

# Vliv řezných kapalin na výsledky obrábění

Miroslav Pecháček

---

Bakalářská práce  
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2008/2009

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav PECHÁČEK**

Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Vliv řezných kapalin na výsledky obrábění**

Zásady pro vypracování:

- a) Teoretická studie na téma obrábění materiálů vrtáním a vliv řezných kapalin na řezný proces
- b) Simulace procesu vrtání bez řezných kapalin
- c) Příprava experimentálního vrtání otvorů s přídavným použitím řezných kapalin a bez použití
- d) Vyhodnocení sledovaných parametrů v závislosti na technologických podmínkách

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle doporučení vedoucího práce**

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Ondřej Bílek**

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

**20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**3. června 2009**

Ve Zlíně dne 16. února 2009



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce si klade za cíl sledování vlivu daných typů řezných kapalin na technologické veličiny při obrábění. V teoretické části se zabýváme procesem vrtáním, strukturou a druhy vrtáků, kinematickými a dynamickými charakteristikami při vrtání. V části praktické pak opotřebením nástrojů v závislosti na použití různých typů řezných kapalin.

Klíčová slova: vrtání, řezné kapaliny, teplota, opotřebením, simulace

## **ABSTRACT**

The goal of this bachelor thesis is to observe the influence of the different kinds of cutting fluids on the technological values during a process of machining. The theoretical part deals with the process of drilling, with the structure and kinds of drills and kinematic and dynamic features of drilling. The practical part is focused on the drills wear.

Keywords: drilling, cutting fluids, temperature, wear, simulation

Poděkování, motto

Tímto bych chtěl poděkovat ing. Ondřeji Bílkovi PhD., který byl vedoucím mé bakalářské práce za vedení, podporu, užitečné rady a čas, který mi věnoval při tvorbě této práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské/diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....  
Podpis diplomanta

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 TEORIE VRTÁNÍ</b> .....	<b>10</b>
1.1 DEFINICE VRTÁNÍ .....	10
1.2 KINEMATICKÉ CHARAKTERISTIKY PŘI VRTÁNÍ .....	11
1.3 DYNAMICKÉ CHARAKTERISTIKY PŘI VRTÁNÍ .....	12
1.4 TEPELNÁ BILANCE PŘI OBRÁBĚNÍ .....	14
1.5 VRTACÍ NÁSTROJE .....	15
1.5.1 Kopinaté vrtáky .....	15
1.5.2 Šroubovité vrtáky .....	17
1.5.3 Středicí vrtáky .....	18
1.5.4 Dělové vrtáky .....	18
1.5.5 Vrtací hlavy .....	19
1.5.6 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami .....	20
1.5.7 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu vrtáků .....	21
<b>2 TEORIE OPOTŘEBENÍ VRTÁKU</b> .....	<b>22</b>
2.1 OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE .....	22
2.2 FORMY OPOTŘEBENÍ .....	23
2.2.1 Opotřebenění hřbetu .....	23
2.2.2 Opotřebenění čela ve tvaru žlábků .....	24
2.2.3 Plastická deformace břitu .....	24
2.2.4 Opotřebenění hřbetu ve tvaru vrubu .....	25
2.2.5 Hřbenovité trhliny na ostří .....	25
2.2.6 Únavový lom .....	25
2.2.7 Vydrolování ostří .....	26
2.2.8 Lom břitu .....	26
2.3 DRUHY OPOTŘEBÍ .....	26
2.3.1 Abrazivní otěr .....	26
2.3.2 Difuzní otěr .....	27
2.3.3 Adhezní otěr .....	27
2.3.4 Oxidační otěr .....	28
2.4 MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ VRTÁKŮ .....	29
<b>3 ŘEZNÉ KAPALINY A JEJICH VÝZNAM PŘI OBRÁBĚNÍ</b> .....	<b>31</b>
3.1 VÝZNAM A FUNKCE ŘEZNÝCH KAPALIN .....	31
3.2 MECHANISMUS TVORBY TŘÍSKY .....	31
3.3 VLIVY OVLIVŇUJÍCÍ VOLBU ŘEZNÝCH KAPALIN .....	32
3.3.1 Řezný nástroj .....	32
3.3.2 Obráběný materiál .....	32
3.3.3 Jakost obrobené plochy .....	33
3.4 CHARAKTERISTIKY A VLASTNOSTI ŘEZNÝCH KAPALIN .....	33
3.4.1 Chladicí účinek .....	33
3.4.2 Mazací účinek .....	34
3.4.3 Čistící účinek .....	34

3.4.4	Provozní stálost .....	34
3.4.5	Ochranný účinek .....	35
3.4.6	Zdravotní nezávadnost .....	35
3.5	ROZDĚLENÍ ŘEZNÝCH KAPALIN .....	35
3.5.1	Vodní roztoky.....	36
3.5.2	Emulzní kapaliny .....	36
3.5.3	Mastné oleje a tuky .....	36
3.5.4	Minerální oleje .....	37
3.5.5	Řezné oleje .....	37
3.5.6	Syntetické oleje .....	37
3.6	URČOVÁNÍ KONCENTRACE CHLADICÍ KAPALINY .....	38
<b>4</b>	<b>CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI.....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>PODMÍNKY EXPERIMENTU .....</b>	<b>41</b>
5.1	VRTAČKA B40 GSM .....	41
5.2	DRSNOMĚR MITUTOYO SJ-301 .....	43
5.3	SNÍMAČ TEPLoty FLUKE 574 .....	45
5.4	VRTANÝ VZOREK .....	46
5.5	POUŽITÉ PROCESNÍ KAPALINY .....	46
5.5.1	Cimtech D12 .....	46
5.5.2	Cimstar 579 .....	47
5.5.3	Cimperial 900 .....	48
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ.....</b>	<b>49</b>
6.1	VÝSLEDKY HŘBETNÍHO OPOTŘEBENÍ VB .....	49
	Digitální USB Mikroskop ProScopeHR.....	51
6.2	DOSAŽENÁ TEPLota PŘI VRTÁNÍ.....	55
6.2.1	Vrták č.2 – BEZ CHLAZENÍ .....	55
6.2.2	Vrták č.3 – CIPHERIAL 900 .....	56
6.2.3	Vrták č. 4 – CIMTECH D12 .....	57
6.2.4	Vrták č. 5 – CIMSTAR 579 .....	59
6.3	VYHODNOCENÍ DRSNOSTI.....	60
6.3.1	Vrták č.2 – BEZ CHLAZENÍ .....	60
6.3.2	Vrták č.3 – CIPHERIAL 900 .....	61
6.3.3	Vrták č.4 – CIMTECH D12 .....	62
6.3.4	Vrták č.5 – CIMSTAR 579 .....	63
6.4	POČÍTAČOVÁ SIMULACE PROCESU VRTÁNÍ BEZ CHLADICÍCH KAPALIN .....	65
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>68</b>
	<b>EXTENDED ABSTRACT .....</b>	<b>69</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>70</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>72</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>74</b>

## ÚVOD

Technologie obrábění jako vědní obor studuje, zkoumá a analyzuje vzájemné souvislosti a faktory obráběcího procesu. Objektem obráběcího procesu je obrobek a základním výstupem obráběcího procesu jsou příslušné obrobené plochy.

Při obrábění dochází k oddělování částic materiálu obrobku břitem nástroje. Proces fyzikálně-mechanického oddělování materiálu obrobku se nazývá řezný proces. V závislosti na způsobu oddělování materiálu se rozlišuje řezný proces kontinuální (soustružení, vrtání, vyvrtávání), diskontinuální (hoblování, obrážení) a cyklický (frézování, broušení). [1]

Vrtání je vedle soustružení a frézování nejrozšířenější metodou obrábění. Jedná se o jednoosé obrábění.

Bakalářská práce je zaměřena na sledování a vyhodnocování velikosti hřbetního opotřebení vrtáků vyrobených z rychlořezné oceli s použitím řezných kapalin a bez nich. Také je zaměřena na hmotnostní opotřebení vrtáků a sledování teploty na špičce nástroje.

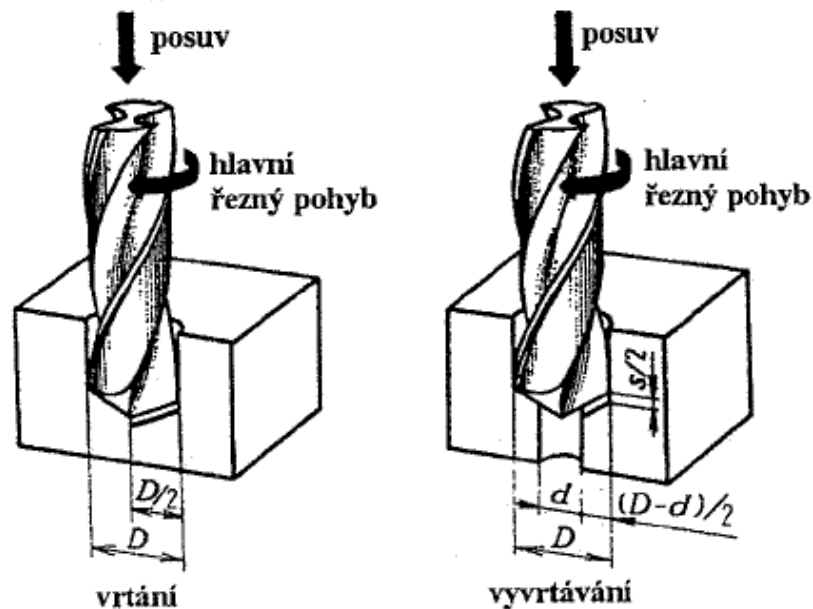


# **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 TEORIE VRTÁNÍ

## 1.1 Definice vrtání

Vrtání a vyvrtávání jsou základní metody pro výrobu válcových nebo tvarových otvorů. Vrtání se provádí do plného materiálu, vyvrtávání pak do předvrtaných nebo předlitých otvorů. Hlavní řezný pohyb je rotační a vykonává jej nejčastěji nástroj, ale může i obrobek. Osa nástroje je obvykle kolmo k ploše obrobku. Posuv vrtáku je přímočarý ve směru osy rotace a vykonává jej obvykle také nástroj. Výsledný pohyb je ve tvaru šroubovice o stoupání velikosti posuvu vztažený na 1 otáčku nástroje.



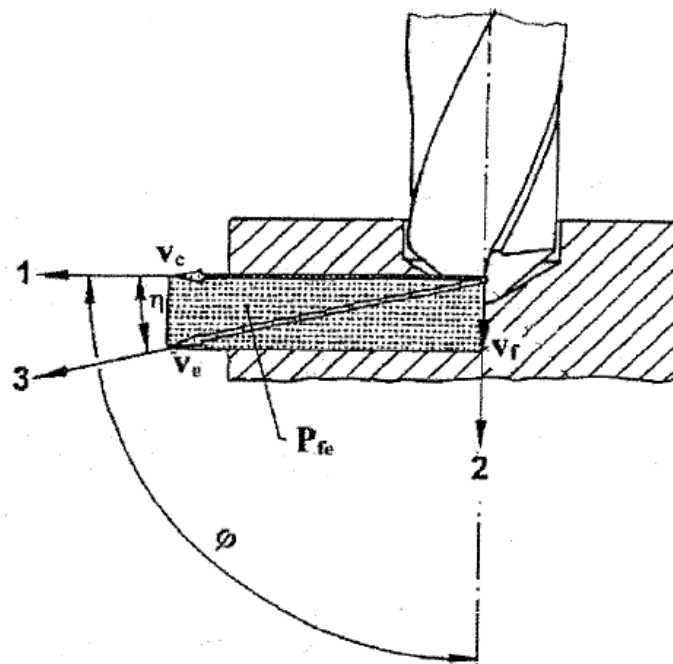
Obr. 1 Pohyb vrtáku při vrtání a vyvrtávání [3]

Rozdělujeme 3 základní druhy vrtání

- běžné vrtání – pro díry s průměrem  $D:L = 1:7$  (1:10)
- vrtání hlubokých děr – je to specializovaná metoda výroba děr, kde hloubka je mnohonásobně větší než průměr díry (až  $150 \times D_w$ )
- vrtání krátkých děr – (do  $3 \times D_w$ ) [2]

## 1.2 Kinematické charakteristiky při vrtání

Při vrtání se nástroj otáčí vůči obrobku kolem své osy rotace a současně se v této ose posouvá do obráběného materiálu tak, aby jeho řezná hrana odebírala třísku. Pro vrtání běžných děr používáme obvykle dvoubřité vrtáky. Při vrtání na soustruhu, kde je řezný nástroj upnutý v přípravku, vykonává hlavní rotační pohyb obrobek upnutý v přípravku (nejčastěji sklíčidle), řezný nástroj vykonává jen vedlejší pohyb (posuv) ve směru osy. Stejně tak při vrtání hlubokých děr vykonává hlavní rotační pohyb obrobek. [2]



Obr. 2 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovitým vrtákem [1]

- |                                  |                                 |
|----------------------------------|---------------------------------|
| 1 – směr hlavního pohybu         | $v_c$ – řezná rychlost          |
| 2 – směr posuvového pohybu       | $v_f$ – posuvová rychlost       |
| 3 – směr řezného pohybu          | $v_e$ – rychlost řezného pohybu |
| $P_{fe}$ – pracovní boční rovina |                                 |
| - úhel posuvového pohybu         |                                 |
| - úhel řezného pohybu            |                                 |

Obvodová rychlost nejvzdálenějšího bodu řezné hrany od osy otáčení je řeznou rychlostí  $v_c$  (m/min). Řezná rychlost jednotlivých bodů řezné hrany směrem k ose vrtáku se zmenšuje a v ose je nulová. V praxi se počítá pro stanovení optimálních řezných podmínek s nejvzdálenějším bodem ostří od středu nástroje. Velikost řezné rychlosti lze stanovit ze vztahu:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \left[ \frac{m}{min} \right] \quad (1)$$

Kde:  $D$  – průměr vrtacího nástroje (mm)

$n$  – otáčky nástroje ( $min^{-1}$ )

Posuv je parametr, který vyjadřuje pohyb nástroje, případně obrobku za jednotku frekvence otáčení a souží k výpočtu rychlosti posuvu. V případě vícebřitého nástroje může být posuv vztažený na jeden zub nástroje.

$$f = z \cdot f_z \text{ [mm]} \quad (2)$$

Kde:

$f$  – posuv na otáčku nástroje (mm)

$f_z$  – posuv na zub (mm)

$z$  – počet zubů nástroje (-)

Jelikož vrták odebírá materiál současně dvěma břity, je průřez třísky odebírán jedním. [2]

### 1.3 Dynamické charakteristiky při vrtání

Odpor materiálu obrobku proti odřezávání je překonávaný řeznými silami, působícími na řezných hranách nástroje. Po dobu vrtání jsou řezné síly rozloženy na řezných hranách vrtáku.

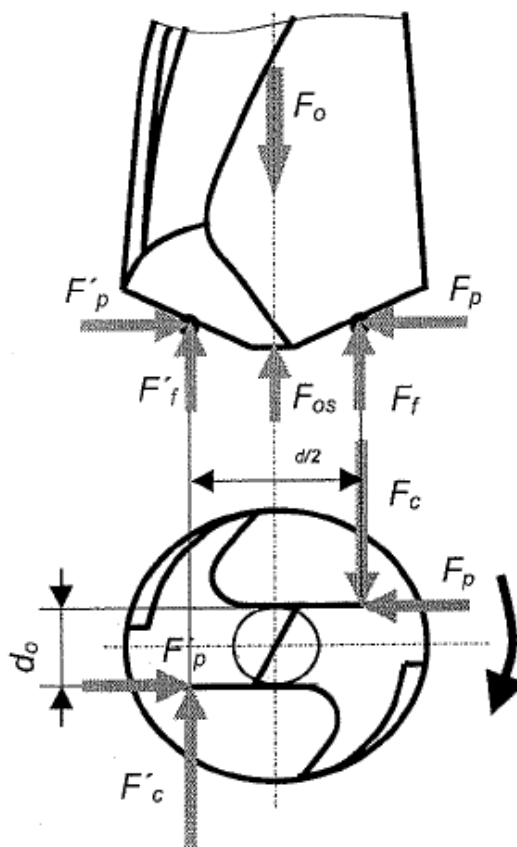
Složky řezné síly se koncentrují v definovaném bodě na řezných hranách šroubovitěho vrtáku a rozkládají se do směrů souřadnicového systému x,y,z.

Řezná síla  $F_c$  vyvolává krouticí moment na rameni  $\frac{D}{2}$  přičemž síla  $F_f$  (osová) namáhá vrták na vzpěr a složka se při správném naostření vzájemně ruší. Pro výpočet řezných sil  $F_c$  a  $F_f$  je možné využít empirické vztahy ve tvaru:

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{X_{Ff}} \cdot f^{Y_{Ff}} \quad (3)$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{X_{Fc}} \cdot f^{Y_{Fc}} \quad (4)$$

$$M_k = 2F_c \cdot \frac{d}{4} = 2F_p \frac{d_o}{2} \text{ [Nmm]} \quad (5)$$



Obr. 3 Řezné síly při vrtání [2]

Vliv posuvu na krouticí moment je vyšší jak na osovou sílu. Řezná síla je dynamická, není konstantní, a proto se mění s časem. Proces řezání je charakteristický tím, že celková mechanická energie vynaložená na oddělení třísky se prakticky přemění v teplo. [2]

Pro oddělení třísky je potřeba vynaložit mechanickou energii nebo určitý výkon, který podle rovnice je:

$$P = \frac{F_c \cdot v_c}{60} \text{ [W]} \quad (6)$$

#### 1.4 Tepelná bilance při obrábění

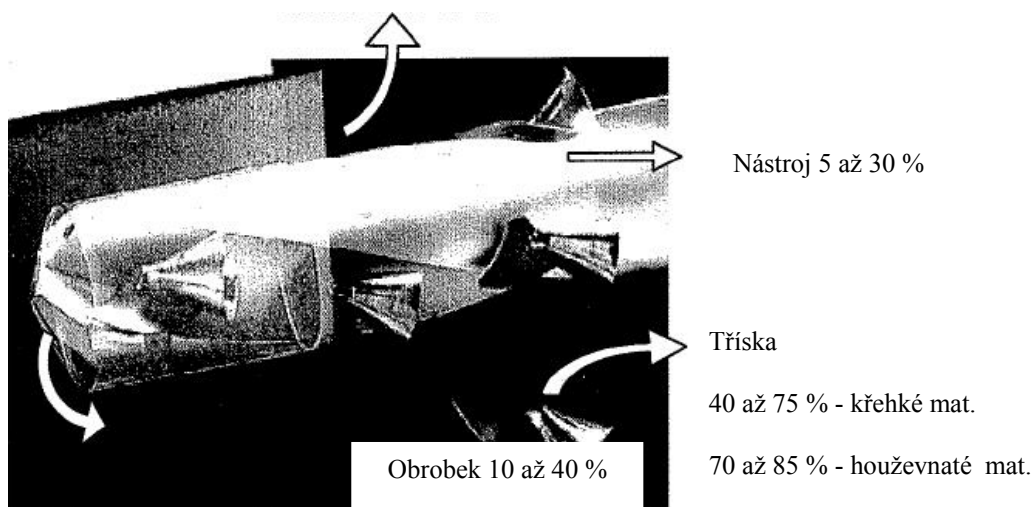
Celková mechanická energie vynaložená při vrtání na odřezávání třísky, se promění v teplo. Podstatná část tepla, vznikající při obrábění se vyvíjí ve 3 oblastech:

- oblast primární plastické deformace  $Q_1$
- oblast mezi třískou a čelní plochou nástroje  $Q_2$
- oblast mezi hřbetem nástroje a povrchem po řezu  $Q_3$
- oblast pružné deformace  $Q_4$

Celkové množství tepla, které vzniká při řezání je dáno vztahem:

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \text{ [J]} \quad (7)$$

Okolí 5 až 10 %



Obr. 4 Podíl tepla odváděný prvky řezání při vrtání [2]

Z místa řezu se teplo, které vzniká při obrábění, odvádí nejčastěji třískou. Pro houževnaté materiály platí, že třískou se odvede 70 až 85% celkového množství tepla  $Q_c$ . Pro křehké materiály by to bylo v rozmezí 40-75%. Podíl tepla odvedeného nástrojem je v intervalu 5-30 %, v závislosti materiálu obrobku a řezných podmínkách. Obrobkem se odvádí 10-40% z celkového tepla. Část tepla se odvede do okolí (atmosféry) a to v rozmezí 5-10 %.

Podíl těchto jednotlivých složek je závislý na:

- tepelné vodivosti obrobku i nástroje
- řezných podmínkách
- způsobu obrábění
- geometrii břitu nástroje
- způsobu chlazení a mazání

Vznikající množství tepla je možno snížit zkvalitněním povrchu nástroje (lapováním, povlakováním na čele nástroje – TiC, TiN, TiCN) nebo mazáním a chlazením ploch obrobku i nástroje. [2]

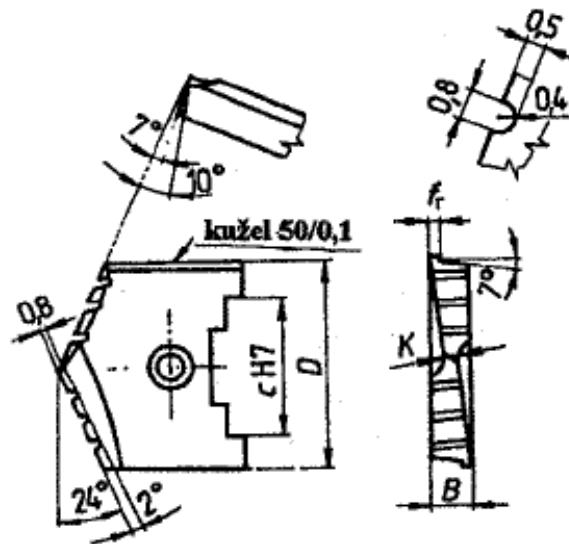
## 1.5 Vrtací nástroje

Hlavní řezný pohyb i posuv ve směru osy vykonává obvykle nástroj. Zvláštností vrtání i dalších, tzv. osových operací (mezi něž patří i vyhrubování, vystružování apod.), je to, že řezná rychlost je na obvodě nástroje nejvyšší a směrem k ose nástroje klesá k nule. Z toho plynou některé technologické problémy. Například příčný břit v ose vrtáku vzhledem k nepříznivé geometrii v podstatě neodebírá třísku, ale materiál jen plasticky deformuje. [3]

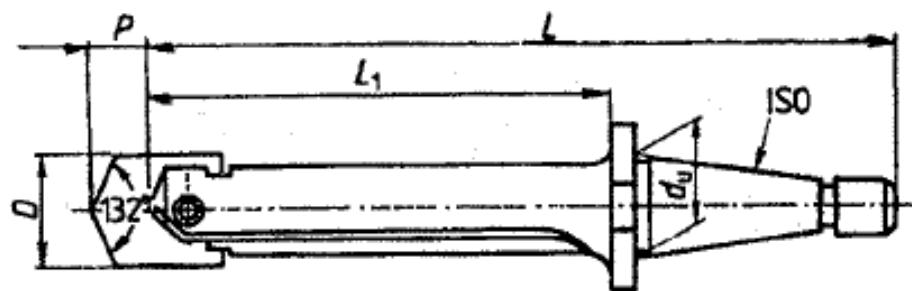
### 1.5.1 Kopinaté vrtáky

Jsou nejstarším a nejjednodušším druhem vrtacích nástrojů. Řezná část vrtáku je tvořena dvěma hlavními břity a příčným břitem. Obě hlavní ostří svírají navzájem úhel  $2\alpha$ . Čím tvrdší je vrtaný materiál, tím se zvolí tento úhel větší (90 až 146 °). Moderní kopinaté

vrtáky mají řeznou část ve formě vyměnitelné břitové destičky z rychlořezné oceli nebo ze slinutého karbidu. Nevýhodou kopinatého vrtáku je špatný odvod třísky z místa řezu. Lze jej zlepšit přívodem dostatečně velkého množství chladicí kapaliny, která třísky odplavuje. Kopinaté vrtáky se často používají u NC strojů pro vrtání krátkých děr většího průměru. [3]



Obr. 5 Geometrie břitu kopinatého vrtáku [2]



Obr. 6 Kopinatý vrták – celkový pohled [3]



### 1.5.2 Šroubovité vrtáky

Jsou nejčastěji používané vrtáky nástroje na výrobu děr. Jsou většinou dvoubřité se šroubovitými drážkami usnadňujícími odchod třísky. Vedení ve vrtané díře zajišťuje válcová fazetka na vedlejším ostří vrtáku. Vrták je mírně kuželovitý s menším průměrem u stopky, tím se zmenšuje tření v díře. Naopak průměr jádra se ke stopce zvětšuje, čímž se dosahuje zvýšení tuhosti vrtáku, která jsou na hrotu vrtáku spojena příčným ostřím.

Šroubovité vrtáky se rozdělují:

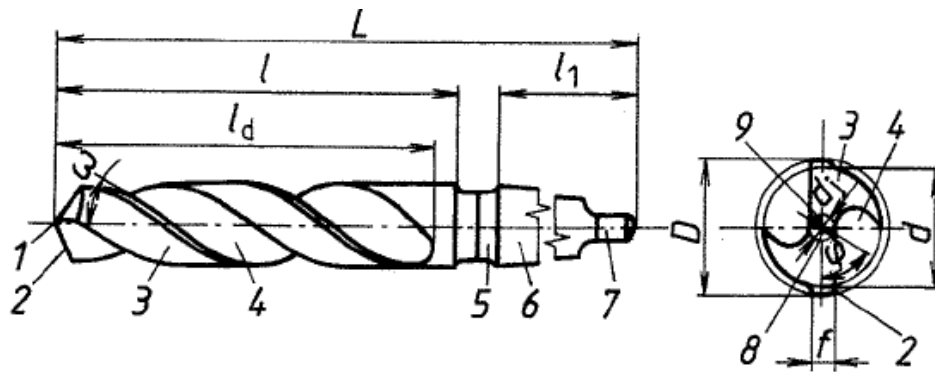
podle tvaru stopky:	s válcovou stopkou s kuželovou stopkou
podle směru otáčení:	pravořezné levořezné
podle délky:	krátké dlouhé
podle úhlu stoupání šroubovice:	s velkým se středním s malým úhlem stoupání šroubovice

Geometrie šroubovitého vrtáku je poměrně složitá a mění se podél ostří podle způsobu ostření vrtáku.

Hřbet vrtáku může tvořit kuželová, válcová nebo šroubová plocha. Její tvar závisí na vzájemné poloze a na relativním pohybu vrtáku a brousícího kotouče. Na CNC bruskách lze na hřbetu vrtáku vytvořit i jiné plochy. Po naostření vrtáku se ještě se ještě v některých případech zkracuje broušením délka příčného ostří. Tím se sníží potřebná posuvová síla  $F_f$ .

Při ostření je třeba dbát na to, aby obě ostří byla symetrická podle osy vrtáku. Pokud není vrták dobře naostřen (často při ostření v ruce), je vrtaná díra větší.

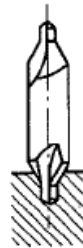
Vrtáky se vyrábějí z nástrojových nízkolegovaných ocelí, rychlořezných ocelí nebo z vysoce výkonných rychlořezných ocelí. U větších vrtáků se z nástrojové oceli vyrábí pouze tělo vrtáku, na které je natupo přivařena stopka z konstrukční oceli. Pro obrábění litin, ale i ocelí se často šroubovité vrtáky vyrábí ze slinutého karbidu. Menší jako celistvé, větší se vsazenou a připájenou břitovou destičkou ze slinutého karbidu.



Obr. 7 Šroubovitý vrták [3]

### 1.5.3 Středicí vrtáky

Slouží k navrtání tvarových důlků pro upínání obrobků do hrotů nebo k navrtání středícího důlku pro přesné určení polohy osy díry při vrtání šroubovitým vrtákem. [3]

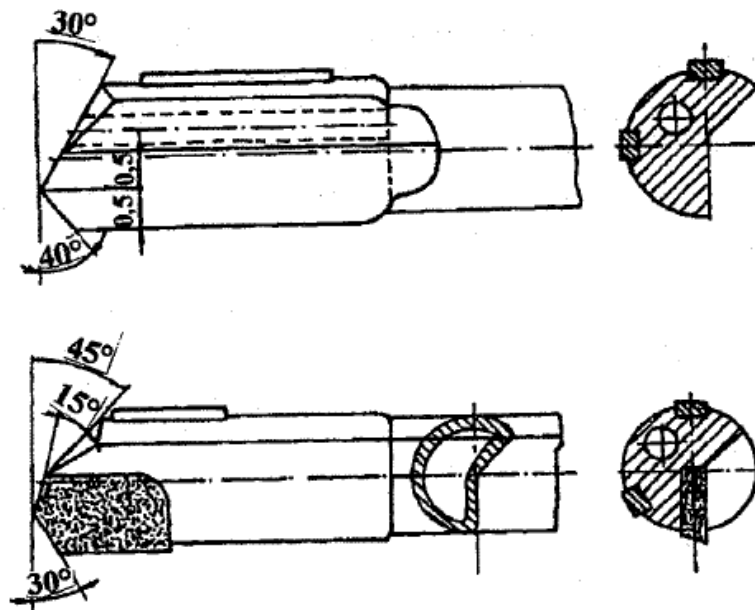


Obr. 8 Středicí vrták [3]

### 1.5.4 Dělové vrtáky

Používají se k vrtání hlubokých děr. Jejich tělo a ostří je konstruováno tak, aby vedení v díře bylo co nejlepší. Tímto vrtákem lze vyvrtat díru v délce několika desítek až stovek průměrů vrtáku, aniž by došlo k jeho vybočení. Při vrtání je nutné zajistit dokonalý odvod třísek z díry proudem chladicí kapaliny. Dělový vrták koná obvykle jen posuvný pohyb, otáčivý koná obrobek. Osa vrtáku díry je totožná s osou otáčení obrobku. Před nasazením dělového vrtáku je nutné vyvrtat díru šroubovitým vrtákem, aby byl dělový vrták veden.

Dělové vrtáky jsou opatřeny vodícími lištami, umístěnými na obvodě vrtáku tak, aby výsledná řezná rychlost procházela mezi nimi. Řezná část je z rychlořezné oceli nebo ze slinutého karbidu. Držák je tvořen trubkou, která má menší průměr, než vrtaná díra. Vnitřkem držáku je do místa řezu přiváděna chladicí kapalina pod tlakem 2 až 4 MPa, která prostorem kolem trubky vyplavuje třísky. [3]



Obr. 9 Dělový vrták [1]

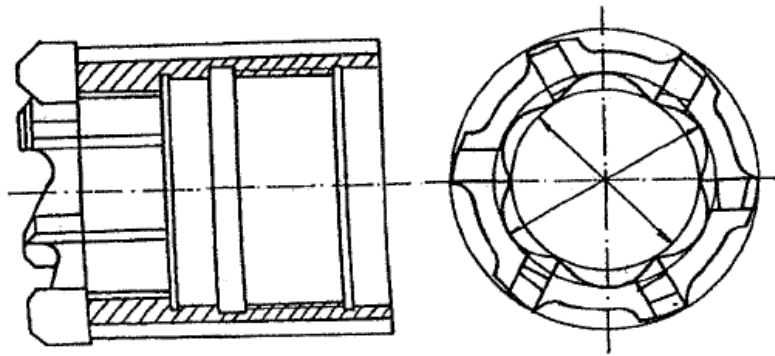
### 1.5.5 Vrtací hlavy

Používají se k vrtání děr velkého průměru, ale lze jimi vrtat již od průměru 20 mm. Jsou osazeny pájenými nebo mechanicky upínanými břitovými destičkami. Chladicí kapalina se přivádí prostorem mezi vrtákem a dírou nebo mezi vnějším pláštěm vrtací tyče a vnitřní trubkou, kterou se odvádí třísky.

Vrtání do průměru 120 až 140 mm se obvykle provádí do plna, vrtání větších průměrů se provádí trepanačními vrtáky. Trepanačními vrtáky se materiál odřezává pouze v mezikruží šířky 20 až 50 mm. Uvnitř zůstává jádro, které se používá dutinou vrtáku spolu s třískami. Běžně se vyrábějí trepanační vrtáky do průměru 250, ale mohou být až do 500 mm.

Metodami hlubokého vrtání se obvykle vrtají díry do délky 2,5 m, ale vrtat i díry dlouhé více než 10 m. To umožňuje dobré vedení vrtací hlavy v díře vodítka. Vodítka mají navíc určitý hladicí účinek, takže lze dosáhnout drsnosti povrchu i  $Ra = 1,6 \mu\text{m}$  a lepší.

Jedná se o několikabřité vrtací nástroje, u nichž je řezná kapalina přiváděna k místu řezu vnitřkem nástroje a odchází spolu s třískami vnějškem nástroje mezi jednotlivými břity ven z otvoru. [1,3]



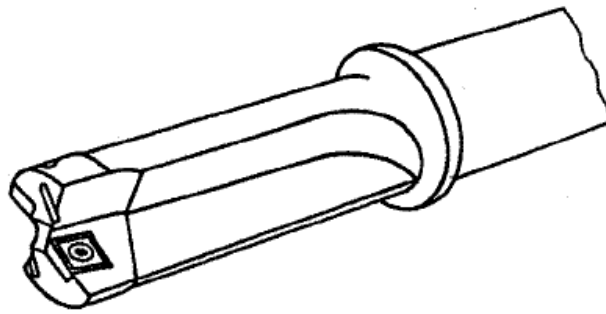
Obr. 10 Korunová trepanační hlava[1]

### 1.5.6 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

Jsou moderní vysoce výkonné nástroje. Držák se stopkou je vyroben z konstrukční oceli vyšší pevnosti. Řezná část je tvořena dvěma a více (podle průměru vrtáku) mechanicky upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami. Protože musí být zajištěn dobrý odvod třísky, používají se obvykle destičky s dírou, upnuté šroubem. V tělese jsou vyfrézovány dvě drážky (buď přímé, nebo ve šroubovici) pro odvod třísek.

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami se používají pro vrtání děr do plna od průměru 12 do 100 mm. Protože vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami není v díře veden, závisí přesnost díry na tuhosti nástroje. Z tohoto důvodu není možné používat tento vrták pro vrtání děr hlubších než 2 až 3 $D$ , kde  $D$  je průměr vrtané díry. Při vrtání těmito vrtáky odpadá navrtávání.

Vzhledem k vysokým řezným rychlostem je výkon vrtáků s vyměnitelnými břitovými destičkami 5 až 10krát vyšší než u šroubovitých vrtáků z rychlořezné oceli. [3]



Obr. 11 Vrták s výměnnými břitovými destičkami [1]

### 1.5.7 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchu vrtáků

Tab. 1 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchů [3]

Nástroj	Přesnost rozměrů IT	Drsnost obrobeného povrchu Ra( m)
Šroubovitý vrták	11 až 13	6,3 až 25
Šroub. vrták s vod. pouzdrem	10	6,3 až 25
Kopinatý vrták	10	6,3 až 25
Dělový vrták	8	1,6 až 6,3
Vrták s vyměnit. břit. des.	8 až 10	3,2 až 12,5

## 2 TEORIE OPOTŘEBENÍ VRTÁKU

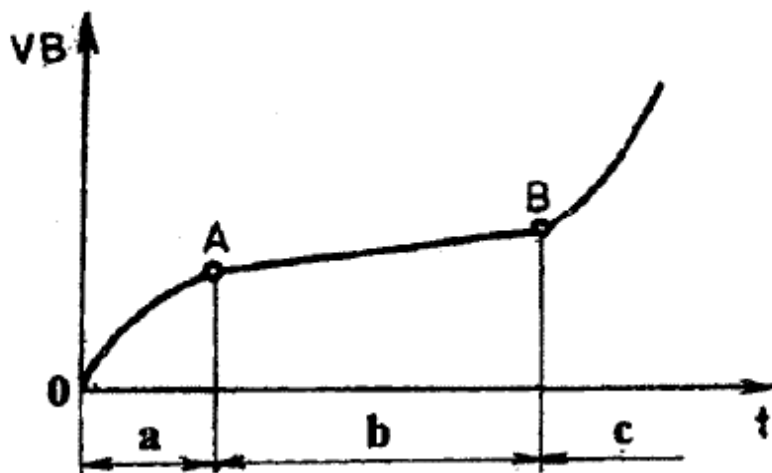
### 2.1 Opotřebení břitu nástroje

Otupení břitu nástroje je důsledek otěru mikročástic materiálu nástroje z ploch čela a hřbetu při řezání. Břit je při obrábění zatížen vysokými tlaky a vysokou teplotou. Toto velké tepelné i mechanické zatížení břitu je příčinou, že dochází v povrchových vrstvách jeho materiálu ke strukturálním změnám i ke změnám jejich mechanických vlastností. Kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních (brusných) faktorů dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje, které se projevuje jeho opotřebením.

Otupení je tedy postupný proces, při němž se:

zvětšuje poloměr ostří

zhoršuje drsnost plochy čela odcházející třískou a také hřbetu s plochou řezu, či se podstatně mění geometrie břitu [5]



Obr. 12 Časový průběh opotřebení [1]

Časový průběh opotřebení lze charakterizovat 3 oblastmi.

A - oblast zrychleného záběhového opotřebení

V tomto úseku opotřebení značně narůstá. Zrychlené opotřebení souvisí se záběhem nástroje a je způsobeno vysokým měrným tlakem na vrcholcích mikronerovností povrchu hřbetu

B – oblast lineárního opotřebení

V této oblasti dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení, tzn. intenzita opotřebení je konstantní.

C – oblast zrychleného nadměrného opotřebení

V této oblasti začne opotřebení nabírat značných hodnot. Opotřebením se výrazně mění geometrie břitu nástroje a tím i velikost řezných sil. Vlivem vysokých tlaků a teploty klesá tvrdost řezného materiálu a dochází k plastické deformaci nebo křehkému lomu. [1]

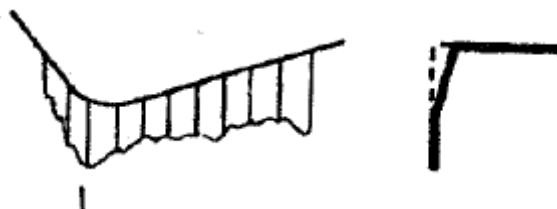
## 2.2 Formy opotřebení

Opotřebení – či otěr břitu má různou formu, která závisí na materiálu obrobku a na použitých řezných podmínkách, zejména řezné rychlosti, tloušťce třísky a úhlu řezu.

V závislosti na technologických podmínkách řezného procesu nabývá opotřebení břitu různých forem.

### 2.2.1 Opotřebení hřbetu

Patří mezi abrazivní formy opotřebení. Plochy hřbetu u hlavního ostří, u vedlejšího ostří a poloměru špičky, jsou před utvářením třísky, v průběhu a po utváření třísky zvlášť vystaveny působení materiálu obrobku. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnosti rozměrů a narůstající tření, které vzniká změnou geometrie břitu.



Obr. 13 Opotřebení hřbetu [1]

### 2.2.2 Opotřebení čela ve tvaru žlábků

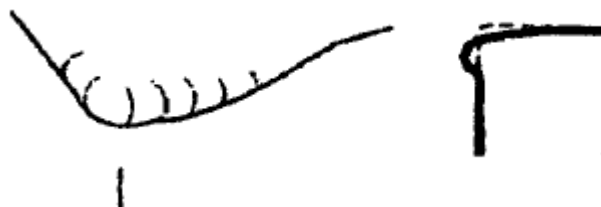
Je důsledkem působení mechanismů difuzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká částečně úběrem materiálu nástroje vyvolaným brousicím pochodem. Velké opotřebení čela ve tvaru žlábků může změnit geometrii břitu a ovlivnit tak tvar třísky, změnit směr působení řezných sil a zeslabit břit.



Obr. 14 Opotřebení čela ve tvaru žlábků [1]

### 2.2.3 Plastická deformace břitu

Vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit. Vysoké řezné rychlosti a posuvy vyvolávají vznik vysokých teplot a tlaků. Plastická deformace ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu a změny v odchodu třísky. Plastická deformace se vyskytuje při obrábění všemi nástrojovými materiály po dosažení určité teploty v některém místě stykových ploch mezi nástrojem a obrobkem. Při dosažení této teploty dochází k prudkému poklesu tvrdosti řezného materiálu v důsledku strukturálních změn. Plastickou deformaci lze zmenšit použitím správného zaoblení ostří a volbou vhodné geometrie břitu.



Obr. 15 Plastická deformace břitu [1]



### 2.2.4 Opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu

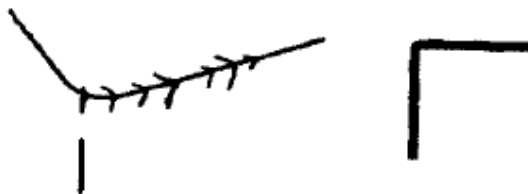
Patří k typickým adhezním opotřebením, však může souviset i s opotřebením oxidačním. Velké opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu destičky.



Obr. 16 Opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu [1]

### 2.2.5 Hřbenovité trhliny na ostří

Jsou formou únavového opotřebení, které vzniká tepelnými šoky. Trhliny se tvoří kolmo na ostří, přitom se mohou částice rezného nástrojového materiálu mezi jednotlivými trhlinami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu.



Obr. 17 Hřbenovité trhliny na ostří [1]

### 2.2.6 Únavový lom

Je typickým následkem velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení.



Obr. 18 Únavový lom [1]

### 2.2.7 Vydrolování ostří

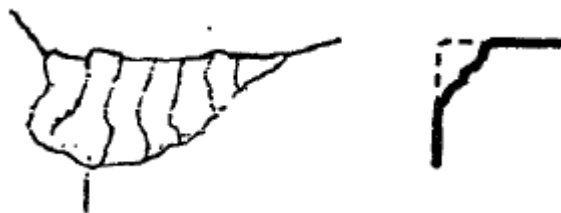
Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že drobné částičky řezného materiálu se začnou oddělovat z povrchu břitu. Odlupování materiálu a trhliny jsou příznaky, které upozorňují na možnost vzniku křehkého lomu břitu.



Obr. 19 Vydrolování ostří [1]

### 2.2.8 Lom břitu

Představuje náhlou poruchu a okamžitý konec jeho technického života. Lom břitu nástroje je nutné považovat za ukončení trvanlivosti. Křehký lom může být způsoben různými faktory: např. málo houževnatý materiál břitu.



Obr. 20 Lom břitu [1]

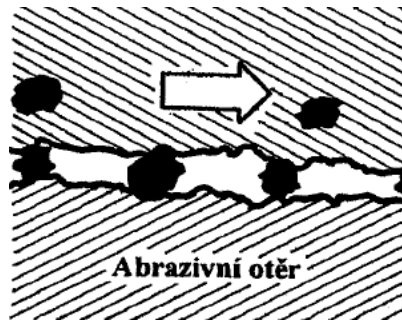
## 2.3 Druhy opotřebení

### 2.3.1 Abrazivní otěr

Je velmi rozšířený mechanismus, který vzniká hlavně působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Je to podobně jako při broušení, při němž se tvrdé částice dostávají mezi povrch obrobku a povrch nástroje. Schopnost břitu odolávat abrazivnímu otěru je z větší

části závislá na jeho tvrdosti. Schopnost břitu odolávat abrazivnímu otěru je závislá na jeho tvrdosti.

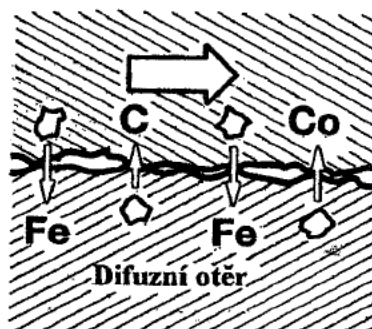
Abrazivní otěr je významný při nízkých řezných rychlostech, kdy se oba materiály stýkají na vrcholcích mikronerovností. Vyskytuje se tedy především při obrábění nástroji z rychlořezných a nástrojových ocelí.



Obr. 21 Abrazivní otěr [1]

### 2.3.2 Difuzní otěr

Vzniká působením chemických vlivů při procesu obrábění. Příčinou jsou difuzní pochody za určité teploty, kdy přechází určité prvky z povrchové vrstvy řezného materiálu do povrchové vrstvy materiálu obrobku a naopak. O podílu difuzního opotřebení na celkovém opotřebení rozhoduje chemické složení řezného nástroje a materiálu obrobku. Některé řezné materiály nereagují s materiálem obrobku vůbec, zatím co jí ve velké míře. Například afinita mezi slinutým karbidem a ocelí vede ke vzniku difuzního opotřebení. Důsledkem je vytvoření žlábků na čele břitu.

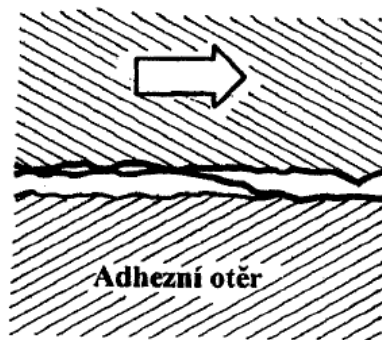


Obr. 22 Difuzní otěr [1]

### 2.3.3 Adhezní otěr

Vyskytuje se hlavně při nízkých teplotách obrábění na čele břitu nástroje. Může vzniknout jak u ocelí tvořících dlouhou třísku, tak u materiálů s krátkou třískou. Adhezní

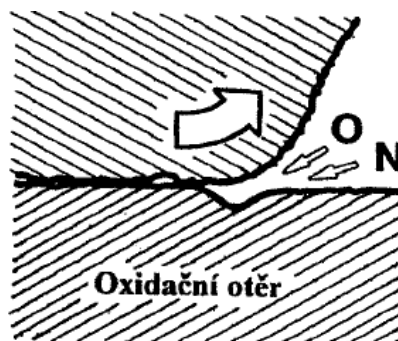
otěr je způsoben vytrháváním částic břitu v důsledku adhezních spojů mezi nástrojem a obrobkem. Je významný při nižších řezných rychlostech a vzniká působením vysokých tlaků na vrcholky mikrone rovnosti obráběného materiálu a pomocí adhezních sil dochází k pevnému spojení v podobě mikroskopických svarů. Adhezní otěr vzniká zejména při obrábění nástroji z nástrojových a rychlořezných ocelí. Tento jev vede často k vytváření nárůstku mezi třískou a břitem. Takto nárůstkem vytvořený břit může poškodit původní břit vydrolením nebo výlomem.



Obr. 23 Adhezní otěr [1]

#### 2.3.4 Oxidační otěr

Souvisí s vysokými teplotami řezného procesu, které spolu s okolním vzduchem mají za následek oxidaci nástrojového materiálu. Vzniklé oxidy působí velmi rozdílně. Wolfram a kobalt tvoří porézní filmy oxidu, které jsou snadno odnášeny třískou. Jiné oxidy, jako např. oxid hlinitý jsou podstatně pevnější a tvrdší. Proto jsou některé nástrojové materiály náchylnější k oxidačnímu opotřebení, než jiné. [1]



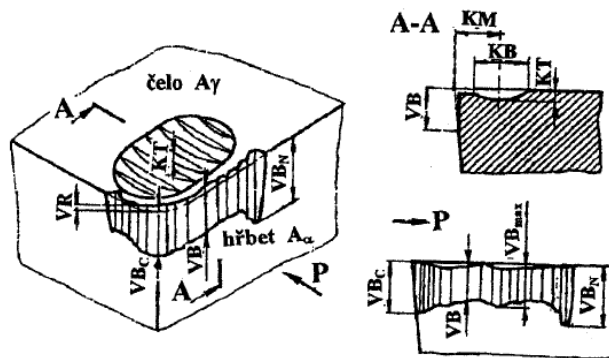
Obr. 24 Oxidační otěr [1]

## 2.4 Měření opotřebení vrtáků

Velikost opotřebení břitu (míru jeho otupení) můžeme určit:

- přímým měřením lineárních rozměrů otěru břitu v závislosti na čase
- vážením úbytku břitové destičky
- zjišťováním váhového úbytku břitové destičky pomocí radioaktivních izotopů
- nepřímým měřením a pozorováním

Přímým měřením určíme míru otupení nástroje změřením šířky, délky a hloubky ostřených míst na hřbetě a čele. Opotřebení má různou intenzitu na čelních a hřbetních plochách hlavních, vedlejších, resp. příčných ostří, což komplikuje měření. U vícebřitých nástrojů nemusí opotřebení probíhat na všech břitech rovnoměrně. Šroubovitě vrtáky se nejvíce opotřebovávají na hřbetech břitů na, kde se také opotřebení zpravidla měří. Velikost těchto otřených míst se měří zpravidla pod dílenským mikroskopem a křížovým stolem, jehož posunutí lze měřit mikrometrickým šroubem, nebo se velikost otěru odečte přímo na vyryté stupnici umístěné v okuláru mikroskopu. Míru otupení břitu na hřbetě určujeme hodnotou šířky otřené plochy  $VB$ . Délka otřené plochy je úměrná hloubce odřezávané vrstvy materiálu obrobku. Otěr na čele určujeme šířkou žlábků  $KB$  a jeho hloubkou  $KT$ .



Obr. 25 Opotřebení břitu řezného nástroje [1]

Vážením lze určit hodnotu opotřebení nejpřesněji. Provádí se vážení břitové destičky před a po práci. Váhový rozdíl nám pak určí míru opotřebení. Tahle metoda se používá jen pro laboratorní výzkum, poněvadž vzhledem k nepatrnému rozdílu obou vah (jedná se o zlomky miligramu) před a po práci, vyžaduje tato metoda velmi citlivých vah.

Určení míry otupení pomocí radioisotopů je metoda velmi citlivá. Umožňuje určit váhové úbytky nástroje řádově  $10^{-1}$  až  $10^{-3}$  mg. Aktivita řezné destičky se získá buď jejím

ozářením v toku neutronů v reaktoru (u rychlořezných ocelí) anebo se již při výrobě břitové destičky přidá k ostatním materiálům radioaktivní prvek. U SK před slinováním např. radioaktivní kobalt. Váhový úbytek řezné destičky zjistíme takto: aktivovanou břitovou destičkou odebereme určité množství třísek. Pomocí Geiger – Müllerových trubic zjistíme aktivitu třísek počtem impulsů/min. Z břitové destičky rozpustíme určité množství kovu v kyselině a zjistíme aktivitu této kyseliny počtem impulsů/min. Ze známé aktivity této kyseliny, která obsahuje známé množství rozpuštěného kovu břitové destičky, vypočteme přibližné váhové množství materiálu břitové destičky, který ulpěl na odebraných třískách.

Zjišťování opotřebení nepřímými způsoby je vesměs značně přibližné. Všechny tyto způsoby jsou založeny na charakteristických příznacích, které provázejí probíhající proces otupení nástroje.

Tyto jsou:

objevení se lesklého proužku na povrchu obráběného materiálu

zvýšení řezného odporu

zvýšení teploty řezání

změna barvy třísek

zvětšení rozměru obráběné součásti

vzrůst chvění nástroje

charakteristický zvuk a zhoršení jakosti obrobené plochy

Určení velikosti opotřebení pozorováním některého z těchto znaků otupěného nástroje je značně hrubé a není také možno tímto způsobem určovat časový průběh procesu opotřebení břítu, protože všechny tyto znaky projeví se výrazněji teprve tehdy, když otupění nástroje dosáhlo určité míry. [5]

### 3 ŘEZNÉ KAPALINY A JEJICH VÝZNAM PŘI OBRÁBĚNÍ

#### 3.1 Význam a funkce řezných kapalin

Hlavní funkcí řezné kapaliny je účinný odvod tepla z místa řezání, ať už dokonalým chlazením nebo mazáním, kdy přívod řezné kapaliny dochází ke zmenšení jak vnitřního, tak i vnějšího tření.

Existují i prostředky konzistentní, jako jsou tuhy, nebo pevné, jako jsou prášková maziva. Tyto sice snižují tření, ale neumožňují intenzivní odvod tepla z místa řezu. Při obrábění se tyto prostředky uplatňují pouze ojediněle, např. při řezání závitů, nebo při některých speciálních obráběcích operacích.

Kapaliny tedy zůstávají stále základními prostředky pracovního prostředí při obrábění kovů. Vedle chladicího a mazacího účinku mají i funkci čistící. Navíc nesmí způsobovat korozi strojů nebo obrobků a musí být zdravotně nezávadné. Dále se také požaduje, aby řezné kapaliny byly snadno likvidovatelné a ekologicky nezávadné.

Volba řezné kapaliny se posuzuje podle:

- mechanismu tvoření třísky
- vlastností obráběného materiálu
- vlastností použitého nástrojového materiálu
- požadavku na jakost opracování součásti

Na základě těchto poznatků lze určit:

- charakteristiku řezné kapaliny (tj. chladicí a mazací účinek)
- vhodnou koncentraci řezné kapaliny
- způsob přívodu řezné kapaliny do místa řezu
- způsob likvidace řezné kapaliny [4]

#### 3.2 Mechanismus tvorby třísky

Řezání je proces plastické deformace probíhající před břitem nástroje související také s řezným prostředím, tj. s přívodem řezné kapaliny. Přívod řezné kapaliny může ovlivňovat plastickou deformaci tak, že zmenšuje nebo zhoršuje její průběh. Velikost deformací se projevuje změnami součinitele pěchování třísky a řezné prostředí jej podstatně ovlivňuje.

Proces řezání je provázen řadou průvodních jevů. Jedním z nich je tvoření nárůstku. Řezná kapalina ovlivňuje tvorbu nárůstku tím, že působí na velikost teploty řezání, že ovlivňuje velikost plastické deformace a ovlivňuje i velikost tření. Obsahuje – li řezná kapalina přísady, které zmenšují tření, potom je možné počítat s tím, že s přívodem takovéto řezné kapaliny dojde v celém rozsahu řezných podmínek ke zmenšování tvorby nárůstku a tím i ke zlepšení jakosti obrobeného povrchu. [4]

### 3.3 Vlivy ovlivňující volbu řezných kapalin

#### 3.3.1 Řezný nástroj

Volba materiálu nástroje se provádí podle prováděné operace, podle objemu výroby, podle použitého stroje a vlastností obráběného materiálu. Řezná kapalina je jedním z činitelů, které volbu nástrojového materiálu mohou ovlivnit.

Z nástrojových materiálů jsou právě rychlořezné oceli, které se musí chladit vždy. A především tehdy, kdy obráběcí operace se uskutečňují za ztížených řezných podmínek. Slinuté karbidy, které jsou nejrozšířenějšími nástrojovými materiály, běžně mohou pracovat bez přívodu řezné kapaliny. V praxi se však častěji pracuje společně i s nástroji rychlořeznými, a tak je nutné využít přívodu řezné kapaliny i při obrábění SK. Keramické nástrojové materiály mohou pracovat bez chlazení.

Jednou z hlavních příčin poškození řezného nástroje je teplo. Teplo totiž ovlivňuje jeho trvanlivost a pevnost. To se projeví opotřebením nástroje na obou jeho funkčních plochách, tj. na čele a na hřbetě. Proto řezné prostředí ovlivňuje proces opotřebením nástroje.

Důležité je působení chemické působení řezné kapaliny. To snižuje adhezní tření, zmenšuje součinitel tření a tím i opotřebením. [4]

#### 3.3.2 Obráběný materiál

Volba řezné kapaliny s ohledem na obráběný materiál se zpravidla řídí těmito pravidly:

Zvětšuje li se pevnost obráběného materiálu, dochází k většímu namáhání nástroje, plastická deformace je větší a proto je nutné volit řeznou kapalinu s vysokotlakými přísadami, nebo o vyšší koncentraci. Tím se zvýší pevnost mazací vrstvy i při vyšších teplotách.



Křehké materiály, jako např. litina, se obrábí snadno za sucha. I zde je možnost využít řezné kapaliny, ale spíš pro zamezení šíření nečistot, než pro zlepšení procesu řezání.

U ostatních materiálů je nutné sledovat, aby zvolená řezná kapalina nereagovala s obráběným materiálem. [4]

### 3.3.3 Jakost obrobené plochy

Významnou funkcí řezné kapaliny je její vliv na jakost obrobené plochy. Řezná kapalina může ovlivňovat jak rozměrovou a tvarovou přesnost, tak drsnost povrchu.

Přívod řezné kapaliny způsobuje, že se mění objem plasticky deformované oblasti, odstraní se tvoření nárůstku na čele nástroje, což se projeví i na výsledné drsnosti povrchu.

Zkouškami řezných kapalin se potvrdilo, že správně zvolená a připravená řezná kapalina může zlepšit drsnost povrchu o 1 až 2 třídy oproti zkouškám za sucha. [4]

## 3.4 Charakteristiky a vlastnosti řezných kapalin

Řezné kapaliny se obecně rozdělují do dvou hlavních skupin podle účinku na proces řezání, tj. kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem.

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

- chladicí účinek
- mazací účinek
- čisticí účinek
- provozní stálost
- ochranný účinek
- zdravotní nezávadnost

### 3.4.1 Chladicí účinek

Rozumí se schopnost řezné kapaliny odvádět teplo z místa řezu. Tuto schopnost má každá kapalina, která smáčí povrch kovu a pokud existuje tepelný spád mezi povrchem a kapalinou. Tento účinek nastává při obrábění vždycky. Odvod tepla vzniklého při řezání se

uskutečňuje tím, že proud řezné kapaliny oplachuje nástroj, třísky i obrobek a přejímá vzniklé teplo.

Chladicí účinek řezných kapalin bude záviset na jejich smáčecí schopnosti, na výparném teple, na rychlosti vypařování za určitých teplot, na tepelné vodivosti a na měrném teple. Čím budou tyto veličiny větší, bude i větší chladicí účinek řezné kapaliny. [4]

### 3.4.2 Mazací účinek

Je schopnost kapaliny vytvořit na povrchu kovu vrstvu, která brání přímému styku kovových povrchů a snižuje tření, ke kterému dochází mezi nástrojem a obrobkem. Vzhledem k vysokým tlakům, které vznikají při řezání, nemůže zde dojít ke kapalnému tření. Mazací účinek má za následek zmenšení řezných sil, zmenšení spotřeby energie a také zlepšení jakosti obrobeného povrchu. Mazací účinek řezných kapalin se proto vyžaduje u dokončovacích operací obrábění a při provádění náročných operacích, jako je protahování, výroba závitů nebo výroba ozubení.

Mazací schopnost řezné kapaliny je závislá na její viskozitě a na pevnosti vytvořené mezní vrstvy. S rostoucí viskozitou se ale zhoršuje pronikání kapaliny mezi třecí plochy, její proudění a také odvod tepla. Viskóznější kapaliny ulpívají také více na třískách a tím dochází ke značným ztrátám. [4]

### 3.4.3 Čistící účinek

Znamená, že s přívodem řezné kapaliny se odstraňují třísky z místa řezání. Např. u broušení zlepšuje vlastnosti brousícího kotouče tím, že vyplavuje zanesené póry. Řezná kapalina má také bránit slepování částic, které vznikají při řezání, ale má vyvolat jejich usazování. Jakost čištění závisí i na čistotě vlastní řezné kapaliny. Velký význam má účinek čištění pro broušení a u těch operací, kdy řezná kapalina musí odnášet třísky z místa řezu např. při řezání závitů nebo vrtání hlubokých děr. [4]

### 3.4.4 Provozní stálost

Je možné hodnotit dobou výměny řezné kapaliny. Dlouhodobost výměny řezné kapaliny je podmíněna zárukou, že se její vlastnosti nebudou po tuto dobu měnit. Stárnutí řezné kapaliny olejového typu se projevuje tvořením usazenin, které mohou způsobit i poruchu stroje. Produkty stárnutí mají vliv i na zhoršování funkčních vlastností řezné kapaliny, její rozklad, zmenšování mazacího účinku, ztrátě ochranných schopností, korozi a hni-

lobný rozklad. Provozní stálost řezné kapaliny závisí na jejich fyzikálních a chemických vlastnostech a na teplotě. [4]

### 3.4.5 Ochranný účinek

Ochranný účinek se projevuje tím, že nenapadá kovy a nezpůsobuje korozi. To je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat, aby se také stroje chránily před korozi. Pro vytvoření dokonalého antikorozičního účinku jsou do řezné kapaliny přidávány přísady, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům. Dalším důležitým požadavkem je to, aby řezná kapalina nerozpouštěla nátěry obráběcích strojů a nebyla agresivní. [4]

### 3.4.6 Zdravotní nezávadnost

Řezná kapalina nesmí být zdraví škodlivá, nesmí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku a nesmí být jedovaté. Kapaliny také nesmí zamořovat ovzduší nepříjemným zápachem. Zdravotní nezávadnost řezných kapalin závisí také na jejich provozní stálosti a čistotě. Přitom je nutné v provozu dbát na to, aby byla zajištěna základní hygienická opatření, jako je větrání, umývání, preventivní ochrana pokožky apod. [4]

## 3.5 Rozdělení řezných kapalin

Řezné kapaliny se dělí dvou skupin:

chladicí kapaliny – s převažujícím chladicím účinkem

řezné oleje – s převažujícím mazacím účinkem

Do skupiny řezných kapalin s převažujícím chladicím účinkem patří kapaliny na vodní bázi a do skupiny řezných kapalin s převažujícím mazacím účinek patří kapaliny na bázi oleje.

Řezné kapaliny dělíme podle složení na:

vodní roztoky

emulzní kapaliny

mastné oleje

zušlechtěné řezné oleje

syntetické kapaliny

### 3.5.1 Vodní roztoky

Jsou nejjednodušší řezné kapaliny, ale nejsou příliš vhodné z hlediska aplikace. Voda, jako jejich základ, vyžaduje řadu úprav, jako je její změkčování, přidávání přísad proti korozi, pro zlepšení sočivosti a proti pěnovosti. Vodní roztoky musí být vždy alkalické.

U těchto kapalin vzniká nebezpečí rozmnožování anaerobních bakterií, které způsobují tvorbu kalů a nepříjemný zápach. [4]

### 3.5.2 Emulzní kapaliny

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

Tyto látky zmenšují mezipovrchové napětí emulgovaných kapalin a stabilizují emulzi. Emulzní kapaliny spojují přednosti vody a mazacích olejů. Chladicí účinek emulzní kapaliny závisí na koncentraci emulze. Schopnost ochrany proti korozi závisí na hodnotě pH emulze, ale v daleko menší míře jak u vodních roztoků. Provozní vlastnosti emulzních kapalin závisí na jejich přípravě.

Při přípravě emulzních kapalin je třeba se řídit určitým postupem:

pro přípravu použít vhodně upravenou vodu

emulgační prostředek přidávat pozvolně za stálého míchání

koncentrace emulze volit podle druhu operace a podle množství ochranných látek, koncentrace se obvykle pohybuje v rozmezí 2 až 10% [4]

### 3.5.3 Mastné oleje a tuky

Jsou látky živočišného a rostlinného původu a mají prakticky stejné vlastnosti jako olej minerální. Mají ale menší povrchové napětí a tím i lepší sočivost, což přispívá k účinnějšímu odvodu tepla.

Velkou nevýhodou těchto mastných látek je značný sklon ke stárnutí, tj. zvyšuje se jejich kyselost. Mezi mastné oleje používané při obrábění patří řepkový olej, ricinový olej, lněný olej a další. [4]

### 3.5.4 Minerální oleje

Jsou výrobky z ropy s dobrými mazacími vlastnostmi, ale horším chladicím účinkem. Mají ale dobrý ochranný účinek a dobrou odolnost proti stárnutí. Mají velmi dobré provozní vlastnosti.

### 3.5.5 Řezné oleje

Jsou zušlechtěné minerální oleje. Přísady, které se používají, mají vyšší tlakovou únosnost a také lepší mazací vlastnosti. Přísady, které zlepšují mazací schopnosti řezných olejů, jsou mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva.

Mastné látky: Patří sem zmýdelnitelné mastné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery. Tyto přísady zvětšují přilnavost oleje ke kovům a zlepšují mazací schopnost, ale ne za extrémních tlaků

Organické sloučeniny: jako je síra, chlor, fosfor. Všechny tyto látky se používají jako vysokotlaké přísady. Na povrchu vytvářejí vrstvičku kovových mýdel, které zabraňují kovovým svarům a usnadňují kluzný pohyb troucích se ploch. Sloučeniny s chlorem zmenšují tření, ale jeho účinnost klesá při teplotách nad 400 °C. U sloučenin fosforu se teplota zvyšuje na 550°C a dokonce u síry na 600°C. Nejčastěji se však používají jejich kombinace.

Pevná maziva: Se používají také jako přísady do řezných olejů, působí při řezání mechanickým účinkem. Patří sem grafit a siřník molybdenu. Jejich nevýhodou však je, že se v kapalinách nerozpustí a musí se proto udržovat v rozptýleném stavu. [4]

### 3.5.6 Syntetické oleje

Vyznačují se velkou provozní stálostí, ale jejich mazací a chladicí účinky nejsou lepší u minerálních olejů. Kapaliny tohoto druhu jsou většinou rozpustné ve vodě a mají dobrý chladicí i mazací účinek. [4]

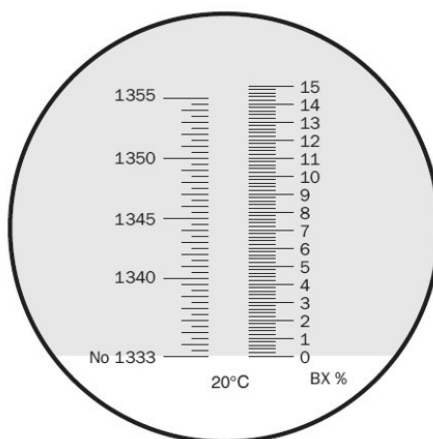
### 3.6 Určování koncentrace chladicí kapaliny

Refraktometry slouží k určení koncentrace oleje ve vodních emulzích a průhledných roztocích, jako je například chladicí kapalina obráběcích strojů. Refraktometry jsou vhodné k určení správného složení chladicí kapaliny, která má zásadní význam pro optimální výkonnost řezných nástrojů, dále k ochraně stroje a obrobku proti korozi a snížení rizika ohrožení zdraví vyplývajícího z nesprávné koncentrace olejů rozpustných ve vodě a také pro optimalizaci používání řezných a brusných kapalin rozpustných ve vodě. [7]



Obr. 26 Ruční refraktometr [7]

Nejjednodušší metodou určování koncentrace chladicí kapaliny je pomocí ručního refraktometru. Je to přesný optický přístroj s jednoduchým ovládním. Při měření se na prizmu refraktometru nanese několik kapek chladicí kapaliny, přístroj se nastaví proti světlu a odečítaná hodnota se násobí odpovídajícím faktorem příslušné chladicí kapaliny. [6]



Obr. 27 Stupnice indexu lomu [7]

## 4 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Sledování opotřebení hřbetu vrtáku

Sledování teploty v oblasti na špičce vrtáku

Hodnocení jakosti povrchu pomocí drsnoměru Mitutoyo SJ-301

Počítačová simulace procesu vrtání bez řezných kapalin

Porovnání řezných kapalin

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**



## 5 PODMÍNKY EXPERIMENTU

Praktická část se zabývá vrtáním otvorů šroubovým nepovlakovaným vrtákem o  $\varnothing$  8 mm. U prvního a druhého vrtáku se vrtalo bez použití řezných kapalin a další tři vrtáky s přívodem různých druhů řezné kapaliny. Použité řezné kapaliny byly následující: CIMPERIAL 900, CIMTECH D12, CIMSTAR 579. Vrtalo se každým vrtákem vždy 50 děr do plného materiálu (12050) a sledovalo se:

hřbetní opotřebení vrtáku VB

hmotnostní opotřebení na digitální tisícinové váze

teplota špičky nástroje

drsnot povrchu vrtaných děr

### 5.1 Vrtačka B40 GSM

Pro mou praktickou část jsem používal školní sloupovou vrtačku B40 GSM. Optimální řezné podmínky byly voleny dle strojnických tabulek pro šroubovým vrták o  $D = 8$  mm.

Tab. 2 Řezné podmínky pro šroubovým vrták  $\varnothing$  8

Průměr vrtáku $D$ (mm)	Řezná rychlost $v$ (m/min)	Otáčky $n$ (ot/min.)	Posuv $f$ (mm/ot.)
8	25,5	1015	0,1

Výpočet řezné rychlosti:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 8 \cdot 1015}{1000} = 25,5 \text{ m/min}$$

Tab. 3 Parametry sloupové vrtačky B40 GSM

Elektrická přípojka	
Celkový příkon	3x400, 1,5kW, ~50Hz
Uložení vřetene	
Uložení vřetene	MK4
Posuv pinoly [mm/ot.]	0,1 a 0,2
Pracovní stůl	
Velikost stolu [mm]	560 x 560
Rozměry	
Výška [mm]	2220
Hloubka [mm]	730
Šířka [mm]	560
Celková hmotnost [kg]	460
Pracovní prostor	
Výška [mm]	2400
Hloubka [mm]	1800
Šířka [mm]	1400
Otáčky	
Otáčky [ot./min.]	50 - 1450
Počet stupňů	18



Obr. 28 Vrtačka B40 GSM

## 5.2 Drsnoměr Mitutoyo SJ-301

Měření drsnosti bylo provedeno přístrojem Mitutoyo SJ-301. Pěti různými vrtáky jsem vyvrtal 50 děr a v každé z nich změřil drsnost Ra a Rz. Z celkového počtu 50 naměřených hodnot pro každý vrták sem vypočítal průměrnou drsnost Ra a Rz.

Drsnoměr Mitutoyo SJ-301 je to měřicí přístroj, který zkoumá povrchy snímacím hrotem a získává úchytky ve formě profilu povrchu, vypočítává parametry a je schopen profil zaznamenat. Tento měřicí přístroj je určený především na měření drsnosti povrchu pro použití v dílenském prostředí. Výsledky měření se zobrazují na displeji a můžou tisknout přes vestavěnou tiskárnu.[8]

Vlastnosti přístroje:

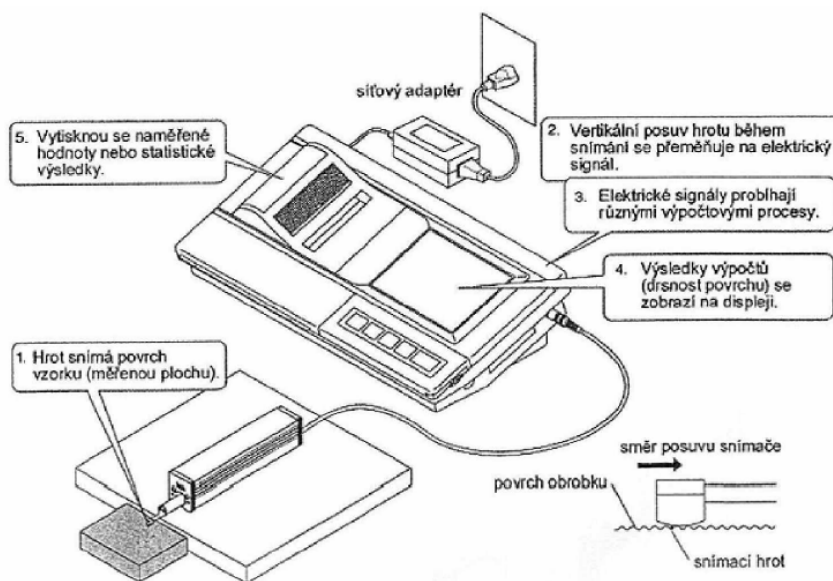
Nízká hmotnost

Velký měřicí rozsah (maximální měřicí rozsah  $300 \mu\text{m} \pm 150 \mu\text{m}$ )

Znázornění měřeného výsledku na displeji

Interní paměť

Vestavěná tiskárna



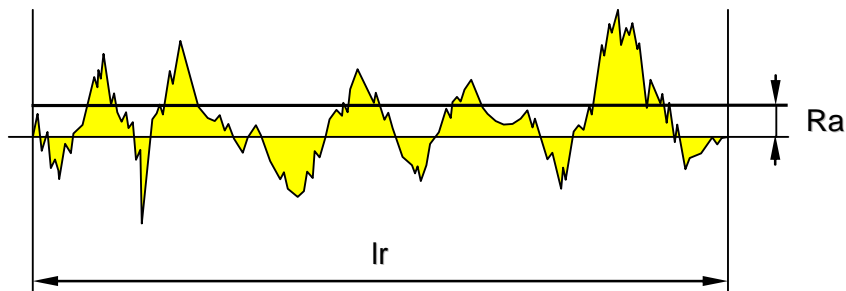
Obr. 29 Drsnoměr Mitutoyo SJ-301 [8]

Snímací hrot přístroje zaznamenává i nejmenší nepravidelnosti povrchu vzorku. Drsnost povrchu se vypočítá z vertikálního posuvu snímacího hrotu, ke kterému dochází, když snímací hrot přejíždí přes nepravidelnosti povrchu. Poloha snímacího hrotu vůči obrobku musí být zajištěna tak, aby posuv při měření byl rovnoběžný s povrchem obrobku. [8]

Základní definice parametrů struktury povrchu:

Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$  :

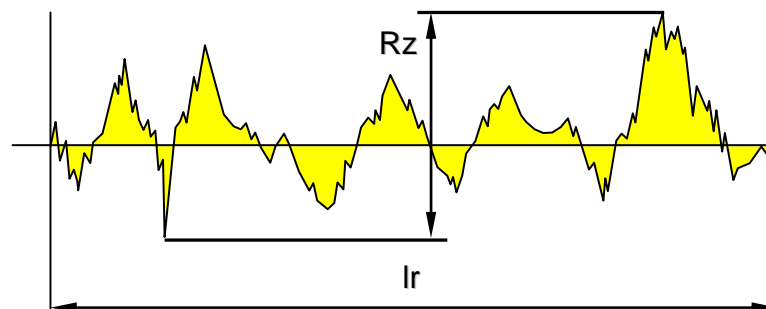
- je střední aritmetická hodnota absolutních úchylek profilu v rozsahu základní délky
- udává pouze střední hodnotu vzdálenosti souřadnic jednotlivých bodů profilu povrchu od střední čáry profilu



Obr. 30 Vyhodnocení parametru drsnosti  $R_a$

Největší výška profilu  $R_z$ :

- je součet výšky  $Z_p$  nejvyššího výstupku profilu a hloubky  $Z_v$  nejnížší prohlubně profilu v rozsahu základní délky



Obr. 31 Vyhodnocení parametru drsnost

### 5.3 Snímač teploty Fluke 574

Jedná se o bezkontaktní měřicí přístroj, který měří množství infračervené energie a zobrazuje teplotu povrchu tohoto tělesa na displeji. [9]

Součástí teploměru je:

- nastavitelná emisivita a vestavěná tabulka běžných materiálů pro vyšší přesnost infračerveného spektra
- laserové tříbodové zaměrování
- termočlánek typu K
- vnitřní paměť pro uložení až 100 naměřených údajů
- grafický displej



Obr. 32 Snímač teploty FLUKE 574 [9]

Tab. 4 Technické údaje – Fluke 574

Technické údaje přístroje FLUKE 574	
Teplotní rozsah	-30 °C až 900 °C
Rozlišovací schopnost	0,1 °C
Přesnost	±0,1 °C
Spektrální rozsah	8 – 14 μm
Doba odezvy	250 ms
Optické rozlišení	60:1
Rozsah emisivity	0,1 až 1 (krok 0,01)
Zdroj	2 x 1,5V alkalický článek typu AA

## 5.4 Vrtaný vzorek

**Ocel 12050 (C45)** – Oceli třídy 12 jsou rozděleny na oceli k ušlechťování a oceli určené k cementování. Oceli cementační obsahují 0,06 až 0,2 %C a dodávají se ve stavu přírodním (pouze válcované popř. kované). Oceli k ušlechťování mají obsah uhlíku 0,25 až 0,7 %. Použití – např.: hřídele, ozubená kola, šneky, ojnice, závěsy pružin, čepy

## 5.5 Použité procesní kapaliny

### 5.5.1 Cimtech D12

Je syntetická kapalina určená především pro lehké kovoobrábění

Použití:

Cimtech D12 je syntetická kapalina vhodná pro lehké broušení a obrábění železných kovů kde je požadováno lehké mazání anebo zvýšená ochrana proti korozi. Cimtech D12 lze použít u samostatných strojů i centrálních rozvodů. Lze ji použít i ponornému testování hotových a napůl dokončených součástí.

Vlastnosti a výhody:

Cimtech D12 je čistá a průhledná kapalina pro broušení s vynikajícími čistícími a chladicími účinky, zajišťuje i částečné mazání

Cimtech D12 zajišťuje dokonalou čistotu a nemísí se s unášeným olejem

Je doporučována výrobcem pro případy, kdy je požadováno dokonalé potlačení koroze železných materiálů. Je vhodná i pro litinu a další železné kovy

Cimtech D12 má skvělé vlastnosti zbytků. Pečlivě vybrané suroviny zajišťují dlouhou životnost kapaliny. Dokonale omezuje pění a nevytváří mlhu

Je vhodná pro vyšší tvrdost vody (do 40°dH). Nevyžaduje speciální opatření při likvidaci

### 5.5.2 Cimstar 579

Cimstar 579 je polysyntetická řezná a brusná kapalina pro středně těžké aplikace. Cimstar 579 je univerzální s vodou mísitelný koncentrát vytvářející mikroemulzi.

Použití:

Cimstar 579 je všeobecně použitelná řezná kapalina doporučená pro středně těžké operace obrábění a broušení ložiskových ocelí a všech železných a většiny neželezných kovů. Je určena pro použití při počáteční tvrdosti vody v širokém rozsahu 10-25° dH

Vlastnosti a výhody:

Cimstar 579 je čistý produkt s vynikajícími oplachovými vlastnostmi

Je velmi ekonomický při používání z důvodu nízké doplňovací koncentrace

Je vhodný pro široký rozsah materiálů a operací

Má dobrou kontrolu tvorby pěny při výše uvedených hodnotách tvrdosti vody použité pro míchání

Cimstar 579 je preferovaná mikroemulze snadno mísitelná s vodou

Plně vyhovuje aktuálním požadavkům bezpečnosti práce a ochrany zdraví a životního prostředí

### 5.5.3 Cimperial 900

Cimperial je řada emulzí vyvinutých speciálně pro náročné obrábění a broušení. Je vhodná pro nejrůznější materiály od hliníku až po železné kovy. Tyto spolehlivé emulze zaručují dokonalé mazání, vysokou kvalitu povrchu a skvělou stabilitu. V případě správného použití a údržby zajišťují dlouhou životnost kapaliny a jsou proto velmi úsporné. Díky výběru vhodných emulzních činidel jsou tyto kapaliny vhodné pro téměř libovolnou kvalitu vody, se kterou se mísí.



## 6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH ZPRACOVÁNÍ

Naměřené hodnoty teplot při vrtání jsem zapsal do tabulek a vynesl do grafů. U prvního vrtáku došlo po 6 odvrtaných děr k destrukci a vrták byl z experimentu vyřazen.

Výsledky jsou rozděleny do tří skupin. První skupina obsahuje výsledky hřbetního opotřebení VB šroubovitého vrtáku, druhá skupina obsahuje dosažené teploty při vrtání a třetí skupina obsahuje vyhodnocení drsnosti vrtaných děr různými vrtáky.

### 6.1 Výsledky hřbetního opotřebení VB

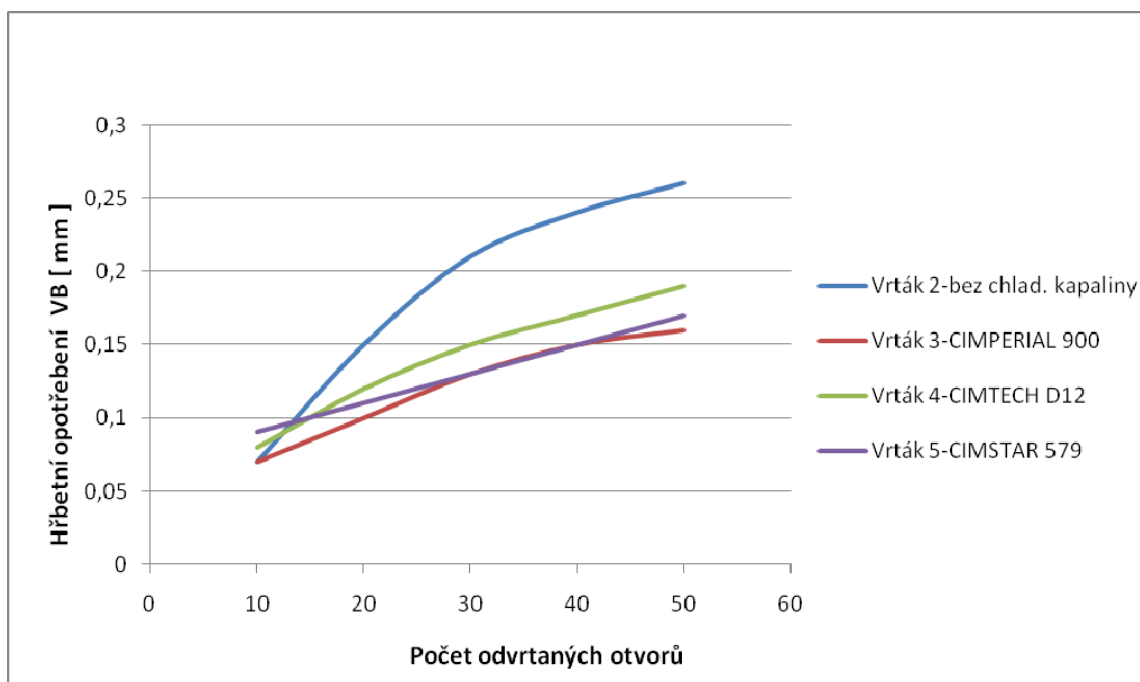
Měření hřbetního opotřebení se provádělo na mikroskopu Zeiss. Jeho optický systém je opatřen mikrometrickým posuvovým šroubem s přesností 0,01 mm. K zaměřování se používá okulár s ryskami. Při měření byl vždy vrták ustanoven v pomocném prizmatickém přípravku.

*Tab. 5 Závislost hřbetního opotřebení VB na počtu odvrtaných děr*

Průměr vrtáku (mm) D= 8	Zkušební podmínky f=0.1 (mm/ot.) n=1015(ot/min.)	Vrták č.	Opotřebení VB (mm) po odvrtání otvorů				
			10	20	30	40	50
		2	0.07	0.15	0.21	0.24	0.26
		3	0.07	0.10	0.13	0.15	0.16
		4	0.08	0.12	0.15	0.17	0.19
		5	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17



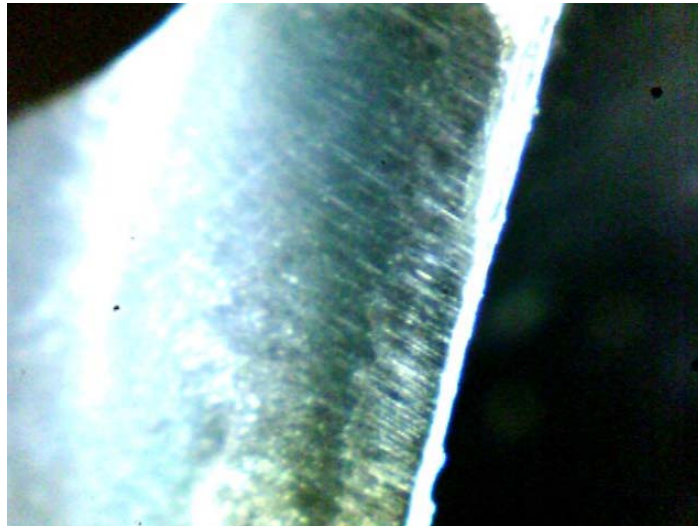
Obr. 33 Mikroskop Zeiss



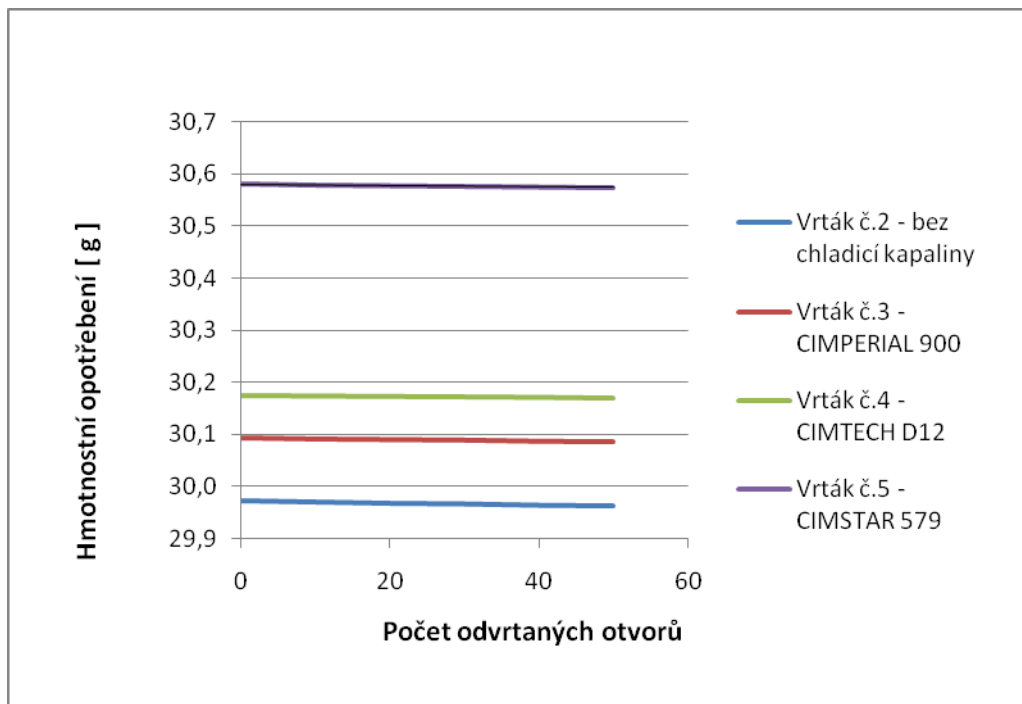
Obr. 34 Graf závislosti hřbetního opotřebení VB na počtu odvrtných děr

### Digitální USB Mikroskop ProScopeHR

ProScope HR je mikroskop s velkou rozlišovací schopností. Je vybaven zobrazovacím zařízením 1,3Mp a doplněn o programy pro Windows a Mac, které umožňují zachytit obraz ale i video. ProScope HR je USB video zařízení, které spolupracuje s USB ovladačem programů Windows XP Service Pack 2. Zvětšovací rozsah čoček : 0-10X, 30X, 50X, 100X, 200X, 400X a 1000X. Výrobce BODELIN Technologies. Vizuální kontrola opotřebení a snímání jeho charakteru do digitální podoby probíhalo pomocí výše uvedeného digitálního mikroskopu. Příklad snímané části opotřebení vrtáku je zobrazen na obrázku 35.



Obr. 35 Hřbetní opotřebení vrtáku z pohledu mikroskopu

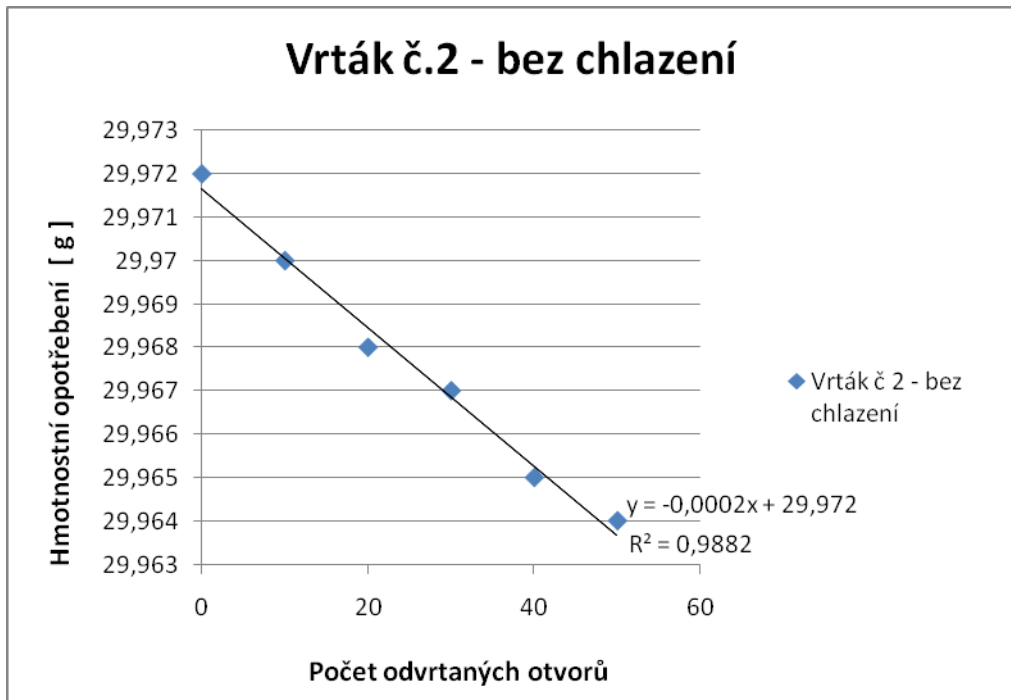


Obr. 36 Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrтанých děr

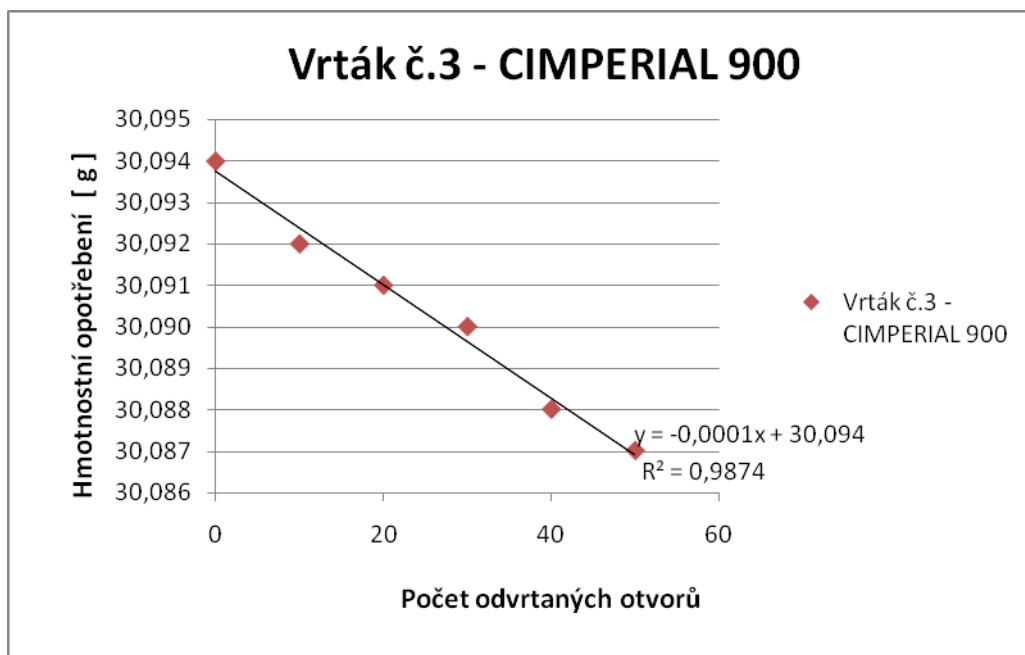
Měření hmotnostního opotřebení se provádělo na dílenské digitální váze, která vážila s přesností 0,001 kg. Vážení probíhalo pravidelně po každém odvrтанí 10 otvorů.

Tab. 6 Závislost hmotnostního opotřebení na počtu odvrтанých děr

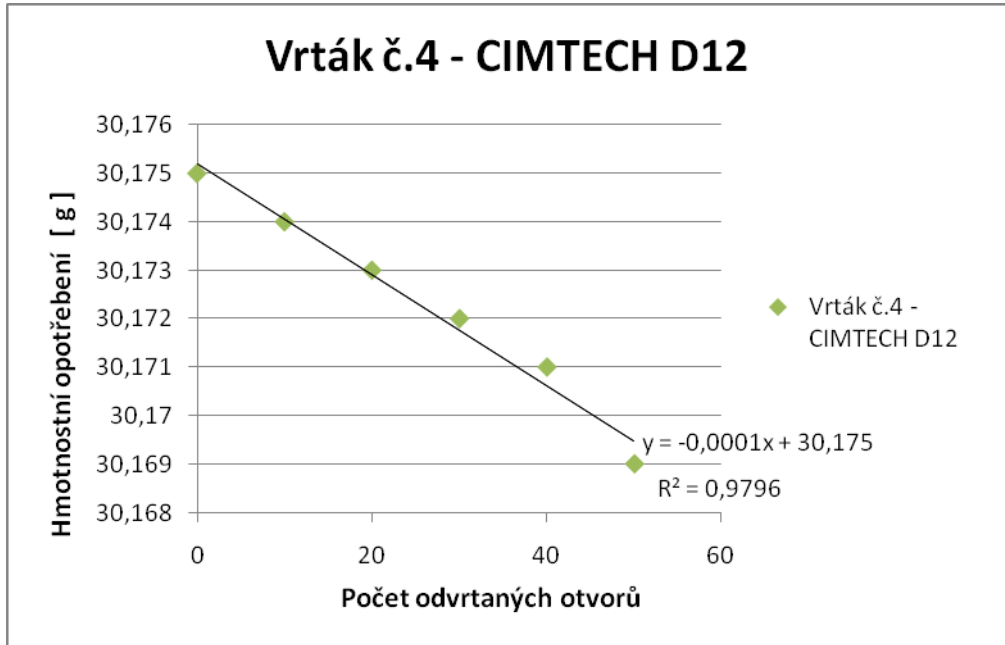
Průměr vrták (mm) D= Φ8	Zkušební podmínky s=0.1 (mm/ot.) n=1015(ot/min.)	Vrták č.	Hmotnostní opotřebení (g) vrtáku z RO					
			poč. hm	po 10	po 20	po 30	po 40	po 50
		2	29.972	29.970	29.968	29.967	29.965	29.964
		3	30.094	30.092	30.091	30.090	30.088	30.087
		4	30.175	30.174	30.173	30.172	30.171	30.169
		5	30.580	30.578	30.577	30.576	30.575	30.574



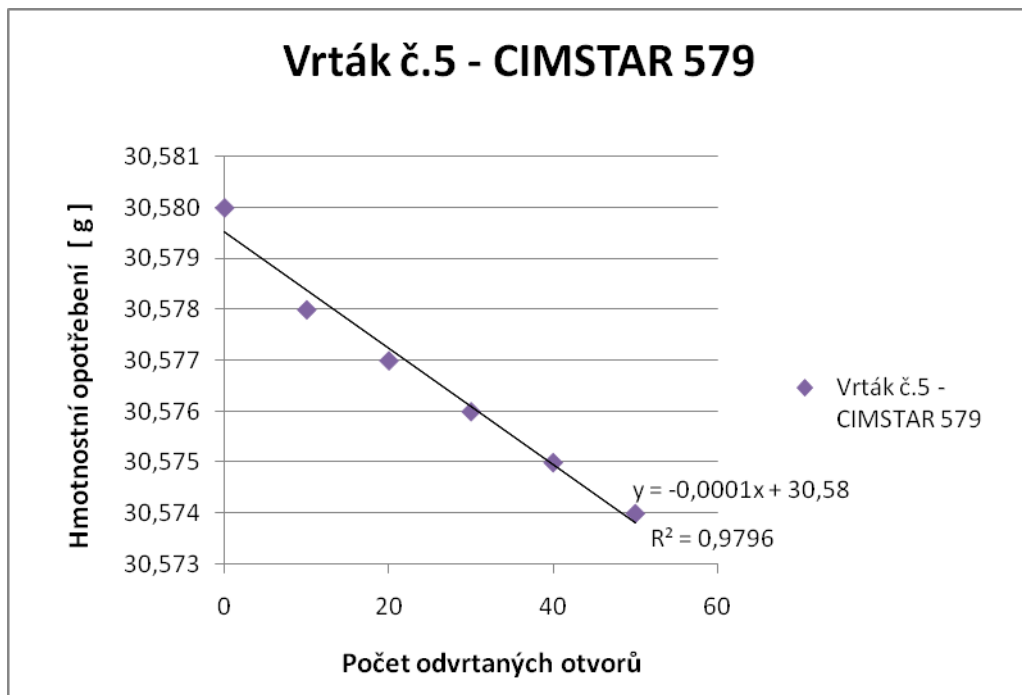
Obr. 37 Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrtných děr



Obr. 38 Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrtných děr



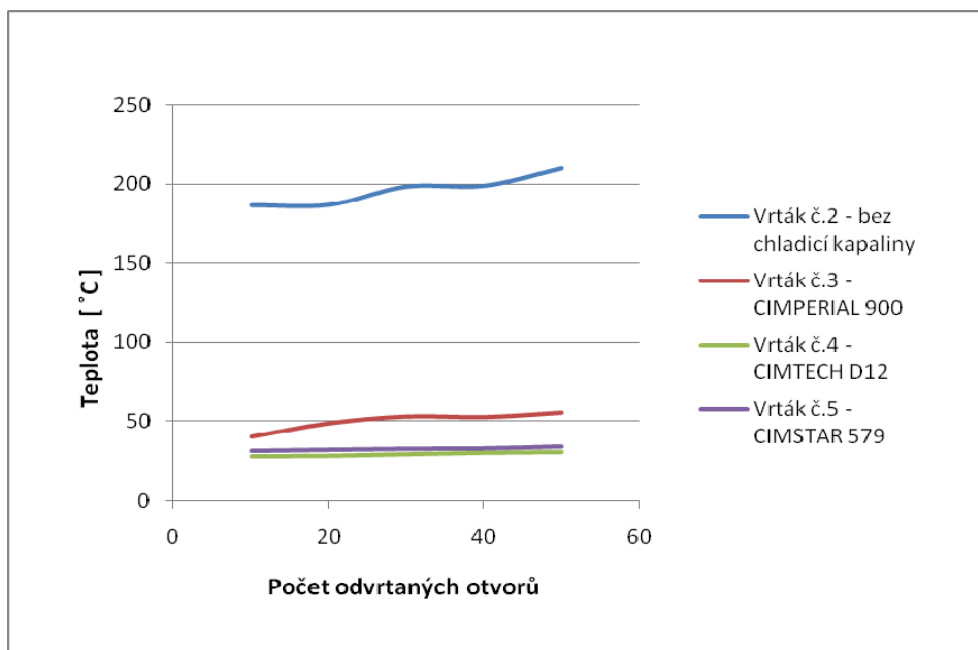
Obr. 39 Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrтанých děr



Obr. 40 Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrтанých děr

## 6.2 Dosažená teplota při vrtání

Měření teploty na špičce nástroje se provádělo se snímačem teploty Fluke 574. Je to bezkontaktní měřicí přístroj, který měří množství infračervené energie a zobrazuje teplotu povrchu tohoto tělesa na displeji. Teplota byla měřena při počáteční dílenské teplotě, která se pohybovala kolem 25°C.

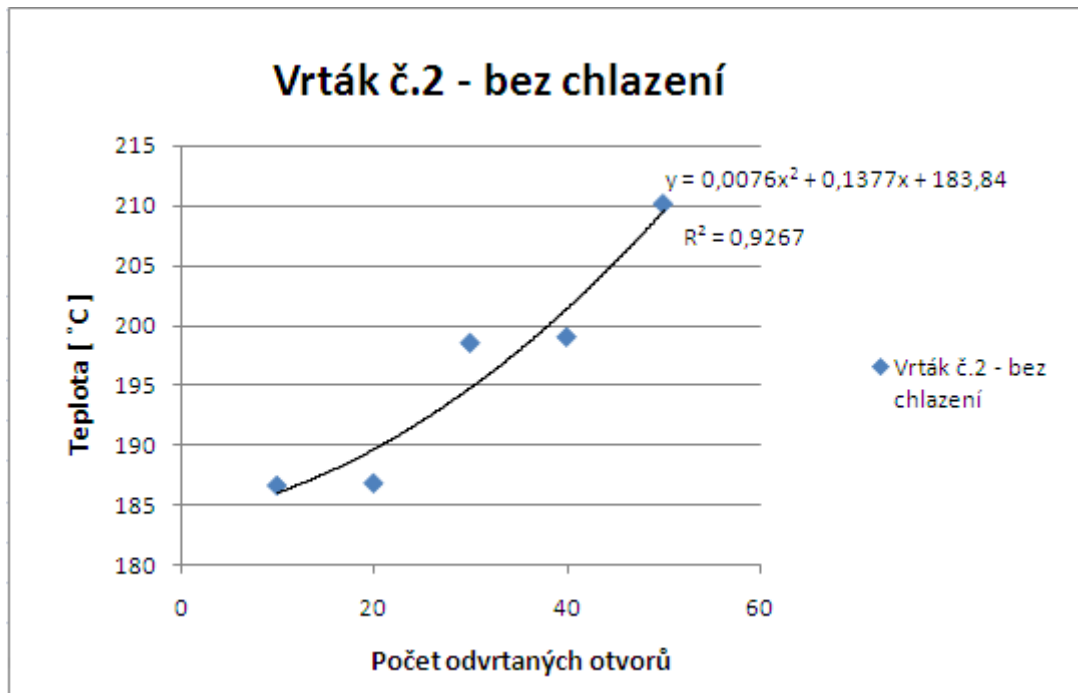


Obr. 41 Graf závislosti teplot na špičce nástroje na počtu odvrtných děr

### 6.2.1 Vrták č.2 – BEZ CHLAZENÍ

Tab. 7 Závislost teploty špičky nástroje na počtu odvrtných děr

Počet děr	Průměrná počáteční teplota	Směrodatná odchylka	Průměrná konečná teplota	Směrodatná odchylka
[1]	[ C]	[°C]	[°C]	[°C]
10	25,1	0,4	186,7	17,5
20	25	0,3	186,9	±22,9
30	25,2	0,4	198,6	28,8
40	25,3	0,4	199,1	±18,5
50	25,1	0,5	210,2	20,0



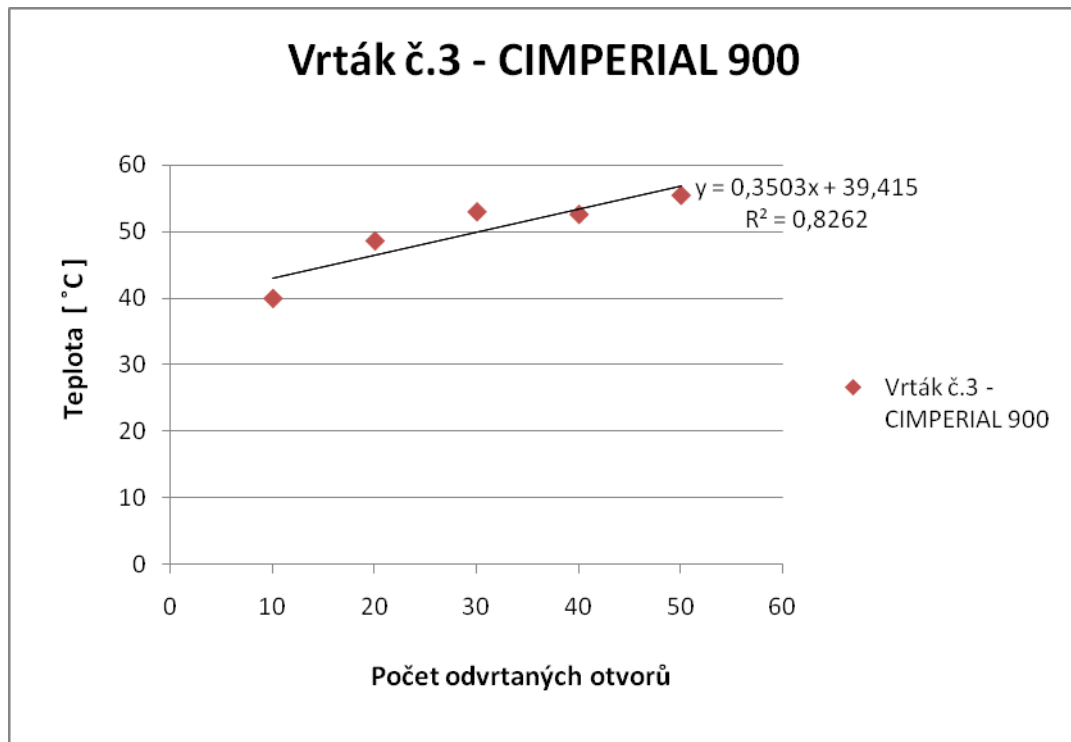
Obr. 42 Graf závislosti teploty špičky nástroje na počtu odvrтанých děr

### 6.2.2 Vrták č.3 – CIMPERIAL 900

Tab. 8 Závislost teploty špičky nástroje na počtu odvrтанých děr

Počet děr	Průměrná počáteční teplota	Směrodatná odchylka	Průměrná konečná teplota	Směrodatná odchylka
[1]	[ °C ]	[ °C ]	[ °C ]	[ °C ]
10	24,8	0,3	39,95	±2,5
20	25	0,3	48,61	±4,4
30	25	0,2	53	5,1
40	25	0,1	52,6	±4,4
50	25	0,2	55,47	



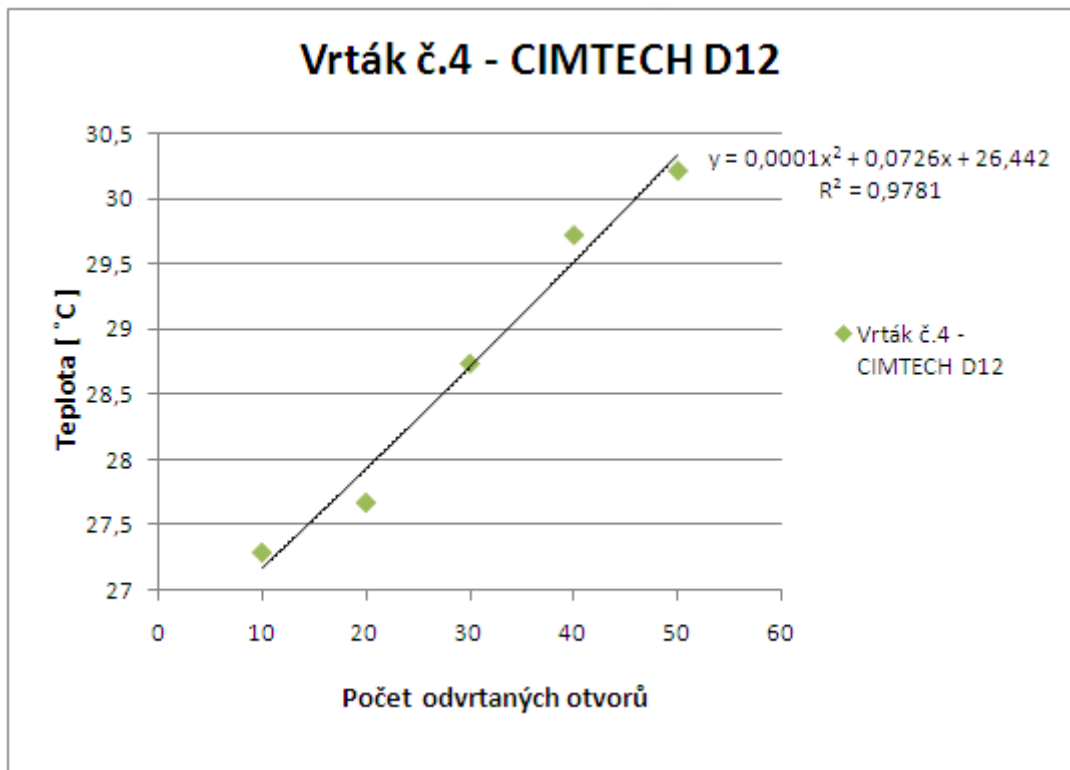


Obr. 43 Graf závislosti teploty špičky nástroje na počtu odvrтанých děr

### 6.2.3 Vrták č. 4 – CIMTECH D12

Tab. 9 Závislost teploty špičky nástroje na počtu odvrтанých děr

Počet děr	Průměrná počáteční teplota	Směrodatná odchylka	Průměrná konečná teplota	Směrodatná odchylka
[1]	[ °C ]	[ °C ]	[ °C ]	[ °C ]
10	23,1	0,3	27,3	±1,3
20	22,9	0,3	27,68	±0,6
30	23,2	0,6	28,74	±2,0
40	23	0,5	29,72	±2,0
50	23,1	0,4	30,21	±2,3

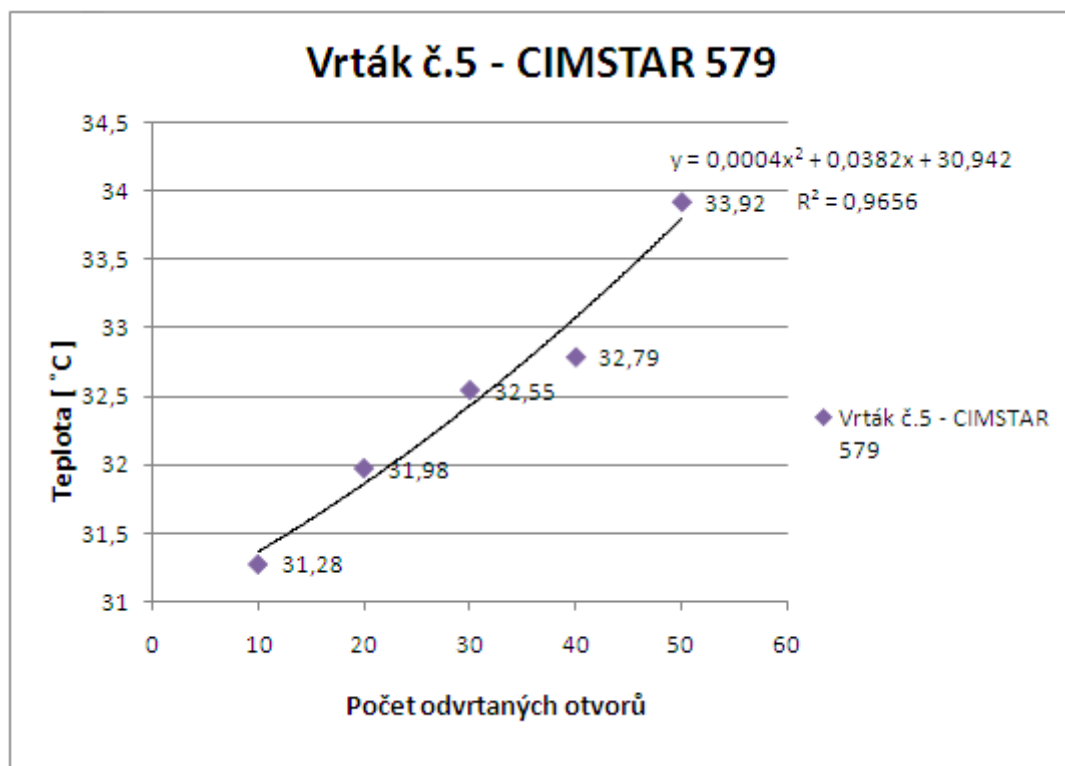


Obr. 44 Graf závislosti teploty špičky nástroje na počtu odvrtných děr

## 6.2.4 Vrták č. 5 – CIMSTAR 579

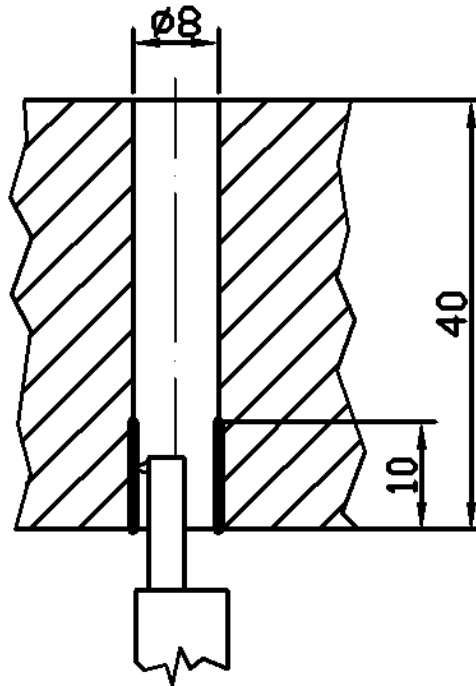
Tab. 10 Závislost teploty špičky nástroje na počtu odvrtných děr

Počet děr	Průměrná počáteční teplota	Směrodatná odchylka	Průměrná konečná teplota	Směrodatná odchylka
[1]	[ °C ]	[ °C ]	[ °C ]	[ °C ]
10	23,2	0,4	31,28	±1,3
20	23	0,2	31,98	±0,6
30	23	0,3	32,55	±2,0
40	23	0,5	32,79	±2,0
50	22,1	0,3	33,92	±2,3



Obr. 45 Graf závislosti teploty špičky nástroje na počtu odvrtných děr

### 6.3 Vyhodnocení drsnosti



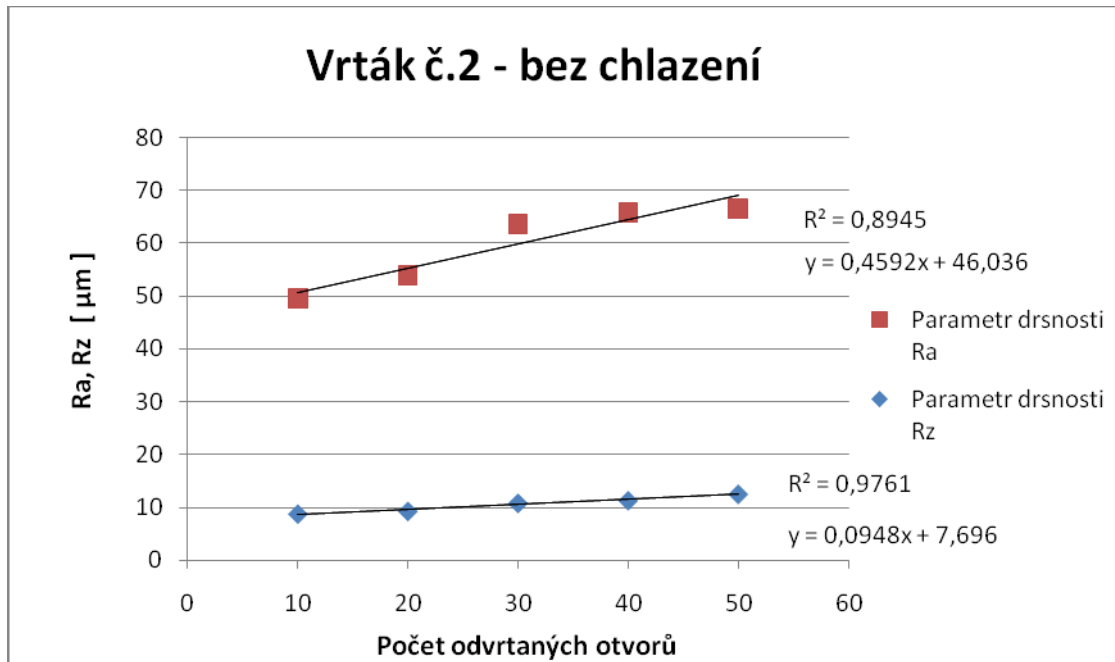
Obr. 46 Postup měření struktury vrtané díry

V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky drsností děr.

#### 6.3.1 Vrták č.2 – BEZ CHLAZENÍ

Tab. 11 Závislost drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr

Počet děr	Průměrná drsnost Ra	Směrodatná odchylka	Průměrná drsnost Rz	Směrodatná odchylka
[1]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]
10	8,79	$\pm 1,4$	49,5	$\pm 7,4$
20	9,29	$\pm 1,0$	53,82	$\pm 7,4$
30	10,81	$\pm 2,0$	63,49	$\pm 14,1$
40	11,31	,4	65,76	$\pm 8,8$
50	12,51	$\pm 3,5$	66,49	$\pm 15,6$

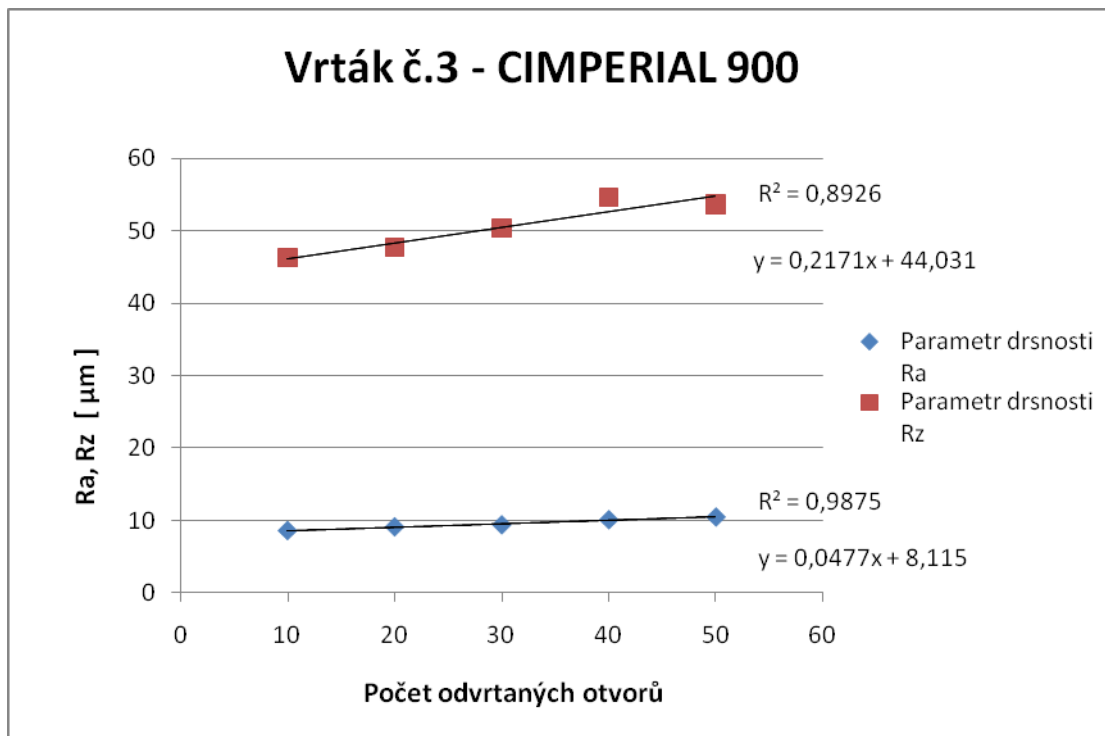


Obr. 47 Graf závislosti drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr

### 6.3.2 Vrták č.3 – CIMPERIAL 900

Tab. 12 Závislost drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr

Počet děr	Průměrná drsnost Ra	Směrodatná odchylka	Průměrná drsnost Rz	Směrodatná odchylka
[1]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
10	8,61	±1,3	46,31	±7,4
20	9,12	±2,1	47,7	±9,9
30	9,41	±1,3	50,37	±8,3
40	10,11	±2,1	54,65	±9,9
50	10,49	±1,3	53,69	±6,1

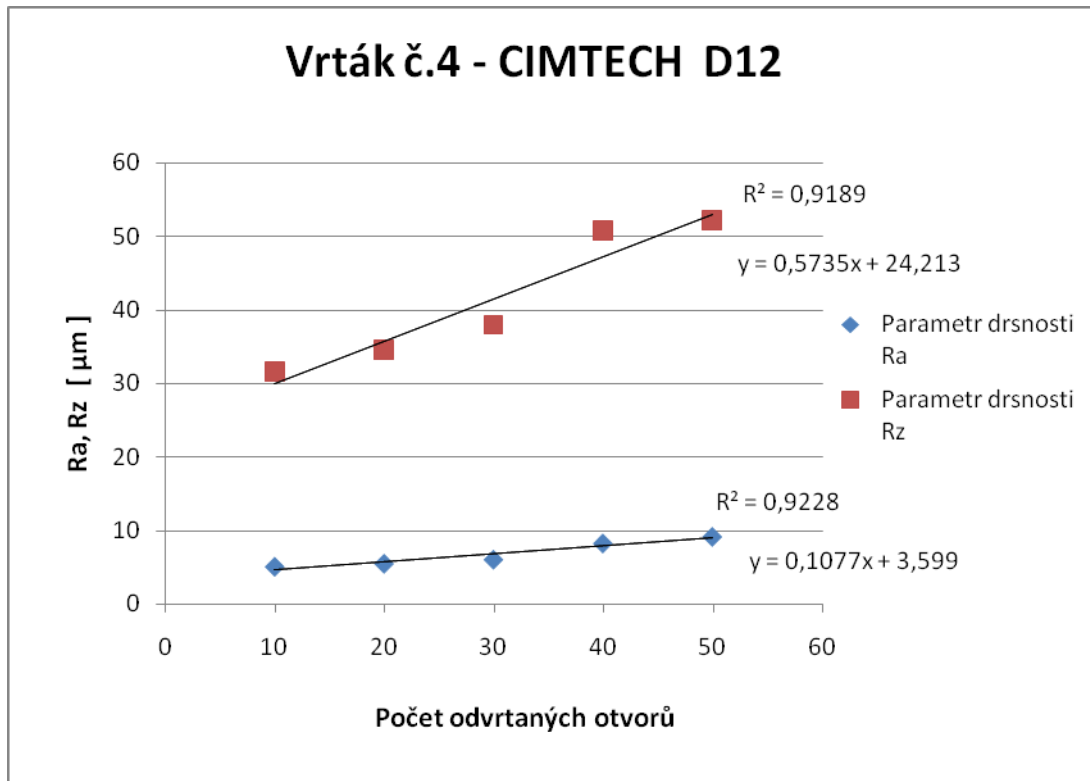


Obr. 48 Graf závislosti drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr

### 6.3.3 Vrták č.4 – CIMTECH D12

Tab. 13 Závislost drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr

Poč. děr	Průměrná drsnost Ra	Směr. Odchylka	Průměrná drsnost Rz	Směr. Odchylka
[1]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
10	5,13	±0,7	31,59	±2,9
20	5,53	±0,7	34,6	±11,1
30	6,08	±0,7	37,97	±7,0
40	8,26	±0,6	50,73	±7,6
50	9,15	±1,4	52,2	±8,2

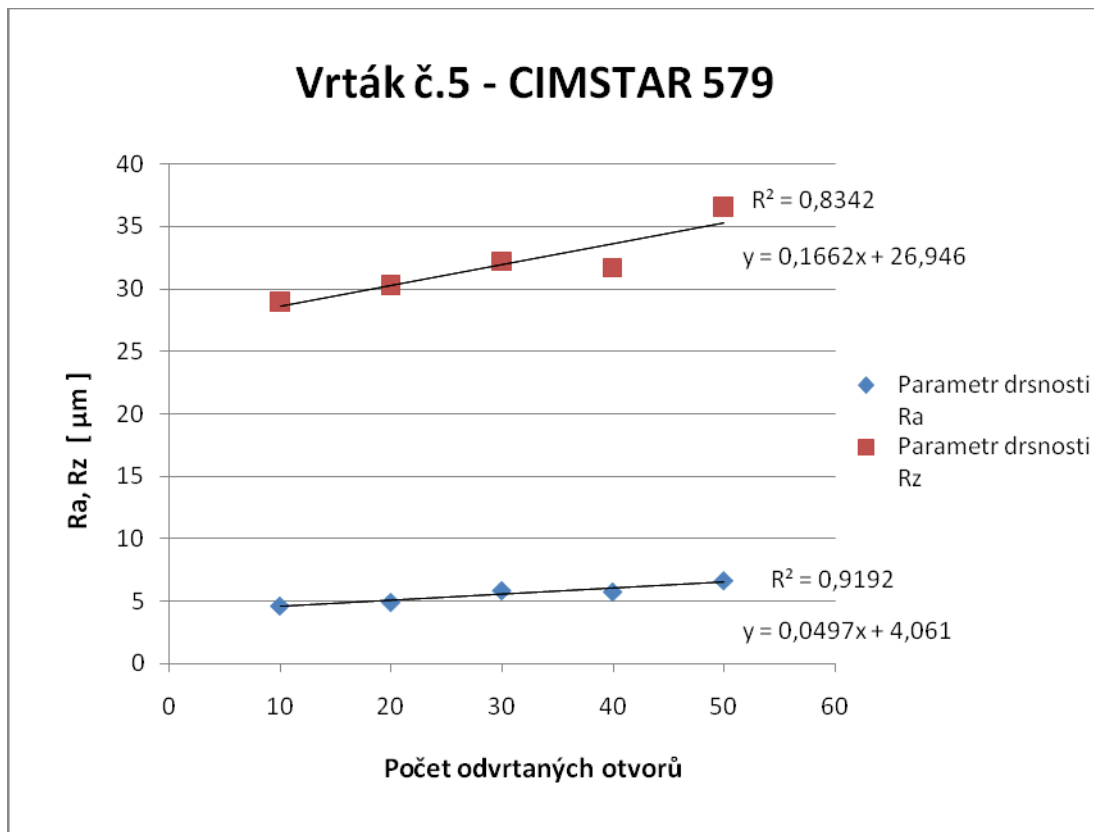


Obr. 49 Graf závislosti drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr

### 6.3.4 Vrták č.5 – CIMSTAR 579

Tab. 14 Závislost drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr

Poč. děr	Průměrná drsnost Ra	Směr. Odchylka	Průměrná drsnost Rz	Směr. Odchylka
[1]	[μm]	[μm]	[μm]	[μm]
10	4,6	±0,5	28,95	±2,8
20	4,9	±0,6	30,27	±3,3
30	5,85	±0,5	32,2	±2,6
40	5,75	±0,7	31,69	±3,3
50	6,66	±0,9	36,55	±4,3

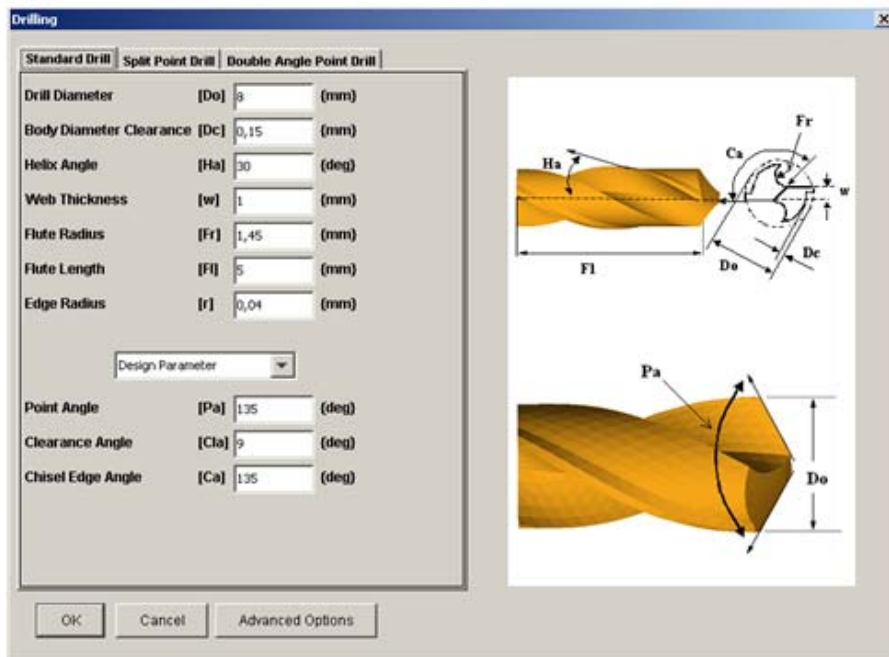


Obr. 50 Graf závislosti drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr

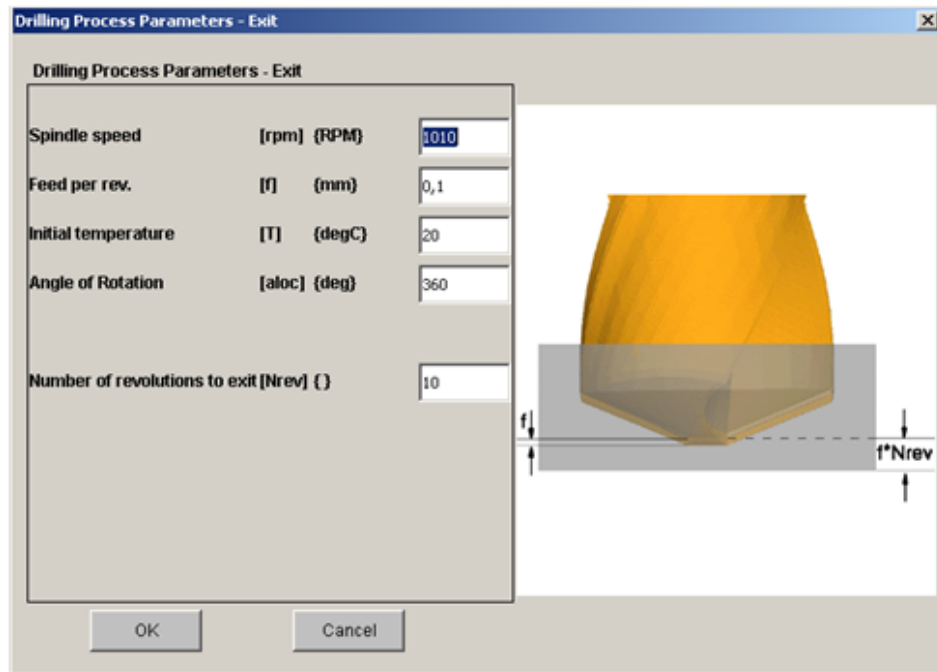


## 6.4 Počítačová simulace procesu vrtání bez chladicích kapalin

Simulace procesu vrtání byla provedena pomocí programu AdvantEdge. Do programu byly zadány podmínky simulace a to: rozměry a materiál obrobku, rozměry a geometrie vrtáku, řezné podmínky nástroje a teplota okolí. Podmínky byly voleny identické s reálným experimentem vrtání bez řezné kapaliny. Na obrázcích 51 – 52 jsou prezentovány vstupní parametry simulace.

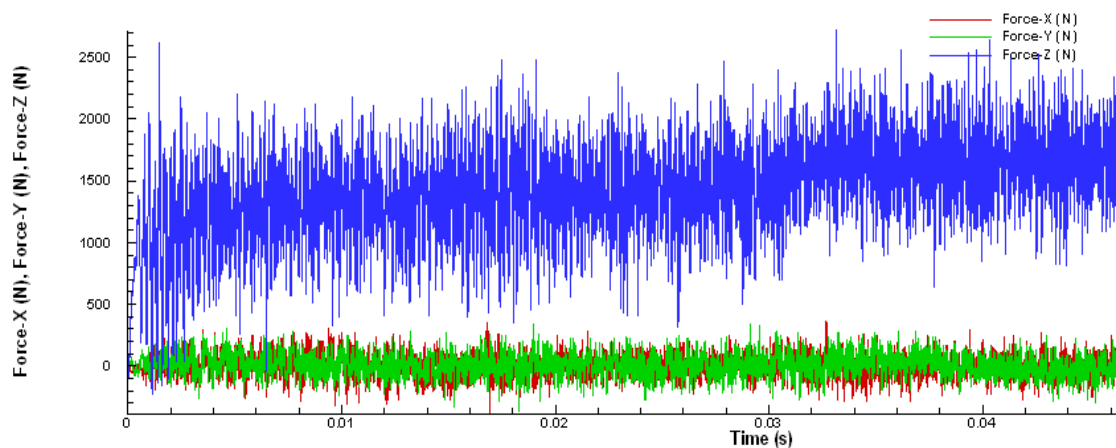


Obr. 51 Rozměry a geometrie nástroje

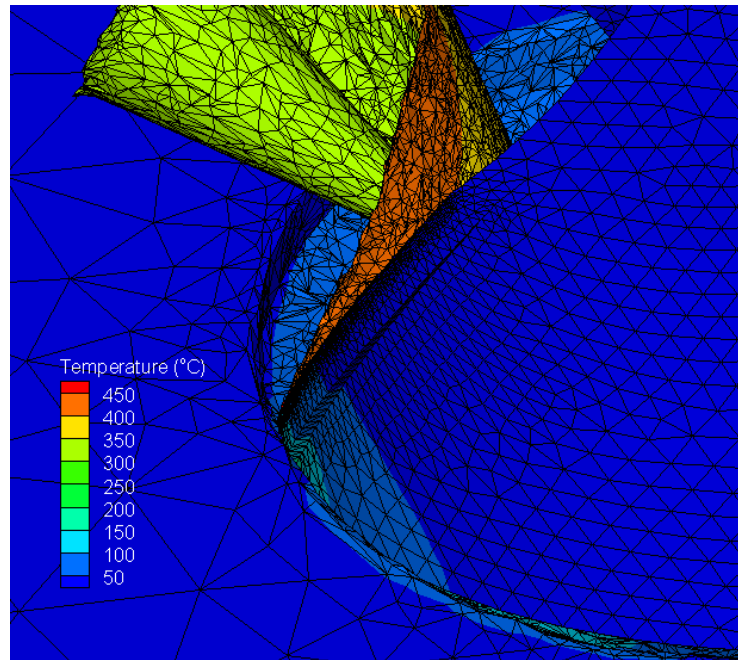


Obr. 52 Procesní podmínky vrtání

Výsledkem simulace je grafické znázornění složek řezných sil v průběhu vrtání díry (obr. 53) a průběh teplotního pole v libovolné oblasti (obr.54)



Obr. 53 Graf závislosti složek řezných sil na čase při simulaci vrtání



Obr. 54 Teploty na špičce nástroje při simulaci vrtání

Srovnáním měření teploty na špičce vrtáku při experimentu a ze simulačního grafu teploty (obr. 54) je patrné, že výsledky se téměř shodují.

## ZÁVĚR

Praktická část se zabývala měřením opotřebení šroubovitých vrtáků na hřbetě nástroje, měřením jakosti povrchu a sledování teploty na špičce nástroje za použití různých druhů procesních kapalin a bez nich. Samotné vrtání se provádělo na sloupové vrtačce B40 SGM Optimum. Vrtaným materiálem byla ocel C45 (12050). Vrtalo se šroubovitými nepovlakovanými vrtáky o  $\varnothing 8$  do plného materiálu, každým 50 děr. Pro vrtání byly zvoleny otáčky  $n = 1015$  (ot/min.) a posuv  $f = 0,1$  (mm/ot.). Použité procesní kapaliny byly následující: CIMPERIAL 900, CIMTECH D12, CIMSTAR 579.

V první části výsledků jsou uvedeny výsledky hřbetního opotřebení nástroje, které se prováděly na dílenském mikroskopu Zeiss. Hřbetní opotřebení se měřilo vždy po 10 vyvrtaných dírách. Opotřebení bylo největší u šroubovitého vrtáku č. 2 bez přívodu řezné kapaliny, naopak nejmenší bylo u vrtáku č. 3 s použitím procesní kapaliny CIMPERIAL 900.

Během experimentu se měřila teplota v oblasti špičky nástroje za pomoci snímače teploty Fluke 574. Nejvyšší teploty dosahoval vrták č. 2 bez přívodu řezné kapaliny a nejnižších teplot vrták č. 4 s použitím kapaliny CIMTECH D12 a to z důvodů výborných chladicích účinků. Teploty se pohybovaly kolem 27 až 30°C, čili téměř zanedbatelná vůči teplotě okolí.

Posledním měřeným parametrem byly parametry drsnosti Ra a Rz vyvrtaných děr. Drsnost se měřila v každé odvrtné díře v oblasti na začátku díry opakovaně, pro výpočet statických ukazatelů. Nejvyšších hodnot drsnosti dosahoval vrták č. 2 bez řezné kapaliny, naopak nejnižší dosažená drsnost byla u vrtáku č. 5 s použitím kapaliny CIMSTAR 579.

Použité řezné kapaliny ukazují, jak velký vliv mají na výsledky obrábění a to především na jakost obrobenej plochy, teplotu nástroje i obrobku, opotřebení nástroje a také

korozivzdornost obrobku.

## **EXTENDED ABSTRACT**

The temperature measurement on tip of the drilling tool was carried out by a sensor of temperature Fluke 574. The mentioned sensor is non-contact measuring equipment which monitors the amount of infra-red energy and visualizes the surface temperature of the solid on display. The temperature was measured while initial level of temperature was varying around 25° C. The results of measurement are mentioned in the data-sheet no. 7 on the page 55.

The simulation of drilling process was realized with the help of software AdvantEdge by Third Wave Systems. Entered initial conditions were identical to real experiment: proportions and material of working part, dimensions and geometry of drill, cutting conditions of the tool and surrounding temperature. The results of temperature measuring on tip of the tool while drilling simulation are introduced in the picture no. 54 on the Page 69.

From comparison of temperature measurement on tip of drill while carrying out experiment and simulation chart of temperature is evident that the results nearly correspond.

## **Acknowledgment**

This work was created with contribution of Third Wave Systems university research program.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] KOCMAN, K., PROKOP, J.: *Technologie obrábění*. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0
- [2] JURKO, J., LUKOVICS, I.: *Vrtanie technologická metóda výroby dier*. Zlín. 2007. ISBN 978-80-7318-488-9
- [3] ŘASA, J., GABRIEL, V.: *Strojírenská technologie 3, 1. díl, Metody, stroje a nástroje pro obrábění*. Praha. Grafikon 2000. ISBN 80-7183-207-3
- [4] KOCMAN, K.: *Speciální technologie*. Brno. Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2562-8
- [5] LIEMERT, G.: *Teorie obrábění*. SNTL Praha, 1970. ISBN 80-7099-429-0
- [6] CIMCOOL, [online]. [cit. 2008-12-15]. Dostupné z WWW: <http://www.cimcool.net/>
- [7] GESPROFI, [online]. [cit. 2008-29-2]. Dostupné z WWW: <http://www.gesprofi.cz/>
- [8] *Návod k použití SJ-301 přístroje na měření drsnosti Mitutoyo*
- [9] *Návod k použití Fluke 574 snímače na měření teploty*

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

$D$	průměr vrtáku	[mm]
$f$	posuv na otáčku	[mm]
$f_z$	posuv na zub	[mm]
$F_f$	osová síla	[N]
$F_c$	hlavní složka řezné síly	[N]
$F_p$	pasivní síla	[N]
$l$	délka těla vrtáku	[mm]
$L$	délka vrtáku	[mm]
$M_k$	krouticí moment	[Nm]
$n$	otáčky nástroje	[min <sup>-1</sup> ]
$P$	výkon	[kW]
$Q_1$	teplo oblasti primární plastické deformace	[J]
$Q_2$	teplo tření mezi třískou a čelní plochou řezné části nástroje	[J]
$Q_3$	teplo tření mezi hřbetem nástroje a povrchem po řezu	[J]
$Q_4$	teplo pružných deformací	[J]
$Q_c$	teplo celkové	[J]
$R_A$	maximální drsnost povrchu	[μm]
$R_Z$	průměrná drsnost povrchu	[μm]
$v_c$	řezná rychlost	[m.min <sup>-1</sup> ]
$z$	počet zubů nástroje	[-]
$\varphi$	úhel posuvového pohybu	[°]
$\eta$	úhel řezného pohybu	[°]
$\kappa_r$	úhel hlavního ostří	[°]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1 Pohyb vrtáku při vrtání a vyvrtávání [3] .....	10
Obr. 2 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem [1] .....	11
Obr. 3 Řezné síly při vrtání [2] .....	13
Obr. 4 Podíl tepla odváděný prvky řezání při vrtání [2] .....	14
Obr. 5 Geometrie břitu kopinatého vrtáku [2] .....	16
Obr. 6 Kopinatý vrták – celkový pohled [3] .....	16
Obr. 7 Šroubovitý vrták [3] .....	18
Obr. 8 Středicí vrták [3] .....	18
Obr. 9 Dělový vrták [1] .....	19
Obr. 10 Korunová trepanační hlava [1] .....	20
Obr. 11 Vrták s výměnnými břitovými destičkami [1] .....	21
Obr. 12 Časový průběh opotřebení [1] .....	22
Obr. 13 Opotřebení hřbetu [1] .....	23
Obr. 14 Opotřebení čela ve tvaru žlábků [1] .....	24
Obr. 15 Plastická deformace břitu [1] .....	24
Obr. 16 Opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu [1] .....	25
Obr. 17 Hřbenovité trhliny na ostří [1] .....	25
Obr. 18 Únavový lom [1] .....	25
Obr. 19 Vydrolování ostří [1] .....	26
Obr. 20 Lom břitu [1] .....	26
Obr. 21 Abrazivní otěr [1] .....	27
Obr. 22 Difuzní otěr [1] .....	27
Obr. 23 Adhezivní otěr [1] .....	28
Obr. 24 Oxidační otěr [1] .....	28
Obr. 25 Opotřebení břitu řezného nástroje [1] .....	29
Obr. 26 Ruční refraktometr [7] .....	38
Obr. 27 Stupnice indexu lomu [7] .....	38
Obr. 28 Vrtačka B40 GSM .....	42
Obr. 29 Drsnoměr Mitutoyo SJ-301 [8] .....	43
Obr. 30 Vyhodnocení parametru drsnosti Ra .....	44
Obr. 31 Vyhodnocení parametru drsnost .....	44
Obr. 32 Snímač teploty FLUKE 574 [9] .....	45



Obr. 33 Mikroskop Zeiss .....	50
Obr. 34 <i>Graf závislosti hřbetního opotřebení VB na počtu odvrтанých děr</i> .....	50
Obr. 35 Hřbetní opotřebení vrtáku z pohledu mikroskopu .....	51
Obr. 36 <i>Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrтанých děr</i> .....	52
Obr. 37 <i>Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrтанých děr</i> .....	53
Obr. 38 <i>Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrтанých děr</i> .....	53
Obr. 39 <i>Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrтанých děr</i> .....	54
Obr. 40 <i>Graf závislosti hmotnostního opotřebení na počtu odvrтанých děr</i> .....	54
Obr. 41 <i>Graf závislosti teplot na špičce nástroje na počtu odvrтанých děr</i> .....	55
Obr. 42 <i>Graf závislosti teploty špičky nástroje na počtu odvrтанých děr</i> .....	56
Obr. 43 <i>Graf závislosti teploty špičky nástroje na počtu odvrтанých děr</i> .....	57
Obr. 44 <i>Graf závislosti teploty špičky nástroje na počtu odvrтанých děr</i> .....	58
Obr. 45 <i>Graf závislosti teploty špičky nástroje na počtu odvrтанých děr</i> .....	59
Obr. 46 <i>Postup měření struktury vrtané díry</i> .....	60
Obr. 47 <i>Graf závislosti drsnosti povrchu díry na počtu odvrтанých děr</i> .....	61
Obr. 48 <i>Graf závislosti drsnosti povrchu díry na počtu odvrтанých děr</i> .....	62
Obr. 49 <i>Graf závislosti drsnosti povrchu díry na počtu odvrтанých děr</i> .....	63
Obr. 50 <i>Graf závislosti drsnosti povrchu díry na počtu odvrтанých děr</i> .....	64
Obr. 51 Rozměry a geometrie nástroje .....	65
Obr. 52 Procesní podmínky vrtání .....	66
Obr. 53 <i>Graf závislosti složek řezných sil na čase při simulaci vrtání</i> .....	66
Obr. 54 Teploty na špičce nástroje při simulaci vrtání .....	67

**SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Dosahovaná přesnost a drsnost povrchů [3] .....	21
Tab. 2 Řezné podmínky pro šroubovité vrták 8 .....	41
Tab. 3 Parametry sloupové vrtačky B40 GSM .....	42
Tab. 4 Technické údaje – Fluke 574 .....	46
Tab. 5 Závislost hřbetního opotřebení VB na počtu odvrtných děr .....	49
Tab. 6 Závislost hmotnostního opotřebení na počtu odvrtných děr .....	52
Tab. 7 Závislost teploty špičky nástroje na počtu odvrtných děr .....	55
Tab. 8 Závislost teploty špičky nástroje na počtu odvrtných děr .....	56
Tab. 9 Závislost teploty špičky nástroje na počtu odvrtných děr .....	57
Tab. 10 Závislost teploty špičky nástroje na počtu odvrtných děr .....	59
Tab. 11 Závislost drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr .....	60
Tab. 12 Závislost drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr .....	61
Tab. 13 Závislost drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr .....	62
Tab. 14 Závislost drsnosti povrchu díry na počtu odvrtných děr .....	63