



# Analýza vlivu nárůstku na drsnost povrchu při soustružení nerezové oceli

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

*Autor práce:*

*Vedoucí práce:*

B0715A270008 Strojírenství

**Alois Běla**

prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Katedra obrábění a montáže





## Zadání bakalářské práce

# Analýza vlivu nárůstku na drsnost povrchu při soustružení nerezové oceli

*Jméno a příjmení:* **Alois Běla**  
*Osobní číslo:* S21000273  
*Studijní program:* B0715A270008 Strojírenství  
*Zadávací katedra:* Katedra obrábění a montáže  
*Akademický rok:* **2021/2022**

### Zásady pro vypracování:

1. Shrnutí poznatků o tvorbě nárůstku při třískovém obrábění.
2. Shrnutí poznatků o integritě povrchu po obrábění. Definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu.
3. Navržení metodiky zkoumání nárůstku na drsnosti povrchu při soustružení nerezové oceli v laboratoři KOM FS TUL.
4. Porovnávání vlivu nárůstku na drsnost povrchu při soustružení nerezové oceli v laboratoři KOM FS TUL.
5. Analýza laboratorních výsledků; vyvození závěrů.

Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování práce:  
Jazyk práce:

dle potřeby  
40-50 stran  
tištěná/elektronická  
Čeština



### Seznam odborné literatury:

1. ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 – 1. díl – Metody, stroje a nástroj pro obrábění*. 1. vyd. Praha: Scientia, spol. s r.o., 2000. 256 s. ISBN 80-7183-207-3.
2. SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. 2005. 601 s.
3. HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80-7044-616-1.
4. 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.

Vedoucí práce:

prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.  
Katedra obrábění a montáže

Datum zadání práce:

10. listopadu 2021

Předpokládaný termín odevzdání:

10. května 2023

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan

L.S.

doc. Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková,  
Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

19. května 2022

Alois Běla

# **Anotace**

Tato bakalářská práce poskytuje informace o tvorbě nárůstku a jeho vlivu na drsnost povrchu.

Hlavním cílem této práce byla analýza vlivu nárůstku na drsnost povrchu při soustružení nerezové oceli a určení, zdali nárůstek ulpívá více na povrchu obrobku, nebo na povrchu třísky.

Nezbytné základní pojmy, týkající se řešené problematiky, jsou uvedeny v teoretické části práce. Do této části práce jsou zahrnuty informace o nárůstku, integritě povrchu a drsnosti povrchu.

Drsnost povrchu byla měřena bezdotykovou metodou.

Dosažení cílů je věnována celá experimentální část obsahující informace o metodice a realizaci experimentu.

## **Klíčová slova**

nárůstek, soustružení, drsnost povrchu, optický mikroskop

# **Annotation**

## **Analysis of the effect of the built-up-edge on surface roughness when turning stainless steel**

This bachelor thesis provides information about the formation of built-up-edge and its effect on surface roughness.

The main goal of this work was to analyse the effect of built-up-edge on surface roughness when turning stainless steel. Further determine whether the built-up-edge adheres more to the workpiece surface or to the chip surface.

Necessary basic concepts related to the problem are given in the theoretical part of the work. This part of the work includes information on built-up-edge, surface integrity and surface roughness.

The surface roughness was measured by the non-contact method.

The whole experimental part containing information about the methodology and implementation of the experiment is devoted to achieving the goals.

## **Keywords**

built-up-edge, turning, surface roughness, optical microscope

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1317**

Jméno a příjmení: **Alois Běla**

Vedoucí práce: prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Počet stran: 57  
Počet příloh: 0  
Počet tabulek: 7  
Počet obrázků: 44  
Počet diagramů: 9

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu této práce panu prof. Ing. Alexey Popovovi DrSc., za jeho cenné rady, ochotu, čas a úsilí, které mi při tvorbě této práce věnoval. Dále bych rád poděkoval panu Bc. Martinovi Váňovi, za jeho ochotu a vstřícnost při výrobě vzorků pro tuto práci. Také bych rád poděkoval i paní doc. Ing. Doře Kroisové, Ph.D., za její vstřícnost při dlouhých hodinách měření. V neposlední řadě bych rád poděkoval i své rodině a přátelům, kteří mě při studiu vždy plně podporovali.



# Obsah

Seznam zkratk a symbolů .....	11
Úvod .....	13
<b>1 Shrnutí poznatků o tvorbě nárůstku při třískovém obrábění.....</b>	<b>14</b>
1.1 Nárůstek .....	14
1.1.1 Tvorba nárůstku .....	15
1.1.2 Vznik nárůstku v oblasti sekundární plastické deformace .....	16
1.1.3 Modelová představa tvorby nárůstku .....	17
1.1.4 Podmínky pro vznik nárůstku.....	18
1.1.5 Vliv nárůstku na obráběcí proces a obrobek .....	18
1.1.6 Důsledky působení teploty na nárůstek .....	20
1.1.7 Zabránění vzniku tvorby nárůstku.....	21
<b>2 Shrnutí poznatků o integritě povrchu po obrábění. Definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu. ....</b>	<b>22</b>
2.1 Integrita povrchu.....	22
2.1.1 Složky integrity povrchu .....	22
2.2 Drsnost povrchu.....	22
2.2.1 Hodnotící kritéria drsnosti povrchu.....	23
2.2.2 Bezdotyková metoda měření drsnosti povrchu .....	29
2.2.3 Definice výškového parametru profilu drsnosti povrchu Ra.....	31
<b>3 Navržení metodiky zkoumání nárůstku na drsnosti povrchu při soustružení nerezové oceli v laboratoři KOM FS TUL .....</b>	<b>32</b>
3.1 Výroba vzorků .....	32
3.2 Měřicí přístroj .....	35
3.3 Vlastní návrh měření.....	36
<b>4 Porovnávání vlivu nárůstku na drsnost povrchu při soustružení nerezové oceli v laboratoři KOM FS TUL .....</b>	<b>39</b>

4.1	Naměřené hodnoty.....	39
4.1.1	Naměřené hodnoty parametru drsnosti povrchu $Ra$ obrobku.....	39
4.1.2	Naměřené hodnoty parametru drsnosti povrchu $Ra$ třísky.....	40
4.1.3	Naměřené hodnoty hloubky drážky $h$ .....	41
4.2	Vliv posuvu $f$ na parametr drsnosti povrchu obrobku $Ra$ .....	43
4.3	Vliv posuvu $f$ na parametr drsnosti povrchu třísky $Ra$ .....	45
4.4	Vliv řezné rychlosti $v_c$ na parametr drsnosti povrchu obrobku $Ra$ .....	47
4.5	Vliv řezné rychlosti $v_c$ na parametr drsnosti povrchu třísky $Ra$ .....	50
	<b>Analýza laboratorních výsledků; vyvození závěrů .....</b>	<b>53</b>
	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>55</b>

## Seznam zkratek a symbolů

3D	[-]	třírozměrný prostor
$a / a_p$	[mm]	hloubka řezu
$\Delta a$	[mm]	hloubka řezu zvětšená o nárůstek
C	[%]	Uhlík
Cr	[%]	Chrom
Cu	[%]	Měď
ČSN	[-]	Česká technická norma
EN	[-]	Evropská norma
$F_N$	[N]	normálová síla
$F_T$	[N]	tangenciální síla
f	[mm/ot]	posuv
h	[mm]	hloubka drážky
ISO	[-]	Mezinárodní organizace pro normalizaci
l	[mm]	délka řezu
l <sub>r</sub>	[mm]	základní délka
l <sub>n</sub>	[mm]	vyhodnocovací délka
l <sub>t</sub>	[mm]	celková délka
Mn	[%]	Mangan
Ni	[%]	Nikl
P	[%]	Fosfor
P-parametr	[-]	parametry základního profilu
R <sub>a</sub>	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu drsnosti
R-parametr	[-]	parametry profilu drsnosti
S	[%]	Síra
Si	[%]	Křemík
TUL	[-]	Technická univerzita v Liberci
v	[m/min]	rychlost odcházející třísky
v <sub>c</sub>	[m/min]	řezná rychlost
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička

W-parametr	[-]	parametry profilu vlnitosti
x	[mm]	osy souřadného systému
$\beta_o$	[°]	ortogonální úhel břitu
$\beta_{ok}$	[°]	ortogonální úhel břitu vytvořený nárůstkem
$\delta$	[°]	Úhel řezu
$\delta_{sk}$	[°]	Skutečný úhel řezu
$\lambda$	[nm]	vlnová délka
$\lambda_c$	[nm]	mezní vlnová délka
$\lambda_f$	[nm]	vlnová délka dlouhovlnného filtru profilu
$\lambda_s$	[nm]	vlnová délka krátkovlnného filtru profilu
$\rho$	[mm]	poloměr zaoblení ostří
$\rho_{sk}$	[mm]	skutečný poloměr zaoblení ostří
$\tau_k$	[Pa]	tečné napětí

# Úvod

Při soustružení a ostatních metodách třískového obrábění dochází k odběru materiálu řezným nástrojem a k tvorbě třísky. Výsledná integrita povrchu obrobku a třísky je závislá na zvolených řezných podmínkách a na geometrii řezného nástroje pro danou operaci třískového obrábění.

Výsledná drsnost povrchu obrobku a třísky je ovlivňována nárůstkem, který vzniká v oblasti tvorby třísky, přesněji v oblasti sekundární plastické deformace. V této oblasti dochází k adheznímu spojení, tzv. „studenému návaru“, mezi materiálem třísky a čelem řezného nástroje. Takto vzniklý nárůstek přebírá funkci řezného nástroje, dokud nedojde k jeho destabilizaci, a ovlivňuje celý řezný proces. Po jeho destabilizaci ulpí na povrchu třísky, nebo povrchu obrobku, a tím ovlivňuje drsnost daného povrchu. Díky těmto poznatkům jsme schopni hodnotit tvorbu nárůstku pomocí parametrů drsnosti povrchu.

Vznik nárůstků ovlivňuje především řezná rychlost  $v_c$  a teplota v místě řezu. Nárůstek se tvoří pouze za určitých podmínek.

Tato bakalářská práce se zabývá vznikem nárůstku a jeho vlivem na výslednou integritu povrchu, přesněji na drsnost povrchu.

Hlavním cílem této práce je analýza vlivu nárůstku na parametr drsnosti povrchu  $Ra$  při soustružení nerezové oceli 17 240 a zjištění, zdali nárůstek ulpívá více na obrobeném povrchu obrobku, nebo povrchu třísky.

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou, metodickou, experimentální a závěrečnou část.

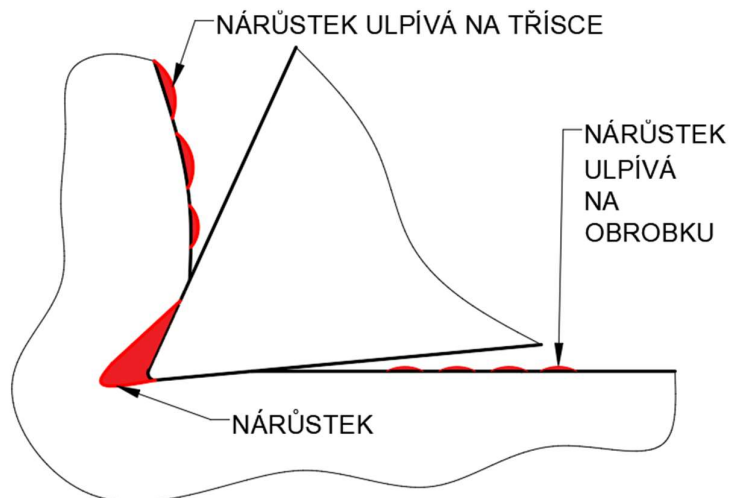
# 1 Shrnutí poznatků o tvorbě nárůstku při třískovém obrábění.

Teoretická část této práce se zabývá dosavadními poznatky o nárůstku, jeho tvorbě a významu na proces třískového obrábění a integritu povrchu. Ze souboru hodnotících kritérií integrity povrchu se tato práce bude podrobněji věnovat pouze drsnosti povrchu, jakožto hodnotící metodě pro zjištění nárůstku.

## 1.1 Nárůstek

Vznik a tvorba nárůstku představuje zajímavý jev, který dosud nebyl dostatečně vysvětlen. Prakticky každá oblast třískového obrábění je spojena s tímto jevem proto, že ovlivňuje řadu výstupních parametrů, jako jsou řezné síly, teploty řezání, kvalitu obrobeného povrchu, opotřebení řezného nástroje (dále jen ŘN), chvění a další. Nárůstek se vyskytuje při třískovém obrábění oceli, šedých litin, barevných kovů a zejména při obrábění hliníku a jeho slitin. Je obvyklým jevem při obrábění nástroji z rychlořezné oceli, slinutého karbidu a byl prokázán i při obrábění nástroji z kubického nitridu boru. [1]

Nárůstek představuje tzv. „studený návar“ obrobeného materiálu na břitu ŘN. Jako fyzikální jev dochází ke vzniku nárůstku za určitých podmínek a za určitého stavu řezného procesu. Nárůstek je nestabilní, vzniká a zaniká s frekvencí  $10^2$  až  $10^3$  Hz. [4]

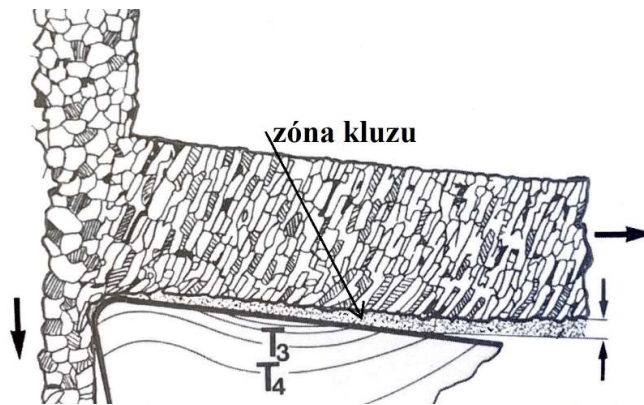


Obr. 1.1 Zjednodušený pohled na nárůstek a jeho odchod

### 1.1.1 Tvorba nárůstku

Pohyb třísky po čele nástroje probíhá za velkých měrných tlaků a vysokých teplot. Mezi čelem ŘN a odcházející třískou působí tangenciální síla  $F_T$ , která je vyvolaná adhezními a třecími vlivy. Vektor tangenciální síly  $F_T$  se nachází v rovině ŘN. K ní je kolmá normálová složka síly  $F_N$ , která reprezentuje tlak třísky na čelo ŘN. [1]

Za určitých řezných podmínek může tato dvojice sil způsobit tzv. „zadírání“ v ploše styku třísky s čelem ŘN. [1] Dochází ke vzniku tzv. „kluzné oblasti“. Tato oblast se vyskytuje vždy, když se začínají povrchové plochy „zadírat“ a pohyb mezi třískou a ŘN pokračuje. [5]. Z fyzikálního hlediska zde dochází ke vzniku adhezních spojů a jejich porušování a teorii tření nedokonalých povrchů třísky a čela ŘN. Současně je také potřeba vzít v úvahu skutečnost, že rychlost pohybu částic třísky vrůstá z nulové hodnoty na ostří na konečnou rychlost odchodu třísky. [1]

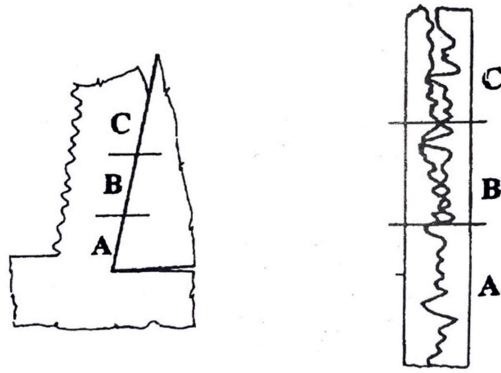


Obr. 1.2 Zóna kluzu mezi třískou a čelem ŘN [5]

Společné působení všech výše popsaných jevů dochází k určitému zpoždění částic třísky, jehož důsledkem dochází k dodatečnému smykovému namáhání, a tedy sekundární plastické deformaci (dále jen SPD) a tím k tvorbě nárůstku. [1]

Kontakt mezi třískou a ŘN na jejich kontaktní dráze je možné rozdělit do tří úseků, viz obr. 1.3. [4]:

- A. ulpívání materiálu třísky (váznutí),
- B. adheze a difuze,
- C. abraze. [4]



Obr. 1.3 Kontakt mezi třískou a čelem ŘN [4]

### 1.1.2 Vznik nárůstku v oblasti sekundární plastické deformace

Mezi třískou a čelem nástroje dochází ke tření. Třecí síla je přitom výslednicí dvou složek [2]:

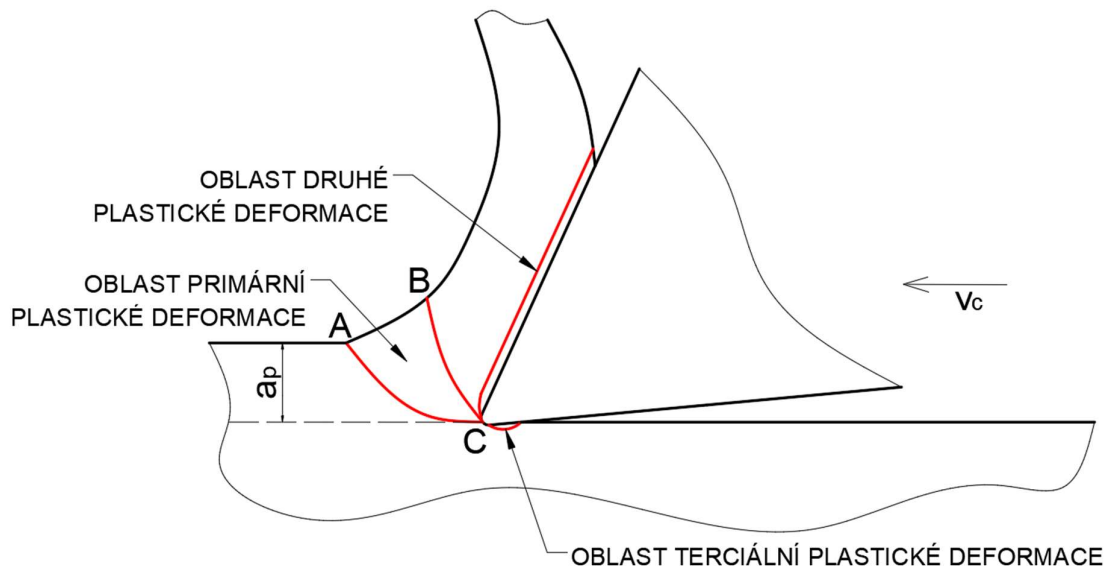
- a) síly překonávající mechanické překážky (mikronerovnosti povrchu),
- b) síly překonávající adhezní mezi materiálem třísky a nástroje. [2]

Fáze vzniku sekundární plastická deformace [1]:

1. do řezu přichází čistý a naostřený břit ŘN s mikronerovnostmi,
2. na vrcholcích nerovností čela ŘN vznikají velké měrné tlaky a teploty,
3. praskají a odlupují se oxidy na povrchu těchto nerovností; do kontaktu se dostávají kovemě čisté materiály třísky a ŘN,
4. vytvářejí se podmínky pro vznik **adhezního spoje**,
5. brzdí se pohyb třísky po čele ŘN a vzniká zpomalená, zabrzděná vrstva, objevují se adhezní spoje,
6. další pohyb vyvolává narušení vzniklých adhezních spojů,
7. důsledkem je zvýšení tečných sil na čele ŘN a zvýšení tečných napětí na hodnotu  $\tau_k$  zpevněného materiálu třísky a dojde k další plastické deformaci, tedy SPD; nastává druhotné zpevnění tenké povrchové vrstvy třísky, která přiléhá na čelo ŘN. [1]



Takto způsobené zpevnění vede k dalšímu zvyšování napětí, které často vede k překročení kohezní pevnosti, tj. vnitřnímu rozrušení materiálu třísky. Přitom sekundárně deformovaná vrstva nebo její část zůstává navařená na nástroj. Tuto vrstvu nazýváme nárůstek. Protože jde o útvar vzniklý intenzivní plastickou deformací, pevně spojená s břitem nástroje, vyznačuje se nárůstek vysokou pevností a tvrdostí. [2] Tvrdost nárůstku je 2 až 5krát vyšší než tvrdost materiálu třísky. [3]



Obr. 1.4 – Oblast plastických deformací [3]

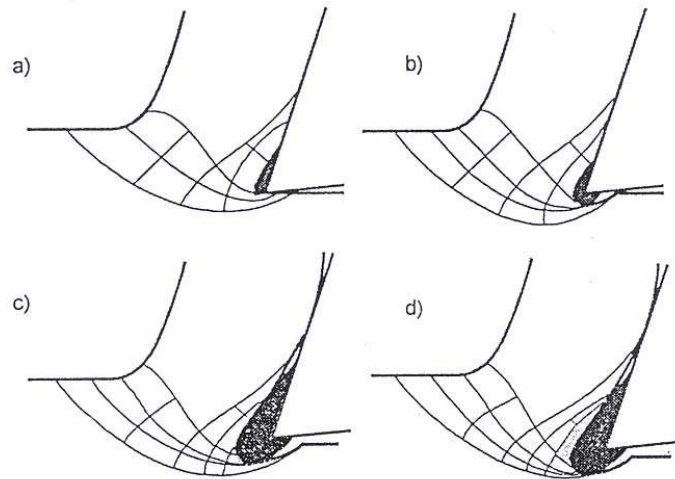
### 1.1.3 Modelová představa tvorby nárůstku

Snad dosud nejúplněji popisují tvorbu nárůstku japonští vědci IWATA, K. a UEDA, K., kteří provedli podrobnou studii vzniku nárůstku přímým sledováním rastrovacím elektronovým mikroskopem. Ukazují, že vznik nárůstku I. druhu podmiňuje teplota řezání v rozsahu 350 ÷ 500 °C. [1]

Jednotlivá stadia vzniku nárůstku lze vysvětlit postupnou změnou tvaru pole kluzových čar, schematicky znázorněných na obr. 1.5 takto: [1]

- a) jádro nárůstku představuje kineticky neutrální vrstva;
- b) postupně se zvětšuje, což vede k vytvoření mikrotrhliny pod hřbetní plochou břitu;

- c) tokem materiálu třísky kolem zvětšeného jádra se odděluje volná (oddělená) tříska trhlinou před čelní plochou, nárůstek roste;
- d) kořeny trhlín vytvářejí pole kluzových čar, které určuje oblast koncentrace napětí; ta vedou ke tvorbě a zvětšování nárůstku, roste vzniklá trhlina a dochází k zatlačování nárůstku na obrobené ploše. [1]



Obr. 1.5 Postup vzniku nárůstku, určovaná polem kluzových čar [1]

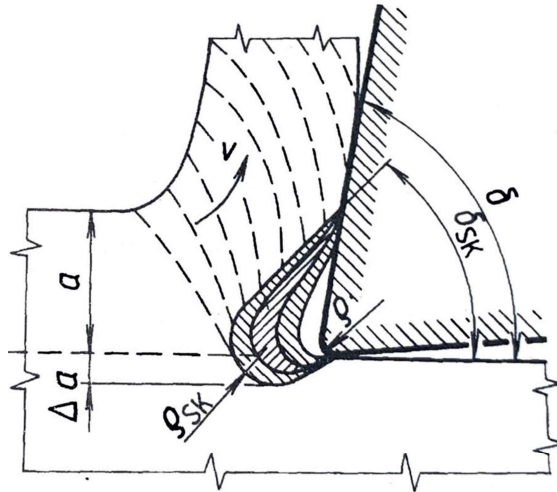
### 1.1.4 Podmínky pro vznik nárůstku

Pro dosažení tvorby nárůstku v oblasti SPD nebo vážnoucí oblasti platí tyto podmínky [1]:

1. čistý kovový styk třísky a čela,
2. schopnost vytvářet adhezní spoje,
3. dobrá zpevňovací schopnost materiálu třísky,
4. teplota mezi třískou a čelem  $\dot{R}N$  od 350 °C do 500 °C, [1]
5. řezná rychlost  $v_c$  od 5 m/min do 80 m/min. [6]

### 1.1.5 Vliv nárůstku na obráběcí proces a obrobek

Jak plyne z obr. 1.6, vlivem nárůstku dochází ke zmenšování úhlu řezu  $\delta$  a zvětšování poloměru zaoblení ostří  $\rho$  na  $\rho_{sk}$ . Menší úhel řezu  $\delta_{sk}$  oproti předpokládanému  $\delta$  má za následek zúžení oblasti ABC, viz. obr. 1.4. [3]



Obr. 1.6 – Vliv nárůstku na obráběcí proces [3]

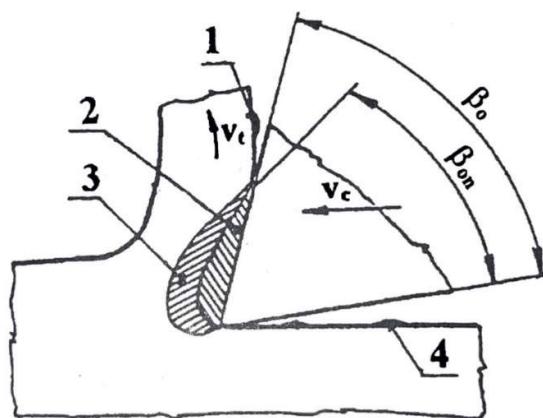
Na obrázku 1.6 je možné vidět  $a$  – tloušťka odřezávané vrstvy,  $\Delta a$  – zvětšení tloušťky odřezávané vrstvy,  $v$  – rychlost odcházející třísky,  $\delta$  – úhel řezu,  $\delta_{sk}$  – skutečný úhel řezu,  $\rho$  – poloměr zaoblení ostří,  $\rho_{sk}$  – skutečný poloměr zaoblení ostří. [3]

Větší poloměr zaoblení ostří  $\rho_{sk}$  zvětšuje tloušťku odřezávané vrstvy o  $\Delta a$  a způsobuje tím větší deformaci obrobené plochy. [3] Tím dochází k ovlivňování dalších výstupních parametrů obrábění, jako jsou řezné síly, teploty řezání, kvalita obrobeného povrchu, chvění a další. [1] Při obrábění je nutné počítat s tím, že se o hodnotu  $\Delta a$  mění i rozměr vyráběného obrobku. [3]

Nárůstek se skládá ze stabilní a nestabilní části. Nestabilní část nárůstku se od té stabilní odděluje a odchází dvěma způsoby [4]:

- 1) ulpí na tříse, se kterou odchází a způsobuje tak vyšší opotřebení čela ŘN,
- 2) dostane se pod hřbet obrobku a následně ulpívá na obrobeném povrchu, kde způsobuje negativní ovlivňování kvality obrobené plochy. [4]

Stabilní část nárůstku může „přebírat“ funkci bříty a chrání tak břit před opotřebením a zvyšuje jeho trvanlivost. [2][3] Pokud však dojde k odlomení stabilní části nárůstku, má to za následek vyšší opotřebení ŘN z důvodu vylamování ostří. [3] Může dojít až k destrukci celé řezné hrany ŘN, která se odlomí spolu s nárůstkem.



Obr. 1.7 – Stabilní a nestabilní oblast nárůstku [4]

Na obrázku 1.7 je možné vidět 1 – částice nárůstků odcházející s třískou, 2 – stabilní část nárůstku, 3 – nestabilní část nárůstku, 4 – částice nárůstků ulpívající na obrobené ploše,  $\beta_0$  – ortogonální úhel břitu,  $\beta_{on}$  – ortogonální úhel břitu vytvořený nárůstkem. [4]

Nárůstek může mít však i možnosti využití, které vyplívají z novějších přístupů k identifikaci SPD a její uzpůsobení tvarem čela tak, aby vznikla zabrzděná vrstva, která by nahrazovala funkci břitu. Při určité úpravě lze dosáhnout takového stavu, že vznikne nárůstek regulované velikosti, který následně přebírá funkci břitu a zvyšuje jeho odolnost proti opotřebení, aniž by došlo k jeho odlamování s vylamováním břitu samotného. [1]

### 1.1.6 Důsledky působení teploty na nárůstek

Dosavadní poznatky o nárůtku ukazují na mimořádný vliv teploty při řezání, který se projevuje dvojitým účinkem [1]:

- 1) Vyvolává nestabilitu variabilní části nárůstku a je příčinou jeho přenosu na obrobek nebo na spodní část třísky; to znamená, že teplota vyvolává změnu výšky nárůstku;
- 2) růstem teploty řezání, zejména při zvyšování rezné rychlosti je nestabilní část nárůstku rozrušovaná teplotou nepřetržitě a tím nárůstek přichází do podoby homogenní vrstvy, která tvoří kontaktní plochu mezi třískou a plochou čela břitu ŘN. [1]

### **1.1.7 Zabránění vzniku tvorby nárůstku**

Tvorbě nárůstku se dá zabránit těmito způsoby [7]:

- použitím jakéhokoliv povlaku na břitové destičce.
- Zvýšit řeznou rychlost  $v_c$  a/nebo posuv  $f$ .
- Zvolit destičku s ostřejší řeznou geometrií a hladší (leštěnou) plochou čela.
- Použít vhodné chlazení, případně zvýšit koncentraci chladicí emulze. [7]

## **2 Shrnutí poznatků o integritě povrchu po obrábění. Definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu.**

### **2.1 Integrita povrchu**

Výstupní parametry obrobené plochy tvoří komplexní soubor vlastností povrchu, které jsou nazývány integrita povrchové vrstvy. Uvedený soubor vlastností předurčuje užitnou hodnotu součástí, zejména dobu životnosti a velikost únosnosti funkčních částí povrchu. [9]

Integrita povrchu je proto odrazem podmínek, za kterých funkční plocha vzniká, bere v úvahu důsledky působení technologických metod na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek. [18]

#### **2.1.1 Složky integrity povrchu**

Nemůžeme říct, že jednotlivé složky tvoří oddělené části integrity povrchu. Složky se vzájemně ovlivňují a doplňují. [9]

Mezi hlavní složky integrity povrchu patří:

- drsnost povrchu,
- mikrotvrдость,
- povrchové napětí,
- fázové změny.

### **2.2 Drsnost povrchu**

Podstatný vliv na jakost funkčních ploch strojních součástí má mikrogeometrie (drsnost) povrchu. Její význam ještě více vynikne, je-li uvažována v souhrnu vlastností zabezpečující vhodnost výrobku pro danou funkci. [8]

Drsnost povrchu je určena především řeznou rychlostí, velikostí posuvu a hloubkou třísky, dále použitou technologií (definována nástrojem a jeho geometrií, typem pohybů, způsobem řezání atd.), použitým prostředím probíhajícího procesu, obráběným materiálem. [9]

Profil drsnosti povrchu je vytvářen pravidelným odběrem třísky obráběcím nástrojem a nepravidelnostmi, které způsobuje určitá drsnost povrchu nástroje, lomy částic materiálu, lomy a opotřebení nástroje, změny na nástroji, tvrdé částice třísky, které působí abrazivně na obráběný povrch. [9]

### **2.2.1 Hodnotící kritéria drsnosti povrchu**

Tvar nerovností povrchů je velmi rozmanitý. Lze to dokumentovat řadou povrchů dokončených různými metodami obrábění. [8] Aby u těchto povrchů bylo možné kvantitativně hodnotit drsnost povrchu, byla přijatá evropská norma ČSN EN ISO 4287.

## **Povrch**

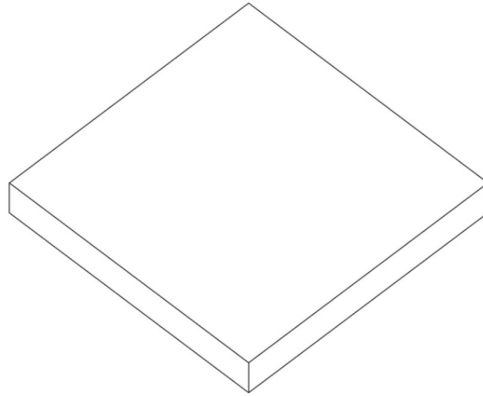
Povrch představuje hranici jednoho objektu od objektu druhého, popř. od prostředí. [10]

### **Skutečný povrch**

Povrch, který odděluje a omezuje objekt od okolního prostředí.[15] Vzniká výrobním procesem, který má na jeho podobě velký vliv. I přes obrovský vývoj výrobních technologií není možné vyrobít ideální povrch součásti dle předepsaného výkresu, nebo jiné technické dokumentace (viz. obr. 2.1). [10]

### **Geometrický povrch**

Povrch, který odpovídá předepsanému tvaru a rozměrům dle technické dokumentace (viz. obr. 2.1). Jedná se o ideální povrch. [10]



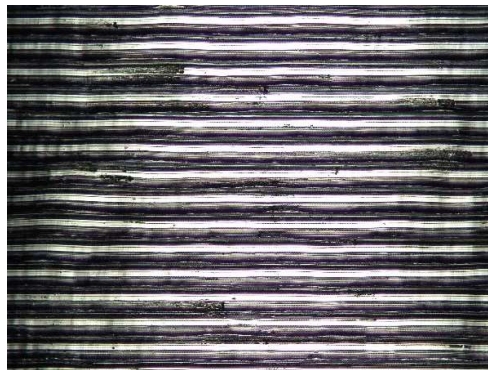
*Obr. 2.1 Geometrický povrch [8]*

### **Základní povrch**

Zobrazuje skutečný povrch součásti získaný měřicím přístrojem. Stejně jako nejsou výrobní technologie schopny vyrobit skutečný povrch ideálně přesně dle geometrického povrchu, ani měřicí zařízení nejsou schopna zachytit skutečný povrch ideálně přesně. Z tohoto důvodu je tedy nutné si tento pojem definovat. [10] Z tohoto povrchu jsou vyhodnocovány parametry drsnosti povrchu. [8]

### **Periodický povrch**

Povrch s periodicky se opakující strukturou, která byla vytvořena obráběcím procesem (soustružení, frézování apod.) (viz. obr. 2.2). Takto vytvořený povrch je nutné měřit v kolmém směru vůči nerovnostem. Pokud nebude tento předpoklad dodržen, dojde ke zkreslení výsledků (výsledky se budou jevit lepší, než ve skutečnosti jsou). [10]



*Obr. 2.2 Periodický povrch vytvořený operací soustružení*



### Neperiodický povrch

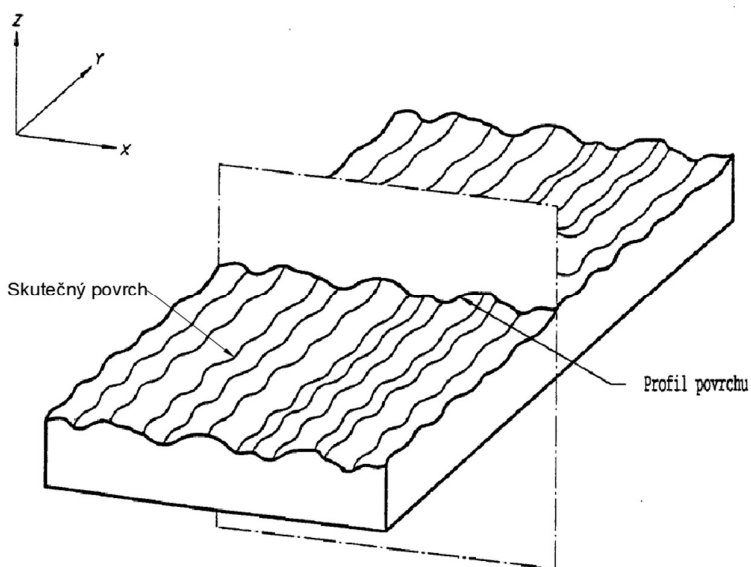
Opak periodického povrchu. Struktura povrchu je neuspořádaná. Tento povrch může vzniknout při tváření kovů (odlévání odlitků, kování apod.) (viz. obr. 2.3). Na rozdíl od periodického povrchu zde nezáleží na směru měření, protože nerovnosti jsou nahodilé a neuspořádané. [10]



Obr. 2.3 Aperiodický povrch odlitku [11]

### Profil povrchu

Pro získání profilu povrchu, jako průsečnice povrchu a rovinou je třeba provést kolmý řez k základnímu povrchu (viz. obr. 2.4). Tímto způsobem je pak možné získat skutečný profil, tedy profil skutečného povrchu. [8]



Obr. 2.4 Profil povrchu [12]

### **Snímaný profil**

Geometrické místo středu snímacího hrotu, které je charakterizováno ideálním geometrickým tvarem (kuželem s kulovou špičkou), jmenovitými rozměry a jmenovitou silou, vyvozenou v rovině řezu při posuvu snímacího hrotu přes povrch. Od tohoto profilu jsou odvozeny všechny ostatní profily.[13]

### **Referenční profil**

Profil, který je tvořený dráhou, po které se snímač, podél vedení, pohybuje v rovině řezu. Tvar referenčního profilu je praktickou realizací teoreticky přesného profilu. Jeho jmenovité úchytky závisí na úchytkách vedení a rovněž na vnějších a vnitřních poruchách. [13]

### **Úplný profil**

Úplný profil představuje číslíkovou formu snímaného profilu vzhledem k referenčnímu profilu se vzájemně přiřazenými svislými a vodorovnými souřadnicemi. [13]

### **Základní profil**

Jedná se o *úplný profil* po aplikaci krátkovlnného filtru  $\lambda_s$ . Základní profil reprezentuje základnu pro číslíkové zpracování profilu pomocí filtrů profilu a pro výpočet parametrů základního profilu. [13]

### **Profil drsnosti**

Profil odvozený ze základního profilu potlačením dlouhovlnných složek použitím filtru profilu  $\lambda_c$ . Profil drsnosti je základem pro hodnocení parametrů profilu drsnosti (viz. obr. 2.5). [15]

Dále se zde vyskytuje profil vlnitosti, ten ale není předmětem této práce.

### **Délky měření**

#### **Základní délka $l_r$**

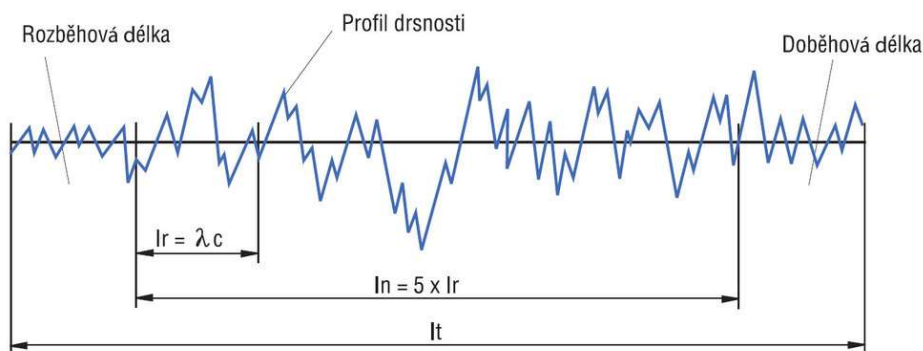
Délka ve směru osy  $x$ , která je použita pro rozpoznání nerovností charakterizujících vyhodnocovaný profil (viz. obr. 2.5). Základní délka pro drsnost povrchu  $l_r$  je číselně rovna charakteristické vlnové délce profilového filtru  $\lambda_c$ . [12]

### Vyhodnocovaná délka $l_n$

Délka ve směru osy  $x$ , která je použita pro posouzení vyhodnocovaného profilu (viz. obr. 2.5). Vyhodnocovaná délka může obsahovat jednu nebo více základních délek. [12]

### Celková délka $l_t$

Délka pohybu snímače, během kterého se snímají úchytky tvaru povrchu (viz. obr. 2.5).[6]



Obr 2.5. Základní, celková a vyhodnocovaná délka [14]

### Filtry profilu

Filtry rozdělují profily na dlouhovlnné a krátkovlnné složky. V přístrojích se používají tři filtry na měření parametrů drsnosti, vlnitosti a základního profilu. Všechny filtry mají stejnou charakteristiku přenosu, definovanou v ISO 11 562, ale různé mezní vlnové délky cut-off (obr. 2.6). [12]

#### $\lambda_s$ filtr profilu

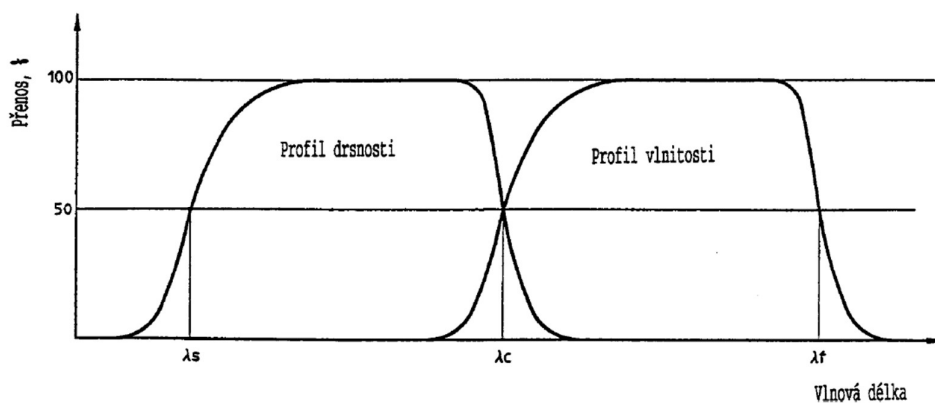
Filtr definující rozhraní mezi drsností a kratšími složkami vln přítomnými na povrchu (viz. obr. 2.6).[12]

#### $\lambda_c$ filtr profilu

Filtr určující rozhraní mezi složkami drsnosti a vlnitosti (viz. obr. 2.6).[12]

## $\lambda_f$ filtr profilu

Filtr určující rozhraní mezi vlnitostí a dalšími složkami vln přítomnými na povrchu (viz. obr. 2.6).[12]

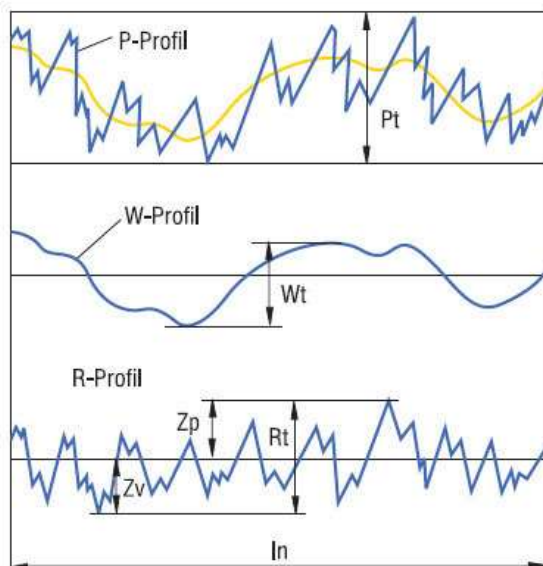


Obr. 2.6 Přenosové charakteristiky pro profil drsnosti, vlnitosti a základní profil [12]

Norma ČSN EN ISO 4287 definuje následující geometrické parametry [12]:

- **P-parametr** – parametr vypočítaný ze základního profilu (viz. obr. 2.7),
- **R-parametr** – parametr vypočítaný z profilu drsnosti (viz. obr. 2.7),
- **W-parametr** – parametr vypočítaný v profilu vlnitosti (viz. obr. 2.7). [12]

Tato práce se dále zabývá pouze R-parametry drsnosti povrchu.



Obr. 2.7 Geometrické parametry [14]

## 2.2.2 Bezdotyková metoda měření drsnosti povrchu

Bezdotykové metody snímání struktury povrchu využívají různých fyzikálních principů snímání. Nejvíce využívanými jsou optické metody, které lze chápat jako hlavní představitele, a teorie bezdotykových metod se bude zabírat pouze jejich tematikou. Lze ale využít i jiných metod, především ve specifických případech použití. Metody využitelné ve specifických případech využívají principů kapacitních, indukčních, ultrazvukových, magnetických atd. Volba konkrétní metody je závislá zejména na typu měřeného předmětu. [10]

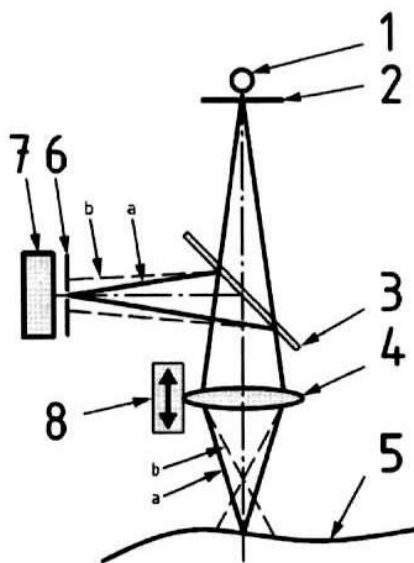
Optické metody fungují na principu odrazu nebo rozptylu světelného paprsku od měřeného povrchu. Optická měřidla mohou vykazovat tzv. ztrátu dat vlivem špatného odrazu paprsku od měřené plochy. V takovém případě hrozí, že se paprsek neodrazí zpět do detektoru a data tak nebudou zaznamenána. Tento nežádoucí problém vzniká v hraničních oblastech, popř. v místech náhlých změn profilu. Ke ztrátě dat může dojít například i vlivem velmi vysoké (vysoce lesklé povrchy), popř. velmi nízké (černá tělesa) odrazivosti povrchu. Takto vzniklé chyby lze odstranit softwarovým příslušenstvím, které je dodáno s měřidlem. [10]

Optické přístroje nalézají využití v situacích, kdy nelze využít dotykového snímání povrchu, např. při měření soustavy čoček mikrometrických rozměrů, součástí paměťových zařízení atd. [10]

### Princip konfokální mikroskopie

Konfokální mikroskopie (nebo konfokální obraz) sestává z [17]:

- obrazu dírky světelného zdroje soustředěného v tečce na povrchu,
- obrazu této tečky na rozlišovací dírce.[17]



Obr. 2.8 Soustředný snímací konfokální snímač [17]

Na obr. 2.8 je zobrazeno 1) světelný zdroj, 2) dírka světelného zdroje, 3) poloprůhledné zrcadlo, 4) achromatická čočka objektivu, 5) obrobek, 6) rozlišovací dírku, 7) fotodetektor, a) paprsek soustředný na obrobek a b) rozostřený paprsek. [17]

Podobně optický systém je charakterizován následujícími prvky [17]:

- dvě dírky jsou spárovanými dírkami (konfokální princip),
- světlo prochází skrz objektiv (v opačných směrech),
- seřízení je koaxiální. [17]

Zdrojem světelného paprsku u konfokálního mikroskopu je laser (ultrafialové, infračervené nebo viditelné spektrum), který přes bodovou (konfokální) clonu a objektiv osvětluje měřený povrch. Stejným objektivem poté prochází světlo odražené. Paprsky prochází dichroickým zrcadlem a pokračují k bodové cloně, kde dochází k odfiltrování světla z jiných rovin. Nakonec paprsky vstupují do fotonásobiče, kde jsou zesíleny a detekovány. [17]

Pokud je paprsek soustředěný na povrchu, bude pohybem čočky objektivu podél vertikální osy maximální signál. Toto je možné použít k detekci povrchové výšky na základě analýzy detektorového signálu. [17]

## Filtrace povrchu u bezdotykové metody měření drsnosti povrchu

Struktura povrchu je tvořena souborem nerovností. Separace těchto nerovností do složek (drsnost a vlnitost) se provádí pomocí filtrace stejně jako u dotykové metody.

### S-Filtr

Filtr povrchu, který odstraní malou laterální stupnici z povrchu, což je předpoklad pro dosažení základního povrchu.[16]

### L-Filtr

Filtr povrchu, který odstraní velkou laterální stupnici ze základního povrchu nebo S-F povrchu.[16]

### F-operace

Operace, která vyloučí vliv tvaru základního povrchu.[16]

### S-F povrch

Povrch odvozený ze základního povrchu pomocí vyloučení vlivu tvaru použitím F-operace.[16]

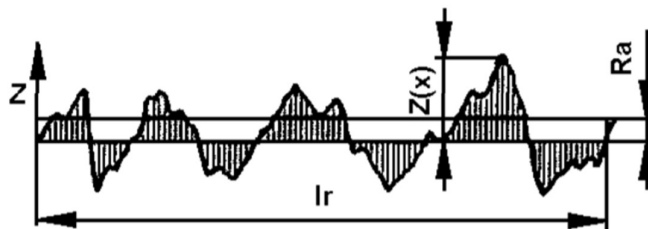
### S-L povrch

Povrch odvozený od S-F povrchu vyloučením vlivu velké stupnice při použití L-filtru.[16]

## 2.2.3 Definice výškového parametru profilu drsnosti povrchu Ra

Je definováno jako aritmetický průměr absolutních hodnot pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $lr$  (obr. 2.9). [12]

$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx \quad (1)$$



Obr. 2.9 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra [16]

### 3 Navržení metodiky zkoumání nárůstku na drsnosti povrchu při soustružení nerezové oceli v laboratoři KOM FS TUL

Metodická část práce pojednává o přípravě vzorků a popisu měření potřebných veličin pro zpracování hodnot a vyhodnocení cílů bakalářské práce.

Zkoumané vzorky byly obrobeny z jednoho materiálu, nerezové oceli 17 240, při různých řezných podmínkách. Vzorky byly zkoumány na tvorbu nárůstku z hlediska drsnosti povrchu. Jako měřicí přístroj byl použit 3D laserový skenovací konfokální mikroskop.

Výroba, příprava a následné měření vzorků bylo provedeno v laboratořích katedry obrábění a montáže TUL.

#### 3.1 Výroba vzorků

Pro výrobu vzorků byla použita technologie třískového obrábění soustružení válcové plochy. Všechny vzorky byly vyrobeny z nerezové oceli 17 240, viz. tab. 3.2. Polotovarem byla kulatina o průměru  $d$  39,4 mm. Polotovár byl rozdělen na tři oblasti, kde každá oblast byla obrobená různým posuvem  $f$ . Tyto tři oblasti byly dále rozděleny na dalších sedm částí, které se rozlišovali dle různých řezných rychlostí  $v_c$ . Řezné podmínky jsou popsány v tab. 3.1.

Pro obrobení polotovaru byl použit univerzální hrotový soustruh SU 50/1500, jako nástroj byl použit soustružnický nůž vnější pro vyměnitelnou břitovou destičkou. VBD byla použita DNMG 110404E-FM; 3025 od firmy Pramet, viz. obr. 3.1.

Hloubka řezu	$a_p$	= 3 mm					
Délka řezu	$l$	= 5 mm					
Posuv $f$ [mm/ot]	Řezná rychlost $v_c$ [m/min]						
0,05	2,2	5,6	13,9	22,3	34,7	44,0	55,7
0,1							
0,15							

Tab. 3.1 Řezné podmínky



Chemické složení korozivzdorné oceli 17 240 [%]							
C	Si	Mn	P<=	S<=	Cr	Ni	Cu
<0,1	<1	<2	0,05	0,030	15 ÷ 20	8 ÷ 19	4

*Tab. 3.2 Chemické složení korozivzdorné oceli 17 240 [19]*



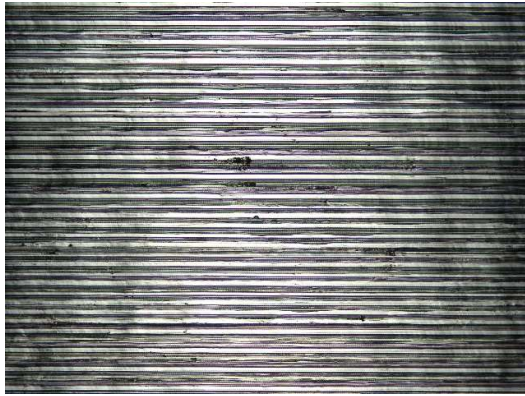
*Obr. 3.1 Soustružení vzorků na soustruhu SU 50/1500*

Vzorek z kulatiny byl po obrobení dle řezných podmínek rozdělen na jednotlivé části pomocí fixu, viz. obr. 3.1. Tyto části byly následně vyhodnocovány dle zadání bakalářské práce. Třísky z každé obrobené části byly rozříděny a též připraveny k měření, viz. obr. 3.2.

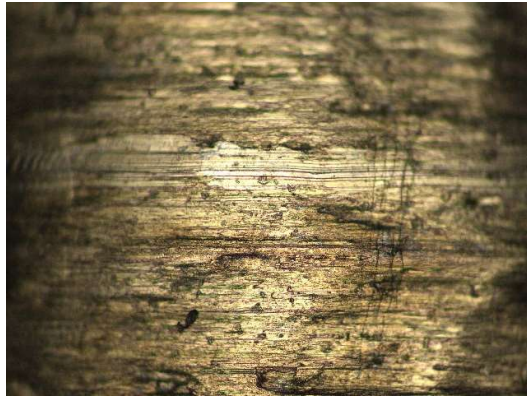


*Obr. 3.2 Příprava třísek k měření.*

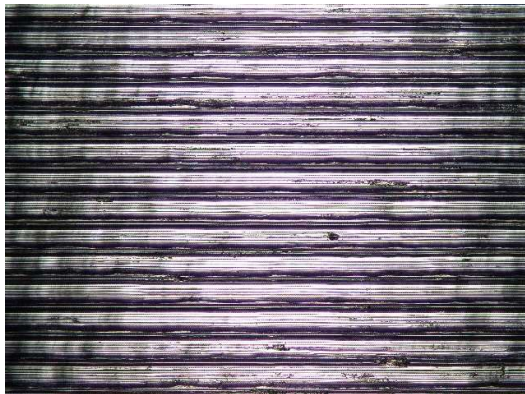
Ukázka povrchu vzorků obrobku a třísky pro posuv  $f = 0,05; 0,1$  a  $0,15$  mm/ot:



*Obr. 3.3 a 3.4 Povrch obrobku a třísky při posuvu  $f = 0,05$  mm/ot*



*Obr. 3.5 a 3.6 Povrch obrobku a třísky při posuvu  $f = 0,1$  mm/ot*



*Obr. 3.7 a 3.8 Povrch obrobku a třísky při posuvu  $f = 0,15$  mm/ot*

### 3.2 Měřicí přístroj

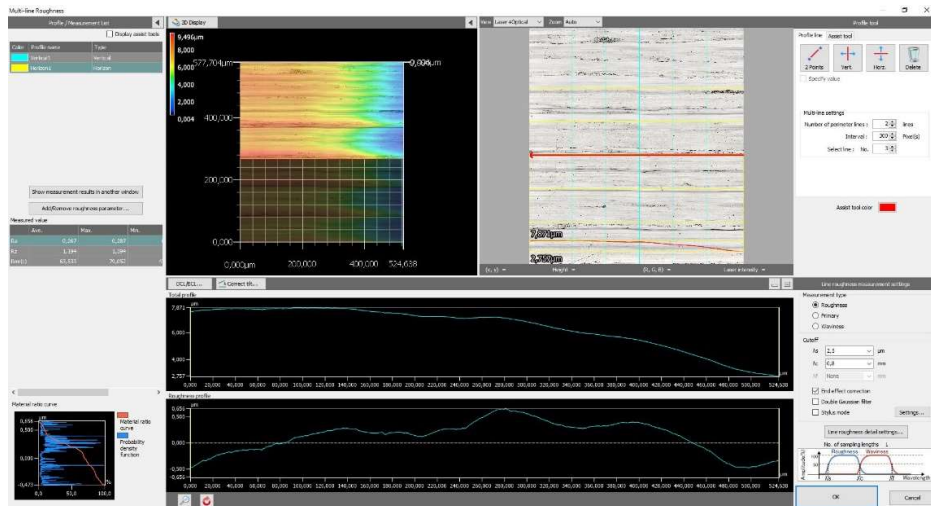
Výškový parametr drsnosti povrchu  $R_a$  (průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu) a hloubka drážky  $h$  byly vyhodnocovány pomocí bezdotykové metody měření.

Pro měření textury povrchu byl použit 3D laserový skenovací konfokální mikroskop KAYENCE VK-X1000, viz. obr. 3.9. Pro účely měření bylo použito fialového laseru o vlnové délce  $\lambda$  404 nm a objektivu s optickým zvětšením x50.



*Obr. 3.9 3D laserový skenovací konfokální mikroskop KAYENCE VK-X1000*

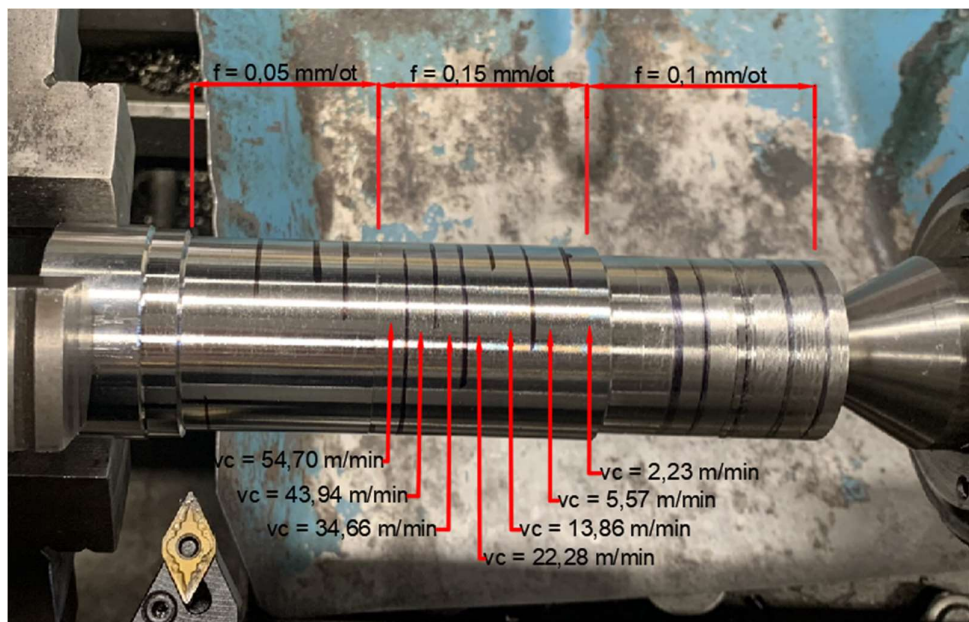
Vyhodnocení parametru drsnosti povrchu  $R_a$  u jednotlivých vzorků a hloubky drážky  $h$  vytvořené ŘN u obrobku bylo provedeno pomocí programu VK Analyzer, který je dodáván k mikroskopu, viz. obr 3.10.



Obr. 3.10 VK Analyzer

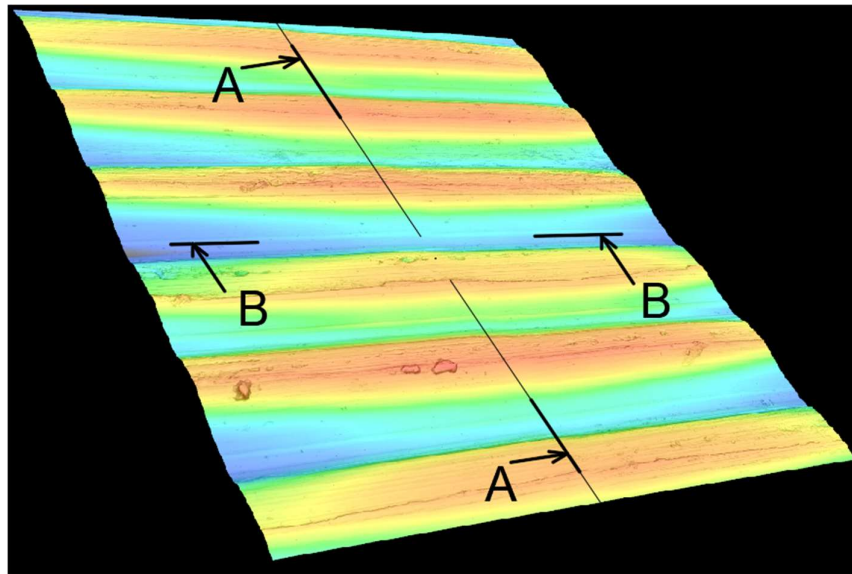
### 3.3 Vlastní návrh měření

Jak již bylo zmíněno v bodu [2.1 Výroba vzorků](#), byl vzorek z kulatiny rozdělen na 3 části dané posuvem  $f$ . Tyto 3 oblasti byly dále rozděleny na dalších 7 částí dle rezných rychlostí  $v_c$ , viz. tab. 3.1 a obr. 3.11. Každá oblast dle posuvu  $f$  byla rozdělena stejně.



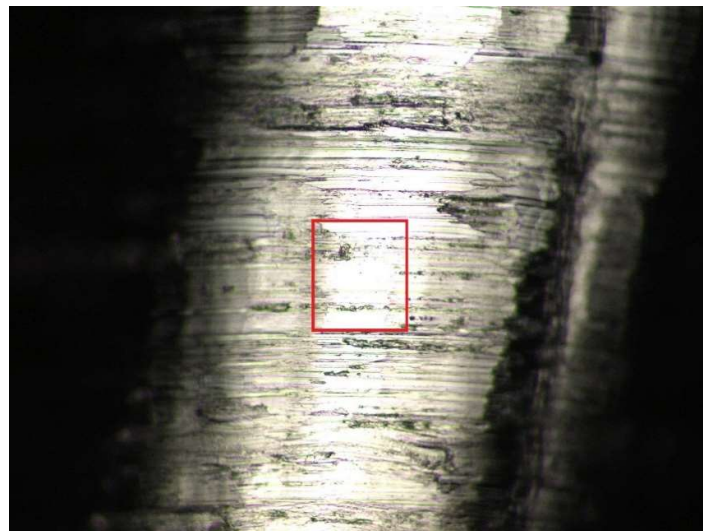
Obr. 3.11 Rozdělení obrobku pro potřeby měření

Měření obrobku bylo následně provedeno na vyznačených místech, viz. obr. 3.11. Na každé části bylo provedeno 5 měření v kolmém (A-A) i podélném (B-B) směru řezu o délce 0,5 mm na ploše 0,25 mm<sup>2</sup>, viz. obr. 3.12. Pro upnutí obrobku byl použit svěrák.

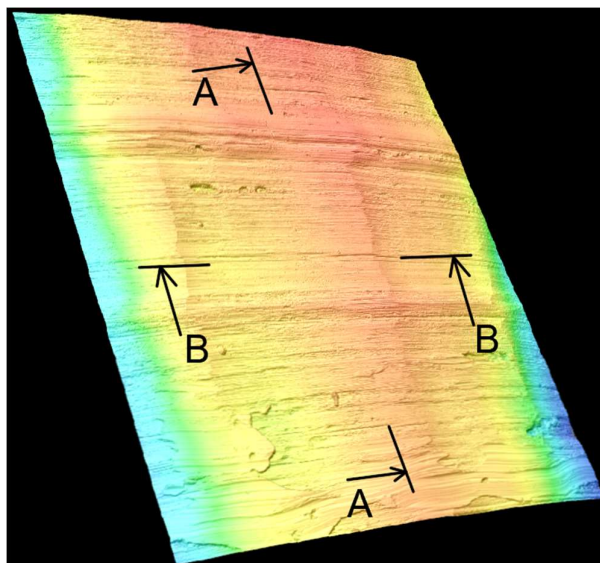


*Obr. 3.12 Označení měřených oblastí na obrobku*

Jednotlivé třísky pro daný posuv a řeznou rychlost byly měřeny na čelních plochách dle obr. 3.13. Pro každý posuv a danou řeznou rychlost bylo provedeno měření na 5 různých třískách v kolmém o podélném směru, viz obr. 3.14.



*Obr. 3.13 Označení měřené oblasti na třísce*



*Obr. 3.14 Označení měřených oblastí na třísky*

### **Příprava vzorků**

Vzorky byly před měřením umyty a odmaštěny pomocí technického benzínu a vaty. Třísky byly následně v kontaktu pouze se stolcem měřicího přístroje. Obrobek byl v kontaktu se stěnami svěráku. Tento kontakt se však netýkal měřených ploch.

Se vzorky bylo následně zacházeno pouze v rukavicích, nebo pomocí pinzety, aby se zabránilo jakémukoliv kontaktu s pokožkou.

## 4 Porovnávání vlivu nárůstku na drsnost povrchu při soustružení nerezové oceli v laboratoři KOM FS TUL

Experimentální část této práce obsahuje naměřené hodnoty parametru drsnosti povrchu  $Ra$  pro jednotlivá měření obrobku a třísky v závislosti na posuvu  $f$  a řezné rychlosti  $v_c$ . U obrobku byla dále měřena hloubka drážky  $h$ , která byla vytvořena ŘN.

### 4.1 Naměřené hodnoty

#### 4.1.1 Naměřené hodnoty parametru drsnosti povrchu $Ra$ obrobku

Tabulky 4.1 a 4.2 zobrazují průměrné naměřené hodnoty v kolmém a podélném směru měření parametru povrchu drsnosti  $Ra$  obrobku v závislosti na posuvu  $f$  od 0,05 do 0,15 mm/ot a řezné rychlosti  $v_c$  od 2,3 do 55,7 m/min.

KOLMÝ SMĚR MĚŘENÍ			
$Ra$ [ $\mu\text{m}$ ]	$f$ [mm/ot]		
$v_c$ [m/min]	0,05	0,10	0,15
2,3	0,746	1,329	1,611
5,6	0,650	1,278	1,795
13,9	0,706	1,250	1,596
22,3	0,719	1,289	1,718
34,7	0,629	1,215	1,815
44,0	0,609	1,096	1,740
55,7	0,557	1,023	1,630
Průměr	0,659	1,211	1,701

Tab. 4.1 – Hodnoty parametru  $Ra$  pro obrobek v kolmém směru

PODÉLNÝ SMĚR MĚŘENÍ			
Ra [ $\mu\text{m}$ ]	f [mm/ot]		
$v_c$ [m/min]	0,05	0,10	0,15
2,3	0,332	0,337	0,317
5,6	0,297	0,348	0,338
13,9	0,301	0,332	0,294
22,3	0,303	0,298	0,304
34,7	0,278	0,287	0,324
44,0	0,282	0,302	0,330
55,7	0,283	0,314	0,362
Průměr	0,297	0,317	0,324

Tab. 4.2 – Hodnoty parametru  $R_a$  pro obrobek v podélném směru

#### 4.1.2 Naměřené hodnoty parametru drsnosti povrchu $R_a$ třísky

Tabulky 4.3 a 4.4 zobrazují průměrné naměřené hodnoty v kolmém a podélném směru měření parametru povrchu drsnosti  $R_a$  třísky v závislosti na posuvu  $f$  od 0,05 do 0,15 mm/ot a řezné rychlosti  $v_c$  od 2,3 do 55,7 m/min.

KOLMÝ SMĚR MĚŘENÍ			
Ra [ $\mu\text{m}$ ]	f [mm/ot]		
$v_c$ [m/min]	0,05	0,10	0,15
2,3	1,434	1,823	2,059
5,6	1,204	1,420	1,574
13,9	0,818	1,198	1,423
22,3	0,754	1,085	1,374
34,7	0,723	1,013	1,276
44,0	0,728	0,875	1,094
55,7	0,575	0,799	1,005
Průměr	0,891	1,173	1,401

Tab. 4.3 Hodnoty parametru  $R_a$  pro třísku v kolmém směru



PODÉLNÝ SMĚR MĚŘENÍ			
Ra [ $\mu\text{m}$ ]	f [mm/ot]		
$v_c$ [m/min]	0,05	0,10	0,15
2,3	2,345	2,688	2,956
5,6	2,125	2,327	2,815
13,9	1,934	2,227	2,784
22,3	1,874	2,134	2,719
34,7	1,538	1,965	2,648
44,0	1,489	1,897	2,340
55,7	1,475	1,780	1,984
Průměr	1,826	2,145	2,607

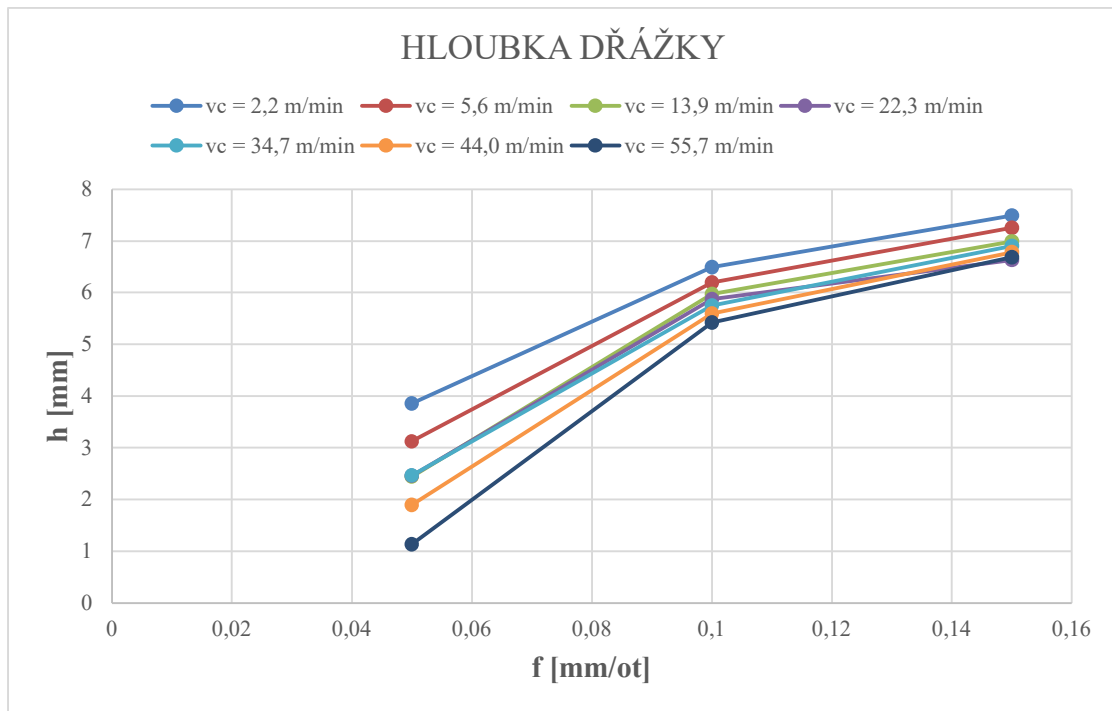
Tab. 4.4 Hodnoty parametru Ra pro třísku v podélném směru

### 4.1.3 Naměřené hodnoty hloubky drážky $h$

Tabulka 4.5 obsahuje naměřené hodnoty hloubky drážky  $h$  obrobku v závislosti na posuvu  $f$  pro jednotlivé řezné rychlosti  $v_c$ . Graf 1 následně ukazuje jejich grafické zpracování.

HLOUBKA DRÁŽKY			
h [mm]	posuv f [mm/ot]		
$v_c$ [m/min]	0,05	0,10	0,15
2,3	3,855	6,490	7,489
5,6	3,125	6,196	7,256
13,9	2,441	5,972	6,990
22,3	2,458	5,875	6,631
34,7	2,464	5,751	6,903
44,0	1,896	5,596	6,780
55,7	1,137	5,422	6,684
Průměr	2,482	5,900	6,962

Tab. 4.5 Hloubka drážky obrobku

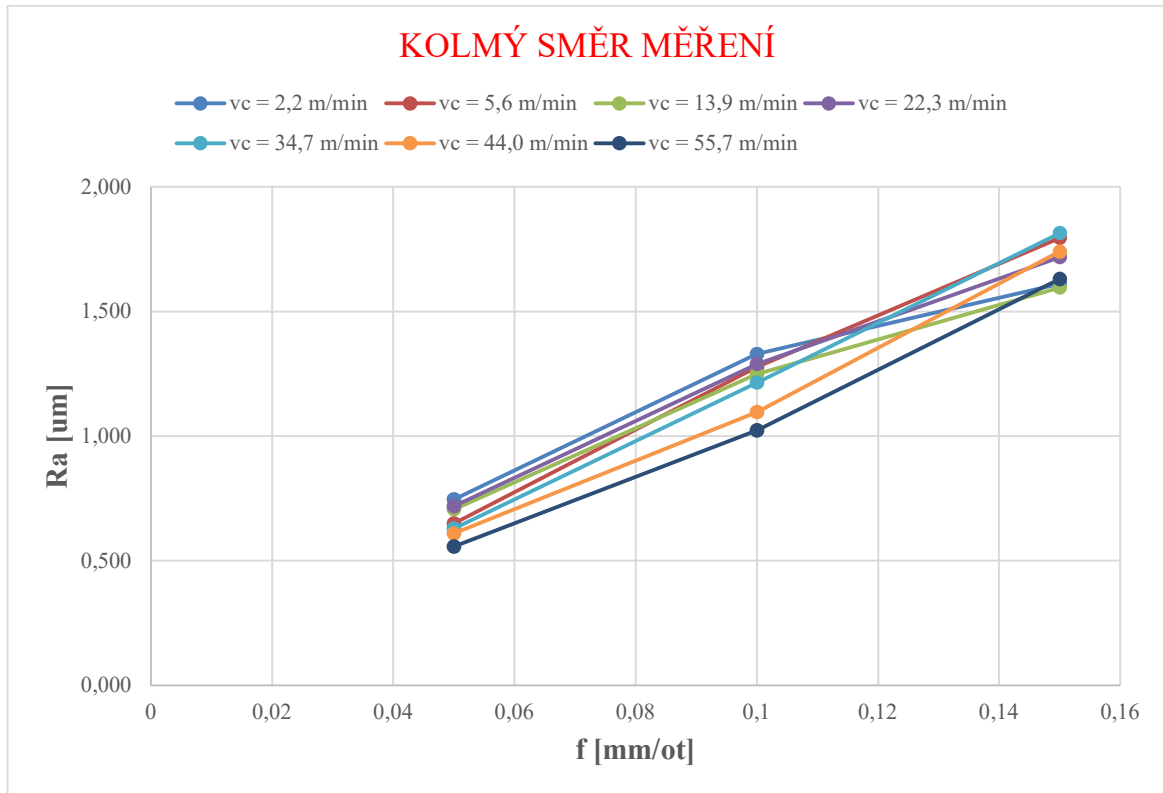


*Graf 1 Hloubka drážky  $h$  v závislosti na posuvu  $f$*

Z grafu 1 můžeme pozorovat zvětšující se hloubku drážky  $h$  se zvětšujícím se posuvem  $f$ . To má za následek zvýšení hodnoty parametru drsnosti povrchu  $Ra$ .

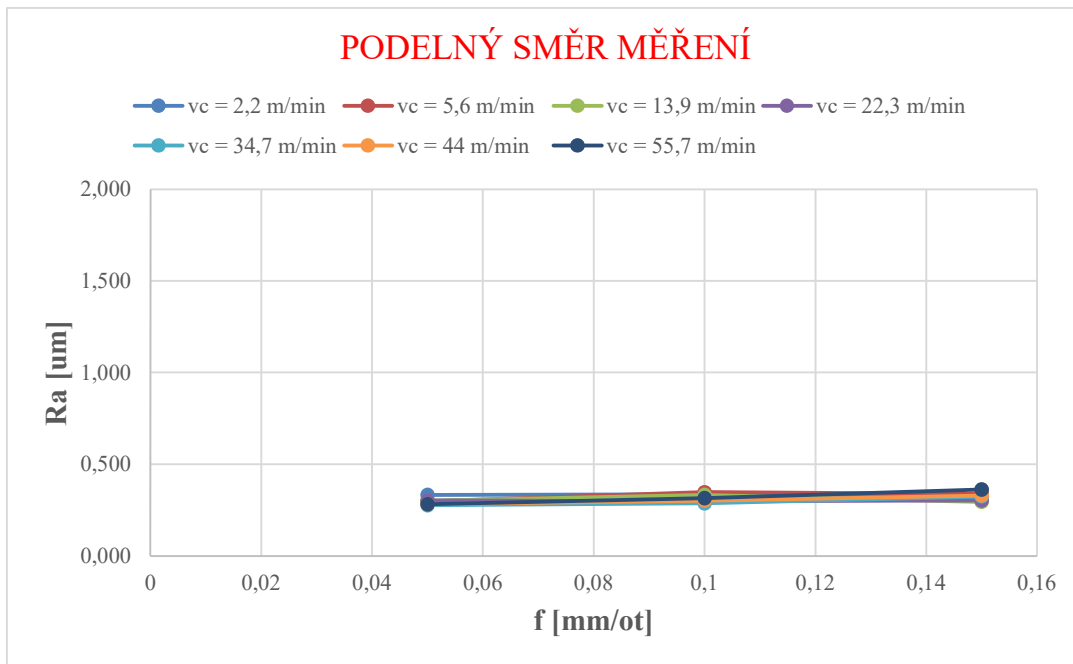
## 4.2 Vliv posuvu $f$ na parametr drsnosti povrchu obrobku $Ra$

Grafy 2 a 3 zobrazují grafické znázornění výsledků parametru povrchu drsnosti  $Ra$  obrobku v závislosti na posuvu  $f$ , pro jednotlivé řezné rychlosti  $v_c$ , v kolmém a podélném směru měření, viz. tab. 4.1 a 4.2.



Graf 2 Parametr  $Ra$  v závislosti na posuvu  $f$  – kolmý směr – obrobek

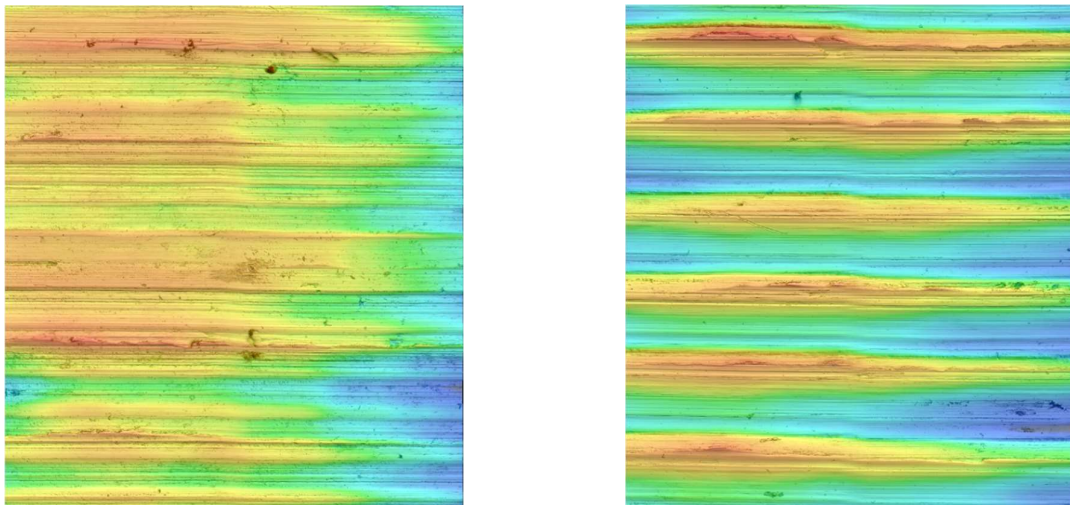
Dle grafu 2 můžeme v kolmém směru měření pozorovat, pro jednotlivé řezné rychlosti  $v_c$ , rostoucí hodnotu parametru drsnosti povrchu  $Ra$  se zvětšujícím se posuvem  $f$ . Nárůst hodnoty parametru  $Ra$  v rozmezí posuvu  $f$  od 0,05 do 0,15 mm/ot se pohybuje od 53,5 do 65,8 % v závislosti na řezné rychlosti  $v_c$ . Průměrně hodnota parametru  $Ra$  vzrostla přibližně o 61 %.



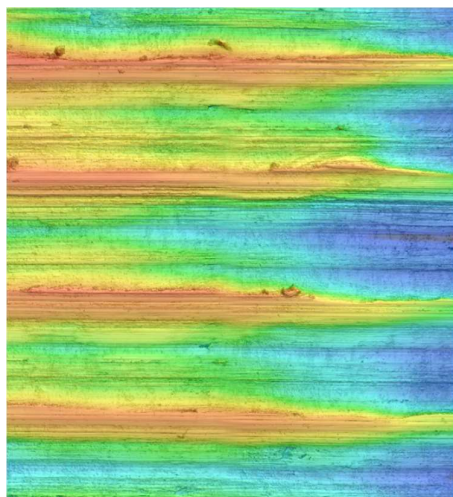
Graf 3 Parametr  $R_a$  v závislosti na posuvu  $f$  – podélný směr – obrobek

Dle grafu 3 můžeme v podélném směru měření pozorovat, pro jednotlivé řezné rychlosti  $v_c$ , neměnnou hodnotu parametru drsnosti povrchu  $R_a$  se zvětšujícím se posuvem  $f$ . Zvyšující se posuv  $f$  nemá vliv na parametr  $R_a$  v podélném směru měření, tedy v drážce řezu.

Na obrázcích je možné vidět povrch obrobku pro všechny posuvy  $f$  obrobený řeznou rychlostí  $v_c = 2,3$  m/min. Obrázky jsou pořízené se zvětšením x50.



Obr. 4.1 a 4.2 Obrobený povrch obrobku pro posuv  $f = 0,05$  a  $0,1$  mm/ot

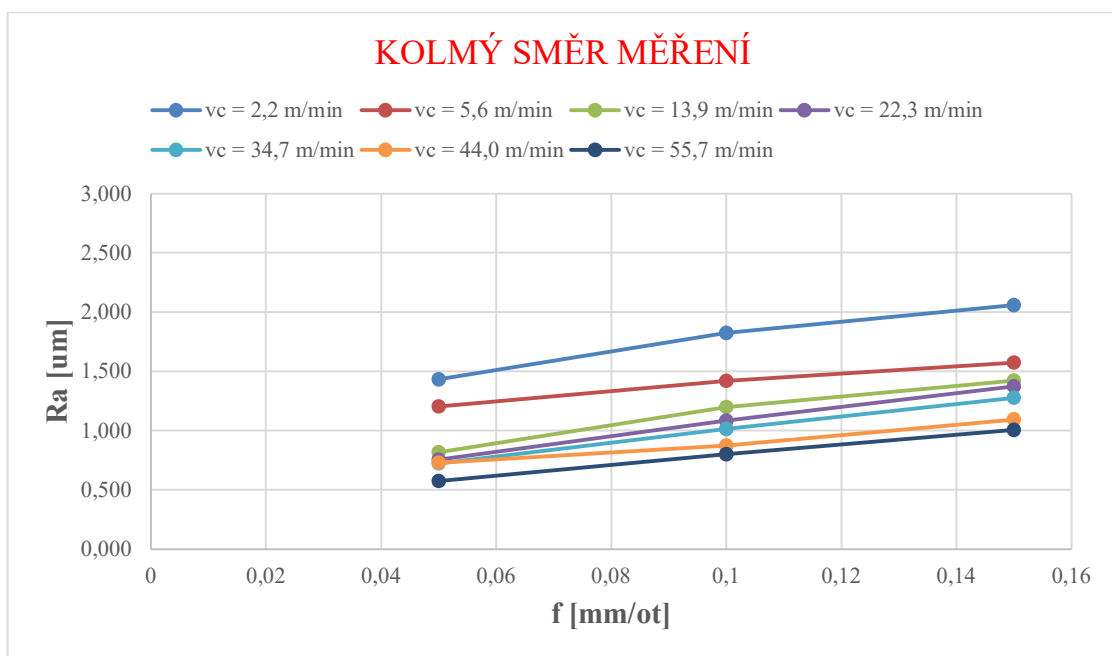


Obr. 4.3 Obrobený povrch obrobku pro posuv  $f = 0,15 \text{ mm/ot}$

Z obrázků 4.1, 4.2 a 4.3 můžeme vidět, že nárůstek na povrchu obrobku ulpívá minimálně a nemá tak vliv na parametr  $Ra$ .

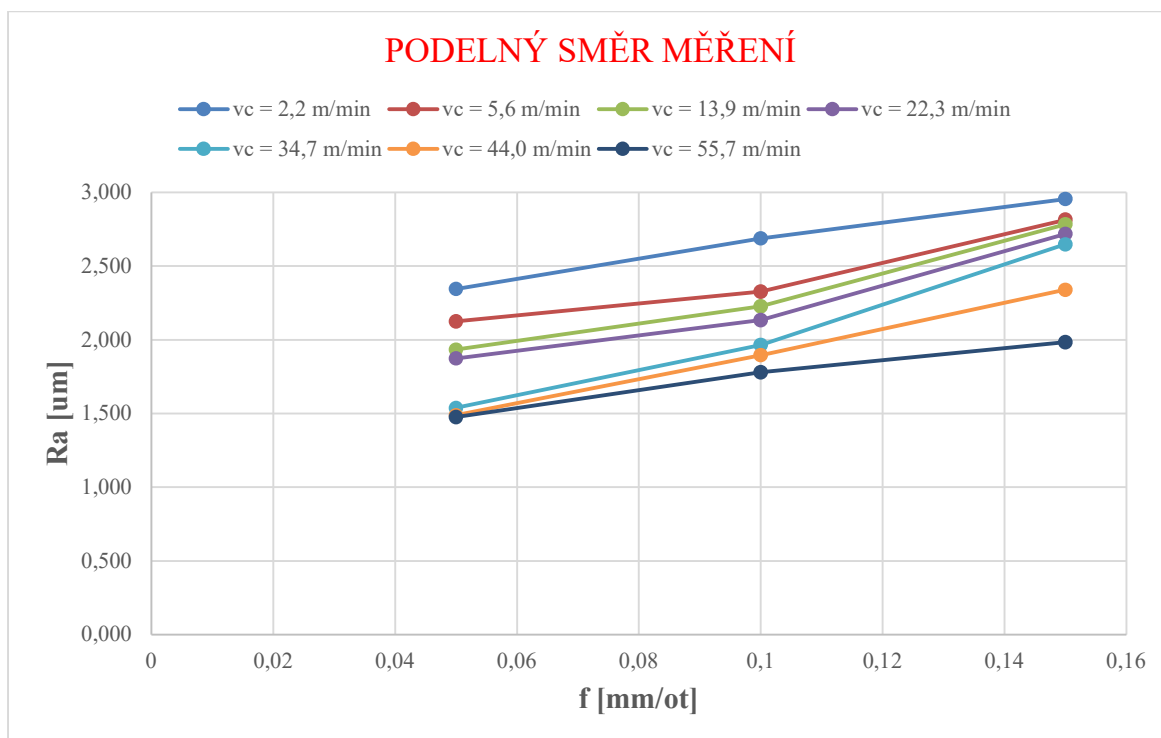
### 4.3 Vliv posuvu $f$ na parametr drsnosti povrchu třísky $Ra$

Grafy 4 a 5 zobrazují grafické znázornění výsledků parametru povrchu drsnosti  $Ra$  třísky v závislosti na posuvu  $f$ , pro jednotlivé řezné rychlosti  $v_c$ , v kolmém a podélném směru měření, viz. tab. 4.3 a 4.4.



Graf 4 Parametr  $Ra$  v závislosti na posuvu  $f$  – kolmý směr – tříška

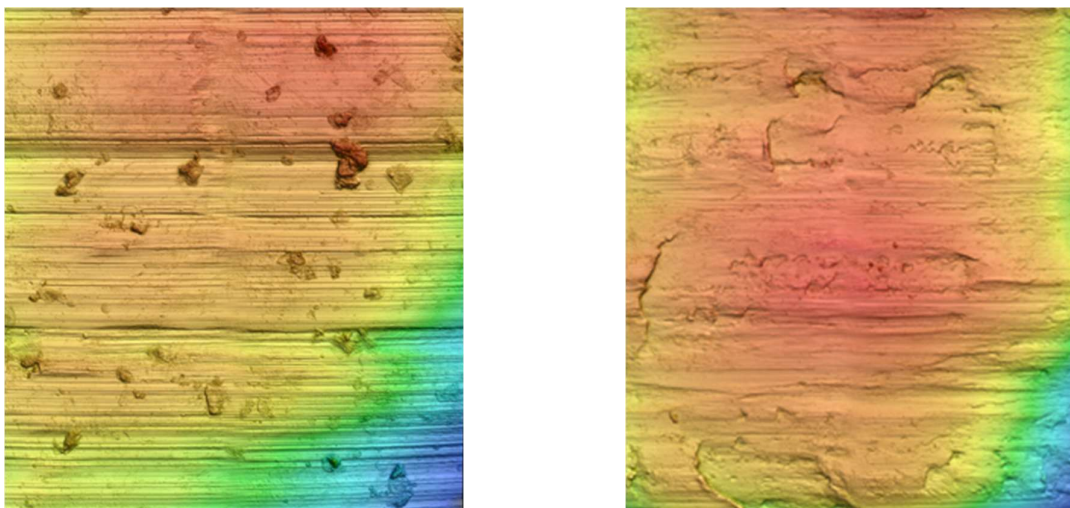
Dle grafu 4 můžeme v kolmém směru měření pozorovat, pro jednotlivé řezné rychlosti  $v_c$ , rostoucí hodnotu parametru drsnosti povrchu  $Ra$  se zvětšujícím se posuvem  $f$ . Nárůst hodnoty parametru  $Ra$  v rozmezí posuvu  $f$  od 0,05 do 0,15 mm/ot se pohybuje od 30 do 45 % v závislosti na řezné rychlosti  $v_c$ . Průměrně hodnota parametru  $Ra$  vzrostla přibližně o 37 %.



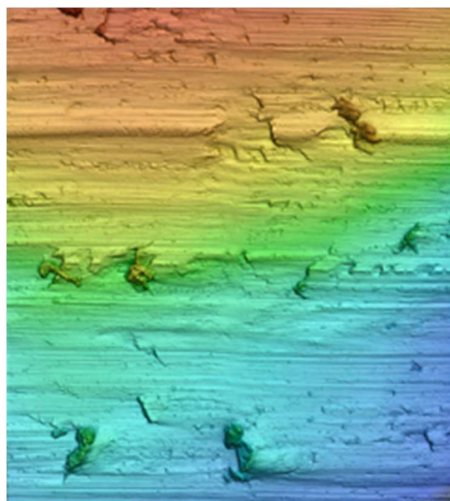
Graf 5 Parametr  $Ra$  v závislosti na posuvu  $f$  – podélný směr – tříska

Dle grafu 5 můžeme v podélném směru měření pozorovat, pro jednotlivé řezné rychlosti  $v_c$ , rostoucí hodnotu parametru drsnosti povrchu  $Ra$  se zvětšujícím se posuvem  $f$ . Nárůst hodnoty parametru  $Ra$  v rozmezí posuvu  $f$  od 0,05 do 0,15 mm/ot se pohybuje od 20,5 do 42 % v závislosti na řezné rychlosti  $v_c$ . Průměrně hodnota parametru  $Ra$  vzrostla přibližně o 30 %.

Na obrázcích je možné vidět povrch třísky pro všechny posuvy  $f$ , který vznikl při obrábění řeznou rychlostí  $v_c = 2,3$  m/min. Obrázky jsou pořízené se zvětšením x50.



*Obr. 4.4 a 4.5 Povrch třísky pro posuv  $f = 0,05$  a  $0,1$  mm/ot*

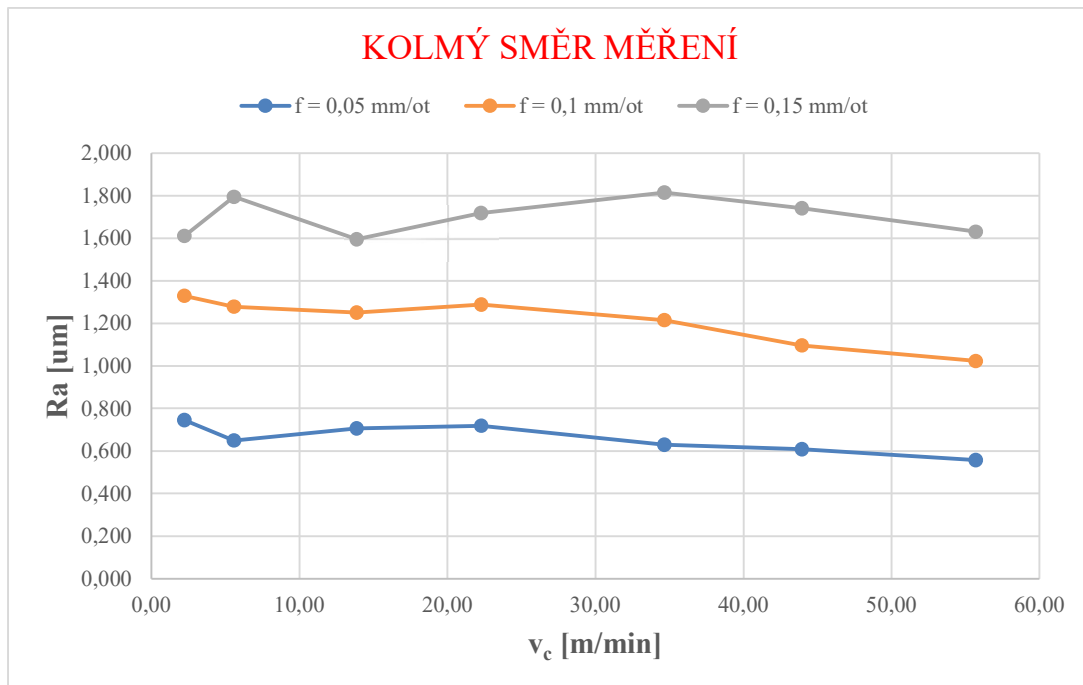


*Obr. 4.6 Povrch třísky pro posuv  $f = 0,15$  mm/ot*

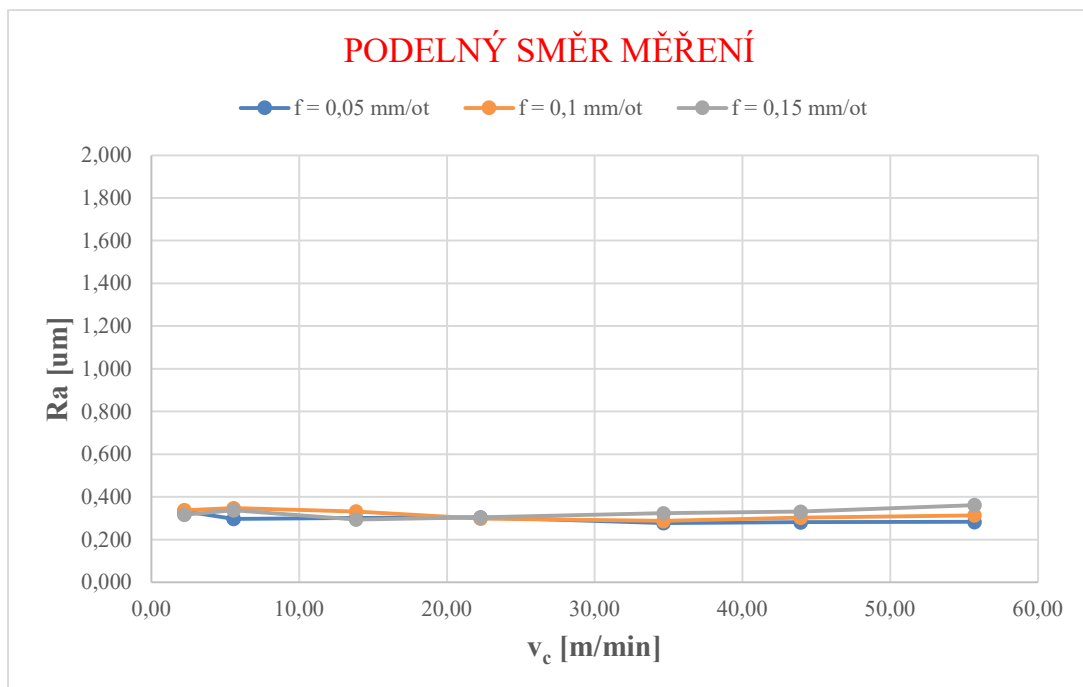
Z obrázků 4.4, 4.5 a 4.6 můžeme vidět, že se zvyšujícím se posuvem se zvyšuje i ulpívání nárůstku na povrchu třísky. Nárůstek má na povrchu třísky velký vliv na parametr  $Ra$ .

#### **4.4 Vliv řezné rychlosti $v_c$ na parametr drsnosti povrchu obrobku $Ra$**

Grafy 6 a 7 zobrazují grafické znázornění výsledků parametru povrchu drsnosti  $Ra$  obrobku v závislosti na řezné rychlosti  $v_c$ , pro jednotlivé posuvy  $f$ , v kolmém a podélném směru měření, viz. tab. 4.1 a 4.2.



Graf 6 Parametr Ra v závislosti na řezné rychlosti  $v_c$  – kolmý směr – obrobek

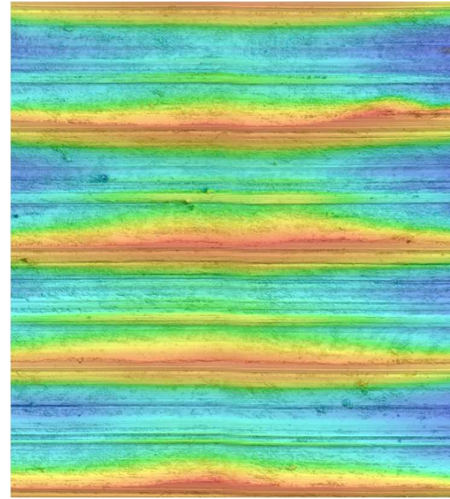
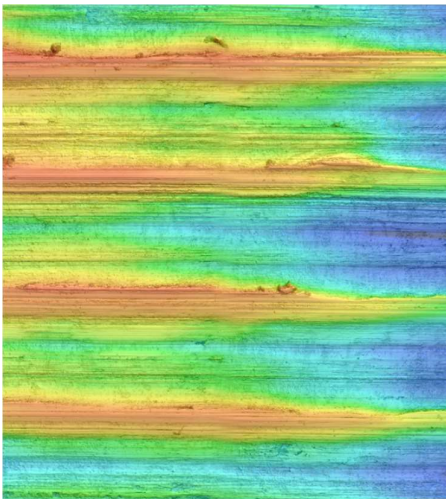


Graf 7 Parametr Ra v závislosti na řezné rychlosti  $v_c$  – podélný směr – obrobek

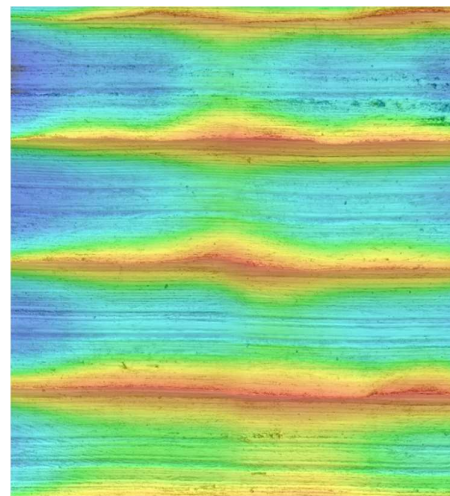
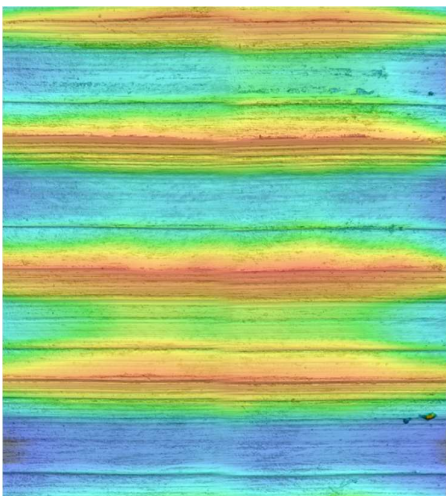


Dle grafů 6 a 7 můžeme v obou směrech měření pozorovat, pro jednotlivé posuvy  $f$ , téměř neměnicí se hodnotu parametru drsnosti povrchu  $Ra$  se zvětšující se řeznou rychlostí  $v_c$ . Řezná rychlost  $v_c$  nemá vliv na parametr  $Ra$  při soustružení nerezové ocele 17 240.

Na obrázcích je možné vidět povrch obrobku obroběný různými řeznými rychlostmi při posuvu  $f = 0,15 \text{ mm/ot}$ . Obrázky jsou pořízené se zvětšením x50.



*Obr. 4.7 a 4.8 Povrch obrobku obroběný  $v_c = 2,3$  a  $13,9 \text{ m/min}$*



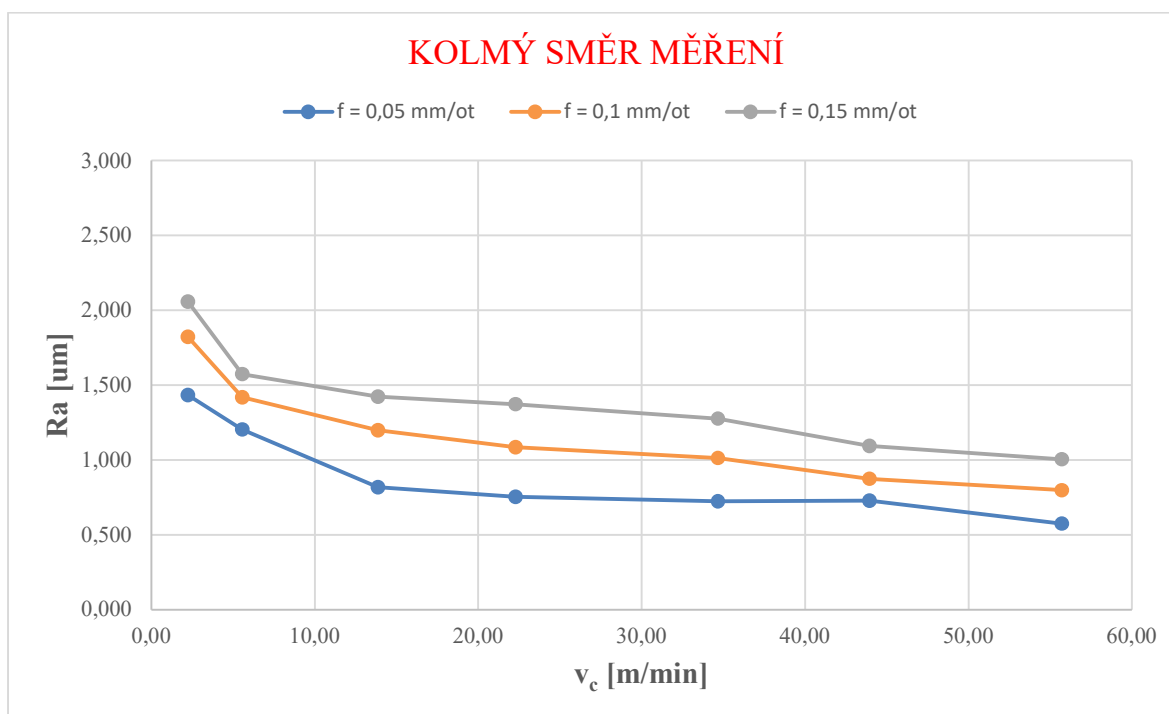
*Obr. 4.9 a 4.10 Povrch obrobku obroběný  $v_c = 34,7$  a  $55,7 \text{ m/min}$*

Z obrázků 4.7, 4.8, 4.9 a 4.10 můžeme vidět, že nárůstek na povrchu obrobku ulpívá minimálně a nemá tak vliv na parametr  $Ra$ .

## 4.5 Vliv řezné rychlosti $v_c$ na parametr drsnosti povrchu třísky

### *Ra*

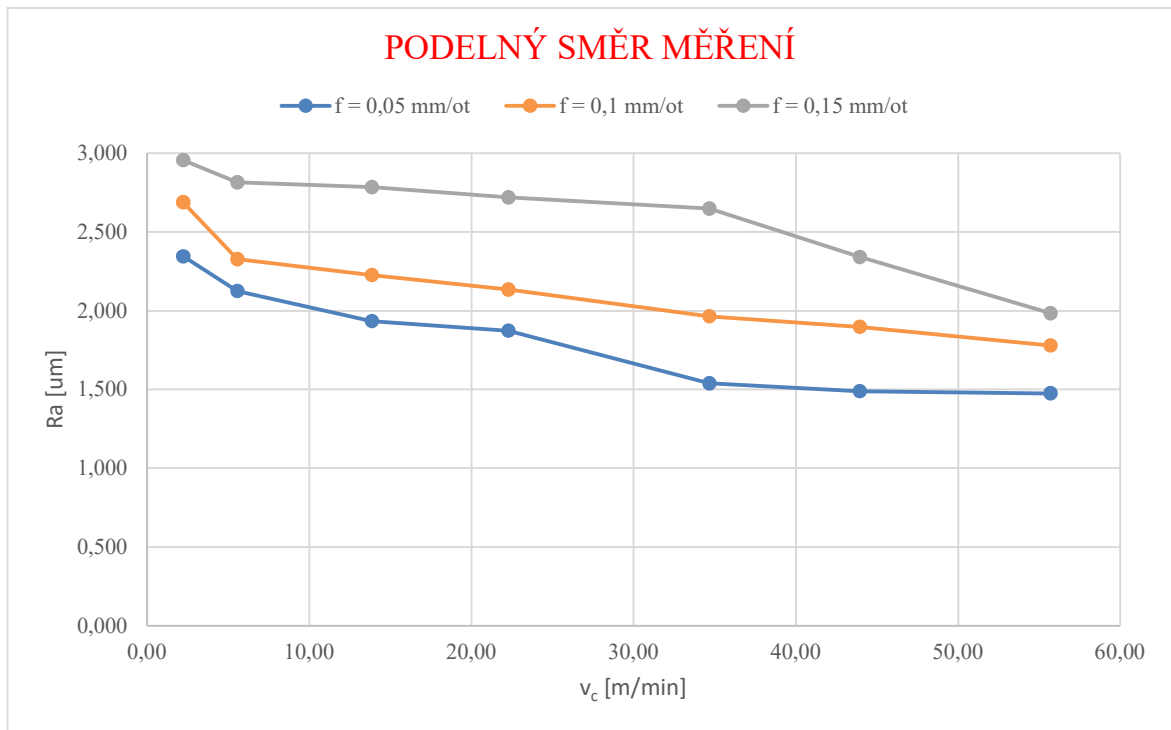
Grafy 8 a 9 zobrazují grafické znázornění výsledků parametru povrchu drsnosti  $Ra$  obrobku v závislosti na řezné rychlosti  $v_c$ , pro jednotlivé posuvy  $f$ , v kolmém a podélném směru měření, viz. tab. 4.3 a 4.4.



Graf 8 Parametr  $Ra$  v závislosti na řezné rychlosti  $v_c$  – kolmý směr – tříška

Dle grafu 8 můžeme v kolmém směru měření pozorovat, pro jednotlivé posuvy  $f$ , klesající hodnotu parametru drsnosti povrchu  $Ra$  se zvětšující se řeznou rychlostí  $v_c$ .

Pokles hodnoty parametru  $Ra$  v rozmezí řezných rychlostí  $v_c$  od 2,3 do 55,7 mm/ot, pro posuv  $f = 0,05$  mm/ot, je přibližně o 60 %. Pro posuv  $f = 0,1$  mm/ot hodnota parametru  $Ra$  klesla o přibližně 56 % a pro posuv  $f = 0,15$  mm/ot hodnota parametru  $Ra$  klesla o přibližně 51 %.



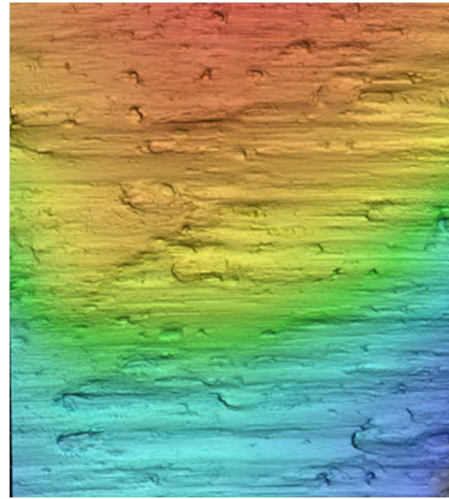
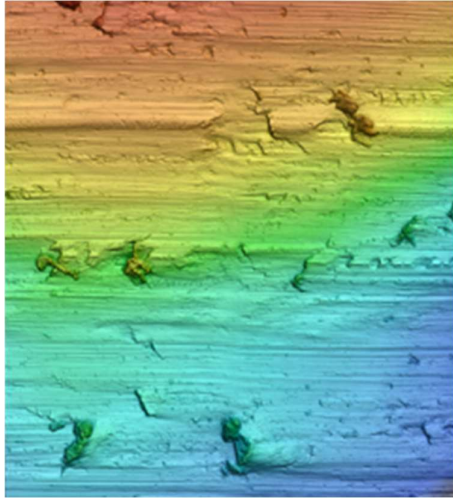
*Graf 9 Parametr  $Ra$  v závislosti na řezné rychlosti  $v_c$  – podélný směr – tříška*

Dle grafu 9 můžeme v podélném směru měření pozorovat, pro jednotlivé posuvy  $f$ , klesající hodnotu parametru drsnosti povrchu  $Ra$  se zvětšující se řeznou rychlostí  $v_c$ .

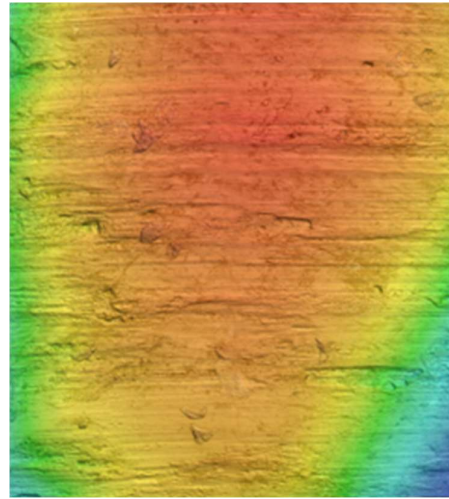
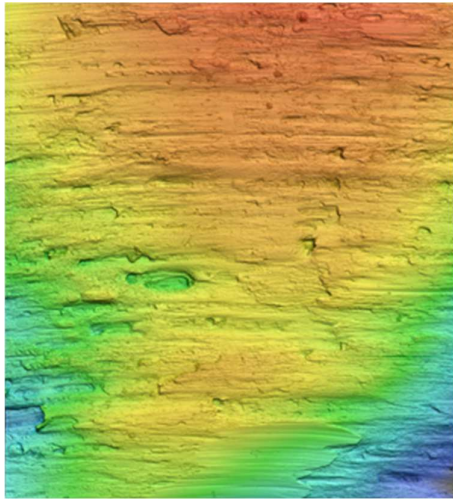
Pokles hodnoty parametru  $Ra$  v rozmezí řezných rychlostí  $v_c$  od 2,3 do 55,7 mm/ot, pro posuv  $f = 0,05$  mm/ot, je přibližně o 37 %. Pro posuv  $f = 0,1$  mm/ot hodnota parametru  $Ra$  klesla o přibližně 34 % a pro posuv  $f = 0,15$  mm/ot hodnota parametru  $Ra$  klesla o přibližně 33 %.

Z grafů 8 a 9 můžeme pozorovat, že nejhorší hodnota parametru  $Ra$  byla změřena při obrábění nejnižší řeznou rychlostí  $v_c$ . Nejlepší hodnota parametru  $Ra$  naopak při rychlosti nejvyšší. Z tohoto hlediska můžeme tvrdit, že se zvyšující se řeznou rychlostí  $v_c$  dochází ke snižování tvorby nárůstku.

Na obrázcích je možné vidět povrch obrobku obrobený různými řeznými rychlostmi  $v_c$  při posuvu  $f = 0,15$  mm/ot. Obrázky jsou pořízené se zvětšením x50.



*Obr. 4.11 a 4.12 Povrch třísky obroběný  $v_c = 2,3$  a  $13,9$  m/min*



*Obr. 4.13 a 4.14 Povrch třísky obroběný  $v_c = 34,7$  a  $55,7$  m/min*

Z obrázků 4.11, 4.12, 4.13 a 4.14 můžeme vidět, že se zvyšující se řeznou rychlostí  $v_c$  se snižuje velikosti a ulpívání nárůstku na povrchu třísky.

## **Analýza laboratorních výsledků; vyvození závěrů**

Hlavním cílem bakalářské práce byla analýza vlivu nárůstku na drsnost povrchu při soustružení nerezové oceli a určení, zdali nárůstek ulpívá více na povrchu obrobku, nebo na povrchu třísky. Hlavních cílů bylo dosaženo návrhem metodické části, provedením experimentální části a vyhodnocením výsledku jednotlivých měření.

Teoretická část **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** bakalářské práce uvádí základní informace o nárůstku, jeho tvorbě a významu při soustružení (podkapitola 1.1). Dále uvádí informace o základních složkách integrity povrchu (podkapitola 2.1), a to především o drsnosti povrchu (podkapitola 2.2).

Metodická část bakalářské práce popisuje návrh řezných podmínek pro výrobu vzorků (podkapitola 3.1), popis 3D laserového skenovacího konfokálního mikroskopu KAYENCE VK-X1000, který byl použit pro skenování povrchu vzorků a k měření parametru drsnosti povrchu  $Ra$  (podkapitola 3.2) a samotný návrh měření pro dosažení cílů bakalářské práce (podkapitola 3.3).

Experimentální část bakalářské práce obsahuje výsledky jednotlivých měření a jejich grafické zpracování ve formě grafů (kapitola 4).

**Dle výsledků experimentální části bakalářské práce můžeme vyvodit následující závěry pro nerezovou ocel 17 240:**

1. Z pozorování tvorby nárůstku a výsledků se prokázalo, že nárůstek se tvoří především na třísece. Na povrchu obrobku se vyskytuje ojediněle.
2. Parametr drsnosti povrchu  $Ra$  (dále jen parametr  $Ra$ ) obrobku v kolmém směru závisí na posuvu. Čím větší je posuv  $f$ , tím větší je hloubka drážky  $h$  řezu a tím i parametr  $Ra$ . Naopak v podélném směru závislost na posuvu  $f$  není. To můžeme vysvětlit tím, že na konci řezu má nárůstek minimální rozměr. Kdyby měl nárůstek podstatný rozměr se zvětšujícím se posuvem  $f$ , tak by byl parametr  $Ra$  větší, jako to vidíme na třísece.
3. Parametr  $Ra$  třísky v kolmém a podélném směru závisí na posuvu  $f$ . Čím větší je posuv  $f$ , tím větší je nárůstek.

4. Parametr  $Ra$  obrobku v kolmém a podélném směru není ovlivňován řeznou rychlostí  $v_c$ . To můžeme vysvětlit tím, že na konci řezu má nárůstek minimální rozměr. Kdyby měl nárůstek podstatný rozměr se zvětšující se řeznou rychlostí  $v_c$ , tak by byl parametr  $Ra$  obrobku větší, jako to vidíme na třísece.
5. Povrch třísky závisí i na řezné rychlosti  $v_c$ , která též ovlivňuje tvorbu nárůstku. Čím vyšší je řezná rychlost  $v_c$ , tím nižší je pravděpodobnost jeho tvorby. Při vyšších rychlostech vzniká nárůstek na hlavním břitu, kde je pevně ukotven. Nedochází tedy tolik k jeho destabilizaci a následnému ulpívání. Naopak při nižších rychlostech dochází k přesunu nárůstku do středu na vedlejší břit. Následuje jeho destabilizace a odchod na třísece.
6. Nárůstek v drážce řezu ulpívá minimálně. Jediným faktorem ovlivňujícím drsnost povrchu v drážce je geometrie samotného řezného nástroje. Parametr drsnosti povrchu  $Ra$  obrobku je tedy v podélném směru řezu mnohem nižší než u třísky.

## Seznam použité literatury

- [1] – GAZDA, Jaromír. Teorie obrábění: průvodce tvorbou třísky. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-498-6.
- [2] – PŘIKRYL, Zdeněk a MUSÍLKOVÁ, Rosa. Teorie obrábění: učebnice pro vysoké školy. Vyd. 3, opravené vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:ecc76ad0-6322-11e8-a67a-5ef3fc9ae867>
- [3] – HLUCHÝ, Miroslav a Václav HANĚK. Strojírenská technologie 2. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-245-6.
- [4] – KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [5] – AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [6] – Tvorba nárůstku a jeho vliv na obrábění [online]. In: . [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1191>
- [7] – DE VOS, Patrick. Příručka pro technology - Opatření se nevyhneme!. MM Průmyslové spektrum: Nové technologie a stroje v třískovém obrábění [online]. 2012, (6) [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-opotrebeni-se-nevyhneme>
- [8] – BUMBÁLEK, Bohumil, V. ODVODY a Bohuslav OŠŤÁDAL. Drsnost povrchu. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989.

- [9] – MÁDL, Jan, Jan JERSÁK, František HOLEŠOVSKÝ, Václav KOUTNÝ a Vítězslav RÁZEK, SLÁMA, Miroslav, ed. Jakost obráběných povrchů. Ústí nad Labem: UJEP, ÚTRŮV, 2003. ISBN 80-7044-539-4.
- [10] – ŠTEFAN, Vojtěch. Filtrace dat při měření drsnosti povrchu [online]. Plzeň, 2014 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/15066>. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Zdeněk Pospěch.
- [11] – Vzorkovnice drsnosti povrchů odlitků. In: Nástrojenáradí.cz [online]. Blansko: STROJE SVOBODA [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.nastrojenaradi.cz/vzorkovnice-drsnosti-povrchu-odlitku>
- [12] – ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Termíny, definice a parametry struktury povrchu. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [13] – ČSN EN ISO 3274. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda – Jmenovité charakteristiky dotykových (hrotových) přístrojů. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [14] – Parametry drsnosti. In: JENOPTIK [online]. Teplice: HOMMEL CS [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.jenoptik.cz/cz/technicke-informace/drsnost-povrchu-dle-din-en-iso/>
- [15] – ČSN EN ISO 25178-2. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Textura povrchu: Plocha – Část 2: Termíny, definice a parametry textury povrchu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [16] – TICHÁ, Šárka. VŠB-TU OSTRAVA. Strojírenská metrologie – část 1 [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2014-03-30]. ISBN 80-248-0672-X. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>



- [17] – JIŘIKOVSKÝ, Karel. Laserový konfokální řádkovací mikroskop. MM Průmyslové spektrum: Řezné nástroje v třískovém obrábění [online]. 2007, (4) [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/laserovy-konfokalni-radkovaci-mikroskop>
- [18] – BUMBÁLEK, Bohumil. *INTEGRITA POVRCHU A JEJÍ VÝZNAM PRO POSOUZENÍ VHODNOSTI DANÉ PLOCHY PRO JEJÍ FUNKCI* [online]. Vysoké učení technické v Brně [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: [http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/2512\\_Bumbalek.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf)
- [19] – Chemické složení nerez ocelí. In: *Nerezka* [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.nerezka.cz/chemicke-slozeni-nerez-oceli>