



TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC  
Faculty of Mechanical Engineering ■

# DETERMINING THE EFFECT OF CUTTING PARAMETERS ON THE QUALITY OF THE MACHINED SURFACE DURING DRILLING

## Diploma thesis

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



## 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 tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:



Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1273**

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Paliculin**

Vedoucí práce: prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.  
Konzultant: Ing. Miroslav Ledvina

Počet stran: 89  
Počet příloh: 5  
Počet tabulek: 9  
Počet obrázků: 46  
Počet diagramů: 0

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	:	<b>Bc. Jan P A L I C U L I N</b>
Studijní program	:	N2301 Strojní inženýrství
Obor	:	2303T002- Strojírenská technologie
Zaměření	:	Obrábění a montáž

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

### **Zjišťování vlivu řezných podmínek na jakost obrobeného povrchu při vrtání**

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle diplomové práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Shrnutí poznatků a klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin.
2. Shrnutí poznatků o vlivu řezných podmínek na jakost obrobeného povrchu.
3. Rešerše literárních poznatků o kvalitě povrchu po obrábění, definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu.
4. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu řezných podmínek na jakost obrobeného povrchu při vrtání.
5. Realizace experimentů v laboratořích KOM FS TUL.
6. Hodnocení vlivu řezných podmínek na jakost obrobeného povrchu při vrtání.
7. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.



Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: cca 50 - 60 stran textu
- grafické práce: obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu) :

1. 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.
2. MADL, 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.
3. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
4. HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. Terminologie obrábění a montáže. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80- 7044-616-1.
5. *ČSN EN ISO 4287. Geometrické požadavky na výrobky (GPS) - Struktura povrchu: Profilová metoda - Termíny, definice a parametry struktury povrchu. 1999. Praha: Český normalizační institut.*

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

Konzultant diplomové práce: Ing. Miroslav Ledvina

L.S.

doc. Ing. Jan Jersák, CSc.  
vedoucí katedry

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld.  
děkan

V Liberci, dne 04. 02. 2015

## **Zjišťování vlivu řezných podmínek na jakost obrobeného povrchu při vrtání**

### *ANOTACE:*

V diplomové práci jsou hodnoceny vlivy řezných podmínek na jakost obrobeného povrchu při vrtání hliníku. V rámci řešení byla určena metodika analýzy vlivu posuvu, řezné rychlosti a procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu a tvorbu třísky při vrtání. V laboratořích katedry obrábění a montáže TUL bylo odzkoušeno 5 různých řezných podmínek a 11 procesních kapalin od světových výrobců.

Úkolem této práce bylo určení závislosti řezných podmínek a vliv procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu a tvorbu třísky při vrtání hliníku. V práci jsou dále sjednoceny dostupné informace procesních kapalinách, vlivu řezných podmínek na jakost povrchu a drsnosti povrchu.

**Klíčová slova:** vrtání, řezné podmínky, posuv, řezná rychlost, drsnost povrchu, jakost povrchu, tvorba třísky, procesní kapalina.

## **Determining the effect of cutting parameters on the quality of the machined surface during drilling**

### *ANNOTATION:*

This diploma thesis evaluated the effects of cutting parameters on the quality of the machined surface during drilling aluminum. Research methodology of effect of feed rate, cutting speed and cutting fluids on the quality of the machined surface and chip formation during drilling was specified as a part of this thesis. 5 different cutting parameters and 11 processing fluids from different manufacturers has been tested in the laboratories of the Department of machining and assembly of TUL.

The objective of this study was to determine the dependence of cutting parameters and the influence of process fluids on the quality of the machined surface and the formation of chips when drilling aluminum. This thesis also unifies available information about process fluids, the influence of cutting conditions on surface quality and surface roughness.

**Keywords:** drilling, cutting conditions, feed rate, cutting speed, surface roughness, surface finish, chip formation, cutting fluid

Zpracovatel: TU, FS v Liberci, KOM

Dokončeno: 2015

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 89

Počet obrázků: 46

Počet tabulek: 9

Počet grafů: 26

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych zde vyjádřil poděkování panu Prof. Ing. Alexeyovi Popovovi, DrSc za odborné vedení práce, podnětné rady a připomínky pro vypracování diplomové práce.

Dále děkuji konzultantovi diplomové práce panu Ing. Miloslavu Ledvinovi za poskytnutou pomoc a asistenci při měření a zpracování diplomové práce.

Velmi rád bych zde také poděkoval své rodině a blízkým, kteří mě při mém studijním úsilí pomáhali a podporovali.



<b>Obsah</b>	
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>11</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>12</b>
<b>1. SHRUTÍ POZNATKŮ A KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN... 13</b>	
1.1 Shrnutí základních poznatků o procesních kapalinách .....	13
1.2 Klasifikace procesních kapalin pro obrábění .....	14
1.2.1 Vodní roztoky.....	14
1.2.2 Emulzní kapaliny .....	15
1.2.3 Minerální oleje .....	15
1.2.4 Mastné oleje .....	15
1.2.5 Zušlechtné řezné oleje .....	16
1.2.6 Syntetické a polosyntetické kapaliny .....	17
1.3 Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin .....	18
1.3.1 Chladicí účinek.....	18
1.3.2 Mazací účinek .....	19
1.3.3 Čistící účinek.....	20
1.3.4 Ochranný účinek .....	20
1.3.5 Provozní stálost .....	21
1.3.6 Zdravotní nezávadnost .....	21
1.3.7 Přiměřené provozní náklady .....	21
1.4 Přívod procesní kapaliny do místa řezu .....	22
1.4.1 Standardní chlazení .....	22
1.4.2 Tlakové chlazení .....	22
1.4.3 Vnitřní chlazení.....	23
1.4.4 Podchlazování procesních kapalin .....	25
1.4.5 Chlazení procesní mlhou (MQL) .....	25
1.4.6 Plynné řezné prostředí.....	26
<b>2. SHRUTÍ POZNATKŮ O Vlivu ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU.....</b>	<b>27</b>
2.1 Vliv geometrie nástroje na jakost obrobené plochy .....	27
2.1.1 Obrábění nástroji s velkým poloměrem zaoblení špičky .....	29
2.2 Vliv hloubky řezu na jakost obrobené plochy.....	30
2.3 Vliv posuvu na jakost obrobené plochy .....	31
2.4 Vliv řezné rychlosti na jakost obrobené plochy .....	32
2.5 Vliv opotřebení nástroje na kvalitu obrobené plochy .....	34

<b>3. REŠERŠE LITERÁRNÍCH POZNATKŮ O KVALITĚ POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ, DEFINICE POJMU DRSNOST POVRCHU, METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU.....</b>	<b>36</b>
3.1 Rešerše literárních poznatků o kvalitě povrchu po obrábění .....	36
3.1.1 Integrita povrchu .....	37
3.2 Definice pojmu drsnost povrchu .....	38
3.3 Metody měření drsnosti povrchu .....	39
3.3.1 Metoda kvantitativní .....	39
3.3.2 Metoda kvalitativní .....	40
<b>4. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTŮ PRO ZKOUMÁNÍ Vlivu ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ. 44</b>	<b>44</b>
4.1 Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení .....	44
4.2 Charakteristika obráběného materiálu.....	48
4.3 Procesní kapaliny .....	48
4.4 Řezné podmínky .....	49
<b>5. REALIZACE EXPERIMENTŮ V LABORATOŘÍCH KOM FS TUL .....</b>	<b>50</b>
5.1 Příprava měření.....	50
5.1.1 Příprava frézky FNG 35 .....	50
5.1.2 Příprava obráběného materiálu.....	51
5.1.3 Příprava procesních kapalin .....	51
5.2 Realizace vrtání.....	52
5.4 Vyhodnocení tvaru třísek.....	54
<b>6. HODNOCENÍ Vlivu ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ. ....</b>	<b>56</b>
6.1 Vyhodnocení vlivu posuvu na jakost obrobené plochy z hlediska parametru drsnosti Ra a Rz při konstantní řezné rychlosti. ....	56
6.2 Vyhodnocení vlivu řezné rychlosti na jakost obrobené plochy z hlediska parametru drsnosti Ra a Rz při konstantním posuvu na otáčku. ....	61
6.3 Vyhodnocení vlivu řezných podmínek na tvorbu třísky .....	66
<b>7. SHRnutí A ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ.....</b>	<b>68</b>
<b>Seznam použité literatury: .....</b>	<b>70</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>73</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

KOM	[-]	Katedra obrábění a montáže
TUL	[-]	Technická univerzita v Liberci
ČSN	[-]	Česká technická norma (česká soustava norem)
EN	[-]	Evropská norma
ISO	[-]	Světová norma
Ra	[ $\mu\text{m}$ ]	Střední aritmetická úchylka profilu
Rz	[ $\mu\text{m}$ ]	Výška nerovnosti profilu určená z 5 (10) bodů
Rz DIN	[ $\mu\text{m}$ ]	Aritmetický průměr pěti největších výšek nerovností
CNC	[-]	Počítačem číslicově řízený (Computer Numeric Control)
pH	[-]	Záporný logaritmus koncentrace vodíkových iontů
CO <sub>2</sub>	[-]	Chemická zkratka pro oxid uhličitý
MQL	[-]	Chlazení řeznou mlhou (Minimal Quantity Lubrication)
HSS	[-]	Rychlořezná ocel (High Speed Steel)
$v_c$	[m/min]	Řezná rychlost
s	[mm/ot]	Posuv na otáčku
f	[mm/min]	Minutový posuv
$a_p$	[mm]	Hloubka záběru
$\varepsilon$	[°]	Vrcholový úhel vrtáku
$\lambda$	[°]	Úhel sklonu šroubovice

## ÚVOD

S rozvíjejícím se materiálovým portfoliem v oblasti řezných nástrojů rostou i možnosti zvyšování řezných podmínek, na které se mimo jiné tato práce zaměřuje. Do skupiny řezných podmínek patří i procesní kapaliny, které umožňují další zvyšování produktivity obráběcích strojů. Procesní kapaliny zvyšují trvanlivost nástroje, redukují deformaci při tvoření třísky, řezné síly, spotřebu energie, deformace obrobku v důsledku tepelných změn, apod. Rostoucí řezné podmínky však zasahují i do problematiky integrity povrchu, kdy musí být zaručena rozměrová a tvarová přesnost s požadovanou jakostí povrchu.

Tato práce má za úkol stanovit metodiku měření a analýzy vlivu řezné rychlosti, posuvu a procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu a tvorbu třísky při vrtání hliníku. Dále shrnuje dostupné informace o procesních kapalinách, jakosti obrobeného povrchu, drsnosti a integritě povrchu a vlivu řezných podmínek na jakost povrchu.

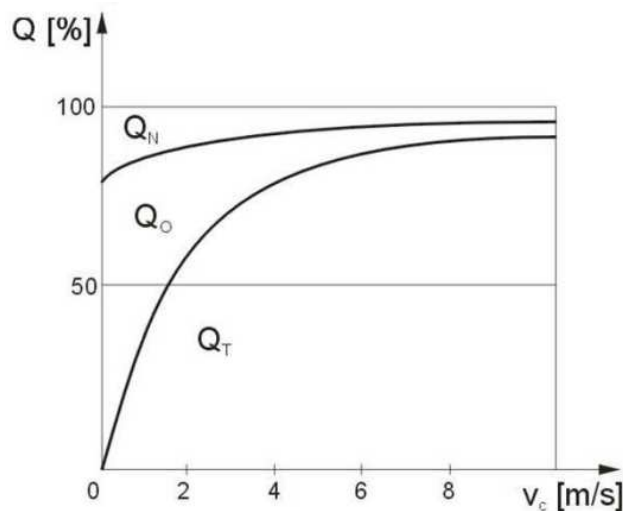
Vyhodnocování jednotlivých vlivů řezných podmínek a procesních kapalin proběhlo v laboratořích katedry obrábění a montáže, kde se zkoumala výsledná drsnost obrobené plochy a vytvořená tříska. Jako materiál byl použit hliník EN AW 2030 - ČSN 42 4254 – AlCu4PbMg. Jako procesní médium bylo využito 11 procesních kapalin od různých výrobců.

# 1. SHRUTÍ POZNATKŮ A KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN.

## 1.1 Shrnutí základních poznatků o procesních kapalinách

Procesní kapaliny se významně podílejí na průběhu a výsledku obráběcího procesu. Mimo to ovlivňují i ostatní řezné podmínky. Jejich hlavní funkcí je odvádění tepla z místa řezu, čehož je dosaženo chlazením a mazáním, které vede ke snížení tření a menšímu vzniku tepla místě řezu. Správnou volbou procesní kapaliny dosáhneme mimo jiné zvýšení trvanlivosti břitu nástrojů a zlepšení jakosti obrobeneé plochy.

Vzhledem k tepelné bilanci při obrábění je důležitý zejména chladicí účinek kapaliny. Při třískovém obrábění se až 99% energie mění v teplo, které má negativní vliv zejména na přesnost obrobku, vlastnosti nástroje a povrchové vrstvy. Vzniklé teplo je odváděno především třískou (asi 80%) dále pak v menší míře nástrojem a obrobkem (každý po 10%). [1][29]



Obr. 1 Závislost odvodu tepla třískou, obrobkem a nástrojem [30]

## 1.2 Klasifikace procesních kapalin pro obrábění

Procesní kapaliny lze rozdělit do dvou skupin:

- Chladicí kapaliny- převažuje chladicí účinek, mísitelné vodou
- Řezné oleje - převažuje mazací účinek, nemísitelné vodou

Procesní kapaliny založené na vodní bázi se vyznačují lepším chladícím účinkem, zatímco kapaliny na bázi oleje se vyznačují vyšším mazacím účinkem. Procesní kapaliny používané v průmyslu splňují jak mazací, tak chladicí účinek zároveň.

Procesní kapaliny lze také rozdělit podle složení:

- Vodní roztoky,
- Emulzní kapaliny,
- Minerální oleje,
- Mastné oleje,
- Zušlechtné řezné oleje,
- Syntetické a polosyntetické kapaliny.

### 1.2.1 Vodní roztoky

Lze považovat za nejjednodušší procesní kapaliny. Použití vodních roztoků se nejeví jako příliš vhodné, kvůli omezeným možnostem výhod. Jejich chladicí a čistící účinek je sice velmi dobrý, ale mají téměř nulový mazací účinek. Základ roztoku tvoří voda, která však vyžaduje další úpravy jako například změkčování, přidávání aditiv proti korozi, pěnivosti a zlepšení smáčivosti. Vodní roztok musí být vždy alkalický (zásaditý).

Problémem u těchto kapalin je nebezpečí růstu anaerobních bakterií, které způsobuje tvorbu kalu, zápach a následnou degradaci kapaliny.



Obr. 2 Vrtání s vodou

### **1.2.2 Emulzní kapaliny**

Emulzní kapaliny tvoří disperzní soustava dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna kapalina tvoří mikroskopické kapičky rozptýlené v kapalině druhé (olej + voda). Z důvodu stability se do soustavy přidává aditivum ve formě tzv. emulgátoru, který zmenšuje mezipovrchové napětí kapalin a zabraňuje koagulaci částic oleje ve vodě.

Emulze spojují výhody vody a mazacích olejů. Jejich chladicí účinek je závislý na koncentraci emulze, kde s rostoucí koncentrací klesá chladicí účinek. Ochrana proti korozi je ovlivněna hodnotami pH. Tato závislost je však u emulzních kapalin menší než u vodných roztoků. U slitin železa je pro ochranu proti korozi dostatečná hodnota pH v rozmezí 8÷9. Emulzní kapaliny tvoří asi 80% z celkového objemu používaných procesních kapalin pro obrábění. [3]

### **1.2.3 Minerální oleje**

Jsou vyrobeny z ropy s dobrým mazacím a ochranným účinkem. Vykazují však slabý chladicí účinek. Z důvodu dobré odolnosti proti stárnutí a degradaci se používají jako základ pro řezné oleje. [4]

### **1.2.4 Mastné oleje**

Mastné oleje mají podobné vlastnosti jako minerální oleje. Jsou tvořeny látkami rostlinného a živočišného původu. V porovnání s minerálními látkami mají nižší povrchové napětí, což má za následek lepší smáčivost obráběného povrchu a lepší odvod tepla z místa řezu.

Jejich nevýhodou je sklon ke stárnutí, při kterém se mění pH kapaliny a dochází ke zvyšování kyselosti. Mezi nejčastěji používané oleje patří řepkový, ricinový a lněný olej.

### 1.2.5 Zušlechtné řezné oleje

Jedná se v podstatě o zušlechtné minerální oleje přísadami, které zvyšují mazací schopnost a tlakovou únosnost kapaliny. Jako přísady se používají zejména mastné látky, organické sloučeniny nebo pevná maziva.

- Jako mastné látky se používají zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Za běžných tlaků zlepšují mazací schopnost a zvyšují přilnavost oleje k obrobku. Tyto vlastnosti však za vysokých tlaků ztrácí.
- Z organických sloučenin se používá jako základ síra, chlór a fosfor. Dobré vlastnosti vykazují i za vysokých tlaků. Na povrchu obrobku vytváří tenkou vrstvu kovových mýdel, která snižuje tření a zamezuje tvorbě kovových svarů. Sloučeniny s chlórem snižují tření v třecích plochách. Jejich účinnost však při teplotách nad 400°C klesá. Sloučeniny s fosforem vykazují větší účinnost. Největší účinnosti se však dosahuje sloučením všech tří látek najednou.
- Pevná maziva na obráběném povrchu vytváří mezní vrstvu, která zlepšuje mazací schopnost i za vysokých tlaků. Jako pevná maziva se používají grafit nebo sirník molybdeny. Kvůli nerozpustnosti pevných maziv v kapalinách se musí udržovat v disperzním stavu. [5]



Obr. 3 Obrábění s řezným olejem [6]



### 1.2.6 Syntetické a polosyntetické kapaliny

Tyto kapaliny mají dobré chladicí, mazací a ochranné účinky. Jsou rozpustné ve vodě s dobrou provozní stálostí.

Syntetické procesní kapaliny neobsahují žádné minerální ani syntetické oleje. Skládají se ze směsi maziv a dalších aditiv, které upravují její vlastnosti. Vykazují dobré chladicí a mazací účinky. Protipěnovostní aditiva umožňují použití i za vysokých tlaků. Dobrá provozní stálost je dána díky nepřítomnosti minerálního oleje, který by způsoboval biologický rozklad a degradaci kapaliny. Neobsahují též chlór, dusitany a fenoly a jsou tak menší zátěž pro životní prostředí.

Polosyntetické kapaliny vznikají přidáním oleje do kapalin syntetických, které mají lepší mazací schopnosti. Rozptýlené částice jsou však mnohem menší než v případě emulzí.



Obr. 4 Příklad použití syntetických kapalin mísitelných s vodou [7]

### 1.3 Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin

- Chladicí účinek
- Mazací účinek
- Čistící účinek
- Provozní stálost
- Ochranný účinek
- Zdravotní nezávadnost
- Přiměřené provozní náklady



Obr. 5 Náročnost jednotlivých operací na chladicí a mazací účinek [8]

#### 1.3.1 Chladicí účinek

Chladicí účinek se je schopnost procesní kapaliny odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každá kapalina, která smáčí povrch kovů a mezi kapalinou a povrchem obrobku existuje tepelný spád. K odvodu tepla při obrábění dochází stykem nástroje, obrobku a třísky s kapalinou, která odvádí vzniklé teplo. Výsledkem snížení teploty řezání je menší opotřebení, vyšší trvanlivost nástroje a lepší jakost obrobené plochy (v obrobené ploše zůstávají menší hodnoty zbytkových napětí).

Velikost chladicího účinku je ovlivněna smáčecí schopností kapaliny, tepelné vodivosti materiálu, výparném teple, měrném teple, průtokovém množství kapaliny a rychlosti vypařování za určitých teplot. Čím budou hodnoty těchto veličin vyšší, tím vyšší bude chladicí účinek kapaliny. Výjimku tvoří rostoucí výparné teplo, které sice zvětšuje chladicí účinek ale příliš vysoké výparné teplo je nežádoucí.

Procesní kapaliny s velkým chladícím účinkem se používají zejména u obrábění, kde se dosahují velké řezné rychlosti a velké teploty v místě řezu, které je třeba chladit.

### **1.3.2 Mazací účinek**

Mazacího účinku je dosaženo díky schopnosti kapaliny ulpívat na povrchu obrobku a nástroje a vytvářet na nich vrstvu, která zabrání přímému styku kovových povrchů a snižuje tak tření v místě řezu. Z důvodu vysokých tlaků, které vznikají při řezání, nemůže dojít ke kapalnému tření. Pokud má ale kapalina velkou afinitu ke kovu nebo váže-li se s materiálem obrobku chemicky v mezní vrstvě, může dojít ke vzniku mezního tření. Důsledkem mazacího účinku je zvýšení jakosti obrobeného povrchu, zmenšení řezných sil a následné snížení spotřeby energie.

Mazací schopnost procesní kapaliny je nejvíce ovlivněna viskozitou a pevností mezní vrstvy, kterou kapalina na povrchu vytváří. Kapalina s vysokou viskozitou, proniká mezi třecí plochy obráběcího stroje a následkem toho zhoršuje svoje proudění a snížení účinku odvodu tepla z místa řezu. Vysoká viskozita má také za následek ulpívání kapaliny na třísece, kvůli kterému dochází k jejím značným ztrátám. Proto se ve firmách, které pracují s velkým objemem třísek, zavádí stroje na zpracování třísky. Jedná se například o odstředivé bubny nebo lisy na třísku.

Pevnost vytvořené vrstvy se dá zvýšit přísadami povrchově aktivních látek, díky kterým se kapalina snáze dostane do trhlinek deformovaného kovu a usnadňuje tak řezací proces.

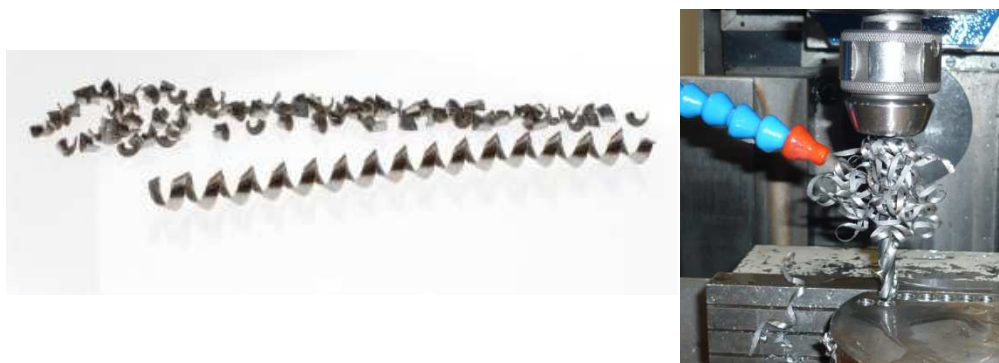
Procesní kapaliny s velkým mazacím účinkem se používají zejména u dokončovacích obráběcích operací, výrobě závitů, ozubených kol nebo při protahování.

[3]

### 1.3.3 Čistící účinek

Smyslem čistícího účinku procesní kapaliny je myšleno odplavování třísek z místa řezu, aby nedocházelo k poškození obrobku nebo břítu nástroje. Může totiž nastat situace, kdy se tříška, která je zpevněná obráběcím procesem dostane znovu do místa řezu a poškodí tak povrch obrobku a sníží trvanlivost břítu.[18]

Čistící účinek má významnou roli při broušení, kde vyplavuje třísku ze zanesených pórů, při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr.



Obr. 6 Porovnání dobré (krátké) a špatné (dlouhé) třísky, která při vrtání může vést až k namotávání na nástroj

### 1.3.4 Ochranný účinek

Ochranný účinek procesních kapalin chrání kovy a stroj před účinky koroze. Jinak by bylo nutné výrobky mezi jednotlivými operacemi konzervovat a samotný stroj chránit před účinky koroze. Pro zaručení antikorozního účinku se do procesních kapalin přidávají pasivační přísady. Důležitou podmínkou je, aby kapalina nebyla agresivní vůči stroji, tj. aby nerozpouštěla nátěry stroje a gumová těsnění.

### **1.3.5 Provozní stálost**

Provozní stálost procesní kapaliny je spojená s dobou její výměny. Dlouhodobé používání procesní kapaliny je podmíněno jejími neměnnými vlastnostmi po celou dobu používání kapaliny. Stárnutí procesní kapaliny na bázi oleje je doprovázeno tvorbou pryskyřičnatých usazenin a kalů, které mohou ucpat chladicí okruh a další funkční části stroje a mít tak za následek poruchu stroje. Vlivem stárnutí také dochází k rozkladu kapaliny, ke zhoršení funkčních vlastností, zmenšení mazacích účinků, ztrátě ochranných účinků a následně k výskytu koroze. Provozní stálost procesní kapaliny je nejvíce ovlivněna chemickými a fyzikálními vlastnostmi a hodnotou pracovní teploty.

### **1.3.6 Zdravotní nezávadnost**

Z důvodu přímého styku kapaliny s obsluhou stroje nesmí být kapalina zdraví škodlivá. Je zakázán obsah látek dráždivých sliznici nebo pokožku, nesmí být jedovatá ani zamořovat okolí nepříjemným zápachem. Zdravotní nezávadnost procesní kapaliny je také ovlivněna její čistotou a provozní stálostí. Z hlediska čistoty je však třeba dbát na základní hygienická opatření a používat předepsané bezpečnostní prvky.

### **1.3.7 Přiměřené provozní náklady**

Provozní náklady jsou ovlivněny zejména její spotřebou. Při rozboru nákladů se nejdříve posuzuje jejich vliv na obráběcí proces, např. trvanlivost bříty, opotřebení, potřeby přeostření, výměny nástroje nebo spotřeba elektrické energie. Poté se posuzuje jejich provozní stálost, spotřeba, výměna a náklady na likvidaci.

Jelikož cena není dostačujícím ani hlavním parametrem výběru procesní kapaliny, o výsledné volbě vhodné kapaliny se musí rozhodnout až po tomto technicko-ekonomickém rozboru.

## 1.4 Přívod procesní kapaliny do místa řezu

Trvanlivost břítu nástroje a výsledná jakost obrobené plochy je také ovlivněna způsobem přívodu procesní kapaliny do místa řezu.

Rozdělení základních způsobů přívodu procesní kapaliny do místa řezu:

- Standardní chlazení
- Tlakové chlazení
- Vnitřní chlazení
- Podchlazování procesních kapalin
- Chlazení procesní mlhou (MQL)
- Plynné řezné prostředí

### 1.4.1 Standardní chlazení

Standardní chlazení je nejjednodušší a nevyžaduje složité úpravy chladícího oběhu procesní kapaliny nebo stroje. Zařízení je tvořeno nádrží na procesní kapaliny, čerpadlem a rozvodovým potrubím sloužící k dopravě kapaliny do místa řezu. Množství kapaliny, kterou je schopen systém tímto způsobem dodat, je dán objemovým výkonem čerpadla a škrcením průtoku na výstupním kohoutku.

### 1.4.2 Tlakové chlazení

Při tlakovém způsobu chlazení je procesní kapalina přiváděna ze spodu na břit nástroje, přímo do místa řezu. Hodnoty dosahovaných pracovních tlaků se pohybují v rozmezí 0,3 ÷ 3 MPa a průměr výstupní trysky v rozmezí 0,3 ÷ 1 mm. Množství přiváděné kapaliny je v rozmezí 0,5 ÷ 20 litrů za minutu. Tlakové chlazení se používá zejména tam, kde vzniklé teplo při obrábění má prokazatelně negativní vliv na trvanlivost břítu nástroje.

Použití takto vysokých tlaků při chlazení má za následek rozstřík procesní kapaliny a následnou tvorbu mlhy. Proto je nezbytně nutné mít uzavřený pracovní

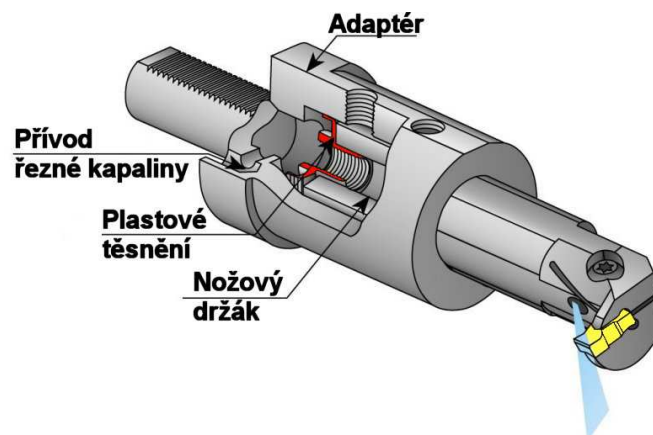
prostor stroje, aby se zabránilo únikům kapaliny do okolí a znečištění pracovního prostředí. [3]



Obr. 7 Tlakového chlazení [9]

### 1.4.3 Vnitřní chlazení

Přívod procesní kapaliny je v tomto případě realizován vnitřkem nástroje, přímo do místa řezu na břit nástroje. Tento způsob chlazení přináší výrazné zvýšení výkonu při obrábění a zvýšení řezné rychlosti v řádu  $5 \div 15$  %. Vnitřní chlazení se nejvíce využívá u soustružení, frézování, broušení a vrtání, kde by chlazení jiným způsobem bylo velmi obtížné.



Obr. 8 Schéma soustružnického nože s vnitřním chlazením

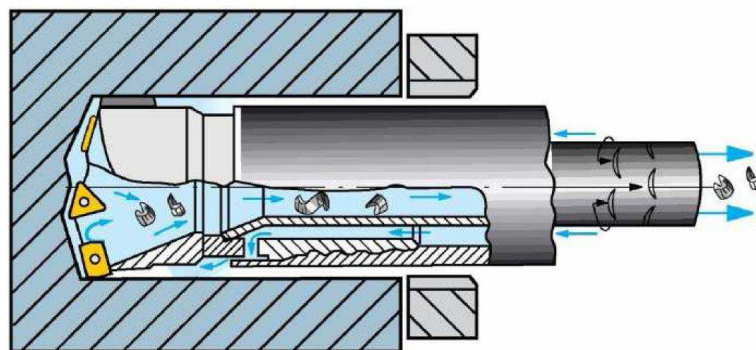
Použití vnitřního chlazení je zejména výhodné při frézování, procesní kapalina je totiž přiváděna na všechny břity nástroje po celou dobu jeho dráhy, tedy i po dobu, kdy není břit v záběru. Do určité míry tak jsou zmírněny teplotní šoky, ke kterým jinak u frézování dochází.



Obr. 9 Vrták s vnitřním chlazením [10]

Při broušení se přívod kapaliny uskutečňuje skrz póry brusného kotouče, odkud vyplavuje třísku a nečistoty vzniklé při obrábění. Kapalina musí být během svého oběhu zbavena nečistot v čistících filtrech, aby sama nezanášela póry.

U vrtání je procesní kapalina přiváděna centrálními otvory v tělese nástroje až do místa řezu. Nástroje mohou být jak šroubové monolitní vrtáky, tak i vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami. Vnitřní chlazení se používá hlavně při vrtání těžkoobrobitelných materiálů a hlubokých děr, odkud by se jinak tříska dostávala velice obtížně. Zvýšením tlaku procesní kapaliny dosáhneme zvýšení obráběcího výkonu a lepšího odvodu třísek z místa řezu.



Obr. 10 Schéma vrtání hlubokých děr vrtací hlavicí [11]



#### 1.4.4 Podchlazování procesních kapalin

Zvýšení trvanlivosti břítu nástrojů lze docílit i podchlazováním procesních kapalin na teploty nižší než je teplota okolí. Běžně používané procesní kapaliny si zachovávají mazací schopnost i při podchlazení na  $5 \div 7 \text{ }^\circ\text{C}$ , oleje při  $15 \div 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Je možné podchlazovat i na nižší teploty, to je však limitováno stálostí procesní kapaliny u emulzí a houstnutím u řezných olejů. Pokud bychom chtěli dále zvyšovat výkon a podchlazovali kapalinu až pod bod mrazu, je nutné použít procesní kapaliny se speciálním složením.

#### 1.4.5 Chlazení procesní mlhou (MQL)

Chlazení je v tomto případě realizováno rozptýlenou kapalinou tlakem vzduchu vytékajícího z trysky rychlostí až  $300 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a přímo směřující na řeznou část nástroje před jeho najetím do řezu. Odvodu tepla z místa řezu je dosaženo vlivem rozpínajícího se vzduchu, který obsahuje částičky procesní kapaliny.



Obr. 11 Chlazení procesní mlhou [12]

#### 1.4.6 Plynné řezné prostředí

Plynné látky se jako procesní média běžně v praxi nevyskytují z důvodu malého chladicího účinku, nulového mazacího účinku a obtížného odvodu třísky.

Jako účinný způsob chlazení plynným prostředím se používá stlačený CO<sub>2</sub>, který se přivádí ve formě paprsku plynu do místa řezu. Tlaky, kterých se při chlazení dosahuje, jsou v rozmezí 0,5 ÷ 7 MPa. Tato metoda se používá např. pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Je sní ale spojena řada nevýhod, mezi něž patří zejména vysoká pořizovací cena CO<sub>2</sub> a sním spjaté nebezpečí jeho používání a nutnost dodržování zvýšených bezpečnostních předpisů jako například dokonalé odsávání plynného média a větrání pracoviště.

Speciálním případem použití plynného média je tzv. suché obrábění. Při tomto způsobu je řezným prostředím atmosférický vzduch. Rozšíření tohoto způsobu obrábění je však spjaté s vývojem nových řezných materiálů, které by nevyžadovali chlazení, a přesto by byly schopny efektivně obrábět.



Obr. 12 Kryogenní chlazení CO<sub>2</sub> [13]

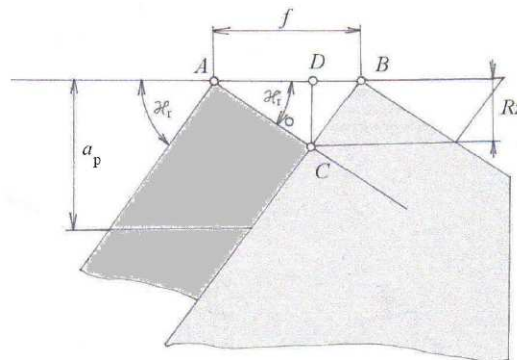
## 2. SHRUTÍ POZNATKŮ O VLIVU ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU.

### 2.1 Vliv geometrie nástroje na jakost obrobeneé plochy

Jednoduchý geometrický přístup k identifikaci mikrogeometrie obrobeneé povrchu vychází z prostého kopírování tvaru řezného klínu na obrobeneý povrch [21].

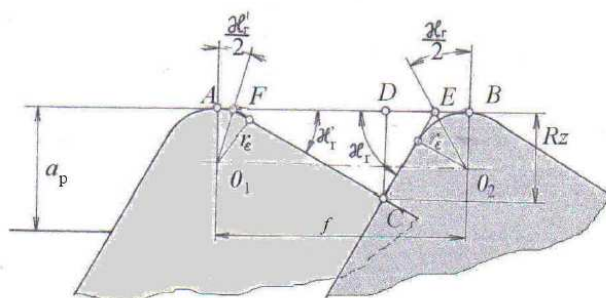
Mohou nastat tyto tři případy:

- Špička nože není zaoblená, tedy  $r_e = 0$ . Tento limitní případ znamená, že posuv je možné zanedbat, protože je mnohem menší než poloměr zaoblení nástroje a odpovídá hrubování velkými posuvy. Nerovnost povrchu je vytvářena hlavní a vedlejší řeznou hranou.



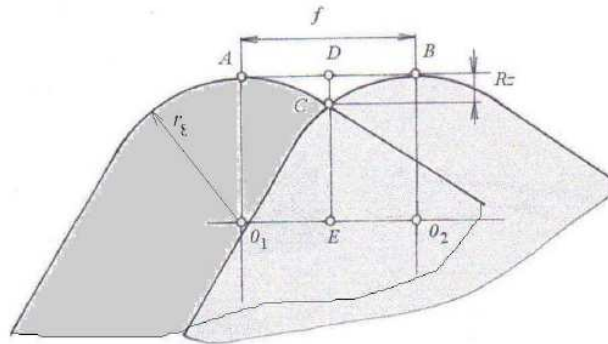
Obr. 13 Schéma nástroje s minimálním poloměrem hrotu

- Špička nože je zaoblená a poloměr nože je menší než posuv:  $r_e \leq f$ . Nerovnost povrchu je vytvářena zaoblenou špičkou, jak úseky hlavní, tak vedlejší řezné hrany. Tento případ lze považovat za polohrubování.



Obr. 14 Schéma „polohrubovacího“ povrchu

- špička nože je zaoblena, přičemž poloměr  $r_\varepsilon \geq f$ . Profil povrchu je vytvářený jen zaoblenou špičkou nástroje. Tento případ odpovídá dokončování povrchu a proto je z hlediska kvality povrchu nejdůležitější.



Obr. 15 Schéma dokončování povrchu [20]

Pro dokončovací operaci platí následující vztahy:

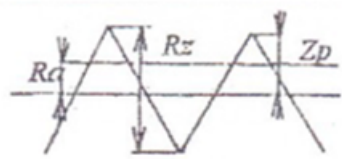
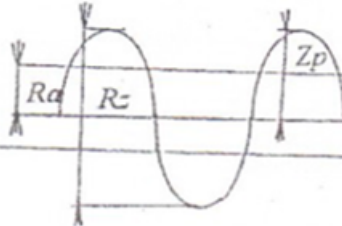
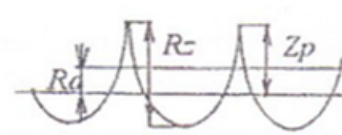
$$Rz = \frac{f^2}{8 \cdot r} = 0,125 \cdot \frac{f^2}{r}$$

Tento vztah udává funkční závislost mezi teoretickou nerovností povrchu, posuvem a poloměrem zaoblění špičky nástroje. Ze vztahu plyne, že  $Rz$  s nárůstem  $f$  stoupá parabolicky. Naopak podle zákona hyperboly klesá s nárůstem  $r_\varepsilon$  [21].

$$\frac{Rz}{Ra} \approx 4 \Rightarrow f_{max} = \sqrt{32 \cdot Ra \cdot r_\varepsilon}$$

Pro přesnější určení tohoto poměru je nutné znát, o jaký tvar profilu či způsob obrábění se jedná. V Tab.1 je tento poměr definovaný pro některé případy profilu povrchu. Je zřejmé, že vztah mezi  $Ra$  a  $Rz$  se liší v závislosti na profilu. Samotný údaj  $Ra$  tedy nedostatečně charakterizuje profil povrchu.

Tab. 1 Hodnoty Ra a Rz pro některé způsoby obrábění [20]

Způsob obrábění	Idealizovaný profil	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Zp [ $\mu\text{m}$ ]	Rz/Ra
Nástroje bez poloměru hrotu		20	5	10	4
Nástroj se zaobleným hrotem		20	6,3	10	3,2
Broušený povrch		20	3,65	15,4	5,4

### 2.1.1 Obrábění nástroji s velkým poloměrem zaoblení špičky

Je zřejmé, že pokud budeme zvětšovat poloměr špičky nástroje, bude se zlepšovat i kvalita obrobenej plochy. Ovšem při větších poloměrech roste i zároveň délka řezné hrany, která je ve styku s obrobkem, což může mít za následek vznik bibrací v soustavě stroj-nástroj-obrobek [21].

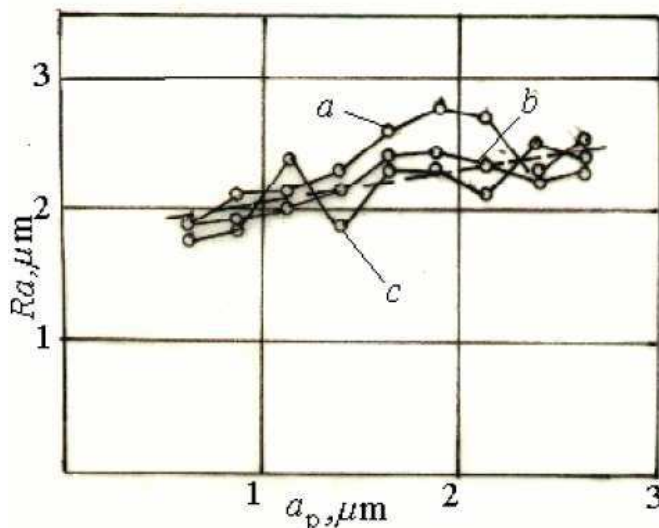
Vibracím je třeba předejít, protože jejich působením může dojít ke zhoršení jakosti obrobenej plochy, zvýšení opotřebení nástroje, vylamování částic břitu nástroje nebo celkovou destrukci břitu nástroje, jehož následkem může být i porucha stroje.[22]

Vibracím a růstu Rz při minimálních posuvech  $f$  a velkých poloměrech břitu  $r_e$  lze zabránit skloněním nástroje o úhly  $\pm\lambda_s$ . Následkem čehož dojde ke zkrácení aktivní délky řezné hrany v záběru a změně pracovních úhlů čela a špičky. Nástroj může být statický a nebo rotovat. Kromě toho může mít kladný nebo záporný úhel sklonu řezné hrany [20].

V dnešní době existují moderní způsoby, jak minimalizovat vibrace na minimum. Jedním způsobem je například metoda proměnných otáček, kdy při aktivaci systému, řídicí program CNC stroje reguluje otáčky vřetena. Tím dojde k narušení, případně odstraní posunutí vln a kmitů vzniklých na povrchu obrobku např. štíhlého nástroje či obrobku. Systém nám vlastně pomáhá najít optimální řezné podmínky k eliminaci vibrací při obrábění a tím zlepšuje produktivitu procesu. [23].

## 2.2 Vliv hloubky řezu na jakost obrobené plochy

Na geometrické parametry obrobeného povrchu mají důležitý vliv řezné podmínky. Dle experimentálního ověření prof. Vasilka byla získána závislost  $R_a$  na hloubce řezu  $a_p$ . V tomto experimentu byl soustružen kuželový obrobek, který umožňuje plynule měnit hloubku řezu.



Obr. 16 Experimentální závislost  $R_a = f(a_p)$ , získaná při obrábění nízkouhlíkových ocelí.

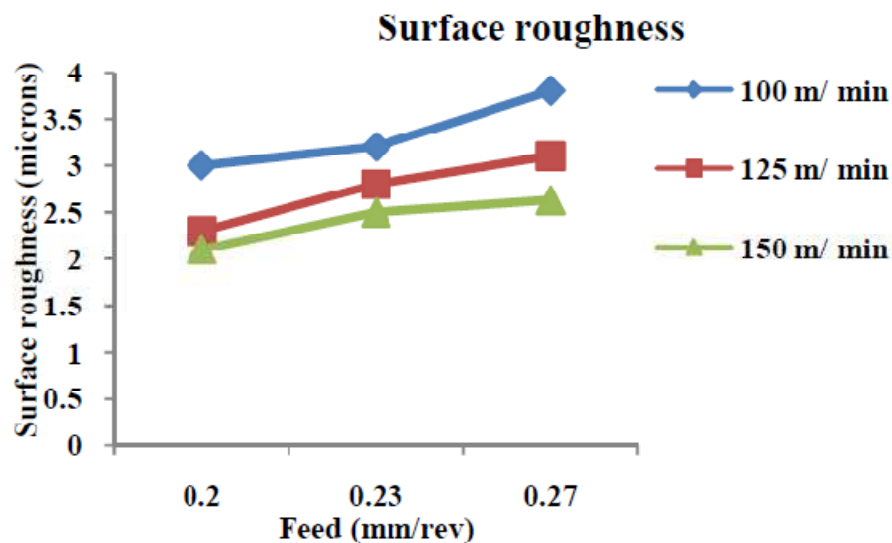
Závislost je mírně stoupající. Tvorba třísky od hlavní řezné hrany nemá vliv na geometrii obrobeného povrchu, protože hlavní řezná hrana je daleko od povrchu. Málo ovlivňuje výstupky na obrobeném povrchu tříska, která odchází šikmo od hlavní řezné hrany, tedy uhýbá od obrobeného povrchu a neovlivňuje ho [21].

### 2.3 Vliv posuvu na jakost obrobene plochy

Dalším důležitým parametrem řezných podmínek, na kterém závisí nejvíce výška nerovností obrobeneho povrchu je posuv  $f$ . S tím, že hodnota posuvu také velmi ovlivňuje životnost nástroje. Experimentální závislost je zmíněna v předchozí kapitole ze vzorce

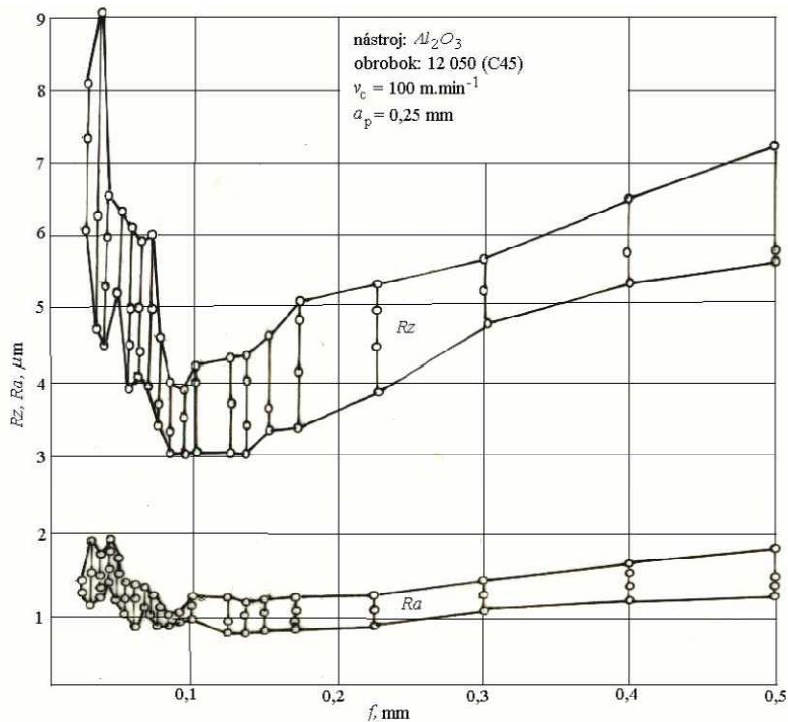
$$f = \sqrt{8 \cdot R_z \cdot r_\epsilon} \cong \sqrt{32 \cdot R_a \cdot r_\epsilon}$$

Tento trend rostoucí závislosti byl potvrzen experimentálním ověřením Kulkarniho, Kirana a Deeleepkumara [24]:



Obr. 17 Vliv posuvu a řezné rychlosti na drsnost povrchu  $R_a$ .

Nejvíce jsou rozdíly v oblasti malých posuvů. Při dokončování povrchů je důležitá právě oblast posuvů pod 0,2 mm. Podle experimentu prof. Vasilka po překonání určité hranice směrem k malým posuvům už  $R_a$  a  $R_z$  neklesají, naopak mírně stoupají. To je způsobeno tím, že se dostáváme do podmínek, kdy poloměr zaoblení řezné hrany  $r_n$  je svojí velikostí blízko hloubce odřezávané vrstvy. Přestává se utvářet tříška a materiál je vtačován pod řezný klín. Za řezným klínem se vytváří šupinky na obrobeneho povrchu vlivem pružné a plastické deformace materiálu a jeho adheznímu spojení s materiálem nástroje. Tento problém se označuje jako „problém minimální třísky“ [20].

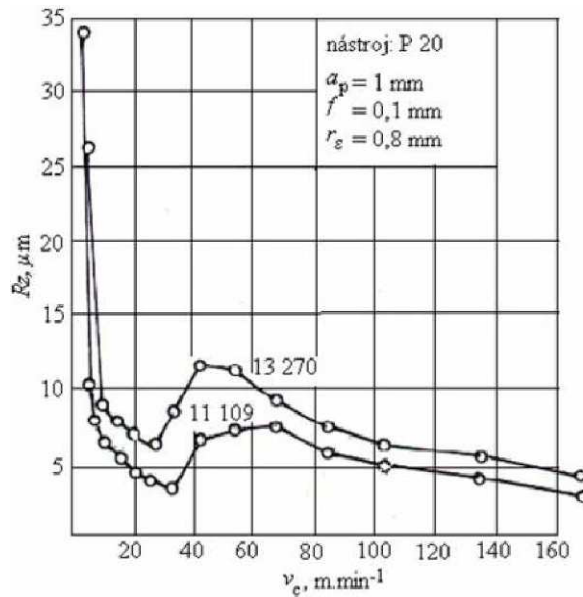


Obr. 18 Experimentální závislost Ra a Rz na posuv  $f$  v oblasti malých a středních posuvů [20]

## 2.4 Vliv řezné rychlosti na jakost obrobene plochy

Třetím parametrem řezných podmínek, je řezná rychlost. Nepraktičtější pro zhodnocení vlivu řezné rychlosti na kvalitu povrchu je použití čelního soustružení s obrobkem o dostatečném průměru. Při zvolení konstantních otáček se řezná rychlost plynule mění v celém rozsahu. Celou závislost lze tedy získat z jediného průjezdu. Dle obr. 19 došlo k experimentálnímu zhodnocení nejen vlivu posuvu, ale také řezné rychlosti a zde se zvýšením řezné rychlosti lze pozitivně ovlivnit drsnost povrchu. To potvrdil také experiment experiment Selvaraje, Chandramohana a Mohanraje [25] při obrábění oceli ASTM A995 5A nástrojem SNMG 120408 MT TT5100. U obou experimentů je ovšem uvedeno pouze krátké rozpětí řezných rychlostí.





Obr. 19 Experimentální závislost  $R_z$  na řezné rychlosti [21]

Lze pozorovat, že při minimálních řezných rychlostech se drsnost výrazně zvětšuje. Je to zřejmě důsledek tvorby trhlin v tříске a pod řezným klínem. Povrch se výrazně zhoršuje. Následně se drsnost prudce zmenšuje a dosahuje minima při řezné rychlosti  $v_c$  okolo  $20 \div 30$  m/min. Další prudký nárůst drsnosti je způsobený vznikem nárůstků na řezném klíně. Po dalším zvýšení řezné rychlosti drsnost postupně klesá. Existují tedy dvě oblasti s minimálními hodnotami výšky nerovností a to:

1. Při malých řezných rychlostech a tedy dosahované teploty před vznikem adhezního spojení nástrojového a řezného materiálu,
2. Při vysokých řezných rychlostech, odpovídající plastickému tečení materiálu třísky.

Tyto znalosti lze využít při volbě a optimalizaci řezných podmínek. Jednotlivě se však průběhy liší v závislosti na obráběných materiálech a jejich vlastnostech. Například při obrábění titanových slitin existuje pouze úzká oblast řezných rychlostí, při kterých je povrch kvalitní. U dřeva je situace jednodušší, při zvyšující se řezné rychlosti kontinuálně klesají hodnoty nerovností. [21]

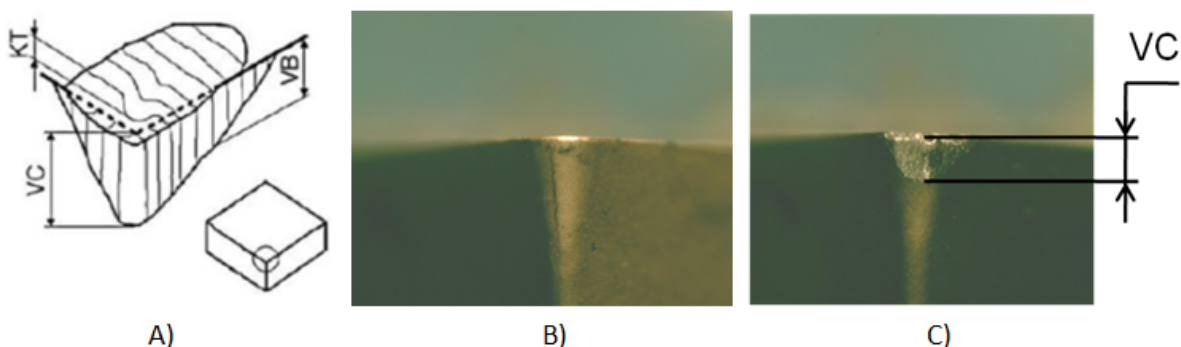
## 2.5 Vliv opotřebení nástroje na kvalitu obrobeneé plochy

Existuje důvodný předpoklad, že momentální stav a opotřebení břitu řezného nástroje bude mít významný vliv na kvalitu obrobeneé plochy. V důsledku skutečnosti, že velikosti posuvu  $f$  se volí menší než poloměr břitu nástroje  $r_e$ , vznikající nerovnosti povrchu opotřebovávají špičku nástroje a postupně na něm vytváří rýhy. K experimentálnímu zjištění životnosti nástroje se používají dva druhy testů, krátkodobé či dlouhodobé. [21, 26]

Vztah mezi životností nástroje a řeznými podmínkami je popsán jako funkční závislost:

$$T = f(v_c, f, a_p)$$

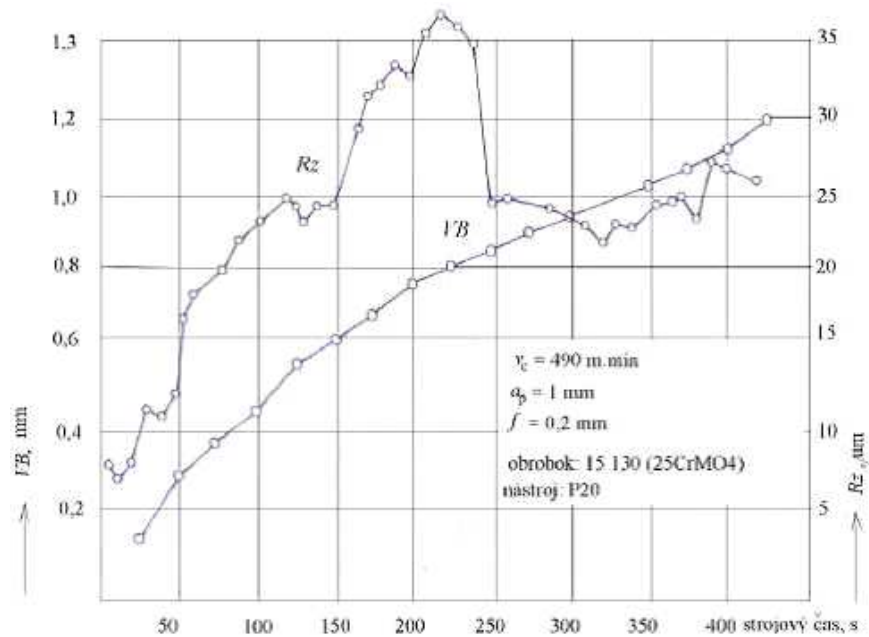
Tento vztah je elementární pro optimalizaci z hlediska ekonomiky procesu a samotné obrobitelnosti materiálu, kterou popisuje Taylorův vztah. Z ekonomického hlediska jsou nejdůležitější kritéria: 1) Minimálních výrobních nákladů, 2) Maximální produktivity nebo 3) Maximálního zisku [27].



Obr. 20 Tvar opotřebení špičky nástroje. VB – šířka fazetky opotřebení na hřbetě, VC opotřebení na hřbetě, KT – hloubka výmolu na čele, A – schéma opotřebení, B – nová břitová destička, c – poškozená břitová destička

Během obrábění se při malých řezných rychlostech materiál chová jako křehký, má malou plochu styku třísky s čelem nástroje a stejně tak je malá teplota řezání. Proto nástroj vykazuje vyšší trvanlivost. Zvyšováním řezné rychlosti se začne projevovat houževnatost materiálu. Mezi obráběným a řezným materiálem dochází k adheznímu otěru, roste koeficient tření, zvětšuje se plocha styku třísky s čelem nástroje

a stoupá třecí síla. Následkem toho trvanlivost nástroje prudce klesá. Tento průběh je typický při obrábění nástroji z rychlořezné oceli [20].



Obr. 21 Experimentální závislost průběhu opotřebení nástroje na hřbetě a odpovídající výška nerovností Rz [21]

Z experimentálního ověření viz. Obr. 21 je vidět, že při určitém stupni opotřebení nástroje došlo k výraznému poklesu mikronerovností profilu. Na začátku obráběcího procesu dochází ke kopírování nerovností z řezné hrany na obrobený povrch, kvalita povrchu se tedy blíží teoretickému vztahu pro výpočet Rz. S pokračujícím obráběním dochází k velkému opotřebení břitu, následkem čehož klesá kvalita povrchu a roste Rz. Zde dochází ke vzniku opotřebené plochy a k přenesení rýh na povrch obrobku. K dalšímu zlepšení dojde vlivem zaplnění a napěchování materiálu do vytvořených rýh. Tyto zákonitosti se dají využít na zvyšování produktivity při soustružení [21].

Po výrazném opotřebení, případně po dosažení meze opotřebení, při kterém nástroj není schopen držet míru a požadovanou kvalitu, je třeba jej vyměnit za nový. Případně pokud to jeho konstrukce umožňuje tak renovovat. Vyměnitelné břitové destičky se obvykle nerenovují ale u monolitních nástrojů nebo u nástrojů s pájenými destičkami je situace jiná a vyplatí se je přebrousit. Renovace a opatření jej novým povlakováním totiž obvykle vychází na 20 ÷ 25% nákladů nového nástroje, což může být z ekonomického hlediska významné.

### **3. REŠERŠE LITERÁRNÍCH POZNATKŮ O KVALITĚ POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ, DEFINICE POJMU DRSNOST POVRCHU, METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU.**

#### **3.1 Rešerše literárních poznatků o kvalitě povrchu po obrábění**

Vývoj v oblasti řezných materiálů je většinou hodnocen z hlediska vlivu na produktivitu práce. Pokud vezmeme v úvahu plné využití řezivosti nových nástrojových materiálů a příkonu strojů, které jsou několikanásobné ve srovnání s klasickými, vzniká zde otázka, zda takovéto množství energie převedené na břit nástroje nevlivní výrazněji vlastnosti obrobeného povrchu, zejména jeho jakost.

Jakost obrobeného povrchu je možné posuzovat podle těchto hledisek:

- Přesnosti rozměru a tvaru,
- Drsnosti a mikrostruktury,
- Vlastností povrchové vrstvy – zbytková pnutí

Přesnost rozměru a tvaru - je dána samotnou přesností stroje, tuhostí systému stroj-nástroj- obrobek a dalšími vlivy, které ale působí nepřímo na technologický proces.

Drsnost a mikrostruktura povrchu - je ovlivněna bezvýhradně procesem řezání. Nejvýznamnějšími prvky tohoto vlivu jsou řezná rychlost, tvar nástroje, působení různých řezných materiálů, jejich opotřebení apod.

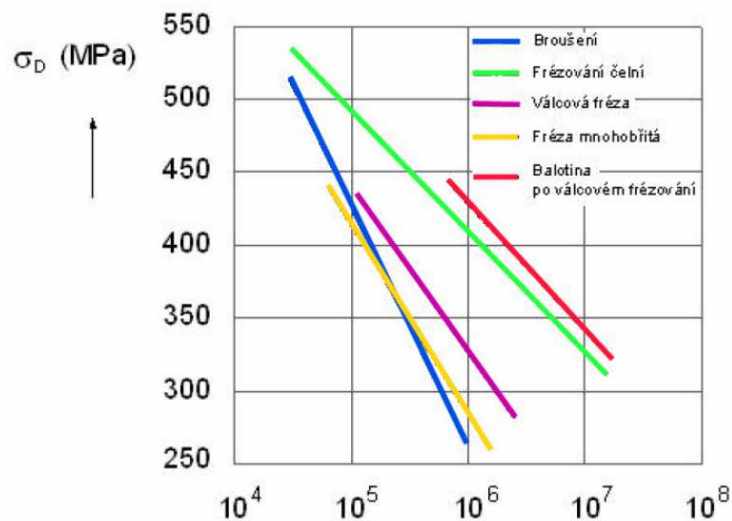
Vlastnosti povrchové vrstvy - jsou vyjadřovány strukturními změnami, stupněm zpevnění, které jsou úměrné velikosti zbytkových napětí. Vzhledem k tomu, že dochází k nárůstu intenzity procesu řezání v důsledku dalšího růstu vyšších řezných rychlostí a vyššího energetického působení na břit nástroje, je nutno počítat s tím, že vlastnosti povrchové vrstvy součásti se mohou výrazně měnit vzhledem k vlastnostem materiálu ve větší hloubce od povrchu. [19]

### 3.1.1 Integrita povrchu

Z hlediska výroby má zásadní význam znalost mechanismu vytváření nového povrchu součástí, ten nám umožňuje pochopit povahu a vlastnosti nově vytvořeného povrchu, dává možnost pro zlepšování používaných procesů a umožňuje vytvoření obrobků ploch bez poruch.

Všechny změny, ke kterým dochází v povrchové vrstvě součásti, lze shodně hodnotit jako změny jakosti. Tyto změny se potom mohou dávat do vztahu se zamýšlenou funkcí obrobku 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 obrobku a dává je do vztahu k funkčním požadavkům na celý výrobek. Nicméně, zatím neexistuje způsob, kterým lze komplexním způsobem hodnotit nově vytvořené plochy z hlediska jejich integrity povrchu. Řada údajů o obrobku se sice již běžně zjišťuje ale zatím nejspolehlivější zkouškou integrity je vlastní provoz.



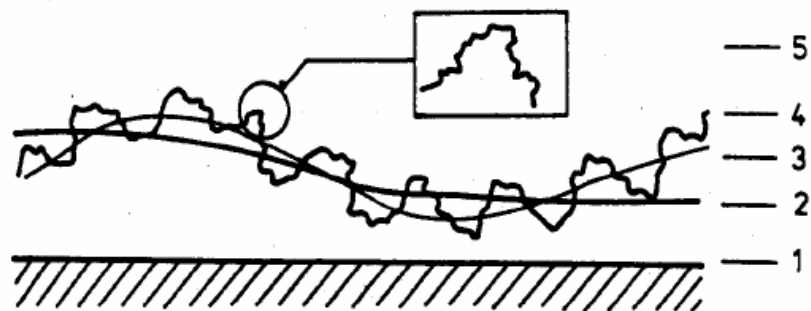
Obr. 22 Průběh časované meze únavy vzorků dokončených různými metodami obrábění

[19]

### 3.2 Definice pojmu drsnost povrchu

Pod pojmem drsnost povrchu si lze představit souhrn nerovností povrchu s relativně malou vzdáleností, k jejichž vzniku nevyhnutelně dojde během výroby nebo jejím vlivem. Do drsnosti se nezahrnují vady povrchu, konkrétně nepravidelné a náhodné nerovnosti, které se vyskytují ojediněle (risky, prasklinky), a které vznikají poškozením materiálu nebo jeho vlastními vadami.

Drsnost se hodnotí v příčném nebo podélném směru a to v závislosti na tom, v jakém směru nerovnosti převládají. Vyhodnocování drsnosti se provádí na skutečných profilech, které vycházejí z redukce prostoru povrchu do roviny kolmé k povrchu. Získaný profil je základním zdrojem informací. [3]



1 – Ideálně rovný povrch 2 – Odchylka tvaru a polohy 3 – Vlnitost

4 – Mikroskopické drsnosti 5 – Submikroskopické nerovnosti

Obr. 23 Schematické znázornění geometrie povrchu [14]

Drsnost povrchu je nejvíce ovlivněna následujícími faktory:

- Způsob opracování
- Materiál obrobku
- Materiál a tvar břitu nástroje
- Řezné podmínky – zejména řezná rychlost a posuv
- Způsob upnutí obrobku, vibrace nástroje i stroje a celková tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek
- Procesní prostředí

Posouzení drsnosti povrchu se provádí na základě tří základních parametrů:

- Výškové parametry
- Délkové parametry
- Tvarové parametry

### **3.3 Metody měření drsnosti povrchu**

Měřit a vyhodnocovat drsnost povrchu je možno buď přímým, nebo nepřímým měřením a pozorováním profilu povrchu obrobku. V praxi je výrobě nejvíce rozšířené přímé pozorování obrobené plochy obrobku lidským zrakem, případně se povrch porovnává s etalony hmatem.

Způsoby vyhodnocování stavu povrchu lze v zásadě rozdělit na dvě metody:

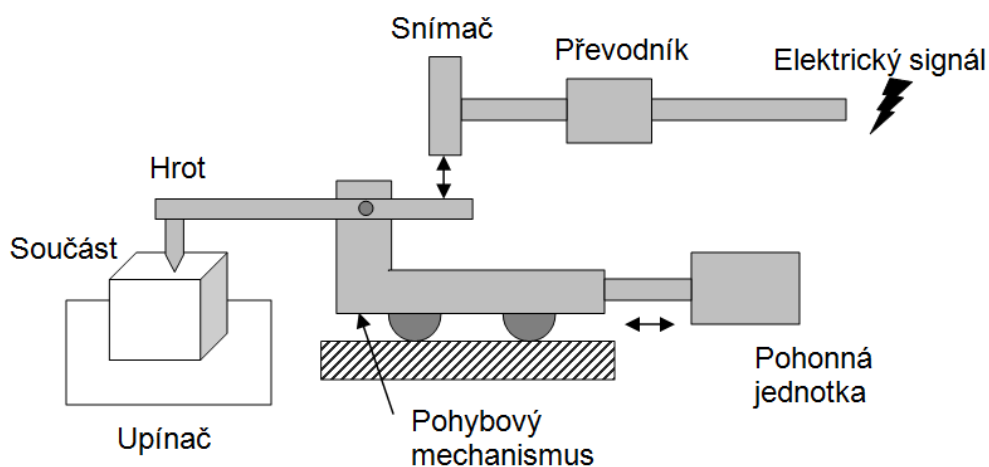
- Metoda kvantitativní
- Metoda kvalitativní

#### **3.3.1 Metoda kvantitativní**

Kvantitativní metody vyjadřují drsnost číselnými hodnotami Ra, Rz, případně Rz DIN. Velikosti nerovností příčné drsnosti lze měřit elektronickým komparačním délkoměrem. Komparátor se skládá ze snímače osazeném tvrdým hrotem (safír, diamant) s velmi malým vrcholovým poloměrem ( $2 \div 20\mu\text{m}$ ).

Větší poloměry by příliš zkreslovaly profil, nebo naopak příliš malé poloměry by znamenaly nárůst tlaku mezi hrotem a vyhodnocovaným povrchem. Podélný pohyb umožňuje pohybový mechanismus, který je převeden v převodníku na elektrický signál a následně do číselné hodnoty výstupních parametrů. Výsledkem je soubor odchylek povrchu od nulové hodnoty komparátoru.

Drsnost povrchu se posuzuje v souladu s doporučením ISO v soustavě střední čáry (m-čára). V té se drsnost povrchu posuzuje na základě střední aritmetické úchyly  $R_a$  a výšky nerovností  $R_z$ . Někdy je možné z praktických důvodů naměřenou drsnost posoudit podle  $R_z$  DIN. [18]



Obr. 24 Schéma elektronického drsnoměru [15]

### 3.3.2 Metoda kvalitativní

Podstatou kvalitativních metod je přímé porovnání vyhodnocovaného povrchu s povrchem etalonu, jehož drsnost známe. Je však nutné porovnávat pouze povrchy opracované stejným nebo podobným způsobem obrábění jako má etalon. Výsledkem porovnání je zjištění, že kontrolovaná plocha je hladší nebo hrubší (má menší nebo větší drsnost) než plocha vzorového etalonu, resp. že její drsnost se pohybuje mezi dvěma po sobě jdoucími etalony (např.  $0,8 \div 1,6\mu\text{m}$ ). Ze zřejmých důvodů je tato metoda mnohem méně přesná než metoda kvantitativní a slouží spíše k orientačnímu měření.





Výpočet hodnoty Ra lze provádět dvěma způsoby. Statistickou a integrální metodou.

➤ Statistická metoda:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| = \frac{|y_1| + |y_2| + |y_3| + \dots + |y_n|}{n}$$

➤ Integrální metoda:

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

kde:  $l$  [mm] – základní délka profilu

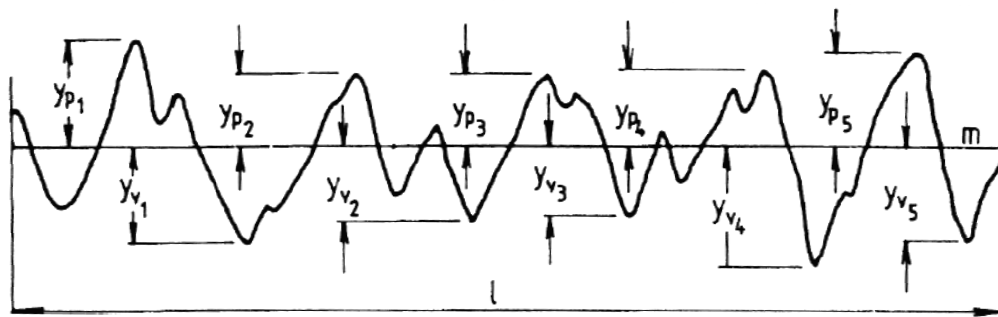
$Ra$  [ $\mu\text{m}$ ] – střední aritmetická úchylka profilu

$y$  [ $\mu\text{m}$ ] – jednotlivé výšky profilu

$n$  [-] – počet jednotlivých výšek profilu

### Posouzení drsnosti povrchu podle výšky nerovností Rz

Výška nerovností Rz je střední vzdálenost mezi pěti (deseti) nejvyššími a nejnižšími body profilu v délce měřeného úseku. Měření se provádí kolmo na střední m-čáru profilu.



Obr. 27 Profil drsnosti povrchu Rz [18]

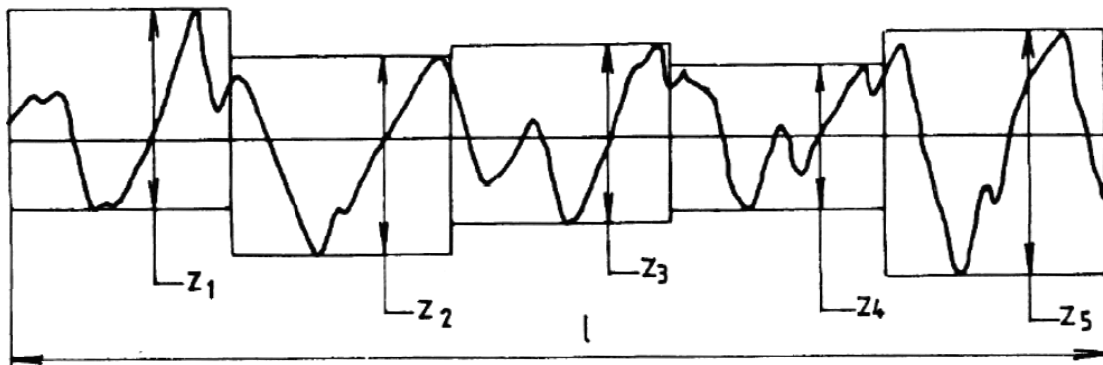
Výpočet hodnoty Rz: 
$$Rz = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{j=1}^5 |y_{pj}|}{5}$$

kde:  $y_{pi}$  [ $\mu\text{m}$ ] – výška i-tého nejvyššího výstupku profilu měřená od střední čáry profilu  $m$

$y_{pj}$  [ $\mu\text{m}$ ] – hloubka i-té nejnižší prohlubně profilu měřená od střední čáry profilu  $m$

### Posouzení drsnosti povrchu podle výšky nerovností Rz DIN

Rz DIN je aritmetický průměr pěti největších výšek nerovností



Obr. 28 Profil drsnosti povrchu Rz DIN [18]

Výpočet hodnoty Rz DIN:

$$Rz_{DIN} = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5}{5}$$

kde:  $z$  [ $\mu\text{m}$ ] – jednotlivé výšky nerovností

#### 4. NÁVRH METODIKY EXPERIMENTŮ PRO ZKOUMÁNÍ VLIVU ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ

##### 4.1 Popis použitých přístrojů, nástrojů a měřících zařízení

###### Frézka – FNG 32

Analýza vlivu řezných podmínek a procesních kapalin na jakost obrobeného povrchu byla provedena na frézce – FNG 32 od firmy TOS Olomouc



Obr. 29 Frézka FNG 32

Jedná se o univerzální nástrojařskou konzolovou frézku, která byla k tomuto účelu zvolena z důvodu plynulé regulace otáček vřetena a posuvu stolu, čímž dovoluje nastavit požadované parametry pro provedení analýzy. Součástí stroje je digitální panel, na kterém lze sledovat hodnoty posuvu, otáček a dráhy stroje v jednotlivých pracovních osách. Podrobnější informace a technické parametry viz. příloha č. 1.



Obr. 30 Ovládací panel a odečítací displej frézky

Základní technické parametry stroje:

- Rozměr pracovní plochy – 800 x 400 mm
- Upínací drážky – počet – 7  
– Šířka a rozteč – 14 x 50 mm
- Maximální zatížení stolu – 350 Kg
- Pracovní zdvih – Podélný (X) – 600 mm  
– Příčný (Y) – 400 mm  
– Svislý (Z) – 400 mm

### Drsnoměr Mitutoyo SV-2000

Měření drsnosti proběhlo v laboratořích KOM FS na drsnoměru Mitutoyo SV-2000 za pomoci software Surfpack.



Obr. 31 Drsnoměr Mitutoyo SV - 2000

Základní nastavení drsnoměru:

- Měřená délka – 4,8 mm
- Rozsah měření – 800  $\mu\text{m}$
- Rychlost měření – 0,5 m/s

Podrobnější technické informace viz. příloha č. 2

### **Vrták HSS $\varnothing$ 8 mm - ČSN 22 1121**

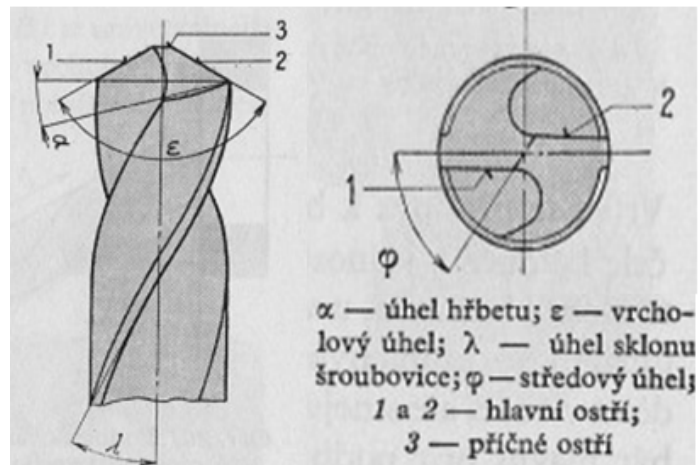
Jako nástroj byl použit vrták o průměru 8 mm z rychlořezné oceli. Vzhledem k tomu, že obráběný materiál je hliník, má tak dostatečnou trvanlivost a jeho opotřebení neovlivní naše měření jakosti obrobeného povrchu.

Použití: Výkonné vrtáky doporučené pro vrtání v součástkách z nelegované i legované oceli, ocelolitiny do pevnosti 900 N/mm<sup>2</sup>, šedé, temperované i tvárné litiny, spěkané oceli, hliníkové slitiny s krátkou třískou, bronzu, houževnaté mosazi apod.

Úhly: Úhel sklonu šroubovice  $\lambda = 25^\circ \div 30^\circ$  (v našem případě  $30^\circ$ ),  
Vrcholový úhel  $\varepsilon = 118^\circ$



Obr. 32 Používaný vrták



Obr. 33 Geometrie břitů šroubovitého vrtáku [28]

### Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

K určení koncentrace procesních kapalin byl používám Refraktometr Brix 0-18% s přesností měření  $\pm 0,15\%$ .



Obr. 34 Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

## 4.2 Charakteristika obráběného materiálu

Pro analýzu vlivu řezných podmínek a procesních kapalin na jakost povrchu po obrábění byl použit hliník o rozměrech 30 x 30 x 220mm. Konkrétní označení EN AW 2030 – AlCu4PbMg – ČSN 42 4254. Další informace k materiálu v materiálových listech viz. příloha č. 3.

Tab. 2 Chemické složení materiálu ČSN 17 481

Materiál	Chemický prvek [%]												
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Bi	Pb	Ti	Ostatní jednotl. celkem	Al	
ČSN 42 4254	0,8	0,7	3,3 ÷ 4,5	0,2 ÷ 1,0	0,5 ÷ 1,3	0,1	0,5	0,2	0,8 ÷ 1,5	0,2	0,1	0,3	zbytek

## 4.3 Procesní kapaliny

Jako procesní médium bylo použito 11 procesních kapalin od různých světových výrobců. Kapaliny byly naředěny vodou z řádu na 5% koncentraci.

Tab. 3 Použité procesní kapaliny

Koncentrace = 5%	Koeficienty refrakce	Hodnota na refraktometru
BLASCO CUT	K=1	r = 5
EOPS 1030	K=1,1	r = 4,5
HOCUT795B	K=1	r = 5
VASCO1000	K=1	r = 5
CIMSTAR10	K=1,4	r = 3,6
ESOK 1.1D	K=1,88	r = 2,7
ESOK 1.0E	K=3,1	r = 1,6
ESOK 1.0F	K=3,1	r = 1,6
GRINDEX10	K=1,6	r = 3,1
ESOK 1.0D	K=2,73	r = 1,8
ESOK 1.1B	K=2,1	r = 2,4



Výpočtový vzorec pro koncentraci kapalin:  $r = \frac{5\%}{K}$



Obr. 35 Použité procesní kapaliny

#### 4.4 Řezné podmínky

Za řezné podmínky bylo zvoleno 5 hodnot posuvů a otáček a z nich vyplývající řezné rychlosti. Volba řezných podmínek vycházela z doporučených optimálních řezných podmínek při vrtání hliníku vrtákem z HSS.

Tab. 4 Použité řezné podmínky

Řezné podmínky pro analýzu vlivu posuvu na jakost obrobené plochy

	Řezná rychlost $v_c$ [m/min]	Posuv na otáčku $s$ [mm/ot]	Posuv minutový $f$ [mm/min]	Otáčky $n$ [ot/min]	Průměr otvoru $\varnothing$ [mm]	Hloubka otvoru $l$ [mm]
1.	40	0,025	40	1600	8	30
2.	40	0,05	80	1600	8	30
3.	40	0,075	120	1600	8	30

Řezné podmínky pro analýzu vlivu řezné rychlosti na jakost obrobené plochy

	Řezná rychlost $v_c$ [m/min]	Posuv na otáčku $s$ [mm/ot]	Posuv minutový $f$ [mm/min]	Otáčky $n$ [ot/min]	Průměr otvoru $\varnothing$ [mm]	Hloubka otvoru $l$ [mm]
1.	20	0,05	40	800	8	30
2.	40	0,05	80	1600	8	30
3.	60	0,05	120	2400	8	30

## 5. REALIZACE EXPERIMENTŮ V LABORATOŘÍCH KOM FS TUL

### Použité přístroje a pomůcky:

- Frézka FNG 32
- Vrták  $\varnothing$  8mm, nástrojový materiál – HSS
- Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC
- Drsnoměr Mitutoyo SV-2000

### 5.1 Příprava měření

#### 5.1.1 Příprava frézky FNG 35

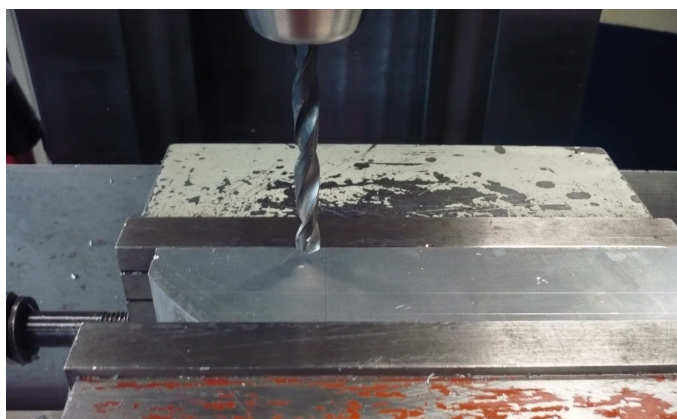
Před uvedením stroje do chodu bylo nutné zkontrolovat a případně doplnit provozní kapaliny stroje (mazací oleje), které se starají o mazání třecích a pohybových částí. Poté se před prvním obráběním musela vyčistit a propláchnout nádoba s přívodem procesní kapaliny aby nedošlo k ovlivnění měření případnými nečistotami nebo zbytky procesních kapalin v nádobě.



Obr. 36 Systém chlazení

### 5.1.2 Příprava obráběného materiálu

Obráběný polotovár z hliníku ČSN 42 4254, byl nejprve rozměřen a nařezán na rozměry 30 x 30 x 220 mm na pásové pile PILOUS AGR 300 PLUS. Připravený materiál už bylo možné upnout do svěráku a ten do stolu frézky.



Obr. 37 Připravený obrobek [28]

### 5.1.3 Příprava procesních kapalin

K ředění procesních kapalin byla použita čistá voda z řádu s neutrální hodnotou pH 7. Je důležité, aby ředící voda byla kvalitní a neobsahovala žádné příměsi, které by ovlivňovali vlastnosti následné emulze.

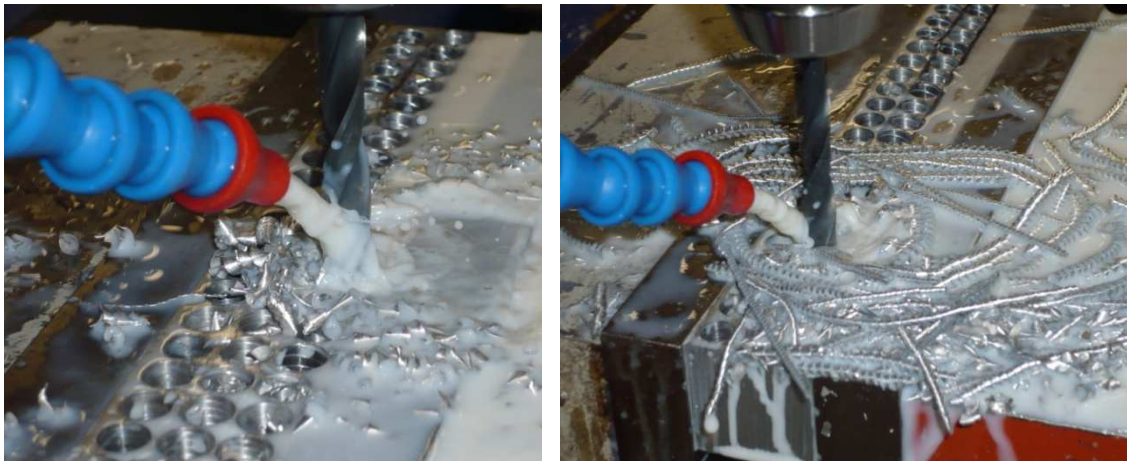
Samotné míchání se provádělo v čistých a dezinfikovaných kanystrech o objemu 25 litrů. Koncentrát se přiléval do vodou naplněného kanystru, kde se následně promíchal a vznikla tak emulze, jejíž koncentrace se měřila refraktometrem. Dle potřeby se doladil poměr kapalin, aby emulze měla odpovídající koncentraci. Při samotném měření refraktometrem bylo důležité pohlídat si správný koeficient refrakce, který není pro všechny kapaliny stejný a při každém měření se ujistit, že měřící plocha refraktometru je čistá. Jinak by mohli vznikat nepřesnosti a chyby měření vzniklé vlivem zanesených nečistot do měřené emulze. Připravená kapalina se poté přelila z kanystru do nádrčky chladicího systému frézky, odkud se samospádem dopravovala do místa řezu. Po skončení obrábění a mezi jednotlivými kapalinami se chladicí systém propláchl vodou a nevyužitá kapalina se uschovala k dalšímu obrábění. Použitá

kapalina se odčerpala a uskladnila v plechových 200 litrových sudech, odkud se pak odvážela k ekologické likvidaci.

## 5.2 Realizace vrtání

Následně po přípravě emulze v chladicím systému stroje a nastavení konkrétních řezných podmínek, mohlo dojít k samotnému procesu obrábění. Proces obrábění probíhal následovně.

Pro jednotlivé řezné podmínky se vždy postupně vyvrtalo 11 průchozích děr do materiálu s tloušťkou 30 mm vždy s jinou procesní kapalinou. Aby nedocházelo k ovlivnění měření, byl chladicí systém i obrobek při každé změně kapaliny vypláchnut čistou vodou. Otáčky vřetene a posuv stolu stroje byli během jednotlivých obrábění konstantní. Poloha každé díry byla označena samostatným číslem a polohou vůči kontrolním zářezům. Celkem tedy s 5 různými řeznými podmínkami a 11 procesními kapalinami bylo vyvrtáno 55 děr. Při jednotlivých řezných podmínkách byla navíc odebírána vzniklá tříska, která se později porovnávala a vyhodnocovala.

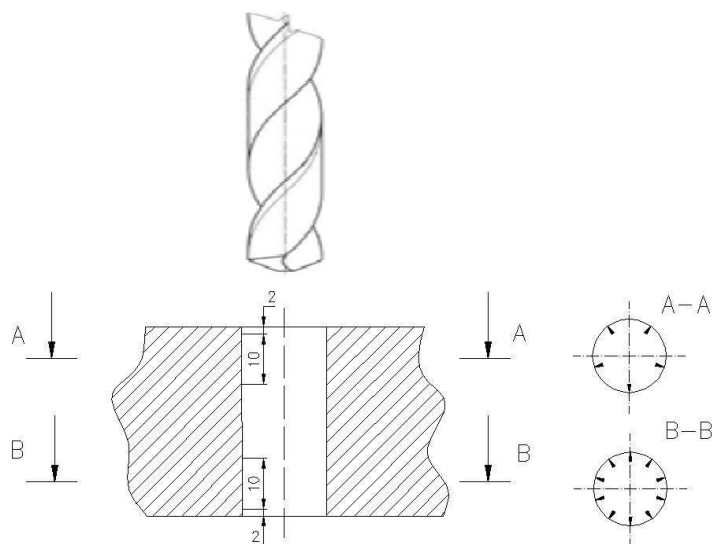


Obr. 38 Proces vrtání – Viditelné rozdíly v tvorbě třísky vlivem rozdílných řezných podmínek

### 5.3 Vyhodnocení drsnosti povrchu vyvrtaných děr

Určení hodnot drsnosti povrchu ve vyvrtaných dírách bylo prováděno pomocí drsnoměru Mitutoyo Surftest SV 2000, který je k dispozici v laboratoři KOM. Samotné vyhodnocování a elektronické zpracování probíhalo přes PC se softwarem Surfpack.

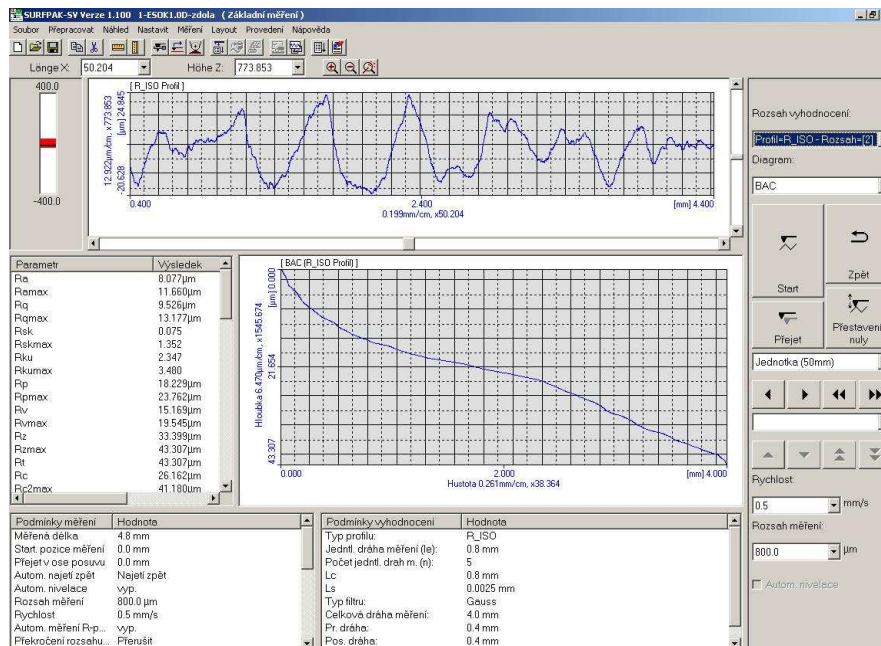
Každá díra byla měřena na počátku, tedy v místě kde vrták vnikal do obrobku a na konci, tedy v místě kde vrták vystupoval z obrobku. Přičemž zdola se měřila 10-krát a shora 5-krát. Obrobek se po každém jednotlivém měření ve svěráku pootočil a svěrák posunul, aby byly zajištěny relevantní hodnoty a průměr. Postup a popis měření je upřesněn na obr. 39. Z naměřených hodnot se dále vytvářely grafy, ze kterých se vyhodnocovali výsledky. Celkově tedy bylo provedeno 825 měření.



Obr. 39 Schéma měření drsnosti

Sledované hodnoty byly:

- Ra - Střední aritmetická úchylka profilu [ $\mu\text{m}$ ]
- Rz - Vzdálenosti mezi 5-ti nejvyššími a nejnižšími body [ $\mu\text{m}$ ]



Obr. 40 Příklad měření v softwaru Surfpack

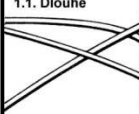
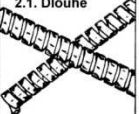

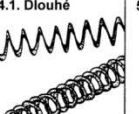
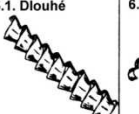
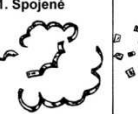
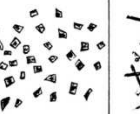


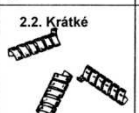

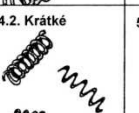

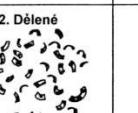
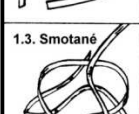
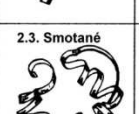
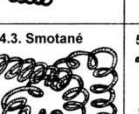
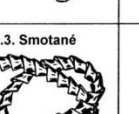
Tyto hodnoty byly pro všechny měření vyexportovány do tabulkového, obrázkového a originálního formátu softwaru Surfpack pro vyhodnocování a případnou pozdější kontrolu.

## 5.4 Vyhodnocení tvaru třísek

Třísky se odebírali během obrábění a ihned fotografovali mimo pracovní prostor stroje z důvodu lepšího kontrastu a celkové viditelnosti. Po té se uschovávala k dalšímu případnému použití nebo vyhodnocení. Tvar třísky se vyhodnocoval podle tabulky č.5 a normy ISO 3685.

V ideálním případě má tříska tvar krátký šroubovitý tvar. Nesmí však být příliš krátká, protože pak by způsobovala mikrotrhlíčky, které by mohli vést až ke zničení bříty. Dlouhá tříska je též nevhodná, z důvodu obtížného odvodu, namotávání na nástroj a potažmo i stroj a možnosti dostat se znovu do místa řezu, kde může poškodit obrobený povrch a snížit trvanlivost bříty.

Tab. 5 Vyhodnocovací tabulka tvaru třísky dle normy ISO 3685

1. Stužkové *	2. Vlnuté *	3. Spirálové *	4. Vlnité šroubovitě *	5. Kuželovité *	6. Obloukovité ♦	7. Elementární	8. Jehlovité
1.1. Dlouhé 	2.1. Dlouhé 	3.1. Ploché 	4.1. Dlouhé 	5.1. Dlouhé 	6.1. Spojené 		
1.2. Krátké 	2.2. Krátké 	3.2. Kuželovité 	4.2. Krátké 	5.2. Krátké 	6.2. Dělené 		
1.3. Smotané 	2.3. Smotané 		4.3. Smotané 	5.3. Smotané 			

## 6. HODNOCENÍ Vlivu ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA JAKOST OBROBENÉHO POVRCHU PŘI VRTÁNÍ.

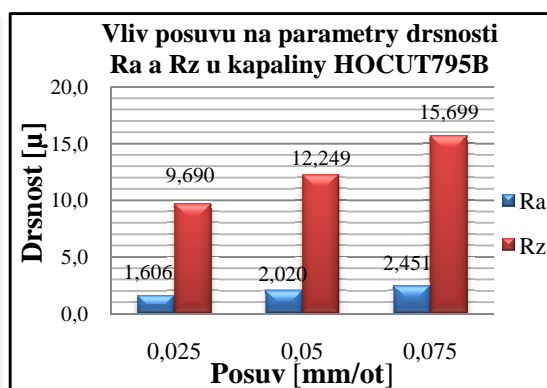
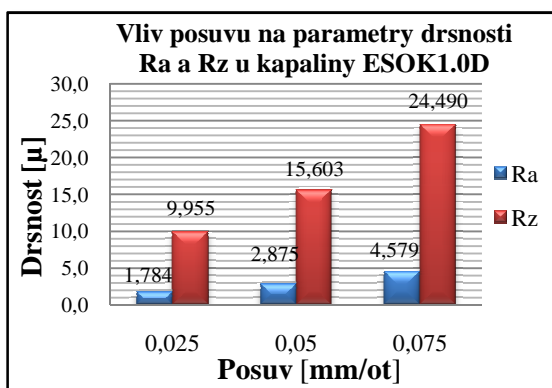
### 6.1 Vyhodnocení vlivu posuvu na jakost obrobené plochy z hlediska parametru drsnosti Ra a Rz při konstantní řezné rychlosti.

#### Vyhodnocení měření na začátku otvoru

Přehled aritmetických průměrů naměřených hodnot parametru drsnosti Ra a Rz měřených na začátku otvoru je zobrazen v Tab. 6. V grafech č.1 ÷ 4 jsou zobrazeny příklady graficky zpracovaných výsledků pro vybrané jednotlivé procesní kapaliny. Kompletní výsledky pro všechny kapaliny jsou obsaženy v příloze č.4. V grafu č. 5 a 6 jsou pak znázorněny výsledky pro všechny použité procesní kapaliny z hlediska parametru Ra a Rz.

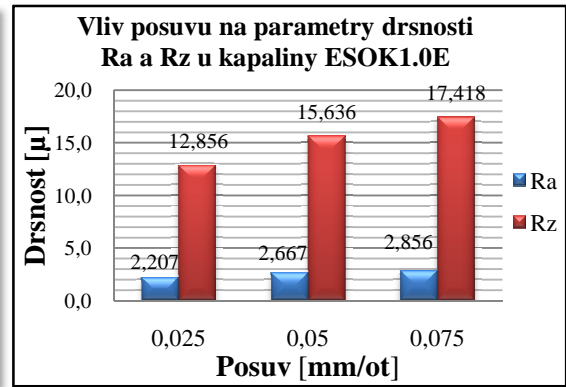
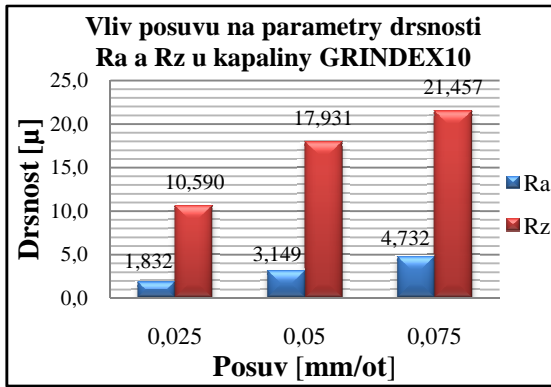
Tab. 6

PROCESNÍ KAPALINY	ŘEZNÉ PODMÍNKY ( konstantní řezná rychlost $v_c = 40$ m/min)					
	PRŮMĚRNÉ HODNOTY DRSNOSTI					
	n=1600 min <sup>-1</sup> f=40mm/min		n=1600 min <sup>-1</sup> f=80mm/min		n=1600 min <sup>-1</sup> f=120mm/min	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
BLASOCUT	1,903	11,044	2,029	12,510	2,794	14,973
EOPS 1030	1,627	11,168	2,587	16,129	2,598	17,439
HOCUT795B	1,606	9,690	2,020	12,249	2,451	15,699
VASCO1000	1,748	11,050	2,139	12,270	2,971	19,497
CIMSTAR10	1,376	10,731	1,575	11,235	2,483	15,422
ESOK 1.1D	1,784	9,955	2,809	17,766	3,006	18,092
ESOK 1.0E	2,207	12,856	2,667	15,636	2,856	17,418
ESOK 1.0F	2,771	17,363	2,881	17,572	3,924	22,680
GRINDEX10	1,832	10,590	3,149	17,931	4,732	21,457
ESOK 1.0D	1,784	9,955	2,875	15,603	4,579	24,490
ESOK 1.1B	3,030	15,415	4,017	22,203	5,459	25,314

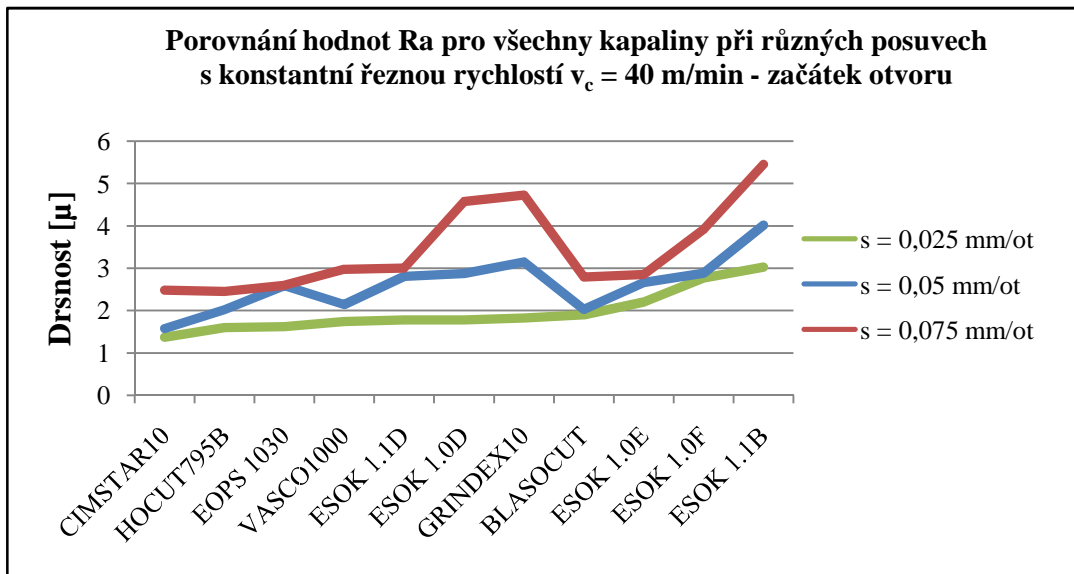


Grafy 1, 2

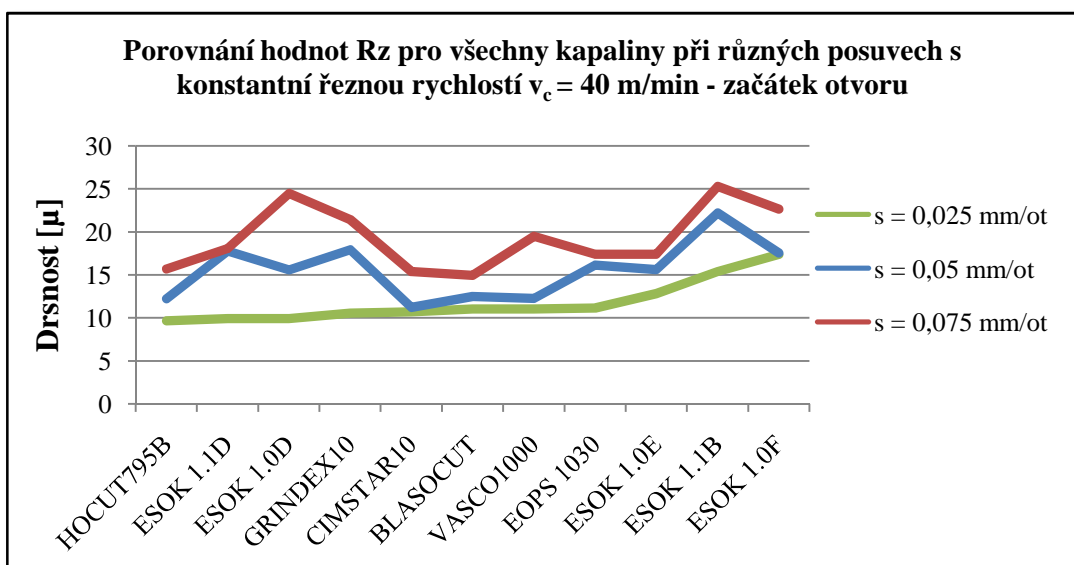




Grafy 3, 4



Graf č. 5



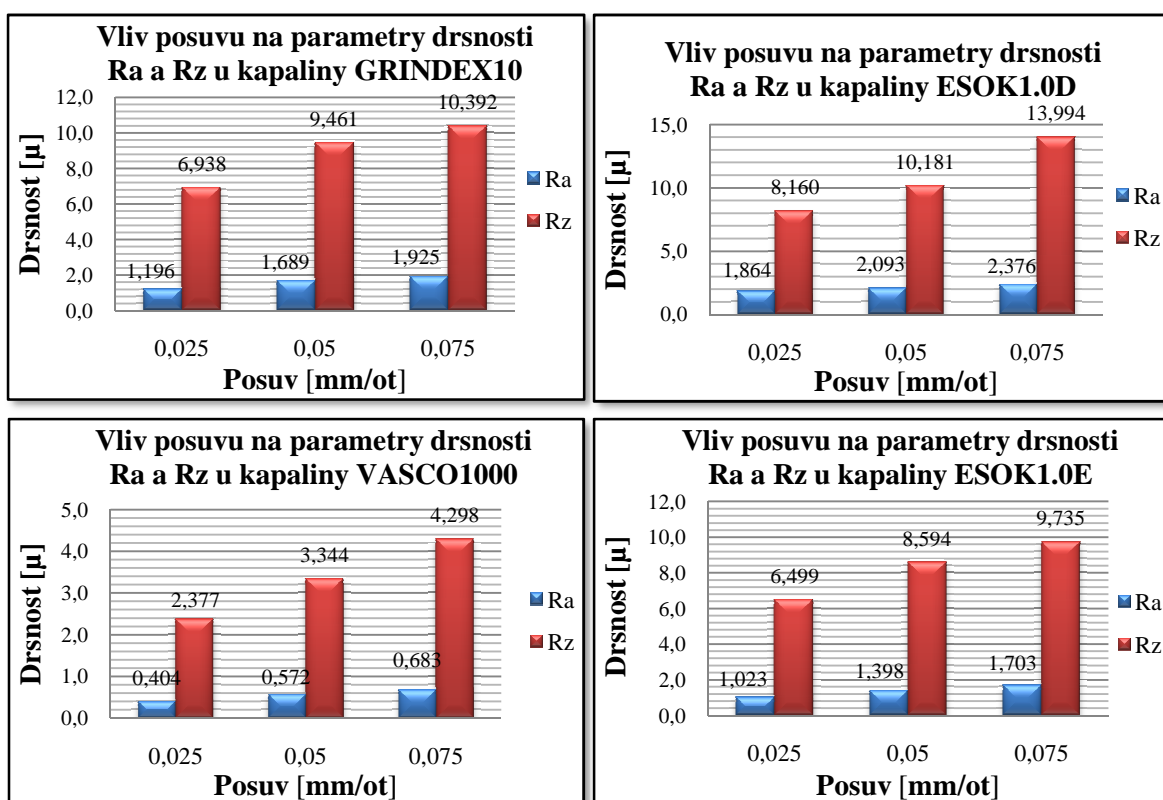
Graf č. 6

## Vyhodnocení měření na konci otvoru

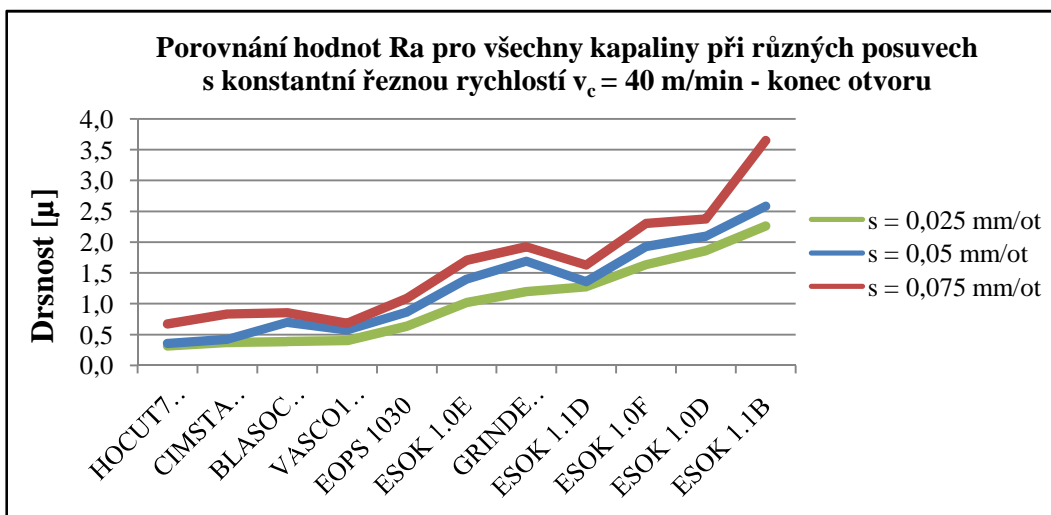
Přehled aritmetických průměrů naměřených hodnot parametru drsnosti Ra a Rz měřených na konci otvoru je zobrazen v Tab. 7. V grafech č.7 ÷ 10 jsou zobrazeny příklady graficky zpracovaných výsledků pro vybrané jednotlivé procesní kapaliny. Kompletní výsledky pro všechny kapaliny jsou obsaženy v příloze č.4. V grafu č. 11 a 12 jsou pak znázorněny výsledky pro všechny použité procesní kapaliny z hlediska parametru Ra a a Rz.

Tab. 7

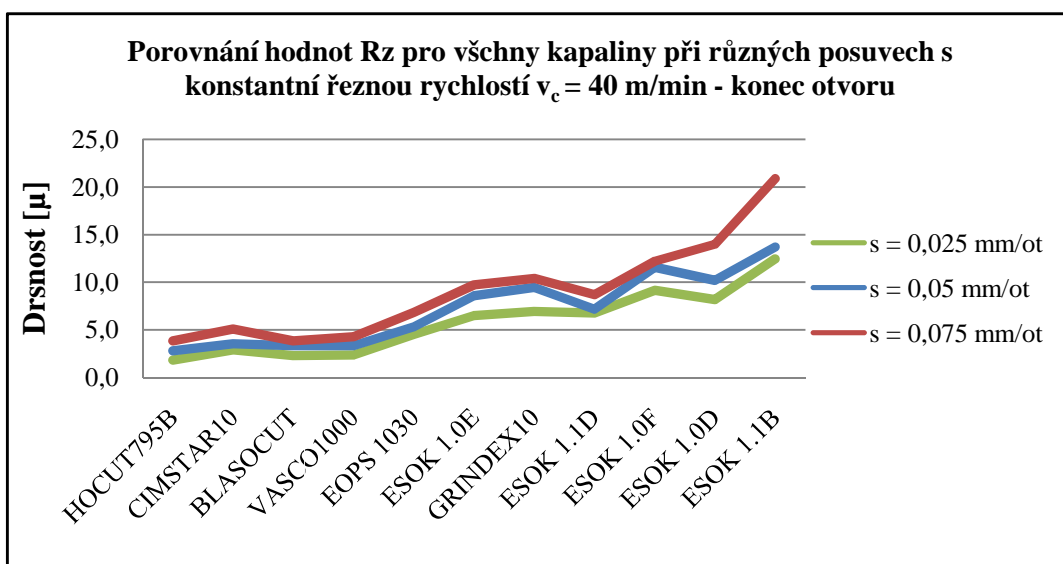
PROCESNÍ KAPALINY	ŘEZNÉ PODMÍNKY ( konstantní řezná rychlost $v_c = 40 \text{ m/min}$ )					
	PRŮMĚRNÉ HODNOTY DRSNOSTI					
	n=1600 min <sup>-1</sup> f=40mm/min		n=1600 min <sup>-1</sup> f=80mm/min		n=1600 min <sup>-1</sup> f=120mm/min	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
BLASOCUT	0,387	2,300	0,696	3,343	0,856	3,850
EOPS 1030	0,636	4,509	0,862	5,344	1,087	6,848
HOCUT795B	0,315	1,829	0,355	2,812	0,672	3,865
VASCO1000	0,404	2,377	0,572	3,344	0,683	4,298
CIMSTAR10	0,375	2,919	0,420	3,559	0,833	5,106
ESOK 1.1D	1,277	6,767	1,356	7,186	1,626	8,676
ESOK 1.0E	1,023	6,499	1,398	8,594	1,703	9,735
ESOK 1.0F	1,634	9,151	1,929	11,571	2,305	12,215
GRINDEX10	1,196	6,938	1,689	9,461	1,925	10,392
ESOK 1.0D	1,864	8,160	2,093	10,181	2,376	13,994
ESOK 1.1B	2,261	15,830	2,582	13,683	3,649	20,895



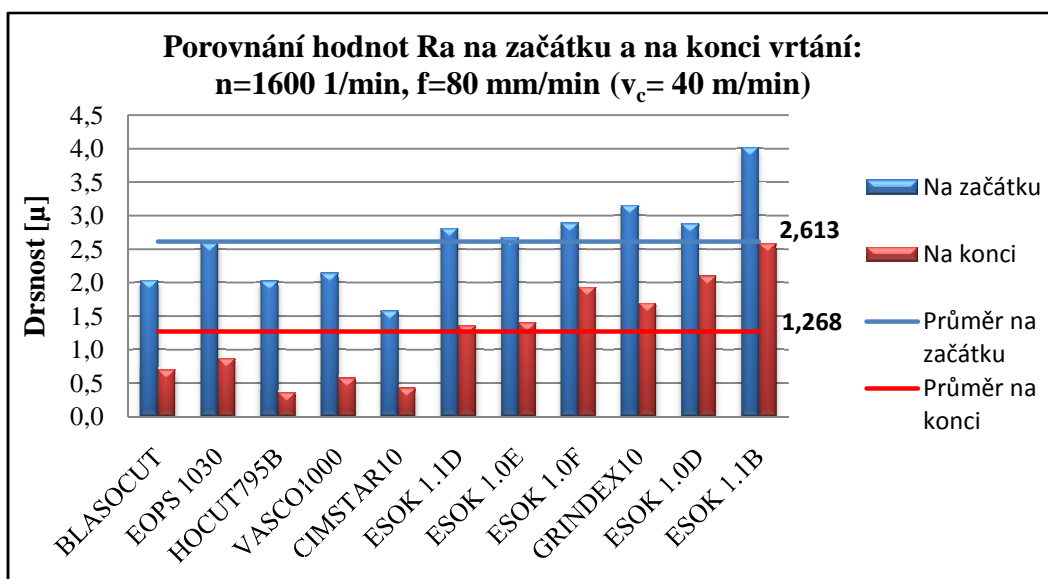
Grafy č. 7 ÷ 10



Graf č. 11



Graf č. 12



Graf č. 13

V grafu č. 13 je graficky zobrazeno vzájemné porovnání parametru drsnosti Ra na začátku a na konci otvoru. Pro porovnání byly vybrány řezné podmínky: otáčky  $n = 1600$  1/min, posuv 80 mm/min ( $s = 0,05$  mm/ot) a řezná rychlost  $v_c = 40$  m/min. Vyhodnocení pro ostatních řezné podmínky je obsaženo v příloze č. 4.

**Závěr:** Z provedených měření vyplývá, že při konstantní řezné rychlosti a se zvětšujícím se posuvem dochází ke zhoršení parametru drsnosti Ra i Rz.

Dále bylo zjištěno, že parametry drsnosti Ra a Rz jsou na počátku otvoru až 2x větší než na jeho konci.

Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra a Rz na počátku otvoru je až 2x menší než je tomu v případě na konci tohoto otvoru. Největší rozdíl dosáhl hodnoty 155% a to mezi kapalinami CIMSTAR10 a ESOK1.1B. Kapalina CIMSTAR10 dosahovala hodnoty drsnosti  $Ra = 1,379$   $\mu\text{m}$ , kapalina ESOK1.1B dosahovala hodnoty  $Ra = 3,030$   $\mu\text{m}$  při řezných podmínkách  $n = 1600$  ot/min,  $f = 40$  mm/min a  $v_c = 40$  m/min.

Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra a na konci otvoru je mnohem významnější. Největší rozdíl dosáhl hodnoty 627% a to mezi kapalinami HOCUT795B a ESOK1.1B. Kapalina HOCUT795B dosahovala hodnoty drsnosti  $Ra = 0,315$   $\mu\text{m}$ , kapalina ESOK 1.1B dosahovala hodnoty  $Ra = 2,261$   $\mu\text{m}$  při řezných podmínkách  $n = 1600$  ot/min,  $f = 40$  mm/min a  $v_c = 40$  m/min. V případě hodnoty Rz dosáhl největší rozdíl mezi těmito kapalinami 1024%. Nejlepších hodnot dosahovali kapaliny CIMSTAR10, HOCUT795B, BLASOCUT A VASCO1000.

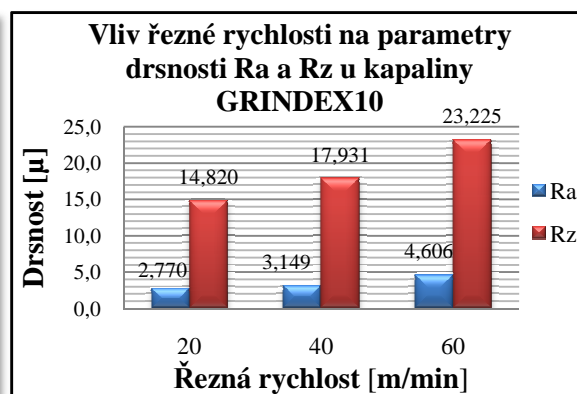
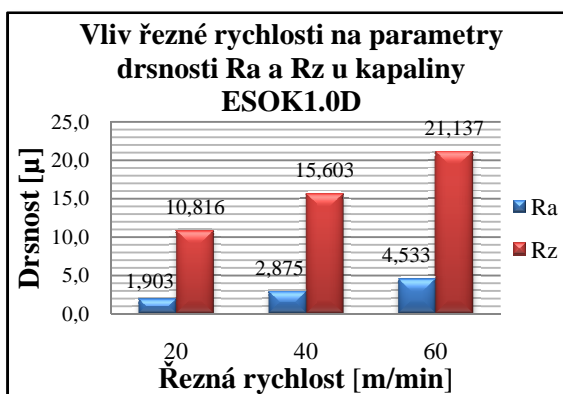
## 6.2 Vyhodnocení vlivu řezné rychlosti na jakost obrobeneé plochy z hlediska parametru drsnosti Ra a Rz při konstantním posuvu na otáčku.

### Vyhodnocení měření na začátku otvoru

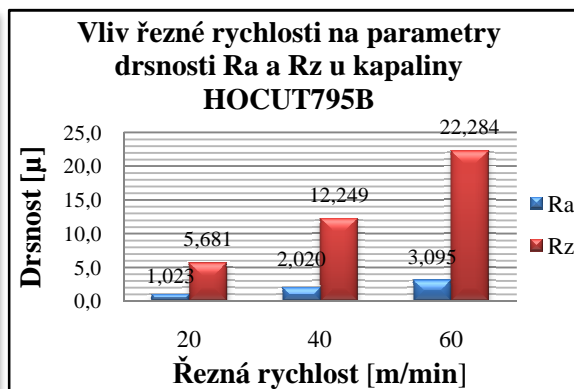
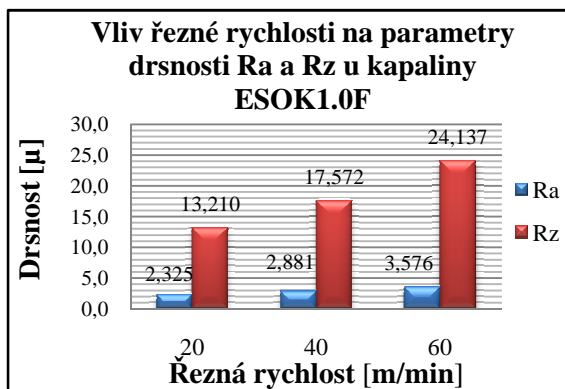
Přehled aritmetických průměrů naměřených hodnot parametru drsnosti Ra a Rz měřených na začátku otvoru je zobrazen v Tab. 8. V grafech č. 14 ÷ 17 jsou zobrazeny příklady graficky zpracovaných výsledků pro vybrané jednotlivé procesní kapaliny. Kompletní výsledky pro všechny kapaliny jsou obsaženy v příloze č.5. V grafu č. 18 a 19 jsou pak znázorněny výsledky pro všechny použité procesní kapaliny z hlediska parametru Ra a Rz.

Tab. 8

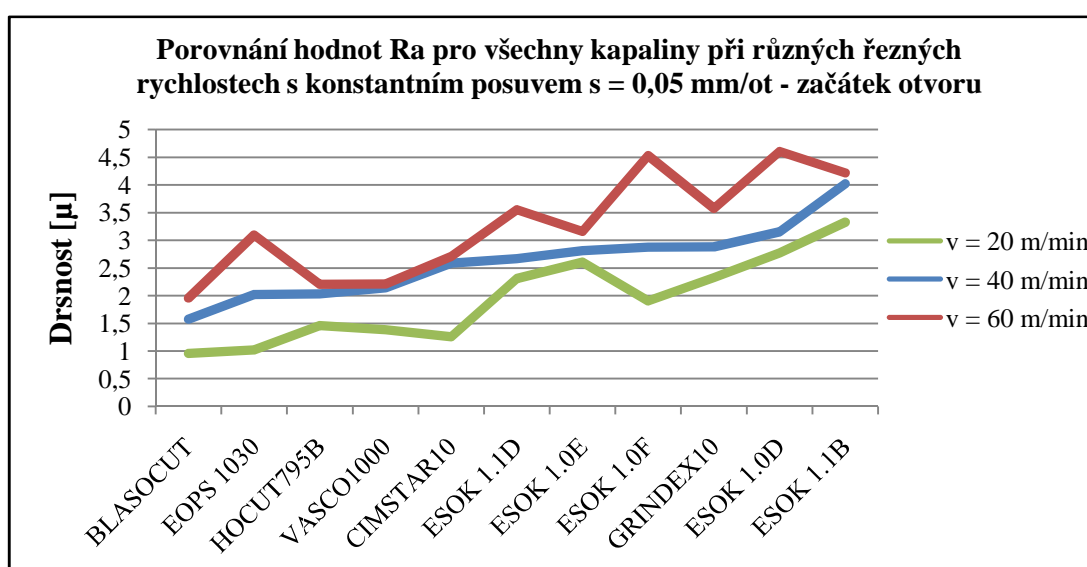
PROCESNÍ KAPALINY	ŘEZNÉ PODMÍNKY ( konstantní posuv na otáčku s = 0,05 mm/ot)					
	PRŮMĚRNÉ HODNOTY DRSNOSTI					
	n=800 min <sup>-1</sup> , f=40mm/min ( v=20 m/min)		n=1600 min <sup>-1</sup> , f=80mm/min (v=40 m/min)		n=2400 min <sup>-1</sup> , f=120mm/min (v=60 m/min)	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
BLASOCUT	1,461	7,388	2,029	12,510	2,206	13,821
EOPS 1030	1,262	7,649	2,587	16,129	2,709	19,236
HOCUT795B	1,023	5,681	2,020	12,249	3,095	22,284
VASCO1000	1,386	6,756	2,139	12,270	2,210	12,649
CIMSTAR10	0,959	5,695	1,575	11,235	1,955	11,410
ESOK 1.1D	2,601	14,060	2,809	17,766	3,157	18,135
ESOK 1.0E	2,311	13,465	2,667	15,636	3,550	21,221
ESOK 1.0F	2,325	13,210	2,881	17,572	3,576	24,137
GRINDEX10	2,770	14,820	3,149	17,931	4,606	23,225
ESOK 1.0D	1,903	10,816	2,875	15,603	4,533	21,137
ESOK 1.1B	3,325	15,211	4,017	22,203	4,217	24,034



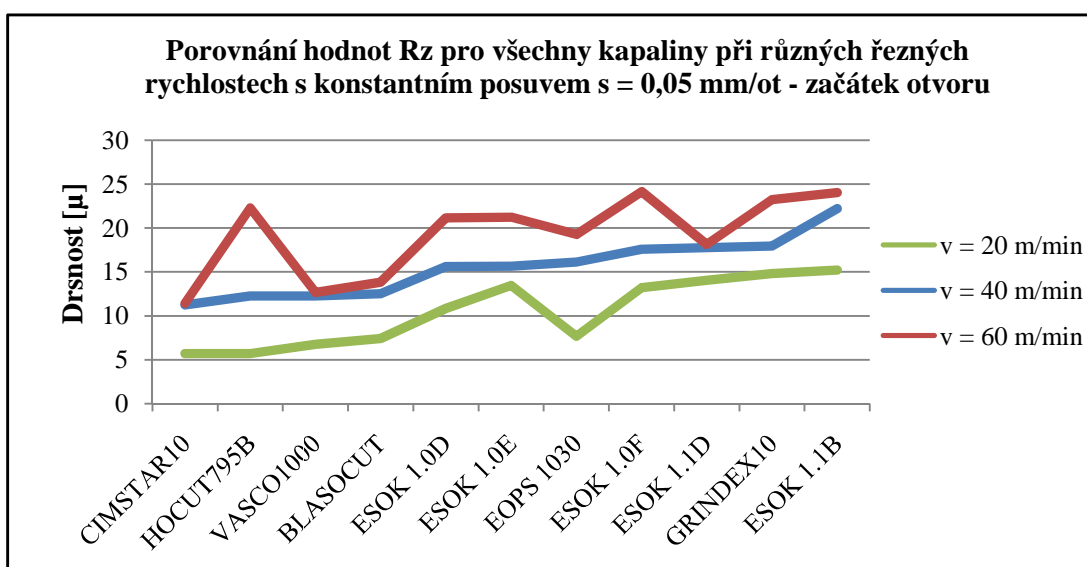
Grafy č. 14, 15



Grafy č. 16 ÷ 17



Graf č. 18



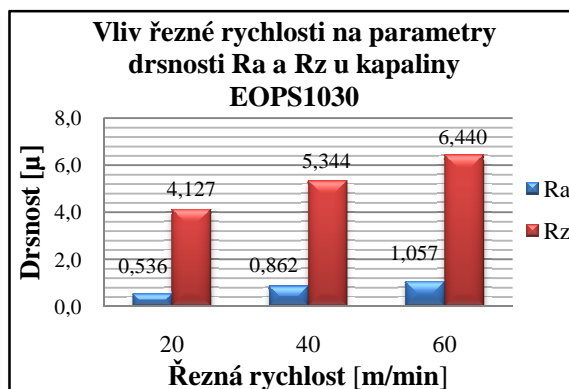
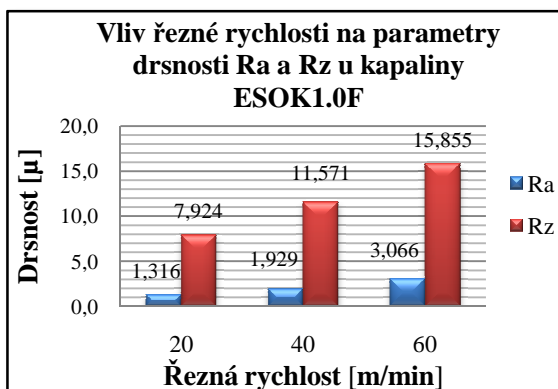
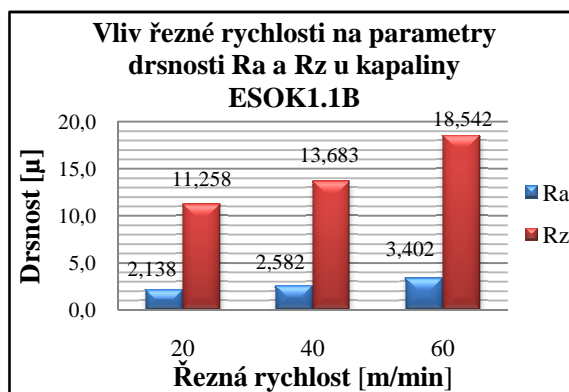
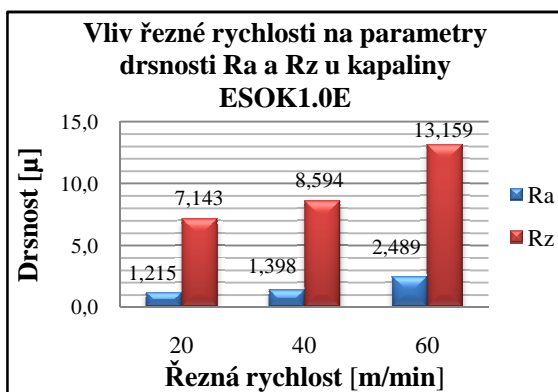
Graf č. 19

## Vyhodnocení měření na konci otvoru

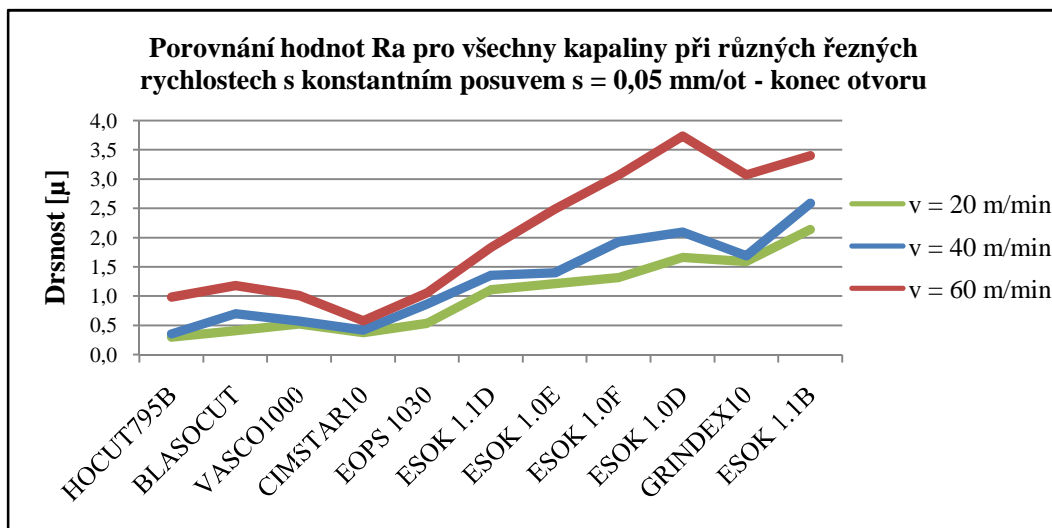
Přehled aritmetických průměrů naměřených hodnot parametru drsnosti Ra a Rz měřených na konci otvoru je zobrazen v Tab. 9. V grafech č. 20 ÷ 23 jsou zobrazeny příklady graficky zpracovaných výsledků pro vybrané jednotlivé procesní kapaliny. Kompletní výsledky pro všechny kapaliny jsou obsaženy v příloze č.5. V grafu č. 24 a 25 jsou pak znázorněny výsledky pro všechny použité procesní kapaliny z hlediska parametru Ra a a Rz.

Tab. 9

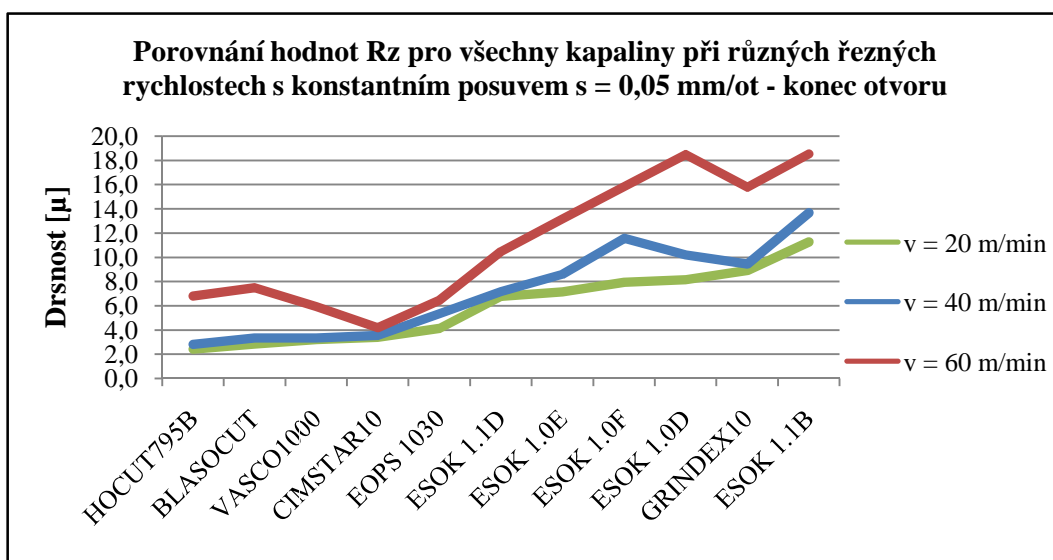
PROCESNÍ KAPALINY	ŘEZNÉ PODMÍNKY (konstantní posuv na otáčku $s = 0,05$ mm/ot)					
	PRŮMĚRNÉ HODNOTY DRSNOSTI					
	n=800 min <sup>-1</sup> , f=40mm/min (v = 20 m/min)		n=1600 min <sup>-1</sup> , f=80mm/min (v=40 m/min)		n=2400 min <sup>-1</sup> , f=120mm/min (v=60 m/min)	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
BLASOCUT	0,410	2,830	0,696	3,343	1,179	7,488
EOPS 1030	0,536	4,127	0,862	5,344	1,057	6,440
HOCUT795B	0,302	2,412	0,355	2,812	0,984	6,792
VASCO1000	0,527	3,199	0,572	3,344	1,009	5,910
CIMSTAR10	0,378	3,391	0,420	3,559	0,580	4,173
ESOK 1.1D	1,110	6,773	1,356	7,186	1,834	10,463
ESOK 1.0E	1,215	7,143	1,398	8,594	2,489	13,159
ESOK 1.0F	1,316	7,924	1,929	11,571	3,066	15,855
GRINDEX10	1,589	8,900	1,689	9,461	3,072	15,778
ESOK 1.0D	1,663	8,147	2,093	10,181	3,733	18,491
ESOK 1.1B	2,138	11,258	2,582	13,683	3,402	18,542



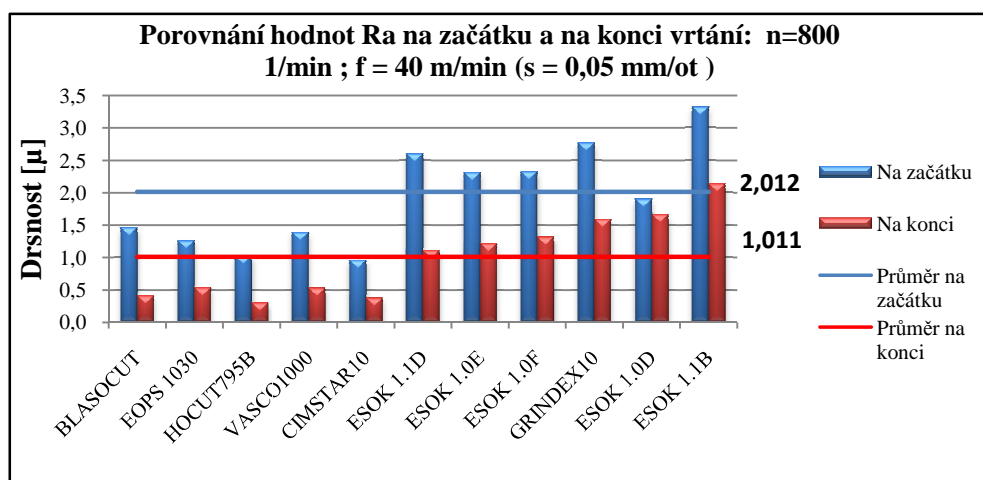
Grafy č. 20 ÷ 23



Graf č. 24



Graf č. 25



Graf č. 26



V grafu č. 26 je graficky zobrazeno vzájemné porovnání parametru drsnosti Ra na začátku a na konci otvoru. Pro porovnání byly vybrány řezné podmínky: otáčky  $n = 800$  1/min, posuv  $f = 40$  mm/min ( $s = 0,05$  mm/ot) a řezná rychlost  $v_c = 40$  m/min. Vyhodnocení pro ostatních řezné podmínky je obsaženo v příloze č. 5.

**Závěr:** Z provedených měření vyplývá, že při konstantním posuvu na otáčku s rostoucí řeznou rychlostí rostou i parametry drsnosti Ra a Rz. K čemuž dochází kvůli obtížnému zatékání procesní kapaliny se zvyšující se řeznou rychlostí.

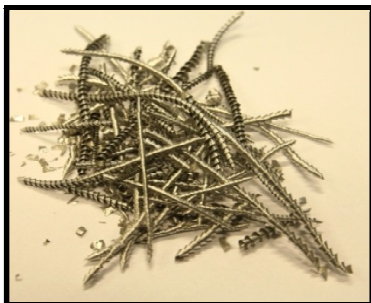
Dále bylo zjištěno, že parametry drsnosti Ra a Rz jsou na počátku otvoru až 2x větší než na jeho konci.

Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra na počátku otvoru je až 2x menší než je tomu v případě na konci tohoto otvoru. Největší rozdíl dosáhl hodnoty 246% a to mezi kapalinami CIMSTAR10 a ESOK1.1B. Kapalína CIMSTAR10 dosahovala hodnoty drsnosti  $Ra = 0,959$   $\mu\text{m}$ , kapalína ESOK1.1B dosahovala hodnoty  $Ra = 3,325$   $\mu\text{m}$  při řezných podmínkách  $n = 800$  ot/min,  $f = 40$  mm/min a  $v_c = 20$  m/min. V případě hodnoty Rz dosáhl největší rozdíl mezi těmito kapalinami 167%.

Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra a na konci otvoru je mnohem významnější. Největší rozdíl dosáhl hodnoty 627% a to mezi kapalinami HOCUT795B a ESOK1.1B. Kapalína HOCUT795B dosahovala hodnoty drsnosti  $Ra = 0,302$   $\mu\text{m}$ , kapalína ESOK1.1B dosahovala hodnoty  $Ra = 2,138$   $\mu\text{m}$  při řezných podmínkách  $n = 800$  ot/min,  $f = 40$  mm/min a  $v_c = 20$  m/min. V případě hodnoty Rz dosáhl největší rozdíl mezi těmito kapalinami 386%. Nejlepších hodnot z hlediska vlivu na jakost obrobeneé plochy dosahovali kapaliny CIMSTAR10, HOCUT795B, BLASOCUT a VASCO1000.

### 6.3 Vyhodnocení vlivu řezných podmínek na tvorbu třísky

#### Analýza vlivu posuvu na tvorbu třísky



Tříska při řezných podmínkách:

$v_c = 40$  m/min;  $s = 0,025$  mm/ot ( $f = 40$  mm/min);

$n = 1600$  ot/min;

**Hodnocení: Kuželovitá šroubovitá tříska, dlouhá.**

**Skupina 5.1**



Tříska při řezných podmínkách:

$v_c = 40$  m/min;  $s = 0,05$  mm/ot ( $f = 80$  mm/min);

$n = 1600$  ot/min;

**Hodnocení: Kuželovitá šroubovitá tříska, krátká.**

**Skupina 5.2**



Tříska při řezných podmínkách:

$v_c = 40$  m/min;  $s = 0,075$  mm/ot ( $f = 120$  mm/min);

$n = 1600$  ot/min;

**Hodnocení: Kuželovitá šroubovitá tříska, krátká.**

**Skupina 5.2**

Obr. 41 ÷ 43

**Závěr:** Bylo zjištěno, že se zvětšujícím se posuvem dochází k tvorbě kratší třísky.

Vliv procesních kapalin na tvorbu třísky byl téměř bezvýznamný.

V rozsahu posuvu  $0,025 \div 0,075$  mm/ot nedošlo k namotávání třísky na nástroj.

## Analýza vlivu řezné rychlosti na tvorbu třísky



Tříska při řezných podmínkách:

$v_c = 20 \text{ m/min}$ ;  $f = 40 \text{ mm/min}$  ( $s = 0,05 \text{ mm/ot}$ );  
 $n = 800 \text{ ot/min}$ ;

**Hodnocení:** Kuželovitá šroubovitá tříska, krátká.



Tříska při řezných podmínkách:

$v_c = 40 \text{ m/min}$ ;  $f = 80 \text{ mm/min}$  ( $s = 0,05 \text{ mm/ot}$ );  
 $n = 1600 \text{ ot/min}$ ;

**Hodnocení:** Kuželovitá šroubovitá tříska, krátká.



Tříska při řezných podmínkách:

$v_c = 60 \text{ m/min}$ ;  $f = 120 \text{ mm/min}$  ( $s = 0,05 \text{ mm/ot}$ );  
 $n = 2400 \text{ ot/min}$ ;

**Hodnocení:** Kuželovitá šroubovitá tříska, dlouhá.

Obr. 44 ÷ 46

**Závěr:** Bylo zjištěno, že za daných řezných podmínek se zvyšující se řeznou rychlostí roste i délka vzniklé třísky. Vliv procesních na tvorbu třísky byl téměř bezvýznamný.

V rozsahu řezné rychlosti  $20 \div 60 \text{ m/min}$  nedošlo k namotávání třísky na nástroj.

## 7. SHRUTÍ A ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ A VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ

Závěr analýzy vlivu posuvu při konstantní řezné rychlosti na jakost obrobené plochy z hlediska parametru drsnosti Ra a Rz při vrtání:

- Z provedených měření vyplývá, že při konstantní řezné rychlosti a se zvětšujícím se posuvem dochází ke zhoršení parametru drsnosti Ra i Rz. Dále bylo zjištěno, že parametry drsnosti Ra a Rz jsou na počátku otvoru až 2x větší než na jeho konci.

Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra a Rz na počátku otvoru je až 2x menší než je tomu v případě na konci tohoto otvoru. Největší rozdíl dosáhl hodnoty 155% a to mezi kapalinami CIMSTAR10 a ESOK1.1B. Kapalina CIMSTAR10 dosahovala hodnoty drsnosti Ra = 1,379  $\mu\text{m}$ , kapalina ESOK1.1B dosahovala hodnoty Ra = 3,030  $\mu\text{m}$  při řezných podmínkách  $n = 1600 \text{ ot/min}$ ,  $f = 40 \text{ mm/min}$  a  $vc = 40 \text{ m/min}$ . Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra a na konci otvoru je mnohem významnější. Největší rozdíl dosáhl hodnoty 627% a to mezi kapalinami HOCUT795B a ESOK1.1B. Kapalina HOCUT795B dosahovala hodnoty drsnosti Ra = 0,315  $\mu\text{m}$ , kapalina ESOK 1.1B dosahovala hodnoty Ra = 2,261  $\mu\text{m}$  při řezných podmínkách  $n = 1600 \text{ ot/min}$ ,  $f = 40 \text{ mm/min}$  a  $vc = 40 \text{ m/min}$ . V případě hodnoty Rz dosáhl největší rozdíl mezi těmito kapalinami 1024%. Nejlepších hodnot dosahovali kapaliny CIMSTAR10, HOCUT795B, BLASOCUT a VASCO1000.

Závěr analýzy vlivu řezné rychlosti při konstantním posuvu na jakost obrobené plochy z hlediska parametru drsnosti Ra a Rz při vrtání:

- Z provedených měření vyplývá, že při konstantním posuvu na otáčku s rostoucí řeznou rychlostí rostou i parametry drsnosti Ra a Rz. K čemuž dochází kvůli obtížnému zatékání procesní kapaliny se zvyšující se řeznou rychlostí.

Dále bylo zjištěno, že parametry drsnosti Ra a Rz jsou na počátku otvoru až 2x větší než na jeho konci.

Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra na počátku otvoru je až 2x menší než je tomu v případě na konci tohoto otvoru. Největší rozdíl dosáhl hodnoty 246% a to mezi kapalinami CIMSTAR10 a ESOK1.1B. Kapalina CIMSTAR10 dosahovala hodnoty drsnosti Ra = 0,959  $\mu\text{m}$ , kapalina ESOK1.1B dosahovala hodnoty Ra = 3,325  $\mu\text{m}$  při řezných podmínkách  $n = 800 \text{ ot/min}$ ,  $f = 40 \text{ mm/min}$  a  $v_c = 20 \text{ m/min}$ . V případě hodnoty Rz dosáhl největší rozdíl mezi těmito kapalinami 167%.

Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra a na konci otvoru je mnohem významnější. Největší rozdíl dosáhl hodnoty 627% a to mezi kapalinami HOCUT795B a ESOK1.1B. Kapalina HOCUT795B dosahovala hodnoty drsnosti Ra = 0,302  $\mu\text{m}$ , kapalina ESOK1.1B dosahovala hodnoty Ra = 2,138  $\mu\text{m}$  při řezných podmínkách  $n = 800 \text{ ot/min}$ ,  $f = 40 \text{ mm/min}$  a  $v_c = 20 \text{ m/min}$ . V případě hodnoty Rz dosáhl největší rozdíl mezi těmito kapalinami 386%. Nejlepších hodnot z hlediska vlivu na jakost obrobené plochy dosahovali kapaliny CIMSTAR10, HOCUT795B, BLASOCUT a VASCO1000.

Závěr analýzy vlivu řezných podmínek na tvorbu třísky při vrtání:

Z analýzy vlivu řezné rychlosti na tvorbu třísky vyplývá, že s rostoucí řeznou rychlostí roste i délka třísky. V rozsahu řezných rychlostí  $v_c = 20 \div 60 \text{ m/min}$  nedošlo k namotávání třísky na nástroj.

Z analýzy vlivu posuvu na tvorbu třísky vyplývá, že se zvětšujícím se posuvem dochází k tvorbě kratší třísky. V rozsahu posuvu  $s = 0,025 \div 0,075 \text{ mm/ot}$  nedošlo k namotávání třísky na nástroj.

Vliv procesních kapalin na tvorbu třísky byl téměř zanedbatelný.

- Z hlediska vlivu procesních kapalin na jakost obrobené plochy při vrtání dosahovali nejlepších výsledků kapaliny CIMSTAR10, HOCUT795B, BLASOCUT a VASCO1000.

## Seznam použité literatury:

- [1] JERSÁK, J., Základní pojmy, podstata technologie obrábění – přednáška č. 2. Technická univerzita v Liberci – Katedra obrábění a montáže
- [2] HUMÁR, A. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 2. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie". Brno: VUT Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2004. 94 s. Dostupné na World Wide Web: <[http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI\\_TO-2cast.pdf](http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/TI_TO-2cast.pdf)>.
- [3] HUMÁR, A. Technologie I – technologie obrábění – sylabus. Brno: VUT Brno, 2003. K dispozici na adrese <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>
- [4] J. LOLEK: Procesní kapaliny používané na CNC strojích: bakalářská práce, VUT Brno 2012
- [5] M. PECHÁČEK: Vliv řezných kapalin na výsledky obrábění: bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009
- [6] Vyšlo v MM : 2007 / 5, 23.05.2007 v rubrice Trendy / Průmyslové kapaliny, Strana 54
- [7] Informační stránky firmy zaměřující se na filtraci a procesní kapaliny - k dispozici online na <http://filtrace.com/centralni-filtrace-emulzi-a-chladicich-oleju/>
- [8] Produktová příručka Walter Tools s.r.o – Dokonalý závit, k dispozici online na adrese <http://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/manuals/cs-cz/handbook-drilling-threading-2009-cz.pdf>
- [9] Vyšlo v článku Nástroje se směrovaným přívodem chladicí kapaliny pod vysokým tlakem k dispozici online na adrese <http://www.mmspektrum.com/novinka/nastroje-se-smerovanim-privodem-chladici-kapaliny-pod-vysokym-tlakem.html>
- [10] Vyšlo v MM : 2008 / 3, 19.03.2008 v rubrice Inovace / Obrábění, Strana 68

- [11] MŠMT. Volba a optimalizace řezných podmínek pro progresivní výrobní technologie. Moderní metody testování řezných nástrojů. 6. výukový modul Inovované učební texty – přednášky.
- [12] z článku MQL Explained: Articles and Video, k dispozici na adrese <http://www.mmsonline.com/blog/post/mql-explained-articles-and-video>
- [13] Vyšlo v MM : 2014 / 3, 11.03.2014 v rubrice Výroba / Obrábění, Strana 62
- [14] KOLNEROVÁ, M., Povrchy plechů - Mikrogeometrie povrchu povlaku plechů, studijní materiály, Technická Univerzita Liberec
- [15] KARÁSEK, J. Drsnost povrchu. Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, 2001. K dispozici na [http://www.kom.tul.cz/soubory/mm\\_pod.zip](http://www.kom.tul.cz/soubory/mm_pod.zip)
- [16] Kruhové vzorky drsnosti povrchu VP-031-5 broušení a laúování, k dispozici na adrese <http://www.nastrojenaradi.cz/kruhove-vzorky-drsnosti-povrchu-vp-031-5-brouseni-obvodove-lapovani>
- [17] ŠŇUPÁREK, P., MAREK, M., Technická dokumentace – drsnost povrchu. VŠB-TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky elektrických strojů a přístrojů – KAT 453
- [18] Kontrola a měření ve strojírenství, Střední průmyslová škola v Teplicích, Úloha měření drsnosti povrchu. K dispozici na adrese [http://sps.watzke.cz/dl/KOM/ULOHA\\_3.1.4\\_MERENI\\_DRSNOSTI\\_POVRCHU.pdf](http://sps.watzke.cz/dl/KOM/ULOHA_3.1.4_MERENI_DRSNOSTI_POVRCHU.pdf)
- [19] Bumbálek Bohumil, Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti dané plochy pro její funkci
- [20] VASILKO, K.: Teoria a prax trieskového obrábania. 1.vyd. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technické univerzity v Košiciach, so sídlom v Prešove. 2009. 523 s. ISBN 978-80-553-0152-5

- [21] VASILKO, K.: Analytická teória trieskového obrábania. 1.vyd. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technické univerzity v Košiciach, so sídlom v Prešove. 2007. 481 s. ISBN 978-80-8073-759-7
- [22] KOČMAN K., PROKOP J. Technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2
- [23] MISAN. Soustružení bez chvění. Technický měsíčník MM Průmyslové spektrum. Duben 2014. Číslo 4. ISSN 1212-2572
- [24] KULKARNI, P.P., KIRAN, J.O., DEELEPKUMAR, S.G.: International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST) Vol 6. No.3. 2014. 69-75 s. ISSN: 0975- 5462
- [25] SELVARAJ, D.P., CHANDRAMOHAN, P., MOHANRAJ, M.: Optimisation of surface roughness, cutting force and tool wear of nitrogen alloyed duplex stainless steel in a dry running process usány Taguchi method. Measurement 49. 2014. 205-215
- [25] BROŽEK M. Cutting conditions when turning overlays. Journal of Materials Processing Technology 168. 2005. 488-495 s.
- [26] DeGARMO, E., BLACK, T., KOHSER, R.: Materials and processes in manufacturing. London: Prentice-Hall. 1997. 1259 s. ISBN 0-02-946140-5
- [27] FLODR, Vojtěch. Testování řezných nástrojů povlakovaných nanokrystalickými povlaky. Diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. s. 68. Vedoucí práce doc. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.
- [28] Geometrie břitu vrtáků a jejich jednotlivé druhy – k dispozici na adrese <http://www.tumlikovo.cz/druhy-vrtaku/>
- [29] JERSÁK, J., Řezné podmínky, Teorie obrábění – přednáška č. 8. Technická univerzita v Liberci – Katedra obrábění a montáže
- [30] JERSÁK, J., Teplo a teploty při obrábění, opotřebení řezných nástrojů, Technologie III, Technická univerzita v Liberci – Katedra obrábění a montáže



## **Seznam příloh**

- Příloha 1: Technické parametry frézky FNG 32
- Příloha 2: Technické parametry drsnoměru Mitutoyo SV-2000 N2
- Příloha 3: Materiálový list hliníku EN AW 2030
- Příloha 4: Kompletní výsledky vyhodnocení vlivu posuvu na jakost obrobeneé plochy
- Příloha 5: Kompletní výsledky vyhodnocení vlivu řezné rychlosti na jakost obrobeneé plochy

## Příloha 1

### Technické parametry frézky FNG 32

#### TECHNICKÉ ÚDAJE

#### FNG 32

STŮL			
Rozměr pracovní plochy	mm	800 x 400	
Upínací drážky – počet		7	
– šířka a rozteč	mm	14 x 50	
Maximální zatížení stolu	kg	350	
Pracovní zdvih – podélný (X)	mm	600	
– příčný (Y)	mm	400	
– svislý (Z)	mm	400	
Posuvy – počet stupňů		plynule	
– rozsah X, Y	mm/min.	15–1 000	
– rozsah Z	mm/min.	6–400	
Rychloposuv X, Y	mm/min.	2 000	
Z	mm/min.	800	
HORIZONTÁLNÍ VŘETENO			
Vzdálenost osy vřetene od plochy pevného stolu	mm	148–548	
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000	
Počet rychlostních stupňů		2	
Razení otáček		plynulé	
VERTIKÁLNÍ VŘETENO			
Vzdálenost osy vřetene od vedení stojanu	mm	250–650	
Rozsah otáček – plynule	ot/min	50–4 000	
Počet rychlostních stupňů		2	
Razení otáček		plynulé	
Natočení vřetene		± 90°	
Výsuv pinoly	mm	80	
Upínání nástroje		pneu-hydraulické	
STROJ			
Výkon hlavního motoru	KW	4,0	
Výkon posuvového motoru	KW	1,1	
Čekkový příkon	KVA	22	
Hmotnost	kg	2 500	
Zastavěná plocha	mm	2 070 x 2 120	
Výška	mm	2 115	

#### PROVEDENÍ STROJE

##### Standardní provedení:

- pneumaticko-hydraulické upínání nástroje
- pevný úhlový stůl o rozměrech 800 x 400 mm
- vertikální hlava s odklápěčem
- frekvenční měnič v pohonu vřetene
- hrubý a jemný výsuv pinoly
- strojní posuvy X, Y, Z (plynule nastavitelné posuvy)
- ruční kola na osách X, Y a Z s odměřovacími číselníky s dělením 0,01 mm
- centrální mazání s dávkovači
- chlazení nástroje
- elektrovýzbroj pro napětí 3 x 400 V/50 Hz
- nátěr stroje – modrošedá barva odstín RAL 5010 / RAL 9002
- Osvětlení pracovního prostoru
- Kryt pracovního prostoru

##### Jiné provedení:

(nutno uvést v objednávce)

- stroj se stolem otočným a sklopným TU32N, upínací plocha Ø 600 x 400 mm
- stroj s ramenem a podpěrným ložiskem LFH32N
- kuličkové šrouby v osách X a Y
- kryt svislého vedení
- provedení pro palcovou odměřovací soustavu
- elektrická výzbroj pro hodnoty napětí jiné než 3 x 400 V/50 Hz
- jiný barevný odstín
- vybavení stroje číselnicovou indikací polohy

##### NORMÁLNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ:

Nádoba na třísky

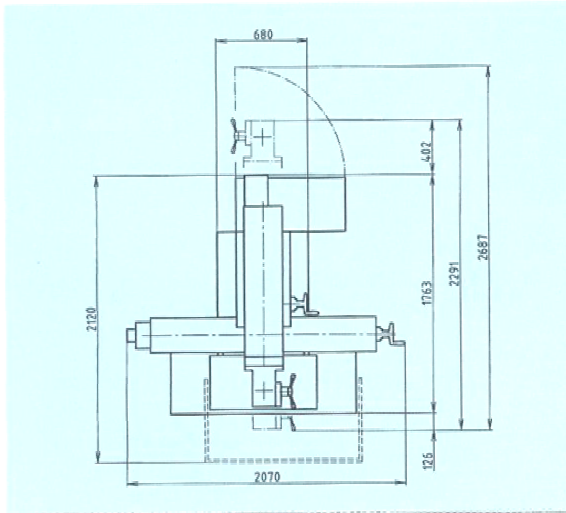
1 ks upínací koncovka 311 11 2328.00

Krátký frézovací trn 40 x 22 x 37

##### ZVLÁŠTNÍ PŘÍSLUŠENSTVÍ

(dodává se na zvláštní objednávku za příplatek)

Obráběcí hlava	IOB 32N
Dělicí přístroj jednoduchý	DJ 250A
Otočný stůl s dělicím zařízením	320
Strojní svěrák pevný	125
Točnice	125
Strojní svěrák otočný a sklopný	125
Strojní svěrák samostředící	125
Frézovací trny krátké	40 x 16 x 29 40 x 22 x 19 40 x 22 x 37 40 x 27 x 47 40 x 32 x 60
Frézovací trn dlouhý (pro rameno s podpěrným ložiskem)	40 x 22 x 500 40 x 27 x 500 40 x 32 x 500 40 x 40 x 500
Redukční pouzdra	40 x 30 40 x 2 40 x 3
Vrtačkové sklíčidlo tříčelistové	13-B12
Trn pro vrtačkové sklíčidlo	B12 x 2
Upínací pouzdra se sadou vložek	40 x 16 40 x 28



**TOS Olomouc, s.r.o.**  
Tovární 1180/30, 779 00 Olomouc-Hodolany  
tel: +420 587 404 309  
fax: +420 587 404 253  
e-mail: prodej@tos-olomouc.cz  
http: www.tos-olomouc.cz

## Příloha 2

Technické parametry drsnoměru Mitutoyo SV-2000 N2 [22]

Špičková technologie s hlubokou znalostí pro plnohodnotné měření jakosti povrchu v měrovém středisku i laboratoři.

# SV-2000

Zdvih (rozsah osy Z): 800  $\mu\text{m}$   
Posuv (rozsah osy X): 50 mm

## SURFTEST SV-2000

Perfektní měření vzhledem k referenční rovině v mobilním i stacionárním nasazení.

- měření drsnosti, vlnitosti a primárního profilu
- funkce automatické kalibrace se všemi snímači
- zdvih snímače 800  $\mu\text{m}$
- dělení 0,0001  $\mu\text{m}$
- posuv volitelný (osa X) 50 mm
- nejmenší Cut-off 0,025 mm
- odchylka přímosti vedení 0,3  $\mu\text{m}/50\text{ mm}$
- přímost vedení zajištěna keramikou
- početné snímači doteky pro různé měřicí úholy
- jednoduchá výměna snímače
- možnost připojení systému na PC
- standardně se software SURFPAK
- bohaté spektrum příslušenství



Vyhodnocení v software SURFPAK-SV



Software SURFPAK-SV

### 55 parametrů

Ra, Rq, Ry, Rz, R3z, Rt, Rp, Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2, S, Sm, Pc, mc, A1, A2, Rv, R, Rx, W, Wx, Wte, mrd, HSC, AW, AR, Vo,  $\Delta a$ ,  $\Delta q$ , Ku,  $\delta c$ , Lo, Sk, Rt<sub>z</sub>, R3z<sub>i</sub>, R3y, Rc, Rpmax, Rpi, Rvmax, plateau ratio,  $\lambda a$ ,  $\lambda q$ , Lr, SR, SAR, NR, NCRX, CPM, SW, SAW, NW, Vo



**Mitutoyo**

### Příloha 3

Materiálový list hliníku EN AW 2030

ČSN EN 573 STN EN 573 TŘÍDÍCÍ ZNAK 42 1401		Slitina hliníku tvářená pro všeobecné účely								SLITINA EN AW-2030 [AlCu4PbMg]		
Chemické složení [hm. %]												
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Bi	Pb	Ti	ostatní		Al
										jednotl.	celkem	
0,8	0,7	3,3-4,5	0,20-1,0	0,50-1,3	0,10	0,50	0,20	0,8-1,5	0,20	0,10	0,30	zbytek
Polotovary												
[1]	tyče a trubky tažené za studena					ČSN EN 754-1	1)					
						ČSN EN 754-2 (42 4085)	2)					
	– tyče kruhové					ČSN EN 754-3	3*)					
	– tyče čtvercové					ČSN EN 754-4	3*)					
	– tyče ploché					ČSN EN 754-5	3*)					
	– tyče šestihranné					ČSN EN 754-6	3*)					
	– trubky bezešvé					pr ČSN EN 754-7	3*)					
	– trubky lisované komorovou maticí					pr ČSN EN 754-8	3*)					
[2]	lisované tyče, trubky a profily					ČSN EN 755-1 (42 1419)	1)					
						ČSN EN 755-2 (42 4086)	2)					
	– tyče kruhové					ČSN EN 755-3 (42 7511)	3)					
	– tyče čtvercové					ČSN EN 755-4 (42 7521)	3)					
	– tyče ploché					ČSN EN 755-5 (42 7525)	3)					
	– tyče šestihranné					ČSN EN 755-6 (42 7531)	3)					
	– trubky bezešvé					pr ČSN EN 755-7	3*)					
	– trubky lisované komorovou maticí					pr ČSN EN 755-8	3*)					
	– profily					pr ČSN EN 755-9	3*)					
Mechanické vlastnosti												
Polotovary	tyče [1]			trubky [1]								
	Rozměr D, S, e [mm] <sup>4)</sup>	D, S ≤ 30	30 < D, S ≤ 80	D, S ≤ 80	e ≤ 20							
Stav	T3			T351	T3, T3510-11							
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	240			240	240							
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	370			370	370							
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	5 (7)			3 (5)	5 (7), 3 (5)							
Tvrdość HB	–			–	–							
Polotovary	tyče [2]											
	Rozměr D, S [mm]	≤ 80	80–200	200–250								
Stav	T4, T4510, T4511											
Mez kluzu R <sub>p</sub> 0,2 [MPa]	250		210									
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	370		330									
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]	6 (8)		– (7)									
Tvrdość HB	–		–									

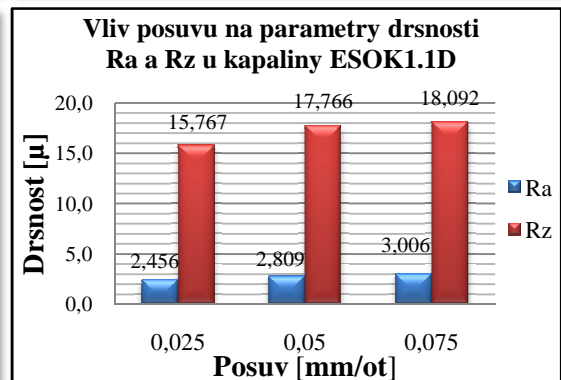
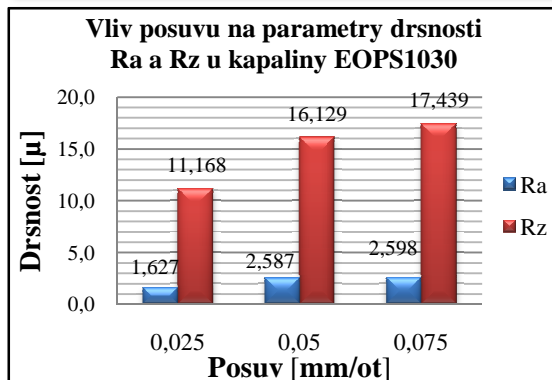
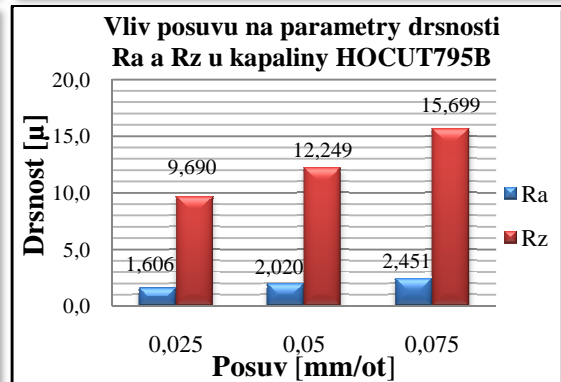
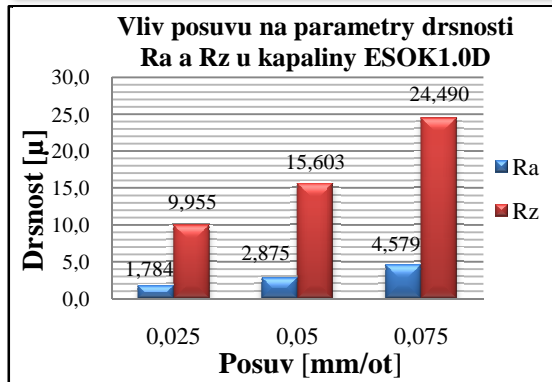
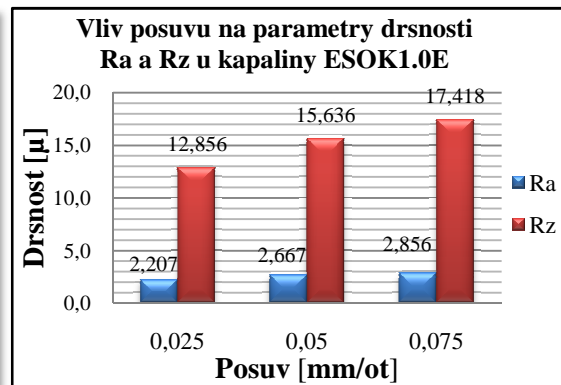
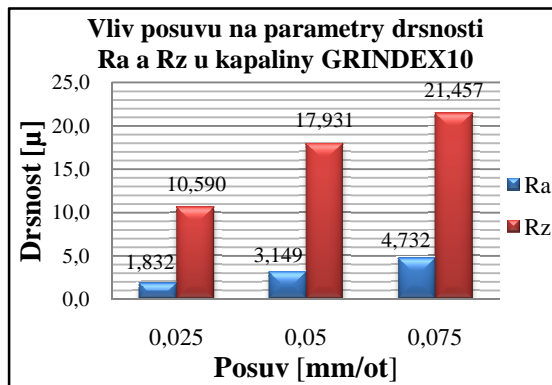
<b>Mechanické vlastnosti</b>					
Polotovary		trubky [2]		profily [2]	
Rozměr e [mm]	<sup>4)</sup>	≤ 25		≤ 30	
Stav	<sup>5)</sup>	T4, T4510, T4511		T4, T4510, T4511	
Mez kluzu R <sub>p0,2</sub> [MPa]		250		250	
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]		370		370	
Tažnost A <sub>50</sub> (A) [%]		6 (8)		6 (8)	
Tvrdość HB		-		-	
<b>Porovnání se zahraničními materiály</b>					
<i>ISO</i>		<i>EURO</i>		<i>Německo</i>	
AlCu4PbMg	ISO 209-1	-	-	-	-
<i>Francie</i>		<i>Velká Británie</i>		<i>Rusko</i>	
2030	NF A50-411	-	-	-	-
<i>USA</i>		<i>Japonsko</i>		<i>Kanada</i>	
-	-	-	-	-	-
<i>Itálie</i>		<i>Rakousko</i>		<i>Švédsko</i>	
-	-	-	-	-	-
<i>Polsko</i>		<i>Maďarsko</i>		<i>Norsko</i>	
-	-	-	-	-	-
<i>Finsko</i>		<i>Švýcarsko</i>		<i>Španělsko</i>	
-	-	-	-	Al-4CuPbMg	UNE 38323
<i>Belgie</i>		<i>Česká republika</i>		-	
2030	NBN P21-001	ČSN 42 4254	AlCu4PbMg	-	
<b>Poznámky</b>					
1) technické dodací předpisy		1*) připravovaná norma ČSN EN			
2) mechanické vlastnosti		3*) připravovaná norma ČSN EN			
3) mezní úchytky tvaru a rozměrů		pr připravovaná norma EN			
4) D = průměr kruhové tyče, S = tloušťka čtvercové, šestihranné nebo ploché tyče, e = tloušťka stěny trubky nebo profilu					
5) vlastnosti mohou být získány kalením za matricí					
V chemickém složení je zpravidla uváděn maximální přijatelný obsah, nebo rozmezí přijatelného obsahu každého prvku.					
V mechanických vlastnostech je zpravidla uváděna minimální přijatelná hodnota, nebo rozmezí přijatelných hodnot každé vlastnosti.					

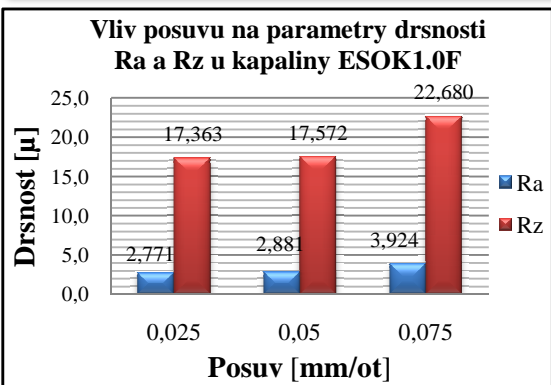
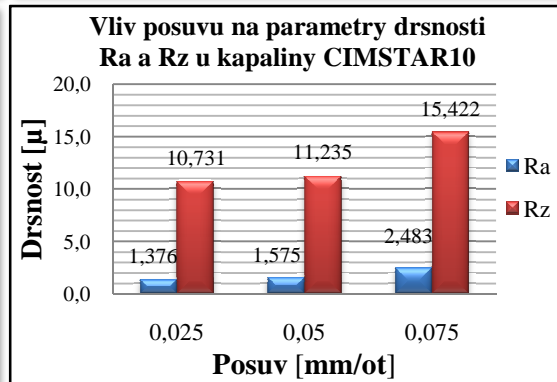
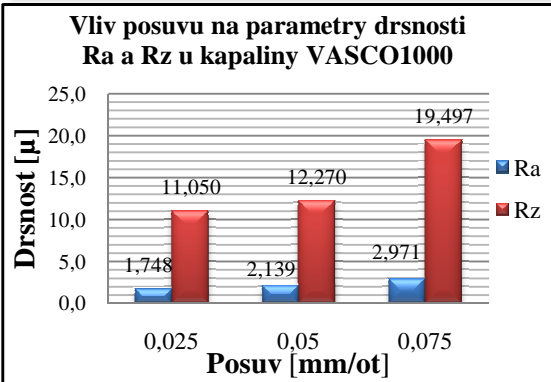
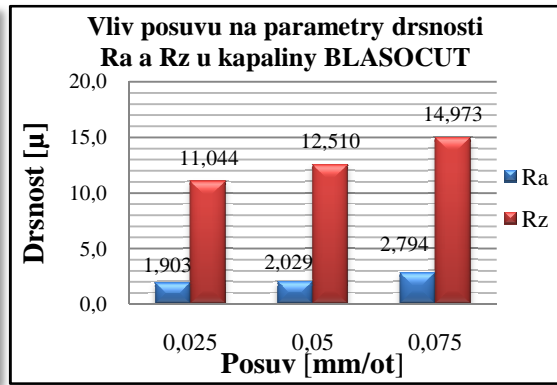
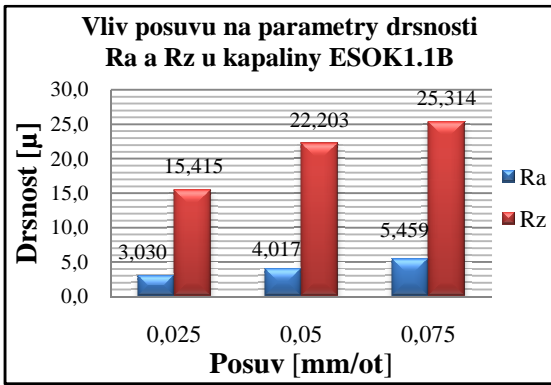
## Příloha 4

Kompletní výsledky vyhodnocení vlivu posuvu na jakost obrobenej plochy.

Vyhodnocení měření na začátku otvoru

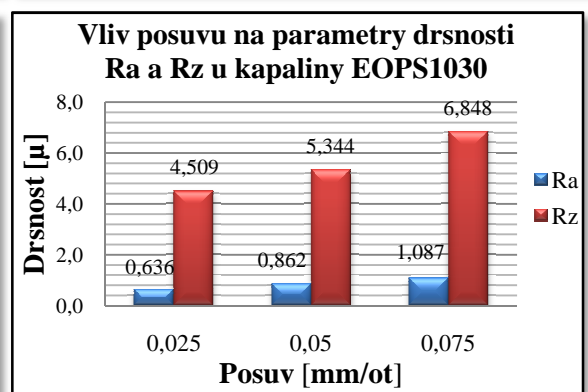
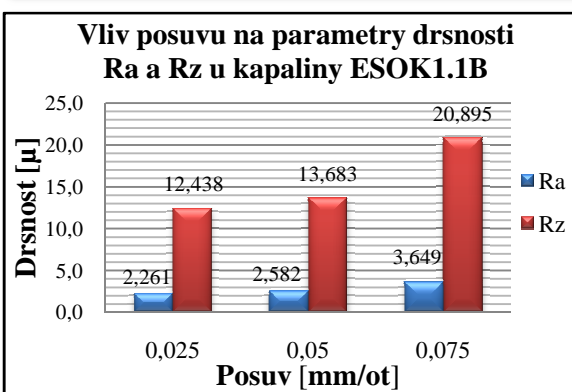
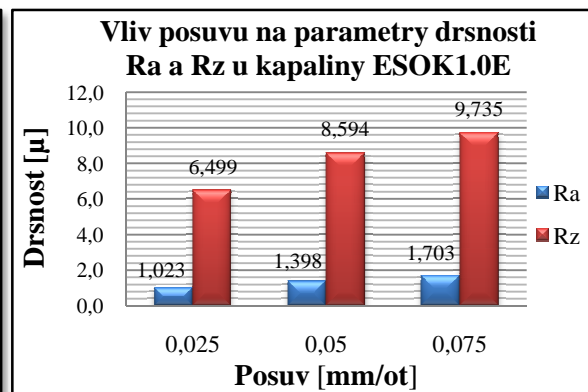
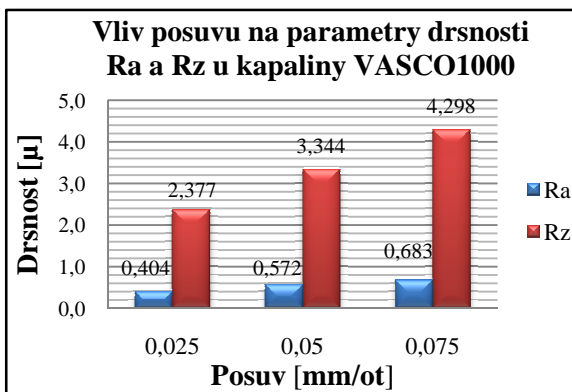
PROCESNÍ KAPALINY	ŘEZNÉ PODMÍNKY (konstantní řezná rychlost $v_c = 40$ m/min)					
	PRŮMĚRNÉ HODNOTY DRSNOSTI					
	n=1600 min <sup>-1</sup> f=40mm/min		n=1600 min <sup>-1</sup> f=80mm/min		n=1600 min <sup>-1</sup> f=120mm/min	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
BLASOCUT	1,903	11,044	2,029	12,510	2,794	14,973
EOPS 1030	1,627	11,168	2,587	16,129	2,598	17,439
HOCUT795B	1,606	9,690	2,020	12,249	2,451	15,699
VASCO1000	1,748	11,050	2,139	12,270	2,971	19,497
CIMSTAR10	1,376	10,731	1,575	11,235	2,483	15,422
ESOK 1.1D	1,784	9,955	2,809	17,766	3,006	18,092
ESOK 1.0E	2,207	12,856	2,667	15,636	2,856	17,418
ESOK 1.0F	2,771	17,363	2,881	17,572	3,924	22,680
GRINDEX10	1,832	10,590	3,149	17,931	4,732	21,457
ESOK 1.0D	1,784	9,955	2,875	15,603	4,579	24,490
ESOK 1.1B	3,030	15,415	4,017	22,203	5,459	25,314



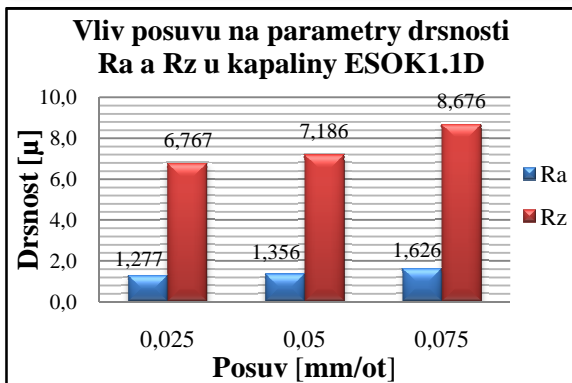
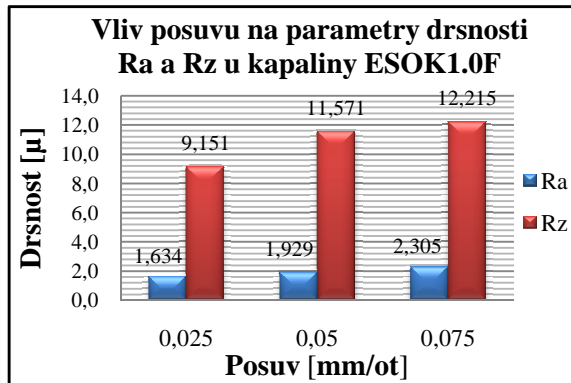
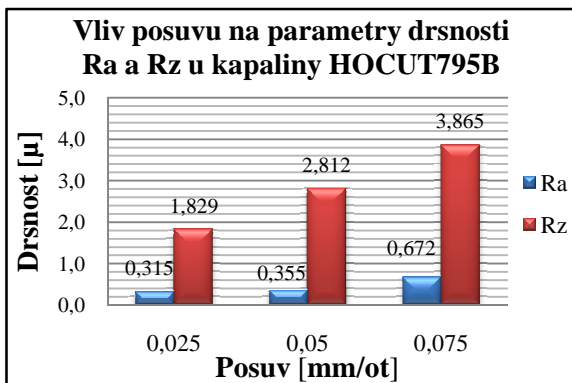
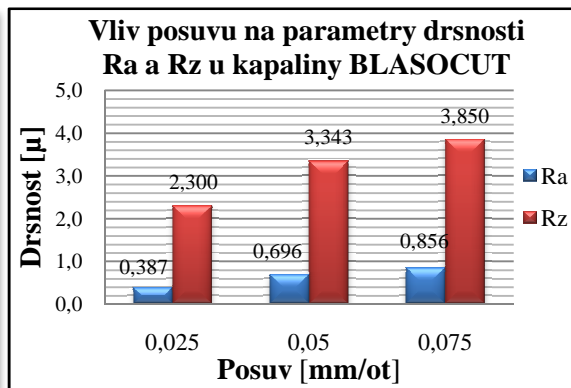
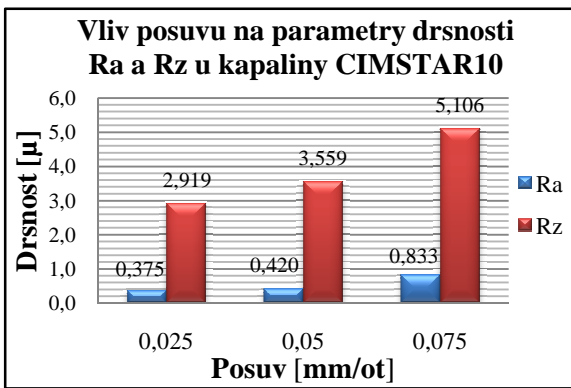


## Vyhodnocení měření na konci otvoru

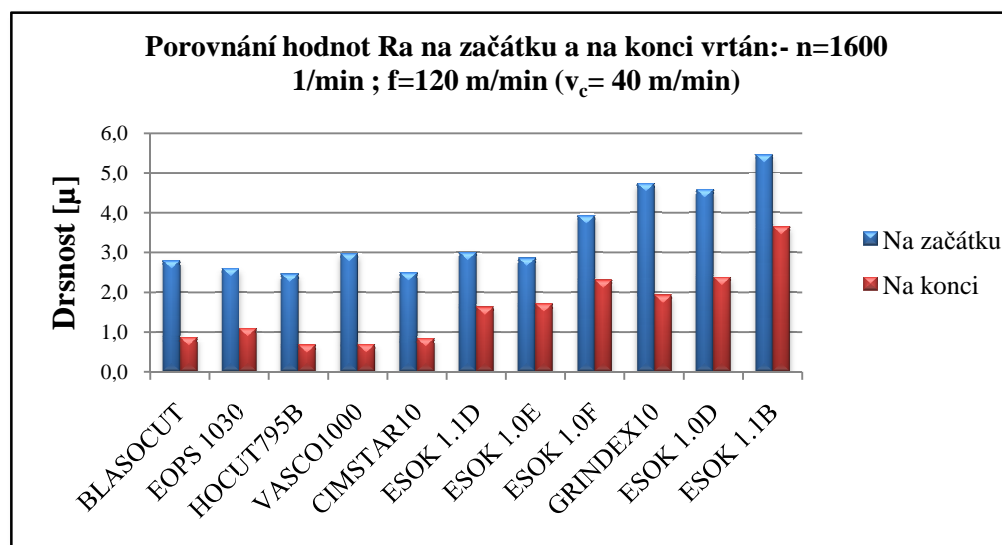
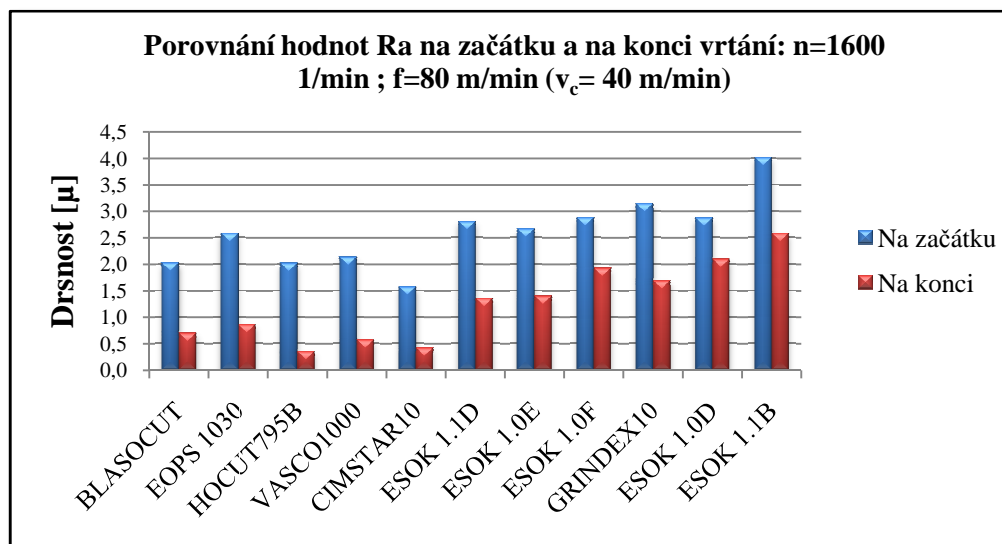
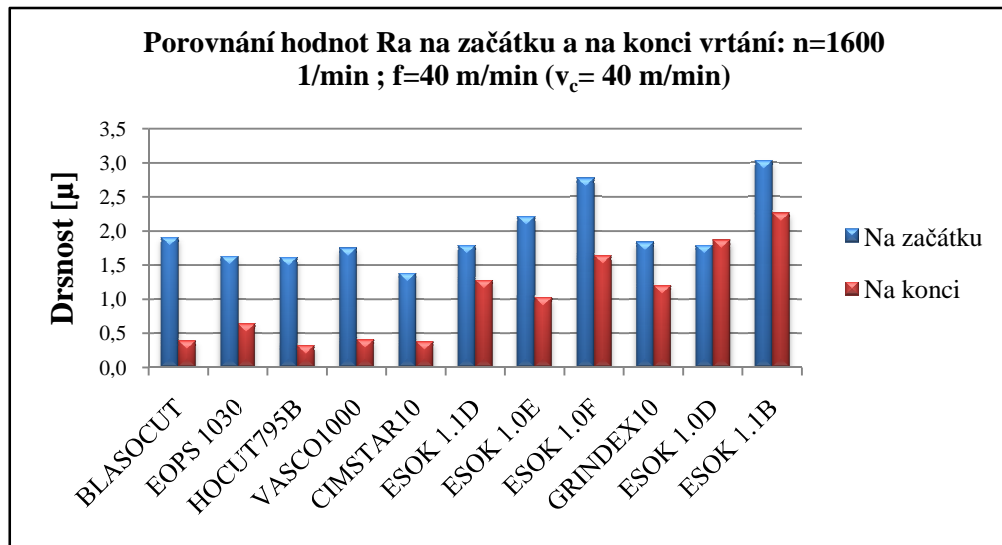
PROCESNÍ KAPALINY	ŘEZNÉ PODMÍNKY ( konstantní řezná rychlost $v_c = 40 \text{ m/min}$ )					
	PRŮMĚRNÉ HODNOTY DRSNOSTI					
	n=1600 min <sup>-1</sup> f=40mm/min		n=1600 min <sup>-1</sup> f=80mm/min		n=1600 min <sup>-1</sup> f=120mm/min	
	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]	Ra [μm]	Rz [μm]
BLASOCUT	0,387	2,300	0,696	3,343	0,856	3,850
EOPS 1030	0,636	4,509	0,862	5,344	1,087	6,848
HOCUT795B	0,315	1,829	0,355	2,812	0,672	3,865
VASCO1000	0,404	2,377	0,572	3,344	0,683	4,298
CIMSTAR10	0,375	2,919	0,420	3,559	0,833	5,106
ESOK 1.1D	1,277	6,767	1,356	7,186	1,626	8,676
ESOK 1.0E	1,023	6,499	1,398	8,594	1,703	9,735
ESOK 1.0F	1,634	9,151	1,929	11,571	2,305	12,215
GRINDEX10	1,196	6,938	1,689	9,461	1,925	10,392
ESOK 1.0D	1,864	8,160	2,093	10,181	2,376	13,994
ESOK 1.1B	2,261	15,830	2,582	13,683	3,649	20,895



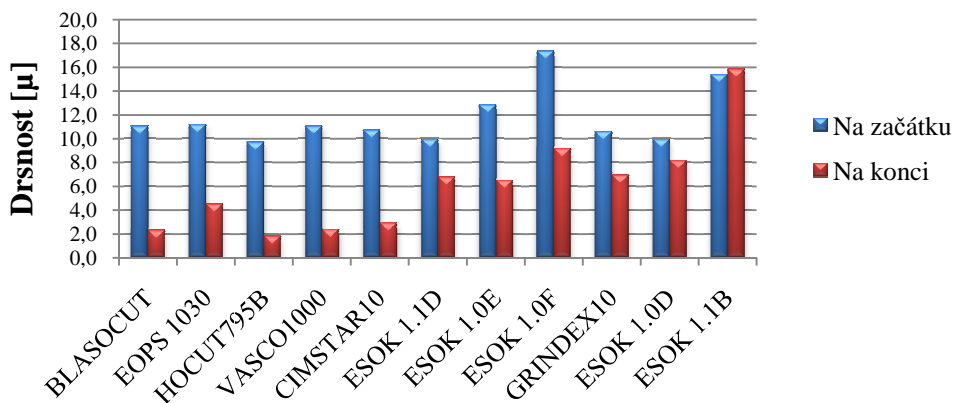




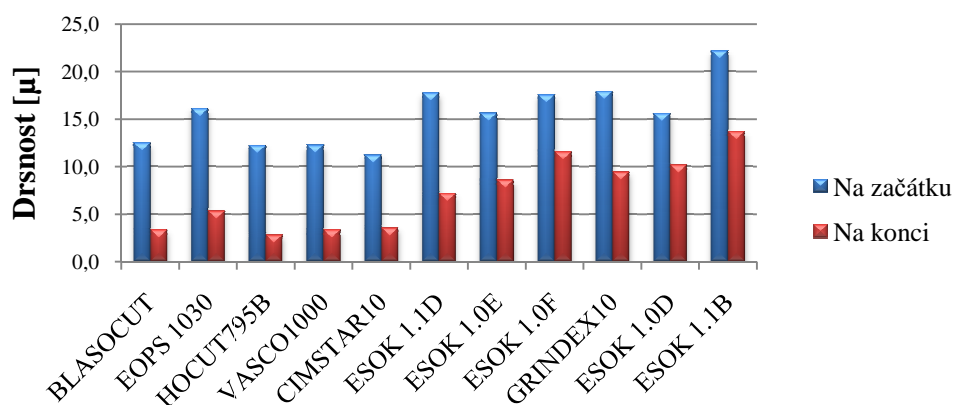
Vyhodnocení vlivu hloubky vrtání na jakost obrobene plochy



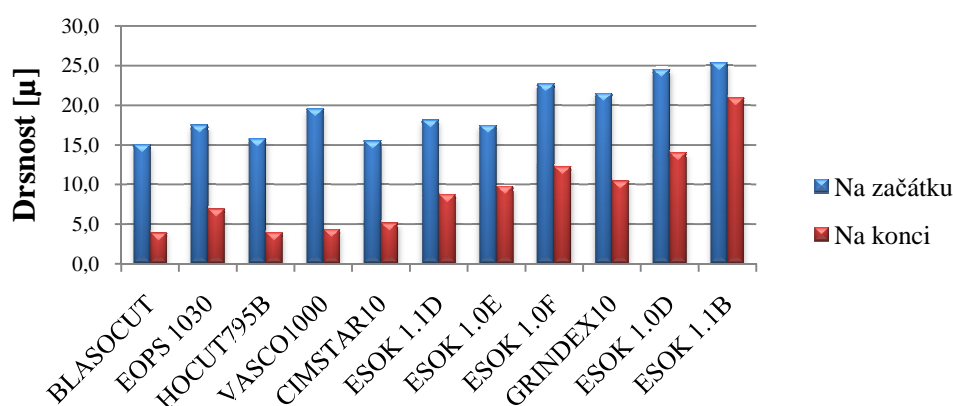
**Porovnání hodnot Rz na začátku a na konci vrtání: n=1600  
1/min ; f=40 m/min ( $v_c = 40$  m/min)**



**Porovnání hodnot Rz na začátku a na konci vrtání: n=1600  
1/min ; f=80 m/min ( $v_c = 40$  m/min)**



**Porovnání hodnot Rz na začátku a na konci vrtání: n=1600  
1/min ; f=120 m/min ( $v_c = 40$  m/min)**

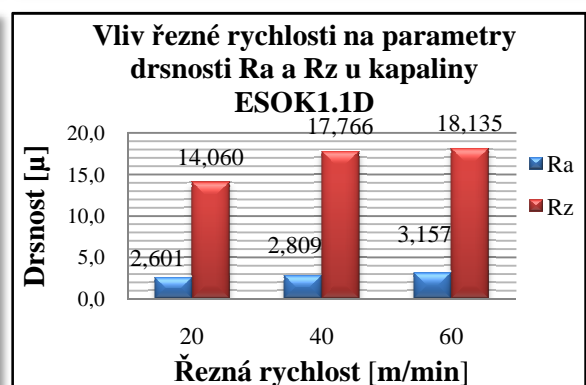
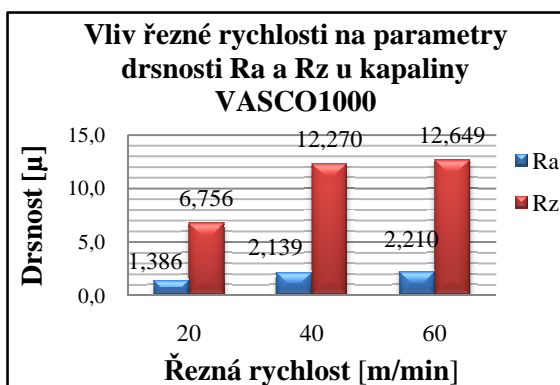
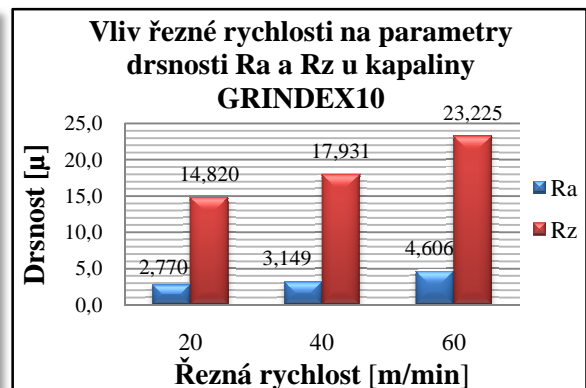
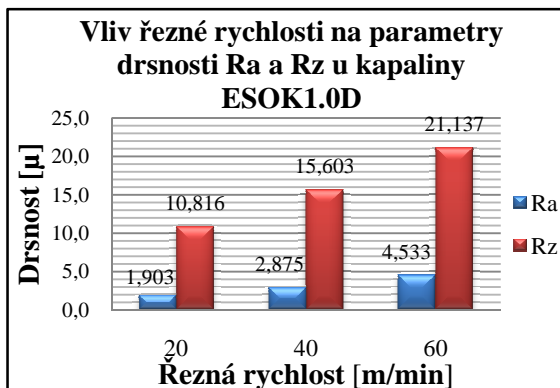
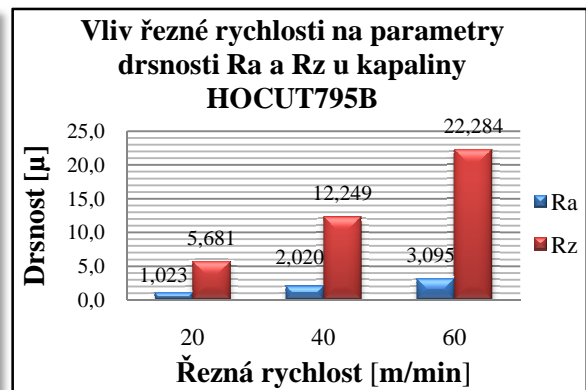
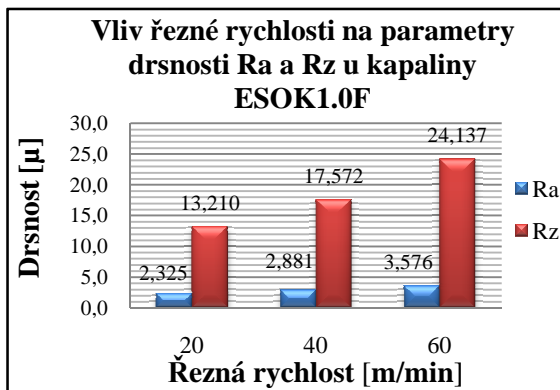


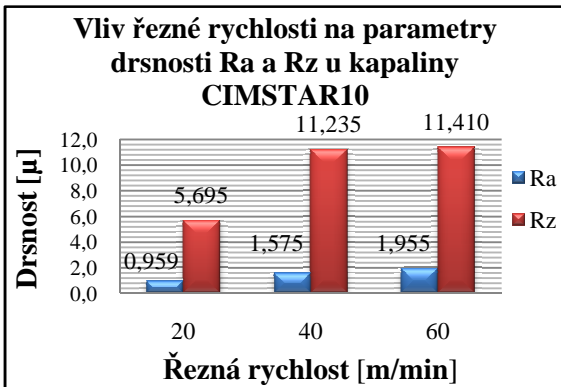
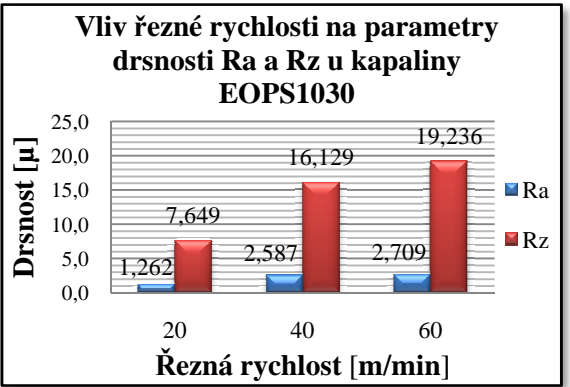
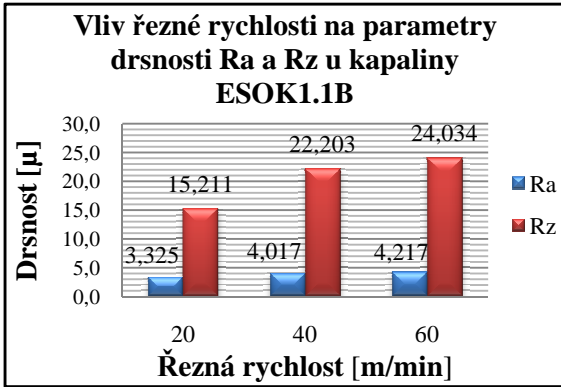
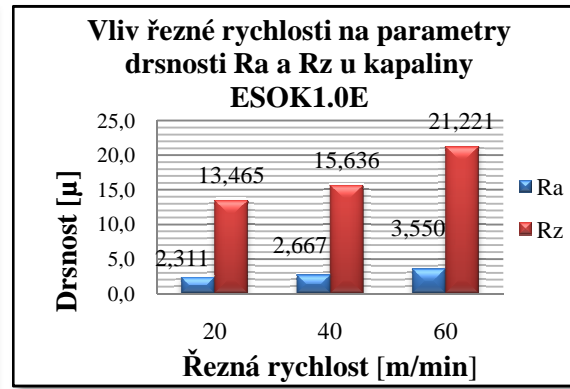
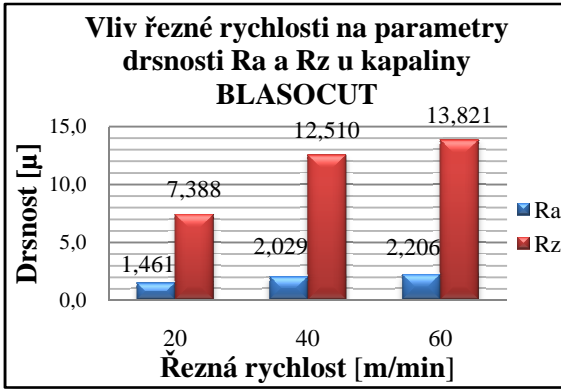
## Příloha 5

Kompletní výsledky vyhodnocení vlivu řezné rychlosti na jakost obrobene plochy.

Vyhodnocení měření na začátku otvoru

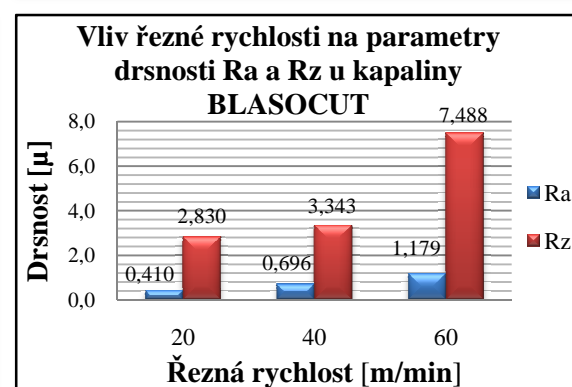
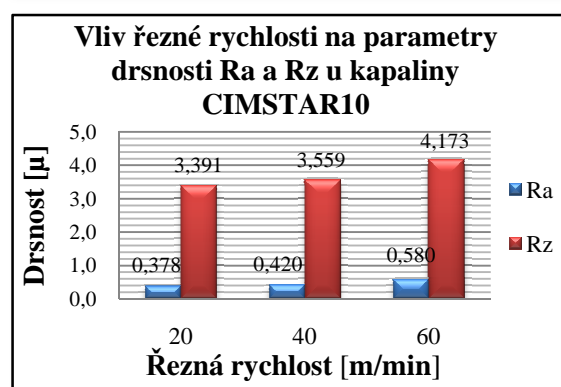
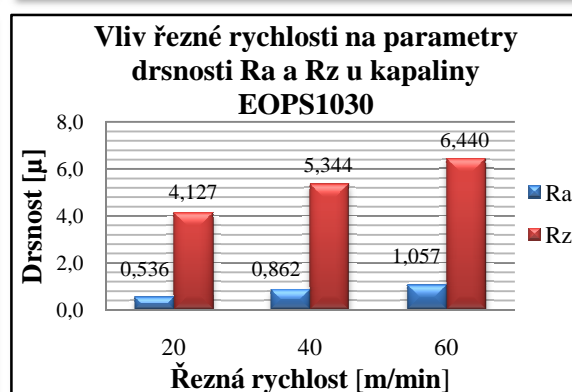
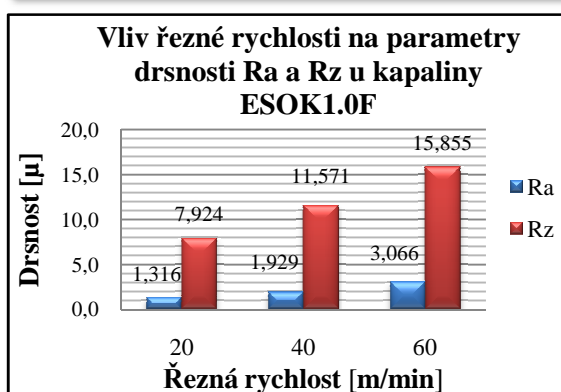
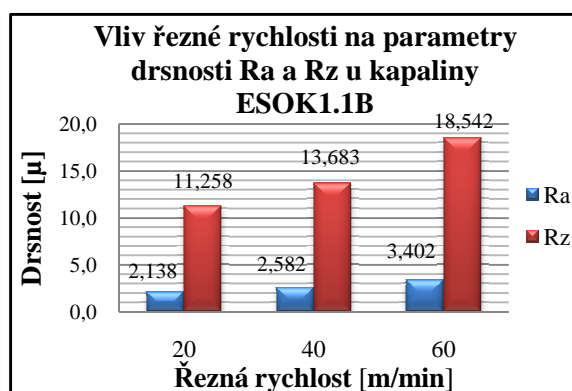
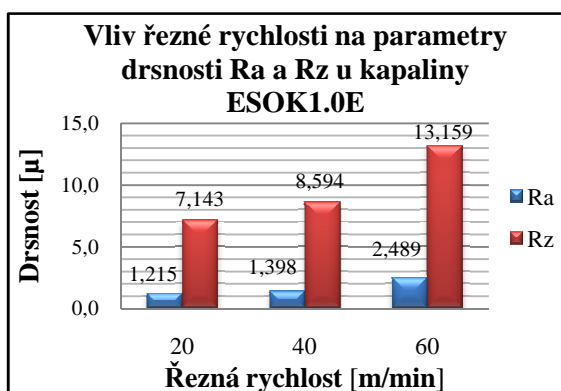
PROCESNÍ KAPALINY	ŘEZNÉ PODMÍNKY (konstantní posuv na otáčku $s = 0,05 \text{ mm/ot}$ )					
	PRŮMĚRNÉ HODNOTY DRSNOSTI					
	n=800 min <sup>-1</sup> , f=40mm/min (v=20 m/min)		n=1600 min <sup>-1</sup> , f=80mm/min (v=40 m/min)		n=2400 min <sup>-1</sup> , f=120mm/min (v=60 m/min)	
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
BLASOCUT	1,461	7,388	2,029	12,510	2,206	13,821
EOPS 1030	1,262	7,649	2,587	16,129	2,709	19,236
HOCUT795B	1,023	5,681	2,020	12,249	3,095	22,284
VASCO1000	1,386	6,756	2,139	12,270	2,210	12,649
CIMSTAR10	0,959	5,695	1,575	11,235	1,955	11,410
ESOK 1.1D	2,601	14,060	2,809	17,766	3,157	18,135
ESOK 1.0E	2,311	13,465	2,667	15,636	3,550	21,221
ESOK 1.0F	2,325	13,210	2,881	17,572	3,576	24,137
GRINDEX10	2,770	14,820	3,149	17,931	4,606	23,225
ESOK 1.0D	1,903	10,816	2,875	15,603	4,533	21,137
ESOK 1.1B	3,325	15,211	4,017	22,203	4,217	24,034

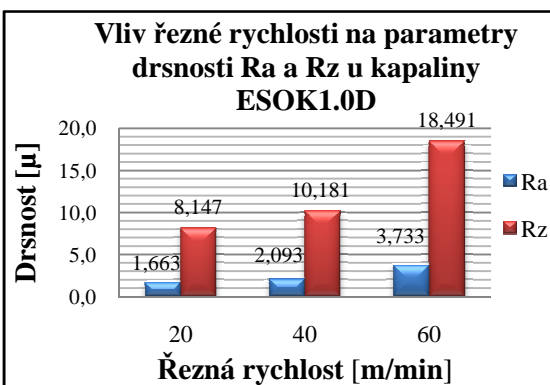
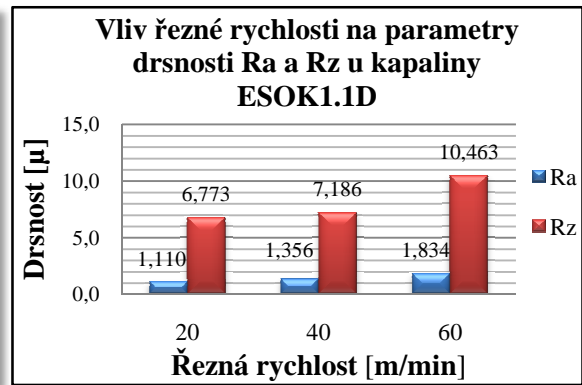
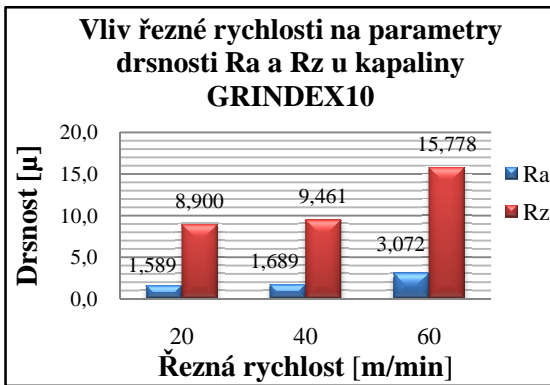
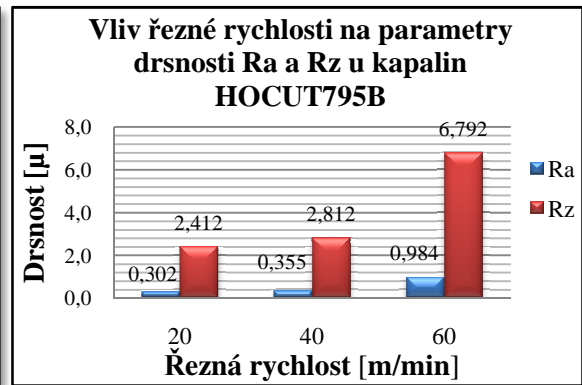
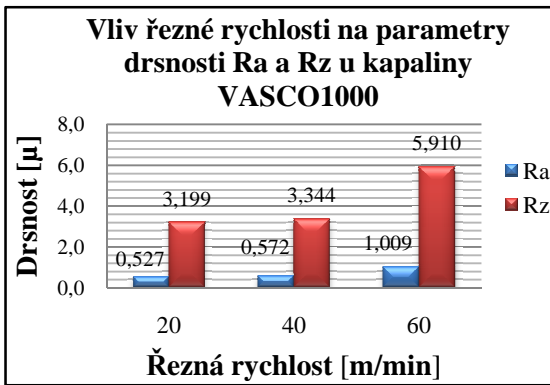




## Vyhodnocení měření na konci otvoru

PROCESNÍ KAPALINY	ŘEZNÉ PODMÍNKY ( konstantní posuv na otáčku $s = 0,05 \text{ mm/ot}$ )					
	PRŮMĚRNÉ HODNOTY DRSNOSTI					
	n=800 min <sup>-1</sup> , f=40mm/min (v = 20 m/min)		n=1600 min <sup>-1</sup> , f=80mm/min (v=40 m/min)		n=2400 min <sup>-1</sup> , f=120mm/min (v=60 m/min)	
	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
BLASOCUT	0,410	2,830	0,696	3,343	1,179	7,488
EOPS 1030	0,536	4,127	0,862	5,344	1,057	6,440
HOCUT795B	0,302	2,412	0,355	2,812	0,984	6,792
VASCO1000	0,527	3,199	0,572	3,344	1,009	5,910
CIMSTAR10	0,378	3,391	0,420	3,559	0,580	4,173
ESOK 1.1D	1,110	6,773	1,356	7,186	1,834	10,463
ESOK 1.0E	1,215	7,143	1,398	8,594	2,489	13,159
ESOK 1.0F	1,316	7,924	1,929	11,571	3,066	15,855
GRINDEX10	1,589	8,900	1,689	9,461	3,072	15,778
ESOK 1.0D	1,663	8,147	2,093	10,181	3,733	18,491
ESOK 1.1B	2,138	11,258	2,582	13,683	3,402	18,542





Vyhodnocení vlivu hloubky vrtání na jakost obrobene plochy

