu_2$

$H_A: \mu_1 < \mu_2$

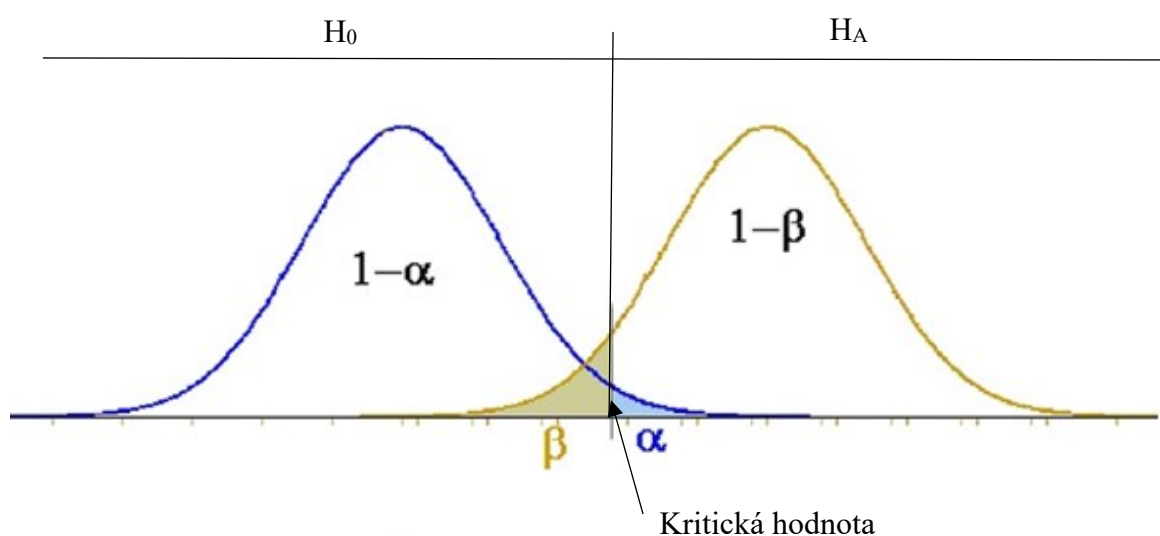
2.2.1 Chyba I. a II. druhu

Při přijímání nebo zamítání hypotézy může vznikat chyba z důvodu špatného výběrového souboru ze základního souboru.

Chybou prvního druhu je hodnota hladiny významnosti α . Tato chyba nastává, když platí nulová hypotéza, ale my ji na základě naměřených dat zamítáme. Toto rozhodnutí má pak pravděpodobnost spolehlivosti $1 - \alpha$.

Chyba druhého druhu je označována jako β . Nastává ve chvíli, kdy nulová hypotéza neplatí, ale my ji na základě naměřených dat nezamítáme. Toto rozhodnutí má pravděpodobnost $1 - \beta$ a nazýváme ho silou testu.

Tyto chyby spolu navzájem souvisí, a proto není možné je obě minimalizovat zároveň. Na začátku volíme hladinu významnosti α , která charakterizuje chybu prvního druhu. Na obrázku vidíme, že tato hodnota nám následně ovlivní chybu druhého druhu.



Obr. 22 Křivky pro vyjádření chyb I. a II. druhu

Tabulka 1 Rozhodnutí o nulové hypotéze

	Nezamítám H_0	Zamítám H_0
Platí H_0	Správné rozhodnutí $1-\alpha$	Chyba I. druhu
Neplatí H_0	Chyba II. druhu	Správné rozhodnutí $1-\beta$

2.2.2 Postup při testování

1. Formulujeme nulovou a alternativní hypotézu

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2$$

2. Zvolíme hladinu významnosti α (většinou 0,05 nebo 0,01). Na jejím základě dostaneme kritickou hodnotu
3. Vypočteme t
4. Srovnáváme kritickou hodnotu s testovacím kritériem

Testovací kritérium < kritická hodnota Nezamítám H_0 s možností omylu α a pravděpodobností $1 - \alpha$

Testovací kritérium > kritická hodnota Zamítám H_0 s možností omylu α a pravděpodobností $1 - \alpha$

2.3 T-test

T-test neboli také studentův t-test je parametrickým testem, který porovnává rozdíl středních hodnot. Je to test, který se nejvíce využívá. Výběr hodnot, které se používají musí mít charakter normálního rozdělení. Porovnáváme dva různé výběry, které obsahují jiná data. Porovnáváme nezávislost těchto výběrů. V každém výběru může být jiný počet dat, ale při velkém rozdílu v počtu dat můžeme ovlivnit sílu testu.

Stanovíme nulovou hypotézu:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Stanovíme alternativní hypotézu:

$$\text{oboustranná alternativní hypotéza } H_0: \mu_1 \neq \mu_2$$

$$\text{jednostranná alternativní hypotéza } H_0: \mu_1 < \mu_2 \text{ nebo } H_0: \mu_1 > \mu_2$$

Testovací kritérium určujeme na základě toho, jestli známe směrodatné odchylky základních souborů.

Známe σ_1 a σ_2 , pak:

$$T(X) = Z_2 = \frac{(\bar{x}_1^2 - \bar{x}_2^2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \rightarrow N(0,1)$$

Neznáme σ_1 a σ_2 , pak:

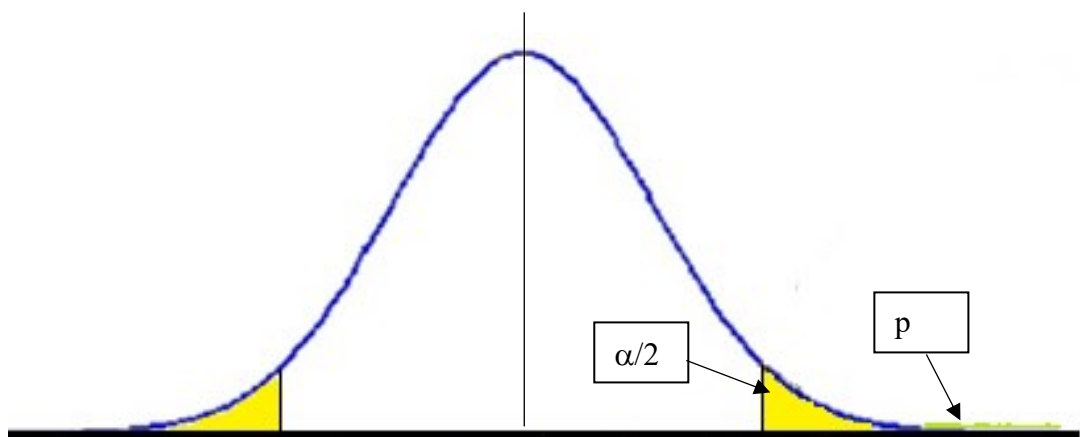
$$T(X) = Z_2 = \frac{(\bar{x}_1^2 - \bar{x}_2^2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \rightarrow t_{n_1+n_2-2}$$

$$\text{kde } S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Vypočtenou hodnotu T následně porovnáváme s kritickou hodnotou z tabulky:

$T < T_{\alpha/2}$: střední hodnoty vybraných výběrových souborů se liší statisticky nevýznamně, a proto nezamítám nulovou hypotézu o rovnosti středních hodnot.

$T > T_{\alpha/2}$: střední hodnoty vybraných výběrových souborů se liší statisticky významně, a proto zamítám nulovou hypotézu o rovnosti středních hodnot ve prospěch hypotézy alternativní.



Obr. 23 Studentovo rozdělení

2.4 F-test

F-test je test pro porovnání rozptylů ve výběrových souborech. Používá se například pro porovnání přesnosti dvou měření. Předpokladem je, že data ve výběrovém souboru patří do Gaussova normálního rozdělení.

Stanovíme nulovou hypotézu:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

Oproti ní stanovíme hypotézu alternativní:

$$H_A: \sigma_1^2 < \sigma_2^2 \text{ nebo } H_A: \sigma_1^2 > \sigma_2^2$$

Nulovou hypotézu stanovíme ve stejném tvaru jako u t-testu. Na rozdíl od t-testu stanovujeme pouze jednostrannou alternativní hypotézu. Test je založen na shodě dvou rozptylů na základě Fischer-Snedecorově rozdělení. Na základě vypočtených výběrových rozptylů rozhodneme, kterou alternativní hypotézu zvolíme.

Vypočteme:

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \rightarrow F(m, n)$$

Hodnota F má Fischer-Snedecorovo rozdělení. Hodnota F má Fischer-Snedecorovo rozdělení. Kde m značí počet stupňů volnosti většího rozptylu a n značí počet stupňů volnosti menšího rozptylu.

Hodnotu F, kterou jsme vypočítali, porovnááme s tabulkovou kritickou hodnotou:

$F < F_{\text{krit}}$: rozptyly vybraných výběrových souborů se liší statisticky nevýznamně, a proto nezamítám nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů.

$F > F_{\text{krit}}$: rozptyly vybraných výběrových souborů se liší statisticky významně, a proto zamítám nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů ve prospěch hypotézy alternativní.

2.5 ANOVA

Jedná se o metodu, která na základě analýzy rozptylu testuje hypotézy o rovnosti středních hodnot. Můžeme zkoumat vliv jednoho nebo více faktorů na závislé proměnné.

Podstatou analýzy rozptylu je rozklad celkového rozptylu dat na složky objasněné (známé zdroje variability) a složku neobjasněnou, o níž se předpokládá, že je náhodná. [7]

Pokud chceme použít metodu testování rozptylu středních hodnot, musí naše data splňovat následující předpoklady:

- Měření na sobě nesmí být závislá
- Naměřená data musí prokazovat normalitu
- Rozptyly musí být homogenní

2.5.1 Jednofaktorová anova

Jedná se o metodu, kdy zkoumáme vliv pouze jednoho faktoru na jednu nebo více nezávislých proměnných. Variabilitu znaku rozdělujeme na variabilitu uvnitř jednotlivých výběrů a mezi jednotlivými výběry. Cílem je prokázat závislost mezi znakem Y a faktorem X, pomocí stanovení hypotézy a jejího následného potvrzení nebo zamítnutí.

2.5.1.1 Vzorce pro výpočet jednofaktorové anovy

Základním předpokladem je konstantní rozptyl a nulová střední hodnota chyb.

Součet čtverců odchylek od celkového průměru:

$$s_y = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2$$

Můžeme ho rozložit na dvě složky. Jednou je složka $s_{y,m}$, která zastupuje součet čtverců odchylek mezi jednotlivými úrovněmi a má počet stupňů volnosti $K - 1$. Druhou složkou je $s_{y,y}$, která zastupuje součet čtverců odchylek na jednotlivých úrovních a má počet stupňů volnosti $N-K$.

$$s_{y,m} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

$$s_{y,y} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2$$

$$s_y = s_{y,m} + s_{y,y}$$

Cílem tohoto třídění je určit, zda mají jednotlivé úrovně faktoru statisticky nevýznamný rozdíl ve výsledcích. Stanovíme nulovou hypotézu $H_0: \alpha_i = 0$ pro i od první do poslední úrovně. Oproti tomu stanovíme alternativní hypotézu $H_a: \alpha_i \neq 0$ pro i od první do poslední úrovně.

$$F = \frac{\frac{S_{y,m}}{k-1}}{\frac{S_{y,y}}{n-k}}$$

Při platnosti nulové hypotézy H_0 má pak F statistika F-rozdělení s $K-1$ a $N-K$ stupni volnosti. Vyjde-li tedy F větší než kvantil $F_{1-\alpha}(K-1, N-K)$, je nutné na hladině významnosti α nulovou hypotézu H_0 vyloučit a efekty považovat za nenulové, čili významné. [7]

2.5.2 Kruskal-Wallis test

Tento test se používá ve chvíli, kdy nejsou splněny všechny podmínky pro použití metody ANOVA. Jedná se o neparametrickou jednofaktorovou analýzu. Pro stanovení nulové hypotézy používáme rovnost mediánu. Tato metoda vyžaduje uspořádání všech naměřených dat podle jejich velikosti. Naměřené hodnoty následně nahradíme pořadovým číslem. Následuje výpočet koeficientů SR_i .

$$H = \left[\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=0}^n \left(\frac{(S \cdot R_i)^2}{n_i} \right) \right] - 3 \cdot (n+1)$$

Hodnotě $H \geq 4$ přibližně odpovídá hodnota $p \geq 0,05$.

2.5.3 Dvofaktorová anova

Tato metoda testuje závislost jednoho znaku kvantitativního na dvou znacích kvalitativních. Třídíme podle dvou faktorů. První faktor třídí do skupin a druhý faktor třídí do bloků. Očekáváme nezávislé působení faktorů na znak Y.

Rozklad čtverců provádíme stejně jako u jednofaktorové anovy, jen přidáme další člen $S_{y,b}$, který náleží druhému faktoru.

Postup testování:

1. Stanovení hypotéz
 - H_0^1 : znak X_1 nemá vliv na znak Y
 - H_1^1 : znak X_1 má vliv na znak Y
 - H_0^2 : znak X_2 nemá vliv na znak Y
 - H_1^2 : znak X_2 má vliv na znak Y

2. Testovací kritéria

$$F^1 = \frac{\frac{s_{y,m}}{k-1}}{\frac{s_{yv}}{(k-1) \cdot (1,-1)}}$$
$$F^2 = \frac{\frac{s_{y,b}}{r-1}}{\frac{s_{yv}}{(k-1) \cdot (1,-1)}}$$

Písmeno k značí počet skupin pro faktor 1 a písmeno r značí počet bloků pro faktor 2.

3. Kritické hodnoty $F^1_{(k-1),(k-1)(r-1)}$ a $F^2_{(r-1),(k-1)(r-1)}(\alpha)$
4. Pokud $F^1 > F^1_{(k-1),(k-1)(r-1)}$ pak je znak Y výrazně ovlivněn znakem X_1
5. Pokud $F^2 > F^2_{(r-1),(k-1)(r-1)}$ pak je znak Y výrazně ovlivněn znakem X_2

3 POPIS ZÁKLADNÍCH METROLOGICKÝCH CHYB, VYSKYTUJÍCÍCH SE PŘI MĚŘENÍ

3.1 Chyby měření

Každé měření, které provedeme na jakémkoliv přístroji je zatíženo jistou chybou. Tuto chybu jsme schopni minimalizovat vhodným výběrem měřicí metodiky a přístrojem, jehož přesnost bude co největší. Mluvíme tedy o rozdílu skutečné hodnoty a hodnoty naměřené. Tento rozdíl je nazýván nejistota měření. Skutečnou hodnotu nejsme schopni z fyzikálních důvodů nikdy zjistit, a proto používáme hodnotu srovnávací.

3.1.1 Hrubé chyby

Měření, které je zatíženo hrubou chybou je v celé sérii měření jednoduše rozpoznatelné, jelikož je jeho hodnota vzdálena od ostatních hodnot. Hodnoty, které jsou zatíženy touto chybou následně z celého souboru hodnot vyloučíme.

Tyto chyby mohou být způsobeny například:

- Špatným postupem při měření
- Špatným čtením výsledku
- Špatným zápisem naměřené hodnoty
- Závadou měřícího přístroje

3.1.2 Systematické chyby

Jedná se o chybu, která je u všech naměřených hodnot stejná. Tato chyba není lehce odhalitelná, protože jsou ní zasaženy všechny hodnoty. Můžeme jí odhalit pomocí měření dílu, u které známe hodnoty. Pokud je tato chyba odhalena, může být přičtením nebo odečtením její velikosti eliminována.

Může se vyskytnout v těchto případech:

- Pouze jeden operátor
- Dodržení stejného postupu měření
- Použití stejného měřidla
- Měření za stejných podmínek

3.1.3 Náhodné chyby

Jedná se o chyby, které nejsme schopni odhalit a nemůžeme vysvětlit jejich příčinu. Nejčastěji mají tyto chyby Gaussovo (normální) rozdělení četnosti pravděpodobnosti výskytu. Obecně platí, že malé chyby jsou častější než chyby velké.

3.1.4 Chyby měřícího zařízení

Tyto chyby jsou způsobeny nedokonalostí a vadami měřícího zařízení. Příčinou těchto vad mohou být výrobní tolerance, u starších měřidel má vliv na přesnost opotřebení. Některé chyby se dají minimalizovat úpravou konstrukce. Každý přístroj má svou chybu, a protože nelze přesně určit, uvádí výrobci neznámou systematickou chybu. Chyby můžeme minimalizovat pravidelnou údržbou.

3.1.5 Chyby měřící metody

Chyby vzniklé v důsledku výběru špatné měřící metody nebo špatným použitím měřící metody. Nejčastěji se jedná o nevhodný výběr měřících doteků, špatný ustavení dílu, který je například mimo osu nebo nakloněný. Vliv může mít i vyvinutí příliš velké přítlačné síly.

3.1.6 Chyby způsobené okolními vlivy

Výsledek měření může být ve velké míře ovlivněn prostředím, ve kterém měření probíhá. Nejčastější vliv na výsledek má teplotní roztažnost měřeného dílu, proto se většinou předepisují teploty, při kterých má měření probíhat.

Vlivy působící na měření:

- Teplota
- Tlak
- Vlhkost
- Vibrace
- Magnetické nebo elektrické pole

3.2 Problematika při měření kontaktním způsobem

Při měření kontaktním způsobem mohou nastat dva různé typy problému, kdy v jednom případě nejsme schopni naměřit celou požadovanou délku, v druhém případě při měření zkusíme výsledek.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

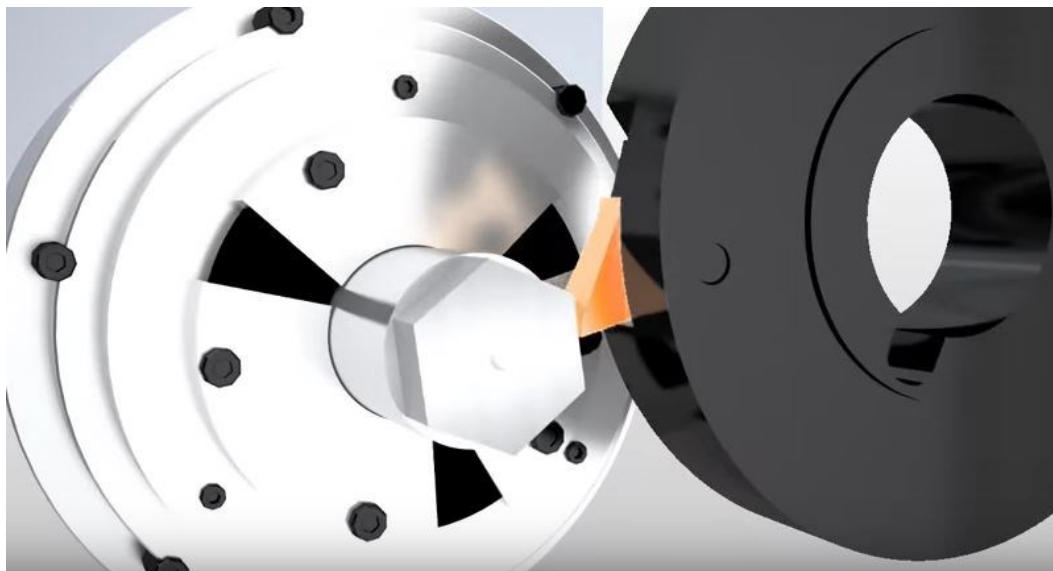
4 VYTIPOVÁNÍ DÍLCE S PROMĚNNOU STRUKTUROU PОВRCHU

V závislosti na tvorbě nového projektu jsme vybrali díl, u kterého se bude používat technologie obrábění, která do současné doby nebyla v naší firmě použita. Budeme měřit parametry struktury povrchu, u kterého očekáváme, že se bude drsnost povrchu zvyšovat. Šestihran je vyráběn pomocí tří výměnných břitových destiček za vysokých a přesně definovaných otáček vřetene i hlavy, do které jsou břitové destičky vsazeny.

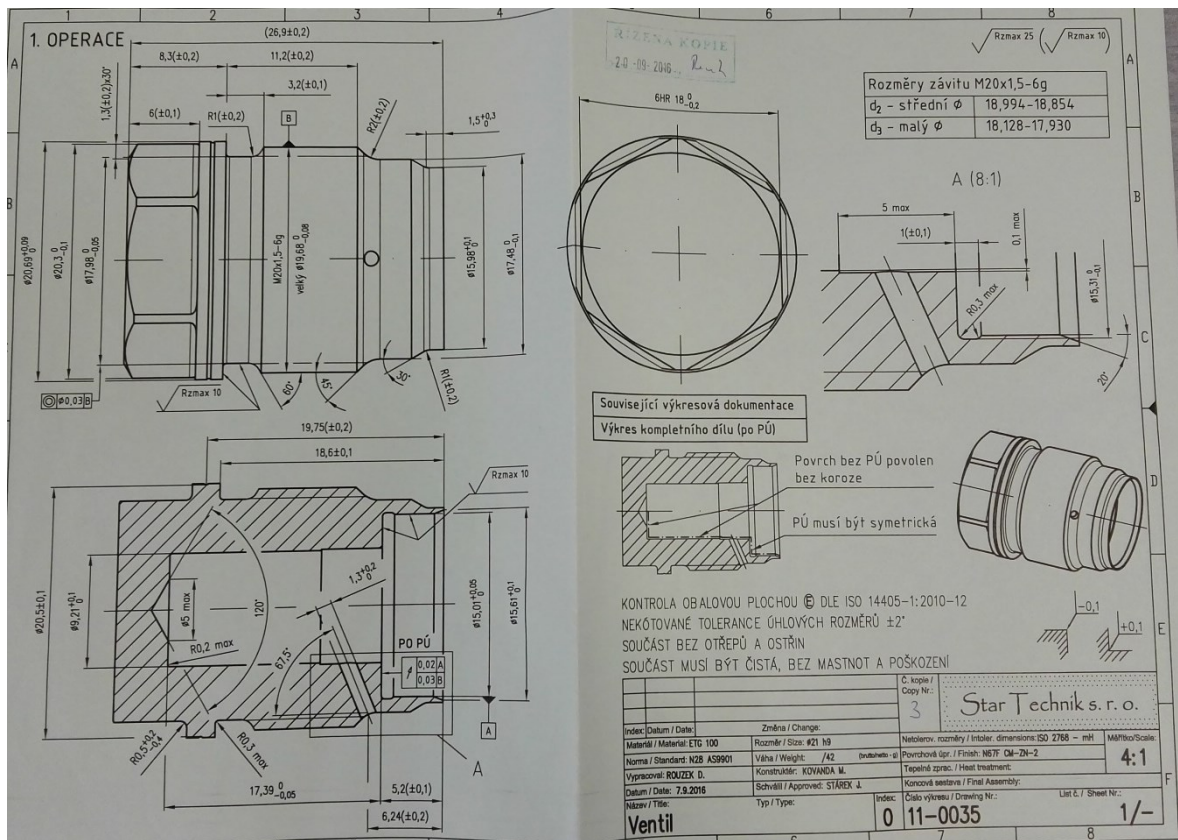
Výrobní podmínky:

- Otáčky vřetene: 1000 ot/min
- Otáčky obráběcí hlavy: 2000 ot/min
- Posuv 0,014 mm/ot
- Teplota oleje 37 °C

Jelikož tuto technologii používáme poprvé, potřebujeme určit životnost břitových destiček a následně stanovit jejich pravidelnou výměnu.



Obr. 24 Znáznornění metody obrábění



Obr. 25 Výrobní výkres součásti



Obr. 26 Ukázka vybraného dílu

Požadované složení materiálu:

- C 0,4 – 0,48 %
- Si 0,1 – 0,3 %
- Mn 1,35 – 1,65 %
- P max. 0,04 %
- S 0,24 – 0,33 %

Mechanické vlastnosti materiálu:

- Rm min. 960 MPa
- Rp_{0,2} min. 865 MPa
- A 6 – 10 %

Chemische Zusammensetzung in % / composition in %											
Schmelzen-Nr. No du coulée Heat-No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Sn	N
E01154280	0,44	0,12	1,41	0,02	0,296	0,09	0,11	0,14	0,02	0,009	0,009
Mechanische Prüfung / test mécanique / mechan											
Vormateriallieferant: préfournisseur de matériel: presupplier of material:						Härte/dureté/hardness			Zugversuch / traction / tensile test		Kerbsch
Schmelzen-Nr. no. du coulée Heat-No.	Menge quantité quantity KG	Probennummer no. d'échantillon Sample No.	HB	HRC	HV	Rp02 MPa	Rm MPa	A5 %	Z %	Probenlage position position	
E01154280	974	000688787/XX				914	1025	7,0	20,2	I	

Obr. 27 Atest složení materiálu

5 POPIS VHODNÉHO POSTUPU MĚŘENÍ STRUKTURY POVRCHU V LABORATOŘI I NA DÍLENSKÉ ÚROVNI

Při měření na dílenské úrovni nás většinou zajímá okamžitá hodnota, která v danou chvíli popisuje námi zvolený díl. Naopak při měření v laboratoři se snažíme přesně popsat zkoumaný povrch za použití několika sérií měření a jejich následného statistického vyhodnocení.

Pro měření v laboratoři je potřeba zkoumané díly označit tak, abychom byli schopni je následně identifikovat. Dílenské měření tuto identifikaci, která v některých případech může znamenat poškození dílu, nepotřebuje, protože měříme díl, který popisuje aktuální stav zkoumaných parametrů.

Všechny díly, které se posílají na měření do laboratoře musí být důkladně očištěny. Jakákoliv nečistota, která se bude na dílu nacházet může ovlivnit měření nebo poškodit měřicí hrot. Při měření na dílenské úrovni platí stejné pravidlo, ale ve většině případů se na toto čištění neklade tak velký důraz jako při měření v laboratoři, jelikož jsou výsledná data požadována okamžitě.

5.1 Postup při měření dílu pro výslednou statistiku

5.1.1 Značení a příprava dílů

Díly jsme ze stroje izolovali po 8 kusech po cca 21 minutách. Každý díl, který jsme vyjmuli ze stroje jsme označili pořadovým číslem, které odpovídá počtu kusů vyrobených od výměny břitových destiček. Číselné značení bylo provedeno na čelo kusu metodou gravírování.



Obr. 28 Ukázka značení dílů

Před měřením byly všechny kusy vyprány v ultrazvukové pračce, aby případné nečistoty nezkreslovali výsledky měření.

5.1.2 Měřicí přístroj

Pro měření parametrů drsnosti povrchu jsme použili přístroj Mitutoyo Surftest SJ-410. Jedná se o kompaktní a přenosný přístroj. Princip měření je kontaktní způsobem. Použití hrotu, který kopíruje tvar povrchu.

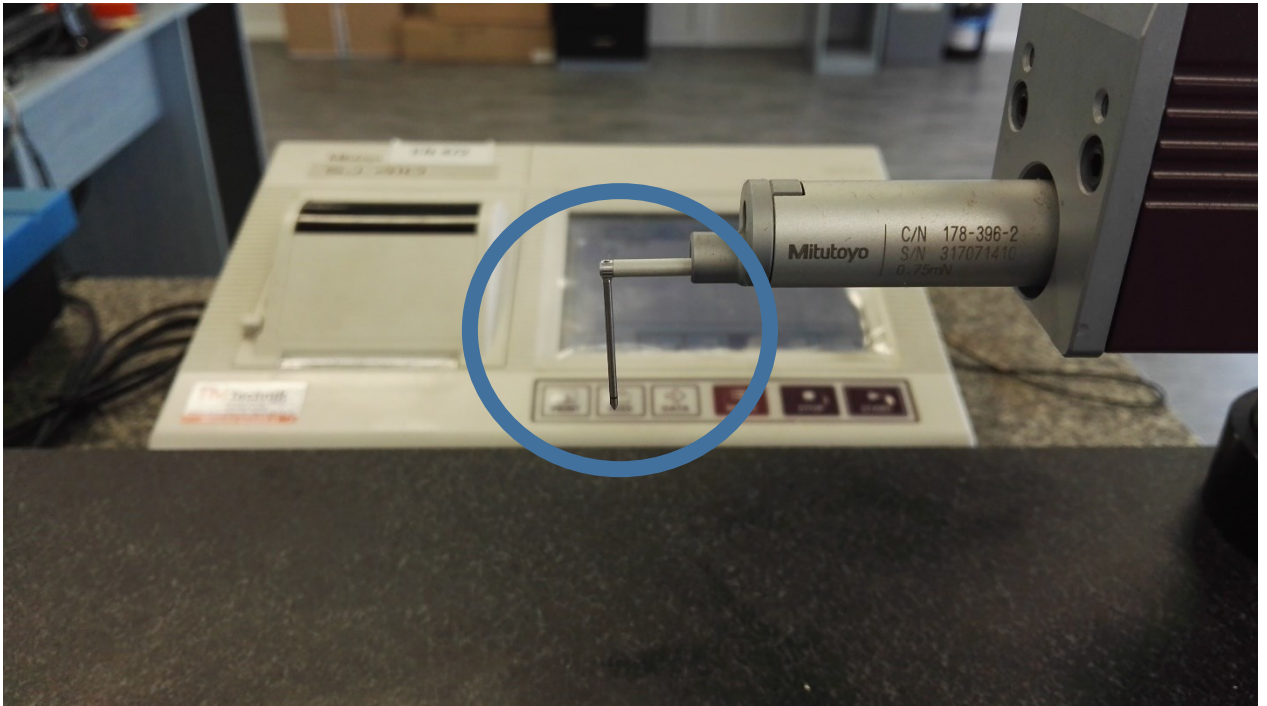


Obr. 29 Přístroj Mitutoyo Surftest SJ-410

Základní technické parametry přístroje Mitutoyo Surftest SJ-410:

- Rychlost měření od 0,05 mm/s do 1 mm/s
- Polohování snímače ve vertikálním směru o 10 mm
- Vyhodnocování parametrů: P, R, W, ...
- Délka cut off: 0,08 mm; 0,25 mm; 0,8 mm; 2,5 mm; 8 mm
- Digitální filtry Gauss, 2CR75, PC75
- Grafické analýza BAC a ADC

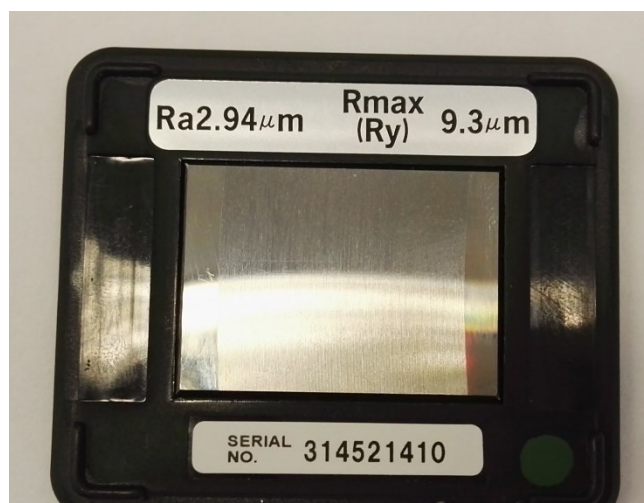
Pro měření vybraných dílů byl použit měřící hrot s označením 12AAE883. Jeho délka je 25mm a úhel hrotu je 90°.



Obr. 30 Použitý měřící hrot

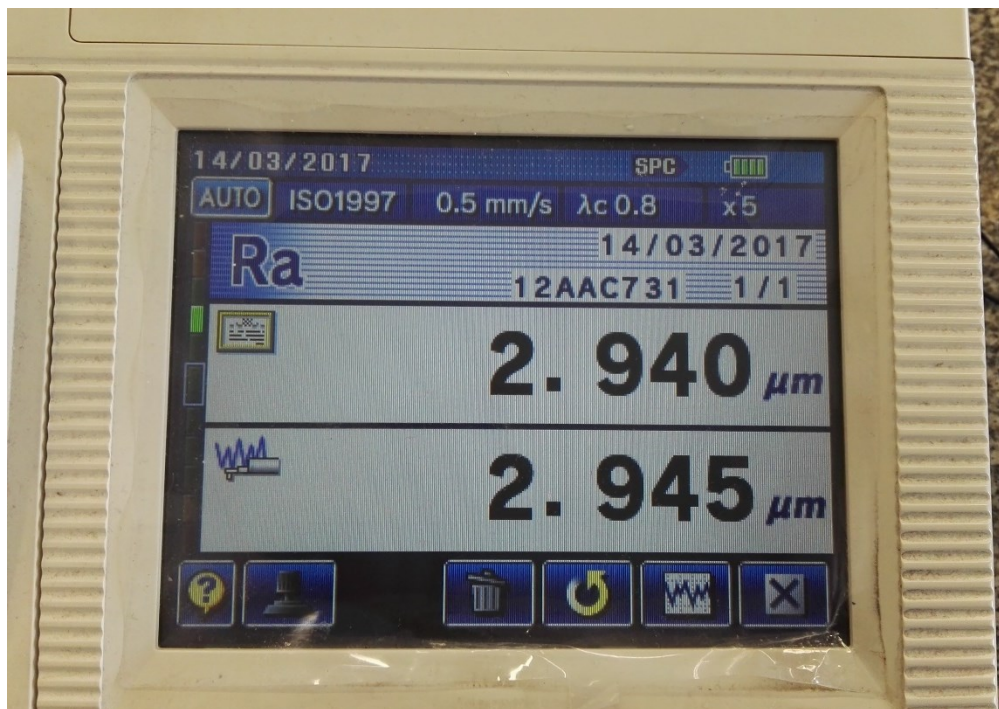
5.1.3 Příprava přístroje

Před započítím měření jsme museli zkontrolovat správnost výsledků, které stroj vyhodnocuje. Tento krok jsme provedli pomocí předdefinovaného programu s názvem Kalibrace.



Obr. 31 Kalibrační destička

Samotné měření se uskutečňuje na kalibrační destičce. Tuto kalibraci jsme provedli před měřením každé série.



Obr. 32 Výsledek kalibrace

5.1.4 Podmínky měření

Jelikož se jedná o periodický povrch, určíme podmínky měření pomocí parametru Rsm viz norma ČSN EN ISO 4288. Budeme měřit kolmo na směr obrábění.



Obr. 33 Podmínky měření

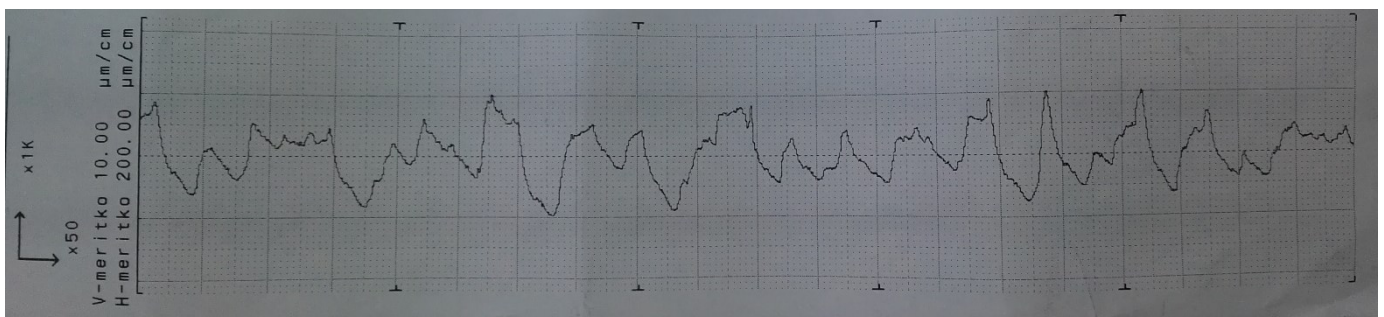
- Délka kroku $\lambda_r = 0,8 \text{ mm}$
- Počet kroků $n = 5$
- Náběh a přeběh zapnuto

5.1.5 Práce s výsledky

Každý výsledek byl zapsán do statistického softwaru Minitab a následně použit pro vyhodnocení. Jelikož má tento přístroj zabudovanou tiskárnu, je možné v případě potřeby výsledky vytisknout ihned po změření.

Mitutoyo SURFTEST SJ-410	
Datum	14/03/2017
Čas	12:59:51
A Podm. vyhodn.	
Norma	ISO1997
Profil	R
Filtr	GAUSS
λ_c	0.8mm
λ_s	2.5 μm
N	5
Pre/Post	Zap
SmazatVln.	Vyp
Tol. vyhodno.	StredHod
Komp. Prof.	SklonCelk
StredniPr.	Vypnout
Vysledky	
Ra	3.438 μm
Rz	17.855 μm
RSm	293.4 μm
	[Zp/Zv:10.0%]
Rt	20.221 μm
Rz1max	20.164 μm

Obr. 34 Výsledek náhodného měření



Obr. 35 Struktura povrchu náhodného měření

5.1.6 Pojmenování jednotlivých částí dílu

1 ploška = 1 Face

1 kus = 6x Face = 1 Part

Sada 8 vřeten = 8x Part = 1 Set

1 Série kusů = opotřebení jedné strany břitové destičky = Bunch

5.1.7 Označení jednotlivých sak dílů

Set_A díly 1 až 8

Set_B díly 97 až 104

Set_C díly 193 až 200

Set_D díly 289 až 296

Set_E díly 417 až 424

Set_F díly 513 až 520

Set_G díly 599 až 606

6 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

V následující kapitole se budeme věnovat statistickému vyhodnocení naměřených dat.

6.1 Prokázání stejných hodnot drsnosti na všech plochách jednoho kusu

Pro zjednodušení měření jsme se v prvním kroku rozhodli dokázat, že průměrná drsnost na jednotlivých plochách jednoho kusu se statisticky nemění. Než se pokusíme dokázat, že rozdíl mezi parametry drsnosti na jednotlivých plochách je statisticky nevýznamný, musíme zjistit, jestli naměřená data patří do normálního rozdělení.

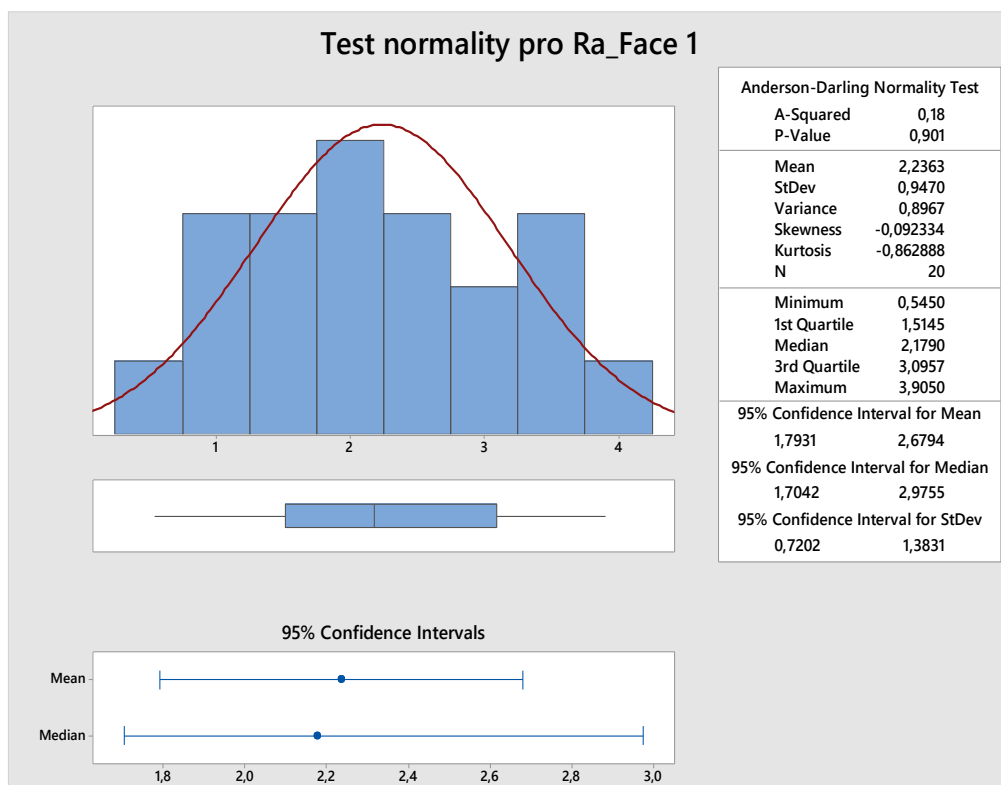
6.1.1 Test normality naměřených dat pro první díl

Měřili jsme první díl první série. Na každé plošce šestihranu jsme provedli 20 měření. Vyhodnocovali jsme parametry Ra, Rz a Rsm.

Zvolili jsme hladinu významnosti $\alpha = 5\%$. Na jejím základě jsme dopočítali konfidenční úroveň $1 - \alpha = 0,95$.

Stanovení hypotéz: H_0 : výběrový soubor má charakter normálního rozdělení

H_A : výběrový soubor nemá charakter normálního rozdělení

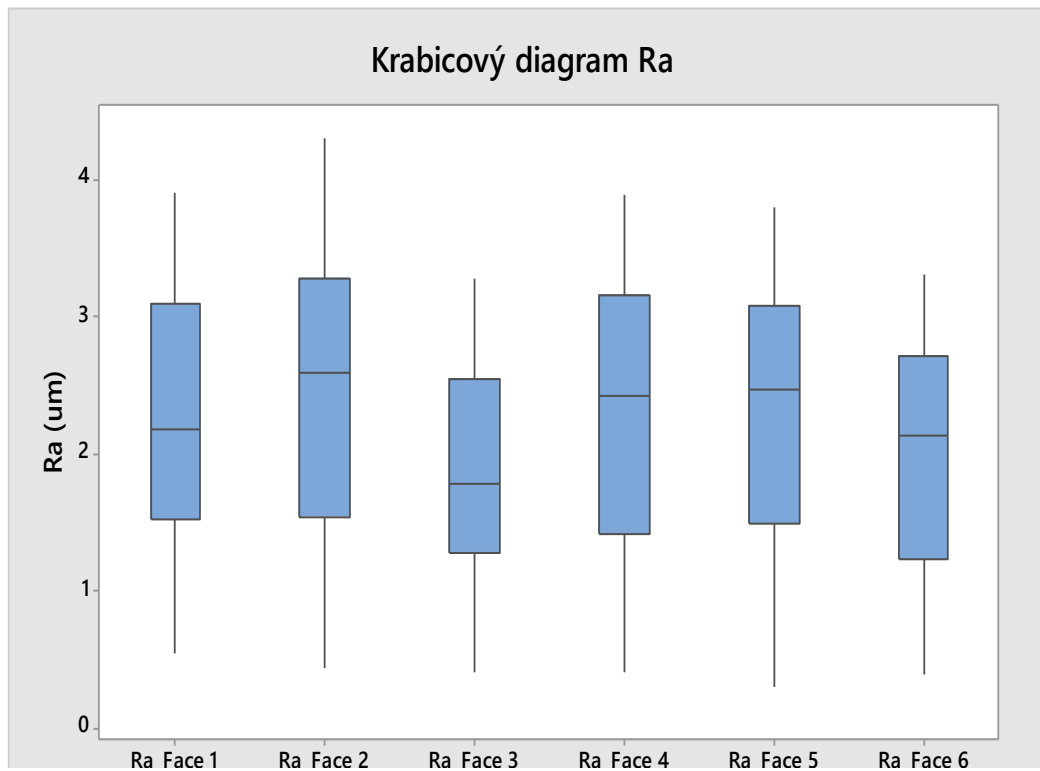


Obr. 36 Ukázka výstupu při testu normality dat

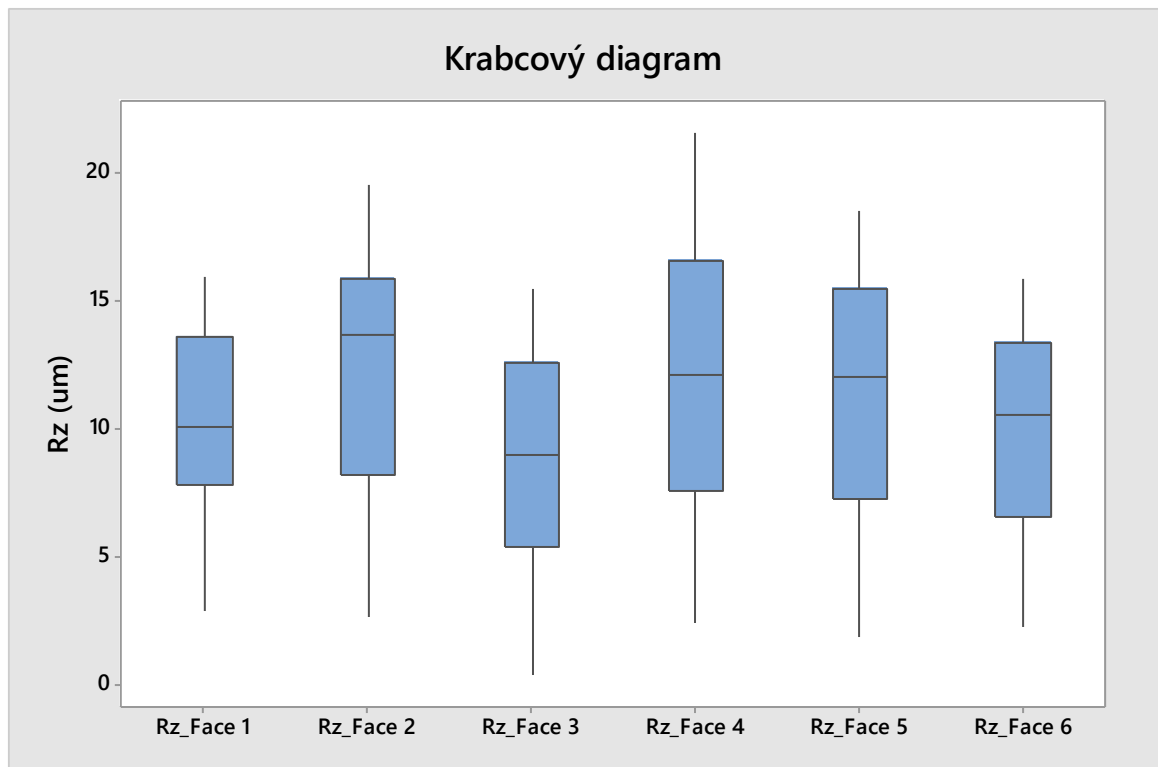
Budeme porovnávat výslednou hodnotu koeficientu p s hodnotou α . Pokud zjistíme, že $p > \alpha$, pak nezamítáme nulovou hypotézu o normálním rozdělení naměřených dat. V opačném případě zamítáme nulovou hypotézu ve prospěch alternativní.

Tabulka 2 Test normality dat prvního kusu

Výběrový soubor	Hodnota α	Hodnota p	H_0
Ra_Face 1	0,05	0,901	Nezamítám
Ra_Face 2	0,05	0,905	Nezamítám
Ra_Face 3	0,05	0,941	Nezamítám
Ra_Face 4	0,05	0,603	Nezamítám
Ra_Face 5	0,05	0,594	Nezamítám
Ra_Face 6	0,05	0,661	Nezamítám
Rz_Face 1	0,05	0,714	Nezamítám
Rz_Face 2	0,05	0,508	Nezamítám
Rz_Face 3	0,05	0,882	Nezamítám
Rz_Face 4	0,05	0,885	Nezamítám
Rz_Face 5	0,05	0,765	Nezamítám
Rz_Face 6	0,05	0,577	Nezamítám



Obr. 37 Krabicový diagram pro hodnoty Ra prvního dílu



Obr. 38 Krabcový diagram pro hodnoty Rz prvního dílu

6.1.2 Test normality naměřených dat pro druhý díl

Pro potvrzení předchozího tvrzení jsme se rozhodli celý postup opakovat ještě jednou.

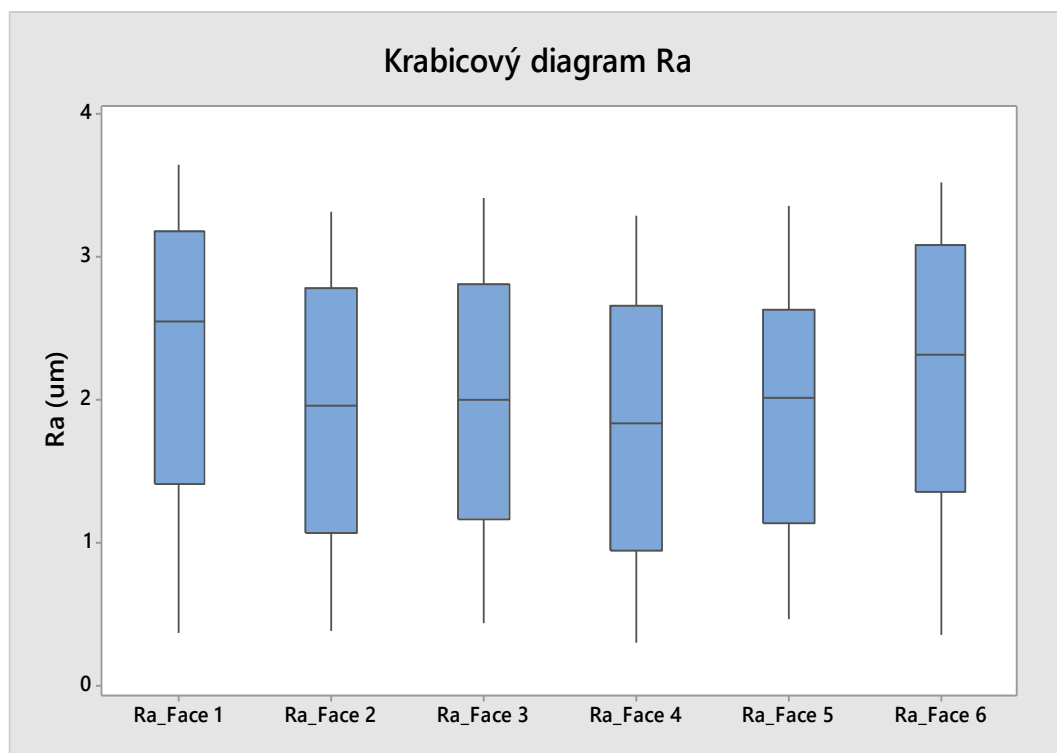
Zvolili jsme hladinu významnosti $\alpha = 5\%$. Na jejím základě jsme dopočítali konfidenční úroveň $1 - \alpha = 0,95$.

Stanovení hypotéz: H_0 : výběrový soubor má charakter normálního rozdělení

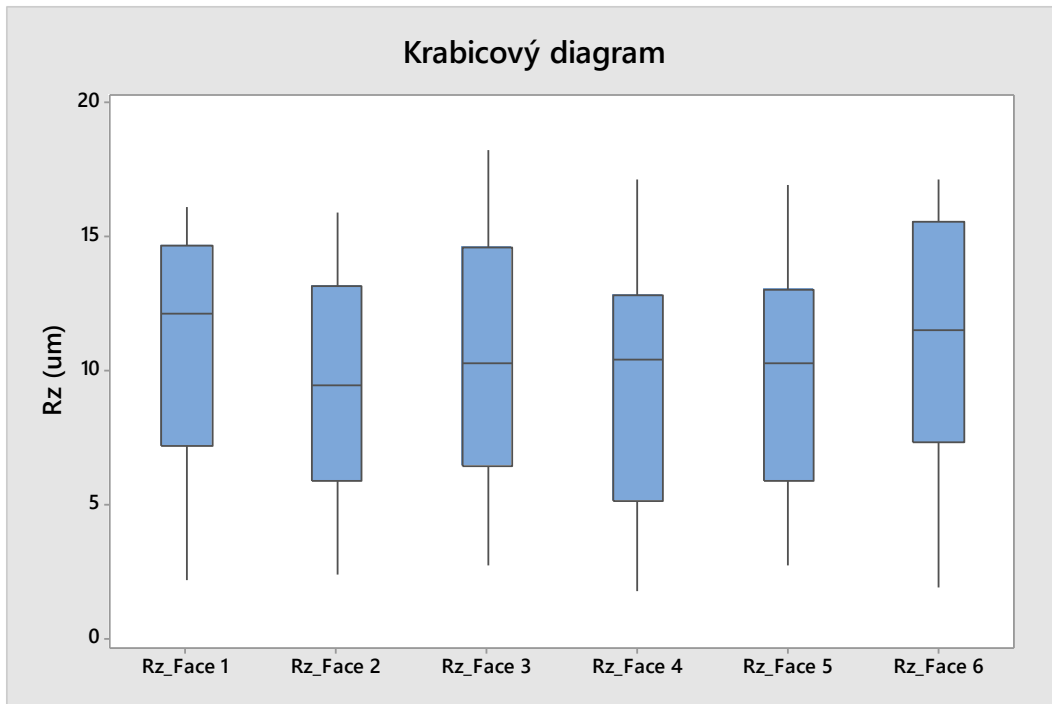
H_A : výběrový soubor nemá charakter normálního rozdělení

Tabulka 3 Test normality dat druhého kusu

Výběrový soubor	Hodnota α	Hodnota p	H_0
Ra_Face 1	0,05	0,241	Nezamítám
Ra_Face 2	0,05	0,677	Nezamítám
Ra_Face 3	0,05	0,576	Nezamítám
Ra_Face 4	0,05	0,503	Nezamítám
Ra_Face 5	0,05	0,646	Nezamítám
Ra_Face 6	0,05	0,43	Nezamítám
Rz_Face 1	0,05	0,116	Nezamítám
Rz_Face 2	0,05	0,703	Nezamítám
Rz_Face 3	0,05	0,53	Nezamítám
Rz_Face 4	0,05	0,251	Nezamítám
Rz_Face 5	0,05	0,629	Nezamítám
Rz_Face 6	0,05	0,392	Nezamítám



Obr. 39 Krabicový diagram pro hodnoty Ra druhého dílu



Obr. 40 Krabicový diagram pro hodnoty Rz druhého dílu

6.1.3 Vyjádření k výsledkům testu normality

Na základě měření jednotlivých plošek šestihranu, na dvou různých kusech, jsme rozhodli, že všechna naměřená data mají charakter normálního rozdělení. Tuto informaci budeme používat v následujících statistických vyhodnoceních, které mohou pracovat s daty, které mají charakter normálního rozdělení, ale i s daty, které toto rozdělení nemají. Proto musíme vždy správně definovat statistickou metodu.

6.1.4 Testování rovnosti rozptylů

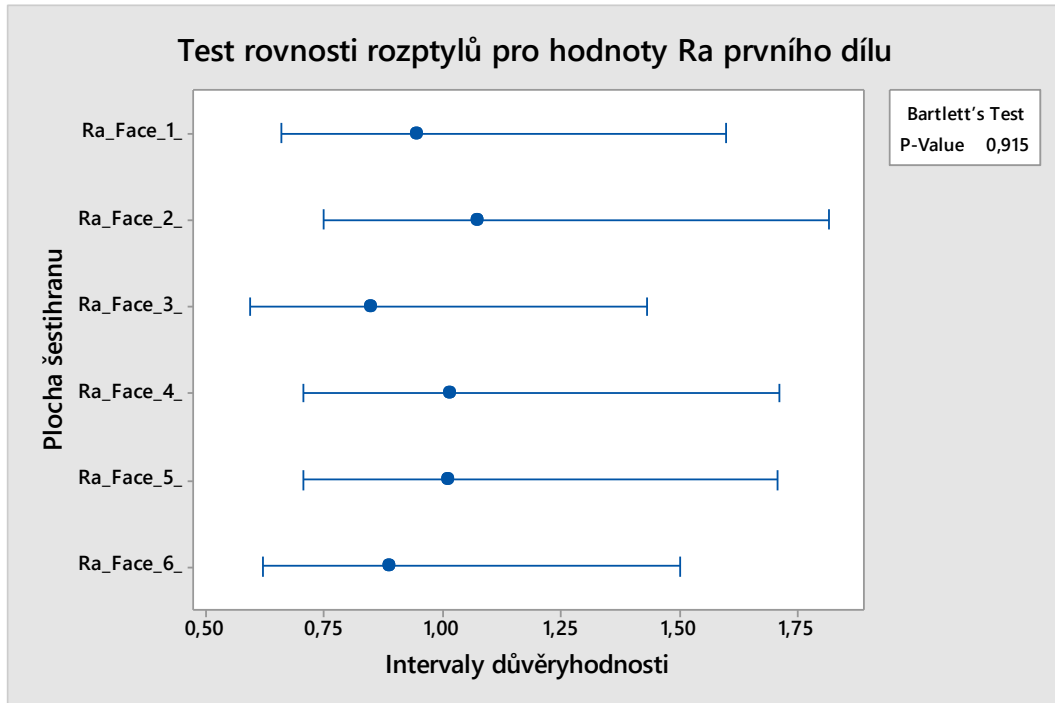
Stanovili jsme hypotézu nulovou: $H_0: \sigma_{Ra1}^2 = \sigma_{Ra2}^2 = \sigma_{Ra3}^2 = \sigma_{Ra4}^2 = \sigma_{Ra5}^2 = \sigma_{Ra6}^2$

Stanovili jsme hypotézu alternující: $H_a: \text{NON}$

Hodnota $\alpha = 5\%$

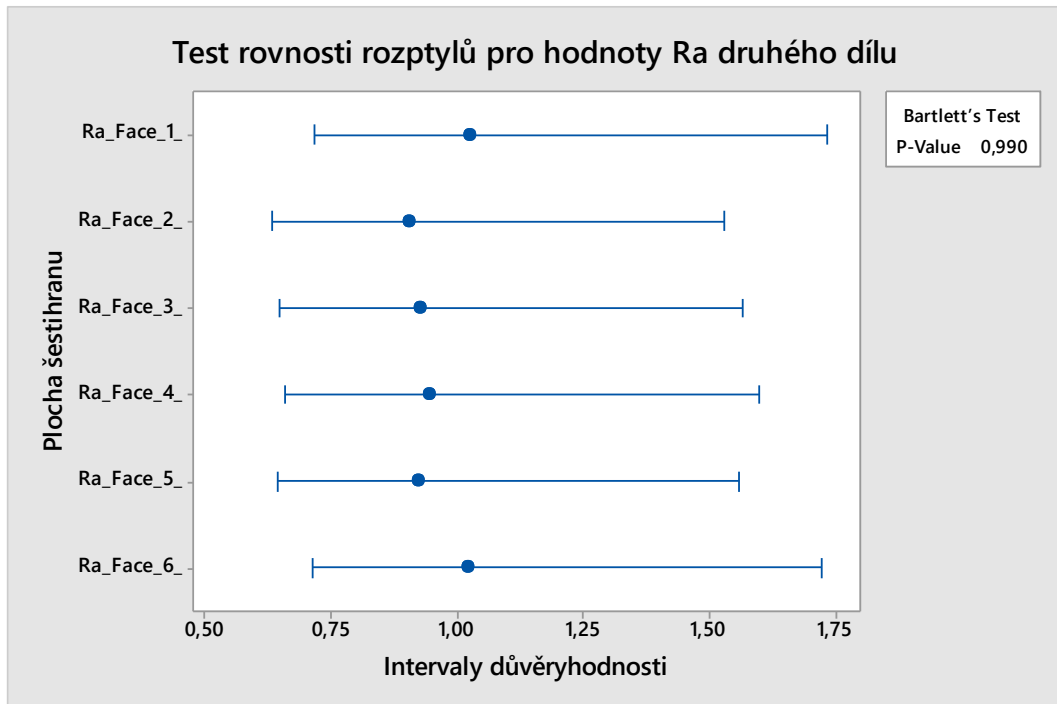
Spolehlivost $1 - \alpha = 0,95$

Porovnáváme výslednou hodnotu koeficientu p s hodnotou hladiny významnosti α . Pokud je $p > \alpha$ nezamítám nulovou hypotézu. V opačném případě hypotézu nulovou zamítám ve prospěch hypotézy alternující.



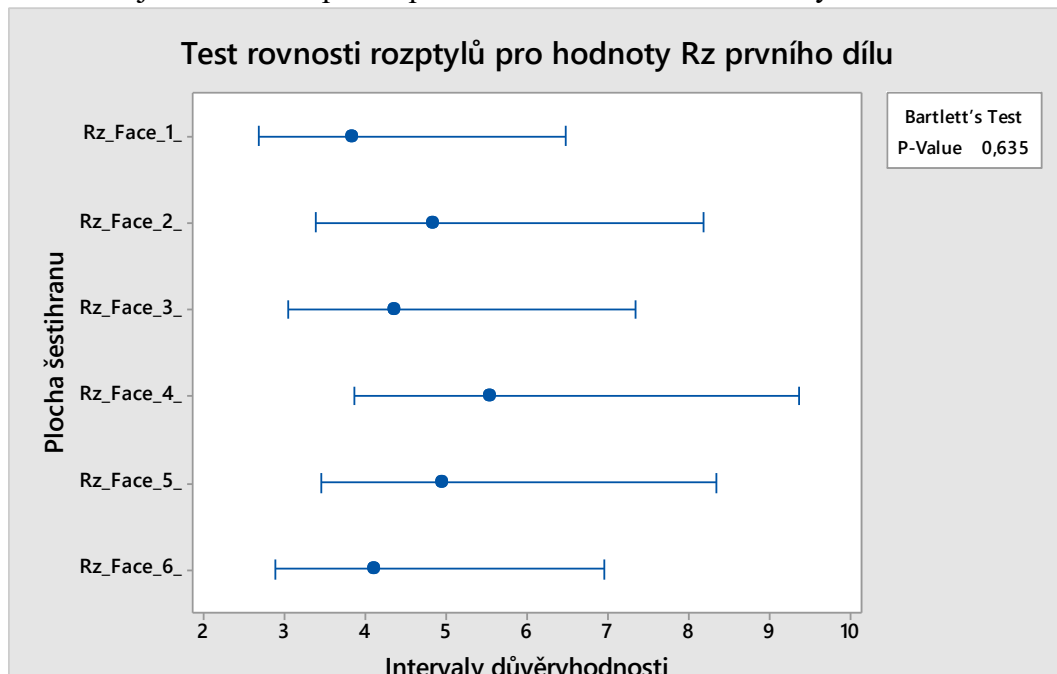
Obr. 41 Test rovnosti rozptylů pro hodnoty Ra prvního dílu

Na základě hodnoty $p=0,915 > \alpha=0,05$ nezamítám nulovou hypotézu o rovnost rozptylů parametru Ra na jednom dílu s pravděpodobností 95% a možností omylu 5 %.



Obr. 42 Test rovnosti rozptylů pro hodnoty Ra druhého dílu

Na základě hodnoty $p=0,99 > \alpha=0,05$ nezamítám nulovou hypotézu o rovnost rozptylů parametru Ra na jednom dílu s pravděpodobností 95% a možností omylu 5 %.



Obr. 43 Test rovnosti rozptylů pro hodnoty Rz prvního dílu

Na základě hodnoty $p=0,635 > \alpha=0,05$ nezamítám nulovou hypotézu o rovnost rozptylů parametru Ra na jednom dílu s pravděpodobností 95% a možností omylu 5 %.



Obr. 44 Test rovnosti rozptylů hodnot Rz druhého dílu

Na základě hodnoty $p=0,991 > \alpha=0,05$ nezamítám nulovou hypotézu o rovnost rozptylů parametru Ra na jednom dílu s pravděpodobností 95% a možností omylu 5 %.

6.1.5 Testování rovnosti průměrů

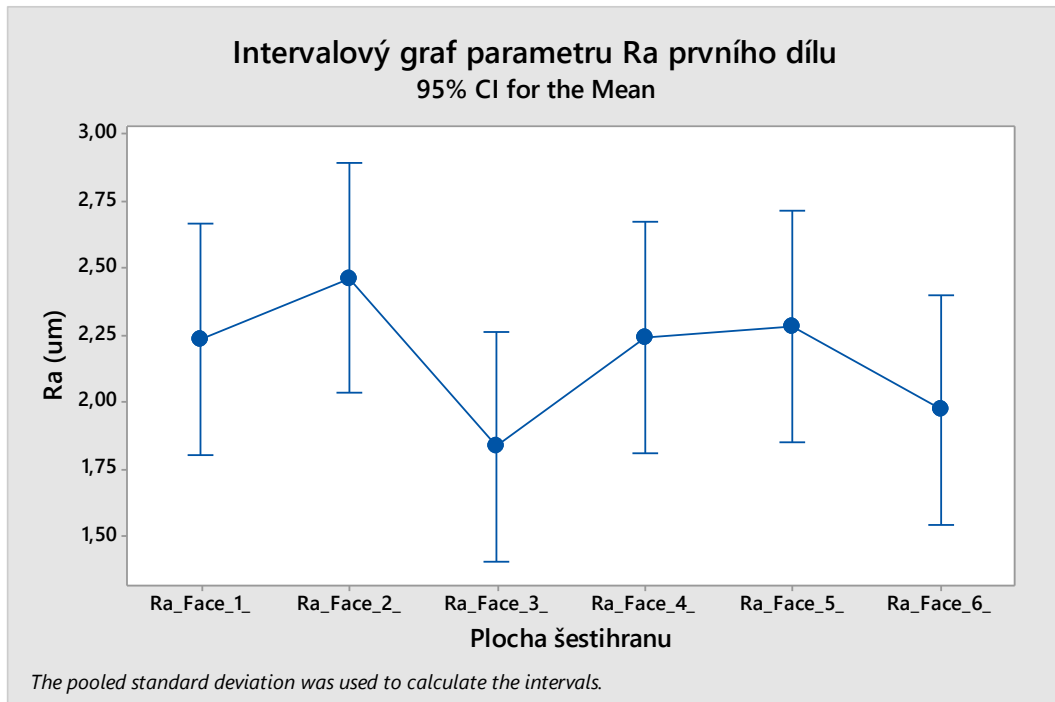
Stanovili jsme hypotézu nulovou: $H_0: \mu_{Ra1} = \mu_{Ra2} = \mu_{Ra3} = \mu_{Ra4} = \mu_{Ra5} = \mu_{Ra6}$

Stanovili jsme hypotézu alternující: $H_a: \text{NON}$

Hodnota $\alpha = 5\%$

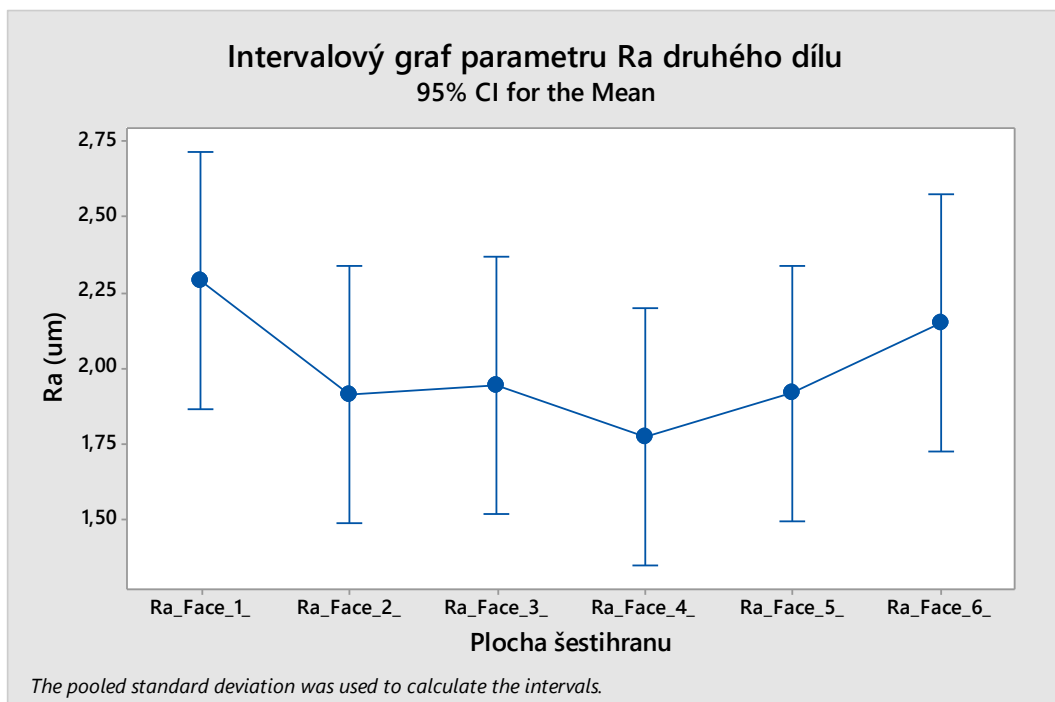
Spolehlivost $1 - \alpha = 0,95$

Porovnáváme výslednou hodnotu koeficientu p s hodnotou hladiny významnosti α . Pokud je $p > \alpha$ nezamítám nulovou hypotézu. V opačném případě hypotézu nulovou zamítám ve prospěch hypotézy alternující.



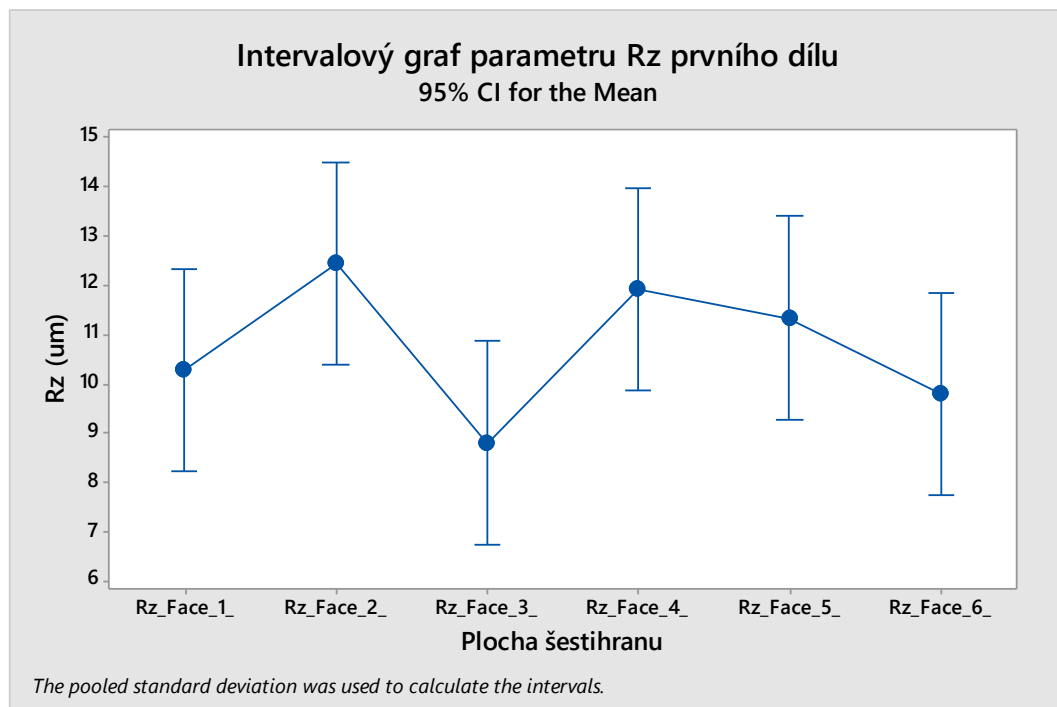
Obr. 45 Test rovnosti průměrů pro hodnoty Ra prvního dílu

Na základě hodnoty $p=0,36 > \alpha=0,05$ nezamítám nulovou hypotézu o rovnost průměrů parametru Ra na jednom dílu s pravděpodobností 95% a možností omylu 5 %.



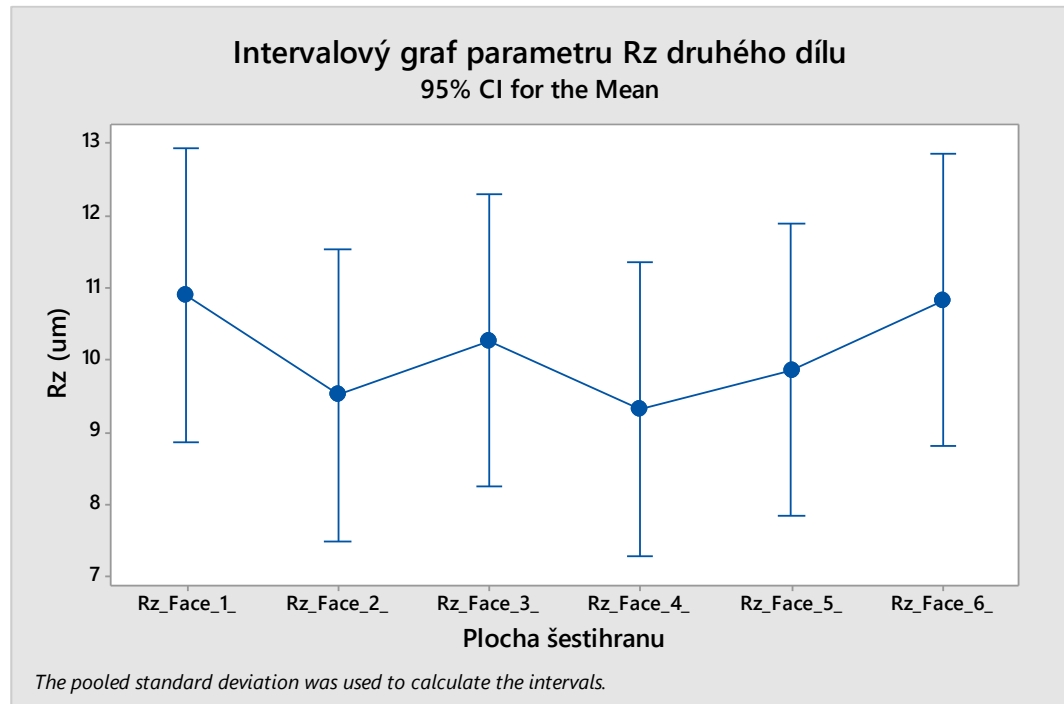
Obr. 46 Test rovnosti průměrů pro hodnoty Ra druhého dílu

Na základě hodnoty $p=0,582 > \alpha=0,05$ nezamítám nulovou hypotézu o rovnost průměrů parametru Ra na jednom dílu s pravděpodobností 95% a možností omylu 5 %.



Obr. 47 Test rovnosti průměrů pro hodnoty Rz prvního dílu

Na základě hodnoty $p=0,125 > \alpha=0,05$ nezamítám nulovou hypotézu o rovnost průměrů parametru Ra na jednom dílu s pravděpodobností 95% a možností omylu 5 %.



Obr. 48 Test rovnosti průměrů pro hodnoty Rz druhého dílu

Na základě hodnoty $p=0,835 > \alpha=0,05$ nezamítáme nulovou hypotézu o rovnosti průměrů parametru Ra na jednom dílu s pravděpodobností 95% a možností omylu 5 %.

6.1.6 Hodnocení výsledků

Provedli jsme vždy 20 měření na každé ploše šestihranu. Pro měření jsme použili dva různé díly. Stanovili jsme nulovou hypotézu pro rovnosti průměrů na jednotlivých plochách a nulovou hypotézu pro rovnosti rozptylů na jednotlivých plochách. V obou případech jsme došli k závěru, kdy nezamítáme žádnou z nulových hypotéz a rozdíl mezi jednotlivými rozptyly a průměru je statisticky nevýznamný. Na základě tohoto vyhodnocení jsme se rozhodli, že budeme na dílech měřit pouze jednu ze šesti ploch šestihranu. Toto rozhodnutí povede k celkovému zjednodušení měření, aniž bychom ovlivnili výsledky.

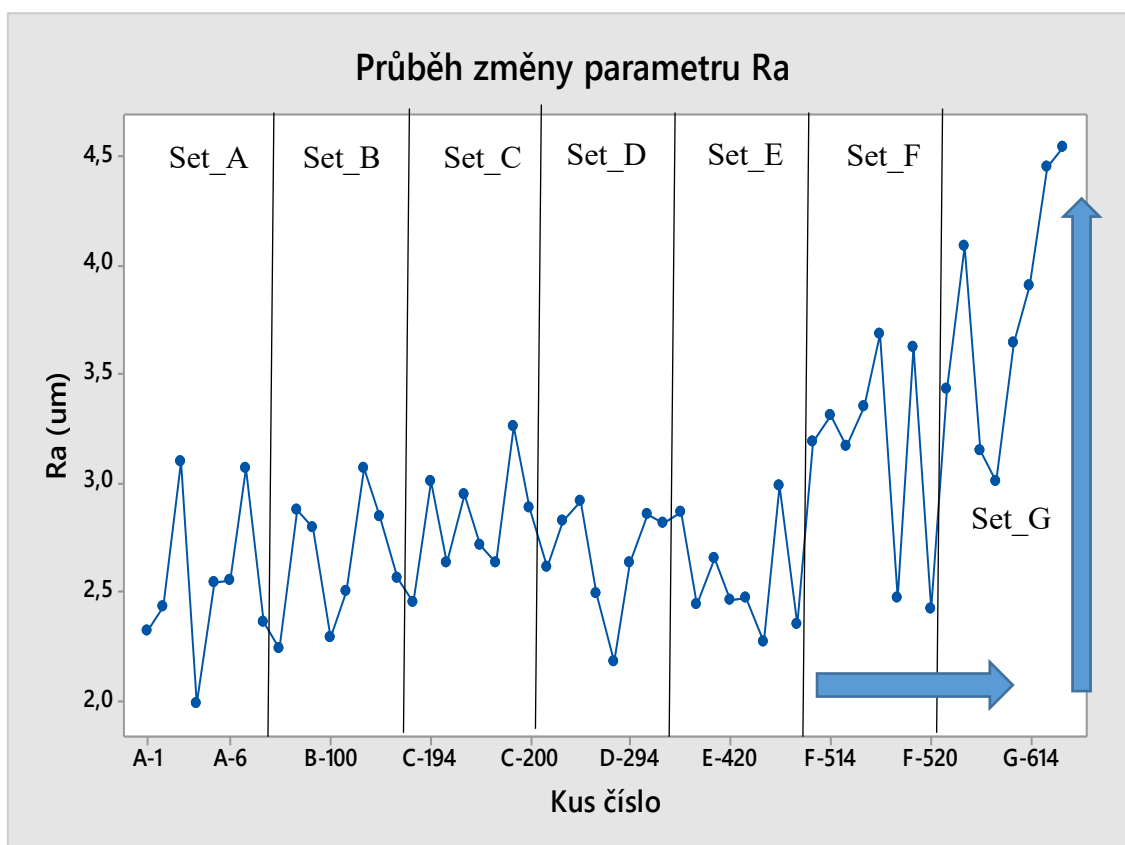
6.2 Opotřebení první série kusů

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Ra_Set_A	8	2,544	0,133	0,376	14,77	1,987	2,332	2,484	2,936	3,100
Ra_Set_B	8	2,645	0,105	0,298	11,26	2,233	2,338	2,680	2,865	3,066
Ra_Set_C	8	2,8141	0,0907	0,2564	9,11	2,4500	2,6325	2,7980	2,9895	3,2550
Ra_Set_D	8	2,6652	0,0861	0,2436	9,14	2,1810	2,5183	2,7245	2,8430	2,9190
Ra_Set_E	8	2,5601	0,0882	0,2496	9,75	2,2720	2,3715	2,4655	2,8078	2,9810
Ra_Set_F	8	3,149	0,167	0,472	14,99	2,420	2,645	3,245	3,549	3,681
Ra_Set_G	8	3,775	0,202	0,570	15,11	3,001	3,221	3,771	4,359	4,538

Variable	Range	IQR
Ra_Set_A	1,113	0,604
Ra_Set_B	0,833	0,527
Ra_Set_C	0,8050	0,3570
Ra_Set_D	0,7380	0,3247
Ra_Set_E	0,7090	0,4362
Ra_Set_F	1,261	0,904
Ra_Set_G	1,537	1,139

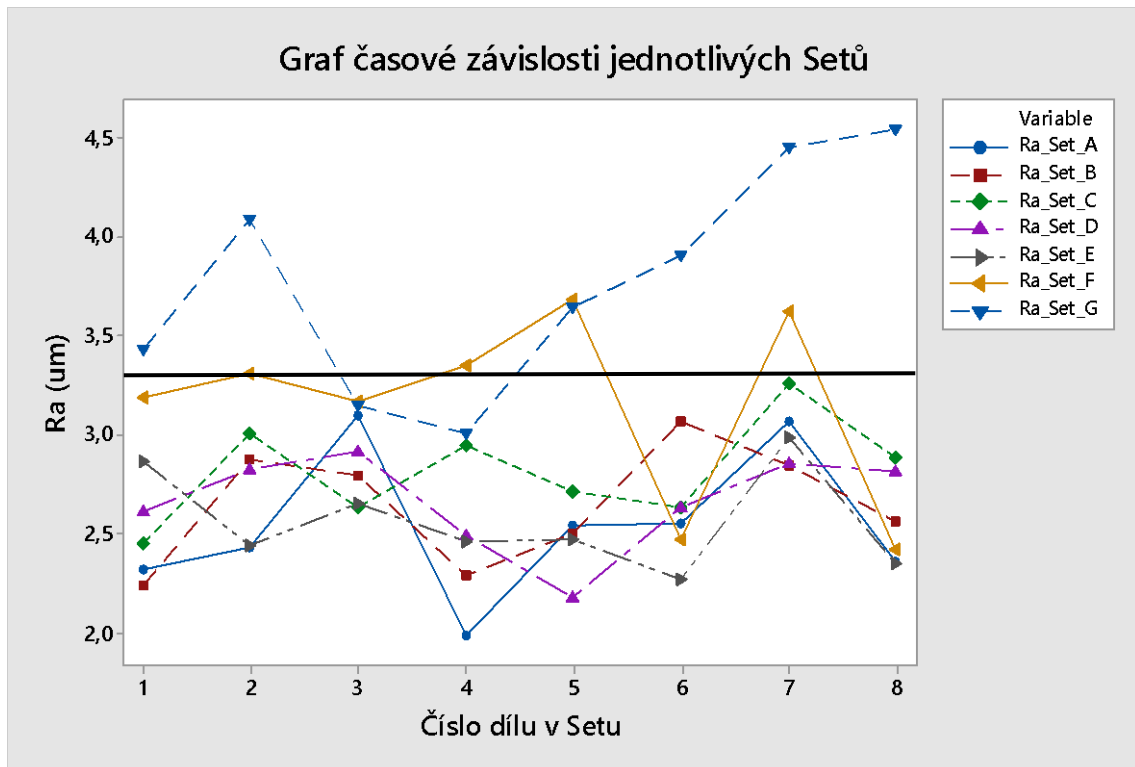
Mean = průměr
 StDev = směrodatná odchylka
 CoefVar = variační koeficient
 Q₁ = první kvartil
 Q₃ = třetí kvartil
 Range = rozsah
 IQR = mezikvartilové rozpětí

Obr. 49 Popisné charakteristiky parametru Ra, Bunch 1



Obr. 50 Graf průběhu změny parametru Ra, Bunch 1

Na obrázku 50 je zaznačen průběh změny parametru Ra v závislosti na čase. Je patrné, že hodnota parametru Ra nejvíce narůstá při pěti set kusech a skokově od šesti set kusů.



Obr. 51 Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 1

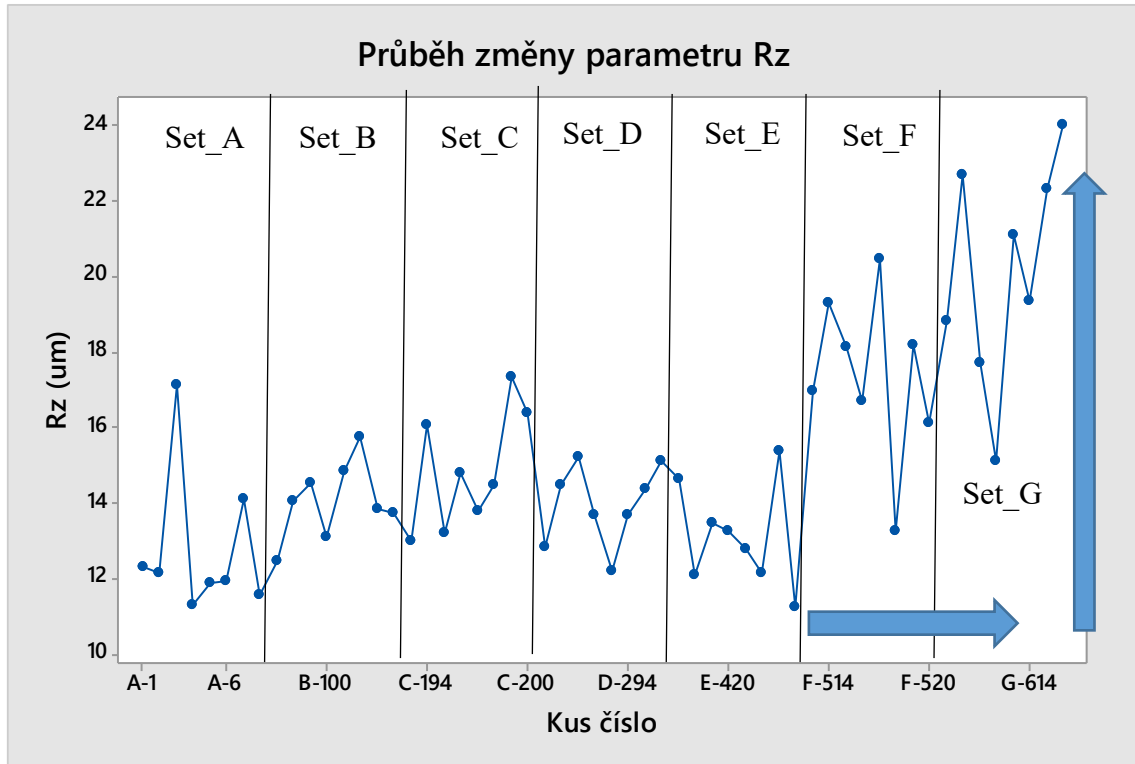
Na obrázku 51 můžeme sledovat průběh opotřebení břitové destičky vyhodnocovaný pro parametr Ra. Body Ra_Set_G reprezentují poslední kusy a je u nich vidět rozdíl oproti ostatním naměřeným datům.

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Rz_Set_A	8	12,779	0,689	1,949	15,25	11,296	11,627	12,023	13,627	17,132
Rz_Set_B	8	14,022	0,364	1,029	7,34	12,449	13,227	13,933	14,757	15,750
Rz_Set_C	8	14,868	0,561	1,587	10,67	12,978	13,329	14,613	16,300	17,339
Rz_Set_D	8	13,927	0,376	1,062	7,63	12,187	13,022	14,009	14,942	15,200
Rz_Set_E	8	13,114	0,488	1,382	10,54	11,208	12,097	12,994	14,347	15,376
Rz_Set_F	8	17,379	0,773	2,186	12,58	13,262	16,258	17,547	19,010	20,445
Rz_Set_G	8	20,12	1,04	2,94	14,61	15,10	17,98	20,20	22,59	23,98

Variable	Range	IQR
Rz_Set_A	5,836	2,000
Rz_Set_B	3,301	1,529
Rz_Set_C	4,361	2,971
Rz_Set_D	3,013	1,920
Rz_Set_E	4,168	2,250
Rz_Set_F	7,183	2,752
Rz_Set_G	8,88	4,61

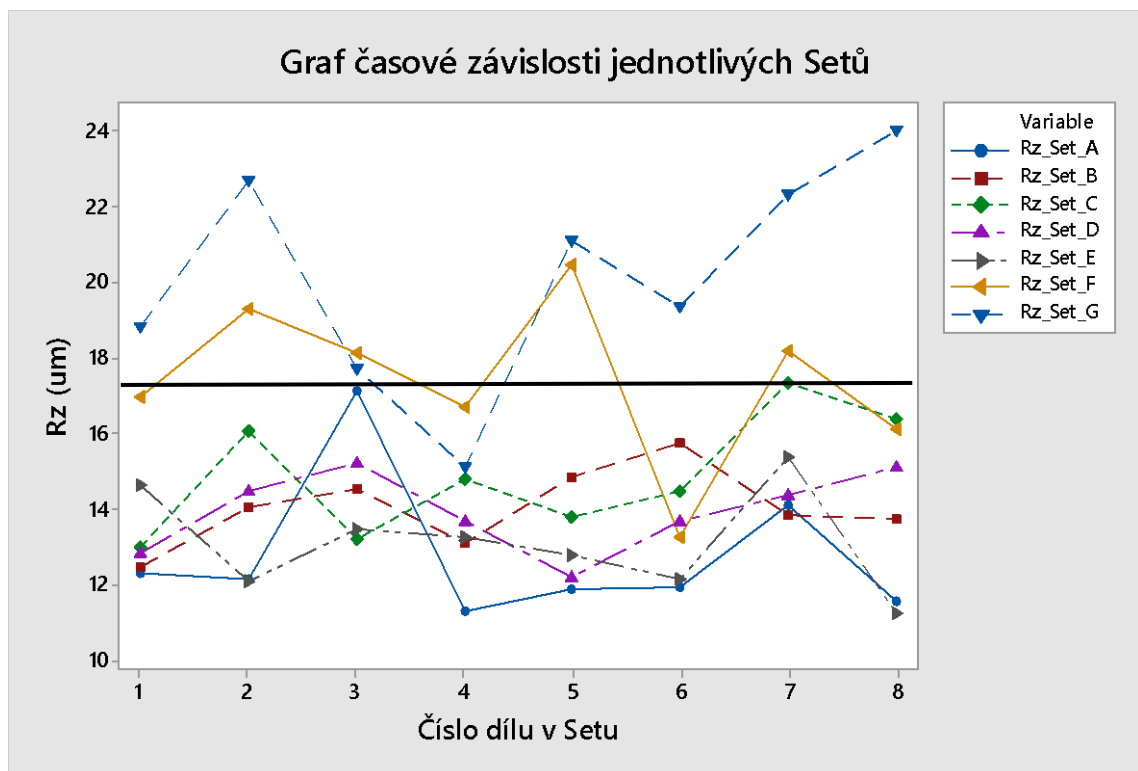
Mean = průměr
 StDev = směrodatná odchylka
 CoefVar = variační koeficient
 Q₁ = první kvartil
 Q₃ = třetí kvartil
 Range = rozsah
 IQR = mezikvartilové rozpětí

Obr. 52 Popisné charakteristiky parametru Rz, Bunch 1



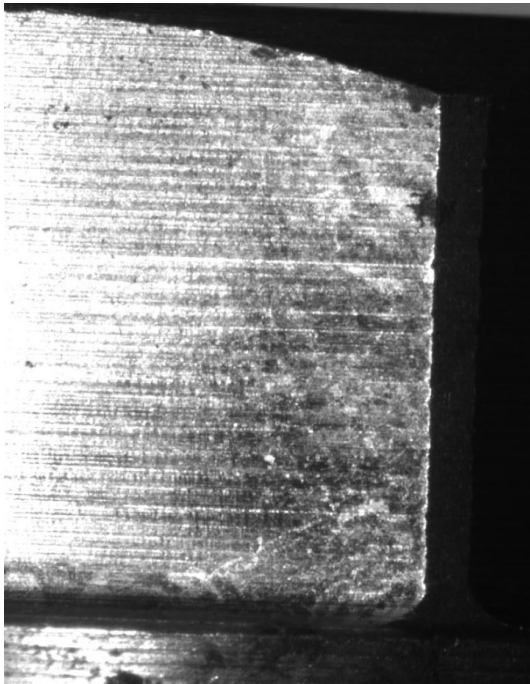
Obr. 53 Graf průběhu změny parametru Rz, Bunch 1

Na obrázku 53 je zaznačen průběh změny parametru Rz v závislosti na čase. Je patrné, že hodnota parametru Ra nejvíce narůstá od hodnoty pěti set kusů.

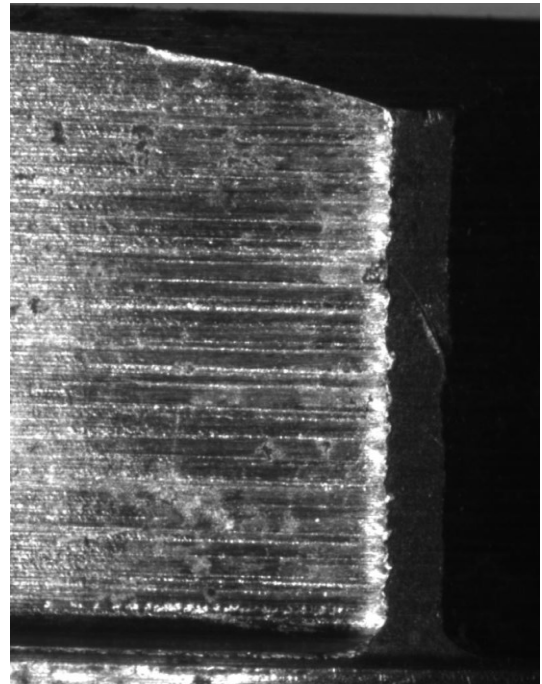


Obr. 54 Graf hodnoty Rz jednotlivých Setů, Bunch 1

Na grafu na obrázku 54, který popisuje změnu parametru Rz, se nám odlišují body Rz_Set_F a Rz-Set_G od ostatních. V této chvíli je jednoznačná skoková změna drsnosti.



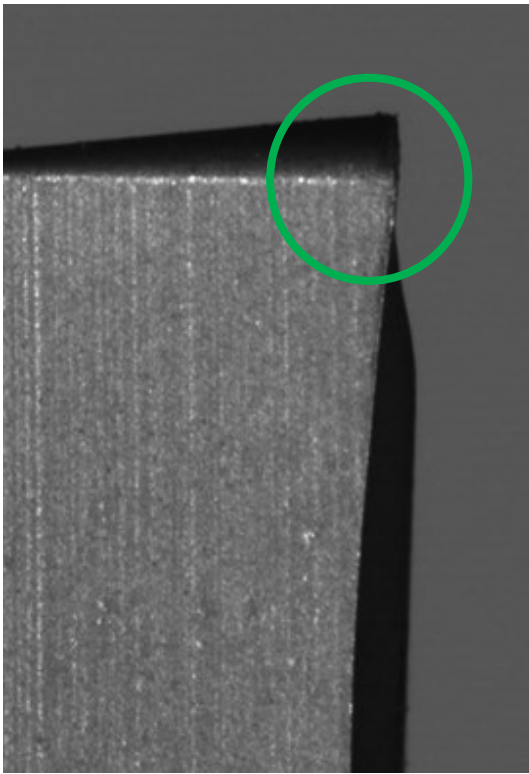
Obr. 55 První díl, Bunch 1



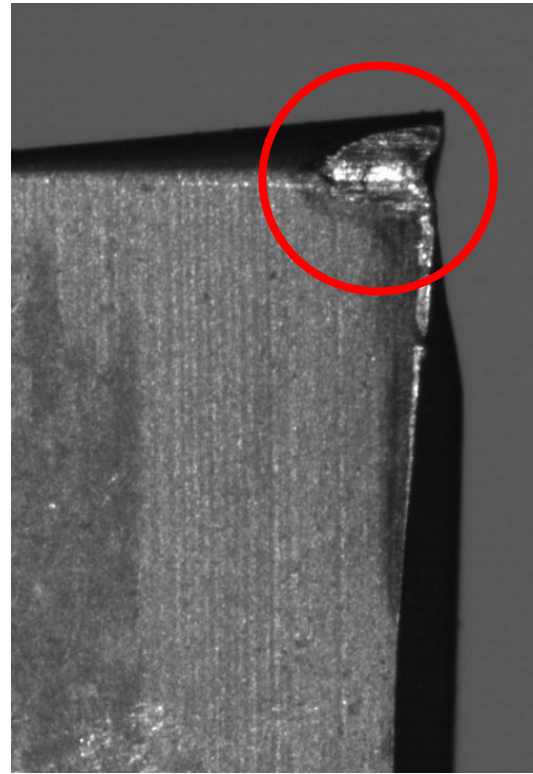
Obr. 56 Poslední díl, Bunch 1

Na obrázku 55 vidíme díl, který stroj obrobil po výměně břitových destiček. Tyto destičky byly úplně nové a nejevily žádné známky opotřebení nebo vady povrchu. Nová břitová destička je znázorněna na obrázku 57. Rýhy na povrchu dílu nejsou hluboké a parametry drsnosti jsou na této ploše nejnižší.

Obrázek číslo 56 popisuje poslední díl, který byl vyroben před výměnou břitových destiček. Opotřebení těchto destiček je vizuálně znatelné a některé z nich vykazují i známky mechanického poškození. Ukázkou břitové destičky, která byla vyjmuta po obrobení posledního kusu, můžeme vidět na obrázku 58. Tato destička vykazuje lehké mechanické opotřebení, které nám ovlivní výslednou drsnost. Toto ovlivnění můžeme pozorovat na posledním dílu, který oproti prvnímu dílu vykazuje znatelné zhoršení struktury povrchu. Hrana této plochy přestává být z důvodu otupení nástroje ostrá.



Obr. 57 Neopotřebená břitová destička



Obr. 58 Opotřebená břitová destička,
Bunch 1

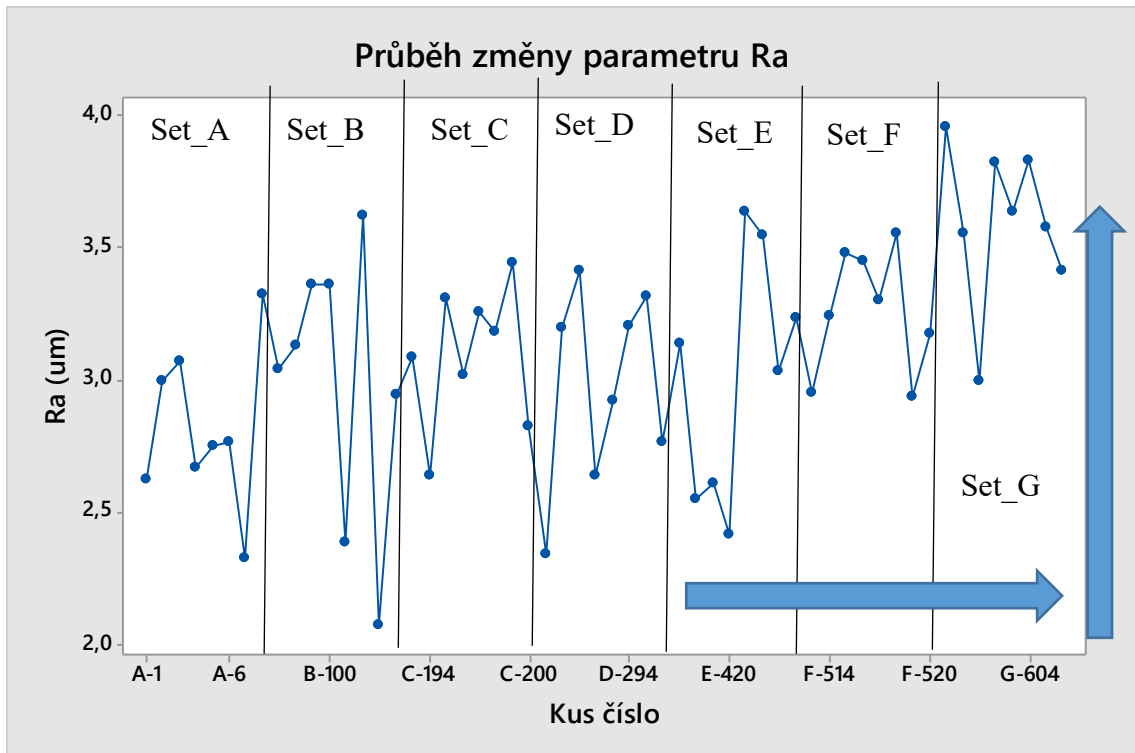
6.3 Opotřebení druhé série kusů

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Ra_Set_A	8	2,814	0,109	0,309	10,97	2,323	2,632	2,756	3,053	3,324
Ra_Set_B	8	2,988	0,184	0,522	17,46	2,072	2,523	3,084	3,362	3,620
Ra_Set_C	8	3,0928	0,0930	0,2632	8,51	2,6400	2,8695	3,1335	3,2925	3,4410
Ra_Set_D	8	2,972	0,132	0,374	12,58	2,339	2,665	3,058	3,286	3,414
Ra_Set_E	8	3,019	0,163	0,460	15,24	2,411	2,564	3,082	3,470	3,638
Ra_Set_F	8	3,2596	0,0827	0,2340	7,18	2,9350	3,0037	3,2700	3,4713	3,5540
Ra_Set_G	8	3,597	0,106	0,300	8,35	2,995	3,449	3,606	3,829	3,954

Variable	Range	IQR
Ra_Set_A	1,001	0,421
Ra_Set_B	1,548	0,839
Ra_Set_C	0,8010	0,4230
Ra_Set_D	1,075	0,620
Ra_Set_E	1,227	0,906
Ra_Set_F	0,6190	0,4675
Ra_Set_G	0,959	0,380

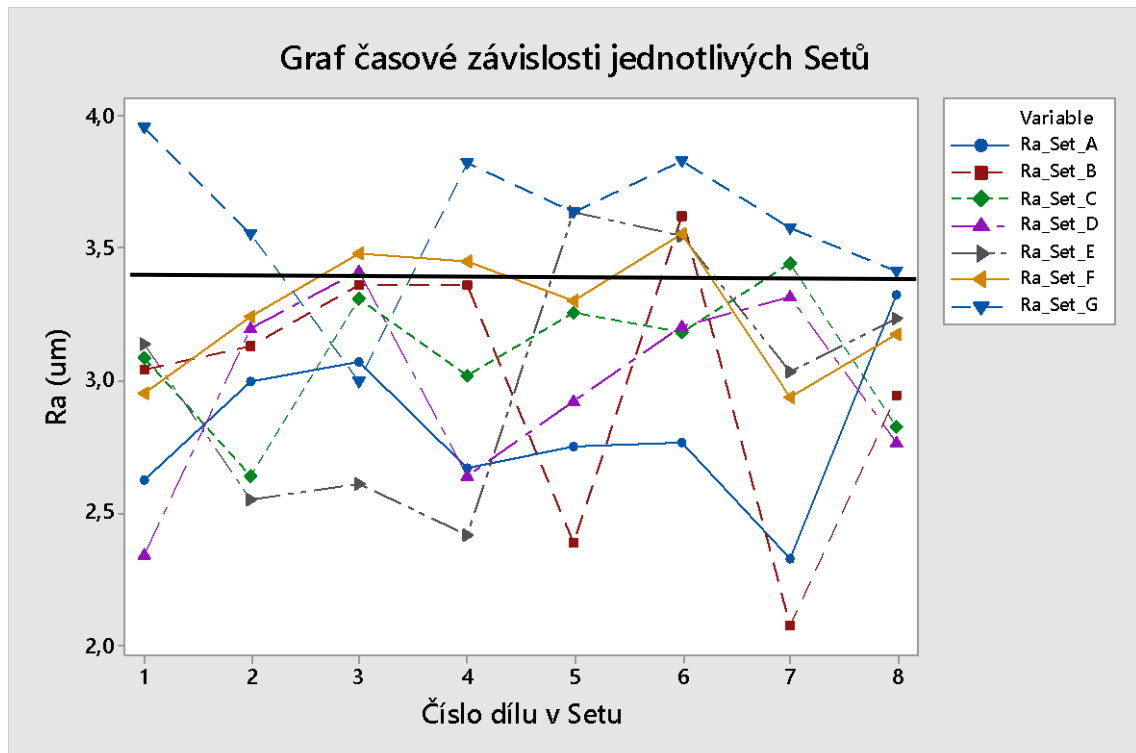
Mean = průměr
 StDev = směrodatná odchylka
 CoefVar = variační koeficient
 Q₁ = první kvartil
 Q₃ = třetí kvartil
 Range = rozsah
 IQR = mezikvartilové rozpětí

Obr. 59 Popisné charakteristiky parametru Ra, Bunch 2



Obr. 60 Graf průběhu změny parametru Ra, Bunch 2

Na obrázku 60 je zaznačen průběh změny parametru Ra v závislosti na čase. Je patrné, že hodnota parametru Ra konstantně stoupá a maximální hodnoty dosahuje při šesti stech kusech.



Obr. 61 Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 2

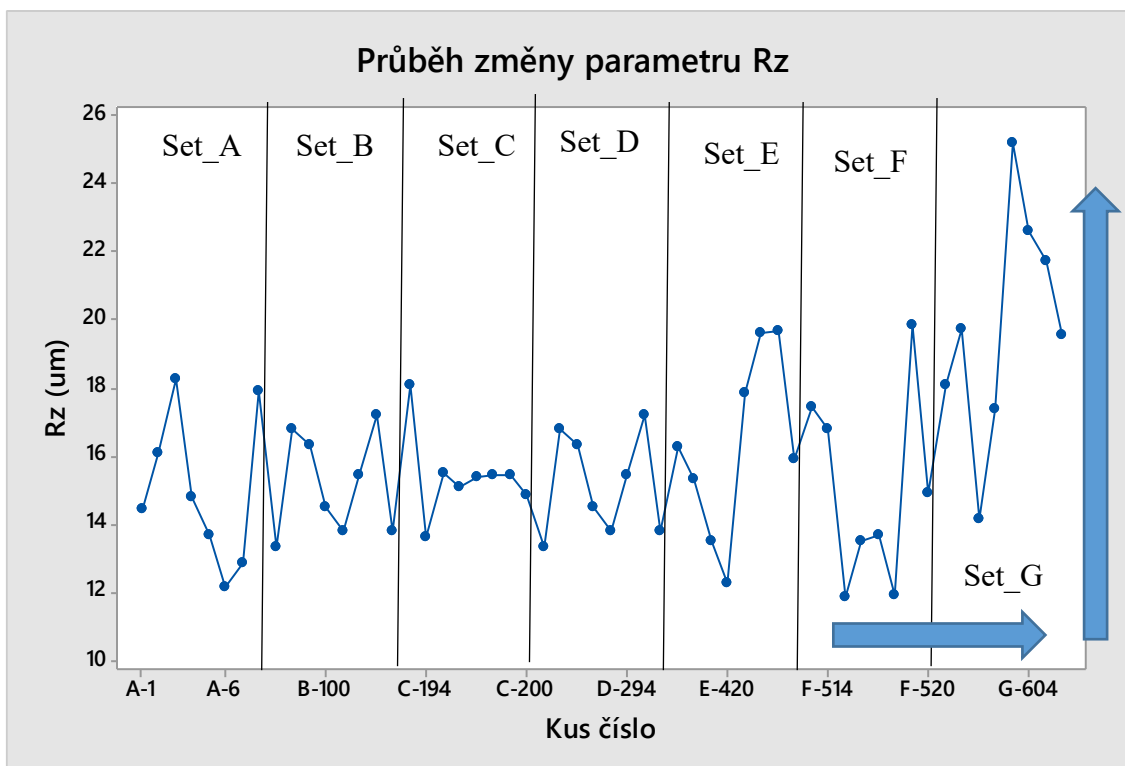
Obrázek 61 má odlišenou dávku Ra_Set_G od všech ostatních, které se poměrně prolínají a můžeme mezi nimi pozorovat změnu drsnosti.

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Rz_Set_A	8	15,026	0,792	2,240	14,91	12,166	13,063	14,624	17,453	18,277
Rz_Set_B	8	15,146	0,527	1,491	9,85	13,338	13,804	14,971	16,653	17,200
Rz_Set_C	8	15,433	0,438	1,239	8,03	13,630	14,931	15,416	15,483	18,091
Rz_Set_D	8	15,146	0,527	1,491	9,85	13,338	13,804	14,971	16,653	17,200
Rz_Set_E	8	16,302	0,944	2,671	16,38	12,260	13,951	16,095	19,167	19,660
Rz_Set_F	8	15,00	1,00	2,84	18,95	11,85	12,30	14,30	17,29	19,87
Rz_Set_G	8	19,81	1,21	3,41	17,22	14,14	17,58	19,65	22,38	25,21

Variable	Range	IQR
Rz_Set_A	6,111	4,390
Rz_Set_B	3,862	2,849
Rz_Set_C	4,461	0,551
Rz_Set_D	3,862	2,849
Rz_Set_E	7,400	5,216
Rz_Set_F	8,02	4,98
Rz_Set_G	11,07	4,79

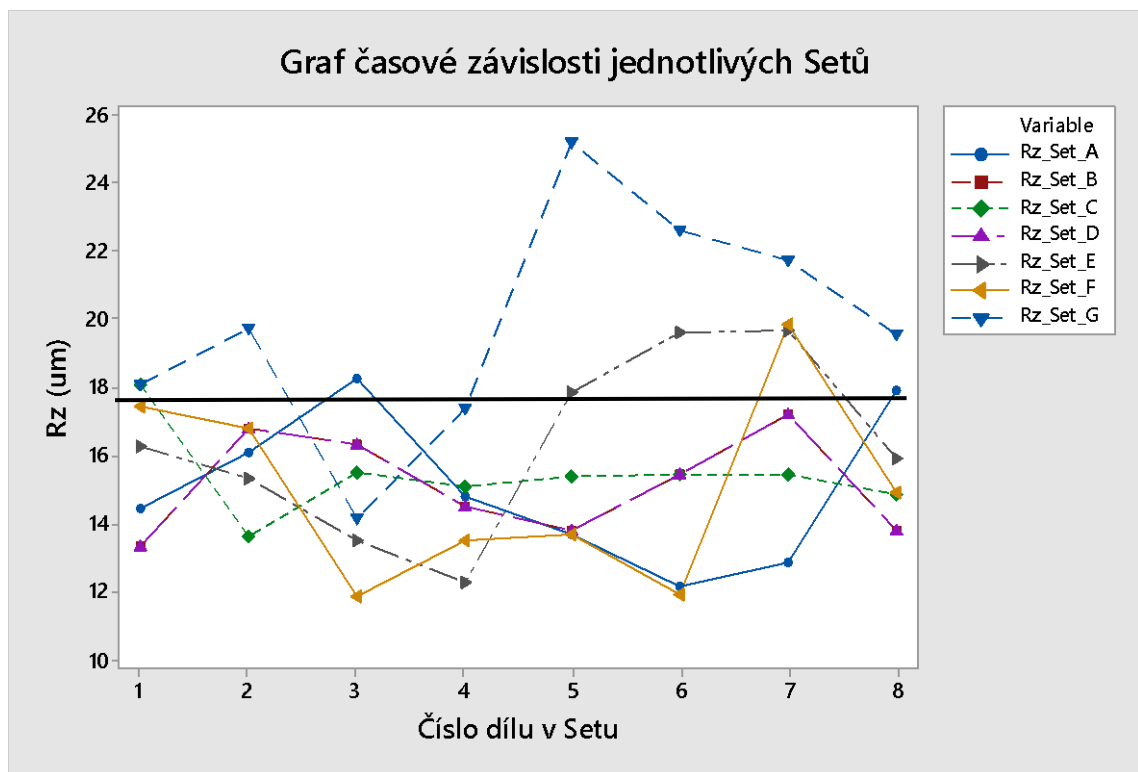
Mean = průměr
 StDev = směrodatná odchylka
 CoefVar = variační koeficient
 Q₁ = první kvartil
 Q₃ = třetí kvartil
 Range = rozsah
 IQR = mezikvartilové rozpětí

Obr. 62 Popisné charakteristiky parametru Rz, Bunch 2



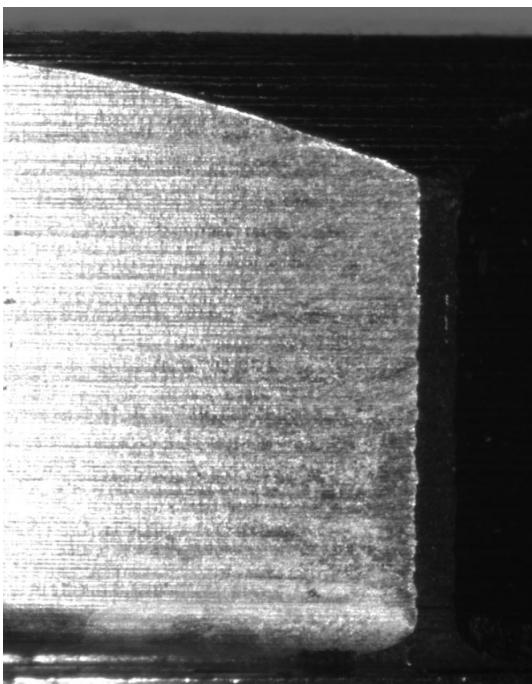
Obr. 63 Graf průběhu změny parametru Rz, Bunch 2

Na obrázku 63 je zaznačen průběh změny parametru Rz v závislosti na čase. Můžeme zde vidět, že hodnota parametru Rz je maximální při výrobě šesti set kusů.

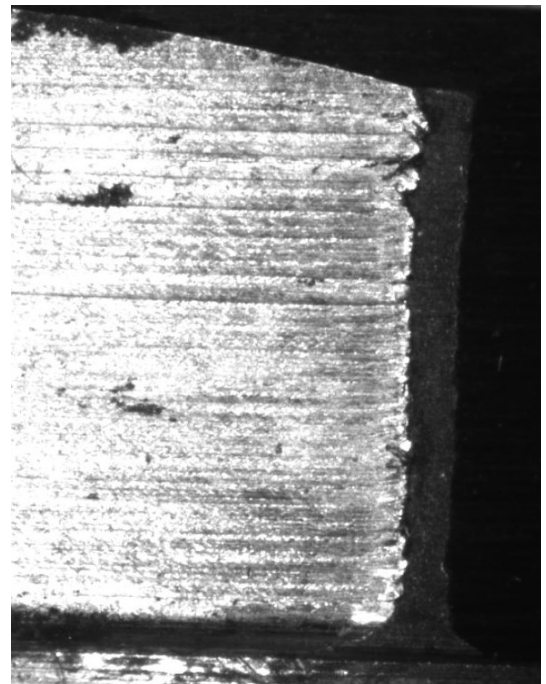


Obr. 64 Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 2

Na obrázku 64 vidíme jednoznačný rozdíl mezi daty Rz_Set_G a všemi ostatními daty.

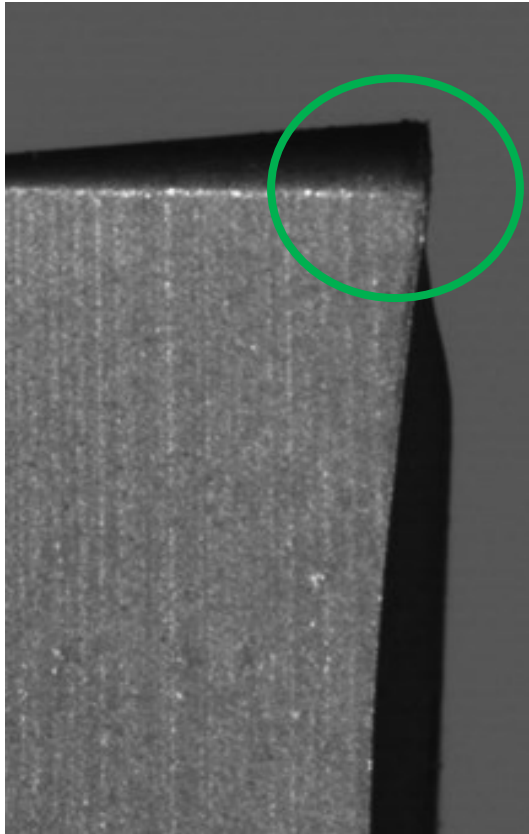


Obr. 65 První díl, Bunch 2

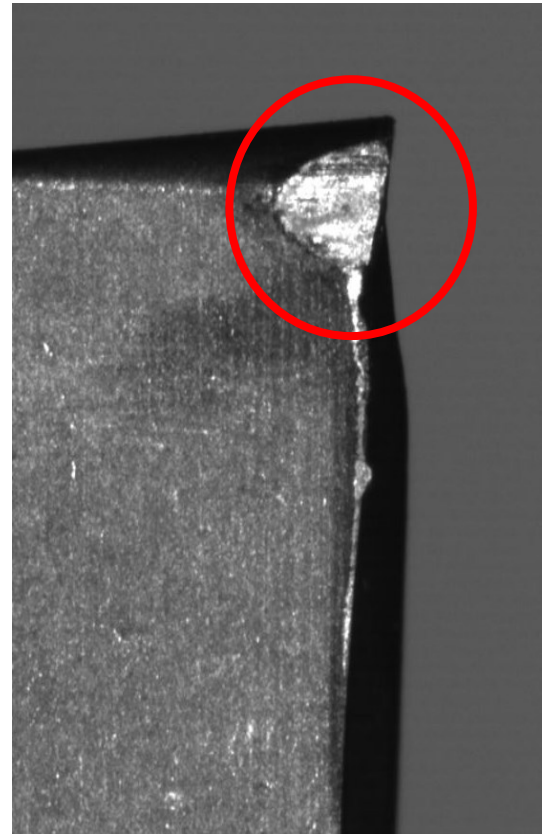


Obr. 66 Poslední díl, Bunch 2

Struktura povrchu dílů je v případě druhé série kusů podobná první sérii kusů. Mírně odlišné je však opotřebení břitové destičky po šesti set kusů. Na obrázku 68 můžeme vidět výraznější opotřebení břitové destičky.



Obr. 67 Neopotřebená břitová destička



Obr. 68 Opotřebená břitová destička,
Bunch 2

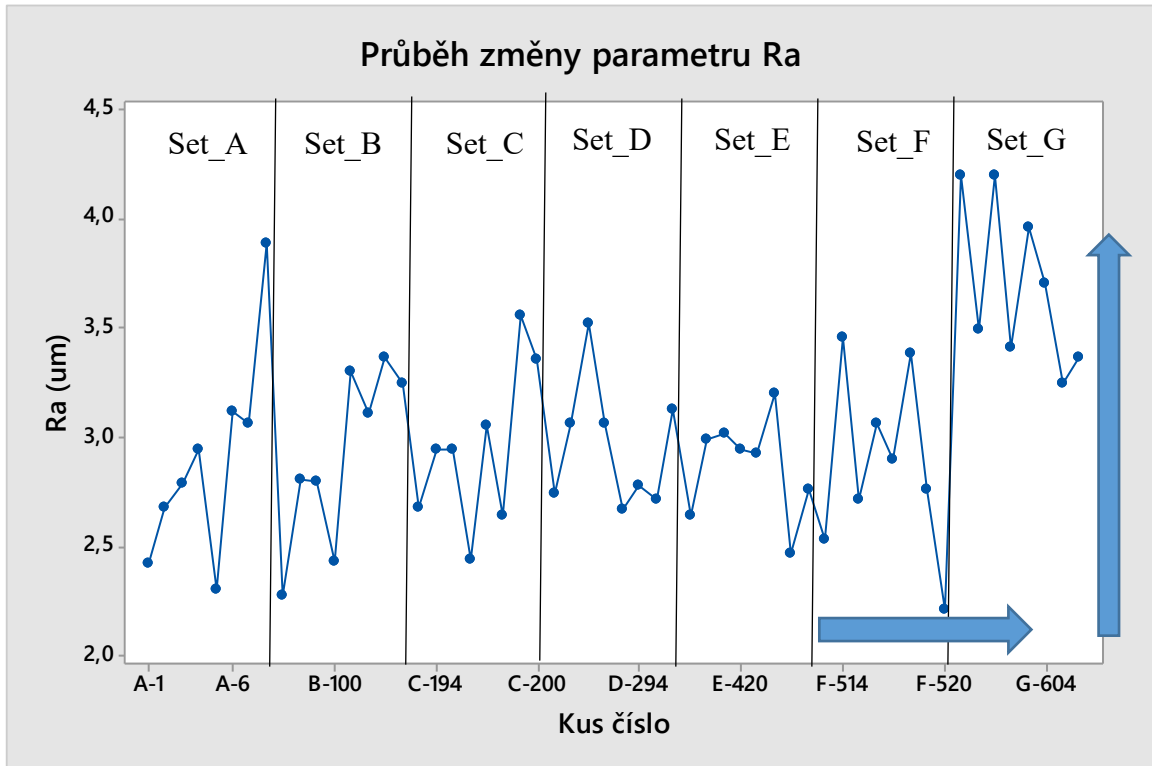
6.4 Opotřebení třetí série kusů

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Ra_Set_A	8	2,898	0,174	0,492	16,99	2,300	2,485	2,862	3,100	3,886
Ra_Set_B	8	2,915	0,145	0,411	14,10	2,273	2,516	2,959	3,287	3,369
Ra_Set_C	8	2,951	0,133	0,375	12,70	2,434	2,646	2,944	3,279	3,559
Ra_Set_D	8	2,959	0,103	0,290	9,81	2,667	2,720	2,919	3,111	3,522
Ra_Set_E	8	2,8665	0,0827	0,2340	8,16	2,4670	2,6658	2,9320	3,0097	3,2010
Ra_Set_F	8	2,876	0,148	0,419	14,58	2,207	2,577	2,829	3,303	3,452
Ra_Set_G	8	3,698	0,135	0,381	10,31	3,246	3,375	3,599	4,141	4,203

Variable	Range	IQR
Ra_Set_A	1,586	0,615
Ra_Set_B	1,096	0,771
Ra_Set_C	1,125	0,633
Ra_Set_D	0,855	0,391
Ra_Set_E	0,7340	0,3440
Ra_Set_F	1,245	0,727
Ra_Set_G	0,957	0,766

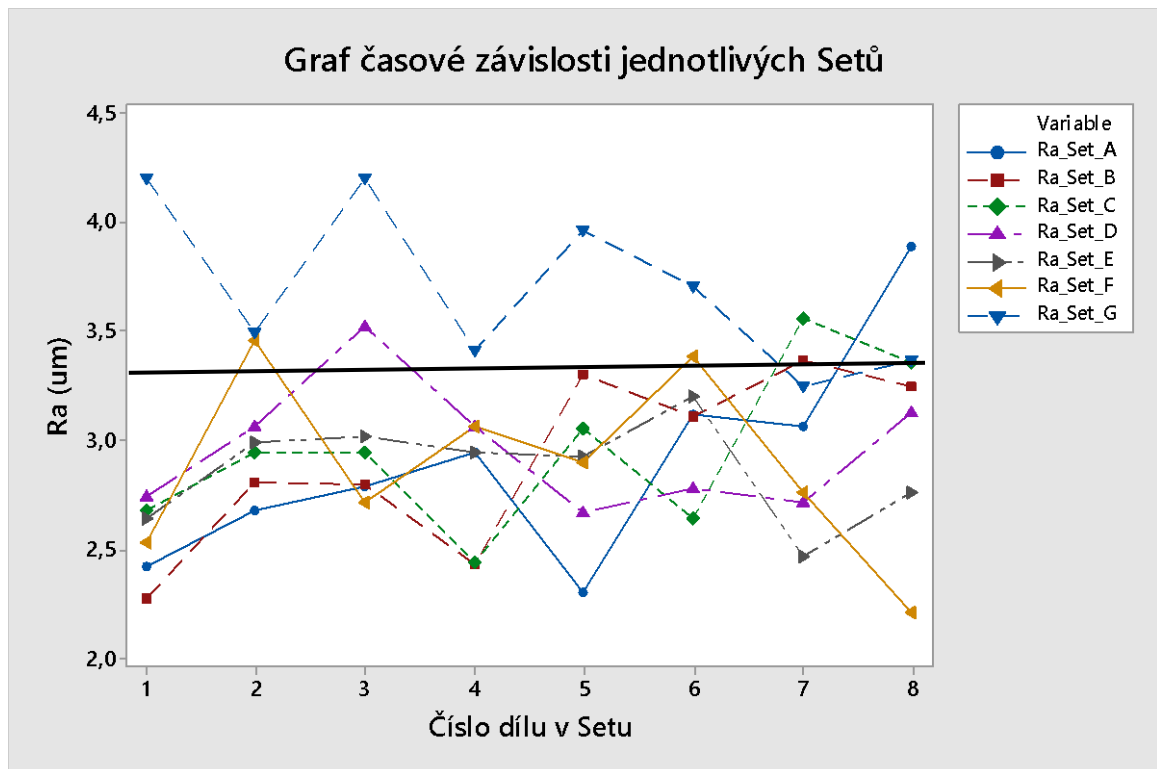
Mean = průměr
 StDev = směrodatná odchylka
 CoefVar = variační koeficient
 Q1 = první kvartil
 Q3 = třetí kvartil
 Range = rozsah
 IQR = mezikvartilové rozpětí

Obr. 69 Popisné charakteristiky parametru Ra, Bunch 3



Obr. 70 Graf průběhu změny parametru Ra, Bunch 3

Na obrázku 70 je zaznačen průběh změny parametru Ra v závislosti na čase. Hodnota parametru Ra se skokově změnila při výrobě šesti set kusů.



Obr. 71 Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 3

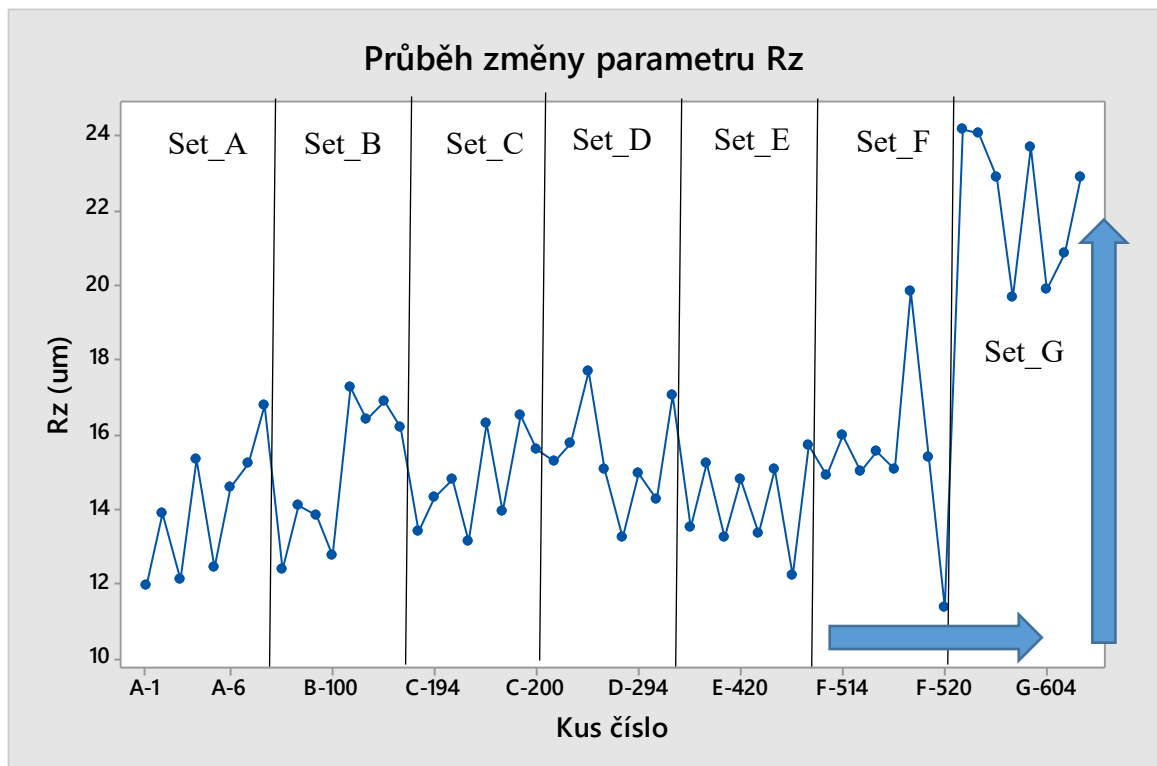
Na obrázku 71 můžeme sledovat body Ra_Set_G, které vykazují vyšší hodnoty parametru Ra než ostatní náměry.

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Rz_Set_A	8	14,033	0,619	1,751	12,48	11,955	12,201	14,214	15,308	16,774
Rz_Set_B	8	14,963	0,679	1,922	12,84	12,390	13,034	15,112	16,740	17,253
Rz_Set_C	8	14,732	0,454	1,284	8,72	13,109	13,511	14,538	16,100	16,501
Rz_Set_D	8	15,407	0,506	1,431	9,29	13,254	14,417	15,166	16,713	17,692
Rz_Set_E	8	14,127	0,431	1,219	8,63	12,217	13,251	14,145	15,180	15,676
Rz_Set_F	8	15,381	0,811	2,295	14,92	11,366	14,925	15,201	15,874	19,839
Rz_Set_G	8	22,260	0,656	1,855	8,33	19,664	20,121	22,899	23,961	24,149

Variable	Range	IQR
Rz_Set_A	4,819	3,107
Rz_Set_B	4,863	3,707
Rz_Set_C	3,392	2,589
Rz_Set_D	4,438	2,295
Rz_Set_E	3,459	1,929
Rz_Set_F	8,473	0,950
Rz_Set_G	4,485	3,840

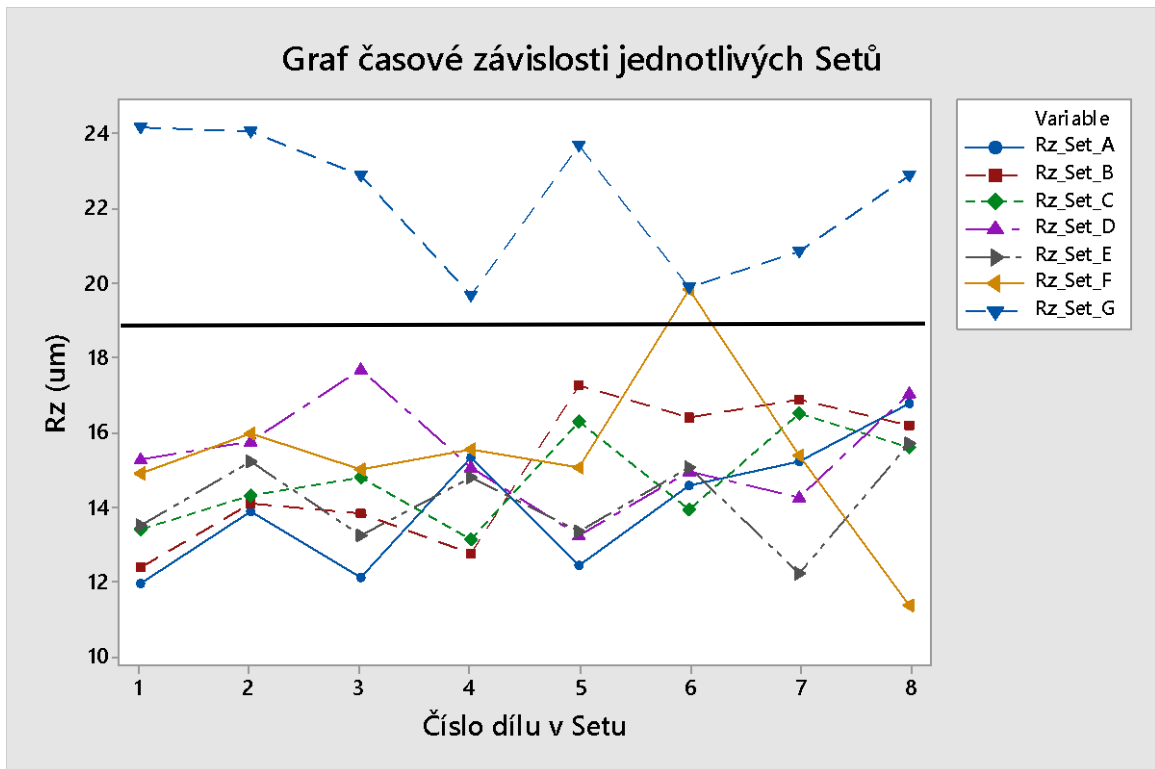
Mean = průměr
 StDev = směrodatná odchylka
 CoefVar = variační koeficient
 Q₁ = první kvartil
 Q₃ = třetí kvartil
 Range = rozsah
 IQR = mezikvartilové rozpětí

Obr. 72 Popisné charakteristiky parametru Rz, Bunch 3



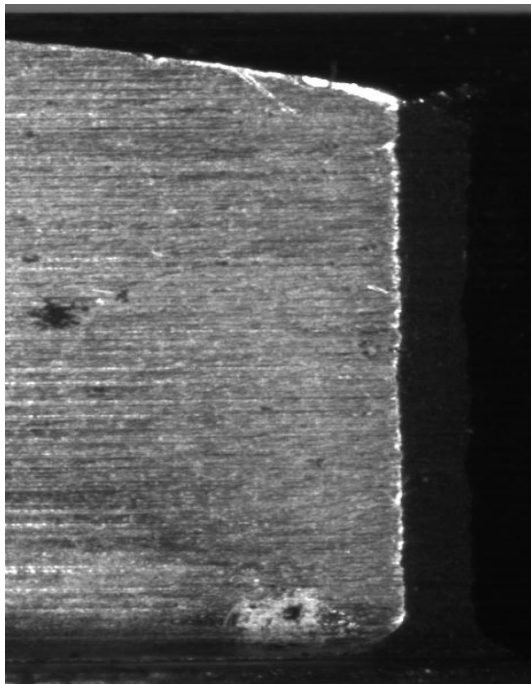
Obr. 73 Graf průběhu změny parametru Rz, Bunch 3

Na obrázku 73 je zaznačen průběh změny parametru Rz v závislosti na čase. Hodnota parametru Rz skokově mění při šesti set kusech.

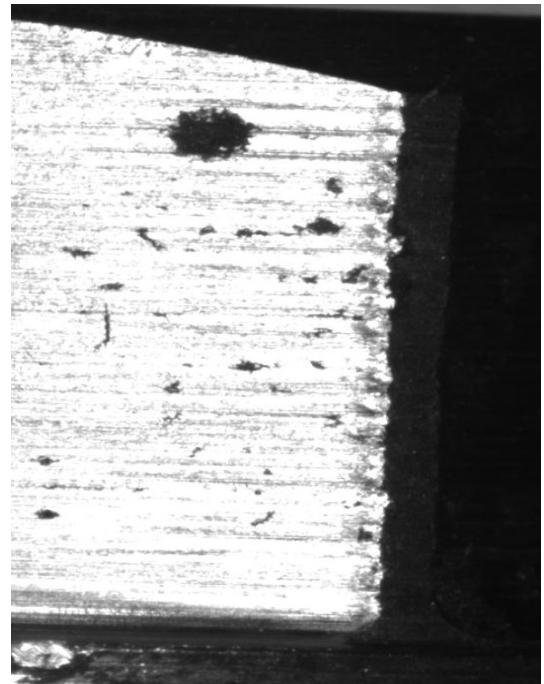


Obr. 74 Graf hodnot Ra jednotlivých Setů, Bunch 3

Na obrázku 74 je jednoznačný rozdíl mezi posledními vyrobenými kusy a ostatními kusy.

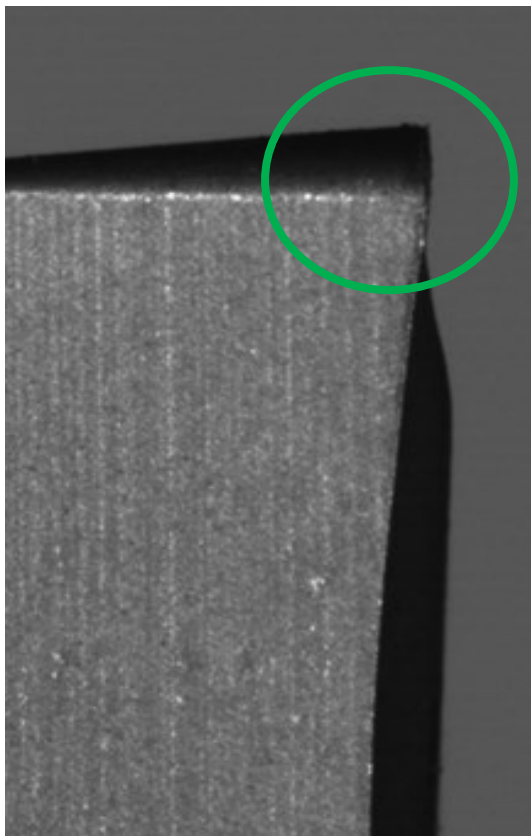


Obr. 75 První díl, Bunch 3

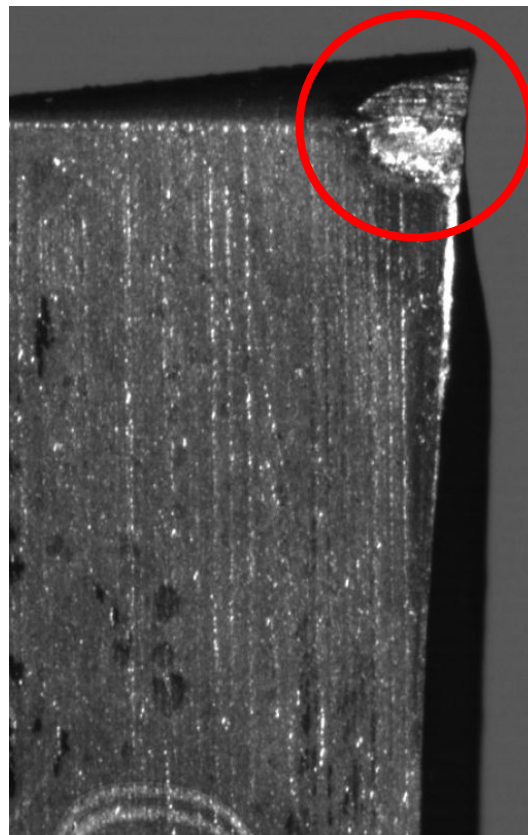


Obr. 76 Poslední díl, Bunch 3

Na obrázku 76 je opět znatelná změna struktury povrchu oproti prvnímu dílu, který je na obrázku 75. Tato struktura je opět podobná předchozím sériím. Břitová destička vyobrazena na obrázku 78 vykazuje podobné opotřebení jako destičky použité v předchozích sériích.



Obr. 77 Neopotřeбенá бřitová destičка



Obr. 78 Opotřeбенá бřitová destičка,

Bunch 3

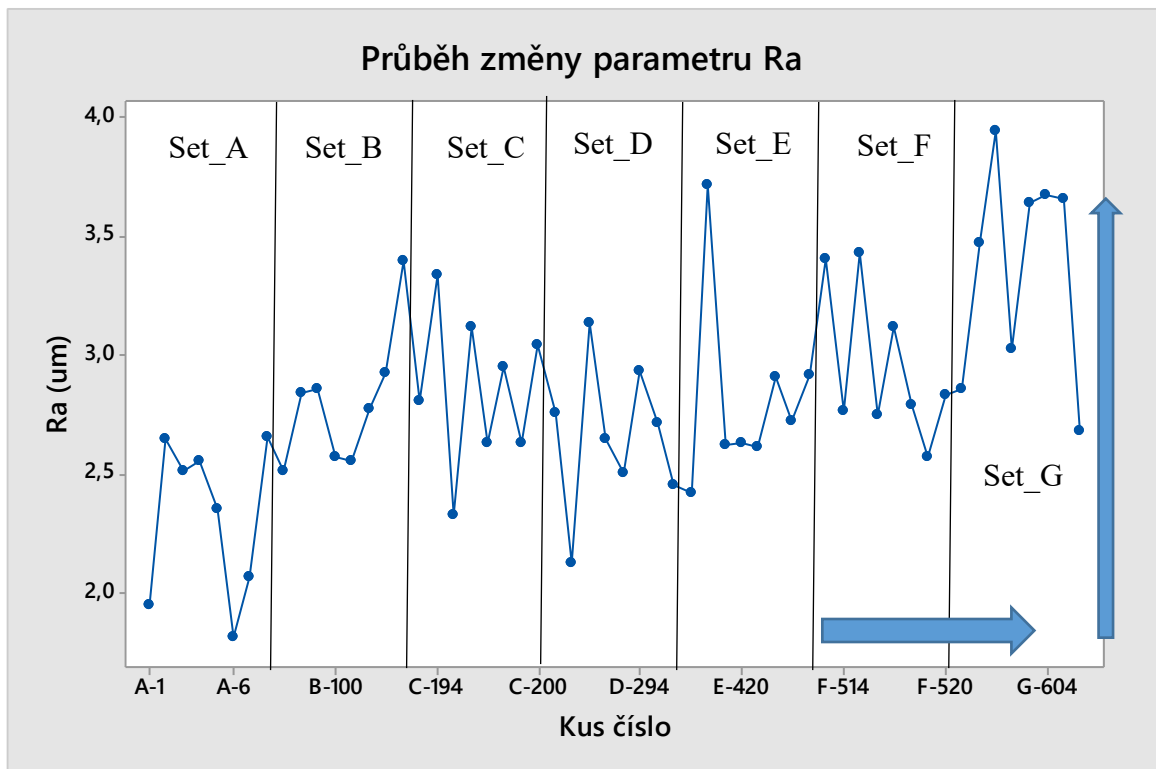
6.5 Opotřebení čtvrté série kusů

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Ra_Set_A	8	2,319	0,117	0,331	14,30	1,815	1,978	2,431	2,623	2,656
Ra_Set_B	8	2,803	0,101	0,287	10,24	2,510	2,556	2,809	2,908	3,397
Ra_Set_C	8	2,854	0,114	0,323	11,30	2,326	2,628	2,877	3,097	3,338
Ra_Set_D	8	2,658	0,109	0,308	11,60	2,127	2,463	2,680	2,890	3,134
Ra_Set_E	8	2,817	0,140	0,396	14,07	2,423	2,615	2,675	2,912	3,713
Ra_Set_F	8	2,957	0,113	0,320	10,82	2,573	2,755	2,809	3,332	3,425
Ra_Set_G	8	3,367	0,161	0,454	13,49	2,678	2,898	3,556	3,668	3,941

Variable	Range	IQR
Ra_Set_A	0,841	0,645
Ra_Set_B	0,887	0,352
Ra_Set_C	1,012	0,469
Ra_Set_D	1,007	0,428
Ra_Set_E	1,290	0,298
Ra_Set_F	0,852	0,577
Ra_Set_G	1,263	0,771

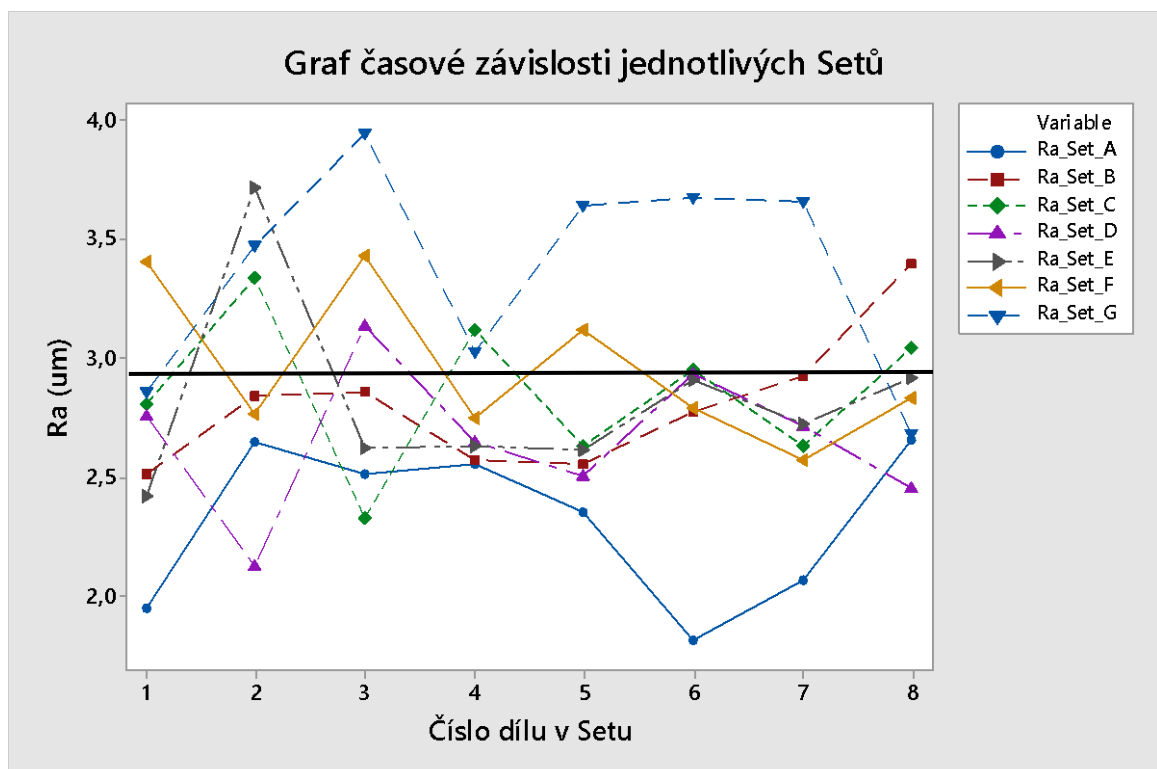
Mean = průměr
 StDev = směrodatná odchylka
 CoefVar = variační koeficient
 Q₁ = první kvartil
 Q₃ = třetí kvartil
 Range = rozsah
 IQR = mezikvartilové rozpětí

Obr. 79 Popisné charakteristiky parametru Ra, Bunch 4



Obr. 80 Graf průběhu změny parametru Ra, Bunch 4

Na obrázku 80 je zaznačen průběh změny parametru Ra v závislosti na čase. Hodnota parametru Ra roste konstantně a maxima dosahuje při výrobě šesti set kusů.



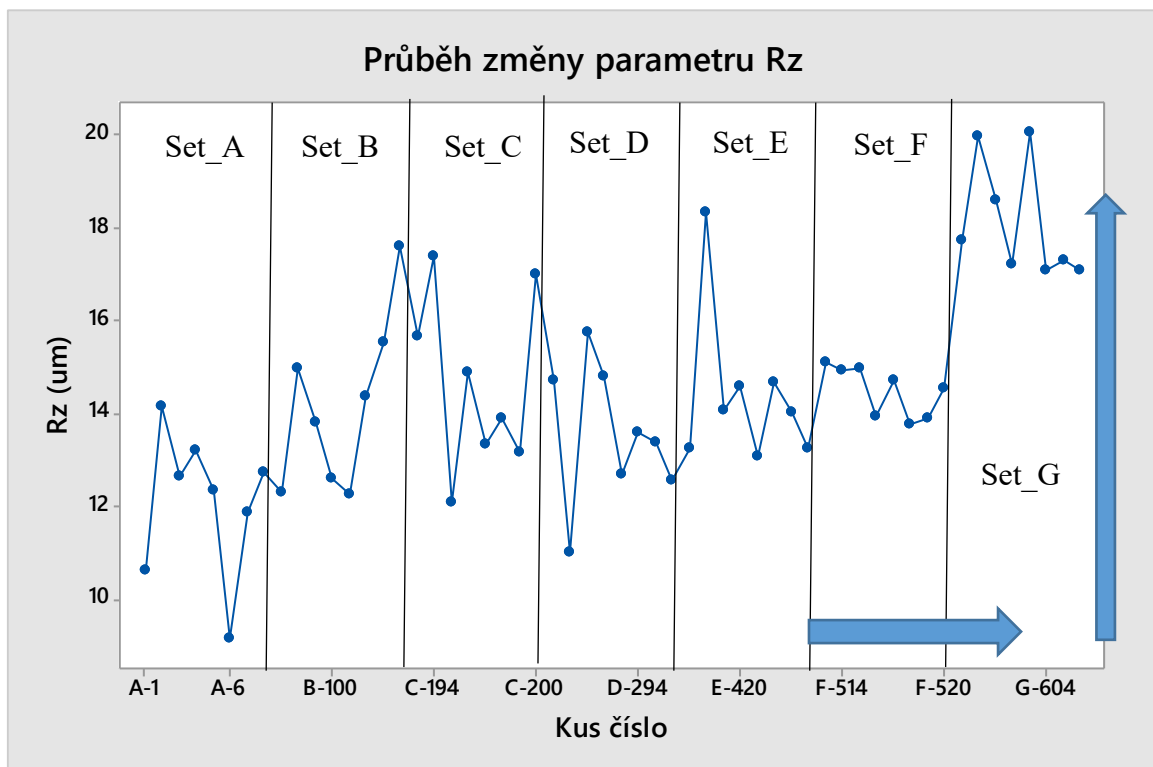
Obr. 81 Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 4

Variable	Total Count	Mean	SE Mean	StDev	CoefVar	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Rz_Set_A	8	12,091	0,553	1,564	12,93	9,158	10,939	12,492	13,081	14,170
Rz_Set_B	8	14,178	0,657	1,857	13,10	12,259	12,363	14,084	15,407	17,595
Rz_Set_C	8	14,677	0,672	1,900	12,94	12,073	13,214	14,397	16,666	17,391
Rz_Set_D	8	13,559	0,534	1,510	11,14	11,021	12,585	13,474	14,766	15,758
Rz_Set_E	8	14,410	0,603	1,706	11,84	13,086	13,237	14,054	14,659	18,350
Rz_Set_F	8	14,473	0,189	0,534	3,69	13,781	13,895	14,611	14,952	15,090
Rz_Set_G	8	18,124	0,446	1,262	6,96	17,065	17,113	17,517	19,613	20,049

Variable	Range	IQR
Rz_Set_A	5,012	2,142
Rz_Set_B	5,336	3,044
Rz_Set_C	5,318	3,452
Rz_Set_D	4,737	2,180
Rz_Set_E	5,264	1,422
Rz_Set_F	1,309	1,057
Rz_Set_G	2,984	2,501

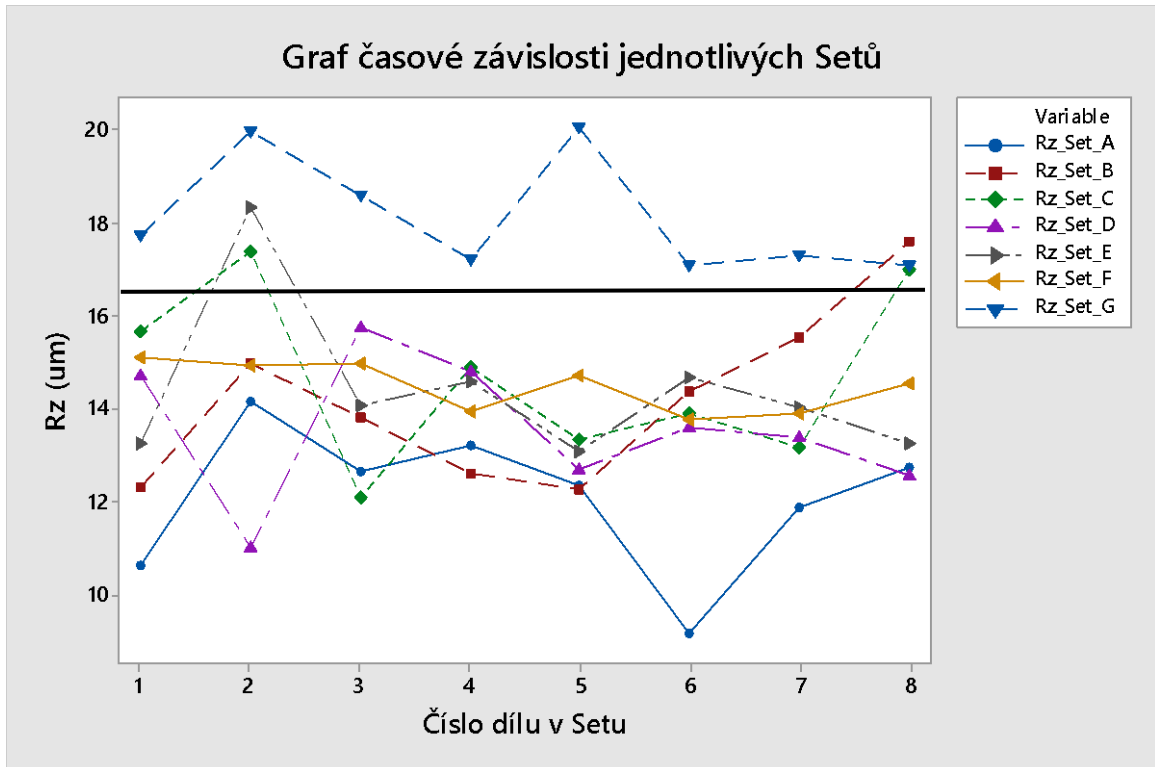
Mean = průměr
 StDev = směrodatná odchylka
 CoefVar = variační koeficient
 Q₁ = první kvartil
 Q₃ = třetí kvartil
 Range = rozsah
 IQR = mezikvartilové rozpětí

Obr. 82 Popisné charakteristiky parametru Rz, Bunch 4



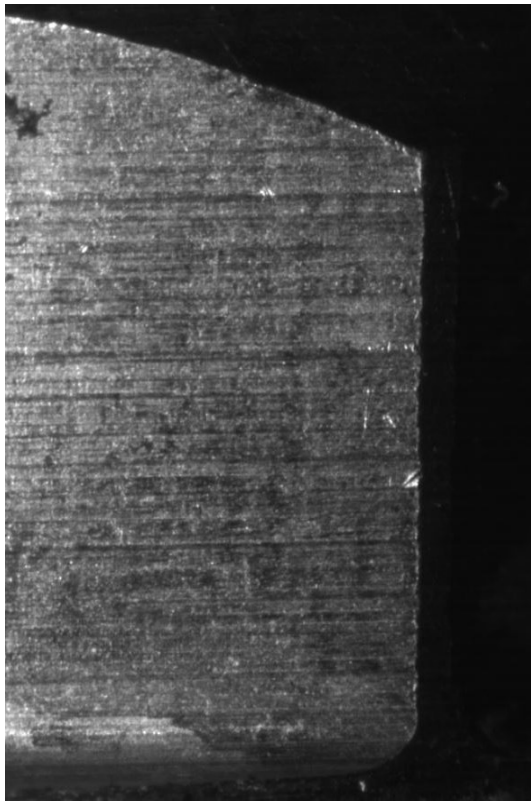
Obr. 83 Graf průběhu změny parametru Rz, Bunch 4

Na obrázku 50 je zaznačen průběh změny parametru Rz v závislosti na čase. Můžeme vidět, že hodnota parametru Rz se skokově změnila při výrobě šesti set kusů.

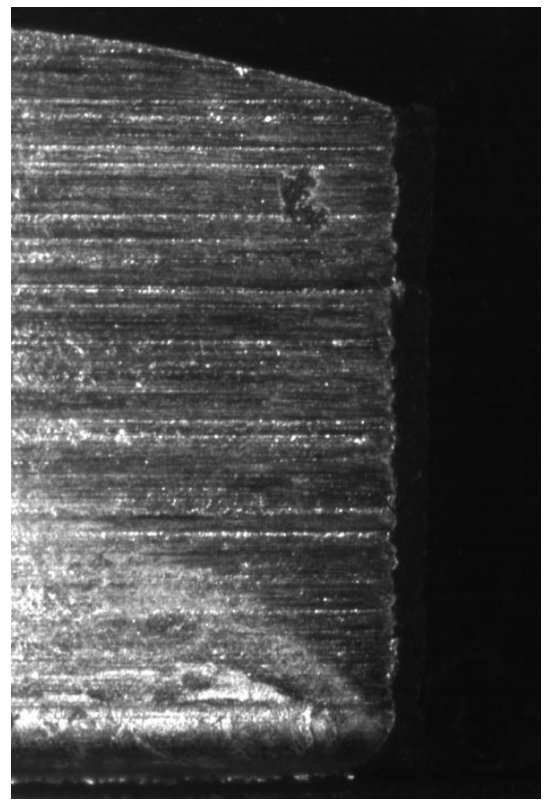


Obr. 84 Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 4

Graf na obrázku 84 znázorňuje rozdíl v parametru Rz mezi posledními kusy označenými Rz_Set_G a ostatními kusy.

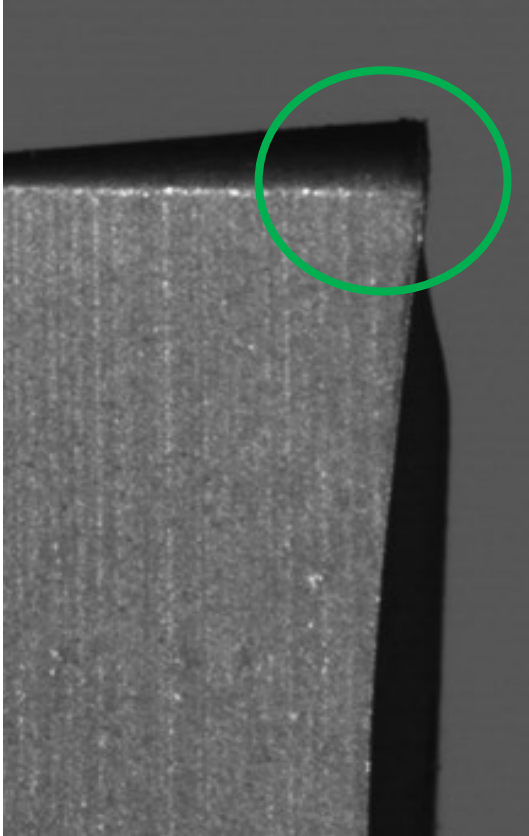


Obr. 85 První díl, Bunch 4

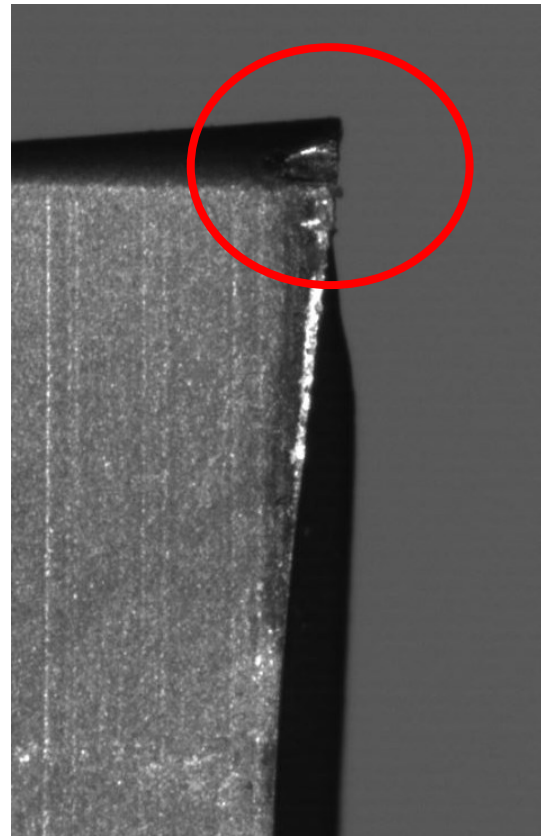


Obr. 86 Poslední díl, Bunch 4

U poslední série kusů je znatelný opět stejná změna struktury povrchu jako u předchozích sériích. Výměnná břitová destička vykazuje menší míru opotřebení než břitové destičky u předchozích sérií.



Obr. 87 Neopotřeбенá бřitová destičка,



Obr. 88 Opotřeбенá бřitová destičка,
Bunch 4

7 ZÁVĚR A POROVNÁNÍ MĚŘENÍ V LABORATOŘI S MĚŘENÍM NA DÍLENSKÉ ÚROVNI

Na vybraném dílu, který je specifický svou proměnnou strukturou povrchu, jsme provedli měření na čtyřech sériích kusů. Vybrané kusy byly označeny a očištěny. Na vyhodnocených grafech je patrný průběh opotřebení výměnných břitových destiček. Na dílech, které byly odebrány po opracování 600 kusů je znatelné výrazné zvýšení parametrů drsnosti. Tento skok je patrný zejména u parametru Rz. V sérii šesti-set kusů jsme neobjevili žádný, který by nevyhovoval požadavkům předepsaným na výkresové dokumentaci. Při dávce cca 600 kusů břitové destičky dosáhnou takové otupení, kdy materiál přehrnou přes hranu plochy šestihranu a vznikají tak otřepy. Součást je požadována bez otřepů a ostrin, proto jsme předběžně na základě této vady stanovili pravidelnou dobu výměny břitových destiček na 600 kusů. Tento počet jsme následně ověřovali na parametr drsnosti. Kontrolovali jsme parametry Ra a Rz jejichž hodnoty se průběžně navyšovaly.

Naše měření jsme prováděli v laboratoři, za konstantní teploty a bez okolních vlivů. Pokud bychom takové měření prováděli na dílenské úrovni, jeho výsledky by byly ovlivněny kolísáním teploty a všemi okolními vlivy. Proto je měření v laboratoři přesnější a lépe popisuje daný průběh opotřebení, než měření na dílenské úrovni. V závislosti na naměřená data jsme se pro měření na dílně rozhodli doporučit pravidelnější kontrolu parametrů drsnosti od pěti-set kusů a pravidelnou výměnu od šesti-set kusů, abychom zamezili výrobě dílů, které nebudou odpovídat toleranci.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce je rozdělena na dvě základní kapitoly. V teoretické části je čtenář seznámen se základními informacemi o měření struktury povrchu na základě norem ČSN EN ISO. Pro práci s naměřenými daty jsou v krátkosti popsány některé statistické metody vyhodnocení. Při jakémkoliv měření je důležité se vyvarovat chyb, které mohou ovlivňovat jeho výsledné hodnoty.

Praktická část pojednává o postupu měření dílů s proměnnou jakostí povrchu. V její první kapitole byl vybrán a popsán vhodný díl pro následné měření. Následně byly připraveny vzorky, které budou vyhodnoceny. Po nastavení vhodných parametrů pro měření, na základě parametru R_{sm} , byly provedeny náměry čtyř sérií kusů. Výsledky byly shromažďovány v softwaru Minitab pro jejich následné vyhodnocení. Jako popisné charakteristiky byly použity parametry R_a a R_z .

První statistické vyhodnocení dokázalo normalitu dat a možnost měřit pouze jednu plochu ze šesti pro dostatečné popsání struktury povrchu. Pro tento účel byla použita metoda testu rovnosti rozptylů. V další části byly vyhodnoceny jednotlivé série kusů, kdy byl sledován průběh změny drsnosti kusů v závislosti na čase. V poslední fázi byly okomentovány grafy, které byly použity při statistickém vyhodnocení. Byla doporučena doba, při které se má výměnná břitová destička vyměnit, a to po šesti set kusech.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SOUKUP, Josef a Jan SKOČILAS. Technická měření. 2., opr. a dopl. vyd. Ústí n. L.: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2014. ISBN 978-80-7414-730-2
- [2] KAŇÁK, Jiří. Technická měření. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1084-0.
- [3] BERAN, Vlastimil. Technická měření. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. ISBN 80-7043-320-5.
- [4] STŘÍŽ, Pavel a Helena SEBEROVÁ. Metody statistické analýzy. Bučovice: Martin Stříž, 2011. ISBN 978-80-87106-50-1.
- [5] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termín, definice a parametry struktury povrchu*. Český normalizační institut, 1999. 24s.
- [6] ČSN EN ISO 4288. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu*. Český normalizační institut, 1999. 16s.
- [7] Statistická analýza experimentálních dat. Dostupné z WWW:
<<https://meloun.upce.cz/docs/books/kompendium.pdf>>
- [8] Plakát společnosti JENOPTIK. Dostupný z WWW: https://www.hommel-etamic.cz/files/094_14-hommel-plakat-drsnost-1000x700mm.pdf
- [9] Dotykové nebo bezdotykové měření struktury povrchu: dotykový způsob. MM: průmyslové spektrum. 2005(6). Dostupné z WWW: <<http://mmspektrum.com/clanek/dotykove-nebo-bezdotykove-mereni-struktury-povrchu.html>>
- [10] PEŠIČKA, Ladislav. Geometrická specifikace výrobků strojírenské výroby (GPS). Praha: ČNI, 2006. 49 s.
- [11] PATA V., Přednášky: *Testování hypotéz*, 2016.
- [12] Testování hypotéz ve statistice. Dostupné z WWW: <<http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/hypotezy.htm>>.
- [13] Metoda ANOVA. Dostupné z WWW: <<http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/ANOVA.htm>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

μm	Mikrometr
mm	Milimetr
σ	Odchylka
μ	Průměr výběrového souboru
H_0	Nulová hypotéza
H_1	Alternativní hypotéza
α	Chyba prvního druhu
β	Chyba druhého druhu
$1-\alpha$	Konfidenční úroveň
$1-\beta$	Síla testu
Ot/min	Otáčky za minutu
Mm/s	Milimetry za sekundu
$^{\circ}\text{C}$	Stupeň Celsia
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
Q_1	První kvartil
Q_3	Třetí kvartil
Ra	Střední aritmetická drsnost
Rz	Největší výška profilu
ln	Vyhodnocovaná délka profilu drsnosti [mm]
lr	Základní délka profilu drsnosti [mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Křivka profilu	12
Obr. 2 Vlnitost	12
Obr. 3 Drsnost.....	12
Obr. 4 Chyba povrchu.....	12
Obr. 5 Periodický povrch [8]	13
Obr. 6 Neperiodický povrch [8].....	13
Obr. 7 Tabulka hodnot pro periodický profil [6].....	14
Obr. 8 Tabulka hodnot pro parametr Ra, neperiodický profil [6].....	14
Obr. 9 Tabulka hodnot pro parametr Rz, neperiodický profil [6].....	15
Obr. 10 Základní profily [8]	16
Obr. 11 Parametr Rv	17
Obr. 12 Parametr Rp	17
Obr. 13 Parametr Rz	17
Obr. 14 Parametr Rt	18
Obr. 15 Parametr Ra	18
Obr. 16 Parametr Rq	19
Obr. 17 Parametr Rsm [8].....	19
Obr. 18 Parametr Rmr [8].....	20
Obr. 19 Dráha měření	21
Obr. 20 Schéma měřícího zařízení.....	22
Obr. 21 Ukázka měřícího hrotu	23
Obr. 22 Křivky pro vyjádření chyb I. a II. druhu.....	25
Obr. 23 Studentovo rozdělení	27
Obr. 24 Znázornění metody obrábění	35
Obr. 25 Výrobní výkres součásti	36
Obr. 26 Ukázka vybraného dílu	36
Obr. 27 Atest složení materiálu	37
Obr. 28 Ukázka značení dílů.....	38
Obr. 29 Přístroj Mitutoyo Surftest SJ-410	39
Obr. 30 Použitý měřící hrot	40
Obr. 31 Kalibrační destička	40
Obr. 32 Výsledek kalibrace	41

Obr. 33 Podmínky měření.....	41
Obr. 34 Výsledek náhodného měření	42
Obr. 35 Struktura povrchu náhodného měření.....	42
Obr. 36 Ukázka výstupu při testu normality dat	44
Obr. 37 Krabicový diagram pro hodnoty Ra prvního dílu.....	45
Obr. 38 Krabicový diagram pro hodnoty Rz prvního dílu.....	46
Obr. 39 Krabicový diagram pro hodnoty Ra druhého dílu	47
Obr. 40 Krabicový diagram pro hodnoty Rz druhého dílu	48
Obr. 41 Test rovnosti rozptylů pro hodnoty Ra prvního dílu	49
Obr. 42 Test rovnosti rozptylů pro hodnoty Ra druhého dílu.....	50
Obr. 43 Test rovnosti rozptylů pro hodnoty Rz prvního dílu	50
Obr. 44 Test rovnosti rozptylů hodnot Rz druhého dílu	51
Obr. 45 Test rovnosti průměrů pro hodnoty Ra prvního dílu	52
Obr. 46 Test rovnosti průměrů pro hodnoty Ra druhého dílu	52
Obr. 47 Test rovnosti průměrů pro hodnoty Rz prvního dílu	53
Obr. 48 Test rovnosti průměrů pro hodnoty Rz druhého dílu	54
Obr. 49 Popisné charakteristiky parametru Ra, Bunch 1.....	55
Obr. 50 Graf průběhu změny parametru Ra, Bunch 1	55
Obr. 51 Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 1	56
Obr. 52 Popisné charakteristiky parametru Rz, Bunch 1.....	56
Obr. 53 Graf průběhu změny parametru Rz, Bunch 1	57
Obr. 54 Graf hodnoty Rz jednotlivých Setů, Bunch 1	57
Obr. 55 První díl, Bunch 1	58
Obr. 56 Poslední díl, Bunch 1	58
Obr. 57 Neopotřebená břitová destička	59
Obr. 58 Opotřebená břitová destička, Bunch 1.....	59
Obr. 59 Popisné charakteristiky parametru Ra, Bunch 2.....	59
Obr. 60 Graf průběhu změny parametru Ra, Bunch 2	60
Obr. 61 Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 2.....	60
Obr. 62 Popisné charakteristiky parametru Rz, Bunch 2.....	61
Obr. 63 Graf průběhu změny parametru Rz, Bunch 2	61
Obr. 64 Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 2.....	62
Obr. 65 První díl, Bunch 2.....	62

Obr. 66	Poslední díl, Bunch 2.....	62
Obr. 67	Neopotřebená břitová destička	63
Obr. 68	Opotřebená břitová destička, Bunch 2.....	63
Obr. 69	Popisné charakteristiky parametru Ra, Bunch 3.....	63
Obr. 70	Graf průběhu změny parametru Ra, Bunch 3	64
Obr. 71	Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 3.....	64
Obr. 72	Popisné charakteristiky parametru Rz, Bunch 3.....	65
Obr. 73	Graf průběhu změny parametru Rz, Bunch 3	65
Obr. 74	Graf hodnot Ra jednotlivých Setů, Bunch 3.....	66
Obr. 75	První díl, Bunch 3	66
Obr. 76	Poslední díl, Bunch 3	66
Obr. 77	Neopotřebená břitová destička	67
Obr. 78	Opotřebená břitová destička, Bunch 3.....	67
Obr. 79	Popisné charakteristiky parametru Ra, Bunch 4.....	67
Obr. 80	Graf průběhu změny parametru Ra, Bunch 4	68
Obr. 81	Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 4.....	68
Obr. 82	Popisné charakteristiky parametru Rz, Bunch 4.....	69
Obr. 83	Graf průběhu změny parametru Rz, Bunch 4	69
Obr. 84	Graf hodnoty Ra jednotlivých Setů, Bunch 4.....	70
Obr. 85	První díl, Bunch 4	70
Obr. 86	Poslední díl, Bunch 4.....	70
Obr. 87	Neopotřebená břitová destička,	71
Obr. 88	Opotřebená břitová destička, Bunch 4.....	71

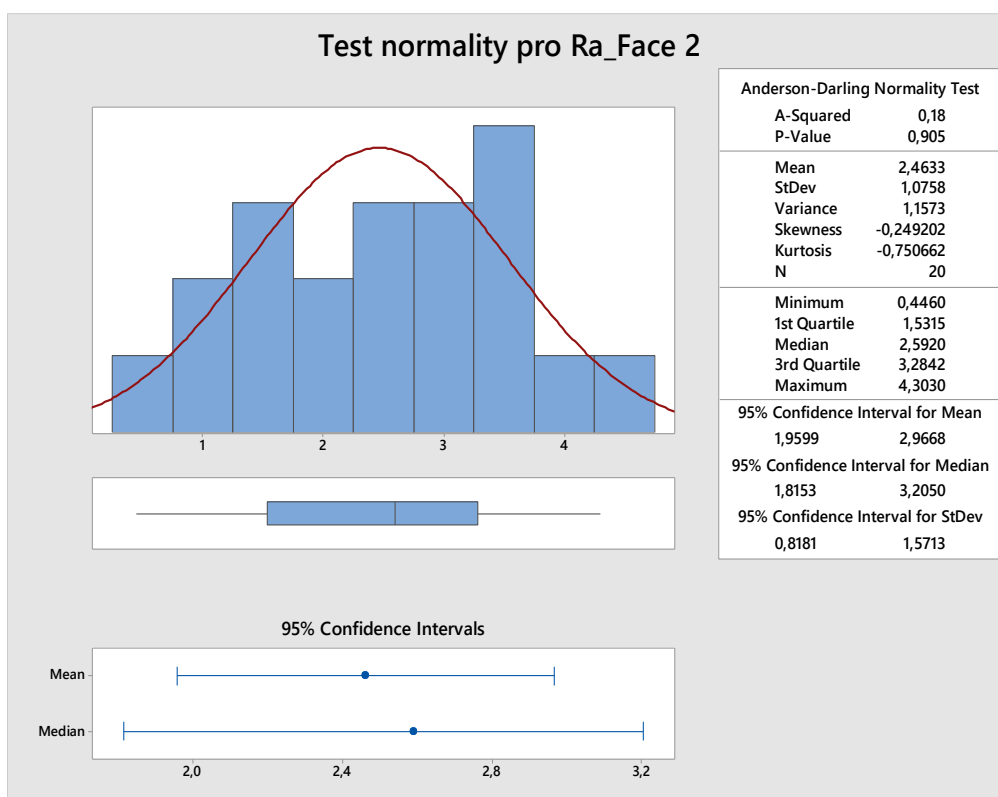
SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozhodnutí o nulové hypotéze	26
Tabulka 2 Test normality dat prvního kusu	45
Tabulka 3 Test normality dat druhého kusu	47

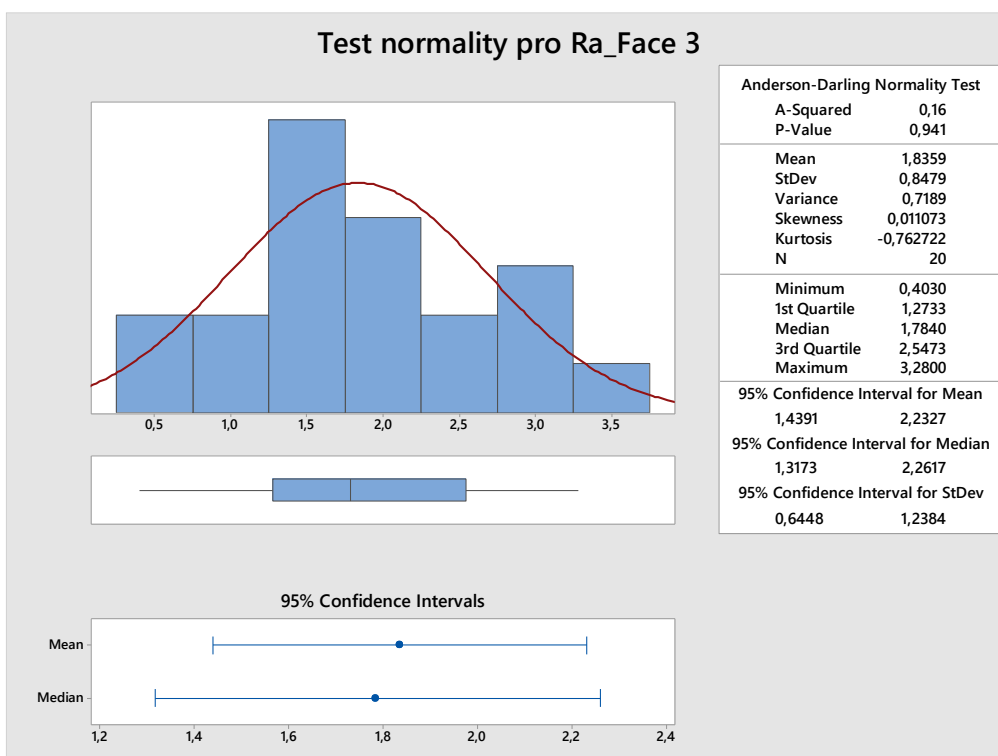
SEZNAM PŘÍLOH

PI Grafy použité pro určení normality

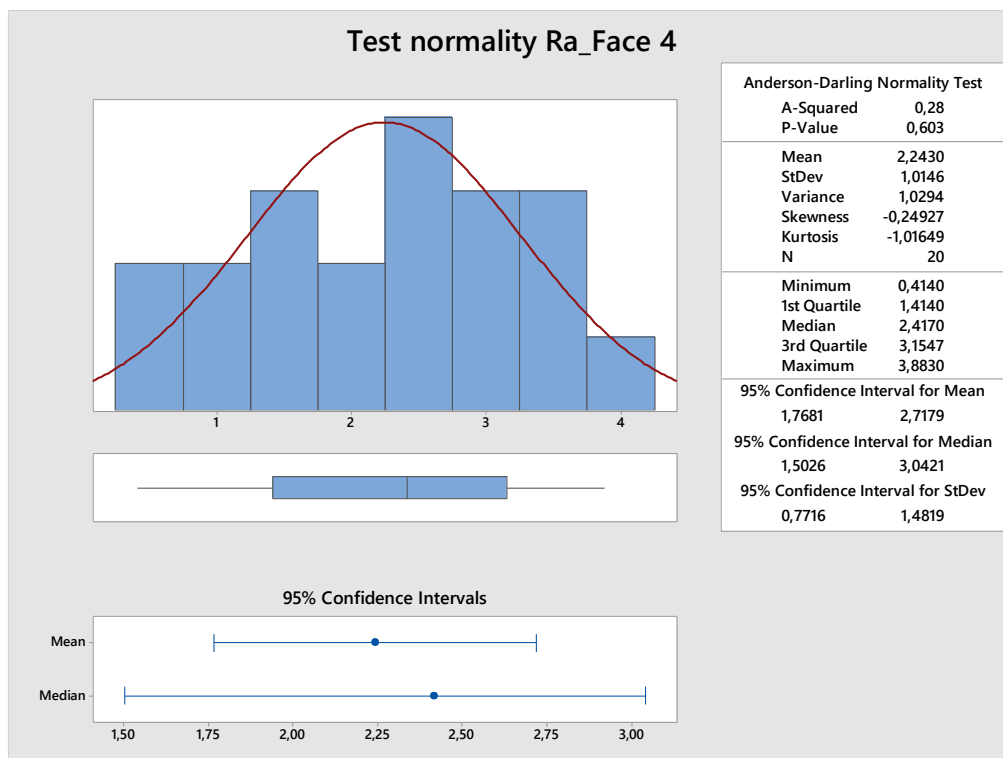
PŘÍLOHA P I: GRAFY POUŽITÉ PRO URČENÍ NORMALITY



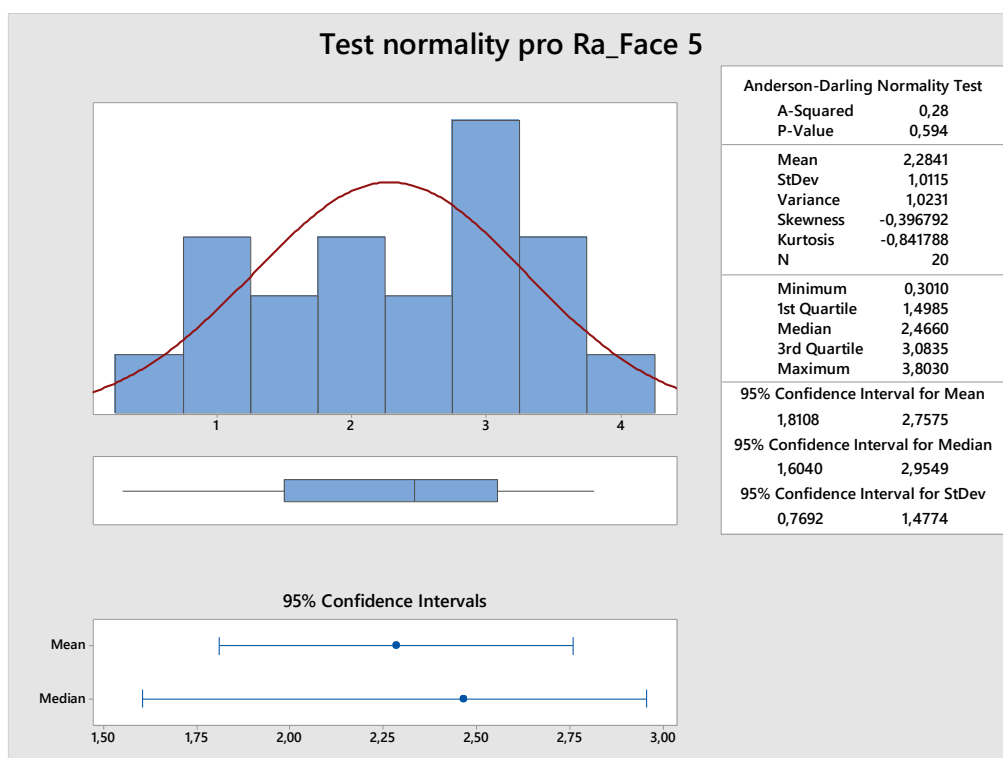
Graf č. 1 Test normality pro Ra_Face 2, první díl



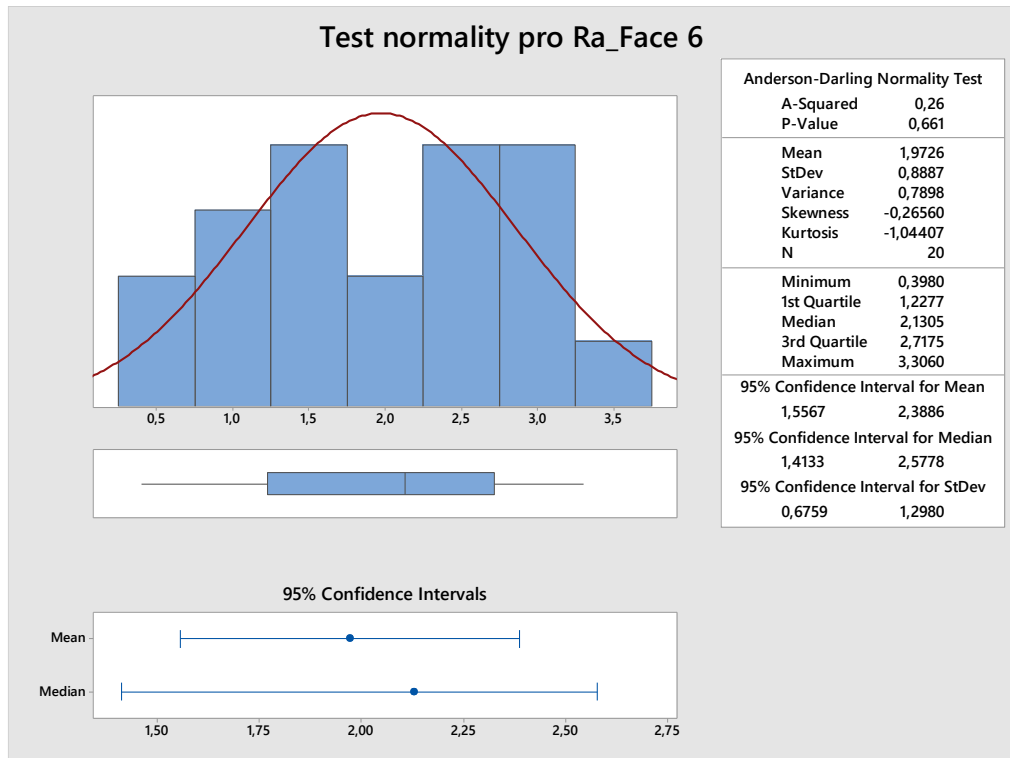
Graf č. 2 Test normality pro Ra_Face 3, první díl



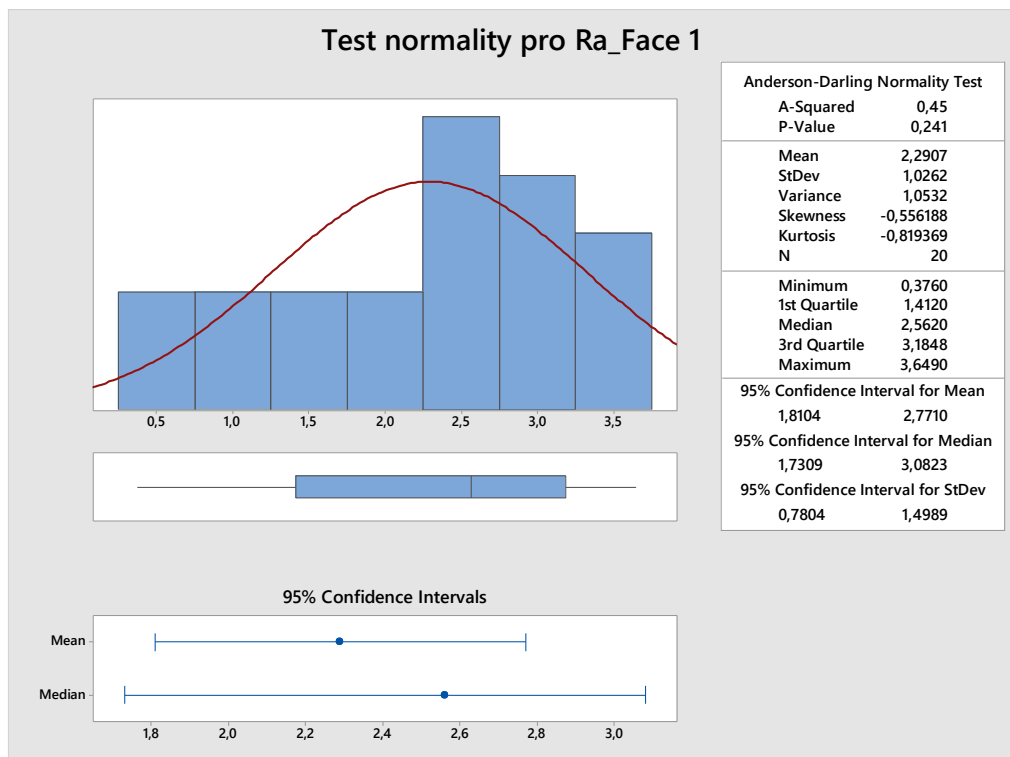
Graf č. 4 Test normality pro Ra_Face 4, první díl



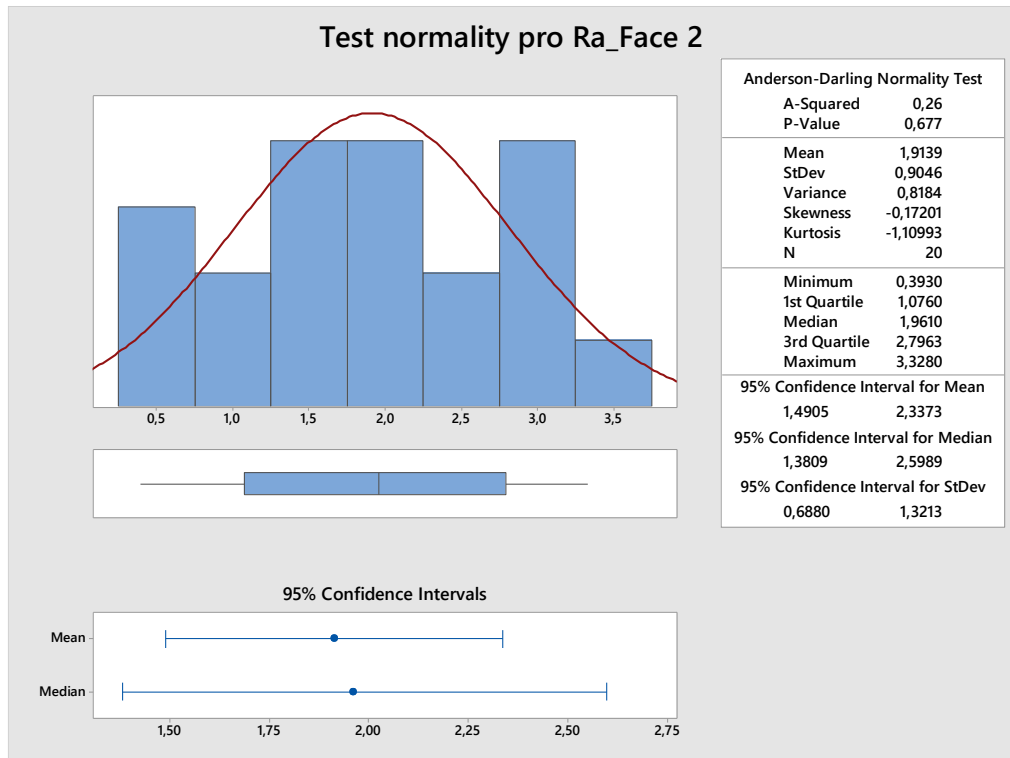
Graf č. 3 Test normality pro Ra_Face 5, první díl



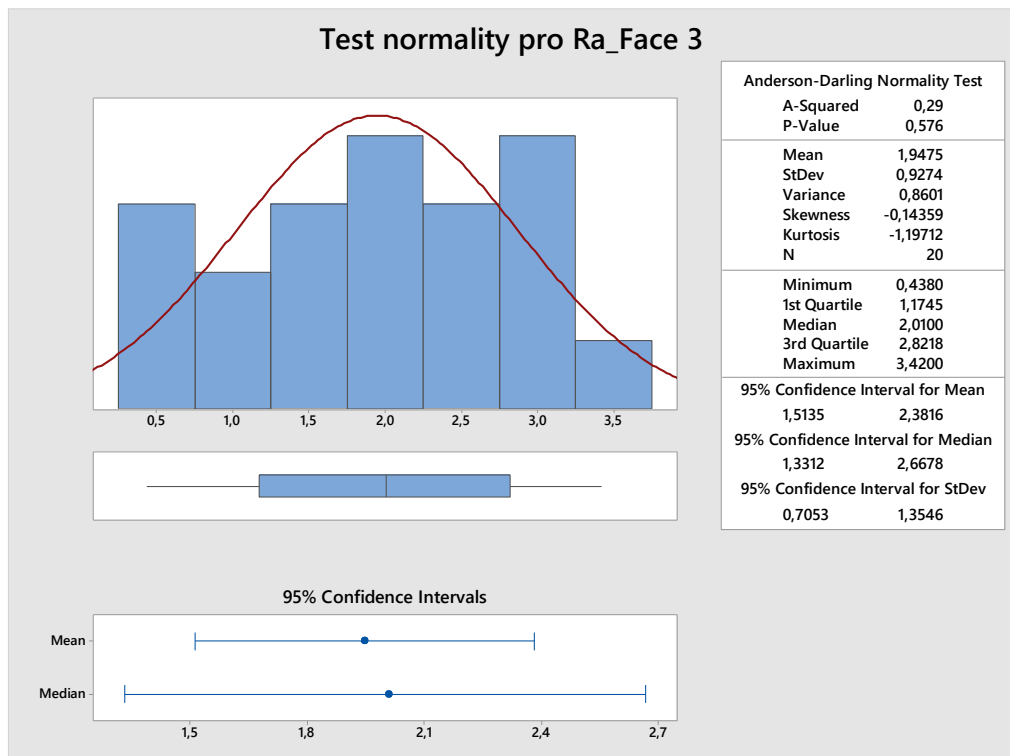
Graf č. 6 Test normality pro Ra_Face 6, první díl



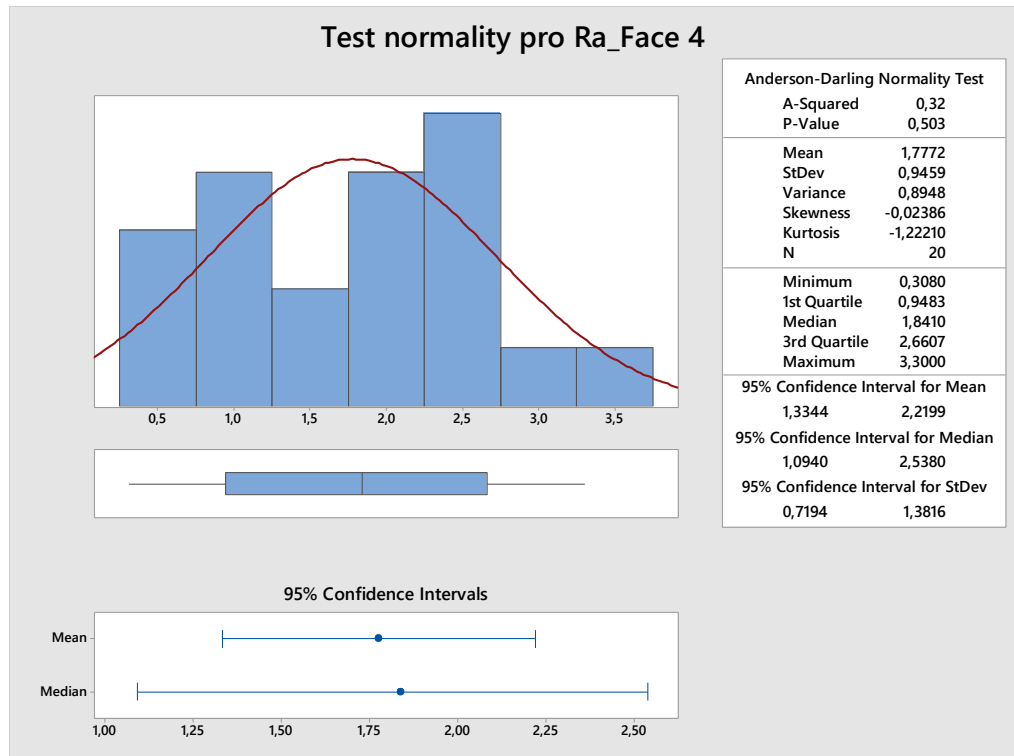
Graf č. 5 Test normality pro Ra_Face 1, druhý díl



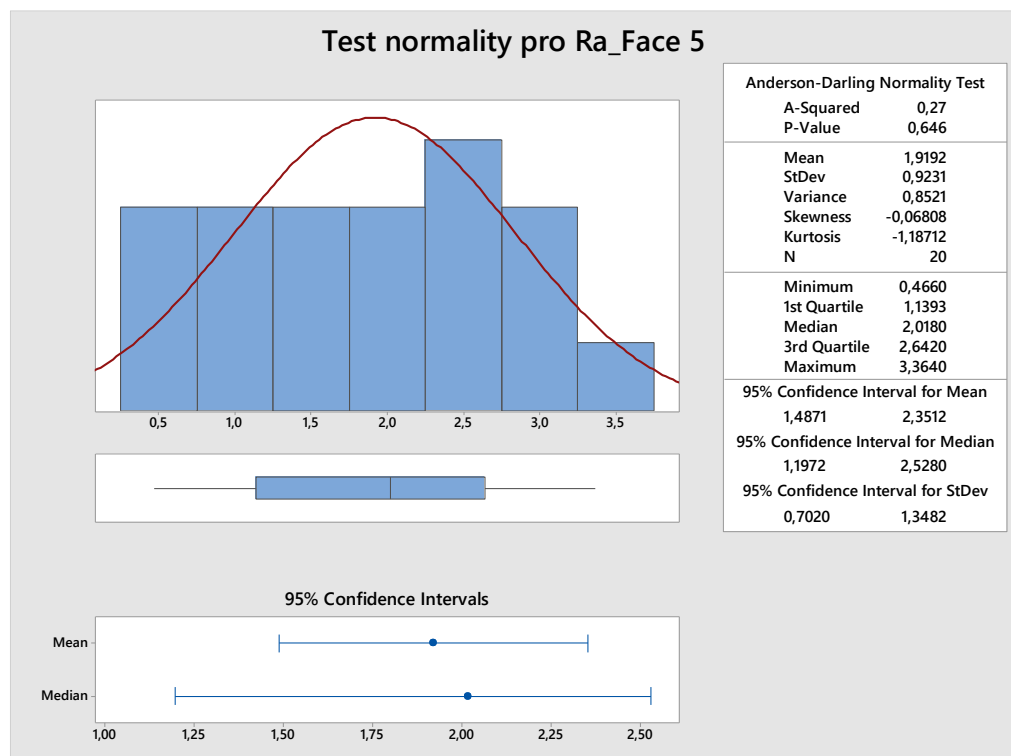
Graf č. 8 Test normality pro Ra_Face 2, druhý díl



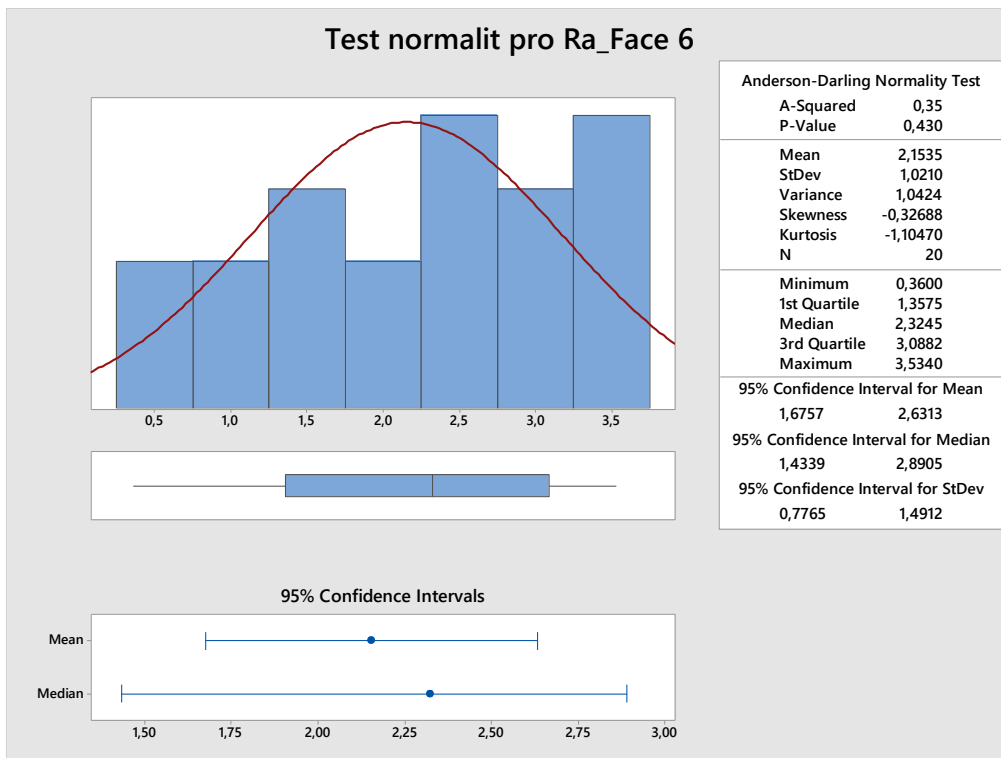
Graf č. 7 Test normality pro Ra_Face 3, druhý díl



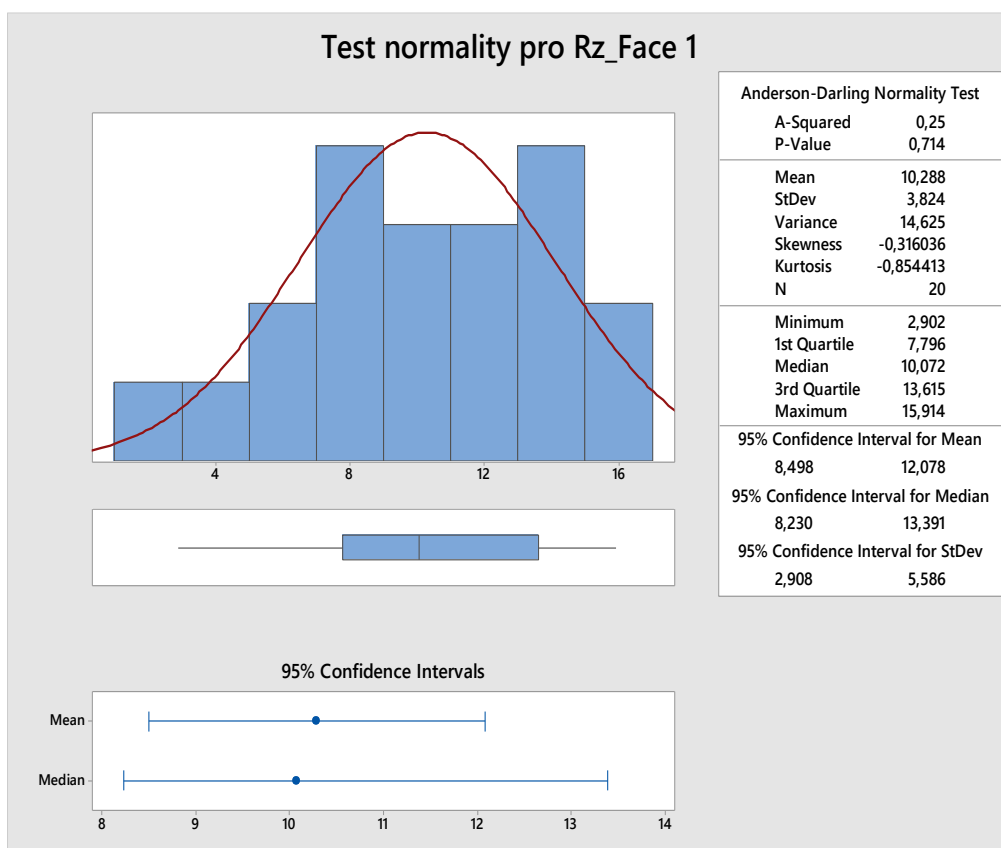
Graf č. 10 Test normality pro Ra_Face 4, druhý díl



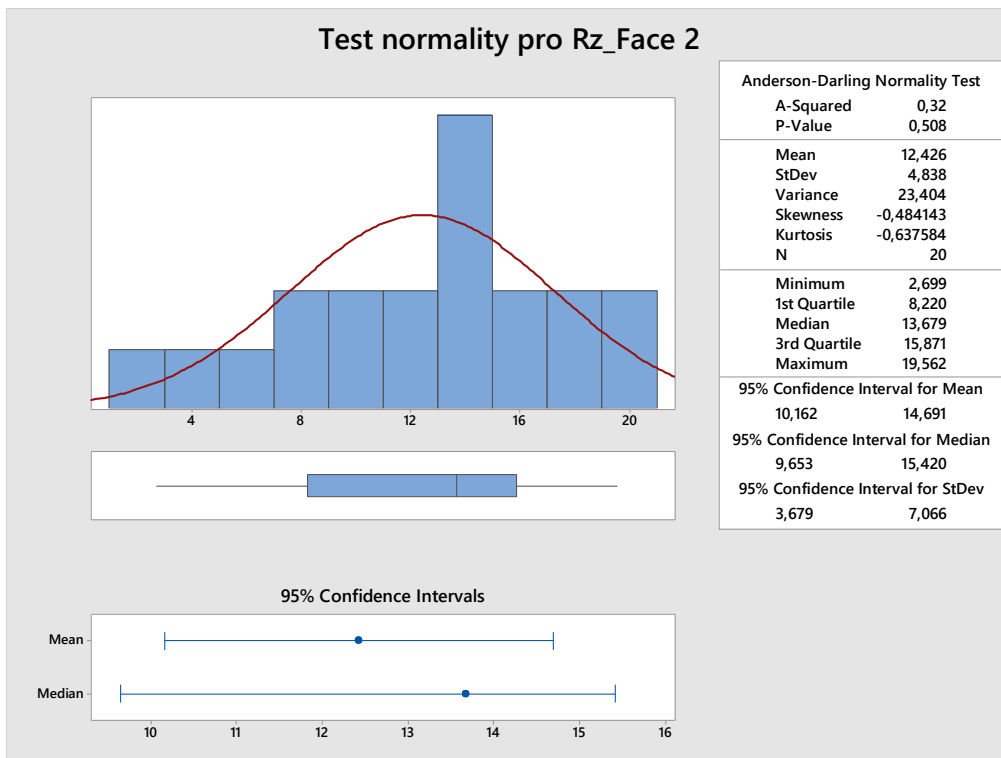
Graf č. 9 Test normality pro Ra_Face 5, druhý díl



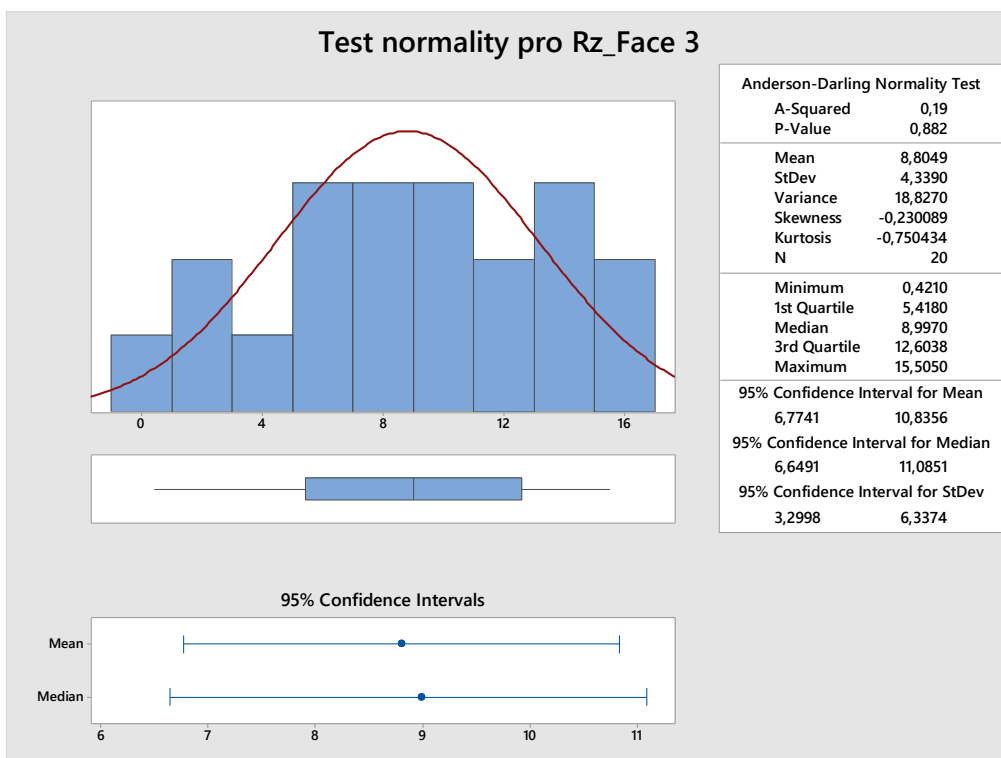
Graf č. 12 Test normality pro Ra_Face 6, druhý díl



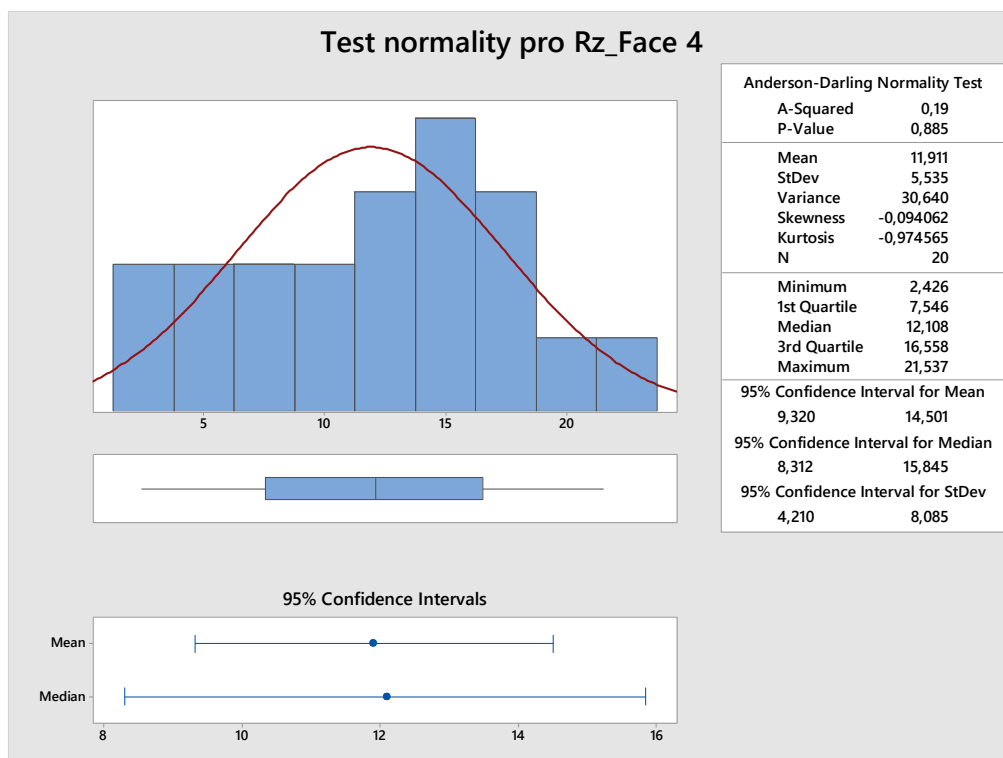
Graf č. 11 Test normality pro Rz_Face 1, první díl



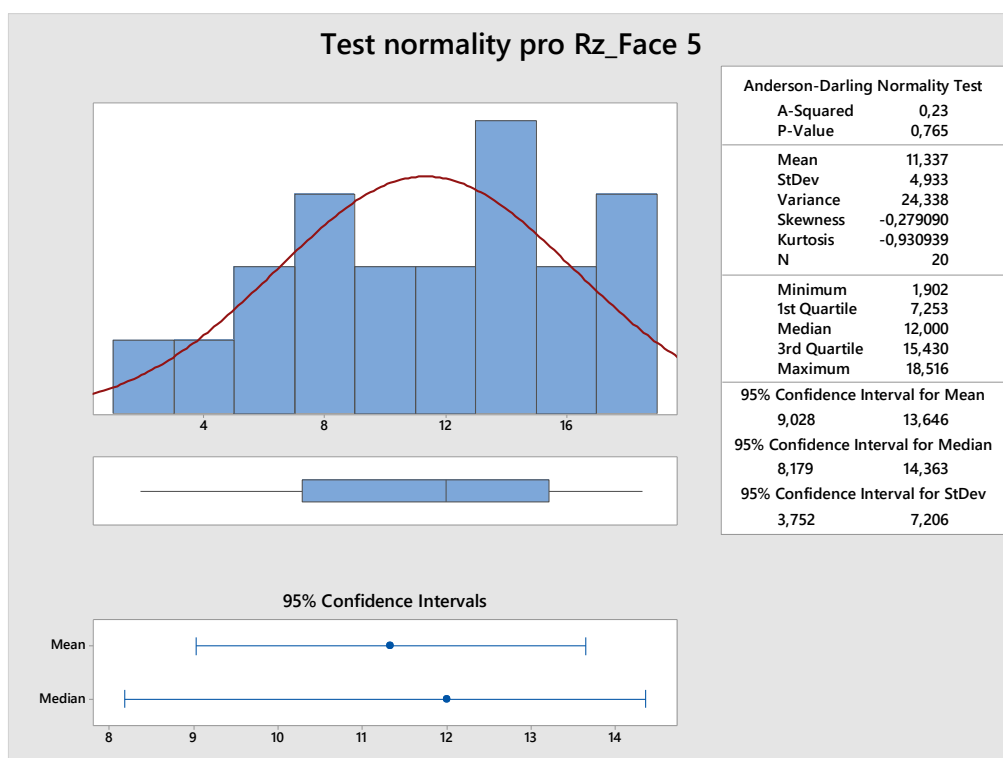
Graf č. 13 Test normality pro Rz_Face 2, první díl



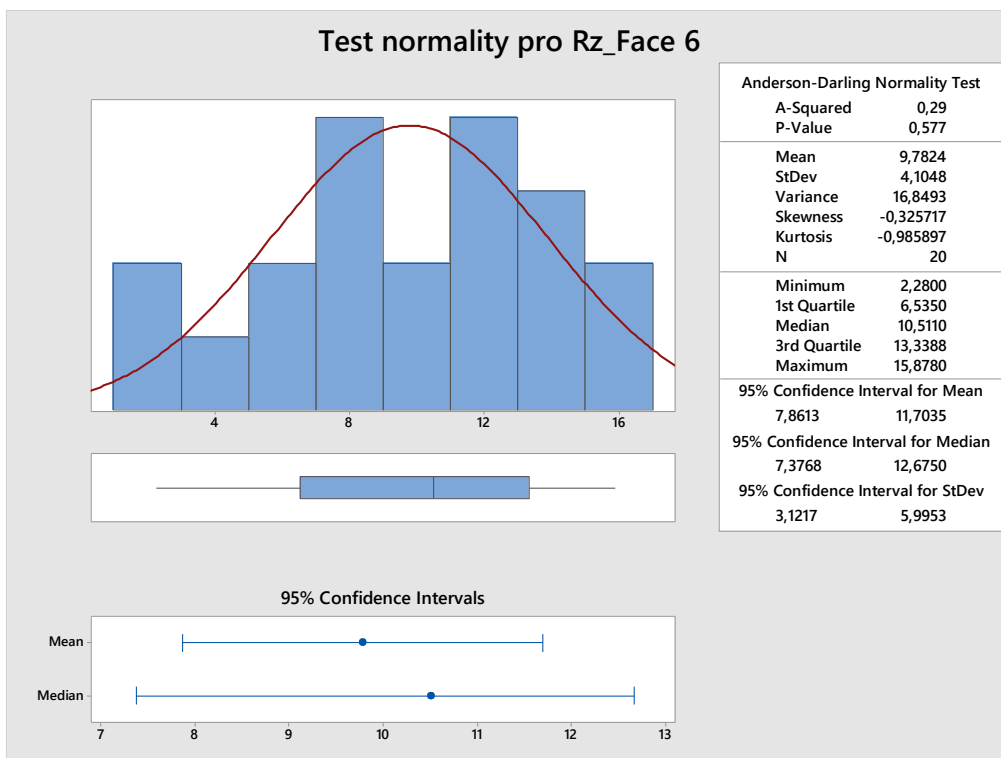
Graf č. 14 Test normality pro Rz_Face 3, první díl



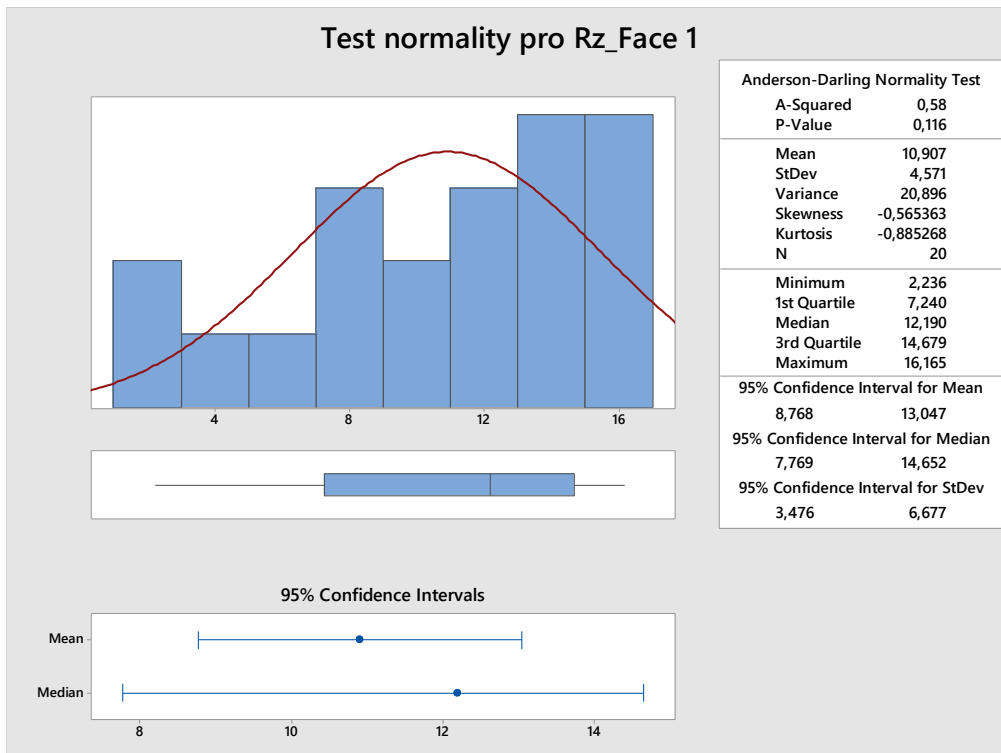
Graf č. 15 Test normality pro Rz_Face 4, první díl



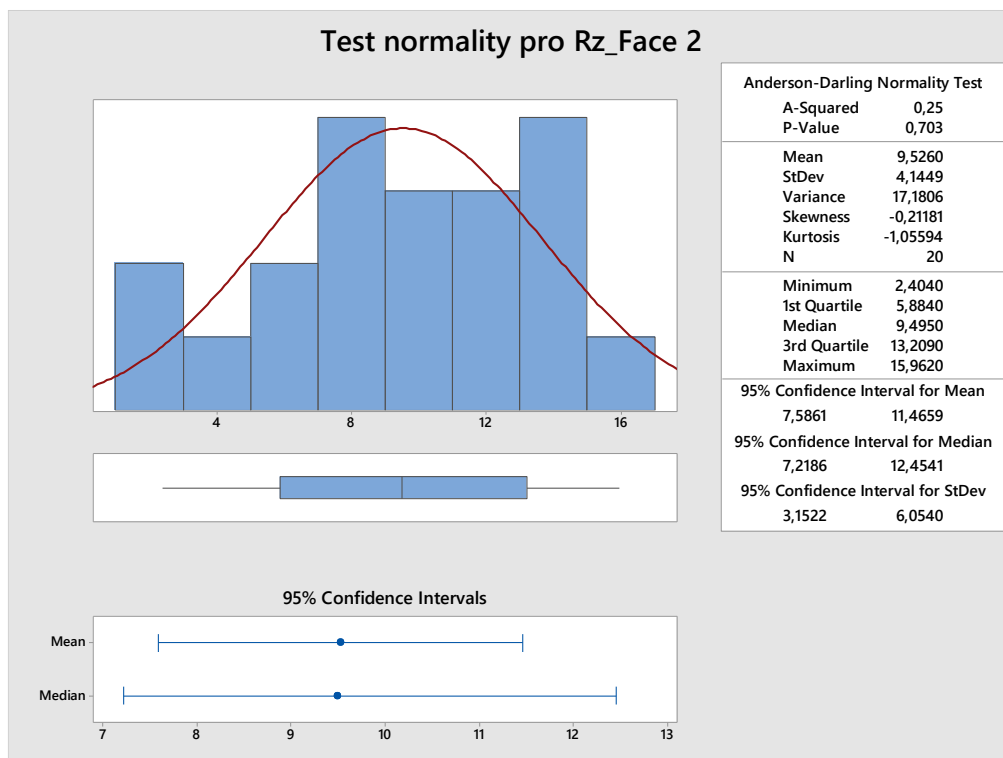
Graf č. 16 Test normality pro Rz_Face 5, první díl



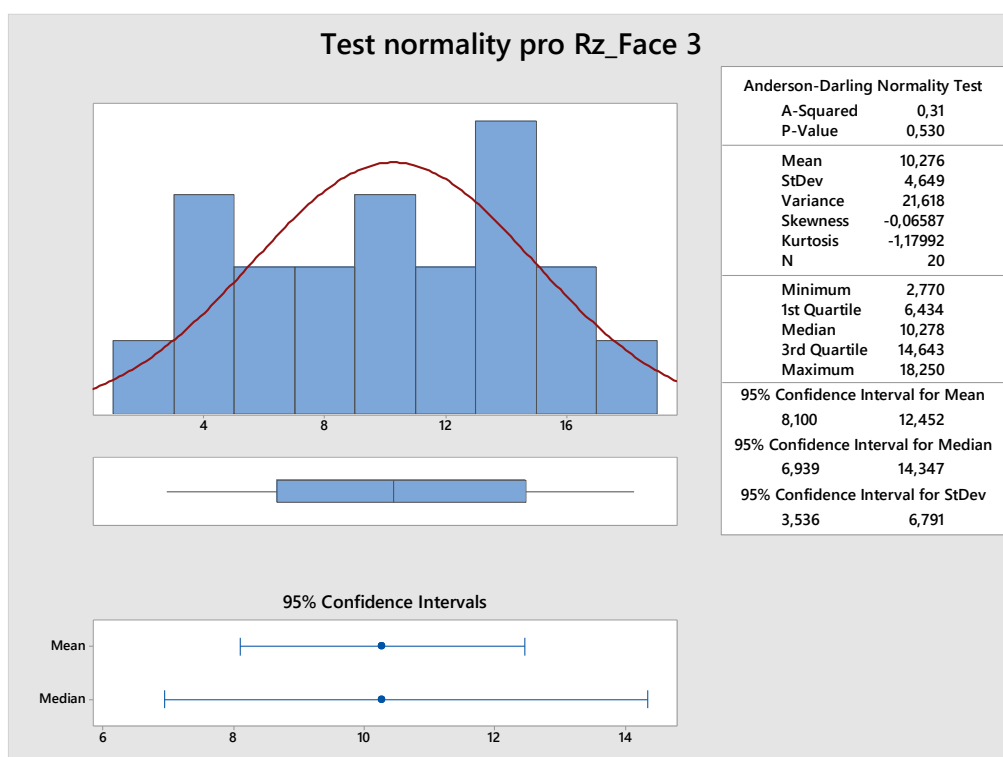
Graf č. 17 Test normality pro Rz_Face 6, první díl



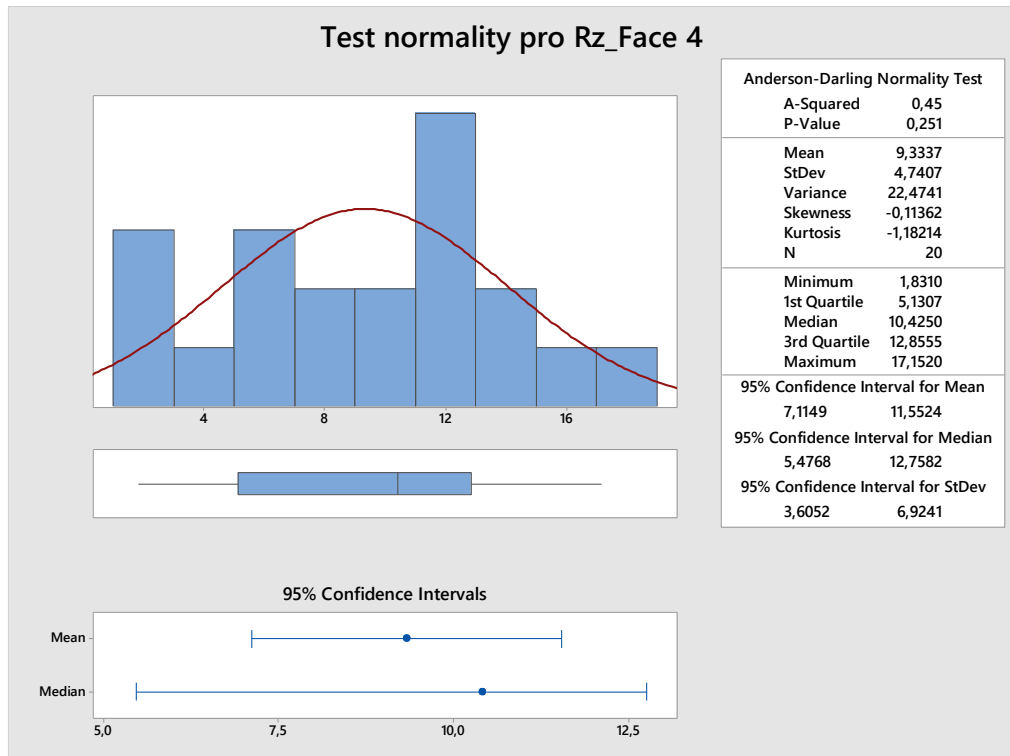
Graf č. 18 Test normality pro Rz_Face 1, druhý díl



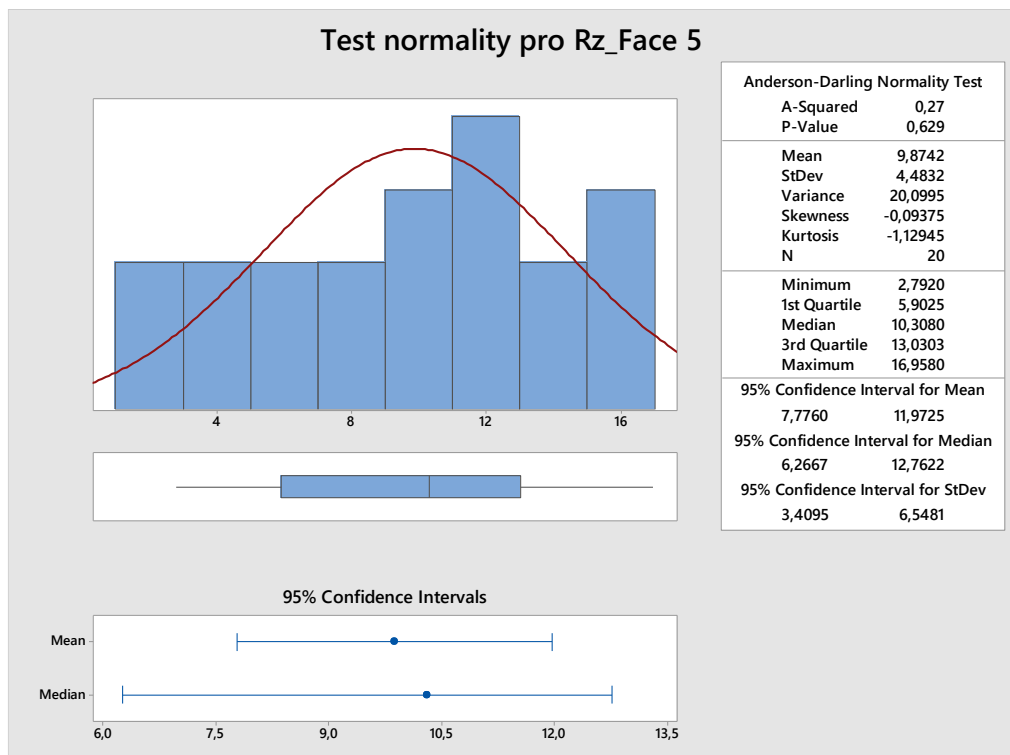
Graf č. 19 Test normality pro Rz_Face 2, druhý díl



Graf č. 20 Test normality pro Rz_Face 3, druhý díl

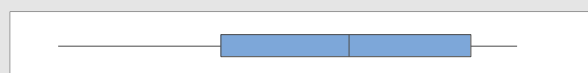
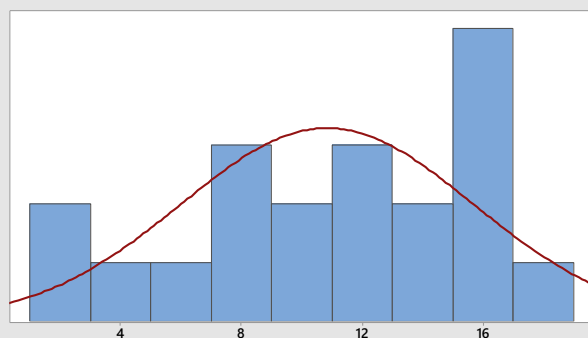


Graf č. 21 Test normality pro Rz_Face 4, druhý díl

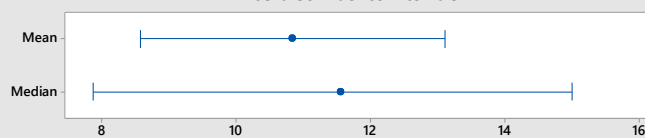


Graf č. 22 Test normality pro Rz_Face 5, druhý díl

Test normality pro Rz_Face 6



95% Confidence Intervals



Anderson-Darling Normality Test

A-Squared 0,37
P-Value 0,392

Mean 10,840
StDev 4,839
Variance 23,420
Skewness -0,38707
Kurtosis -1,00372
N 20

Minimum 1,943
1st Quartile 7,327
Median 11,564
3rd Quartile 15,582
Maximum 17,143

95% Confidence Interval for Mean
8,575 13,105

95% Confidence Interval for Median
7,879 14,995

95% Confidence Interval for StDev
3,680 7,068

Graf č. 23 Test normality pro Rz_Face 6, druhý díl