

# **Statistické zkoumání rozdílů jakosti povrchů při různých technikách gravírovaného skla**

Bc. Jitka Hauptvogelová

---

Diplomová práce  
2018



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jitka Hauptvogelová**  
Osobní číslo: **T16211**  
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Řízení jakosti**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Statistické zkoumání rozdílů jakosti povrchů při různých technikách gravírovaného skla**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracování literární rešerše
2. Popis základních parametrů jakosti povrchů
3. Popis strojové a ruční metody gravírování
4. Provedení praktického měření a vyhodnocení na reálných vzorcích
5. Vyhodnocení měření s využitím vhodných statistických metod

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. WHITEHOUSE, David. Surfaces and their measurement. [Online-Ausg.]. London: HPS, 2002. ISBN 1903996015
2. ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
3. ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
4. ČSN EN ISO 25178-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) – Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 2012.
5. BRIMUS, J.: Vliv koncentrované energie laserového paprsku na různé polymerní materiály, UTB Zlín 2007
6. MORÁVEK, R. Nekonenční metody obrábění. Plzeň ZČV Plzeň, 1994. ISBN: 80-7082-161-2

Vedoucí diplomové práce:

**Ing. Milena Kubišová**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**2. ledna 2018**

Termín odevzdání diplomové práce:

**18. května 2018**

Ve Zlíně dne 5. února 2018



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



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

Příjmení a jméno: HAUPTVOGELOVA JITKA

Obor: DIŽENÍ JAKOSTI

## 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 <sup>1)</sup>;
- 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 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> 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 <sup>3)</sup> 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 11.5.2018

Hauptvogelova Jitka

<sup>1)</sup> 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 nevydělečně 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.

<sup>2)</sup> 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 vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> 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 výdělku 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 výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tématem diplomové práce je zkoumání a hodnocení kvality povrchů gravírovaného skla. Teoretická část pojednává o technologii výroby, způsob průmyslové výroby skla, metody obrábění jak klasické, tak i nekonvenční.

Praktická část se zabývá porovnáním tří technik gravírování skla (gravírování přímou bruskou, leptání leptací pastou a gravírování za pomoci laseru) na zkušebních vzorcích. Tyto vzorky byly následně skenovány bezkontaktním snímáním a vyhodnoceny za pomoci metod EDA či ANOVA.

Klíčová slova: Gravírování, drsnost povrchu, 2D a 3D snímání povrchů

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is a examination and evaluation of the quality of engraved glass surfaces. The theoretic part discusses the technology of production, ways of industrial production of glass, methods of glass treatment both conventional and unconventional.

The practical part discusses the comparison of three glass engraving techniques (engraving with direct grinder, etching paste and laser engraving) on test samples. These samples were then scanned by contactless scanning and evaluated using the EDA or ANOVA method.

Keywords: Engraving, surface roughness, 2D and 3D scanning surfaces.

Velké poděkování patří mé vedoucí diplomové práce Ing. Mileně Kubišové, za velkou ochotu, pozitivní přístup, vstřícnost a cenné rady, které vedly k vypracování této práce. Dále velké díky patří mé rodině a známým, kteří mne podporovali a motivovali po celou dobu studia.

Tato diplomová práce byla spolufinancována z projektu Interní Grantové Agentury Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně číslo IGA/FT/2018/004.

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>10</b>
<b>1 SKLO</b> .....	<b>11</b>
1.1 DRUHY SKLA .....	11
1.2 ZPŮSOB PRŮMYSLOVÉ VÝROBY A POUŽITÍ.....	14
1.3 TECHNOLOGIE VÝROBY SKLA .....	16
<b>2 NORMY ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO4288 A ČSN EN ISO 25 178-2</b> .....	<b>17</b>
2.1 ZÁKLADNÍ POJMY .....	17
2.2 PARAMETRY PROFILU POVRCHU .....	19
2.2.1 Výškové parametry – výstupky a prohlubně.....	19
2.2.2 Výškové parametry – průměrné hodnoty pořadnic.....	20
2.2.3 Délkové parametry – šířkové .....	22
2.2.4 Tvarové parametry .....	22
2.3 VYHODNOCENÍ PARAMETRŮ JAKOSTI POVRCHU .....	22
2.3.1 Neperiodický profil drsnosti – postup vyhodnocení .....	23
2.3.2 Periodický profil drsnosti – postup vyhodnocení.....	23
2.3.3 Pravidlo 16-ti % .....	25
2.3.4 Pravidlo maxima .....	25
2.4 3D PARAMETRY POVRCHU PLOCHY .....	26
2.5 POROVNÁNÍ 2D A 3D METODY SNÍMÁNÍ.....	27
<b>3 METODY OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>28</b>
3.1 KLASICKÉ METODY OBRÁBĚNÍ .....	28
3.2 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ.....	33
<b>4 STATISTICKÉ HODNOCENÍ</b> .....	<b>36</b>
4.1 PRŮZKUMOVÁ ANALÝZA DAT (EDA) .....	36
4.2 TESTOVÁNÍ NORMALIT .....	36
4.2.1 Test outlierů .....	36
4.2.2 F – test.....	37
4.2.3 T – test.....	38
4.2.4 Transformace dat.....	38
4.3 ANOVA .....	39
4.4 CHYBY MĚŘENÍ .....	39
<b>5 CÍL PRÁCE</b> .....	<b>41</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>42</b>
<b>6 VÝROBA VZORKŮ</b> .....	<b>43</b>
6.1 GRAVÍROVÁNÍ.....	43
6.1.1 Gravírování přímou bruskou.....	43
6.1.2 Leptání leptací pastou .....	44



6.1.3	Laserové gravírování pomocí laseru ILS 3NM.....	45
<b>7</b>	<b>MĚŘICÍ PŘÍSTROJ.....</b>	<b>49</b>
7.1	PRINCIP BEZKONTAKTNÍHO ZPŮSOBU SNÍMÁNÍ JAKOSTI.....	49
7.1.1	Laserový snímač.....	50
7.2	PŘÍPRAVA MĚŘENÍ.....	50
<b>8</b>	<b>NAMĚŘENÁ DATA.....</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>STATISTIKÉ VYHODNOCENÍ.....</b>	<b>59</b>
9.1	PRŮZKUMOVÁ ANALÝZA DAT (EDA).....	60
9.2	TEST ROVNOSTI ROZPTYLŮ.....	69
9.3	TEST ROVNOSTI PRŮMĚRŮ.....	70
<b>ZÁVĚR.....</b>		<b>72</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>		<b>74</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>		<b>77</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>		<b>78</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>		<b>80</b>

## ÚVOD

Tématem diplomové práce je Statistické zkoumání rozdílů jakosti povrchů při různých technikách gravírovaného skla.

Sklem je obklopena většina z nás, prakticky na každém kroku. Má široké využití, různé vlastnosti a možnosti zpracování, a tím je nenahraditelnou součástí našeho života. Můžeme se setkat s různými druhy skel (přírodní, umělé), každé sklo, ať už přírodní či umělé, musí být zpracováno do požadovaného tvaru a posléze může být různými technikami upravováno. Mohou do něj být vygravírovány různé okrasné ornamenty, názvy, kódy a jiná značení.

Každá technika využitá ke gravírování má různý úběr materiálu a zároveň je každá technika ke gravírovanému sklu jinak šetrná. Proto je v této diplomové práci důležitá jakost povrchu, kterou rozumíme jako strukturu a drsnost povrchu, která je určena způsobem obrábění a hloubkou stopy po nástroji. Parametry drsnosti se vyhodnotí na skutečných vzorcích, které jsou vyrobeny třemi technikami gravírování skla. Zkušební vzorky neboli skla jsou připraveny technikami gravírování, které sama ovládám již nějakou dobu.

Skla se připraví gravírováním ruční přímou bruskou, leptáním leptací pastou a gravírováním pomocí laseru, a to 5 skel každou technikou.

Gravírování výrobku ovlivňuje nejen kvalitu výrobku, čas strávený nad každým gravírováním, ale také cenu. Kvalitně vygravírovaný povrch je v zájmu jak této práce, ale také výroby, tak aby nám vyhodnocení prozradilo, která technika gravírování je ke sklu nejšetrnější, a tím i vyhodnocení povrchu, u kterého je nutné správné měření, vyhodnocení a interpretace naměřených dat.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 SKLO

Většina z nás je sklem obklopena každý den. Sklo má široké využití, různé vlastnosti a možnosti zpracování, a tím je nenahraditelnou součástí našeho života. Sklo bylo objeveno kolem roku 3 000 př. n. l. v Egyptě. Z počátku bylo sklo velmi nečisté a používalo se pro výrobu ozdob. Až v době 1 600 před našim letopočtem začaly vznikat předměty ze skla. Znalosti o výrobě skla se do Evropy šířily ze Středního a Blízkého východu, evropské sklářství dosáhlo velkého rozmachu až ve 13. století našeho letopočtu.

Sklo je materiál anorganicky amorfní, tedy nekystalický, a je vyrobené za pomoci vhodných surovin. Díky řízenému ochlazení vznikne sklovina, která je bez krystalizace. Plynu-lým přechodem z kapalného do pevného stavu vzniká skelný stav, kde při ochlazování skla dochází k souvislému růstu viskozity až na vysokou hodnotu, kdy se materiál zdánlivě projevuje jako pevná látka. Rozdíl od krystalických látek je takový, že má nedostatek pravidelné struktury skla, symetrické a periodické uspořádání základních stavebních jednotek na delší vzdálenost.

Celá řada anorganických látek vytváří sklo, mezi nejběžnější patří skla oxidická, která se dále dělí podle převažující složky, jsou to například skla křemičitá a boritokřemičitá. Dle chemického hlediska jsou běžná skla tuhým roztokem různých křemičitanů sodných, draselných, vápenatých, eventuálně olovnatých nebo barnatých a zároveň se doprovází dalšími sloučeninami, kterými jsou oxidy kovů.

Sklo se vyznačuje poměrně vysokou propustností světla v části viditelného spektra, tuhostí a tvrdostí při normálních teplotách, křehkostí, homogenitou, odolností vůči povětrnostním a chemickým vlivům, vysokou pevností v tlaku, relativně nízkou měrnou tepelnou a elektrickou vodivostí a vysokou nepropustností a odolností vůči vzduchu, vodě a dalším jiným látkám.[3,4,5]

### 1.1 Druhy skla

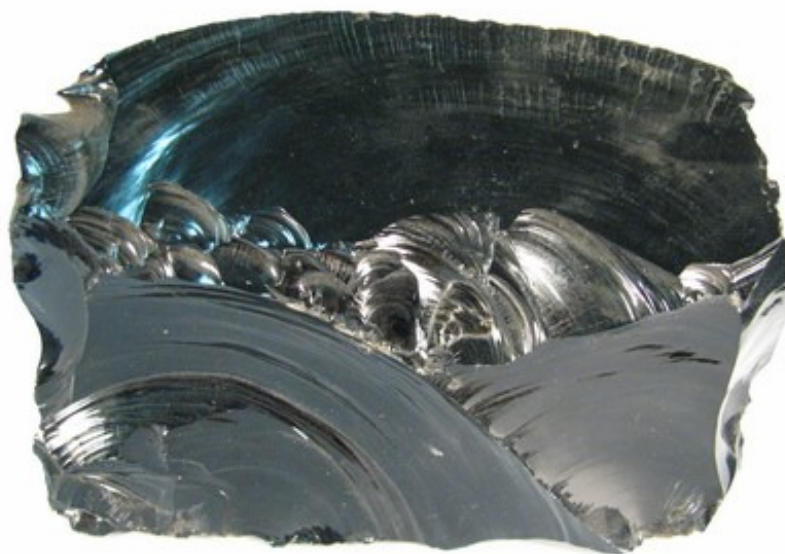
Materiály pro výrobu skla, tedy skelné materiály, můžeme rozdělit dle celé řady hledisek, a to podle původu, chemismu, způsobu výroby a použití.

#### **Skla přírodní**

Jsou to skla, která vznikají přírodními procesy, a to především vulkanickou činností nebo jinými tepelnými procesy v přírodě. Hlavním představitelem přírodních skel jsou

horniny ze skupiny vulkanických skel (obsidián, pemza, perlit a smolek). Vulkanická skla vznikají ochlazením kyselé lávy na zemském povrchu. Obsidián byl v minulosti využit pro výrobu kamenné industrie, a to u středoamerických a jihoamerických indiánských kultur. Mezi přírodní skla patří také tektity, které vznikají v souvislosti s dopadem meteoritu na zemský povrch, a zároveň roztavením původních sedimentárních hornin v místě dopadu. Podle místa výskytu se tektity nazývají vltavíny, australity, indočinity, irgizity. Většinou mají tvar disků, kapek, tyčinek, knoflíků s vrásčitým povrchem a barvu od zelené, hnědou až po černou.

Vltavíny byly objeveny jako první z tektitů v roce 1787 a dostaly svůj název podle řeky Vltavy. Vznik bývá vysvětlován jako důsledek dopadu meteoritu do oblasti dnešního Bavorska asi před 14,7 mil. let, při kterém vznikl kráter Ries. Využívá se jako šperkařská surovina. [3,6,7,8]



Obr. 1 Obsidián (vulkanické černé sklo s lasturnatým lomem) [8]



Obr. 2 Jihočeský vltavín se skulptovaným povrchem [8]

### **Skla umělá**

Umělé sklo vzniká tavením sklářského kmene a dalších přísad s následným řízením ochlazením bez krystalizace. Umělé sklo může také vznikat jako vedlejší produkt při spalování uhlí (vysokoteplotní popílký či tavné strusky).

### **Chemismus průmyslových skel**

#### **Křemenné sklo – $\text{SiO}_2$**

Vzniká tavením čistého křišťálu, a také žilného křemene ve vakuu při teplotě cca 2 000 °C. Nejčastěji se křemenné sklo používá pro výrobu osvětlovacích výbojek a různých aparatur.

#### **Rozpustné (vodní) sklo – $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$**

Obchodní název pro rozpustné sklo je vodní sklo, což je tavení alkalických křemičitanů. Výroba tavením křemičitého písku se sodou (sodná vodná skla) nebo potaší (draselná vodní skla), anebo se síranem sodným a dřevěným uhlím. Nejčastěji se prodává ve formě vodných roztoků, vzniká za pomoci rozpuštěním skloviny vodou nebo vodní párou. Využívá se k impregnaci papírových tkanin, ke konzervaci vajec, plnivo do mýdel, k ochraně a sanaci přírodního kamene, ale také jako pojivo kyselinovzdorných tmelů, žáruvzdorných materiálů, nástřiků pro protipožární ochranu konstrukcí. [5,6,7,8]

**Křemičité sodnovápenaté sklo –  $\text{Na}_2\text{O} - \text{CaO} - \text{SiO}_2$** 

Křemičité sodnovápenaté sklo je nejběžnější chemická soustava skla. Vzniká tavením sklářského písku se sodou a vápencem. Sklovina toho složení se používá pro výrobu plochého, obalovaného a užitkového skla (lahve, sklenice a běžné stolní sklo).

**Křišťálová skla**

Jde především o velmi kvalitní druh čirého bezbarvého skla s vysokým leskem a vysokou světelnou propustností. Vzniká tavením sklářského písku s potaší a vápencem, je tvrdší a hůře tavitelný, lesklý a stály. Pokud se potaš z části nahradí, vznikne sklo sodnodraselnovápenaté, které se využívá pro výrobu levného stolního skla. Vyrábí se z něj umělecké, dekorační, ale také užitkové skleněné předměty (stolní sklo). Historickými zástupci jsou český a anglický křišťál. Dle mezinárodní konvence se pojem křišťálové sklo vztahuje pouze na olovnaté sklo s více než 24 % oxidu olovnatého ( $\text{PbO}$ ) a s indexem lomu vyšším než 1,545. [5,6,7,8]

**Tepelně odolná skla –  $\text{Na}_2\text{O} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$** 

První tepelně odolné (laboratorní) sklo bylo u nás vyrobeno v roce 1837 v Sázavě. Po roce 1945 se přidalo do této skupiny skel tzv. jenské sklo a také u nás sklo Simax. Z těchto typů se vyrábí laboratorní nádobí nebo varné nádobí do domácností. Obsahuje vysoké množství oxidu křemičitého ( $\text{SiO}_2$ ), který má tavíci teplotu kolem 1 600 °C.

**Nízkoalkalická skla –  $\text{CaO} - \text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$** 

Toto sklo obsahuje méně než 1 % oxidu draselného ( $\text{K}_2\text{O}$ ) a oxidu sodného ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), používají se především tam kde je přítomnost alkálií nežádoucí (například chemickém a farmaceutickém průmyslu). [5,6,7,8]

**1.2 Způsob průmyslové výroby a použití**

**Ploché sklo tažené, válcované** nebo také vyráběné **Float procesem**. Jedná se o nejrozšířenější typ výrobku z kompaktní skleněné hmoty. Využívá se ve stavebnictví pro zasklení oken, dveří, přepážek, stěn, balkónů, výkladních skříní a někdy i jako vnější fasádní obkladový materiál, který je v kovových rámech. Co se týká tažených skel, patří sem skla matová a ledová, sklo na zrcadla, bezpečnostní sklo, determální sklo a tvrzené sklo. Válcované sklo může být sklo s drátěnou vložkou. Float proces je zvláštní způsob tvarování skla. Dochází při něm k vložení proudu skla do komory s roztaveným cínem, na kterém se rovno-

měrně roztéká, tím se zajistí rovnoměrná tloušťka a zároveň i hladká plocha. V dnešní době se plochá skla, vyráběná všemi možnými způsoby výroby, používají k výrobě izolačních skel, která jsou vytvořena ze dvou i více skel, která mají mezi sebou vzduchovou dutinu nebo dutinu vyplněnou inertním plynem (izolační dvojskla a trojskla). [6,7,9]

**Tvarované sklo** se vyznačuje prvky, které jsou vyráběné jako duté, plné nebo korýtkovité tvarovky, skleněné tašky a trouby. Využívá se na sklobetonové konstrukce stěn, stropů nebo klenb, kdy mohou staticky působit společně s betonovou výplní nebo tvoří pouze průsvitnou výplň. Luxfery jsou příkladem dutých tvarovek, které jsou používané pro nenosné konstrukce vnějších a vnitřních stěn jako výplně otvorů. V půdních prostorech se namísto střešních okýnek využívají skleněné tašky, které se vyrábějí ve velikostech a tvarech, které jsou totožné s keramickými pálenými taškami (například bobrovky, drážkové tašky).

Za pomoci sklářské píšťaly se tvaruje **foukané sklo**. Foukáním se vyrábí především zejména umělecká a dekorativní skla, ale také mohou být tak to vyráběna skla technická a užitková neboli stolní.

**Pěnové sklo** je anorganický pórovitý materiál s tepelněizolačními vlastnostmi, který má vysokou pevnost v tlaku na rozdíl od ostatních tepelněizolačních materiálů. Vyrábí se z nízkotavitelné skloviny, která se při teplotě kolem 1 000 °C ve formě napěňuje vhodnými zpěňovadly (saze, uhlí, které hoří a tím napěňují sklovinu až na dvacetinásobek průvodního objemu). Tato skla se začala vyrábět od 40. let 20. století, kdy se vyrábělo jako náhrada korku pro stavbu lodí pod názvem Spumavit, který se již dnes u nás nevyrábí.

Skleněná vlákna mají v současné době velmi široké využití ve stavebnictví. Výroba probíhá taháním, odstředováním nebo rozfoukáváním roztavené skloviny. Využívají se zejména jako tepelně a zvukově izolační materiál. Skleněná vlákna lze využít i jako výztuž v betonu, tento patent pochází již z roku 1874, ale k většímu uplatnění dochází skleněných vláken v betonech až v 90. letech 20. století. Vláknitá výztuž omezuje vznik trhlin při smršťování betonu a zároveň zlepšuje vlastnosti pevnosti ztvrdlého betonu. Skleněná vlákna v betonu musejí být odolná v silně alkalickém prostředí cementového tmelu a kamene, toho se docílí buď speciálním složením sklářského kmene anebo povrchovou lubrikací. [6,7,9]



### 1.3 Technologie výroby skla

U výroby skla se uplatňují čtyři technologické procesy:

#### Příprava vsázky

Vsázka je sklářský kmen spolu s přísadami. Jednotlivé suroviny se upraví, pomelou a vysuší a následně smísí a homogenizují ve vyžadovaném poměru v mísicím zařízení. Míšení se provádí v dnešní době především strojně za pomoci mísidel, tak aby se zabránilo prášení surovin.

#### Tavení skla

Ve sklářských tavících pecích (zpravidla v pánvových nebo vanových) probíhá tavení skla. Tavící proces má tři fáze: vlastní tavení, čerění, homogenizace a chlazení po tvarování. Při procesu tavení se nejčastěji dosáhne teploty v rozmezí 1 400 – 1 600 °C. Palivem, které se používá do tavících pecí je především generátorový a zemní plyn. Pokud se sklo taví dle jiného technologického postupu, může být dosaženo úplně odlišného výsledku.

#### Tvarování skla

Při tvarování se využívá viskózní deformace a silné závislosti viskozity skloviny na teplotě. Během tvarování nemůže dojít ke krystalizaci skloviny. Tvarování skla probíhá od ručního zpracování až po plně automatizované procesy (například foukáním, tažením, válcováním, litím nebo lisováním).

#### Chlazení skla

Chlazení probíhá ve speciálních chladících pecích, v teplotním rozmezí 700 – 400 °C. Chlazení je řízené, tím se z výrobku odstraní a zabrání se vzniku vnitřnímu pnutí a zároveň se podstatně může zvýšit i pevnost skla. Po ochlazení se sklo může povrchově dále upravovat (například brousit, leštit, pískovat, leptat). [6,7,9]

## 2 NORMY ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO4288 A ČSN EN ISO 25 178-2

Zde jsou uvedeny normy, které se zaměřují na strukturu povrchu, a které jsou součástí geometrických požadavků na výrobky. ČSN EN ISO 4287 je zaměřena na termíny, definice a také na parametry struktury povrchu. Pojmenovává a poukazuje na parametry, které se u struktury povrchu dají pozorovat a měřit s následným uvedením výpočtu týkajících se parametrů. [1]

Norma ČSN EN ISO 4288 je zaměřena postupy, které posuzují a měří struktury povrchu a zároveň stanovuje pravidla, které napomáhají porovnávat naměřené hodnoty s tolerančními mezemi, které jsou dané strukturou povrchu dle již zmíněné normy ČSN EN ISO 4287 a dalších norem. [2]

Norma ČSN EN ISO 25178-2 se zaměřuje v první části na plošnou metodu hodnocení povrchu, druhá část normy definuje parametry, termíny a definice pro povrch s plošnou texturou. Hodnocení textury povrchu u plošné metody je analogické k metodě profilové. Pro vzájemné působení snímacího zařízení s povrchem, který není ideální, se vyhodnotí získaná data. [13]

### 2.1 Základní pojmy

**Základní parametry** – tvar, vlnitost a drsnost. Na základě jejich vlnové délky jsou stanoveny hranice mezi parametry.

**Tvar** zahrnuje nerovnosti, které jsou o vyšších vlnových délkách než vlnitost, které mohou být tvořeny s úmyslem či neúmyslně. Úmyslné vytvoření nerovnosti na ploše je zaměřením této diplomové práce, kdy je sklo vygravírováno laserem, přímo ruční bruskou a vyleptáno leptací pastou. Neúmyslné vytvoření nerovnosti může být zapříčiněno nízkou tuhostí stroje a nástroje (při obrábění).

Opakující se nerovnosti, periodicky se opakující jsou **vlnitost**, která vzniká jako důsledek nedostatečné tuhosti nebo špatného nastavení rezných podmínek stroje a to má za následek vznik vibrací. [1]

Nejkratší vlnové délky způsobují nejjemnější nerovnosti a tím vzniká **drsnost povrchu**. Rezným nástrojem při obrábění vzniká drsnost zanecháním stopy, její vlastnosti závisí na rezných podmínkách. Pokud je použita jiná metoda například vstřikování, odlévání a

jiné, jde následně o otisk stěny formy či zápusky a k tomu ovlivnění teplotou a složením materiálu.

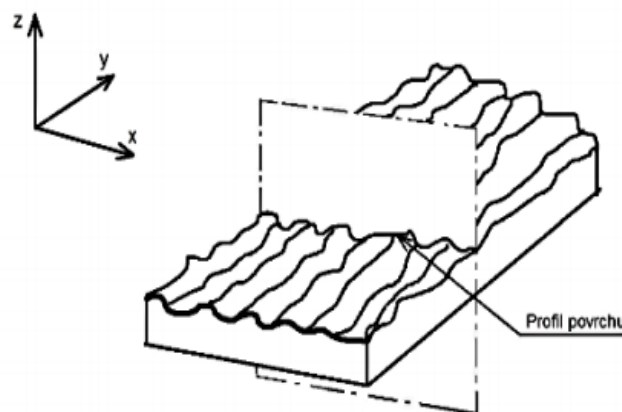
**Filtr profilu** – Za pomoci filtru rozdělíme profily na krátko vlnové a dlouho vlnové. U přístrojů na měření drsnosti, vlnitosti a pro zjištění základního profilu jsou využívány 3 filtry. Jedná se o stejné přenosové charakteristiky, ale přitom mají rozdílné hodnoty mezní vlnové délky (cut-off).

**Mezní vlnové délky:**

- Filtr profilu  $\lambda_s$  – ukazuje rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln
- Filtr profilu  $\lambda_c$  – ukazuje rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitostí
- Filtr profilu  $\lambda_f$  – ukazuje rozhraní mezi vlnitostí a delšími složkami vln

**Souřadnicový systém** – je definován parametry struktury povrchu, většinou jde o osu, která tvoří pravotočivý kartézský souřadnicový systém. Osa X je rovnoběžná ve směru snímání povrchu, a také se střední čarou. Za to osa Y je kolmá ke snímanému povrchu a osa Z má směr od povrchu vertikální. [1]

**Profil povrchu** – profil, který vznik jako průsečík povrchu rovnoběžně s osou X.



Obr. 3 Profil povrchu [1]

**Dráha snímání povrchu**

Pohyb dráhy měřicího přístroje při měření. Dělíme je na  $l_r$ ,  $l_n$  a  $l_t$ .  $l_r$  je základní délka, která slouží k určení drsnosti neboli nerovnosti.  $l_n$  - vyhodnocovací délka, kterou se hodnotí celý profil a  $l_t$  je celková délka, kde je součet vyhodnocen společně s náběhem a přeběhem. [1,2]

## 2.2 Parametry profilu povrchu

Parametry jsou nejčastěji používané parametry, které slouží k vyhodnocení struktury snímaného povrchu. Podstatu mají ve dvourozměrném měření povrchu, kdy je měření provedeno kontaktním drsnoměrem. [1]

### 2.2.1 Výškové parametry – výstupky a prohlubně

Výškové parametry jsou vypsány z normy ČSN EN ISO 4287 a udávají hodnoty výstupků a prohlubní.

**Největší výška výstupku profilu  $R_p$** , následně je výška  $Z_p$  nejvyšší výstupek profilu v rozsahu základní délky. [1]



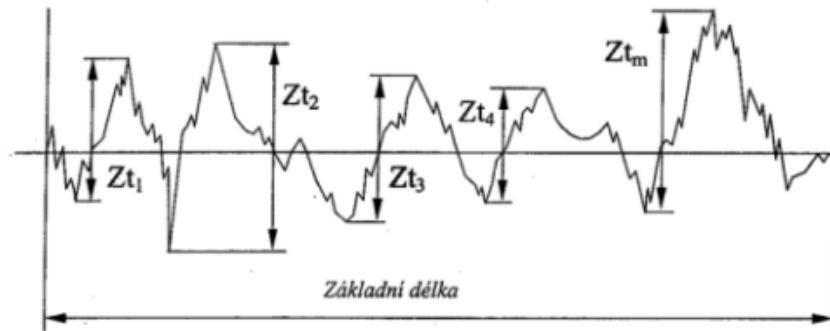
Obr. 4  $R_p$  – největší výška výstupku profilu [1]

**Největší hloubka prohlubně profilu  $R_v$**  je hloubka,  $Z_v$  nejnižší prohlubeň profilu v rozsahu základní délky.

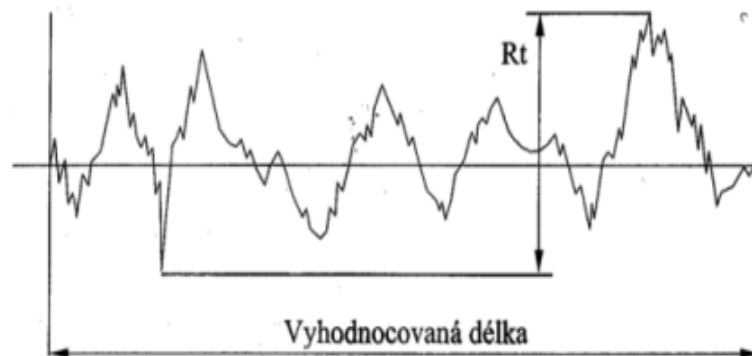
**Největší výška profilu  $R_z$**  má součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky.

**$R_c$  průměrná výška prvků profilu** je hodnota průměrná výšek  $Z_t$  profilu v základní délce. [2]

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

Obr. 5  $R_c$  – průměrná výška prvků profilu [1]

**Celková výška profilu  $R_t$**  je součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a zároveň hloubky nejnižší prohlubně profilu v rozsahu délky, která je vyhodnocená.



Obr. 6 Výška profilu celková [1]

### 2.2.2 Výškové parametry – průměrné hodnoty pořadnic

**$R_a$  drsnost povrchu ve směru výšky** - střední aritmetická úchylka profilu vyplývá z aritmetického průměru absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$ , které jsou v rozsahu základní délky  $l_r$ . Parametr má nízkou vypovídající schopnost,  $R_a$  nereaguje citlivě na extrémní výšky hrotů profilu tak i na hloubky rýh profilu. [2]

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



Obr. 7 Ra – Aritmetická úchylka [1]

**Průměrná kvadratická úchylka profilu  $Rq$** , který je posuzovaný. Jde o kvadratický průměr pořadnic  $Z(x)$ , které jsou v rozsahu délky  $l_r$ .

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

**Průměrná výška prvku –  $Rc$**  – jde průměrnou hodnotu výšek  $Z_t$  a prvků profilu v rozsahu základní délky.

$$Rc = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Z_{ti} \quad (4)$$

**$Rt$  – Celková výška profilu** je vlastně součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$ , což je nejnižší prohlubeň profilu v rozsahu vyhodnocované délky.

Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu  **$Rq$**  je kvadratický průměr pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní desky. [1]

**Šikmost posuzovaného povrchu  $Rsk$**  vyplívá z podílů průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic  $Z(x)$  a třetí mocniny hodnoty  $Rq$  v základním rozsahu délky  $l_r$ .

$$Rsk = \frac{1}{Rq^3} \left| \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^3(x)| dx \right| \quad (5)$$

**$Rku$** , jinak také špičatost posuzovaného profilu, je podíl průměrné hodnoty čtvrtých mocnin pořadnic  $Z(x)$  a čtvrté mocniny hodnoty  $Rq$  v rozsahu základní délky.

$$Rku = \frac{1}{Rq^4} \left| \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^4(x)| dx \right| \quad (6)$$

### 2.2.3 Délkové parametry – šířkové

**R<sub>Sm</sub>** neboli **průměrná vzdálenost prvků profilu** je průměrná hodnota šířek  $X_s$  prvků profilu v rozsahu základní délky. [1]



Obr. 8 R<sub>Sm</sub> – Průměrná šířka [1]

$$R_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{S_i} \quad (7)$$

### 2.2.4 Tvarové parametry

Jsou průměrný kvadratický sklon posuzovaného profilu  $R\Delta q$ , kde kvadratický průměr sklonů pořadnic  $dZ/dX$  v rozsahu základné délky  $l_r$ . [1]

## 2.3 Vyhodnocení parametrů jakosti povrchu

Nemáme-li specifikovaný směr pro měření, musí být obrobek polohován ve směru řezu, který odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti ( $R_a$ ,  $R_z$ ). Směr je kolmý k poloze povrchu a tím jsou izotropní povrchy ve směru řezu libovolné.

Měření se provádí na části povrchu, u které můžeme očekávat hodnoty kritické. Takový to povrch posuzujeme vizuálním pozorováním. Abychom získali nezávislé výsledky, měli bychom provádět měření na části povrchu, který je rozdělený rovnoměrně.

Pohledem se rozhodne, zda je profil drsnosti periodický či neperiodický, z toho vyplyne určení hodnot parametrů drsnosti. [2]

### 2.3.1 Neperiodický profil drsnosti – postup vyhodnocení

U povrchu s neperiodickým profilem drsnosti je nutno použít tento postup:

- 1) Nejdříve odhadneme parametr profilu drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$ ,  $R_{sm}$ , který je neznámý. Využijeme k tomu libovolný způsob. Může to být za pomoci srovnání, kdy srovnáváme prostřednictvím srovnávacích vzorků, vizuální prohlídkou nebo grafickou analýzou celkového profilu.
- 2) Prostřednictvím odhadu základní délky z tabulky (viz. tab. 1, 2, 3) pro  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{sm}$ , které jsou odhadnuté z kroku 1).
- 3) Reprezentativní měření  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$ ,  $R_{sm}$  se získá měřicím přístrojem, který má nastavené hodnoty základní desky odhadnuté z kroku 2).
- 4) Porovnání naměřených hodnot  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{sm}$ , které jsou v rozsahu hodnot v tabulce (tab. 1, 2, 3) odpovídající odhadnutí základní desce. Pokud jsou naměřené hodnoty mimo rozsah hodnot pro odhadnutí základní délky, tak se přístroj nastaví na větší nebo menší základní délku, než je základní délka určená měřenou hodnotou. Následně se změří reprezentativní hodnota za použití této nastavené základní délky se opět porovnává s hodnotami v tabulkách (tab. 1, 2, 3).
- 5) Po získání reprezentativní hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{sm}$  pro jednu základní délku, která byla nastavená kratší, není tato nastavená hodnota kratší základní délka hodnocena v předchozím kroku 4). Zkontroluje se pohledem a zjistí, zda se výsledná kombinace  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{sm}$  a základní délka jsou uvedeny v tabulkách (tab. 1, 2, 3).
- 6) Závěrečné nastavení podle předchozí fáze 4) odpovídá tabulkám (tab. 1, 2, 3) jsou základní délky a hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1mas}$  a  $R_{sm}$  správné.
- 7) Reprezentativní měření získáme za pomoci žádaných parametrů využitím hodnoty mezní vlnové délky, která byla odhadnuta v předchozích krocích. [2]

### 2.3.2 Periodický profil drsnosti – postup vyhodnocení

**Pokud máme povrchy s periodickým profilem drsnosti, tak využijeme tento postup:**

- 1) U povrchu s neznámou drsností, graficky odhadneme parametr  $R_{sm}$ .
- 2) Při odhadu parametru  $R_{sm}$  použijeme tabulky (tab. 3), kde se určí doporučená hodnota mezní volné délky cut-off.



- 3) Ve sporném případě, pokud je to nezbytné se změří hodnota  $R_{sm}$ , tak že se využije hodnota mezní vlnové délky cut-off, která se určí podle bodu 2).
- 4) Pokud podle bodu 3) je hodnota  $R_{sm}$  shodná s tabulkou (tab. 3) menší nebo větší hodnotě mezní vlnové délky cut-off než v předchozím bodě 2), využije se menší nebo větší hodnota mezní vlnové délky cut-off.
- 5) Po dosažení reprezentativního měření požadovaných parametrů při použití hodnoty mezní vlnové délky (základní délky  $l_r$ ), která byla odhadnuté v přechodném bodu. [2]

Tab. 1 Základní délky drsnosti pro měření  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_{sk}$ ,  $R_{ku}$ , křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily [2]

<b><math>R_a</math> [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Základní délka drsnosti <math>l_r</math> [mm]</b>	<b>Vyhodnocení délky drsnosti <math>l_n</math> [mm]</b>
$0,006 < R_a \leq 0,02$	0,08	0,4
$0,02 < R_a \leq 0,1$	0,25	1,25
$0,1 < R_a \leq 2$	0,8	4
$2 < R_a \leq 10$	2,5	12,5
$10 < R_a \leq 80$	8	40

Tab. 2 Základní délky drsnosti pro měření  $R_z$ ,  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_c$ , a  $R_t$  neperiodických profilů [2]

<b><math>R_z</math>, <math>R_z</math> 1 max. [<math>\mu\text{m}</math>]</b>	<b>Základní délka drsnosti <math>l_r</math> [mm]</b>	<b>Vyhodnocení délky drsnosti <math>l_n</math> [mm]</b>
$0,025 < R_z, R_z$ 1 max $\leq 0,1$	0,08	0,4
$0,1 < R_z, R_z$ 1 max $\leq 0,5$	0,25	1,25
$0,5 < R_z, R_z$ 1 max $\leq 10$	0,8	4
$10 < R_z, R_z$ 1 max $\leq 50$	2,5	12,5
$50 < R_z, R_z$ 1 max $\leq 200$	8	40

Tab. 3 Základní délky drsnosti pro R – parametrů periodických profilů s Rsm periodických a neperiodických profilů [2]

Rsm [ $\mu\text{m}$ ]	Základní délka drsnosti $l_r$ [mm]	Vyhodnocení délky drsnosti $l_n$ [mm]
$0,013 < R_{sm} \leq 0,04$	0,08	0,4
$0,04 < R_{sm} \leq 0,13$	0,25	1,25
$0,13 < R_{sm} \leq 0,4$	0,8	4
$0,4 < R_{sm} \leq 1,3$	2,5	12,5
$1,3 < R_{sm} \leq 4$	8	40

### 2.3.3 Pravidlo 16-ti %

U sledované plochy provádíme hodnocení za pomoci hodnot, které jsme získali z přístroje pro měření struktury parametrů povrchu na sledované ploše a zároveň s následným porovnáním hodnot, které jsou používány pro funkčnost sledované plochy, která je zaznamenaná ve výkrese či výrobní dokumentaci. Když plochu hodnotíme, vycházíme z normy ČSN EN ISO 4288. Parametr, který je sledován nabývá hodnoty s jistým rozptylem, s tím již uvedená norma počítá a tím je nastaveno pravidlo 16-ti %. Za pomoci pravidel normy je provedena kontrola homogenity povrchu, a pokud je struktura povrchu homogenní, parametry měřitelných hodnot jsou vyhodnoceny na každé ploše a zároveň jsou odděleny dle výrobní dokumentace a požadavků ve výkresové dokumentaci. [1]

### 2.3.4 Pravidlo maxima

Pokud je povrch obrobku složen několika různých ploch, které mají různou strukturou, jsou tyto hodnoty parametrů hodnoceny na každé ploše, která je oddělena dle výrobní dokumentace či požadavků ve výkresové dokumentaci. Na části povrchu je provedeno měření, u kterého lze předpokládat kritické hodnoty. Takovouto část povrchu můžeme posoudit vizuálním porovnáním, abychom získali nezávislé výsledky, jednotlivá měření jsou na dané části rozdělena rovnoměrně. Při použití speciálních postupů měření musí být popsány a uvedeny ve specifikacích v protokolu o měření. [2]

## 2.4 3D parametry povrchu plochy

V dnešní době se stále zvyšují požadavky na kvalitu povrchu, proto jsou požadovány nové pohledy na měření a zároveň na následné vyhodnocování hodnot, které byly naměřeny. Je potřebné měření okamžité kvality, ale i snaha o předpoklad chování materiálů, například se může jednat o včasné odhalení možných nedostatků, ale stále více se směřuje k prostorovému mapování a hodnocení povrchu.

Co se týče prostorového zobrazení a hodnocení povrchu, dávají se nejen podrobnější informace o samotném průběhu nerovnosti povrchu, ale i další údaje jako jsou funkční vlastnosti povrchu nebo doba životnosti. U trojrozměrného hodnocení textury povrchu se využívají aplikovatelné poznatky, které máme z dvojrozměrné analýzy profilu, která rozšiřuje hodnocení o nové využitelné poznatky pro charakterizaci profilu plochy. Spojujeme terminologii a popis jednoho profilu povrchu (profilová metoda) s pojmy, které jsou nové, a k tomu s matematickými popisy a geometrickými nerovnostmi povrchu na ploše, jde tedy o plošnou metodu. [13]

**Sa – aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu** – jde o aritmetický průměr absolutních hodnot koordinací uvnitř určené plochy A.

$$S_a = \frac{1}{A} \iint_A |Z(y, x)| dx, dy \quad (8)$$

**Sq – základ průměrné výšky**, která je čtvercem omezené stupnice povrchu Sq

$$S_q = \sqrt{\frac{1}{A} \iint_A |Z(y, x)| dx, dy} \quad (9)$$

**Ssk – šikmost omezené stupnice povrchu** – jedná se o kvocient průměrné hodnoty koordinační krychle a zároveň hodnot krychle Sq uvnitř plochy A.

$$S_{sk} = \frac{1}{S_q^3} \left[ \frac{1}{A} \iint_A |Z^3(y, x)| dx, dy \right] \quad (10)$$

**Sku – špičatost omezené stupnice povrchu** – kvocient je zde průměrné čtvrté mocniny koordinací a k tomu hodnoty čtvrté mocniny Sq uvnitř plochy A.

$$S_{ku} = \frac{1}{S_q^4} \left[ \frac{1}{A} \iint_A |Z^4(y, x)| dx, dy \right] \quad (11)$$

## 2.5 Porovnání 2D a 3D metody snímání

Abychom získali 3D parametr drsnosti nebo vlnitosti je nutné profil povrchu nejdříve filtrovat nezbytným filtrem, čili operátorem a následně vytyčit hodnoty 3D parametrů. Při tom jsou 3D parametry vytyčeny pro celou hodnocenou plochu, ale 2D parametry jsou průměrné hodnoty vztažené na množství základních délek.

2D měření, které souvisí již se zavedenou praxí hodnocení povrchu z hodnot parametrů drsnosti je nedostatečné. Nejčastěji a zároveň i nejužívanějšími parametry pro stanovení kvality povrchu jsou parametry Ra (průměrná aritmetická úchylka profilu) a parametr Rz (největší výška profilu drsnosti). Hodnota parametru Ra může být totožná i při velkém rozdílu profilu povrchu. Z této hodnoty, nicméně nelze logicky odvodit funkční vlastnosti značně odlišných povrchů a ani odpovědět na otázky související s rychlostí opotřebení, zadržování maziva, schopnosti odolat předpokládané zátěži, ani stanovit náchylnost ke vzniku trhlin ve stopě po obrábění.

Výhoda 3D hodnocení povrchu je velká, a zároveň v mnoha případech může jediná takováto informace zodpovědět mnoho otázek, které souvisejí s vhodností povrchu, která je požadovaná pro funkci, a tím i předpokládané zatížení a přítomnost možných vad.

Vyhodnocení charakteristiky povrchu z daných prostorových parametrů je spolehlivější a ucelenější než hodnota získaná z doposud běžně používaných parametrů profilu. Za to prostorové parametry je nutné stanovit z mnohem většího množství dat než u parametrů lineárních. Sběr dat je náročnější než získání dat jen lineárního měření. [1,13, 29]

### 3 METODY OBRÁBĚNÍ

Obrábění je technologický proces, při kterém je vytvořen požadovaný tvar obráběného předmětu. Důležité jsou přesné rozměry, podle kterých dochází k odebrání materiálu.

#### 3.1 Klasické metody obrábění

Jedná se o jeden ze způsobů odstranění materiálu. Jsou to pracovní procesy, mezi které patří například soustružení či frézování.

##### Vrtání

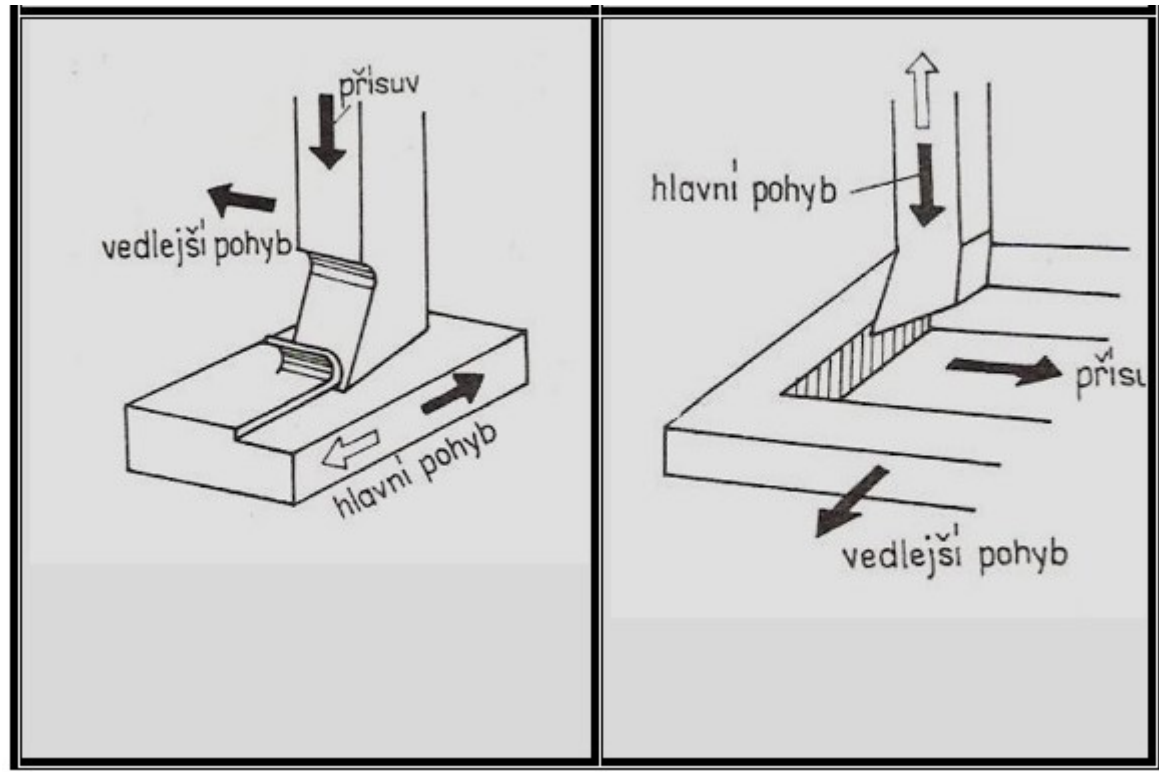
Třískové obrábění kovů, při kterém se vytváří do materiálu díry. Vrták jako nástroj vykonává hlavní řezný pohyb, neboli otáčení.

**Druhy vrtáků dělíme do několika kategorií:**

- a) Kopinatý – upotřebí se především u číslicově řízených strojů pro vrtání krátkých děr velkého průměru.
- b) Kruhostředný – vrtání děr s rovným dnem.
- c) Šroubovitý – nejvíce rozšířený a nejpoužívanější vrták, který má šroubovité drážky, které umožňují účinné odvádění třísek, a současně zajišťuje příznivé chlazení. Hlavní ostří jsou dvě, většinou jsou spojeny příčným ostřím, které tvoří špičku vrtáku. Vrták je v díře veden dvěma úzkými ploškami, které jsou podél šroubovitých drážek.
- d) Šroubovitý s břitovými destičkami ze slinutých karbidů – vrtání tvrdých ocelí a stavebních materiálů.
- e) Středící – navrtání středících důlků, při upínání obrobků na soustruh mezi hroty.
- f) Dělový – k vrtání dlouhých, přímých a zároveň přesných děr.
- g) Korunkový – využití především u tenkostěnných odlitků k vypichování děr.[17]

##### Hoblování a obrážení

Pro obrábění velkých ploch a dlouhých rovinných ploch, drážek a profilů se používá metody hoblování a obrážení. Oba dva způsoby mají za nástroj jednobřitý nůž, který vykonává přímočarý vratný pohyb. U těchto metod je zpětný pohyb vykonávaný naprázdno a tím se snižuje produktivita obrábění, a tudíž je zpětná rychlost 1,5x -4x větší než pracovní rychlost. [20]

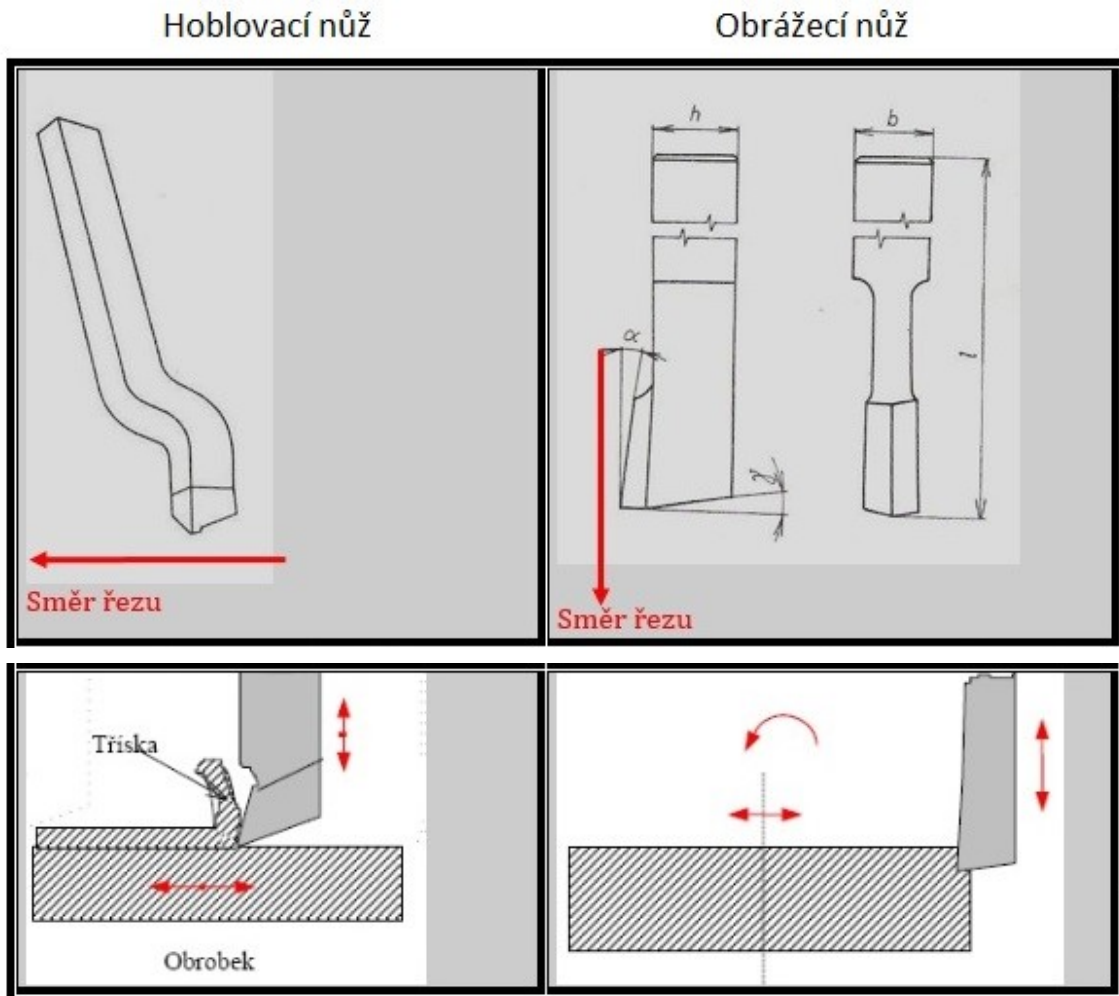


Obr. 9 Rozdíl mezi hoblováním a obrážením [20]

Nástrojem při hoblování a obrážení jsou jednobřité a hoblovací a obráběcí nože. Nože jsou upínány do nožových držáků, které se při zpětném pohybu odklápí, aby nůž hřbetem nedřel po obrobené ploše a nepoškodil se.

Hoblovací nože jsou dosti podobné soustružnickým nožům, ale mají mezi sebou drobné rozdíly. Nůž je při záběru do materiálu vystaven značným tlakům, proto musí být upraven tak, aby se jeho účinek projevil co nejméně, většinou bývá ohnutý proti směru řezu.

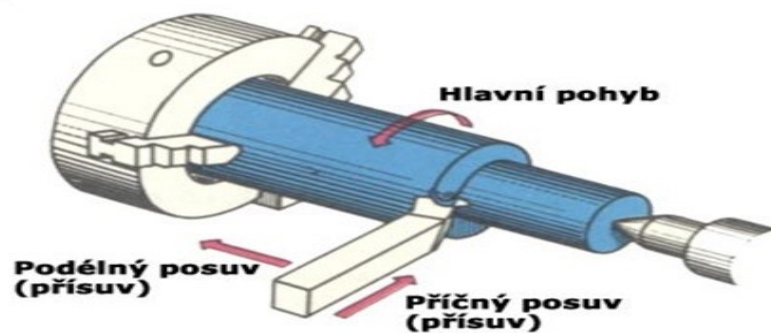
Obráběcí nože se při obrábění pohybují ve směru své osy, nevýhodou je velké vyložení břitu, kterým vzniká pružení, chvění nástroje a zároveň obtížné chlazení a odvod třísek. Z důvodu zvýšení tuhosti se těleso nože zesiluje. [20]



Obr. 10 Rozdíl mezi hoblovacím a obrážecím nožem[20]

### Soustružení

Třískové obrábění, které se zhotoví za pomoci kruhového průřezu. Použitý stroj se nazývá soustruh a nástrojem je soustružnický nůž. Hlavní řezné pohyby vykonává obrobek rotací, vedlejší řezné pohyby jsou vykonávány dva, přířuv a posuv, vykonává je nástroj, tedy soustružnický nůž.[16]



Obr. 11 Pohyby při soustružení [16]

Máme hned několik druhů soustruhů dle konstrukce – hrotové, čelní, svislé, revolverové a speciální.

**1) Hrotové soustruhy dělíme na:**

- a) **Univerzální** – mají vodící hřídel pro posuv a zároveň vodící šroub, který umožní řezat závity. Univerzální soustruhy mají široký rozsah otáček, a také posuvu, proto na nich lze provádět většinu technologických operací.
- b) **Produkční** – jsou bez vodícího šroubu. Jsou vybaveny motorem většího výkonu, než je u univerzálního soustruhu. Především se využívají pro hrubovací práce.

**2) Čelní soustruhy** – soustružení obrobků, které mají velký průměr a malou výšku jako u setrvačnicků a lanových kotoučů. Obrobky jsou upínány na lící desku s drážkami radiálními a čelistmi. Obrábí se hlavně součásti přírubového tvaru.

**3) Svislé soustruhy** – obrobek je upínán svisle. **Jsou dva druhy svislého soustruhu:**

- a) **Jedno-stojanové**
- b) **Dvou-stojanové**

S jejich pomocí se obrábí součásti přírubového tvaru. Zároveň svislá osa umožňuje mnohem lepší manipulaci s obrobkem.

**4) Revolverové soustruhy** – tyto soustruhy mají revolverovou hlavu, která umožňuje obrábění nejsložitějších obrobků jednoduchými stroji. Revolverové hlavy dělíme podle osy s vodorovnou osou a se svislou osou.

**5) Speciální soustruhy** – využití u speciálních soustružnických prací (klikové hřídele, podtáčení zubů frézy) [16]

## Vyvrátání

Vyvrátáním se zvětšují otvory, které jsou již předem vyhotovené. Byly vyhotovené za pomoci vrtání, kování nebo předlitím.

Hlavním rezným pohybem je otáčející se nástroj a vedlejší pohyb je posuv, který je vykonávaný za pomoci posuvného pracovního stolu s obrobkem anebo nástroj, který se posouvá. Vyvrátací nástroj je soustružnický nůž vrtací, využívá se na soustruhu k obrábění děr, jedná se o nejjednodušší nástroj. Další, za to složitější, nástroje jsou hlavy a ramena a vyvrátací tyče. [19]



## Frézování

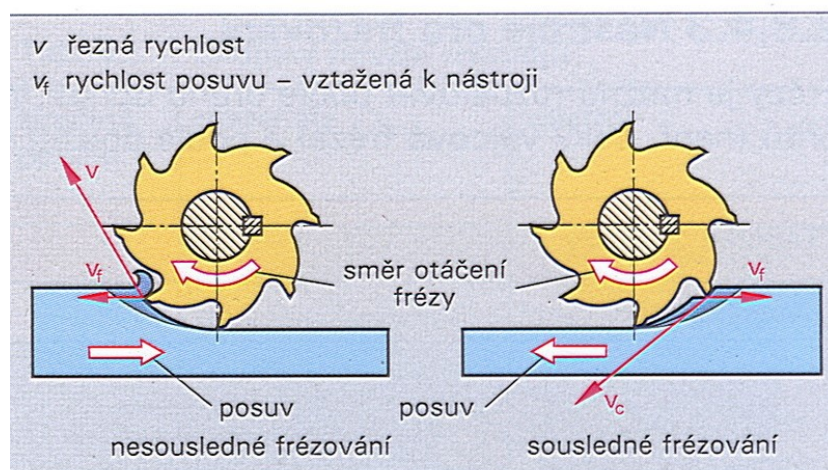
Frézování se užívá u třískového obrábění rovinných ploch, šikmých ploch, zubů ozubených kol, závitů a tvarových ploch.

Nástroj fréza vykonává hlavní rotační pohyb. Fréza je mnohobřítý nástroj, který má různé velikosti a konstrukce. Obrobek koná vedlejší posuv, který je přímočarý vratný.

Pohyb nástroje a zároveň obrobku se vůči sobě rozlišují frézováním obvodovým sousledným a nesousledným. [18]

**Frézování obvodové nesousledné** – obrobek se při tomto frézování posouvá proti směru pohybu zubů frézy, která odebírá třísku. Tříska má nejmenší tloušťku při začátku záběru zubu a největší je na konci záběru. Rozdíl mezi frézováním od sousledného frézování je klidné. Plocha, která je obrobena je nerovná a to více, když je menší průměr frézy a zároveň větší posuv na zub.

**Frézování obvodové sousledné** – směr posuvu obrobku je stejný jako směr pohybu nástroje zubů. Tříska má na počátku záběru největší tloušťku a na konci nejmenší. Jedná se o čistší a hladší způsob obrobeneho povrchu než u frézování nesousledného. Abychom zamezili velkým otřesům, je nutné využít silnější frézu, která má zuby do šroubovice, které zabírají postupně na rozdíl od rovných zubů. [18]



Obr. 12 Frézování obvodové nesousledné a sousledné [18]

## Broušení

Broušení je dobré u opracování tvrdého materiálu s rozměrovou přesností a zároveň kvalitou povrchu, kterou nedosáhneme žádným běžným způsobem obrábění.

Používá se hlavně k ostření nástrojů, k dělení materiálu, a také k broušení součástí, které zlepšují přesnost a jakost povrchu. Výhodami broušení jsou obrábění velmi tvrdých materiálů, dosažení velkých přesností, a také dosažení malé drsnosti povrchu. [21]

Brusné kotouče jsou brousícími nástroji. Jedná se o řezné nástroje, které jsou mnohobřité různých tvarů a velikostí. Jsou složeny z brusiva, které má ostrohranná brousící zrna (jednotlivé břity nástroje) a pojiva, které slouží jako stmelovací materiál využívaný k držení zrna brusiva při sobě a tím se zajistí tvar brusného kotouče, který je požadován. [21]

### **Protahování a protlačování**

Velmi produktivní metoda, která se využívá u rovinných nebo tvarových ploch vnitřních i vnějších vícebřítým nástrojem. Celá plocha je obráběná na jeden zdvih nebo za pomoci pootočení nástroje. Plocha, která je obrobena, je přesná jak ve tvaru, tak i v rozměru a v kvalitě povrchu. Velkou nevýhodou je složitá výroba nástrojů, od které se odvíjí i vysoká cena. Pro tyto nevýhody jsou metody protahování a protlačování vybrané především do sériové a hromadné výroby. [22]

**Protahování** – hlavní řezný pohyb vykonává nástroj, dle tvaru nástroje se jedná o pohyb přímočarý či otáčivý. Obrobek se upíná na stůl stroje, při protahování je v záběru více zubů, které zvyšují produktivitu obrábění.

**Protlačování** – stejně jako u protahování je hlavní řezný pohyb vykonáván nástrojem. Tlačí ho shora beran protlačovacího stroje, a tím je řezný nástroj namáhán na vzpěr. Nástroj se vyrábí kratší, aby nevybočil ze své dráhy, a potřebná hloubka řezu je následně docílena pár nástroji v sadě. [22]

## **3.2 Nekonvenční metody obrábění**

U nekonvenčních metod obrábění se nevyužívají standardní řezné nástroje. Pro úběr materiálu jsou použity tepelné, chemické nebo abrazivní účinky případně i jejich kombinace. Tyto metody se používají všude tam, kde klasický způsob obrábění není možný nebo je obtížný, mohou se obrábět součásti, které mají vysokou pevnost, tvrdost a zároveň mají velmi tvarově složitý díl.

Nekonvenční technologie můžeme vystihnout rychlostí a výkonností, která nezávisí na mechanických vlastnostech materiálu, který je obráběn. Nástroj pro obrábění nemusí být pevnější a tvrdší než je obráběný materiál, můžeme tím pádem obrábět složitější tvary,

zavést plně automatizovanou výrobu, konstrukce může mít zvýšenou technologičnost, můžeme zavést sériovou výrobu a zároveň snížit náročnost výroby. [11,12,14,15]

**Podle oddělování materiálů rozlišujeme jejich účinky:**

- 1) Oddělování tepelným účinkem:
  - a) Elektroerozivní metody obrábění
  - b) Obrábění paprskem plasmy
  - c) Obrábění paprskem laseru
- 2) Oddělování elektrochemickým nebo chemickým účinkem:
  - a) Elektrochemické obrábění
  - b) Chemické obrábění
- 3) Oddělování mechanickým účinkem:
  - a) Ultrazvukové obrábění
  - b) Obrábění paprskem vody

U těchto typů technologií se využívá CNC řízených strojů, které značně rozšiřují možnosti dané aplikace.[12,14,15]

**Elektroerozivní obrábění**

Charakteristickým znakem je úběr materiálu, který je vyvolán elektrickými výboji periodicky se opakujícími mezi nástrojem a obrobkem. Tavením a odpařováním jsou z obráběného materiálu oddělovány částice, které jsou odplavovány za pomoci dielektrické kapaliny. Jde o elektrickou erozi, což je jev, který je založený na odebrání částic povrchových vrstev materiálu za účinku tepelného a tlakového působení elektrického výboje. Negativní tvar má nástroj obráběné součásti. Mezi elektrodami katodou a anodou, které v dielektrické kapalině jsou ponořeny, vzniká výboj. Díky výboji vznikne teplo a to nataví obrobek a později se vypaří. [12,14,15]

**Anodomechanické obrábění**

Využívá se pro broušení nástrojů, které jsou ze slinutých karbidů a zároveň dělení tvrdého materiálu. Nástroj je ve tvaru kotouče, který je ze šedé litiny nebo konstrukční ocele. Úběr materiálu je způsoben kombinovaným účinkem elektrického výboje a mechanického tření. Vznik výboje je mezi elektrodami, katodou, která představuje nástroj a anodou, což je obrobek, mezi výboj je přiveden elektrolyt a tím vznikne mechanické tření. Obráběná část materiálu je narušená a stírá ji otáčející se nástroj. [12,14,15]

### **Elektrochemické obrábění**

Řízený proces, při kterém je materiál oddělován prostřednictvím anodického rozpuštění v elektrolytu, který následně mezerou proudí mezi elektrodami. Tímto obráběním se vyrábí tvarově složité součásti, jako jsou zápustky, lisovací formy. Tvar nástroje má podobu negativu vyráběné součásti. [12,14,15]

### **Chemické obrábění**

Řízené odleptávání vrstev materiálu od několika setin mm do několika mm z obrobku. Chemická reakce založená na obrábění povrchu s pracovním prostředím. Speciálním povlakem musí být ošetřena místa, která nemají být obráběna. V praxi se dává přednost dvou metodám, jako je chemické prostřihování, které umožňuje vyhotovit tenké a složité výlis-ky, které jsou z tenkého pechu či fólie bez otřepů. Druhou metodou je chemické rozměrové leptání, které je označováno jako metoda chemického frézování, kdy se tvar přenáší pomocí šablony. [12,14,15]

### **Ultrazvukové obrábění**

Způsob využívaný pro obrábění tvrdých, a také křehkých materiálů, které jsou elektricky nevodivé. Materiálový úběr zde vzniká abrazivním účinkem brusiva. Brusivo je přiváděno v podobě suspenze mezi ultrazvukem rozkmitaný nástroj a zároveň obráběný materiál. Kmitajícím tlakem nástroje jsou do materiálu vtlačována zrna brusiva, kde se drobné částice odebírají. Podle druhu obrobku je voleno brusivo, pro materiály měkké je to karbid křemíku a pro tvrdší karbid boru. Nevýhoda je, že abrazivní účinek zrn má vliv nejen na obrobek, ale zároveň i na nástroj. [12,14,15]

### **Obrábění paprskem vody**

Pro oddělování materiálu se využívá kinetické energie vysokotlakého a vysokorychlostního vodního proudění (rychlost 600-900 m/s) zároveň kombinovanou s kinetickou energií částic abrazivních. V důsledku působení rezných částic dochází erozivním procesem k úběru materiálu, který je usměrněn do úzkého paprsku, které je veden přes trysku do obrobku. Stlačená kapalina na cca několik set MPa, která prochází tryskou a následně dopadá na dělený materiál. Je možno dělit materiál o síle až 150 mm. [12,14,15]

## 4 STATISTICKÉ HODNOCENÍ

### 4.1 Průzkumová analýza dat (EDA)

Průzkumová analýza má za cíl zjistit o jaký typ rozdělení dat se jedná. Do této skupiny spadá především odhalení statistických zvláštností, kam se především řadí stupeň symetrie a špičatost výběru.

Pro určení typu dat je použita základní analýza, pro kterou je nutné znát hodnoty mediánu, průměru, rozptylu, šikmosti a špičatosti. U této analýzy je využito hlavně diagramů na základě rozptylu.

Jinou možností může být určení dat za pomoci krabicového grafu neboli box-plotového diagramu. Graf umožní náčrt znázornění odhadu polohy mediánu a zároveň identifikaci odlehlých hodnot.

Další částí je analýza za pomoci histogramu, kde výška sloupce vypovídá o empirické hustotě výskytu pravděpodobnosti. Můžeme z něj zjistit rozdělení symetrie a šikmost dat.

Velmi často je histogram využit v kombinaci s jádrovým odhadem pravděpodobnosti, díky kterému můžeme určit hustotu, šikmost a špičatost dat.

Q-Q grafy mají hlavně citlivost na odchylky konců (na extrémní hodnoty měření).

Poslední graf poukazující na symetrické rozdělení dat je graf kruhový. Odchýlení od kružnice poukáže na jiné než normální rozdělení.

### 4.2 Testování normalit

Testování normalit nám jednoduše pomůže přibližně odhadnout, jestli mají data normální rozdělení, jde o sestavení histogramu. Hodnoty sledované veličiny jsou nanášeny na vodorovnou osu a četnost na osu svislou. Pokud zkoumáme veličinu spojitou, která nabývá nekonečné mnoha hodnot, které rozdělíme osu na intervaly a četnosti, které určíme jako pozorované hodnoty v intervalech. Je-li normální rozdělení souboru, tak má histogram tvar Gaussovy křivky. [24]

#### 4.2.1 Test outlierů

Za outlier se označuje odlehlý pozorovací bod, který je vzdálený od jiných. Odchylka je způsobena variabilitou měření anebo také může znamenat experimentální chybu,

kteřá může být vyloučena z datového souboru. Náhodně se mohou, vyskytnou odlehlé chyby, které jsou v jakékoliv distribuci, ale často značí chybu měření, nebo že se jedná o zešikmenou distribuci. Pokud jde o první případ, tedy o chybu měření je nutné se chyby zbavit anebo využít statistiku, která je podsaditá k odlehlým hodnotám. U druhého případu, kdy je zešikmená distribuce, a tím pádem nám naznačuje, že distribuce má vysokou šikmost, a tím pádem musíme být opatrní při využití nástrojů či intuice, které předpokládají normální distribuci.

Odehlé body mohou být označovány za chybné údaje, chybné postupy či oblasti, pro které určitá teorie nemusí být platná. Pokud máme velký výběrový soubor, tak se očekává malý počet odlehlých hodnot. [25]

#### 4.2.2 F – test

Statistický test, u kterého má testovací statistika F rozdělení pod nulovou hypotézou. Nejvíce je využíván při porovnávání statistických modelů, které se přidaly do datové sady pro odhalení, kdy model nejvíce odpovídá populaci, ze které jsou data čerpána. F-test se nejvíce používá v případě, kdy jsou modely utříděny z dat za využití nejmenších čtverců. Většina F-testů vznikla tak, že je uvažován rozklad variability z hlediska součtů čtverců ve sbírce dat. F-test je poměr součtu čtverců, které jsou dvoustupňové odrážející různé variability zdroje. Součty čtverců jsou sestaveny dle statistiky, která má tendenci být větší, když nulová hypotéza není pravdivá. Abychom statisticky mohli sledovat distribuci F, která je pod nulovou hypotézou, měl by být součet čtverců statisticky nevýznamný, ale měla by se sledovat rozložená distribuce  $X^2$ . Druhou podmínkou jsou hodnoty dat, které jsou nezávislé a zároveň normálně distribuované s jednotnou odchylkou.

U klasického F-testu porovnáváme nulové hypotézy  $H_0: \sigma_x^2 = \sigma_y^2$  proti alternativní  $H_A: \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2$ . Výchozím předpokladem je, že oba dva výběry jsou nezávislé a zároveň pocházejí z normálního rozdělení. Kritérium pro testování:

$$F = \max\left(\frac{s_x^2}{s_y^2}, \frac{s_y^2}{s_x^2}\right) \quad (12)$$

Pokud platí nulová hypotéza  $H_0$  a  $s_x, s_y$  má kritérium F, následně je tedy F-rozdělení s  $\nu_1 (n_1 - 1)$  a  $\nu_2 (n_2 - 1)$  ( $\nu_M$  počet stupňů volnosti). U opačného případu se pořadí volných stupňů zamění. Pokud  $F > F_{1-\alpha}(\nu_1, \nu_2)$ , je  $H_0$  nulová hypotéza zamítnuta z důvodu shodnosti rozptylů. [23,26]

### 4.2.3 T – test

Využívá se pro metrická data s normálním rozdělením spolu s porovnáním průměrů. Odhájeme, zda rozdíly průměrů od dané hodnoty jsou pouze dílem náhody. Pracují na principu odhadů intervalů. T-test je zařazen do kategorie parametrických testů, jelikož se pracuje s rozdělením normálním.

Studentův t-test střední hodnoty, ve kterém se ze základního souboru s rozdělením  $N(\mu, \sigma^2)$ , provede náhodný výběr rozsahu  $n$  a vypočítá se výběrový průměr  $\bar{x}$  se směrodatnou odchylkou  $s$ . Jako testovací statistika je zvolena náhodná veličina.

$$\frac{\bar{x} - \mu_0}{s} \sqrt{n} \quad (13)$$

V tabulce jsou uvedeny kritické obory testů polohy nulové hypotézy  $H_0 \mu = \mu_0$  proti různorodým alternativám  $H_A$  pro hladinu významnosti. Body kritického oboru, které jsou hraniční, představují 100  $\alpha$ -%ní kvantily rozdělení známých. Pro zjištění zda místo formálního testování jsou tyto kvantily větší, než testové statistiky, tím je možné přímo vyčíslit pravděpodobnostní velikost  $(1-\alpha)$ . Jde-li o oboustranný test tak  $(1 - \frac{\alpha}{2})$ . [23]

Tab. 4 Kritické obory testů hypotézy  $H_0$  [23]

Nulová hypotéza	Alternativní hypotéza $H_A$	Testační charakteristika	Kritický obor
	$\mu > \mu_0$		$t \geq t_{1-\alpha}(n-1)$
$\mu = \mu_0$	$\mu < \mu_0$	$t = (\bar{x} - \mu_0) \sqrt{n/s}$	$t < t_{\alpha}(n-1)$
	$\mu \neq \mu_0$		$ t  \geq t(1 - \frac{\alpha}{2})^{(n-1)}$

### 4.2.4 Transformace dat

Při této diplomové práci bylo zjištěno, že je velmi nutné využít transformaci dat, která se využívá při zjištění, že data nepocházejí z normálního rozdělení (šikmost) a k tomu využití pro stabilizaci rozptylů. Pokud se provede transformace, získá se rozdělení na symetričnosti.

Existují dva druhy transformace, první je jednoduchá mocninná transformace, která pro tento účel není dostatečná. Druhá varianta je Box-Coxova transformace, která se snaží přiblížit k normálnímu rozdělení kvůli šikmosti a špičatosti dat.[24]

### 4.3 ANOVA

Analýza rozptylu jednoduchého třídění, je jedním z nejjednodušších případů analýzy rozptylů, kdy se analyzuje účinek jednoho faktoru, který je závislý na proměnné. U jednofaktorové ANOVY se jedná o zjištění rozdílu průměrů, které jsou mezi skupinami za pomoci výpočtu testovacího kritéria F. Snažíme se odhalit, zda jsou vytvořené skupiny klasifikačním faktorem a zároveň jsou si podobné, ale také se snažíme odhalit průměry jednotlivé, které jsou vytvořeny jako identifikovatelné shluky. Pokud faktor, který působí má dvě kategorie, tak úloha je stejná s testováním rovnosti průměru dvou nezávislých výběrů za pomocí nepárového t-testu. [27]

#### **Celková variabilita sledované proměnné – 2 složky:**

- a) **Rozptyl „uvnitř skupiny“** – rozptyl, který je jedincem ve stejné skupině kolem skupinového průměru. Tento rozptyl je způsobem přirozenou variabilitou, která je pro nás neznámá a zároveň způsobena náhodnými vlivy.
- b) **Rozptyl „mezi skupinami“** – jde o rozptyl skupinového průměru kolem jednoho společného, což je celkový průměr ze všech skupinových průměrů. Předpokládáme, jeho vznik pokusným zásahem, který je působící faktor, a také opět přirozená variabilita.

Takže při porovnávání obou rozptylů můžeme testovat nulovou hypotézu, která je o shodě těchto rozptylů. [27]

### 4.4 Chyby měření

Můžeme říci, že chyba měření je rozdíl mezi výsledkem a pravou hodnotou měřené veličiny. Chyby měření dělíme do tří skupin, na chyby systematické, chyby náhodné a hrubé chyby.

**Systematická chyba** – jednosměrně zkresluje výsledky měření. Můžeme jí zaregistrovat metodou měření, kvalitou přístrojů a kvalitou prováděných měření. Rozdíl mezi střední hodnotou, která vzniká z počtu nekonečného měření stejné měřené veličiny za podmínek opakovatelnosti a zároveň pravé hodnoty měřené veličiny. Tato chyba se projeví u porovná-



ní daného měření s měřením, které bylo provedeno metodou jinými přístroji a osobami. Pokud je chyba zjištěna, tak je následně odstraněna za pomoci odpovídajících korekcí.

**Náhodná chyba** – výsledek měření odečtený od střední hodnoty, vznikne z nekonečného počtu měření stejné veličiny, které jsou uskutečněné za podmínek opakovatelnosti. Náhodná chyba se mění a to náhodným způsobem při opakování měření stejné veličiny za stejných podmínek. Nemůžeme jí korigovat, ale pouze jí můžeme zmenšovat opětovným měřením. Chyba je dána vnějšími (tlak, vlhkost, vibrace, teplota) a vnitřními jevy (charakteristiky materiálu), které jsou nekontrolovány.

**Hrubá chyba** – výrazně se odlišuje od ostatních hodnot, veličina je ze stejného souboru měření. Chyba je větší než se může připustit v závislosti přesnosti u zvolené metody měření a k tomu použitého přístroje. Tato chyba převážně vznikne nepozorností či přehlednutím (selhání lidského faktoru), a také výrazným n-dodržením pravidel měření ba dokonce postupu práce, následně se musí vyloučit ze souboru měření. [28]

## 5 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je porovnání kvality jakosti povrchů skla a tím nalezení nejšetrnější techniky jeho gravírování. Byly využity techniky gravírování, které jsem se v minulosti naučila a nyní je sama ovládám. Jedná se o techniky gravírování přímou bruskou, laserem a také leptání leptací pastou.

Další problematikou, kterou se diplomová práce zabývá, je nalezení vhodných parametrů, které popisují jakost povrchu.

Po shodě s literárními zdroji se pro tyto účely vyhodnotily jako výhodné takové, u kterých je ze statistického hlediska možné podstoupit testy normalit, testy šikmosti, špičatosti, a také existence vychýlených hodnot.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 VÝROBA VZORKŮ

Pro výrobu vzorků k diplomové práci jsou použita skla o rozměrech 10 x 15 x 1,8 cm, která byla upravena za pomoci tří technik obrábění skla (gravírování přímou bruskou, leptání leptací pastou a gravírování laserem). Celkem bylo vybráno 10 míst na pěti vzorcích ze všech tří technik, tedy 150 snímání.

### 6.1 Gravírování

Gravírování je technika úběru materiálu, do technologie gravírování nezahrnujeme ruční rytí. V minulosti se provádělo rytí rydly a čakany, které byly tvarované, zároveň nápisy byly zvýrazňovány různorodými kovy (cín, zlato, stříbro, měď). Gravírování nachází uplatnění v mnoha oborech zpracování skla.

#### 6.1.1 Gravírování přímou bruskou

Prvních pět vzorků bylo gravírováno přímou bruskou za pomoci frézek s diamantovými hroty, která se při gravírování mohou i točit a tvar bude odpovídat vyosenému jehlanu, kuželu či kouli.

Nejdříve se dopředu namaluje fixou požadovaná předloha (text, obrázek), v mém případě se u všech vzorků jednalo o logo Ústavu výrobní technologie. Posléze přímou bruskou píšeme stejně jako s tužkou na papír. Kraj ruky se opře o vzorek, aby přímá bruska neujížděla.



Obr. 13 Frézky s vygravírovanými vzorky



Obr. 14 Vygravírovaný vzorek

### 6.1.2 Leptání leptací pastou

Leptání je tou nejjednodušší technikou úběru materiálu. Leptací pasta je složená z hydrogen-difluoridu amonného, kyseliny fosforečné a kyseliny sírové, proto je nutné s ní manipulovat velice opatrně.

Před samotným leptáním se vytvoří šablona, která se namaluje a vystříhne ze samolepící fólie a následně nalepí na odmaštěné, vyčištěné a vysušené sklo. Za pomoci tampónku se fólie přitlačí a uhladí ke sklu, aby pořádně přilnula a nikde nebyly vzduchové bublinky. Pokud se neodstraní všechny vzduchové bublinky, dostala by se leptací pasta do míst, kde je vyleptání nechtěné. Na šablonu se nanese leptací pasta a nechá se cca 10 minut působit. Posléze se ze skla leptací pasta odstraní a vrátí se zpět do nádobky pro další použití. Sklo se umyje pod tekoucí vodou a zároveň se odstraní šablona.



Obr. 15 Leptání leptací pastou



Obr. 16 Vyleptaný vzorek

### 6.1.3 Laserové gravírování pomocí laseru ILS 3NM

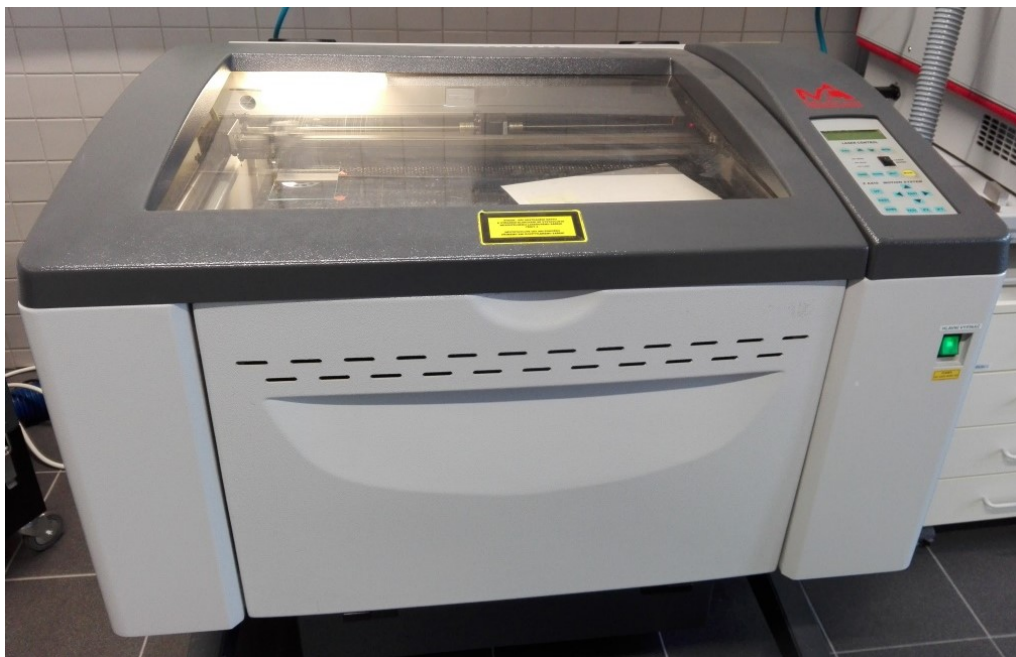
Pro tuto diplomovou práci byl použit kompaktní laser ILS 3NM. Jedná se o nejmodernější technologii gravírování. Zařízení je vhodné především pro gravírování a řezání velkého množství materiálů (například sklo, dřevo, papír, kov, kůže, plasty a plastové fólie). Tato metoda vyniká trvalostí výsledku, přesností, rychlostí a flexibilitou. Laser ILS 3NM má přesné technické parametry, které mohou být doplněny o další volby přídatných zařízení (viz. tab. 4).

Tab. 5 Technické parametry laseru ILS 3NM

<b>Laser ILS 3NM</b>	
<b>Výkon</b>	100W
<b>Pracovní režim</b>	Kontinuální a pulzní
<b>Chlazení</b>	Vzduchové
<b>Prostředí aktivní</b>	CO <sub>2</sub>
<b>Rozměr materiálu</b>	660 mm x 495 mm x 200 mm
<b>Rozlišení</b>	DPI – 166, 200, 250, 333, 500, 1000
<b>Vlnová délka</b>	10,6 μm
<b>Rychlost posuvu</b>	1 mm/s – 1524 mm/s

<b>Výkon</b>	0% - 100%
<b>Vzdálenost ohniska</b>	Manuální a automatické
<b>Operační módy</b>	Vektorové a rastrové
<b>Software</b>	Software pro Microsoft Windows (například Corel či AutoCad)
<b>Displej</b>	Síla laseru, seznam vzoru, rychlost gravírování, časový průběh, načtený soubor a nastavení stroje
<b>Hmotnost a vnější rozměry</b>	230 kg, 970 mm x 865 mm x 990 mm
<b>Třída bezpečnosti</b>	1
<b>Příslušenství</b>	Kompresor, odsávání, rotační deska, řezací deska

Před začátkem laserového gravírování je nutné připravit soubor v programu Corel DRAW (pro vektorové a rastrové obrázky). Po této přípravě se do pracovního stolu laseru upne sklo, které je připraveno ke gravírování.

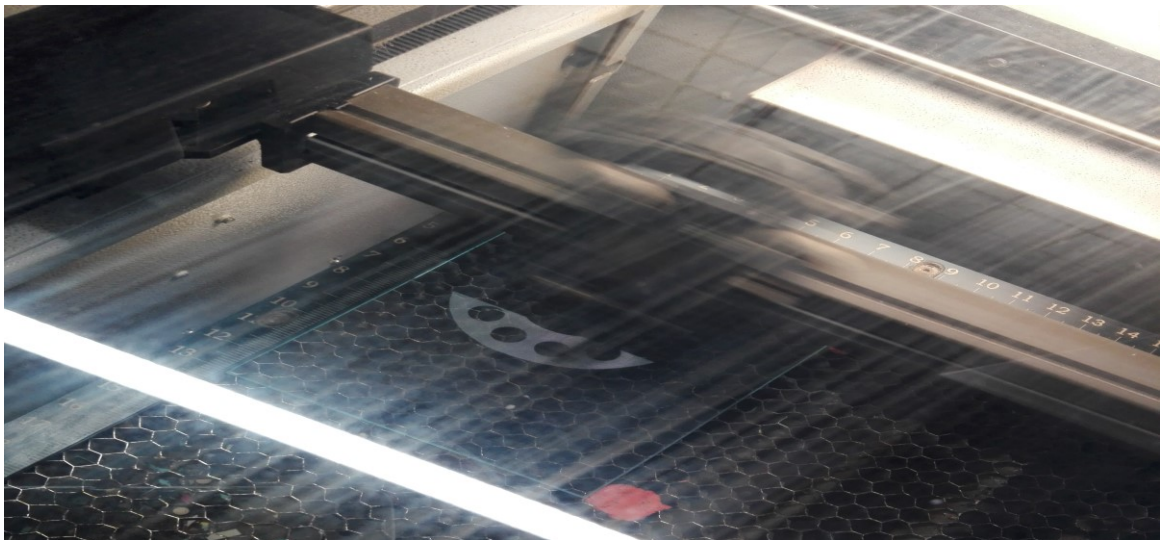


Obr. 17 Laser



U připraveného souboru se nastaví požadované parametry tisku. Využili jsme výkon 25 mm/s a rychlost 60 mm/s pro všechny vzorky. Po správném nastavení parametrů, se soubor odešle k tisku, tedy do paměti laseru ILS 3NM, kde čekal k dalšímu zpracování. Ještě před spuštěním tisku, nastavíme fokusaci laseru neboli zaostření, protože s různou tloušťkou materiálu je výška pracovním stolu jiná a tím je jiné i zaostření laseru. Změna ohniskové vzdálenosti se nachází v nabídce System setup – Position setup – Focus Length na displeji. Manuální fokusace se provádí za pomoci fokusačního tělíska, které se položí na materiál

a nižší ryska se dotýká hranou hlavy laseru. Následně se nastaví výška stolu pomocí příslušných tlačítek na ovládacím panelu laseru.



Obr. 18 Gravírování za pomoci laseru





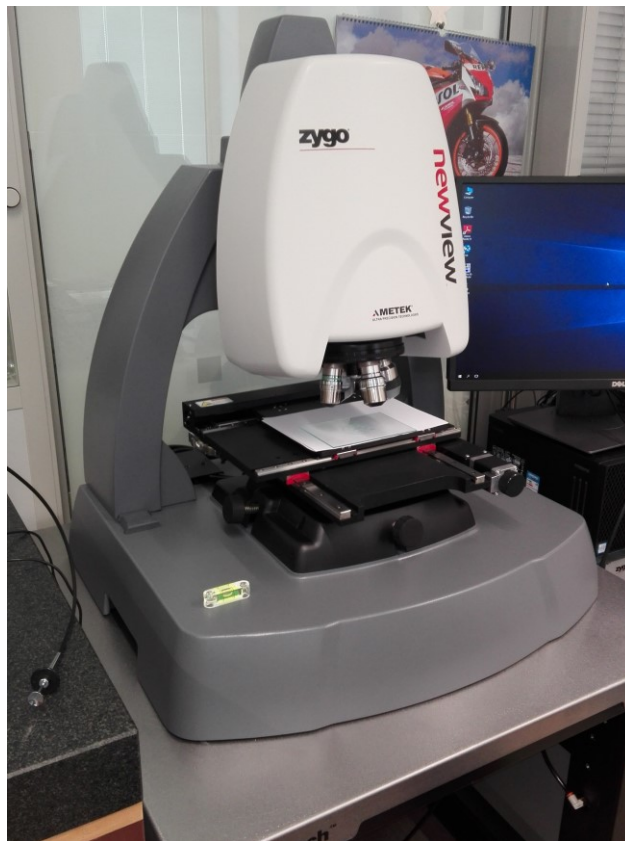
Obr. 19 Sklo vygravírované laserem

## 7 MĚŘICÍ PŘÍSTROJ

Při výzkumu byl použit přístroj pro vyhodnocení drsnosti povrchu Zygo Ametek. Zygo poskytuje silnou všestrannost při bezkontaktním optickém profilování povrchu. Za pomoci tohoto profilometru je snadné a rychlé měřit širokou škálu různých typů povrchu jak hladkých tak hrubých, ale také plochých, šikmých a stupňovaných. [30]

### Hlavní vlastnosti:

- a) Vysoká citlivost snímání
- b) Rychlé bezkontaktní měření
- c) 3D vizualizace povrchu



Obr. 20 Měřicí přístroj Zygo

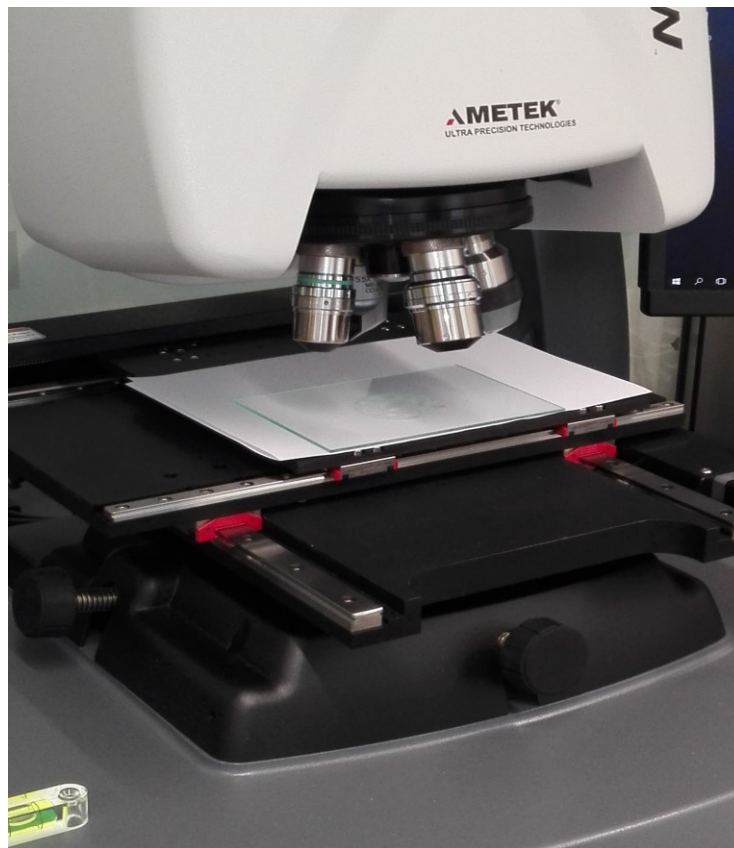
### 7.1 Princip bezkontaktního způsobu snímání jakosti

Princip bezkontaktního snímání nahrazuje dotykové snímání při měření povrchů, které jsou citlivé na mechanické poškození, měkkých materiálů a jiné. Povrch je sledován měřicí hlavou, která je zaostřená, řízení programem je jednoduché a rychlé.

### 7.1.1 Laserový snímač

Laserový snímač má paprsek polovodičového laseru, který se odráží od měřeného povrchu do optického systému, který jej přijímá. Paprsek se zaostří na CCD snímacím poli, CCD nám zajišťuje důslednou hodnotu rozdělení množství světla v bodě paprsku. Jednotlivé CCD snímané obrazové prvky na ploše paprsku jsou využívány pro určení konkrétní polohy zaměřeného bodu.

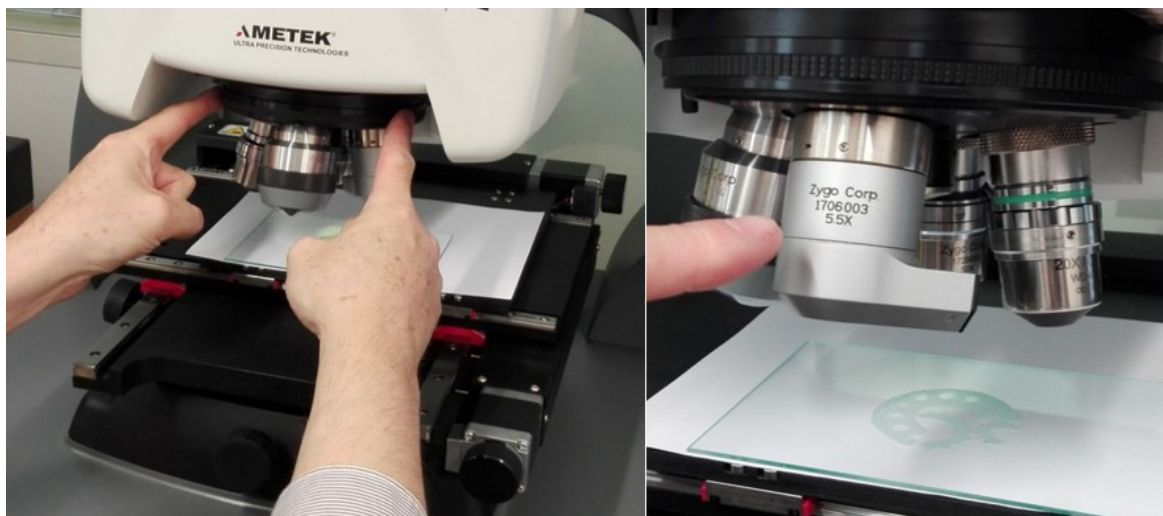
## 7.2 Příprava měření



Obr. 21 Příprava vzorku na snímán



Obr. 22 Nastavení barevnosti paprsku



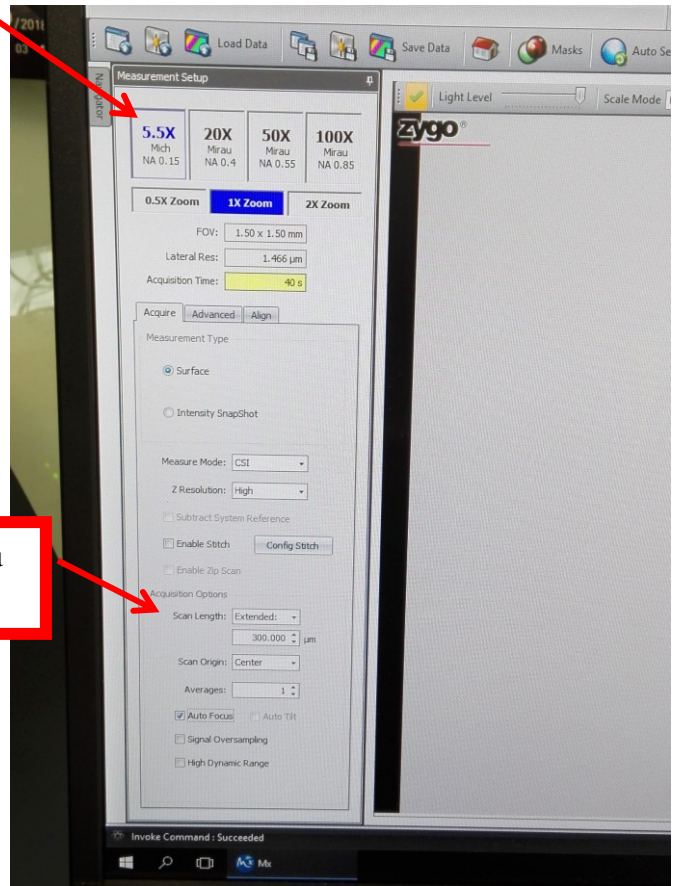
Obr. 23 Výběr objektivu

Na obr. 21-23 je zachycena příprava vzorku a nastavení přístroje před snímáním. Nejprve se do přístroje vloží vygravírované sklo na snímací plochu, následně se na bočním panelu zvolí filtr, který určuje barvu paprsku. Nakonec se zvolí požadovaný objektiv.

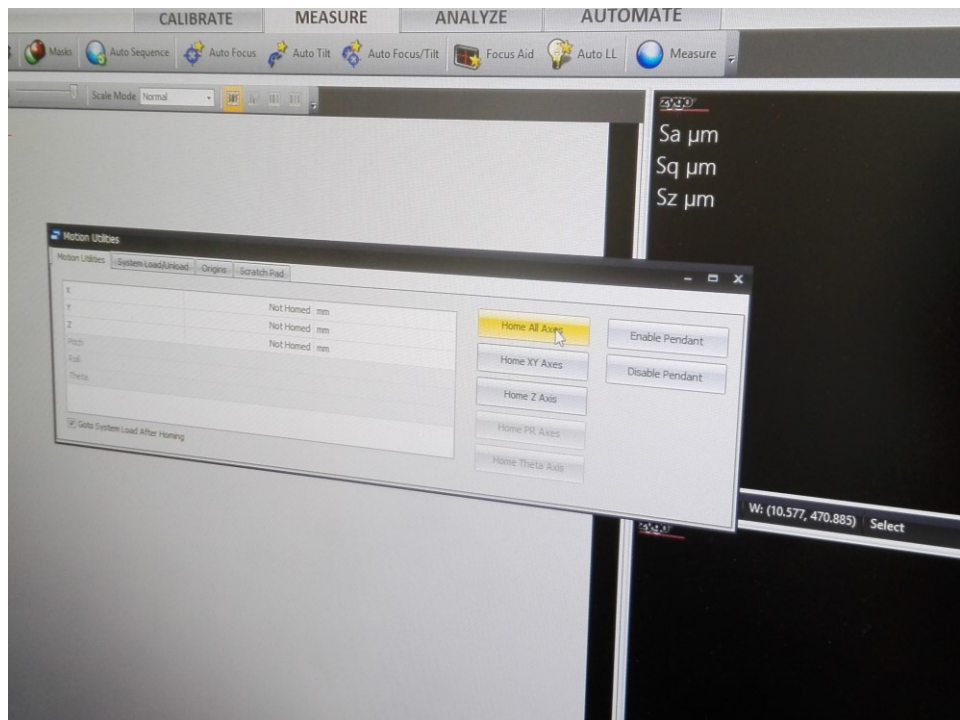


Objektiv 5,5X

Hloubka scanu



Obr. 24 Nastavení parametrů snímání

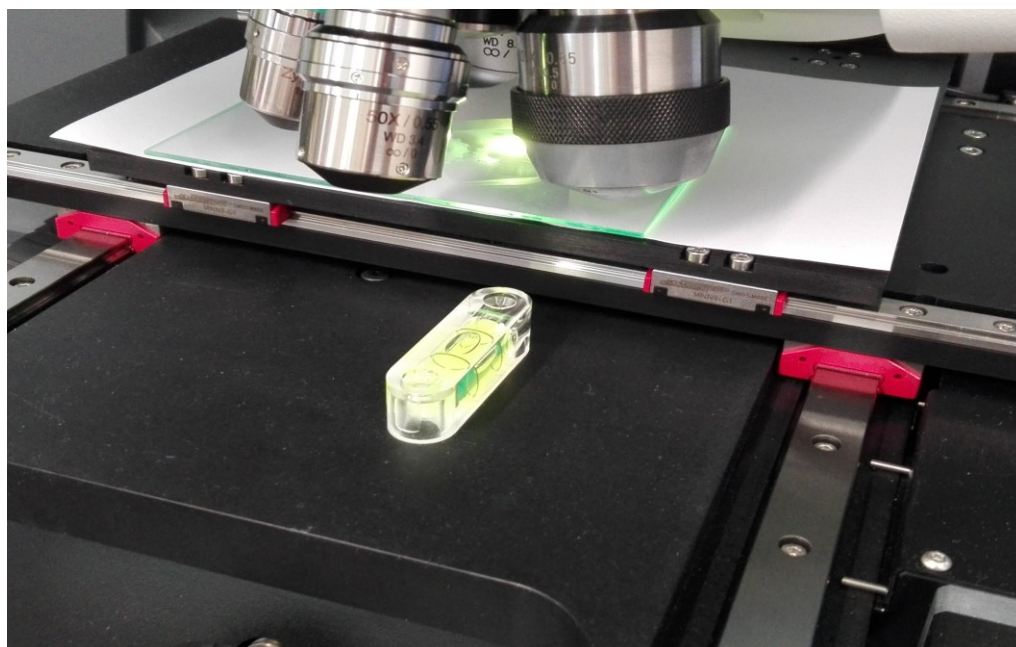


Obr. 25 Nulové nastavení

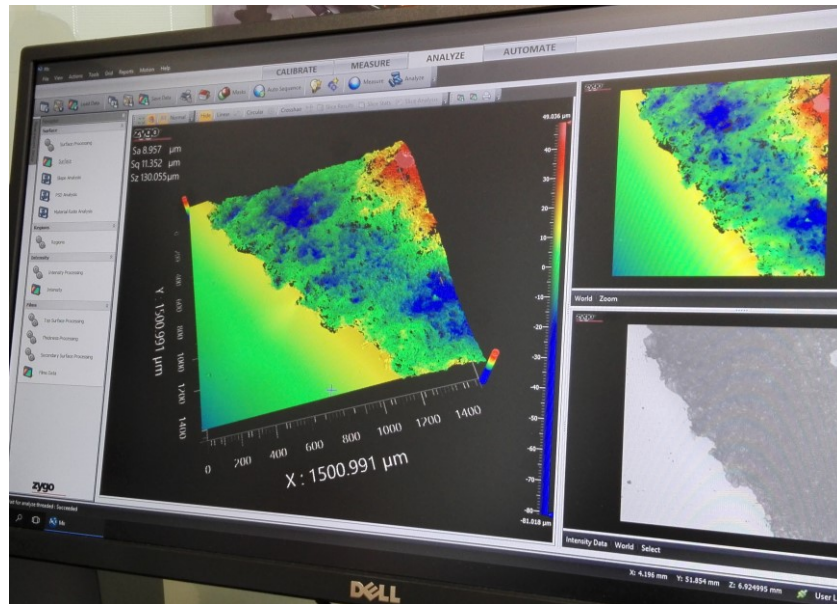


Obr. 26 Hledání interferenčního obrazce

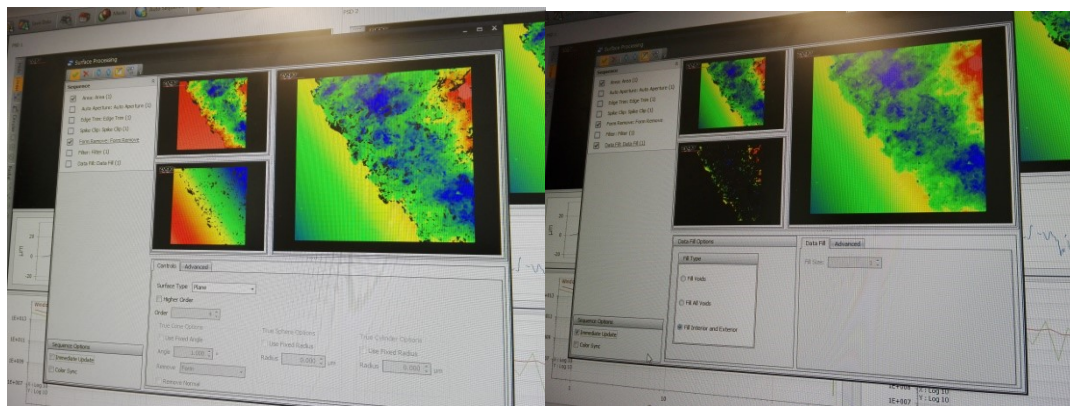
Interpolace za pomoci rychlé Fourierovy transformace, kdy jsou vzaty všechny body a je vypočítaná funkce, která projde všemi body.



Obr. 27 Snímání vzorku



Obr. 28 Nasnímaný povrch



Obr. 29 Nastavení vyhodnocení

Pro lepší nasnímaní povrchu, bylo nutné nastavit vyplnění vyvýšenin a prohlubní, které nám následně napomohlo k lepšímu vyhodnocení.



## 8 NAMĚŘENÁ DATA

Měření bylo provedeno na ploše 15 x 15 mm u každého skla na 10 místech testovaného vzorku. U každého měření byly vyhodnoceny parametry Sa, Sp, Sv a Sz.



Obr. 30 Přímá bruska – měřená místa

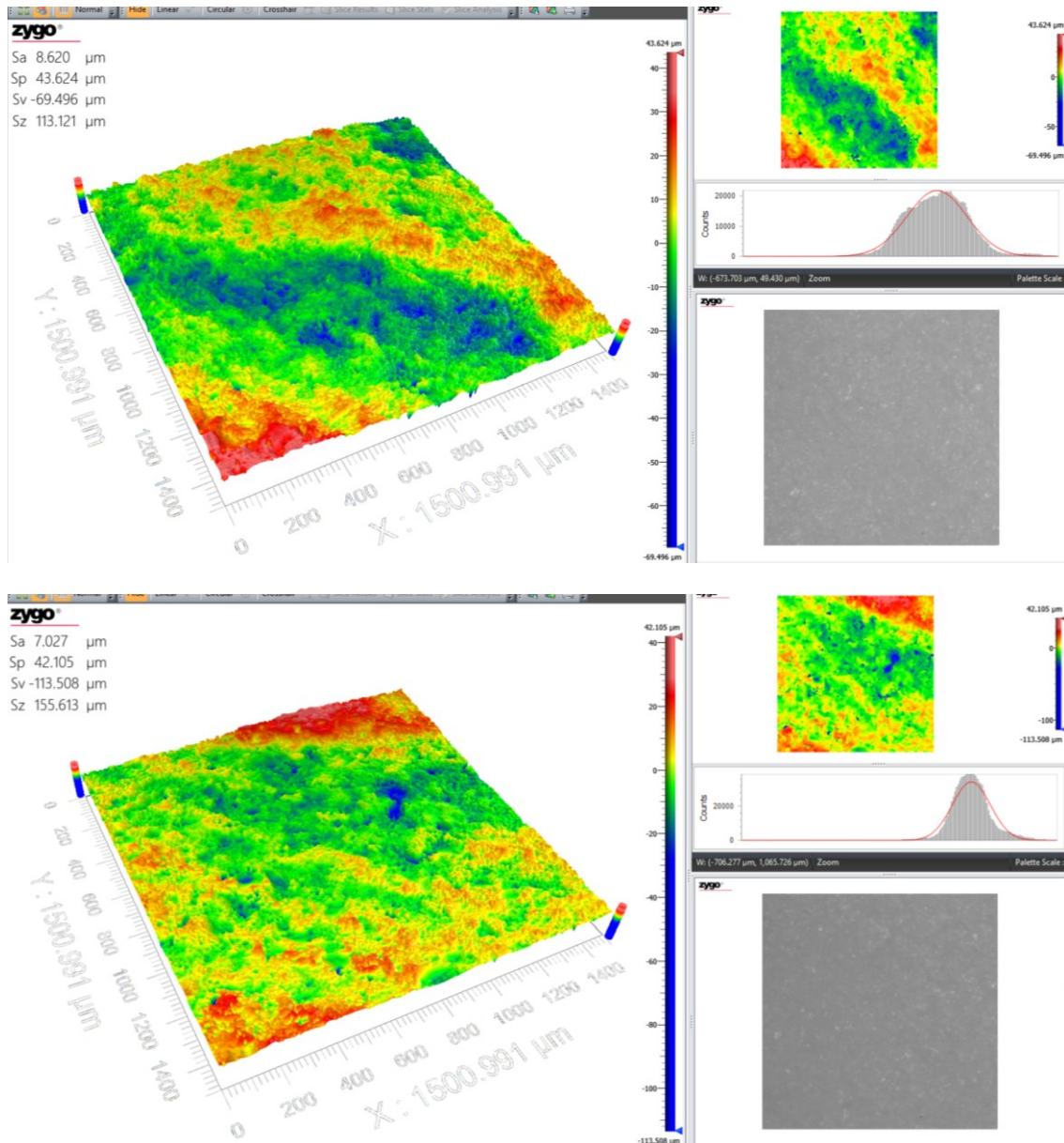


Obr. 31 Leptání – měřená místa



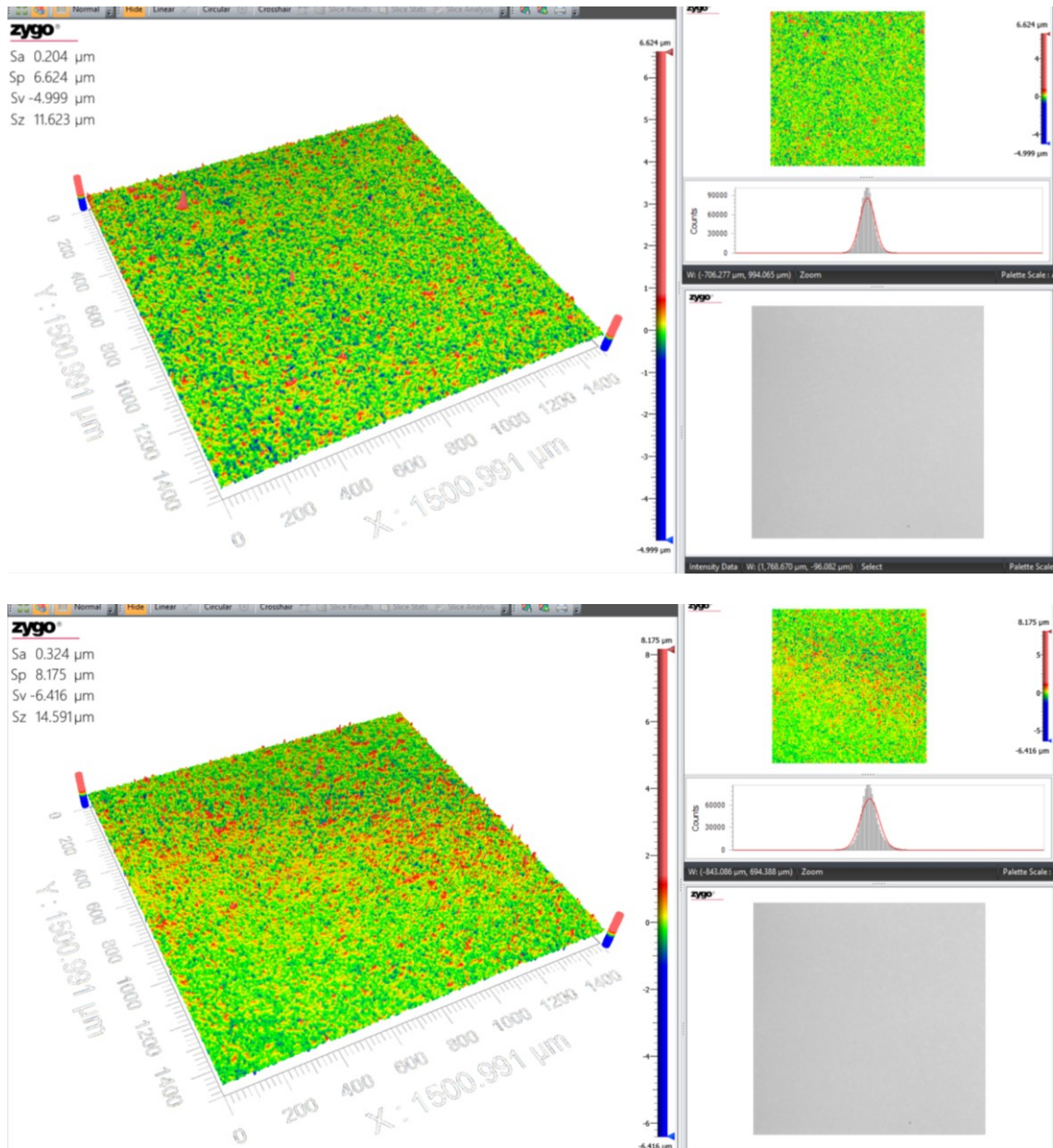
Obr. 32 Laser – měřená místa





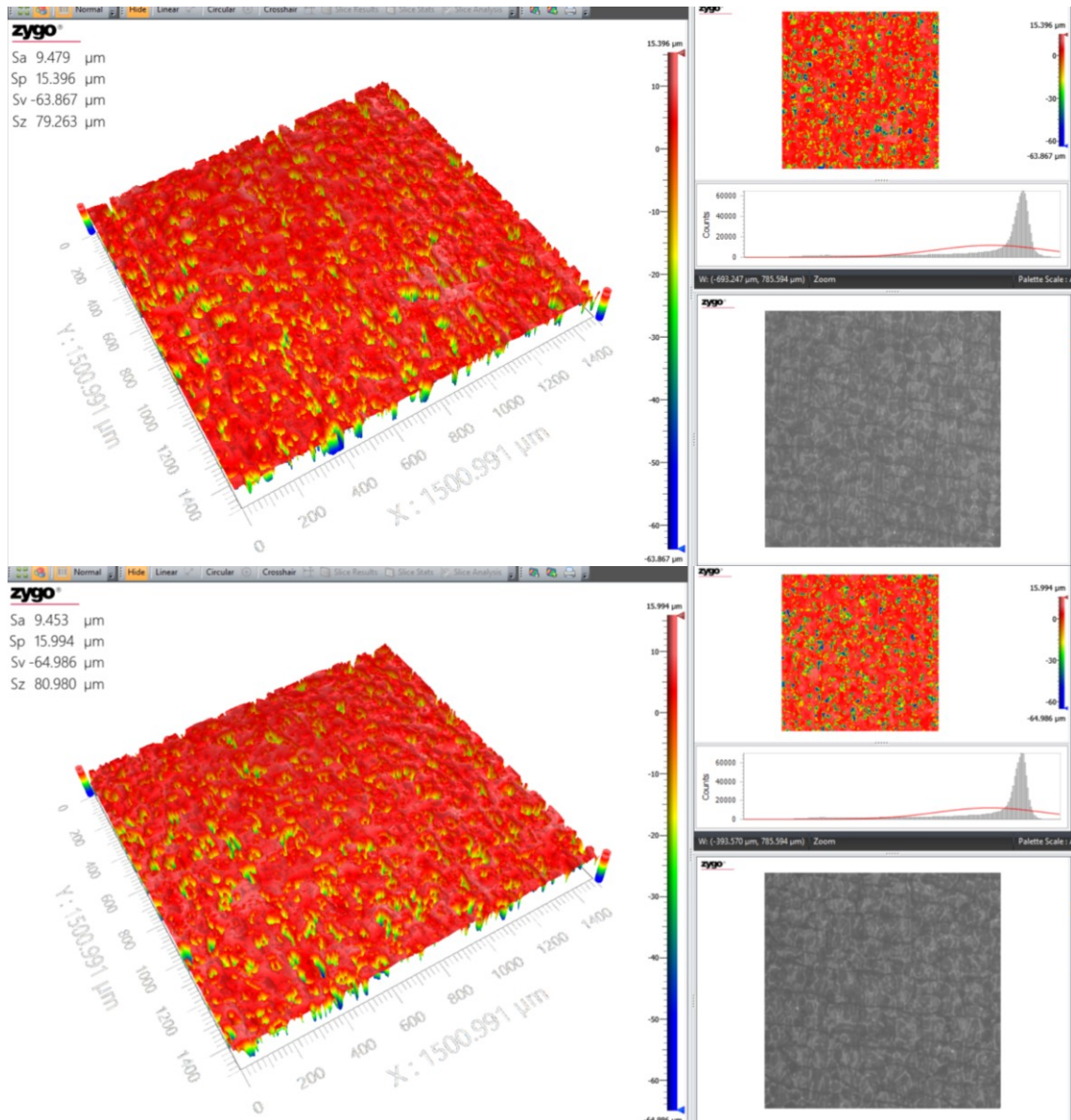
Obr. 33 Naměřené vzorky – přímá bruska

Na naměřených vzorcích můžeme vidět 2D a 3D nasnímaný povrch spolu se zvětšením povrchu. Zvláštní je, že na zvětšeném povrchu není vidět zřetelná stopa po frézce, která měla kulový tvar. Histogram zde poukazuje na normální rozdělení v obou dvou případech, co se týče Gaussovy křivky, která nám zde znázorňuje ideální průběh hustoty normálního rozdělení se střední hodnotou a směrodatnou odchylkou. Nejvyšší průměrný naměřený vrchol Sp u gravírování přímou bruskou byl v bodě 40,95 μm, nejnižší vrchol Sz v bodě 74,99 μm a průměrná výška povrchu Sa je 9,337 μm.



Obr. 34 Naměřené vzorky – leptání

Na měřených vzorcích leptaných leptací pastou lze vidět povrch, který je jednoduší bez velkých prohlubní, ale za to s pár vyvýšeninami. To je zapříčiněno vrstvou nanesené leptací pasty. Histogram s Gaussovou křivkou nám ukazuje normální rozdělení spolu s ideálním průběhem. Nejvyšší průměrný naměřený vrchol Sp při leptání pastou byl v bodě 9,364  $\mu\text{m}$ , nejnižší průměrný vrchol Sz v bodě 5,244  $\mu\text{m}$  a zároveň průměrná výška povrchu je 0,303  $\mu\text{m}$ .



Obr. 35 Naměřené vzorky – laser

Vzorky vygravírované laserem naměřené na Zygu zobrazují mnoho vyvýšenin a prohlubní, protože laser gravíruje v bodech. Při větším zvětšení, bylo zjištěno, že paprsek laseru nevytvoří pouze gravírovaný bod, ale zároveň se každým bodem vytvoří ve skle povrchová prasklina. Histogram s Gaussovou křivkou nám znázorňuje sešikmení a tím i nenormalitu dat, které je nutné transformovat. Nejvyšší průměrný naměřený vrchol Sp gravírování laserem byl v bodě 22,98  $\mu\text{m}$ , nejnižší průměrný vrchol Sz v bodě 69,50  $\mu\text{m}$  a Sa průměrná výška povrchu je 8,380  $\mu\text{m}$ .

## 9 STATISTIKÉ VYHODNOCENÍ

Vyhodnocování naměřených dat bylo uskutečněno ve statistickém softwaru Minitab, který patří k nejlepším softwarům v oblasti analýzy kvality ve světě. Nenabízí pouze analýzu dat, ale také jejich následné grafické vyhodnocení a znázornění.

Tab. 6 Vypočítané hodnoty z programu Minitab

		$\bar{x}$	$\tilde{x}$	Směrodatná odchylka	Minimum [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum [ $\mu\text{m}$ ]	Šikmost	Špičatost
<b>Přímá bruska</b>	Sa	9,337	8,726	2,462	5,645	17,330	1,03	1,33
	Sv	74,99	73,86	16,81	48,43	120,20	0,77	0,59
	Sp	40,95	41,04	9,49	23,57	71,44	0,62	1,10
	Sz	115,92	112,86	21,56	85,66	170,43	0,67	-0,24
<b>Leptání</b>	Sa	0,303	0,295	0,059	0,203	0,444	0,53	-0,07
	Sv	5,244	5,032	2,618	1,807	12,920	1,16	1,49
	Sp	9,364	7,441	6,384	1,859	28,895	1,64	2,54
	Sz	14,55	12,73	7,76	3,93	37,65	1,15	1,05
<b>Laser</b>	Sa	8,380	8,492	1,407	5,413	11,426	-0,23	-0,40
	Sv	69,50	67,28	10,13	47,77	103,07	1,84	4,45
	Sp	22,98	20,18	13,57	12,31	102,48	4,34	24,25
	Sz	92,48	87,66	19,13	74,34	205,54	4,56	25,54

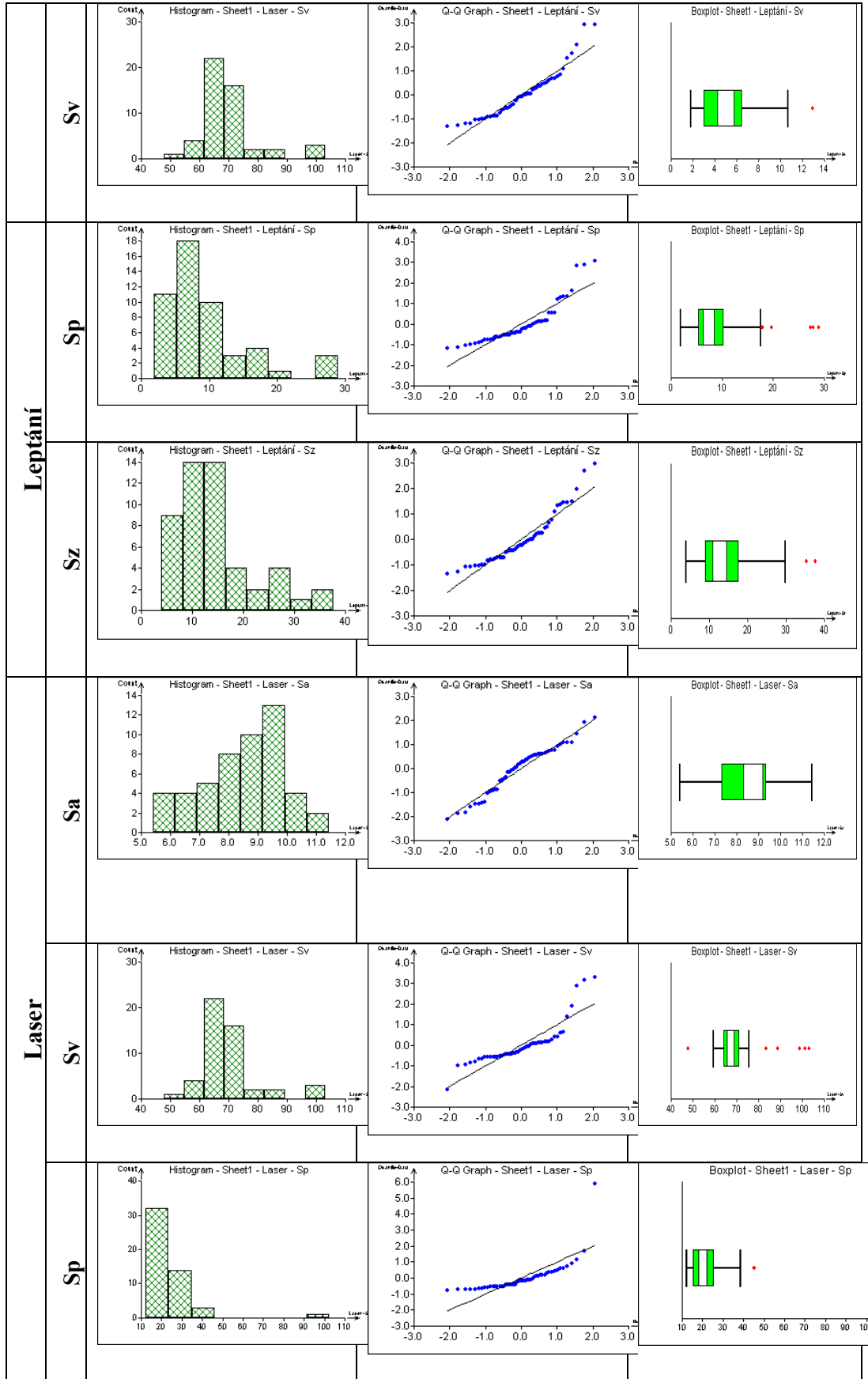
Tabulka ukazuje vypočítané hodnoty průměru, mediánu, maxima, minima, šikmosti a špičatosti.

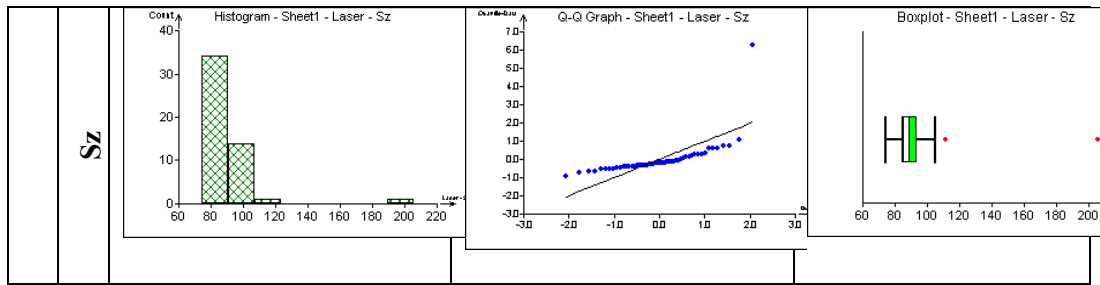


9.1 Průzkumová analýza dat (EDA)

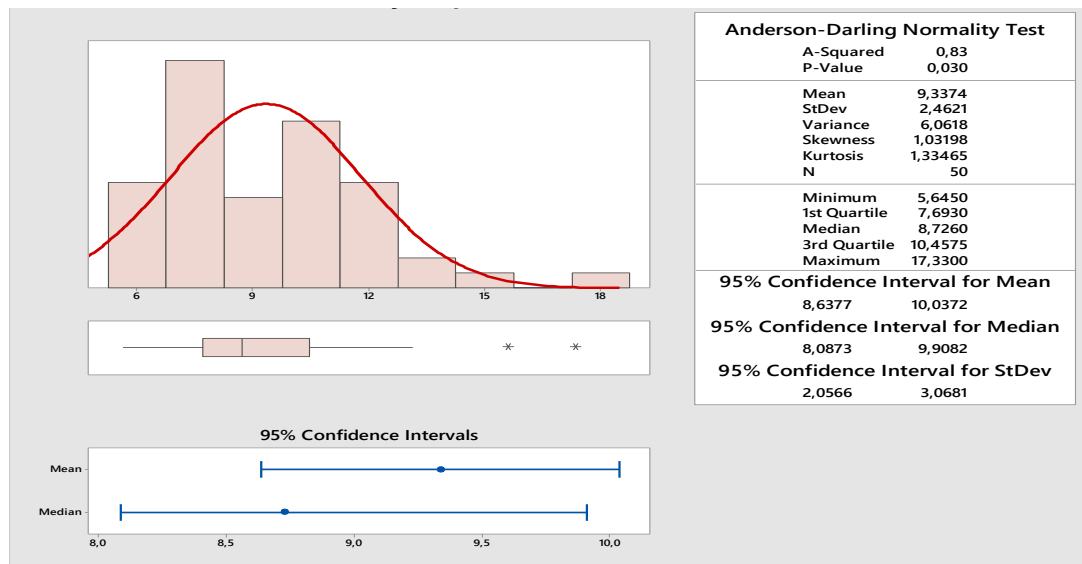
Tab. 7 Histogram, Q-Q graf, Box-Plot

		HISTOGRAM	Q-Q GRAF	BOX-PLOT
Přímá bruska	Sa			
	Sv			
	Sp			
	Sz			
	Sa			



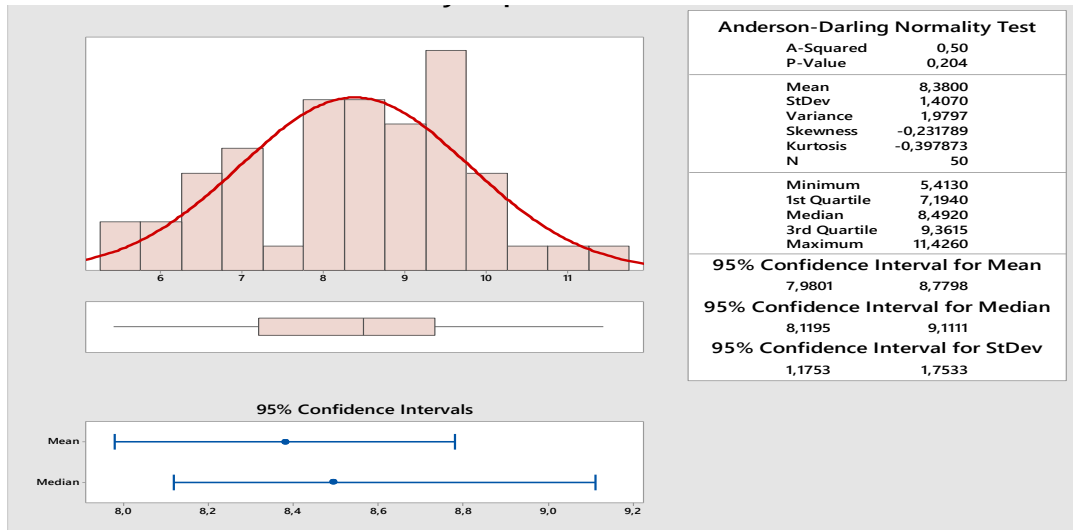


Grafickým znázorněním na Histogramech, Q-Q grafech a Box-plotových grafech je zřetelně vidět rozdíl mezi technikami gravírování. Především při laserovém gravírování je vidět pozitivní zešikmení dat.



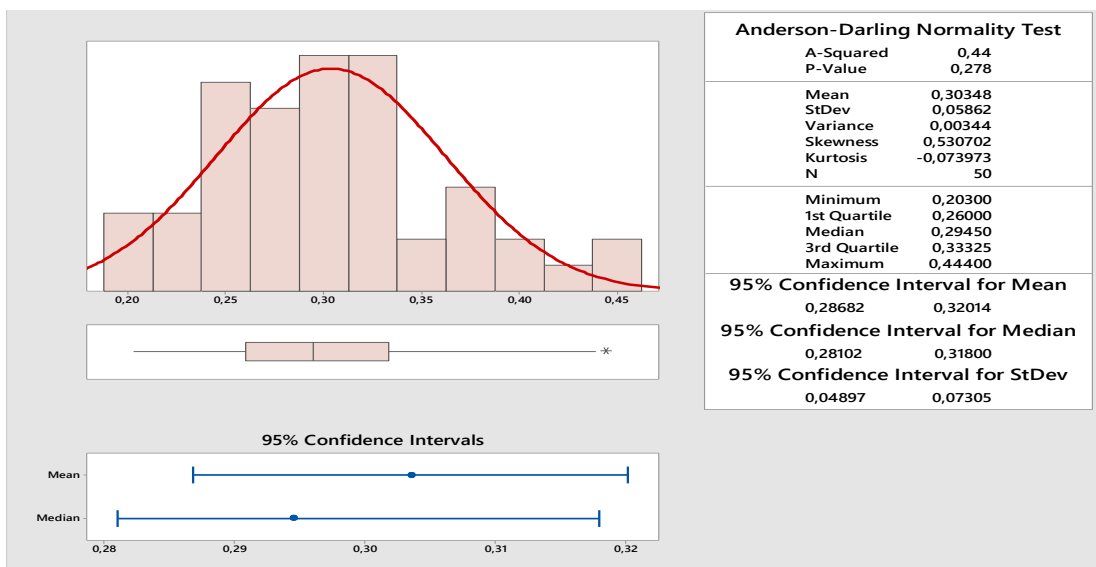
Obr. 36 Sumarizace dat parametru Sa pro přímou brusku

Data jsou nezávislá, mají mírnou pozitivní šikmost s výskytem outlierů.



Obr. 37 Sumarizace dat parametru Sa pro leptání

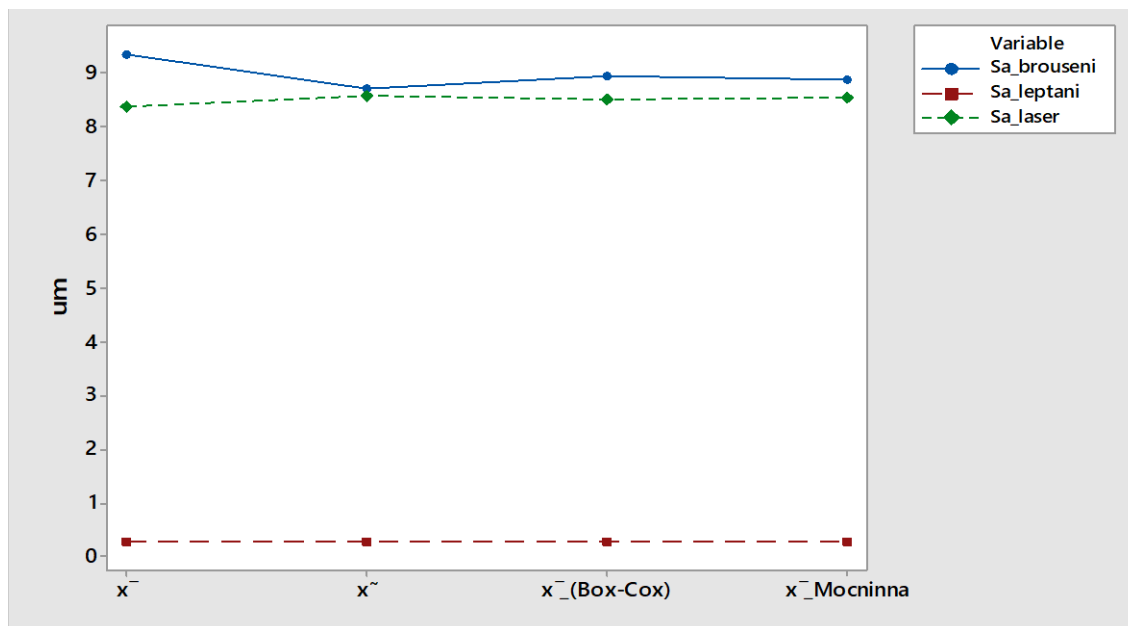
Nezávislá data, která mají negativní šikmost bez výskytu outlierů.



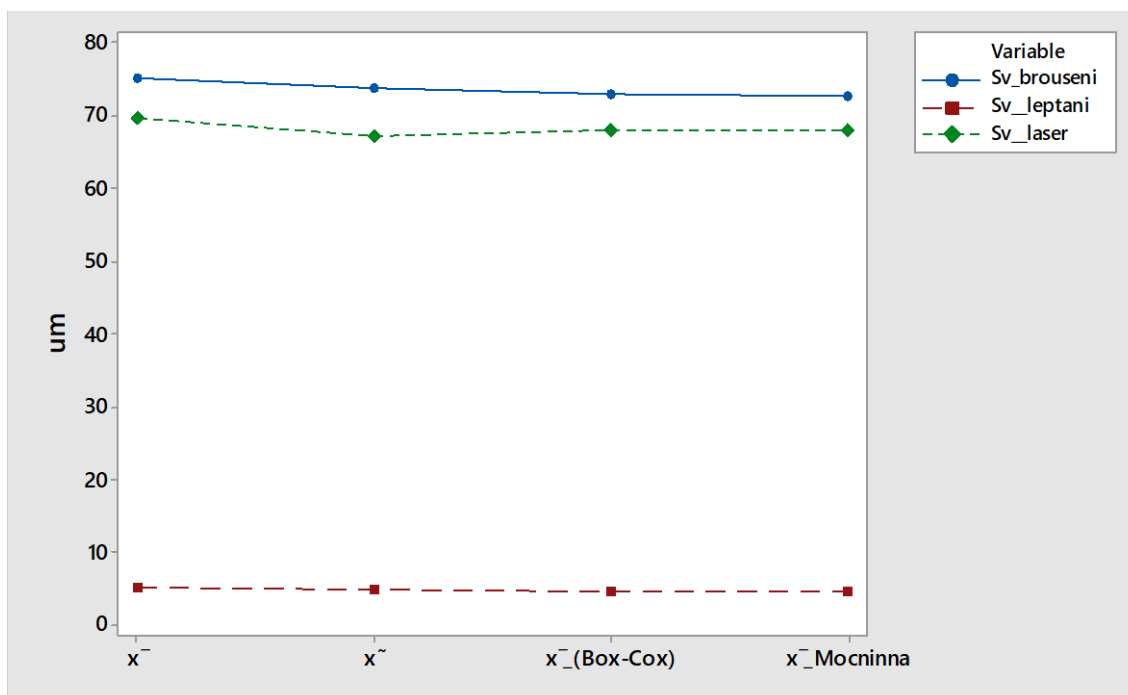
Obr. 38 Sumarizace dat parametru Sa pro laser

Z grafu můžeme vyčíst, že se jedná o nezávislá data, která mají mírnou pozitivní šikmost.

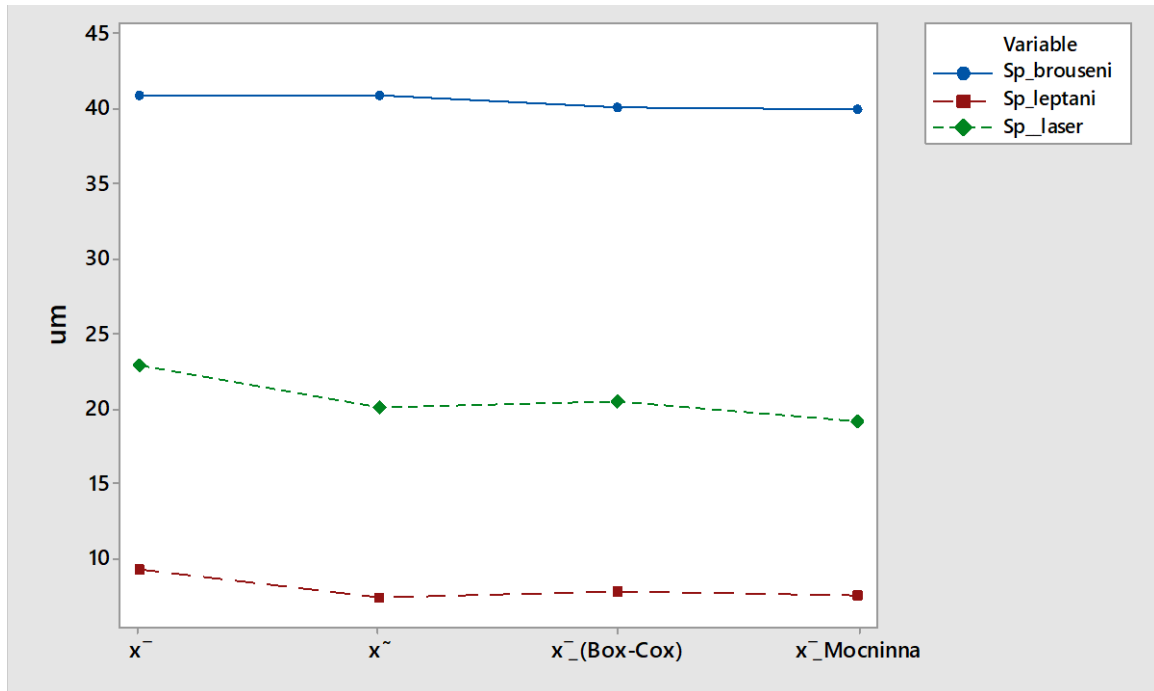




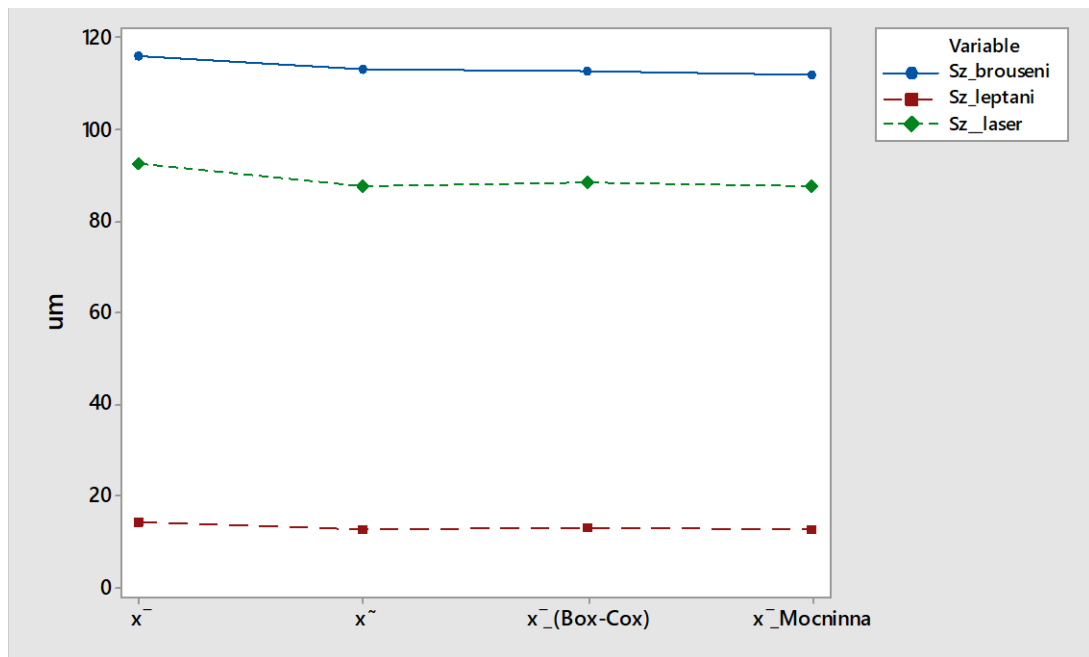
Obr. 39 Grafické znázornění parametru Sa pro všechny tři techniky



Obr. 40 Grafické znázornění parametru Sv pro všechny tři techniky

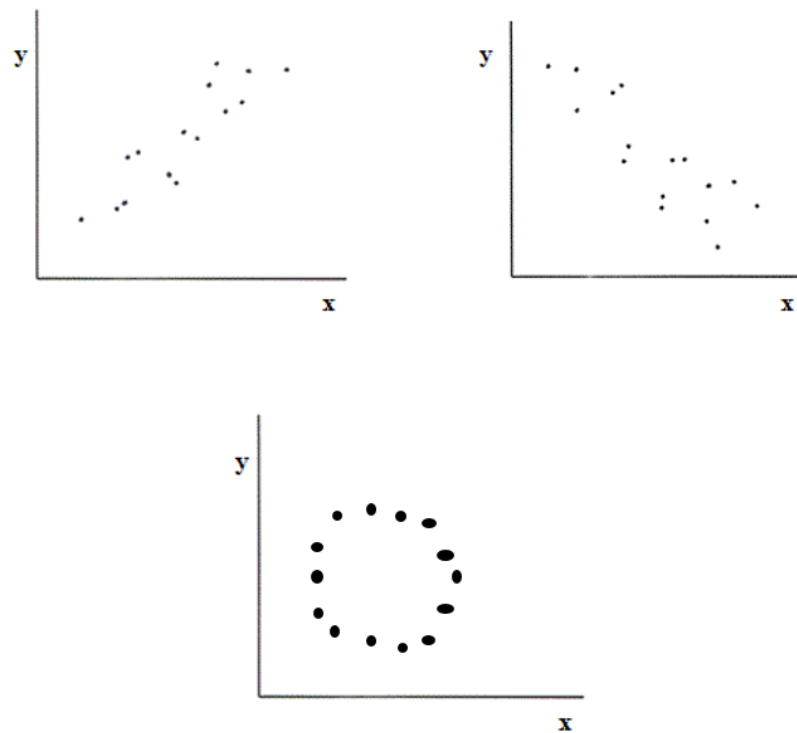


Obr. 41 Grafické znázornění parametru Sp pro všechny tři techniky



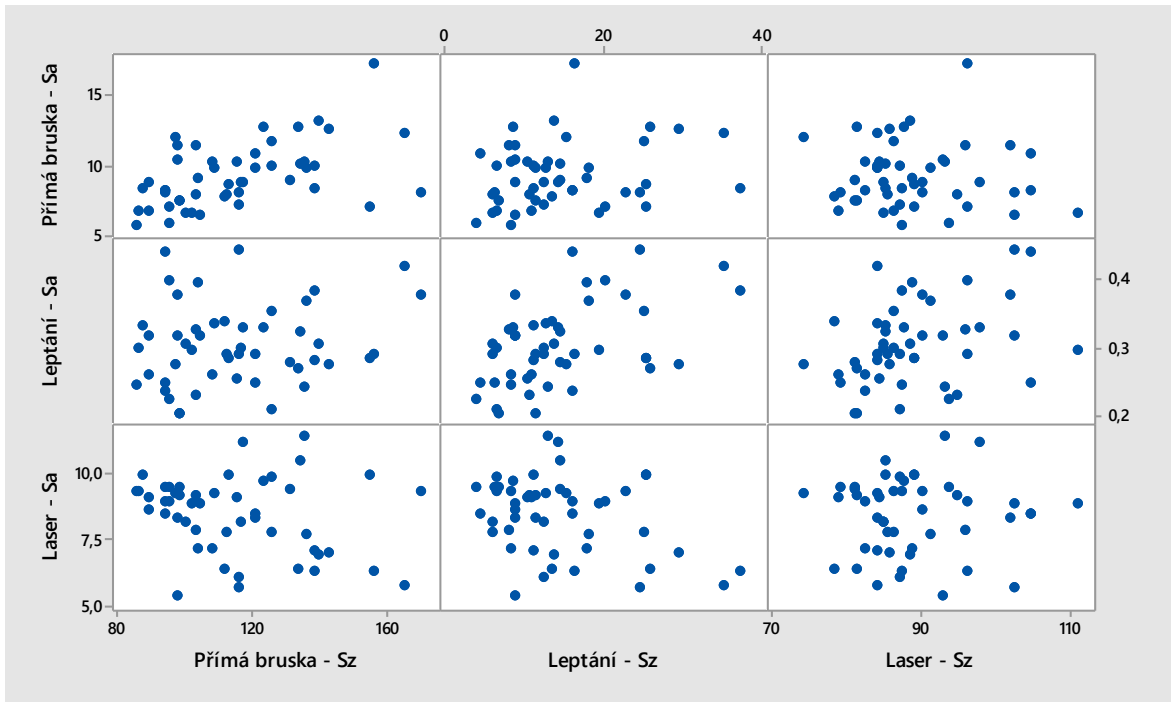
Obr. 42 Grafické znázornění parametru Sz pro všechny tři techniky

Z grafického znázornění parametrů Sa, Sv, Sp a Sz při porovnání tří používaných technik gravírování je zřetelně vidět, že technika leptání nabývá o celý řád nižších hodnot.



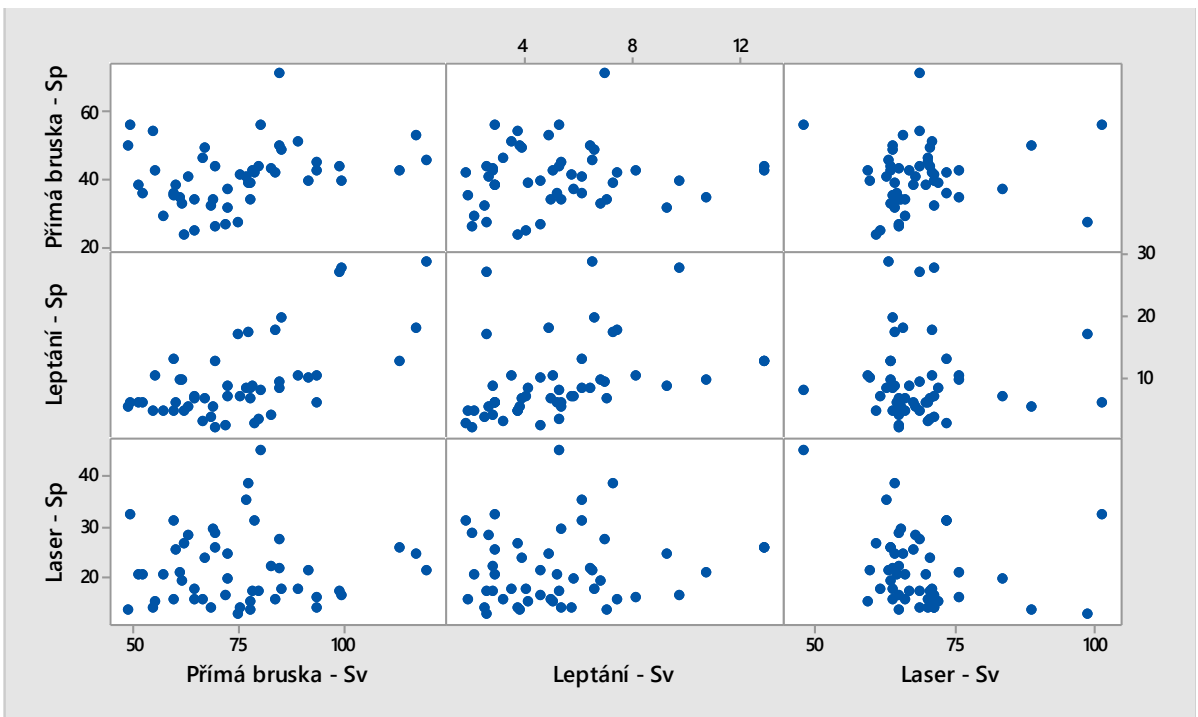
Obr. 43 a) Přímá, b) nepřímá korelace a c) nekorelace

Vzájemné porovnání procesů, pokud se mezi dvěma procesy ukáže korelace, je velmi pravděpodobné, že na sobě závisejí, ale nemůžeme z toho usoudit, že jeden z nich je příčinou a druhý následkem. Míra korelace se vyjádří korelačním koeficientem, který může mít hodnotu od -1 do +1.



Obr. 44 Rozptylový graf pro všechny techniky Sa a Sz

Z rozptylového grafu pro gravírování přímou bruskou, leptání a laserové gravírování lze vyčíst, že parametr Sa významně nekoreluje s parametrem Sz. Parametry vzniklé těmito technologiemi jsou vůči sobě nezávislé.



Obr. 45 Rozptylový graf pro všechny techniky Sp a Sv

Z grafu na obrázku č. 45 je možné si povšimnout u parametru Sp významné nekorelace s parametrem Sv, a tím i zjištění, že za pomoci těchto tří technologií jsou parametry na sobě nezávislé.

Výsledkem celé analýzy EDA (průzkumové analýzy dat) je zjištění, že data mají pozitivní šikmost. Nejvíce zřetelné zešikmení je u techniky gravírování laserem. Proto se provedla transformace dat, která toto zešikmení srovnala. (viz. tab. 8)

Dále je z grafického znázornění vidět, že leptání nabývá o řád nižších hodnot oproti gravírování laserem a gravírování pomocí ruční přímé brusky.

Z rozptylových grafů je zřetelné, že data vzájemně téměř nekorelují.

Tab. 8 Průměry a transformované průměry

		$\bar{x}$	$\tilde{x}$	$\bar{x}_{Box-Cox}$	$\bar{x}_{Mocninná}$
<b>Přímá bruska</b>	Sa	9,337	8,726	8,929	8,873
	Sv	74,99	73,86	72,802	72,610
	Sp	40,95	41,01	40,135	40,116
	Sz	115,92	112,86	112,579	111,804
<b>Leptání</b>	Sa	0,303	0,295	0,2978	0,297
	Sv	5,244	5,032	4,755	4,666
	Sp	9,364	7,441	7,819	7,567
	Sz	14,55	12,73	12,954	12,680
<b>Laser</b>	Sa	8,387	8,584	8,522	8,530
	Sv	69,50	67,28	67,943	68,079
	Sp	22,98	20,18	20,509	19,223
	Sz	92,49	87,66	88,358	87,464

## 9.2 Test rovnosti rozptylů

Parametry testů:

$$H_0: \sigma_{Sa}^2 \text{ broušení} = \sigma_{Sa}^2 \text{ leptání} = \sigma_{Sa}^2 \text{ laser}$$

$$H_A: \sigma_{Sa}^2 \text{ broušení} \neq \sigma_{Sa}^2 \text{ leptání} \neq \sigma_{Sa}^2 \text{ laser}$$

S pravděpodobností  $(1 - \alpha) = 0,95$

$$H_0: \sigma_{Sp}^2 \text{ broušení} = \sigma_{Sp}^2 \text{ leptání} = \sigma_{Sp}^2 \text{ laser}$$

$$H_A: \sigma_{Sp}^2 \text{ broušení} \neq \sigma_{Sp}^2 \text{ leptání} \neq \sigma_{Sp}^2 \text{ laser}$$

S pravděpodobností  $(1 - \alpha) = 0,95$

$$H_0: \sigma_{Sv}^2 \text{ broušení} = \sigma_{Sv}^2 \text{ leptání} = \sigma_{Sv}^2 \text{ laser}$$

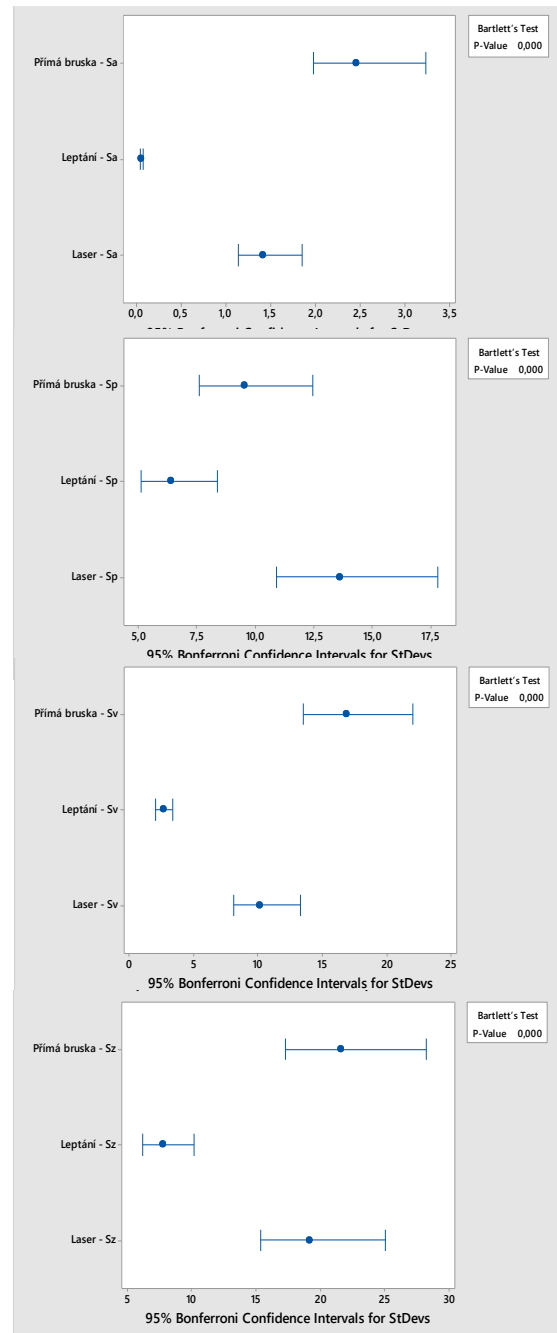
$$H_A: \sigma_{Sv}^2 \text{ broušení} \neq \sigma_{Sv}^2 \text{ leptání} \neq \sigma_{Sv}^2 \text{ laser}$$

S pravděpodobností  $(1 - \alpha) = 0,95$

$$H_0: \sigma_{Sz}^2 \text{ broušení} = \sigma_{Sz}^2 \text{ leptání} = \sigma_{Sz}^2 \text{ laser}$$

$$H_A: \sigma_{Sz}^2 \text{ broušení} \neq \sigma_{Sz}^2 \text{ leptání} \neq \sigma_{Sz}^2 \text{ laser}$$

S pravděpodobností  $(1 - \alpha) = 0,95$



Obr. 46 Test rovnosti rozptylů pro všechny parametry

Na základě testu rovnosti rozptylů bylo zjištěno, že rozptyly parametrů Sa, Sv, Sp a Sz jsou statisticky významně odlišné, proto zamítáme nulovou hypotézu a tvrdíme, že rozptyly jsou rozdílné.

### 9.3 Test rovnosti průměrů

Parametry testů:

$$H_0: \mu_{Sa}^2 \text{ broušení} = \mu_{Sa}^2 \text{ leptání} = \mu_{Sa}^2 \text{ laser}$$

$$H_A: \mu_{Sa}^2 \text{ broušení} \neq \mu_{Sa}^2 \text{ leptání} \neq \mu_{Sa}^2 \text{ laser}$$

S pravděpodobností  $(1 - \alpha) = 0,95$

$$H_0: \mu_{Sp}^2 \text{ broušení} = \mu_{Sp}^2 \text{ leptání} = \mu_{Sp}^2 \text{ laser}$$

$$H_A: \mu_{Sp}^2 \text{ broušení} \neq \mu_{Sp}^2 \text{ leptání} \neq \mu_{Sp}^2 \text{ laser}$$

S pravděpodobností  $(1 - \alpha) = 0,95$

$$H_0: \mu_{Sv}^2 \text{ broušení} = \mu_{Sv}^2 \text{ leptání} = \mu_{Sv}^2 \text{ laser}$$

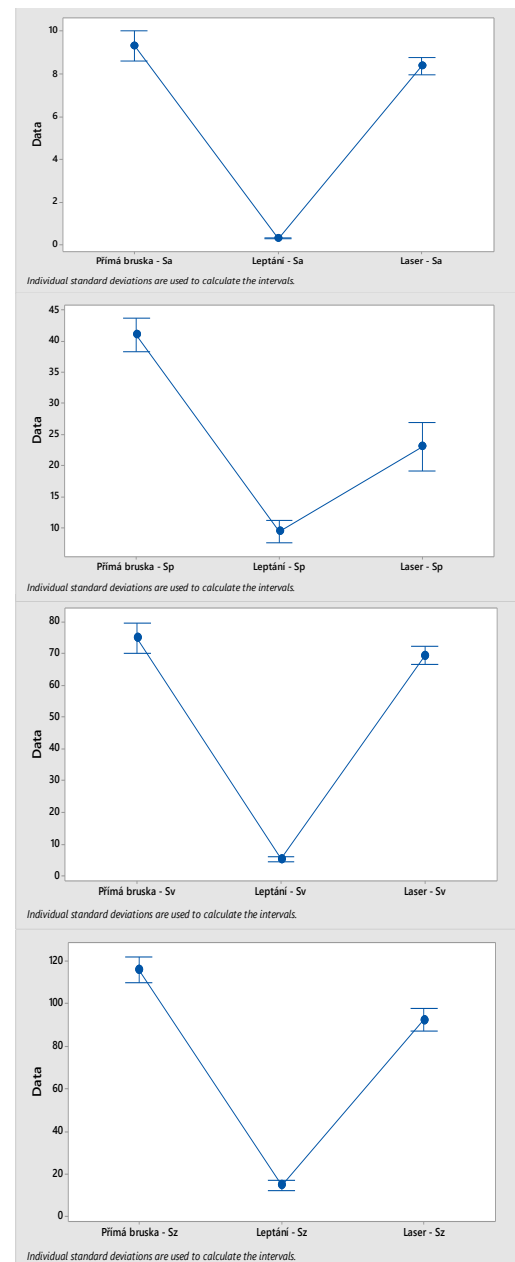
$$H_A: \mu_{Sv}^2 \text{ broušení} \neq \mu_{Sv}^2 \text{ leptání} \neq \mu_{Sv}^2 \text{ laser}$$

S pravděpodobností  $(1 - \alpha) = 0,95$

$$H_0: \mu_{Sz}^2 \text{ broušení} = \mu_{Sz}^2 \text{ leptání} = \mu_{Sz}^2 \text{ laser}$$

$$H_A: \mu_{Sz}^2 \text{ broušení} \neq \mu_{Sz}^2 \text{ leptání} \neq \mu_{Sz}^2 \text{ laser}$$

S pravděpodobností  $(1 - \alpha) = 0,95$



Obr. 47 Test rovnosti průměru pro všechny parametry

Za pomoci testu rovnosti průměru bylo zjištěno, že průměry parametrů Sa, Sv, Sp a Sz jsou statisticky významně odlišné, proto je zamítnutá nulová hypotéza a tvrdíme, že průměry jsou od sebe rozdílné.

$H_0$ : Všechny průměry jsou stejné

$H_A$ : Alespoň jeden průměr je jiný

Hladina významnosti:  $\alpha = 0,05$

S pravděpodobností:  $(1 - \alpha) = 0,95$

Informace o faktorech

Úrovně hodnot faktorů

Faktory        3        Přímá bruska – Sa, Leptání – Sa, Laser – Sa

Welchův test

Source	Num	DF Den	F-Value	P-Value
Factor	2	65,4821	1145,88	<b>0,000</b>

$P=0,000 < \alpha=0,050$ , proto je zamítána nulová hypotéza s tím, že všechny průměry jsou stejné, ve prospěch hypotézy alternativní, která tvrdí, že alespoň jeden průměr je jiný.

S možností omylu 5% tvrdím, že průměrné hodnoty Sa jednotlivých technologií se od sebe liší významně, jsou totiž nenáhodné.



## ZÁVĚR

Záměrem této diplomové práce bylo nalezení nejšetrnější technologie gravírování skla a zároveň i řešení postupu při hodnocení jakosti povrchů u 3 různých technik gravírování skla.

Teoretická část byla věnována historii a popisu výroby skla. Také jsem se zaobírala popisem základních charakteristik a pravidly měření jakosti povrchu dle norem ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO4288 a ČSN EN ISO 2517-2. Porovnání 2D a 3D metod snímání povrchu. Dále zde byly rozebrány základní metody obrábění, jak klasické, tak i nekonvenční. V neposlední řadě byly popsány statistické metody, které byly následně využity v praktické části na vyhodnocení jakosti povrchu.

Praktická část obsahuje popis výroby vzorků třemi technikami – gravírování přímou bruskou, leptání leptací pastou a gravírování pomocí laseru. Hlavním zaměřením bylo porovnání jakosti povrchů tří technik gravírování skla a následné vyhodnocení všech parametrů. Nejčastěji využívaným parametrem při vyhodnocování povrchu je vyhodnocení povrchu dle parametru  $S_a$  za předpokladu normality parametru bez vychýlených hodnot, špičatosti a šikmosti.

Normální rozdělení bylo určeno sumářem Anderson-Darling Normality testu parametrů výsledků. Za pomoci Histogramu, Q-Q grafů a Box – plotových grafů je vidět rozdíl mezi třemi technikami gravírování. U laserového gravírování je vidět pozitivní zešikmení dat.

Z rozptylového grafu pro gravírování přímou bruskou, leptání a laser je možné vyčíst, že parametr  $S_a$  významně nekoreluje s parametrem  $S_z$ . Parametry  $S_a$  a  $S_z$  jsou vůči sobě nezávislé. U parametru  $S_p$  a  $S_v$  je možné si povšimnout významné nekorelace, a tím i zjištění, že u těchto tří technologií jsou parametry na sobě nezávislé. Tím je jasné, že data vzájemně téměř nekorelují.

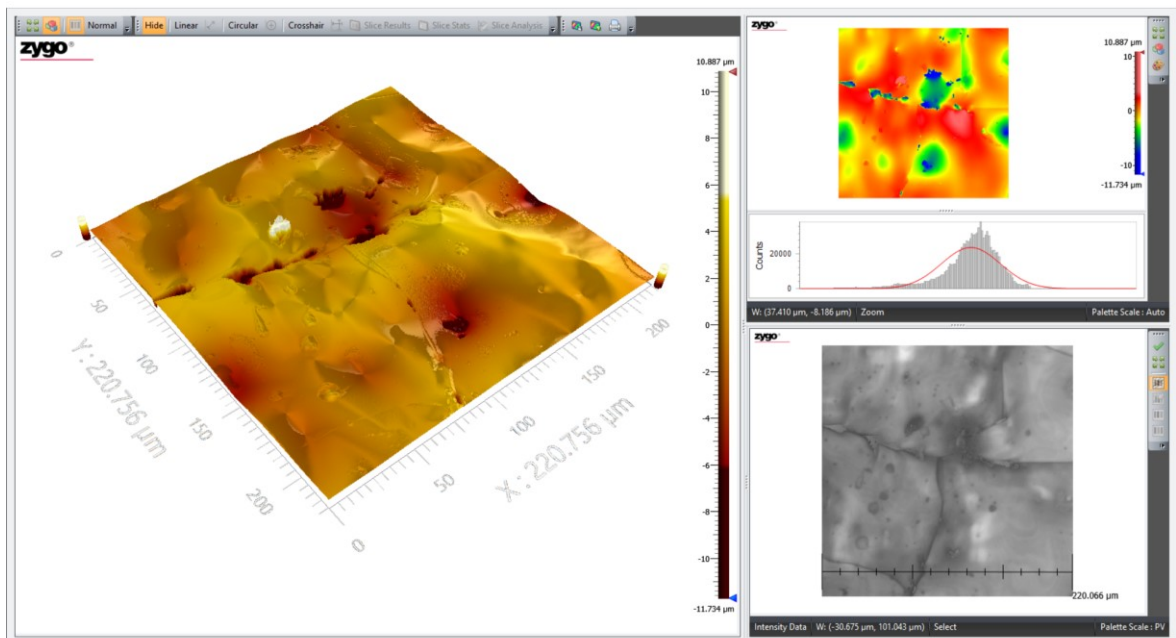
Výsledkem celé průzkumové analýzy dat je zjištění, že data mají pozitivní šikmost a nejvíce zřetelné zešikmení je u techniky gravírování laserem. Proto bylo nutné provést transformaci dat, která zešikmení srovnala.

Z grafického znázornění je vidět, že leptání nabývá hodnot o řád nižších oproti gravírování laserem a gravírování pomocí přímé ruční brusky.

Díky testu rovnosti rozptylů bylo zjištěno, že rozptyly parametrů Sa, Sv, Sp a Sz jsou statisticky významně odlišné, proto zamítám nulovou hypotézu a tvrdím, že rozptyly jsou rozdílné.

U testu rovnosti průměrů se zjistilo, že průměry parametrů Sa, Sv, Sp a Sz jsou statisticky významně odlišné, proto je zamítnuta nulová hypotéza a tvrdím, že průměry jsou rozdílné.

Po bližším zkoumání vzorků bylo překvapivé zjištění, že u techniky gravírování přímou bruskou nebyly na skle zachyceny stopy po nástroji. Dalším zarážejícím úkazem byl nález u techniky gravírování laserem. Při větším zvětšení, bylo zjištěno, že paprsek laseru nevytvoří pouze gravírovaný bod, ale zároveň se s každým bodem vytvoří ve skle povrchová prasklina.



Obr. 48 Poškození skla laserem

**SEZNAM POUŽITÉ 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] BOUŠKA, Vladimír. *Přírodní skla*. Praha: Academia, 1987, 264 s.
- [4] DRAHOTOVÁ, O. et al.: *Historie sklářské výroby v českých zemích. I. díl, Od počátků do konce 19. století*. Praha: Academia, 2005. 761 s.
- [5] KONTA, J.: *Keramické a sklářské suroviny*. Praha: Univerzita Karlova, 1982, 364 s.
- [6] VONDRUŠKA, V.: *Sklářství*. Praha: Grada Publishing, 2002. 273 s.
- [7] *Výroba skla* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://www.askpcr.cz/o-skle/jak-se-sklo-vyrabi/>
- [8] *Sklo* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/sklo.html>
- [9] *Kvalitní sklo* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: [http://www.denwel.cz/editor/filestore/File/Leaflets/QVF/QVF\\_kvalita%20skla\\_CZ\\_rev1.pdf](http://www.denwel.cz/editor/filestore/File/Leaflets/QVF/QVF_kvalita%20skla_CZ_rev1.pdf).
- [10] 1. WHITEHOUSE, David. *Surfaces and their measurement*. London: HPS, 2002. ISBN 1903996015
- [11] BRIMUS, J.: *Vliv koncentrované energie laserového paprsku na různé polymerní materiály*, UTB Zlín 2007
- [12] MORÁVEK, R. *Nekonvenční metody obrábění*. Plzeň ZČV Plzeň, 1994. ISBN: 80-7082-161-2
- [13] ČSN EN ISO 25178-2. *Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha - Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 2012.

- [14] *Nekonvenční metody obrábění* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=33789&revision=-1&instance=2>
- [15] *Nekonvenční metody obrábění* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni.html>
- [16] *Soustružení* [online]. [cit. 2018-04-15]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=21459&revision=-1&instance=2>
- [17] Vrtání: Metody obrábění. *ELUC* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1872>
- [18] Frézování: Metody obrábění. *ELUC* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1824>
- [19] Vyvrtávání: Metody obrábění. *ELUC* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1822>
- [20] Hoblování a obrážení: Metody obrábění. *ELUC* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1826>
- [21] Broušení: Metody obrábění. *ELUC* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1825>
- [22] Protahování a protlačování: Metody obrábění. *ELUC* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1371>
- [23] MELOUN, Milan a Jiří MILITSKÝ. *Kompendium statistického zpracování dat*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621968
- [24] MELOUN, Milan a Jiří MILITSKÝ. *Interaktivní statistická analýza dat*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 9788024621739.
- [25] BARNETT, V. a T. LEWIS. *"Outliers in statistical data"*. Wiley: Third, 1994.
- [26] *F-test* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/Ftest.htm>
- [27] *ANOVA* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://cit.vfu.cz/statpotr/POTR/Teorie/Predn3/ANOVA.htm>
- [28] BUMBÁLEK, L. a kol. *Kontrola a měření*. Praha: Informatorium, spol., 2009. ISBN 978-80-7333-072-9.

- [29] KUBIŠOVÁ, Milena. *Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů nenormativním způsobem*. Zlín, 2018. Dizertační práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Vladimír Pata.
- [30] Zygo [online]. [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.zygo.com/?/met/profilers/newview9000/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Ra	Střední aritmetická drsnost
Rmr	Materiálový poměr profilu
Rp	Největší výška výstupku profilu
Rq	Střední kvadratická úchylka profilu drsnosti
Rt	Celková výška profilu
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu
Rz	Největší výška profilu
Sa	Aritmetický průměr výšky omezené stupnice povrchu
Sq	Základ průměrné výšky povrchu
Ssk	Šikmost omezené stupnice povrchu
Sku	Špičatost omezené stupnice povrchu
2D	Dvojrozměrný prostor
3D	Trojrozměrný prostor
H <sub>0</sub>	Nulová hypotéza
H <sub>A</sub>	Alternativní hypotéza
μm	Mikrometr

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Obsidián (vulkanické černé sklo s lasturnatým lomem) [8] .....	12
Obr. 2 Jihočeský vltavín se skulptovaným povrchem [8].....	13
Obr. 3 Profil povrchu [1] .....	18
Obr. 4 Rp – největší výška výstupku profilu [1].....	19
Obr. 5 Rc – průměrná výška prvků profilu [1] .....	20
Obr. 6 Výška profilu celková [1] .....	20
Obr. 7 Ra – Aritmetická úchylka [1] .....	21
Obr. 8 Rsm – Průměrná šířka [1].....	22
Obr. 9 Rozdíl mezi hoblováním a obrážením [20] .....	29
Obr. 10 Rozdíl mezi hoblovacím a obrážecím nožem[20] .....	30
Obr. 11 Pohyby při soustružení [16].....	30
Obr. 12 Frézování obvodové nesousledné a sousledné [18].....	32
Obr. 13 Frézky s vygravírovanými vzorky .....	43
Obr. 14 Vygravírovaný vzorek .....	44
Obr. 15 Leptání leptací pastou.....	44
Obr. 16 Vyleptaný vzorek.....	45
Obr. 17 Laser .....	46
Obr. 18 Gravírování za pomoci laseru.....	47
Obr. 19 Sklo vygravírované laserem .....	48
Obr. 20 Měřicí přístroj Zygo.....	49
Obr. 21 Příprava vzorku na snímán .....	50
Obr. 22 Nastavení barevnosti paprsku.....	51
Obr. 23 Výběr objektivu .....	51
Obr. 24 Nastavení parametrů snímání .....	52
Obr. 25 Nulové nastavení .....	52
Obr. 26 Hledání interferenčního obrazce.....	53
Obr. 27 Snímání vzorku.....	53
Obr. 28 Nasnímaný povrch .....	54
Obr. 29 Nastavení vyhodnocení.....	54
Obr. 30 Přímá bruska – měřená místa.....	55
Obr. 31 Leptání – měřená místa.....	55
Obr. 32 Laser – měřená místa.....	55

---

Obr. 33 Naměřené vzorky – přímá bruska.....	56
Obr. 34 Naměřené vzorky – leptání.....	57
Obr. 35 Naměřené vzorky – laser .....	58
Obr. 36 Sumarizace dat parametru Sa pro přímou brusku.....	62
Obr. 37 Sumarizace dat parametru Sa pro leptání .....	63
Obr. 38 Sumarizace dat parametru Sa pro laser.....	63
Obr. 39 Grafické znázornění parametru Sa pro všechny tři techniky.....	64
Obr. 40 Grafické znázornění parametru Sv pro všechny tři techniky .....	64
Obr. 41 Grafické znázornění parametru Sp pro všechny tři techniky .....	65
Obr. 42 Grafické znázornění parametru Sz pro všechny tři techniky.....	65
Obr. 43 a) Přímá, b) nepřímá korelace a c) nekorelace .....	66
Obr. 44 Rozptylový graf pro všechny techniky Sa a Sz .....	67
Obr. 45 Rozptylový graf pro všechny techniky Sp a Sv.....	67
Obr. 46 Test rovnosti rozptylů pro všechny parametry .....	69
Obr. 47 Test rovnosti průměru pro všechny parametry .....	70
Obr. 48 Poškození skla laserem .....	73



**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Základní délky drsnosti pro měření Ra, Rq, Rsk, Rku, křivek a odpovídající parametry pro neperiodické profily [2] .....	24
Tab. 2 Základní délky drsnosti pro měření Rz, Rv, Rp, Rc, a Rt neperiodických profilů [2] .....	24
Tab. 3 Základní délky drsnosti pro R – parametrů periodických profilů s Rsm periodických a neperiodických profilů [2] .....	25
Tab. 4 Kritické obory testů hypotézy $H_0$ [23] .....	38
Tab. 5 Technické parametry laseru ILS 3NM .....	45
Tab. 6 Vypočítané hodnoty z programu Minitab .....	59
Tab. 7 Histogram, Q-Q graf, Box-Plot .....	60
Tab. 8 Průměry a transformované průměry .....	68