



# Vliv koncentrace nanočástic v procesních kapalinách na trvanlivost nástroje a kvalitu obrobeneho povrchu při soustružení

## Diplomová práce

*Studijní program:* N2301 – Strojní inženýrství  
*Studijní obor:* 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály  
*Autor práce:* **Bc. Jakub Handa**  
*Vedoucí práce:* prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.





# **Effect of the concentration of nanoparticles in the process fluid on the tool life and the quality of the machined surface during turning**

## **Master thesis**

*Study programme:* N2301 – Mechanical Engineering  
*Study branch:* 2301T048 – Engineering Technology and Materials  
*Author:* **Bc. Jakub Handa**  
*Supervisor:* prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.



## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub Handa**  
Osobní číslo: **S16000279**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**  
Název tématu: **Vliv koncentrace nanočástic v procesních kapalinách na trvanlivost nástroje a kvalitu obrobeneho povrchu při soustružení**  
Zadávající 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 použití nanočástic v procesních kapalinách, o chlazení při obrábění, klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin, analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje.
2. Shrnutí poznatků o kvalitě povrchu po obrábění. Definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu.
3. Navržení metodiky zkoumání trvanlivosti nástroje a drsnosti povrchu při soustružení v laboratoři KOM FS TUL.
4. Zjištění vlivu koncentrace nanočástic v procesních kapalinách na trvanlivost nástroje a kvalitu povrchu při soustružení v laboratoři KOM FS TUL.
5. Analýza laboratorních výsledků; vyvození závěrů.

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

Rozsah pracovní zprávy: Cca 60 - 70 stran textu.

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. MÁDL, J. Řezné kapaliny v současné technologii obrábění. In: *Sborník vědeckých prací*. 1. vyd. Ekologie obrábění, Strojírenská technologie knihovnička, 2000, s. 9 - 18. ISBN 80-7044-232-8.
2. JERSÁK, J., REJZEK, M. Účinek procesní kapaliny na proces soustružení a vybrané parametry integrity povrchu. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Vasilko, prof. Holešovský. roč. 16, duben 2011, č. 2. s. 17 - 23. ISSN 1211-4162.
3. LICEK, R., POPOV, A. Modern fluids and tool materials for turning of construction steel. *Manufacturing Engineering*. Rec. M. Havrila aj. roč. 10, červen 2011, č. 2., s. 42 - 44. ISSN 1335-7972.
4. HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTŘV, 2005. 208s. ISBN 80-7044-616-1.

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


Katedra obrábění a montáže

Konzultant diplomové práce: Ing. Stanislav Servinský, MBA


Katedra obrábění a montáže

Datum zadání diplomové práce: 25. září 2018

Termín odevzdání diplomové práce: 25. března 2020

  
prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld  
děkan



  
doc. Ing. Jan Jersák, CSc.  
vedoucí katedry

V Liberci dne 25. září 2018

## Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou 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 diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou 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.

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

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

25. 4. 2019

Bc. Jakub Handa

## **Vliv koncentrace nanočástic v procesních kapalinách na trvanlivost nástroje a kvalitu obroběného povrchu při soustružení**

### **ANOTACE**

*Diplomová práce obsahuje informace o nanočásticích, o chlazení při obrábění, o procesních kapalinách, jejich vlastnostech a použití. Dále shrnuje informace ohledně trvanlivosti nástroje a kvality obroběného povrchu po obrábění.*

*Úkolem této práce bylo zjištění vlivu koncentrace nanočástic na vlastnosti procesních kapalin s ohledem na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení. V diplomové práci jsou uvedeny výsledky z laboratorních testů, kde byl zkoumán vliv koncentrace nanočástic v procesních kapalinách s dopady na trvanlivost nástroje a kvalitu obroběného povrchu při soustružení.*

**Klíčová slova:** NANOČÁSTICE, PROCESNÍ KAPALINA, TRVANLIVOST NÁSTROJE, OPOTŘEBENÍ NÁSTROJE, DRSNOST POVRCHU



# Effect of the concentration of nanoparticles in the processfluid on the tool life and the quality of the mechined surface during turning

## ANNONTATION

*The master thesis contains information about the nanoparticles, about cooling during machining, proces fluids, their properties and usage. Master thesis also summarizes information about tool life and quality of finish surface during turning process.*

*The aim of this master thesis was to deteremine the effect of nanoparticles concentration on the properties of proces fluids with respect to tool life and surface roughness during turning proces. The diploma thesis present results from laboratory test, where the effect of nanoparticles concentration in proces fluids was investigated with impacts on tool life and quality of machined surface after turning proces.*

**Key words:** NANOPARTICLES, PROCESS FLUID, TOOL LIFE, TOOL WEARING, SURFACE ROUGHNESS



## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád vyjádřil poděkování vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Alexey Popovovi, DrSc., za rady a připomínky při vypracování diplomové práce. Dále bych poděkoval pracovníkům Katedry obrábění a montáže, kteří mi pomohli při práci v laboratořích KOM, zejména panu Ing. Stanislavovi Servinskému MBA a panu Ing. Miloslavovi Ledvinovi.

Dále bych chtěl poděkovat mé ženě, rodičům, příbuzným, přátelům, zaměstnavateli a všem, kteří mě podporovali při mém studiu na Technické univerzitě v Liberci, a tak se zásadně podíleli na vzniku této práce.





**Obsah:**

Seznam použitých zkratk a symbolů.....	12
Úvod.....	14
1 SHRNUTÍ POZNATKŮ O POUŽITÍ NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH, O CHLAZENÍ PŘI OBRÁBĚNÍ, KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN, ANALÝZA VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST NÁSTROJE .....	15
1.1 POUŽITÍ NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH .....	15
1.2 TEPLO PŘI OBRÁBĚNÍ.....	17
1.3 FUNKCE PROCESNÍCH KAPALIN .....	18
1.3.1 KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN .....	19
1.3.2 CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI PROCESNÍCH KAPALIN .....	22
1.4 OPOTŘEBENÍ BŘITŮ NÁSTROJE.....	26
1.4.1 MECHANIZMUS OPOTŘEBENÍ .....	26
1.4.2 TYPY OPOTŘEBENÍ BŘITŮ NÁSTROJŮ .....	29
1.4.3 PRŮBĚH OPOTŘEBENÍ V ZÁVISLOSTI NA ČASE .....	35
1.4.4 TRVANLIVOST BŘITU NÁSTROJE.....	36
2 SHRNUTÍ POZNATKŮ O KVALITĚ POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ. DEFINICE POJMU DRSNOST POVRCHU, METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU .....	39
2.1 INTEGRITA POVRCHU.....	39
2.1.1 MIKROTVRDOST .....	39
2.1.2 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ .....	40
2.1.3 DRSNOST POVRCHU .....	41
2.1.4 PARAMETRY DRSNOSTI POVRCHU.....	42
2.2 METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU .....	47
2.2.1 METODY KVALITATIVNÍ.....	47



2.2.2	METODY KVANTITATIVNÍ .....	48
3	NAVRŽENÍ METODIKY ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE A DRSNOSTI POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ V LABORATOŘI KOM FS TUL	51
3.1	METODA ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE PŘI SOUSTRUŽENÍ.....	51
3.2	METODA MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ.....	53
3.3	PŘÍPRAVA PROCESNÍ KAPALINY .....	55
3.4	POUŽITÉ NÁSTROJE A MATERIÁLY.....	56
3.4.1	ZKUŠEBNÍ VZORKY.....	57
3.4.2	CNC SOUSTRUH CHEVALIER FCL2140 .....	58
3.4.3	HROTOVÝ SOUSTRUH TOS SU50/1500 .....	61
3.4.4	VYMĚNITELNÁ BŘITOVÁ DESTIČKA .....	63
3.4.5	BRINELLOVA LUPA .....	63
3.4.6	REFRAKTOMETR.....	64
3.4.7	DRSNOMĚR .....	64
4	ZJIŠTĚNÍ VLIVU KONCENTRACE NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH NA TRVANLIVOST NÁSTROJE A KVALITU POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ V LABORATOŘI KOM FS TUL .....	67
4.1	VLIV KONCENTRACE NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH NA TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI SOUSTRUŽENÍ.....	67
4.1.1	VASCO 6000 BEZ NANOČÁSTIC .....	68
4.1.2	VASCO 6000 + 0,02% SiO <sub>2</sub> .....	69
4.1.3	VASCO 6000 + 0,05% SiO <sub>2</sub> .....	70
4.1.4	POROVNÁNÍ HODNOT .....	71
4.2	VLIV KONCENTRACE NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH NA KVALITU OBROBENÉHO POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ .....	72
4.2.1	PARAMETR DRSNOSTI R <sub>a</sub> .....	73



4.2.2	PARAMETR DRSNOSTI $R_z$ .....	74
4.2.3	PARAMETR DRSNOSTI $C_{tp50}$ .....	75
5	ANALÝZA LABORATORNÍCH VÝSLEDKŮ, VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ .....	76
	Seznam použité literatury.....	79
	Seznam příloh.....	81



Seznam použitých zkratk a symbolů:

<b>Zkratka / Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
2D	[-]	dvourozměrný prostor
3D	[-]	třírozměrný prostor
$\Delta\alpha$	[mm]	oblast plastické deformace – zpevňování povrchové vrstvy
$\Delta\alpha'$	[mm]	zpevněná povrchová vrstva
$a_p$	[mm]	hloubka řezu
c	[%]	skutečná koncentrace
CLA	[-]	Chromatic Lenght Aberration
CNC	[-]	počítačem řízený stroj
COM	[-]	sériový port
$C_T$	[-]	konstanta Taylorova vztahu
$C_{tp50}$	[ $\mu\text{m}$ ]	materiálový nosný podíl
$C_v$	[-]	konstanta Taylorova vztahu
ČSN	[-]	česká státní norma
f	[mm/ot]	posuv
DP	[-]	diplomová práce
EN	[-]	evropská norma
ISO	[-]	mezinárodní norma
KOM	[-]	katedra obrábění a montáže
m	[-]	exponent Taylorova vztahu
l	[mm]	měřená délka obrábění
l <sub>r</sub>	[mm]	základní délka
l <sub>n</sub>	[mm]	vyhodnocovaná délka
l <sub>t</sub>	[mm]	celková délka
K	[-]	refrakční faktor
$Q_N$	[J]	teplo odvedené nástrojem
$Q_O$	[J]	teplo odvedené obrobkem
$Q_{pr}$	[J]	teplo odvedené prostředím
$Q_T$	[J]	teplo odvedené třískou
PC	[-]	osobní počítač
r	[-]	koncentrace naměřená refraktometrem
Ra	[ $\mu\text{m}$ ]	střední aritmetická úchylka profilu
Rm	[MPa]	mez pevnosti



<b>Zkratka / Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
$R_{mr}$	[ $\mu\text{m}$ ]	materiálový nosný podíl
$R_{p02}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
$R_q$	[ $\mu\text{m}$ ]	průměrná kvadratická úchylka profilu
$R_{sm}$	[ $\mu\text{m}$ ]	průměrná šířka prvků
$R_v$	[ $\mu\text{m}$ ]	největší hloubka prohlubně profilu
$R_z$	[ $\mu\text{m}$ ]	největší výška profilu
$r_n$	[mm]	poloměr ostří nástroje
$T$	[min]	trvanlivost břitu
TOS	[-]	Továrny obráběcích strojů
TPUN	[-]	značení vyměnitelných břitových destiček
TUL	[-]	Technická univerzita v Liberci
$v_c$	[m/min]	řezná rychlost
$V_B$	[mm]	velikost opotřebení na hřbetu
USB	[-]	univerzální sériová sběrnice
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
$v_c$	[m/min]	řezná rychlost
$x_s$	[ $\mu\text{m}$ ]	šířka prvků



## Úvod

Jedna z nejdůležitějších složek v procesu obrábění je procesní kapalina. Za pomoci procesních kapalin dochází ke zlepšování výsledných parametrů obráběného materiálu, především parametrů drsnosti, a dochází k prodlužování životnosti nástroje. Abychom dosáhli nejlepších možných výsledků procesních kapalin, dochází v poslední době ke zkoumání a rozvoji moderních způsobů příměsí do procesních kapalin jako například přidávání nanočástic.

Předpokladem této práce je přidávání nanočástic  $\text{SiO}_2$  do výchozí procesní kapaliny a její pozitivní efekt na různé sledované parametry při soustružení.

Výsledkem této práce je tedy porovnání vlivu dvou různých koncentrací nanočástic  $\text{SiO}_2$  v procesní kapalině Vasco 6000 s čistou procesní kapalinou Vasco 6000. Zkoumány jsou především dopady na trvanlivost nástroje a na parametry drsnosti  $R_a$ ,  $R_z$  a  $C_{tp50}$ .

Zlepšení vlastností procesních kapalin přidáváním nanočástic  $\text{SiO}_2$  může vést k značné finanční úspoře během procesu obrábění a to především v případě jasného pozitivního dopadu na trvanlivost či parametry drsnosti povrchu.

Příprava vzorků a následné měření bylo provedeno v laboratořích KOM, Technické univerzity v Liberci.



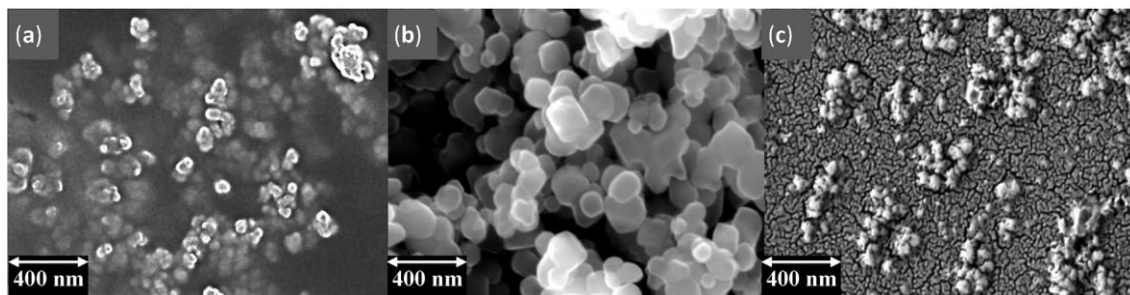
# **1 SHRnutí POZNATKŮ O POUŽITÍ NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH, O CHLAZENÍ PŘI OBRÁBĚNÍ, KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN, ANALÝZA VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST NÁSTROJE**

## **1.1 POUŽITÍ NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH**

Hovoříme-li o nanočásticích, máme na mysli oblast částic a struktur, které se rozměrově pohybují v intervalu mezi 1 nm až 100 nm. Označují se jako nanostruktury a považujeme je za základní stavební jednotky nanomateriálů. [14]

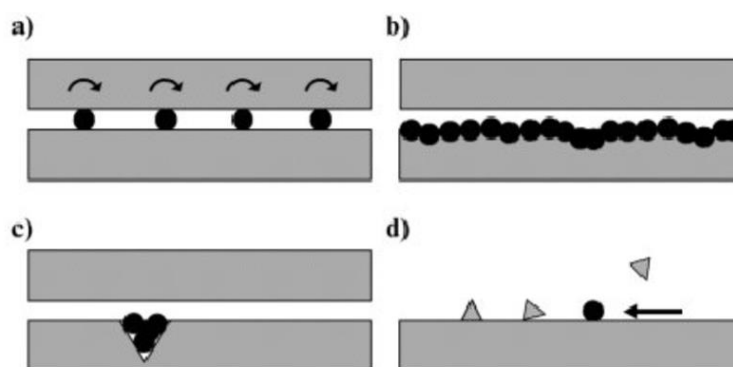
Procesní kapaliny jsou velmi důležité, protože vytvářejí vhodné řezné podmínky, čímž se prodlouží životnost řezného nástroje a zlepší se kvalita povrchu výrobku. Výsledná životnost a kvalita procesních kapalin je také určena jejich odolností na bakteriální napadení, a z tohoto důvodu jsou biocidní složky důležitými složkami procesních kapalin. Biocidní přísady jsou však často klasifikovány jako nebezpečné a kromě toho mohou mít tyto přísady obrovský ekotoxikologický dopad na životní prostředí. Přidání nanočástic je jeden z možných způsobů zlepšení vlastností procesních kapalin. Vývoj nových ekologických procesních kapalin není jednoduchý úkol, a to jak z hlediska ekologie, tak z hlediska účinnosti procesu obrábění. Použití nanočástic je proto vhodnou metodou pro zlepšování parametrů procesních kapalin. Interakce nanočástic závisí především na fyzikálně chemických vlastnostech dotčených nanočástic. V průmyslové praxi se používají nanočástice na různých bázích, jako jsou např. nanočástice na bázi křemíku (Si), nanočástice na bázi titanu (Ti), nanočástice na bázi stříbra (Ag) nebo nanočástice na bázi uhlíku (C). [15]





Obrázek 1 SEM Obrázky nanočástic (a) křemík; (b) titan; (c) stříbro [15]

Je známo, že použití pevných částic v procesních kapalinách zlepšuje jejich tribologické vlastnosti tím, že poskytuje vyšší odolnost proti opotřebení za extrémních tlaků. Přidáváním nanočástic dosáhneme zlepšení únosnosti procesních kapalin, které chrání protilehlé povrchy, a zlepšují tak odolnost proti opotřebení. Hlavní požadavky jsou nízká pevnost ve smyku ve směru kluzu, vysoká pevnost v tlaku ve směru zatížení a dobrá přilnavost k povrchu. Přidáváním nanočástic do procesních kapalin chceme tedy dosáhnout významného snížení součinitele tření. Existuje několik mechanismů, které vysvětlují zlepšení vlastností dosažených přidáváním nanočástic do procesních kapalin, nicméně přesný mechanismus zůstává stále nejasný. [17]



Obrázek 2 Mechanismy zlepšení procesních kapalin za pomoci nanočástic (a) kluzné vlastnosti; (b) ochranné vlastnosti; (c) těsnící vlastnosti; (d) leštící vlastnosti [17]





## 1.2 TEPLA PŘI OBRÁBĚNÍ

Teplu v zóně řezání vzniká přeměnou mechanické práce. Při obrábění se 95 až 98 % mechanické práce přemění na teplo. Celkové množství tepla  $Q$  je nevratná veličina, která se neustále obnovuje ve zdrojích tepla určených zónou řezání. Samotná zóna řezání tak umožňuje vymezit následující zdroje tepla, resp. tvorby tepla: [6]

- ✓ teplo  $Q_{sh}$  – generované deformací ve střižné rovině v oblasti primární plastické deformace
- ✓ teplo  $Q_{tr}$  – generované třením čela nástroje a třísky
- ✓ teplo  $Q_f$  – generované třením hřbetu nástroje a obrobené plochy. [6]

Teplu má u některých členů technologické soustavy kumulativní charakter. Při soustružení se kumuluje v nástroji, při frézování v obrobku, apod. Tento efekt je důležitý např. z hlediska opotřebení nástrojů. [6]

Teplu se šíří vedením a konvekcí do:

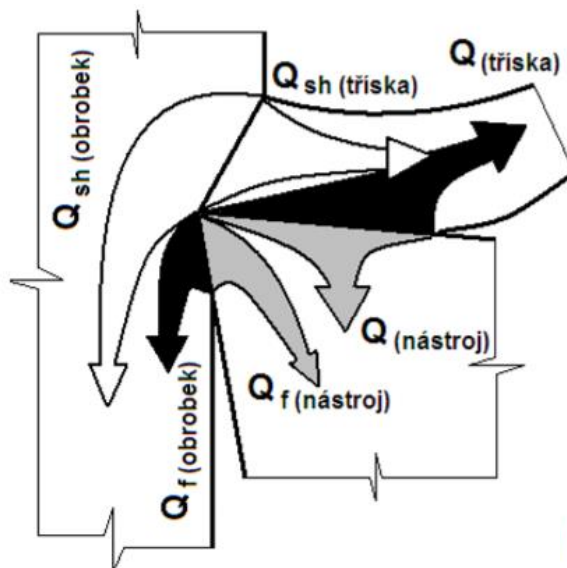
- ✓ obrobku -  $Q_o$
- ✓ nástroje -  $Q_n$
- ✓ třísky –  $Q_t$
- ✓ prostředí -  $Q_p$ . [6]

Vznik třísky při obrábění a její odvod z místa řezu je doprovázen vznikem určitého množství tepla. Ke vzniku tepla dochází transformací vynaložené práce. V teplo se přeměňuje téměř veškerá práce vynaložená na proces řezání, s výjimkou práce pružných deformací. [6]

Vzniklé teplo výrazně ovlivňuje řezný proces, protože:

- ✓ negativně působí na řezné vlastnosti nástroje
- ✓ ovlivňuje mechanické vlastnosti obráběného materiálu
- ✓ ovlivňuje pěchování a zpevňování obráběného materiálu
- ✓ ovlivňuje podmínky tření na čele i hřbetě nástroje. [6]





Obrázek 3 Vznik a šíření tepla v zóně řezání [6]

Tepelná bilance představuje jednu z forem bilance energie, která vypovídá o tom, že v daném místě a daném časovém úseku je množství odvedeného tepla rovno teplu do místa přivedeného. Pro podmínky v zóně řezu nástrojem s definovanou geometrií to znamená: [6]

$$Q_{sh} + Q_{tr} + Q_f = Q_o + Q_n + Q_{pr} + Q_t \quad (1)$$

Celkové množství tepla, které se v zóně tvorby třísky vytvoří, musí také být z místa odvedeno. [6]

### 1.3 FUNKCE PROCESNÍCH KAPALIN

Hlavní funkcí řezné kapaliny je účinný odvod tepla z místa řezání, ať už dokonalým chlazením nebo mazáním, kdy přívodem řezné kapaliny dochází ke zmenšení jak vnitřního, tak i vnějšího tření. Tento požadavek potom předurčil pro obrábění tyto prostředky ve formě kapalné. [8]

Existují i prostředky konzistentní (např. tuky), nebo pevné (např. prášková maziva). Tyto sice snižují tření, ale neumožňují intenzivní odvod tepla z místa řezu. Při obrábění se tyto prostředky uplatňují pouze ojediněle, např. při řezání závitů, nebo při některých speciálních obráběcích operacích. Daleko více jsou tyto prostředky využívány při operacích tvářecích. [8]



Plynné prostředky zatím více nepronikly do výrobní praxe, protože jejich využití je obtížnější, i když vhodně zvolený plyn může nejen odvádět teplo, ale i zmenšovat tření třeba svými chemickými účinky. V poslední době se rozšířilo chlazení vzduchem, v němž je procesní kapalina rozptýlena v drobných kapičkách (chlazení mlhou). [8]

Kapaliny tedy zůstávají stále základními prostředky pracovního prostředí při obrábění kovů. Vedle svého chladícího a mazacího účinku mají i funkci čistící. Navíc nesmí způsobovat korozi strojů nebo obrobků a musí být zdravotně nezávadné. Novodobě je také požadováno, aby procesní kapaliny byly snadno likvidovatelné a nevyvolávaly při tom ekologické problémy. [8]

Praktické zásady pro volbu procesní kapaliny musí vycházet z následujících poznatků:

- ✓ z mechanismu tvoření třísky
- ✓ z vlastností obráběného materiálu
- ✓ z vlastností použitého nástrojového materiálu
- ✓ z požadavků na jakost opracování součástí. [8]

Na základě těchto poznatků lze stanovit:

- ✓ charakteristiku procesní kapaliny tj. chladící a mazací účinek
- ✓ způsob přívodu procesní kapaliny do místa řezu
- ✓ vhodnou koncentraci procesní kapaliny
- ✓ cenu procesní kapaliny a možnost jejího získání na trhu
- ✓ způsob likvidace procesní kapaliny. [8]

### 1.3.1 KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN

Procesní kapaliny se dělí do dvou následujících skupin:

- ✓ procesní kapaliny s převažujícím chladícím účinkem
- ✓ řezné oleje – s převažujícím mazacím účinkem. [8]

Do skupiny procesních kapalin s převažujícím chladícím účinkem patří kapaliny na vodní bázi a do skupiny procesních kapalin s převažujícím mazacím účinkem patří kapaliny na bázi oleje. V dnešní době se nicméně toto



jednoduché rozdělení stírá, jelikož se stále více projevuje snaha zlepšovat mazací účinky i u chladicích kapalin. Z tohoto důvodu můžeme dělit procesní kapaliny na:

- ✓ vodní roztoky
- ✓ emulzní roztoky
- ✓ mastné oleje
- ✓ zušlechtěné řezné oleje
- ✓ syntetické a polo syntetické kapaliny. [8]

#### **1.3.1.1 Vodní roztoky**

Vodní roztoky jsou nejjednodušší procesní kapaliny, ale nejsou příliš výhodné z hlediska aplikace. Voda, jako jejich základ, vyžaduje řadu úprav, jako je její změkčování, přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení smáčivosti a proti pěnivosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický. [8]

U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. [8]

#### **1.3.1.2 Emulzní kapaliny**

Emulzní kapaliny jsou disperzní soustavou dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky, rozptýlené v kapalině druhé. Obvykle se jedná o olej ve vodě. Přitom je třeba využít další složky tzv. emulgátory. [8]

Tyto látky zmenšují mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin a stabilizují emulzi. Emulzní kapaliny spojují do určité míry přednosti vody a mazacích olejů. Chladící účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH emulze, ale v daleko menší míře než vodních roztoků. Emulgační prostředky musí splňovat požadavky především na jakost a spolehlivost účinku při vysokých tlacích. Provozní vlastnosti emulzních kapalin závisí na jejich přípravě. Emulzní



kapaliny jsou nejpoužívanější řezné kapaliny. Z celkového objemu tvoří cca. 80%. [8]

### **1.3.1.3 Mastné oleje a tuky**

Mastné oleje a tuky jsou látky živočišného a rostlinného původu a mají prakticky stejné vlastnosti jako olej minerální. Mají ale menší povrchové napětí a tím i lepší smáčivost, což přispívá k účinnějšímu odvodu tepla. [8]

Velkou nevýhodou těchto mastných látek je značný sklon ke stárnutí, tj. zvyšuje se jejich kyselost a tvoří se pryskyřičné látky. Mezi mastné látky užívané při obrábění patří řepkový olej, ricinový olej, lněný olej a další. [8]

### **1.3.1.4 Minerální oleje**

Minerální oleje jsou výrobky z ropy, s dobrými mazacími vlastnostmi, ale horším chladícím účinkem. Mají ale dobrý ochranný účinek a dobrou odolnost proti stárnutí. [8]

Minerální oleje mají velmi dobré provozní vlastnosti, a proto se využívají jako základ pro oleje řezné. [8]

### **1.3.1.5 Řezné oleje**

Řezné oleje jsou zušlechťené minerální oleje. Přísady, které se používají, mají vyšší tlakovou únosnost a také lepší mazací vlastnosti. [8]

Přísady, které zlepšují mazací schopnosti řezných olejů, jsou následující:

- ✓ mastné látky
- ✓ organické sloučeniny
- ✓ pevná maziva. [8]

Do první skupiny patří zmydelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny, nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovu a zlepšují mazací schopnosti, ale ne za extrémních tlaků. [8]



Do druhé skupiny patří organické sloučeniny určitých prvků, jako je síra, chlor, fosfor. Všechny tyto látky se osvědčily jako vysokotlaké přísady. Na povrchu vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, která zabraňují kovovým svarům a usnadňují kluzný pohyb třecích se ploch. [8]

Do třetí skupiny patří pevná maziva, která musí být vybírána velmi pozorně, nesmí být korozivní a nesmí být zdravotně závadná. Pevná maziva působí při řezání svým mechanickým účinkem. Svou afinitou ke kovu vytvářejí mezní vrstvu odolnou proti tlakům a zlepšují mazací schopnosti oleje. Mezi pevná maziva patří grafit a sirník molybdenu. Jejich nevýhodou je, že se v kapalinách nerozpouští a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu. [8]

#### **1.3.1.6 Syntetické a polo syntetické kapaliny**

Tyto procesní kapaliny se vyznačují velkou provozní stálostí. Většinou jsou rozpustné ve vodě a mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. [8]

Syntetické procesní kapaliny neobsahují minerální oleje, ale jsou složeny z rozpouštědel - glykolů, které ve vodě emulgují nebo se rozpustí. Glykoly jsou průsvitné, takže umožňují sledovat průběh obráběcího procesu. [7]

Aplikace syntetických procesních kapalin má proti kapalinám na bázi oleje ekonomické výhody a navíc zajišťuje rychlé odvádění tepla, dobrý čistící účinek a jednoduchou přípravu. V syntetických procesních kapalinách je možné rovněž rozptýlit oleje, čímž vznikají polo syntetické procesní kapaliny, které mají příznivější mazací schopnosti. V polo syntetických kapalinách jsou olejové částice mnohem menší než v emulzích. [7]

#### **1.3.2 CHARAKTERISTIKA A VLASTNOSTI PROCESNÍCH KAPALIN**

Procesní kapaliny se obecně rozdělují do dvou hlavních skupin podle účinku na proces řezání, tj. kapaliny s převažujícím chladícím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. [8]

Z hlediska technologického a provozního je třeba uvést další požadavky na tyto kapaliny. Jedná se o požadavky na:



- ✓ chladící účinek
- ✓ mazací účinek
- ✓ čistící účinek
- ✓ provozní stálost
- ✓ ochranný účinek
- ✓ zdravotní nezávadnost
- ✓ přiměřené náklady. [8]

### **1.3.2.1 Chladící účinek**

Chladícím účinkem se rozumí schopnost procesní kapaliny odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každá kapalina, která smáčí povrch kovu a zároveň existuje tepelný spád mezi povrchem a kapalinou. Tento účinek nastává při obrábění vždycky. Odvod tepla vzniklého při řezání se uskutečňuje tím, že proud procesní kapaliny oplachuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá vzniklé teplo. [8]

Chladící účinek procesních kapalin bude záviset na jejich smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto veličiny větší, bude i větší chladící účinek procesní kapaliny. Stejně důležité je i průtokové množství. Výparné teplo zvětšuje chladící účinek kapaliny, ale přílišné odpařování kapaliny není žádoucí. Aby byla procesní kapalina využita hospodárně z hlediska čistoty a zdraví, je nutné vznikající páry odsávat. [8]

### **1.3.2.2 Mazací účinek**

Mazací účinek je schopnost kapaliny vytvořit na povrchu kovu vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Může ale vzniknout mezní tření (má-li řezná kapalina velkou afinitu ke kovu, nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky v mikroskopické povrchové mezní vrstvě). [8]



Mazací účinek proto znamená zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek procesní kapaliny se proto vyžaduje u dokončovacích operací obrábění a při provádění náročných operací, jako je protahování, výroba závitů nebo výroba ozubení. [8]

Mazací schopnost procesní kapaliny je závislá na její viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. S rostoucí viskozitou se ale zhoršuje pronikání kapaliny mezi třecí plochy, její proudění a také odvod tepla. Viskóznější kapaliny ulpívají také více na třískách, a tím dochází ke značným ztrátám. Abychom zvýšili pevnost mazacího filmu, dodáváme do procesní kapaliny přísady. [8]

### **1.3.2.3 Čistící účinek**

Čistící účinek procesní kapaliny znamená, že její přívod odstraňuje třísky z místa řezání a např. u broušení zlepšuje vlastnosti brousícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Procesní kapalina má také bránit slepování částic (které vznikají při řezání) a má vyvolávat jejich usazování. [8]

Jakost čištění závisí i na čistotě vlastní procesní kapaliny, to znamená na odstraňování nečistot, které kapalina odplavila. Větší nečistoty se sice usadí v nádrži, ale menší mohou být proudem vody odnášeny zpět do místa řezání, kde mohou způsobit i zhoršení jakosti obrobeného povrchu. Velký význam má účinek čištění pro broušení a u těch operací, kdy procesní kapalina musí odnášet třísky z místa řezu např. při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr. [8]

### **1.3.2.4 Provozní stálost**

Provozní stálost je možné hodnotit dobou výměny procesní kapaliny. Dlouhodobost výměny řprocesní kapaliny je podmíněna zárukou, že se její vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit. [8]

Stárnutí procesní kapaliny olejového typu se projevuje tvořením pryskyřičnatých usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností procesní kapaliny, její





rozklad, zmenšení mazacího účinku, ztrátě ochranných schopností, korozi a hnilobný rozklad. [8]

Provozní stálost procesní kapaliny závisí na jejich fyzikálních a chemických vlastnostech a na teplotě. [8]

#### **1.3.2.5 Ochranný účinek**

Ochranný účinek procesní kapaliny se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. Toto je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat, aby se také stroje chránily před korozí. Pro vytvoření dokonalého antikorozního účinku jsou do procesní kapaliny přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. [8]

Dalším důležitým požadavkem je to, aby procesní kapalina nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní vůči gumovým těsněním. [8]

#### **1.3.2.6 Zdravotní nezávadnost**

Procesní kapaliny vychází z toho, že při práci na obráběcích strojích obsluha přichází do styku s procesní kapalinou. Proto procesní kapalina nesmí být zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždivé sliznici a pokožku a nesmí být jedovatá. Kapaliny také nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. [8]

Zdravotní nezávadnost procesních kapalin závisí také na jejich provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky atd. [8]

#### **1.3.2.7 Přiměřené náklady**

Přiměřené náklady souvisí především se spotřebou procesní kapaliny. Při rozboru nákladů na procesní kapaliny je nutné nejdříve posoudit jejich vliv na proces obrábění, tj. na trvanlivost nástroje, ostření, jakost obrobku a spotřebu energie. Po tomto rozboru musí následovat hodnocení procesní



kapaliny s ohledem na její provozní stálost, spotřebu a výměnu. Je třeba zvážit i náklady na likvidaci procesní kapaliny. [8]

## 1.4 OPOTŘEBENÍ BŘITŮ NÁSTROJE

Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu nástroje. Tepelná zatížení značně namáhají materiál břitu nástroje a v některých případech, jako například při frézování, mohou vytvářet dynamický faktor v okamžiku, kdy jeden břit z materiálu vystupuje a opět do něj vniká. [8]

Procesem utváření třísky se kontinuálně vytváří při vysokém tlaku a teplotách čistý kovový povrch, který má sklony k chemickým reakcím, případně k difúzním procesům. Většina obráběných materiálů obsahuje tvrdé částice různého druhu, které se svou tvrdostí neliší od materiálu břitu nástroje. Tyto částice vyvolávají u nástroje brousící, případně abrazivní efekt. [8]

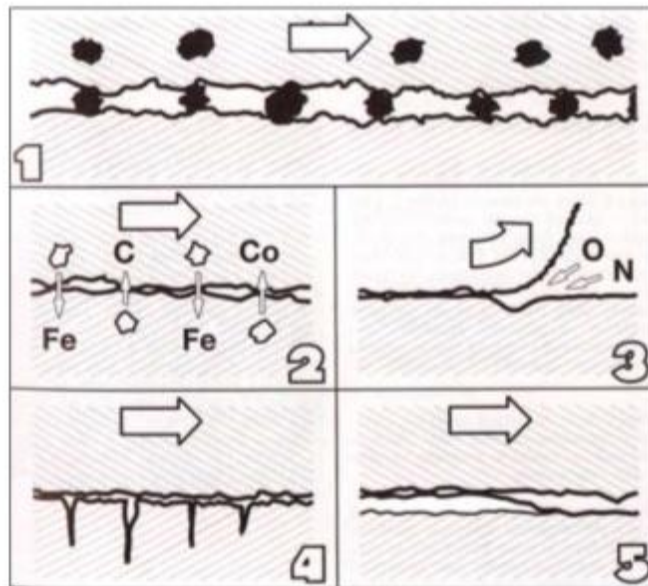
Kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje, které se projevuje jeho opotřebením. [8]

### 1.4.1 MECHANIZMUS OPOTŘEBENÍ

Na základě analýzy zatěžujících faktorů břitu nástroje je možné identifikovat základní mechanizmy opotřebením, a to:

- ✓ 1. abrazivní opotřebením
- ✓ 2. difúzní opotřebením
- ✓ 3. oxidační opotřebením
- ✓ 4. lom
- ✓ 5. adhezní opotřebením. [12]





Obrázek 4 Mechanizmy opotřebení břitu nástroje [12]

#### 1.4.1.1 Abrazivní opotřebení

Abrazivní opotřebení je velmi rozšířenou formou opotřebení, která vzniká hlavně – ale ne výlučně – působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Je to podobné jako při broušení, při němž se tvrdé částice dostávají mezi povrch obrobku a povrch nástroje. Vlivem mechanického zatížení tak vzniká rovinná plocha na hřbetě břitu. [12]

Schopnost břitu odolávat abrazivnímu opotřebení je z větší části závislá na jeho tvrdosti. Řezný nástrojový materiál, který obsahuje hustou strukturu tvrdých částic, bude tomuto abrazivnímu opotřebení odolávat dobře, nemusí však při procesu obrábění odolávat bezpodmínečně i jiným druhům zatížení. [12]

#### 1.4.1.2 Difúzní opotřebení

Difúzní opotřebení vzniká působením chemických vlivů při procesu obrábění. Chemické vlastnosti řezného nástrojového materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku jsou rozhodujícími činiteli pro vznik a průběh difúzního opotřebení. Na tomto procesu má tvrdost řezného materiálu jen relativně malý podíl. O podílu difúzního opotřebení na celkovém opotřebení rozhoduje



víceméně chemické složení řezného nástrojového materiálu a materiálu obrobku. [12]

Některé řezné nástrojové materiály nereagují s materiálem obrobku vůbec, zatímco jiné mají ve vztahu k materiálu obrobku vysoký stupeň afinity. [12]

Afinita mezi slinutým karbidem a ocelí vede k pokračujícímu difúznímu opotřebení. Důsledkem je vznik žlábků na čele břitu břitové destičky. Protože toto opotřebení souvisí s teplotou, vytvoří se při vysokých řezných rychlostech největší žlábek. K výměně atomů dochází ve dvou různých směrech: jeden transfer probíhá z feritu oceli do nástroje, při druhém transferu putují atomy uhlíku, který inklinuje k difuzi do železa, do třísky. [12]

#### **1.4.1.3 Oxidační opotřebení**

Vysoké teploty a okolní vzduch mají za následek oxidaci většiny kovů, i když oxidy působí velmi rozdílně. Wolfram a kobalt tvoří porézní filmy oxidu, které jsou snadno odnášeny třískou. Jiné oxidy, jako například oxid hlinitý, jsou naproti tomu podstatně pevnější a tvrdší. Některé řezné nástrojové materiály jsou proto náchylnější k oxidačnímu opotřebení než jiné. Speciálně v místě kontaktu břitu, kde končí šířka třísky (dle hloubky řezu), má vzduch přístup do řezného procesu. V tomto místě vznikají působením oxidace typické žlábků, které však jsou v současné výrobě relativně vzácným fenoménem. [12]

#### **1.4.1.4 Lom**

Lom má často termomechanické příčiny. Kolísání teploty a zatížení řeznými silami mohou vést k vydrolování a lomu řezného nástroje. Řezné nástrojové materiály reagují na tato zatížení různě. Čistá mechanická únava může být vyvolána, s ohledem na mechanickou pevnost břitu, příliš vysokými řeznými silami. Příčiny mohou být na jedné straně buď v příliš velké tvrdosti nebo pevnosti materiálu obrobku a ve vysokých posuvech, nebo na druhé straně v příliš tvrdém řezném nástrojovém materiálu. Dále také k lomu může dojít v případě měkkého řezného nástrojového materiálu, kdy vlivem vysokých teplot



dojde k plastické deformaci břitu a tím ke změně jeho geometrie. To má za následek zvýšení řezné síly a následný lom. [12]

#### **1.4.1.5 Adhezní opotřebení**

Adhezní opotřebení se vyskytuje hlavně při nízkých teplotách obrábění na čela břitu nástroje. Může vzniknout jak u ocelí tvořících dlouhou třísku, tak rovněž u materiálů s krátkou třískou – tj. u oceli, hliníku a šedé litiny. Tento jev vede k vytváření nárůstku mezi třískou a břitem. Jedná se přitom o dynamický průběh s narůstajícím počtem vrstev, které jsou z třísky navařovány a vytvrzovány a stávají se tak součástí břitu. Takto nárůstkem vytvořený břit může tvořit základ pro nové nárůstky na břitu nebo může poškodit původní břit vydrolováním nebo výlomem. Tendence k vytváření „nárůstkových“ břitů se mění podle jednotlivých druhů řezných nástrojových materiálů. Jakmile se zvýší teploty řezání, zmenšují se předpoklady pro vznik nárůstku. Při obrábění materiálů náchylných ke zpevňování zastudena, jako například z austenitických korozivzdorných ocelí, vede tento druh opotřebení k typickým poškozením, vyvolaným vytvrzeným povrchem obrobku. Je to velmi rozšířený typ žlábkového opotřebení, který nevzniká jenom výše jmenovanou afinitou mezi materiálem obrobku a řezným nástrojovým materiálem. [12]

#### **1.4.2 TYPY OPOTŘEBENÍ BŘITŮ NÁSTROJŮ**

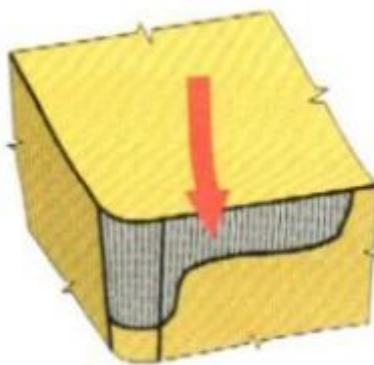
Opotřebení břitů nástrojů nabývá několika různých forem, a to především v závislosti na technologických podmínkách řezného procesu:

- ✓ opotřebení hřbetu
- ✓ opotřebení čela ve tvaru žlábků
- ✓ plastická deformace břitu
- ✓ opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu
- ✓ hřbenové trhliny na ostří
- ✓ únavový lom
- ✓ vydrolování ostří
- ✓ lom. [12]



#### 1.4.2.1 Opotřebení hřbetu bříty

Opotřebení hřbetu bříty patří mezi abrazivní formy opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše bříty. Plochy hřbetu u hlavního ostří, vedlejšího ostří, poloměru špičky, nebo na čelní fasetce, jsou před utvářením třísky, v průběhu a po utváření třísky zvláště vystaveny působení materiálu obrobku. Opotřebení hřbetu bříty je všeobecně obvyklým typem opotřebení, přičemž stejnoměrně se zvětšující opotřebení hřbetu bříty je často považováno za ideální. Příliš velké opotřebení hřbetu bříty má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstající tření, které vzniká změnou geometrie bříty. [12]

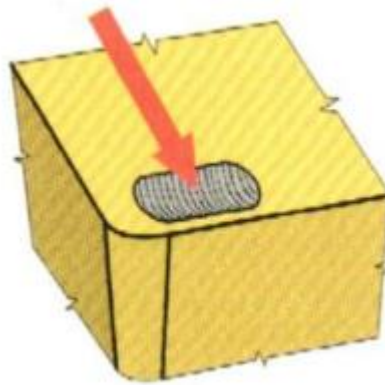


Obrázek 5 Opotřebení hřbetu bříty [13]

#### 1.4.2.2 Opotřebení ve tvaru žlábků

Opotřebení ve tvaru žlábků na čele bříty je důsledkem působení mechanismů difúzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká částečně úběrem rezného nástrojového materiálu, vyvolaným brousícím pochodem, který způsobují tvrdé částice obsažené v materiálu obrobku, ale hlavně difúzí v místě bříty s nejvyšší teplotou, to znamená v kontaktním místě mezi třískou a materiálem bříty. Tvrdost zatepla a malá afinita mezi materiály obrobku a bříty nástroje snižují tendenci ke vzniku tohoto typu opotřebení v podobě žlábků, mohou změnit geometrii bříty a ovlivnit tak tvar třísky či změnit směr působení rezných sil a zeslabit břit. [12]

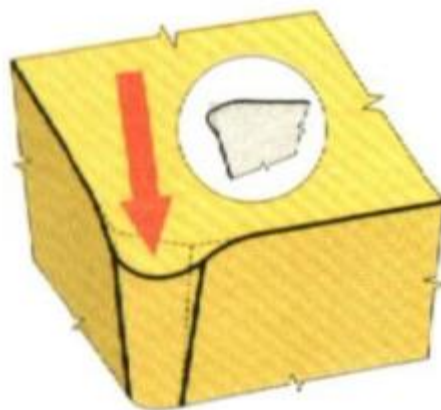




Obrázek 6 Opotřebení ve tvaru žlábků [13]

### 1.4.2.3 *Plastická deformace břitu*

Plastická deformace břitu vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břitu. Vysoké řezné rychlosti a posuvy, jakož i tvrdé materiály obrobků vyvolávají vznik vysokých teplot a tlaků. U řezného nástrojového materiálu, který těmto zatížením odolává a plasticky se nedeformuje, je tvrdost za tepla rozhodujícím faktorem. Typická deformace (vyboulení) břitu ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu, změny v obvodu třísek a může velmi rychle dosáhnout kritického stádia. Toto opotřebení lze zmenšit použitím správného zaoblení ostří a volbou správné geometrie břitu. [12]

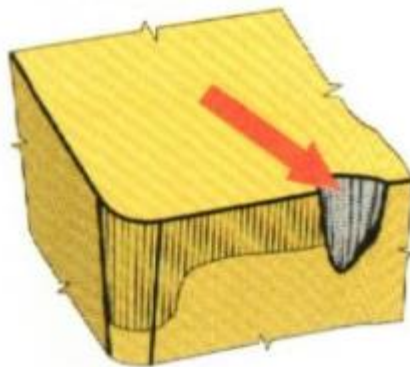


Obrázek 7 Plastická deformace břitu [13]



#### 1.4.2.4 Opotřebení ve tvaru vrubu

Opotřebení ve tvaru vrubu patří k typickým adhezním opotřebením, může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Toto opotřebení se omezuje přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblasti obrábění. Mimořádně velké opotřebení ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu destičky. [12]



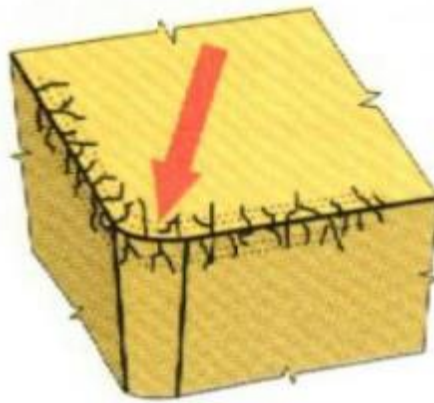
Obrázek 8 Opotřebení ve tvaru vrubu [13]

#### 1.4.2.5 Vznik hřebenovitých trhlin na ostří

Vznik hřebenovitých trhlin na ostří je formou únavového opotřebení, které vzniká tepelnými šoky. Zvláště změna teplot při frézování často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhliny se tvoří kolmo na ostří, přitom se mohou částice řezného nástrojového materiálu mezi jednotlivými trhlinami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu. Změnou tloušťky třísky se při obrábění změní rovněž teploty. Použití chladicích kapalin se nedoporučuje, protože zvyšuje teplotní rozdíly při záběru břitu do materiálu obrobku a při výstupu z něj. [12]







Obrázek 9 Hřebenovité trhliny na ostří [13]

#### 1.4.2.6 Únavový lom

Únavový lom je typickým následkem mimořádně velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, kdy působení jednotlivých druhů zatížení není samo o sobě dost velké, aby mělo za následek lom. Způsob vřezávání nástroje do materiálu obrobku a změna velikosti směru působení řezné síly mohou být pro pevnost a houževnatost vyměnitelné břitové destičky příliš náročné. Lomové plochy probíhají paralelně s ostřím. [12]



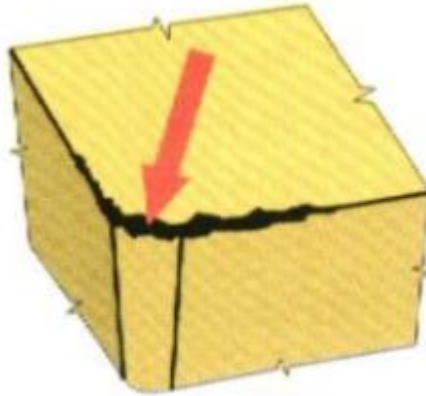
Obrázek 10 Únavový lom nástroje [13]

#### 1.4.2.7 Vydrolování ostří

Vydrolování ostří je formou opotřebení, při níž se břit namísto stejnoměrného opotřebování vydroluje. Toto opotřebení je způsobeno špičkami



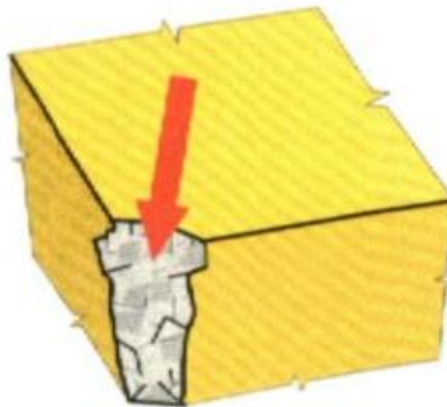
zatížení a vede k tomu, že drobné částičky rezného nástrojového materiálu se začnou oddělovat z povrchu břitu. Přerušované řezy jsou nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení. Pečlivé sledování břitu ukáže, kde je možné očekávat vydrolování. Odlupování materiálu a trhliny jsou příznaky, které upozorňují na možnost lomu břitu. [12]



Obrázek 11 Vydrolování ostří [13]

#### 1.4.2.8 Lom

Lom je osudným koncem každého břitu. Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za všech okolností zabránit. Lom břitu nástroje je nutné v každém případě považovat za ukončení trvanlivosti. Změny geometrie, oslabení břitu, nárůst teplot a sil mohou vést ke značným škodám. Křehký lom může být způsoben různými faktory. Často je zvolený materiál břitu málo houževnatý, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění. [12]



Obrázek 12 Lom [13]

#### 1.4.2.9 Tvorba nárůstku

Tvorba nárůstku je v převážné většině případů fenoménem vztahujícím se k teplotám a řezným rychlostem. Může však být způsobena i odlupováním vrstev v místě břitu nebo jinými formami opotřebení. Mimo změny geometrie břitu působí tato forma opotřebení negativně ještě proto, že se mohou částice materiálu břitu odlomit společně s navařeným nárůstkem, který je tvořen částicemi materiálu obrobku. Afinita materiálu břitu k materiálu obrobku hraje v tomto případě rozhodující roli. Nízké teploty a vysoké tlaky přitom vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování. Naštěstí jsou oblasti teplot a řezných rychlostí, při nichž nárůstky vznikají, relativně dobře známé, proto je možné tomuto jevu často zabránit. Velká část moderních způsobů obrábění probíhá stejně nad oblastí tvorby nárůstku a mnohé moderní řezné materiály nemají při správném použití k této formě opotřebení sklony. Zhoršená jakost obrobeného povrchu je často prvním negativním důsledkem pokračující tvorby nárůstku. Nadměrná tvorba nárůstku může v nejhorším případě vést dokonce i k lomu břitové destičky. [12]



Obrázek 13 Tvorba nárůstků [13]

#### 1.4.3 PRŮBĚH OPOTŘEBENÍ V ZÁVISLOSTI NA ČASE

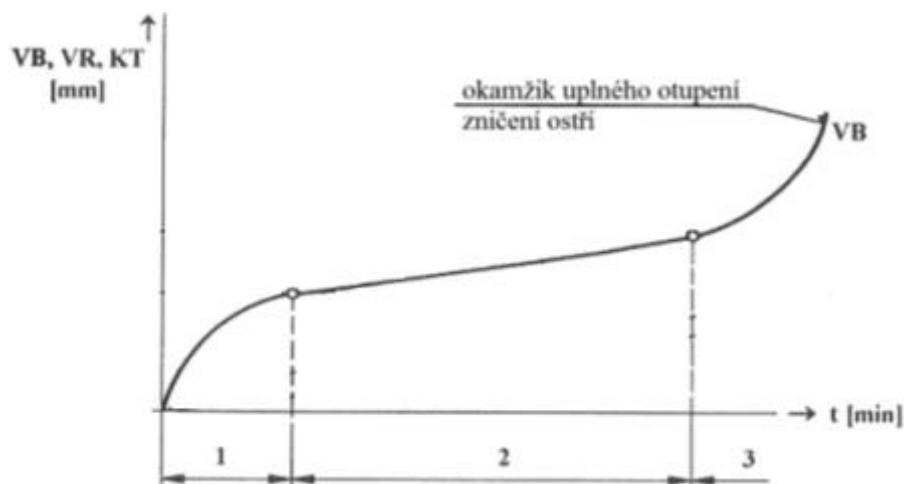
Časový průběh opotřebení můžeme popsat třemi oblastmi.

- ✓ oblast zrychleného záběhového opotřebení (1)



Zrychlené opotřebení obecně souvisí se „záběhem“ nástroje a je způsobeno vysokým měrným tlakem na vrcholcích mikro nerovností povrchu hřbetu a určitou defektností povrchové vrstvy, vyvolanou podmínkami ostření, resp. v důsledku výrobních procesů při výrobě nástrojů. [8]

- ✓ oblast lineárního opotřebení (2)  
V této oblasti dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení, tzn. intenzita opotřebení je konstantní. [8]
- ✓ oblast zrychleného nadměrného opotřebení (3)  
Počáteční bod této oblasti je obvykle spojen s limitní teplotou řezání a s výrazným poklesem tvrdosti řezného materiálu. Nastává zrychlené opotřebení – lavinovité opotřebení. [8]



Obrázek 14 Průběh opotřebení v závislosti na čase [8]

#### 1.4.4 TRVANLIVOST BŘITU NÁSTROJE

Doba trvání řezného procesu, která koresponduje s provozuschopným stavem břitu, se označuje jako trvanlivost. Je to doba, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit požadované funkce, které jsou identifikovatelné



příslušnými parametry. Trvanlivost nástroje je tedy určena intervalem mezi nasazením nástroje do řezného procesu a vznikem poruchy, kterou končí provozuschopný stav nástroje. [8]

Poruchy nástroje lze třídit z různých hledisek, přičemž z technologického hlediska se rozlišuje porucha postupná (postupná změna jednoho nebo více parametrů) a náhlá (prudká změna jednoho nebo více parametrů). Postupná porucha může být v závislosti na čase predikována, zatímco predikce náhlé poruchy je prakticky nemožná. [8]

Jako kritérium vzniku poruchy resp. ukončení provozuschopného stavu nástroje se mohou diagnostikovat parametry opotřebení bříty, drsnost povrchu obrobené plochy, úchylka rozměru obrobené plochy, velikost řezné síly apod.

V technologické praxi se velmi často trvanlivost vztahuje ke kritériu opotřebení bříty nástroje. [8]

Z hlediska teorie spolehlivosti se řezný nástroj posuzuje jako neobnovitelný objekt, kdy po vzniku poruchy se neobnovuje jeho provozuschopný stav (vyměnitelná břitová destička), nebo jako obnovovaný objekt, kdy po vzniku poruchy se provozuschopný stav obnovuje (např. šroubovitý vrták – přeastření). U obnovitelných nástrojů je trvanlivost identická s životností a koresponduje s dobou do poruchy. Pro obnovované nástroje koresponduje trvanlivost s dobou mezi poruchami a životnost s dobou technického života, která je dána součtem trvanlivostí za celou dobu používání. [8]

Trvanlivost a životnost bříty nástroje se nejčastěji vyjadřuje jako čas řezného procesu [min] nebo jako dráha řezu [m, km]. Pro vrtání, vyhrubování a vystružování děr se trvanlivost nástroje často vyjadřuje jako délka obrobené díry [m, km]. [8]

Trvanlivost bříty  $T$  je obecně závislá na řezných podmínkách. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti se pro jinak konstantní podmínky popisuje jednoduchým Taylorovým vztahem ve tvaru: [8]

$$T = C_T * v_c^{-m} \quad (2)$$

$C_T$  – Konstanta

$m$  – Exponent



$V_c$  – řezná rychlost

Konstanta  $C_T$  závisí především na materiálu obrobku a nástroje a nabývá hodnot  $10^8$  až  $10^{12}$ . [8]

Velikost exponentu  $m$  charakterizují především vlastnosti řezného nástroje a způsobu obrábění:

- ✓ nástrojové oceli  $m = 8-10$
- ✓ rychlořezné oceli  $m = 5-8$
- ✓ slinuté karbidy  $m = 2,5-5$
- ✓ řezná keramika  $m = 1,5-2,5$ . [8]



## 2 SHRnutí POZNATKŮ O KVALITĚ POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ. DEFINICE POJMU DRSNOST POVRCHU, METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU.

### 2.1 INTEGRITA POVRCHU

Z hlediska výroby má zásadní význam znalost mechanismu vytváření nového povrchu součásti, protože umožňuje pochopit povahu a vlastnosti takto vytvořeného povrchu, dává možnost pro zlepšení použitých procesů a případně umožňuje vytvoření obrobených ploch bez poruch. Všechny změny, které nastávají v povrchové vrstvě součásti, lze shodně posuzovat jako změny jakosti. Tyto změny se potom mohou dávat do vztahu s budoucí funkcí dokončené plochy a využívají se pro hodnocení její integrity. 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. [1]

Do souboru integrity povrchu řadíme následující parametry:

- ✓ mikrotvrdost
- ✓ povrchové napětí
- ✓ fázové změny
- ✓ drsnost povrchu. [1]

Jednotlivé složky integrity povrchu vždy tvoří navzájem ovlivňující a doplňující se parametry. [1]

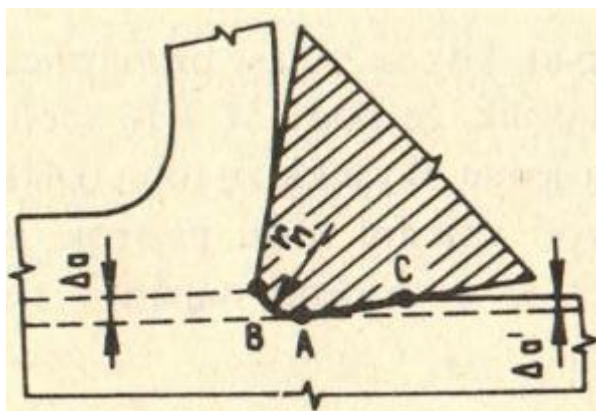
#### 2.1.1 MIKROTVRDOST

Při obrábění se nedeformuje jen odebíraná vrstva, ale deformace probíhá v povrchové vrstvě třísky a v obrobené ploše. Příčinou deformace v obrobené ploše je zaoblení břitu (rádius) nástroje. Mezi hřbetem nástroje a obrobenou plochou působí určitá síla, která vyvolává při pohybu nástroje napětí a plastickou deformaci v povrchových vrstvách obrobené plochy. [2]



Protože plastická deformace těchto vrstev probíhá při teplotách, které jsou podstatně nižší než je teplota rekrystalizační, materiál se tak neroztaví a převládne trvalý účinek zpevněné povrchové vrstvy. Zpevněná vrstva má vyšší mechanické vlastnosti (pevnost a tvrdost) než původní obráběný materiál. Tvoří se u materiálů, které mají dobré deformační schopnosti, především u oceli a slitin hliníku. [2]

Takto zpevněná povrchová vrstva, soudržná se základním materiálem, zvyšuje odolnost proti opotřebení a proti korozi. [2]



$r_n$  - poloměr ostří

BAC - styčná plocha

$\Delta\alpha$  - oblast plastické deformace - zpevňování povrchové vrstvy

$\Delta\alpha'$  - zpevněná povrchová vrstva

Obrázek 15 Zpevnění povrchové vrstvy [2]

### 2.1.2 POVRCHOVÉ NAPĚTÍ

Při obrábění v obrobku vznikají v povrchových vrstvách značná pnutí. Příčinou jsou plastické deformace povrchové vrstvy obrobené plochy a vzniklé teplo v procesu obrábění na obrobené ploše, která ohřívá obrobek. Změna teploty pod povrchem obrobené plochy způsobuje vznik strukturních změn v různých hloubkách a při jejich různém objemu vznikají pnutí různého smyslu, ať již tahová či tlaková, která mohou pnutí, způsobená tepelnou roztažností a plastickou deformací, zmenšovat nebo naopak zvětšovat. [3]

Druh a velikost zbytkových pnutí v povrchových vrstvách záleží na:

- ✓ obráběném materiálu
- ✓ způsobu obrábění
- ✓ řezných podmínkách. [3]





Tlaková pnutí způsobují:

- ✓ zvýšení meze únavy
- ✓ zlepšení odolnosti povrchu proti opotřebením. [3]

Tahová pnutí způsobují:

- ✓ snížení meze únavy
- ✓ rozrušení povrchových vrstev dvou ploch, které se o sebe třou. [3]

### 2.1.3 DRSNOST POVRCHU

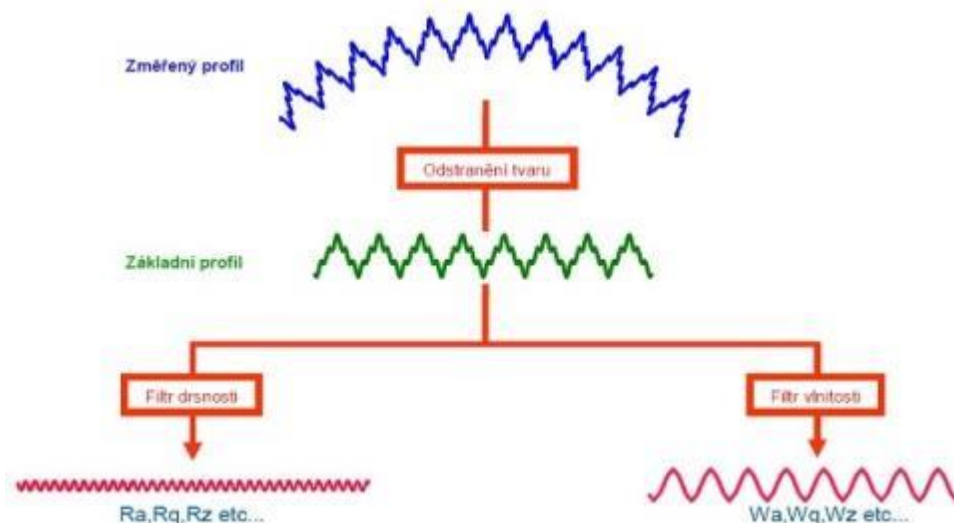
Základní definice dle ČSN EN ISO 8785 stanovuje, že drsnost povrchu je jednou z nejdůležitějších součástí integrity povrchu. [4]

V zásadě se jedná o souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají při výrobě nebo jejím vlivem. [4]

Geometrie povrchu definuje odchylku od ideální geometrie určenou výkresem. Parametry drsnosti povrchu jsou z procesního hlediska určeny několika parametry, které se navzájem ovlivňují, a to např. posuvy, řeznou rychlostí, hloubkou záběru, použitým materiálem atd. [4]

Podíváme-li se na reálný povrch, můžeme tam nalézt jak mikro nerovnost (což je drsnost povrchu, která je dána stopami, které zanechává řezný nástroj, případně brusivo), tak i makro nerovnosti (jež se nazývají vlnitostí povrchu a jsou nejčastěji způsobeny vibrační soustavou stroj – nástroj – obrobek – Prostředí). U obrobených povrchů ploch se tyto nerovnosti navzájem překrývají a je nutné je rozdělit na drsnost a vlnitost povrchu (odfiltrovat). [4]



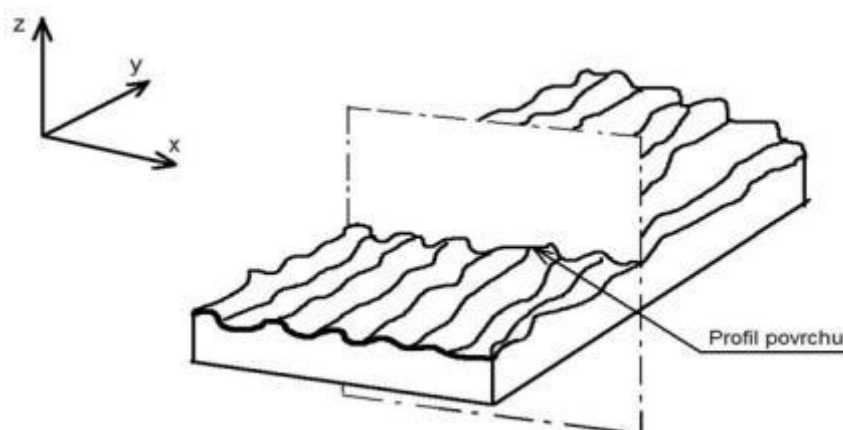


Obrázek 16 Princip dělení nerovností povrchu [4]

Je nutné si uvědomit, že dle výše uvedené definice, se do vyhodnocení drsnosti povrchu nepočítají vady, které se mohou na povrchu vyskytovat, tj. povrchové trhliny, praskliny, škrábance, naraženiny atd. [4]

#### 2.1.4 PARAMETRY DRSNOSTI POVRCHU

Parametry drsnosti povrchu vznikají jako průsečnice nerovností skutečného povrchu s rovinou vedenou kolmo k tomuto povrchu a je základním zdrojem informací pro posuzování drsnosti povrchu. [4]

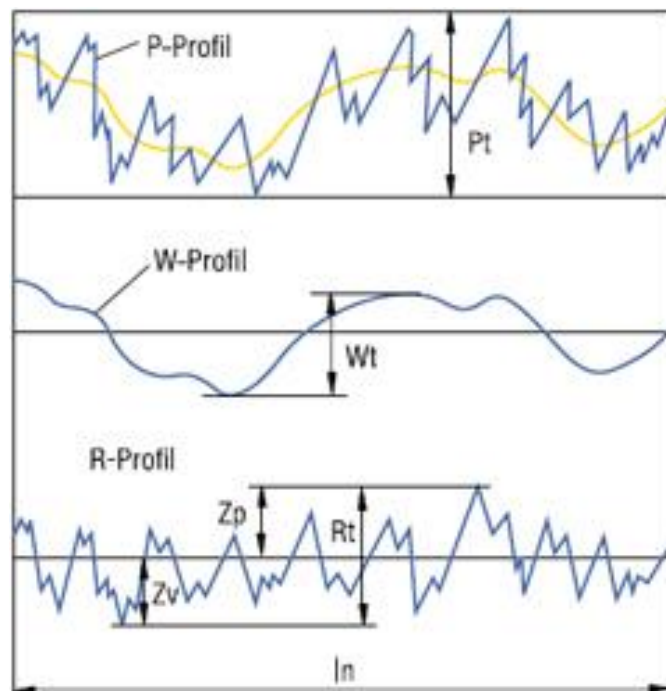


Obrázek 17 Profil povrchu [4]

Takto vytvořený profil povrchu se dále dělí na 3 základní parametry, a to na P-parametr, R-parametr a W-parametr.



- ✓ P-parametr – Je to nejmenší vzdálenost mezi dvěma rovnoběžnými mezními přímkami z nefiltrovaného profilu povrchu uvnitř měřené délky  $l_n$ . [4]
- ✓ R-parametr – je to svislá vzdálenost od nejvyšší špičky k nejhlubší rýze filtrovaného profilu drsnosti uvnitř měřené délky  $l_n$ . [4]
- ✓ W-parametr – je to vzdálenost mezi nejvyšším a nejhlubším bodem vyrovnaného profilu vlnitosti (drsnost je odfiltrována) uvnitř měřené délky  $l_n$ . [4]

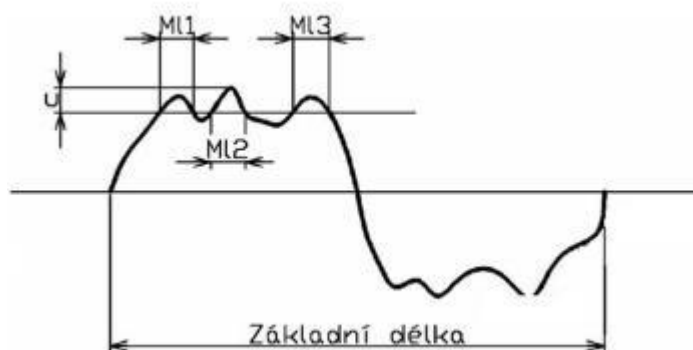


Obrázek 18 Parametry P,W,R na profilu povrchu [4]

Z těchto parametrů jsou nejčastěji používány parametry drsnosti povrchu a ty jsou rozděleny do 3 skupin na parametry výškové, délkové a tvarové. [4]

Pro určování parametrů drsnosti je určující také vyhodnocovací délka:

- ✓ základní délka  $L_r$  je délka ve směru osy X použitá pro rozpoznání nerovností charakterizující vyhodnocovaný profil [4]



Obrázek 19 Základní délka [4]

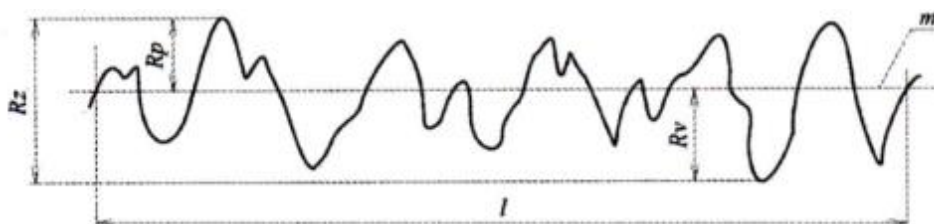
- ✓ vyhodnocovaná délka  $l_n$  pro R-profil (parametr drsnosti) obsahuje 5 základních délek  $l_r$  pro jiný počet se musí předepsat [4]



Obrázek 20 Vyhodnocovaná délka [5]

#### 2.1.4.1 Výškové parametry

- ✓ Největší hloubka prohlubně  $R_v$  – hloubka  $Z_v$  nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky [5]
- ✓ Největší výška profilu  $R_z$  – součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnižší prohlubně v rozsahu základní délky [5]
- ✓ Největší výška výstupku profilu  $R_p$  – největší výška výstupku profilu  $Z_p$  v rozsahu základní délky [5]



Obrázek 21 Výškové parametry profilu [5]

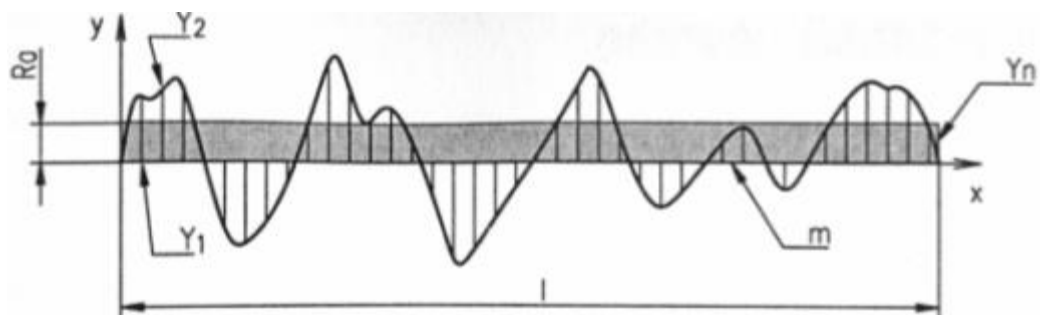


- ✓ Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu  $R_a$  – jedná se o aritmetický průměr absolutních hodnot souřadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky. Tento parametr je v technické praxi nejpoužívanější, nicméně nevypovídá přesně o kvalitě povrchu, jelikož díky výpočtu aritmetického průměru nedostatečně zohledňuje extrémní hodnoty. Úchylka se vypočítá dle rovnice (3) [4]

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z(x)| dx \quad (3)$$

- ✓ Průměrná kvadratická úchylka posuzovaného profilu  $R_q$  – jedná se o kvadratický průměr pořadnic  $Z(x)$  v rozsahu základní délky  $l_r$ . Je dána rovnicí (4) [4]

$$R_q = \frac{1}{R_q^3} \left[ \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |Z^3(x)| dx \right] \quad (4)$$

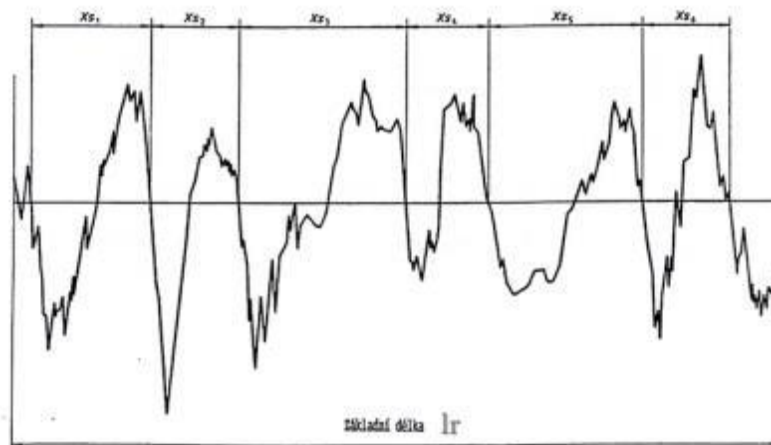


Obrázek 22 Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu  $R_a$  [5]

#### 2.1.4.2 Délkové parametry

- ✓ Průměrná šířka prvků  $RS_m$  – aritmetický průměr šířek  $X_s$  prvků profilu v rozsahu základní délky, je dána rovnicí (5) [4]

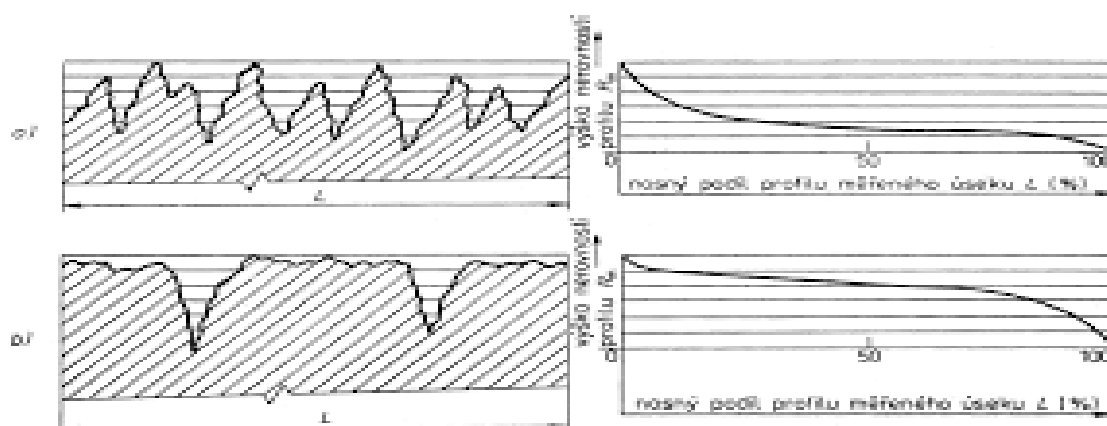
$$R_{Sm} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{Si} \quad (5)$$



Obrázek 23 Průměrná šířka prvků profilu  $R_{sm}$  [4]

### 2.1.4.3 Tvarové parametry

Je jedním z důležitých parametrů pro hodnocení povrchů v praxi. Nazývá se tzv. materiálovým poměrem  $C_{tp}$  (někdy také  $R_{mr}$ ) a je poměrem nosné plochy v kterékoliv hloubce profilu k celkové délce profilu. Vyjadřuje se nejčastěji v procentech. [4]



Obrázek 24 Materiálový profil  $C_{tp}$  [4]

## 2.2 METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

V dnešní moderní době, kdy jsou vysoké nároky na struktury povrchů funkčních ploch, bylo vytvořeno mnoho měřících metod. To mělo za následek zavedení řady nových parametrů struktury povrchu. [6]

Současné platné ISO normy obsahují definice parametrů pro 2D i 3D charakteristiky. Jedná se především o normu ČSN EN ISO 4288, která popisuje „Pravidla a postupy pro posuzování povrchu“ a dále ČSN EN ISO 4287, popisující „Termíny, definice a parametry povrchu“. [6]

Do budoucna se intenzivně rozvíjí otázky týkající se 3D charakteristik struktury povrchu.

Obecně můžeme rozdělit metody měření povrchů na:

- ✓ metody kvalitativní (porovnávání vzorkovnicí s reálným povrchem)
- ✓ metody kvantitativní (parametrické, využívající matematický popis parametrů povrchu). [6]

### 2.2.1 METODY KVALITATIVNÍ

Mezi tyto metody řadíme dodnes používané vzorkovnice povrchů, či komparační mikroskopy. Zde je však nutné upozornit, že se jedná o celkem zastaralou metodu, založenou na individuálních schopnostech povrch posuzujícího pracovníka. [6]

Vzorky mají obvykle tvar destiček nebo válečků s udáním hodnoty  $R_a$  a druhem obrábění. Jsou obvykle uloženy v kazetě nebo (jako příruční) jsou ve tvaru kotouče. Kontroluje se zrakem nebo hmatem. Při porovnávání se musí použít vzorků obrobených stejným způsobem. [4]





Obrázek 25 Vzorkovnice drsnosti povrchu [4]

## 2.2.2 METODY KVANTITATIVNÍ

Metody kvantitativní lze rozdělit na dva způsoby měření, a to:

- ✓ kontaktní způsob
- ✓ bezkontaktní způsob.

### 2.2.2.1 Kontaktní způsob

Kontaktní přístroj má speciálně upravený hrot, kterým snímá souřadnice vyhodnocovaného povrchu, jež jsou potom počítačově zpracovány. Jedná se o jednu z nejstarších metod hodnocení, která bývala využívána již v dvacátých letech minulého století. [4]

Kontaktní přístroj se skládá z části mechanické a elektronické.

Mechanická část se skládá ze stolku, na kterém se umísťuje měřené součást. [4]

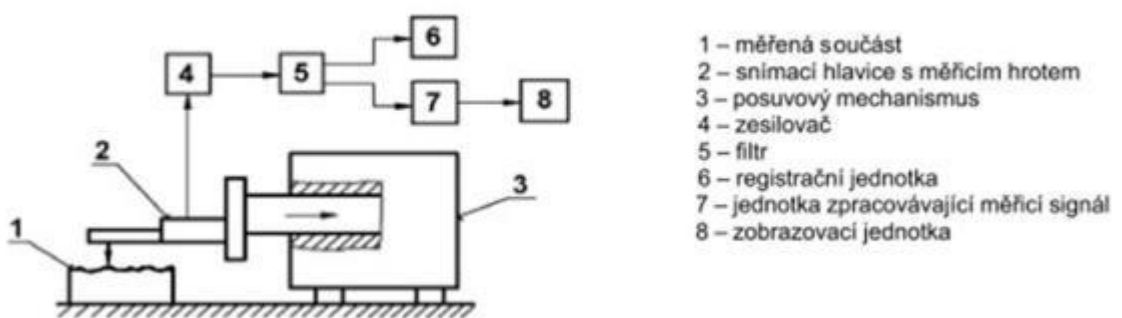
Rameno se snímacím hrotem (tzv. snímací hlavice), které se pohybuje určitou konstantní rychlostí a snímací hrot snímá nerovnosti povrchu (přímočarý vratný pohyb je zajištěn pomocí elektromotorku). [4]





Elektronická část slouží k transformaci mechanického signálu generovaného snímacím hrotem, sledujícím nerovnosti povrchu měřené plochy na elektrický signál, který se dále zpracovává (číselnou hodnotou příslušného parametru drsnosti nebo grafickým záznamem nerovnosti povrchu). [4]

Pohyb snímacího hrotu musí být velmi přesný co do přímosti a rovnoměrnosti. Rychlost musí být volena s ohledem na dynamické vlastnosti snímacího systému. Tyto přístroje dále umožňují přenos naměřených dat do PC (nejčastěji pomocí USB nebo COM rozhraní) pro jejich podrobnější analýzu. [4]



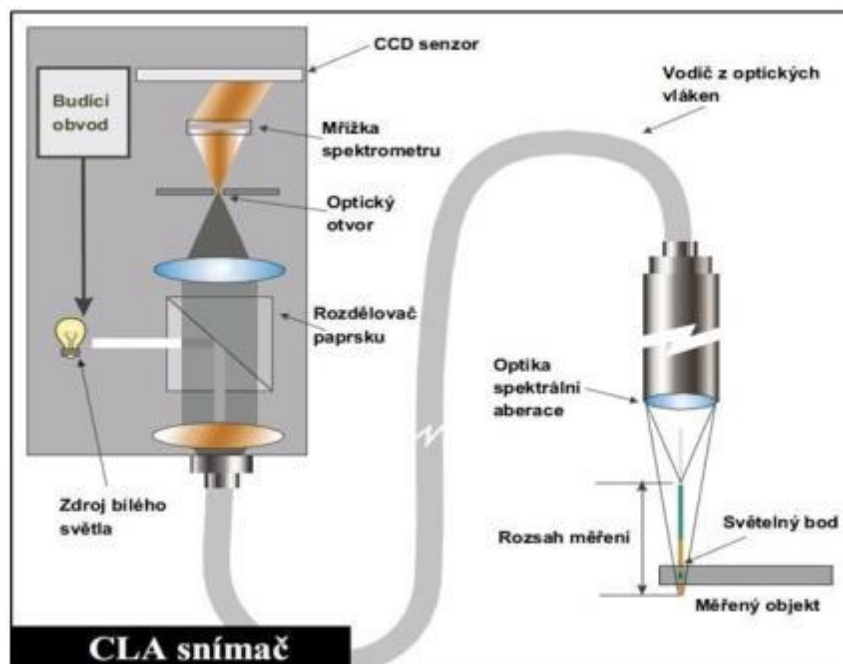
Obrázek 26 Schéma kontaktního snímání povrchu [4]

### 2.2.2.2 Bezkontaktní způsob

Nejčastěji využívá snímačů CLA a snímačů laserových. Rozlišitelnost snímačů CLA je v  $\mu\text{m}$ , laserových snímačů je přibližně o řád nižší. [19]

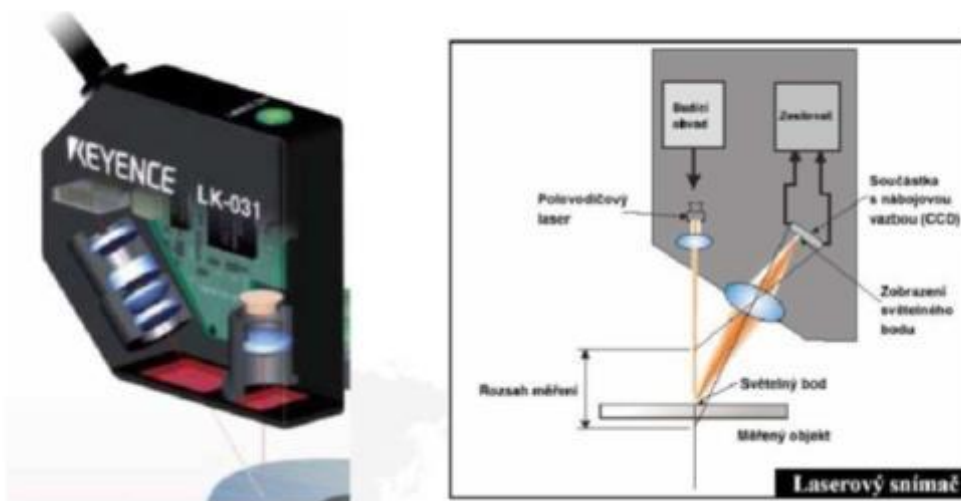
Princip CLA snímače je takový, že bílé světlo je rozkládáno a optikou je směřováno na kontrolovaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka. Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr vychýlí světlo na maticový senzor, kde je každému bodu připravena prostorová poloha, která je následně počítačově zpracována a vyhodnocena. [19]





Obrázek 27 Schéma CLA snímače [4]

Princip laserového snímače je takový, že paprsek polovodiče laseru se odrazí od měřeného povrchu do přijímacího optického systému. Paprsek je dále zaostřen na obrazovou matici, jejíž odrazové prvky jsou použity pro určení polohy zaměřeného bodu. [20]



Obrázek 28 Laserový snímač drsnosti [4]



### **3 NAVRŽENÍ METODIKY ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE A DRSNOSTI POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ V LABORATOŘI KOM FS TUL**

Cílem této práce bylo zjistit vliv koncentrace nanočástic v procesních kapalinách na trvanlivost nástroje a kvalitu obrobeneho povrchu při soustružení. Primární bod je v průmyslu málo používaná novinka, a to nanočástice  $\text{SiO}_2$ , které jsme cíleně přimíchávali do procesní kapaliny za účelem zkoumání vlivu na sledované parametry.

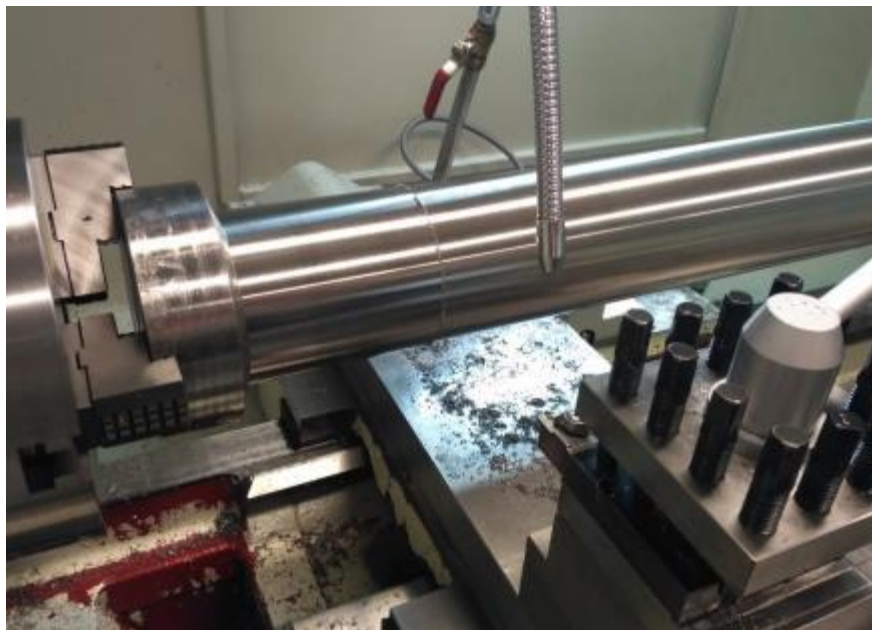
Obrábění, stejně tak i vyhodnocování je rozdělené na dvě části dle zadání DP, a to na zkoumání vlivu nanočástic na trvanlivost nástroje a zkoumání vlivu na kvalitu obrobeneho povrchu.

Měření probíhalo v laboratořích KOM na Technické univerzitě v Liberci.

#### **3.1 METODA ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE PŘI SOUSTRUŽENÍ**

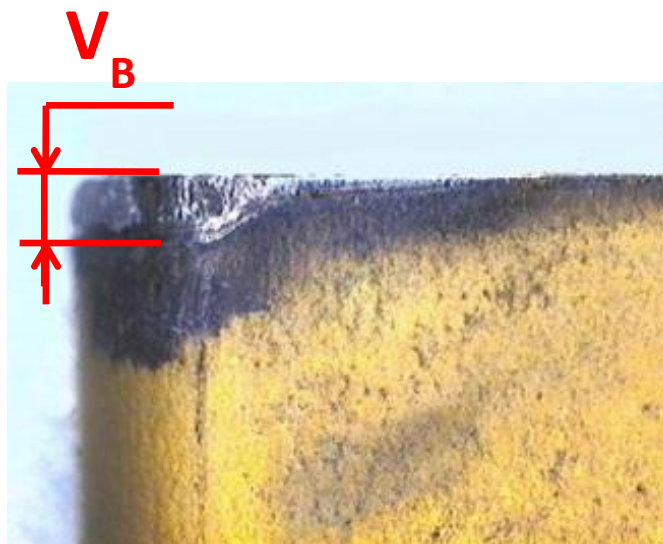
Pro vyhodnocování vlivu nanočástic v procesních kapalinách jsem používal CNC soustruh Chevalier FCL-2140. Jako první krok byl nalití procesní kapaliny do zásobníku procesní kapaliny CNC soustruhu. Poté jsem upnul obrobek tak, aby nedošlo k ohrožení zdraví a bezpečnosti. Dle nastaveného programu v CNC soustruhu jsem začal obrábět obrobek.





Obrázek 29 Příprava obrobku pro měření trvanlivosti

Po určitém časovém úseku (přibližně 2 až 5 minut) jsem vždy obrábění přerušil, abych provedl kontrolu opotřebení VBD pomocí Brinellovy lupy. V případě, že opotřebení VBD nedosahovalo kritéria opotřebení  $v_B=0,3\text{mm}$ , jsem pokračoval v obrábění o další časový úsek tak, než jsem dosáhl požadovaného kritéria opotřebení.



Obrázek 30 Opotřebená VBD [12]



Řezné podmínky byly po celou dobu testu konstantní, a to:

- řezná rychlost  $v_c = 240\text{m/min}$
- posuv  $f = 0,1\text{mm/ot}$
- hloubka záběru  $a_p = 0,5\text{mm}$ .

Pro každou z procesních kapalin jsem provedl 5 měření, čili celkem bylo provedeno 15 měření.

### 3.2 METODA MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ

V průběhu tohoto měření docházelo k vyhodnocení drsnosti povrchu obrobeného vzorku při použití různých procesních kapalin. Jak už bylo uvedeno výše, procesní kapaliny byly použity tři, a to:

- Vasco 6000
- Vasco 6000 + 0,02%  $\text{SiO}_2$
- Vasco 6000 + 0,05%  $\text{SiO}_2$ .

Během testu se některé řezné podmínky měnily a některé zůstaly konstantní. Konstantní řezné podmínky jsou následující:

- posuv  $f = 0,1$  [mm/ot]
- hloubka záběru  $a_p = 0,5$  [mm].

Proměnné řezné podmínky jsou následující:

- ✓ řezná rychlost 41 [m/min], 65 [m/min] a 102 [m/min].

Pro zkoušky jsem si připravil vzorek válce o průměru 30 mm a délce 380 mm z materiálu X2CrNiMo17-12-2. Tento materiál byl poté soustružen za použití každé z procesních kapalin v kombinaci s každou řeznou rychlostí. Tím jsem dostal celkem 9 měřících ploch pro následné vyhodnocení. Pro každou kombinaci procesní kapaliny a řezné rychlosti jsem provedl 12 měření parametrů drsnosti, čili celkem 108 měření.

Pro tuto zkoušku byl použit hrotový soustruh TOS SU50/1500.



Nejprve jsem upnul mezi sklíčidla vzorek, který byl obráběn pomocí VBD a za použití procesní kapaliny. Při soustružení musí dojít k obrobení dostatečně velké plochy tak, abych mohl následně provést vyhodnocení parametrů drsnosti povrchu. Během obrábění je pomocí gravitace přiváděna z nádoby procesní kapalina do místa řezu. Takto byla provedena obrobení pro všechny 3 stanovené řezné rychlosti. Následně došlo k výměně VBD za novou a důkladnému očištění jak nádoby, vzorku, tak i nástroje.

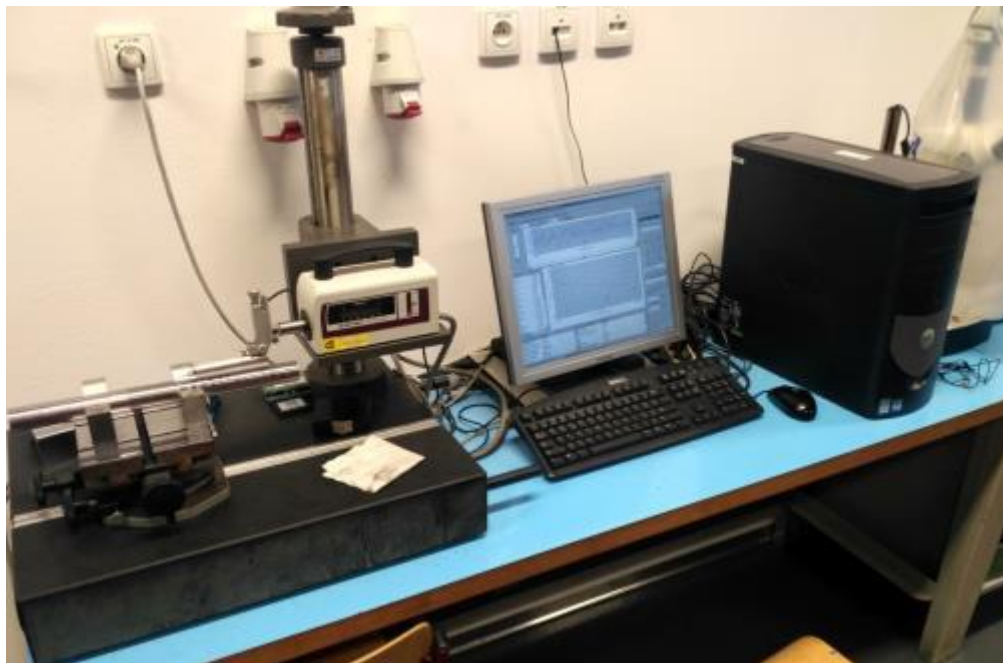
Tento postup byl následně opakován pro každou z procesních kapalin.



Obrázek 31 Příprava vzorku pro měření drsnosti

Výsledkem obrábění byl připravený vzorek, u kterého byly měřeny parametry drsnosti pomocí dotykové metody, a to zařízením Mitutoyo Surftest SV 2000. Každá obrobená plocha byla z důvodu statistického vyhodnocení měřena celkem 12x (měřící body byly rovnoměrně rozmístěny po obvodu obrobku). Cílem bylo za úkol sledovat 3 parametry drsnosti a to  $R_a$ ,  $R_z$  a  $C_{tp50}$ . Výsledky

byly následně vizualizovány a byly z nich vyvozeny závěry o vlivu koncentrace nanočástic v procesních kapalinách na parametry drsnosti při soustružení.



Obrázek 32 Přístroj pro měření drsnosti

### 3.3 PŘÍPRAVA PROCESNÍ KAPALINY

Postup přípravy procesní kapaliny byl následující. Na doporučení výrobce procesní kapaliny Vasco 6000 jsme připravili 10% roztok. Pro přípravu 10% roztoku procesní kapaliny Vasco 6000 byl použit výpočet dle rovnice

$$r = \frac{c}{k} \quad (5)$$

( $r$ =hodnota na refraktometru,  $c$ =požadovaná koncentrace,  $k$ =refrakční faktor).

Pro náš případ je refrakční faktor udávaný výrobcem pro kapalinu Vasco 6000  $k=1,3$  a požadovaná koncentrace byla 10%. Z toho tedy vyplývá výpočet hodnoty na refraktometru:

$$r = \frac{10}{1,3} = 7,7$$

Během přípravy procesní kapaliny se musí vždy vlévat koncentrát procesní kapaliny do vody (ne opačně), a to z důvodu ideálního promísení částic.





Obrázek 33 Mísení procesní kapaliny

Dále jsem přimíchal připravené roztoky nanomateriálu  $\text{SiO}_2$  tak, abych vytvořil požadované koncentrace s 0,02%  $\text{SiO}_2$  a 0,05%  $\text{SiO}_2$ .

### 3.4 POUŽITÉ NÁSTROJE A MATERIÁLY

Zkoumání trvanlivosti VBD jsem prováděl na CNC soustruhu FCL 2140, kde byla upnutá VBD TPUN 160304; 8230. Zkoumání dopadu na kvalitu obrobeneho povrchu jsem prováděl na soustruhu TOS SU50/1500. Pro následné vyhodnocování jsem potřeboval tyto přístroje:

- nástrojová lupa Brinell
- profiloměr Mitutoyo SV-2000.

Pro správné určení koncentrace procesní kapaliny jsem používal refraktometr Brix ATC. Všechny uvedené stroje a měřicí přístroje byly k zapůjčení v laboratoři KOM, TUL.





### 3.4.1 ZKUŠEBNÍ VZORKY

Pro vyhodnocování jak trvanlivosti VBD, tak i pro hodnocení parametrů povrchu, byl použit stejný materiál, a to ocel X2CrNiMo17-12-2. Jedná se o austenitickou korozivzdornou ocel, která velice dobře odolává atmosferické korozi (i v průmyslovém ovzduší), odpadním vodám i za přítomnosti halogenů. Ocel X2CrNiMo17-12-2 odolává i působení mořské vody. V přiměřených koncentracích odolává minerálním a organickým kyselinám. [11]

Chemické složení materiálu je následující:

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	N [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]
max. 0,03	max. 1,0	man. 2,0	max. 0,045	max. 0,03	max. 0,11	16,5-18,5	2,0-2,5	10,0 - 13,0

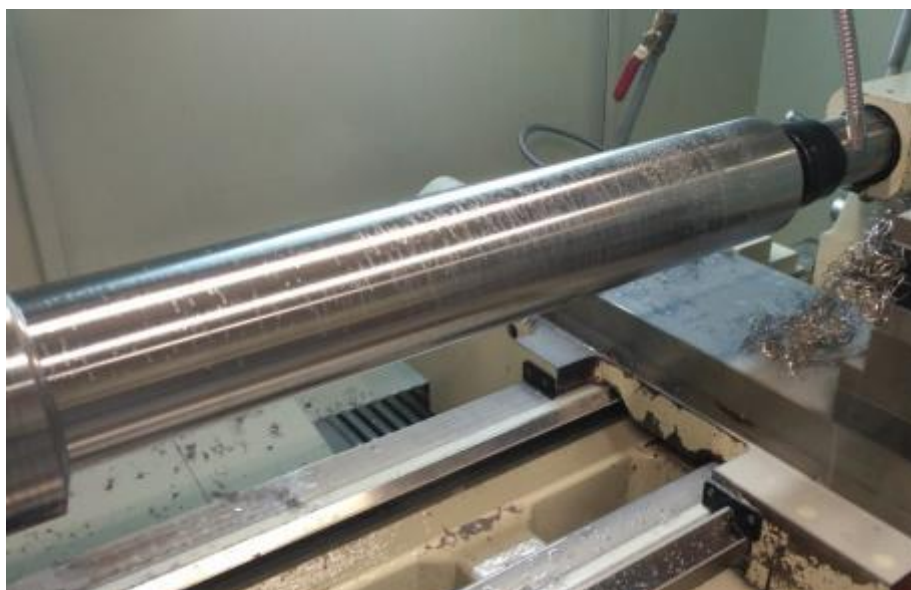
Tabulka 1 Chemické složení materiálu X2CrNiMo17-12-2

Mechanické vlastnosti materiálu jsou následující:

Tvrdost [HB]	Rp0,2 min. [Mpa]	Rp1,0 min. [Mpa]	Rm [Mpa]	A80 [%]
215	190	225	500-700	45min.

Tabulka 2 Mechanické vlastnosti materiálu X2CrNiMo17-12-2

Pro vyhodnocování trvanlivosti VBD se používala tyč o průměru 150 mm a délky 750 mm.



Obrázek 34 Tyč pro vyhodnocování trvanlivost VBD

Pro vyhodnocování parametrů drsnosti povrchu se používala tyč o průměru 30 mm a délky 380 mm.



Obrázek 35 Tyč pro vyhodnocování parametrů drsnosti

### 3.4.2 CNC SOUSTRUH CHEVALIER FCL2140

Pro soustružení byl použit stroj Chevalier FCL2140. Tento soustruh má klasické uspořádání univerzálních hrotových soustruhů. Jeho předností je, že je vybaven CNC řízením. Stroj si ponechává řadu užitečných vlastností strojů konvenčních a ty doplňuje výhodami strojů numericky řízených. [10]

Pro tyto stroje je charakteristické používání několika jmenných označení. Nazývají se buď multifunkční, mechatronické a nebo s řízenou dráhou pohybu. Díky své koncepci a konstrukčnímu řešení je tento stroj vhodný pro snadný přechod od ručně řízených soustruhů klasické koncepce (konvenčních hrotových strojů) ke strojům numericky řízeným. [10]

Stroj je možné ovládat v plně ručním režimu jako stroj konvenční nebo v režimu automatickém. [10]

Vytváření programů pro ovládání stroje je možné několika způsoby:

- ✓ pomocí tzv. cyklů - na ovládacím panelu je umístěno několik tlačítek, pod kterými jsou předdefinovány základní soustružnické operace, např. zaoblování, podélné soustružení, soustružení kuželů atd.. Stiskem



tlačítka cyklu se na obrazovce objeví popsany obrázek dané operace, kde je možno, pomocí ovládacího panelu, zadat jednotlivá data potřebná pro obrábění (velikost součásti v osách x a z, hloubka záběru při hrubování, přídavek na obrábění na čisto atd.). Dále se zadají řezné podmínky, číslo nástroje, případná korekce nástroje a další. [10]

- ✓ pomocí jazyka ISO [10]
- ✓ pomocí kultivovaného jazyka - to je výhodné zejména z hlediska možnosti skoků mezi řádky programu pomocí příkazu GOTO, podmíněných skoků IF apod. [10]

Každou naprogramovanou část lze buď simulovat na obrazovce, přímo spustit nebo uložit do programu. Jednotlivé způsoby programování lze kombinovat. [10]

Stroj může být vybaven jak nožovou rychloupínací hlavou typu Multifix, tak i čtyř polohovou ručně či elektricky ovládanou hlavou nebo i více bokou elektricky ovládanou nástrojovou hlavou s horizontální osou otáčení. [10]

Soustruh je vybaven řídicím systémem FAGOR 8055, je vybaven univerzálním sklíčidlem, kde upínání součásti je prováděno ručně, koníkem a ručně ovládaným jednonožovým držákem nástrojů. Lze na něm provádět obdobné operace jako na univerzálním hrotovém soustruhu, tzn. obrábění vnitřních a vnějších rotačních ploch, čelních ploch, kuželů, tvarů, závitů a obrábění osovými nástroji, které je možno upnout do dutiny koníku. [10]





Obrázek 36 Soustruh Chevalier FCL-2140 v laboratoři KOM, TUL



## Technické údaje stroje

<b>Popis</b>	<b>Hodnota</b>
<b>Průchod obrobku</b>	
Oběžný průměr nad ložem	540 mm
Maximální průměr obrábění	540 mm
Oběžný průměr nad suportem	310 mm
Výška hrotů	270 mm
Vzdálenost mezi hroty	1000 mm
<b>Vřeteník</b>	
Otáčky vřetena	27 - 2250 ot/min.
Hlava vřetena	D1-8
Vrtání vřetena	85 mm
Kužel vřetena	1/16
<b>Suport</b>	
Podélný zdvich (osa Z)	980 mm
Příčný posuv (osa X)	350 mm
Velikost stopky nožového držáku	25 x 25 mm
<b>Koník</b>	
Průměr	75 mm
Pojezd	210 mm
Kužel	MT5
Rychlost posuvu (X,Z)	5000 mm/min
Ryhloposuv (X,Z)	5000,8000 mm/min
Přesnost polohování	lepší než 0,005mm
Opakovatelnost	lepší než 0,005mm
Váha stroje	3200 kg

Tabulka 3 Technické údaje soustruhu Chevalier FCL-2140

### 3.4.3 HROTOVÝ SOUSTRUH TOS SU50/1500

Obrábění vzorků pro vyhodnocení parametrů drsnosti byl použit hrotový soustruh TOS 50/1500. Jde o soustruh klasické konstrukce, kde primární pohyb je točivý a provádí ho obrobek, který je upnut ve vřetenu. Vedlejší pohyb je pohyb vykonaný nástrojem, a to buď ve směru osy obrobku (podélný posuv) nebo ve směru kolmém na osu obrobku (příčný posuv). Oba tyto pohyby se mohou dít i současně. Posun pracovního nástroje je prováděn strojně či ručně.





Obrázek 37 Soustruh TOS SU 50/1500 v laboratoři KOM, TUL

#### Technické údaje stroje

Popis	Hodnota
<b>Průchod obrobku</b>	
Vzdálenost hrotů	1500 mm
Oběžný průměr nad ložem	500 mm
Oběžný průměr na suportem	250 mm
Točná délka při použití kuž. Pravitka	350 mm
Vrtání vřetena	56 mm
Šířka lože	420 mm
<b>Koník</b>	
Průměr objímky	85 mm
Zdvih objímky	220 mm
Max. váha obráběného kusu	1120 kg
<b>Vřeteno</b>	
Počet stupňů	22
Rozsah otáček	11,2 - 1400 ot/min
Výkon h. motorů	11kW
Plocha stroje (d x š)	3775 x 1180 mm
Hmotnost	2800 kg
Součástí jekoník a univerzální sklíčidlo	

Tabulka 4 Technické údaje soustruhu TOS SU 50/1500 v laboratoři KOM, TUL



### 3.4.4 VYMĚNITELNÁ BŘITOVÁ DESTIČKA

Během testu opotřebení byla použita VBD od společnosti Pramet s typovým označením TPUN 160304; 8230. Tato destička je vyrobena ze slinutých karbidů a není povlakovaná. Je vhodná pro oceli austenitické a nerezové, litiny, neželezné kovy, žárupevné slitiny, a pro oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli a tvrzené litiny. [18]



Obrázek 38 Sada vyměnitelných břitových destiček

### 3.4.5 BRINELLOVA LUPA

K ověřování opotřebení VBD byla používána Brinellova lupa s 24 násobným zvětšením. Brinellova lupa byla k zapůjčení v laboratoři KOM, TUL.



Obrázek 39 Brinellova lupa

### 3.4.6 REFRAKTOMETR

Pro přípravu procesní kapaliny Vasco 6000 byl používán ruční refraktometr tak, abych dosáhl doporučené koncentrace dané výrobcem.

Použití refraktometru je velice snadné - na zešíkmený skleněný hranol stačí kápnout několik kapek kapaliny, přiklopit průsvitné víčko, aby se kapalina po hranolu rozprostřela, namířit hranol proti světlu a podívat se do okuláru. Uvidíte kruhový průzor se svislou stupnicí, kterou bude protínat hranice modro-bílého rozhraní. [9]

Pro naše účely byl použit refraktometr BRIX ATC. Jedná se o typ refraktometru, který má automatickou kompenzaci teploty. Přesnost měření se u tohoto typu refraktometru pohybuje na úrovni 0,1%. Zařízení je určeno pro používání při teplotách 0°C až 30°C.



Obrázek 40 Refraktometr [16]

### 3.4.7 DRSNOMĚŘ

Pro závěrečné vyhodnocení parametrů drsnosti jsem použil zařízení dostupné v laboratoři KOM TUL, a to drsnoměr Mitutoyo Surftrtest SV2000. Je to zařízení klasické konstrukce, kde se pro vyhodnocování parametrů drsnosti používá kontaktní způsob.

Tento typ drsnoměru je široce využíván v praxi, a to především pro jeho jednoduchost, uživatelskou přívětivost a hospodárnost. Zařízení se standartně

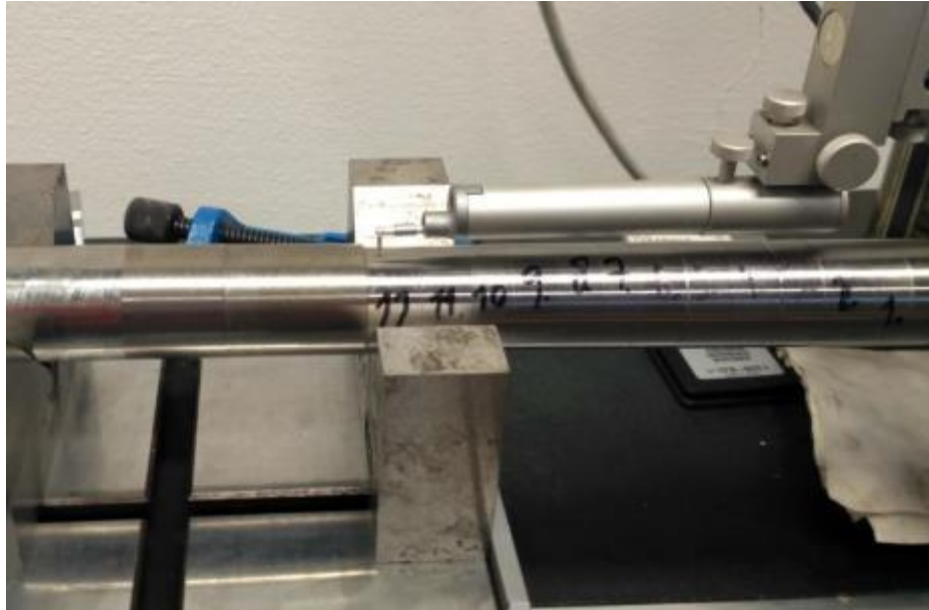


spojuje s počítačem a vyhodnocovacím softwarem dodávaným přímo výrobcem. Pomocí tohoto zařízení lze měřit široké spektrum parametrů drsnosti (drsnost, vlnitost, nosný podíl). Zařízení je schopno změřit 55 různých parametrů drsnosti.



Obrázek 41 Drsnosměr Mitutoyo SurfTest SV 2000 v laboratoři KOM FS TUL

Měřený povrch se měří pomocí přímočarého pohybu měřícího hrotu. Měřící hrot je vyrobený z diamantu a je vyměnitelný.



Obrázek 42 Detail z měření drsnosti vzorku



## **4 ZJIŠTĚNÍ VLIVU KONCENTRACE NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH NA TRVANLIVOST NÁSTROJE A KVALITU POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ V LABORATOŘI KOM FS TUL**

Předpoklad pro tvorbu této diplomové práce byl ten, že přimícháváním nanočástic  $\text{SiO}_2$  do procesní kapaliny dojde ke změně její vlastností, a to především s pozitivními dopady na trvanlivost VBD a parametry drsnosti při soustružení. V této kapitole uvedu přehled naměřených dat, z nichž lze poté vyvodit dopad na zkoumané parametry.

### **4.1 VLIV KONCENTRACE NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH NA TRVANLIVOST NÁSTROJE PŘI SOUSTRUŽENÍ**

Během tohoto experimentu jsem vyhodnocoval dopad změny koncentrace nanočástic  $\text{SiO}_2$  na procesní kapalinu Vasco 6000 v návaznosti na trvanlivost VBD při soustružení. Zkoumal jsem tedy 3 kapaliny a pro každou z nich jsem provedl 5 měření. Níže jsou uvedeny tabulky a grafy, které shrnují výsledky jednotlivých měření.



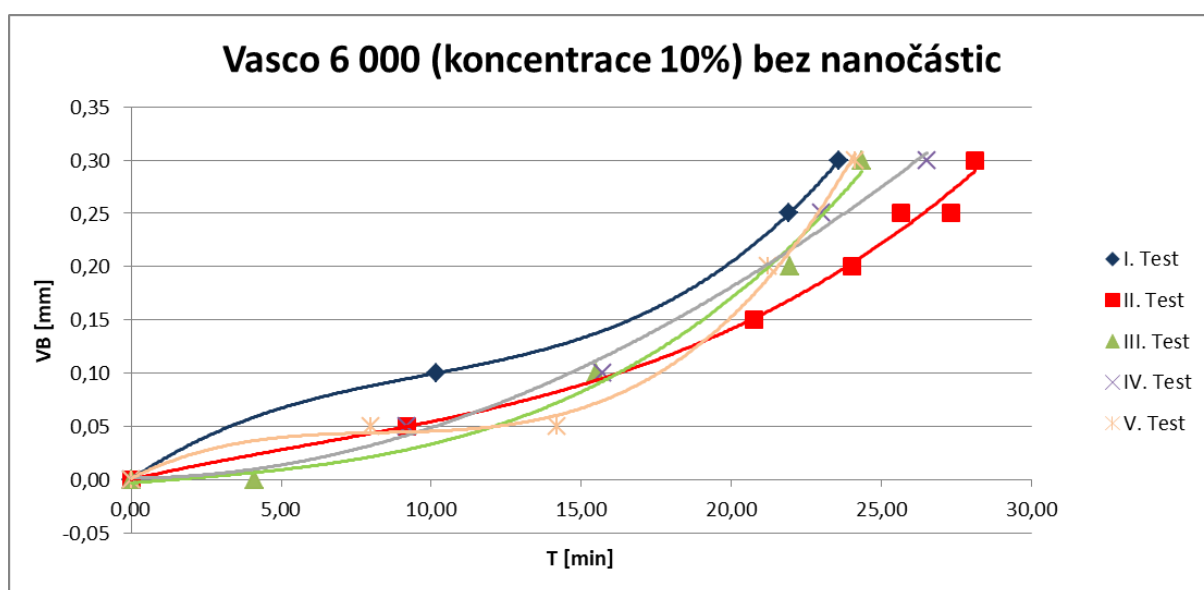
#### 4.1.1 VASCO 6000 BEZ NANOČÁSTIC

Cílem provedení testu s procesní kapalinou Vasco 6000, bylo zjištění výchozího stavu pro následné porovnání.

Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že průměrná trvanlivost VBD s použitím procesní kapaliny je  $25,35 \pm 1,5$  [min].

I. Test		II. Test		III. Test		IV. Test		V. Test	
VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	10,17	0,05	9,17	0,00	4,10	0,05	9,20	0,05	8,00
0,25	21,91	0,15	20,74	0,10	15,48	0,10	15,70	0,05	14,20
0,30	23,60	0,20	24,02	0,20	21,93	0,25	23,00	0,20	21,20
		0,25	25,65	0,30	24,39	0,30	26,53	0,30	24,10
		0,25	27,29						
		0,30	28,12						

Tabulka 5 Tabulka trvanlivosti VBD s Vasco 6000 (bez nanočástic)



Graf 1 Graf trvanlivosti VBD s Vasco 6000 (bez nanočástic)

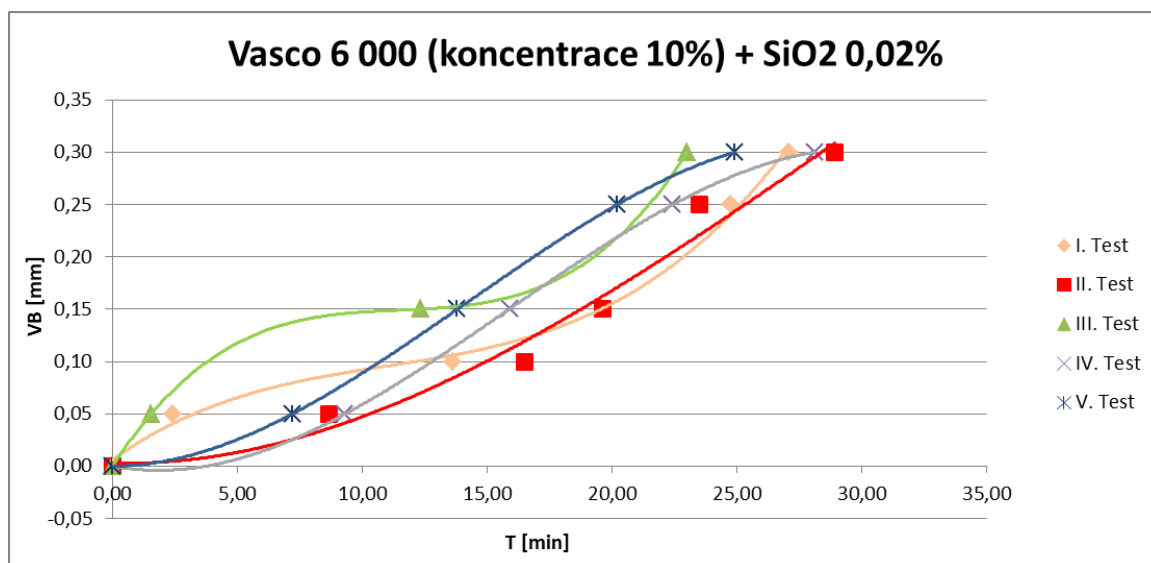


#### 4.1.2 VASCO 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub>

Do základní procesní kapaliny byla přimíchána koncentrace 0,02% nanočástic SiO<sub>2</sub>. U této procesní kapaliny jsem zjistil, že průměrná trvanlivost VBD je 26,33±1,9 [min]. Došlo tedy k neznatelnému zvýšení trvanlivosti o 3,9% v porovnání s Vasco 6000.

I. Test		II. Test		III. Test		IV. Test		V. Test	
VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	2,42	0,05	8,66	0,05	1,55	0,05	9,30	0,05	7,20
0,10	13,62	0,10	16,47	0,15	12,32	0,15	15,90	0,15	13,80
0,25	24,73	0,15	19,60	0,30	23,01	0,25	22,40	0,25	20,20
0,30	27,00	0,25	23,47			0,30	28,05	0,30	24,85
		0,30	28,75						

Tabulka 6 Tabulka trvanlivosti VBD s Vasco 6000+0,02% SiO<sub>2</sub>



Graf 2 Graf trvanlivosti VBD s Vasco 6000+0,02% SiO<sub>2</sub>

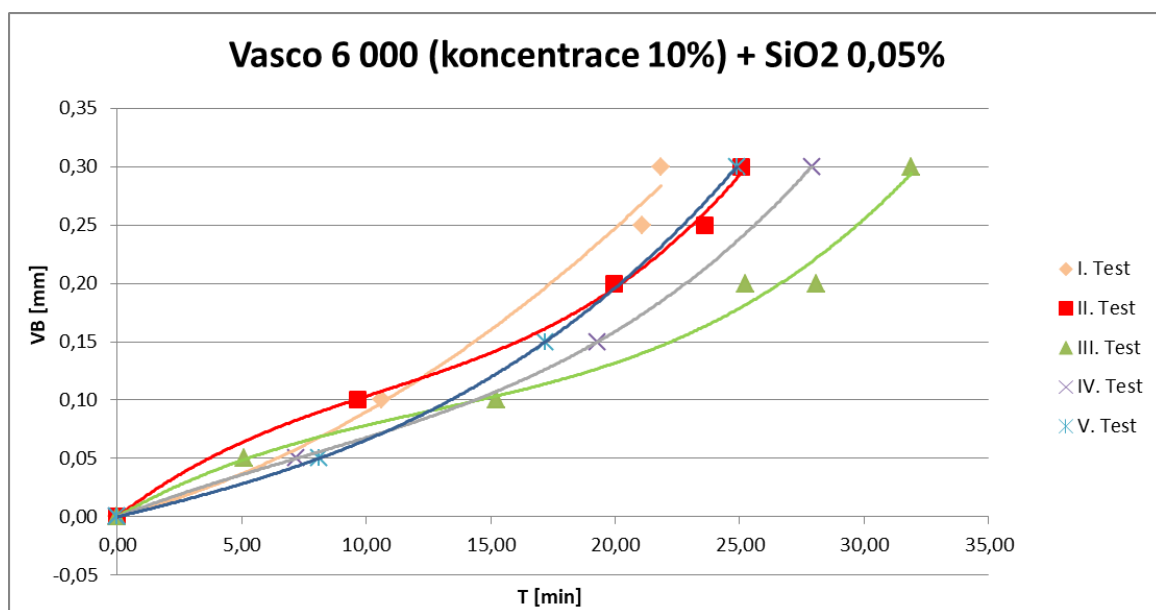


#### 4.1.3 VASCO 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub>

Do základní procesní kapaliny byla přimíchána koncentrace 0,05% nanočástic SiO<sub>2</sub>. U této procesní kapaliny jsem zjistil, že průměrná trvanlivost VBD je 26,26±2,9 [min]. Došlo tedy k neznatelnému zvýšení trvanlivosti o 3,6% v porovnání s Vasco 6000.

I. Test		II. Test		III. Test		IV. Test		V. Test	
VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	10,61	0,10	9,64	0,05	5,11	0,05	7,20	0,10	8,10
0,25	21,09	0,20	19,94	0,10	15,24	0,15	19,30	0,20	17,20
0,30	21,75	0,25	23,59	0,20	25,24	0,30	27,95	0,30	24,90
		0,30	25,10	0,20	28,08				
				0,30	31,60				

Tabulka 7 Tabulka trvanlivosti VBD s Vasco 6000+0,05% SiO<sub>2</sub>

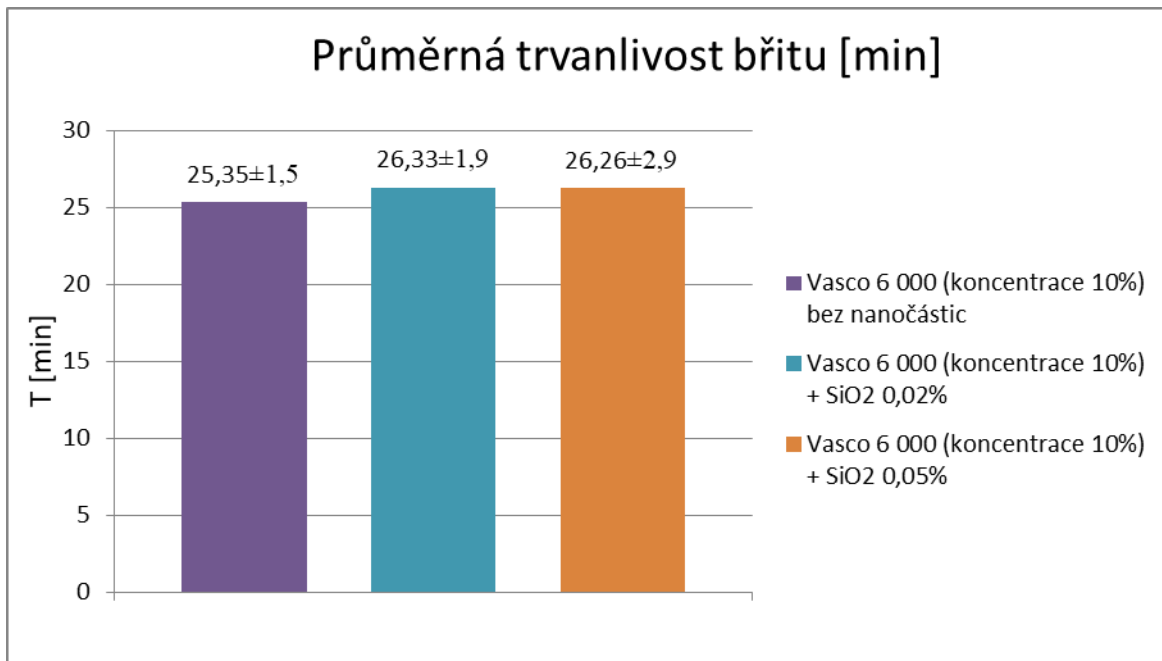


Graf 3 Graf trvanlivosti VBD s Vasco 6000+0,05% SiO<sub>2</sub>



#### 4.1.4 POROVNÁNÍ HODNOT

Z naměřených a výše uvedených výsledků je patrné, že změnou přimícháním nanočástic SiO<sub>2</sub> do procesní kapaliny Vasco 6000 dojde k neznatelnému zvýšení trvanlivosti nástroje ( viz graf XX )



Tabulka 8 Průměrná trvanlivost VBD



## **4.2 VLIV KONCENTRACE NANOČÁSTIC V PROCESNÍCH KAPALINÁCH NA KVALITU OBROBENÉHO POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ**

Během tohoto experimentu jsem vyhodnocoval dopad změny koncentrace nanočástic na procesní kapalinu Vasco 6000 v návaznosti na kvalitu obrobeného povrchu při soustružení. Zkoumal jsem 3 kapaliny, testy byly provedeny vždy pro 3 různé řezné rychlosti a pro každý z výsledných vzorků jsem provedl 12 měření. Níže jsou uvedeny tabulky a grafy, které shrnují výsledky jednotlivých měření.





#### 4.2.1 PARAMETR DRSNOSTI $R_a$

Z provedeného testu jsem zjistil, že s přimícháváním nanočástic  $\text{SiO}_2$  je zde jednoznačný dopad na parametr drsnosti  $R_a$ . Při aplikaci 0,02% roztoku  $\text{SiO}_2$  dochází k redukci  $R_a$  (při zachování konstantních podmínek) o 20% a při aplikaci 0,05 % roztoku  $\text{SiO}_2$  dochází k redukci  $R_a$  o 35% v porovnání s výchozím stavem (Vasco 6000 bez nanočástic).

Pro řeznou rychlost 41 m/min byly dosažené průměrné výsledky  $R_a$  následující:

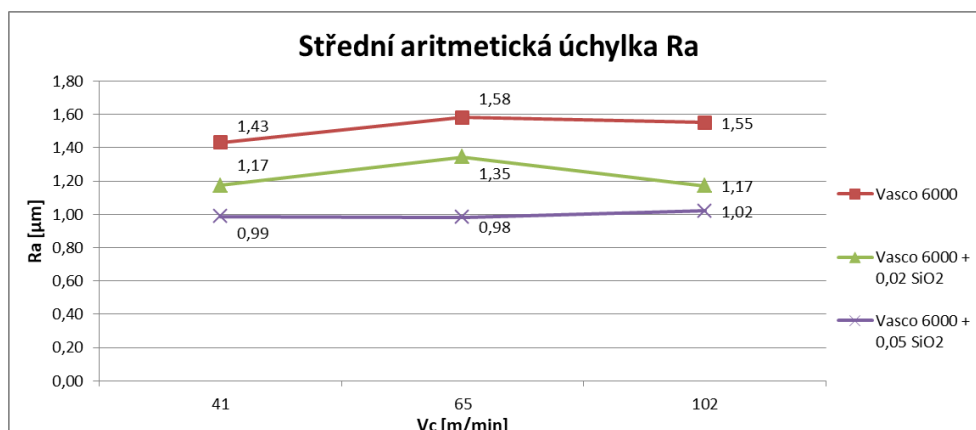
- Vasco 6000 (bez nanočástic)  $R_a = 1,43 \pm 0,13$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,02%  $\text{SiO}_2$   $R_a = 1,17 \pm 0,10$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,05%  $\text{SiO}_2$   $R_a = 0,99 \pm 0,06$  [ $\mu\text{m}$ ].

Pro řeznou rychlost 65 m/min byly dosažené průměrné výsledky  $R_a$  následující:

- Vasco 6000 (bez nanočástic)  $R_a = 1,58 \pm 0,12$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,02%  $\text{SiO}_2$   $R_a = 1,35 \pm 0,05$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,05%  $\text{SiO}_2$   $R_a = 0,98 \pm 0,05$  [ $\mu\text{m}$ ].

Pro řeznou rychlost 102 m/min byly dosažené průměrné výsledky  $R_a$  následující:

- Vasco 6000 (bez nanočástic)  $R_a = 1,55 \pm 0,07$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,02%  $\text{SiO}_2$   $R_a = 1,17 \pm 0,04$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,05%  $\text{SiO}_2$   $R_a = 1,02 \pm 0,05$  [ $\mu\text{m}$ ].



Graf 4 Závislost střední aritmetické úchylnky  $R_a$  při použití Vasco 6000 s různou koncentrací nanočástic  $\text{SiO}_2$



#### 4.2.2 PARAMETR DRSNOSTI $R_z$

Z provedeného testu jsem zjistil, že s přimícháváním nanočástic  $\text{SiO}_2$  je zde jednoznačný dopad na parametr drsnosti  $R_z$ . Při aplikaci 0,02% roztoku  $\text{SiO}_2$  dochází k redukci  $R_z$  (při zachování konstantních podmínek) v průměru o 10% a při aplikaci 0,05 % roztoku  $\text{SiO}_2$  dochází k redukci  $R_z$  v průměru o 30% v porovnání s výchozím stavem (Vasco 6000 bez nanočástic).

Pro řeznou rychlost 41 m/min byly dosažené průměrné výsledky  $R_z$  následující:

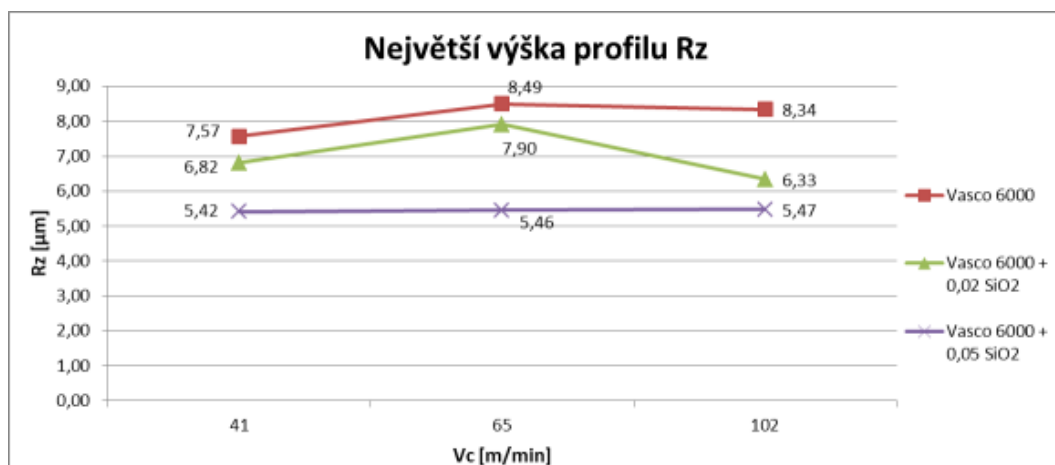
- Vasco 6000 (bez nanočástic)  $R_z = 7,57 \pm 0,53$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,02%  $\text{SiO}_2$   $R_z = 6,82 \pm 0,50$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,05%  $\text{SiO}_2$   $R_z = 5,42 \pm 0,29$  [ $\mu\text{m}$ ].

Pro řeznou rychlost 65 m/min byly dosažené průměrné výsledky  $R_z$  následující:

- Vasco 6000 (bez nanočástic)  $R_z = 4,89 \pm 0,61$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,02%  $\text{SiO}_2$   $R_z = 7,90 \pm 0,30$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,05%  $\text{SiO}_2$   $R_z = 5,46 \pm 0,25$  [ $\mu\text{m}$ ].

Pro řeznou rychlost 102 m/min byly dosažené průměrné výsledky  $R_z$  následující:

- Vasco 6000 (bez nanočástic)  $R_z = 8,34 \pm 0,31$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,02%  $\text{SiO}_2$   $R_z = 6,33 \pm 0,23$  [ $\mu\text{m}$ ]
- Vasco 6000 + 0,05%  $\text{SiO}_2$   $R_z = 5,47 \pm 0,22$  [ $\mu\text{m}$ ].



Graf 5 Závislost střední aritmetické úchytky  $R_z$  při použití Vasco 6000 s různou koncentrací nanočástic  $\text{SiO}_2$



#### 4.2.3 PARAMETR DRSNOSTI $C_{tp50}$

Z provedeného testu jsem zjistil, že s přimícháváním nanočástic  $SiO_2$  je zde jednoznačný dopad na parametr drsnosti  $C_{tp50}$ . Při aplikaci 0,02% roztoku  $SiO_2$  dochází k redukci  $C_{tp50}$  (při zachování konstantních podmínek) v průměru o 5% a při aplikaci 0,05 % roztoku  $SiO_2$  dochází k redukci  $C_{tp50}$  v průměru o 27% v porovnání s výchozím stavem (Vasco 6000 bez nanočástic).

Pro řeznou rychlost 41 m/min byly dosažené průměrné výsledky  $R_z$  následující:

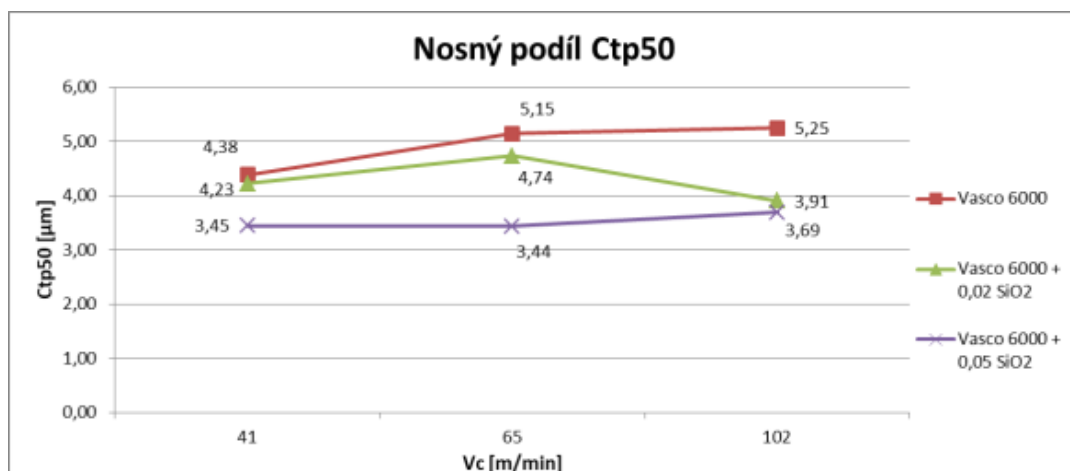
- Vasco 6000 (bez nanočástic)  $C_{tp50} = 4,38 \pm 0,38$  [ $\mu m$ ]
- Vasco 6000 + 0,02%  $SiO_2$   $C_{tp50} = 4,23 \pm 0,52$  [ $\mu m$ ]
- Vasco 6000 + 0,05%  $SiO_2$   $C_{tp50} = 3,45 \pm 0,30$  [ $\mu m$ ].

Pro řeznou rychlost 65 m/min byly dosažené průměrné výsledky  $R_z$  následující:

- Vasco 6000 (bez nanočástic)  $C_{tp50} = 5,15 \pm 0,58$  [ $\mu m$ ]
- Vasco 6000 + 0,02%  $SiO_2$   $C_{tp50} = 4,74 \pm 0,30$  [ $\mu m$ ]
- Vasco 6000 + 0,05%  $SiO_2$   $C_{tp50} = 3,44 \pm 0,27$  [ $\mu m$ ].

Pro řeznou rychlost 102 m/min byly dosažené průměrné výsledky  $R_z$  následující:

- Vasco 6000 (bez nanočástic)  $C_{tp50} = 5,25 \pm 0,22$  [ $\mu m$ ]
- Vasco 6000 + 0,02%  $SiO_2$   $C_{tp50} = 3,91 \pm 0,18$  [ $\mu m$ ]
- Vasco 6000 + 0,05%  $SiO_2$   $C_{tp50} = 3,69 \pm 0,51$  [ $\mu m$ ].



Graf 6 Závislost střední aritmetické úchytky  $C_{tp50}$  při použití Vasco 6000 s různou koncentrací nanočástic  $SiO_2$



## 5 ANALÝZA LABORATORNÍCH VÝSLEDKŮ, VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ

Tato diplomová práce se zaměřovala na vyhodnocení vlivu koncentrace nanočástic v procesní kapalině Vasco 6000 při procesu soustružení. Testování bylo zaměřeno na dvě hlediska. První hledisko byla trvanlivost nástroje a druhé vliv procesní kapaliny na kvalitu povrchu při obrábění.

Z pohledu vlivu koncentrace nanočástic na trvanlivost nástroje jsem došel k závěru, že při soustružení materiálu X2CrNiMo17-12-2 došlo přidáváním nanočástic  $\text{SiO}_2$  k neznatelnému zlepšení trvanlivosti nástroje. Při koncentraci nanočástic 0,02%  $\text{SiO}_2$  došlo ke zlepšení o 3,9% a při koncentraci nanočástic 0,05%  $\text{SiO}_2$  došlo ke zlepšení od 3,6%. Přísluší se říci, že obě dosažené hodnoty zlepšení se nachází v rámci statistické odchylky teorie spolehlivosti, proto lze uvést, že zlepšení je neznatelné.

Při soustružení oceli X2CrNiMo17-12-2 řeznou rychlostí 45 m/min došlo přidáním nanočástic o koncentraci 0,02% ke zlepšení parametru  $R_a$  o 19%, parametru  $R_z$  o 10% a parametru  $C_{tp50}$  o 4%. Následným zvýšením na koncentraci 0,05% došlo ke zlepšení parametru  $R_a$  o 31%, parametru  $R_z$  o 29% a parametru  $C_{tp50}$  o 22%. Zlepšení je vždy porovnáváno s výchozím stavem procesní kapaliny bez nanočástic.

Při soustružení oceli X2CrNiMo17-12-2 řeznou rychlostí 65 m/min došlo přidáním nanočástic o koncentraci 0,02% ke zlepšení parametru  $R_a$  o 15%, zhoršení parametru  $R_z$  o 61% a parametru  $C_{tp50}$  o 8%. Následným zvýšením na koncentraci 0,05% došlo ke zlepšení parametru  $R_a$  o 38%, zhoršení parametru  $R_z$  o 11% a parametru  $C_{tp50}$  o 34%. Zlepšení či zhoršení je vždy porovnáváno s výchozím stavem procesní kapaliny bez nanočástic.

Při soustružení oceli X2CrNiMo17-12-2 řeznou rychlostí 102 m/min došlo přidáním nanočástic o koncentraci 0,02% ke zlepšení parametru  $R_a$  o 25%, parametru  $R_z$  o 24% a parametru  $C_{tp50}$  o 26%. Následným zvýšením na koncentraci 0,05% došlo ke zlepšení parametru  $R_a$  o 35%, parametru  $R_z$  o 34% a parametru  $C_{tp50}$  o 30%. Zlepšení je vždy porovnáváno s výchozím stavem procesní kapaliny bez nanočástic.



Po výsledném zhodnocení výsledků mohu tedy dojít k závěru, že je neznatelný dopad na trvanlivost nástroje při soustružení. Můžeme ale sledovat jednoznačně pozitivní dopad na parametry drsnosti, kdy především při použití 0,05% koncentrace nanočástic  $\text{SiO}_2$  dochází k výraznému zlepšení výsledků. Proto také doporučuji pokračovat v započatém zkoumání s cílem zavedení v průmyslovém použití. Jako přínosný směr výzkumu bych zvolil testy pro různé druhy konstrukčních ocelí a to především z důvodu širšího použití v průmyslové praxi, použití různých procesních kapalin, či zaměření na další druhy obrábění tak, aby se v prvním kroku provedl základní výzkum a zjistilo se nejefektivnější využití nanočástic na trvanlivost nástroje a kvalitu obrobeného povrchu.



## Seznam použité literatury:

- [1] INTEGRITA POVRCHU A JEJÍ VÝZNAM PRO POSOUZENÍ VHODNOSTI DANÉ PLOCHY PRO JEJÍ FUNKCI, *Prof. Ing. Bohumil Bumbálek, CSc.* [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: [http://gps.fme.vutbr.cz/STAH\\_INFO/2512\\_Bumbalek.pdf](http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf)
- [2] ELUC. *ELUC* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1193>
- [3] ELUC. *ELUC* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1194>
- [4] ELUC. *ELUC* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1102>
- [5] PETŘKOVSKÁ, PH.D., Ing. Lenka. *TECHNICKÁ MĚŘENÍ A METROLOGIE TEORETICKÝ ZÁKLAD* [online]. VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA FAKULTA STROJNÍ [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_025/Technická%20měření%20a%20metrologie%20-%20Teoretický%20základ/02%20Text%20pro%20e-learning/Technická%20měření%20a%20metrologie%20-%20Teoretický%20základ\\_11.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_025/Technická%20měření%20a%20metrologie%20-%20Teoretický%20základ/02%20Text%20pro%20e-learning/Technická%20měření%20a%20metrologie%20-%20Teoretický%20základ_11.pdf)
- [6] ČEP, Rober a Jana PETRŮ. *ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ* [online]. 3 Tvorba a tvarování třísky. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2019-04-22]. ISBN 978-80-248-3013-1. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_002/Úvod%20do%20teorie%20obrabeni/02%20Text%20pro%20e-learning/Úvod%20do%20teorie%20obrabeni%2003%20Tvorba%20a%20tvarovani%20třísky.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_002/Úvod%20do%20teorie%20obrabeni/02%20Text%20pro%20e-learning/Úvod%20do%20teorie%20obrabeni%2003%20Tvorba%20a%20tvarovani%20třísky.pdf)
- [7] TECHNOLOGIE I , TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část, Studijní opory pro magisterskou formu studia, Doc. Ing. Anton Humár, CSc. [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)



- [8] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [9] K čemu se používá refraktometr? – refraktometr.cz. Refraktometr, kapesní refraktometry, měření indexu lomu [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.refraktometr.cz/vyuziti-refraktometru>
- [10] DVOŘÁČEK, František. Pracovní charakteristiky multifunkčního soustruhu Chevalier FCL 2140. Liberec, 2007. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
- [11] Bolzano I X2CrNiMo17-12-2 (1.4435) austenitické. Bolzano / Úvod [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x2crnimo17-12-2-austeniticke>
- [12] Příručka obrábění: kniha pro praktiky. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
- [13] ELUC. *ELUC* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1203>
- [14] KUBÍNEK, Roman a Vendula STRÁNSKÁ. Úvod do problematiky nanotechnologií [online]. , 22 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://exfyz.upol.cz/didaktika/oprlz/nanotechnologie.pdf>
- [15] BAKALOVA, Totka, Lucie SVOBODOVA, Petra ROSICKA, Karolina BORUVKOVA, Lukáš VOLESKÝ a Petr LOUDA. The application potential of SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> or Ag nanoparticles as fillers in machining process fluids. *Journal of Cleaner Production* [online]. , 7 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616318923>
- [16] Refraktometry I Profiobchod.eu. Internetový velkoobchod / Profiobchod.eu [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.profiobchod.eu/refraktometry>
- [17] ABAD, Manuel a Stephen VELDHUIS. Inorganic Nanoparticles as a Lubricant Additive for MQL Machining [online]. , 8 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z:



[https://www.researchgate.net/publication/259870302\\_Inorganic\\_Nanoparticles\\_as\\_a\\_Lubricant\\_Additive\\_for\\_MQL\\_based\\_Machining](https://www.researchgate.net/publication/259870302_Inorganic_Nanoparticles_as_a_Lubricant_Additive_for_MQL_based_Machining)

[18] <https://www.falti.cz/>: TPUN 160304 ;8230 frézovací vyměnitelná břitová destička s upínáním klínem [online]. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.falti.cz/tpun-160304-8230-frezovaci-vymenitelna-britova-desticka-s-upinanim-klinem>

[19] MB Calibr: Měření drsnosti [online]. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://www.mbcaltibr.cz/mereni-drsnosti.html>

[20] ELUC. *ELUC* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1103>





### **Seznam příloh:**

Příloha č. 1 – Měření opotřebení VBD na čase při použití procesní kapaliny Vasco 6000 (bez nanočástic).

Příloha č. 2 – Měření opotřebení VBD na čase při použití procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub>.

Příloha č. 3 – Měření opotřebení VBD na čase při použití procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub>.

Příloha č. 4 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 při řezné rychlosti 45 [m/min]

Příloha č. 5 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 při řezné rychlosti 65 [m/min]

Příloha č. 6 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 při řezné rychlosti 105 [m/min]

Příloha č. 7 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 45 [m/min]

Příloha č. 8 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 65 [m/min]

Příloha č. 9 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 102 [m/min]

Příloha č. 10 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 45 [m/min]

Příloha č. 11 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 65 [m/min]

Příloha č. 12 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 102 [m/min]

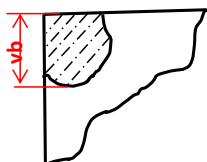


Příloha č. 1 – Měření opotřebení VBD na čase při použití procesní kapaliny Vasco 6000 (bez nanočástic).

**Vyhodnocení parametrů drsnosti**

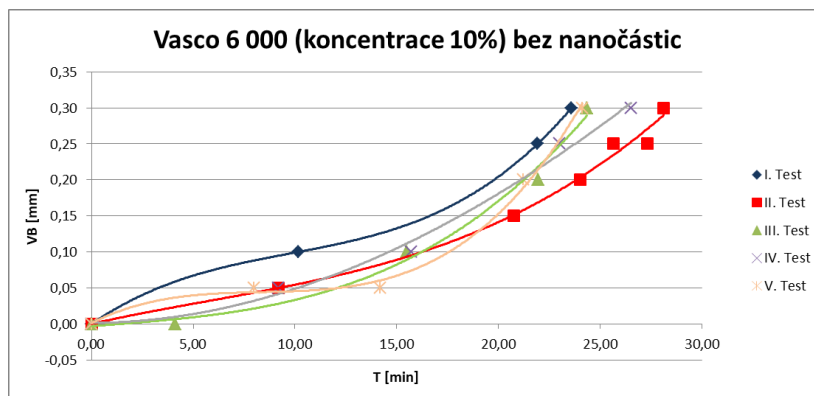
Procesní kapalina : Vasco 6000 (bez nanočástic)      Měření provedl: Bc. Jakub Handa  
 Řezná rychlost:  $vc = 240$  [m/min]      Datum měření: 30.10.2018  
 Obráběný materiál: X2CrNiMo17-12-2  
 Stroj: Chevalier FCL-2140  
 VBD: Pramet TPUN 160304; 8230  
 Kritérium opotřebení:  $vb = 0,3$  [mm]  
 Posuv:  $f = 0,1$  [mm/ot]  
 Hloubka záběru:  $ap = 0,5$  [m/min]

**Kritérium opotřebení**



**Naměřené hodnoty**

I. Test		II. Test		III. Test		IV. Test		V. Test	
VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	10,17	0,05	9,17	0,00	4,10	0,05	9,20	0,05	8,00
0,25	21,91	0,15	20,74	0,10	15,48	0,10	15,70	0,05	14,20
0,30	23,60	0,20	24,02	0,20	21,93	0,25	23,00	0,20	21,20
		0,25	25,65	0,30	24,39	0,30	26,53	0,30	24,10
		0,25	27,29						
		0,30	28,12						



**Výsledek měření**

U procesní kapaliny Vasco 6000 (bez nanočástic) jsem zjistil průměrnou trvanlivost  $25,35 \pm 1,5$  [min].

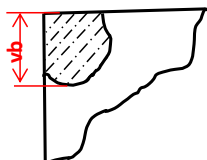


Příloha č. 2 – Měření opotřebení VBD na čase při použití procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub>.

**Vyhodnocení parametrů drsnosti**

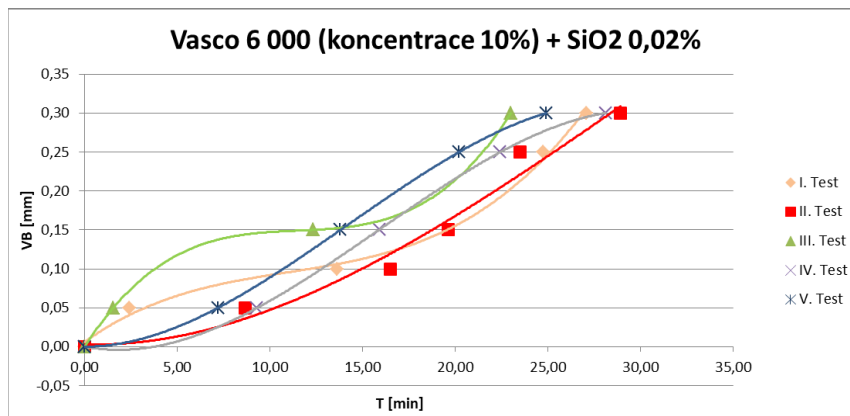
Procesní kapalina : Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub>      Měření provedl: Bc. Jakub Handa  
 Řezná rychlost: vc = 240 [m/min]      Datum měření: 30.10.2018  
 Obráběný materiál: X2CrNiMo17-12-2  
 Stroj: Chevalier FCL-2140  
 VBD: Pramet TPUN 160304; 8230  
 Kritérium opotřebení: vb = 0,3 [mm]  
 Posuv: f = 0,1 [mm/ot]  
 Hloubka záběru: ap = 0,5 [m/min]

**Kritérium opotřebení**



**Naměřené hodnoty**

I. Test		II. Test		III. Test		IV. Test		V. Test	
VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]	VB [mm]	T [min]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,05	2,42	0,05	8,66	0,05	1,55	0,05	9,30	0,05	7,20
0,10	13,62	0,10	16,47	0,15	12,32	0,15	15,90	0,15	13,80
0,25	24,73	0,15	19,60	0,30	23,01	0,25	22,40	0,25	20,20
0,30	27,00	0,25	23,47			0,30	28,05	0,30	24,85
		0,30	28,75						



**Výsledek měření**

U procesní kapaliny Vasco 6000 (bez nanočástic) jsem zjistil průměrnou trvanlivost 26,33±1,9 [min].

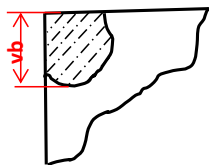


Příloha č. 3 – Měření opotřebení VBD na čase při použití procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub>.

**Vyhodnocení parametrů drsnosti**

<b>Procesní kapalina :</b>	Vasco 6000 + 0,05% SiO <sub>2</sub>	<b>Měření provedl:</b>	Bc. Jakub Handa
<b>Řezná rychlost:</b>	vc = 240 [m/min]	<b>Datum měření:</b>	30.10.2018
<b>Obráběný materiál:</b>	X2CrNiMo17-12-2		
<b>Stroj:</b>	Chevalier FCL-2140		
<b>VBD:</b>	Pramet TPUN 160304; 8230		
<b>Kritérium opotřebení:</b>	vb = 0,3 [mm]		
<b>Posuv:</b>	f = 0,1 [mm/ot]		
<b>Hloubka záběru:</b>	ap = 0,5 [m/min]		

**Kritérium opotřebení**



**Naměřené hodnoty**

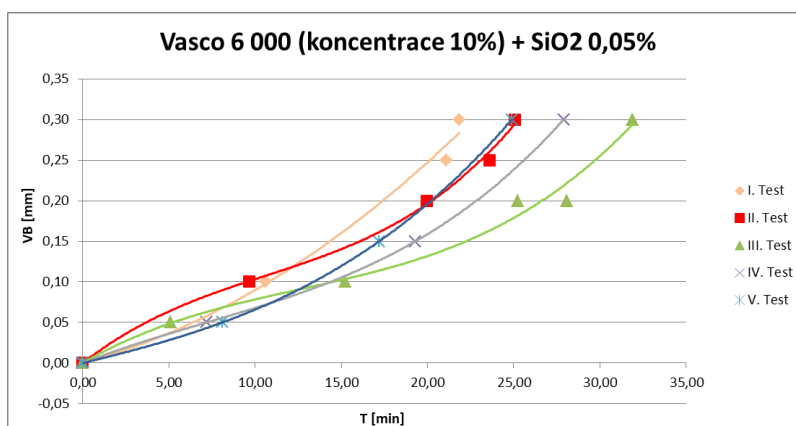
I. Test	
VB [mm]	T [min]
0,00	0,00
0,10	10,61
0,25	21,09
0,30	21,75

II. Test	
VB [mm]	T [min]
0,00	0,00
0,10	9,64
0,20	19,94
0,25	23,59
0,30	25,10

III. Test	
VB [mm]	T [min]
0,00	0,00
0,05	5,11
0,10	15,24
0,20	25,24
0,20	28,08
0,30	31,60

IV. Test	
VB [mm]	T [min]
0,00	0,00
0,05	7,20
0,15	19,30
0,30	27,95

V. Test	
VB [mm]	T [min]
0,00	0,00
0,10	8,10
0,20	17,20
0,30	24,90



**Výsledek měření**

U procesní kapaliny Vasco 6000 (bez nanočástic) jsem zjistil průměrnou trvanlivost 26,26±2,9 [min].



## Příloha č. 4 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 při řezné rychlosti 45 [m/min]

### Vyhodnocení parametrů drsnosti

Procesní kapalina : Vasco 6000 (bez nanočástic)

Měření provedl: Bc. Jakub Handa

Řezná rychlost: 45 [m/min]

Datum měření: 30.10.2018

Obráběný materiál: X2CrNiMo17-12-2

### Místo měření



### Naměřené hodnoty

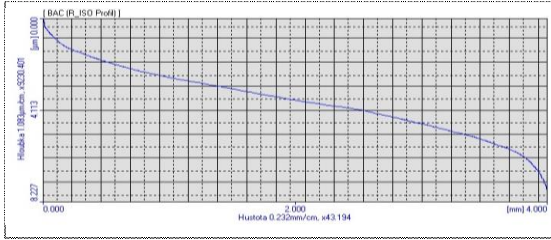
Vasco 6000			
	Ra	Rz	Cp50
1	1,193	6,962	3,8
2	1,294	6,875	3,7
3	1,308	7,359	4,1
4	1,095	6,291	3,6
5	1,28	7,055	4
6	1,204	6,579	3,7
7	1,381	7,104	4,3
8	1,736	9,134	5,8
9	1,803	9,014	4,8
10	1,581	8,415	5,1
11	1,773	8,646	5
12	1,514	7,447	4,7
Prům.	<b>1,43</b>	<b>7,57</b>	<b>4,38</b>
±	0,13	0,53	0,38

### Podmínky měření

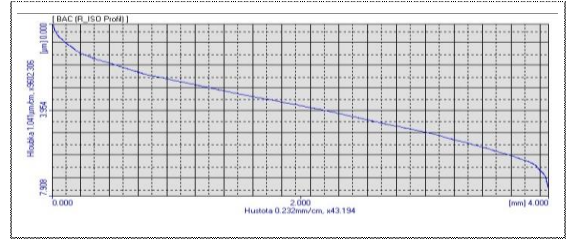
Měření bylo provedeno dotykovou metodou za pomoci dotykového měřícího přístroje Mitutoyo SV-2000. Během měření byly udržovány konstantní měřící podmínky v laboratoři KOM, TUL. Měřená délka byla 4,8 mm.

## Křivky materiálového podílu $C_{tp50}$ z jednotlivých měření

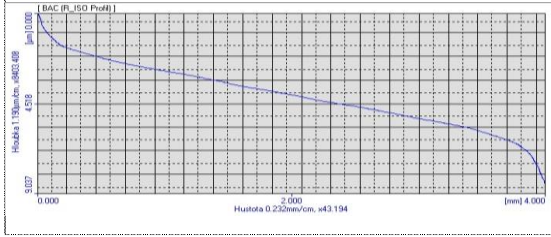
1. Měření



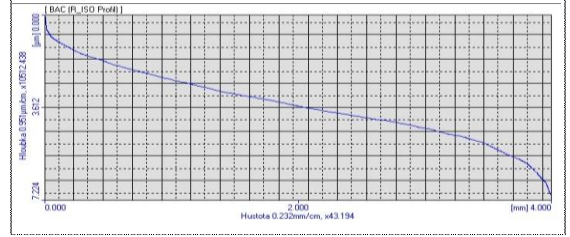
2. Měření



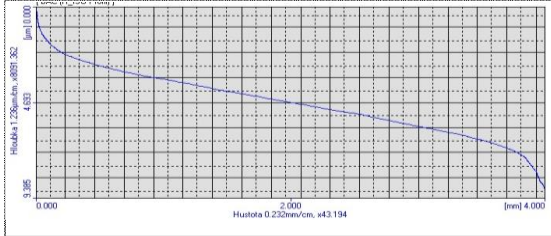
3. Měření



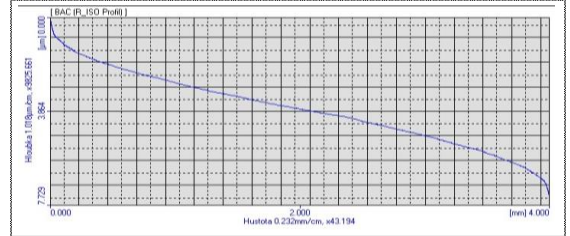
4. Měření



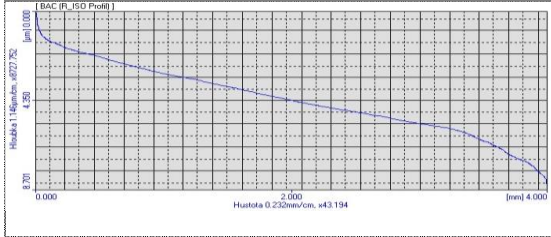
5. Měření



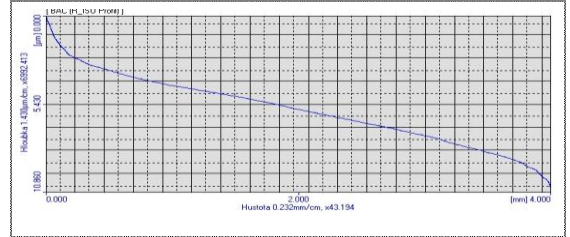
6. Měření



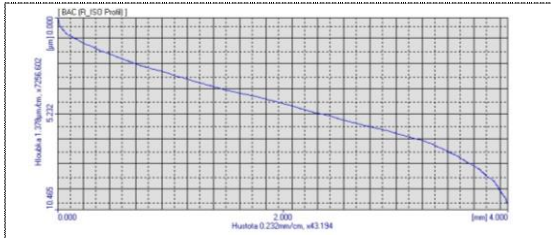
7. Měření



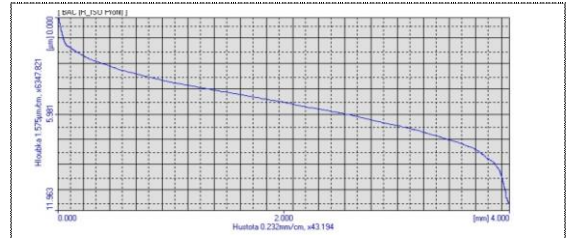
8. Měření



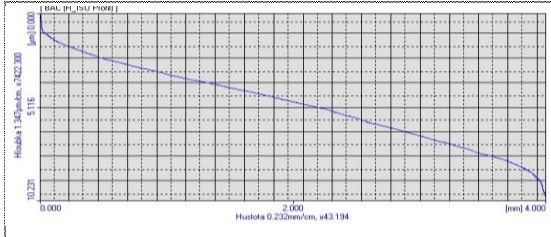
9. Měření



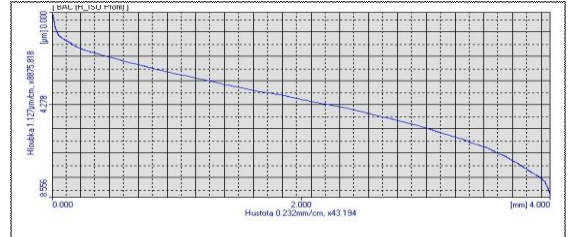
10. Měření



11. Měření



12. Měření



## Příloha č. 5 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 při řezné rychlosti 65 [m/min]

### Vyhodnocení parametrů drsnosti

**Procesní kapalina:** Vasco 6000 (bez nanočástic)

**Měření provedl:** Bc. Jakub Handa

**Řezná rychlost:** 65 [m/min]

**Datum měření:** 30.10.2018

**Obráběný materiál:** X2CrNiMo17-12-2

### Místo měření



### Naměřené hodnoty

Vasco 6000			
	Ra	Rz	Cp50
1	1,698	9,532	7,6
2	1,87	9,48	5,5
3	1,893	9,426	6,6
4	1,692	9,891	5,6
5	1,789	9,302	4,5
6	1,676	9,03	4,9
7	1,3	7,125	4,1
8	1,352	7,544	5
9	1,253	6,87	4
10	1,319	6,949	5
11	1,642	8,754	4,9
12	1,493	8,021	4,1
Prům.	<b>1,58</b>	<b>8,49</b>	<b>5,15</b>
±	0,12	0,61	0,58

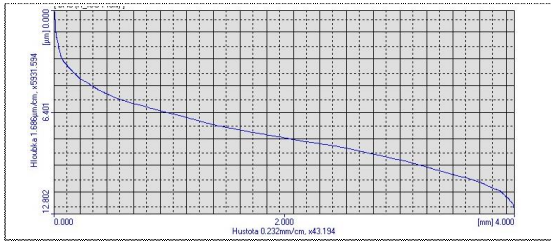
### Podmínky měření

Měření bylo provedeno dotykovou metodou za pomoci dotykového měřicího přístroje Mitutoyo SV-2000. Během měření byly udržovány konstantní měřicí podmínky v laboratoři KOM, TUL. Měřená délka byla 4,8 mm.

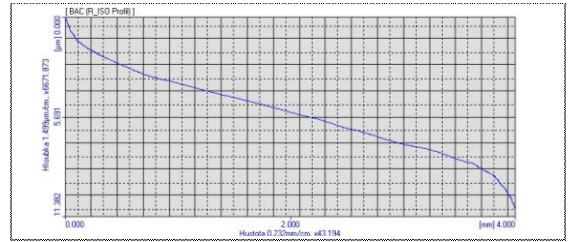


## Křivky materiálového podílu $C_{tp50}$ z jednotlivých měření

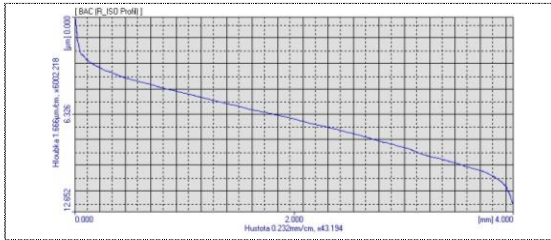
1. Měření



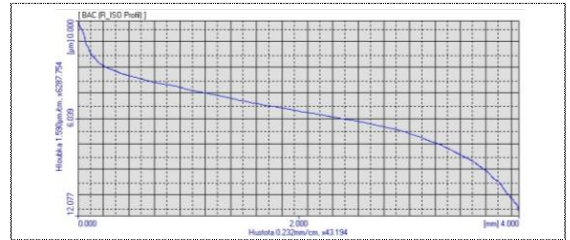
2. Měření



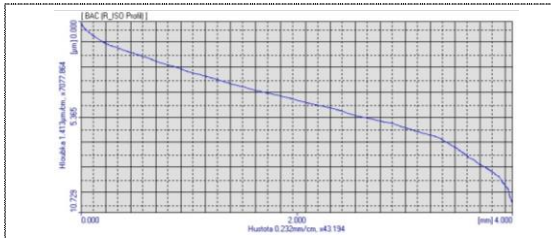
3. Měření



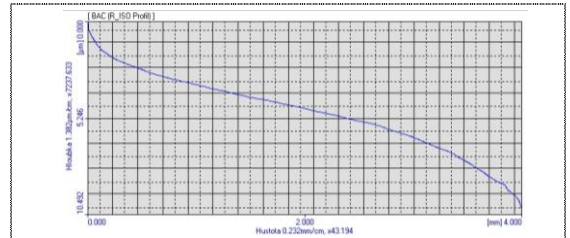
4. Měření



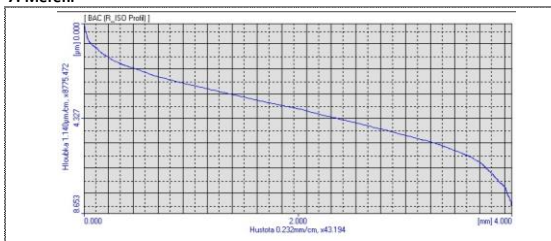
5. Měření



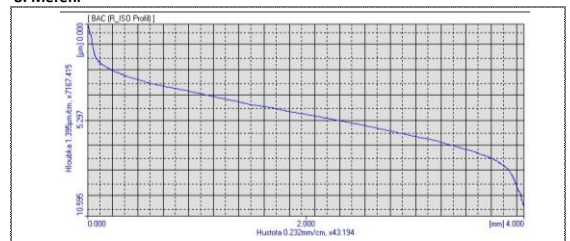
6. Měření



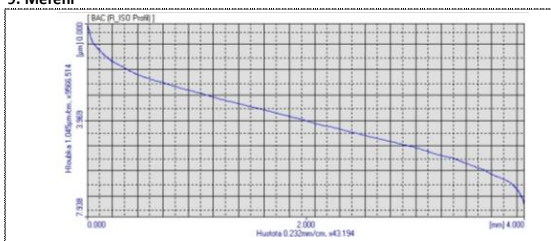
7. Měření



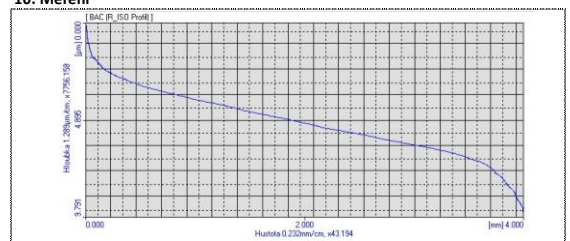
8. Měření



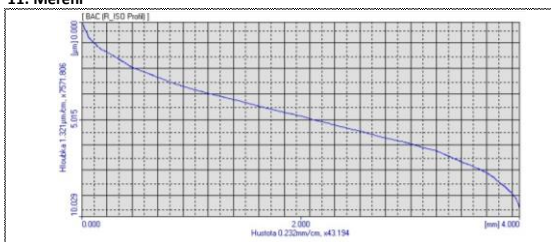
9. Měření



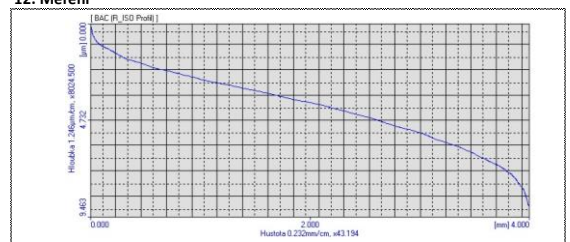
10. Měření



11. Měření



12. Měření





## Příloha č. 6 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 při řezné rychlosti 105 [m/min]

### Vyhodnocení parametrů drsnosti

**Procesní kapalina:** Vasco 6000 (bez nanočástic)

**Měření provedl:** Bc. Jakub Handa

**Řezná rychlost:** 102 [m/min]

**Datum měření:** 30.10.2018

**Obráběný materiál:** X2CrNiMo17-12-2

### Místo měření



### Naměřené hodnoty

Vasco 6000			
	Ra	Rz	Cp50
1	1,615	8,558	5
2	1,693	8,895	5,4
3	1,818	9,552	5,8
4	1,612	8,473	4,8
5	1,568	7,94	5,3
6	1,51	8,252	5,4
7	1,378	7,495	4,4
8	1,556	8,636	5,7
9	1,355	7,478	5
10	1,46	8,299	5,6
11	1,483	8,185	5,4
12	1,565	8,283	5,2

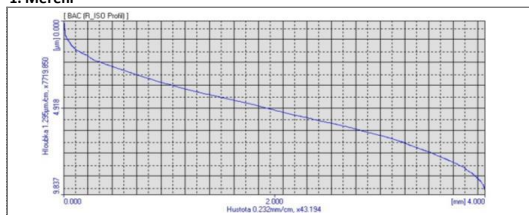
Prům.	<b>1,55</b>	<b>8,34</b>	<b>5,25</b>
±	0,07	0,31	0,22

### Podmínky měření

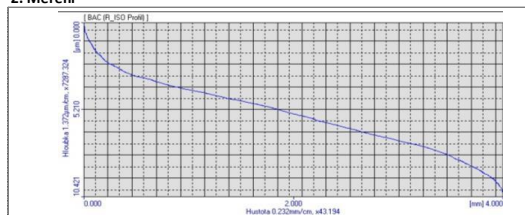
Měření bylo provedeno dotykovou metodou za pomoci dotykového měřicího přístroje Mitutoyo SV-2000. Během měření byly udržovány konstantní měřicí podmínky v laboratoři KOM, TUL. Měřená délka byla 4,8 mm.

## Křivky materiálového podílu $C_{tp50}$ z jednotlivých měření

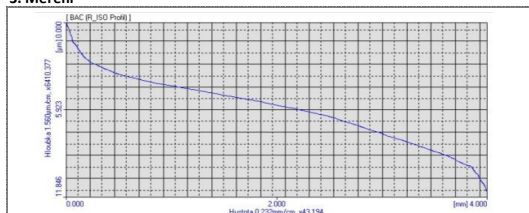
1. Měření



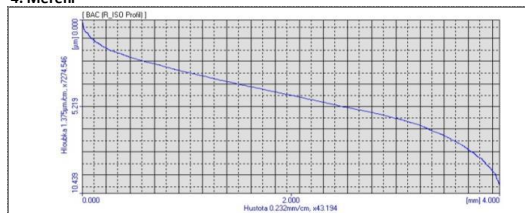
2. Měření



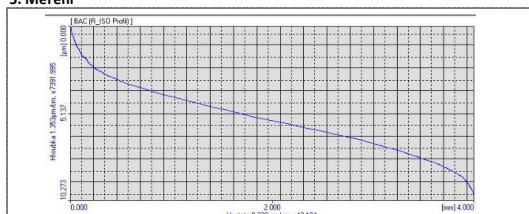
3. Měření



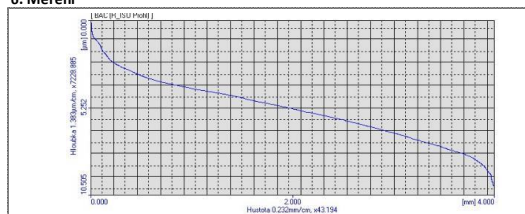
4. Měření



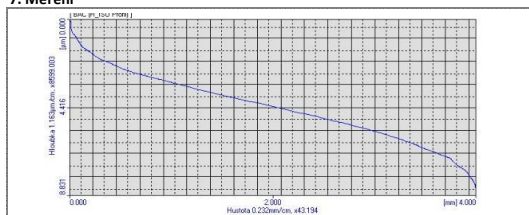
5. Měření



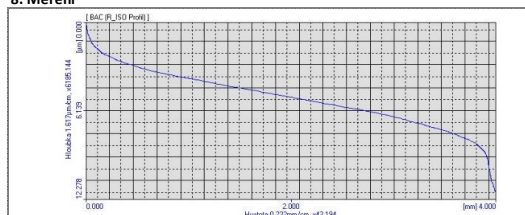
6. Měření



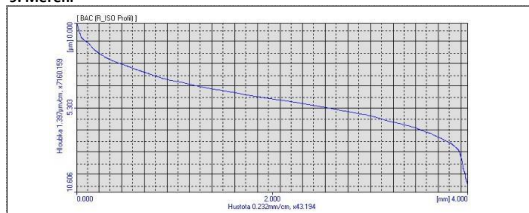
7. Měření



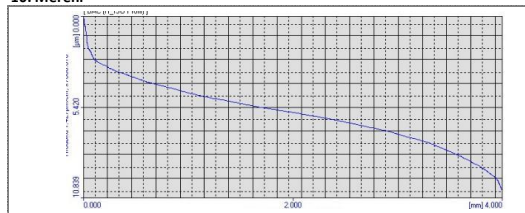
8. Měření



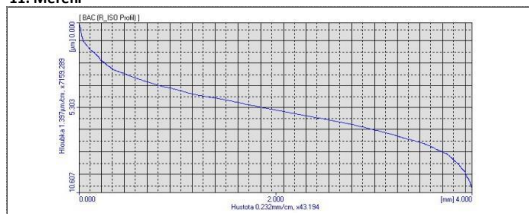
9. Měření



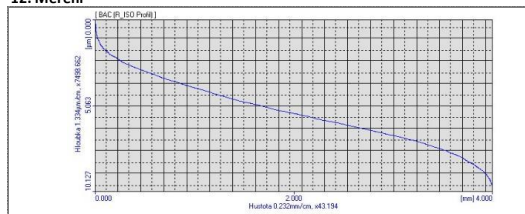
10. Měření



11. Měření



12. Měření



Příloha č. 7 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 45 [m/min]

**Vyhodnocení parametrů drsnosti**

**Procesní kapalina:** Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub>

**Měření provedl:** Bc. Jakub Handa

**Řezná rychlost:** 45 [m/min]

**Datum měření:** 30.10.2018

**Obráběný materiál:** X2CrNiMo17-12-2

**Místo měření**



**Naměřené hodnoty**

<b>Vasco 6000 + 0,02 SiO<sub>2</sub></b>			
	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Cp50</b>
1	1,195	7,063	5,1
2	1,148	6,813	4,3
3	1,226	7,143	5,9
4	1,383	7,836	4,8
5	1,451	8,175	4,9
6	1,403	7,851	4,4
7	1,023	6,159	3,9
8	0,861	5,014	2,3
9	0,906	5,676	2,9
10	1,114	6,455	3,8
11	1,211	6,756	4,3
12	1,155	6,855	4,1
<b>Prům.</b>	<b>1,17</b>	<b>6,82</b>	<b>4,23</b>
<b>±</b>	<b>0,10</b>	<b>0,50</b>	<b>0,52</b>

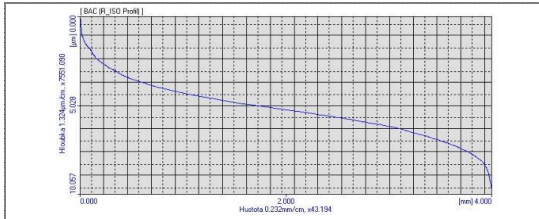
**Podmínky měření**

Měření bylo provedeno dotykovou metodou za pomoci dotykového měřícího přístroje Mitutoyo SV-2000. Během měření byly udržovány konstantní měřicí podmínky v laboratoři KOM, TUL. Měřená délka byla 4,8 mm.

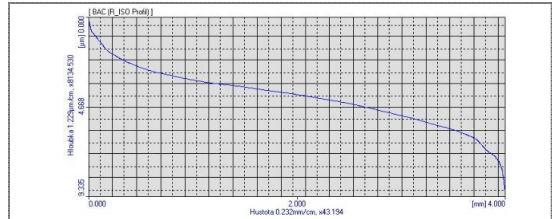


## Křivky materiálového podílu $C_{tp50}$ z jednotlivých měření

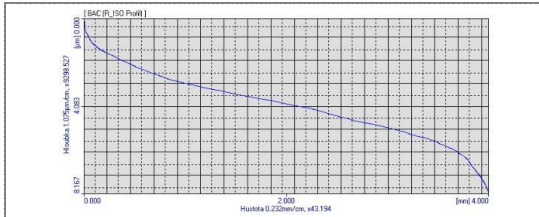
1. Měření



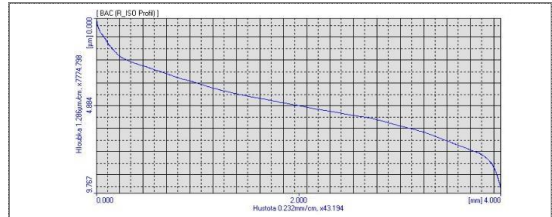
2. Měření



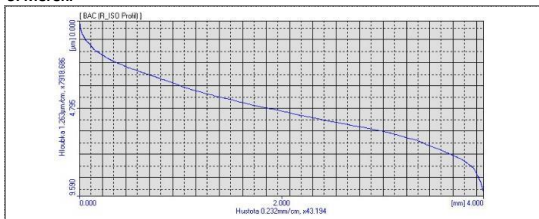
3. Měření



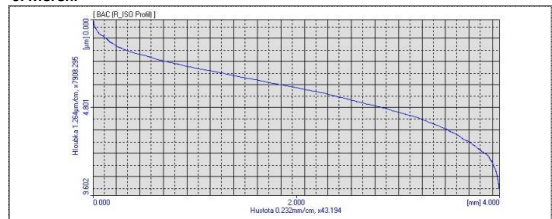
4. Měření



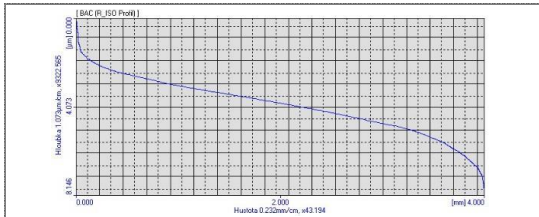
5. Měření



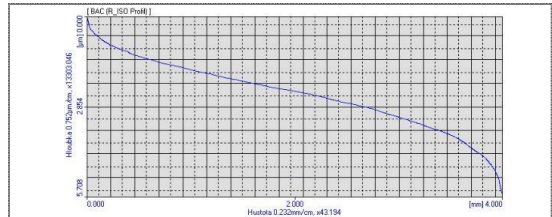
6. Měření



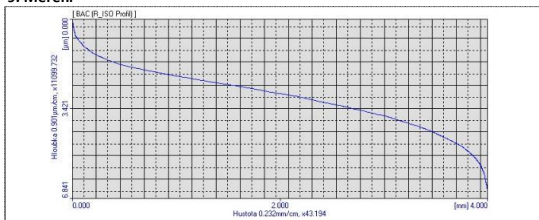
7. Měření



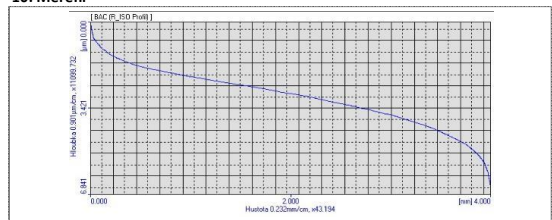
8. Měření



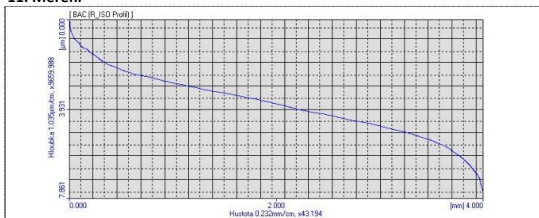
9. Měření



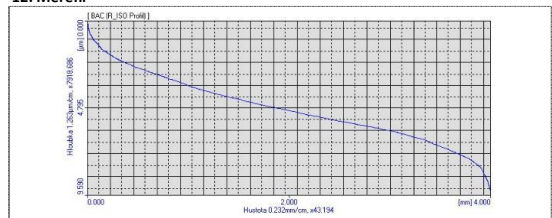
10. Měření



11. Měření



12. Měření



Příloha č. 8 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 65 [m/min]

**Vyhodnocení parametrů drsnosti**

Procesní kapalina : Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub>

Měření provedl: Bc. Jakub Handa

Řezná rychlost: 65 [m/min]

Datum měření: 30.10.2018

Obráběný materiál: X2CrNiMo17-12-2

**Místo měření**



**Naměřené hodnoty**

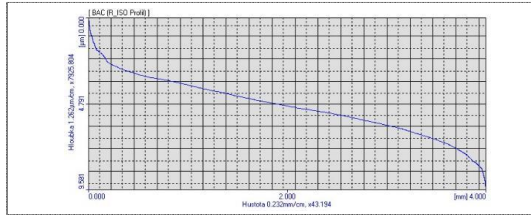
Vasco 6000 + 0,02 SiO <sub>2</sub>			
	Ra	Rz	Cp50
1	1,276	7,321	4,8
2	1,419	7,89	4
3	1,446	8,293	5
4	1,377	8,145	5,2
5	1,254	7,816	4,2
6	1,348	8,282	5,1
7	1,223	7,055	4,2
8	1,405	8,095	4,5
9	1,171	7,054	4,3
10	1,5	8,928	5,6
11	1,422	8,181	5,6
12	1,304	7,791	4,4
Prům.	<b>1,35</b>	<b>7,90</b>	<b>4,74</b>
±	0,05	0,30	0,30

**Podmínky měření**

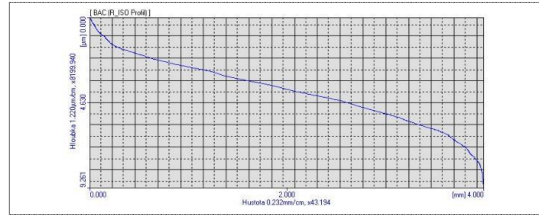
Měření bylo provedeno dotykovou metodou za pomoci dotykového měřícího přístroje Mitutoyo SV-2000. Během měření byly udržovány konstantní měřící podmínky v laboratoři KOM, TUL. Měřená délka byla 4,8 mm.

## Křivky materiálového podílu $C_{tp50}$ z jednotlivých měření

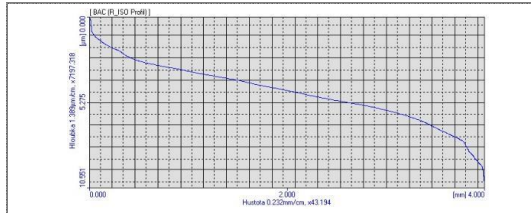
1. Měření



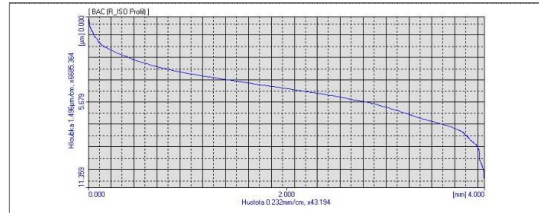
2. Měření



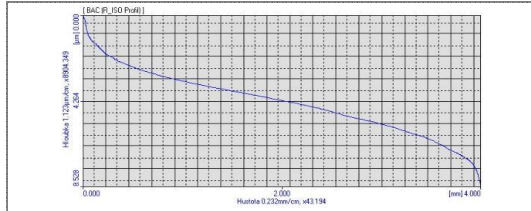
3. Měření



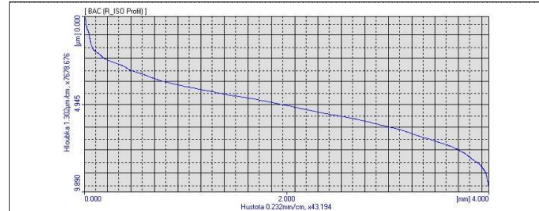
4. Měření



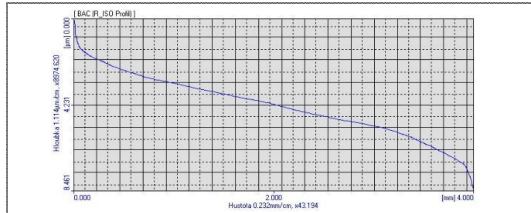
5. Měření



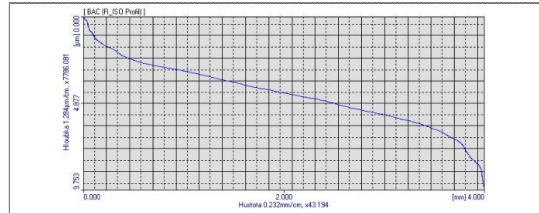
6. Měření



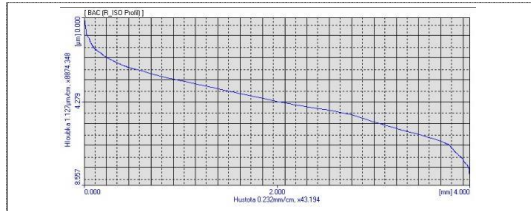
7. Měření



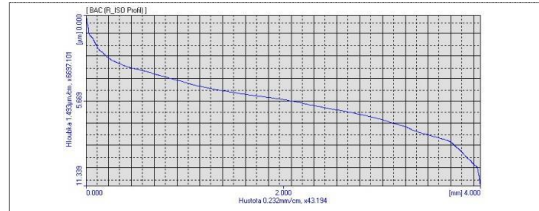
8. Měření



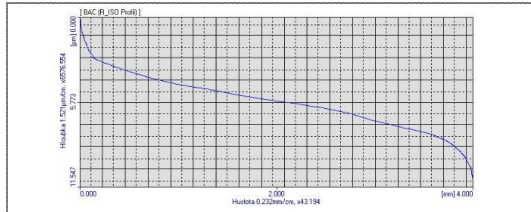
9. Měření



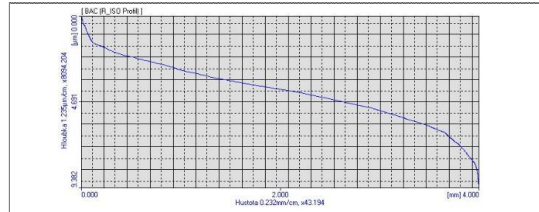
10. Měření



11. Měření



12. Měření



Příloha č. 9 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 102 [m/min]

**Vyhodnocení parametrů drsnosti**

**Procesní kapalina:** Vasco 6000 + 0,02% SiO<sub>2</sub>

**Měření provedl:** Bc. Jakub Handa

**Řezná rychlost:** 102 [m/min]

**Datum měření:** 30.10.2018

**Obráběný materiál:** X2CrNiMo17-12-2

**Místo měření**



**Naměřené hodnoty**

<b>Vasco 6000 + 0,02 SiO<sub>2</sub></b>			
	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Cp50</b>
1	1,089	5,94	3,8
2	1,062	6,274	3,8
3	1,049	5,457	3,3
4	1,165	6,124	3,4
5	1,133	6,16	3,7
6	1,189	6,693	4,2
7	1,177	6,48	4,1
8	1,244	6,479	4,1
9	1,209	6,093	4
10	1,315	6,908	4,5
11	1,248	7,024	4,1
12	1,182	6,384	3,9
<b>Prům.</b>	<b>1,17</b>	<b>6,33</b>	<b>3,91</b>
<b>±</b>	<b>0,04</b>	<b>0,23</b>	<b>0,18</b>

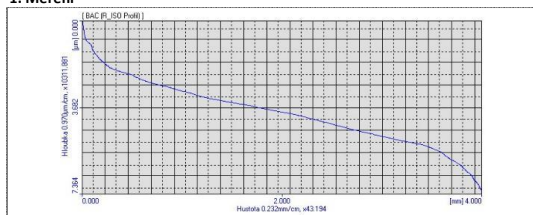
**Podmínky měření**

Měření bylo provedeno dotykovou metodou za pomoci dotykového měřícího přístroje Mitutoyo SV-2000. Během měření byly udržovány konstantní měřící podmínky v laboratoři KOM, TUL. Měřená délka byla 4,8 mm.

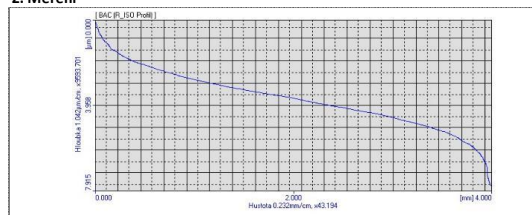


## Křivky materiálového podílu $C_{tp50}$ z jednotlivých měření

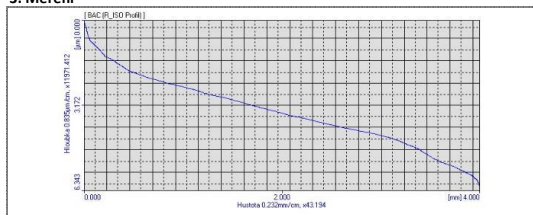
1. Měření



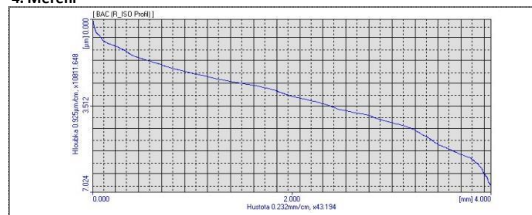
2. Měření



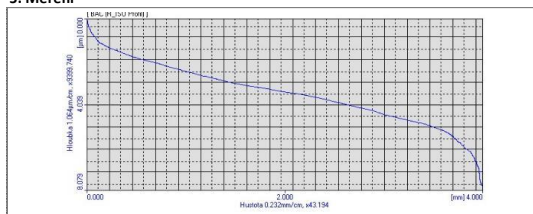
3. Měření



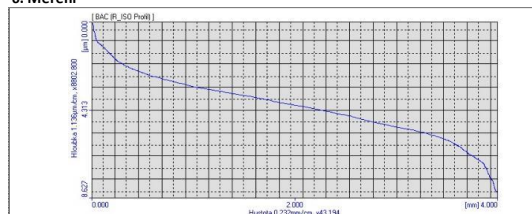
4. Měření



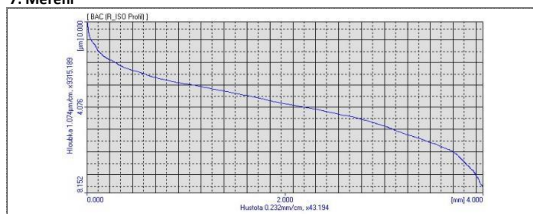
5. Měření



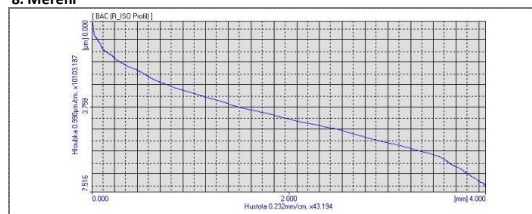
6. Měření



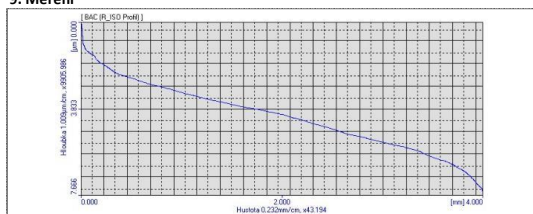
7. Měření



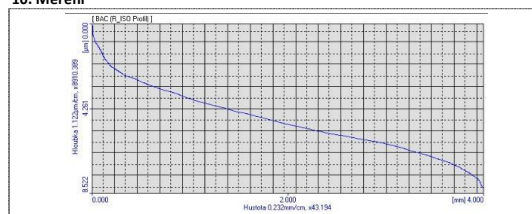
8. Měření



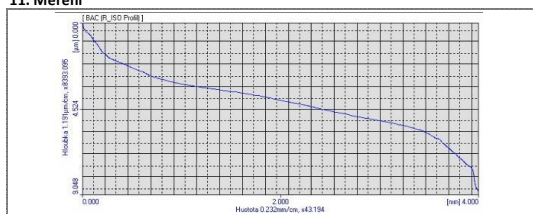
9. Měření



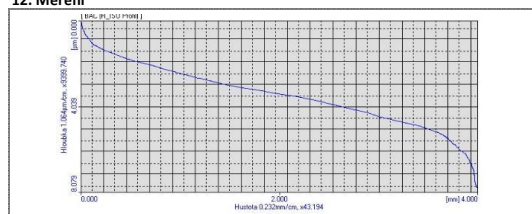
10. Měření



11. Měření



12. Měření





Příloha č. 10 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 45 [m/min]

**Vyhodnocení parametrů drsnosti**

**Procesní kapalina:** Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub>

**Měření provedl:** Bc. Jakub Handa

**Řezná rychlost:** 45 [m/min]

**Datum měření:** 30.10.2018

**Obráběný materiál:** X2CrNiMo17-12-2

**Místo měření**



**Naměřené hodnoty**

<b>Vasco 6000 + 0,05 SiO<sub>2</sub></b>			
	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Cp50</b>
1	0,997	5,076	2,7
2	0,839	4,8	2,9
3	0,939	5,195	3,5
4	0,938	5,322	4,5
5	1,047	5,84	3,6
6	1,277	6,775	3,9
7	0,983	5,071	3
8	0,956	5,199	3,3
9	1,056	5,863	4,3
10	0,966	5,256	3,4
11	0,923	5,138	3,1
12	0,936	5,45	3,2
<b>Prům.</b>	<b>0,99</b>	<b>5,42</b>	<b>3,45</b>
<b>±</b>	<b>0,06</b>	<b>0,29</b>	<b>0,30</b>

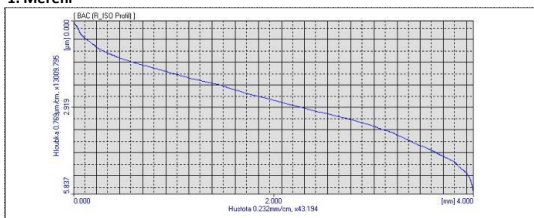
**Podmínky měření**

Měření bylo provedeno dotykovou metodou za pomoci dotykového měřicího přístroje Mitutoyo SV-2000. Během měření byly udržovány konstantní měřicí podmínky v laboratoři KOM, TUL. Měřená délka byla 4,8 mm.

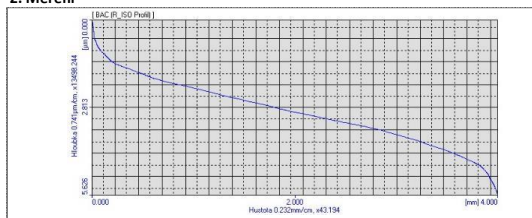


## Křivky materiálového podílu $C_{tp50}$ z jednotlivých měření

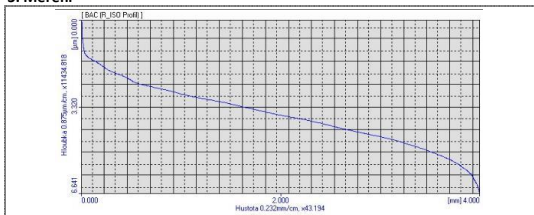
1. Měření



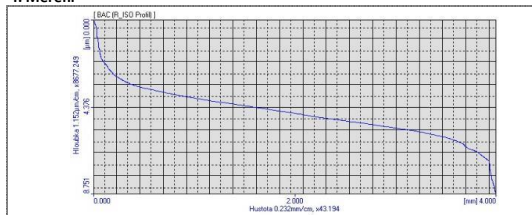
2. Měření



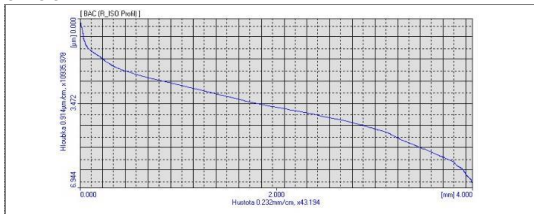
3. Měření



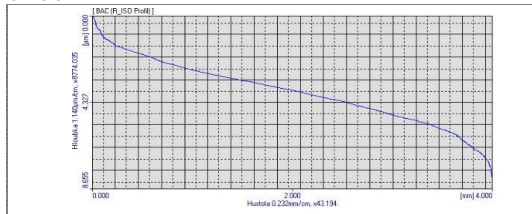
4. Měření



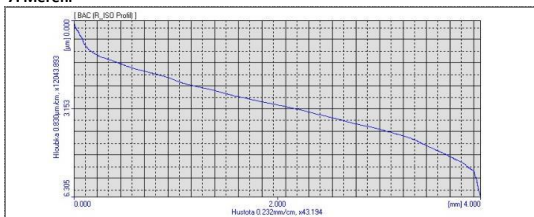
5. Měření



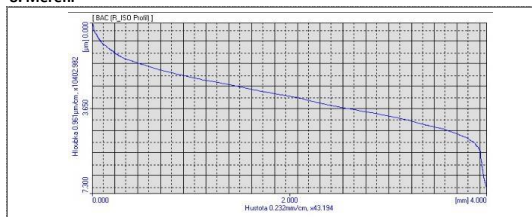
6. Měření



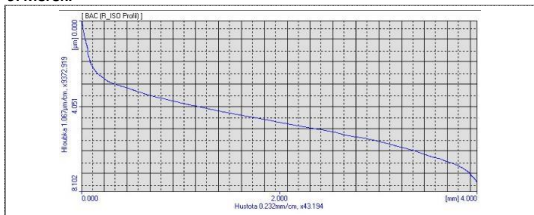
7. Měření



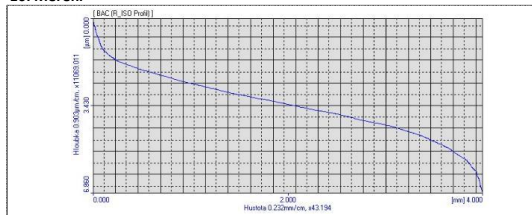
8. Měření



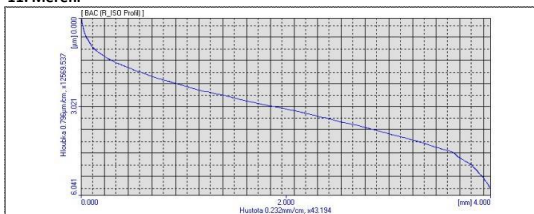
9. Měření



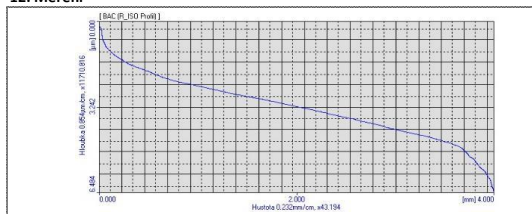
10. Měření



11. Měření



12. Měření



Příloha č. 11 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 65 [m/min]

**Vyhodnocení parametrů drsnosti**

Procesní kapalina : Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub>

Měření provedl: Bc. Jakub Handa

Řezná rychlost: 65 [m/min]

Datum měření: 30.10.2018

Obráběný materiál: X2CrNiMo17-12-2

**Místo měření**



**Naměřené hodnoty**

Vasco 6000 + 0,05 SiO <sub>2</sub>			
	Ra	Rz	Cp50
1	1,063	5,778	3,9
2	1,052	5,421	3,5
3	1,083	5,927	4,2
4	0,907	5,042	2,6
5	1,045	5,8	3,6
6	0,892	5,1	3,1
7	0,821	4,671	2,8
8	0,851	4,985	3
9	0,944	5,252	3,3
10	1,058	5,909	3,8
11	1,087	6,157	4
12	0,95	5,51	3,5
Prům.	<b>0,98</b>	<b>5,46</b>	<b>3,44</b>
±	0,05	0,25	0,27

**Podmínky měření**

Měření bylo provedeno dotykovou metodou za pomoci dotykového měřícího přístroje Mitutoyo SV-2000. Během měření byly udržovány konstantní měřící podmínky v laboratoři KOM, TUL. Měřená délka byla 4,8 mm.





Příloha č. 12 – Měření parametru drsnosti procesní kapaliny Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub> při řezné rychlosti 102 [m/min]

**Vyhodnocení parametrů drsnosti**

**Procesní kapalina:** Vasco 6000 + 0,05% SiO<sub>2</sub>

**Měření provedl:** Bc. Jakub Handa

**Řezná rychlost:** 102 [m/min]

**Datum měření:** 30.10.2018

**Obráběný materiál:** X2CrNiMo17-12-2

**Místo měření**



**Naměřené hodnoty**

<b>Vasco 6000 + 0,05 SiO<sub>2</sub></b>			
	<b>Ra</b>	<b>Rz</b>	<b>Cp50</b>
1	1,163	5,566	3,9
2	1,061	5,755	3,6
3	0,963	5,33	3,3
4	0,85	4,553	2,9
5	0,946	5,522	3,2
6	1,11	5,827	3,8
7	0,945	5,187	3,3
8	1,004	5,439	3,4
9	1,082	5,71	6,3
10	1,02	5,23	2,9
11	0,964	5,352	3,2
12	1,133	6,199	4,5
<b>Prům.</b>	<b>1,02</b>	<b>5,47</b>	<b>3,69</b>
<b>±</b>	<b>0,05</b>	<b>0,22</b>	<b>0,51</b>

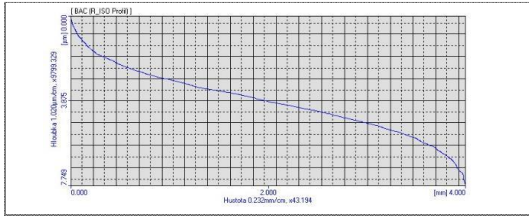
**Podmínky měření**

Měření bylo provedeno dotykovou metodou za pomoci dotykového měřícího přístroje Mitutoyo SV-2000. Během měření byly udržovány konstantní měřící podmínky v laboratoři KOM, TUL. Měřená délka byla 4,8 mm.

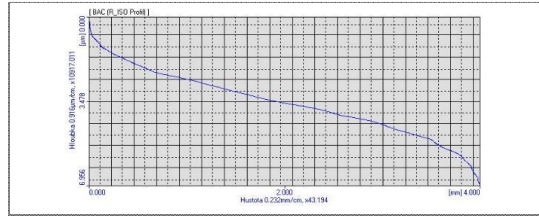


## Křivky materiálového podílu $C_{tp50}$ z jednotlivých měření

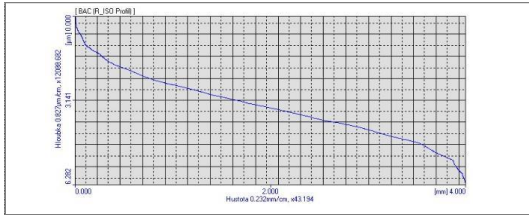
1. Měření



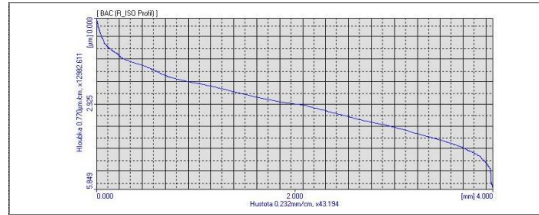
2. Měření



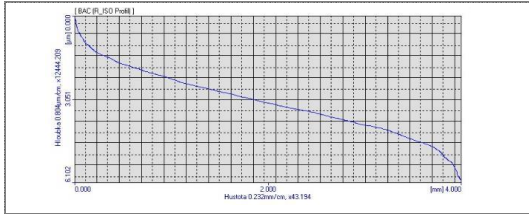
3. Měření



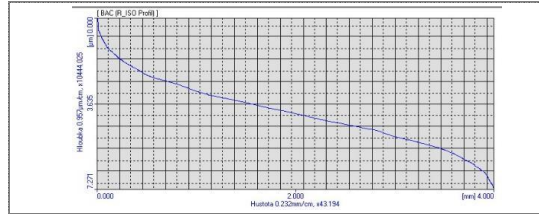
4. Měření



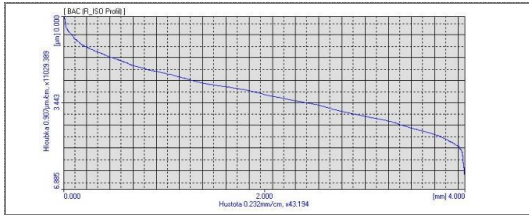
5. Měření



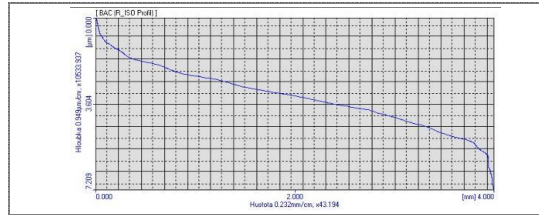
6. Měření



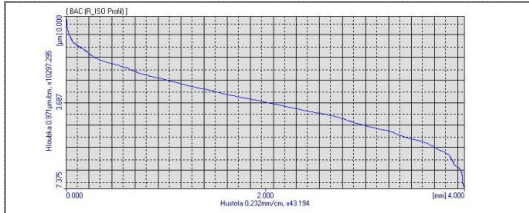
7. Měření



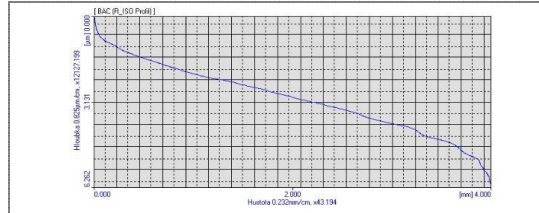
8. Měření



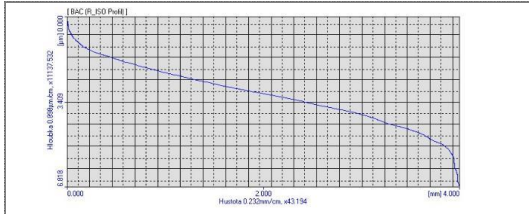
9. Měření



10. Měření



11. Měření



12. Měření

