

# Hodnocení jakosti povrchů mezi formou a výrobkem z této formy

Martin Mužný

---

Bakalářská práce  
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2018/2019

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Martin Mužný**  
Osobní číslo: **T16670**  
Studijní program: **B3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**  
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Hodnocení jakosti povrchů mezi formou a výrobkem z této formy**

Zásady pro vypracování:

- Bude provedena kontrola povrchů pomocí mikroskopu, kde se bude hledat vhodné nepoškozené místo
- Student provede analýzu na bezkontaktním profiloměru Taylor & Hobson CLI 500.
- Následně naměřená data drsnosti povrchu budou vyhodnocena pomocí programů Minitab, kde se bude hledat korelace mezi povrchem formy a výrobkem z této formy

Rozsah bakalářské práce: **cca 60 stran**  
Rozsah příloh:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Hodnocení jakosti povrchů mezi formou a výrobkem z této formy**
2. **ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999.**
3. **ČSN EN ISO 4288. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. 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. **MELOUN, Milan. Kompendium statistického zpracování dat: metody a řešené úlohy včetně CD. Praha: Academia, 2002, 764 s. ISBN 80-200-1008-4**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Milena Kubišová, PhD.**  
Ústav výrobního inženýrství  
Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2019**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Ve Zlíně dne 14. února 2019

L.S.

doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.  
*děkan*

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

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <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 16.5.2019

.....

---

<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). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tématem bakalářské práce je hodnocení drsnosti povrchu formy a výrobku z ní. Teoretická část popisuje druhy materiálů, ze kterých byly formy vyrobeny, dále základní obrábění, průřez vstřikovacími formami, normy ČSN EN ISO 4287, 4288, 25178, které se zabývají drsností povrchu, druhy měřících drsnoměrů a jejich výhody a nevýhody. Praktická část je věnována porovnávání naměřených hodnot drsnosti povrchu formy a výrobků z ní, a to u několika vybraných materiálů. Takto získané hodnoty byly dále statisticky vyhodnoceny.

Klíčová slova: parametry drsnosti, měření povrchu, normy

## **ABSTRACT**

The topic of the bachelor thesis is the evaluation of the roughness of the mold surface and the product from it. The theoretical part describes the types of materials from which the molds were made, the basic machining, the cross-section of injection molds, the standards ČSN EN ISO 4287, 4288, 25178, which deal with surface roughness, types of measuring roughness meters and their advantages and disadvantages. The practical part is devoted to comparison of measured values of surface roughness and products from it, for several selected materials. These values were then statistically evaluated.

Keywords: roughness parameters, surface measurement, standards

MOTO

*„Pamatuj, že i ta nejtěžší hodina ve tvém životě má jen 60 minut.“*

[Sofoklés]

Poděkování

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

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

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 MATERIÁLY</b> .....	<b>12</b>
1.1    MOSAZ .....	12
1.2    MĚĎ .....	12
1.3    HLINÍK .....	13
1.4    3D TISK .....	13
1.4.1    Fused deposition modeling (FDM) .....	13
1.4.2    Stereolitografie (SLA).....	13
1.4.3    Selective laser sintering (SLS) .....	14
1.4.4    Powder- binder printing (PBP).....	14
1.4.5    Laminated object manufacturing (LOM) .....	14
<b>2 OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>15</b>
2.1    ZÁKLADNÍ OBRÁBĚCÍ METODY .....	15
2.1.1    Soustružení .....	15
2.1.2    Frézování.....	15
2.1.3    Vrtání.....	16
2.1.4    Vystružování a vyhrubování .....	16
2.1.5    Vyvrtávání.....	16
2.1.6    Hoblování a obrážení .....	17
2.1.7    Protahování a protlačování.....	17
<b>3 VSTŘIKOVACÍ FORMY</b> .....	<b>18</b>
3.1    MATERIÁLY VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	18
3.2    KONTROLA VSTŘIKOVACÍCH FOREM .....	19
<b>4 NORMY</b> .....	<b>20</b>
4.1    ZÁKLADNÍ POJMY .....	20
4.2    PARAMETRY PROFILU POVRCHU .....	22
4.2.1    Výškové parametry .....	22
4.2.2    Délkové parametry .....	24
4.2.3    Tvarové parametry .....	24
4.3    PRAVIDLA PRO POROVNÁVÁNÍ MĚŘENÝCH HODNOT .....	25
4.3.1    Pravidlo 16%.....	25
4.3.2    Pravidlo maxima .....	25
4.3.3    Měření parametrů profilu drsnosti .....	25
4.3.4    Postup pro neperiodický profil drsnosti .....	26
4.3.5    Postup pro periodický profil drsnosti .....	26
4.4    3D PARAMETRY POVRCHU PLOCHY .....	27
4.5    SROVNÁNÍ 2D A 3D METODY SNÍMÁNÍ POVRCHU .....	28
<b>5 SNÍMÁNÍ DRSNOSTI POVRCHU</b> .....	<b>30</b>



5.1	DOTYKOVÉ SNÍMÁNÍ POVRCHU .....	30
5.2	BEZDOTYKOVÉ SNÍMÁNÍ POVRCHU.....	30
5.3	POROVNÁNÍ DOTYKOVÉHO A BEZDOTYKOVÉHO SNÍMÁNÍ POVRCHU.....	30
<b>6</b>	<b>CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>32</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>MĚŘENÍ DRSNOSTI .....</b>	<b>34</b>
7.1	HLINÍK .....	34
7.2	MOSAZ.....	38
7.3	MĚĎ .....	42
7.4	3D TISK .....	46
7.5	VÝSLEDKY .....	49
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>59</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>60</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>61</b>

## ÚVOD

S rozvojem vědy a techniky a s uplatňováním jejich výsledků v praxi se v současné době klade stále větší význam na problematiku jakosti strojních součástí.

Jakost z hlediska technologie výroby představuje zejména přesnost rozměrů, přesnost geometrického tvaru, polohy a drsnosti povrchu.

Posuzování vlivu jakosti povrchu na funkci jakékoliv součásti umožňuje stanovit, jaké musí být vlastnosti hodnocené plochy, aby byla zabezpečena jejich funkce. Vyhodnocování údajů jakosti povrchu má následně význam pro konstrukci i stanovení technologických parametrů ve výrobě.

Drsnost ovlivňuje životnost a spolehlivost součástí. Povrch, který má větší drsnost se rychleji opotřebuje a má větší koeficient tření. Pro měření drsnosti používáme normy ČSN EN ISO 4287, ČSN EN ISO 4288 a ČSN EN ISO 25178-2.

Tato práce se zabývá měřením a vyhodnocováním drsnosti povrchu forem z materiálu hliníku, mosazi, mědi a formy z plastu vytisknuté na 3D tiskárně a výrobků z těchto forem. Materiál pro formy byl zvolen z cenově ekonomičtějších materiálů, než je nástrojová ocel. Cílem bylo zjistit, který z výše uvedených materiálů má nejlepší vlastnosti. Vyhodnocení naměřených dat bylo provedeno v programu Minitab, kde se zjišťovala korelace mezi formami a výrobků z nich.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 MATERIÁLY

## 1.1 Mosaz

Mosaz je slitina mědi a zinku, eventuálně je část podílu zinku nahrazena jiným kovem. Žlutá mosaz obsahuje kolem 35 % zinku. Má velkou oblast využití v jemné mechanice, elektrotechnice a taktéž v modelářství. K získání mosazi se používá 25 % veškeré produkce mědi. Při výrobě mědi se odpařuje zinek, což je největší technologickou potíží, proto se při výpočtu vsázky zinek leguje pokaždé na horní hranici normy. Výroba je neobvykle náchylná na dodržování a nepřekračování tavicích teplot. Interval teploty tuhnutí mosazí je 950–880 °C. V technické praxi mají význam mosazi s obsahem nad 58 % mědi. Slitiny s menším obsahem mědi jsou nepoužitelné pro tvrdost a křehkost. Mosazi s obsahem mezi 75-85 % mědi nejsou tvárné za tepla. Pokud slitiny obsahují více jak 80 % mědi, nazývají se tombaky. Pevnost mosazí je závislá na obsahu mědi, stejně tak tvrdost. Tažnost je největší při 70 % mědi a nejlepší slévateľnost je při 60 %. Mosazi rozdělujeme na tvářené a slévarenské. Mezi nejčastější povrchové úpravy mosazi patří: leštění a lakování nebo kartáčování a lakování. Další možností je platinování, kdy povrch výrobku chemicky zoxiduje a ztmaví se do požadovaného tónu poté se mohou zalakovat aby nedošlo k dalšímu tmavnutí. Při čištění je vhodné nepoužívat příliš hrubé textilie nebo drátěnky aby se povrch nepoškrábal. [5]

## 1.2 Měď

Je to ušlechtilý kovový prvek, který má načervenalou barvu, má velice dobrou tepelnou a elektrickou vodivost, má dobrou mechanickou zpracovatelnost a odolnost proti korozi. Je hlavní součástí velice významných slitin a je velmi zásadní pro elektrotechniku. Je to značně houževnatý, a přitom měkký a tažný kov, který odolává korozi. Jeho teplota tání je 1083 °C. V přírodě se jen vzácně vyskytuje ryzí měď, běžněji se nachází v nerostech ve formě uhličitanů, sulfidů, chloridů a oxidů. Průmyslová výroba surové mědi je prováděna pražením sulfidových rud a následující redukcí vznikajícího oxidu uhlím. Vyrobena měď dosahuje čistoty 94-97 % a musí se rafinovat. Při rafinaci se surová měď přetavuje v nístějové peci při přidávání dřevěného uhlí. Měď, která takto vznikne má čistotu 99,7%. Dokonalejší rafinace je dosahována elektrolýzou v síranovém prostředí, dosahuje čistoty až 99,95% . Měď je jeden z nejvýznamnějších technických kovů, díky své dobré elektrické a tepelné vodivosti je používána k výrobě elektrických vodičů, trubek a ve výměnících tepla.

Výrobky z mědi nejsou náročné na údržbu díky měděnce, která se na nich vytváří a chrání povrch před hloubkovou oxidací. Žíhání v atmosféře, která obsahuje vodík nebo uhlovodíky, vzniká nebezpečí vodíkové nemoci, která může způsobovat trhliny při svařování a tváření. [6]

### 1.3 Hliník

Hliník je velmi lehký kov, který má velmi dobrou elektrickou vodivost, je velice často používán v elektrotechnice a ve formě slitin široce používán v automobilovém i leteckém průmyslu. Další důležité vlastnosti hliníku jsou dobrá pevnost, tvárnost, svařitelnost, dobrá odolnost proti korozi, dobrá elektrická a tepelná vodivost. Jde o nemagnetický materiál, je možné ho recyklovat. V přírodě se objevuje ve formě sloučenin. Největší použití hliníku je ve formě slitin. Nejznámější je slitina s mědí a hořčíkem nazývaná se dural. Dural při srovnání s čistým hliníkem více tvrdý i pevný ale současně si ponechává nízkou hmotnost a nízkou odolnost vůči atmosférickým vlivům. Čistý hliník nachází uplatnění ve formě tvarovaných plechů jako je střešní krytina ale i folie, které se uplatňují jako obalové materiály na potraviny. [7]

### 1.4 3D tisk

3D tisk je proces, při kterém se z digitální předlohy (3D model) vytváří fyzický model.

#### 1.4.1 Fused deposition modeling (FDM)

U této metody se natavuje drát z termoplastu nebo kovu do polotekutého stavu a nanáší se tryskou na základní materiál, kde okamžitě tuhne. Tryska nanáší materiál ve směru os X a Y, po dokončení vrstvy se posune ve svislý směr osy Z. [8]

#### 1.4.2 Stereolitografie (SLA)

Výchozí polotovar u této metody je fotopolymer. Stůl, na kterém stavba probíhá je ponořen v nádrži tak, aby ho hladina fotopolymeru překrývala o výšku vrstvy, tloušťka vrstvy je vysoká 0,05-0,2 mm. V místě stavby součásti je kapalina nasvícena UV světlem. Tím je iniciována chemická reakce vytvrzení fotopolymeru. Poté se povrch zarovná nožem a celý cyklus se opakuje. [8]

### 1.4.3 Selective laser sintering (SLS)

Tato metoda funguje na principu nanášení práškového polotovaru a jeho následné natavování a spojování (sintrování) pomocí výkonného laseru. Variantou tohoto principu je metoda nazývána Selective laser melting, při které se polotovar nejen nataví ale úplně roztaví. [8]

### 1.4.4 Powder- binder printing (PBP)

Z hlediska podoby polotovaru, jeho nanášení a většiny dalších znaků stejná metoda jako u selective laser sintering. Největší rozdíl je ve způsobu spojování prášku, kdy se oproti sintrování, prášek spojuje tekutým pojivem. [8]

### 1.4.5 Laminated object manufacturing (LOM)

Tato metoda se od ostatních liší používaným polotovarem. Jako polotovar se nejčastěji používá papír z jedné strany potažený polyetylenem (polyetylen slouží jako pojivo při zažehlení), existují i varianty zpracovávající plastové nebo kovové folie. Folie je v každém kroku navinuta přes celý pracovní prostor a zažehlena válcem k hotové části, poté je z ní laserem nebo nožem vyříznut obrys vrstvy. Mezi výhody patří schopnost vyrábět velké součásti. [8]

## 2 OBRÁBĚNÍ

Obrábět můžeme různými metodami. K hlavním metodám patří: soustružení, vrtání, zahlu-  
bování, frézování, vyhrubování, vystružování, vyvrtávání, hoblování, obrázení, protlačo-  
vání a protahování.

Z hlediska technologických výstupů ze zmíněných obráběcích procesů jsou důležité dosa-  
hované parametry přesnosti obroběných ploch. [9]

### 2.1 Základní obráběcí metody

#### 2.1.1 Soustružení

Nejdůležitějším pohybem u soustružení je rotační pohyb obrobku. Nástroj vykonává ve-  
dlejší pohyby, a to posuv podélný, rovnoběžně s osou rotace obrobku a posuv příčný, to je  
posuv kolmý k ose obrobku. Výsledek podélného posuvu je válcová plocha, výsledek u  
příčného posuvu je čelní rovinná plocha. Mimo posuvu koná nástroj také přísuv. Tímto  
pohybem je nastavována potřebná hloubka řezu. Přísuv probíhá před obráběním. [11]

Druhy soustruhů:

Hrotový soustruh, čelní soustruh, svislý soustruh, revolverový soustruh, poloautomatické  
soustruhy (hrotové, sklíčidlové), automatické soustruhy (křížové, bezkřivkové, zapichova-  
cí, revolverové), speciální soustruhy (podsoustružovací, bubnové, upichovací) [11]

#### 2.1.2 Frézování

U této metody se pomocí břitu odebírá materiál obrobku, při otáčení nástroje. Ve velké  
části případů koná posuv součást převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních  
strojů jsou pohyby měnitelné a mohou se provádět ve všech směrech. Řezný proces není  
kontinuální a každý zub frézy odřezává krátké třísky jiné tloušťky. Frézování rozdělujeme  
na sousledné a nesousledné. [9]

##### Sousledné frézování

Otáčení nástroje je ve směru posuvu obrobku. Při vnikání zubu frézy do obrobku vzniká  
maximální tloušťka třísky. Obrobená plocha vzniká, když zub vychází ze záběru. [9]

### **Nesousledné frézování**

Otáčení nástroje je proti směru obrobku. Při vnikání nástroje do obrobku vzniká obrobená plocha. Tloušťka třísky se postupně mění z minimální na maximální [9]

#### **Druhy frézky:**

Konzolové (vertikální, horizontální, univerzální), rovinné (stolové, portálové), speciální (odvalovací, frézky na vačky, pantografické) [11]

#### **Druhy frézy:**

Válcové, čelní, kotoučové, kuželové, tvarové [11]

### **2.1.3 Vrtání**

Hlavní řezný pohyb je otáčivý, rotaci i posuv většinou vykonává nástroj, existují však i jiné možné varianty. Zvláštností vrtání a dalších osových operací (jako je vyhrubování, vystružování a podobně) je řezná rychlost, která je na obvodu nástroje nejvyšší a směrem k ose nástroje klesá k nule. [11]

#### **Druhy vrtaček**

Stolní, sloupová, stojanová, radiální (otočná), souřadnicová, speciální [11]

### **2.1.4 Vystružování a vyhrubování**

Při zadaných požadavcích na parametry přesnosti díry se dokončovací práce dělají výhrubníky a výstružníky. Díry do průměru 10 mm se pouze vystružují, větší díry se nejdříve vyhrubují a poté se vystružují. Přídavky pro vyhrubování a vystružování se odvíjejí od požadované drsnosti a přesnosti povrchu obrobené díry, ale i na druhu obráběného a nástrojového materiálu, konstrukci nástroje a dalších parametrech. [9]

### **2.1.5 Vyvrtávání**

Hlavní řezný pohyb je rotační. Na vodorovných vyvrtávačkách pohyb provádí nástroj upnutý ve vřetenu, na soustruzích obrobek. Na soustruzích provádí posuv nástroj, upnutý v nožové hlavě na vodorovných vyvrtávačkách může posuv vykonávat nástroj vysouváním pinoly s vřetenem, nebo obrobek, upnutý na pracovním stole vodorovné vyvrtávačky. Před dokončovací operací je díra upravena hrubováním. [11]



### 2.1.6 Hoblování a obrážení

Hoblování a obrážení je užíváno při obrábění plochých povrchů jednobřitým nástrojem. Hlavní pohyb u hoblování, vykonávaný obrobkem je přímočarý vratný, ale při obrážení tento pohyb vykonává nástroj, který je taktéž přímočarý vratný. Posuvný pohyb je přerušovaný, probíhá pokaždé na konci pracovního dvojzdvihu a je kolmý na směr hlavního pohybu. [11]

#### **Druhy hoblovek:**

Jednostranné, dvoustranné, speciální

#### **Druhy obrážeček:**

Vodorovné, svislé [11]

### 2.1.7 Protahování a protlačování

Protahování a protlačování je dokončovací obráběcí proces, při kterém se velmi produktivním způsobem obrábí tvarové díry nebo tvarové plochy. Rozdíl mezi metodami je v konstrukci používaných nástrojů, velikosti úběru materiálu, který je možné na jeden pracovní zdvih odebrat a také ve způsobu upnutí nástroje. [9]

### 3 VSTŘIKOVACÍ FORMY

U konstrukce vstřikovací formy je brán zřetel na technologický projekt náležitého výrobku. Nejdůležitějšími aspekty jsou: druh vstřikovacího materiálu, velikost série, produktivitu práce, požadavky na kvalitu výrobků a možnosti navrhovaného vstřikovaného výrobního zařízení. [12]

Principem je vstřikování plastické hmoty pod tlakem tryskou do dutiny formy a poté následuje zchlazení vyráběné součásti. [12]

#### **Požadavky kladené na formu:**

Nejvyšší tuhost a pevnost částí formy, velká přesnost a jakost funkčních ploch dílů, zaručená optimální životnost, správná funkce formy, jednoduchá obsluha a automatický provoz, vysoké využití zpracovávaného materiálu, snadné vyjmutí výstřiku, vhodný vtokový systém, vhodné vyhazování, vhodné odvzdušnění, vhodné temperování, nízká pořizovací cena [13]

Pro dosažení dobré kvality výstřiku je klíčové vybrat vhodný vstřikovací stroj. Využívání taveniny se pohybuje do 90%. Jestli dojde působením teplotního smrštění k překročení zmíněného limitu, je potřeba dorovnávat úbytek plastu. [13]

#### **Požadavky kladené na stroj**

Dostatečná přidržovací a udržovací síla, odpovídající vstřikovací tlak, dostatečná vstřikovací kapacita, vhodný návrh.

### 3.1 Materiály vstřikovacích forem

Materiál pro vstřikovací formy volíme podle druhu vstřikovaného plastu, přesnosti a kvality výstřiku, vstřikovacího stroje, podmínek vstřikování. [13]

Dále se dává velký zřetel na rozměry a jakost povrchu forem. Díky těmto důvodům upřednostňujeme univerzální materiály s širokým obsahem použitých vlastností. [13]

#### **Materiály pro vstřikovací formy**

Používáme oceli vhodné třídy, neželezné slitiny kovů (Al, Cu) a ostatní materiály (tepelně nevodivé, izolační) [13]

### **3.2 Kontrola vstřikovacích forem**

Kontrolování forem významně ovlivňuje jakost a správné fungování formy. Nejvíce ovlivňuje sériovou výrobu, kde kvalita provedených zkoušek ukazuje počet reklamací forem předaných výrobě. Formy jsou zkoušeny nové, po zjištění neznámých technologických parametrů nebo po rekonstrukcích, úpravách. [14]

#### **Postup u testování vstřikovacích forem**

##### **Dílenská kontrola**

Kompletně smontovaná forma je kontrolována podle výkresové dokumentace, jsou kontrolovány rozměry tvarové dutiny, závěsy pro bezpečnou manipulaci, jakost povrchu, těsnost temperančního systému za pomoci vody. [14]

##### **Funkční zkoušky**

Jsou prováděny kvalifikovanými pracovníky, spolupracujícími s konstruktéry a technologi. Zkoušky obsahují vizuální kontrolu, porovnávání s výkresem, kontrolování upnutí formy na vstřikovací stroji, testují se jednotlivé systémy formy na prázdno a prověření funkce přípravků. [14]

##### **Technologické zkoušky**

Tyto zkoušky obsahují odkonzervování dutin formy, nastavení předepsaných parametrů stroje, vstříknutí do studené formy, úpravu technologických parametrů (vstřikovací tlak, rychlost, teplota) z výsledků, zapojení temperančního systému, vstřikování v poloautomatickém / automatickém režimu. [14]

## 4 NORMY

Norma ČSN EN ISO 4287 stanovuje termíny, definice a parametry pro určování struktury povrchu, jako je drsnost, vlnitost a základní profil, profilovou metodou [1]

Norma ČSN EN ISO 4288 stanovuje pravidla pro porovnání měřených hodnot s tolerančními mezemi stanovenými pro parametry struktury povrchu. Rovněž specifikuje standardní pravidla pro výběr mezních vlnových délek cut-off  $\lambda_c$  pro parametry profilu drsnosti, měřených pomocí dotkových (hrotových) přístrojů [2]

Norma ČSN EN ISO 25178-2 specifikuje termíny, definice a parametry pro stanovení povrchové textury pomocí plošných metod. [3]

### 4.1 Základní pojmy

**Základní parametry** jsou tvar, vlnitost a drsnost. Na základě jejich vlnové délky jsou stanoveny hranice mezi parametry. [4]

**Tvar** zahrnuje nerovnosti, které mají vyšší vlnové délky než vlnitost, které mohou být tvořeny úmyslně nebo neúmyslně. Neúmyslná tvorba nerovnosti může být zapříčiněna nízkou tuhostí stroje a nástroje [4]

Opakující se nerovnosti, periodicky opakující je vlnitost, která vzniká jako důsledek nedostatečné tuhosti nebo špatného nastavení řezných podmínek stroje a to má za následek vznik vibrací [4]

Nejkratší vlnové délky způsobují nejjemnější nerovnosti a tím vzniká drsnost povrchu. Řezným nástrojem při obrábění vzniká drsnost zanecháním stopy, její vlastnosti závisí na řezných podmínkách. Pokud je použita jiná metoda například vstřikování, odlévání a jiné, jde následně o otisk stěny formy či zápustky a k tomu ovlivnění teplotou a složením materiálu. [4]

**Filtr profilu** – Za pomocí filtru rozdělíme profily na krátko vlnové a dlouho vlnové.

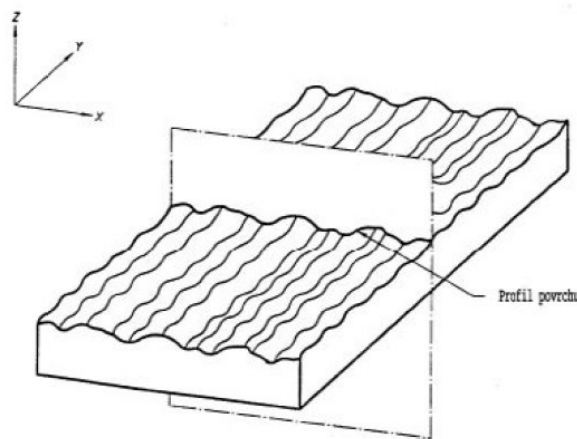
**Mezní vlnové délky:**

- 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 [1]

**Souřadnicový systém** – ve kterém jsou definovány parametry struktury povrchu. Obvykle je využíván pravoúhlý souřadnicový systém, ve kterém tvoří pravotočivou kartézskou soustavu; osa X ve směru snímání je souběžná se střední čarou, osa Y také leží na skutečném povrchu a osa Z směřuje s povrchu (z materiálu do okolního prostředí). [1]

**Skutečný povrch** – Povrch omezující těleso a oddělující ho od okolního prostředí [1]

**Profil povrchu** – profil, který vzniká jako průsečík povrchu rovnoběžně s osou X. [1]



Obrázek 1 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. [4]

### **Střední čáry**

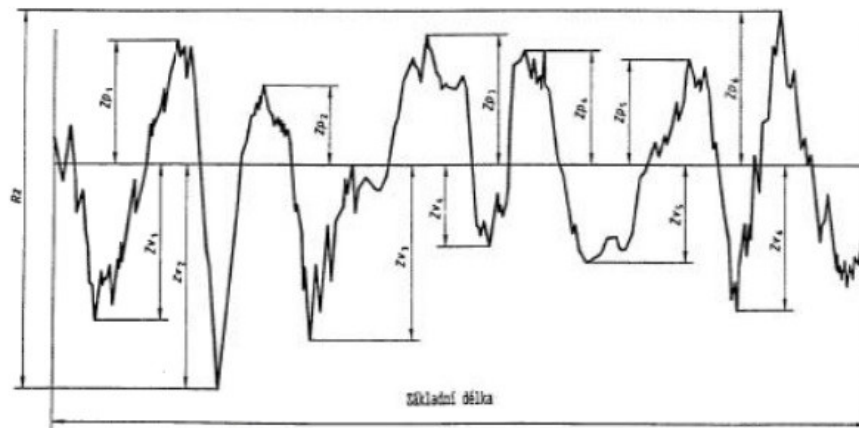
**Dělí se na střední čáru profilu drsnosti, střední čáru profilu vlnitosti a střední čáru základního profilu. Čára středního profilu drsnosti odpovídá dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem povrchu  $\lambda_c$ . V případě střední čáry profilu vlnitosti čára odpovídá dlouhovlnné složce profilu potlačené filtrem povrchu  $\lambda_f$ . Střední čára základního profilu je čára nejmenších čtverců přiléhající jmenovitému tvaru základního profilu. [1]**

## 4.2 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. [4]

### 4.2.1 Výškové parametry

**Největší výška výstupku profilu  $R_p$** , následně je výška  $Z_p$  nejvyšší výstupek profilu v rozsahu základní délky. [4]



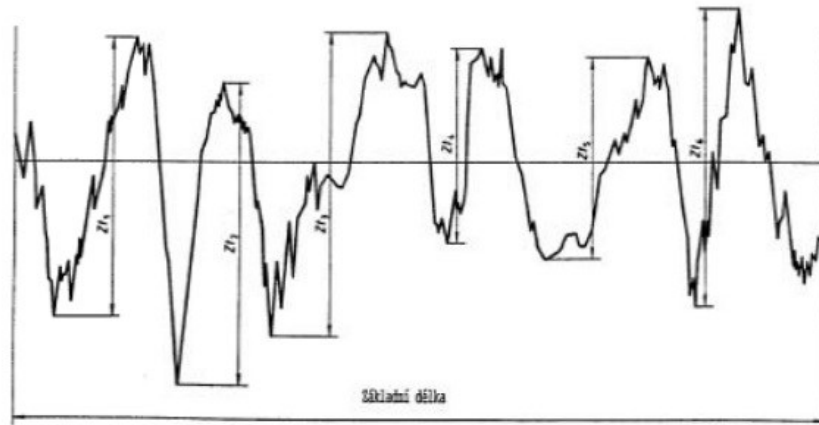
Obrázek 2 Výška profilu [1]

**Největší hloubka prohlubně profilu  $R_v$**  je hloubka,  $Z_v$  nejnižší prohlubeň profilu v rozsahu základní délky. [4]

**Největší výška profilu  $R_z$**  má součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky. [4]

**Průměrná výška prvků profilu  $R_c$**  je průměrná hodnota výšek  $Z_t$  prvků profilu v rozsahu základní délky [1]

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

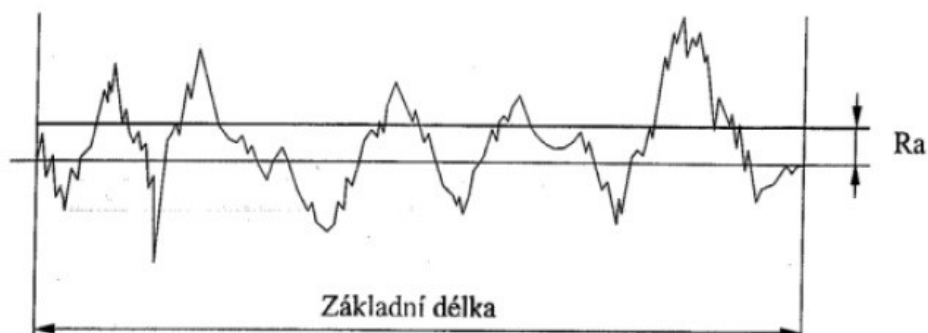


Obrázek 3 Průměrná výška profilu [1]

**Celková výška profilu  $R_t$**  je součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky [1]

**Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu,  $R_a$**  – aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu délky  $l_r$ . Je nejdůležitějším parametrem drsnosti povrchu ve směru výšky [1]

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

Obrázek 4 Aritmetická úchylka  $R_a$  [5]

**Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného povrchu  $R_q$**  je kvadratický průměr pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky [1]

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

**Šikmost posuzovaného profilu  $Rsk$**  je podíl průměrné hodnoty třetích mocnin pořadnic  $Z(x)$  a třetí mocniny hodnoty  $Rq$  v rozsahu základní délky [1]

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

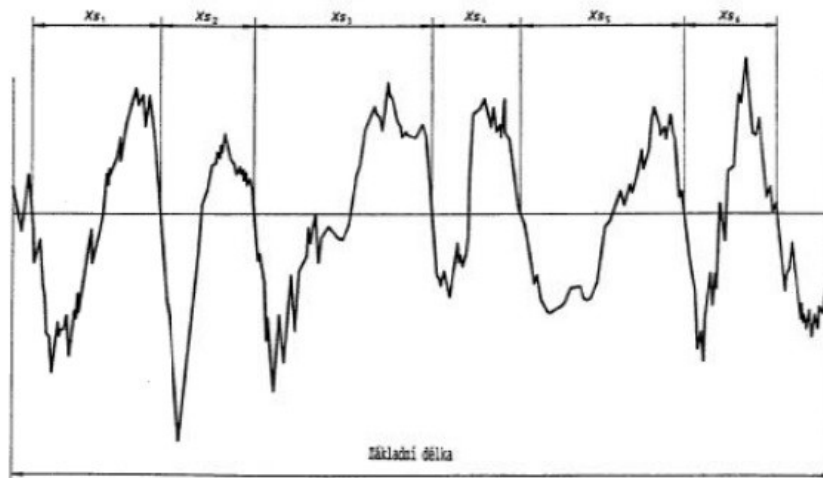
**Špičatost posuzovaného profilu  $Rku$**  je podíl poměrné hodnoty čtvrtých mocnin  $Z(x)$  a čtvrté mocniny hodnoty  $Rq$  v rozsahu základní délky  $lr$  [1]

$$Rku = \frac{1}{Rq^2} \left| \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z^4(x)| dx \right| \quad (5)$$

#### 4.2.2 Délkové parametry

Průměrná šířka prvků profilu  $Rsm$  je aritmetický průměr šířek  $Xs$  prvků profilu v rozsahu základní délky [1]

$$Rsm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Xsi \quad (6)$$



Obrázek 5 Šířka prvků profilu  $Rsm$  [1]

#### 4.2.3 Tvarové parametry

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



### 4.3 Pravidla pro porovnávání měřených hodnot

#### 4.3.1 Pravidlo 16%

Pro požadavky specifikované horní mezi parametru jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16% všech naměřených hodnot vybraných parametrů zjišťovaných na vyhodnocovací délce přesahuje hodnotu uvedenou na výkresu nebo ve výrobní dokumentaci. Pro požadavky specifikované dolní mezi parametru, jsou povrchy považovány za přijatelné, jestliže ne více než 16% všech naměřených hodnot vybraných parametrů, zjišťovaných na vyhodnocovací délce, je menších než hodnota uvedená na výkrese nebo výrobní dokumentaci [2]

#### 4.3.2 Pravidlo maxima

Je-li povrch obrobku složen z několika různých ploch s různou strukturou, budou hodnoty parametrů hodnoceny na každé ploše odděleně podle výrobní dokumentace nebo dle požadavků ve výkresové dokumentaci. Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat kritické hodnoty. Toto může být posouzeno vizuálním pozorováním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně. Pokud jsou použity speciální postupy měření, musí být popsány ve specifikacích v protokolu o měření. Pravidlo maxima je také možno používat tenkrát, kdy při požadavcích specifikovaných největší hodnotou parametru nesmí v průběhu kontroly žádná z měřených hodnot parametru na celém kontrolovaném povrchu přestoupit hodnotu uvedenou ve výkresové dokumentaci nebo ve výrobní dokumentaci. [4]

#### 4.3.3 Měření parametrů profilu drsnosti

Není-li specifikován směr měření, obrobek je polohován tak, že směr řezu odpovídá největším hodnotám výšek parametrů drsnosti ( $R_a$ ,  $R_z$ ). Tento směr bude kolmý k poloze povrchu. Pro izotropní povrchy může být směr řezu libovolný

Měření je provedeno na té části povrchu, na které lze očekávat hodnoty kritické. To může být posouzeno vizuálním pozorováním. Pro získání nezávislých výsledků jsou jednotlivá měření na této části povrchu rozdělena rovnoměrně.

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

#### 4.3.4 Postup pro neperiodický profil drsnosti

U povrchu s neperiodickým profilem drsnosti je použit tento postup:

- Odhadne se neznámý parametr profilu drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  libovolným způsobem, např. vizuální prohlídkou, srovnání pomocí srovnávacích vzorků, grafickou analýzou celkového profilu.
- Odhadne se základní délka z tabulky (viz. tab. 1, 2, 3) pro  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$ , které jsou odhadnuté z kroku 1).
- Měřicím přístrojem, s nastavenými hodnotami základní délky odhadnuté v kroku 2, se získá reprezentativní měření  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$
- Porovnávají se naměřené hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  s rozsahem hodnot  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  v tabulce (tab. 1, 2, 3) odpovídající odhadnuté základní délce. Jsou-li naměřené hodnoty mimo rozsah hodnot pro odhadnutou základní délku, potom se nastaví přístroj na větší, případně menší základní délku, než je základní délka indikována měřenou hodnotou. Potom se měří reprezentativní hodnota při použití této nastavené základní délky a opět se porovná s hodnotami v tabulce (tab. 1, 2, 3). V tomto případě by měla být dosažena kombinace měřené hodnoty a základní délky je uvedena v tabulkách 1,2 nebo 3
- Získají se reprezentativní hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  pro jednu základní délku nastavenou kratší, není-li tato nastavená 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).
- Jestliže jen závěrečné nastavení podle kroku 4) odpovídá tabulce 1,2 nebo 3, potom nastavená základní délka hodnoty  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  jsou správné. Jestliže krok 5) také předkládá kombinaci danou v tabulce 1,2 nebo 3 potom tato nastavená kratší základní délka a odpovídající hodnoty  $R_a, R_z, R_{z1max}$  nebo  $R_{Sm}$  jsou správné
- Získá se reprezentativní měření žadáných parametrů použitím hodnoty mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích. [2]

#### 4.3.5 Postup pro periodický profil drsnosti

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

- Na povrchu s neznámou drsností, se graficky odhadne parametr  $R_{sm}$ .
- Pro odhadnutý parametr  $R_{sm}$  použitím tabulky (tab. 3), se určí doporučená hodnota mezní volné délky cut-off.
- Je-li to nezbytné, tj. ve sporném případě, se změří hodnota mezní vlnové délky cut-off, určené podle bodu 2).
- Jestliže hodnota  $R_{sm}$  z kroku 3) odpovídá podle tabulky 3 menší nebo větší hodnotě mezní vlnové délky cut-off, určené podle bodu 2
- Získá se reprezentativní měření žádaných parametrů při použití hodnoty mezní vlnové délky (základní délky) odhadnuté v předchozích krocích [2]

#### 4.4 3D parametry povrchu plochy

Dnešní doba neustále zvyšuje požadavky na kvalitu povrchu, a to vyžaduje nové pohledy na měření, a současně na následné vyhodnocení hodnot, jež byly naměřeny. Je vyžadováno měření okamžité kvality a snaha o odhad chování materiálů. Můžeme zavčas odhalit možné nedostatky, proto je pořád více cíleno k prostorovému skenování a vyhodnocení povrchu.

Prostorové zobrazení povrchu a jeho hodnocení dává nejen podrobnější informace o průběhu nerovnosti povrchu, ale i o funkčních vlastnostech povrchu nebo doby životnosti. U třírozměrného vyhodnocení textury povrchu se používají aplikovatelné poznatky, čerpané z dvourozměrné analýzy profilu, která obohacuje hodnocení o nové využitelné poznatky pro určení profilu plochy. Je spojována terminologie 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. [3]

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

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

**S<sub>q</sub>** – základ průměrné výšky, která je čtvercem omezené stupnice povrchu S<sub>q</sub>

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

**S<sub>z</sub>** – maximální výška plochy – je to hodnota od největšího vrcholu po nejhlubší prohlubeň uvnitř určené plochy A. [10]

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

**S<sub>sk</sub>** – šikmost omezené stupnice povrchu – jedná se o kvocient průměrné hodnoty koordinační krychle a zároveň hodnot krychle S<sub>q</sub> uvnitř plochy A.

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

**S<sub>ku</sub>** – špičatost omezené stupnice povrchu – kvocient je zde průměrné čtvrté mocniny koordinace a k tomu hodnoty čtvrté mocniny S<sub>q</sub> uvnitř plochy A.

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

## 4.5 Srovnání 2D a 3D metody snímání povrchu

Pro opatření 3D parametrů drsnosti nebo vlnitosti je potřeba profil povrchu nejdřív filtrovat potřebným filtrem, neboli operátorem, a poté stanovit hodnoty 3D parametrů. 3D parametry jsou stanoveny pro celou hodnocenou plochu ale 2D parametry jsou průměrné hodnoty vztahované na počet základních délek.

Nedostatečnost 2D měření, které souvisí již se zavedenou praxí hodnocení povrchu z hodnot parametrů drsnosti. Častějšími a obvykle i používanějšími parametry pro určení jakosti povrchu jsou parametry Ra (průměrná aritmetická úchylka profilu) a Rz (největší výška profilu drsnosti). Hodnota u parametru Ra smí být totožná i při velice rozdílných profilech povrchu. Z této hodnoty však není možné vždy logicky vyčíst funkční vlastnosti značně rozdílných povrchů, a proto ani odpovědět například na otázky o rychlosti opotřebení, zadržování maziva, schopnosti odolávat předpokládanému zatížení nebo naopak náchylnosti ke vzniku trhlin ve stopách po obrábění.

Výhody 3D hodnocení povrchu jsou velké a v mnoha případech by jediná taková informace mohla zodpovědět hned několik otázek souvisejících s vhodností povrchu, jenž je požadována pro funkci, a tím i předpokládané zatížení a přítomnost možných vad.

Vyhodnocení charakteristiky povrchu z prostorových parametrů je spolehlivější a komplexnější než získaná hodnota z dosud běžně užívaných profilových parametrů. Prostorové parametry je potřeba stanovovat z mnohem většího množství dat než parametry lineární. Sběr těchto dat je náročnější než získání dat jen lineárního měření. [5]

## 5 SNÍMÁNÍ DRSNOSTI POVRCHU

### 5.1 Dotykové snímání povrchu

Nejpoužívanějším způsobem měření povrchu je snímání drsnosti povrchu dotykovou metodou. Dotyková metoda zkoumá povrch pomocí snímacího hrotu, poté získává úchylky v podobě profilu povrchu a souběžně vypočítává parametry profilu. Jsou složeny z elektrické a mechanické části. [15]

Pro přesné měření jemných tvarů a drsnosti pomocí kontaktního drsnoměru musí mít hrot co nejmenší poloměr a nízký kontaktní tlak. Hrot je kuželový se zaobleným vrcholem, nejčastěji je vyroben ze safíru nebo diamantu. [16]

### 5.2 Bezdotykové snímání povrchu

Bezdotykový měřicí přístroj používá k měření světelné paprsky, ty se odráží od cílového povrchu. Čím je povrch hladší, tím víc stoupá zrcadlová složka a zmenšují se rozptylové složky. U ideálně hladkého povrchu se světlo nerozptyluje. Bezdotykové snímání je používáno u povrchů, které jsou více náchylné k mechanickému poškození nebo u měkkých materiálů [17]

### 5.3 Porovnání dotykového a bezdotykového snímání povrchu

#### Výhody dotykového snímání povrchu

Mezi výhody patří zejména jednoduchá obsluha, jasný vlnový profil, možnost měření na velké vzdálenosti. [16]

#### Nevýhody dotykového snímání povrchu

Opatření hrotu, měřicí tlak může způsobit poškrábání vzorku, neschopnost měřit viskózní povrchy, měření je omezené poloměrem hrotu. [16]

#### Výhody bezdotykového snímání povrchu

Žádné poškození povrchu vzorku, je schopen měřit jemnější struktury drsnosti povrchu, rychlost měření, současné sledování profilu povrchu a profilu výšky. [17]

**Nevýhody bezdotykového snímání povrchu**

Mezi nevýhody patří nepřesnost naměřených dat způsobených špatně odraženým paprskem, omezená velikost měřicího cíle. [17]

## 6 CÍLE PRÁCE

Cíly práce bylo provést kontrolu povrchu pomocí mikroskopu, kde se hledalo vhodné nepoškozené místo pro měření a provést analýzu na bezkontaktním profiloměru Zigo. Naměřená data drsnosti povrchu byla vyhodnocena pomocí programu Minitab, kde se hledal vzájemný vztah mezi povrchem formy a výrobkem z této formy.

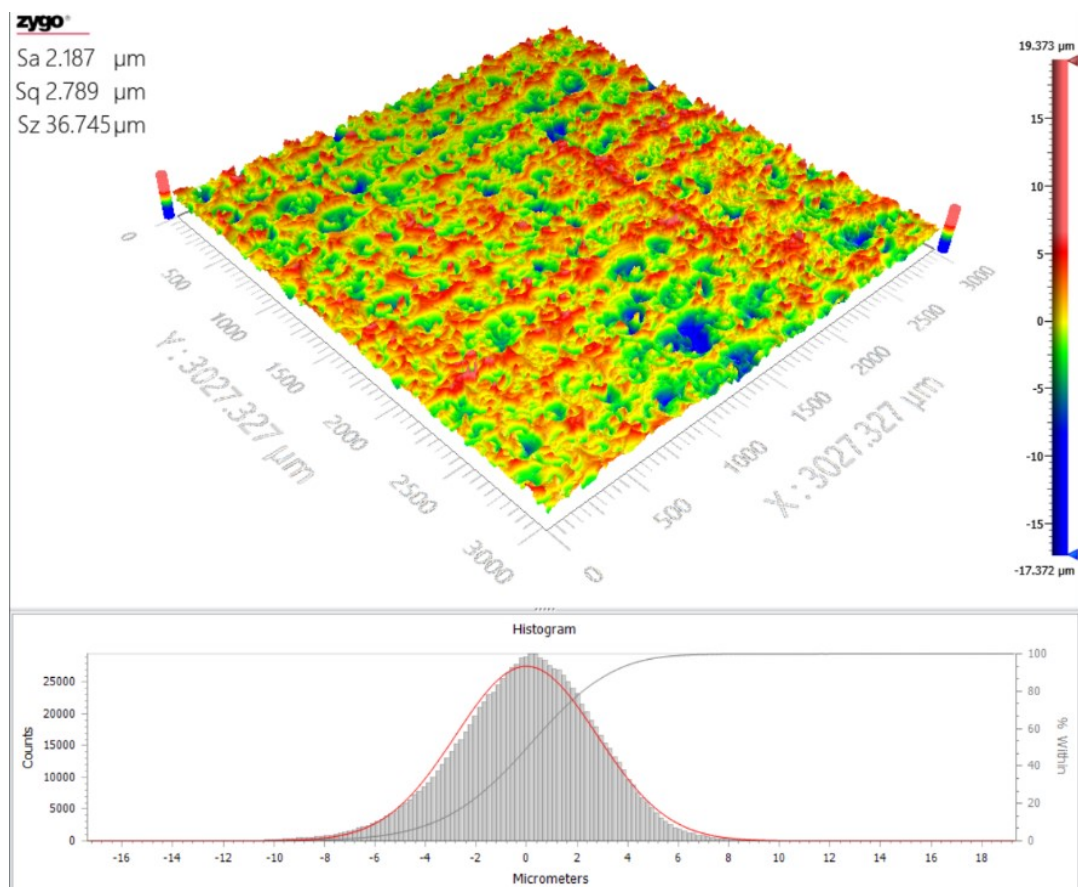


## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 MĚŘENÍ DRSNOSTI

Měření bylo prováděno na měřícím přístroji Zygo newview Nx. U každého druhu materiálu byly měřeny parametry Sa, Sz, jak u forem tak na výrobcích. Pokaždé byla naměřena drsnost povrchu formy před vstřikováním a na konci vstřikování série, u prvního vystříknutého výrobku a posledního. Měření bylo provedeno dvacetkrát.

### 7.1 Hliník



Obrázek 1 Nasníma drsnost hliníku

V Tab. 4 jsou naměřená data Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy) a Sz (maximální výška plochy). Hliník forma start představuje formu měřenou před používáním a hliník forma konec představuje formu měřenou na konci experimentu.

Tabulka 1 Naměřené hodnoty hliníkových forem

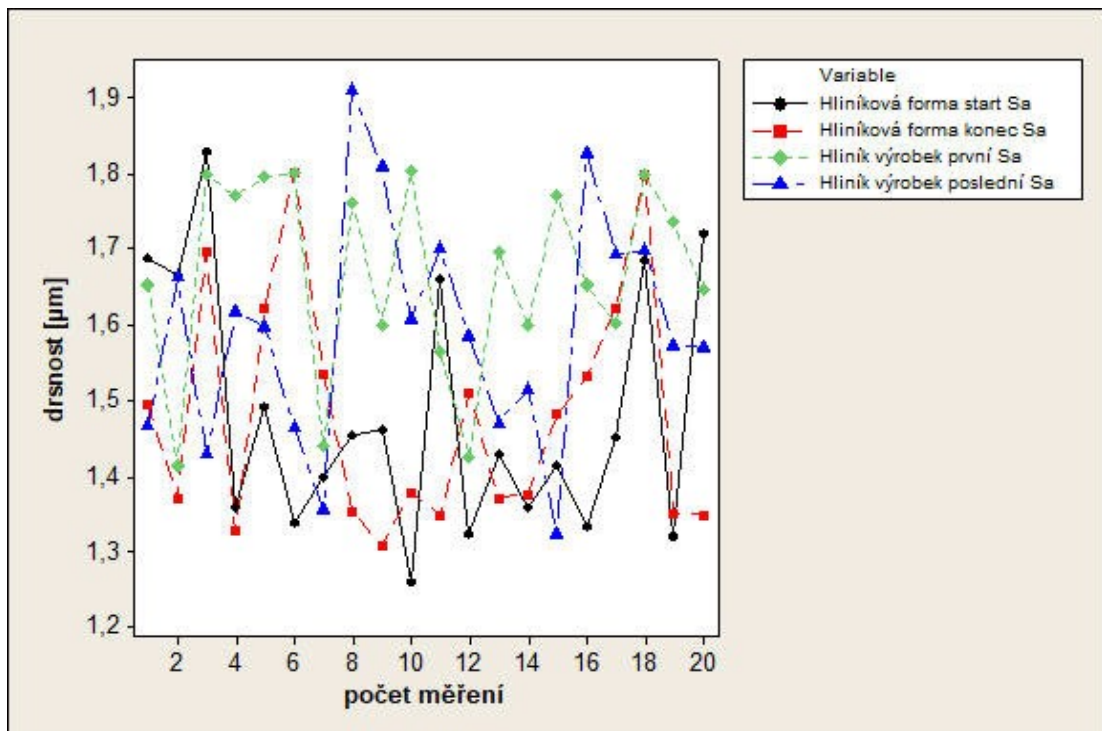
Hliníková forma start Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Hliníková forma konec Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Hliníková forma start Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Hliníková forma konec Sz [ $\mu\text{m}$ ]
1,687	1,495	17,56	14,871
1,666	1,372	20,602	12,949
1,828	1,695	18,117	17,894
1,359	1,328	12,344	11,798
1,491	1,623	20,959	17,567
1,339	1,802	15,208	17,567
1,399	1,535	19,686	15,143
1,454	1,353	12,575	13,089
1,462	1,308	16,584	12,568
1,26	1,379	12,446	22,62
1,661	1,349	13,344	20,95
1,323	1,509	14,206	13,229
1,428	1,371	15,513	17,492
1,359	1,377	22,334	14,785
1,414	1,481	12,674	13,127
1,333	1,532	12,341	23,621
1,452	1,622	18,201	21,983
1,686	1,799	17,315	13,526
1,321	1,351	12,491	12,998
1,722	1,349	46,482	15,324

V Tab. 5 jsou naměřená data Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy) a Sz (maximální výška plochy). Sloupce hliník výrobek první představuje naměřená data u prvního vystříknutého výrobku z hliníkové formy a sloupce hliník výrobek poslední představuje poslední vystříknutý výrobek v experimentu.

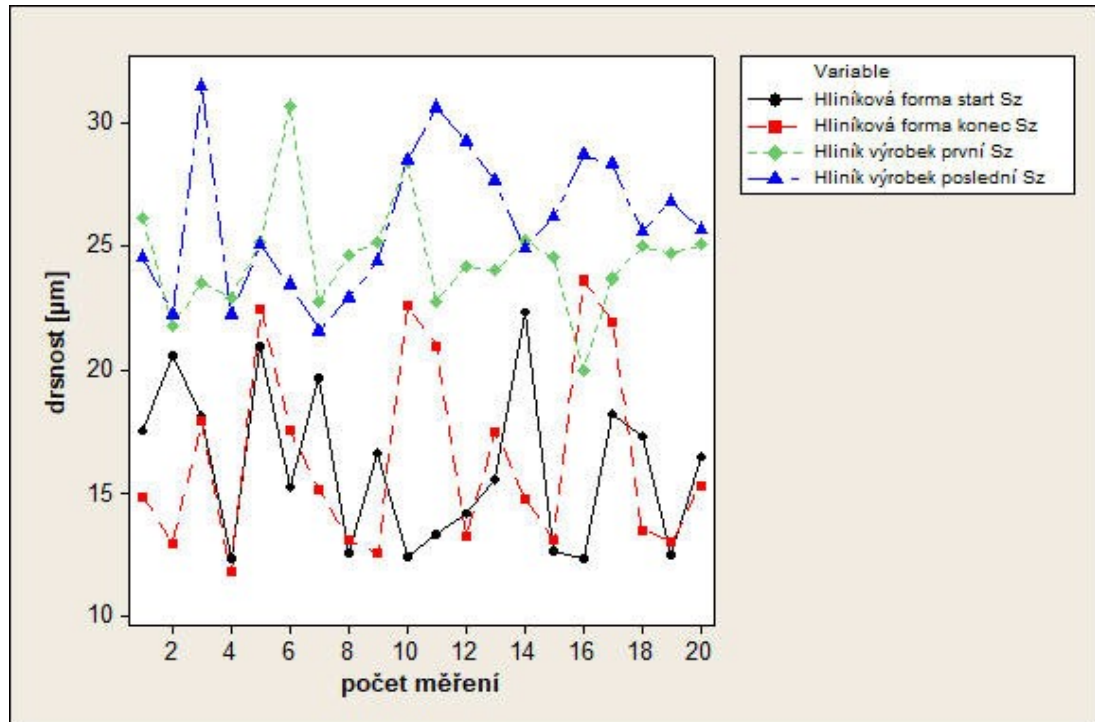
Tabulka 2 Naměřené hodnoty hliníkových výrobků

Hliník výrobek první Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Hliník výrobek poslední Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Hliník výrobek první Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Hliník výrobek poslední Sz [ $\mu\text{m}$ ]
1,654	1,466	26,138	24,509
1,413	1,663	21,778	22,264
1,799	1,430	23,522	28,512
1,771	1,617	22,933	22,271
1,796	1,598	25,173	25,063
1,801	1,463	30,738	23,442
1,439	1,355	22,801	21,573
1,762	1,911	24,648	22,971
1,600	1,809	25,189	24,371

Hliník výrobek první Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Hliník výrobek poslední Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Hliník výrobek první Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Hliník výrobek poslední Sz [ $\mu\text{m}$ ]
1,803	1,608	28,459	28,501
1,565	1,700	22,806	30,627
1,424	1,584	24,180	29,273
1,696	1,470	23,976	27,678
1,599	1,515	25,253	24,889
1,771	1,322	24,526	26,232
1,653	1,826	19,991	28,720
1,602	1,694	23,725	28,329
1,798	1,698	24,980	25,612
1,735	1,573	24,700	26,806
1,647	1,569	25,062	25,721

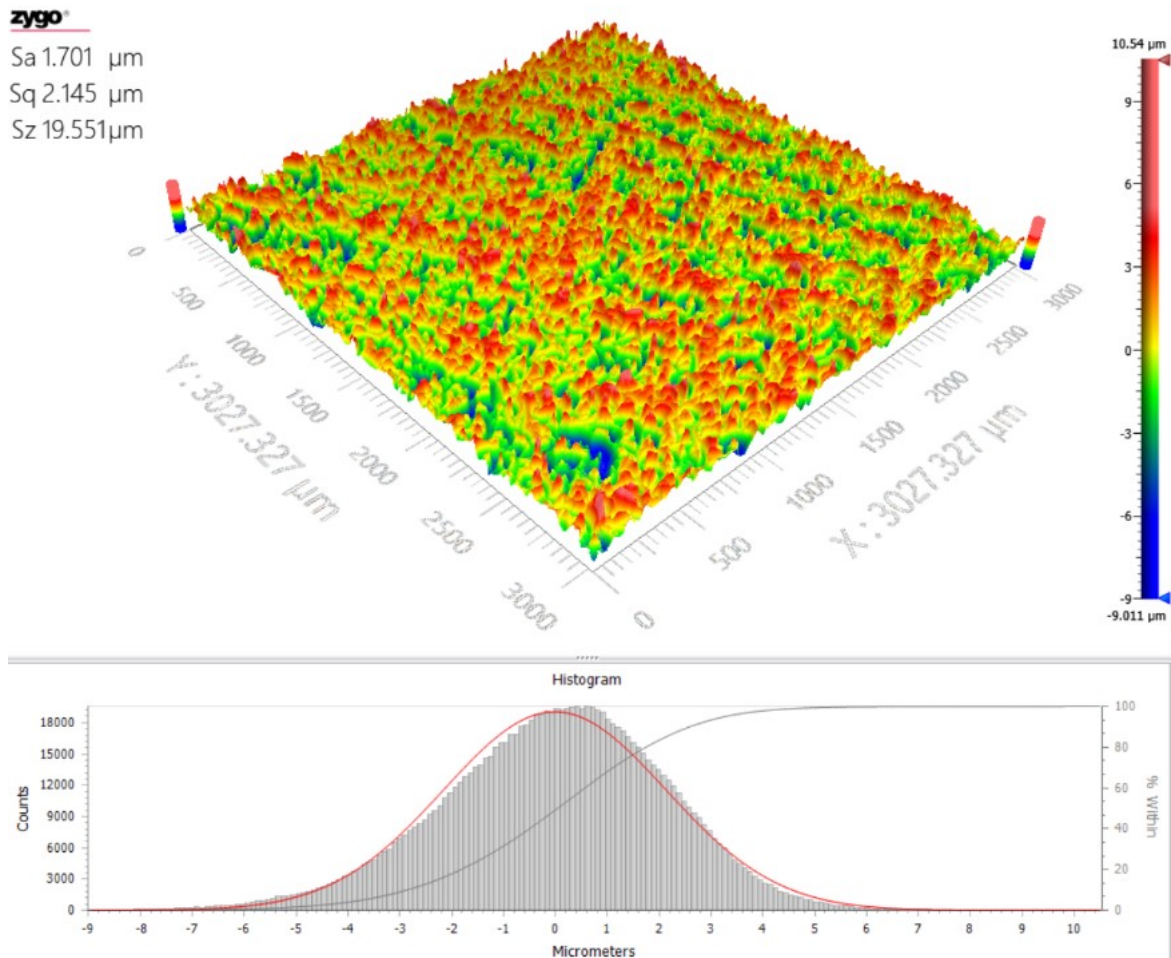


Obrázek 2 Graf Sa hliníkových forem a výrobků



Obrázek 3 Graf Sz hliníkových forem a výrobků

## 7.2 Mosaz



Obrázek 4 Nasnímací drsnost mosazi

V Tab. 6 jsou naměřená data Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy) a Sz (maximální výška plochy). Mosaz forma start představuje formu měřenou před používáním a mosaz forma konec představuje formu měřenou na konci experimentu.

Tabulka 3 Naměřené hodnoty mosazných forem

Mosaz forma start Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Mosaz forma konec Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Mosaz forma start Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Mosaz forma konec Sz [ $\mu\text{m}$ ]
1,715	1,940	21,514	28,454
1,762	1,818	21,524	19,111
1,754	1,855	21,910	25,517
1,591	1,809	20,059	15,727
1,700	1,701	19,551	16,325
2,000	1,701	19,551	27,342
1,696	2,060	20,689	32,150
1,780	1,842	19,444	26,965

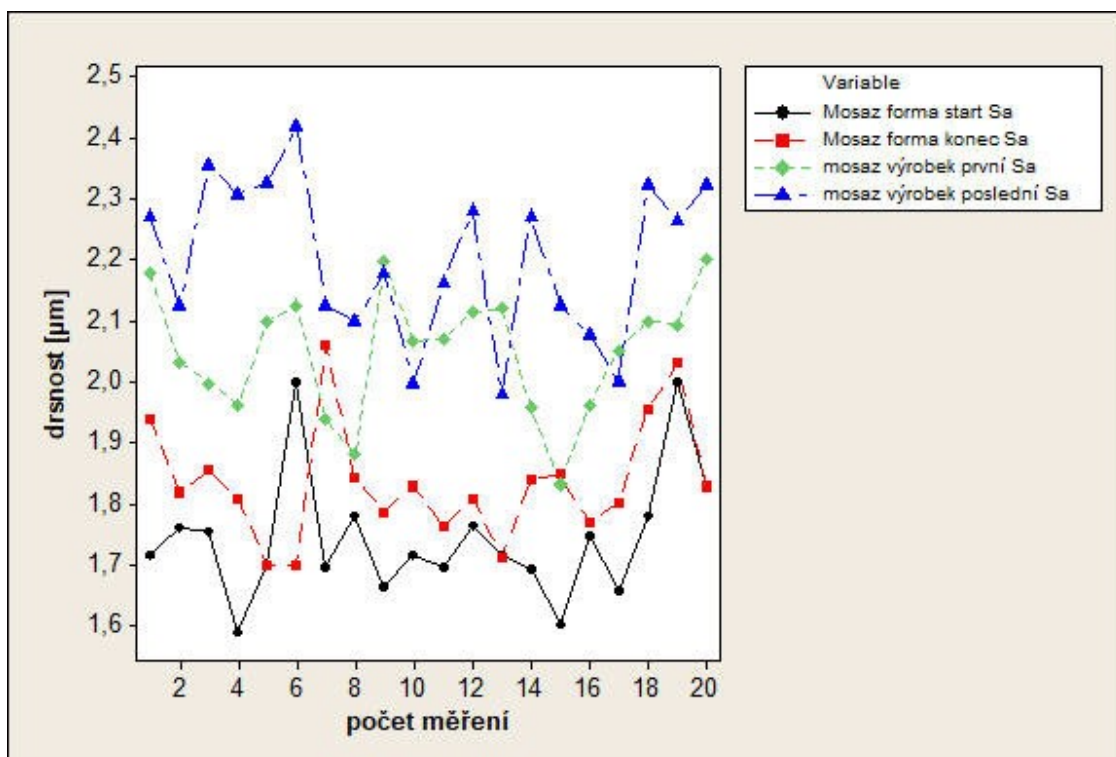
Mosaz forma start Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Mosaz forma konec Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Mosaz forma start Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Mosaz forma konec Sz [ $\mu\text{m}$ ]
1,663	1,788	25,247	20,538
1,714	1,828	19,967	24,729
1,697	1,763	20,061	27,353
1,764	1,809	21,790	31,259
1,714	1,713	19,549	24,017
1,692	1,837	19,998	23,891
1,603	1,848	21,532	30,520
1,748	1,769	21,780	22,193
1,657	1,803	19,625	22,892
1,779	1,955	25,251	26,549
1,999	2,031	20,062	22,610
1,830	1,829	19,431	30,813

V Tab. 7 jsou naměřená data Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy) a Sz (maximální výška plochy). Sloupce mosaz výrobek první představuje naměřená data u prvního vystříknutého výrobku z mosazné formy a sloupce mosaz výrobek poslední představuje poslední vystříknutý výrobek v experimentu.

Tabulka 4 Naměřené hodnoty mosazných výrobků

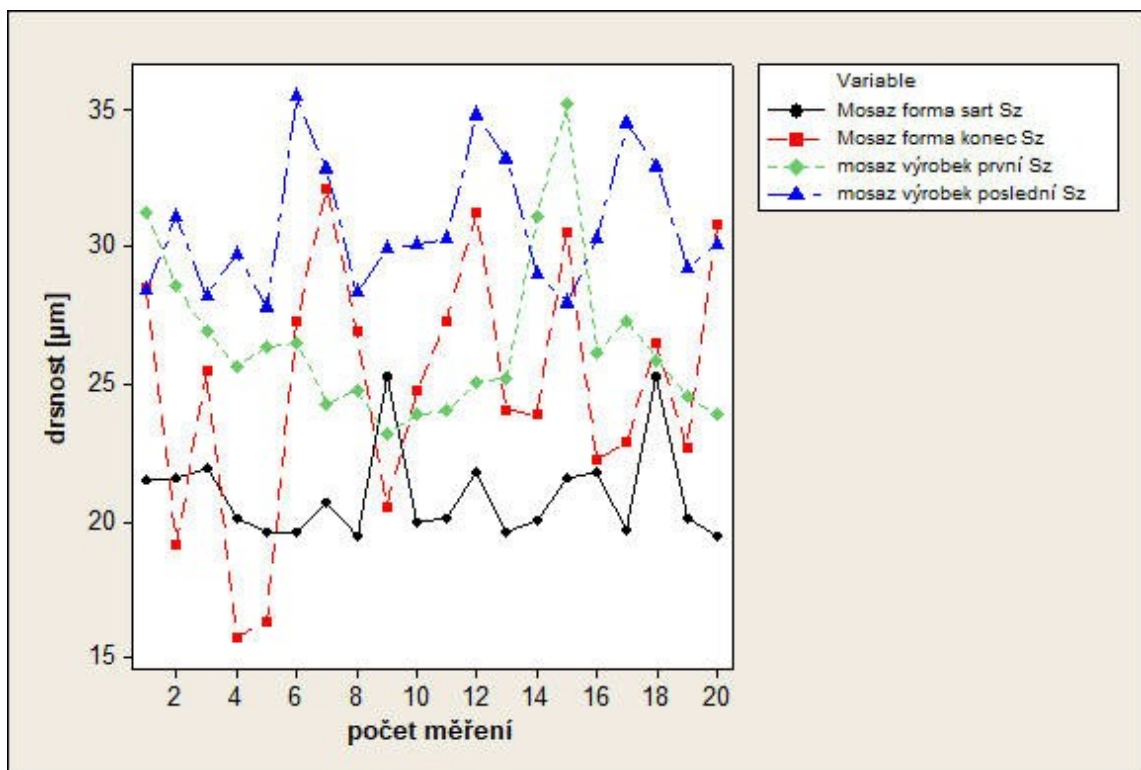
mosaz výrobek první Sa [ $\mu\text{m}$ ]	mosaz výrobek poslední Sa [ $\mu\text{m}$ ]	mosaz výrobek první Sz [ $\mu\text{m}$ ]	mosaz výrobek po- slední Sz [ $\mu\text{m}$ ]
2,176	2,272	31,287	28,431
2,032	2,126	28,529	31,117
1,998	2,356	26,929	28,203
1,962	2,308	25,652	29,762
2,099	2,325	26,351	27,825
2,125	2,421	26,52	35,479
1,938	2,125	24,273	32,875
1,879	2,099	24,789	28,312
2,198	2,179	23,126	29,973
2,068	1,998	23,876	30,081
2,071	2,161	23,997	30,288
2,115	2,281	25,073	34,874
2,121	1,980	25,206	33,256
1,959	2,272	31,082	28,993
1,832	2,127	35,192	27,991
1,962	2,078	26,159	30,294
2,053	1,999	27,312	34,523
2,101	2,322	25,893	32,971
2,095	2,265	24,513	29,205

mosaz výrobek první Sa [ $\mu\text{m}$ ]	mosaz výrobek poslední Sa [ $\mu\text{m}$ ]	mosaz výrobek první Sz [ $\mu\text{m}$ ]	mosaz výrobek poslední Sz [ $\mu\text{m}$ ]
2,199	2,324	23,877	30,11



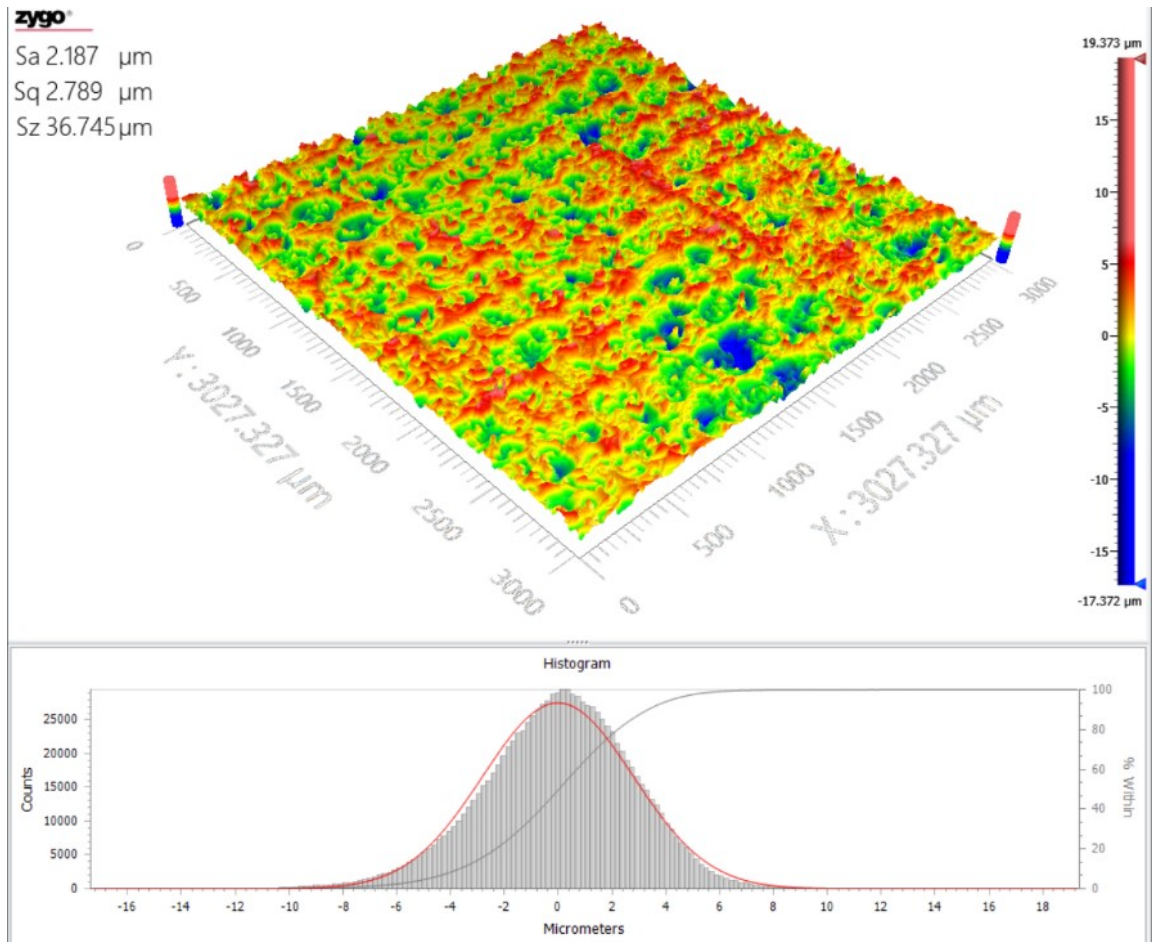
Obrázek 5 Graf Sa mosazných forem a výrobků





Obrázek 6 Graf Sz mosazných forem a výrobků

### 7.3 Měď



Obrázek 7 Nasnímací drsnost mědi

V Tab.8 jsou naměřená data Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy) a Sz (maximální výška plochy). Měď forma start představuje formu měřenou před používáním a měď forma konec představuje formu měřenou na konci experimentu.

Tabulka 5 Naměřené hodnoty měděných forem

Meděná forma start Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Meděná forma konec Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Meděná forma start Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Meděná forma konec Sz [ $\mu\text{m}$ ]
2,169	2,083	26,172	24,571
1,915	2,221	22,022	39,763
1,929	2,249	22,610	53,415
2,278	2,122	52,582	29,791
2,187	2,474	36,745	43,517
2,694	2,539	45,882	33,495
2,126	2,312	44,919	27,794

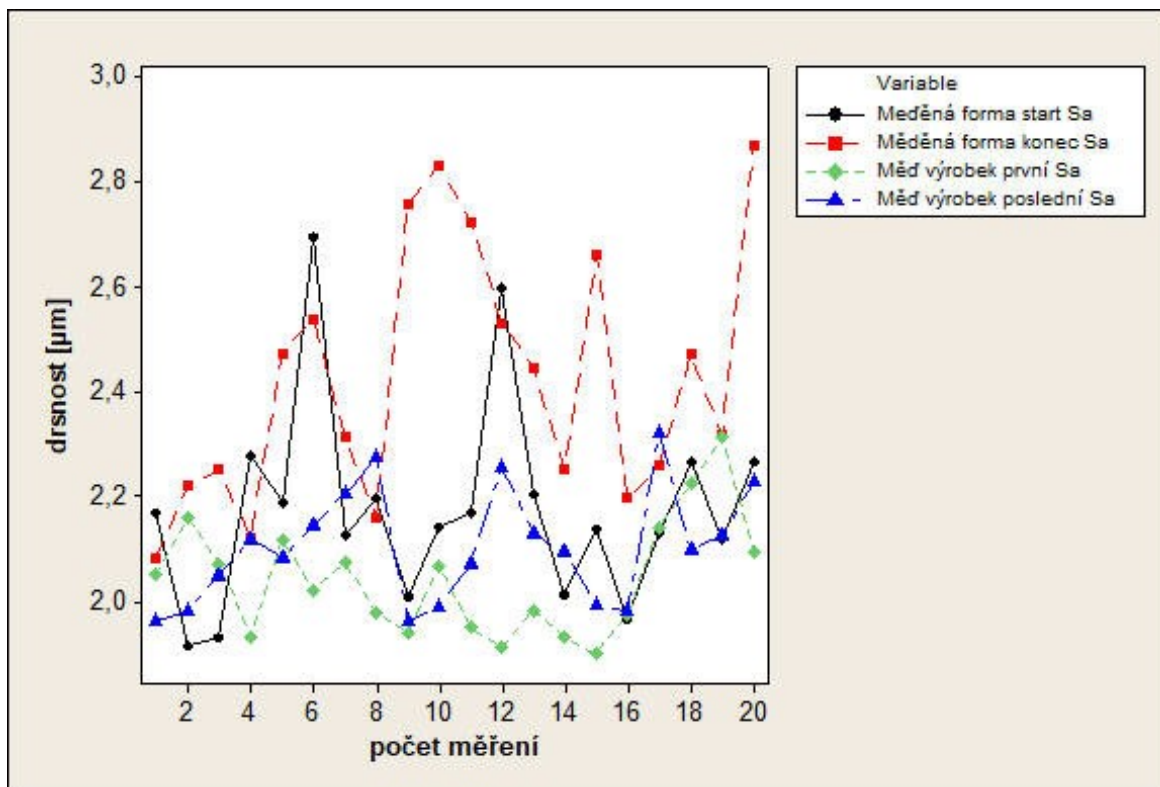
Meďená forma start Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Měďená forma konec Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Měďená forma start Sz [ $\mu\text{m}$ ]	měďená forma konec Sz [ $\mu\text{m}$ ]
2,194	2,160	28,175	33,049
2,010	2,757	23,225	44,350
2,140	2,831	40,187	53,299
2,167	2,723	22,176	45,663
2,598	2,533	22,735	31,265
2,203	2,444	22,151	30,303
2,011	2,250	49,141	42,769
2,139	2,659	23,715	41,256
1,965	2,194	27,883	36,860
2,131	2,257	35,464	26,689
2,265	2,472	31,298	28,132
2,117	2,318	53,418	31,122
2,267	2,871	22,104	38,763

V Tab.9 jsou naměřená data Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy) a Sz (maximální výška plochy). Sloupce měď výrobek první představuje naměřená data u prvního vystříknutého výrobku z měděné formy a sloupce mosaz výrobek poslední představuje poslední vystříknutý výrobek v experimentu.

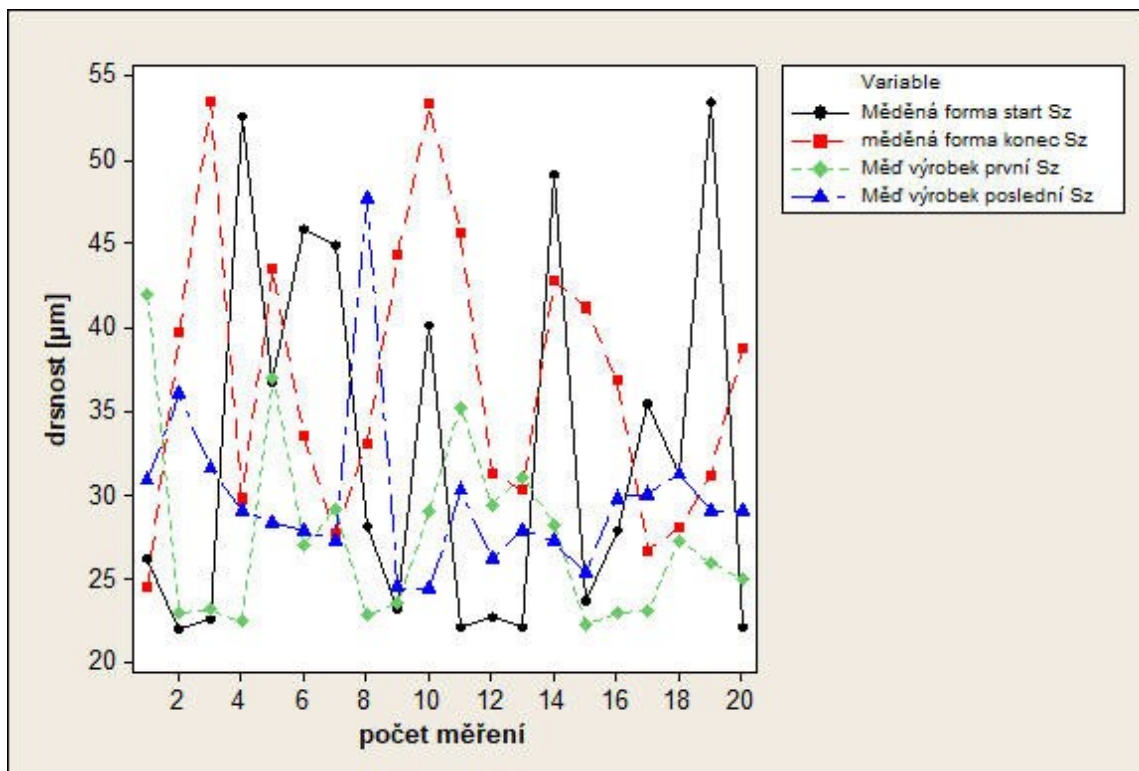
Tabulka 6 Naměřené hodnoty měděných výrobků

Měď výrobek první Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Měď výrobek poslední Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Měď výrobek první Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Měď výrobek poslední Sz [ $\mu\text{m}$ ]
2,052	1,962	41,901	30,947
2,160	1,983	22,995	36,079
2,072	2,049	23,228	31,673
1,932	2,119	22,438	29,121
2,119	2,083	37,026	28,350
2,020	2,147	27,069	27,885
2,073	2,203	29,186	27,316
1,979	2,273	22,856	47,647
1,939	1,961	23,579	24,487
2,069	1,989	29,075	24,376
1,949	2,072	35,276	30,299
1,912	2,256	29,479	26,273
1,983	2,128	31,072	27,912
1,929	2,093	28,315	27,254
1,899	1,993	22,298	25,325
1,975	1,980	22,948	29,789
2,143	2,321	23,144	30,111
2,223	2,099	27,322	31,265

Měď výrobek první Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Měď výrobek poslední Sa [ $\mu\text{m}$ ]	Měď výrobek první Sz [ $\mu\text{m}$ ]	Měď výrobek poslední Sz [ $\mu\text{m}$ ]
2,312	2,125	25,954	29,141
2,095	2,229	24,962	29,094

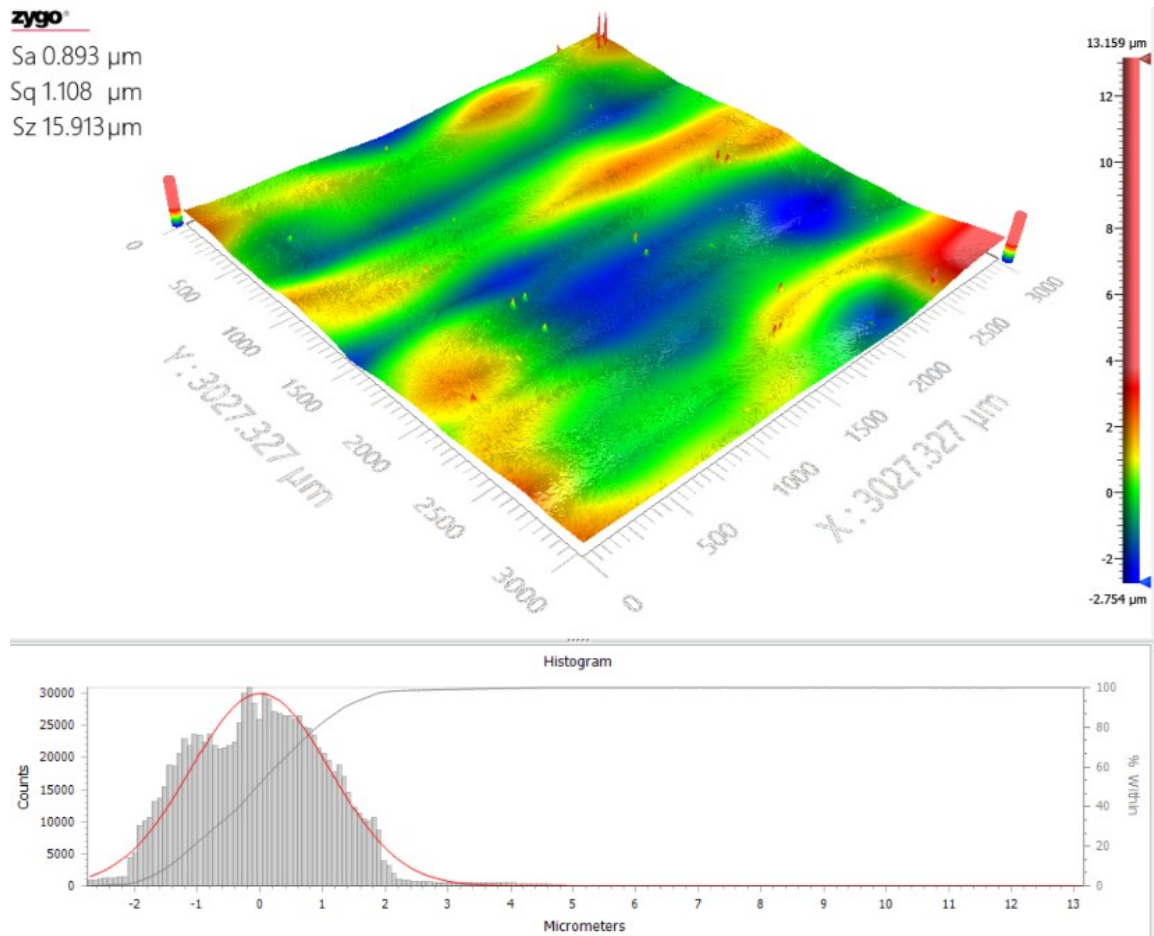


Obrázek 8 Graf Sa měděných forem a výrobků



Obrázek 9 Graf Sz měděných forem a výrobků

## 7.4 3D tisk



Obrázek 10 Nasnímaná drsnost povrchu ze 3D tiskárny

V Tab.10 jsou naměřená data Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy) a Sz (maximální výška plochy). 3D forma start představuje formu měřenou před používáním a 3D forma konec představuje formu měřenou na konci experimentu.

Tabulka 7 Naměřené hodnoty 3D forem

3D forma start Sa [ $\mu\text{m}$ ]	3D forma konec Sa [ $\mu\text{m}$ ]	3D forma start Sz [ $\mu\text{m}$ ]	3D forma konec Sz [ $\mu\text{m}$ ]
0,893	1,853	15,913	50,414
1,262	1,326	12,274	70,803
0,889	1,677	12,354	32,363
0,799	1,198	23,414	35,785
0,896	1,816	15,625	31,928
1,192	1,918	14,278	34,429
0,998	2,046	15,32	57,194
0,894	1,401	12,239	26,022
0,928	1,906	12,572	44,664

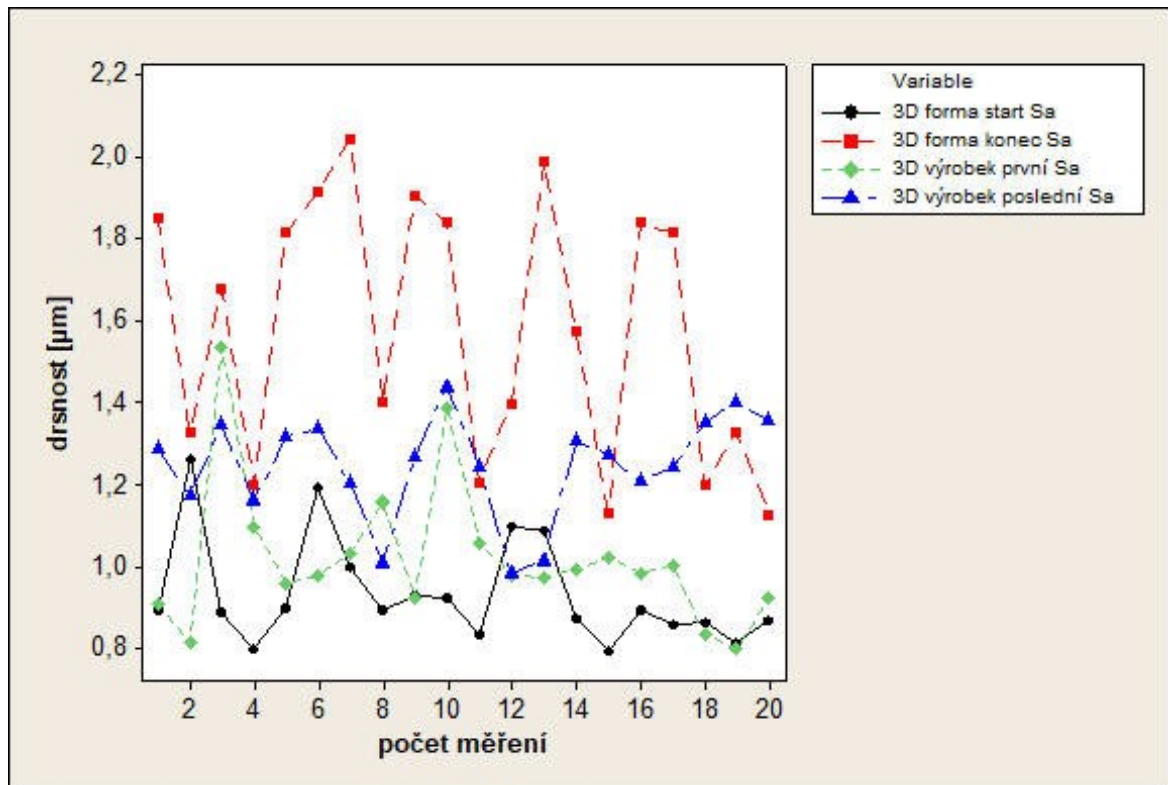
3D forma start Sa [ $\mu\text{m}$ ]	3D forma konec Sa [ $\mu\text{m}$ ]	3D forma start Sz [ $\mu\text{m}$ ]	3D forma konec Sz [ $\mu\text{m}$ ]
0,924	1,84	13,2	36,442
0,832	1,204	13,942	34,239
1,099	1,399	12,078	32,875
1,087	1,993	15,608	42,889
0,871	1,577	15,092	55,612
0,793	1,13	18,654	35,769
0,891	1,839	17,32	28,72
0,86	1,814	15,907	43,861
0,861	1,197	13,554	51,099
0,815	1,327	15,337	30,502
0,87	1,129	15,806	29,872

V Tab.11 jsou naměřená data Sa (aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy) a Sz (maximální výška plochy). Sloupce 3D výrobek první představuje naměřená data u prvního vystříknutého výrobku z formy vytištěné na 3D tiskárně a sloupce 3D výrobek poslední představuje poslední vystříknutý výrobek v experimentu.

Tabulka 8 Naměřené hodnoty u 3D výrobků

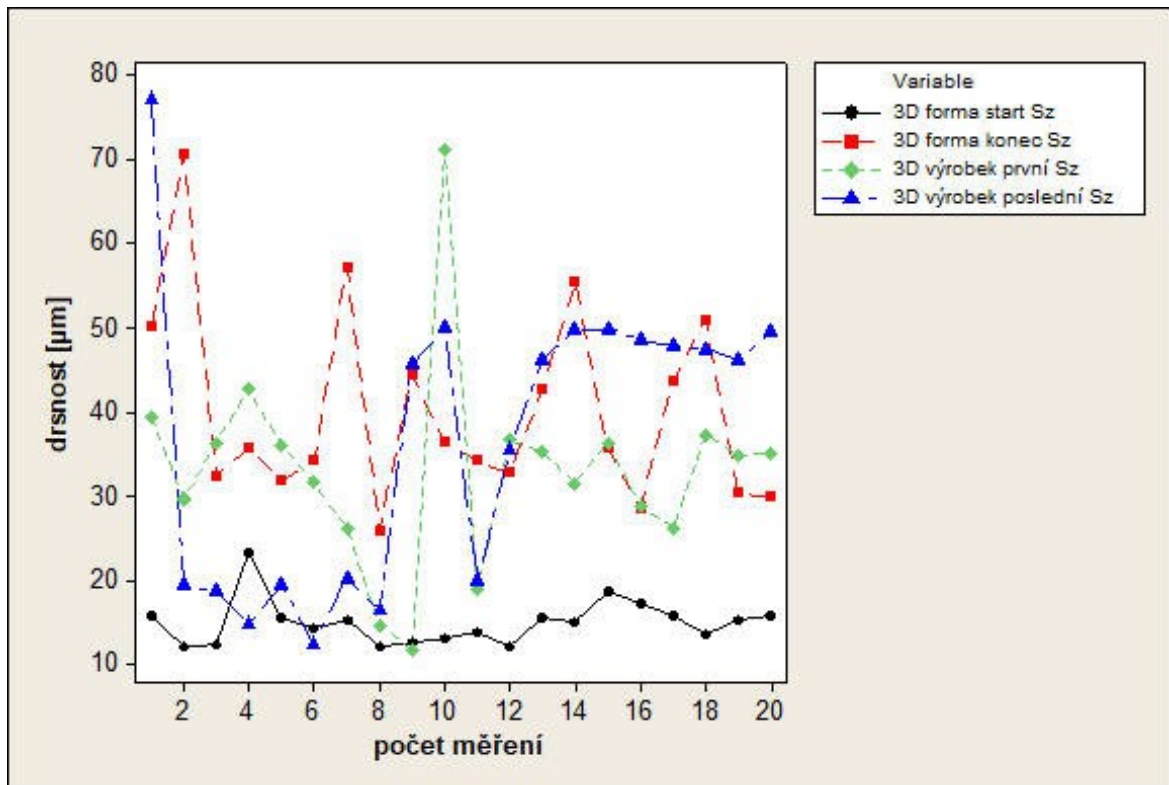
3D výrobek první Sa [ $\mu\text{m}$ ]	3D výrobek poslední Sa [ $\mu\text{m}$ ]	3D výrobek první Sz [ $\mu\text{m}$ ]	3D výrobek poslední Sz [ $\mu\text{m}$ ]
0,908	1,285	39,405	77,246
0,811	1,172	29,654	19,382
1,536	1,349	36,382	18,822
1,098	1,162	42,898	14,836
0,958	1,317	36,148	19,386
0,979	1,338	31,621	12,521
1,032	1,201	26,192	20,177
1,157	1,009	14,696	16,516
0,922	1,268	11,724	45,871
1,388	1,439	71,427	50,075
1,058	1,243	18,943	20,028
0,979	0,982	36,762	35,551
0,972	1,013	35,241	46,336
0,991	1,305	31,518	49,824
1,023	1,272	36,339	50,024
0,982	1,206	28,975	48,623
1,002	1,241	26,329	47,956
0,834	1,352	37,342	47,517
0,797	1,401	34,857	46,252

3D výrobek první Sa [ $\mu\text{m}$ ]	3D výrobek poslední Sa [ $\mu\text{m}$ ]	3D výrobek první Sz [ $\mu\text{m}$ ]	3D výrobek poslední Sz [ $\mu\text{m}$ ]
0,923	1,357	35,022	49,723



Obrázek 11 Graf Sa 3D forem a výrobků





Obrázek 12 Graf Sz 3D forem a výrobků

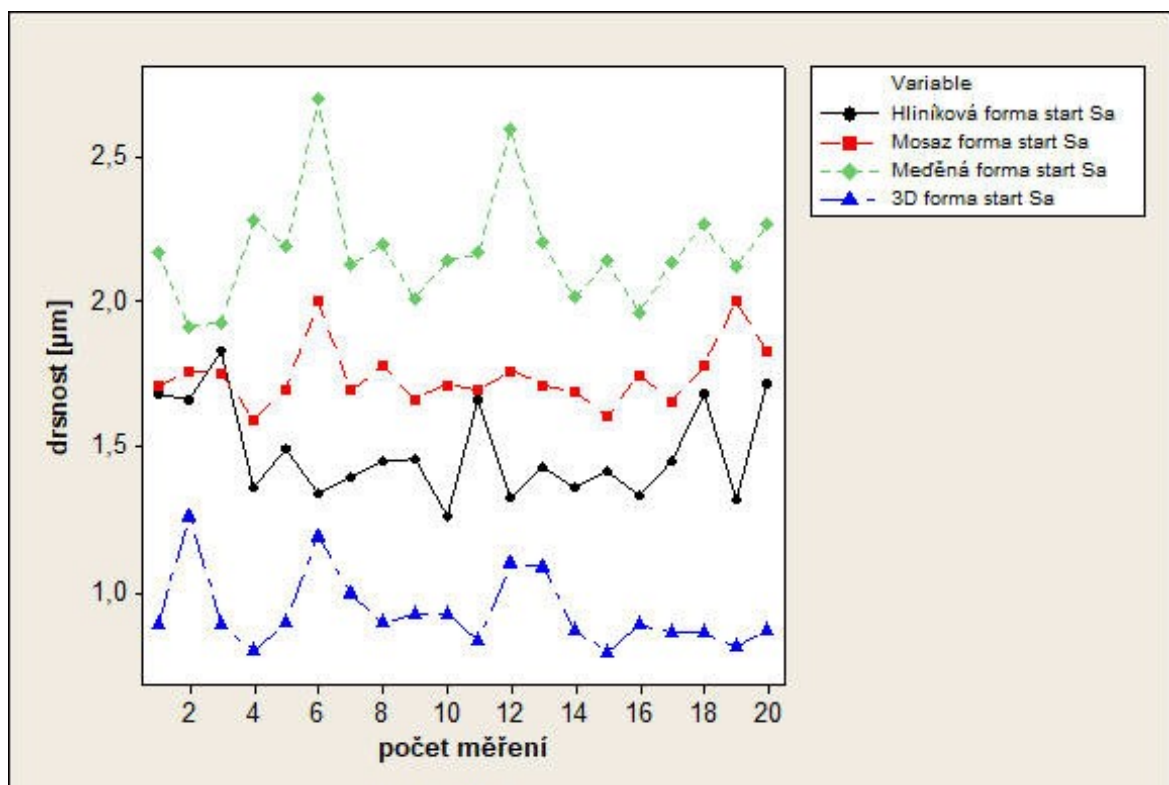
## 7.5 Výsledky

Tabulka 9 Vyhodnocené hodnoty z naměřených dat

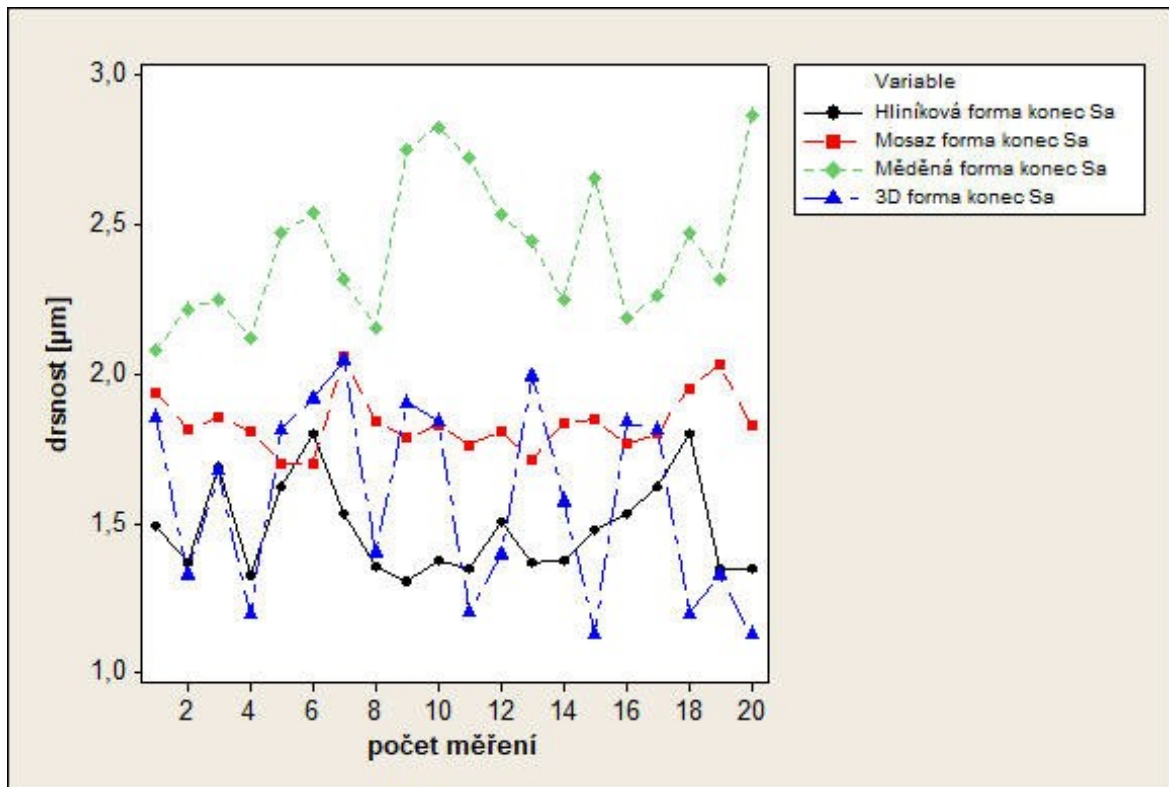
	Průměr [ $\mu\text{m}$ ]	Směr.odch. [ $\mu\text{m}$ ]	Minimum [ $\mu\text{m}$ ]	1.qartil [ $\mu\text{m}$ ]	Median [ $\mu\text{m}$ ]	3.qartil [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum [ $\mu\text{m}$ ]
Hliníková forma start Sa	1,482	0,165	1,260	1,344	1,440	1,665	1,828
Hliníková forma konec Sa	1,482	0,156	1,308	1,352	1,430	16,003	1,802
Hliníková forma start Sz	16,049	3,237	12,341	12,600	15,998	18,180	22,334
Hliníková forma konec Sz	16,402	3,918	11,798	13,099	15,007	20,186	23,621
Mosazná forma start Sa	1,743	0,105	1,591	1,693	1,715	1,775	2,000
Mosazná forma konec Sa	1,835	0,097	1,701	1,774	1,823	1,853	2,060

	Průměr [μm]	Směr.odch. [μm]	Minimum [μm]	1.qartil [μm]	Median [μm]	3.qartil [μm]	Maximum [μm]
Mosazná forma start Sz	20,927	1,729	19,431	19,570	20,062	21,718	25,251
Mosazná forma konec Sz	24,950	4,700	15,730	22,300	25,120	28,180	32,150
Měděná for- ma start Sa	2,175	0,194	1,915	2,038	2,154	2,250	2,694
Měděná for- ma konec Sa	2,424	0,244	2,083	2,228	2,381	2,629	2,871
Měděná for- ma start Sz	32,630	11,250	22,020	22,640	28,030	43,740	53,420
Měděná for- ma konec Sz	36,790	8,540	24,570	29,920	35,180	43,330	53,420
3D forma start Sa	0,933	0,130	0,793	0,860	0,892	0,981	1,262
3D forma konec Sa	1,580	0,322	1,129	1,235	1,627	1,850	2,046
3D forma start Sz	15,024	2,678	12,078	12,729	15,206	15,882	23,414
3D forma konec Sz	40,270	11,620	26,020	32,040	35,780	48,980	70,800
Hliníkový výrobek start Sa	1,666	0,131	1,413	1,599	1,675	1,790	1,803
Hliníkový výrobek ko- nec Sa	1,594	0,154	1,322	1,467	1,591	1,697	1,911
Hliníkový výrobek start Sz	24,529	2,262	19,991	23,080	24,587	25,185	30,738
Hliníkový výrobek ko- nec Sz	26,018	2,861	21,573	23,674	25,667	28,458	31,512
Mosazný výrobek start Sa	2,049	0,102	1,832	1,962	2,070	2,120	2,199
Mosazný výrobek ko- nec Sa	2,201	0,131	1,980	2,106	2,222	2,319	2,421
Mosazný výrobek start Sz	26,482	3,014	23,126	24,333	25,773	27,216	35,192
Mosazný výrobek ko- nec Sz	30,728	2,425	27,825	28,572	30,096	32,947	35,479

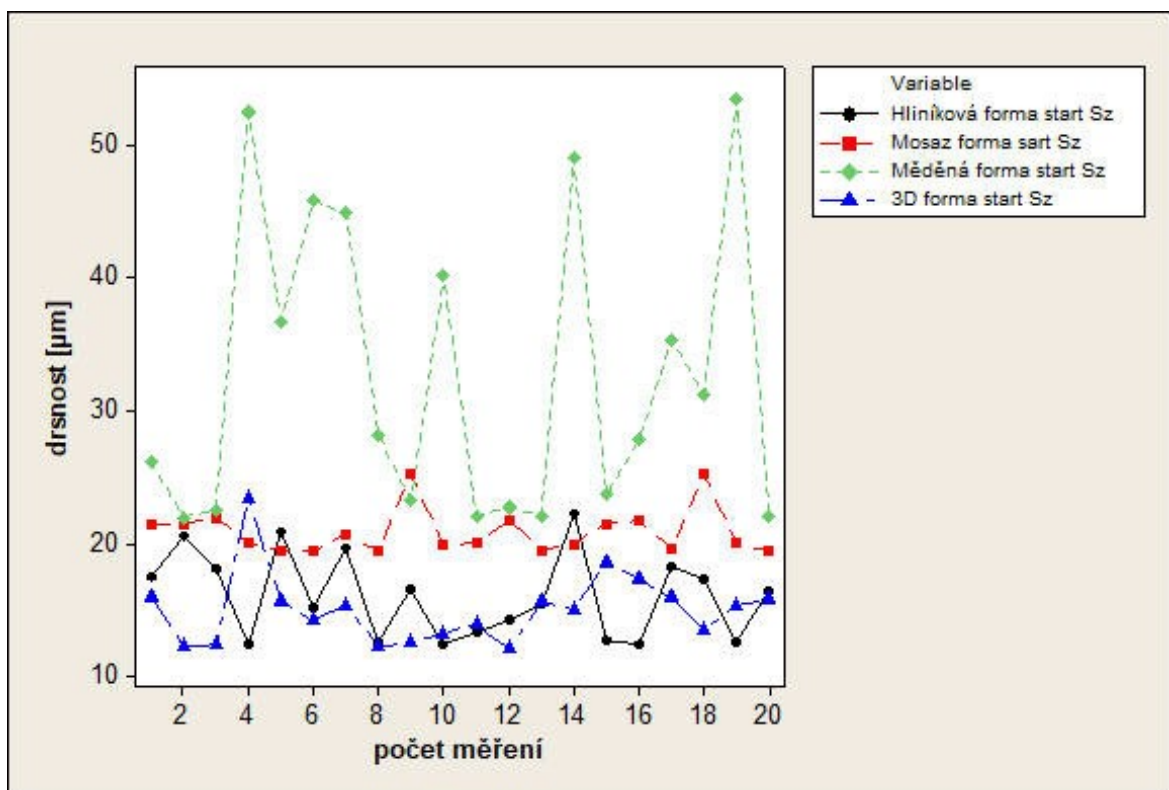
	Průměr [ $\mu\text{m}$ ]	Směr.odch. [ $\mu\text{m}$ ]	Minimum [ $\mu\text{m}$ ]	1.qartil [ $\mu\text{m}$ ]	Median [ $\mu\text{m}$ ]	3.qartil [ $\mu\text{m}$ ]	Maximum [ $\mu\text{m}$ ]
Měděný výrobek start Sa	2,042	0,111	1,899	1,942	2,036	2,113	2,312
Měděný výrobek konec Sa	2,103	0,110	1,961	1,990	2,960	2,189	2,321
Měděný výrobek start Sz	27,510	5,420	22,300	23,030	26,510	29,410	41,900
Měděný výrobek konec Sz	29,720	5,020	24,380	27,270	29,110	30,790	47,650
3D výrobek start Sa	1,018	0,178	0,797	0,922	0,981	1,052	1,536
3D výrobek konec Sa	1,246	0,128	0,982	1,179	1,270	1,346	1,439
3D výrobek start Sz	31,560	8,430	11,720	26,990	34,940	36,670	42,900
3D výrobek konec Sz	35,030	14,970	12,520	19,380	43,56	48,46	50,080



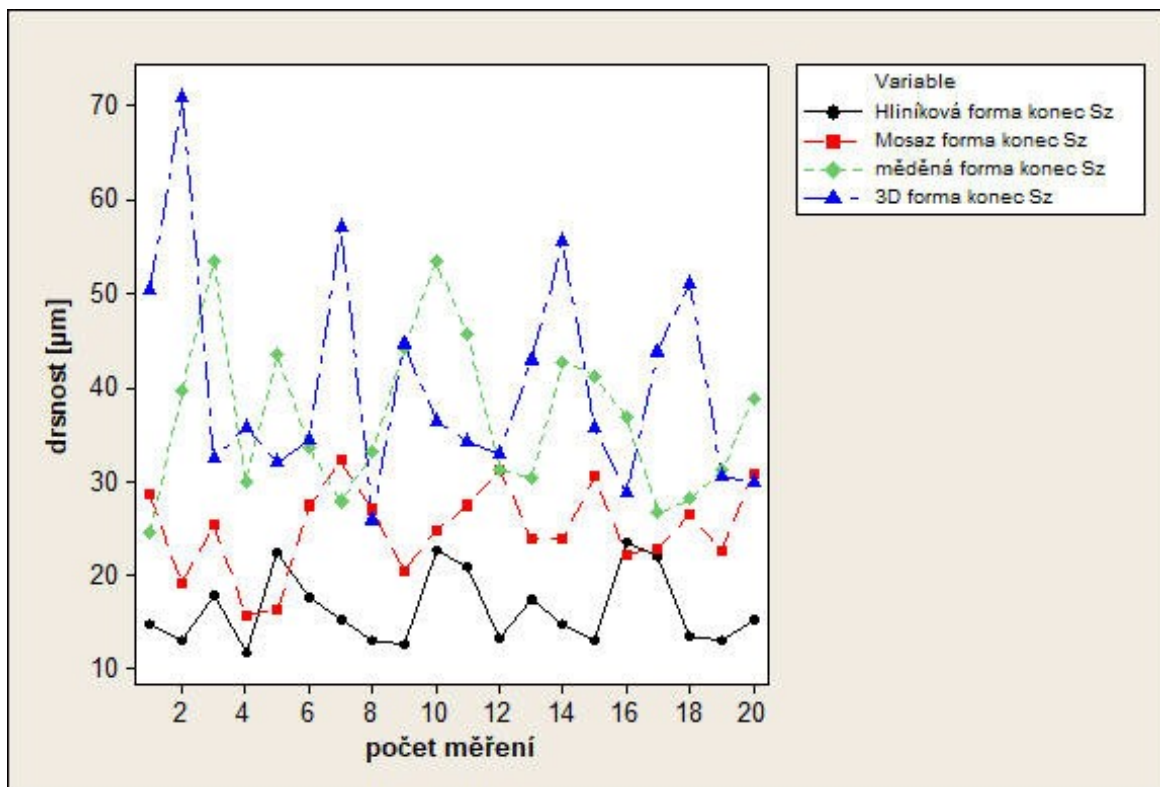
Obrázek 13 Graf Sa porovnání materiálu forem na začátku experimentu



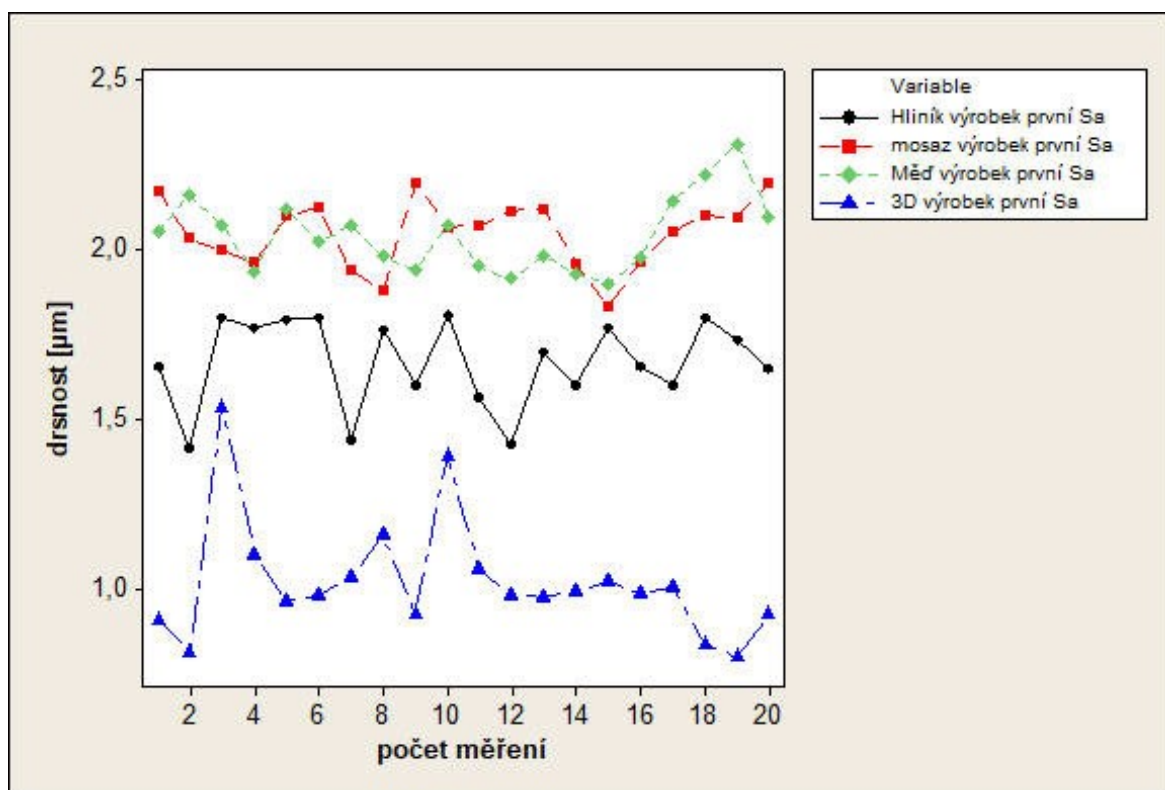
Obrázek 14 Graf Sa porovnání materiálů forem na konci experimentu



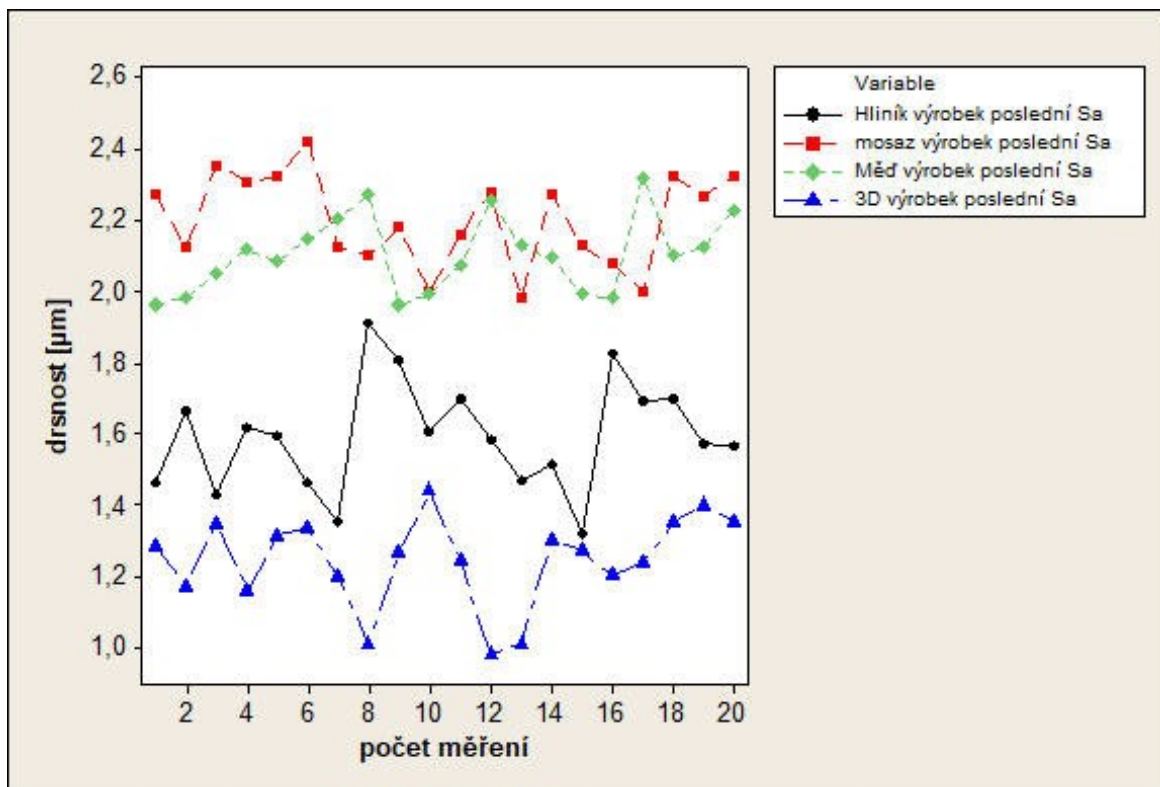
Obrázek 15 Graf Sz porovnání materiálů forem na začátku experimentu



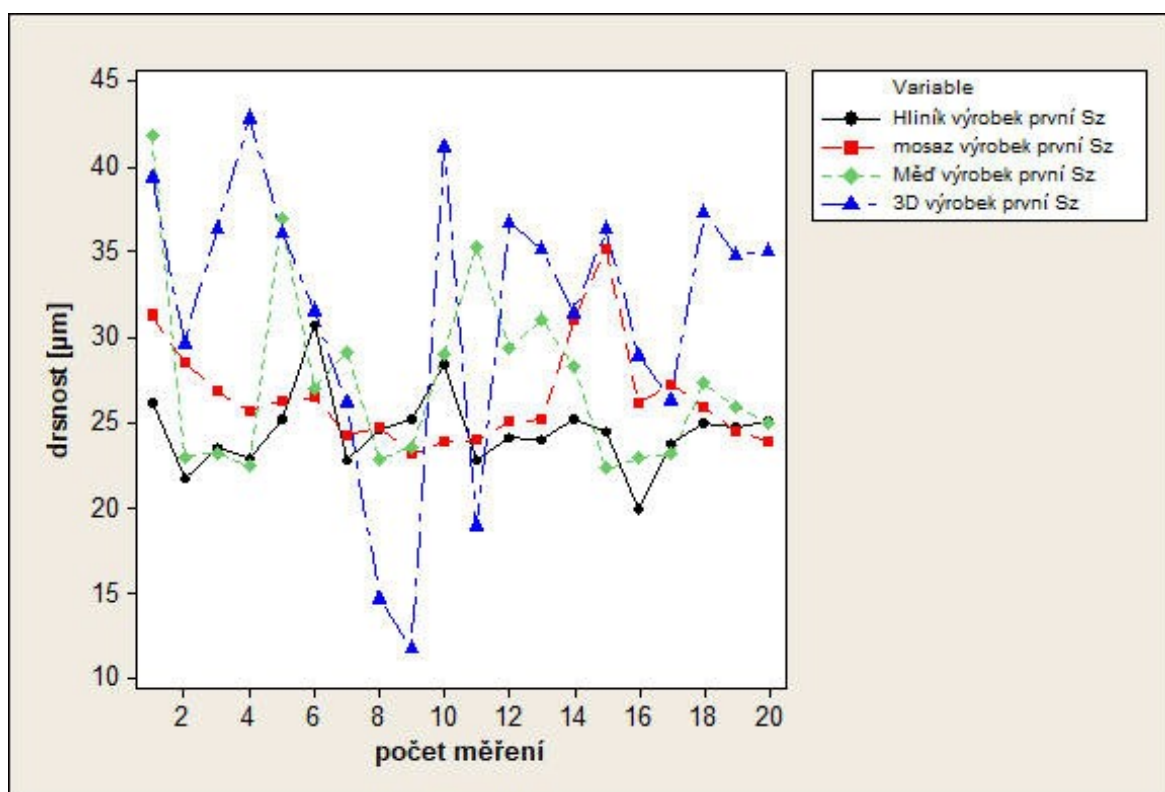
Obrázek 16 Graf Sz porovnání materiálů forem na konci experimentu



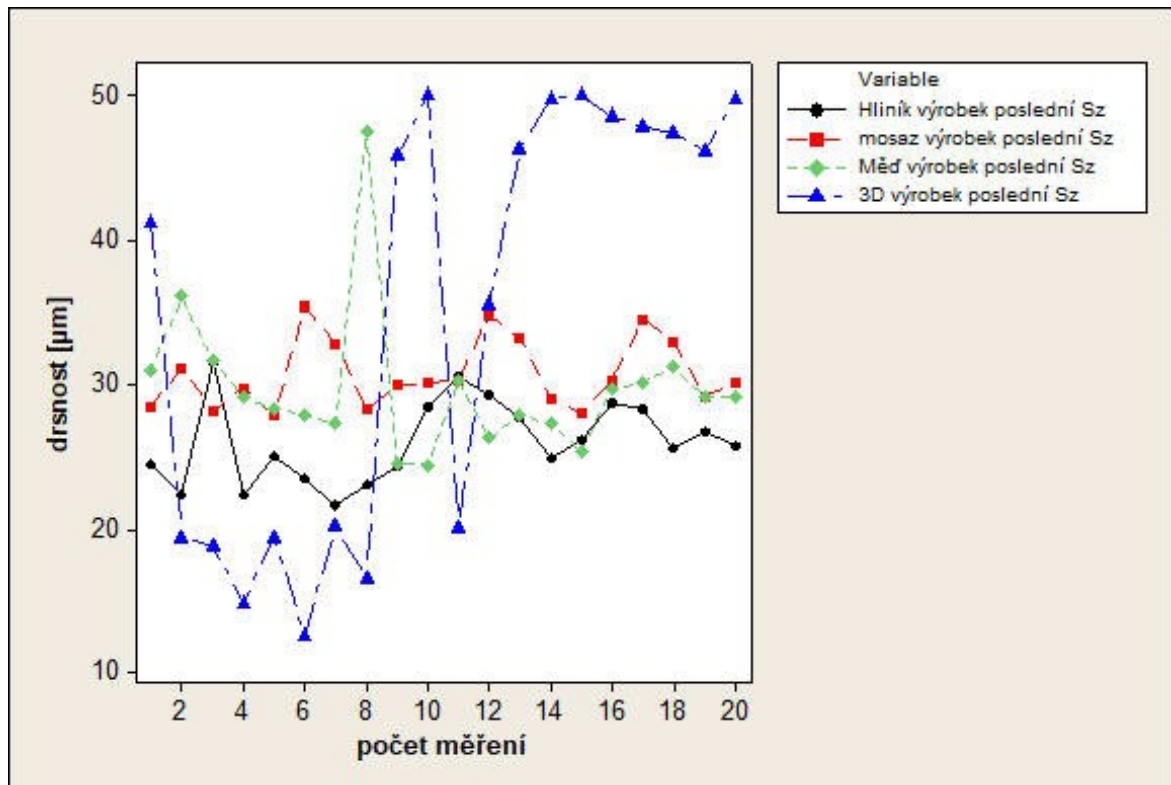
Obrázek 17 Graf Sa porovnání materiálů výrobků na začátku experimentu



Obrázek 18 Graf Sa porovnání materiálů výrobků na konci experimentu



Obrázek 19 Graf Sz porovnání materiálů výrobků na začátku experimentu



Obrázek 20 Graf Sz porovnání materiálů výrobků na konci experimentu

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo naměřit a mezi sebou porovnat 3D parametry drsnosti, a to  $S_a$  - aritmetický průměr výšky povrchu měřené plochy a  $S_z$  maximální výška měřené plochy. Tyto parametry byly naměřeny na vstřikovacích formách z hliníku, mosazi, mědi, a z formy vytisknuté na 3D tiskárně. Parametry byly měřeny před vstřikováním a poté na konci experimentu, kdy byl vystříknut poslední výrobek. Totéž měření bylo provedeno u výrobků. Pro měření byl vzat první vystříknutý výrobek a poté poslední z každé formy.

Při pohledu na výsledky si můžeme všimnout, že nejlepší počáteční povrch měla forma vytištěná na 3D tiskárně, avšak na konci experimentu došlo k jeho rapidnímu zhoršení. Oproti tomu výrobek vystříknutý z formy vytištěné na 3D tiskárně má velmi dobrou hodnotu parametru  $S_a$  ale parametr  $S_z$  vykazuje silně odchýlené hodnoty oproti formám z jiných materiálů, můžeme tedy říci, že podobně jako u forem došlo k velkému zhoršení. U měřené formy a výrobků z ní, můžeme pozorovat také zhoršení ale ne tak silné jako u formy ze 3D tiskárny a jejich výrobků. Mosazná forma vykazuje u hodnot  $S_a$  jen malé zhoršení oproti počátečnímu měření, u hodnoty  $S_z$  můžeme pozorovat taktéž nepatrné zhoršení průměrně o čtyři mikrometry oproti počátečním hodnotám. Výrobky z mosazné formy mají také malé zhoršení jak parametru  $S_a$  tak  $S_z$  oproti počátečnímu měření ale i přesto vychází lépe jak výrobky a formy z mědi a z 3D tiskárny. Nejlépe z měření vyšla hliníková forma a výrobky z ní. Má nejstálější a nejnižší hodnoty parametrů  $S_a$  a  $S_z$ , tudíž vykazuje nejmenší drsnost ze všech měřených forem a výrobků.



**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ČSN EN ISO 4287: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda-Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Březen 1999.
- [2] ČSN EN ISO 4288: Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda-Pravidla a postupy pro posuzování struktury povrchu. Březen 1999.
- [3] ČSN EN ISO 25178-2: Geometrické specifikace produktu (GPS)- Textura povrchu: Plocha-Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Prosinec 2012.
- [4] ING. KUBIŠOVÁ, Milena. Hodnocení jakosti povrchu polymerních dílů nenormativním způsobem. Zlín, 2018. Dizertační práce. UTB.
- [5] Mosaz. Metalcentrum [online]. [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <https://www.metalcentrum.cz/mosaz/>
- [6] Měď. Metalcentrum [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.metalcentrum.cz/med/>
- [7] Hliník. Ehlinik [online]. [cit. 2019-03-25]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/hlinik>
- [10] ZYGO-Mx-Surface-Texture-Parameters. Zygo [online]. [cit. 2019-04-01]. Dostupné z: <https://www.zygo.com/library/papers/Mx-Surface-Texture-Parameters.pdf>
- [8] 3D tisk metody [online]. 2013 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://www.14220.cz/technologie/3d-tisk-metody/>
- [9] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. -. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
- [11] ŘASA, Jaroslav a Vladimír GABRIEL. Strojírenská technologie 3. Praha: Scientia, 2000. ISBN 80-718-3207-3.
- [12] MAŇAS, Miroslav. Výrobní stroje a zařízení. 1. Brno: VUT, 1990. ISBN 80-214-0213-X.
- [13] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů : vstřikování termoplastů. Díl 1. 2. opr. vyd. Brno: Uniplast, 1999.
- [14] BOBČÍK, Ladislav. Formy pro zpracování plastů : vstřikování termoplastů. Díl 2. Brno: Uniplast, 1999.

[15] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie část 1: měření drsnosti povrchu dotykovými profilometry*. Ostrava: 2004.

[16] *Contact-type Surface Roughness/Profile Measuring Instruments*, Keyence [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: [https://www.keyence.com/ss/products/microscope/roughness/equipment/line\\_01.jsp](https://www.keyence.com/ss/products/microscope/roughness/equipment/line_01.jsp)

[17] *Non-contact Surface Roughness/Profile Measuring Instruments*, Keyence [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/ss/products/microscope/roughness/equipment/non-contact-instruments.jsp>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

3D	Trojrozměrný prostor.
2D	Dvourozměrný prostor
Směr.odch	Směrodatná odchylka.
Ra	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rz	Největší výška profilu
Rt	Celková výška profilu
Rv	Největší hloubka prohlubně profilu
Rc	Průměrná výška prvků profilu
Rp	Největší výška výstupku profilu
Rq	Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu
Sa	Aritmetický průměr výšky povrchu ve 3D
Sz	Maximální výška plochy
Sq	Základní průměr výšky
Ssk	Šikmost omezené stupnice povrchu
Sku	Špičatost omezené stupnice povrchu
Rku	Špičatost posuzovaného profilu
Rsk	Špičatost posuzovaného profilu
Xs	Průměr šířek prvků profilu v rozsahu základní délky
Lr	Základní délka
Ln	Vyhodnocovací délka
Lt	Celková délka

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1 Profil povrchu [1].....	21
Obrázek 2 Výška profilu [1].....	22
Obrázek 3 Průměrná výška profilu [1] .....	23
Obrázek 4 Aritmetická úchylka Ra [5].....	23
Obrázek 5 Šířka prvků profilu Rsm [1] .....	24
Obrázek 6 Nasímá drsnost hliníku.....	34
Obrázek 7 Graf Sa hliníkových forem a výrobků.....	36
Obrázek 8 Graf Sz hliníkových forem a výrobků.....	37
Obrázek 9 Nasímá drsnost mosazi.....	38
Obrázek 10 Graf Sa mosazných forem a výrobků.....	40
Obrázek 11 Graf Sz mosazných forem a výrobků.....	41
Obrázek 12 Nasímá drsnost mědi .....	42
Obrázek 13 Graf Sa měděných forem a výrobků .....	44
Obrázek 14 Graf Sz měděných forem a výrobků .....	45
Obrázek 15 Nasímaná drsnost povrchu ze 3D tiskárny.....	46
Obrázek 16 Graf Sa 3D forem a výrobků.....	48
Obrázek 17 Graf Sz 3D forem a výrobků.....	49
Obrázek 18 Graf Sa porovnání materiálu forem na začátku experimentu.....	51
Obrázek 19 Graf Sa porovnání materiálů forem na konci experimentu .....	52
Obrázek 20 Graf Sz porovnání materiálů forem na začátku experimentu.....	52
Obrázek 21 Graf Sz porovnání materiálů forem na konci experimentu .....	53
Obrázek 22 Graf Sa porovnání materiálů výrobků na začátku experimentu.....	53
Obrázek 23 Graf Sa porovnání materiálů výrobků na konci experimentu .....	54
Obrázek 24 Graf Sz porovnání materiálů výrobků na začátku experimentu.....	54
Obrázek 25 Graf Sz porovnání materiálů výrobků na konci experimentu .....	55

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Naměřené hodnoty hliníkových forem .....	35
Tabulka 2 Naměřené hodnoty hliníkových výrobků .....	35
Tabulka 3 Naměřené hodnoty mosazných forem .....	38
Tabulka 4 Naměřené hodnoty mosazných výrobků .....	39
Tabulka 5 Naměřené hodnoty měděných forem.....	42
Tabulka 6 Naměřené hodnoty měděných výrobků.....	43
Tabulka 7 Naměřené hodnoty 3D forem .....	46
Tabulka 8 Naměřené hodnoty u 3D výrobků.....	47
Tabulka 9 Vyhodnocené hodnoty z naměřených dat.....	49