



# Vliv řezných podmínek na parametry drsnosti frézovaných povrchů ve společnosti KSM Castings CZ s.r.o.

## Bakalářská práce

*Studijní program:* B2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301R000 – Strojní inženýrství  
*Autor práce:* **Jan Koñas**  
*Vedoucí práce:* doc. Ing. Jan Jersák, CSc.



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan Koñas**  
Osobní číslo: **S15000085**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojní inženýrství**  
Název tématu: **Vliv řezných podmínek na parametry drsnosti frézovaných povrchů ve společnosti KSM Castings CZ a.s.**  
Zadávací katedra: **Katedra obrábění a montáže**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Shrnutí poznatků o vlivu řezných podmínek na drsnost povrchu při obrábění strojních součástí.
2. Analýza řezných podmínek při frézování a podmínek měření parametrů drsnosti povrchu ve společnosti KSM Castings CZ a.s.
3. Návrh metodiky experimentů zajišťujících efektivní dosažení požadovaných parametrů drsnosti povrchu v závislosti na řezných podmínkách.
4. Realizace experimentů.
5. Hodnocení navrhovaného řešení a porovnání se stávajícím stavem.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.

Rozsah grafických prací: **Obrázky, tabulky a grafy dle potřeby.**

Rozsah pracovní zprávy: **Cca 30 - 40 stran textu.**

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

Seznam odborné literatury:

1. **KOCMAN, K., PROKOP, J.** *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
2. **VLACH, B., AJ.** *Technologie obrábění a montáží*. 1. vyd. Praha: SNTL 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
3. **BÁTORA, B., VASILKO, K.** *Obrobené povrchy - technologická dedičnost, funkčnost*. 1. vyd. Trenčín: TU v Trenčíne a GC Tech, 2000. 184 s. ISBN 80-88914-19-1.
4. **KLOCKE, F., KÖNIG, W.** *Fertigungsverfahren 1 - Drehen, Fräsen, Bohren*. 8. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 2008. 547 s. ISBN 978-3-540-23458-6.
5. **ČSN EN ISO 4287**. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut. 1999. 24 s. Třídící znak 01 4450.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jan Jersák, CSc.**

Katedra obrábění a montáže

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Pavel Toločko**


KSM Castings CZ a.s.

Datum zadání bakalářské práce: **20. listopadu 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2019**

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

  
L.S.

  
doc. Ing. Jan Jersák, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 20. listopadu 2017

Evidenční číslo práce: **KOM 1301**

Jméno a příjmení: **Jan KOŇAS**

Vedoucí práce: DOC. Ing. Jan Jersák, CSc.  
Konzultant: Ing. Pavel Toločko

Počet stran: 46  
Počet příloh: 0  
Počet tabulek: 36  
Počet obrázků: 49  
Počet diagramů: 0

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 26.6.2019

Podpis:



## **Vliv řezných podmínek na parametry drsnosti frézovaných povrchů**

### *ANOTACE*

Bakalářská práce vznikla ve spolupráci s firmou KSM Castings CZ s.r.o. Jejím tématem bylo stanovení vlivu řezných podmínek na parametr drsnosti Rz. Drsnost povrchu se měřila na frézovaných plochách a následně se vyhodnocovala pomocí parametru drsnosti Rz.

Pro hodnocení byly vybrány 4 různé strojní součásti. První byla označena jako díl 346 a jednalo se o část skříně převodovky. Druhá byla označena jako díl 295 a jednalo se o těleso olejového čerpadla. Třetí byla část krytu skříně řetězu a v práci je označena jako díl 222. Čtvrtá hodnocená strojní součást byla část skříně převodovky, která byla v práci označena jako díl 348. První tři zmíněné strojní součásti byly hodnoceny z hlediska vlivu rychlosti posuvu  $v_f$  na výslednou drsnost frézované plochy. Nástroj, kterým byl obráběn díl 348, byl opatřen tzv. zdrsnující břitovou destičkou (ZBD). Tato destička se používá, pokud je třeba zhoršovat drsnost povrchu. To se provádí vysunutím ZBD před zbylé břitové destičky na nástroji.

V úvodu práce jsou uvedeny základní informace o parametrech, které charakterizují drsnost povrchu, dále o čelním frézování, o nástrojovém materiálu PKD, a také o samotné firmě KSM Castings CZ s.r.o. Z výsledků měření, které mělo za cíl stanovit vliv řezných podmínek na drsnost povrchu, vznikly poznatky, ze kterých vyplynulo zlepšení řezných podmínek u dílů 346, 295 a 222. U všech dílů bylo možné použít vyšší rychlost posuvu. Díl 346 byl podroben také hodnocení vlivu nastavení drsnoměru na výslednou hodnotu Rz. Prokázalo se, že i nastavení drsnoměru významně ovlivňuje hodnotu Rz. Jako poslední byl potvrzen předpoklad, že ZBD ovlivňuje velikost Rz a to tak, že čím více destičku povysuneme před ostatní břitové destičky nástroje, tím více zvýšíme hodnotu Rz.

**Klíčová slova:** DRSNOST POVRCHU, ŘEZNÉ PODMÍNKY, BŘITOVÁ DESTIČKA, RYCHLOST POSUVU

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2019

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 46

Počet příloh: 0

Počet obrázků: 49

Počet tabulek: 36

# **Analyzing the influence of cutting conditions on the roughness parameters of milled surfaces**

## *ABSTRACT*

This thesis was created in cooperation with KSM Castings CZ inc. The goal was to set the cutting conditions of the roughness parameter Rz. The roughness of the surface was measured on milled areas and afterwards evaluated by the roughness parameter Rz.

For evaluation, there were 4 different machinery parts selected. First one was marked as the part no. 346 and it was a part of the gear box. The second was marked as no. 295 and it was the body of the oil pump. The third was a part of the chain box cover and on-job it was called as part no. 222. The fourth evaluated piece was the machinery part of the gear box, in company's catalogue listed as no. 348. The first free were analysed based on the influence of the conditions of the drift speed  $v$  on the final roughness of the milled surface. The tool which the no. 348 was milled by was equipped by roughening shale slat. This slat is used, if the roughness is needed to be enhanced. That is accomplished by ejection of the remaining shale slat on to the tool.

The introduction describes the basic overview of the parameters of the surface roughness, frontal milling, tool material PKD and basic overview of the company KSM Castings CZ inc. The authors measurement had a goal to set the limit of the milling conditions of the surface roughness. This lead to improving cutting conditions of parts 346, 295 and 222. All of these parts could be enhanced by the higher drift speed. Part no. 346 was evaluated based on the conditions of petting the roughness-meter to the final Rz value. This has proven, the settings of the roughnessmeter highly impacts the final Rz value. Lastly, it has been proven the last hypotheses of the roughening shale slat impacting the final Rz value by ejection of this slat over the other shale tools.

Keywords: SURFACE ROUGHNESS, MILLING CONDITIONS, SHALE SLAT, DRIFT SPEED

Practitioner: TU in Liberec, KOM

Finished: 2019

Archive marking message:

Number of pages: 46

Number of attachment: 0

Number of pictures: 49

Number of tables: 36

## **Poděkování**

V první řadě bych rád poděkoval společnosti KSM Castings CZ s.r.o., která mi poskytla prostředky na vypracování této bakalářské práce. Rád bych také poděkoval vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc., za odborné vedení práce a rady v průběhu jejího vypracování. Dále bych rád poděkoval konzultantu panu Ing. Pavlu Toločkovi z firmy KSM Castings CZ s.r.o., za poskytnutí zkušeností a cenných rad, které jsem využil při zpracování bakalářské práce, a za vedení v průběhu měření ve firmě KSM Castings CZ s.r.o. Dále bych rád poděkoval panu Antonínu Toločkovi z firmy KSM Castings CZ s.r.o., díky kterému jsem mohl bakalářskou práci ve firmě KSM Castings CZ s.r.o. udělat. A v neposlední řadě bych rád poděkoval technologům z firmy KSM Castings CZ s.r.o., kteří mi udělili cenné rady, které se týkaly jejich projektů.



# Obsah

Seznam použitých zkratek, symbolů.....	8
1 Úvod.....	9
1.1 Cíle práce .....	9
1.2 KSM Castings CZ s.r.o. ....	9
2 Drsnost povrchu .....	11
2.1 Teoretická tvorba drsnosti povrchu .....	11
2.1.1 Vliv nástrojového úhlu nastavení .....	11
2.1.2 Vliv poloměru špičky nástroje.....	12
2.2 Mikrogeometrie povrchu při obrábění vícebřitým nástrojem.....	13
2.3 Nejvyšší výška profilu .....	13
3 Čelní frézování.....	15
4 Polykrystalický diamant .....	16
5 Metodika práce .....	17
5.1 Návrh experimentů .....	17
5.2 Použité přístroje.....	17
5.3 Měření na drnosměru .....	18
5.4 Zpracování výsledků a vyhodnocení výsledků.....	20
6 Popis hodnocených dílů.....	22
6.1.1 Popis dílu 346 – část skříně převodovky.....	22
6.1.2 Popis dílu 295 – Těleso olejového čerpadla .....	24
6.1.3 Popis dílu 222 – část krytu skříně řetězu .....	26
6.1.4 Popis dílu 348 – část skříně převodovky.....	28
7 Výsledky měření .....	31
7.1 Výsledky experimentu 1 .....	31
7.1.1 První měřená součást experimentu 1 .....	31
7.1.2 Druhá měřená součást experimentu 1 .....	32
7.1.3 Třetí měřená součást experimentu 1 .....	33
7.2 Výsledky experimentu 2 .....	34
7.2.1 První měřená součást experimentu 2 .....	34
7.2.2 Druhá měřená součást experimentu 2 .....	34
7.2.3 Třetí měřená součást experimentu 2 .....	35
7.3 Výsledky experimentu 3 .....	35
7.3.1 První měřená součást experimentu 3 .....	36

7.3.2	Druhá měřená součást experimentu 3 .....	37
7.4	Výsledky experimentu 4 .....	38
7.4.1	První měřená součást experimentu 4 .....	38
7.4.1	Druhá měřená součást experimentu 4 .....	38
8	Vyhodnocení měření .....	40
8.1	Vyhodnocení měření experimentu 1 .....	40
8.1.1	Vyhodnocení – první měřená součást experimentu 1 .....	40
8.1.2	Vyhodnocení – druhá měřená součást experimentu 1 .....	42
8.1.3	Vyhodnocení - třetí měřená součást experimentu 1 .....	43
8.2	Vyhodnocení měření dílu 295 .....	43
8.2.1	Vyhodnocení – První měřená součást experimentu 2 .....	44
8.2.2	Vyhodnocení – druhá měřená součást experimentu 2 .....	44
8.2.3	Vyhodnocení – třetí měřená součást experimentu 2 .....	45
8.3	Vyhodnocení měření dílu 222 .....	46
8.3.1	Vyhodnocení – první měřená součást experimentu 3 .....	46
8.3.2	Vyhodnocení – druhá měřená součást experimentu 3 .....	48
8.4	Vyhodnocení měření dílu 348 .....	50
8.4.1	Vyhodnocení – první měřená součást experimentu 4 .....	50
8.4.2	Vyhodnocení – druhá měřená součást experimentu 4 .....	51
9	Závěr měření .....	53
9.1	Závěr z měření experimentu 1 .....	54
9.2	Závěr z měření experimentu 2 .....	55
9.3	Závěr z měření experimentu 3 .....	55
9.4	Závěr z měření experimentu 4 .....	56
	Seznam použité literatury a zdrojů .....	57
	Seznam výkresů .....	58

## Seznam použitých zkratek, symbolů

a.s.		akciová společnost
DIN		Deutsche Industrie Norm
ČSN		česká státní norma
ČR		Česká republika
GmbH		Společnost s ručením omezeným (Gesellschaft mit beschränkter Haftung)
ISO		Mezinárodní organizace pro normalizaci (International Organization for Standardization)
PKD		polykrystalický diamant
s.r.o.		společnost s ručením omezeným
TSI		označení přepřínovaného benzinového motoru
ZBD		Zdrsňující břitová destička
$a_p$	[mm]	hloubka řezu
$D$	[mm]	průměr frézy
$f_{OT}$	[mm]	posuv na otáčku
$f_z$	[mm/zub]	posuv na zub
$i$		počet měření
$l_n$	[mm]	vyhodnocovaná délka profilu
$l_p, l_w, l_r$	[mm]	základní délka profilu
$R_{tt}$	[ $\mu$ m]	označení teoretické drsnosti
$Rz$	[ $\mu$ m]	geometrický R parametr, označení celkového výsledku
$r_\epsilon$	[mm]	poloměr špičky nástroje
$\bar{s}$	[ $\mu$ m]	směrodatná aritmetická odchylka
$t_{0,95}$	[-]	koeficient
$v_c$	[m/min]	řezná rychlost
$v_f$	[mm/min]	rychlost posuvu
$x, y$		označení částí trojúhelníka
$x_i$	[ $\mu$ m]	vypočtená hodnota parametru drsnosti $Rz$
$z$		počet zubů
$Z_p$	[ $\mu$ m]	výška výstupku profilu povrchu
$Z_{pmax}$	[ $\mu$ m]	největší výška výstupku profilu povrchu
$Z_v$	[ $\mu$ m]	hloubka prohlubně profilu povrchu
$Z_{vmax}$	[ $\mu$ m]	největší hloubka prohlubně profilu povrchu
$\kappa$	[ $\mu$ m]	krajní chyba měření
$\Delta$	[ $\mu$ m]	odchylka naměřených hodnot
$\Delta L$	[mm]	hodnota vysunutí/zasunutí zdrsňovací břitové destičky
$\kappa_r$	[°]	nástrojový úhel nastavení
$\kappa'_r$	[°]	vedlejší nástrojový úhel nastavení

# 1 Úvod

Bakalářská práce byla zadána firmou KSM Castings CZ s.r.o. a vznikla za účelem stanovení vlivu řezných podmínek na drsnost povrchu frézovaných součástí. Práce byla vypracována ve firmě KSM Castings CZ s.r.o. sídlící v Hrádku n. Nisou. Firma KSM Castings CZ s.r.o. poskytla vybavení, strojní součásti pro obrábění a pro měření a umožnila konzultaci s technologi, kteří mají obrábění daných dílů na starosti.

## 1.1 Cíle práce

Hlavním cílem bakalářské práce je stanovení vlivu řezných podmínek (především rychlosti posuvu) na výslednou drsnost povrchu obráběných součástí. Drsnost povrchu se bude hodnotit na frézovaných plochách a bude se stanovovat hodnota parametru drsnosti Rz dle normy ISO. Celkem bude testování provedeno u čtyř různých dílů s firemním označením 346, 222, 348 a 295. Díl 346 je část skříně převodovky, díl 295 je těleso olejového čerpadla, díl 222 je část krytu skříně řetězu a poslední hodnocený díl, díl 348, je část skříně převodovky.

V rámci experimentu 2, měření dílu 295 (těleso olejového čerpadla), a experimentu 1, měření dílu 346 (část skříně převodovky), je cílem hodnotit vliv rychlosti posuvu  $v_f$  na výslednou drsnost povrchu frézované plochy. U těchto dílů je ve výkresu předepsán interval parametru drsnosti Rz. Velikost parametru drsnosti Rz frézované plochy musí být po obrobení a změření uvnitř předepsaného intervalu. Tedy bude se zkoušet, jestli by bylo možné zvýšit rychlost posuvu, aby bylo dosaženo drsnosti povrchu stanoveného intervalem parametru drsnosti Rz. V rámci experimentu 1 se dále bude na zvolených řezných podmínkách stanovovat vliv nastavení drsnoměru na výslednou hodnotu Rz obrobeného povrchu.

V rámci experimentu 3, měření dílu 222 (část krytu skříně řetězu), je cílem stanovení takové rychlosti posuvu, aby výsledná drsnost povrchu frézované plochy dílu 222 byla co nejmenší (tzn. do 10  $\mu\text{m}$  parametru drsnosti Rz).

Cílem práce u experimentu 4, měření dílu 348 (součást skříně převodovky), je zjistit vliv tzv. zdršňující břitové destičky (ZBD) na kvalitu povrchu frézované plochy. Popis ZBD je v kapitole 5.5.4. Předpokladem pro měření dílu 348 (část skříně převodovky) je, že vysunutím ZBD před ostatní břity nástroje, kterým je díl 348 obráběn, se zvýší hodnota parametru drsnosti povrchu Rz.

## 1.2 KSM Castings CZ s.r.o.

Společnost KSM Castings CZ s.r.o., sídlící v Hrádku n. Nisou, patří do mezinárodní skupiny KSM Castings Group. Mimo ČR má tato mezinárodní společnost pobočky v Německu, Číně a USA. Globálně se KSM Casting specializuje na výrobu a vývoj odlitků z lehkých kovů a slitin pro automobilový průmysl [1].

Firma KSM Castings CZ s.r.o. byla založena koncernem Thyssen Umformtechnik GmbH a Ferex ŽSO Brno s.r.o. v roce 1996 v Liberci. Tehdejší pojmenování společnosti bylo Thyssen Ferex Aluminium Technik s.r.o. V té době ve firmě pracovalo kolem 60 zaměstnanců a firma vlastnila 4 licí stroje, které byly konstruovány pro tlakové lití hliníku.

V té době výrobu tvořily dvě odvětví technologie, kterými byly technologie apretace a slévárenství. V roce 2001 bylo rozhodnuto zvýšit kapacitu závodu a začala se stavět nová výrobní hala v Hrádku n. Nisou [1].

O rok později byly do firmy v Hrádku n. Nisou koupeny 3 nové licí stroje a 2 obráběcí centra. V tomto roce se tedy firma začala zabývat obráběním. Roku 2005 byla celá skupina prodána finanční společnosti Cognetas. Tři roky na to byla postavena zcela nová výrobní hala, která je dnes určena pouze pro obrábění odlitků. Do nově postavené haly bylo pořízeno 15 CNC obráběcích center, pračka na praní obrobených kusů a CNC soustruh. V roce 2011 byla celá skupina sléváren prodána společnosti Citic Dicastal a byly dokoupeny další stroje. V tomto roce měla firma již kolem 350 zaměstnanců. Roku 2012 byla firma opět rozšířena o novou výrobní halu, kam bylo přemístěno veškeré obrábění, které bylo z části v prostorech slévárny. V dnešní době má KSM Castings v Hrádku n. Nisou cca 24 licích strojů, cca 42 CNC obráběcích center a několik robotických linek. V roce 2019 přešla firma z akciové společnosti na společnost s ručením omezením [1][2].

Hrádecký závod má čtyři oddělení. Jsou jimi slévárna, obrobna a apretace slévárny a apretace obrobny. Apretace slévárny se zabývá dokončovacími operacemi po lití, jako je například ostřih vtokové soustavy a otryskávání odlitků. Apretace obrobny se zabývá dokončovacími operacemi po obrábění, jako jsou různá ruční začišťování obrobků. Součástí společnosti je také pracoviště v Liberci, které bylo zřízeno pro zvýšení kapacity výroby firmy. Česká pobočka se zaměřuje na tlakové lití a obrábění hliníkových slitin. Tlakové lití je prováděno ve vysokotlakých licích strojích a obrábění je prováděno na CNC obráběcích centrech [2].

## 2 Drsnost povrchu

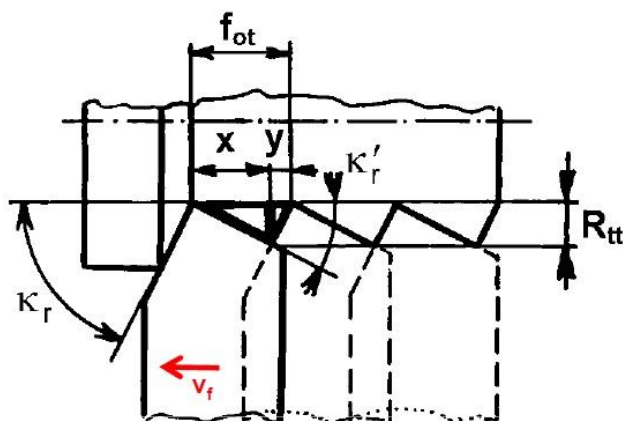
Drsnost povrchu (neboli mikrogeometrie povrchu) je velice důležité kritérium pro hodnocení kvality obrobené plochy a má značný vliv na funkci plochy. Obrobená plocha se tvoří jako obalová plocha trajektorií pracovního pohybu řezné hrany nástroje, kterým se obrobená plocha obrobila. Špička nástroje má válcovou nebo kuželovou plochu a definovaný poloměr špičky značený  $r_\epsilon$ . Řezný nástroj kopíruje tvar špičky na obrobek [4].

### 2.1 Teoretická tvorba drsnosti povrchu

Pro názornost je v této kapitole vysvětleno, jak se tvoří teoretická drsnost povrchu  $R_{tt}$  a jaké jsou hlavní teoretické vlivy tvorby drsnosti povrchu. Pro popis teoretické drsnosti  $R_{tt}$  budou použity výpočty a obrázky ze soustružení.

#### 2.1.1 Vliv nástrojového úhlu nastavení

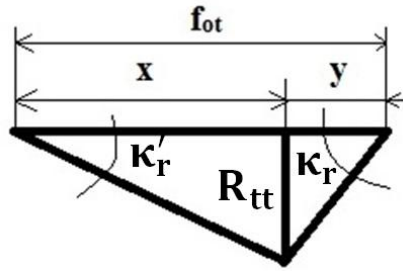
Vliv nástrojového úhlu nastavení  $\kappa_r$  a vedlejšího nástrojového úhlu  $\kappa'_r$  se projeví v situaci, kdy posuv nástroje je mnohem větší než poloměr špičky nástroje  $r_\epsilon$ . V takovémto případě vznikne profil, který je vidět na obrázku 1, resp. na obrázku 2.



Obrázek 1: Tvorba drsnosti vlivem nástrojového úhlu nože  $\kappa_r$  [3]

Teoretická drsnost  $R_{tt}$  ve vzniklém profilu je výškou pravoúhlého trojúhelníku. Přepona pravoúhlého trojúhelníku je velikosti posuvu nástroje na jednu otáčku  $f_{ot}$ . Výška, která představuje teoretickou drsnost  $R_{tt}$ , přeponu rozdělí na dvě úsečky. Tyto dvě části pracovně označíme  $x$  a  $y$ . Součet těchto dvou částí nám dá posuv na otáčku:

$$f_{ot} = x + y \quad (1)$$



Obrázek 2: Vzniklý profil povrchu vlivem úhlu nastavení [vytvořeno autorem]

Z geometrie na obrázku 2 je patrné, že rozdělením trojúhelníku výškou  $R_{tt}$ , vznikly dva pravoúhlé trojúhelníky. Z nich si vyjádříme stranu  $x$ , resp. stranu  $y$ :

$$x = \frac{R_{tt}}{\operatorname{tg} \kappa_r'} \quad (2)$$

$$y = \frac{R_{tt}}{\operatorname{tg} \kappa_r} \quad (3)$$

Následně dosadíme vztahy (2) a (3) do vztahu (1):

$$f_{OT} = \frac{R_{tt}}{\operatorname{tg} \kappa_r'} + \frac{R_{tt}}{\operatorname{tg} \kappa_r} \quad (4)$$

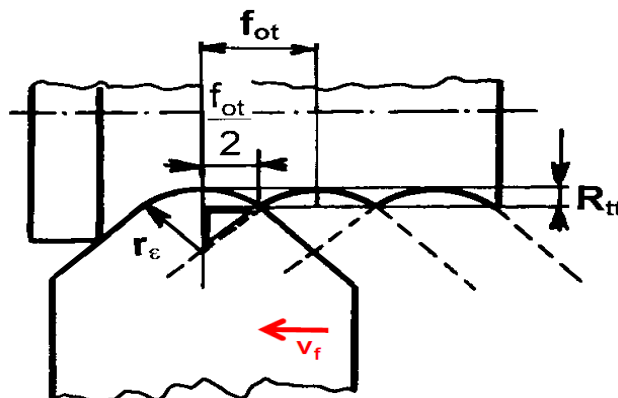
Rovnici (4) upravíme do finálního tvaru, kde na levé straně osamostatníme teoretickou drsnost  $R_{tt}$ :

$$R_{tt} = f_{OT} \cdot \frac{\operatorname{tg} \kappa_r \cdot \operatorname{tg} \kappa_r'}{\operatorname{tg} \kappa_r' + \operatorname{tg} \kappa_r}. \quad (5)$$

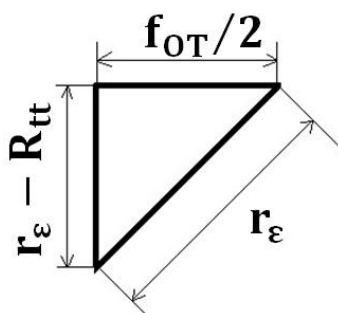
Ze vztahu (5) je patrné, že pokud je posuv mnohem větší než poloměr špičky nástroje, tak poloměr špičky ve výsledném vztahu pro výpočet drsnosti vůbec nefiguruje. Teoretická drsnost je závislá na posuvu nástroje, nástrojovém úhlu nastavení  $\kappa_r$  a vedlejším nástrojovém úhlu nastavení  $\kappa_r'$  [4].

### 2.1.2 Vliv poloměru špičky nástroje

Do výsledných vztahů se vliv poloměru špičky nástroje  $r_\varepsilon$  (obrázek 3) projeví tehdy, když se blíží velikostně posuvu nástroje  $f_{OT}$ . Platí tedy následující vztahy:  $f_{OT} > 2 \cdot r_\varepsilon \cdot \sin \kappa_r$  resp.  $f_{OT} > 2 \cdot r_\varepsilon \cdot \sin \kappa_r'$ .



Obrázek 3: Tvorba drsnosti vlivem poloměru špičky nástroje  $r_\varepsilon$  [3]



Obrázek 4: Vzniklý profil povrchu vlivem poloměru špičky nástroje [vytvořeno autorem]

Na obrázku 4 lze vidět, že při tvorbě drsnosti vzniká pravoúhlý trojúhelník s odvěsnami  $\frac{f_{OT}}{2}$  a  $r_\epsilon - R_{tt}$  a přeponou  $r_\epsilon$ . Pro tento pravoúhlý trojúhelník sestavíme Pythagorovu větu:

$$r_\epsilon^2 = \left(\frac{f_{OT}}{2}\right)^2 + (r_\epsilon - R_{tt})^2 \quad (6)$$

Členy v rovnici 6 umocníme na druhou a provedeme úpravu rovnice:

$$r_\epsilon^2 = \frac{f_{OT}^2}{4} - 2r_\epsilon R_{tt} + r_\epsilon^2 + R_{tt}^2 \quad (7)$$

člen  $R_{tt}^2$  můžeme zanedbat, jelikož se velikostně blíží k nule a členy  $r_\epsilon^2$  na levé a pravé straně se odečtou. Výsledný vztah po úpravách je:

$$R_{tt} = \frac{f_{OT}^2}{8r_\epsilon} \quad (8)$$

Ze vztahu (7) je patrné, že teoretická drsnost  $R_{tt}$  je v případě, kdy se poloměr špičky nástroje  $r_\epsilon$  velikostí blíží k posuvu nástroje  $f_{OT}$ , závislá právě na poloměru špičky nástroje a posuvu nástroje. Nástrojové úhly v tomto případě ve vztahu nefigurují [4].

## 2.2 Mikrogeometrie povrchu při obrábění vícebřitým nástrojem

Při obrábění vícebřitým nástrojem je povrch po obrobení tvořený soustavou stop, které vytvořily jednotlivé zuby nástroje. Typickým příkladem obrábění pomocí vícebřitých nástrojů je frézování. Povrch frézované součásti, resp. mikrogeometrie obrobené plochy, bude ovlivněna zejména kinematikou frézování, konstrukcí nástroje a zvolenými řeznými podmínkami [4]. Bakalářská práce je zaměřena výhradně na vliv řezných podmínek na velikost drsnosti povrchu. Proto další informace budou vztaženy k vlivu řezných podmínek na tvorbu drsnosti povrchu frézované plochy.

Správná volba řezných podmínek hraje zásadní roli při tvorbě výsledné drsnosti povrchu frézované plochy. Pokud budeme zvyšovat hodnotu rychlosti posuvu, budeme tím i zvyšovat výslednou drsnost povrchu po obrobení. Naopak pokud zvolíme nástroj s velkým průměrem  $D$  a větším počtem zubů  $z$ , drsnost povrchu se bude zmenšovat. Pro čelní frézování má pak vliv i nástrojový úhel nastavení  $\kappa$ . Čím větší hodnotu úhel  $\kappa$  bude mít, tím větší drsnost povrchu bude [4].

## 2.3 Nejvyšší výška profilu

Nejvyšší výška profilu (obrázek 5), označovaná  $R_z$ , je  $R$  parametr, což je geometrický parametr, který je vypočítaný z profilu drsnosti. Dále jsou uvedeny základní pojmy a vztah pro výpočet nejvyšší výšky profilu  $R_z$ .



Prvním pojmem je základní délka, označována  $l_p$ ,  $l_r$ , nebo  $l_w$ . Jedná se o rozměr ve směru osy X a je užívána pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil povrchu.

Vyhodnocovaná délka profilu  $l_n$  se užívá k posouzení vyhodnocovaného profilu. Jedná se o vzdálenost měřenou ve směru osy X. Výška výstupku profilu, označená  $Z_p$ , je vzdálenost mezi osou X a vrcholem nejvyššího výstupku. Vzdálenost od osy X a bodem v nejhlubším místě profilu se označuje  $Z_v$ .

Nejvyšší výškou profilu se rozumí součet výšky nejvyššího výstupku profilu ( $Z_{vmax}$ ) a hloubky nejnižší prohlubně profilu ( $Z_{pmax}$ ) v rozsahu základní délky ( $l_r$ ). Matematicky vyjádřeno [12] :

$$Rz = Z_{pmax} + Z_{vmax}. \quad (9)$$

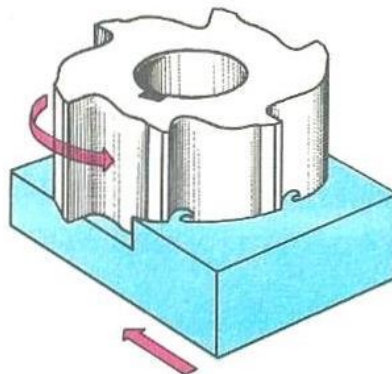


Obrázek 5: Profil povrchu drsnosti pro největší výšku profilu  $Rz$  [15]

### 3 Čelní frézování

Jelikož je hlavním tématem této práce frézování, resp. čelní frézování, bylo do teoretického úvodu zahrnuto i krátké povídání o této technologii obrábění. Frézování je třísková metoda obrábění, při které se materiál odebírá zuby rotujícího nástroje. Nástrojem je fréza a stroj se nazývá frézka. Fréza je vícebřítý nástroj. Posuv provádí obrobek, který se pohybuje převážně ve směru kolmém k ose nástroje [6].

Dnes mají CNC frézky a obráběcí centra plynule měnitelné posuvové pohyby, které mohou být realizovatelné do více směrů. U těchto automatů je vše ovlivněno parametry stroje a programem, který je do nich nahrán. Řezný pohyb při frézování je přerušovaný. Třísky, které se tvoří, jsou krátké s proměnnou tloušťkou. Pomocí frézování se obrábí nejen rovinné, ale i tvarové plochy (nejčastěji drážky, dnes i závit) [7].



Obrázek 6: Čelní frézování [16]

Čelní frézování (obrázek 6) je, jak již název napovídá, obrábění čelem nástroje. Břity čelních fréz jsou umístěny jak na obvodu, tak i na čele frézy. S ohledem na poměr šířky frézované plochy, průměru frézy a na polohu osy frézy vzhledem k frézované ploše mluvíme o symetrickém, resp. nesymetrickém frézování. Tento poměr má také vliv na počáteční a konečnou tloušťku odřezávané vrstvy [8].

## 4 Polykrystalický diamant

Tato kapitola je věnována řeznému materiálu, polykrystalickému diamantu, který je součástí všech nástrojů, které byly použity k obrábění hodnocených dílů. V této kapitole jsou zahrnuty základní poznatky o daném materiálu.

Polykrystalický diamant (PKD) je například proti rychlořezné oceli velice mladý nástrojový materiál. První průmyslové využití se datuje k roku 1978, tedy dá se říci, že pro průmyslové potřeby se používá teprve 40 let. PKD se skládá z krystalků diamantu, které jsou velice jemné. K sobě jsou pak spojené při vysokých teplotách a tlacích. Nalezení v přírodě je možné, ale velice sporadické. Proto se PKD vyrábí spíše synteticky. Tvrdost tohoto synteticky vyráběného materiálu je pak téměř čtyřikrát větší než tvrdost spékaných karbidů (dle tvrdosti podle Knoopu). PKD má široké uplatnění obzvláště ve velkosériové a hromadné výrobě [14].

PKD se dá využít ve formě celistvé břitové destičky, nebo se nanáší ve vrstvě na podklad ze spékaného karbidu wolframu nebo čistého wolframu. Tloušťka výsledných produktů se výrazně liší. Zatímco celistvá břitová destička se vyrábí nejčastěji v hodnotách tloušťky od 1,6 do 8 mm, nanášená vrstva PKD má tloušťku v hodnotách od 0,3 do 1,5 mm. PKD existují různé druhy, které se liší hlavně velikostí zrna diamantu. Výhodou nanášeného PKD je vyšší odolnost vůči rázům, vyšší pevnost a především cena. I když se PKD používá ve specifických případech obrábění, nejčastěji při obrábění hliníkových slitin, obecně je jejich nespornou výhodou, proti slinutým karbidům, vyšší trvanlivost nástroje a možnost využití vyšších řezných rychlostí. Mezi nevýhody PKD se řadí vyšší cena a zejména to, že se jím nedají obrábět materiály na bázi železa [14].

PKD se používá nejčastěji na výrobu břitových destiček. Aby bylo možné břitovou destičku vyrobit, je třeba nejprve vyrobit polotovar. V praxi se polotovaru pro výrobu břitové destičky z PKD říká sklíčko. Toto sklíčko se vyrábí lisováním při vysokém tlaku. Materiálem pro tuto technologii výroby je diamantový prášek a pojivem je kobalt, který má tu vlastnost, že na sebe váže uhlík obsažený v diamantovém prášku. Výsledkem je břitová destička, která je vyráběna buď elektroerozivním řezáním, nebo dnes v malé míře i laserovým řezáním [14].

PKD nástroje se ve firmě KSM Castings používají výhradně k vrtání, frézování ploch, frézování zápichů, frézování tvarů a frézování závitů. Díky použití PKD je možné obrábění vysokými řeznými rychlostmi (frézovací hlava s vyměnitelnými destičkami:  $v_c = 4000$  m/min při otáčkách  $n = 10000$ /min), což v praxi značně zkracuje obráběcí čas. Pro účely obrábění jsou použity nástroje s destičkami, které jsou vyráběné nanášením diamantového povlaku na karbidový podklad. Nástroje jsou s vyměnitelnými i pájenými destičkami.

## 5 Metodika práce

Jak již bylo řečeno v kapitole 1.1 Cíle práce, budou hodnoceny 4 různé strojní součásti. Tyto strojní součásti nesou firemní označení 346, 295, 222 a 348. U každé z uvedených strojních součástí bude vybrána frézovaná plocha, na které se bude zjišťovat buď vliv rychlosti posuvu (díly 346, 295 a 222), nebo vliv tzv. zdršňující břitové destičky (díl 348) na drsnost povrchu.

### 5.1 Návrh experimentů

Jednotlivé díly budou obrobeny se zvolenými obráběcími podmínkami, které jsou popsány v kapitole Popis hodnocených dílů. Ke každému ze zvolených obráběcích parametrů budou obrobeny 4 kusy a následně změřeny pomocí drsnoměru na vybrané frézované ploše. Bude se stanovovat drsnost povrchu dle parametru drsnosti povrchu Rz dle ISO.

Díly 295 (těleso olejového čerpadla), měření je v práci označený jako experiment 2, a 346 (součást skříně převodovky), měření je v práci označeno jako experiment 1, mají frézovanou plochu specifickou tím, že je na ní ve výkrese předepsán interval parametru drsnosti Rz (viz obrázek 14 pro díl 346 a obrázek 19 pro díl 295), který je nutný dodržet. U těchto dvou konkrétních dílů se bude testovat, zdali by bylo možné zvýšit rychlost posuvu tak, aby drsnost povrchu frézované plochy splňovala hodnoty stanovené předepsaným intervalem parametru drsnosti povrchu Rz. K dílu 346 budou stanoveny 3 různé rychlosti posuvu (více v kapitole 5.5.1), díl 295 bude obroben s třemi různými rychlostmi posuvu. Každý z dílů bude mít jednu ze tří rychlostí posuvu stanovenou na výrobní rychlost posuvu, tzn. na takovou rychlost posuvu, která se do té doby používala ve výrobě.

Díl 222 (část krytu skříně řetězu), měření je v práci označeno jako experiment 3, má frézovanou plochu specifickou tím, že je na ní nutné docílit velice malých hodnot parametru drsnosti Rz. Cílem je se vejít do maximální hodnoty Rz 10  $\mu\text{m}$ . Za tímto účelem jsou vybrány dvě rychlosti posuvu a bude se testovat, zdali po zvýšení rychlosti posuvu nedojde k přílišnému zvětšení drsnosti povrchu. Pro každé nastavení rychlosti posuvu budou obrobeny 4 kusy.

Díl 348 (část skříně převodovky), měření je v práci označený jako experiment 4, má na fréze tzv. zdršňující břitovou destičku (ZBD). Podrobnější popis ZBD je v kapitole 5.5.4. Na tomto konkrétním díle bude hodnocen vliv ZBD na velikost drsnosti povrchu frézované plochy. Hodnocené kusy budou obrobeny stejnými rychlostmi obrábění, rychlostmi posuvu atd. Budou provedena 2 různá nastavení ZBD. Nastavení ZBD bude vysunutím destičky oproti ostatním břitovým destičkám na nástroji.

### 5.2 Použité přístroje

Obrábění bude provedeno na dvou typech strojů. Oba dva typy jsou od stejné firmy, kterou je Schwäbische Werkzeugmaschinen (SW) GmbH. Díl 346 bude obráběn na CNC frézovacím centru SW EMAG BAS03 (obrázek 8). Díly 222, 295 a 348 budou obrobeny na CNC frézovacím centru SW BA 322 (obrázek 7).



Obrázek 7: CNC frézovací centrum SW BA 322 [9]

Měření drsnosti povrchu všech čtyř testovaných dílů (346, 295, 222 a 348) bude provedeno na drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ – 410 (obrázek 9).



Obrázek 8: CNC frézovací centrum SW EMAG BAS03 [5]

### 5.3 Měření na drsnoměru

Pro měření na drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-410 je třeba použít postup vypsany níže v této kapitole.



Obrázek 9: Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ - 410 [vytvořeno autorem]

Nejprve je třeba nastavit parametry měření. Pro nastavení parametrů měření na drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ-410 je nutné postupovat následovně:

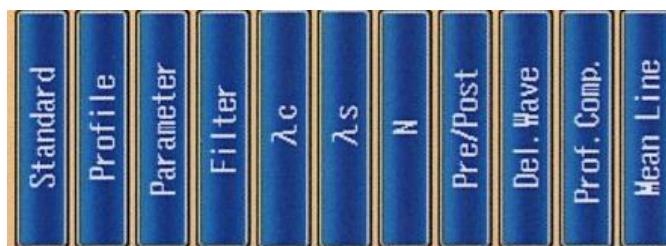
- 1) Po zobrazení obrazovky s protokolem měření (obrázek 10) přejít do hlavního menu pomocí tlačítka Menu.
- 2) Zobrazí se obrazovka s hlavním menu a následně zvolíme Cond. Setting a zobrazí se výběr podmínek pro měření (obrázek 11). Vybereme a nastavíme podmínky, které jsou pro nás důležité (viz body a–d).
  - a) Vybereme Profile -> nastavíme R -> potvrdíme OK

- b) Vybereme Parameter -> nastavíme Rz -> potvrdíme OK
- c) Vybereme  $\lambda_c$  (Cutoff délka) -> naběhne menu vybranými parametry z bodu 2b a s hodnotami délky (0.08 mm, 0.25 mm, ..., 25 mm), které se volí dle tabulky hodnot velikostí drsností povrchu zobrazených na obrazovce vedle hodnot délek -> potvrdíme OK
- d) Vybereme N (počet vzorkovacích vzdáleností) -> potvrdíme OK



Obrázek 10: Základní obrazovka s protokolem měření na přístroji Mitutoyo SurfTest SJ-410 [13]

Po nastavení všech potřebných parametrů měření najedeme opět na základní obrazovku (obrázek 10) a stiskneme tlačítko Start. Následně se spustí měření na přístroji. Na základní obrazovce (obrázek 13) se vykreslí profil povrchu a na konci měření se zobrazí i výsledná hodnota nastaveného parametru drsnosti povrchu [13].



Obrázek 11: Tabulka s nastavitelnými parametry pro měření na drsnoměru [13]

Výsledky v tištěné podobě dostaneme následujícím postupem:

- 1) Zobrazíme základní obrazovku (obrázek 10)
- 2) Zmáčkne tlačítko Menu
- 3) Zobrazí se obrazovka s hlavním Menu (obrázek 12)



Obrázek 12: Obrazovka hlavního menu [13]

- 4) Vybereme Set Environ.

- 5) Po zobrazení obrazovky s operačním prostředím vybereme Set Printer
- 6) Nastavíme podmínky tisku a potvrdíme ok



Obrázek 13: Výsledný měřicí protokol na základní obrazovce přístroje [13]

- 7) Vytiskne se nám protokol z měření v papírové formě

Pokud chceme, aby se nám výsledky z měření automaticky tiskly, nastavíme v bodu 6 Auto-print z OFF na ON [13].

## 5.4 Zpracování výsledků a vyhodnocení výsledků

Na každém z dílů vybrána frézovaná plocha, na které se následně bude měřit drsnost povrchu po obrobení. Měření se provede na pěti odlišných místech této plochy. Z těchto 5 naměřených hodnot bude udělán statistický výpočet dle normy ČSN ISO 2602. Výsledkem statistického výpočtu bude konfidenční interval. Všechny výsledky budou zapsány do tabulek včetně vypočtených konfidenčních intervalů.

Výpočet konfidenčního intervalu dle normy ČSN ISO 2602 se provede dle postupu napsaného níže.

- 1) Z naměřených hodnot drsnosti povrchu  $x_i$ , které máme zapsané v tabulce, uděláme průměrnou hodnotu  $\bar{x}$ , kde index  $i$  je počet měření, tedy pro nás  $i = 1-5$ .
- 2) Vypočteme odchylky naměřených hodnot  $\Delta_i$ ,  $i = 1-5$ , dle vztahu (10) a následně z vypočtených odchylek spočítáme jejich druhou mocninu  $\Delta_i^2$ ,  $i = 1-5$

$$\Delta_i = x_i - \bar{x}. \quad (10)$$

- 3) Vypočteme výběrovou směrodatnou odchylku aritmetického průměru  $\bar{s}$  dle vztahu (11)

$$\bar{s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 \Delta_i^2}{5(5-1)}}. \quad (11)$$

- 4) Dle počtu měření  $n$  vybereme z tabulky 1 koeficient  $t_{0,95}$ , vybraný pro spolehlivost 95%.

<b>n</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b><math>t_{0,95}</math></b>	12,7060	4,3027	3,1824	2,7764	2,5706	2,4469	2,3646	2,3060	2,2622

Tabulka 1: Hodnoty koeficientu  $t_{0,95}$  [10]

- 5) Vypočteme krajní chybu měření  $\kappa$  dle vztahu (12)

$$\kappa = t_{0,95} \bar{s}. \quad (12)$$

- 6) Následně zapíšeme výsledek ve tvaru:

$$Rz = (\bar{x} \pm \kappa), \quad (13)$$

kde  $Rz$  je označení konečného výsledku [11].

Vyhodnocení výsledků bude formou sloupcového grafu, kde bude patrná stabilita obrábění pro změřené kusy daného dílu. Do sloupcového grafu budou uvedeny vždy spočtené hodnoty parametru drsnosti  $Rz$  včetně příslušného konfidenčního intervalu. První měřená součást a druhá měřená součást experimentu 2 bude opatřena ve vyhodnocení výsledků sloupcovým grafem, který porovná výsledky z obou měřených ploch, tedy plochy A (rovná plocha na dílu 222) a plochy B (část těsnicí plochy, kde vybíhá fréza po dokončení obráběcího procesu). K první měřené součásti dílu 346 bude vytvořen sloupcový graf, který bude porovnávat hodnoty parametru drsnosti  $Rz$  mezi jednotlivými nastaveními drsnoměru. U dílu 348 pak bude vytvořený spojnicový graf, kde bude znázorněn průběh trendu hodnot drsnosti povrchu pro obě nastavení ZBD.

Vyhodnocení výsledků bude dále provedeno pomocí hodnot zapsaných v tabulkách. V tabulce budou zapsány vždy výsledné vypočtené hodnoty  $Rz$  jednotlivých změřených kusů včetně vypočteného konfidenčního intervalu (viz výše). Dále se z vypočtených hodnot stanoví průměrná hodnota. Konfidenční interval tohoto průměru se pak vypočítá jako průměrná hodnota dílčích konfidenčních intervalů [10].

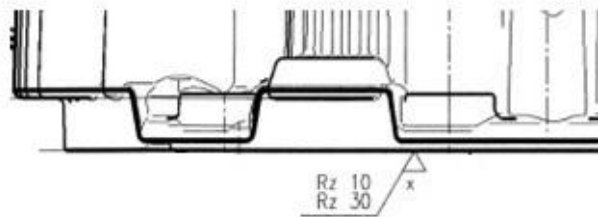


## 6 Popis hodnocených dílů

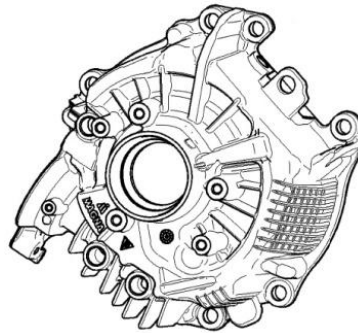
V této kapitole jsou popsány díly, které byly podrobeny měření. Je u nich také uvedeno, jakými obráběcími podmínkami byly obrobena a jaký nástroj byl pro jejich obrobení použit. Díly jsou označeny dle firemního značení 346 (část skříně převodovky), 222 (část krytu skříně řetězu), 295 (těleso olejového čerpadla), 348 (část skříně převodovky). Celkem se tedy jedná o čtyři testované strojní součásti. Všechny čtyři hodnocené strojní součásti jsou odlity ze slitiny hliníku  $AlSi_9Cu_4(Fe)$ .

### 6.1.1 Popis dílu 346 – část skříně převodovky

Díl 346 (obrázek 15) je vyráběn pro společnost Magna International Europe GmbH. Jedná se o masivní díl ze slitiny hliníku  $AlSi_9Cu_4(Fe)$  určený pro převodovou skříň.



Obrázek 14: Detail měřené plochy díl 346 [17]



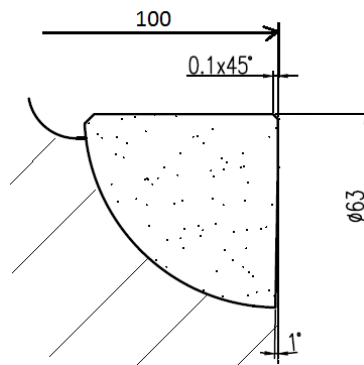
Obrázek 15: Pohled na díl 346 [17]

Pro měření je důležitá obrobená plocha se stanovenou drsností povrchu (viz obrázek 14). Tato plocha je plochou těsnicí (obrázek 16). Drsnost je na této ploše předepsaná z toho důvodu, že se k součásti připojí víko, kterým se uzavře převodová skříň a tato plocha bude utěsněna tmelem.

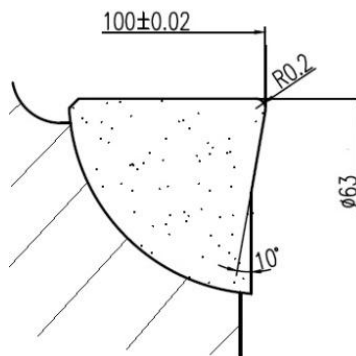


Obrázek 16: Měřená plocha

Nástrojem byla osmibřítá fréza s průměrem  $D = 63$  mm. Nástroj je vyroben firmou Frezite. Fréza má 7 běžných břitových destiček (obrázek 17) a jednu ZBD (obrázek 18). Všechny břitové destičky jsou vyrobeny z PKD.



Obrázek 17: Břitová destička [18]



Obrázek 18: Zdršňující břitová destička [18]

V tabulkách 2, 3 a 4 jsou uvedeny technologické parametry obrábění zvolené pro experiment 1. Veličiny, které můžeme měnit, jsou rychlost posuvu  $v_f$  a otáčky vřetene  $n$ . Zbylé veličiny jsou posuv na otáčku  $f_{OT}$  a řezná rychlost  $v_c$ . Posuv na otáčku  $f_{OT}$  dostaneme ze vzorce  $f_{OT} = v_f/n$ . Řeznou rychlost vypočteme dle vztahu  $v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$ , kde  $D$  je průměr frézy [7].

První měřená součást byla měřena pomocí dvou nastavení drsnoměru. Prvním bylo nastavení (2,5x2) mm a následně se použilo nastavení (0,8x5) mm. Hodnoty 2,5 mm a 0,8 mm v nastavení drsnoměru jsou měřené délky a hodnoty 2 a 5 jsou počty měřených délek. Každý ze čtyř obroběných kusů patřící k první měřené součásti byl měřen oběma nastaveními drsnoměru. Měření druhé a třetí součásti bylo poté provedeno pouze s nastavením drsnoměru (0,8x5) mm.

Veličina	Značení	Hodnota
Rychlost posuvu	$v_f$	3600 mm/min
Posuv na otáčku	$f_{OT}$	0,6 mm
Otáčky vřetene	$n$	6000 ot/min
Řezná rychlost	$v_c$	1187,5 m/min

Tabulka 2: Parametry obrábění první měřené součásti experimentu 1

Veličina	Značení	Hodnota
Rychlost posuvu	$v_f$	1800 mm/min
Posuv na otáčku	$f_{OT}$	0,27 mm
Otáčky vřetene	n	6000 ot/min
Řezná rychlost	$v_c$	1187,5 m/min

Tabulka 3: Parametry obrábění druhé měřené součásti experimentu 1

Veličina	Značení	Hodnota
Rychlost posuvu	$v_f$	6400 mm/min
Posuv na otáčku	$f_{OT}$	0,8 mm
Otáčky vřetene	n	8000 ot/min
Řezná rychlost	$v_c$	1187,5 m/min

Tabulka 4: Parametry obrábění třetí měřené součásti experimentu 1

### 6.1.2 Popis dílu 295 – Těleso olejového čerpadla

Díl 295 (obrázek 20) je součástí motoru 1.2 TSI. Jedná se o těleso olejového čerpadla (excentrické zubové čerpadlo). Je vyráběno pro německou firmu SHW Automotive GmbH, která provádí kompletaci dílu a následnou distribuci do koncernu Volkswagen.



Obrázek 19: Detail měřené plochy díl 295 [19]

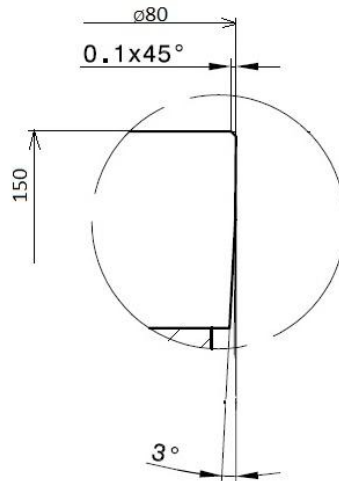
Na obrázku 19 je detail měřené plochy. Tato plocha je opět plochou těsnicí, a z tohoto důvodu je zde předepsána drsnost v intervalu Rz 10–25  $\mu\text{m}$ . Na tuto plochu bude při montáži nanášeno lepidlo.



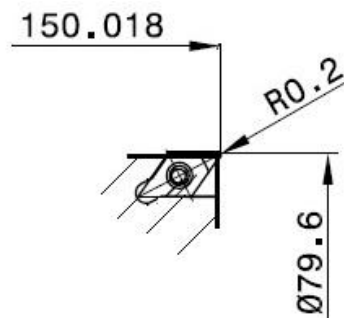
Obrázek 20: Pohled díl 295

Obrábění bylo provedeno na stroji SW BA 322 (obrázek 7). Stejně jako u dílu 346 bylo měření drsnosti provedeno pomocí přístroje Mitutoyo Surftest SJ – 410 (obrázek 9).

Nástrojem byla šestibřitá fréza s průměrem  $D = 80$  mm. Břitové destičky jsou z PKD. ZBD je připevněna šroubem, tzn. je vyměnitelná. Zbylé destičky jsou pájené. Oproti zbylým pěti břitovým destičkám je ZBD předsazena o  $0,018$  mm, dle výkresové dokumentace. Na obrázku 21 je detail břitové destičky. Na obrázku 22 je pohled na ZBD.



Obrázek 21: Detail břitové destičky [20]



Obrázek 22: Zdrsňující břitová destička [20]

Tabulky 5-7 obsahují parametry obrábění pro 3 měřené součásti experimentu 2. Tabulky 5–7 obsahují řezné podmínky k jednotlivým měřeným součástem. Zvolené veličiny, které můžeme měnit, jsou rychlost posuvu  $v_f$  a otáčky vřetene  $n$ . Posuv na otáčku  $f_{OT}$  a řezná rychlost  $v_c$  jsou další veličiny, které dostaneme ze vztahů vypsanych dále. Pro výpočet posuvu na otáčku  $f_{OT}$  vyjdeme ze vzorce  $f_{OT} = v_f/n$ . Řeznou rychlost vypočteme dle vztahu  $v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$ , kde  $D$  je průměr frézy [7].

Veličina	Značení	Hodnota
Rychlost posuvu	$v_f$	3400 mm/min
Posuv na otáčku	$f_{OT}$	0,42 mm
Otáčky vřetene	$n$	8000 ot/min
Řezná rychlost	$v_c$	2011 m/min

Tabulka 5: Parametry obrábění první měřené součásti experimentu 2

Veličina	Značení	Hodnota
Rychlost posuvu	$v_f$	2400 mm/min
Posuv na otáčku	$f_{OT}$	0,3 mm
Otáčky vřetene	n	8000 ot/min
Řezná rychlost	$v_c$	2011 m/min

Tabulka 6: Parametry obrábění druhé měřené součásti experimentu 2

Veličina	Značení	Hodnota
Rychlost posuvu	$v_f$	5000 mm/min
Posuv na otáčku	$f_{OT}$	0,63 mm
Otáčky vřetene	n	8000 ot/min
Řezná rychlost	$v_c$	2011 m/min

Tabulka 7: Parametry obrábění třetí měřené součásti experimentu 2

### 6.1.3 Popis dílu 222 – část krytu skříně řetězu

Díl 222 (obrázek 23) je odléván tlakovým litím ze slitiny hliníku AlSi2Cu3(Fe). Jedná se o díl vyráběný pro německou společnost Daimler AG. Konkrétně se tento díl montuje do aut Mercedes Benz jako součást krytu skříně řetězu.



Obrázek 23: Pohled dílu 222

Pro měření dílu 222 byla důležitá těsnicí frézovaná plocha, kde bylo třeba dosáhnout hladkého povrchu, tzn. co možná nejmenší hodnoty parametru drsnosti Rz. Hladkého povrchu bylo třeba dosáhnout proto, že na tuto plochu přijde nalisovat těsnění (obrázek 24).



Obrázek 24: Měřená plocha s těsněním

Měření proběhlo kontrolně na dvou plochách v rámci jednoho kusu. Jednou z měřených ploch na díle 222 byla část těsnicí plochy, kde vybíhá fréza po dokončení obráběcího procesu, v textu plocha B (obrázek 26), kde může docházet k výkyvům hodnot parametru drsnosti Rz.

Další plocha měřená na daném díle je rovná část těsnicí plochy vyobrazená na obrázku 25 (v textu plocha A).



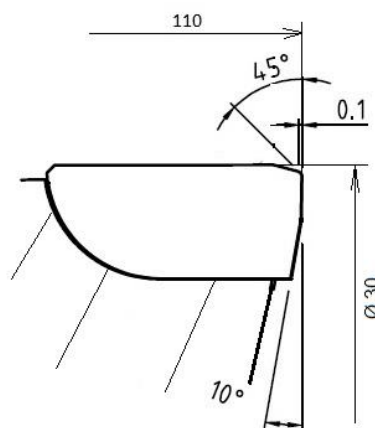
Obrázek 25: Detail plochy A



Obrázek 26: Detail plochy B

Obrábění bylo provedeno na CNC obráběcím centru SW BA 322 (obrázek 7). Stejně jako u dílu 346 bylo měření drsnosti provedeno pomocí přístroje Mitutoyo Surftest SJ – 410 (obrázek 9).

Těsnicí plocha dílu 222 je obráběna frézou o průměru  $D = 30$  mm, na které je šest břitových destiček (obrázek 27) z PKD. Všech šest břitových destiček je k tělu nástroje pájeno. Fréza je vyráběna firmou Mapal.



Obrázek 27: Břitová destička [21]

Řezné podmínky zvolené pro díl 222 jsou vypsány v tabulkách 8 a 9. V tabulce 8 jsou řezné podmínky pro první měřenou součást experimentu 3 a tabulka 9 obsahuje řezné podmínky druhé měřené součásti experimentu 3. Zvolené veličiny, které můžeme měnit, jsou rychlost posuvu  $v_f$  a otáčky vřetene  $n$ . Posuv na otáčku  $f_{OT}$  a řezná rychlost  $v_c$  jsou další veličiny, které dostaneme ze vztahů vypsanych dále. Pro výpočet posuvu na otáčku  $f_{OT}$  vyjdeme ze vzorce  $f_{OT} = v_f/n$ . Řeznou rychlost vypočteme dle vztahu  $v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$ , kde  $D$  je průměr frézy [7].



Veličina	Značení	Hodnota
Rychlost posuvu	$v_f$	3000 mm . min <sup>-1</sup>
Posuv na otáčku	$f_{OT}$	0,3 mm
Otáčky vřetene	n	10000 min <sup>-1</sup>
Řezná rychlost	$v_c$	943 m . min <sup>-1</sup>

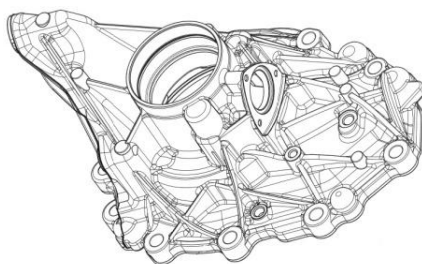
Tabulka 8: Parametry obrábění první měřené součásti experimentu 3

Veličina	Značení	Hodnota
Rychlost posuvu	$v_f$	4000 mm . min <sup>-1</sup>
Posuv na otáčku	$f_{OT}$	0,4 mm
Otáčky vřetene	n	10000 min <sup>-1</sup>
Řezná rychlost	$v_c$	943 m . min <sup>-1</sup>

Tabulka 9: Parametry obrábění druhé měřené součásti experimentu 3

#### 6.1.4 Popis dílu 348 – část skříně převodovky

Díl 348 (obrázek 28) je vyráběn pro firmu Magna International Europe GmbH. Jedná se o masivní díl ze slitiny hliníku AlSi9Cu4(Fe) určený pro převodovou skříň.



Obrázek 28: Pohled díl 348 [22]

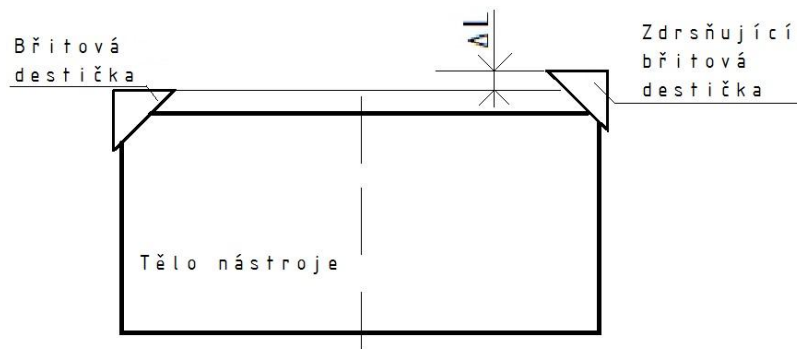
Detail měřené plochy je znázorněn na obrázku 29. Jedná se o dosedací a těsnicí plochu součásti. Na tuto plochu se nanáší lepidlo, kterým je k součásti přilepeno těsnění.



Obrázek 29: Detail měřené plochy dílu 348

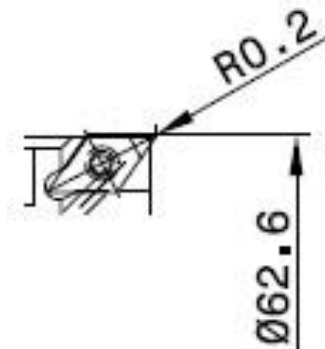
Díl 348 je obráběn na CNC frézovacím centru SW BA 322 (obrázek 7). K měření drsnosti je užito přístroje Mitutoyo Surftest SJ – 410 (obrázek 9).

Nástrojem je šestibřitá fréza, o průměru  $D = 63$  mm, vyráběná firmou Walter. Značení frézy je F4700-7147315. Jedna z šesti břitových destiček (detail břitové destičky na obrázku 32) je tzv. zdrsňující břitová destička (obrázek 31). Všechny břitové destičky včetně té zdrsňující jsou vyrobeny z PKD. Zdrsňující břitová destička je vyměnitelná. Ostatní břitové destičky jsou k tělu nástroje pájené.

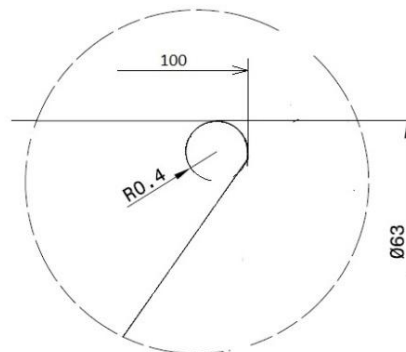


Obrázek 30: Nastavení zdrsňující břitové destičky

Zdrsňující břitová destička je speciální břitová destička s rozdílnou geometrií břitu oproti ostatním břitovým destičkám nástroje. Využívá se v případech, kdy je potřeba cíleně zhoršovat drsnost povrchu součásti. Díky jejímu předsunutí (neboli vysunutí) oproti ostatním břitovým destičkám (viz obrázek 30) na nástroji se dá zvyšovat hodnota drsnosti povrchu obrobeneé plochy. Na obrázku 30 je vysunutí zdrsňující břitové destičky označeno jako  $\Delta L$ .



Obrázek 31: Zdrsňující břitová destička [23]



Obrázek 32: Detail břitové destičky [23]

V rámci měření tohoto dílu budou zvoleny dvě hodnoty vysunutí ZBD. První vysunutí ZBD je o 0,020 mm oproti ostatním břitovým destičkám na nástroji. Druhá hodnota vysunutí ZBD je 0,013 mm.



Veličina	Značení	Hodnota
Rychlost posuvu	$v_f$	8500 mm . min <sup>-1</sup>
Posuv na otáčku	$f_{OT}$	1 mm
Otáčky vřetene	n	8500 min <sup>-1</sup>
Řezná rychlost	$v_c$	1683 m . min <sup>-1</sup>

Tabulka 10: Parametry obrábění první a druhé měřené součásti experimentu 4

Tabulka 10 obsahuje řezné podmínky zvolené pro díl 348. Rychlost posuvu i otáčky vřetene jsou pro obě měřené součásti experimentu 4 stejné. S tím související parametry obrábění, řezná rychlost  $v_c$  a posuv na otáčku  $f_{OT}$ , se spočítají dle následujících vztahů. Pro výpočet posuvu na otáčku  $f_{OT}$  vyjdeme ze vzorce  $f_{OT} = v_f/n$ . Řeznou rychlost vypočteme dle vztahu  $v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$ , kde D je průměr frézy [7].

## 7 Výsledky měření

Výsledky měření a konečné vypočtené hodnoty parametru drsnosti Rz pro jednotlivé hodnocené díly jsou zaznamenány v níže uvedených tabulkách. Výsledné vypočtené hodnoty jsou brány jako aritmetický průměr pěti naměřených hodnot. Ke každé vypočtené výsledné hodnotě parametru drsnosti Rz je stanoven konfidenční interval dle normy ČSN ISO 2602.

Experiment 1 je označení pro měření všech čtyř měřených součástí dílu 346. Experiment 2 je označení pro měření všech čtyř měřených součástí dílu 295. Experiment 3 je označení pro měření všech čtyř měřených součástí dílu 222. Experiment 4 je označení pro měření všech čtyř měřených součástí dílu 348.

### 7.1 Výsledky experimentu 1

Výsledky měření experimentu 1, tedy měření dílu 346 (část skříně převodovky) jsou znázorněny v tabulkách 11 až 13. V nich je zaznamenáno číslo měření daného kusu  $i$ , označení měřeného kusu (např. kus 1A), dále naměřená hodnota drsnosti povrchu Rz (označeno  $x_i$  [ $\mu\text{m}$ ]) a vypočtená hodnota Rz včetně konfidenčního intervalu.

V rámci tohoto experimentu bylo provedeno nejen hodnocení vlivu rychlosti posuvu na velikost parametru drsnosti Rz, ale i hodnocení, jaký vliv má nastavení drsnoměru na výslednou hodnotu parametru drsnosti Rz. Toto hodnocení se provedlo u první měřené součásti. Proto jsou jednotlivé kusy označeny nejen čísly, ale i písmeny A a B. Písmeno A je pro nastavení drsnoměru (0,8x5) mm a písmeno B pro nastavení drsnoměru (2,5x2) mm.

#### 7.1.1 První měřená součást experimentu 1

První měřená součást experimentu 1, která byla měřena nastavením drsnoměru (0,8x5) mm má výsledky zaznamenány v tabulce 11. Pro nastavení drsnoměru (2,5x2) mm jsou výsledky zaznamenány v tabulce 12. První měřená součást experimentu 1 byla obrobena se zvolenými obráběcími parametry vypsanými v tabulce 2 (kapitola 5.5.1).

První měřená součást experimentu 1 – nastavení drsnoměru (0,8x5) mm				
i	kus 1A	kus 2A	kus 3A	kus 4A
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	19,217	15,79	18,722	21,405
2	21,703	19,968	25,348	20,673
3	26,019	25,310	24,055	24,091
4	24,020	22,937	21,701	23,127
5	21,903	18,316	22,837	20,193
<b>Rz</b>	<b>(22,6 ± 3,6)</b>	<b>(20,5 ± 5,2)</b>	<b>(22,5 ± 3,5)</b>	<b>(21,9 ± 2,3)</b>

Tabulka 11: Výsledky – První měřená součást experimentu 1 – nastavení drsnoměru (0,8x5) mm

Výsledné hodnoty Rz se pohybují v rozmezí 20,5–22,6  $\mu\text{m}$ . Nejvyšší hodnota byla spočtena u kusu 1A, kde se rovná (22,6±3,6)  $\mu\text{m}$ . Nejmenší hodnota Rz, která se rovná (20,5±5,2)  $\mu\text{m}$ ,

je u kusu 2A. Procentuální chyba měření, která je vztažena k vypočtené hodnotě Rz, je nejvyšší právě u nejmenší vypočtené hodnoty Rz a to tedy u kusu 2A, kde se procentuální chyba měření rovná cca 24 %. Nejmenší procentuální chyba měření je u kusu 4A. Zde je procentuální chyba měření rovna přibližně 10,5 % z vypočtené hodnoty parametru drsnosti Rz, která se rovná 21,9  $\mu\text{m}$ . Chyba měření u první měřené součásti experimentu 1 při nastavení drsnoměru (0,8x5) mm je tedy velmi velká.

<b>První měřená součást experimentu 1 – nastavení drsnoměru (2,5x2) mm</b>				
i	kus 1B	kus 2B	kus 3B	kus 4B
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	31,068	34,822	33,259	32,701
2	37,976	34,829	31,020	34,920
3	34,702	36,025	39,84	34,705
4	31,088	31,095	36,281	38,335
5	40,078	39,270	31,057	39,759
<b>Rz</b>	<b>(35,0 <math>\pm</math> 5,6)</b>	<b>(35,2 <math>\pm</math> 4,1)</b>	<b>(34,3 <math>\pm</math> 5,2)</b>	<b>(35,1 <math>\pm</math> 2,7)</b>

Tabulka 12: Výsledky – První měřená součást experimentu 1 – nastavení drsnoměru (2,5x2) mm

První měřená součást s nastavením drsnoměru (2,5x2) mm, má výsledky v tabulce 12. Vypočtené hodnoty parametru drsnosti povrchu Rz se pohybují v rozmezí 34,3–35,2  $\mu\text{m}$ . Nejmenší vypočtená hodnota je u kusu 3B, kde se rovná (34,3 $\pm$ 5,2)  $\mu\text{m}$ . Nejvyšší hodnota Rz je u hodnoceného kusu 2B. Kus 2B má hodnotu Rz rovnu (35,2 $\pm$ 4,1)  $\mu\text{m}$ . Procentuální chyba měření se pohybuje v rozmezí 8–16 % z vypočtené hodnoty Rz. Nejvyšší chyba měření je u kusu 1B, kde je konfidenční interval roven  $\pm$ 5,6  $\mu\text{m}$  a rovná se cca 16 % z vypočtené hodnoty Rz. Nejmenší procentuální chyba měření je u dílu 4B. Zde se konfidenční interval rovná  $\pm$ 2,7  $\mu\text{m}$ , tedy přibližně 8 % z vypočtené hodnoty Rz. I pro nastavení drsnoměru na hodnoty (2,5x2) mm jsou chyby měření vysoké.

### 7.1.2 Druhá měřená součást experimentu 1

Druhá měřená součást experimentu 1, která byla obrobena s nastavenými obráběcími podmínkami vypsány v tabulce 3, má výsledky v tabulce 13. U této součásti nebylo provedeno hodnocení vlivu drsnoměru. Všechny čtyři hodnocené kusy byly změřeny pomocí nastavení drsnoměru (0,8x5) mm.

Výsledky parametru drsnosti Rz se nacházejí v intervalu 6,7–7,1  $\mu\text{m}$ . Tedy rozdíl mezi nejmenší a největší hodnotou jsou pouhé 0,3  $\mu\text{m}$ . Nejvyšší vypočtená hodnota Rz je u hodnoceného kusu 3, kde se rovná 7,1 $\pm$ 0,7  $\mu\text{m}$  a nejnižší hodnota Rz je u kusu 2, kde se rovná 6,7 $\pm$ 0,3  $\mu\text{m}$ . Chyba měření se procentuálně pohybuje od 3 do 10 % z vypočtené hodnoty parametru drsnosti Rz. Nejnižší chyba měření je u hodnoceného kusu 4, kde je konfidenční interval roven hodnotě  $\pm$ 0,2  $\mu\text{m}$  a procentuální chyba měření se rovná cca 3 %. Nejvyšší chyba měření je u kusu 3, kde konfidenční interval má hodnotu  $\pm$ 0,7  $\mu\text{m}$  a procentuální chyba měření se rovná cca 10 %.

<b>Druhá měřená součást experimentu 1 – nastavení drsnoměru (0,8x5) mm</b>				
i	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	6,361	6,452	6,804	7,009
2	7,125	6,557	7,909	6,803
3	7,002	7,012	6,755	6,672
4	6,985	6,790	7,100	6,899
5	6,701	6,601	7,029	6,727
<b>Rz</b>	<b>(6,8 ± 0,4)</b>	<b>(6,7 ± 0,3)</b>	<b>(7,1 ± 0,7)</b>	<b>(6,8 ± 0,2)</b>

Tabulka 13: Výsledky – druhá měřená součást experimentu 1

### 7.1.3 Třetí měřená součást experimentu 1

V tabulce 14 jsou zaznamenány výsledky pro třetí měřenou součást experimentu 1. Tato součást byla obrobena se zvolenými řeznými podmínkami vypsány v tabulce 4. Třetí měřená součást byla, stejně jako druhá měřená součást, změřena pouze nastavením s drsnoměru (0,8x5) mm.

<b>Třetí měřená součást experimentu 1 – nastavení drsnoměru (0,8x5) mm</b>				
i	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	31,377	30,202	31,006	33,620
2	30,723	31,285	32,317	32,803
3	33,705	31,755	32,921	30,709
4	33,501	33,864	33,852	30,791
5	30,839	33,020	32,027	31,388
<b>Rz</b>	<b>(32,0 ± 2,0)</b>	<b>(32,0 ± 2,0)</b>	<b>(32,4 ± 1,5)</b>	<b>(31,9 ± 1,8)</b>

Tabulka 14: Výsledky – třetí měřená součást experimentu 1

Výsledky třetí měřené součásti se opět příliš neliší. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou vypočteného Rz je 0,5  $\mu\text{m}$ . Tedy interval, ve kterém se vypočtené hodnoty Rz pro třetí měřenou součást pohybují, je 31,9–32,4  $\mu\text{m}$ . Nejvyšší hodnota Rz je u kusu 4 a rovná se (31,9±1,8)  $\mu\text{m}$ . Nejnižší hodnota Rz je u kusu 3 a rovná se (32,4±1,5)  $\mu\text{m}$ . Procentuální chyba měření u třetí měřené součásti se pohybuje v rozmezí 5–6 % z vypočtené hodnoty parametru drsnosti Rz. Nejmenší procentuální chyba se vyskytuje u kusu 3, kde se rovná právě 5 %. Měřené kusy 1, 2 a 4 mají stejně velkou procentuální odchylku, která se rovná cca 6 %.

## 7.2 Výsledky experimentu 2

### 7.2.1 První měřená součást experimentu 2

První měřená součást má výsledky vypsané v tabulce 15. Všechny čtyři kusy této měřené součásti mají obráběcí parametry vypsané v tabulce 5.

První měřená součást experimentu 2				
I	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	15,165	15,180	15,160	15,050
2	15,100	15,099	15,210	15,167
3	15,152	15,201	15,107	15,148
4	15,020	14,998	15,159	15,141
5	15,079	15,190	15,171	15,180
<b>Rz</b>	<b>(15,1 ± 0,1)</b>	<b>(15,1 ± 0,1)</b>	<b>(15,2 ± 0,1)</b>	<b>(15,1 ± 0,1)</b>

Tabulka 15: Výsledky – První měřená součást experimentu 2

Interval, ve kterém se výsledné hodnoty Rz pro první měřenou součást experimentu 2 pohybují, je 15,1–15,2  $\mu\text{m}$ . Hodnocené kusy 1, 2 a 4 mají vypočtenou hodnotu Rz rovnající se (15,1±0,1)  $\mu\text{m}$ . Hodnota Rz hodnoceného kusu 3 se rovná (15,2±0,1)  $\mu\text{m}$ . Procentuální chyba měření první měřené součásti je velice malá. Pro kusy 1, 2 a 4, které mají, kromě stejné výsledné hodnoty Rz, také shodný konfidenční interval, se procentuální chyba měření rovná přibližně 0,6 % z vypočteného Rz. Kus 3 má chybu měření vztahovou k vypočtené hodnotě Rz rovnu přibližně 1,3 %.

### 7.2.2 Druhá měřená součást experimentu 2

Tabulka 16 obsahuje výsledky pro druhou měřenou součást experimentu 2, jejíž všechny 4 kusy byly obrobena s nastavenými řeznými podmínkami vypsány v tabulce 6.

Vypočtené hodnoty Rz všech čtyř obrobenech kusů jsou stejné. Tedy všechny čtyři kusy mají hodnotu parametru drsnosti povrchy rovnu 14,4  $\mu\text{m}$ . Jediné, v čem se hodnocené kusy liší, je velikost chyby měření. Zatímco pro kusy 1, 2 a 4 se chyba měření vyjádřená v procentech z výsledné hodnoty parametru drsnosti Rz rovná 0,7 %, kus 3 má chybu rovnu cca 1,7 %. Tedy konfidenční interval pro kusy 1, 2 a 4 je roven ±0,2  $\mu\text{m}$  a pro kus 3 je roven ±0,1  $\mu\text{m}$ .

<b>Druhá měřená součást experimentu 2</b>				
N	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	14,470	14,389	14,460	14,385
2	14,403	14,207	14,469	14,208
3	14,481	14,699	14,232	14,412
4	14,395	14,433	14,457	14,459
5	14,205	14,408	14,390	14,481
<b>Rz</b>	<b>(14,4 ± 0,2)</b>	<b>(14,4 ± 0,2)</b>	<b>(14,4 ± 0,1)</b>	<b>(14,4 ± 0,2)</b>

Tabulka 16: Výsledky – druhá měřená součást experimentu 2

### 7.2.3 Třetí měřená součást experimentu 2

Tabulka 17 obsahuje výsledky pro třetí měřenou součást experimentu 2, jejíž všechny 4 kusy byly obrobena s nastavenými řeznými podmínkami vypsány v tabulce 7.

<b>Třetí měřená součást experimentu 2</b>				
N	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	15,339	15,279	15,328	15,350
2	15,405	15,400	15,321	15,327
3	15,411	15,381	15,345	15,416
4	15,420	15,372	15,333	15,362
5	15,303	15,379	15,409	15,336
<b>Rz</b>	<b>(15,4 ± 0,1)</b>	<b>(15,4 ± 0,1)</b>	<b>(15,3 ± 0,1)</b>	<b>(15,4 ± 0,1)</b>

Tabulka 17: Výsledky – třetí měřená součást experimentu 2

Kusy 1, 2 a 4 mají shodnou hodnotu Rz rovnu  $(15,4 \pm 0,1) \mu\text{m}$ . Velikost Rz u kusu tři se oproti ostatním třem kusům liší pouze o  $0,1 \mu\text{m}$  a rovná se  $(15,3 \pm 0,1) \mu\text{m}$ . Konfidenční interval všech 4 hodnocených kusů třetí měřené součásti experimentu 2 je shodný a má hodnotu  $\pm 0,1 \mu\text{m}$ . Procentuální chyba měření stanovená k vypočtené hodnotě Rz je pro všechny čtyři hodnocené kusy přibližně 0,65 %.

### 7.3 Výsledky experimentu 3

Experiment 3 byl změřen na těsnicí ploše dílu 222 (část krytu skříně řetězu) na dvou místech. Prvním místem byla rovná plocha zobrazená na obrázku 25, druhou plochou je část těsnicí plochy, kde vybíhá fréza po dokončení obráběcího procesu (obrázek 26). Pro odlišení je první zmíněná plocha označena písmenem A a část těsnicí plochy, kde vybíhá fréza po dokončení

obráběcího procesu je označena písmenem B. Ke každému z nastavených řezných podmínek budou obrobena vždy čtyři kusy, které budou změřeny na obou zmíněných plochách.

### 7.3.1 První měřená součást experimentu 3

Výsledky měření na rovné ploše, tedy ploše A pro první měřenou součást experimentu 3 jsou v tabulce 18. Tabulka 19 pak obsahuje výsledky na část těsnicí plochy, kde vybíhá fréza po dokončení obráběcího procesu, tedy na ploše s označením B. Obráběcí parametry jsou vypsány v tabulce 8.

<b>První měřená součást experimentu 3 – A1</b>				
N	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	1,19	1,18	1,36	1,36
2	1,20	1,26	1,37	1,20
3	1,34	1,31	1,25	1,17
4	1,33	1,34	1,16	1,37
5	1,38	1,38	1,21	1,25
<b>Rz</b>	<b>(1,29 ± 0,12)</b>	<b>(1,29 ± 0,11)</b>	<b>(1,27 ± 0,13)</b>	<b>(1,27 ± 0,13)</b>

Tabulka 18: Výsledky – první měřená součást experimentu 3 – A1

<b>První měřená součást experimentu 3 – B1</b>				
N	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,89	0,93	0,92	0,89
2	0,90	0,91	0,92	0,91
3	0,91	0,89	0,87	0,92
4	0,92	0,89	0,88	0,93
5	0,91	0,92	0,89	0,88
<b>Rz</b>	<b>(0,91 ± 0,02)</b>	<b>(0,91 ± 0,03)</b>	<b>(0,90 ± 0,03)</b>	<b>(0,90 ± 0,03)</b>

Tabulka 19: Výsledky – první měřená součást experimentu 3 – B1

Nejvyšší hodnotu Rz u první měřené součásti experimentu 3 měřené na ploše A mají kusy 1 a 2. Hodnota Rz pro kus 1 se rovná  $(1,29 \pm 0,12)$   $\mu\text{m}$  a pro kus 2 se rovná  $(1,29 \pm 0,11)$   $\mu\text{m}$ . Zbylé dva změřené kusy, tedy kusy 3 a 4, mají hodnotu Rz rovnu  $(1,27 \pm 0,13)$   $\mu\text{m}$ . Chyba měření vyjádřená v procentech pro čtyři změřené kusy se pohybuje od 8,5 % do 10,2 %. Procentuální chyba je vztahena k vypočtené hodnotě Rz. Nejmenší procentuální chybu měření je u kusu 2 a je rovna 8,5 % a největší procentuální chybu měření byla spočtena pro kusy 3 a 4 a je rovna 10,2 %.

Hodnocený kus 1 má hodnotu  $R_z$  rovnu  $(0,91 \pm 0,02) \mu\text{m}$  a hodnocený kus 2 má hodnotu  $R_z$  rovnu  $(0,91 \pm 0,03) \mu\text{m}$ . Zbylé dva kusy mají velikost  $R_z$   $(0,90 \pm 0,03) \mu\text{m}$ . Procentuální chyba měření kusu 1 je 2,2 % a je nejmenší ze všech 4 měřených kusů první měřené součásti měřené na ploše B. Největší procentuální chybu, která se rovná cca 3,3 %, mají shodně kusy 3 a 4.

### 7.3.2 Druhá měřená součást experimentu 3

Tabulky 20 a 21 obsahují výsledky pro druhou měřenou součást experimentu 3. Tabulka 20 obsahuje výsledky pro rovnou plochu A a tabulka 21 obsahuje výsledky z plochy B. Řezné podmínky pro druhou měřenou součást experimentu 3 jsou vypsány v tabulce 9.

<b>Druhá měřená součást experimentu 3 – A2</b>				
n	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	1,52	1,52	1,54	1,53
2	1,54	1,56	1,55	1,52
3	1,55	1,53	1,53	1,55
4	1,53	1,53	1,54	1,53
5	1,54	1,52	1,53	1,55
<b>Rz</b>	<b>(1,54 ± 0,01)</b>	<b>(1,53 ± 0,02)</b>	<b>(1,54 ± 0,01)</b>	<b>(1,54 ± 0,02)</b>

Tabulka 20: Výsledky – druhá měřená součást experimentu 3 – A2

<b>Druhá měřená součást experimentu 3 – B2</b>				
n	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	0,83	0,87	0,87	0,83
2	0,82	0,87	0,84	0,88
3	0,87	0,84	0,85	0,86
4	0,84	0,84	0,85	0,85
5	0,85	0,83	0,83	0,84
<b>Rz</b>	<b>(0,84 ± 0,03)</b>	<b>(0,85 ± 0,03)</b>	<b>(0,85 ± 0,02)</b>	<b>(0,85 ± 0,03)</b>

Tabulka 21: Výsledky – druhá měřená součást experimentu 3 – B2

Kusy 1 a 3 měřené na ploše A mají výslednou hodnotu  $R_z$   $(1,54 \pm 0,01) \mu\text{m}$ , kus 4 měřený na ploše A má výslednou hodnotu  $R_z$  rovnu  $(1,54 \pm 0,02) \mu\text{m}$ . Hodnota parametru drsnosti  $R_z$  pro kus 2 měřený na ploše A vyšla  $(1,53 \pm 0,02) \mu\text{m}$ . Chyba měření vyjádřená v procentech z výsledné hodnoty  $R_z$  se pohybuje v rozmezí od 0,7 % do 1,3 %, přičemž nejmenší chyba měření je u kusů 1 a 3 a největší procentuální chyba je u kusu 2.

Kusy 2 a 4 měřené na ploše B mají shodnou výslednou  $R_z$  rovnající se  $(0,85 \pm 0,03) \mu\text{m}$ . Kus 2 měřený na ploše B, jehož výsledná hodnota  $R_z$  se rovná  $(0,85 \pm 0,02) \mu\text{m}$ , má nejmenší



hodnotu chyby měření vyjádřenou v procentech z vypočtené hodnoty Rz a rovná se přibližně 2,4 %. Největší procentuální chybu měření má kus 1, která se rovná přibližně 3,6 %. Výsledná hodnota kusu 1 měřeného na ploše B je  $(0,84 \pm 0,03) \mu\text{m}$ .

## 7.4 Výsledky experimentu 4

V rámci experimentu 4 bylo provedeno hodnocení vlivu nastavení ZBD frézy na výslednou drsnost povrchu frézované plochy. Řezné podmínky pro první i druhou měřenou součást experimentu 4 jsou vypsány v tabulce 10. Hodnoty nastavení ZBD jsou vypsány v kapitole 5.5.4.

### 7.4.1 První měřená součást experimentu 4

ZBD pro první měřenou součást experimentu 4 byla vysunuta o 0,020 mm oproti ostatním břitovým destičkám na nástroji. Ostatní řezné podmínky jsou vypsány v tabulce 10. Tabulka 22 pak obsahuje výsledky z měření první měřené součásti experimentu 4.

První měřená součást experimentu 4				
n	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]	$x_i$ [ $\mu\text{m}$ ]
1	28,6	30,4	27,7	27,9
2	27,7	27,9	28,3	27,9
3	28,7	28,1	28,7	30,1
4	27,6	28,1	28,7	28,6
5	27,7	28,0	27,9	28,2
<b>Rz</b>	<b>(28,1 ± 0,8)</b>	<b>(28,5 ± 1,5)</b>	<b>(28,3 ± 0,6)</b>	<b>(28,5 ± 1,3)</b>

Tabulka 22: Výsledky – první měřená součást experimentu 4

Nejmenší vypočtená hodnota Rz je u kusu 1 a rovná se  $(28,1 \pm 0,8) \mu\text{m}$ . Pro kus 2 vychází hodnota Rz rovna  $(28,5 \pm 1,5) \mu\text{m}$  a pro kus 4 je hodnota Rz rovna  $(28,5 \pm 1,3) \mu\text{m}$ . Procentuální chyba měření vztážená k vypočtené hodnotě Rz se pohybuje v intervalu od 2 % do přibližných 5 %. Nejmenší chybu má kus 1 a největší chybu měření je pak u kusu 2.

### 7.4.1 Druhá měřená součást experimentu 4

Druhá měřená součást experimentu 4 byla obrobena frézou, jejíž ZBD byla vysunuta oproti ostatním břitovým destičkám nástroje o 0,013 mm. Tedy oproti první měřené součásti došlo k jejímu zasunutí o 0,007 mm. Řezné podmínky, kterými byly kusy druhé měřené součásti obrobena, jsou v tabulce 10. Tabulka 23 obsahuje výsledky, které byly naměřeny pro druhou měřenou součást experimentu 4.

<b>Druhá měřená součást experimentu 4</b>				
n	kus 1	kus 2	kus 3	kus 4
	$x_i$ [μm]	$x_i$ [μm]	$x_i$ [μm]	$x_i$ [μm]
1	18,8	18,9	16,4	18,7
2	16,8	17,3	18,2	17,8
3	17,5	17,2	18,8	22,6
4	22,6	20,9	20,7	16,8
5	19,3	20,2	19,9	20,0
<b>Rz</b>	<b>(19,0 ± 3,1)</b>	<b>(18,9 ± 2,3)</b>	<b>(18,8 ± 2,3)</b>	<b>(19,2 ± 3,1)</b>

Tabulka 23: Výsledky – druhá měřená součást experimentu 4

Hodnota Rz pro kus 3 je rovna  $(18,8 \pm 2,3)$  μm a je to nejmenší naměřená hodnota. Nejvyšší naměřená hodnota Rz je u kusu 4 a je rovna  $(19,2 \pm 3,1)$  μm. Výsledná hodnota Rz pro kus 1 je rovna  $(19,0 \pm 3,1)$  μm a pro kus 2 je rovna  $(18,9 \pm 2,3)$  μm. Procentuální chyba měření se pohybuje od 12 do 16 % z vypočtené hodnoty Rz. Nejmenší chyba měření je u kusu 3, kde je konfidenční interval roven  $\pm 2,3$  μm a procentuální chyba měření je rovna cca 12 %. Největší chyba měření je u kusu 1, kde se konfidenční interval rovná  $\pm 3,1$  μm a procentuální chyba měření je rovna cca 16 %.

## 8 Vyhodnocení měření

### 8.1 Vyhodnocení měření experimentu 1

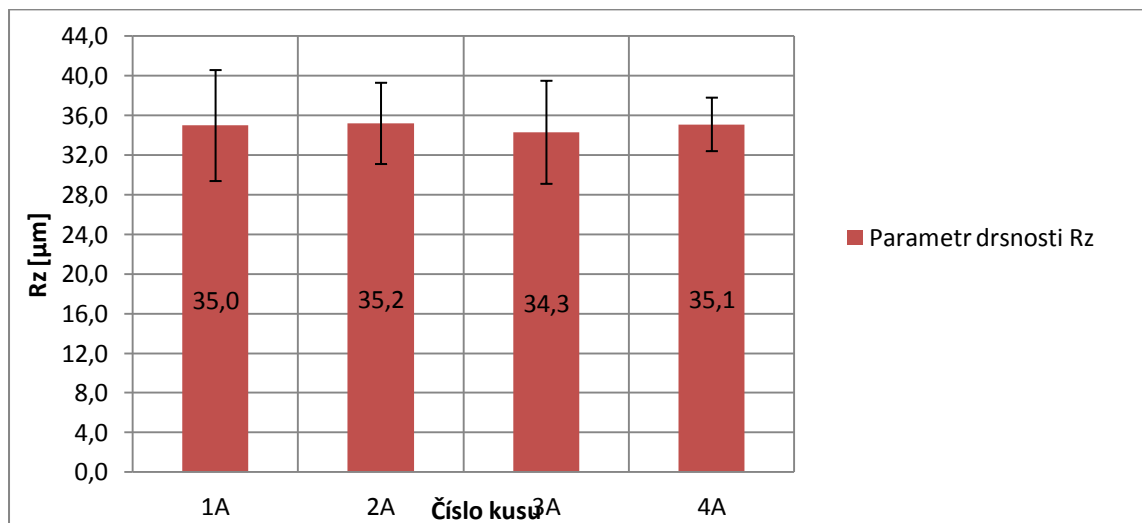
Díl 346 má stanovenou velikost parametru drsnosti Rz, která je daná intervalem 10–30  $\mu\text{m}$  (obrázek 14) při nastavení drsnoměru (0,8x5) mm. U první měřené součásti se hodnotí i vliv nastavení drsnoměru na výslednou hodnotu parametru drsnosti Rz. Bude se srovnávat nastavení (0,8x5) mm a (2,5x2) mm. Vyhodnocení vlivu nastavení drsnoměru na výslednou hodnotu parametru drsnosti Rz je provedeno pouze pro první měřenou součást experimentu 1.

#### 8.1.1 Vyhodnocení – první měřená součást experimentu 1

Jak již bylo zmíněno výše, první měřená součást byla měřena dvojím nastavením drsnoměru. V tabulce 24 jsou vypsány hodnoty parametru drsnosti Rz při nastavení (2,5x2) mm.

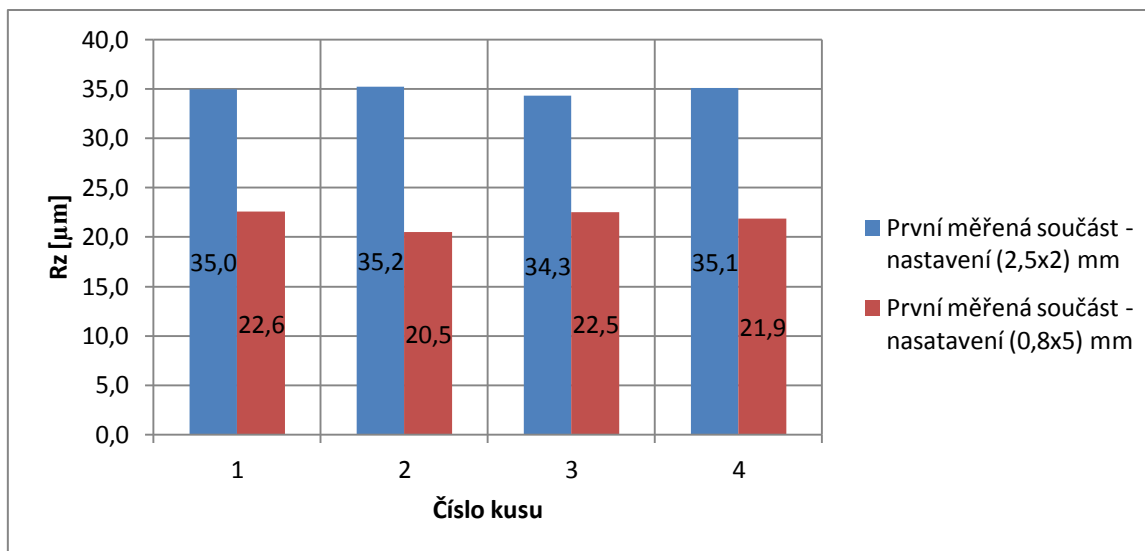
Kus	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Krajní chyba [ $\mu\text{m}$ ]	Konfidenční interval [ $\mu\text{m}$ ]	
1B	35,0	0,2	5,6	-5,6
2B	35,2	0,12	4,1	-4,1
3B	34,3	0,15	5,2	-5,2
4B	35,1	0,08	2,7	-2,7
$\bar{x}$	<b>34,9</b>	<b>0,13</b>	<b>4,4</b>	<b>-4,4</b>

Tabulka 24: Hodnoty drsnosti pro první měřenou součást experimentu 1 – nastavení drsnoměru (2,5x2) mm



Obrázek 33: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu první měřené součásti experimentu 1 při nastavení drsnoměru (2,5x2) mm

Při porovnání hodnot v tabulkách 24 a 26, kde jsou vypsány hodnoty parametru drsnosti pro nastavení drsnoměru (0,8x5) mm, je vidět značný rozdíl hodnot Rz. Tento rozdíl je ještě patrnější při pohledu na graf na obrázku 34. Například při měření kusu 2 (kusy 2A a 2B), kde hodnota Rz pro kus 2A vyšla 20,5  $\mu\text{m}$  a pro kus 2B vyšla 35,2  $\mu\text{m}$ , došlo k procentuálnímu rozdílu hodnot 75 %. Tedy hodnota parametru drsnosti Rz u kusu 2B je o 75% větší než je tomu u kusu 2A. Proto je zcela zřejmé, že vliv nastavení drsnoměru na výsledné stanovení hodnoty parametru drsnosti Rz je značný.



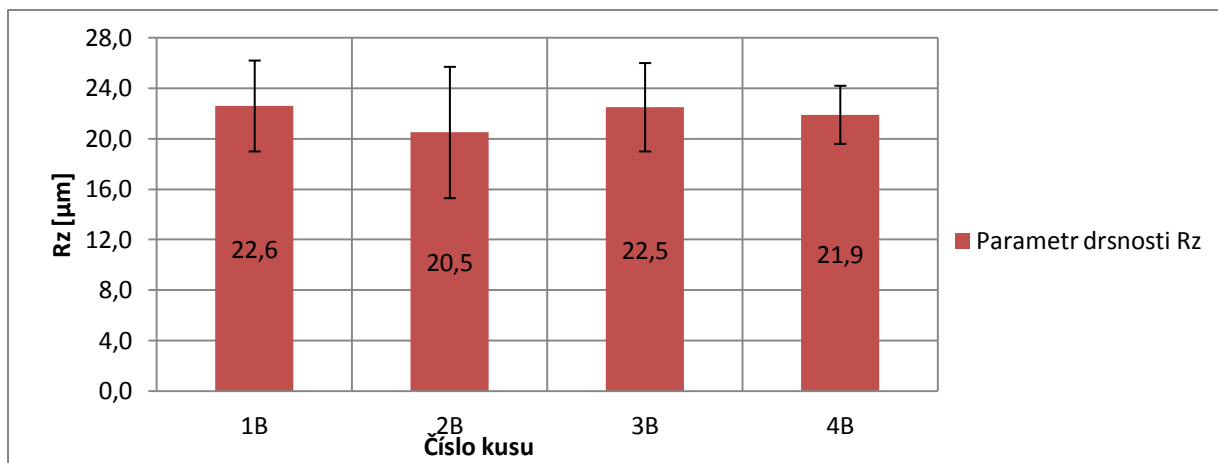
Obrázek 34: Srovnání výsledných hodnot Rz pro první měřenou součást experimentu 1

Průměrná hodnota Rz, která byla spočtena ze čtyř výsledných hodnot Rz, vyšla pro nastavení drsnoměru (2,5x2) mm 34,9 μm. Tedy při nastavení (2,5x2) mm se do výkresem stanoveného intervalu parametru drsnosti Rz nevejdeme, jelikož spočtená průměrná hodnota Rz pro toto nastavení drsnoměru překračuje maximální hodnotu intervalu rovnající se 30 μm v průměru o 4,9 μm. V tabulce 25 je vypočtená průměrná hodnota z výsledných hodnot kusů 1A–4A pro nastavení drsnoměru (0,8x5) mm. Tato hodnota je rovna 21,9 μm. To bezpečně splňuje interval uvedený na výkrese, jelikož je menší o 8,1 μm než nejvyšší hodnota předepsaného intervalu a o 11,9 μm větší než minimální hodnota předepsaného intervalu, která je 10 μm.

Kus	Rz [μm]	Krajní chyba [μm]	Konfidenční interval [μm]	
1A	22,6	0,20	3,6	-3,6
2A	20,5	0,25	5,2	-5,2
3A	22,5	0,16	3,5	-3,5
4A	21,9	0,11	2,3	-2,3
$\bar{x}$	<b>21,9</b>	<b>0,17</b>	<b>3,7</b>	<b>-3,7</b>

Tabulka 25: Hodnoty drsnosti pro první měřenou součást experimentu 1 – nastavení drsnoměru (0,8x5) mm

Z grafů na obrázcích 33 a 35 lze vyčíst rozdíly hodnot Rz při měření jednotlivých kusů z různého časového období. Při nastavení drsnoměru na hodnotu (2,5x2) mm dosahujeme nejvyššího rozdílu mezi měřeními u kusu 4A a 3A. Zde se hodnoty Rz liší o 0,8 μm. Při nastavení (0,8x5) mm máme nejvyšší rozdíl v hodnotách Rz mezi kusy 1B a 2B. Zde je rozdíl hodnot Rz roven 2,1 μm. Graf na obrázku 34 znázorňuje graficky rozdíl mezi výslednými hodnotami obou nastavení drsnoměru. Je patrné, že nejvyššího rozdílu hodnot bylo dosaženo u měřeného kusu číslo 2, kde se rozdíl hodnot Rz rovná 14,7 μm.



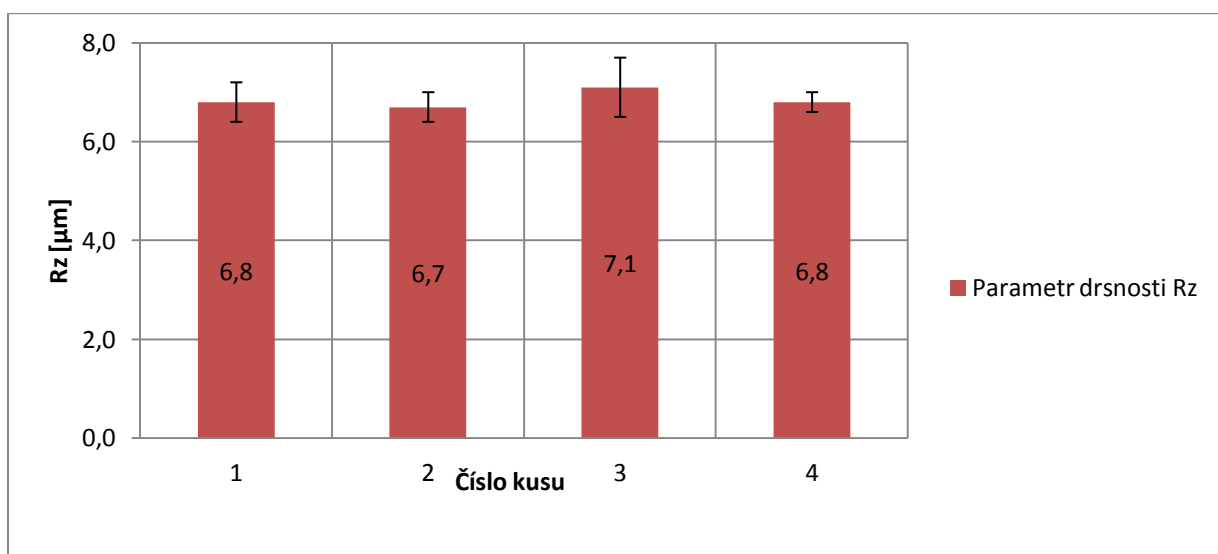
Obrázek 35: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu první měřené součásti experimentu 1 při nastavení drsnoměru (0,8x5) mm

### 8.1.2 Vyhodnocení – druhá měřená součást experimentu 1

Druhá měřená součást dílu 346 byla změřena pouze nastavením drsnoměru (0,8x5) mm. Tedy stanovuje se u ní pouze vliv rychlosti posuvu na drsnost povrchu. Průměrná hodnota se rovná 6,9 μm, což je o cca 3 μm menší hodnota než spodní hodnota intervalu předepsaného výkresem (obrázek 14), která se rovná 10 μm. Z tohoto důvodu je druhá měřená součást nevyhovující.

Kus	Rz [μm]	Krajní chyba [μm]	Konfidenční interval [μm]	
1	6,8	0,10	0,4	-0,4
2	6,7	0,04	0,3	-0,3
3	7,1	0,08	0,6	-0,6
4	6,8	0,03	0,2	-0,2
$\bar{x}$	<b>6,9</b>	<b>0,1</b>	<b>0,4</b>	<b>-0,4</b>

Tabulka 26: Hodnoty drsnosti pro druhou měřenou součást experimentu 1 – nastavení drsnoměru (0,8x5) mm



Obrázek 36: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu druhé měřené součásti experimentu 1

Procentuální chyba průměrné hodnoty pro druhou měřenou součást je přibližně 1,5 %. Tedy stabilita obrábění druhé měřené součásti je výborná. Z grafu na obrázku 36 je vidět, že největší rozdíl ve výsledných hodnotách je mezi kusem 2 a 3. Tento rozdíl hodnot je 0,4  $\mu\text{m}$ .

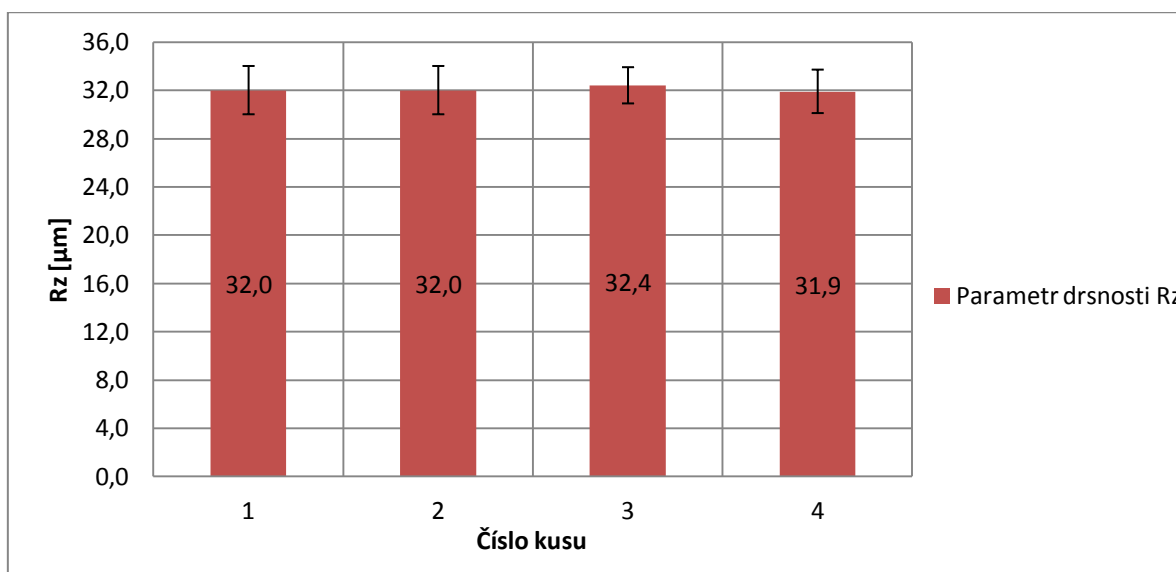
### 8.1.3 Vyhodnocení - třetí měřená součást experimentu 1

Třetí měřená součást dílu 346 taktéž nesplňuje požadavek stanovený intervalem drsnosti Rz 10–30  $\mu\text{m}$ . Z tabulky 27 je patrné, že výsledné hodnoty drsnosti převyšují stanovený interval, a tedy není možné tento posuv použít do běžného provozu a obrábět s ním sériově. Průměr výsledných hodnot je 32,1  $\mu\text{m}$ , který je o cca 2  $\mu\text{m}$  větší než maximální hodnota intervalu stanoveného výkresem (obrázek 14).

Kus	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Krajní chyba [ $\mu\text{m}$ ]	Konfidenční interval [ $\mu\text{m}$ ]	
1	32,0	0,10	2,0	-2,0
2	32,0	0,10	2,0	-2,0
3	32,4	0,05	1,5	-1,5
4	31,9	0,10	1,8	-1,8
$\bar{x}$	<b>32,1</b>	<b>0,1</b>	<b>1,8</b>	<b>-1,8</b>

Tabulka 27: Výsledné hodnoty drsnosti pro třetí měřenou součást experimentu 1

Stabilita obrábění vyšla pro tuto součást výborně. Průměrná hodnota má procentuální chybu pohybující se kolem 0,6 %. Největší rozdíl hodnot, který je vidět v grafu na obrázku 37 je mezi kusy 3 a 4. Rozdíl má hodnotu 0,5  $\mu\text{m}$ .



Obrázek 37: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu třetí měřené součásti experimentu 1

## 8.2 Vyhodnocení měření dílu 295

Jak již bylo v metodice měření zmíněno, důležité pro měření je vejít se do stanoveného intervalu drsnosti Rz 10–25  $\mu\text{m}$  viz obrázek 19. Proto budou výsledky porovnány vzhledem ke stanovenému intervalu. Výsledky jsou zapsány v tabulkách a pro názornost jsou vytvořeny i sloupcové grafy.

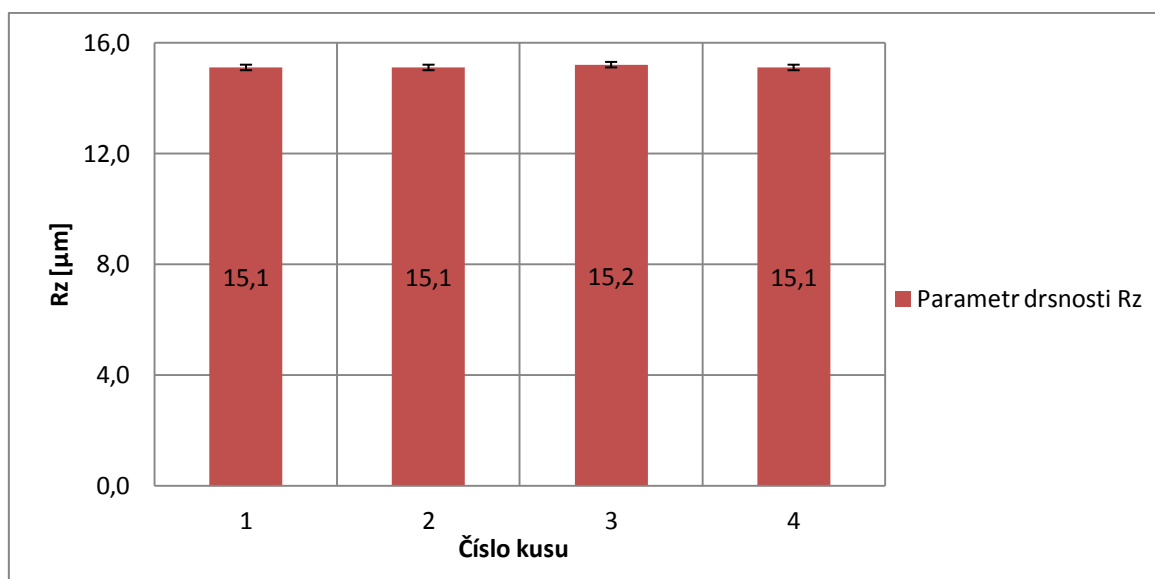
### 8.2.1 Vyhodnocení – První měřená součást experimentu 2

První měřená součást experimentu 2 měla průměrnou hodnotu výsledků parametru drsnosti Rz 15,1  $\mu\text{m}$ . Tedy je patrné, že se s přehledem vejde do stanoveného intervalu 10–25  $\mu\text{m}$ . Odchylka hodnot, která je vidět v grafu na obrázku 38, je minimální, resp. jedná se o odchylku 0,1  $\mu\text{m}$ . Taktéž hodnoty konfidenčního intervalu jsou velice malé a chyba měření je tak minimální.

Kus	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Krajní chyba [ $\mu\text{m}$ ]	Konfidenční interval [ $\mu\text{m}$ ]	
1	15,1	0,01	0,1	-0,1
2	15,1	0,01	0,1	-0,1
3	15,2	0,01	0,1	-0,1
4	15,1	0,01	0,1	-0,1
$\bar{x}$	15,1	0,01	0,1	-0,1

Tabulka 28: Hodnoty drsnosti pro první měřenou součást experimentu 2

K výkyvům hodnot parametru drsnosti Rz dochází, jak je vidět v níže uvedeném grafu, mezi kusy 2, 3, resp. 3, 4. V obou případech se jedná o již zmíněnou odchylku 0,1  $\mu\text{m}$ , což je přibližně 0,7 % z průměrné hodnoty parametru drsnosti Rz (15,1  $\mu\text{m}$ ), která je uvedená v tabulce 28.



Obrázek 38: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu první měřené součásti experimentu 2

Z grafu na obrázku 38 je vidět, že chyba měření je zanedbatelná. Procentuální chyba z vypočtené hodnoty Rz se pohybuje v intervalu od 0,6 % do 1,3 %.

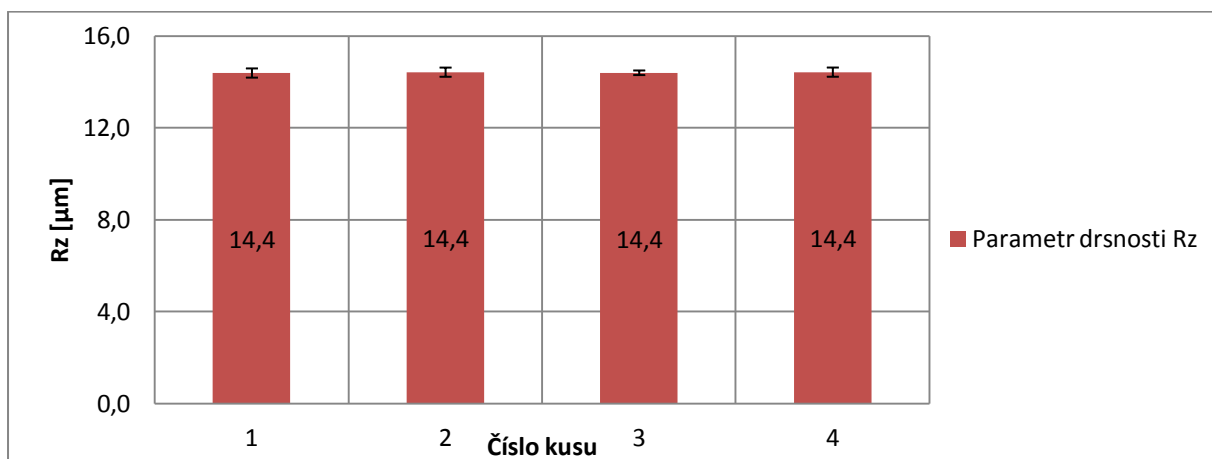
### 8.2.2 Vyhodnocení – druhá měřená součást experimentu 2

Tabulka 29 obsahuje vypsané výsledné hodnoty všech čtyř kusů vč. jejich krajních odchylek a konfidenčních intervalů. Dále je v tabulce 29 vypočtený průměr všech čtyř hodnot parametru drsnosti Rz vč. spočteného konfidenčního intervalu patřícího k průměrné hodnotě. Průměrná hodnota je 14,4  $\mu\text{m}$ , což opět splňuje interval stanovený výkresem (obrázek 19).

Kus	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Krajní chyba [ $\mu\text{m}$ ]	Konfidenční interval [ $\mu\text{m}$ ]	
1	14,4	0,01	0,2	-0,2
2	14,4	0,01	0,2	-0,2
3	14,4	0,01	0,1	-0,1
4	14,4	0,01	0,2	-0,2
$\bar{x}$	<b>14,4</b>	<b>0,01</b>	<b>0,2</b>	<b>-0,2</b>

Tabulka 29: Hodnoty drsnosti pro druhou měřenou součást experimentu 2

Odchytky výsledných hodnot jsou nulové. Stabilita měření je tedy výborná. Chyba měření je také velmi nízká. Procentuálně vyjádřeno se chyba měření pohybuje v intervalu 0,7–1,7 %. V grafu na obrázku 39 jsou znázorněny výsledné hodnoty Rz spolu s chybou měření.



Obrázek 39: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu druhé měřené součásti experimentu 2

### 8.2.3 Vyhodnocení – třetí měřená součást experimentu 2

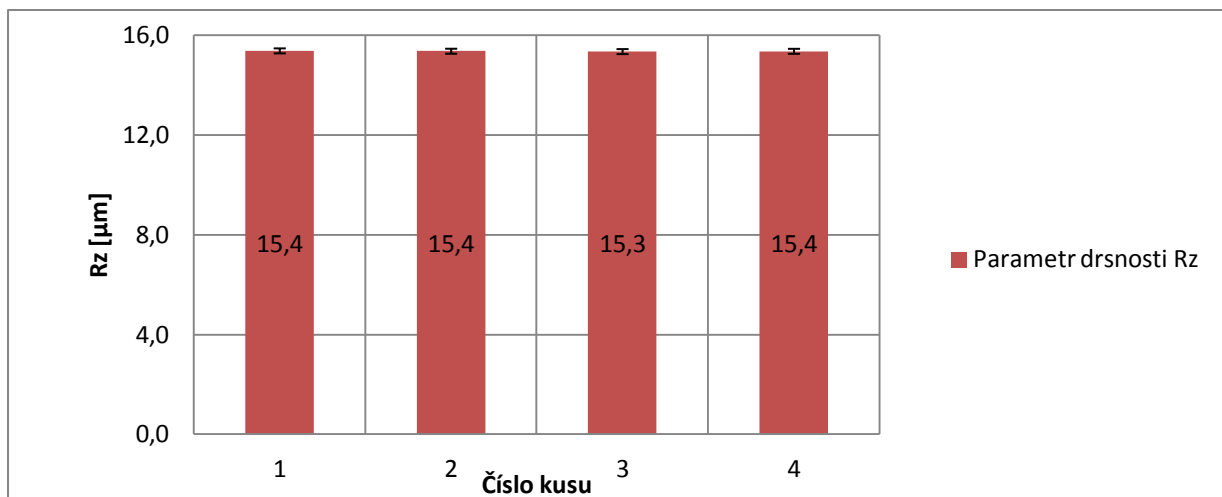
I u třetí měřené součásti je průměrná hodnota ve stanoveném intervalu Rz 10–25  $\mu\text{m}$  (obrázek 19). Odchytka pro toto měření je taktéž minimální. Jedná se o odchytku v řádu desetiny  $\mu\text{m}$ . Konfidenční interval se pohybuje u všech čtyř měřených kusů od -0,1  $\mu\text{m}$  do 0,1  $\mu\text{m}$ . V tabulce 30 jsou zaznamenány všechny vypočtené hodnoty parametru drsnosti Rz, krajní chyby měření a konfidenčního intervalu pro všechny čtyři testované kusy třetí měřené součásti experimentu 2.

Kus	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Krajní chyba [ $\mu\text{m}$ ]	Konfidenční interval [ $\mu\text{m}$ ]	
1	15,4	0,01	0,1	-0,1
2	15,4	0,01	0,1	-0,1
3	15,3	0,01	0,1	-0,1
4	15,4	0,01	0,1	-0,1
$\bar{x}$	<b>15,4</b>	<b>0,01</b>	<b>0,1</b>	<b>-0,1</b>

Tabulka 30: Výsledné hodnoty pro třetí měřenou součást experimentu 2

V grafu na obrázku 40 je vidět vychýlení hodnot u kusů 2, 3 a 3, 4. Zde se objevuje již zmíněná odchytko 0,1  $\mu\text{m}$ . Chyba měření pro třetí měřenou součást experimentu 2 je zanedbatelná. Chyba měření vyjádřená v procentech z vypočtené hodnoty Rz je cca 0,65 %. Graf na obrázku 40 obsahuje výsledné hodnoty Rz včetně vypočtených chyb měření.





Obrázek 40: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu třetí měřené součásti experimentu 2

### 8.3 Vyhodnocení měření dílu 222

Díl 222 byl obroben se dvěma nastaveními řezných podmínek (tabulky 8 a 9). Pro tento díl byly k měření vybrány dvě plochy, na kterých se stanovily hodnoty parametru drsnosti Rz pomocí drsnoměru. Pro tuto součást je důležité, aby hodnoty parametru drsnosti Rz byly maximálně 10 μm.

#### 8.3.1 Vyhodnocení – první měřená součást experimentu 3

Obrázek 41 obsahuje graf, ve kterém jsou znázorněny výsledky pro první měřenou součást experimentu 3, která je měřena na ploše A (rovná plocha těsnicí plochy dílu 222). Hodnoty mají odchylku pouze 0,02 μm. Stabilita obrábění je tedy dobrá.

Kus	Rz [μm]	Krajní chyba [μm]	Konfidenční interval [μm]	
1	1,29	0,09	0,12	-0,12
2	1,29	0,09	0,11	-0,11
3	1,27	0,10	0,13	-0,13
4	1,27	0,10	0,13	-0,13
$\bar{x}$	<b>1,28</b>	<b>0,10</b>	<b>0,12</b>	<b>-0,12</b>

Tabulka 31: Výsledné hodnoty pro první měřenou součást experimentu 3 - A1

Kus	Rz [μm]	Krajní chyba [μm]	Konfidenční interval [μm]	
1	0,91	0,02	0,02	-0,02
2	0,91	0,03	0,03	-0,03
3	0,90	0,03	0,03	-0,03
4	0,90	0,03	0,03	-0,03
$\bar{x}$	<b>0,91</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>-0,03</b>

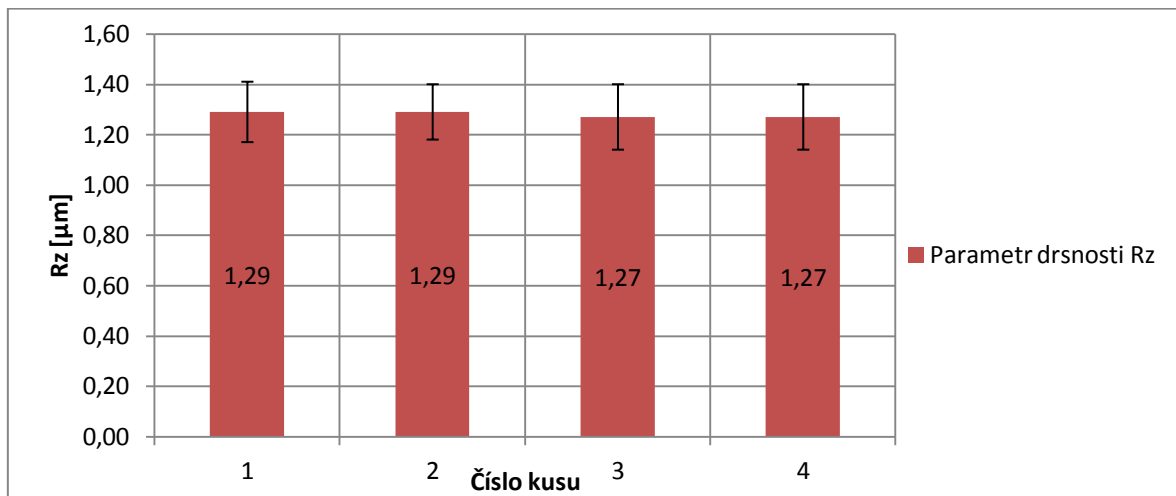
Tabulka 32: Výsledné hodnoty pro první měřenou součást experimentu 3 - B1

V tabulce 31 jsou vypsány výsledné hodnoty a průměrná hodnota výsledných hodnot pro plochu A. Průměrná hodnota parametru drsnosti Rz pro měřenou součást číslo jedna

experimentu 3 na ploše A se rovná  $1,28 \mu\text{m}$ . Procentuální odchylka této průměrné hodnoty se rovná  $9,4 \%$ .

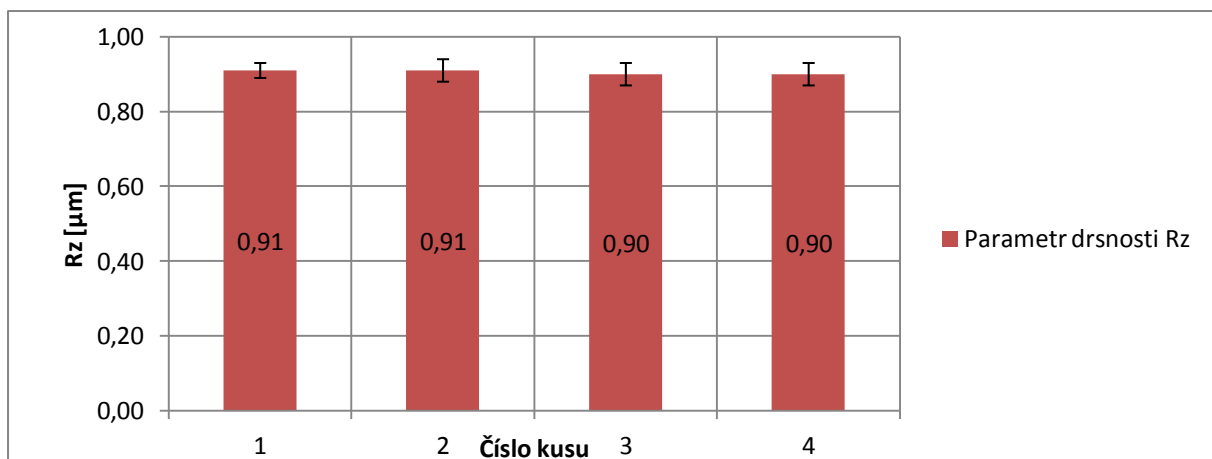
V tabulce 32 jsou vypsány výsledné hodnoty první měřené součásti experimentu 3 měřené na ploše B. Průměrná hodnota parametru drsnosti na této ploše je  $0,91 \mu\text{m}$  s procentuální chybou  $3,3 \%$ . Rozdíl průměrných hodnot drsnosti povrchu Rz na ploše A a B je  $0,37 \mu\text{m}$ , což je cca  $41 \%$  z hodnoty parametru drsnosti Rz pro plochu B.

Stabilita drsnosti povrchu pro první měřenou součást změřenou na ploše A je zobrazena v grafu na obrázku 41. Z něj je patrné, že mezi kusy 2 a 3 dojde k poklesu hodnot. Jedná se o pokles o  $0,2 \mu\text{m}$ . Chyba měření, která je na grafu znázorněná pomocí chybových úseček, je vysoká. Jedná se o chybu v rozmezí od  $8,5 \%$  do  $10,2 \%$ .



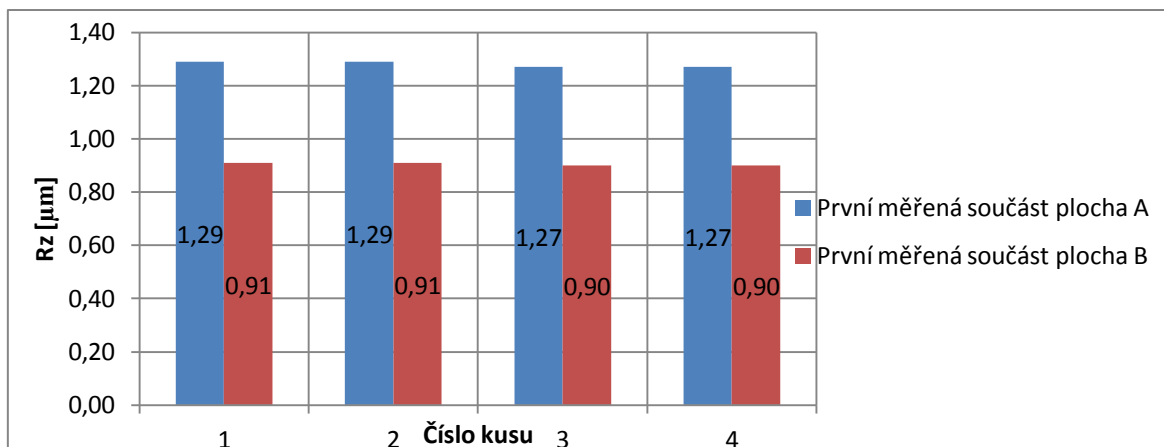
Obrázek 41: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu první měřené součásti experimentu 3 - A1

Na obrázku 42 je zobrazený graf s výsledky pro první měřenou součást změřenou na ploše B. Stejně jako na ploše A je patrný pokles hodnot mezi kusy 2 a 3. Zde je hodnota poklesu hodnoty parametru drsnosti Rz  $0,1 \mu\text{m}$ .



Obrázek 42: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu první měřené součásti experimentu 3 - B1

Graf na obrázku 43 porovnává výsledky z jednotlivých ploch první měřené součásti. Jak již bylo řečeno výše, průměrný rozdíl hodnot Rz mezi jednotlivými plochami je  $0,37 \mu\text{m}$ . Největší rozdíl hodnot Rz mezi jednotlivými plochami je u kusů 1 a 2, kde se rovná  $0,38 \mu\text{m}$ .



Obrázek 43: Srovnání hodnot plochy A a B první měřené součásti experimentu 3

Měření na obou hodnocených plochách bylo vyhovující. Hodnota Rz jak na výběhu frézy, tak na rovné části těsnicí plochy byla do 10 μm.

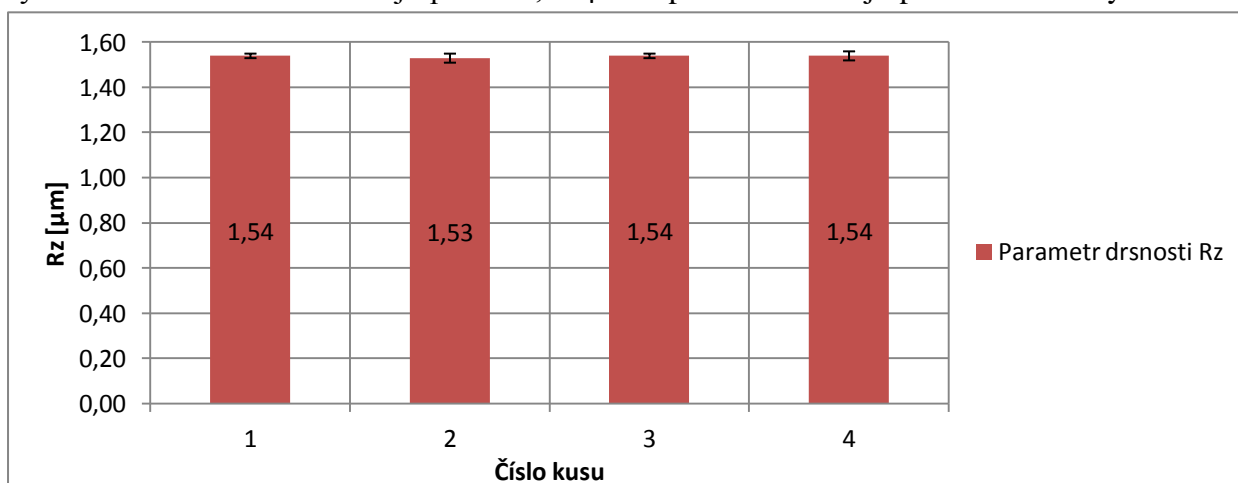
### 8.3.2 Vyhodnocení - druhá měřená součást experimentu 3

Průměrná hodnota parametru drsnosti Rz pro druhou měřenou součást na ploše A (tabulka 33) se rovná 1,54 μm s procentuální odchylkou 1,3 %. Při porovnání této hodnoty s první měřenou součástí měřenou na stejné ploše je rozdíl 0,26 μm. Rozdíl mezi první a druhou měřenou součástí, měřený na ploše A, je přibližně 20 % z hodnoty první měřené součásti.

Kus	Rz [μm]	Krajní chyba [μm]	Konfidenční interval [μm]	
1	1,54	0,01	0,01	-0,01
2	1,53	0,01	0,02	-0,02
3	1,54	0,01	0,01	-0,01
4	1,54	0,01	0,02	-0,02
$\bar{x}$	<b>1,54</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>-0,02</b>

Tabulka 33: Výsledné hodnoty pro druhou měřenou součást experimentu 3 - A2

Stabilita drsnosti povrchu, která je vyobrazená ve sloupcovém grafu na obrázku 44, je výborná. Rozdíl v hodnotách je pouze 0,01 μm a pokles hodnot je pouze mezi kusy 1 a 2.



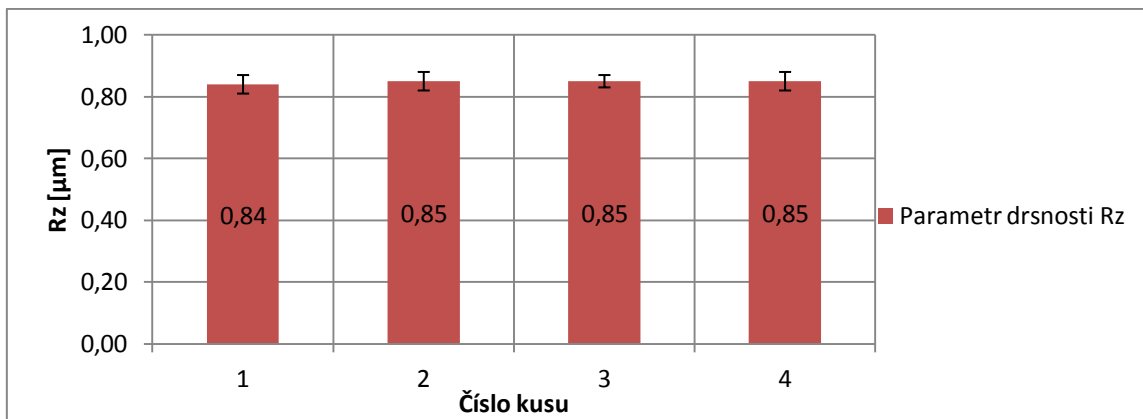
Obrázek 44: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu druhé měřené součásti experimentu 3 - A2

Průměrná hodnota parametru drsnosti Rz pro druhou měřenou součást, která byla měřena na ploše B, se rovná 0,85  $\mu\text{m}$ . Procentuální odchylka této vypočtené hodnoty je přibližně 3,5 %.

Kus	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Krajní chyba [ $\mu\text{m}$ ]	Konfidenční interval [ $\mu\text{m}$ ]	
1	0,84	0,04	0,03	-0,03
2	0,85	0,04	0,03	-0,03
3	0,85	0,02	0,02	-0,02
4	0,85	0,04	0,03	-0,03
$\bar{x}$	<b>0,85</b>	<b>0,03</b>	<b>0,03</b>	<b>-0,03</b>

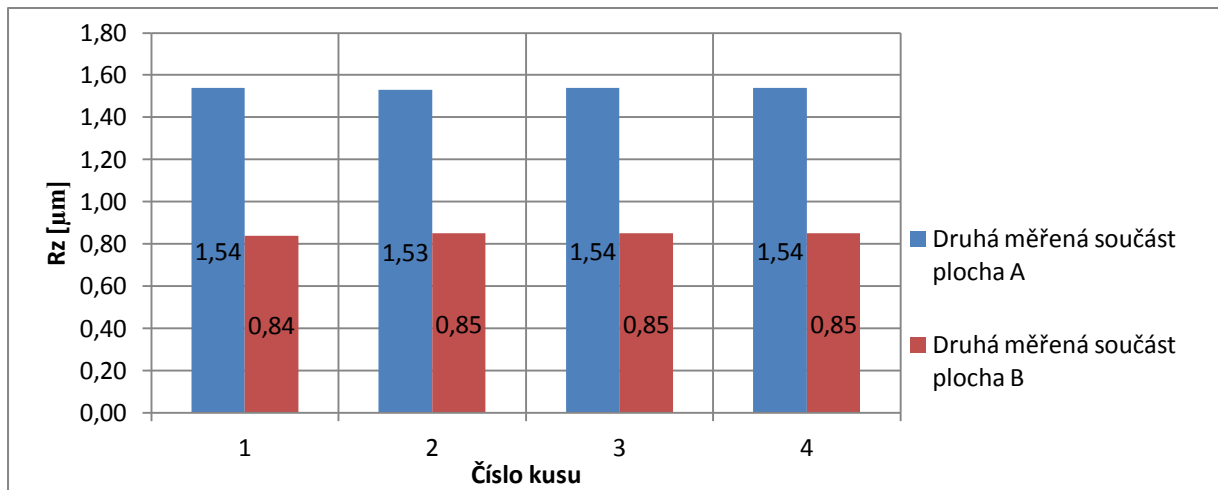
Tabulka 34: Výsledné hodnoty pro druhou měřenou součást experimentu 3 - B2

Stabilita drsnosti povrchu druhé měřené součásti experimentu 3 na ploše B (obrázek 45) je výborná. Odchylka hodnot je patrná pouze mezi kusy 1 a 2, kde dojde k nárůstu hodnoty parametru drsnosti Rz o 0,01  $\mu\text{m}$ .



Obrázek 45: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu druhé měřené součásti experimentu 3 - B2

Rozdíl průměrných hodnot parametru drsnosti Rz na ploše A a B je 0,69  $\mu\text{m}$ . Došlo tedy ke zvětšení rozdílu mezi jednotlivými plochami, kdy na ploše B došlo k poklesu oproti první měřené součásti hodnoty drsnosti povrchu Rz o 0,06  $\mu\text{m}$ . Při měření na ploše A pak došlo ke zvětšení hodnoty parametru drsnosti Rz oproti první měřené součásti o 0,26  $\mu\text{m}$ . Pro srovnání výsledků Rz na ploše A a B pro druhou měřenou součást je vyhotovený graf na obrázku 46.



Obrázek 46: Srovnání hodnot plochy A a B druhé měřené součásti experimentu 3

Také pro druhou měřenou součást platí, že splňuje stanovený požadavek a její hodnota drsnosti povrchu Rz je do 10 µm na obou měřených plochách.

## 8.4 Vyhodnocení měření dílu 348

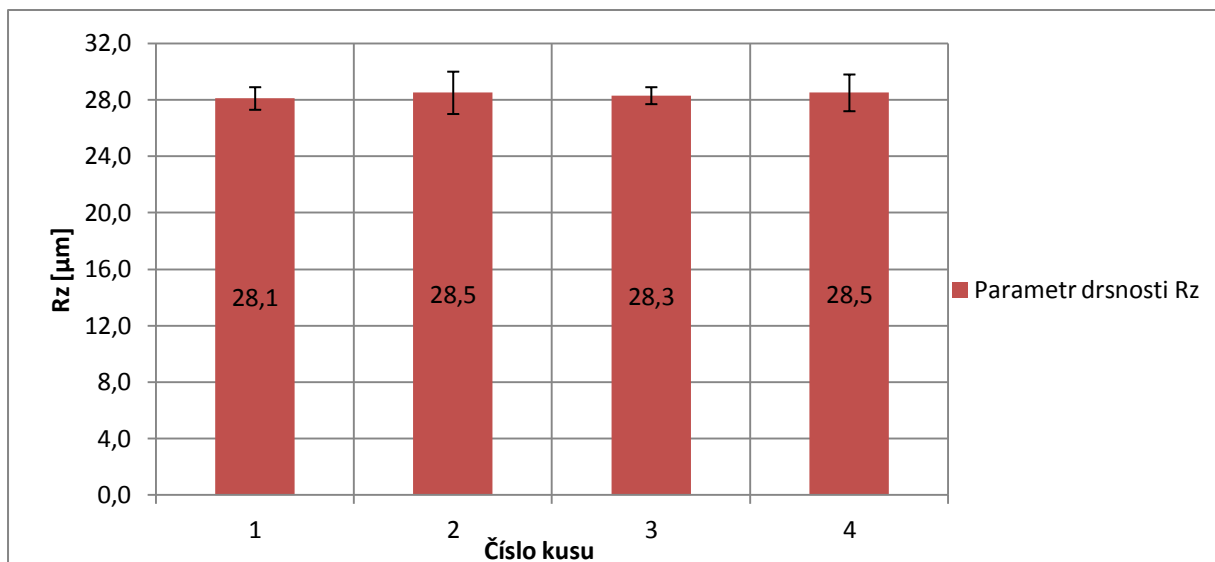
Díl 348 byl hodnocen z hlediska vlivu vysunutí tzv. zdršňující břitové destičky (ZBD) na výslednou kvalitu povrchu. Popis ZBD je v kapitole 5.5.4.

### 8.4.1 Vyhodnocení – první měřená součást experimentu 4

V tabulce 35 jsou vypsány výsledné hodnoty parametru drsnosti pro všechny čtyři testované kusy, které byly obrobena a změřeny v rámci první měřené součásti experimentu 4. Průměrná hodnota těchto čtyř výsledků vyšla  $(28,4 \pm 1)$  µm, tedy průměrná chyba vyjádřená v procentech je přibližně 3,5 %.

Kus	Rz [µm]	Krajní chyba [µm]	Konfidenční interval [µm]	
1	28,1	0,03	0,8	-0,8
2	28,5	0,05	1,5	-1,5
3	28,3	0,02	0,6	-0,6
4	28,5	0,05	1,3	-1,3
$\bar{x}$	<b>28,4</b>	<b>0,04</b>	<b>1,0</b>	<b>-1,0</b>

Tabulka 35: Výsledné hodnoty pro první měřenou součást experimentu 4



Obrázek 47: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu první měřené součásti experimentu 4

Stabilita obrábění první testované součásti je dobrá. Výsledky čtyř kusů měřených v rámci první měřené součásti experimentu 4 jsou zaneseny do grafu (viz obrázek 47). Jak lze vidět hodnoty parametru drsnosti Rz nijak extrémně nekolísají.

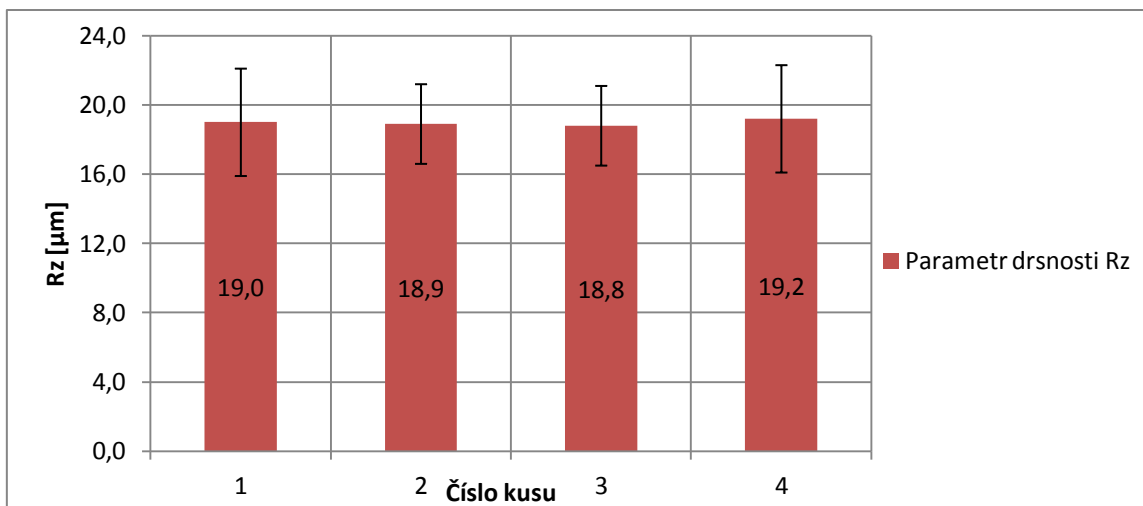
#### 8.4.2 Vyhodnocení – druhá měřená součást experimentu 4

Tabulka 36 obsahuje výsledky druhé měřené součásti experimentu 4. Jsou v ní vypsány hodnoty parametru drsnosti čtyř měřených kusů v rámci testování druhé měřené součásti. Z těchto čtyř hodnot je opět vypočten průměr vč. konfidenčního intervalu.

Kus	Rz [μm]	Krajní chyba [μm]	Konfidenční interval [μm]	
1	19,0	0,16	3,1	-3,1
2	18,9	0,12	2,3	-2,3
3	18,8	0,12	2,3	-2,3
4	19,2	0,16	3,1	-3,1
$\bar{x}$	<b>19,0</b>	<b>0,14</b>	<b>2,7</b>	<b>-2,7</b>

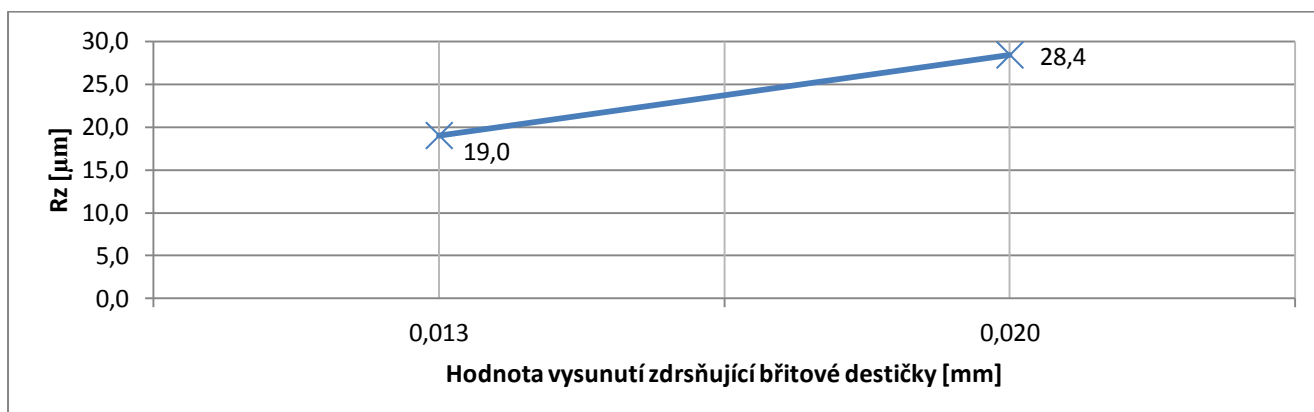
Tabulka 36: Výsledné hodnoty pro druhou měřenou součást experimentu 4

Průměrná hodnota parametru drsnosti Rz pro druhou měřenou součást experimentu 4 vyšla ( $19,0 \pm 2,7$ ) μm. Procentuální chyba této průměrné hodnoty je přibližně 14 %, což je v porovnání s první testovanou součástí (viz kapitola 7.4.1) znatelně větší chyba, jelikož u první testované součásti vyšla chyba průměrné hodnoty parametru drsnosti Rz cca 3,5 %.



Obrázek 48: Grafické znázornění stability drsnosti povrchu druhé měřené součásti experimentu 4

Stabilita obrábění, kterou lze vyčíst z grafu na obrázku 48 je dobrá. Výsledné hodnoty parametru drsnosti Rz mají odchylky v řádu desetin mikrometrů. Největší rozdíl je mezi kusy 3 a 4. Mezi těmi to kusy došlo k nárůstu drsnosti povrchu o 0,4 µm.



Obrázek 49: Trend hodnot parametru drsnosti Rz v závislosti na nastavení zdršňující břitové destičky

Na obrázku 49 je spojnicový graf, který znázorňuje trend, jakým roste drsnost povrchu po vysunutí ZBD vůči ostatním břitovým destičkám na fréze. Z grafu je patrné, že pouhé vysunutí o 0,007 mm má značný vliv na drsnost povrchu frézované plochy, jelikož se hodnota parametru drsnosti povrchu zvýší o 9,4 µm.

## 9 Závěr měření

Tato práce měla za cíl stanovit vliv řezných podmínek na výslednou hodnotu parametru drsnosti povrchu Rz. Za tímto účelem byly vybrány čtyři různé díly ve firmě KSM Castings CZ s.r.o. Na každém z vybraných dílů byla vybrána frézovaná plocha, která prošla vyhodnocením drsnosti povrchu pomocí parametru drsnosti Rz.

Prvním hodnoceným dílem byla část skříně převodovky pro společnost Magna International Europe GmbH, která v práci nese označení díl 346. Měření dílu 346 je v práci označeno experiment 1. Prvním cílem měření v rámci experimentu 1 bylo stanovit takovou rychlost posuvu, aby drsnost obrobené plochy byla v intervalu Rz 10–30  $\mu\text{m}$ . Tento interval Rz byl předepsán výkresem dílu 346. Pro obrábění byly stanoveny tři různé rychlosti posuvu. První rychlost posuvu byla rovna 3600 mm/min, druhá rychlost posuvu byla 1800 mm/min a třetí rychlost posuvu byla 6400 mm/min. Druhým cílem experimentu 1 bylo stanovit vliv nastavení drsnoměru na výslednou hodnotu parametru drsnosti Rz. Za tímto účelem byly zvoleny dvě nastavení drsnoměru. Prvním nastavením bylo (2,5x2) mm a druhým nastavením bylo (0,8x5) mm, kde 2,5 a 0,8 jsou měřené délky v milimetrech a hodnoty 2 a 5 jsou počet opakování měřené délky. Tzn. první měření na drsnoměru bylo na dráze 5 mm a druhé měření na drsnoměru bylo na dráze 4 mm. Ke každé ze zvolených rychlostí posuvu byly obrobena 4 kusy. Tedy celkem bylo obrobena 12 kusů. Tyto kusy byly změřeny 5x na vybrané ploše pomocí drsnoměru a velikost drsnosti byla vyhodnocena pomocí parametru drsnosti Rz.

Druhým dílem bylo těleso olejového čerpadla a v práci nese označení díl 295. Měření dílu 295 je v práci označeno experiment 2. Cílem měření v rámci experimentu 2 bylo stanovit takovou rychlost posuvu, aby drsnost obrobené plochy byla v intervalu Rz 10–25  $\mu\text{m}$ . Tento interval Rz byl předepsán výkresem dílu 295. Byly vybrány celkem 3 rychlosti posuvu. První rychlost posuvu byla 3400 mm/min, druhá rychlost posuvu byla 2400 mm/min a třetí rychlost posuvu byla 5000 mm/min. Kusy obrobené v rámci experimentu 2 byly na drsnoměru změřeny s nastavením drsnoměru (0,8x5) mm. Ke každé ze zvolených rychlostí posuvu byly obrobena 4 kusy. Tedy celkem bylo obrobena 12 kusů. Tyto kusy byly změřeny 5x na vybrané ploše pomocí drsnoměru a velikost drsnosti byla vyhodnocena pomocí parametru drsnosti Rz.

Třetím dílem byla část krytu skříně řetězu a v práci nese označení díl 222. Měření dílu 222 je v práci označeno experiment 3. Frézovaná plocha na tomto dílu je specifická tím, že na ní je třeba dosáhnout co nejmenší hodnoty parametru drsnosti povrchu Rz. Maximální hodnota Rz je výkresem dílu 222 předepsána na 10  $\mu\text{m}$ . Cílem měření v rámci experimentu 3 bylo stanovit takovou rychlost posuvu, aby se příliš nezměnila drsnost povrchu a hodnota parametru drsnosti Rz byla co nejmenší. Pro hodnocení byly vybrány dvě plochy. První měřená plocha byla rovná část těsnicí plochy dílu 222, pracovníě označena jako plocha A. Druhá měřená plocha byla část těsnicí plochy, kde vybíhá fréza po dokončení obráběcího procesu, v práci je tato plocha označena plocha B. Celkem byly vybrány dvě rychlosti posuvu. První rychlost posuvu měla hodnotu 3000 mm/min, druhá rychlost posuvu měla hodnotu 4000 mm/min. Ke každé ze zvolených rychlostí posuvu byly obrobena 4 kusy. Každý z kusů



byl na obou vybraných plochách (plocha A a plocha B) změřen 5x pomocí drsnoměru s nastavením drsnoměru (0,8x5) mm.

Posledním ze čtyř hodnocených dílů byla část skříně převodovky opět pro společnost Magna International Europe GmbH. Druhá hodnocená část skříně převodovky nese v práci označení díl 348. Měření dílu 348 je v práci označeno experiment 4. Díl 348 není totožný s dílem 346 (první měřený díl). V rámci tohoto dílu bylo provedeno hodnocení vlivu tzv. zdršňující břitové destičky (ZBD) na drsnost povrchu obrobené plochy. ZBD byla nejprve vysunuta o 0,02 mm před ostatní břitové destičky na fréze. Druhé vysunutí ZBD před ostatní břitové destičky mělo hodnotu 0,013 mm. Ke každému z nastavení ZBD byly obrobena celkem 4 kusy. Každý kus byl na vybrané ploše změřen 5x na drsnoměru s nastavením drsnoměru (2,5x1) mm. Pro účely experimentu 4 bylo zvoleno vlastní nastavení drsnoměru. Jelikož tento experiment nebyl pro účely výroby, nebyla důležitá ani drsnost, kterou na vybrané frézované ploše předepisuje výkres.

## 9.1 Závěr z měření experimentu 1

Největšího úspěchu se dosáhlo v rámci měření experimentu 1, tedy u dílu pojmenovaného 346 (část skříně převodovky). Během měření kusů první měřené součásti experimentu 1, kde byla rychlost posuvu nastavena na hodnotu  $v_f = 3600$  mm/min, bylo zjištěno, že bylo použito špatné nastavení drsnoměru. Jelikož byl měřen velice přesný rozsah hodnot  $R_z$ , který byl výkresem předepsán na 10–30  $\mu\text{m}$ , bylo výhodnější zvolit nastavení (0,8x5) mm, které je přesnější a dle příručky firmy Mitutoyo se používá pro hodnoty  $R_z > 0,5$   $\mu\text{m}$ . Tedy nastavení drsnoměru (2,5x2) mm bylo nesprávně zvolené [15]. Avšak tímto nastavením (2,5x2) mm se do doby, než bylo provedeno měření této bakalářské práce, drsnost povrchu dílu 346 měřila. První měření na drsnoměru byla provedena s nastavením drsnoměru (2,5x2) mm. Následně bylo měření provedeno se správným nastavením, tedy s hodnotami (0,8x5) mm. Z grafu na obrázku 34 je vidět zřejmý rozdíl ve výsledných hodnotách  $R_z$  při použití jednotlivých nastavení drsnoměru. V průměru se hodnoty  $R_z$  při použití špatného nastavení drsnoměru (2,5x2) mm a správného nastavení drsnoměru (0,8x5) mm liší o 13  $\mu\text{m}$ . Navíc hodnota  $R_z$  pro nastavení drsnoměru (2,5x2) mm vyšla (34,9 $\pm$ 4,4)  $\mu\text{m}$  a tedy převyšuje maximální hodnotu předepsaného intervalu (10–30  $\mu\text{m}$ ) v průměru o 4,9  $\mu\text{m}$ . Tedy díky tomuto nastavení by nebylo možné použít rychlost posuvu  $v_f = 3600$  mm/min. Oproti tomu měření s nastavením drsnoměru (0,8x5) mm mělo průměrnou hodnotu  $R_z$  rovnu (21,9 $\pm$ 3,7)  $\mu\text{m}$ . Tato hodnota se bezpečně vejde do předepsaného intervalu  $R_z$  10–30  $\mu\text{m}$ .

Druhá hodnocená součást experimentu 1 byla obrobena s nastavenou rychlostí posuvu  $v_f = 1800$  mm/min. Tato rychlost posuvu byla do provedení měření bakalářské práce používána v běžné výrobě dílu 346. U této hodnocené součásti již nebylo použito jiného nastavení drsnoměru než (0,8x5) mm. Průměrná hodnota parametru drsnosti  $R_z$  vyšla pro druhou měřenou součást experimentu 1 (6,9 $\pm$ 0,4)  $\mu\text{m}$ . Tedy průměrná hodnota  $R_z$  nespĺňuje požadavek, aby hodnota  $R_z$  obrobeného povrchu byla ve výkresem předepsaném intervalu 10–30  $\mu\text{m}$ , jelikož je o cca 3,1  $\mu\text{m}$  menší než spodní hodnota výše uvedeného intervalu.

Třetí hodnocená součást dílu 346 byla obrobena s nastavenou rychlostí posuvu  $v_f = 6400$  mm/min. U této hodnocené součásti již nebylo použito jiného nastavení drsnoměru než (0,8x5) mm. Průměrná hodnota parametru drsnosti Rz vyšla pro třetí měřenou součást experimentu 1 ( $32,1 \pm 1,8$ )  $\mu\text{m}$ . Tedy průměrná hodnota Rz nespĺňuje požadavek, aby hodnota Rz obrobeného povrchu byla ve výkresem předepsaném intervalu 10–30  $\mu\text{m}$ , jelikož je o cca 2,1  $\mu\text{m}$  větší než horní hodnota výše uvedeného intervalu.

Díky měření provedených v rámci bakalářské práce došlo k napravení chyby v měření drsnosti povrchu frézované plochy v běžné výrobě dílu 346, kdy drsnost povrchu byla měřena nesprávným nastavením drsnoměru. V rámci měření dílu 346 došlo ke zlepšení obráběcích podmínek, když byla rychlost posuvu zvýšena na dvojnásobek původní hodnoty (z 1800 mm/min na 3600 mm/min). Díky zvýšení rychlosti posuvu došlo ke zkrácení obráběcího dílu hodnocené plochy.

## 9.2 Závěr z měření experimentu 2

Obrábění dílu 295 (těleso olejového čerpadla) bylo se třemi nastavenými rychlostmi posuvu. Drsnost povrchu hodnocené plochy byla s výkresem předepsaným intervalem Rz 10–25  $\mu\text{m}$ . Průměrná hodnota Rz první měřené součásti experimentu 2, kde rychlost posuvu byla nastavena na hodnotu  $v_f = 3400$  mm/min, byla ( $15,1 \pm 0,1$ )  $\mu\text{m}$ . Tedy v rámci první měřené součásti experimentu 2 bylo dosaženo hodnoty Rz, která je v intervalu předepsaném na výkresu (10–25  $\mu\text{m}$ ). Druhá měřená součást byla s nastavenou rychlostí posuvu  $v_f = 2400$  mm/min. Průměrná hodnota Rz druhé měřené součásti experimentu 2 byla ( $14,4 \pm 0,2$ )  $\mu\text{m}$ . Hodnota Rz druhé měřené součásti experimentu 2 se také vešla do výkresem předepsaného intervalu 10–25  $\mu\text{m}$ . Rychlost posuvu pro třetí měřenou součást experimentu 2 byla nastavena na 5000 mm/min. Průměrná hodnota Rz byla ( $15,4 \pm 0,1$ )  $\mu\text{m}$ , což také splňuje podmínku, že hodnota Rz musí být v intervalu 10–25  $\mu\text{m}$ , jak předepisuje výkres.

V rámci měření dílu 295 (těleso olejového čerpadla) bylo dosaženo zlepšení řezných podmínek, kdy byla rychlost posuvu zvýšena z 3400 mm/min (První měřená součást experimentu 2) na 5000 mm/min (třetí měřená součást experimentu 2). Hodnoty Rz se se zvýšením rychlosti posuvu na 5000 mm/min bezpečně vešly do výkresem předepsaného intervalu (viz výše). Díky zvýšení rychlosti posuvu byl zkrácen obráběcí čas hodnocené plochy na tělese olejového čerpadla.

## 9.3 Závěr z měření experimentu 3

Na krytu skříně řetězu, tedy dílu 222, byla vybrána frézovaná plocha, která má předepsanou maximální hodnotu Rz 10  $\mu\text{m}$ . Cílem měření tohoto experimentu bylo, aby po zvýšení rychlosti posuvu hodnota Rz byla co nejmenší a nepřekračovala výkresem předepsanou hodnotu Rz 10  $\mu\text{m}$ . Za účelem měření byly vybrány dvě rychlosti posuvu. První rychlost posuvu byla  $v_f = 3000$  mm/min. Druhá rychlost posuvu byla  $v_f = 4000$  mm/min.

První měřená součást experimentu 3 byla obrobena s nastavenou rychlostí posuvu  $v_f = 3400$  mm/min, která byla používána do doby, než bylo provedeno měření k bakalářské práci. Na ploše A vyšla hodnota Rz v průměru ( $1,28 \pm 0,12$ )  $\mu\text{m}$ . Na ploše B vyšla průměrná

hodnota Rz ( $0,91 \pm 0,03$ )  $\mu\text{m}$ . Tedy rozdíl v hodnotách na obou měřených plochách je  $0,38 \mu\text{m}$ . Na hraně, kde fréza vybíhá z plochy po obrobení, je menší hodnota Rz pro to, že zde může docházet k větší nestabilitě obrábění. Druhá měřená součást experimentu 3 byla obráběna s nastavenou rychlostí posuvu  $v_f = 5000 \text{ mm/min}$ . Na ploše A vyšla hodnota Rz v průměru ( $1,54 \pm 0,02$ )  $\mu\text{m}$ . Na ploše B vyšla průměrná hodnota Rz ( $0,85 \pm 0,03$ )  $\mu\text{m}$ . Tedy rozdíl v hodnotách na obou měřených plochách je  $0,69 \mu\text{m}$ .

Hodnota Rz na ploše A byla po zvýšení rychlosti posuvu z  $3400 \text{ mm/min}$  na  $5000 \text{ mm/min}$  pouze o  $0,25 \mu\text{m}$  vyšší. Překvapivý byl výsledek na ploše B, což byla hrana na frézované ploše, kde fréza po obrobení opouští plochu. Na této ploše nebylo zvýšením rychlosti posuvu docíleno zvýšení hodnoty Rz, jak by se dalo předpokládat, že zvýšením rychlosti posuvu se hodnota Rz zvýší. Na ploše B se hodnota Rz zmenšila z  $0,91 \mu\text{m}$  na  $0,85 \mu\text{m}$ . Toto zmenšení Rz je nejspíše způsobeno nestabilitou obrábění na hraně, kde fréza opouští obrobenou plochu. Avšak zvýšením rychlosti posuvu nedošlo ke značnému zvýšení hodnoty Rz a tak by bylo možné použít vyšší hodnotu rychlosti posuvu tedy hodnotu  $5000 \text{ mm/min}$ . Díky zvýšení rychlosti posuvu by bylo možné zkrátit obráběcí čas.

#### **9.4 Závěr z měření experimentu 4**

U poslední měřené strojní součásti, druhé části skříně převodovky, tedy dílu 348, byl hodnocen vliv vysunutí zdrsňující břitové destičky (ZBD) před ostatní břitové destičky nástroje na drsnost povrchu. Byly zvoleny celkem dvě hodnoty vysunutí ZBD. Velikost prvního vysunutí byla  $0,020 \text{ mm}$  a hodnota druhého vysunutí byla  $0,013 \text{ mm}$ . Předpoklad měření byl, že čím více bude ZBD vysunuta, tím větší hodnota Rz bude. Rychlost posuvu byla nastavena pro obě zvolená vysunutí ZBD stejná. Hodnota rychlosti posuvu byla  $v_f = 8500 \text{ mm/min}$ .

Průměrná hodnota Rz při vysunuté ZBD o  $0,020 \text{ mm}$  před ostatní břitové destičky byla ( $28,4 \pm 1,0$ )  $\mu\text{m}$ . Průměrná hodnota Rz po vysunuté ZBD o  $0,013 \text{ mm}$  byla ( $19,0 \pm 2,7$ )  $\mu\text{m}$ . Tedy pokud zdrsňující destičku zasuneme o  $0,007 \text{ mm}$  (z  $0,020 \text{ mm}$  na  $0,013 \text{ mm}$ ), docílíme zmenšení hodnoty parametru drsnosti Rz o cca  $9,4 \mu\text{m}$ , což je zmenšení hodnoty Rz o zhruba  $33 \%$ . Použití ZBD je tedy velice účinné, pokud chceme bez změny rychlosti posuvu regulovat drsnost povrchu. Díky měření dílu 348 (část skříně převodovky) byl potvrzen předpoklad, že čím více vysuneme ZBD, tím vyšší hodnota parametru drsnosti Rz bude změřena.

Závěrem lze říci, že u všech experimentů došlo ke splnění cílů. V rámci experimentů 1, 2 a 3 se dospělo k poznatkům, ze kterých vyplývá, že by bylo možné použít vyšší rychlosti posuvu a tím zkrátit obráběcí čas daných dílů. Dále u experimentu 1 byl napraven omyl v měření dílu 346, kdy bylo použito nesprávného nastavení drsnoměru a tedy byl stanoven vliv nastavení drsnoměru na výslednou hodnotu Rz. V rámci měření experimentu 4 byl prokázán vliv ZBD na tvorbu drsnosti povrchu a byl potvrzen předpoklad, že čím více ZBD vysuneme před ostatní břitové destičky na nástroji, tím vyšší hodnotu Rz bude po obrábění na frézované ploše.

## Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] HANUSCHKE, Volker Hanuschke. Společnost KSM Castings CZ s.r.o. *KSM Castings CZ s.r.o. – odlitky z lehkých kovů* [online]. Oldřichovská 726, 46334 Hrádek nad Nisou: KSM Castings, 2017 [citace 2018-02-15]. Dostupné z: KSM Castings, 2017 [cit. 2018-02-15]. Dostupné z: <http://www.ksmcastings.cz/ksm-castings/>
- [2] FIRICKÝ, Bc. Josef. *Návrh pracoviště pro obrábění dílů ve firmě KSM Castings CZ*. Liberec, 2016. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Ing. František Koblasa, Ph.D.
- [3] JERSÁK, Jan. *Základní pojmy, podstata technologie obrábění: Geometrie nástroje*. Liberec, 2016. Presentace k přednášce z TOB. Technická univerzita v Liberci.
- [4] BÁTORA, Bohumil a Karol VASILKO. *Obrobené povrchy: Technologická dedičnost, funkčnost*. 1. Trenčín: GC Tech, 2000. ISBN 80-88914-19-1.
- [5] EMAG L.L.C. The BA S03 5-Axis Vertical Machine from SW. In: *Manufacturing News* [online]. Grapevine, Texas: Gross Publications, 2007 [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: <http://www.mfgnewsweb.com/archives/4/31758/Machinery-Metalcutting-Chipmaking-oct07/The-BA-S03-5-Axis-Vertical-Machine-from-SW.aspx>
- [6] VLACH, B., AJ. *Technologie obrábění a montáží*. 1. vyd. Praha: SNTL 1990. 472 s. ISBN 80-03-00143-9.
- [7] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [8] VIGNER, M. a Z. PŘIKRYL A KOL. *Obrábění: Technický průvodce*. 61. 89. Praha: SNTL, 1984. ISBN -.
- [9] SW BA 322. *Machine Tools Worldwide* [online]. The USA: MachineWeb, 2018 [cit. 2018-05-03]. Dostupné z: <https://www.machinetools.com/en/models/sw-ba-322>
- [10] *Fyzikální měření pro gymnasia: I. část - Obecný úvod do fyzikálních měření*. 3. Liberec: -, 2008. ISBN -. ISSN -.
- [11] ČSN ISO 2602. *Statistická interpretace výsledků zkoušek. Odhad průměru. Konfidenční interval*. Druhé. Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [12] ČSN EN ISO 4287/A1. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) – Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut. 1999. 24 s. Třídící znak 01 4450
- [13] *Surface Roughness Measuring Tester SJ-410: User's Manual* [online]. 178. Japan: Mitutoyo Corporation, 2011 [cit. 2019-04-14]. ISBN No. 99MBB465A. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.co.jp/global.html>
- [14] JURKO, doc. Ing. Jozef, doc. Ing. Jozef ZAJAC, CSC. a Ing. Robert ČEP, PHD. *Top trendy v obrábění: [příručka]*. Žilina: Media/St, 2006. Stroje, materiály, technologie. ISBN 80-968-9542-7.
- [15] *Metrologická příručka: pro přesné měřicí přístroje* [online]. Česká republika: Mitutoyo Česko, 2014 [cit. 2019-04-14]. ISBN PRC 1389. Dostupné z: <http://mitoro.cz/ke-stazeni/metrologicka-prirucka.pdf>

- [16] Frézování čelem frézy. In: *ELEKTRONICKÁ UČEBNICE* [online]. Olomouc: MŠMT, 2015 [cit. 2019-05-03].  
Dostupné z: [https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/15597/celni\\_frezovani.jpg](https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/15597/celni_frezovani.jpg)

## Seznam výkresů

Výkresy byly poskytnuty firmou KSM Castings CZ s.r.o. a nejsou určeny ke zveřejnění, ale pouze pro vlastní účely řešení bakalářské práce.

- [17] Magna International Europe GmbH, Rakousko, Housing Rear, 2017, počet stran: 1  
[18] MAPAL C&S s.r.o., Mladá Boleslav, Fréza PKD Ø63/80x100 HSK-A63 Z8+8 IC, 2016, počet stran: 1  
[19] SHW Automotive GmbH, Německo, Gehaeuse, 2014, počet stran: 1  
[20] Walter Deutschland GmbH, Německo, Präzisions-Fräswerkzeug, 2010, počet stran: 1  
[21] MAPAL C&S s.r.o., Mladá boleslav, PKD-Fraeswerkzeug Sonderausfuehrung, počet stran: 1  
[22] Magna International Europe GmbH, Rakousko, Housing HL 195.U1, 2017, počet stran: 2  
[23] Walter Deutschland GmbH, Německo, PCD-Milling Tool, 2016, počet stran: 1