

Hodnocení jakosti polymerních povrchů ve 3D

Bc. Zdeněk Janošík

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. Zdeněk Janoščík**
Osobní číslo: **T15711**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Hodnocení jakosti polymerních povrchů ve 3D**

Zásady pro vypracování:

- 1. Popište základní parametry jakosti povrchů vhodných pro výpočty korelací.**
- 2. Teoreticky popište matematický princip korelace.**
- 3. Na zadaných površích proveďte snímání kontaktním a bezkontaktním způsobem.**
- 4. Vybrané parametry vzájemně porovnejte a nalezněte korelaci.**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné 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 řešené úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Milena Kubišová

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

Příjmení a jméno:

Obor:

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). Odpírá-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 přihlídně k výši výtěžku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Diplomová práce na téma „Hodnocení jakosti polymerních povrchů ve 3D“ se zaměřuje na analýzu struktury povrchu polymerních materiálů. V současnosti, kdy se stále více zdokonalují výrobní procesy, se také zvyšují požadavky na kvalitu povrchu dílů a v plastikářském odvětví tomu není jinak. Tam, kde jsme si vystačili v minulosti s kontaktním měřením povrchu ve 2D, dnes již nevystačíme. Proto přichází ke slovu hodnocení jakosti polymerních povrchů ve 3D. V jednotlivých částech textu je obsažena teorie určování struktury polymerních povrchů. V teoretické části jsou popsány termíny, definice a parametry struktury povrchu dle normy ČSN EN ISO 4287 včetně pravidel a postupů pro posuzování struktury povrchů. V praktické části je zpracováno vlastní měření dílu vyrobeného z polykarbonátu, vytváření a vyhodnocení výsledků a sestavení závěru v souladu se směrnicemi Ra.

Klíčová slova:

2D měření, 3D měření, kontaktní metoda, optická metoda, drsnost, vlnitost, základní profil

ABSTRACT

This thesis on "Evaluation of Polymer Surfaces' Quality in 3D" is focused on analyzing polymer materials' surface structures. Currently, when more and more production processes are being improved, also means increasing demands on the surface quality of parts - and this is no different in the Plastics Industry. There, where in the past, one made do with contact surface measurements in 2D; today, these are not enough. For this very reason therefore, the evaluation in 3D of polymer surfaces' quality comes into play. The individual parts of the text contain the theory behind the determination of polymer surfaces' structures. The theoretical part describes the terms, definitions and surface-texture parameters - according to DIN EN ISO 4287; including rules and procedures for assessing the structure of surfaces. The practical part contains the author's own elaboration of their measurements of parts made from polycarbonates, the creation and evaluation of the results obtained, and the establishment of conclusion drawn, in line with R&D directives.

Keywords:

2D measurement, 3D measurement, contact method, optical method, roughness, undulations, basic profile

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucí mé diplomové práce Ing. Mileně Kubišové a panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za vedení, odborný a dobře míněný přístup, návrhy a užitečné připomínky.

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

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 TEORIE SNÍMANÍ JAKOSTI MATERIÁLŮ KONTAKTNÍM A BEZKONTAKTNÍM ZPŮSOBEM.....	12
1.1 POVRCH, JEHO DEFINICE A HODNOCENÍ	12
1.2 POVRCHY	12
1.3 POVRCHY PERSPEKTIVNÍHO VÝZNAMU	13
1.4 VYSOCE PŘESNÉ POVRCHY	13
1.5 STRUKTURA POVRCHU	13
1.6 OBECNÉ ZPŮSOBY HODNOCENÍ JAKOSTI POVRCHU	14
1.7 DOTYKOVÁ MĚŘÍCÍ METODA	16
1.8 BEZDOTYKOVÁ MĚŘÍCÍ METODA	17
1.9 DEFINICE PARAMETRŮ PROFILU ČSN EN ISO 4287	17
2 MATEMATICKÝ PRINCIP KORELACE, HYPOTÉZY	21
2.1 LINEÁRNÍ KORELAČNÍ ZÁVISLOST	21
2.2 REGRESNÍ ANALÝZA	22
2.3 KORELAČNÍ ANALÝZA	23
2.4 TESTOVÁNÍ VÝZNAMNOSTI KORELAČNÍHO KOEFICIENTU	25
2.5 HYPOTÉZY.....	25
2.6 ROZDĚLENÍ HYPOTÉZ VE STATISTICE.....	26
2.7 TESTOVÁNÍ STATISTICKÝCH HYPOTÉZ.....	26
2.8 TEST.....	26
VOLBA STATISTICKÝCH METOD.....	27
2.9 CHYBY PŘI TESTOVÁNÍ HYPOTÉZ.....	27
2.10 T – TEST	29
2.11 F – TEST (TEST ROZDÍLŮ 2 ROZPTYLŮ).....	32
II PRAKTICKÁ ČÁST	34
3 PŘÍPRAVA MĚŘENÍ.....	35
3.1 DÍLY.....	35
3.2 VZORKY	36
3.3 POUŽITÉ MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ	41
3.4 VYPRACOVÁNÍ MĚŘENÍ A PŘÍPRAVA DAT	43
3.5 VYBRANÉ PARAMETRY VZÁJEMNĚ POROVNEJTE A NALEZNĚTE KORELACI	56
3.6 VYHODNOCENÍ.....	57
3.7 VZOREK A1Rz/X A B1Rz/X.....	58
3.8 VZOREK A1Rz/Y A B1Rz/Y	60
3.9 VZOREK A1Ra/X A B1Ra/X	62
3.10 FINÁLNÍ VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ A HYPOTÉZ	66
ZÁVĚR	67
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	68

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
SEZNAM OBRÁZKŮ	71
SEZNAM TABULEK.....	72
SEZNAM GRAFŮ	73
SEZNAM PŘÍLOH.....	74

ÚVOD

Kvalita nebo jakost jsou pojmy, hodnotící kladné vlastnosti materiálu, výrobků či služeb. Akademický slovník definuje kvalitu jako „souhrn užitečných vlastností výrobku nebo služby. Z hlediska hodnocení materiálů a výrobků je velmi důležitá především kvalita povrchu a kvalita složení. Povrch definujeme jako rozhraní mezi základním materiálem a okolím. Povrch materiálu určuje tvar a celkový vzhled materiálů a výrobků. Kvalita povrchu je nesmírně důležitá, jak u tzv. funkčních materiálů, kdy povrch materiálu ovlivňuje především jejich životnost, tak i u estetických materiálů, kde závisí spíše na dokonalosti v kráse povrchu. Vlastnosti povrchu materiálů jsou závislé na vnější a na vnitřní vrstvě materiálu, která se nachází jen několik málo mikrometrů pod povrchem. [1]

Z hlediska oblastí povrchu lze povrch rozdělit:

- horní nanovrstva - 0,1 nanometrů pod povrchem, kde probíhá adsorpce a chemická reaktivita
- tenký film oxidace - 0,1 – 100 nanometrů. Udává odrazivost, tření, korozi, vodivost
- vnější povrchové vrstva - 0,1 – 10 mikrometrů pod povrchem. V této vrstvě dochází k deformacím struktury například díky zbytkovému napětí
- celková vrstva – větší jak 10 mikrometrů, například nátěry

Z fyzikálního hlediska lze povrch materiálu zkoumat dle vlastností povrchu. To zahrnuje složení povrchu, geometrickou strukturu povrchu a elektronovou strukturu povrchu.

1. Zkoumání složení materiálu se zabývá prvky, ze kterých se látka skládá, jejich procentuální podíl, chemické okolí a chemické vazby. Ke zkoumání složení se využívají například metody elektronové a iontové spektroskopie – SEM, XPS a další.
2. Zkoumání geometrické struktury se zabývá formou látky, zda je amorfní, polykrystalická, monokrystalická. Dále zkoumá rozložení základní látky povrchových atomů a rozložení absorbovaných částic. Za tímto účelem se využívají například metody TEM, LEED, RHEED.
3. Elektronová struktura zkoumá elektronové jevy, jejich elektronové rozložení a jejich stavy, jako je vliv na elektronické vlastnosti. K tomuto účelu se používají například metody UPS, STM a podobně.

Pod pojmem jakost povrchu se tedy skrývá nerovnost povrchu, geometrie, ale také chemické a fyzikální vlastnosti povrchové vrstvy.

Struktura povrchu zahrnuje celou povrchovou vrstvu. Povrch, který je předmětem zkoumání z hlediska jakosti, je většinou povrch obrobený či jinak opracovaný.

Vývoj měřicí techniky kontrolující jakost povrchů polymerních materiálů je v současné době na vzestupu díky vývoji nových a modernějších zpracovatelských technologií, ale také díky vývoji nových polymerních směsí s fyzikálními, chemickými a mechanickými vlastnostmi, které jsme si v minulosti neuměli ani představit. Díky tomu dokážeme v dnešní době aplikovat polymerní materiály do výrobních odvětví, která dříve patřila výhradně materiálům kovovým. Polymerní materiály nabízejí širokou kombinaci užitečných vlastností, které si můžeme takřikajíc namíchat podle potřeby. Z těchto důvodů polymery nahrazují dříve používané materiály, jako je ocel, hliník, měď, mosaz a jiné. Díky vstřikováním a lisování polymerních materiálů dosahujeme ve výrobě požadovaných tvarů většinou bez nutnosti hrubého obrábění, které se na kvalitě povrchu odráží nejvíce. Přece jen ale existují polymerní díly,

které se pro svůj účel dále obrábějí, což zanechává stopy na struktuře povrchu a tím se ovlivňuje jakost dílu. Z těchto důvodů je nezbytný také vývoj měřicí techniky, která klade důraz na přesnost a rychlost měření, přičemž se akceptují požadavky zákazníka a požadavky trhu. Příkladem zvyšování úrovně mohou být rozdíly nebo srovnatelnost výsledků získaných dotykovou a bezdotykovou metodou.

V teoretické části jsou popsány obecné informace o jakosti povrchu, struktuře povrchu, profilu, termínech a definicích dle norem ČSN EN ISO 4287. Obsahem je také základní charakteristika pro popis drsností, jejich značení a názorné příklady.

V praktické části je vyhodnocena jakost povrchu dílu vyrobeného z polykarbonátu vstříkovacím procesem. Tento díl je válcového tvaru a slouží jako vnitřní úložná část světlometů. Finálním procesem výroby dílu je chromování, které zajišťuje funkci odrazu světla a funkci estetickou. Z toho důvodu je část povrchu dílu leštěná a část leptaná, což zahrnuje dva odlišné způsoby opracování a dva zcela odlišné povrchy na jednom dílu. Z důvodu aplikace chromu na díl je jakost především leštěné části velmi důležitá. V závěru praktické části je shrnutí výsledků měření, jejich korelace a vyhodnocení jakosti obou částí dílu dle normy ČSN EN ISO 4287. Zpracování naměřených dat je pomocí software Minitab.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 TEORIE SNÍMANÍ JAKOSTI MATERIÁLŮ KONTAKTNÍM A BEZKONTAKTNÍM ZPŮSOBEM.

1.1 Povrch, jeho definice a hodnocení

Povrch je nejčastěji hodnocený, jako obálka makroskopického objektu, která tvoří hranici mezi základním materiálem a okolím. Povrch objektu určuje jeho vzhled a tvar a tvoří rozhraní mezi dvěma fázemi. Máme-li předmět s malým povrchem A k jeho objemu V (A/V) jsou fyzikální a chemické vlastnosti povrchu dány především vlastnostmi základního materiálu. Bude-li uvažovat malý objekt, u kterého je velký poměr A/V zjistíme, že jsou jeho vlastnosti výrazně ovlivněny povrchem. Z toho vyplývá, že funkční vlastnosti povrchu nejsou závislé jen na vnější vrstvě, která tvoří rozhraní, ale také na oblasti směřující pod povrch. Využití charakteristik povrchu směrem do hloubky materiálu je jistým stupněm klasifikace povrchu, kterému odpovídá i rozdělení oblastí, jak již bylo zmíněno v úvodu. [1]

Tabulka 1: Rozdělení oblastí povrchu

Oblast	Rozměr	Funkční ovlivnění
HORNÍ NANOVRSTVA	0,1 nm	Adsorbce, chemická reaktivita
TENKÝ FILM OXIDACE	0,1 ÷ 100nm	Odráživost, tření, koroze, tepelná vodivost
VNĚJŠÍ POVRCH. VRSTVA	0,1 ÷ 10 μ m	Deformace struktury
CELKOVÁ VRSTVA	> 100 μ m	Adheze, nátěry

1.2 Povrchy

Povrchy jsou takové plochy, na kterých je pro vytvoření geometrického tvaru využit výrobní či obráběcí proces s definovanými podmínkami. Geometrický tvar není jedinou požadovanou vlastností povrchů. Kvalita povrchu se dále může vztahovat například k fyzikálním či mechanickým vlastnostem, kterých chceme dosáhnout u vyráběných či opracovávaných dílů. Tyto požadavky jsou vždy podmíněny plánovanou a požadovanou funkcí povrchu.

Z hlediska výrobního můžeme rozdělit povrchy na strukturované a nestrukturované. Z hlediska opracovanosti dělíme na povrchy neopracované a opracované.

Neopracovaný povrch je povrch, který je v neupraveném tvaru. Tyto povrchy dosahujeme výrobními cykly jako jsou vstřikování či lisování plastů a pryže, nebo výrobními procesy jako odlévání, válcování, kování, lisování, tvářením a podobně. Na povrchu zůstávají nerovnosti vlivem otlačení či otisknutí nástroje, nečistot nebo nedokonalým zpracováním materiálu ve výrobním procesu. Plochy a jejich význam se odráží také v hledisku použitelnosti a plánované funkce pro danou součástku a její plochu. Odtud bychom mohli dělit plochy na funkční plochy (někdy také plochy stykové). Povrch takových ploch je důležitý z hlediska kontinuity plánovaného účelu. Jeli například vyráběným dílem ozubené kolo jeho styková plocha je ta, která se dotýká dalšího ozubeného kola v soukolí. Požadavek na takovou plochu je v geometrické přesnosti, ale také v mechanických a fyzikálních vlastnostech, jako jsou pevnost a otěru schopnost a podobně. U takových dílů jde o předem definované místo, pozici a funkci součástky. Druhý typ z hlediska důležitosti a funkce je typ volný. Ten není ve vzájemném styku (například vnější povrch víka). Typ volný ovlivňuje korozi, odraz světla, obtékání tekutinami.

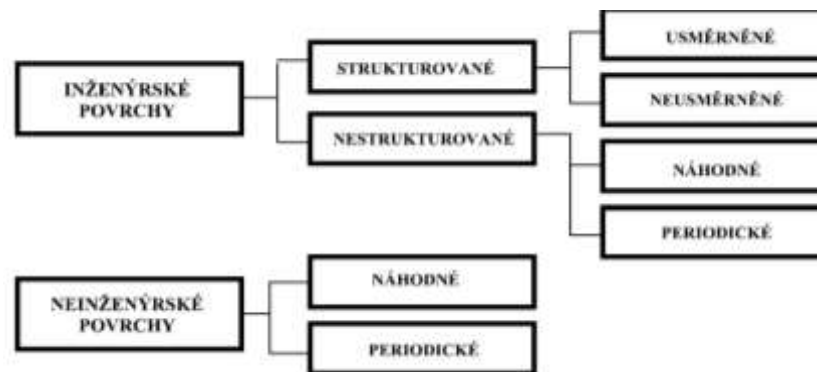
Opracovaný povrch je takový povrch, který je upravený obráběcími procesy, jako jsou soustružení, hoblování, frézování, pilování a podobně. Nerovnosti na povrchu vznikají stopami po nástroji či souvislostí nástroje s tuhostí soustavy stroje.

1.3 Povrchy perspektivního významu

Nejčastěji se hodnotí povrchy vzniklé technologickými operacemi jako jsou obrábění, leštění, broušení a podobně. Sleduje se nejen vzniklá plocha povrchu, ale také procesy a nástroje, které za vzniklou plochu a její kvalitu odpovídají. Jedním z důvodů zdokonalování měřicích a kontrolních procesů jednotlivých povrchů jsou nanotechnologie a jejich častější používání. Vysoce přesných struktur povrchů lze dosahovat novými postupy, jako je nanášení tenkých vrstev na materiál. Povlakovaná vrstva filmem je o tloušťce 10nm. Povrch je přitom tvrdý, lze jej dokončovat leštěním a na $R_q = 1\text{nm}$. Jiné metody, jako například PVD umožňují dosahovat tloušťek vrstev mezi 30-50 nm. Jiná oblast, která je rovněž řazena mezi perspektivně významné, je oblast nanášení tenkých vrstev na substráty. Tloušťky takových vrstev se pohybují v rozmezí mezi 1 nm a několika mm. Použití takových materiálů je dáno jejich lepšími vlastnostmi podle potřeby. Jedná se o tepelné, magnetické, optické či elektronické vlastnosti. Tyto tenké nanášené vrstvy na substrátu kopírují jeho topografii, ale mohou vyvolávat i nepravidelnosti. Struktura substrátu proto patří mezi perspektivně významné povrchy. [1]

1.4 Vysoce přesné povrchy

Díky pokroku v automobilovém průmyslu vzrostl zájem o tzv. mikrosystémy, které kladou na hodnocení textury povrchu vysoké požadavky. Zákazníci automobilového průmyslu kladou stále nové požadavky na vývoj nových materiálů, které se uplatňují při výrobě součástí anebo nahrazují stávající materiály ve výrobě. Důvody jsou především v požadavcích, jako jsou nižší výrobní ceny, rychlost výroby, recyklovatelnost materiálu či materiálového odpadu ve výrobě a podobně. Díky tomu vznikají nové vzory, nové textury a povrchy, které již neplní pouze funkční požadavky, ale také například designové. Nové vzory musejí být navrhovány s ohledem na vývoj výrobku. Vznikají tak tzv. inženýrské povrchy, které lze rozdělit podle schématu uvedeného na obrázku číslo 1. [1]



Obrázek 1: Klasifikace povrchů [1]

1.5 Struktura povrchu

Definice struktury povrchu říká, že struktura je plocha s velmi velkým souborem zrn, které se nacházejí mezi okolím a plochou materiálu. Povrch je považován za velmi složitý systém, ve kterém se vyskytují opakované či nahodile náhodné úchytky od ideálního tvaru povrchu. Tyto úchytky se vyjadřují trojrozměrnou topografií povrchu. Podle velikosti rozteče příslušných nerovností se struktura povrchu člení na tři složky. Základním profilem je určena

složka s největší roztečí nerovností a označuje se jako P – profil. Složka s nejmenší roztečí je určena drsností povrchu, která je zase označována jako R – profil. A složka mezi největší a nejmenší roztečí se nazývá vlnitost povrchu, W – profil. Typickou vlastností každého povrchu pevné fáze je skoková změna symetrie sil, která působí na atomová jádra krystalové mřížky. Tyto síly jsou uvnitř objemu vykompenzovány v různých směrech, povrchová vrstva je v tomto směru „nenasyčená“. [2]

1.6 Obecné způsoby hodnocení jakosti povrchu

Obecně je možnost povrchu plochy posuzovat kvantitativním a kvalitativním způsobem. Mezi kvantitativní metody lze řadit drsnosti povrchů. Jsou vyjadřovány kvantitativně v parametrech Ra, Rz nebo RzDin. Tyto hodnoty získáváme elektronickým komparačním délkoměrem EDK. Komparátor je ve snímači osazen safírovým hrotem s velmi malým poloměrem vrcholu ($R = 2\text{--}20\ \mu\text{m}$). Větší poloměry nebývají používány, neboť by docházelo ke zkreslení profilu. Příliš malé poloměry nelze požívat rovněž z důvodu nárůstu tlaku mezi povrchem a hrotem. Hlavice s mikrometrickým šroubem zajišťuje podélný pohyb při kontrole. U podélného pohybu dochází mnohem častěji k otupení hrotu. Kvantitativní měření nám dává soubor odchylek povrchu. Tyto odchylky se měří od nulové hodnoty komparátoru. Drsnost povrchu posuzujeme v souladu s doporučením ISO v soustavě střední čáry (m-čára). V ní se drsnost posuzuje podle střední aritmetické úchylky Ra a výšky nerovností Rz. Z praktických důvodů je někdy vhodné posoudit naměřenou drsnost dle Rz podle normy DIN.

Mezi kvalitativní metody porovnávání patří porovnávání dvou ploch vzájemně. Porovnává se povrch a hodnotí se míra odchylky od vzorového povrchu. Může se porovnávat povrch, u něhož se hodnotí, zda je hrubší nebo hladší než povrch vzorový. Drsnost vzorového povrchu je vždy předem známa. Tento druh vyhodnocení lze používat u materiálů a dílů, které jsou vyrobeny či opracovány stejným procesem, jako vzorový povrch. K porovnávání a vyhodnocení se používá vzorkovnice drsnosti povrchu. Ta obsahuje různé plochy obrobene odlišnou technologií či způsobem opracování. Vzorkovnice jsou vyráběny v různých variantách, obrázek č. 2. [1]



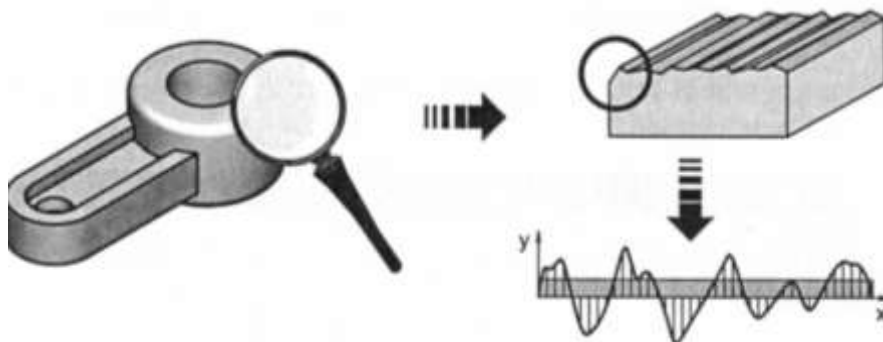
Obrázek 2: Vzorkovnice drsnosti

Základní profil

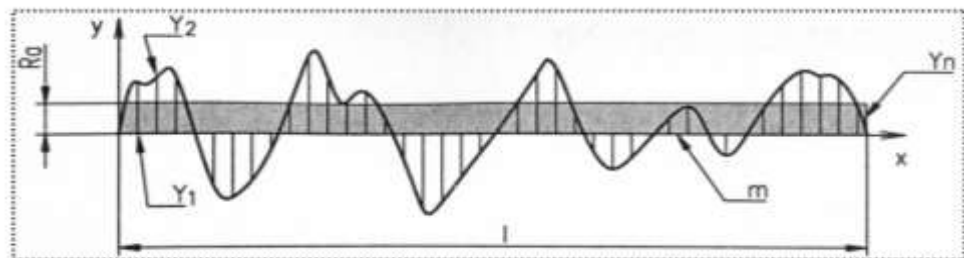
Základní profil je povrch s největšími nerovnostmi, který vzniká bez ohledu na vlnitost a drsnost. Tyto nerovnosti způsobuje tuhost soustavy stroje, nedokonalé upevnění materiálu či polotovaru při obrábění, deformace materiálu způsobená tepelným namáháním vznikajícím při obrábění za vysokých teplot a podobně. Základní parametr je P .

Drsnost

Drsnost povrchu je předepsána například pro výrobu strojních součástí, kdy jsou dány přesné rozměry a vhodná jakost pro danou součást. Jakost povrchu se volí s ohledem na použití, zejména jedná-li se o funkční či volnou součást. Hodnota drsnosti povrchu je dále závislá na volbě metody výroby. Z toho důvodu je důležité zvážení účelnosti jednotlivých funkčních a volných ploch, což se mimo jiné zobrazí i v ceně na niž je kvalita povrchu závislá. Z toho důvodu se doporučuje volit optimální poměr. Metodiku popisující drsnost povrchu udává norma ISO 468.[10]



Obrázek 3: Základní pohled na drsnost povrchu



Obrázek 4: znázornění parametru R_a

Parametry popisující drsnost (viz. Obrázek 4) jsou základní délka l , střední aritmetická úchylka R_a , výška nerovnosti profilu, která se určuje z 10 bodů R_z , největší výška nerovnosti profilu R_y , střední rozteč nerovnosti profilu S_m , střední rozteč místních výstupků profilu S a nosný podíl profilu I_p . [10]

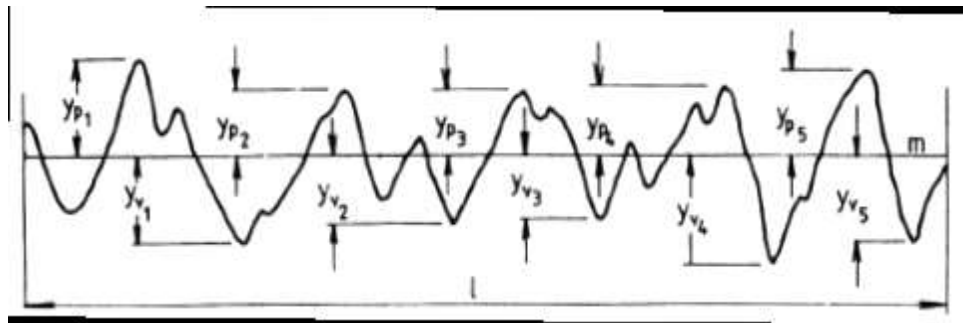
Statistická metoda určení R_a :

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n} \quad (1)$$

Doporučené základní délky v mm jsou:
0,08 0,25 0,8 2,5 8 25

Povrch lze kromě střední aritmetické úchylky R_a posuzovat také podle výšky nerovnosti R_z . R_z je střední vzdálenost mezi pěti nejvyššími a pěti nejnižšími body zjištěného profilu o délce měřeného úseku. Toto měření se provádí kolmo na m-čáru profilu.

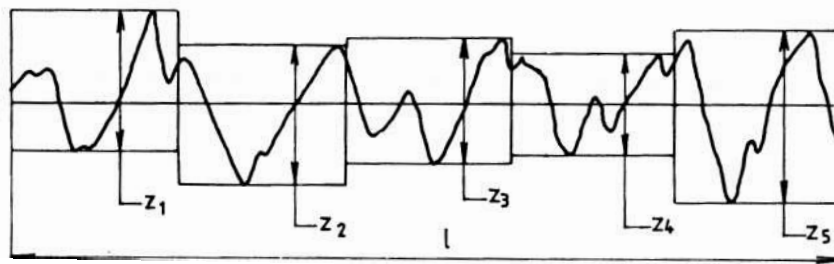
$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{j=1}^5 |y_{vj}|}{5} \quad (2)$$



Obrázek 5: Způsob hodnocení povrchu dle R_z

Posouzení drsnosti podle výšky R_z DIN:

R_z DIN představuje aritmetický průměr pěti největších výšek nerovností.



Obrázek 6: Způsob hodnocení povrchu dle R_z DIN

$$R_{zDin} = \frac{1}{5} (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5) \quad (3)$$

1.7 Dotyková měřící metoda

Dotyková měřící metoda dnes patří mezi nejpoužívanější způsoby kontroly povrchu. Ačkoli tato metoda disponuje nevýhodami z hlediska nepřesnosti měření, nevhodností pro některé materiály či nebezpečím poškození některých měřených materiálů, má i přednosti, zejména toleranci proti znečištěnému prostředí a jednoduchost pro obsluhu. Dalšími výhodami je použitelnost pro všechny typy povrchů, přesné zobrazení geometrického profilu povrchu. Věrohodnost malinko dotyková metoda ztrácí díky malé přitlačné síle dotykového hrotu.

1.8 Bezdotyková měřící metoda

Bezdotyková měřící metoda využívající koherentní korelační interferometrii, běžně označovaná jako CCI (Coherence Correlation Interferometry), umožňuje získat charakteristiku povrchu trojrozměrně a bezkontaktním způsobem. Tato metrologická technika je velmi přesná rychlá a komplexní.

Použití této metrologické techniky lze zajistit prostorové zobrazení povrchu s vysokým rozlišením. Zároveň lze získat také celou řadu analýz, 3D analýzy drsnosti, 3D analýzy tvaru nebo 2D měření profilu povrchu. Systém CCI lze použít například pro měření kruhovitosti a 3D dat (včetně porovnání přesnosti s předpisem). Díky těmto snadno dostupným analýzám je dána výhoda bezkontaktního měření oproti dotykovým metodám, které nejsou tak komplexní. Jako příklad komplexnosti bezdotykového měření lze uvést například kontrolu kuželového povrchu, která umožní přesné určení úhlu kužele a měření základních parametrů, jako jsou úhel kužele, kruhovitost a drsnost povrchu. Všechny tyto informace jsme schopni získat z jediného měření. Díky bezdotykovému snímání a možnostem robotizace měřících procesů lze vyloučit také chyby měření spojené s přestavováním součástí. Kontrola dílů a měřící proces bezdotykovou metodou je méně časově náročný v porovnání s dotykovou metodou měření. V praxi je úspora patrná ve spojitosti s náklady na upínací přípravky a s náklady na obsluhu. [9]



Obrázek 7: Systém CCI zajišťuje kompletní automatickou kontrolu sériové výroby

Koherentní korelační interferometrie CCI se stává významnější v kontrole a hodnocení jakosti povrchu. Tato metoda nabízí přesnou kvantitativní charakteristiku profilu povrchu, plně automatické nedestruktivní měření součástí, mimořádné rozlišení bez ohledu na rozsah skenování, rychlé a bezproblémové zakládání a seřizování měřených vzorků, měření širokého sortimentu povrchů různých materiálů, vysokou úroveň opakovatelnosti měření, hodnocení drsnosti povrchu, výšky stupně a dalších parametrů získaných z jednoho měření. [9]

1.9 Definice parametrů profilu ČSN EN ISO 4287

Tato mezinárodní norma je normou Geometrických požadavků na výrobky (GPS) a je uvažována jako Všeobecná GPS norma (viz ISO/TR 14638). To ovlivňuje spojení článku 2 řetězce norem pro profil drsnosti a pro základní profil.

Pro podrobnější informace vztahů této normy k ostatním normám a k GPS maticovému modelu viz přílohu E.

Historicky vzato, profil drsnosti a jeho parametry jsou pouhou částí charakterizování struktury povrchu, která je řádně definována.

Rozlišení mezi periodickým a neperiodickým profilem je subjektivní a ponechává se na uživateli.

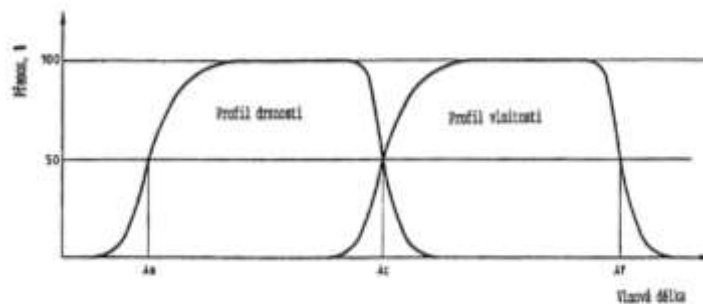
Je brán ohled na standardní vztah mezi λ_c a λ_f .

Filtr profilu rozděluje profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky ISO 11562

λ_s filtr povrchu definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu.

λ_c filtr profilu definující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti.

λ_f filtr profilu definující rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln přítomnými na povrchu. [14]



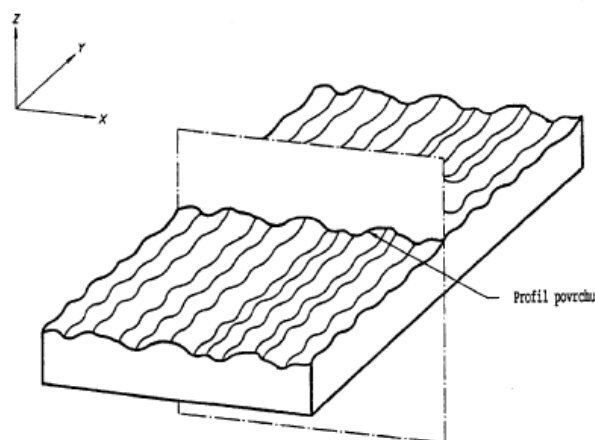
Obrázek 8: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [14]

Souřadnicový systém, ve kterém jsou definovány parametry struktury povrchu.

Skutečný povrch je povrch omezující těleso a oddělujícího od okolního prostředí.

Profil povrchu vzniklý jako průsečnice skutečného povrchu a dané roviny.

V praxi se obvykle volí rovina kolmá k rovině rovnoběžné se skutečným povrchem ve vhodném směru. [14]



Obrázek 9: Profil povrchu

Profil drsnosti (roughness profile) je profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu λ_c , profil je úmyslně pozmeněn. (Viz obrázek 8).

Profil vlnitosti (waviness profile) je profil, který je odvozený postupnou aplikací filtru profilu λ_f a krátkovlnné složky filtrem profilu λ_c , profil je záměrně pozmeněn.

Střední čáry

Střední čára profilu drsnosti (mean line for the roughness profile) je čára, která odpovídá dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_c (viz ISO 11562:1996,3.2)

Střední čára profilu vlnitosti (mean line for the waviness profile) čára odpovídající dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem profilu λ_f viz ISO (viz ISO 11562:1996,3.2)

Střední čára základního profilu (mean line for the primary profile) čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu

Základní délka l_p , l_r , l_w (sampling length) je délka ve směru osy X použitá pro rozhraní nerovnosti charakterizujících vyhodnocovaný profil

Vyhodnocovaná délka l_n (evaluation length) délka ve směru osy X, použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu

Názvy vyhodnocovaných parametrů:

P-parametr je vypočítaný ze základního profilu

R-parametr je vypočítaný z profilu drsnosti

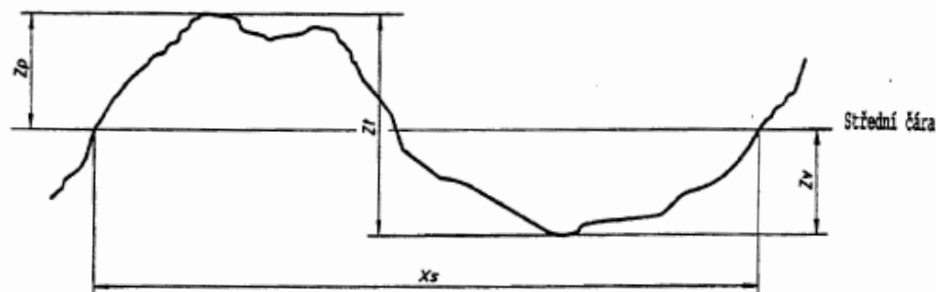
W-parametr je vypočítaný z profilu vlnitosti

Výstupek profilu (profile peak) je z povrchu ven směřující (z materiálu do okolního prostředí) část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X

Prohlubeň profilu (profile valley) dovnitř směřující (z okolního materiálu) část posuzovaného profilu spojující dva přilehlé body na průsečíku profilu s osou X

Omezení výšky anebo rozteče je nejmenší výška a nejmenší rozteč výstupků a prohlubní posuzovaného profilu, které mohou být brány v úvahu

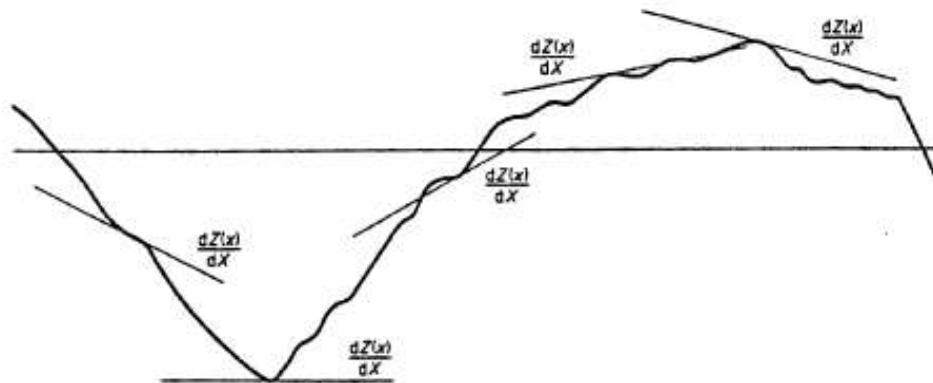
Prvek profilu (profile element) je výstupek profilu a přilehlá prohlubeň (viz obrázek 10.) [14]



Obrázek 10: Prvek profilu [14]

Hodnota pořadnice, $Z(x)$, (ordinate value) je výška posuzovaného profilu v libovolné poloze x

Místní sklon dZ/dX (local slope) je sklon posuzovaného profilu v poloze x_i (viz. obrázek 11.) [11]



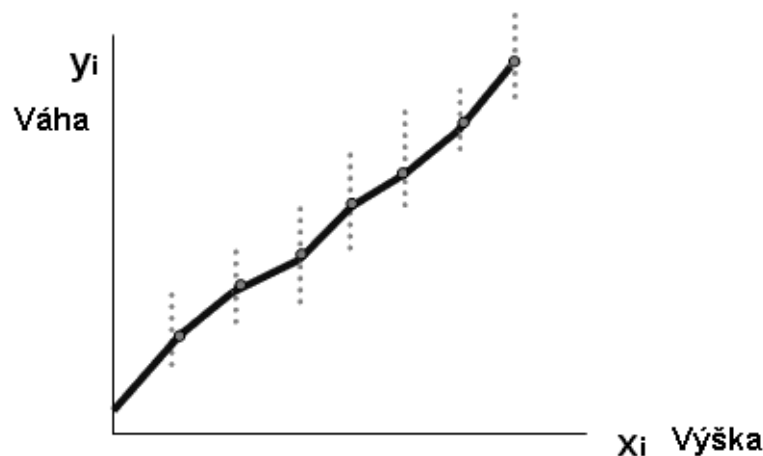
Obrázek 11: Místní sklon [14]

2 MATEMATICKÝ PRINCIP KORELACE, HYPOTÉZY

2.1 Lineární korelační závislost

Lineární regresní funkce je jednou z nejvíce používaných funkcí ve statistice. Díky ní jsme schopni popisovat a hodnotit korelační vztahy mezi náhodnými soubory a veličinami. Základem lineární funkce je regresní (empirická) křivka popisující vztah mezi veličinami výběrového souboru, ze kterého pocházejí naměřená data. Podle křivky pak odhadujeme skutečnou lineární závislost (lineární regresní funkci), kterou předpokládáme pro celý základní soubor.

Data pro sestavení empirické křivky získáme tak, že pro stejnou hodnotu nezávislé proměnné x_i zjistíme měřením několik náhodných hodnot závislé proměnné y_i . Jako příklad můžu uvést měření vztahu mezi pevností ocelí v tahu a tvrdostí. Můžeme provést měření náhodného výběru n kusů oceli (výběrového souboru), kdy měřením každého kusu získáme dvě hodnoty (pevnost a tvrdost). Tyto hodnoty představují n korelační dvojice (x_i, y_i) . Odtud můžeme vypočítat aritmetické průměry z hodnot y_i odpovídajících téže hodnotě x_i . Po zanesení do grafu a propojení hodnot y_i a x_i získáme tvar křivky, která se nazývá empirická.



Obrázek 12: Empirická křivka pro korelační vztah [12]

Další fází regresní lineární funkce je sestavení teoretické přímky, kterou musíme proložit grafem tak, aby se co nejvíce blížila všem bodům. To je regresní funkce. Aby bylo možno určit regresní funkci co nejpřesněji je třeba vypočítat regresní koeficienty k a q dané rovnice pro teoretickou přímku.

$$y = kx + q \quad (4)$$

Koeficienty k a q určují hodnotu přímky – sklon a posun:

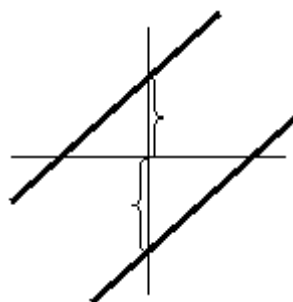
- k (směrnice přímky, sklon) = $\text{tg } \alpha$ (úhel, který svírá přímka s osou x)
- q (posun přímky) – určuje průsečík přímky s osou y

Regresní koeficienty k a q vypočtené z dat výběrového souboru jsou pouze odhadem přesných koeficientů teoretické regresní funkce, která jednoznačně popisuje skutečnou závislost sledovaných veličin na úrovni celé populace.



Obrázek 13: Regresní koeficient k určuje sklon přímky [12]

Kladná hodnota koeficientu k indikuje přímou lineární závislost mezi proměnnými X a Y – přímka bude stoupající. Záporná hodnota koeficientu k indikuje nepřímou lineární závislost mezi proměnnými X a Y – přímka bude klesající. [12]



Obrázek 14: Regresní koeficient q určuje průsečík přímky s osou y [12]

V případě kladné hodnoty koeficientu q protíná přímka osu y nad počátkem souřadnicových os, v případě záporné hodnoty koeficientu q protíná přímka osu y pod počátkem souřadnicových os. [12]

2.2 Regresní analýza

Regresní analýza představuje statistickou metodu, která je používána pro výpočet odhadů koeficientů lineární regresní funkce:

$$y = kx + q \quad (5)$$

Vycházíme z dat v podobě uspořádaných dvojic číselných údajů pro proměnné X a Y – korelačních dvojic (x_i, y_i) , naměřených u výběrového souboru o rozsahu n členů. Regresní koeficienty lineární regresní funkce odhadujeme metodou nejmenších čtverců. Název je odvozen z postupu, který minimalizuje sečtené čtverce vertikálních vzdáleností datových bodů v bodovém diagramu od proložené teoretické přímky. [12]

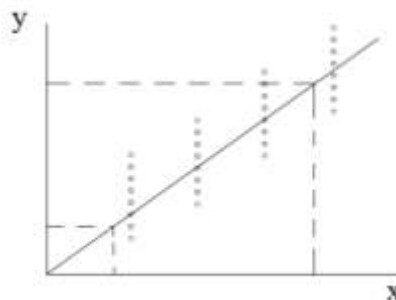
Regresní koeficient k pro lineární regresní funkci vypočteme ze vztahu:

$$k = \frac{n \cdot \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (6)$$

Regresní koeficient q pro lineární regresní funkci vypočteme ze vztahu:

$$q = \frac{\sum y_i - k \cdot \sum x_i}{n} \quad (7)$$

Po výpočtu regresních koeficientů lineární funkce, je nutno určit souřadnice dvou bodů, aby bylo možno sestrojít teoretickou regresní přímku. Zvolíme libovolnou hodnotu x_1 a vypočteme pomocí známé regresní rovnice odpovídající hodnotu závislé proměnné: $y_1 = k \cdot x_1 + q$. Podobně zvolíme libovolnou jinou hodnotu x_2 a vypočteme pomocí rovnice odpovídající hodnotu $y_2 = k \cdot x_2 + q$. [12]



Obrázek 15: Sestrojení teoretické regresní přímky

2.3 Korelační analýza

Korelační analýzy se využívají pro zjištění těsnosti závislosti (síly vztahu) dvou náhodných spojitých proměnných. Korelace označuje míru stupně asociace dvou veličin. Dvě veličiny jsou korelované (asociované), jestliže určité hodnoty jedné veličiny mají tendenci se vyskytovat společně s určitými hodnotami druhé veličiny.

Jde tu tedy o dvoustranný reciproční vztah dvou náhodných proměnných X a Y, kdy nemá smysl uvažovat, že jedna z proměnných je závislá a druhá nezávislá; obě jsou závislé vzájemně. Je to např. vzájemný vztah mezi délkou předních a zadních končetin, vztah mezi délkou křídla a délkou ocasu u ptáků nebo vztah mezi hladinou glukózy a kortikosteronu v krevním séru.

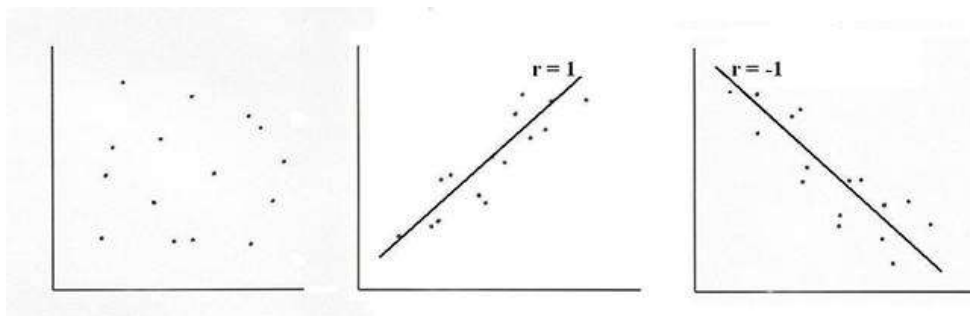
Míra asociace dvou náhodných proměnných může sahát od neexistence korelace (všechny hodnoty proměnné Y se vyskytují stejně pravděpodobně s každou hodnotou proměnné X) až po absolutní korelaci (s danou hodnotou proměnné X, se vyskytuje právě jedna hodnota proměnné Y). Pro kvantitativní vyjádření těsnosti vztahu dvou korelovaných veličin byla navržena řada koeficientů, které se liší podle typů proměnných, pro které se používají. Pro korelaci mezi dvěma spojitými náhodnými proměnnými X a Y je nejdůležitější mírou síly vztahu Pearsonův korelační koeficient „r“. Počítáme jej z „n“ párových hodnot – korelačních dvojic (x_i, y_i) naměřených na „n“ jedincích náhodně vybraných z populace. [12]

Při výpočtu využíváme odchylek jednotlivých hodnot x_i, y_i od průměrů obou veličin \bar{x}, \bar{y} . Podmínkou použití Pearsonova korelačního koeficientu je přitom normální rozdělení obou náhodných proměnných X a Y (tzv. dvounormální rozdělení).

Výpočet korelačního koeficientu r pro lineární korelační závislost.

$$r = \frac{\sum[(x_i - \bar{x}) * (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 * \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (8)$$

Korelační koeficient r může nabývat hodnot v intervalu $< -1 ; +1 \rangle$. Čím větší je absolutní hodnota r, tím těsnější je korelace mezi oběma proměnnými. Kladný korelační koeficient vyjadřuje pozitivní korelaci mezi veličinami, záporný korelační koeficient vyjadřuje negativní korelaci obou veličin. Pokud je hodnota korelačního koeficientu rovna nule, korelační závislost mezi veličinami neexistuje. Korelační koeficient $r = +1$ vyjadřuje úplnou (lineární) přímou závislost veličin, korelační koeficient $r = -1$ označuje úplnou (lineární) nepřímou závislost veličin. [12]



Obrázek 16: Bodové diagramy pro korelaci s různou hodnotou „r“

2.4 Testování významnosti korelačního koeficientu

Korelační koeficient „ r “, který počítáme z dat korelačních dvojic naměřených u výběrového souboru představuje pouze odhad skutečného korelačního koeficientu označovaného jako „ r “, který předpokládáme v celé populaci. Pokud tedy chceme přesně vědět, zda korelační vztah v populaci opravdu existuje, je nutno výběrový korelační koeficient „ r “, jako každý výběrový parametr, testovat. Za předpokladu, že náhodný výběr, ze kterého je korelační koeficient počítán, má dvounormální rozdělení, lze významnost korelačního koeficientu r testovat pomocí t-testu, kdy testujeme nulovou hypotézu o nezávislosti ($H_0: r = 0$).

Testovací statistiku pro t-test vypočteme podle vztahu $t = \frac{r}{S_r}$.

Kde r představuje výběrový korelační koeficient a S_r představuje střední chybu korelačního koeficientu vypočteného ze $S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}$.

Vypočtené testovací kritérium t porovnáme s kritickou hodnotou t (viz Tabulky: Kvantily $t_{1-\alpha/2}(n)$ Studentova t-rozdělení) pro zvolenou hladinu významnosti α a dané stupně volnosti $v = n-2$:

Je-li $t > t_{1-\alpha/2}(n) \Rightarrow$ zamítáme hypotézu nezávislosti sledovaných veličin
(korelační koeficient r je významný na hladině α)

Je-li $t < t_{1-\alpha/2}(n) \Rightarrow$ nemůžeme zamítnout hypotézu nezávislosti sledovaných veličin
(korelační koeficient r je nevýznamný na hladině α)

2.5 Hypotézy

Původ slova hypotéza pochází z řeckého *hypo-thesis* a znamená předpoklad. Ve spojitosti s přírodními vědami hovoříme o přijatelném předpokladu, který umožňuje vědecké zdůvodnění předpokladu, tedy možného stavu skutečnosti a vysvětlení pozorovaného jevu.

Hypotéza však musí být podložena celou řadou faktů, která určují hranice a mantinely výzkumu a určuje tak jasný směr. Hypotéza vzniká v okamžiku, kdy pátráme po souvislostech mezi fakty, která nejsme schopni potvrdit, ale ani vyvrátit. Fakta vysvětlujeme za pomoci hypotéz, které se v další fázi ověřují. K tomu je třeba znát co možná největší počet faktů, jichž se hypotéza týká. Nabízí-li řešení více hypotéz najednou, upřednostňujeme tu, která vysvětluje větší počet faktů, přičemž platí pravidlo, že jednodušší vysvětlení faktu bývá zpravidla pravděpodobnější. Hypotézu nelze nikdy zcela dokázat. Hypotézu lze potvrdit, nebo falzifikovat. Vědecká hypotéza musí vycházet ze všech dostupných poznatků k problematice. Musí být ve shodě s fakty, kterých se týká. Musí objasňovat většinu jevů anebo musí být použitelná na již známá fakta a jevy. V neposlední řadě musí být ověřitelná a reprodukovatelná. [15]

2.6 Rozdělení hypotéz ve statistice

Hypotézy pro potřeby statistiky dělíme na parametrické a neparametrické hypotézy. Parametrické hypotézy se využívají pro rozdělení parametrů základního souboru. Hypotézy parametrické bychom mohli dále rozdělit na hypotézy o parametru jedné populace a dále na hypotézy o parametru více jako dvou populací. Parametrické hypotézy zapisujeme jako rovnosti nebo jako nerovnosti mezi testovaným parametrem a jeho předpokládanou hodnotou. Pro parametrické testy je nezbytná specifikace typu rozdělení.

Další nezbytnou součástí pro využívání hypotéz je specifikace zdrojů hypotéz. Hypotézy mohou být založeny na předchozí zkušenosti, mohou vycházet z teorie, kterou je třeba doložit, mohou vycházet z požadavků kvality anebo mohou být dohady založenými na náhodném pozorování. [11]

1. Parametrické hypotézy

- a. Hypotézy o parametru jedné populace (o střední hodnotě, rozptylu, mediánu relativní četnosti a podobně)
- b. Hypotézy o parametrech dvou populací (srovnávací testy)
- c. Hypotézy o parametrech více než dvou populací (ANOVA a podobně)

2. Neparametrické hypotézy

- a. Hypotézy o jiných parametrech populace (tvar rozdělení, závislosti proměnných a podobně)

2.7 Testování statistických hypotéz

Ve statistice se využívá hypotéz pro soubory, které nejsme schopni získat celé nebo které nejsme schopni celé ověřit. Příkladem mohou být parametry základního souboru velkého objemu (například lidská populace) nebo parametry, jejichž základní soubor je pro získání příliš nákladný nebo náročný. Pro tyto účely využíváme hypotézy, které se statisticky ověřují a vyhodnocují. Ověřujeme tvrzení a předpoklady o parametrech, o tvaru, rozdělení četností s normálním rozdělením. Testování statistických hypotéz je ve skutečnosti rozhodovací proces, v němž proti sobě stojí dvě tvrzení. Odtud vychází hypotéza nulová a hypotéza alternativní.

Hypotéza nulová je tvrzení o populaci a toto tvrzení je bráno jako předpoklad pro testování. Představuje jakýsi rovnovážný stav a vyjadřuje se rovností. Proti tomu je položena hypotéza alternativní, která představuje porušení rovnovážného stavu a zapisujeme ji nerovností (\neq , $>$, $<$). Jeli hypotéza určená znaménky ($>$, $<$) nazýváme hypotézu jednostrannou. Hypotéza nulová je vždy pevně určená. [11]

2.8 Test

Postup při testování se řídí těmito kroky

- a) Formulujeme nulovou hypotézu a hypotézu alternativní

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$H_A: \mu_1 \neq, <, > \mu_2$

- b) Ve druhém kroku je třeba zvolit hladiny významnosti α , díky čemuž jsme schopni zjistit kritickou hodnotu t_{krit} .
- c) Vypočteme testovací kritérium t a kritickou hodnotu t_{krit} .

Pokud je hodnota testovacího kritéria $t > \frac{t\alpha}{2}$ zamítáme nulovou hypotézu. Jestli se H_0 zamítnout nedá, nemusí to znamenat, že automaticky platí. Může se jednat o nedostatečně velký výběr, díky čemuž jsme nezískali dostatečně velký počet důkazů na zamítnutí.

Volba statistických metod

Statistické metody se volí podle typu proměnných. Tyto proměnné mohou být nominální, kvalitativně proměnné, kvantitativně proměnné.

1. Nominální proměnná

- a. Nominální proměnná se neuspořádává. Mezi nominální proměnné patří barva, pohlaví, národnost a podobně.

2. Kvalitativně proměnná

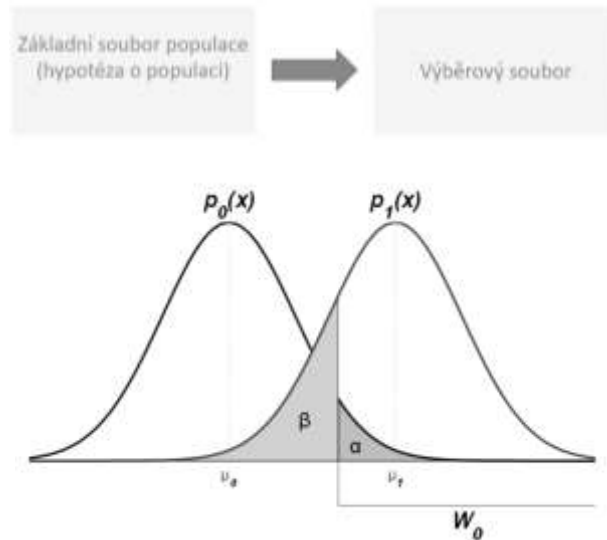
- a. Ordinální proměnná. Ordinální proměnná se uspořádává a je možné k nim přiřadit pořadí (výška osob, velikost oblečení).
- b. Diskrétní proměnná, která nabízí konečné množství variant.

3. Kvantitativně proměnná

- a. Spojitá proměnná, která nabývá libovolné hodnoty L z podmnožiny K (hmotnost a věk)

2.9 Chyby při testování hypotéz

Při používání hypotéz vycházíme vždy z výběrového souboru. Problém může nastat v otázce dostatečné reprezentace vlastností populace. Díky tomu nemůžeme nikdy vyloučit vznik chyby.



Obrázek 17: Testování hypotéz

Chyby, které jsou s hypotézami spojené dělíme na chyby I. a II. druhu. Chyba I. druhu poukazuje k chybnému zamítnutí hypotéz. V případě chyby II. druhu se může jednat o chybně přijatou hypotézu.

Tabulka 2: Chyby při testování hypotéz

		Rozhodnutí	
		Nezamítáme H_0	Zamítáme H_0
Skutečnost	Platí H_0	Správné rozhodnutí Pravděpodobnost: $1 - \alpha$ (spolehlivost)	Chyba I. Druhu Pravděpodobnost α (hladina významnosti)
	Platí H_A	Chyba II. Druhu Pravděpodobnost: β	Správné rozhodnutí Pravděpodobnost $1 - \beta$ (síla testu)

Hladina významnosti proto představuje pravděpodobnost, že se dopustíme chyby I. druhu. Tato hladina se značí symbolem α . Pravděpodobnost rozhodnutí, že jsme se rozhodli správně a hypotézu H_0 nezamítli se značí $1 - \alpha$.

Chyba I. druhu

- Platí nulová hypotéza, ale my ji zamítáme
- Maximální přípustná pravděpodobnost chyby I. Druhu se volí ještě před pořízením výběrového souboru (hladina významnosti)

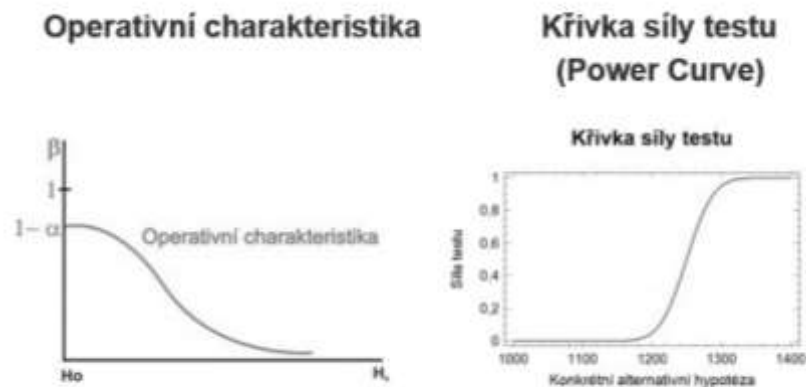
Pravděpodobnost, že nezamítáme H_0 a platí H_A je chybou II. druhu. Tuto chybu značíme β . Správné rozhodnutí o zamítnutí hypotézy nulové v okamžiku, kdy je platná hypotéza alternativní se dopouštíme s pravděpodobností $1 - \beta$. Tu označujeme jako sílu testu.

Při testování se snažíme minimalizovat chyby I. a II. druhu, avšak ve skutečnosti to není zcela možné, protože minimalizace chyby II. druhu (β) zvyšuje hladinu významnosti (α) a

naopak. Proto se nejčastěji snažíme najít optimální stav. Hladina významnosti v tom hraje největší roli a většinou se volí 5 %.

Chyba II. Druhu

- Nulová hypotéza neplatí, ale my ji nezamítáme, protože nedokážeme poznat, že neplatí
- Síla testu je závislá na zvolené testovací metodě a na skutečném rozdělení dat



Obrázek 18: Grafické znázornění chyby II. druhu pro konkrétní alternativu [11]

2.10 T – test

T-test je jedním z nejpoužívanějších testů, určených pro vícerozměrné regresivní lineární modely. Vztahuje se k parametrickému testu. Odtud plyne předpoklad normálního rozdělení. T-test je založený na principu porovnání dvou nezávislých výběrů. Pomocí T-testu můžeme porovnávat dva základní soubory. Zjistíme nezávislost výběrů. U T-testu není podmínkou stejný rozsah prvků ve výběru, avšak čím více jsou si výběry podobné, tím přesnější závěr jsme schopni odvodit. Hypotézu nulovou H_0 lze testovat za předpokladu lineárního modelu.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 (\mu_1 - \mu_2 = 0)$$

$$H_A : \mu_1 > \mu_2 (\mu_1 - \mu_2 > 0)$$

$$\mu_1 < \mu_2 (\mu_1 - \mu_2 < 0)$$

$$\mu_1 \neq \mu_2 (\mu_1 - \mu_2 \neq 0)$$

U hypotézy alternativní musíme zohlednit volbu možností. Tím se odlišuje hypotéza alternativní od hypotézy nulové. Hypotéza nulové je pevně dána.

Volbu u hypotézy alternativní určujeme podle vztahu mezi jednotlivými průměry výběrových souborů.

- \bar{x}_1 je větší než \bar{x}_2 -> volíme $\mu_1 > \mu_2$,
- \bar{x}_1 je menší než \bar{x}_2 -> volíme $\mu_1 < \mu_2$,

- \bar{x}_1 je podobné \bar{x}_2 -> volíme $\mu_1 \neq \mu_2$.

Díky poznání (nepoznání) směrodatných odchylek σ_1, σ_2 volíme testované charakteristiky.

Jeli σ_1, σ_2 známé:

$$T(X) = Z_2 = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \rightarrow N(0, 1) \quad (9)$$

Jeli σ_1, σ_2 neznámé:

$$T(X) = Z_2 = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \rightarrow t_{n_1 + n_2 - 2} \quad (10)$$

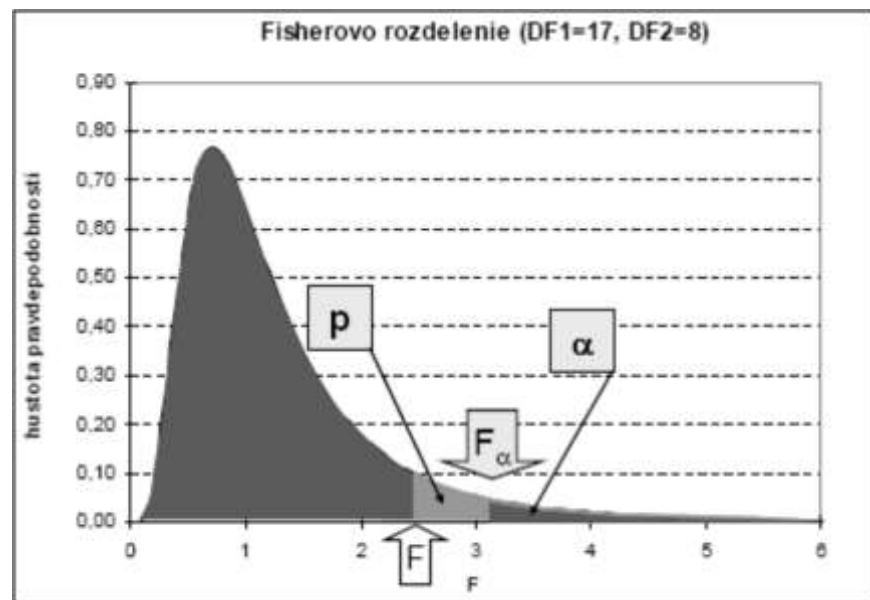
$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (11)$$

t_α - při jednostranném testu H_A ($\mu_1 < \mu_2$, anebo $\mu_1 > \mu_2$)

$t_{\frac{\alpha}{2}}$ - při oboustranném testu H_A ($\mu_1 \neq \mu_2$)

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = f\left(\frac{\alpha}{2}, DF\right) \quad (12)$$

$$DF = (n_1 + n_2) - 2 \quad (13)$$



Graf 1: Ilustrační graf studentova rozdělení [12]

Nyní je třeba rozhodnout o zamítnutí hypotézy nulové H_0 :

Jeli $|T| > t_{\frac{\alpha}{2}}$, pak je pravděpodobnost omylu menší než 5 % ($P < 0,05$), zamítáme H_0 , protože platí H_A

Jeli $|T| < t_{\frac{\alpha}{2}}$, pak je pravděpodobnost omylu, když zamítneme hypotézu nulovou větší, než 5 % ($P > 0,05$) [12]

2.11 F – test (test rozdílů 2 rozptylů)

F-testem rozhodujeme o hodnotách regrese a jejich koeficientů a zjišťujeme jestli má pokusný zásah vliv na (rozptyl σ^2) zkoumané náhodné veličiny v populaci. Využívá se například pro porovnání přesnosti dvou metod měření.

V F-testu se podrobujeme testování nulová hypotéza:

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

Výpočet F-testu vychází z dat dvou výběrových souborů, které jsou předmětem srovnávání – obvykle pokusný a kontrolní soubor. O každém z těchto souborů předpokládáme, že pochází z populace s Gaussovým normálním rozdělením s parametry μ a σ^2 :

Výběrový soubor 1: (n_1 členů) vybrán ze základního souboru s parametry μ_1 a σ_1^2

Výběrový soubor 2: (n_2 členů) vybrán ze základního souboru s parametry μ_2 a σ_2^2 [12]

Testování je podobné jako při T – testu, s tím rozdílem, že při F-testu máme u hypotézy alternativní jen dvě možnosti výběru. Oboustranná hypotéza není možná z důvodu principu testu shody dvou rozptylů.

s_1^2 je větší než s_2^2 , volíme $\sigma_1^2 > \sigma_2^2$

s_1^2 je menší než s_2^2 , volíme $\sigma_1^2 < \sigma_2^2$

Odtud:

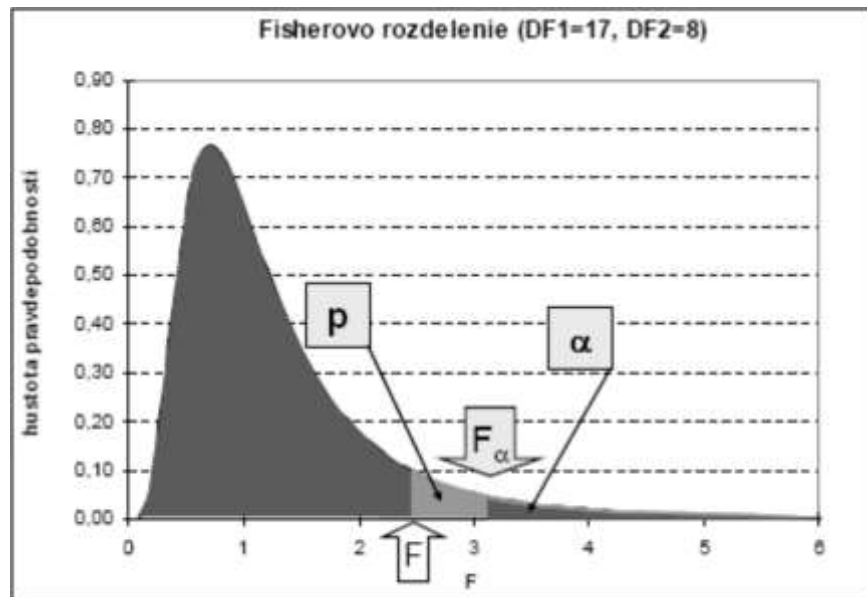
$$T(X) = F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \rightarrow F(m, n) \quad (14)$$

F = Fischer-Snedecorovo rozdělení s m stupni volnosti pro čitatele a n stupni volnosti pro jmenovatele kde:

$$F_a = f(\alpha, DF1, DF2) \quad (15)$$

$$DF1 = n_1 - 1 \quad (16)$$

$$DF2 = n_2 - 1 \quad (17)$$



Graf 2: ilustrační graf Fischerova rozdělení [12]

Nyní je třeba rozhodnout o zamítnutí hypotézy nulové H_0 :

1. Jeli $F > F_\alpha$, pak je pravděpodobnost omylu menší než 5 % ($P < 0,05$),
2. Jeli $F < F_\alpha$, pak je pravděpodobnost omylu, když zamítneme hypotézu nulovou větší, než 5 % ($P > 0,05$) [12]

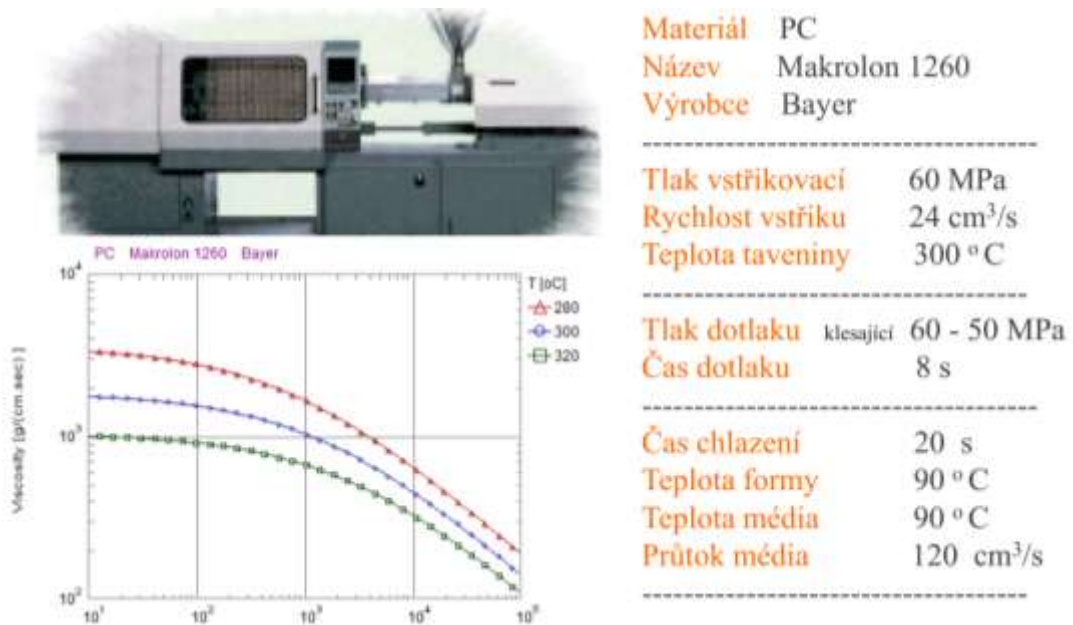
II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 PŘÍPRAVA MĚŘENÍ

3.1 Díly

Díly, které budou vyhodnocovány a zkoumány pomocí hypotéz byly vyrobeny z polymerního materiálu PC Makrolon 1260 ve vstřikovací formě s parametry uvedenými na obrázku č. 19. Z jednoho vstřikovacího cyklu byly vyhotoveny dvě části světlometů, a to pravá a levá část. Měření na vzorcích probíhalo více jak 48 hodin po odformování. Tyto díly byly pro orientaci a vyhodnocení popsány a byly opatřeny souřadnicovým systémem. Díly obsahují tři různé druhy povrchů, které se budou vyhodnocovat. Jedná se o povrchy leštěné, grainované i neupravované přímo z formy.

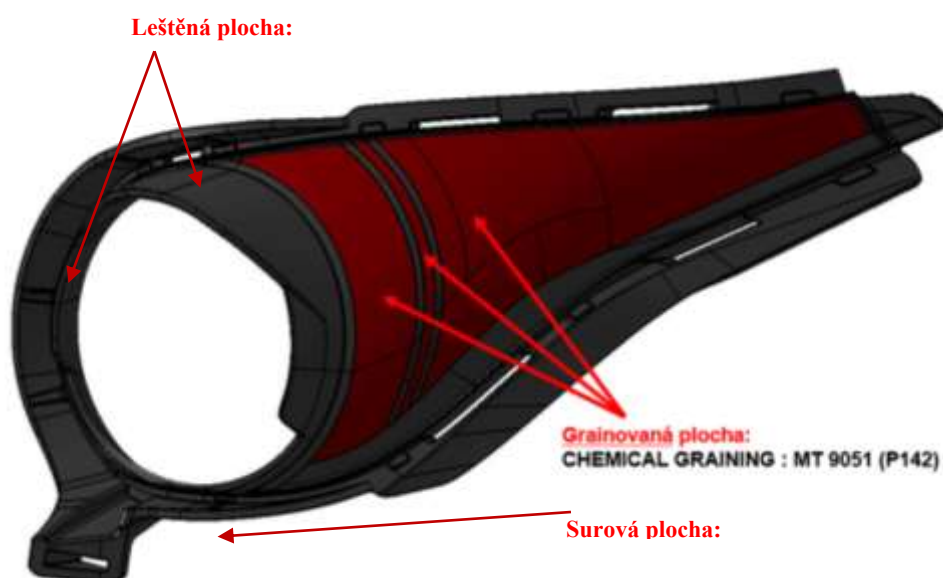
- Díl jako celek disponuje skořepinovou koncepcí s nerovnoměrným rozmístěním tvarů
- Některé části dílu jsou pohledové s vysokými nároky na jakost povrchu
- Část dílu slouží pro osazení čočkou světlometu



Obrázek 19: Materiál a parametry vstřikování dílů



Obrázek 20: Model hodnoceného dílu



Obrázek 21: Grainované části

3.2 Vzorčky

Díl je před samotným měřením třeba připravit na vzorky a to tak, aby splňovaly co nejlépe rozměrové charakteristiky dané přístrojem, který bude provádět vyhodnocování. Dále je třeba vzorky připravit tak, aby byla co nejlépe dostupná plocha (povrch), který chceme vyhodnocovat. Z toho důvodu byly díly rozřezány na jednotlivé části – vzorky. Tyto vzorky byly označeny a každému byla přidělena jeho vlastní značka. Jednotlivé povrchy na vzorcích byly zkontrolovány a označeny pro samotné měření. Před měřením byly vzorky očištěny a zbaveny přítomnosti prachu a nečistot a jednotlivě měřeny. Tyto úkony bylo třeba provádět s obezřetností nejen k samotným vzorkům, ale především k měřicímu zařízení, které je velmi náchylné na poškození především v oblasti snímací čočky.



Obrázek 22: Díly určené k vyhodnocení a porovnání pomocí hypotéz



Obrázek 23: Značení dílů



Obrázek 24: Příprava vzorků na měření – dělení na jednotlivé části



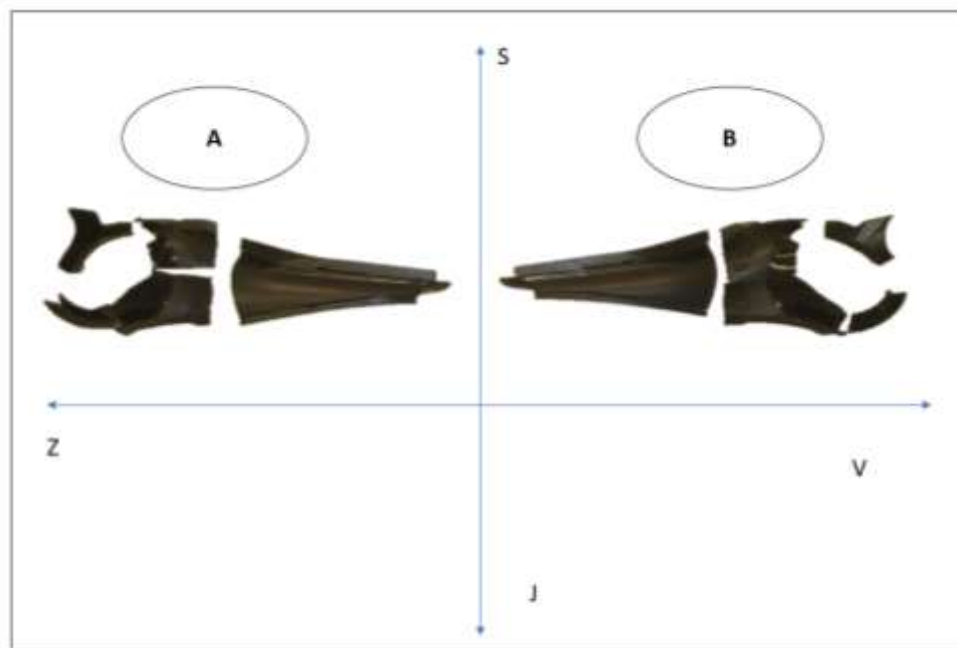
Obrázek 25: Výběr ploch k jednotlivým měření – díl A



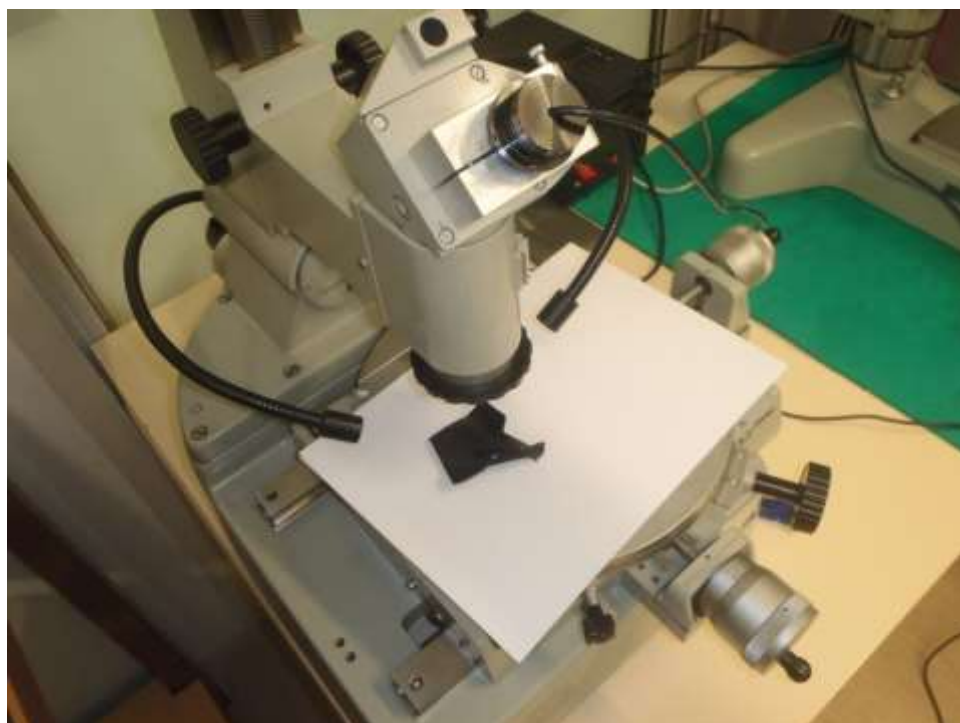
Obrázek 26: Výběr ploch k jednotlivým měření – díl B



Obrázek 27: Jednotlivé vzorky připravené k měření



Obrázek 28: Určení souřadnicového systému



Obrázek 29: Mikroskop – snímání povrchu

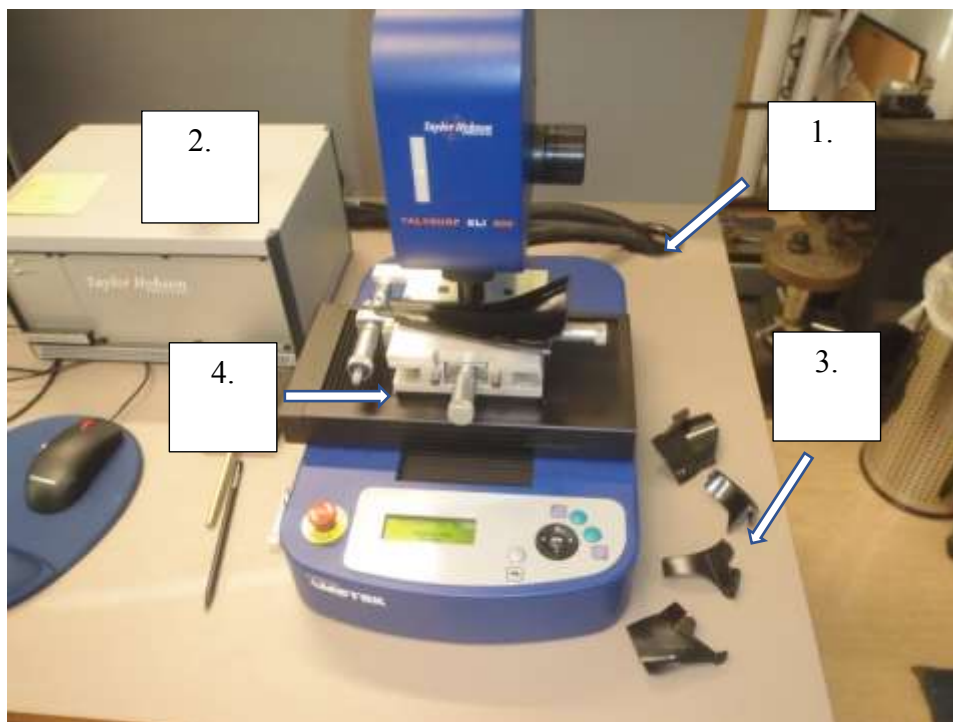
3.3 Použité měřicí zařízení

Talysurf CLI 500 viz. obrázek 30. Zařízení má měřicí prostor 50x50x50 mm; délku posuvu 50 mm. Je charakterizovaný ekonomickou a prostorovou efektivností a je určen především pro měření malých součástí. Pro instalaci přístroje stačí půdorysná plocha stolu 500 x 310 mm. I Talysurf CLI 500 je připraven automaticky provádět měřicí operace a uvolnit pracovní kapacitu operátora.

Při samotném ukládání dílů pro měření je třeba dávat pozor při ukládání, kdy nesmí dojít ke kontaktu s čočkou měřidla, aby nedošlo k poškození. Praktickou předností Talysurf CLI je spojení tradičního 2D a prostorového hodnocení 3D do jednoho výkonného přístroje.

I když je systém CLI speciálně konstruován pro měření 3D, je současně vybaven mechanickými i analytickými prostředky pro komplexní měření 2D. Lze tak jedním přístrojem monitorovat výzkum a vývoj, provádět studijní analýzy (např. opotřebení), rutinní inspekci i řídit výrobní procesy. Vedle zřejmého ekonomického přínosu má uživatel stále možnost porovnávat výsledky měření se všemi, kteří ještě používají jen tradiční měření 2D.

Univerzálnost systému Talysurf CLI zajišťuje možnost využít na jednom přístroji až čtyři různé měřicí hlavy ke kontrole všech kombinací materiálu a kvality povrchu součástí. Základem programového vybavení přístrojů Talysurf CLI je firemní program Talymap, který zabezpečuje veškeré řídicí, kontrolní, vyhodnocovací i informační služby. Výkonný program pro analýzu dat zahrnuje standardní funkce vyhodnocení struktury povrchu 2D a 3D, včetně vyjmutí profilu 2D z povrchu 3D, měření ploch a objemu, výšky a vzdálenosti stupňů, analýzy výstupku, nosného podílu, velikost a hustotu zrn, atd. [13]

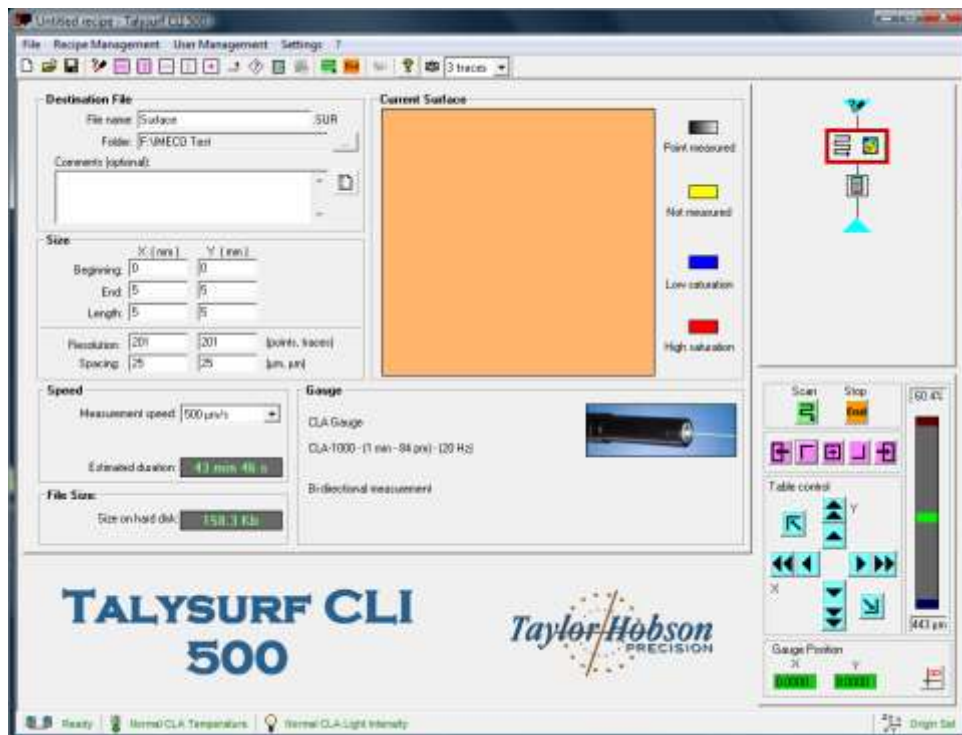


Obrázek 30: Použité měřidlo *Talysurf* CLI 500

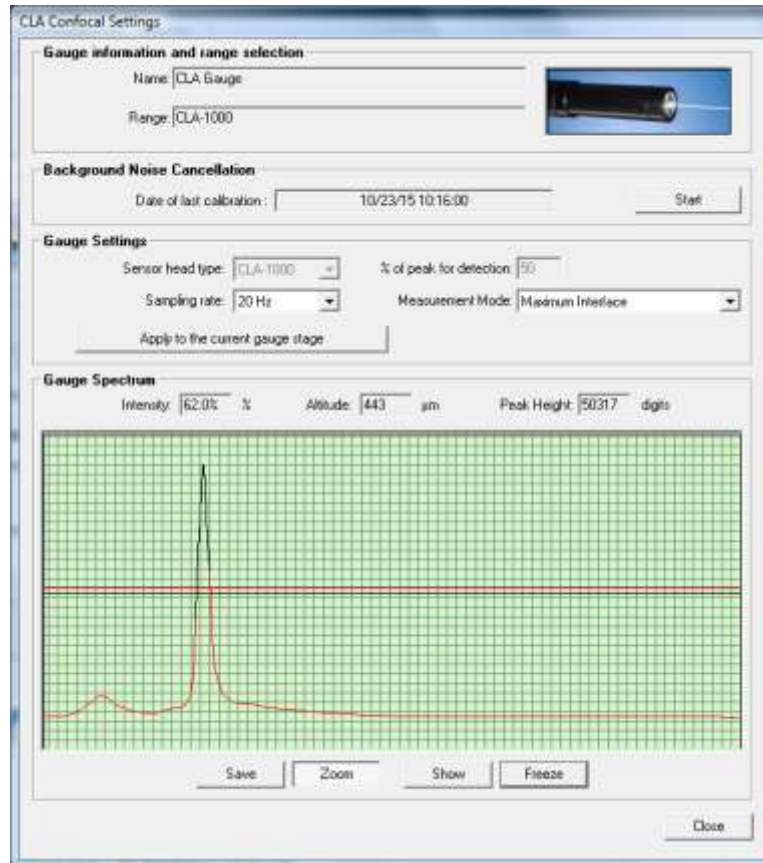
1. Taylor Hobson Talysurf CLI 500 Měřicí zařízení
2. Taylor Hobson Talysurf – zdroj
3. Měřené díly
4. Podložka

Tabulka 3: Technická specifikace přístroje

Funkce, hmotnost, rozměry	Talysurf CLI 500
prostor měření D x H x V	50 x 50 x 50 mm
délka posuvu v osách X x Z x Z	50 mm
osové rozlišení	5 μm
rychlost měření	30, 15, 10, 5, 1, 0,5 mm/s
Rychlost polohování osy X a Y	30 mm/s maximum
Rozměry D x H x V	500 x 310 x 450 mm
nosnost	10 Kg
hmotnost	55 Kg



Obrázek 31: Nastavení měřicího zařízení



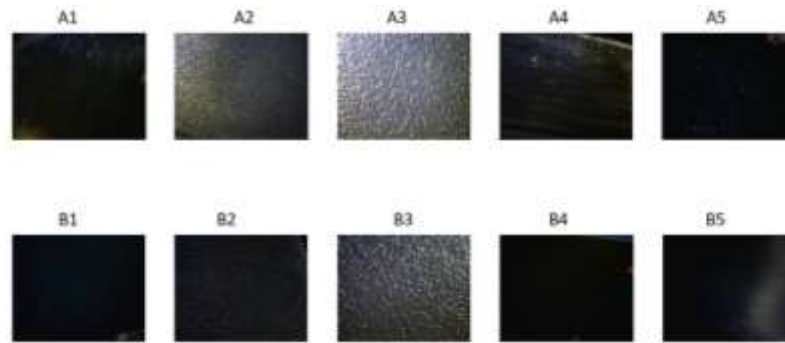
Obrázek 32: Průběh měření

3.4 Vypracování měření a příprava dat

Vypracování měření obsahovalo proměření sady A a sady B vzorků, které jsem si předem připravil. Každá sada obsahovala 5 vzorků se 3 různými povrchy, u kterých se budou hodnotit parametry R_z , R_a . Tyto parametry budou následně podrobeny korelaci a hypotézám, H_0 a H_A . Cílem je porovnání levé a pravé části světlometu a zjistit, zda se díly od sebe vzájemně statisticky významně liší, či nikoli.

$$H_0: A1R_a/X = B1R_a/Y \quad (18)$$

$$H_A: A1R_a/X \neq B1R_a/Y \quad (19)$$



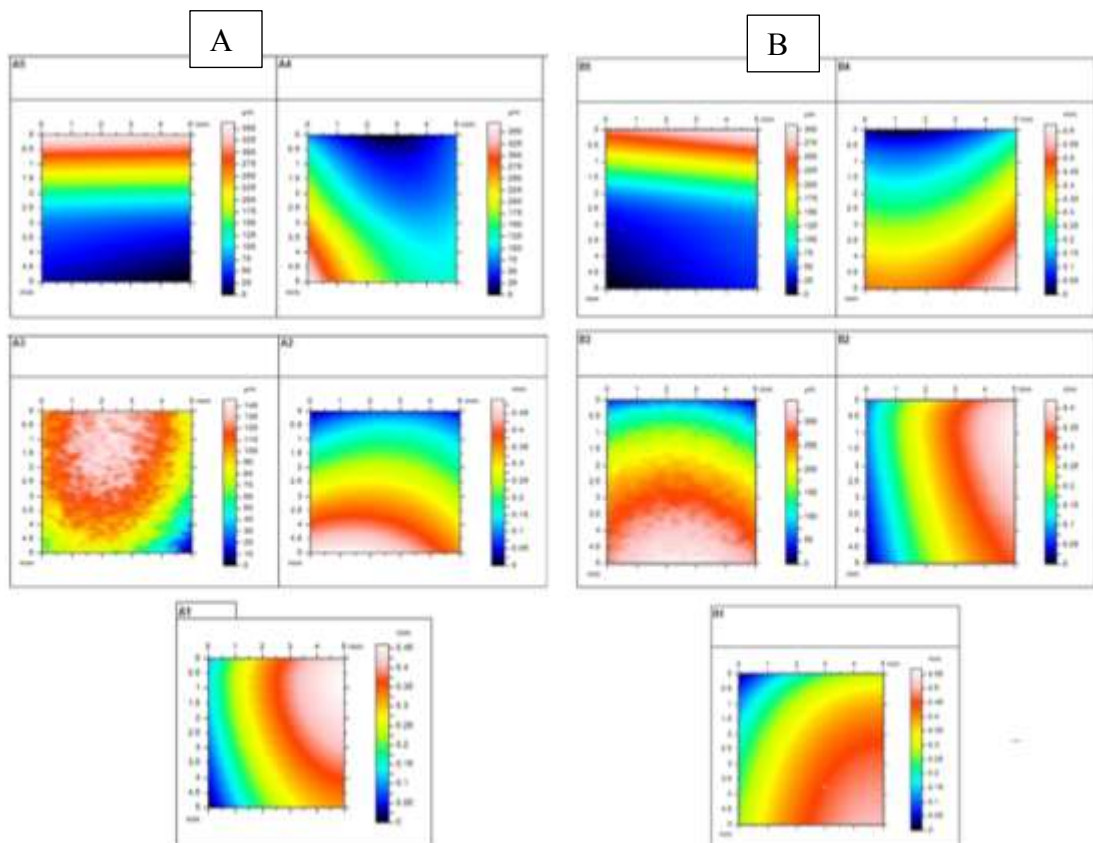
Obrázek 33: Povrch vzorků pod mikroskopem 200 x zvětšeno

Tabulka 4: Popis povrchu vzorků

vzorek A	Vzorek B
A1 – Lesk	B1 – Lesk
A2 – Mat	B2 – Mat
A3 – Leptáno	B3 – Leptáno
A4 – Lesk hrana	B4 – Lesk hrana
A5 – Vnitřní	B5 – Vnitřní

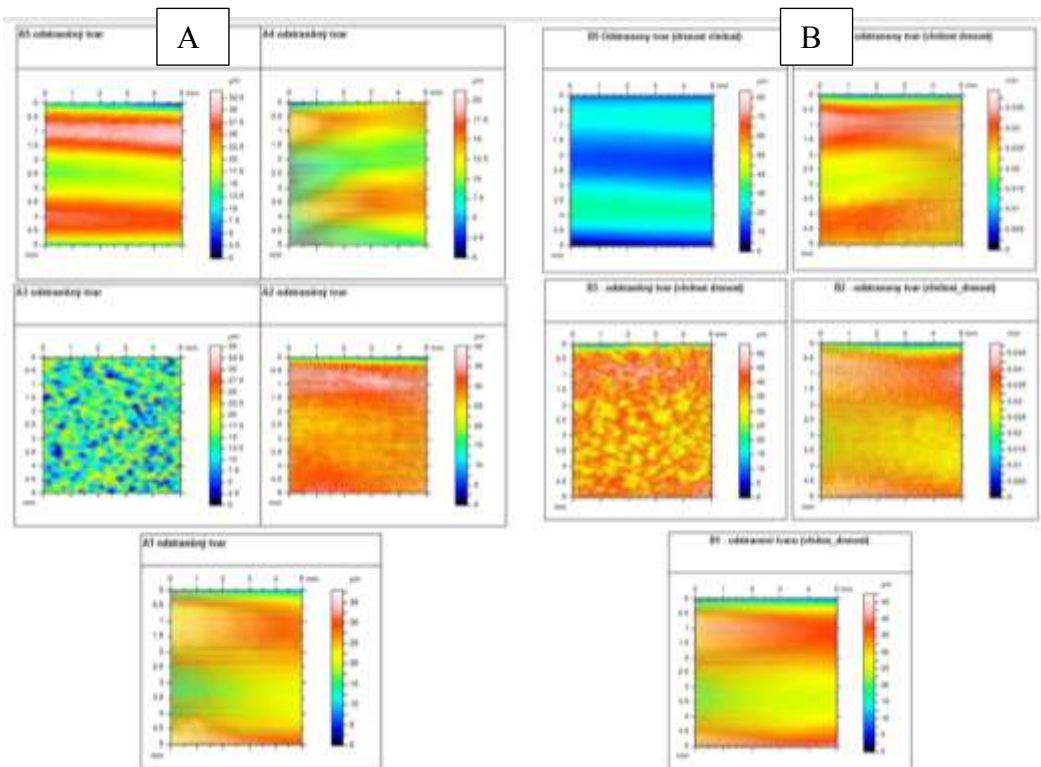
Připravené vzorky byly umístěny do měřícího zařízení Talysurf CLI 500 a byly nasnímány povrchy sady A a sady B vzorků. Postup pro vypracování měření byl následující:

V prvním kroku byly nasnímány povrchy vzorků (tvar, vlnitost, drsnost). Značené pro sadu A = (A5 až A1), B = (B5 až B1)



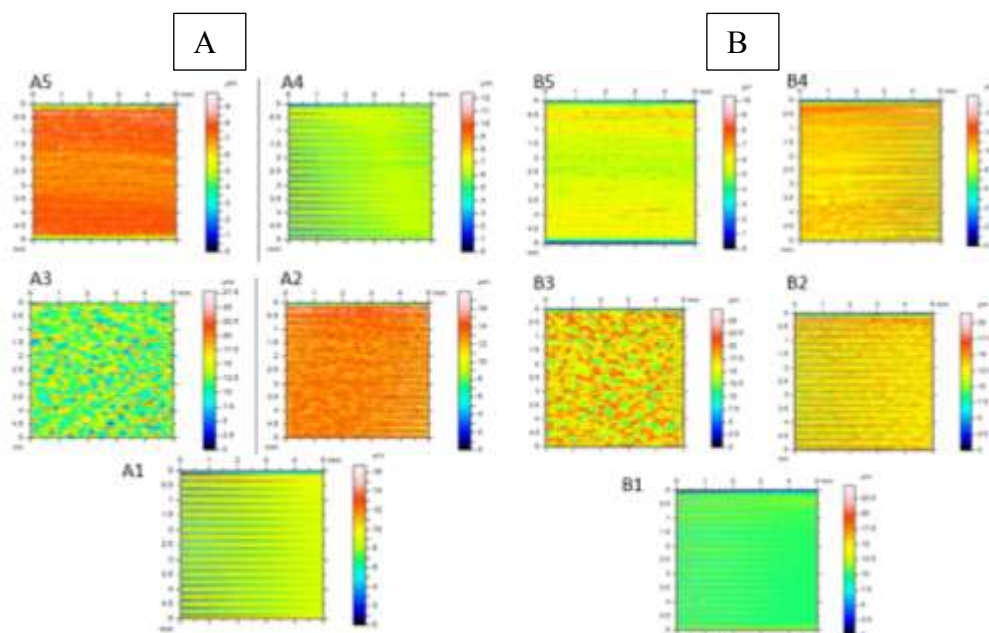
Graf 3: Nasnímané povrchy dílů

Druhý krok obsahoval odstranění tvaru. Zůstala vlnitost a drsnost povrchů. Značené pro sadu A = (A5 až A1), B = (B5 až B1).

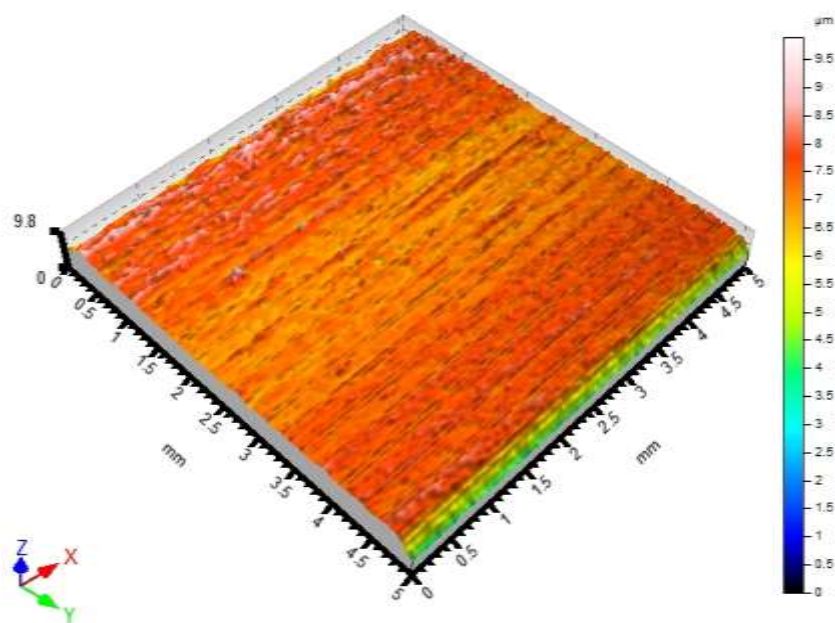


Graf 4: Odstranění tvaru (zůstává vlnitost a drsnost)

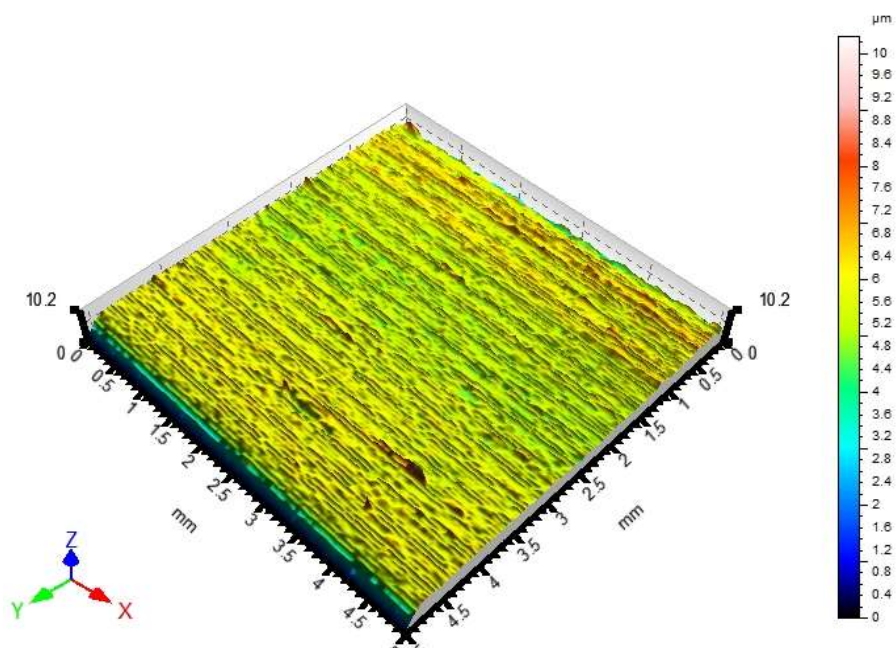
Třetí krok – odstranění vlnitosti (zůstává drsnost). Značené pro sadu A = (A5 až A1), B = (B5 až B1)



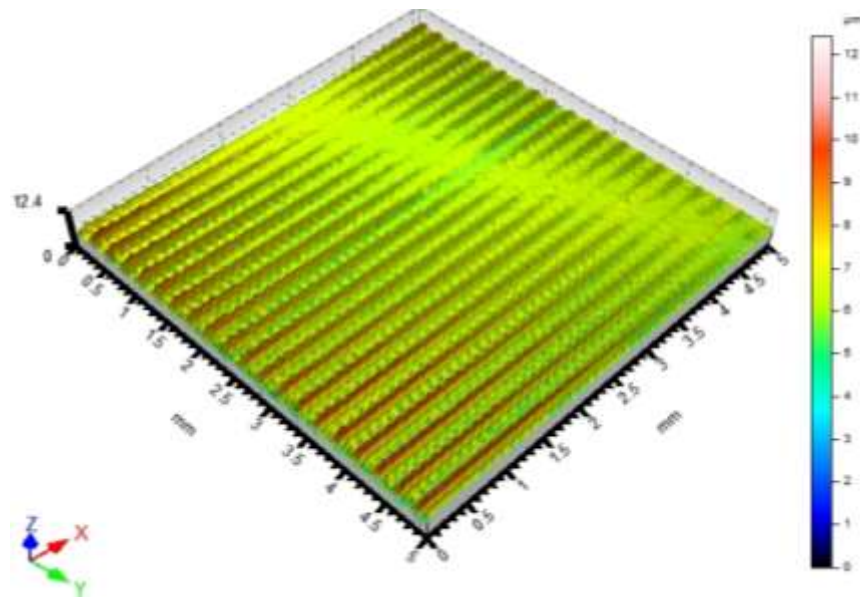
Graf 5: Odstranění vlnitosti (zůstává drsnost) - Software Talymap 5.1



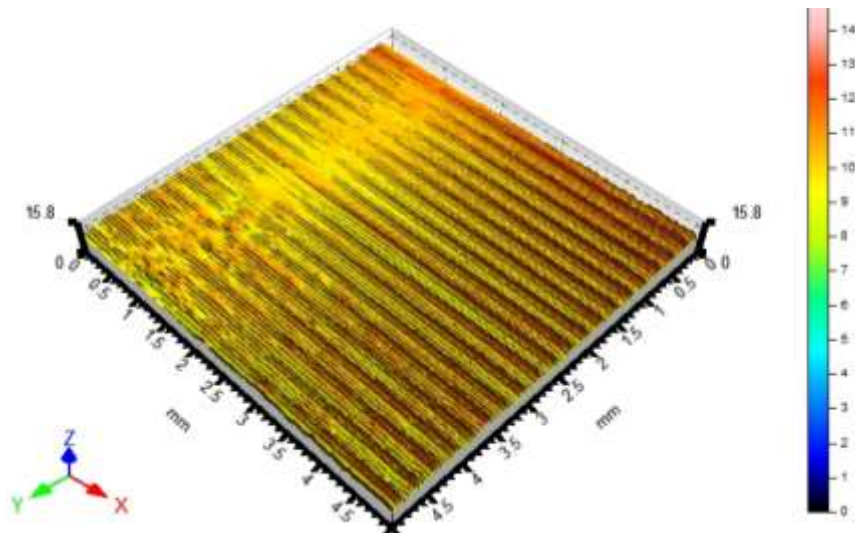
Graf 6: Vzorek drsnosti A5 ve 3D



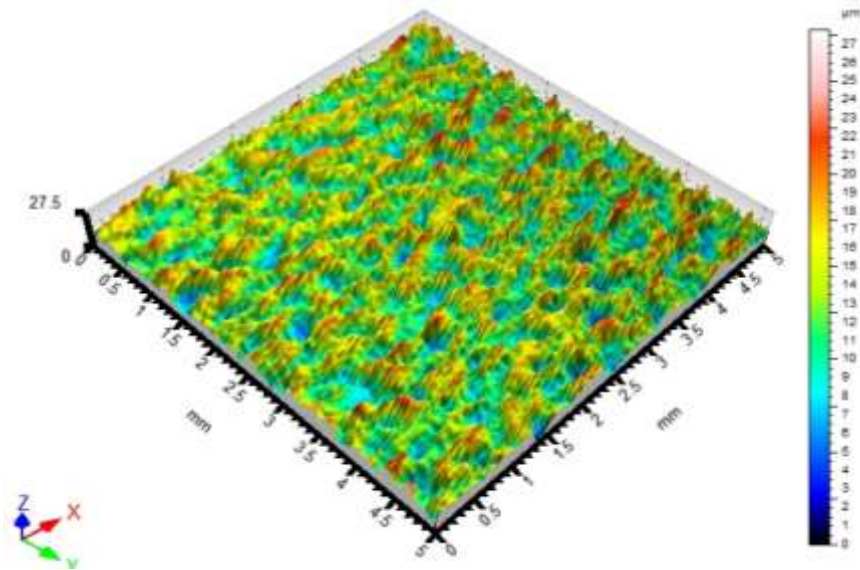
Graf 7: Vzorek drsnosti B5 ve 3D



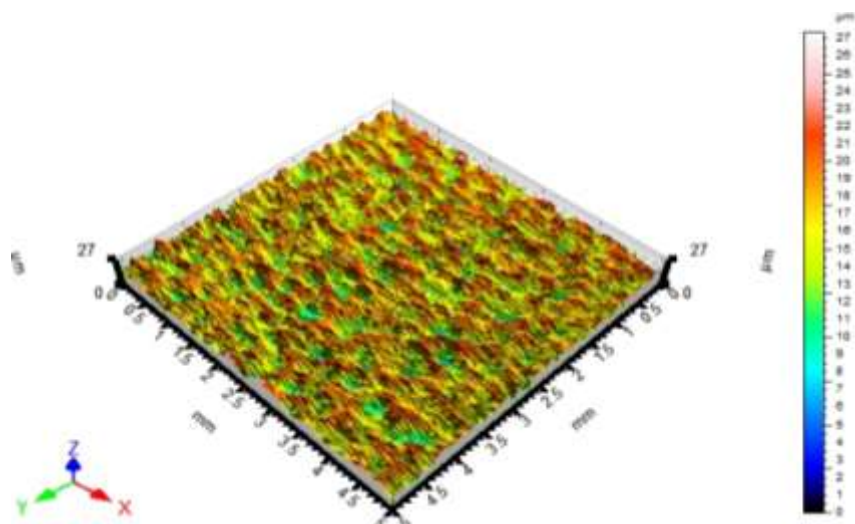
Graf 8: Vzorek drsnosti A4 ve 3D



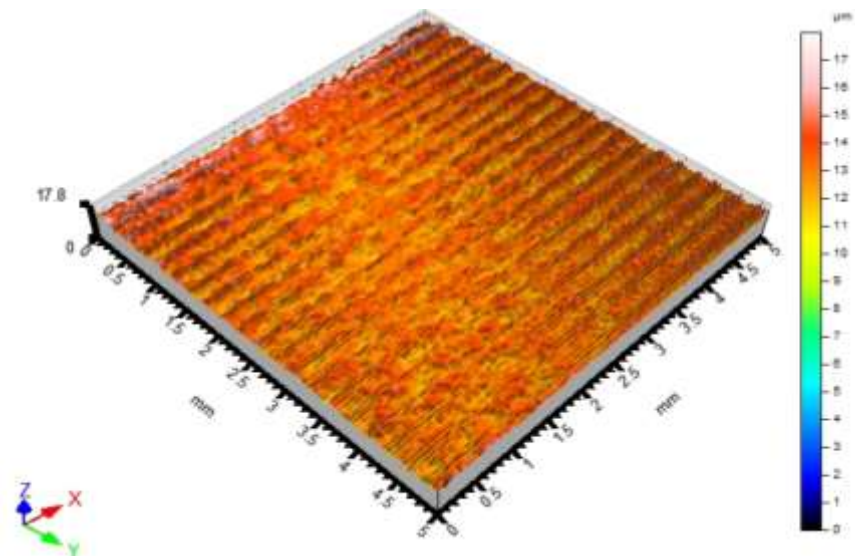
Graf 9: Vzorek drsnosti B4 ve 3D



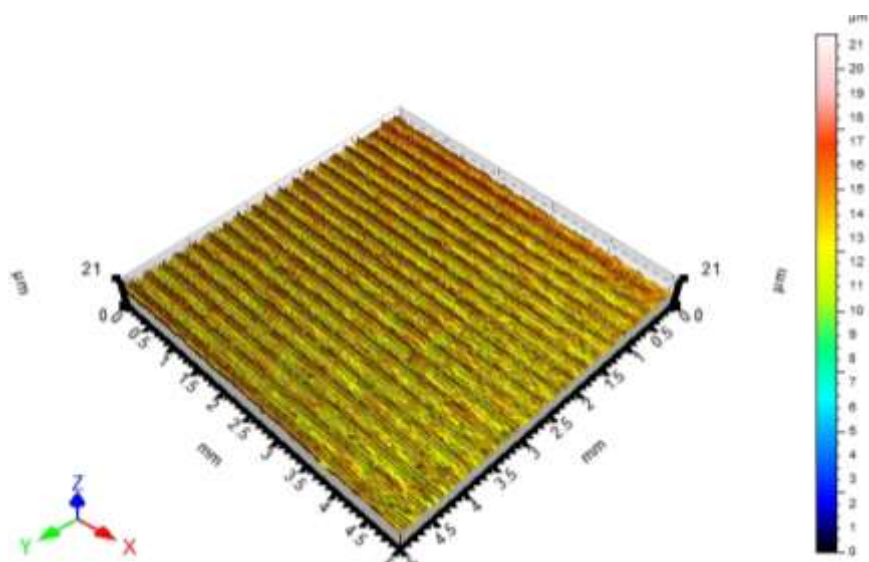
Graf 10: Vzorek drsnosti A3 ve 3D



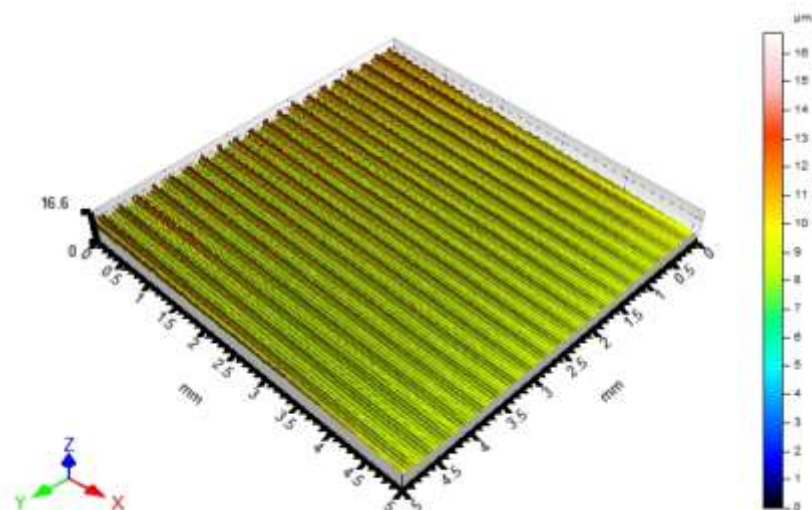
Graf 11: Vzorek drsnosti B3 ve 3D



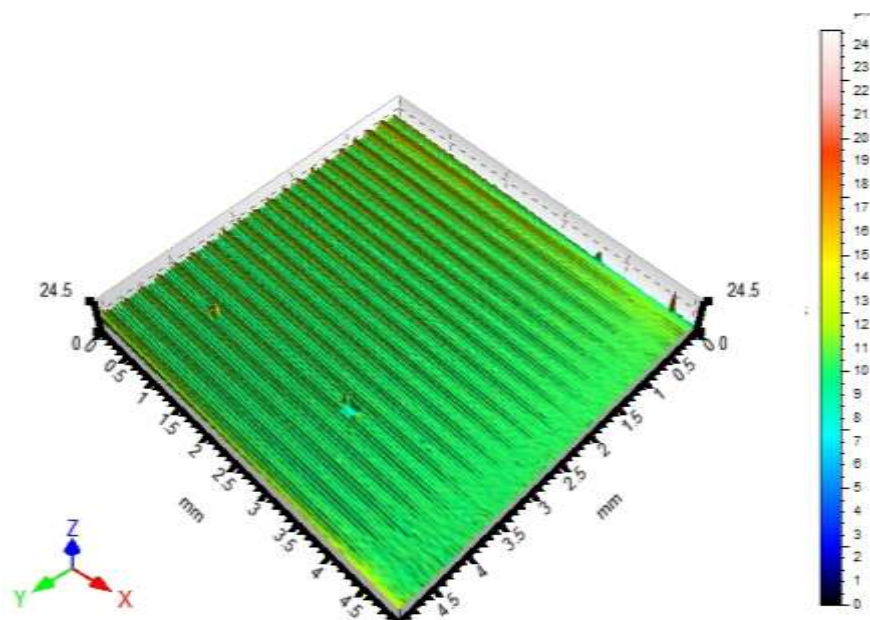
Graf 12: Vzorek drsnosti A2 ve 3D



Graf 13: Vzorek drsnosti B2 ve 3D

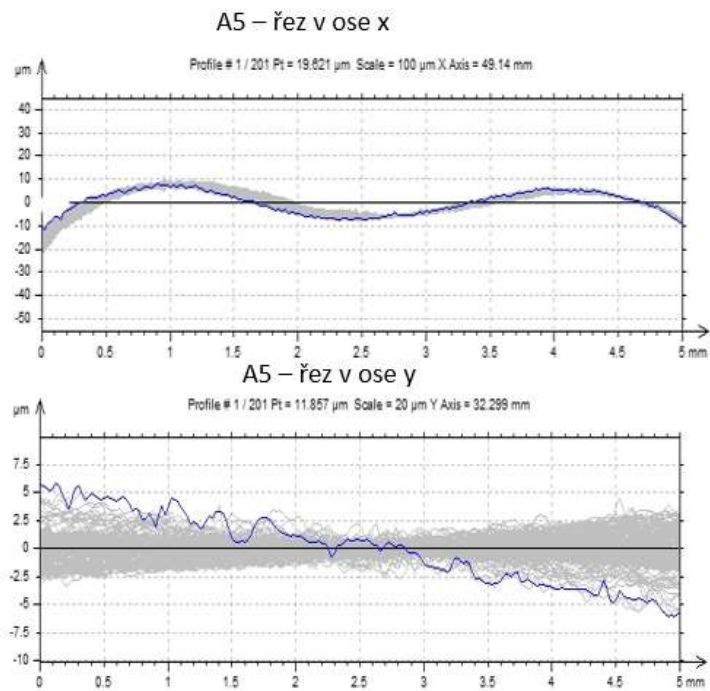


Graf 14: Vzorek drsnosti A1 ve 3D

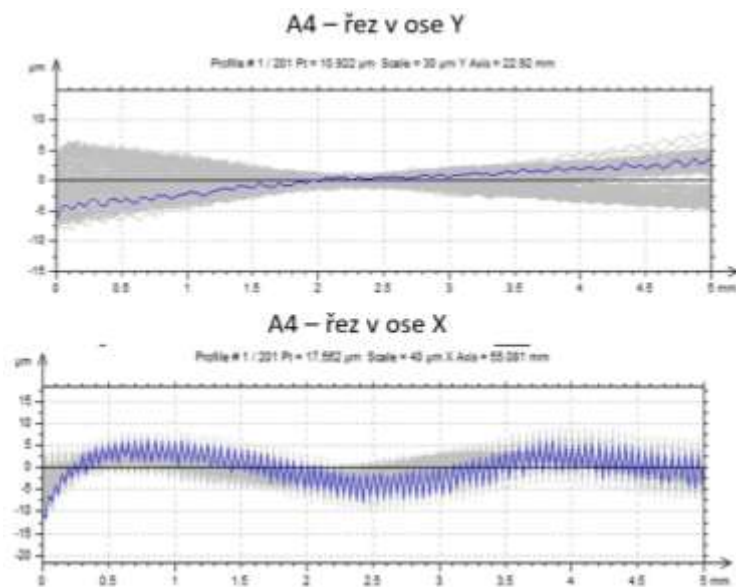


Graf 15: Vzorek drsnosti B1 ve 3D

Čtvrtý krok je vytvoření řezů v osách x a y všech vzorků sady A a sady B. Značené pro sadu A = (A5 až A1), B = (B5 až B1).

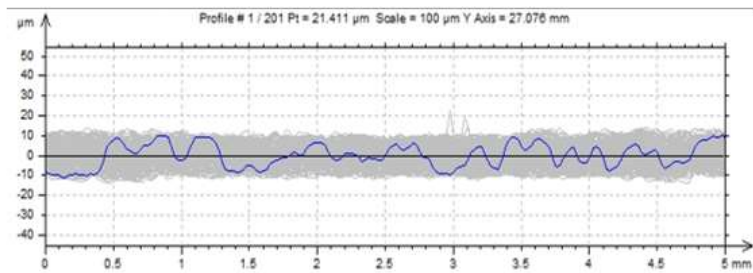


Graf 16: Řezy v osách X a Y – vzorek A5

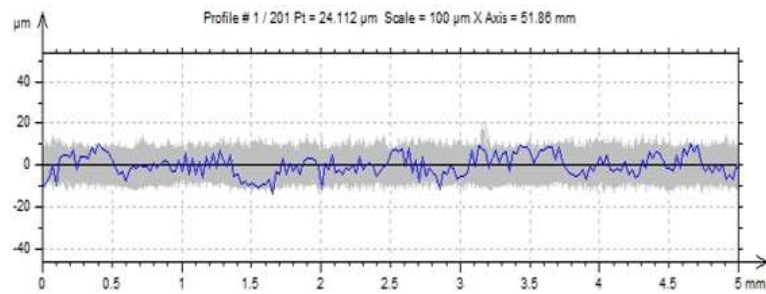


Graf 17: Řezy v osách X a Y – vzorek A4

A3 – řez v ose Y

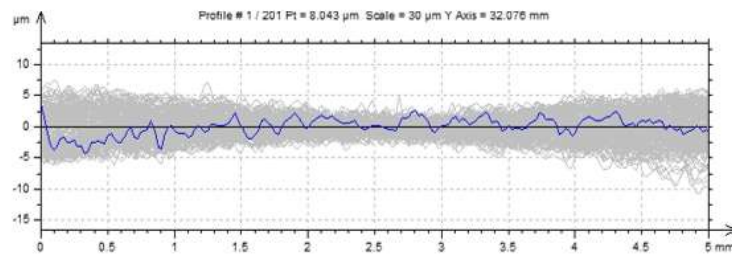


A3 – řez v ose X

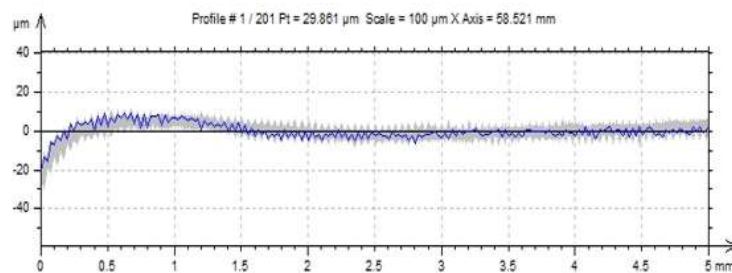


Graf 18: Řezy v osách Y a X – vzorek A3

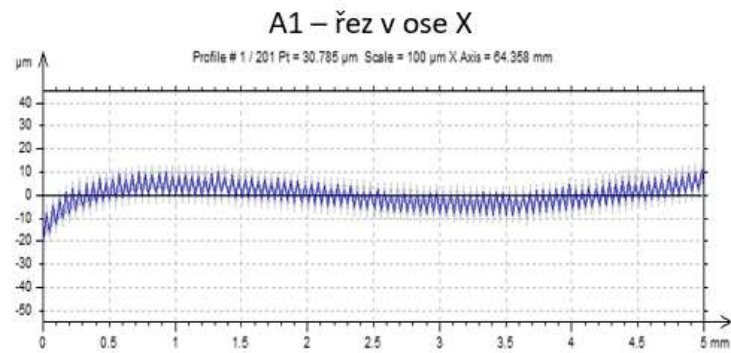
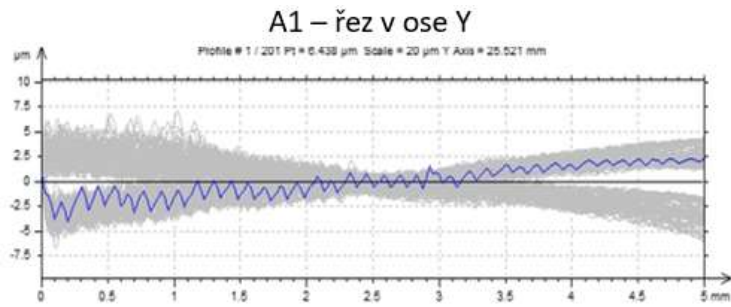
A2 – řez v ose Y



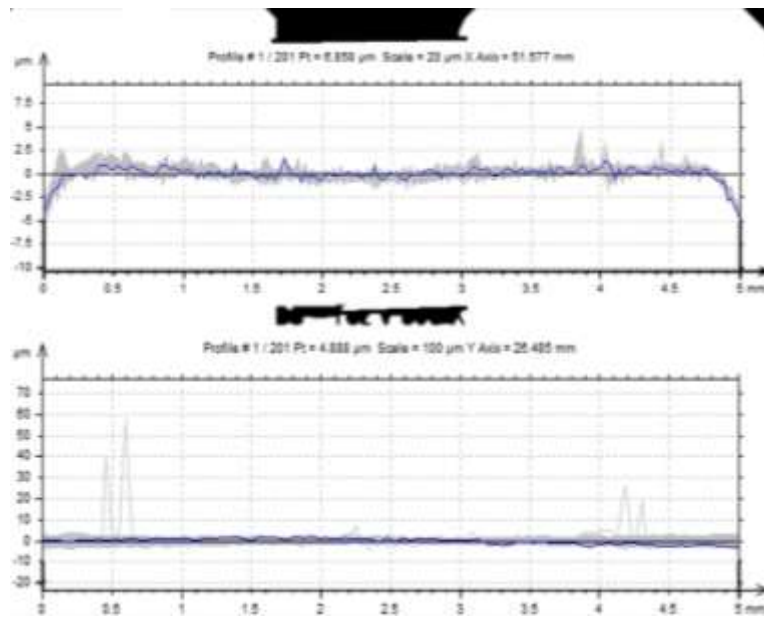
A2 – řez v ose X



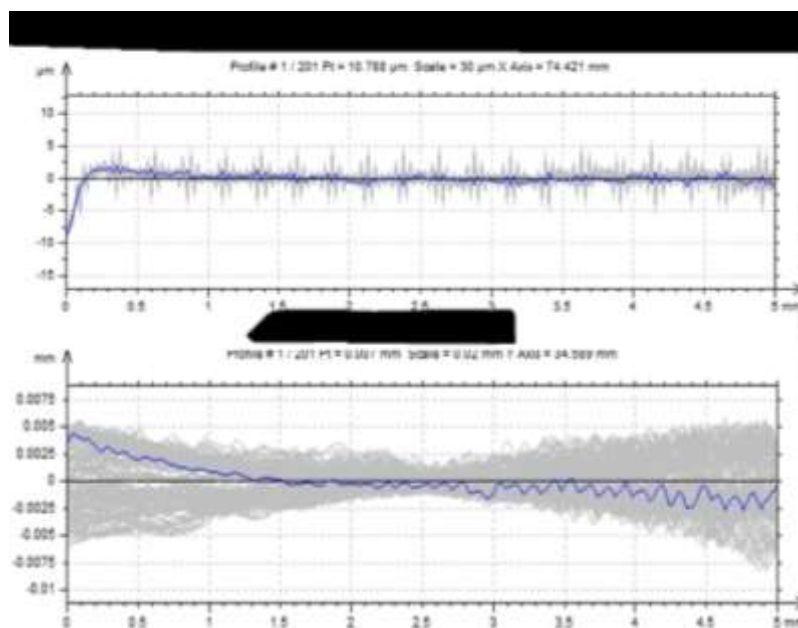
Graf 19: Řezy v osách Y a X – vzorek A2



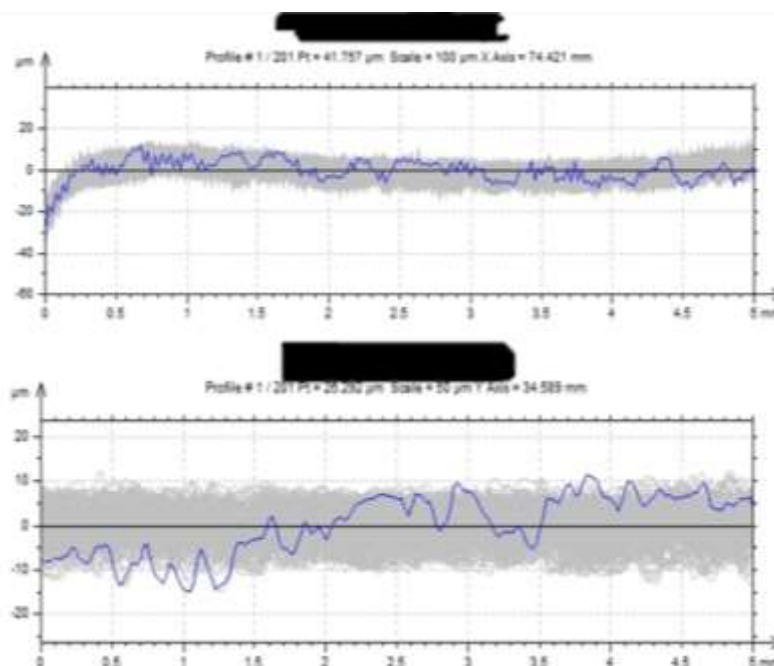
Graf 20: Řezy v osách Y a X – vzorek A1



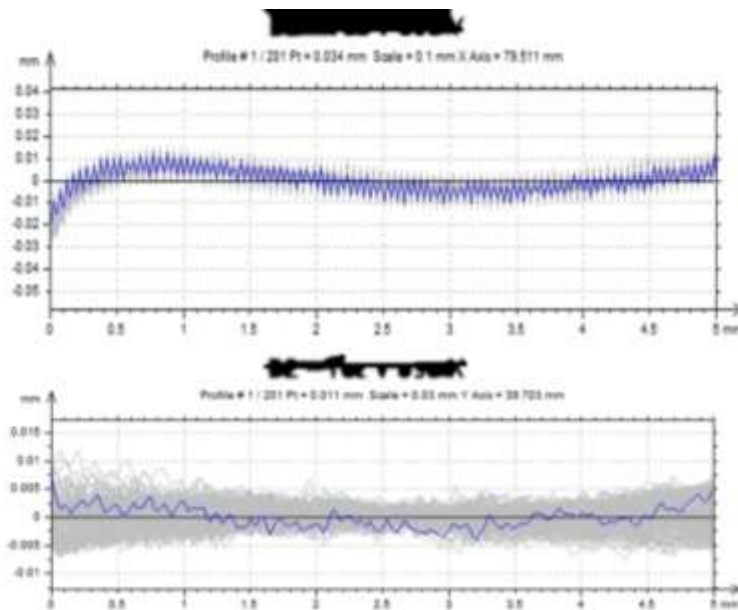
Graf 21: Řezy v osách X a Y – vzorek B5



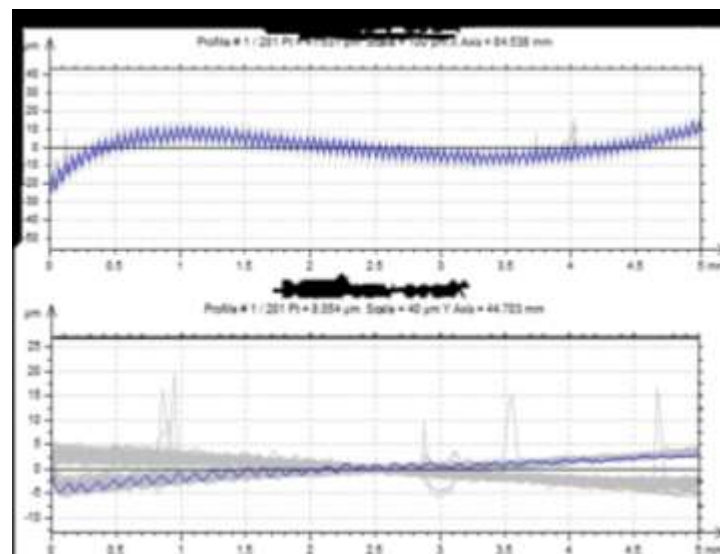
Graf 22: Řezy v osách X a Y – vzorek B4



Graf 23: Řezy v osách X a Y – vzorek B3



Graf 24: Řezy v osách X a Y – vzorek B2



Graf 25: Řezy v osách X a Y – vzorek B1

Pátý krok je generování hodnot drsnosti R_z , R_a . Pomocí firemního softwaru Talymap 5.1, který je přímo určený k vyhodnocování výsledků pro měřicí zařízení je snadné vygenerovat data potřebná pro statistické vyhodnocení výběrového souboru. Potřebná data jsou vždy ve dvojicích vztahujících se k osám X a Y pro všechny vzorky. Vzhledem k rozsahu dat uvádím pouze vzorovou část tabulky pro vzorek A5. Všechna data budou uvedena v příloze. Data jsou opět vztažena k řezům obou sad a k nim náležejícím osám X a Y.

Tabulka 5: Ilustrační tabulka hodnot drsnosti

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	µm	0.503	0.174	0.255	1.052
Rv	µm	0.489	0.204	0.237	1.124
Rz	µm	0.992	0.363	0.524	2.028
Rc	µm	0.644	0.253	0.329	1.424
Rt	µm	1.5	0.624	0.684	3.701
Ra	µm	0.195	0.07	0.105	0.433
Rq	µm	0.246	0.09	0.129	0.51
Rsk		0.185	0.698	-1.523	4.062
Rku		4.79	3.949	2.313	34.491
Material Ratio parameters - Roughness profile					
Rmr	%	74.882	31.838	0.592	100
Rdc	µm	0.4	0.143	0.197	0.894

ISO 4287					
		Mean	Std dev	Min	Max
Amplitude parameters - Roughness profile					
Rp	µm	0.781	0.105	0.572	1.148
Rv	µm	0.693	0.073	0.513	0.869
Rz	µm	1.475	0.141	1.119	1.881
Rc	µm	0.925	0.101	0.687	1.224
Rt	µm	2.375	0.308	1.68	3.551
Ra	µm	0.341	0.016	0.302	0.391
Rq	µm	0.414	0.019	0.37	0.476
Rsk		0.443	0.249	-0.071	1.389
Rku		3.765	0.814	2.519	7.233
Material Ratio parameters - Roughness profile					
Rmr	%	22.195	13.75	0.592	62.722
Rdc	µm	0.723	0.05	0.598	0.919

3.5 Vybrané parametry vzájemně porovnejte a nalezněte korelaci

Postup při vyhodnocování jednotlivých vzorků:

Data jsem pro účely aplikace Minitab naimportoval z aplikace Talymap 5.1 do Excelu, kde jsem upravil formát. Každému vzorku jsem vytvořil kódy dat, aby byly dobře identifikovatelné podle daného klíče. Kód má například tvar **XXYY/Z kde:**

- XX = označení vzorku
- YY = drsnost (Rz, Ra nebo Rt)
- /Z = osa (X nebo Y)

Obdobně je aplikován postup u všech dalších vzorků.

Příklad: Vzorek A1 je vyhodnocen na drsnost povrchu Rz v řezu osy Y.

Potom je kód  A1Rz/Y

3.6 Vyhodnocení

Výběrový soubor 1: (n_1 členů), který bude vybrán ze základního souboru μ_1 a σ_1^2 .

Výběrový soubor 2: (n_2 členů), který bude vybrán ze základního souboru μ_2 a σ_2^2 .

Vždy budu mít dva výběrové soubory, které budu mezi sebou porovnávat. Tyto soubory náleží vzorkům, na kterých bylo prováděno měření.

Jejich značení je:

- A1Rz/X až A5Rz/X
- B1Rz/X až B5Rz/X
- A1Ra/Y až A5Ra/Y
- B1Ra/Y až B5Ra/Y

Soubory, které budu mezi sebou porovnávat:

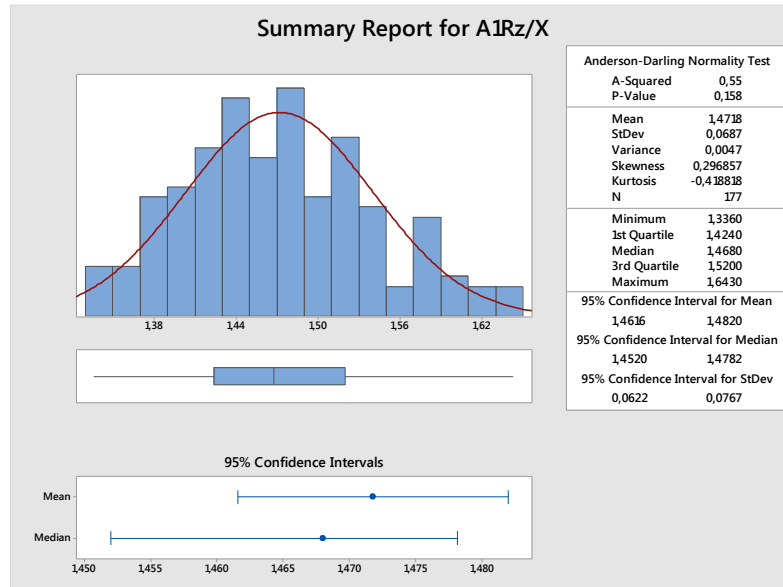
- A1Rz/X vs B1Rz/X až A5Rz/X vs B5Rz/X
- A1Rz/Y vs B1Rz/Y až A5Rz/Y vs B5Rz/Y
- A1Ra/X vs B1Ra/X až A5Ra/X vs B5Ra/X
- A1Ra/Y vs B1Ra/Y až A5Ra/Y vs B5Ra/Y

Pomocí aplikace Minitab budu postupovat podle následujících bodů:

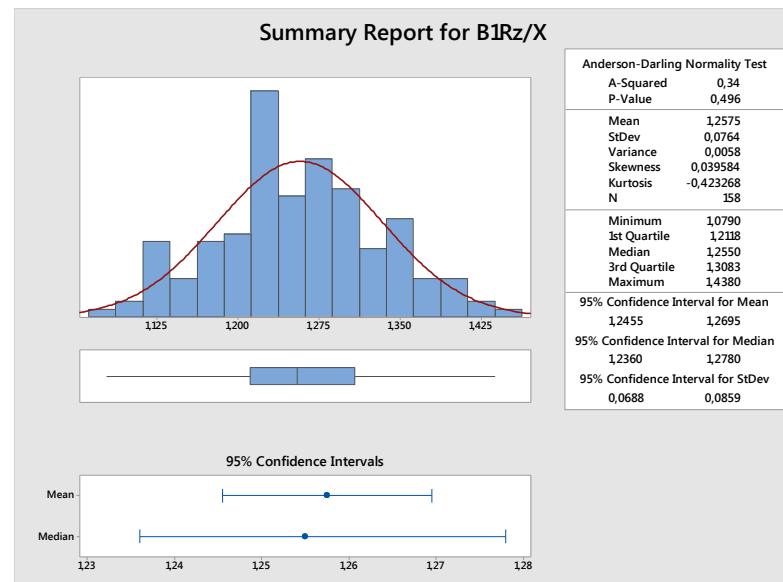
1. Pomocí funkcí: *Stat – Basic Statistics – Graphical Summary* provedu kontrolu normálního Gaussova rozdělení pro oba vybrané soubory. Předpoklad je, že soubory pochází z populace s Gaussovým rozdělením a pokud ne, bude upraveno zpracování v aplikaci Minitab pro soubory s nerovnoměrným rozdělením, při kterých bude pro stanovení závěru použit Bonetův test.
2. Pomocí funkcí: *Graph – Boxplot* provedu kontrolu výběrového souboru.
3. Nastavení hladiny významnosti $\rightarrow \alpha = 0,05$
4. Pomocí funkcí: *Stat – Basic Statistics – 2 Variances* provedu **F – test**.
Pomocí F testu určím, zda se projeví pokusný zásah na proměnlivosti rozptylů (σ^2) zkoumané náhodné veličiny v populaci. Budu testovat nulovou hypotézu $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$, díky které budu moci porovnat data dvou výběrových souborů.
Je třeba definovat možné závěry:
 - Jeli $F > F_{krit}$ - (P - value $< 0,05$), pak zamítám nulovou hypotézu o rovnosti rozptylů. Rozptyly obou porovnávaných souborů se statisticky významně liší \rightarrow výběry pocházejí ze dvou různých základních souborů s rozdílnými rozptyly σ_1^2 a σ_2^2 .
 - Jeli $F < F_{krit}$ - (P - value $> 0,05$), pak hypotézu $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ nezamítám. Závěr bude, že rozptyly obou souborů se statisticky významně neliší \rightarrow výběry pocházejí ze stejného výběrového souboru.
5. Pomocí funkcí: *Stat – Basic Statistics - 2 Sample T* provedu T-test, kterým budu testovat opět tytéž soubory ve stejných dvojicích jako u F testu. Cílem je testovat rozdíly středních hodnot výběrových souborů. Budu testovat nulovou hypotézu $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$, díky které budu moci porovnat data dvou výběrových souborů.
6. Je třeba definovat možné závěry o zamítnutí hypotézy nulové H_0 :
 - Jeli $|T| > t_{\frac{\alpha}{2}}$, pak je pravděpodobnost omylu menší než 5 % ($P < 0,05$), zamítáme H_0 , protože platí H_A
 - Jeli $|T| < t_{\frac{\alpha}{2}}$, pak je pravděpodobnost omylu, když zamítneme hypotézu nulovou je větší, než 5 % ($P > 0,05$).
 - \bar{x}_1 je větší než \bar{x}_2 \rightarrow volím $\mu_1 > \mu_2$,

- \bar{x}_1 je menší než \bar{x}_2 -> volím $\mu_1 < \mu_2$,
 - \bar{x}_1 je podobné \bar{x}_2 -> volím $\mu_1 \neq \mu_2$.
7. Stanovím závěr, který zanesu do tabulky hodnot pro přehlednost.

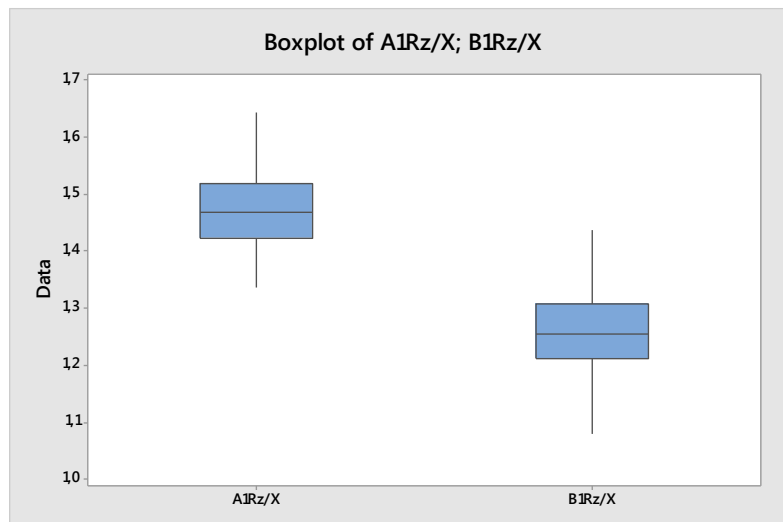
3.7 Vzorek A1Rz/X a B1Rz/X



Graf 26: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku A1Rz/X

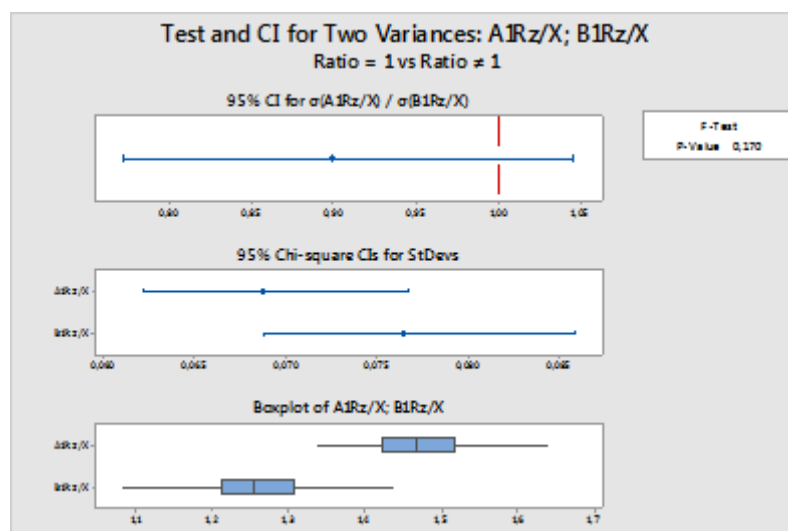


Graf 27: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku B1Rz/X



Graf 28: Boxplot porovnávaných vzorků

F Test



(P- value = 0,170) > ($\alpha = 0,05$), nezamítám H_0 , tvrdím, že rozptyly se statisticky významně neliší.

T test

	N	Mean	StDev	SE Mean
A1Rz/X	177	1,4718	0,0687	0,0052
B1Rz/X	158	1,2575	0,0764	0,0061

Difference = μ (A1Rz/X) - μ (B1Rz/X)

Estimate for difference: 0,21425

95% CI for difference: (0,19865; 0,22985)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 27,01 P-Value = 0,000 DF = 333

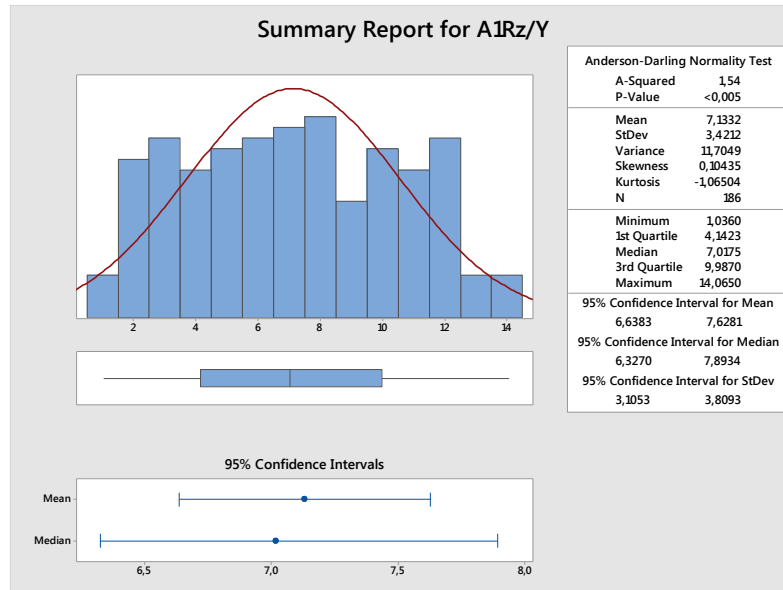
Both use Pooled StDev = 0,0725

Závěr:

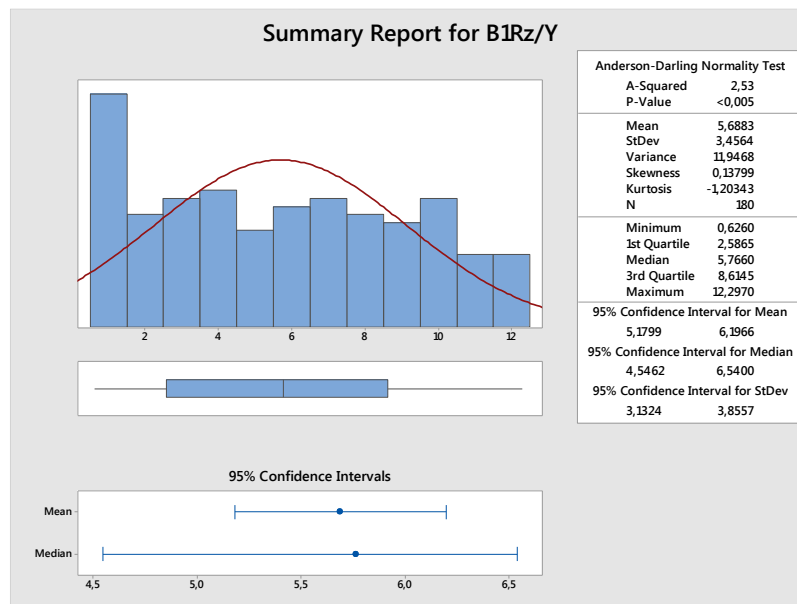
P-value = 0,000 < α (0,05)

Díl A1Rz/X se od dílu B1Rz/X na vzorku 1 ve směru X z hlediska Rz liši statisticky významně, díly mají rozdílné Rz v ose Y.

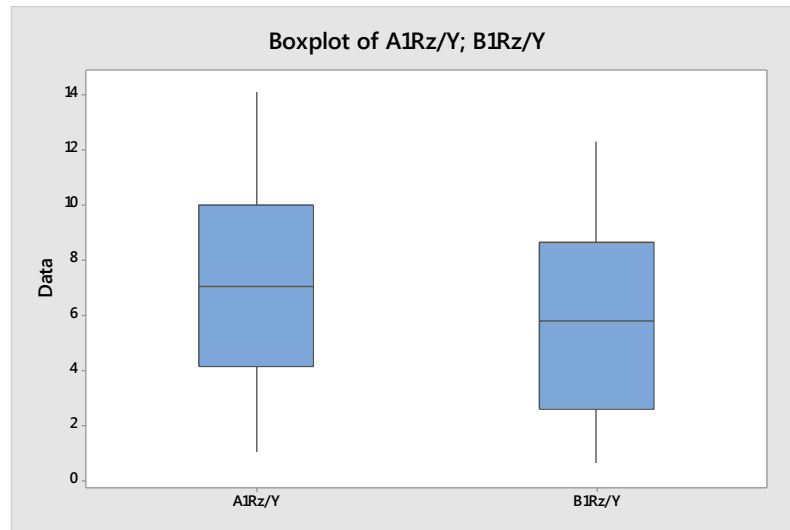
3.8 Vzorek A1Rz/Y a B1Rz/Y



Graf 29: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku A1Rz/Y

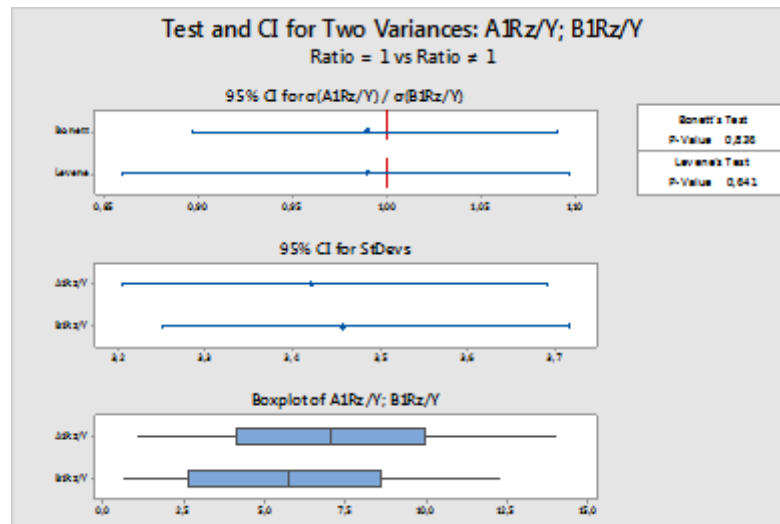


Graf 30: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku B1Rz/Y



Graf 31: Boxplot vzorků A1Rz/y a B1Rz/y

F-test



Graf 32: T test vzorků A1Rz/y a B1Rz/y

Hodnocení dvojice vzorků A1Rz/Y a B1Rz/Y

(P - value = 0,836) > (α = 0,05), nezamítám H0, tvrdím, že rozptyly se statisticky významně neliší.

T-test

	N	Mean	StDev	SE Mean
A1Rz/Y	186	7,13	3,42	0,25
B1Rz/Y	180	5,69	3,46	0,26

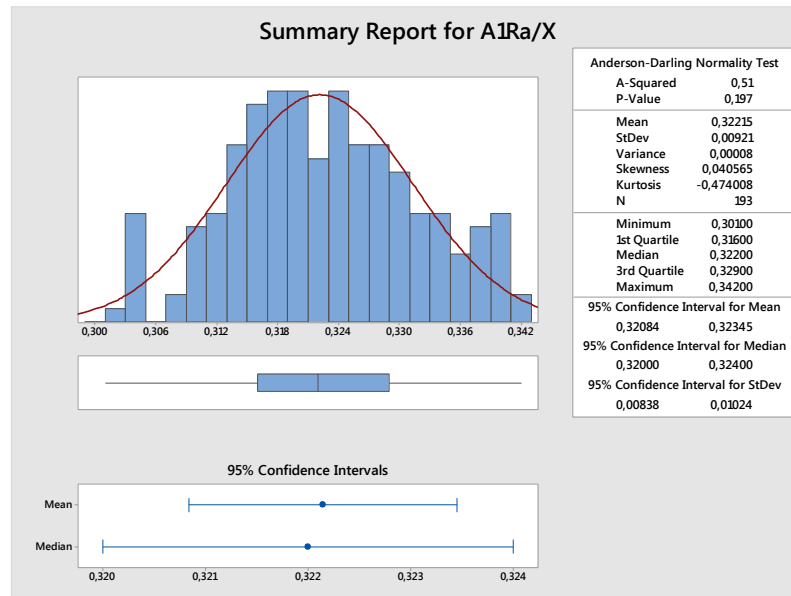
Difference = μ (A1Rz/Y) - μ (B1Rz/Y)
 Estimate for difference: 1,445
 95% CI for difference: (0,738; 2,152)
 T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = 4,02 **P-Value = 0,000** DF = 364
 Both use Pooled StDev = 3,4386

P-value = 0,000 < α (0,05)

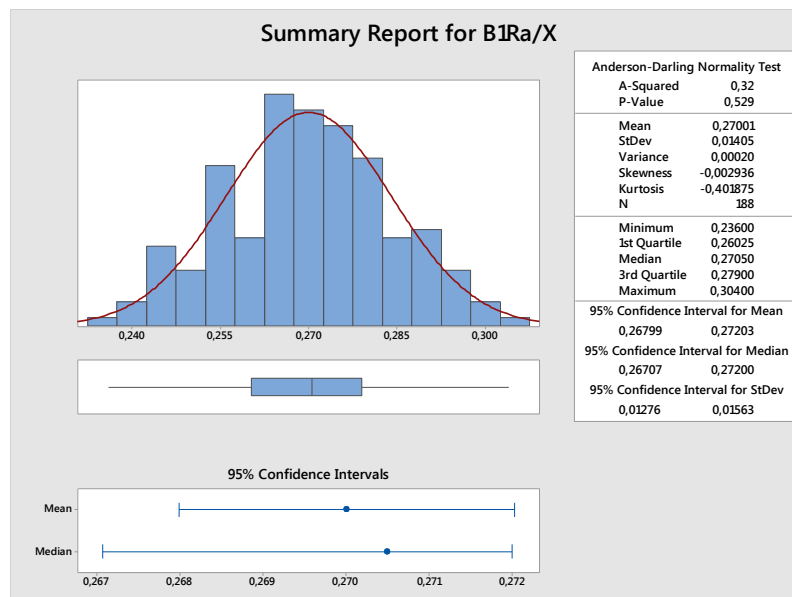
Závěr:

Díl A1Rz/Y se od dílu B1Rz/Y na vzorku 1 ve směru Y z hlediska Rz liší statisticky významně, díly mají rozdílné Rz v ose Y.

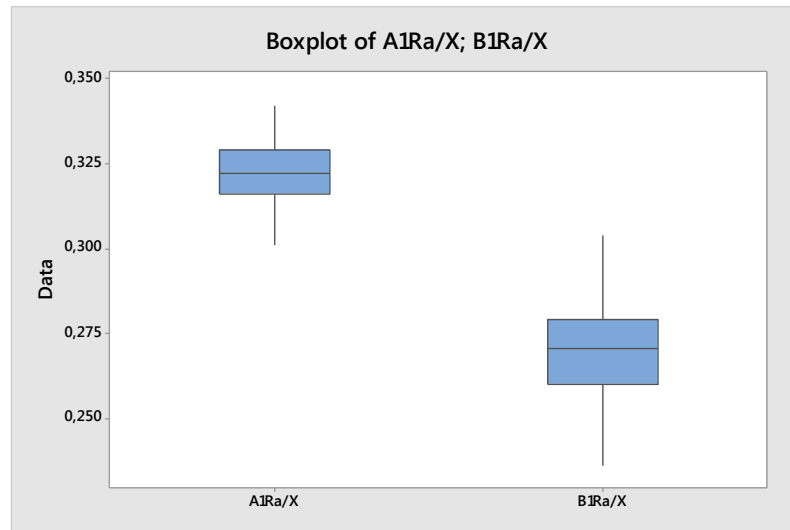
3.9 Vzorek A1Ra/X a B1Ra/X



Graf 33: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku A1Ra/X

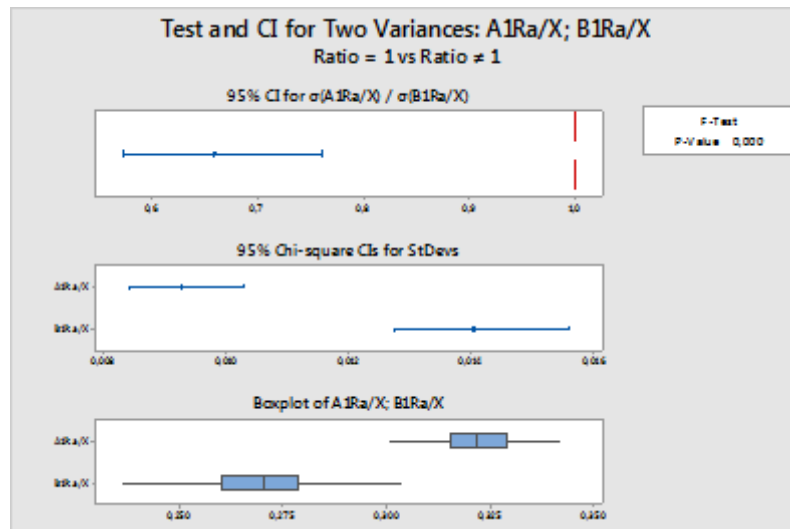


Graf 34: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku B1Ra/X



Graf 35.: Boxplot vzorků A1Ra/X a B1Ra/X

F-test



Graf 36: F – test A1Ra/X a B1Ra/X

Závěr:

(P - value = 0,000) > (α = 0,05), zamítám H0 ve prospěch HA a tvrdím, že rozptyly A1Ra/X a B1Ra/X se statisticky významně liší.

T-test

	N	Mean	StDev	SE Mean
A1Ra/X	194	0,32223	0,00927	0,00067
B1Ra/X	188	0,2700	0,0140	0,0010

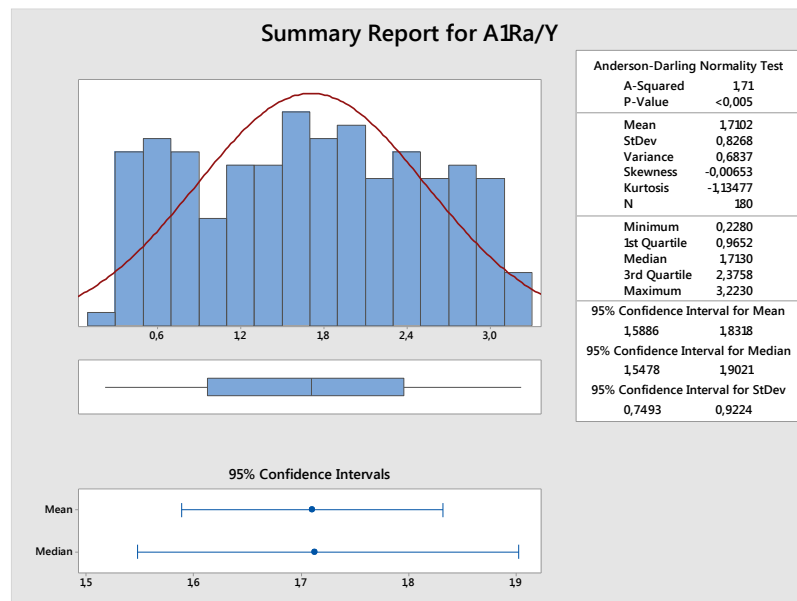
Difference = μ (A1Ra/X) - μ (B1Ra/X)
 Estimate for difference: 0,05222
 95% CI for difference: (0,04983; 0,05461)
 T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 43,02 **P-Value = 0,000** DF = 380
 Both use Pooled StDev = 0,0119

Závěr:

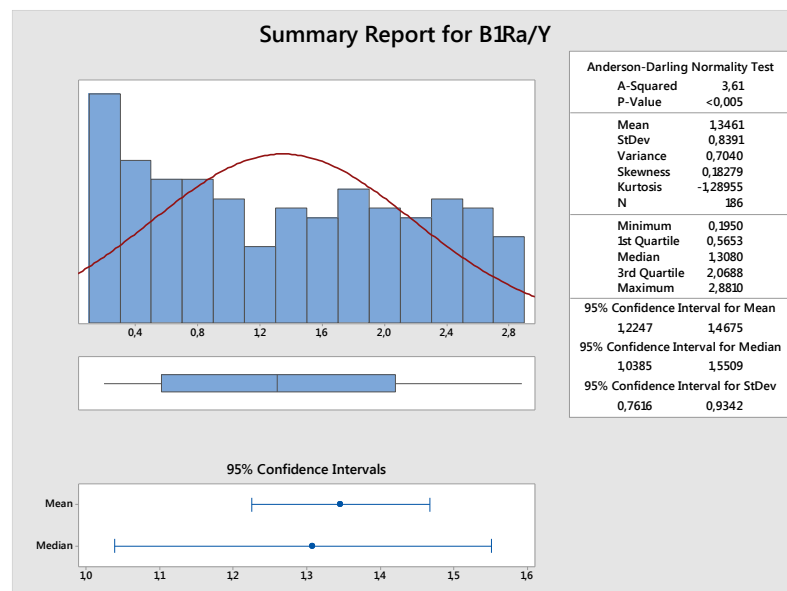
(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)

Díl A1Ra/X se od dílu B1Ra/X na vzorku 1 ve směru osy X z hlediska Ra liši statisticky významně, díly mají rozdílné Ra v ose x.

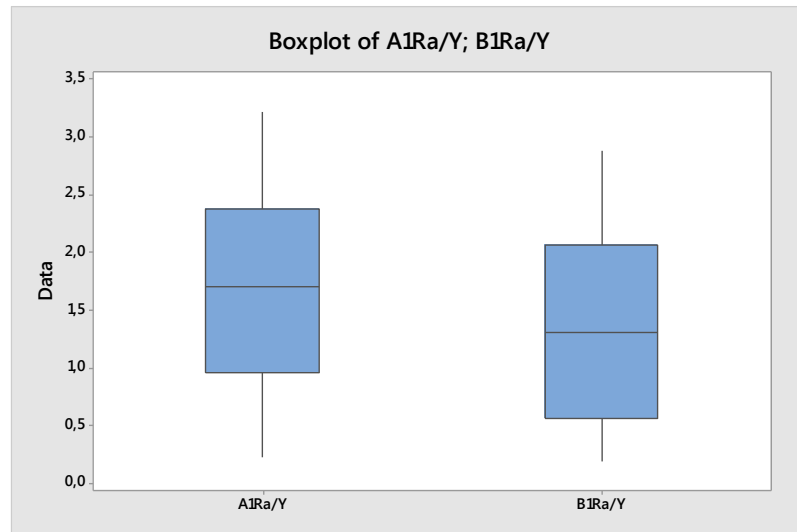
Vzorek A1Ra/Y a B1Ra/Y



Graf 37: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku A1Ra/Y

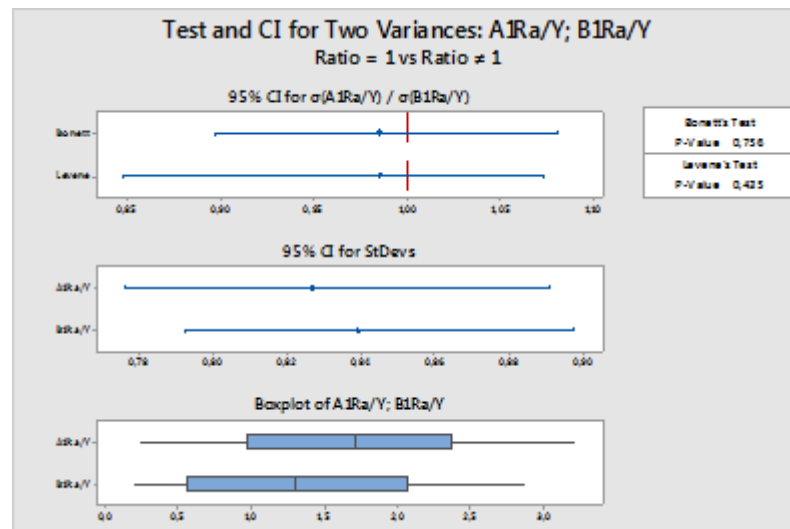


Graf 38: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku B1Ra/Y



Graf 39: Boxplot vzorků A1Ra/Y a B1Ra/Y

F test



Závěr:

(P - value = 0,756) > ($\alpha = 0,05$), nezamítám H_0 , tvrdím, že rozptyly se statisticky významně neliší.

T-test

	N	Mean	StDev	SE Mean
A1Ra/Y	180	1,710	0,827	0,062
B1Ra/Y	186	1,346	0,839	0,062

Difference = μ (A1Ra/Y) - μ (B1Ra/Y)

Estimate for difference: 0,3641

95% CI for difference: (0,1928; 0,5353)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 4,18 **P-Value = 0,000** DF = 363

Závěr:

P-value = 0,000 < α (0,05)

Díl A1Ra/Y se od dílu B1Ra/Y na vzorku 1 ve směru Y z hlediska Ra liši statisticky významně, díly mají rozdílné R_z v ose Y.

I když bylo prokázáno, že se rozptyly významně nelišily, bylo prokázáno, že se lišily významně aritmetické průměry.

Shrnutí:

Obdobně, jako byly posouzeny vzorky sady A1 a B1 byly posouzeny i všechny ostatní sady (A2, A3, A4, A5, B2, B3, B4, B5) z nichž byl vytvořen konečný závěr.

Tyto grafy a jejich vyhodnocení jsou uvedeny v příloze DP.

3.10 Finální vyhodnocení měření a hypotéz

Tabulka 6: Vyhodnocení obou dílů



Sada A	Číslo vzorku	F test		T test		Číslo vzorku	Sada B
		Zamítám H0	Nezamítám H0	Zamítám H0	Nezamítám H0		
ARz/X	1		(P - value = 0,170) > ($\alpha = 0,05$)	P-value = 0,000 < α (0,05)		1	BRz/X
ARz/Y	1		(P - value = 0,836) > ($\alpha = 0,05$)	P-value = 0,000 < α (0,05)		1	BRz/Y
ARa/X	1	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		1	BRa/X
ARa/Y	1		(P - value = 0,756) > ($\alpha = 0,05$)	P-value = 0,000 < α (0,05)		1	BRa/y
ARz/X	2		(P - value = 0,355) > ($\alpha = 0,05$)	P-value = 0,000 < α (0,05)		2	BRz/X
ARz/Y	2	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		2	BRz/Y
ARa/X	2	(P - value = 0,001) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		2	BRa/X
ARa/Y	2	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		2	BRa/y
ARz/X	3	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		3	BRz/X
ARz/Y	3	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		3	BRz/Y
ARa/X	3	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		3	BRa/X
ARa/Y	3	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		3	BRa/y
ARz/X	4	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		4	BRz/X
ARz/Y	4	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		4	BRz/Y
ARa/X	4	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		4	BRa/X
ARa/Y	4	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		4	BRa/y
ARz/X	5	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		5	BRz/X
ARz/Y	5	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		5	BRz/Y
ARa/X	5	(P - value = 0,002) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		5	BRa/X
ARa/Y	5	(P - value = 0,000) < ($\alpha = 0,05$)		P-value = 0,000 < α (0,05)		5	BRa/y

ZÁVĚR

Teoretická část diplomové práce se zaměřuje na hodnocení povrchů materiálu z hlediska norem, požadavků a způsobů měření a hodnocení. V této části jsou popsány způsoby hodnocení a výpočtů pomocí statistických metod jako je korelace, lineární regrese, hypotézy a podobně.

V praktické části jsem se zaměřil na hodnocení jakosti povrchu vnitřní části světlometů pro osobní automobily. Tyto díly byly vyrobeny vstřikováním polymeru PC Makrolon 1260 a plochy obsahovaly 3 různé povrchy. Povrch „surový“ který je odrazem kvality zpracování dutiny formy, povrch leštěný a povrch leptaný, odrážející kvalitu dokončovacích operací. Pro vyhodnocení kvality jsem ve své diplomové práci použil metodologii hypotéz, konkrétně hypotézy nulové a hypotézy alternativní, s cílem prozkoumat dva „stejně“ díly světlometů pro osobní automobily. Závěr mělo být tvrzení o shodnosti či neshodnosti obou porovnávaných dílů z hlediska drsnosti R_a a R_z . Tyto díly jsem podrobil šetření a hypotézám (H_0 a H_A) a dospěl jsem k závěrům, že ačkoli v několika málo případech jsou díly shodné z hlediska rozptylů, ani v jednom z případů se díly neshodovaly z hlediska středních hodnot drsnosti R_a a R_z . Závěr je, že oba dva světlometry se od sebe navzájem z hlediska R_a a R_z liší statisticky významně a mají rozdílné R_a a R_z ve zkoumaných osách X a Y. Toto tvrzení je podloženo tabulkou č. 6, ve které jsou všechny hodnoty a závěry znázorněny.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Elektronické zdroje

- [1] Doc. Ing. Bumbálek L. PhD - Prof. Ing. Bumbálek B. CSc., Pokrokové trendy v hodnocení textury povrchu. Databáze online [20. 1. 2012]. [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/44_Bumbalek_VUTBR.pdf
- [2] Ing. Kraus V. CSc., Povrchy a jejich úpravy. [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [3] Vliv parametrů na teoretickou a skutečnou drsnost povrchu. [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_13.pdf
- [4] Portál strojárskéj metrológie. [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/smetrologia/lm3.html>
- [5] Hrbáček P., Problematika bezkontaktního měření drsnosti pomocí konfokálního mikroskopu. [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/download/drsnost.pdf>
- [6] Struktura povrchu. [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <https://akela.mendelu.cz/~xmichali/TEPR/a/5P.pdf>
- [7] Měření drsnosti povrchu. [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: http://www.mitu-toyo-czech.cz/cz/pdf/poster_drsnosti_ra_cze_a3.pdf
- [8] Zatloukal P., Laserové dělení materiálu. [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/deleni.htm>
- [9] Trendy měření [Kód článku: 080605 Vyšlo v MM: 2008 / 6, 11. 06. 2008 v rubrice Trendy / Měření,], *MM: Trendy/Měření* [online]. 2008, **2008** [cit. 2017-04-19].
- [10] VŠB-TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky Katedra elektrických strojů a přístrojů – KAT 453, Petr Šňupárek, Martin Marek [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: http://fe1.vsb.cz/kat410/www453/soubory/texty/ucebni_texty/td/01-textyVSB/005_Drsnost%20povrchu.pdf
- [11] Testování statistických hypotéz [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2336626/>
- [12] Multimediální pomůcky na VFU — [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/ANOVA.htm>, [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://cit.vfu.cz/stat/fvl/teorie/predn5/linearni.htm>
- [13] PROSTOROVÉ MERENÍ A HODNOCENÍ TEXTURY POVRCHU PŘÍSTROJI TAYLOR HOBSON Ltd., Ing. Zdenek Novák, IMECO TH, [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: http://www.gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2_Novak_3D_mereni_textury.pdf
- [14] ČSN EN ISO 4287 [online]. [cit. 2017-04-19].
- [15] Testování statistických hypotéz [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Testování_statistických_hypotéz.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Vx	variační koeficient [%]
CVD	chemické metody nanášení [-]
dZ/dX	místní sklon [-]
fn	posuv na otáčku [mm. ot-1]
i	počet členů souboru [-]
lp,lr,lw	základní délka [mm]
ln	vyhodnocovaná délka [mm]
MI(c)	materiálová délka profile na úrovni c [-]
PVD	povlaky nanášené za relativně nízkých teplot [-]
R	variační rozpětí [μm]
Ra	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profile [μm]
Rp	největší výška výstupku profilu [μm]
Rt	celková výška profilu [μm]
Rv	nejvyšší prohlubeň profile na základní délce profile [μm]
Rsk	šikmost posuzovaného profilu [μm]
Rku	špičatost posuzovaného profilu [μm]
Rz	největší výška profilu [μm]
s	směrodatná odchylka [μm]
ua	nejistota měření typu A [μm]
VBD	vyměnitelná břitová destička [-]
Xmin	minimální hodnota výběrového souboru [μm]
Xmax	maximální hodnota výběrového souboru [μm]
xs	šířka prvku profilu [μm]
resp.	respektive [-]
tj.	to je [-]
např.	na příklad [-]
DFT	diskrétní Fourierova transformace [-]
f(t)	funkce [-]
A/D	analogovo-digitální [-]
D	rozdíl [-]
F intg.	Fourierův integrál [-]
Hz	Hertz [-]
N	Počet [ks]
π	matematická konstanta [-]
ω	uhlová rychlost [rad/s]
t	čas [s]
T	Perioda [s]
λ	vlnová délka [m]
Σ	suma (součet) [-]
\int	integrál [-]
FT	Fourierova transformace [-]
Exp	exponent [-]
t [s]	Perioda
IDFT	Inverzní diskretní Fourierova transformace [-]

xx G	výkonné spektrum [-]
IFS	Iteration function system [-]
TEA	Time Escape algorithms [-]
D	Dimenze [-]
Dp	Pokrývací dimenze [-]
ANOVA	Analysis of variance [-]
H	hypotéza [-]
σ	odchylka [-]
F	funkce [-]
i x	výběrový průměr [-]
S	výběrový rozptyl [-]
P	poměr korelace [-]
NA	numerická apertura [-]
CLI	command line interface [-]
CLA	Chromatic Length Aberration [-]
CCD	Charge-coupled device [-]
IQR	inter kvartilové rozpětí [-]
FFT	Fast Fourier Transformiom [-]
PC	Personal Computer [-]
CD	Compact Disc [-]
P	Parametr vypočítaný ze základního souboru [μm]
R	Parametr vypočítaný z profilu drsnosti [μm]
W	Parametr vypočítaný z profilu vlnitosti [μm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Klasifikace povrchů [1].....	13
Obrázek 2: Vzorkovnice drsnosti	14
Obrázek 3: Základní pohled na drsnost povrchu	15
Obrázek 4: znázornění parametru Ra.....	15
Obrázek 5: Způsob hodnocení povrchu dle Rz.....	16
Obrázek 6: Způsob hodnocení povrchu dle Rz DIN.....	16
Obrázek 7: Systém CCI zajišťuje kompletní automatickou kontrolu sériové výroby	17
Obrázek 8: Přenosová charakteristika profilu drsnosti a vlnitosti [14]	18
Obrázek 9: Profil povrchu.....	18
Obrázek 10: Prvek profilu [14].....	19
Obrázek 11: Místní sklon [14].....	20
Obrázek 12: Empirická křivka pro korelační vztah [12]	21
Obrázek 13: Regresní koeficient k určuje sklon přímky [12].....	22
Obrázek 14: Regresní koeficient q určuje průsečík přímky s osou y [12].....	22
Obrázek 15: Sestrojení teoretické regresní přímky.....	23
Obrázek 16: Bodové diagramy pro korelaci s různou hodnotou “r”	24
Obrázek 17: Testování hypotéz	28
Obrázek 18: Grafické znázornění chyby II. druhu pro konkrétní alternativu [11]	29
Obrázek 19: Materiál a parametry vstřikování dílů	35
Obrázek 20: Model hodnoceného dílu.....	36
Obrázek 21: Grainované části.....	36
Obrázek 22: Díly určené k vyhodnocení a porovnání pomocí hypotéz.....	37
Obrázek 23: Značení dílů.....	37
Obrázek 24: Příprava vzorků na měření – dělení na jednotlivé části	38
Obrázek 25: Výběr ploch k jednotlivým měření – díl A	38
Obrázek 26: Výběr ploch k jednotlivým měření – díl B.....	39
Obrázek 27: Jednotlivé vzorky připravené k měření	39
Obrázek 28: Určení souřadnicového systému	40
Obrázek 29: Mikroskop – snímání povrchu	40
Obrázek 30: Použité měřidlo Talysurf CLI 500	41
Obrázek 31: Nastavení měřicího zařízení	42
Obrázek 32: Průběh měření	43
Obrázek 33: Povrch vzorků pod mikroskopem 200 x zvětšeno	44

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozdělení oblastí povrchu	12
Tabulka 2: Chyby při testování hypotéz	28
Tabulka 3: Technická specifikace přístroje	42
Tabulka 4: Popis povrchu vzorků	44
Tabulka 5: Ilustrační tabulka hodnot drsnosti.....	56
Tabulka 6: Vyhodnocení obou dílů	66

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Ilustrační graf studentova rozdělení [12].....	30
Graf 2: ilustrační graf Fischerova rozdělení [12].....	33
Graf 3: Nasnímané povrchy dílů.....	44
Graf 4: Odstranění tvaru (zůstává vlnitost a drsnost)	45
Graf 5: Odstranění vlnitosti (zůstává drsnost) - Software Talymap 5.1	45
Graf 6: Vzorek drsnosti A5 ve 3D	46
Graf 7: Vzorek drsnosti B5 ve 3D	46
Graf 8: Vzorek drsnosti A4 ve 3D	47
Graf 9: Vzorek drsnosti B4 ve 3D	47
Graf 10: Vzorek drsnosti A3 ve 3D	48
Graf 11: Vzorek drsnosti B3 ve 3D	48
Graf 12: Vzorek drsnosti A2 ve 3D	49
Graf 13: Vzorek drsnosti B2 ve 3D	49
Graf 14: Vzorek drsnosti A1 ve 3D	50
Graf 15: Vzorek drsnosti B1 ve 3D	50
Graf 16: Řezy v osách X a Y – vzorek A5	51
Graf 17: Řezy v osách X a Y – vzorek A4	51
Graf 18: Řezy v osách Y a X – vzorek A3	52
Graf 19: Řezy v osách Y a X – vzorek A2	52
Graf 20: Řezy v osách Y a X – vzorek A1	53
Graf 21: Řezy v osách X a Y – vzorek B5.....	53
Graf 22: Řezy v osách X a Y – vzorek B4.....	54
Graf 23: Řezy v osách X a Y – vzorek B3.....	54
Graf 24: Řezy v osách X a Y – vzorek B2.....	55
Graf 25: Řezy v osách X a Y – vzorek B1.....	55
Graf 26: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku A1RZ/X	58
Graf 27: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku B1RZ/X	58
Graf 28: Boxplot porovnávaných vzorků	59
Graf 29: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku A1Rz/Y.....	60
Graf 30: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku B1Rz/Y.....	60
Graf 31: Boxplot vzorků A1Rz/y a B1Ry/Y	61
Graf 32: T test vzorků A1Rz/y a B1Rz/Y.....	61
Graf 33: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku A1Ra/X.....	62
Graf 34: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku B1Ra/X.....	62
Graf 35.: Boxplot vzorků A1Ra/X a B1Ra/X.....	63
Graf 36: F – test A1Ra/X a B1Ra/X.....	63
Graf 37: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku A1Ra/Y.....	64
Graf 38: Kontrola normálního Gaussova rozdělení ve vzorku B1Ra/Y.....	64
Graf 39: Boxplot vzorků A1Ra/Y a B1Ra/Y.....	65

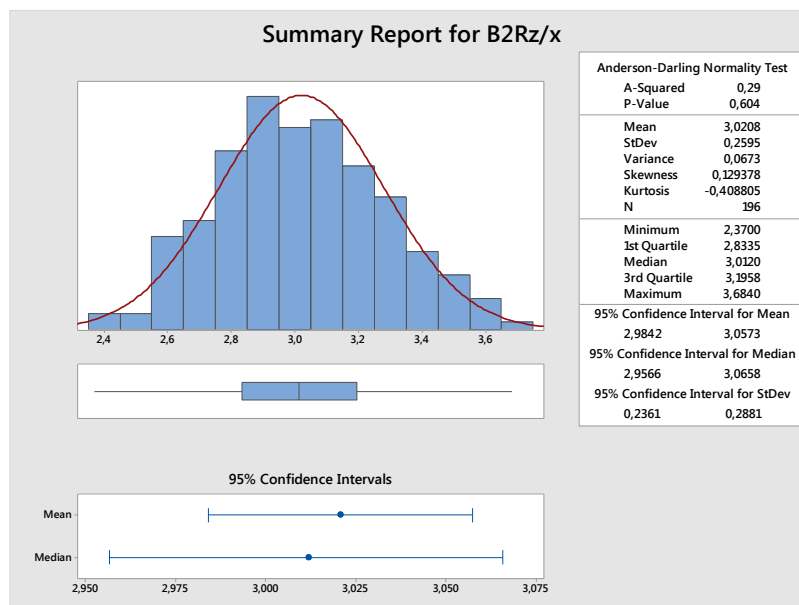
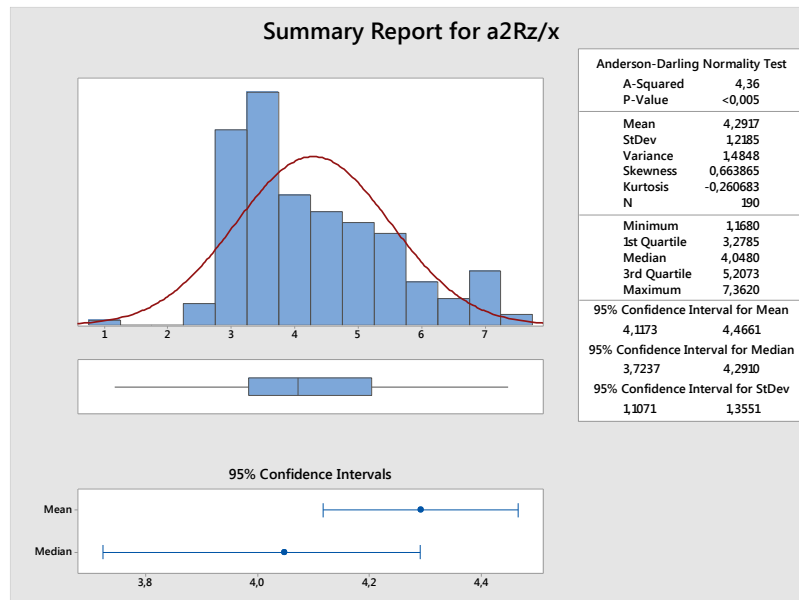
SEZNAM PŘÍLOH

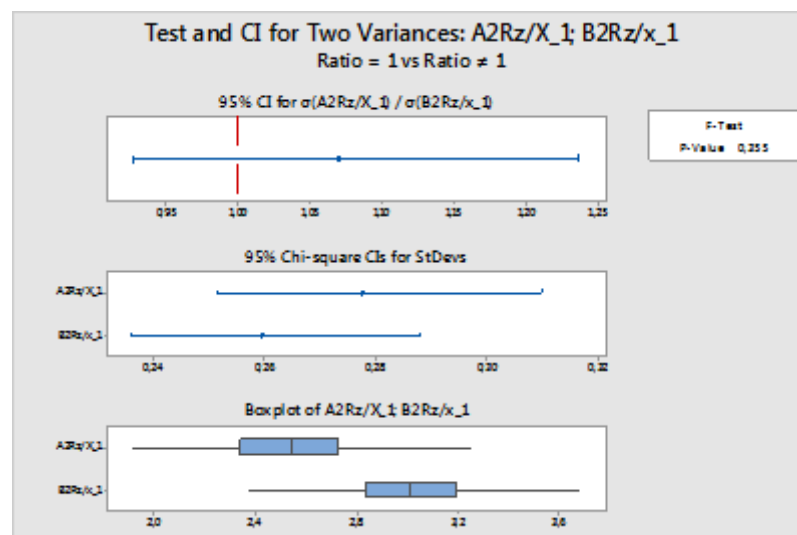
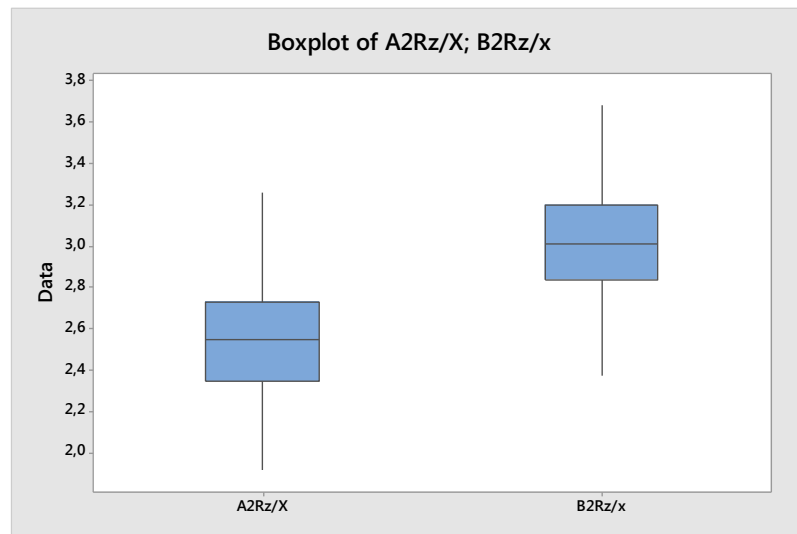
PŘÍLOHA P I: Vyhodnocení všech sad vzorků dílů

PŘÍLOHA P I: VYHODNOCENÍ VŠECH SAD VZORKŮ DÍLŮ

Sada A2 a B2

Vzorek A2Rz/X vs B2Rz/X





Two-sample T for A2Rz/X vs B2Rz/X

	N	Mean	StDev	SE Mean
A2Rz/X_1	178	2,542	0,278	0,021
B2Rz/x_1	196	3,021	0,260	0,019

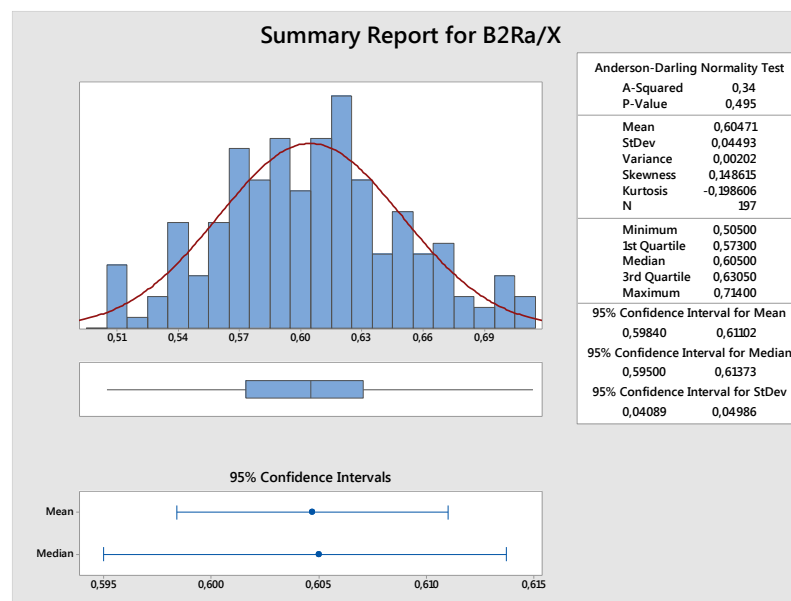
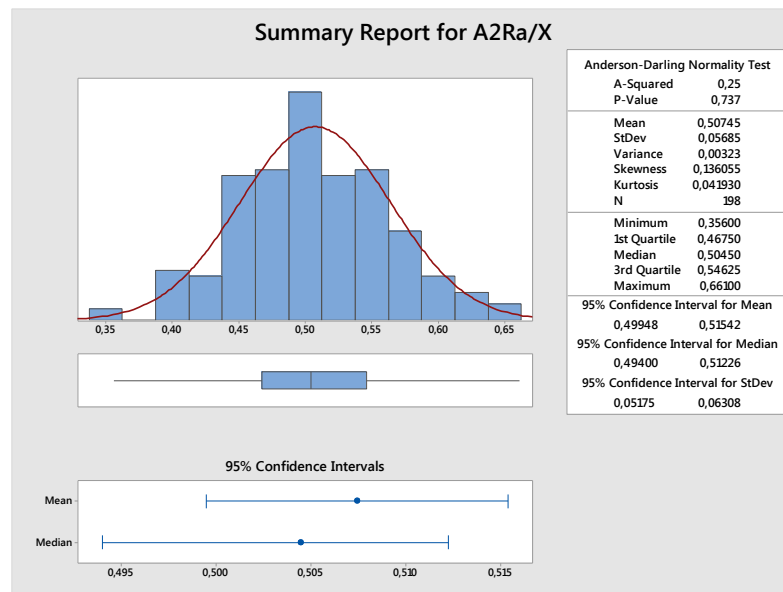
Difference = μ (A2Rz/X_1) - μ (B2Rz/x_1)

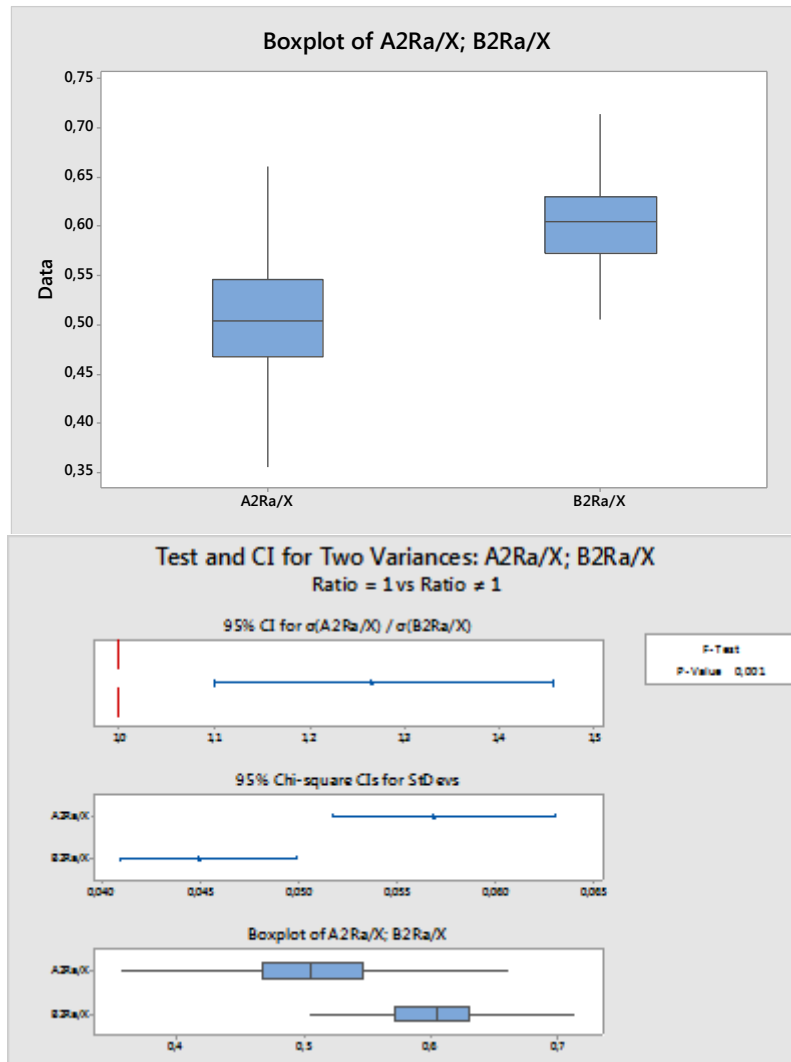
Estimate for difference: -0,4788

95% CI for difference: (-0,5336; -0,4240)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -17,18 **P-Value = 0,000** DF = 362

Vzorek A2Ra/X a B2Ra/X





Two-sample T for A2Ra/X vs B2Ra/X

	N	Mean	StDev	SE Mean
A2Ra/X	198	0,5074	0,0568	0,0040
B2Ra/X	197	0,6047	0,0449	0,0032

Difference = μ (A2Ra/X) - μ (B2Ra/X)

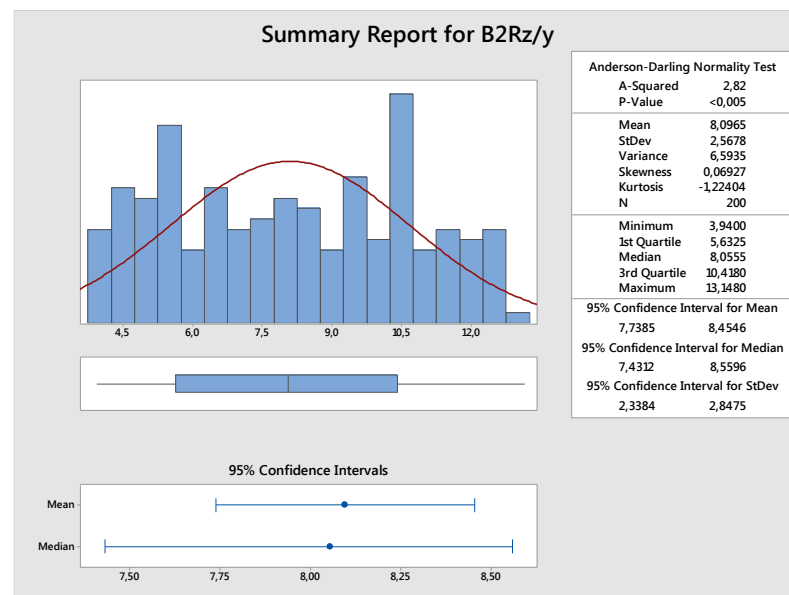
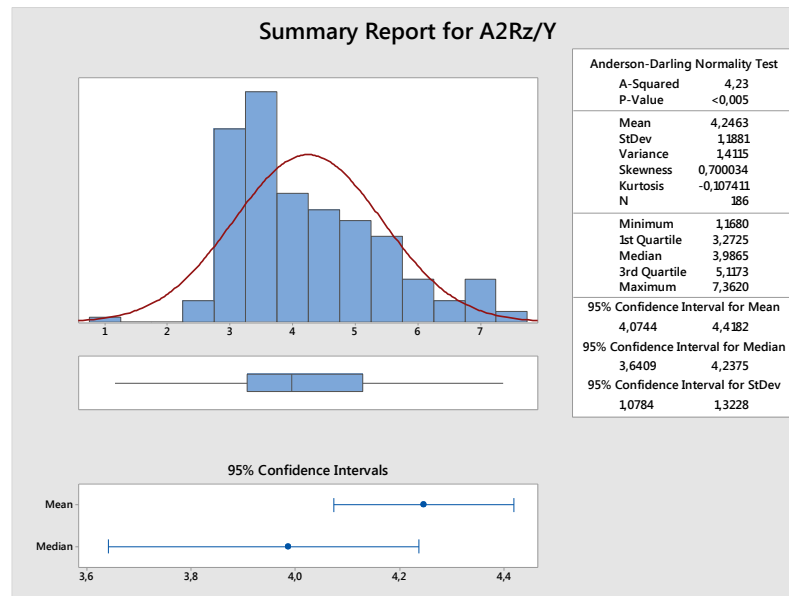
Estimate for difference: -0,09726

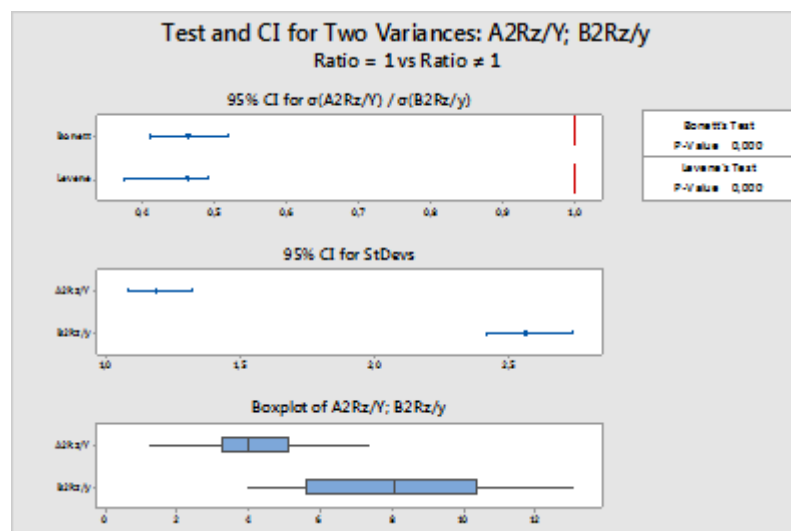
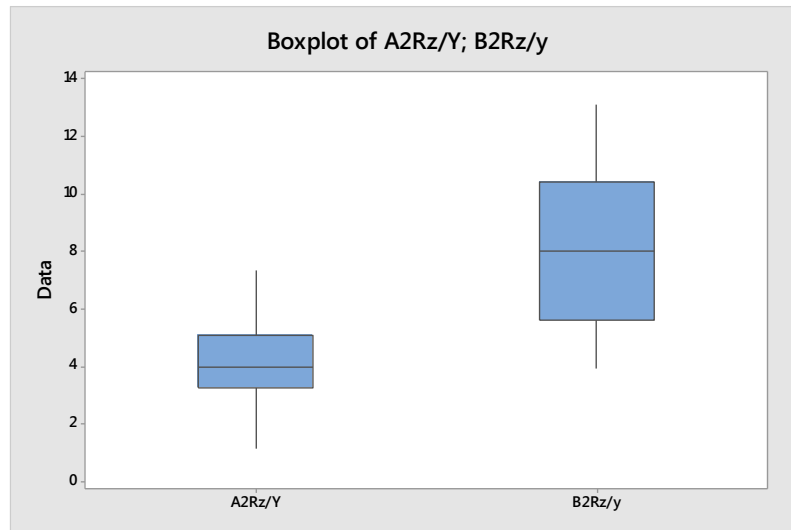
95% CI for difference: (-0,10740; -0,08712)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -18,86 **P-Value = 0,000** DF = 393

Both use Pooled StDev = 0,0513

Vzorek A2Rz/Y vs B2Rz/Y





Two-sample T for A2Rz/Y vs B2Rz/y

	N	Mean	StDev	SE Mean
A2Rz/Y	186	4,25	1,19	0,087
B2Rz/y	200	8,10	2,57	0,18

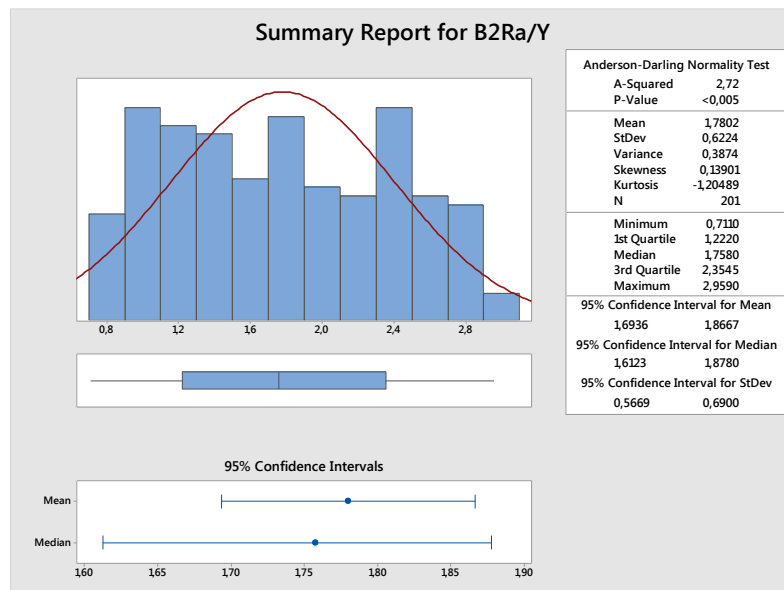
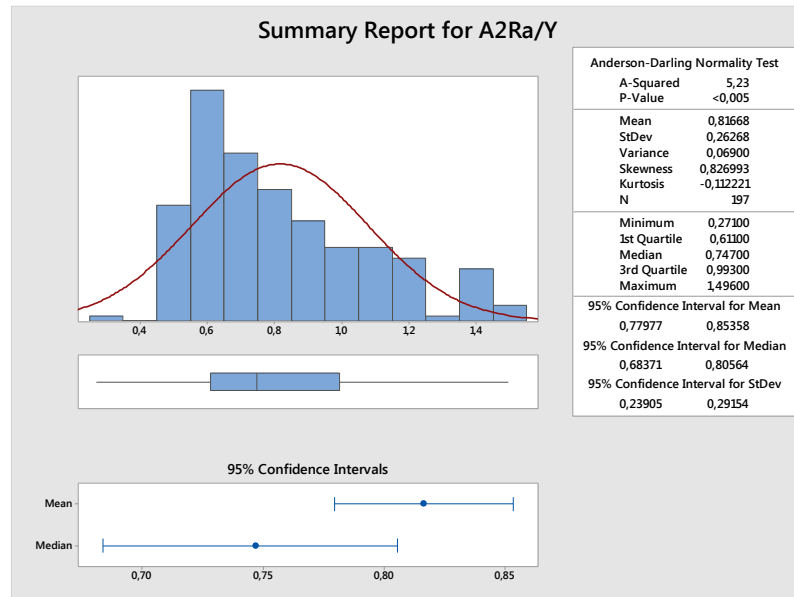
Difference = μ (A2Rz/Y) - μ (B2Rz/y)

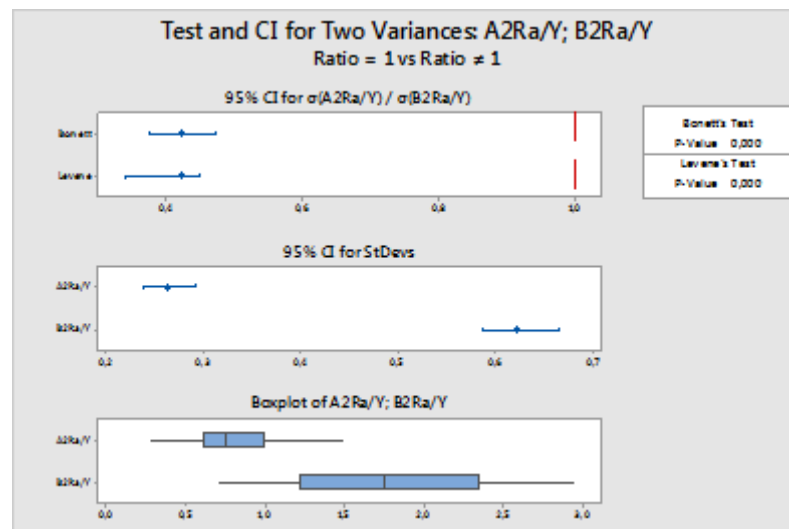
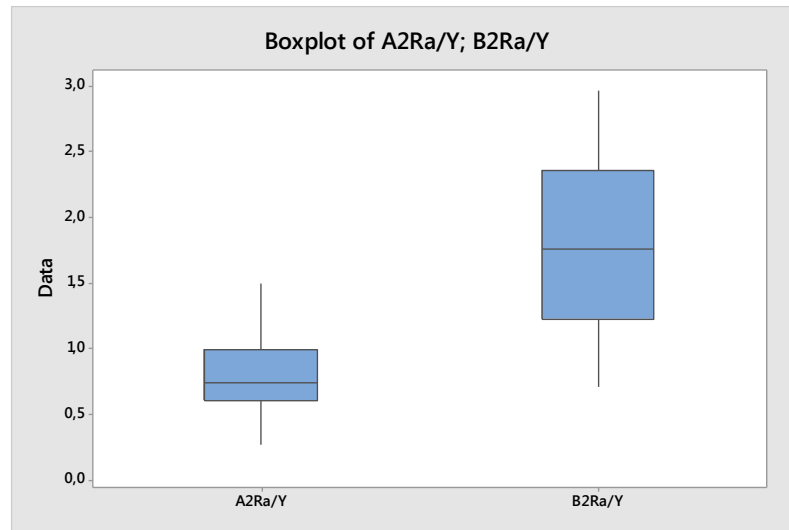
Estimate for difference: -3,850

95% CI for difference: (-4,247; -3,454)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -19,12 **P-Value = 0,000** DF = 284

Vzorek A2Ra/Y vs B2Ra/Y





Two-Sample T-Test and CI: A2Ra/Y; B2Ra/Y

Two-sample T for A2Ra/Y vs B2Ra/Y

	N	Mean	StDev	SE Mean
A2Ra/Y	197	0,817	0,263	0,019
B2Ra/Y	201	1,780	0,622	0,044

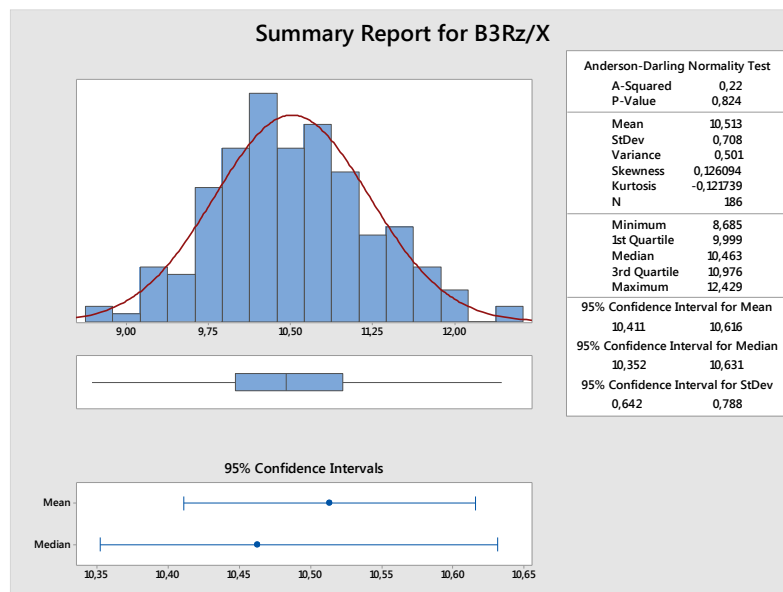
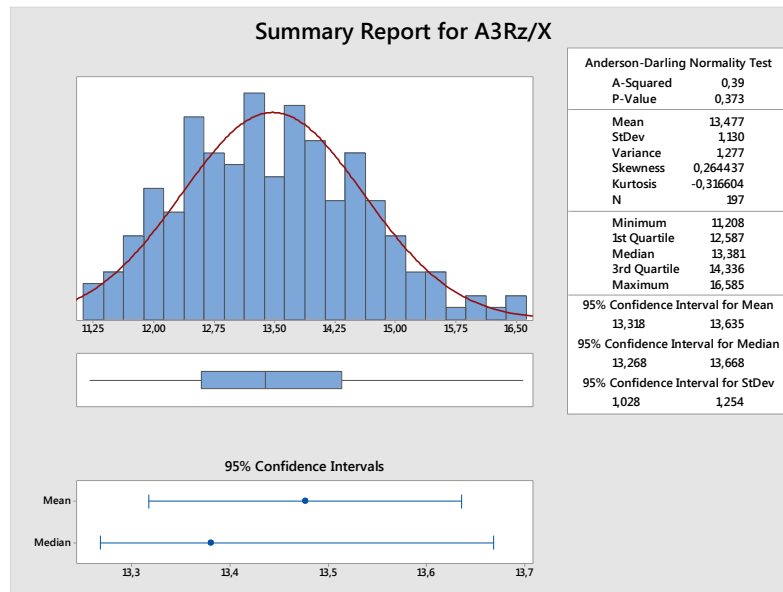
Difference = μ (A2Ra/Y) - μ (B2Ra/Y)

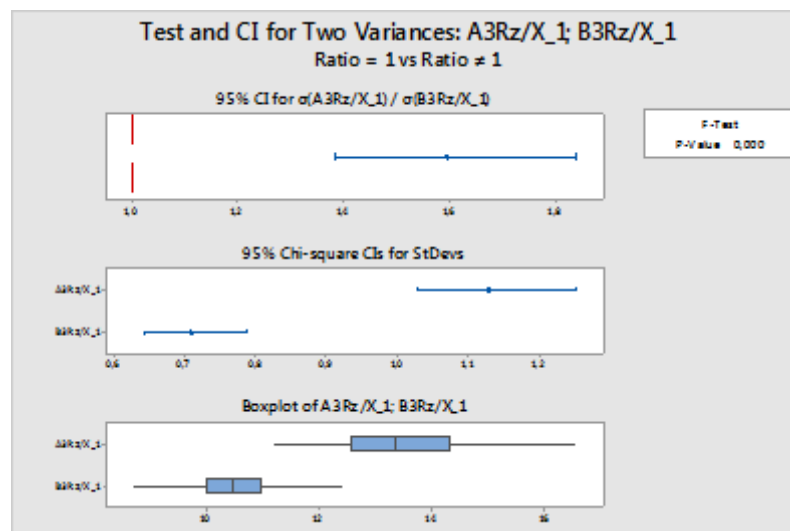
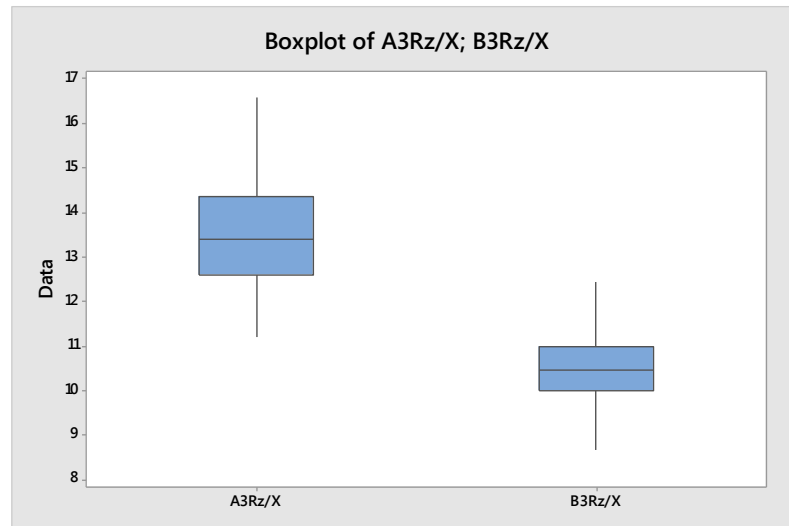
Estimate for difference: -0,9635

95% CI for difference: (-1,0575; -0,8695)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -20,19 **P-Value = 0,000** DF = 270

Sada A3 a B3
Vzorek A3Rz/X vs B3Rz/X





Two-Sample T-Test and CI: A3Rz/X_1; B3Rz/X_1

Two-sample T for A3Rz/X_1 vs B3Rz/X_1

	N	Mean	StDev	SE Mean
A3Rz/X_1	197	13,48	1,13	0,081
B3Rz/X_1	186	10,513	0,708	0,052

Difference = μ (A3Rz/X_1) - μ (B3Rz/X_1)

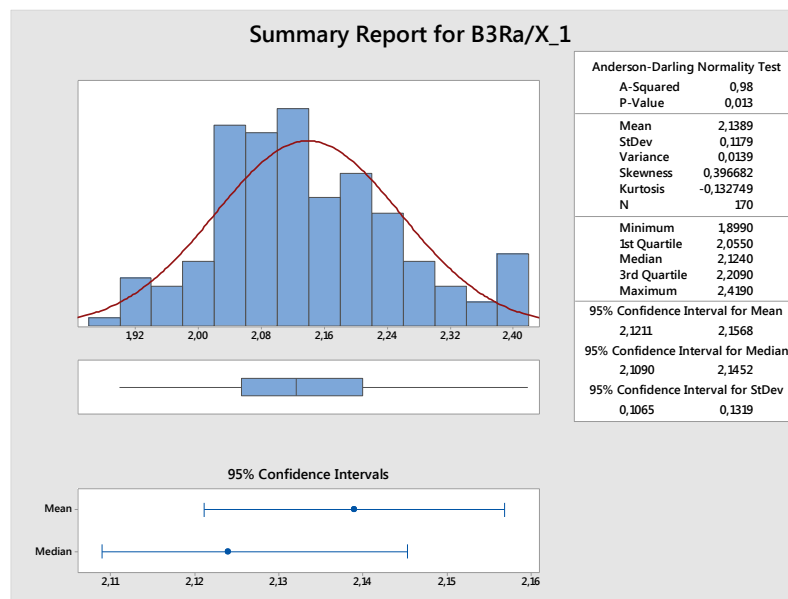
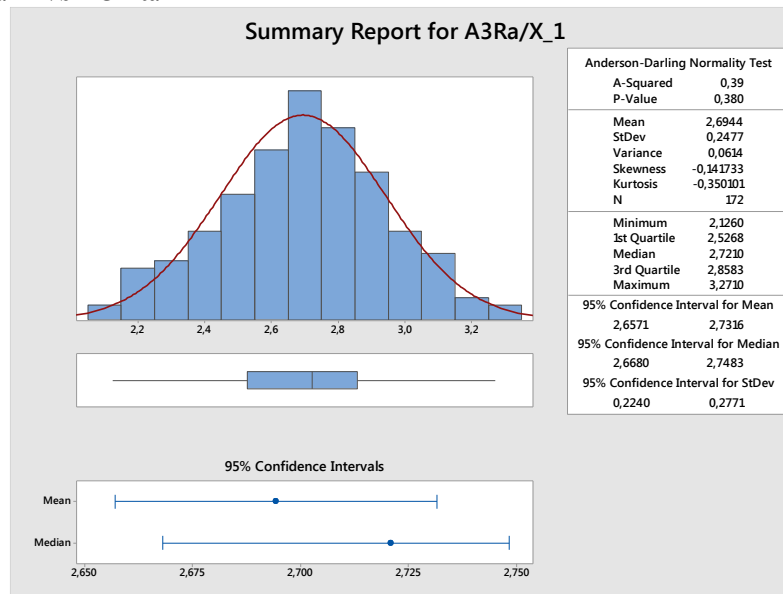
Estimate for difference: 2,9634

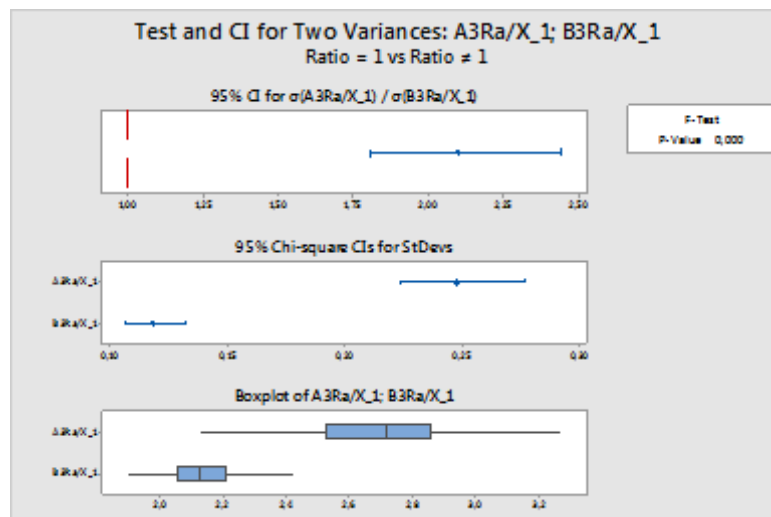
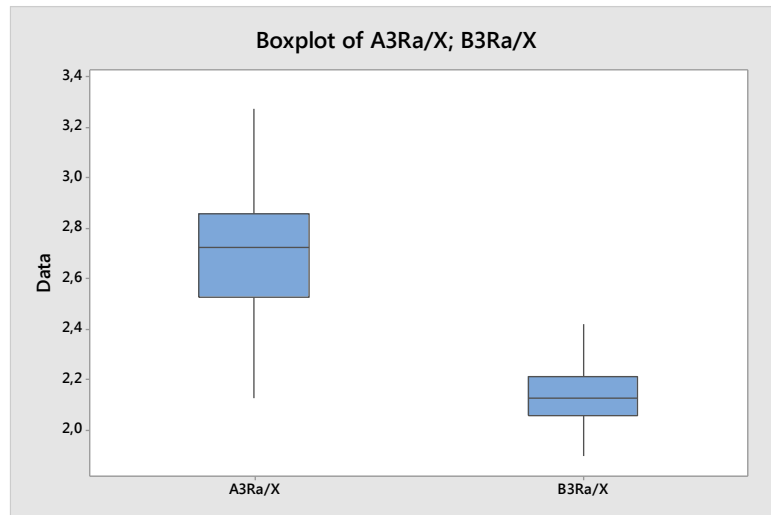
95% CI for difference: (2,7727; 3,1541)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 30,55 **P-Value = 0,000** DF = 381

Both use Pooled StDev = 0,9487

Vzorek A3Ra/X vs B3Ra/X





Two-Sample T-Test and CI: A3Ra/X_1; B3Ra/X_1

Two-sample T for A3Ra/X_1 vs B3Ra/X_1

	N	Mean	StDev	SE Mean
A3Ra/X_1	172	2,694	0,248	0,019
B3Ra/X_1	170	2,139	0,118	0,0090

Difference = $\mu(A3Ra/X_1) - \mu(B3Ra/X_1)$

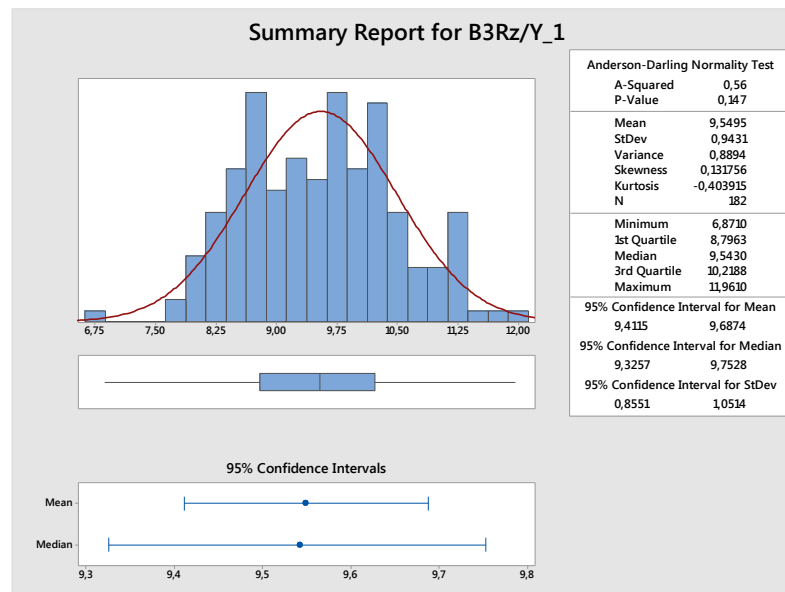
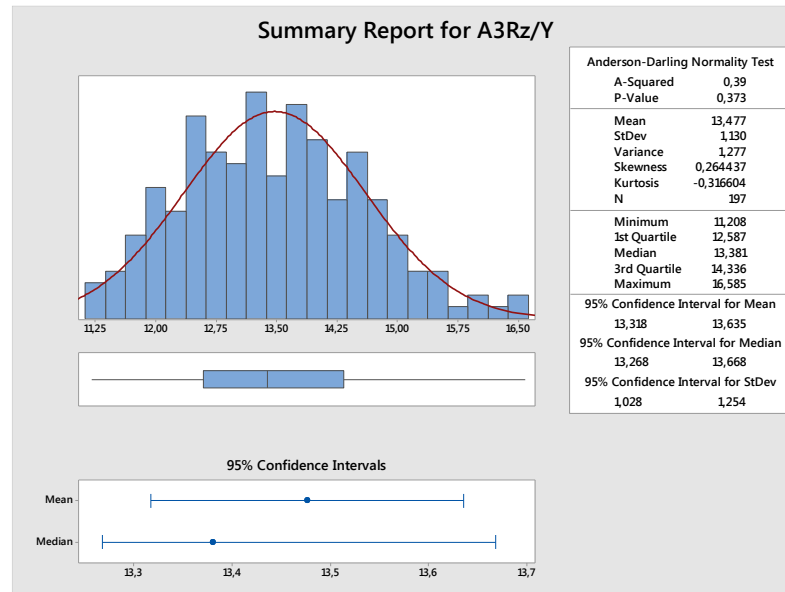
Estimate for difference: 0,5554

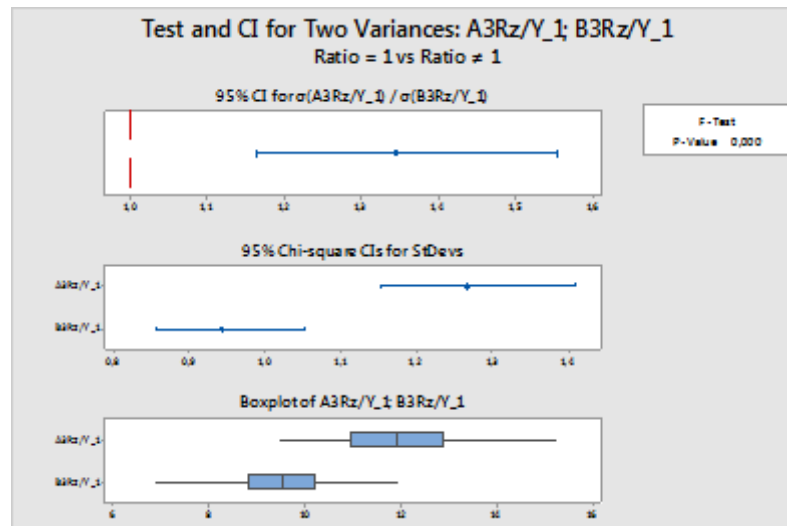
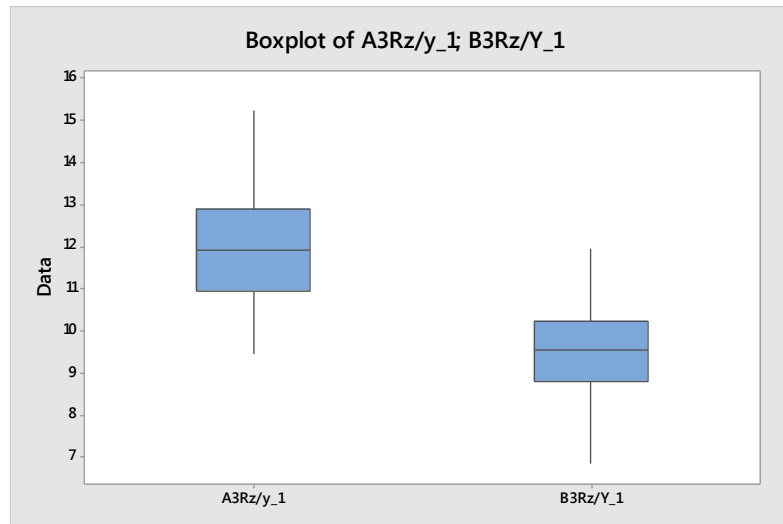
95% CI for difference: (0,5141; 0,5968)

T-Test of difference = 0 (vs ≠): T-Value = 26,43 **P-Value = 0,000** DF = 340

Both use Pooled StDev = 0,1943

Vzorek A3Rz/Y vs B3Rz/Y





Two-Sample T-Test and CI: A3Rz/Y_1; B3Rz/Y_1

Two-sample T for A3Rz/Y_1 vs B3Rz/Y_1

	N	Mean	StDev	SE Mean
A3Rz/Y_1	191	11,97	1,27	0,092
B3Rz/Y_1	182	9,549	0,943	0,070

Difference = μ (A3Rz/Y_1) - μ (B3Rz/Y_1)

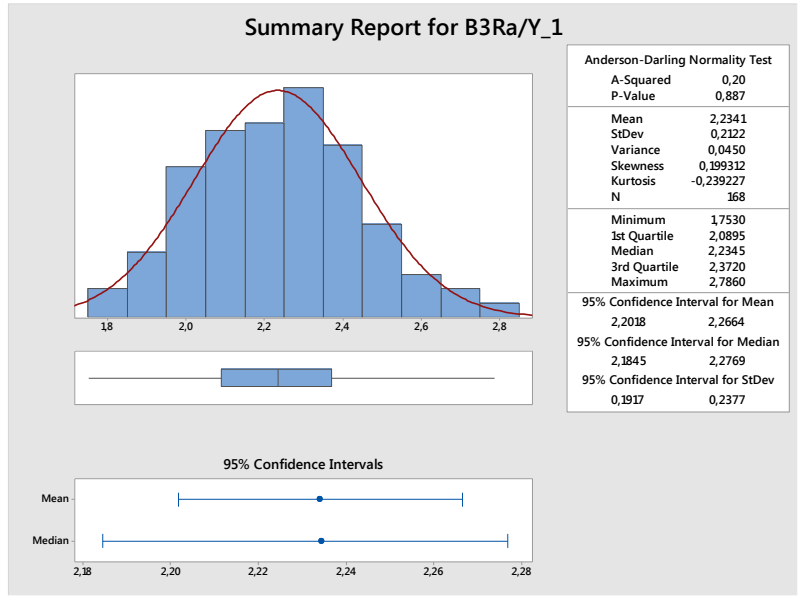
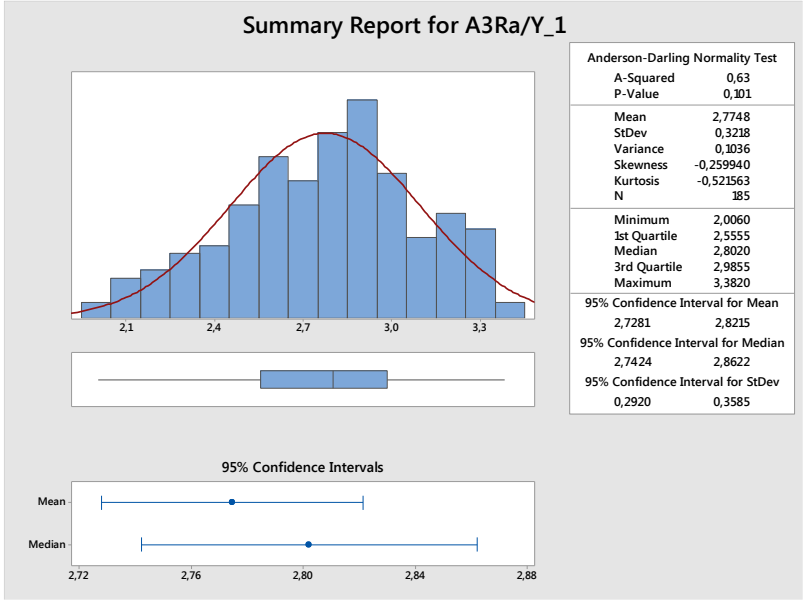
Estimate for difference: 2,425

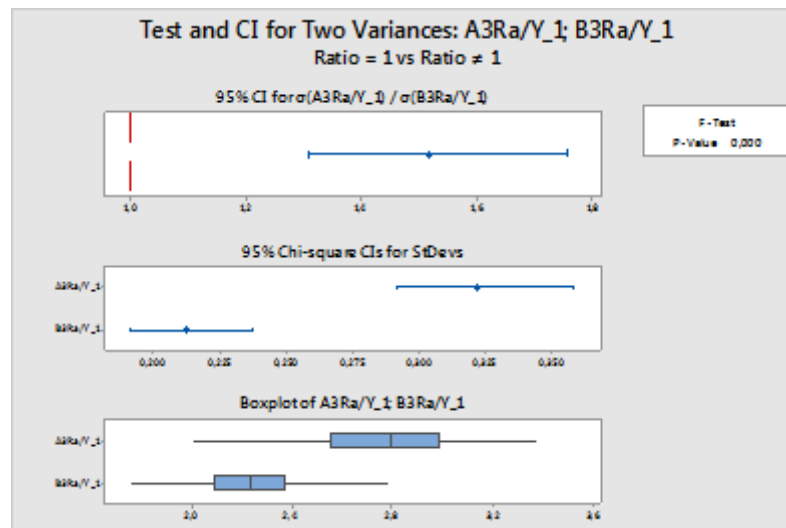
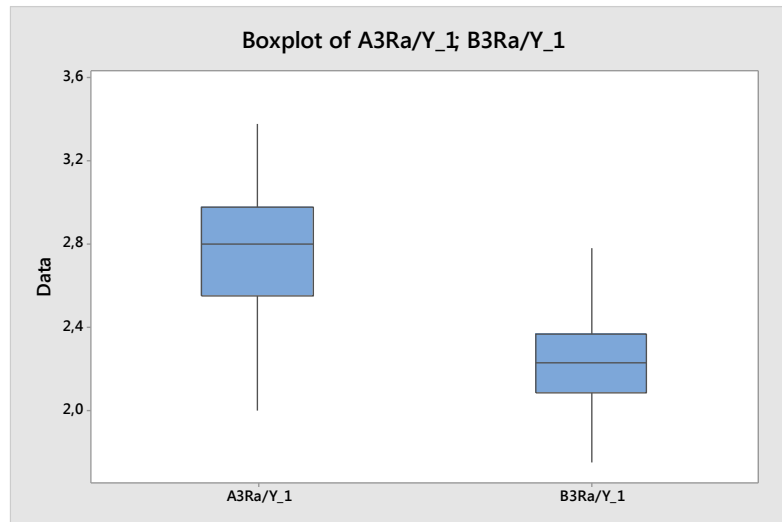
95% CI for difference: (2,196; 2,653)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 20,87 **P-Value = 0,000** DF = 371

Both use Pooled StDev = 1,1217

Vzorek A3Ra/Y vs B3Ra/Y





Two-Sample T-Test and CI: A3Ra/Y_1; B3Ra/Y_1

Two-sample T for A3Ra/Y_1 vs B3Ra/Y_1

	N	Mean	StDev	SE Mean
A3Ra/Y_1	185	2,775	0,322	0,024
B3Ra/Y_1	168	2,234	0,212	0,016

Difference = μ (A3Ra/Y_1) - μ (B3Ra/Y_1)

Estimate for difference: 0,5407

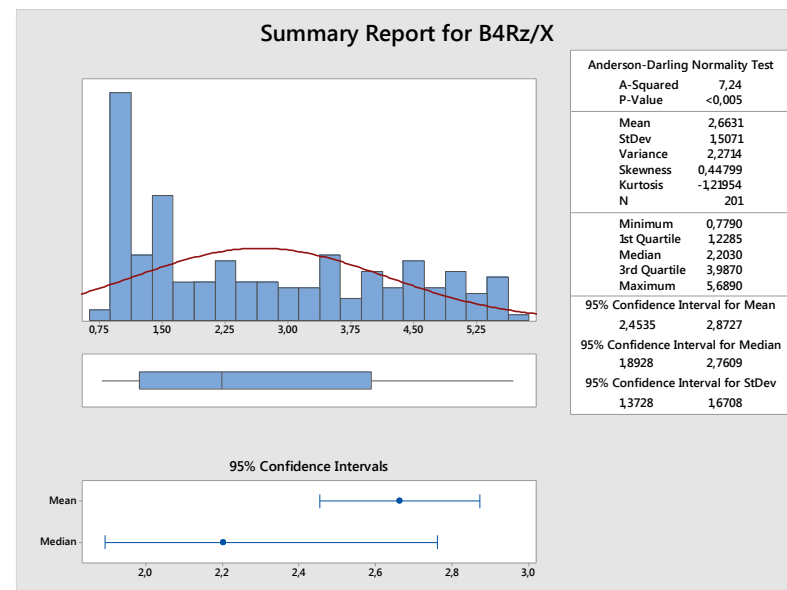
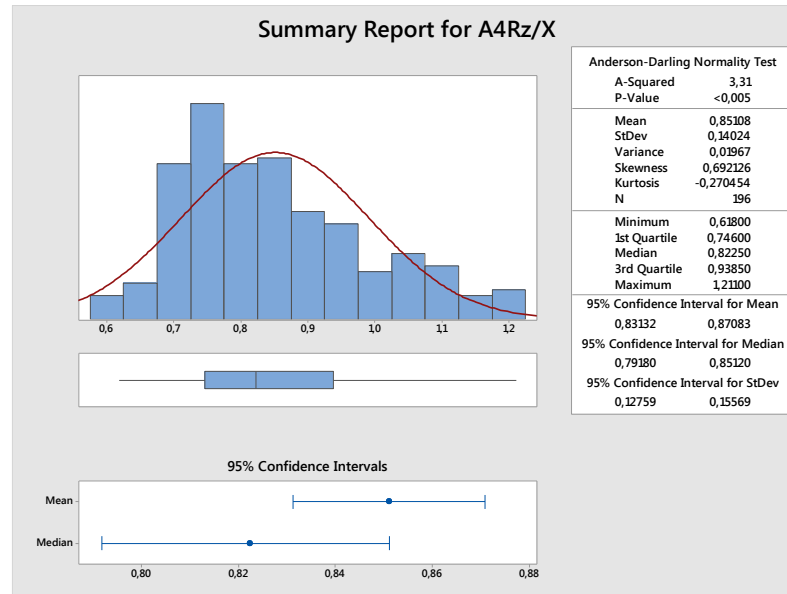
95% CI for difference: (0,4830; 0,5984)

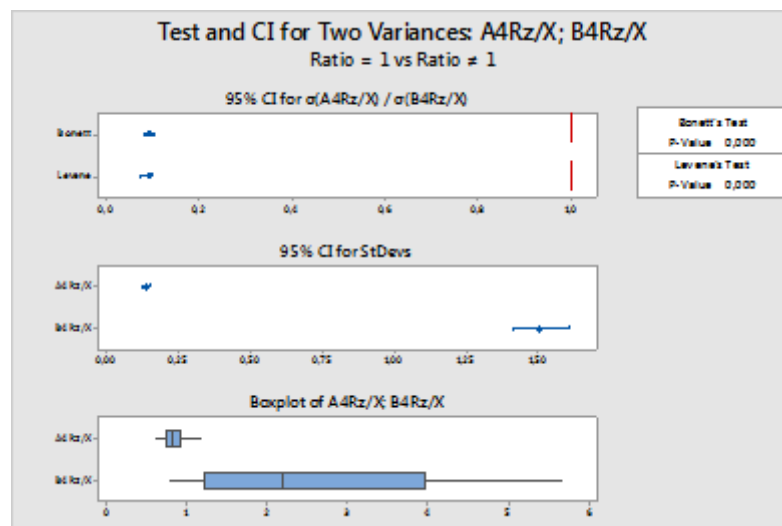
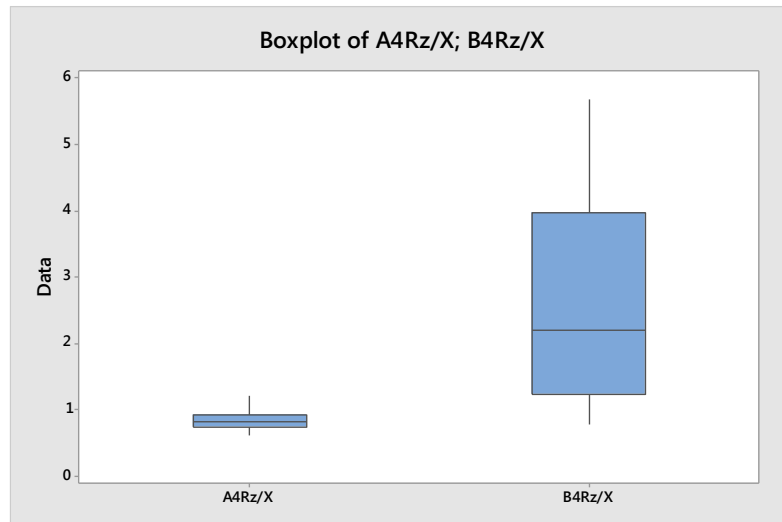
T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 18,44 **P-Value = 0,000** DF = 351

Both use Pooled StDev = 0,2752

Sada A4 a B4

Vzorek A4Rz/X vs B4Rz/X





Two-Sample T-Test and CI: A4Rz/X; B4Rz/X

Two-sample T for A4Rz/X vs B4Rz/X

	N	Mean	StDev	SE Mean
A4Rz/X	196	0,851	0,140	0,010
B4Rz/X	201	2,66	1,51	0,11

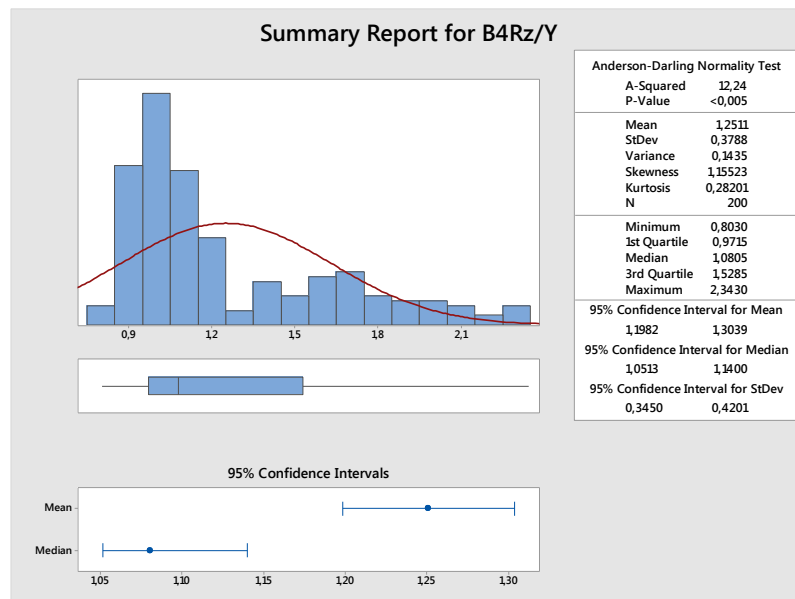
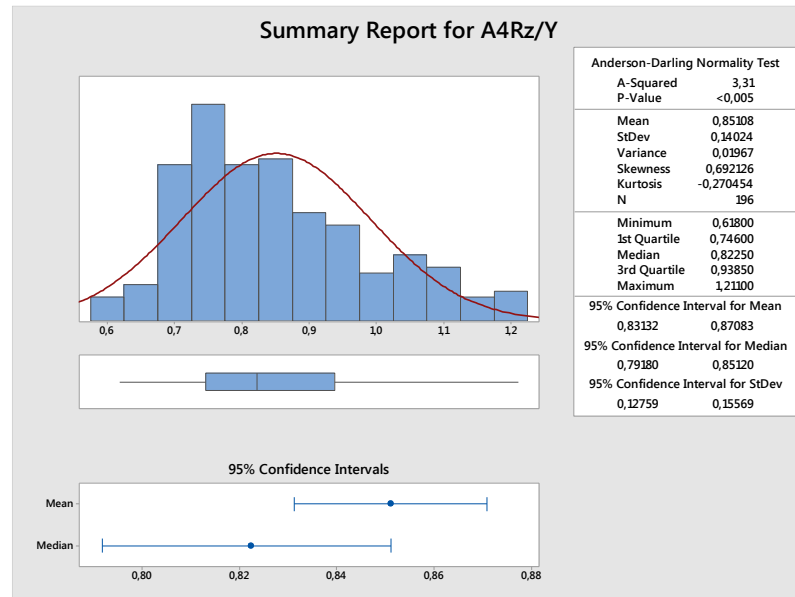
Difference = μ (A4Rz/X) - μ (B4Rz/X)

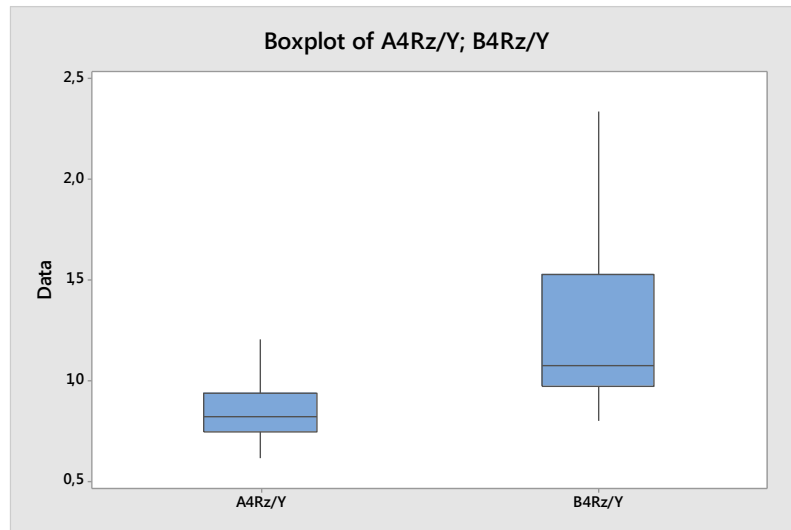
Estimate for difference: -1,812

95% CI for difference: (-2,023; -1,601)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -16,97 **P-Value = 0,000** DF = 203

Vzorek A4Rz/Y vs B4Rz/Y





Two-Sample T-Test and CI: A4Rz/Y; B4Rz/Y

Two-sample T for A4Rz/Y vs B4Rz/Y

	N	Mean	StDev	SE Mean
A4Rz/Y	196	0,851	0,140	0,010
B4Rz/Y	200	1,251	0,379	0,027

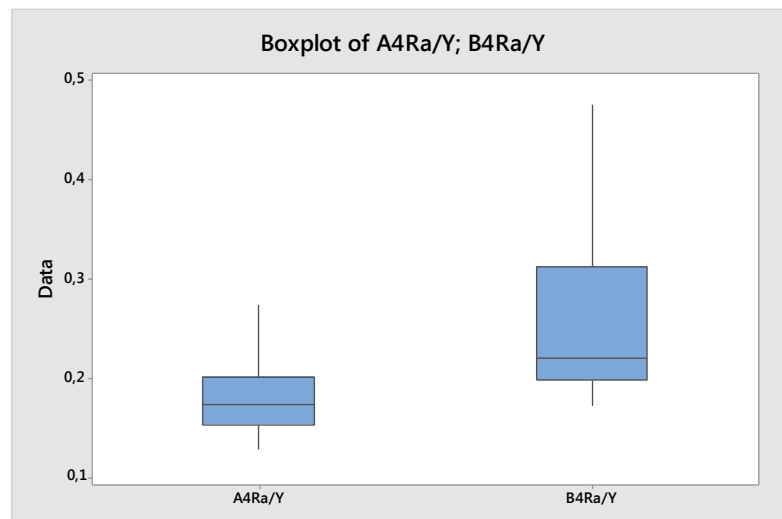
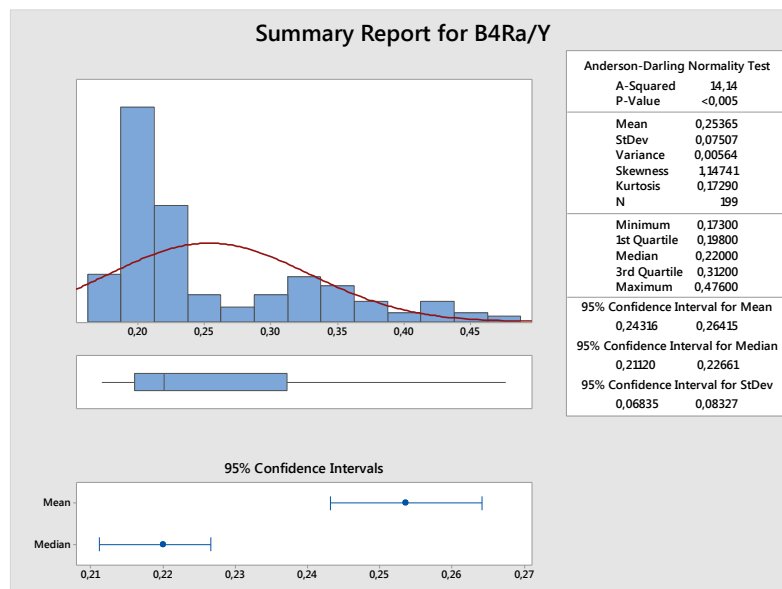
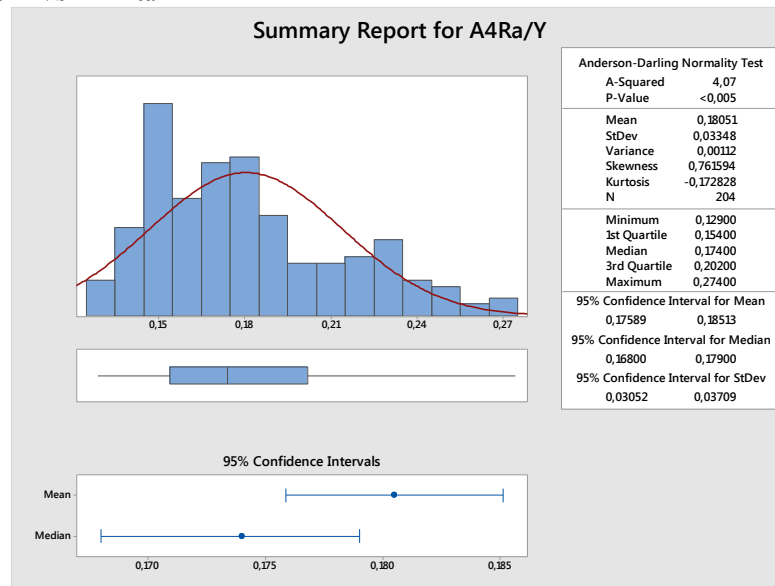
Difference = μ (A4Rz/Y) - μ (B4Rz/Y)

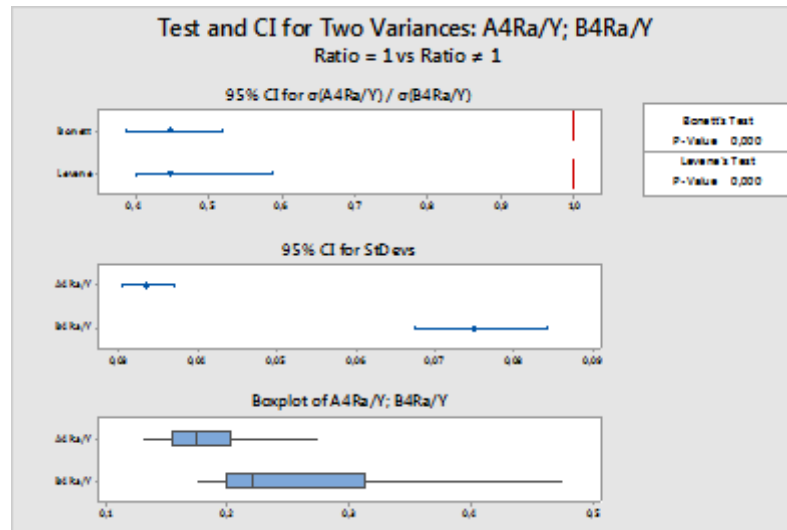
Estimate for difference: -0,4000

95% CI for difference: (-0,4563; -0,3437)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -13,99 **P-Value = 0,000** DF = 253

Vzorek A4Ra/Y vs B4Ra/Y





Two-Sample T-Test and CI: A4Ra/Y; B4Ra/Y

Two-sample T for A4Ra/Y vs B4Ra/Y

	N	Mean	StDev	SE Mean
A4Ra/Y	204	0,1805	0,0335	0,0023
B4Ra/Y	199	0,2537	0,0751	0,0053

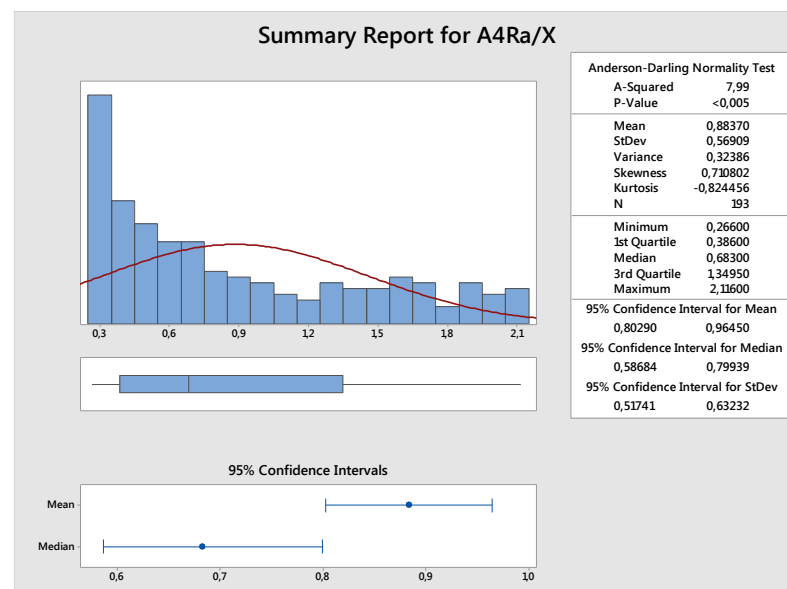
Difference = μ (A4Ra/Y) - μ (B4Ra/Y)

Estimate for difference: -0,07314

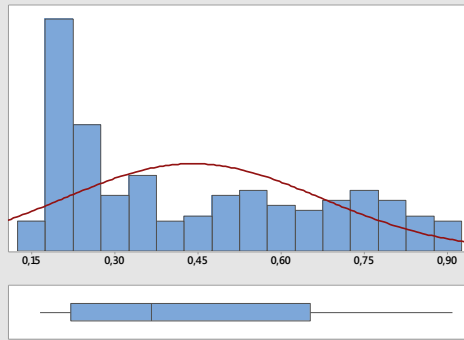
95% CI for difference: (-0,08459; -0,06170)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -12,58 **P-Value = 0,000** DF = 272

Vzorek A4Ra/X vs B4Ra/X



Summary Report for B4Ra/X



Anderson-Darling Normality Test
 A-Squared 7.61
 P-Value <0,005

Mean 0,44061
 StDev 0,23144
 Variance 0,05356
 Skewness 0,48459
 Kurtosis -1,18558
 N 201

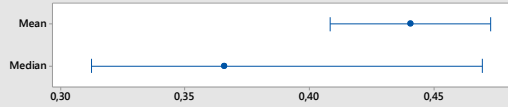
Minimum 0,16600
 1st Quartile 0,22000
 Median 0,36600
 3rd Quartile 0,65200
 Maximum 0,90800

95% Confidence Interval for Mean
 0,40842 0,47280

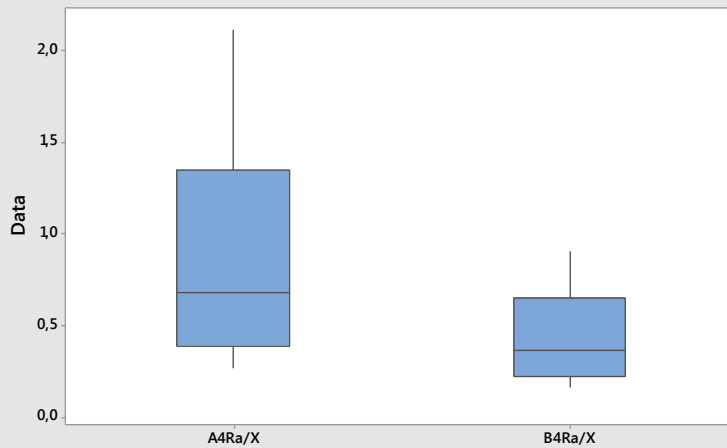
95% Confidence Interval for Median
 0,31244 0,46952

95% Confidence Interval for StDev
 0,21081 0,25658

95% Confidence Intervals



Boxplot of A4Ra/X; B4Ra/X



Test and CI for Two Variances: A4Ra/X; B4Ra/X

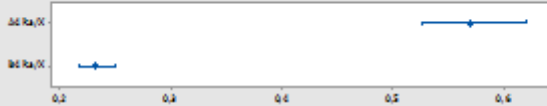
Ratio = 1 vs Ratio \neq 1

95% CI for $\sigma(A4Ra/X) / \sigma(B4Ra/X)$

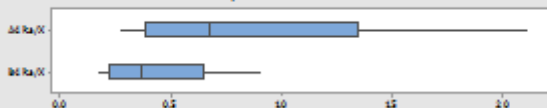


Bonett Test
 P-Value 0,000
 Levene's Test
 P-Value 0,000

95% CI for StDevs



Boxplot of A4Ra/X; B4Ra/X



Two-Sample T-Test and CI: A4Ra/X; B4Ra/X

Two-sample T for A4Ra/X vs B4Ra/X

	N	Mean	StDev	SE Mean
A4Ra/X	193	0,884	0,569	0,041
B4Ra/X	201	0,441	0,231	0,016

Difference = μ (A4Ra/X) - μ (B4Ra/X)

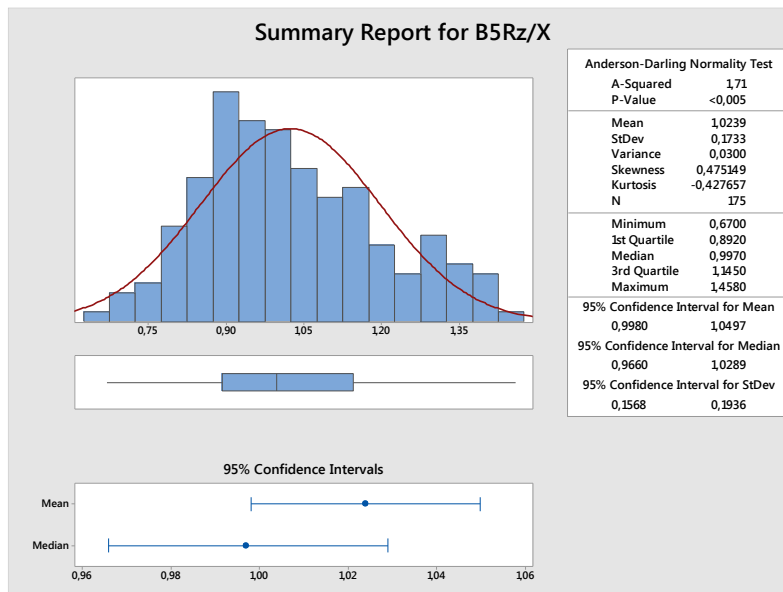
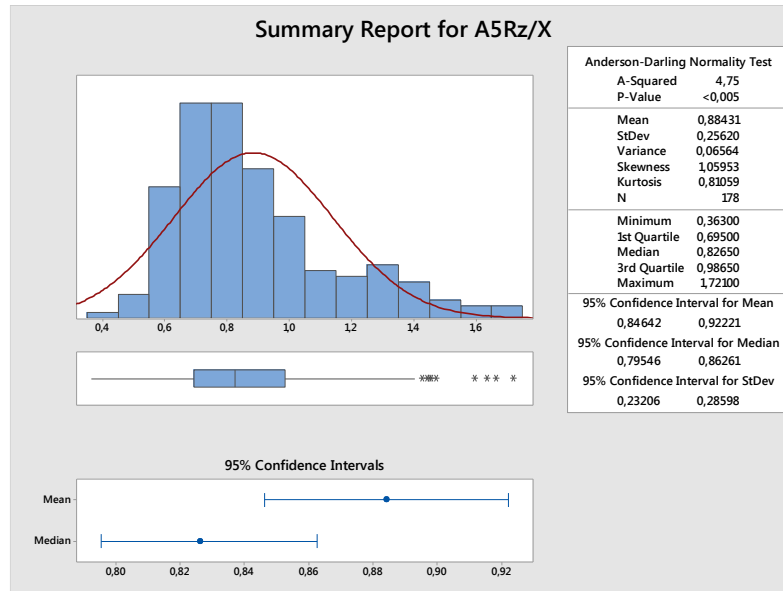
Estimate for difference: 0,4431

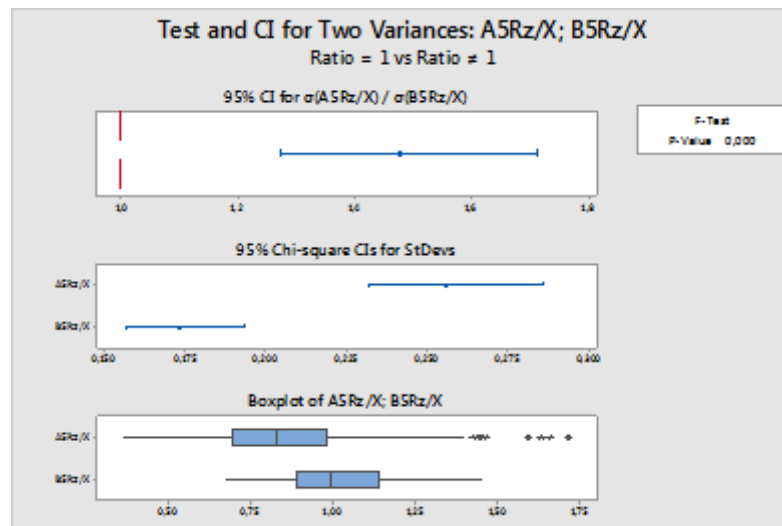
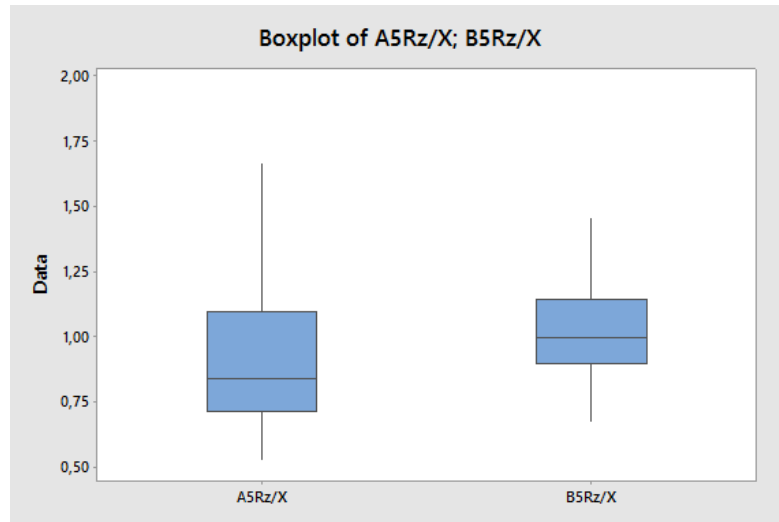
95% CI for difference: (0,3562; 0,5299)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 10,05 **P-Value = 0,000** DF = 251

Sada A5 a B5

Vzorek A5Rz/X vs B5Rz/X





Two-Sample T-Test and CI: A5Rz/X; B5Rz/X

Two-sample T for A5Rz/X vs B5Rz/X

	N	Mean	StDev	SE Mean
A5Rz/X	178	0,884	0,256	0,019
B5Rz/X	175	1,024	0,173	0,013

Difference = μ (A5Rz/X) - μ (B5Rz/X)

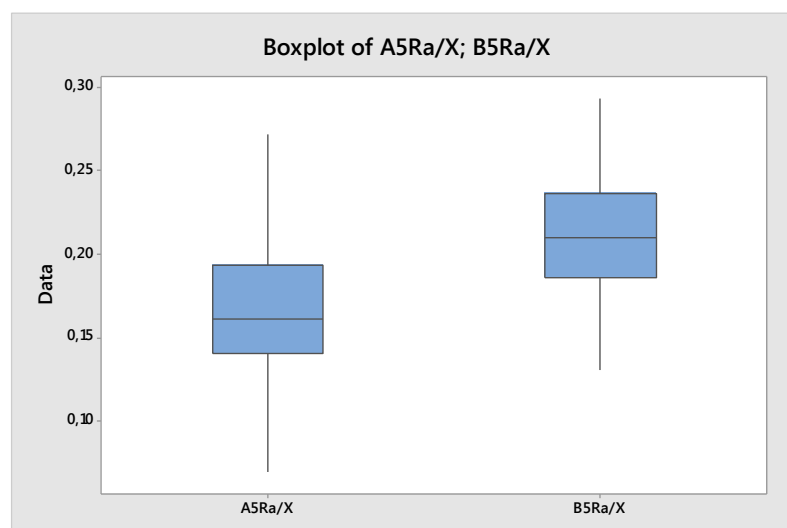
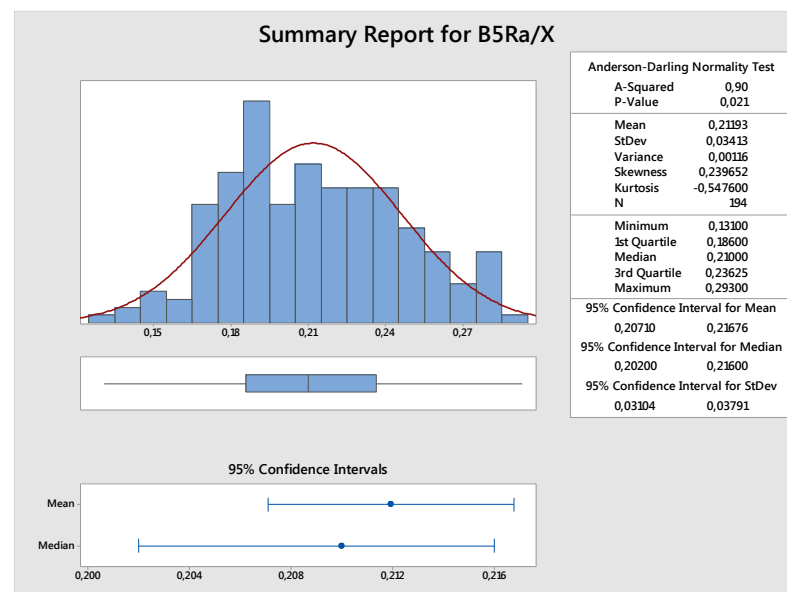
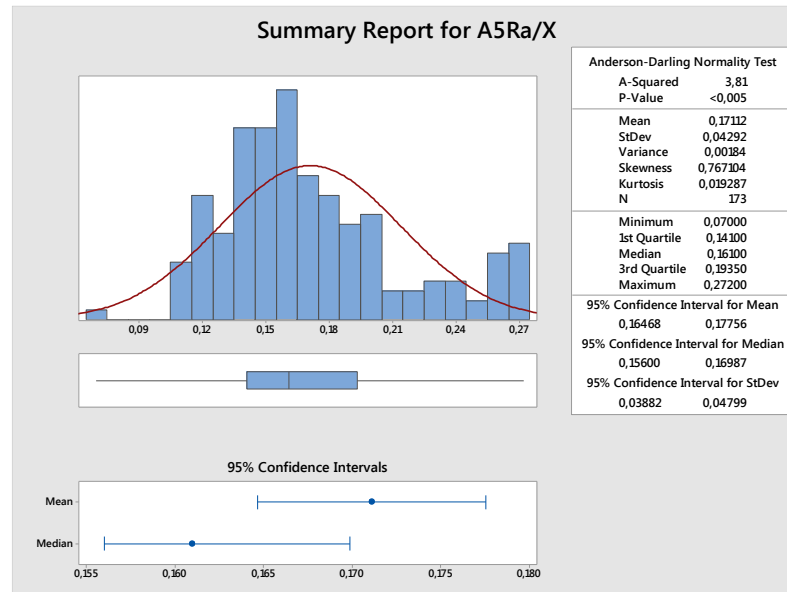
Estimate for difference: -0,1396

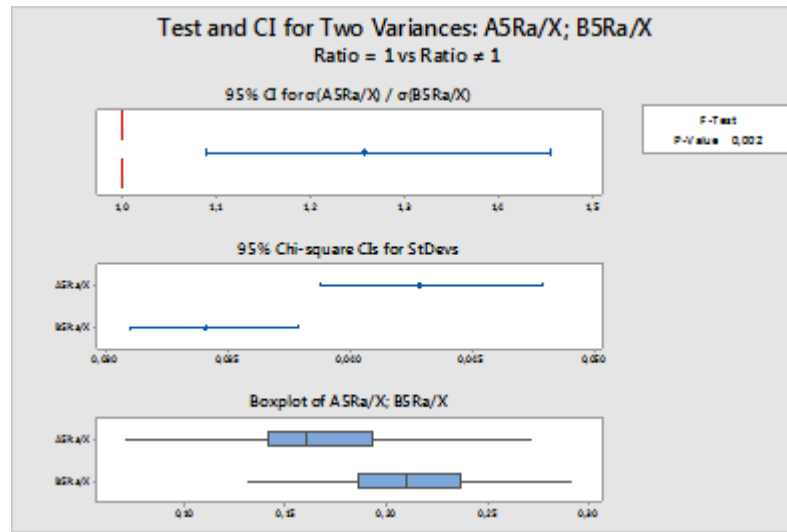
95% CI for difference: (-0,1854; -0,0937)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -5,98 **P-Value = 0,000** DF = 351

Both use Pooled StDev = 0,2191

Vzorek A5Ra/X vs B5Ra/X





Two-Sample T-Test and CI: A5Ra/X; B5Ra/X

Two-sample T for A5Ra/X vs B5Ra/X

	N	Mean	StDev	SE Mean
A5Ra/X	173	0,1711	0,0429	0,0033
B5Ra/X	194	0,2119	0,0341	0,0025

Difference = μ (A5Ra/X) - μ (B5Ra/X)

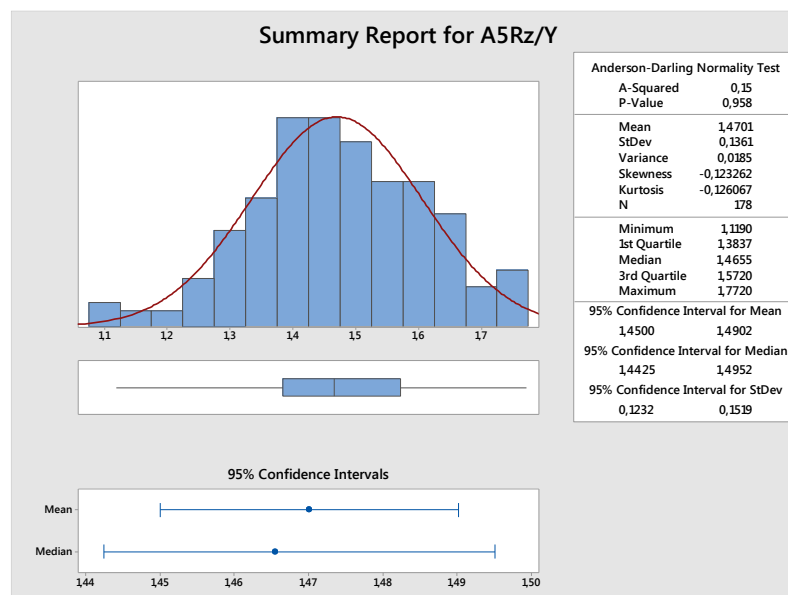
Estimate for difference: -0,04081

95% CI for difference: (-0,04873; -0,03289)

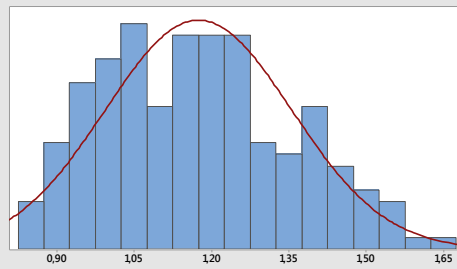
T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = -10,13 **P-Value = 0,000** DF = 365

Both use Pooled StDev = 0,0385

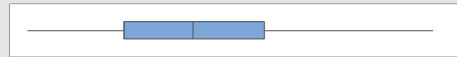
Vzorek A5Rz/Y vs B5Rz/Y



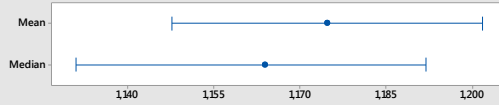
Summary Report for B5Rz/Y



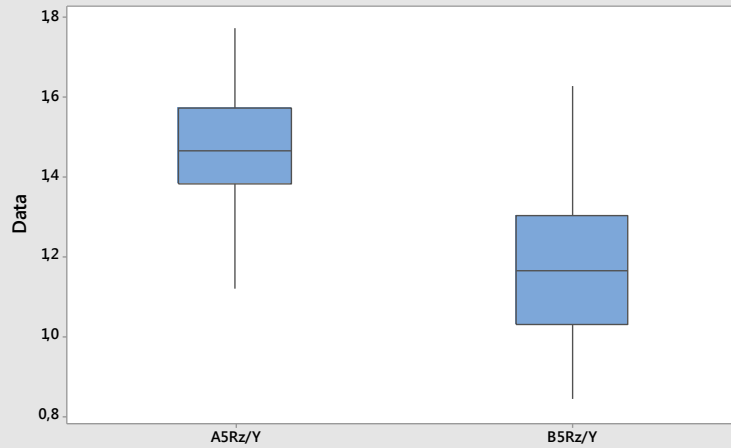
Anderson-Darling Normality Test	
A-Squared	0,90
P-Value	0,021
Mean	1,1748
StDev	0,1811
Variance	0,0328
Skewness	0,321228
Kurtosis	-0,635930
N	175
Minimum	0,8440
1st Quartile	1,0310
Median	1,1640
3rd Quartile	1,3020
Maximum	1,6290
95% Confidence Interval for Mean	1,1477 1,2038
95% Confidence Interval for Median	1,1310 1,1919
95% Confidence Interval for StDev	0,1639 0,2024



95% Confidence Intervals



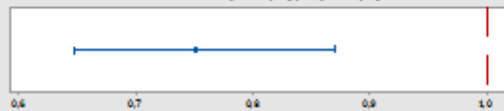
Boxplot of A5Rz/Y; B5Rz/Y



Test and CI for Two Variances: A5Rz/Y; B5Rz/Y

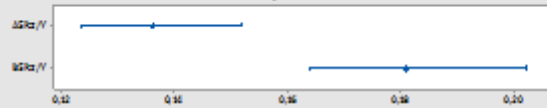
Ratio = 1 vs Ratio ≠ 1

95% CI for $\sigma(A5Rz/Y) / \sigma(B5Rz/Y)$

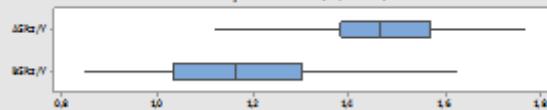


F-Test
P-Value 0,000

95% Chi-square CIs for StDevs



Boxplot of A5Rz/Y; B5Rz/Y



Two-Sample T-Test and CI: A5Rz/Y; B5Rz/Y

Two-sample T for A5Rz/Y vs B5Rz/Y

	N	Mean	StDev	SE Mean
A5Rz/Y	178	1,470	0,136	0,010
B5Rz/Y	175	1,175	0,181	0,014

Difference = μ (A5Rz/Y) - μ (B5Rz/Y)

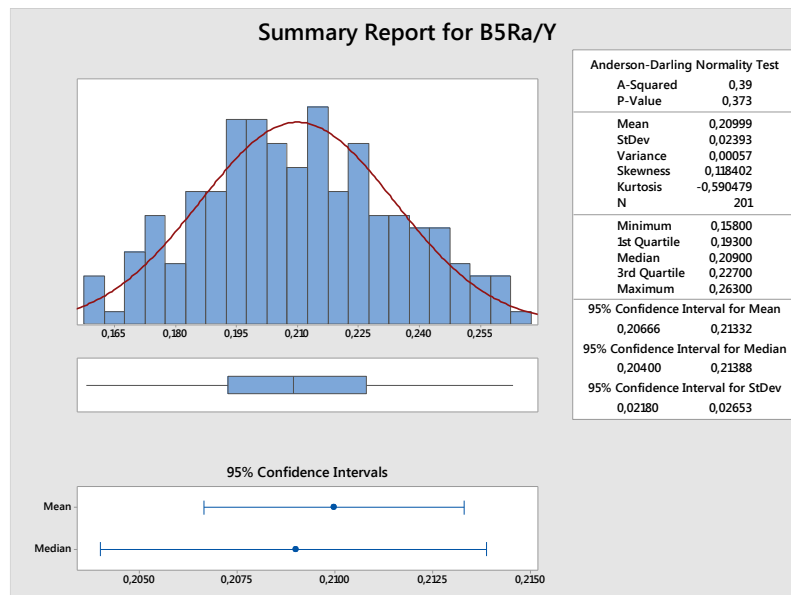
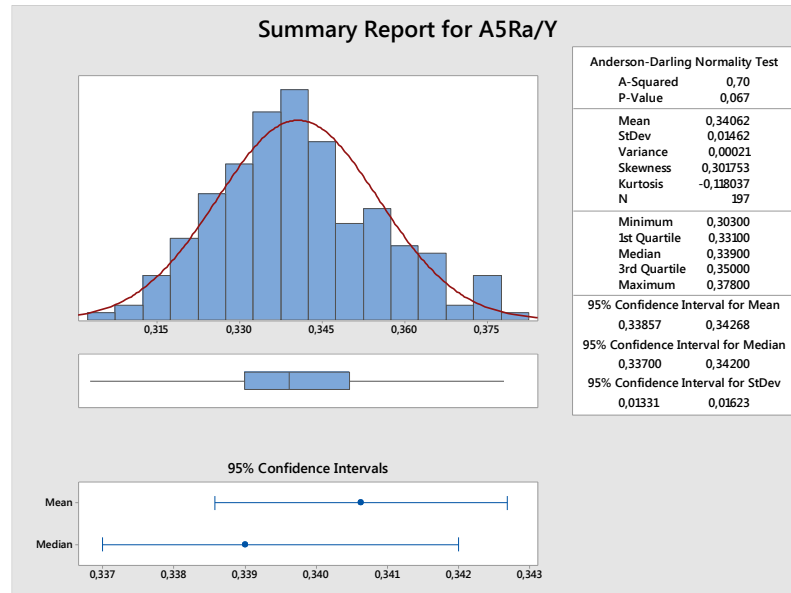
Estimate for difference: 0,2953

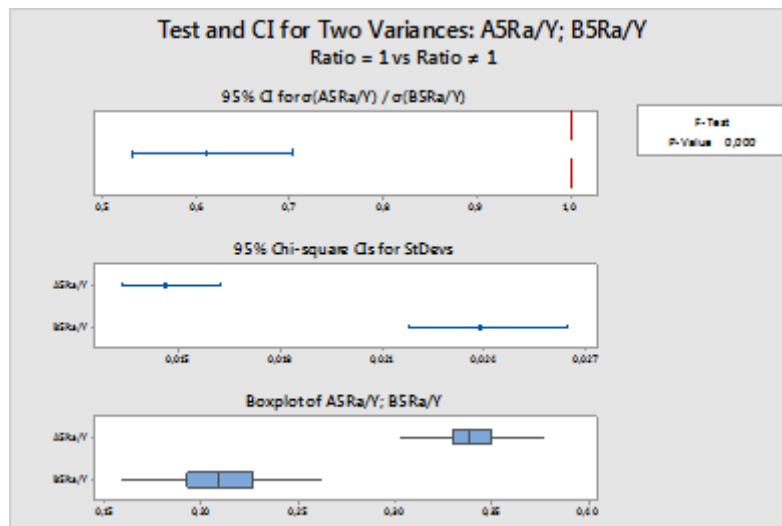
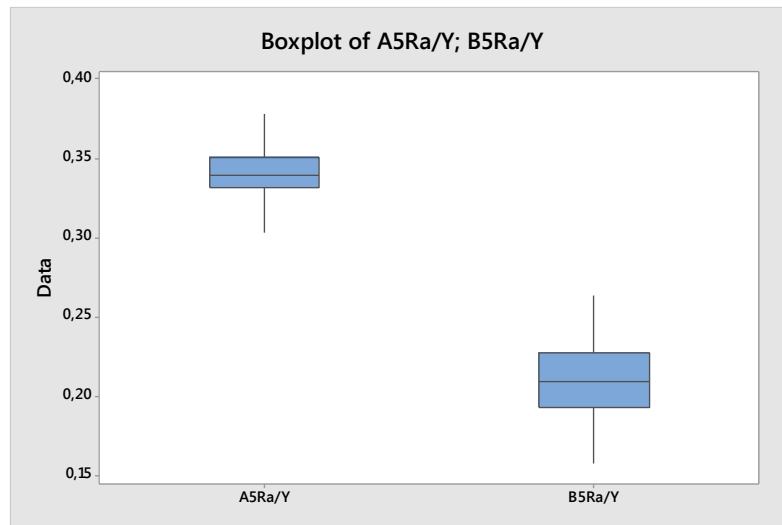
95% CI for difference: (0,2618; 0,3288)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 17,34 **P-Value = 0,000** DF = 351

Both use Pooled StDev = 0,1600

Vzorek A5Ra/y vs B5Ra/Y





Two-Sample T-Test and CI: A5Ra/Y; B5Ra/Y

Two-sample T for A5Ra/Y vs B5Ra/Y

	N	Mean	StDev	SE Mean
A5Ra/Y	197	0,3406	0,0146	0,0010
B5Ra/Y	201	0,2100	0,0239	0,0017

Difference = μ (A5Ra/Y) - μ (B5Ra/Y)

Estimate for difference: 0,13063

95% CI for difference: (0,12672; 0,13455)

T-Test of difference = 0 (vs \neq): T-Value = 65,56 **P-Value = 0,000** DF = 396

Both use Pooled StDev = 0,0199

