



ÚČINEK PROCESNÍCH PLYNŮ A KAPALIN NA TECHNOLOGII VRTÁNÍ A KVALITU OBROBENÝCH SOUČÁSTÍ

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T048 – Strojírenská technologie a materiály
Autor práce: **Bc. Jan Horák**
Vedoucí práce: Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechanical Engineering ■

THE EFFECT OF THE PROCESS GASES AND LIQUIDS TO DRILLING TECHNOLOGY AND THE QUALITY OF THE MACHINED PART

Diploma thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 2301T048 – Engineering Technology and Materials
Author: **Bc. Jan Horák**
Supervisor: Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Horák**
Osobní číslo: **S13000807**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie a materiály**
Název tématu: **Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obroběných součástí**
Zadávací katedra: **Katedra obrábění a montáže**

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

1. Shrnutí poznatků o vlivu procesních plynů a kapalin při obrábění. Shrnutí dosavadních poznatků o technologii vrtání.
2. Rozbor metod použití procesních plynů (způsoby přívodu plynu, variantní média, atd.) a procesních kapalin (způsoby přívodu kapaliny, metoda MQL, variantní média, atd.).
3. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání vlivu procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obroběných součástí.
4. Realizace experimentů.
5. Hodnocení kvality obroběných součástí při zkoumání vlivu procesních plynů a kapalin na technologii vrtání.
6. Shrnutí a zhodnocení dosažených výsledků a vyvození závěrů.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **cca 60 - 70 stran textu**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

[1] **KOCMAN, K., PROKOP, K.** *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERN Brno, s.r.o., 2001. 274 s. ISBN 80-214-196-2.

[2] **BILÍK, O.** *Obrábění II. (1.díl): Fyzikálně mechanické záležitosti procesu obrábění*. Ostrava: Vysoká škola báňská TU Ostrava, 1994. 132 s. ISBN 80-7078-228-5.

[3] **BUMBÁLEK, B., OŠŤÁDAL, B., ŠAFR, E.** *Řezné kapaliny*. Praha: SNTL, 1963. 136 s. ISBN -.


[4] **VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kol.** *Obrábění*. Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, n. p., 1984. 808 s. ISBN -.

[5] **Firemní podklady.**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. et Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.**
Katedra obrábění a montáže
Konzultant diplomové práce: **Ing. Miloslav Ledvina**
Katedra obrábění a montáže
Datum zadání diplomové práce: **11. března 2015**
Termín odevzdání diplomové práce: **11. června 2016**


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 11. března 2015

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 1271**

Jméno a příjmení: **Jan Horák**

Vedoucí práce: Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D.
Konzultant: Ing. Miloslav Ledvina

Počet stran: 84
Počet příloh: 1
Počet tabulek: 8
Počet obrázků: 37
Počet diagramů: 12

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii soustružení a kvalitu obroběných součástí

ANOTACE:

Obsahem diplomové práce je výzkum vlivu chlazení plynnou látkou na obráběcí soustavu, resp. výsledek obráběcího procesu, při technologii soustružení. Jako procesní plyny byly zvoleny: okolní vzduch (za sucha), CO₂, vírová trubice a zkapalněný dusík. Nedílnou součástí výzkumu je porovnání (zhodnocení) výsledků experimentálních měření sledovaných vlivů mezi procesními médii: kapalina a plynná látka.

Klíčová slova: OBRÁBĚNÍ, PROCESNÍ PLYNY, PROCESNÍ KAPALINY

The effect of the process gases and liquids to turning technology and the quality of the machined part

ANNOTATION:

The content of my thesis is to research the effect of cooling the gaseous substance to the machining system, respectively – result of a process, when turning technology. As the process gases were selected: ambient air (dry), CO₂, vortex tube and liquefied nitrogen. An integral part of the research is to compare (appreciation) of the results of experimental measurements of the effects observed between process media: liquid and gaseous substance.

Key words: MACHINING, PROCESS GASES, PROCESS LIQUIDS

Zpracovatel:	TU v Liberci, KOM
Dokončeno:	2015
Archivní označ. zprávy:	
Počet stran:	84
Počet příloh:	1
Počet obrázků:	37
Počet tabulek:	8
Počet grafů:	12

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především Ing. Štěpánce Dvořáčkové, Ph.D za cenné rady a připomínky při vedení mé diplomové práce. Dále děkuji Ing. Miloslavu Ledvinovi za poskytnuté rady a pomoc s realizací.

Také chci poděkovat své rodině a přátelům za podporu a trpělivost projevenou v průběhu mého studia vysoké školy.

Obsah

1 Úvod	14
2 Vrtání	15
2.1 Vrtáky	16
2.2 Geometrie břitu vrtáku	20
2.3 Kinematika a parametry vrtacího procesu	21
2.3.1 Základní kinematické veličiny při vrtání.....	22
2.3.2 Parametry při vrtání.....	22
3 Řezné prostředí	26
3.1 Kapaln� prostředí – řezné kapaliny a požadavky na ně kladené.....	26
3.1.2 Kapaln� prostředí – rozdělení procesních kapalin	29
3.2 Alternativní řezné prostředí.....	30
3.2.1 Obrábění za „sucha“	31
3.2.2 Změna receptur kapalin mísitelných s vodou	31
3.2.3 Mazání malým, resp. minimálním množstvím maziva.....	32
3.2.4 Použití olejů namísto chladicích kapalin mísitelných s vodou.....	33
3.2.5 Plynné prostředí.....	34
4 Metodika experimentu	38
4.1 Popis strojů, nástrojů, zkušebních vzorků a použitých procesních médií.....	39
4.1.1 Obráběcí stroj – Pásová pila	39
4.1.2 Obráběcí stroj – NC frézka.....	40
4.1.3 Nástroj	41
4.1.4 Zkušební vzorky.....	41
4.1.5 Procesní prostředí pro experimenty	43
4.1.6 Příprava procesního prostředí.....	44
4.2 Opatřebení břitu řezného nástroje.....	45

4.2.1 Kvalifikace opotřebení břitu.....	46
4.2.2 Popis měřicího zařízení pro měření opotřebení nástroje.....	47
4.3 Teplota obrobku	47
4.3.1 Měření teploty pomocí termočlánků.....	48
4.4 Řezná síla	49
4.4.1 Elektrický odporový dynamometr	49
4.5 Drsnost povrchu	50
4.5.1 Popis měřicího zařízení pro měření drsnosti povrchu	50
4.6 Rozměrová přesnost.....	53
4.6.1 Digitální třídotekový dutinoměř	53
5 Měření.....	54
5.1 Měření opotřebení břitu řezného nástroje	54
5.1.1 Opotřebení hlavního ostří	55
5.1.2 Opotřebení vedlejšího hřbetu.....	56
5.1.3 Shrnutí naměřených výsledků opotřebení břitu řezného nástroje	57
5.2 Měření teploty obrobku.....	58
5.2.1 Shrnutí naměřených výsledků teploty obrobku	60
5.3 Měření velikosti řezné síly a krouticího momentu.....	60
5.3.1 Měření velikosti řezné síly	61
5.3.2 Měření krouticího momentu	62
5.3.3 Shrnutí měření velikosti řezné síly a krouticího momentu.....	63
5.4 Měření drsnosti povrchu	64
5.4.1 Parametr drsnosti povrchu Ra	65
5.4.2 Parametr drsnosti povrchu Rz	66
5.4.3 Parametr drsnosti povrchu Rt	67
5.4.4 Shrnutí naměřených výsledků drsnosti povrchu.....	67
5.5 Měření rozměrové přesnosti	68

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobených součástí

5.5.1 Shrnutí výsledků měření rozměrové přesnosti	69
6 Ekonomické vyhodnocení účinnosti procesních médií	70
6.1 Fixní náklady pro jednotlivá procesní prostředí	70
6.2 Celkové roční náklady pro jednotlivá procesní prostředí	72
7 Diskuze výsledků.....	76
8 Závěr.....	78
Zdroje	80

Seznam použitých značek a zkratek

Zkratka / Symbol	Jednotka	Popis
A_D	[mm ²]	jmenovitý průřez třísky
a_f	[mm]	šířka záběru ostří ve směru posuvu
a_p	[mm]	šířka záběru ostří při vrtání díry
b_D	[mm]	jmenovitá šířka třísky
C_{Fc}	[-]	konstanta pro výpočet řezných sil
C_{Ff}	[-]	konstanta pro výpočet posuvových sil
C_M	[-]	konstanta pro výpočet krouticího momentu
D	[mm]	průměr nástroje
D_o	[mm]	průměr polotovaru
f	[mm]	posuv nástroje na jednu otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
F_c	[N]	řezná síla
$F_{c \max}$	[N]	maximálně přípustná velikost řezné síly
F_f	[N]	posuvová síla
F_x	[N]	síla ve směru osy x
F_y	[N]	síla ve směru osy y
F_z	[N]	síla ve směru osy z
h_D	[mm]	jmenovitá tloušťka třísky
i	[-]	počet zubů (břitů) nástroje
L	[mm]	celková dráha nástroje
l_n	[mm]	délka náběhu nástroje
l_o	[mm]	délka polotovaru
l_p	[mm]	délka přeběhu nástroje
M_k	[N.m]	krouticí moment
n	[min ⁻¹]	otáčky nástroje (případně obrobku)
O_{HO}	[mm]	opotřebení hlavního ostří
O_{VH}	[mm]	opotřebení vedlejšího hřbetu
P_C	[kW]	řezný výkon
P_e	[kW]	výkon hlavního elektromotoru

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obroběných součástí

Ra	[μm]	průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu
Rz	[μm]	největší výška profilu
t _{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
v _c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v _e	[m.min ⁻¹]	rychlost řezného pohybu
v _f	[m.min ⁻¹]	posuvová rychlost
x _{Fc}	[-]	exponent pro výpočet řezných sil
x _{Ff}	[-]	exponent pro výpočet posuvových sil
y _{Fc}	[-]	exponent pro výpočet řezných sil
y _{Ff}	[-]	exponent pro výpočet posuvových sil
η	[°]	úhel řezného pohybu
κ _r	[°]	pracovní úhel nastavení hlavního ostří
φ	[°]	úhel posuvového pohybu

1 Úvod

Proces obrábění probíhá vždy v určitém prostředí, které svými vlastnostmi ovlivňuje výsledky a produktivitu obrábění. Volba optimálního řezného prostředí často umožňuje zvýšit produktivitu až o desítky procent za současného zvýšení jakosti obrobené plochy.

Pomineme-li obrábění za „sucha“, prvním procesním médiem pro obrábění byly na počátku 20. Století jednoduché procesní kapaliny na bázi vodných a olejových emulzí. Používání procesních kapalin mělo velice výrazný vliv na kvalitu a hospodárnost obrábění a rychle se rozšířilo do většiny oblastí třískového obrábění. Avšak stoupající nároky na efektivitu, ekonomičnost a ekologičnost obrábění vedou ke zkoumání alternativních procesních médií. Jedním z nich jsou technické plyny.

Jako procesní média pro experimenty v této diplomové práci byly vybrány procesní kapalina na bázi minerálních olejů o koncentraci 5%, polosyntetická procesní kapalina také o koncentraci 5 %, zkapalněný oxid uhličitý, zkapalněný dusík, podchlazený vzduch a obrábění bez použití procesního média.

Diplomová práce má několik základních částí. V teoretické části práce je popsána technologie vrtání, nástroje pro vrtání, parametry vrtání, druhy, vlastnosti procesních kapalin a technických plynů. Část experimentální tvoří dvě části, část Metodika experimentu a část Experimentálního měření vlivu zkapalněných plynů na technologii vrtání, z hlediska strojního fyzikálně-chemického, energetického, ekologického a ekonomického. Část metodiky experimentu informuje o měřených parametrech, použitém strojním zařízení a způsobu vyhodnocení měřených parametrů. Část experimentálního měření obsahuje výsledky dílčí výsledky výzkumu. Část závěrečná obsahuje diskuzi k dosaženým výsledkům aplikovaného výzkumu, včetně závěrečného zhodnocení diplomové práce.

Diplomová práce je součástí výzkumu realizovaného v rámci projektu **TA03010492 - Aplikovaný multioborový výzkum a vývoj progresivních způsobů chlazení u technologických procesů (2013-2015, TA0/TA)** jehož poskytovatelem je Technologická agentura České republiky. Projekt má za úkol řešit aktuální problematiku přesného dynamického řízení tepelných procesů ve výrobních nástrojích.

2 Vrtání

Definice obrábění dle ČSN 20 0010:

„Obrábění – část výrobního procesu, který je založen na využití energie a při kterém činností stroje (t.j. odebráním určitého objemu materiálu řezným nástrojem) vzniká obrobek žádaného tvaru, rozměrů a jakosti povrchu.“ [1]

Vrtání patří mezi nejstarší člověkem používané výrobní technologie. Už v době kamenné vznikla na obdobném principu jako smyčcový soustruh smyčcová vrtačka, u níž však na rozdíl od soustruhu nebyl tětivou poháněn obrobek, nýbrž přímo vrtací nástroj, vrták. [20]

Vrtání je způsob třískového obrábění, kterým se zhotovují kruhové díry. Vrtat můžeme do plného materiálu nebo rozšiřovat předvrtané nebo předlité otvory, případně vrtáme “na jádro“, kdy materiál odebírá z materiálu jenom část. [1]

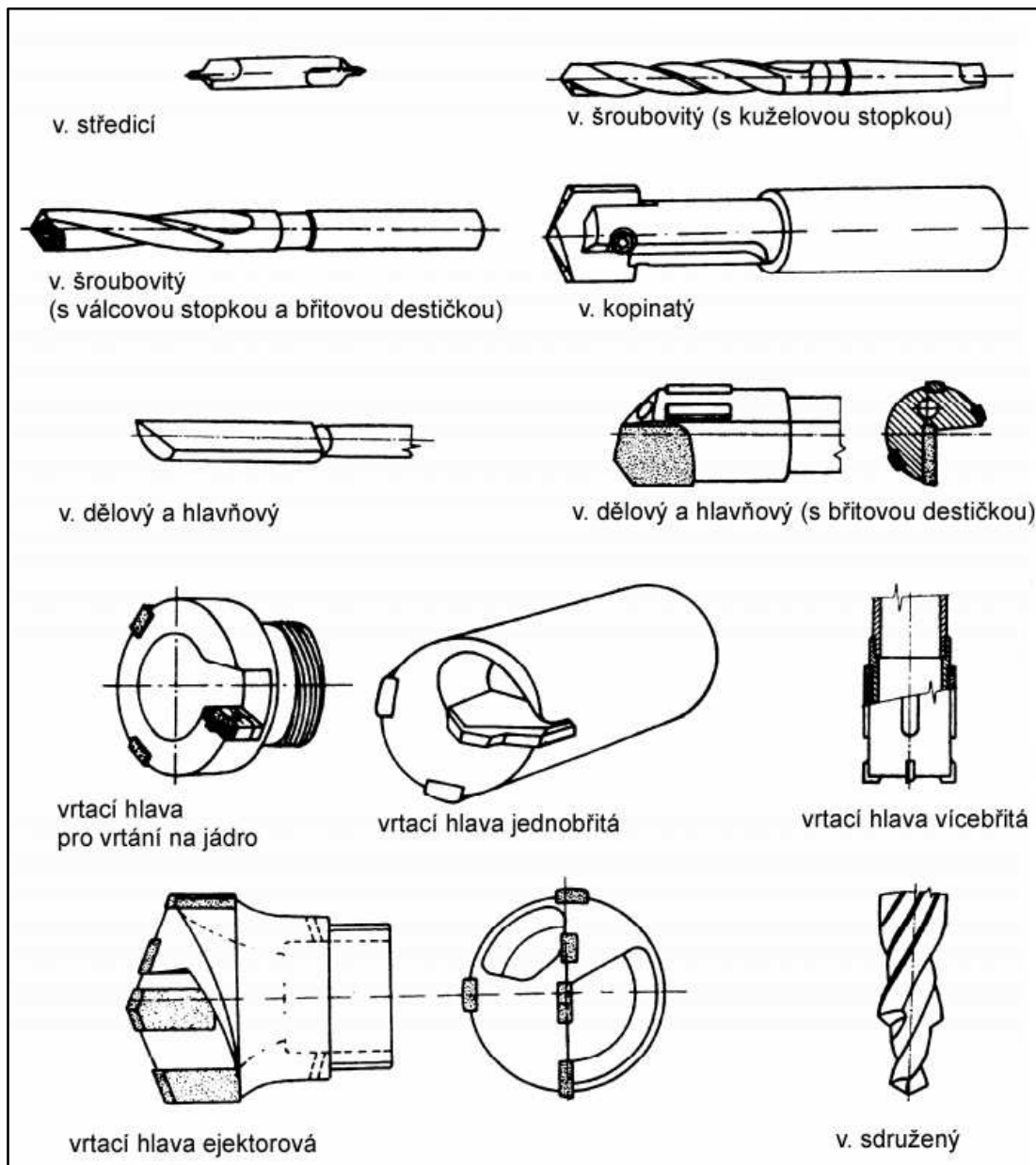
Hlavní pohyb při vrtání je rotační, a obvykle ho provádí nástroj. Osa vrtáku je většinou kolmá k ploše, kterou vrták vstupuje do obráběného materiálu. Vedlejší posuvový pohyb vykonává vrták ve směru své osy.

Nástroje na zhotovování děr jsou charakteristické tím, že řezná rychlost se podél hlavního ostří, ve směru od obvodu ke středu nástroje zmenšuje, v ose nástroje je rychlost nulová. Díky tomu nastávají některé technologické problémy. Například to může být příčný břit v ose vrtáku, který vzhledem k nepříznivé geometrii v podstatě třísku neodebírá, ale materiál pouze plasticky deformuje. Řeznou rychlostí se zpravidla rozumí obvodová rychlost na největším průměru nástroje.[1]

Do technologie vrtání můžeme zařadit i technologie vyhrubování, vystružování a zahlubování. Tyto technologie slouží k dokončování děr zhotovených vrtáním.

2.1 Vrtáky

K vrtání používáme nástroje zvané vrtáky, ty dělíme podle způsobu provedení na: vrtáky středící, šroubovitě, kopinaté, dělové, sdružené a vrtací hlavice.[1] Druhy vrtáků jsou zobrazeny na obr. 1.



Obr. 1 Druhy vrtáků [4].

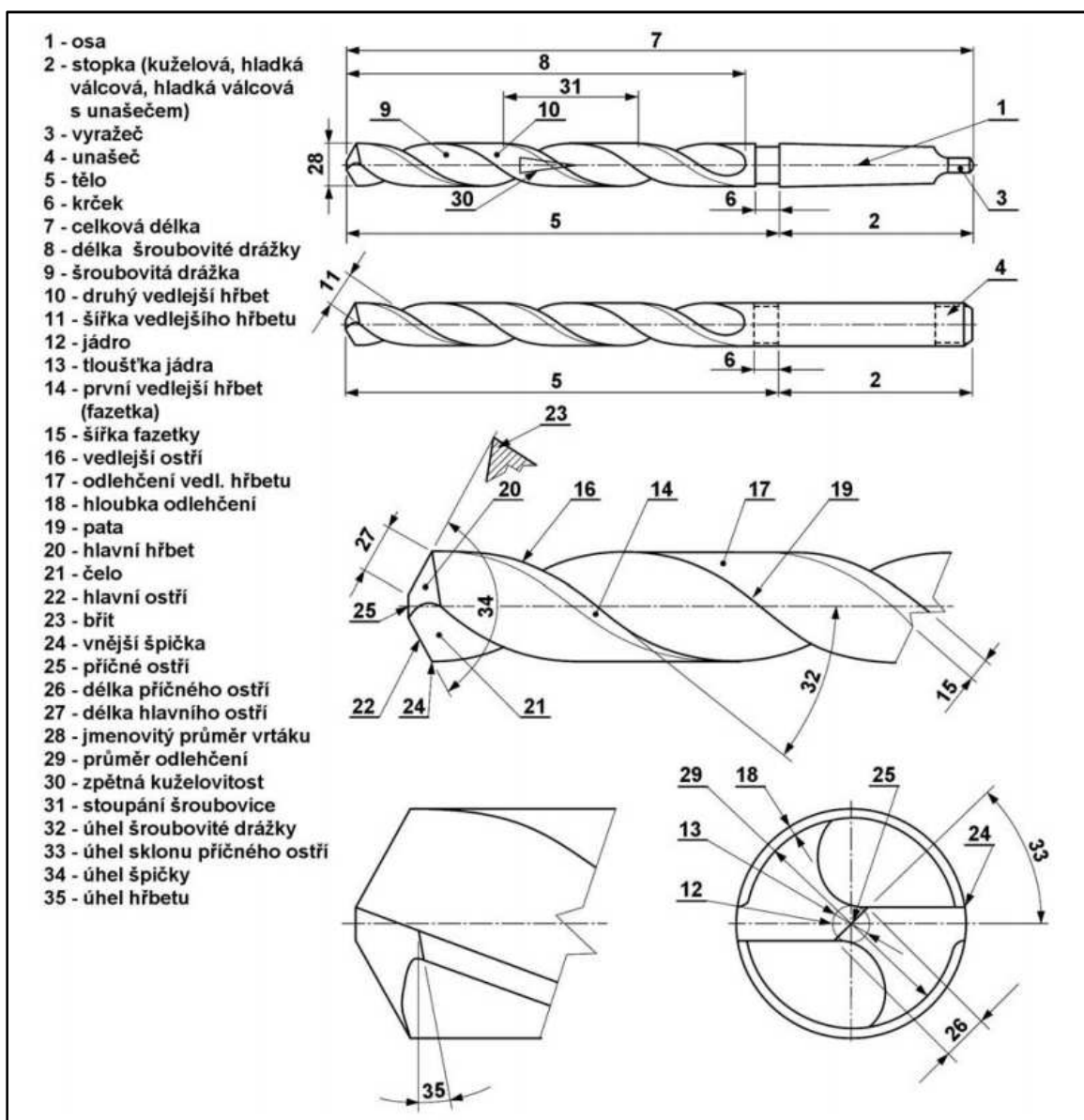
Vrták středící slouží k přípravě polotovaru. A to k navrtání důlků pro upnutí materiálu do hrotů, nebo k navrtání počátečního středícího důlku při vrtání do přesné plochy. Tyto vrtáky se vyrábí buď jednostranné, nebo častěji oboustranné. [1]

Šroubovitý vrták slouží k vrtání krátkých děr, kde délka vrtané díry nepřesahuje desetinásobek vrtaného průměru. Jedná se o dvoubřité nástroje se šroubovitými drážkami. Drážky usnadňují odchod třísky z místa řezu a přivádějí řeznou kapalinu do místa řezu. Vrták je ve vrtané díře veden fasetkou na vedlejším ostří vrtáku a je mírně kuželovitý s menším průměrem u stopky, čímž se zmenšuje tření v díře. Naopak průměr jádra se směrem ke stopce zvětšuje, čímž se dosahuje vyšší tuhosti vrtáku. Základní podmínkou pro fungování vrtáku je správné nabroušení (obr.3), při kterém musí být provedeno podbroušení hřbetu.

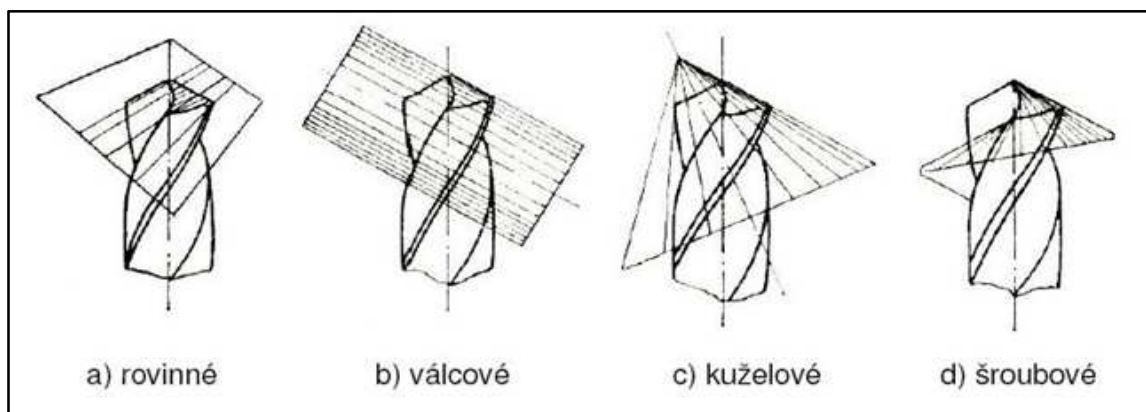
Šroubovité vrtáky se dělí:

- podle tvaru stopky: s válcovou stopkou,
s kuželovou stopkou – Morse,
- podle směru otáčení: pravořezné,
levořezné,
- podle délky: krátké,
dlouhé,
- podle úhlu stoupání šroubovice: s velkým,
středním,
malým.

Šroubovité vrtáky se nejčastěji vyrábí z rychlořezných ocelí. Pro obrábění litin i ocelí, se vyrábějí šroubovité vrtáky ze slinutých karbidů. Menší průměry se vyrábí jako celistvé, větší se vsazenou a připájenou břitovou destičkou ze slinutého karbidu. [7]



Obr.2 Základní parametry šroubovitěho vrtáku [2].



Obr. 3 Způsoby ostření šroubovitěch vrtáků [5].

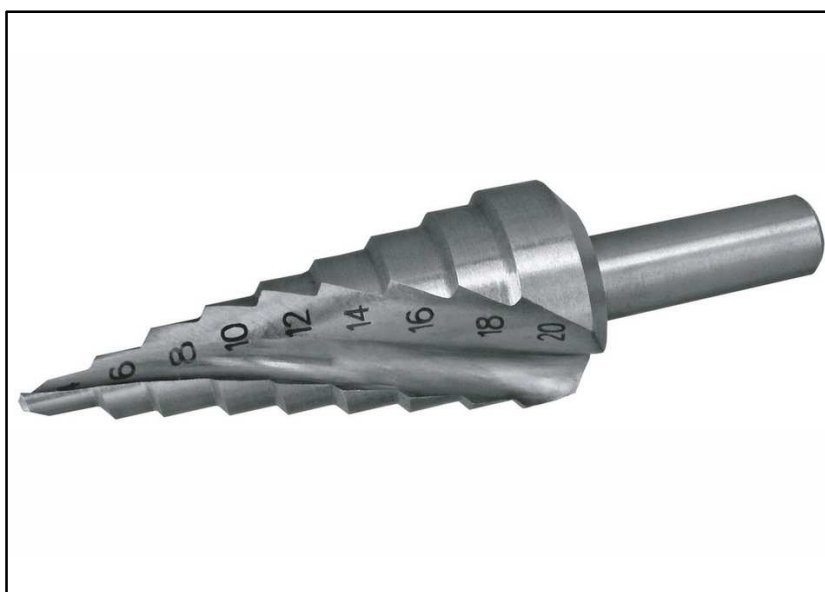
Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobeneých součástí

Nejstarší a nejjednodušší formou vrtacích nástrojů jsou kopinaté vrtáky. Většinou je to tyč na konci zploštělá a upravená tak, že vytváří břit. Nevýhodou tohoto vrtáku je, že vrtaný materiál není z vrtané díry nástrojem vynášen.

Pro vrtání hlubokých děr, jejichž hloubka je více než desetinásobkem jejich průměru se používají Vrtáky dělové. Tyto vrtáky mají dobré vedení k díře, a proto nedochází k vybočení vrtáku ani při vrtání do větší hloubky. Vedení je kromě fasetek, nebo lišt na vnějším povrchu vrtáku ještě doplněno tvarem špičky tak, že vrták při vrtání má na dně díry kuželovitý výstupek, který také pomáhá středění.[1]

Vrtací hlavice slouží pro vrtání děr o velkém průměru. Jsou osazeny pájenými nebo mechanicky upínanými destičkami. Procesní kapalina se přivádí prostorem mezi vrtákem a dírou (metoda BTA) nebo mezi vnějším pláštěm vrtací tyče a vnitřní trubkou, kterou se odvádí třísky (ejektorová metoda) [7].

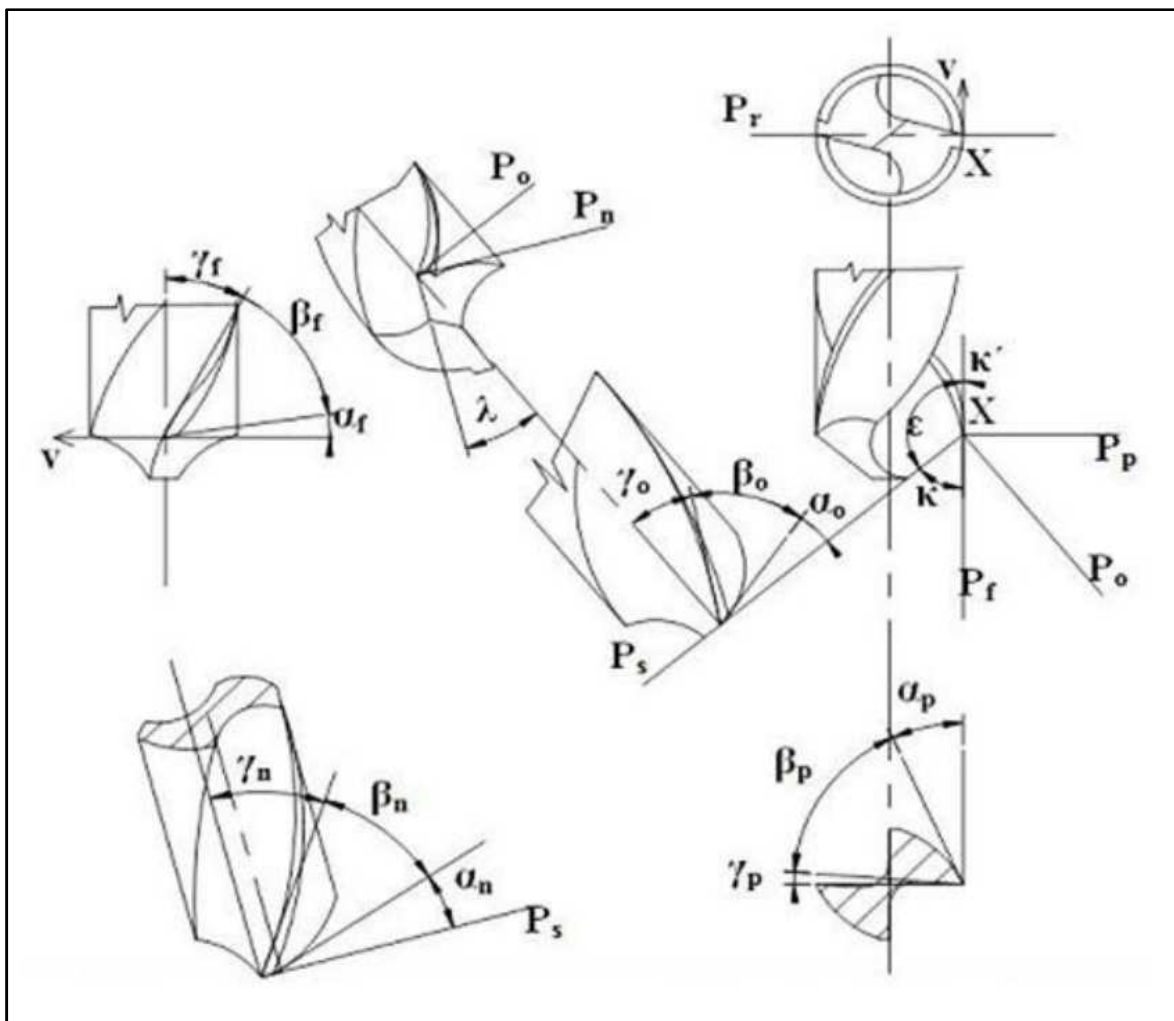
Sdružené vrtáky se používají pro vrtání díry se současným vystružováním, zahlubováním nebo hlazením. Mezi další speciální vrtáky patří například vrtáky pro vrtání děr do plechu (obr. 4).



Obr. 4 Stupňovitý vrták se spirálovou drážkou [8]

2.2 Geometrie břitu vrtáku

Velice důležitá je geometrie vrtáku, závisí na ní velikost řezných sil, jakost obrobené plochy a trvanlivost břitu. Geometrie břitu může být popsána dvěma způsoby a to kinematicky ze vztahu nástroje k obrobku pomocí pracovních úhlů nebo staticky pomocí nástrojových úhlů. Nástrojové úhly se používají hlavně ke konstrukci, výrobě a ostření nástrojů. Pracovní úhly se používají ve vztahu nástroje a obrobku při řezání.



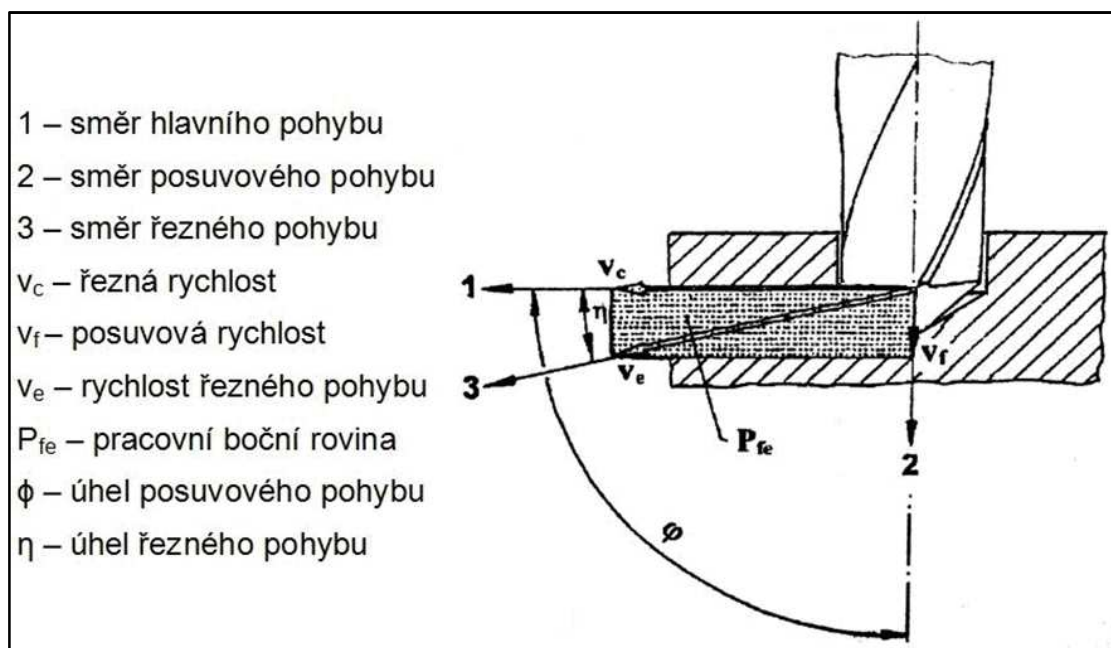
Obr. 5 Geometrie břitu šroubovitého vrtáku [1].

- Nástrojová základní rovina P_r
- Nástrojová boční rovina P_f
- Nástrojová zadní rovina P_p
- Nástrojová rovina ostří P_s
- Normálová rovina P_o
- Nástrojový úhel hřbetu α

- Nástrojový úhel čela γ
- Nástrojový úhel břitu β
- Nástrojový úhel řezu δ
- Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří κ_r
- Nástrojový doplňkový úhel ψ_r
- Nástrojový úhel sklonu ostří λ_s
- Nástrojový úhel špičky ϵ_r
- Poloměr špičky r_ϵ

2.3 Kinematika a parametry vrtacího procesu

Hlavním řezným pohybem při vrtání je rotace, rotovat může nástroj nebo obrobek. Řezné podmínky se pohybují v širokém rozsahu v závislosti na druhu nástroje. V porovnání se soustružením a frézováním jsou však nižší a to vzhledem k nepříznivým podmínkám, ve kterých nástroje pracují. Při vrtání oceli se řezná rychlost v_c pohybuje do $300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. [12]



Obr. 6 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovitým vrtákem [6].

2.3.1 Základní kinematické veličiny při vrtání

Mezi základní kinematické veličiny patří řezná a posuvová rychlost, rychlost řezného pohybu a posuv na zub.

- výpočet řezné rychlosti:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [m \cdot \text{min}^{-1}], \quad (1)$$

- výpočet posuvové rychlosti:

$$v_f = f \cdot n \quad [mm \cdot \text{min}^{-1}], \quad (2)$$

- výpočet rychlosti řezného pohybu:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \quad [m \cdot \text{min}^{-1}], \quad (3)$$

- výpočet posuvu na zub

$$f_z = \frac{f}{i} \quad [mm], \quad (4)$$

kde: D [mm] ... průměr nástroje,

n [min^{-1}] ... otáčky nástroje (případně obrobku),

f [mm] ... posuv nástroje na jednu otáčku,

i [-] ... počet zubů (břitů) nástroje,

2.3.2 Parametry při vrtání

Parametry při vrtání se rozumí jmenovitý průřez třísky, síly vznikající během obrábění a jednotkové strojní časy.

- šířka záběru ostří při vrtání díry do plného materiálu: (obr. 5 vlevo)

$$a_p = \frac{D}{2} \quad [mm], \quad (5)$$

- šířka záběru ostří při vrtání do předvrtané díry: (obr. 5 vpravo)

$$a_p = \frac{(D - d)}{2} \quad [mm], \quad (5)$$

- šířka záběru ostří ve směru posuvu:

$$a_f = \frac{f}{i} \quad [\text{mm}], \quad (7)$$

- jmenovitá tloušťka třísky:

$$h_D = \frac{f}{2} \cdot \sin \kappa_r \quad [\text{mm}], \quad (8)$$

- jmenovitá šířka třísky při vrtání do plného materiálu:

$$b_D = \frac{D}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}], \quad (9)$$

- jmenovitá šířka třísky při vrtání předvrtané díry:

$$b_D = \frac{D - d}{2 \cdot \sin \kappa_r} \quad [\text{mm}], \quad (10)$$

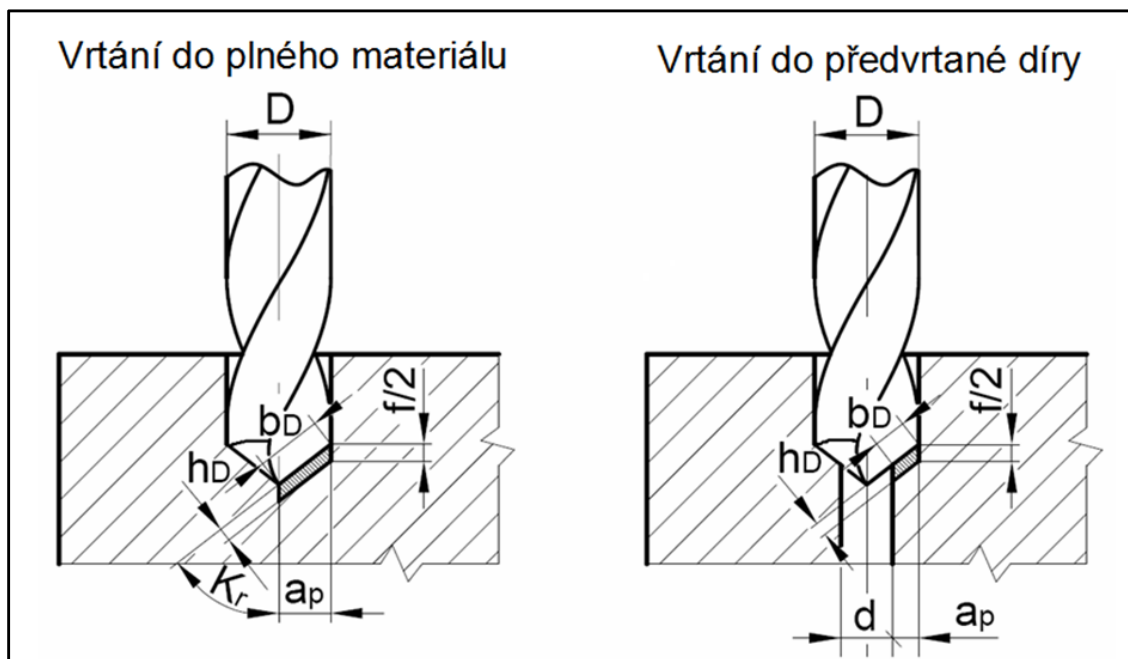
- jmenovitý průřez třísky při vrtání do plného materiálu:

$$A_D = h_D \cdot b_D = \frac{D \cdot f}{4} \quad [\text{mm}^2], \quad (11)$$

- jmenovitý průřez třísky při vrtání předvrtané díry:

$$A_D = \frac{D - d}{4} \cdot f \quad [\text{mm}^2], \quad (12)$$

- kde: D [mm] ... průměr nástroje,
 d [mm] ... průměr předvrtané díry,
 f [mm] ... posuv nástroje na jednu otáčku,
 h_D [mm] ... jmenovitá tloušťka třísky,
 b_D [mm] ... jmenovitá šířka třísky,
 κ_r [°] ... pracovní úhel nastavení hlavního ostří,
 i [-] ... počet zubů (břitů) nástroje,



Obr. 7 Průřez třísky pro vrtání se šroubovitým vrtákem [5].

Pro výpočet řezné síly F_c , posuvové síly F_f a krouticího momentu M_k je možné využít empirické vztahy. Řezné a posuvové síly při vrtání šroubovitým vrtákem jsou vyznačeny na obr. 6.

- výpočet řezné síly:

$$F_c = C_{F_c} \cdot D^{X_{F_c}} \cdot f^{Y_{F_c}} \quad [\text{N}], \quad (13)$$

- výpočet posuvové síly:

$$F_f = C_{F_f} \cdot D^{X_{F_f}} \cdot f^{Y_{F_f}} \quad [\text{N}], \quad (14)$$

- výpočet krouticího momentu:

$$M_k = C_M \cdot D^{1+X_{F_c}} \cdot f^{Y_{F_c}} \quad [10^{-3} \text{ Nm}], \quad (15)$$

kde: $C_{F_c}, C_{F_f} [-]$... konstanty pro výpočet sil,

$C_M [-]$... konstanta pro výpočet krouticího momentu,

$X_{F_c}, Y_{F_c}, X_{F_f}, Y_{F_f} [-]$... exponenty pro výpočet sil (x vyjadřuje vliv průměru vrtáku, y vliv posuvu na otáčku),

$D [\text{mm}]$... průměr nástroje,

$f [\text{mm}]$... posuv nástroje na jednu otáčku,

výpočet řezného výkonu vrtání šroubovitým vrtákem:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 2 \cdot 10^3} = \frac{F_c \cdot v_c}{12 \cdot 10^4} \quad [\text{kW}], \quad (16)$$

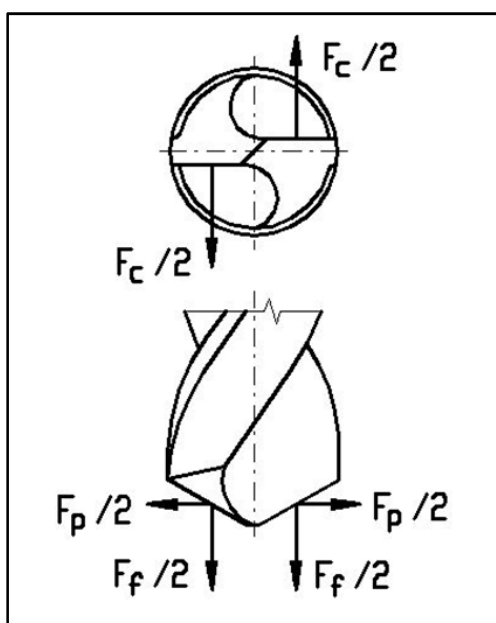
kde: F_c [N] ... řezná síla
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] ... řezná rychlost

- výpočet jednotkového strojního času,

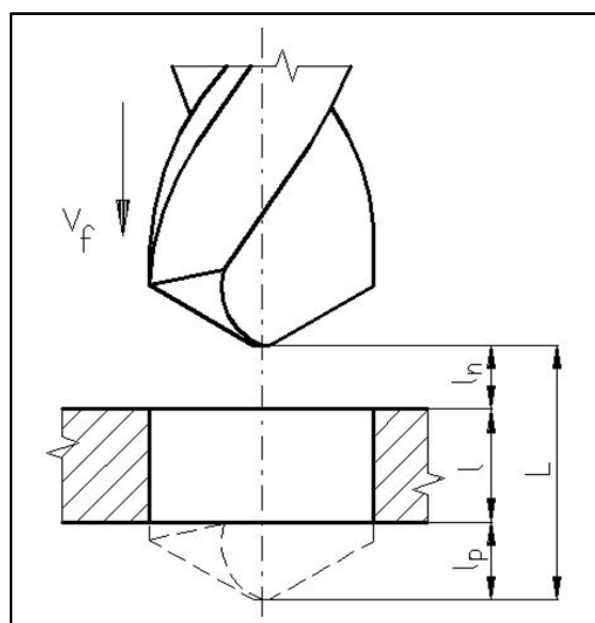
Jednotkový strojní čas t_{AS} při vrtání šroubovitým vrtákem se vyjádří, na základě obr. 7 vztahem:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} \quad [\text{min}], \quad (17)$$

kde: L [mm] ... celková dráha nástroje,
 l_n [mm] ... délka náběhu nástroje,
 l_p [mm] ... délka přeběhu nástroje,
 l [mm] ... délka díry,
 v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] ... posunová rychlost,
 n [min^{-1}] ... otáčky nástroje (případně obrobku),
 f [mm] ... posuv nástroje na jednu otáčku,



Obr. 8 Síly při vrtání šroubovitým vrtákem [6].



Obr. 9 Dráha nástroje ve směru posuvu [6].

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobených součástí

Velký vliv na obrábění má prostředí, ve kterém probíhá. Řezné prostředí svými vlastnostmi ovlivňuje výsledky a produktivitu obrábění. Volba optimálního řezného prostředí často umožňuje zvýšit produktivitu až o desítky procent za současného zvýšení jakosti obrobené plochy.

3 Řezné prostředí

Řezné prostředí může obsahovat pomocné látky. Pokud je neobsahuje, řezným prostředím je vzduch a v takovém případě mluvíme o obrábění za „sucha“. Pomocné látky mohou být kapaliny, mlhoviny nebo plyny.

3.1 Kapalně prostředí – řezné kapaliny a požadavky na ně kladené

Nejpoužívanějším procesním médiem jsou procesní kapaliny. Hlavním požadavkem, kladeným na řezné kapaliny, je, aby účinně zlepšovaly trvanlivost nástrojů i jakost obrobeného povrchu, dále požadujeme, aby se tyto kapaliny daly snadno připravit, aby byly snadno dostupné, trvanlivé a nepůsobily v provozu potíže. Tyto důvody vedou nejen k výzkumu a zkoušení nových druhů kapalin, plynů a par, ale také k zavádění nových účinných způsobů chlazení řezných nástrojů.[11]

Z hlediska technologického a provozního klademe na kapaliny následující požadavky:

- chladicí účinek,
- mazací účinek,
- čistící účinek,
- ochranný účinek,
- provozní stálost,
- zdravotní nezávadnost,
- nízké náklady,

Tyto účinky jsou nezbytnými vlastnostmi řezných kapalin, přičemž na některou z funkcí může být kladen větší nebo menší důraz, a to podle podmínek dané operace.

Chladicí účinek

Měřítkem chladicího účinku je schopnost odvádět teplo z místa řezu. Závisí na měrném a výparném teple, součiniteli přestupu tepla v oblasti řezu, smáčivosti a pěnivosti rezných kapalin. Odvod tepla je prováděn oplachem nástroje, třísky i obrobku proudem kapaliny v místě řezu.[12]

Chlazení zamezuje překročení limitních teplot pro materiál nástroje, při jehož překročení by nástroj ztrácel vlastnosti nutné pro odebrání třísky. Dostatečným chlazením se dosáhne ochlazení obrobku, ochlazený obrobek má rozměrovou stálost a může se s ním bezpečně manipulovat, nehrozí nebezpečí popálení obsluhy.

Mazací účinek

Mazací účinek se projevuje snížením tření absorpčních vrstev molekulami rezné kapaliny na stýkajících se plochách. Tím se snižuje možnost vzájemné adheze a difuze. Dále se rezné kapaliny rozkládají, vnikají do mřížky kovu a na jeho rozrušení potom stačí menší síla. Rezné kapaliny také ovlivňují velikost a tvorbu nárůstku.[3]

Schopnost kapaliny mazat má vliv na zmenšení tření, a tedy i na velikost rezných odporů, spotřebované energie, lepší odvod třísky a tím i klidnější chod stroje. Mazací účinek kapaliny se projevuje v lepší jakosti obrobeného povrchu. Je na něj tedy kladen důraz především při obrábění na čisto.[5]

Mazací schopnost kapaliny je závislá na pevnosti mezní vrstvy a její viskozitě. Rostoucí viskozita kapaliny se projevuje zhoršením odvodu tepla a také větším ulpíváním na třískách, kvůli čemu dochází k větším ztrátám kapaliny.[5]

Čistící účinek

Princip čistícího účinku spočívá v odvádění třísek a jemných kovových a brusných částic. Procesní kapalina odvádí nečistoty nejen z místa řezu, ale oplachuje a čistí nečistoty z obráběcího prostoru stroje.[12,13]

Má-li mít procesní kapalina dobrý čistící účinek, nesmí lepit a musí dovolovat snadné a rychlé usazování nečistot. Kapaliny s malou viskozitou bez aktivních přísad jsou pro tento

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobených součástí

účel výhodnější. Procesní kapaliny o velké viskozitě tvoří kromě toho na třískách tlustší vrstvu, čímž se zvětšuje spotřeba kapaliny (odvodem v třískách).[11]

Jakost čištění závisí také na čistotě procesní kapaliny, tedy na odstraňování nečistot, které kapalina odplavila. Větší a těžší nečistoty se usazují v nádrži, menší a lehčí mohou být proudem kapaliny unášeny zpět do místa řezu. Kaly, které vznikají při stárnutí kapaliny a jsou v kapalině částečně rozpustné, tento stav ještě zhoršují, protože umožňují shlukování a slepování kovových částecek a brusného prachu.[11]

Ochranný účinek

Procesní kapaliny nesmí zapříčínovat vznik koroze. Toto je důležitý požadavek proto, aby nebylo nutné výrobky mezi operacemi konzervovat. K požadavkům ochranného účinku je také nutné připojit důležitou podmínku, aby řezné kapaliny nerozpouštěly nátěry obráběcích strojů a nebyly agresivní vůči gumovým těsněním.[11,14]

Neúčinkuje-li kapalina sama jako ochranný prostředek, který vytváří na povrchu voděodolnou vrstvu, musí se do kapaliny přidávat přísady, které vzniku koroze zabrání. Zvýšení odolnosti proti korozi dosáhneme například přidávkem solí, z kterých se vytvoří alkalické elektrolyty, nebo přidávkem látek snižujících povrchové napětí vody.[10,11]

Korozivní účinek vodných roztoků závisí především na hodnotě pH, což je hodnota koncentrace vodíkových iontů. Při pH 7 je roztok neutrální, nad touto hodnotou je roztok kyselý pod ní zásaditý. Železné kovy korodují v prostředí kyselém, neželezné kovy v prostředí zásaditém.[10]

Provozní stálost

Řezná kapalina by měla v provozu zůstat co nejdéle, aniž by změnila své vlastnosti. Změny vzniklé stárnutím kapaliny vedou ke změnám jejích vlastností, což se obvykle nepříznivě projeví ve zhoršení některého z požadovaných účinků

Čím menší jsou lhůty výměn řezné kapaliny, tím menší jsou náklady i ztráty vzniklé prostojem strojů při výměnách. Dlouhodobost náplně je podmíněna zárukou, že se její fyzikální ani chemické vlastnosti nebudou měnit.[11]

Zdravotní nezávadnost

Při práci na obráběcích strojích je obtížné zabránit kontaktu pracovníků s řeznými kapalinami. Kapaliny mohou u pracovníků vyvolat především kožní onemocnění a různé alergické reakce.

Zdravotní nezávadnost procesních kapalin závisí také na jejich provozní stálosti a čistotě. Zestárlá, znečištěná, nebo bakterie obsahující kapalina může působit zdravotní obtíže, které se u čerstvé a čisté kapaliny neprojevují.[11]

Nízké náklady

Souvisí především se spotřebou procesní kapaliny. Při rozboru nákladů na procesní kapaliny je nutné nejdříve posoudit vliv na proces obrábění (trvanlivost nástroje, jakost obrobku, spotřeba energie). Následuje hodnocení procesní kapaliny z hlediska provozní stálosti a spotřeby. Je nutné vzít v úvahu i náklady likvidaci procesní kapaliny.[15]

3.1.2 Kapalně prostředí – rozdělení procesních kapalin

Procesní kapaliny můžeme dělit podle mnoha hledisek:

- I. Podle charakteristických vlastností, určujících účel použití na kapaliny s účinkem mazacím nebo chladícím
- II. Podle složení na kapaliny s vodou mísitelné, a s vodou nemísitelné, tj. neobsahující vodu.

Vodou mísitelné procesní kapaliny

Základní složkou je voda, která je nejlevnější a nejdostupnější kapalinou s dobrým chladícím účinkem. Použití surové, tedy neupravené vody není pro přípravu řezné kapaliny vhodné, protože má mnoho nedostatků, jako je vysoká tvrdost daná obsahem solí a minerálů vytvářejících na povrchu obrobku a stroje nerozpustné a těžko odstranitelné usazeniny. Voda také způsobuje korozi železných kovů, má vysoké povrchové napětí a tím malou smáčivost. Mezi nevýhody vody patří také velké ztráty odpařováním a obsah rozličných i zdravotně závadných mikroorganismů.[10]

Nejčastější vodou mísitelné kapaliny jsou emulzní kapaliny, které jsou směsí oleje a vody. Emulze je disperzní soustavou dvou vzájemně nerozpustných kapalin, z nichž jedna tvoří mikroskopické kapky (olej), rozptýlené v druhé kapalině (voda). Aby bylo možné emulzi

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobeneých součástí

vytvořit, musí se do kapaliny přidávat emulgátor, který snižuje povrchové napětí mezi kapalinami.

Vodou nemísitelné procesní kapaliny

Vodou nemísitelné procesní kapaliny jsou zejména produkty, jinak nazývané „řezné oleje“. Výhody oproti procesním kapalinám, které se před použitím míchají s vodou, spočívají především v tom, že nabízejí delší životnost nástroje. Nevýhody oproti kapalinám s vodou mísitelným je především menší chladicí schopnost.[16]

Základní rozdělení řezných olejů:

- Minerální oleje bez přísad
- Mastné oleje z rostlinných a živočišných tuků
- Smíšené a mastné minerální oleje
- Syntetické kapaliny

3.2 Alternativní řezné prostředí

Pro dosažení dobrých výsledků obráběcích operací je potřebné zajistit co nejlepší podmínky chlazení a mazání řezného procesu. Ve stávající praxi je toto nejčastěji zajišťováno použitím procesních kapalin. Použití procesních kapalin sebou ale nese náklady na jejich likvidaci nebo recyklaci při opětovném použití. Snahou je vyrovnat se s těmito náklady různými způsoby:

- Obrábění za sucha
- Změna receptur kapalin mísitelných s vodou
- Mazání malým, resp. minimálním množstvím maziva
- Použití olejů namísto chladicích kapalin mísitelných s vodou
- Použití plynů

Použití některé z alternativ namísto procesních kapalin je nezbytné dobře zvážit a analyzovat všechny důsledky z toho vyplývající. Je nutné si uvědomit, jaké pozitivní účinky mají kapaliny pro řezný proces, a že použití jiných procesních prostředí si může vyžádat jiná, mnohdy i náročnější opatření v provozu výroby a jí provozech přidružených.

3.2.1 Obrábění za „sucha“

Řezné kapaliny se používají při obrábění pro chlazení a mazání v oblasti řezu. Součást a nástroj jsou neustále oplachovány kapalinou a výsledkem je značně nižší teplota než bez použití kapaliny. Teplota je důležitá především proto, že ovlivňuje životnost nástroje. Dalšími důvody použití kapalin je odstraňování třísek a zlepšení jejich lámavosti. Argumenty zastánců obrábění bez řezných kapalin lze shrnout následovně:

Zdraví. Problémy jsou hlavně s alergiemi osob, onemocněním pokožky a absencí takto postiženého kvalifikovaného personálu.

Prostředí. Řezné kapaliny znečišťují okolní prostředí. Znečištění zasahuje okolní atmosféru a pracovní prostředí, vodu a třísky z procesu obrábění. Legislativou jsou požadována nákladná opatření k eliminaci znečišťování, skladování a likvidaci upotřebených obráběcích kapalin.

Náklady. Uvádí se, že náklady na nákup a likvidaci kapalin ve strojírenství v Německu tvoří v průměru 15 % výrobních nákladů na obráběné součástky. Výrobci nástrojů ve spolupráci s uživateli už dokázali uspokojivě vyřešit v případě některých typů obráběcích operací (soustružení, frézování) problémy spojené s tímto technologickým směrem. Přesto stále ještě zůstává u jednotlivých operací mnoho otázek otevřených, např. odvod třísek při hlubokém vrtání, chlazení nástrojů, obrobků i obráběcích strojů apod.[17]

3.2.2 Změna receptur kapalin mísitelných s vodou

Druhý trend spočívající ve změně receptur se snaží v maximální míře minimalizovat negativní vlivy cestou změny receptur kapalin.

Aktuální požadavky na inovaci kapalin jsou maximální výkonnost při maximální možné snášenlivosti s životním prostředím a minimálním negativním vlivu na obsluhu obráběcích strojů. Běžné řezné kapaliny mají hodnotu pH mezi 8,8 až 9,2 a produkty neobsahující bor a aminy 8,2 až 8,6. Vývoj procesních kapalin proto směřuje ke kapalinám s nízkou hodnotou pH, tak aby v co nejmenší míře zatěžovala lidskou pokožku. Takovéto kapaliny mají hodnoty pH mezi 7,0 až 5,5. Prostřednictvím pH blízkého pokožce se snižuje relativní koncentrace aktivní zásady na méně než 5 procent. Tyto kapaliny jsou vhodné pro širokou

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobených součástí

škálu materiálů, a to od běžné litiny a ocelových slitin až po hliníkové slitiny používané v letectví a barevné kovy. Tyto nové produkty spojující minimální hodnotu pH s maximální ochranou proti korozi a dobrou účinností chlazení a mazání při obrábění, se stávají ukazatelem směru vývoje nové generace procesních kapalin.[17]

3.2.3 Mazání malým, resp. minimálním množstvím maziva

Podle definice se mazání malým množstvím maziva od mazání minimálním množstvím odlišuje spotřebovaným množstvím procesní kapaliny za hodinu. O mazání malým množstvím maziva mluvíme tehdy, když objem proudící kapaliny nepřekročí 2 litry za minutu, při mazání minimálním množstvím maziva se spotřeba chladicí mazací kapaliny omezí na 50 ml za minutu. Při tomto mazání odpadá chlazení, jakož i odvod třísek prostřednictvím média. Protože prostřednictvím třísek se odvádí cca 80 % obráběcího tepla, je i při těchto technologických postupech třeba jinou mechanickou metodou odstranit třísky z pracovního prostoru, aby se zabránilo přehřátí obráběcího stroje. Všechny systémy pro mazání minimálním množstvím mají společné, že se procesní kapalina rozpráší na velké množství jemných kapiček, které se na místa účinku dostávají ve formě aerosolu. Zde vzniká první problém týkající se toxikologie a pracovní hygieny. Jestliže při používání běžných chladicích mazacích kapalin existuje snaha novými technologiemi a novými typy výrobků minimalizovat tvorbu aerosolů na pracovišti, při minimálním mazání je úmyslně vytvářen aerosol, který se využívá v této technologii.[17]

Při mazání minimálním množstvím jde o čisté ztrátové mazání, procesní látka se kompletně spotřebovává ve formě mlhy a aerosolu na pracovním místě, a proto se klade důraz na toxikologickou nezávadnost. Z tohoto důvodu se osvědčily esterové oleje a mastné alkoholy s podílem toxikologicky nezávadných přísad. Přírodní oleje a maziva mají nevýhodu, že jsou oxidačně velmi nestabilní. Při procesech se vznikem vysokých teplot je proto potřebné použít esterové oleje a mastné alkoholy, aby se zabránilo tvorbě pryskyřičnatých povlaků na nástrojích a strojích. Mastné alkoholy mají při stejné viskozitě nižší bod vzplanutí než esterové oleje. Odpaří se relativně rychle, přičemž se dosáhne chladicího účinku. Proti esterovým olejům je jejich mazací účinek relativně nízký. Proto se při třískových obráběcích procesech používají mastné alkoholy přednostně tam, kde jsou malé požadavky na mazací účinky v porovnání s požadavkem na chladicí účinek.[17]

3.2.4 Použití olejů namísto chladicích kapalin mísitelných s vodou

Tento trend se začal prosazovat počátkem 90. let minulého století jako strategie předních německých automobilových výrobců, kterou se snažili eliminovat prudký růst provozních nákladů způsobených vlivem nových legislativních požadavků při používání klasických kapalin mísitelných s vodou. Byly formulovány požadavky na výrobce obráběcích kapalin, které zněly:

- vodou nemísitelné chladicí mazací prostředky pro všechny třískové obráběcí operace a všechny materiály používané v automobilovém průmyslu;
- nízká viskozita, aby se redukovaly ztráty výnosem na třískách a na obráběných součástech;
- nízká tvorba mlhy a nízká odpařivost do pracovního prostředí;
- minimální nebezpečí pro vodu;
- multifunkčnost - např. použitelnost i jako hydraulický olej, prací olej, kalicí olej apod.

Tyto požadavky vypadaly tehdy jako velmi rozporuplné, avšak v poměrně krátké době se dospělo k akceptovatelnému kompromisu mezi výrobcí chladicích mazacích prostředků, uživateli i výrobcí hydraulických komponentů. Prvním krokem na této cestě byly kapaliny představující tzv. rodinu kapalin pro obráběcí stroje. Uživatel může všechna mazaná místa na obráběcím stroji včetně chlazení obrobku a mazání nástroje obsloužit jedinou rodinou produktů. Kapaliny se vyznačovaly stejnou aditivací základových olejů, ale měly rozdílné viskozity. V případě jejich smíšení nedocházelo k nežádoucímu vzniku různých reakčních produktů, které by měly negativní vliv na provozní vlastnosti těchto kapalin. Rozdílné viskozity pro existující strojový park byly nevyhnutné, protože dnešní technický stav ve strojírenství požaduje pro jednotlivá mazací místa, jako jsou hydraulika, kluzné plochy, převodovky a vřetena, určitou minimální viskozitu. Uživatelům se otevřely racionalizační možnosti týkající se šířky sortimentu chladicích mazacích prostředků, protože taková rodina kapalin neplní jen všechny požadavky na mazání obráběcích strojů, ale je vhodná i pro různé třískové obráběcí procesy a materiály. Prosazení této filozofie vedlo k významným úsporám, protože netěsnosti v hydraulice neměly negativní vliv na kvalitu používaného řezného oleje.[17]

3.2.5 Plynné prostředí

Pro běžné obráběcí operace se chlazení plynem využívá pouze výjimečně. Je to způsobeno především jejich vlastnostmi, mají pouze malý chladicí účinek, problematický čistící účinek a žádný mazací účinek.[19]

Původně bylo chlazení plyny používáno při obrábění pomocí nástrojů ze slinutých karbidů a keramiky. Až rozvoj této technologie umožnil při obrábění pomocí nástrojů ze slinutých karbidů a keramiky použít řezné kapaliny. Nejdříve bylo ke chlazení využíváno stlačeného vzduchu. Následovalo použití technických plynů CO₂, N₂, argonu a freonu pod vysokým tlakem, posledně jmenovaný se využívá obzvláště při obrábění těžko obrobitelných materiálů. Nevýhodou chlazení plynem jsou relativně vysoké náklady a riziko nebezpečí při jeho používání.

Zvláštním případem plynného prostředí je obrábění za „sucha“, při kterém je řezným prostředím atmosférický vzduch. Rozmach tohoto způsobu obrábění je zapříčiněn vývojem nových řezných materiálů, které jsou i bez použití chlazení schopny výkonného a efektivního obrábění. Nabízí se ale otázka, zda lze tento případ považovat za chlazení.

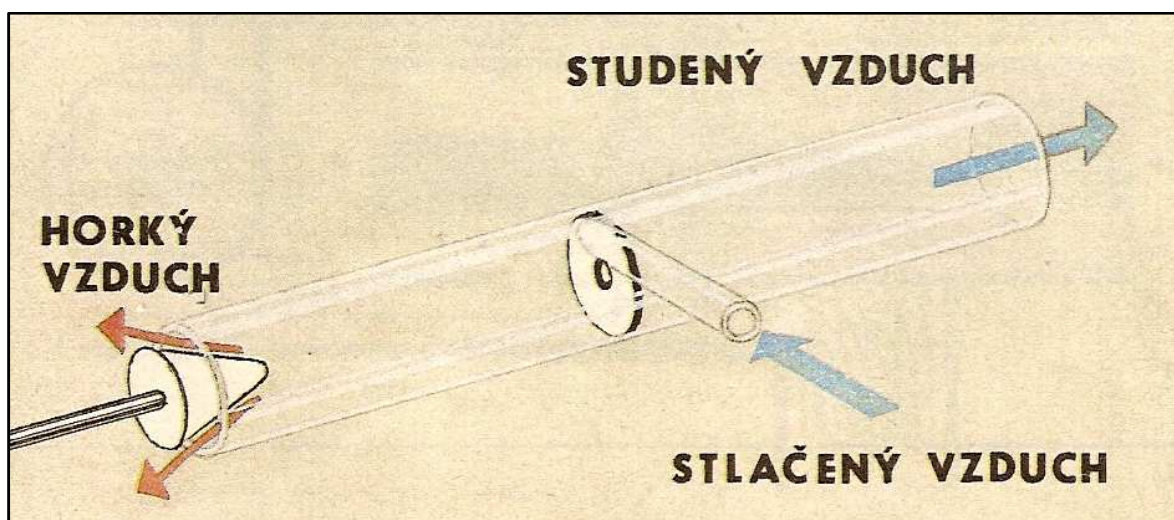
3.2.5.1 Obrábění s využitím podchlazeného vzduchu

Použití podchlazené vzduchu má všestranné použití při frézování, vrtání, soustružení a dalších technologiích obrábění, jako například při obrábění plastů, kompozitů, dřeva a jiných materiálů. Podchlazený vzduch se dá použít ke chlazení forem, tvářených dílů, při broušení ploch, ostření vrtáků a nástrojů. Filtrovaný stlačený vzduch odstraňuje problém s kontaminací výrobku a další náklady spojené s použitím chladicí emulze. Mezi další přednosti lze zařadit samočistící schopnost. Vystupující proud vzduchu s nižším tlakem pomáhá čistit výrobek od třísek a nečistot. Výhodná je i možnost použití v provozech s nebezpečím výbuchu.

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobených součástí

Při této technologii se využívá zařízení zvané vírová trubice. Které použitím pouze filtrovaného stlačeného vzduchu o tlaku 5,5 - 7 bar jako zdroje energie vytvoří dva proudy vzduchu, jeden studený (až $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$) a jeden horký (až $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$) bez použití elektrické energie, freonů a pohyblivých součástí.

Princip fungování vírové trubice byl objeven francouzským fyzikem Georgem Ranquem kolem roku 1930. Jeho objev se však setkal s nepochopením a nezájmem a byl dlouhou dobu ignorován. Když však předložil svoji práci francouzské vědecké společnosti, byla přijata s nedůvěrou a nezájmem a jeho článek z roku 1933 byl dlouhou dobu ignorován. Ve čtyřicátých letech se jevem začal zabývat v USA Rudolf Hilsch, který nakonec publikoval první známý článek o tomto jevu.



Obr. 10 Původní uspořádání Ranquova experimentu [19].

V současné době je v průmyslu využíváno například zařízení Cold Air Gun, které pracuje na principu vírové trubice. Cold Air Gun používá filtrovaný stlačený vzduch a princip vírové trubice pro vytvoření mrazivého proudu vzduchu pro spoustu průmyslových aplikací při bodovém chlazení. Vírová trubice převádí stlačený vzduch do studeného proudu vzduchu o teplotě až $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$. Cold Air Gun se používají v různých průmyslových procesech, výrobě, montáži a balení jako universální zdroj bodového chlazení.[19]



Obr. 11 Cold Air Gun [19].

3.2.5.2 Obrábění s využitím zkapalněného dusíku

Současným trendem v oblasti obrábění je kryogenní chlazení, kdy je snaha docílit velmi nízkých teplot a jeho následným kladným působením na materiál i nástroj. Americký národní institut standardů a technologií určil hranici mezi chlazením a kryogenním chlazením na $93,15\text{K}$ ($-180\text{ }^{\circ}\text{C}$). Toto rozhodnutí není náhodné, protože bod varu permanentních plynů (vodík, kyslík, dusík...) se nachází pod touto hranicí oproti bodu varu běžných chladicích kapalin, jejichž bod varu je nad touto hranicí. Hranice však není nastavena zcela pevně a může mít určité odchylky. Pro kryogenní chlazení se využívá hlavně kapalného dusíku – LN₂, který je pro tyto případy naprosto ideální. Dusík se uchovává při teplotě okolo $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, a poskytuje tak snadný, levný a rychlý zdroj chladu. Kapalný dusík lze po jeho zahřátí a následném odpaření využít po procesu jako plyn v prvotní jakosti (např. pro inertní atmosféru).[19,21]

Nepřímé chlazení

Nepřímé chlazení spočívá v ochlazování místa řezu přívodem dusíku tryskou umístěnou mimo obráběcí nástroj. Tato metoda velmi závisí na tepelné vodivosti materiálu nástroje (obrobku), kvůli zavedení chladicího účinku až do místa řezu přes odcházející třísku, která brání přímému přístupu do místa řezu. Efektivita tohoto způsobu chlazení není velká a může dojít k nežádoucím jevům, jako je např. podchlazení obrobku. Výhodou ale je, že tento způsob chlazení lze využít pro všechny druhy obrábění.[19]

Přímé chlazení

Při tomto způsobu kryogenního chlazení je přiváděn tekutý dusík přes utvařecí třísky přímo mezi třísku a čelo nástroje. Proud dusíku přes utvařecí třísky pomáhá zvednout třísku a tím zároveň sám sobě umožňuje lepší přístup k ochlazovanému místu. Na rozdíl od předchozího způsobu třísky neblokuje proudění tekutého dusíku. Tekutý dusík absorbuje teplo, rychle se odpařuje a tvoří kapalinový – polštář mezi třískou a čelem nástroje, který funguje jako mazivo. V důsledku toho se snižuje koeficient tření, jakož i sekundární deformace třísky. Mazací a chladicí efekt na nejteplejší místo snižuje teplotu nástroje, čímž účinně snižuje opotřebení nástroje. Pomocné kryogenní trysky mohou být dodatečně přidány kvůli ochlazování hřbetní plochy k dalšímu snížení opotřebení hřbetu.[19]

3.2.5.3 Obrábění s využitím oxidu uhličitého

Kryogenní chlazení lze provádět nejen s tekutým dusíkem. Oxidu uhličitého se využívá při obrábění špatně obrobitelných materiálů například titanu, slitin niklu, či duplex ocelí, kdy při obrábění probíhá velké tepelné zatížení s vysokým opotřebením nástroje. Kyslíčnický uhličitý CO_2 je přiváděn v tekuté formě a při kontaktu s okolním vzduchem získá formu sněhu. „Sněhování“ využívá proud malých ledových částic o velikosti mikronu. Tryskající zmrzlé krystaly suchého ledu jsou vytvářeny dějem, kterému fyzikové říkají adiabatické rozpínání. Princip metody je následující. Do tenké trubičky se vede pod tlakem kapalným oxid uhličitý. Po jeho průchodu tryskou, jejíž průměr je tři desetiny milimetru se z něj stanou tryskající „sněhánky“. Ty pak mechanicky odstraňují z povrchu obráběné součástky a používaných nástrojů, všechnen balastní odpad. Současně místo opracování ochlazují a co je nejdůležitější, krystalky oxidu snižují tření. Působí stejně jako mazivo. Oxid uhličitý je šetrný k životnímu prostředí, nehořlavý a dobře dostupný.[19]

4 Metodika experimentu

V rámci této kapitoly bude popsána kompletní metodika experimentálního měření, včetně sledovaných parametrů, použitých zařízení a vyhodnocení jednotlivých výsledků.

Tab. 1 Metodika vrtání

Měřené parametry	Opotřebení břitu rezného nástroje
	Teplota obrobku
	Řezná síla
	Drsnost povrchu
	Rozměrová přesnost
Obráběný materiál	Ocel 12 050.1 (C45+N)
Stroj	Frézka FNG 32
Nástroj	Šroubovitý vrták o průměru 10 mm z HSS
Řezné prostředí	Obrábění za „sucha“
	Obrábění s využitím podchlazeného vzduchu
	Obrábění s využitím zkapalněného oxidu uhličitého
	Obrábění s využitím zkapalněného dusíku
	Obrábění s použitím procesní kapaliny EOPS 1030
	Obrábění s použitím procesní kapaliny HOCUT 795 B

4.1 Popis strojů, nástrojů, zkušebních vzorků a použitých procesních médií

Tato část diplomové práce seznamuje s použitým strojem, druhem použitého šroubovitého vrtáku, přípravou zkušebních vzorků, použitými procesními médii a jejich přípravou.

4.1.1 Obráběcí stroj – Pásová pila

Materiál pro přípravu vzorků byl nařezán na pásové pile ARG 300 Plus HF od firmy Pilous.



Obr. 12 Pásová pila ARG 300 Plus HF.

Základní technické parametry pásové pily:

- | | | |
|--------------------------|---------------|----------|
| • rozměr pilového pásu | 3110x27 | [mm], |
| • rychlost pilového pásu | 15 - 90 | [m/min], |
| • rozměry stroje | 1600x950x1600 | [mm], |
| • výkon motoru | 2,3 | [kW], |
| • hmotnost stroje | 570 | [570], |

4.1.2 Obráběcí stroj – NC frézka

Příprava vzorků a experimenty proběhly na frézce FNG 32 od společnosti TOS Olomouc s.r.o. (obr. 13), která je součástí vybavení laboratoře Katedry obrábění a montáže TU v Liberci.



Obr. 13 Frézka FNG 32.

Základní technické parametry frézky: [34]

• rozměr pracovní plochy	800 x 400	[mm],
• pracovní zdvih podélný	600	[mm],
• pracovní zdvih příčný, svislý	400	[mm],
• posuv X, Y	15 - 1000	[mm/min],
• posuv Z	6 - 400	[mm/min],
• rychloposuv X, Y	2000	[mm/min],
• rychloposuv Z	800	[mm/min],
• rozsah otáček vřetena	50 - 4000	[min ⁻¹],
• výkon hlavního motoru vertikálního vřetena	4	[kW],
• výkon posuvného motoru vertikálního vřetena	1,1	[kW],
• celkový příkon stroje	22	[kVA],

4.1.3 Nástroj

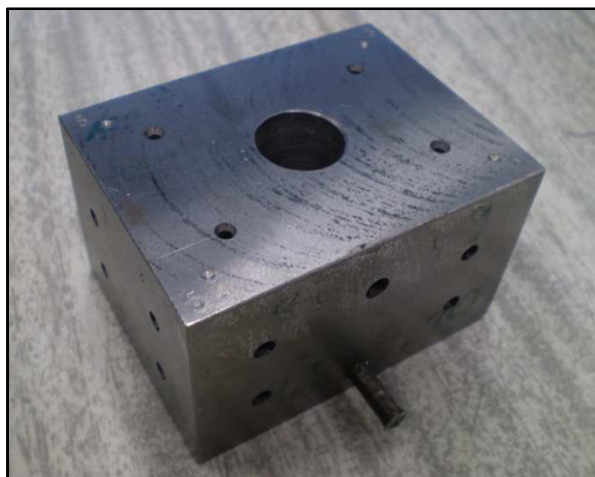
Nástrojem pro všechny experimenty byl šroubovitý vrták s válovou stopkou ČSN 22 1121 o průměru 10 mm z Rychlořezné oceli.



Obr. 14 Šroubovitý vrták.

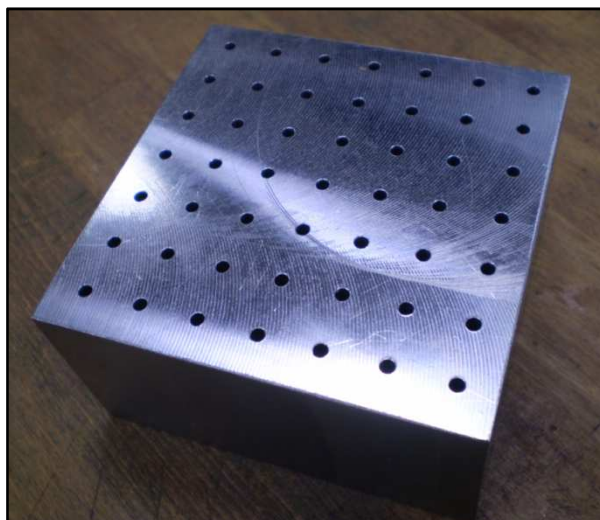
4.1.4 Zkušební vzorky

Zkušební vzorky byly vyrobeny z materiálu 12 050.1 dle ČSN EN 10020. Tento materiál je konstrukční nelegovaná ocel určená k zušlechťování a povrchovému kalení. Ocel 12 050.1 je vhodná především k výrobě větších ozubených kol, čepů a nejrůznějších šroubů.

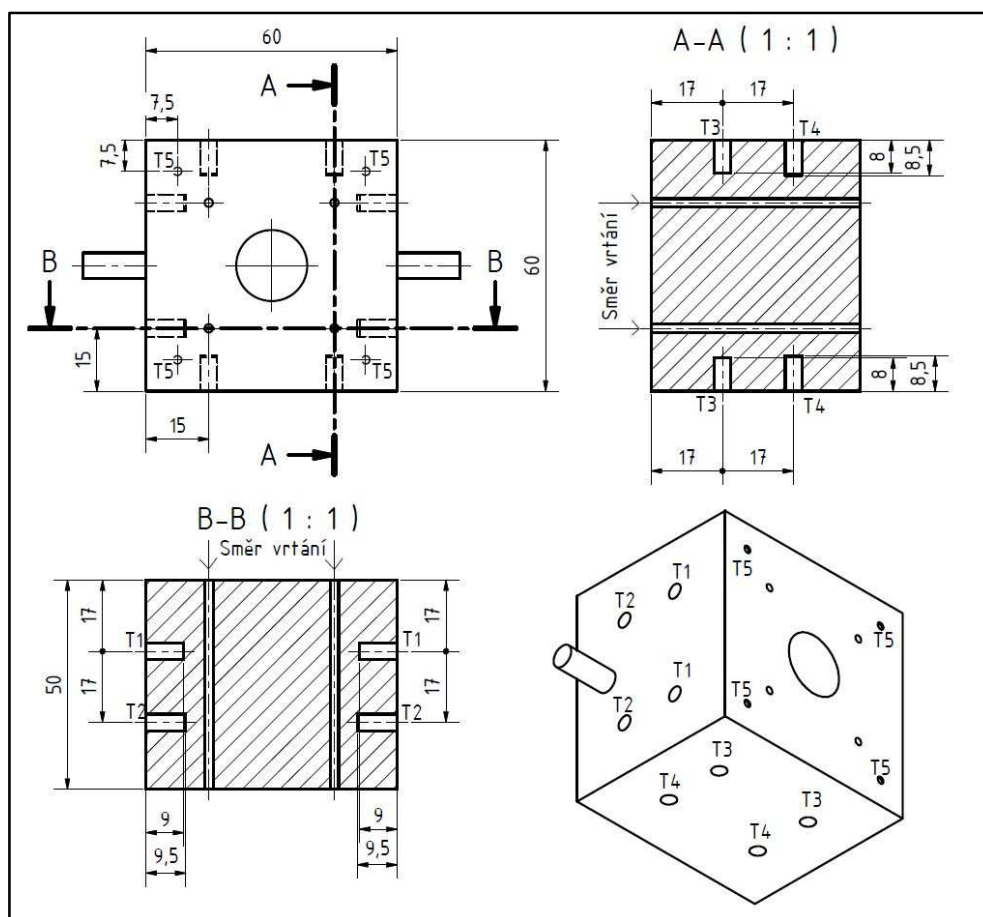


Obr. 15 Zkušební vzorek pro měření teploty obrobku, řezné síly a krouticího momentu.

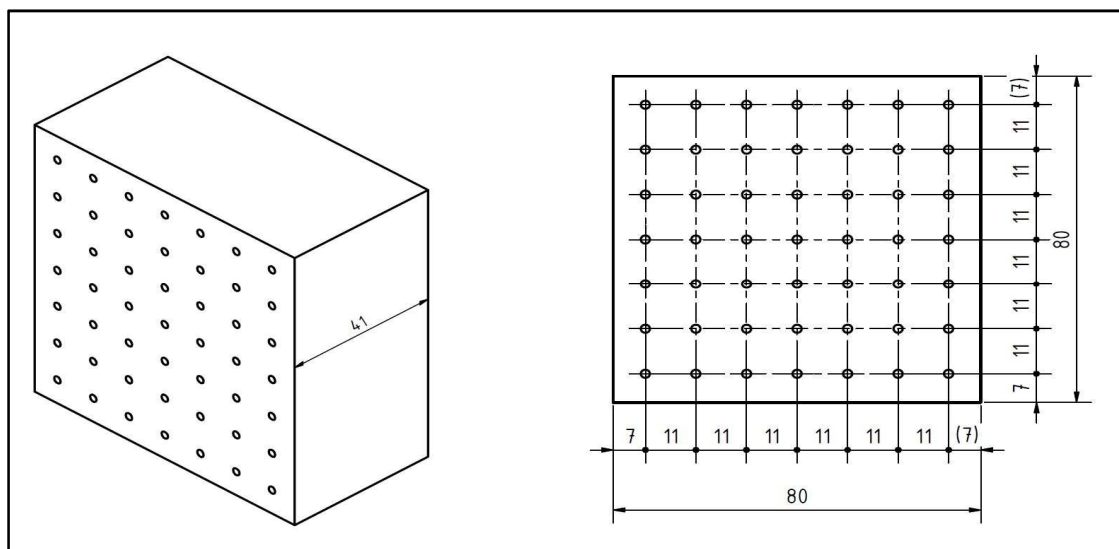
Celkově byly připraveny dva druhy vzorků. První (obr 15 a 17) pro měření teploty obrobku, řezné síly a krouticího momentu. Druhý (obr 16 a 18) pro měření opotřebení řezného nástroje.



Obr. 16 Vzorek pro měření opotřebení řezného nástroje.



Obr. 17 Výkres vzorku pro měření teploty, řezné síly a krouticího momentu.



Obr. 18 Výkres vzorku pro měření opotřebení rezného nástroje.

4.1.5 Procesní prostředí pro experimenty

Zkapalněný dusík je bezbarvá kapalina uchovávaná při teplotě -196 °C. Zkapalněný dusík je vhodný pro obrábění těžce obrobitelných materiálů. Při jeho použití dochází ke zlepšení materiálových vlastností (vyšší pevnost, houževnatost, tepelná vodivost). [21]

Procesní kapalina **HOCUT 795 B** je univerzální rozpustná kapalina na bázi minerálního oleje pro použití na všechny kovy s minimálními nároky na údržbu. Kapalinu tvoří 5% olejové složky a voda. Kapalina HOCUT 795 B poskytuje spolehlivé mazání a ochranu proti korozi s nízkou pěnovostí, prodlužuje životnost nástroje a zlepšuje povrch součástí. [32]

PARAMO EOPS 1030 je polosyntetická univerzální obráběcí kapalina skládající se z 5% z olejové složky a 95% vody. S vodou tvoří stabilní mikroemulzi s vyváženým chladícím a mazacím účinkem, s dobrou ochrannou schopností proti atmosférické korozi a nízkou pěnovostí. Procesní kapalina PARAMO EOPS 1030 je vhodná pro obrábění kovových i nekovových materiálů. [33]

4.1.6 Příprava procesního prostředí

Zkapalněný dusík byl dodáván firmou Linde v přepravních nádobách (obr. 19). K jeho přečerpání z nádoby byla použita aparatura na Obr. 15



Obr. 19. Dewarova nádoba na tekutý dusík

Obě procesní kapaliny byly namíchány s použitím ručního refraktometru RLC (obr16), který slouží k určení koncentrace vodou mísitelných procesních kapalin. Stupnice refraktometru je uveden ve stupních Brix, celková koncentrace všech rozpuštěných látek v procentech. Obvyklá koncentrace olejové emulze s vodou 0 – 7 %. [34]



Obr. 20. Refraktoměr.

4.2 Opotřebení břitu řezného nástroje

Během obrábění vzniká v řezné části nástroje velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu. Procesem utváření třísky se průběžně vytváří při vysokém tlaku a teplotě kovově čistý povrch, který má sklon k chemickým reakcím nebo k difúzním procesům. Většina obrobených materiálů obsahuje tvrdé částice různého druhu, které často dosahují tvrdosti materiálu břitu nástroje. Dochází tak k abrazivnímu efektu. Kombinací výše uvedených mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje. Toto se pak projevuje opotřebením nástroje.

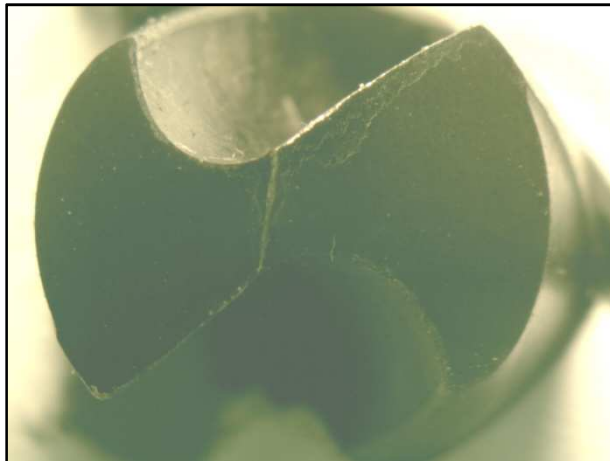
K základním mechanismům opotřebení patří zejména:

- abrazivní opotřebení - o brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obrobeného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje,
- adhezní opotřebení - vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů,
- difúzní opotřebení - migrace atomů z obrobeného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje,
- oxidační opotřebení - vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí,
- plastická deformace - důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase), která se může ve svém nejnepříznivějším důsledku projevit ve formě tzv. lavinového opotřebení,
- křehký lom - důsledek vysokého mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstků v obrobeném materiálu, atd..

Abraze a adheze jsou označovány jako fyzikální mechanismy opotřebení, difúze a oxidace jsou označovány jako chemické mechanismy opotřebení. Všechny působí v průběhu času plynule, s tím, že časový okamžik začátku jejich působení nemusí být vždy shodný. Plastická deformace a křehký lom jsou naproti tomu mechanismy, které působí náhle, v daném okamžiku a obvykle způsobí okamžité ukončení činnosti nástroje (náhlá změna tvaru břitu nástroje, lavinové opotřebení nebo ulomení špičky). Hřbet nástroje se opotřebovává především v důsledku abraze a oxidace, čelo v důsledku adheze, difúze, abraze a oxidace. Na skutečnost, zda se nástroj bude více opotřebovávat na hřbetě nebo na

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobených součástí

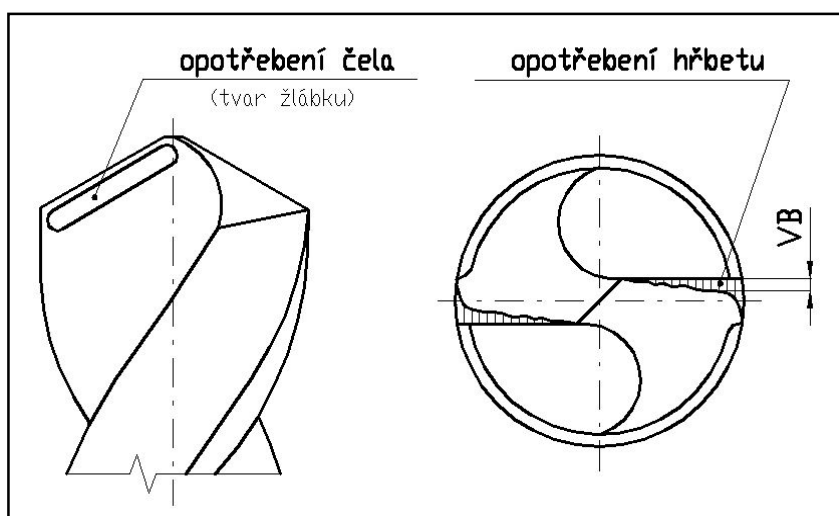
čele, mají výrazný vliv i další faktory, jako je např. geometrie nástroje, druh operace a v neposlední řadě i řezné podmínky (řezná rychlost, posuv, šířka záběru ostří, řezné prostředí). V podstatě lze proces obrábění sledovat tolika způsoby, kolik signálů o svém okamžitém stavu vysílá do svého okolí.



Obr. 21 Opotřebený vrták.

4.2.1 Kvalifikace opotřebení břitu

Opotřebení břitu je významným parametrem řezného procesu. Kvantifikuje se rozměrovými charakteristikami, které jsou vztažené k postupnému opotřebování břitu řezného nástroje. Na obr. je znázorněna aplikace těchto rozměrových charakteristik opotřebení na šroubovitém vrtáku. Při pohledu na břit přes lupu můžeme tedy posoudit, do jaké míry je opotřeben, a navrhnout tak odpovídající řezné podmínky a tím prodloužit trvanlivost nástroje.[4,6,22]



Obr. 22 Parametry opotřebení břitu šroubovitého vrtáku [23].

4.2.2 Popis měřicího zařízení pro měření opotřebení nástroje

K měření opotřebení byla použita nástrojová lupa Brinell. Zvětšení této lupy je 24x a stupnice je rozdělena po 0,05 mm. Hlavní výhodou této lupy je rychlost měření s uspokojivým výsledkem.



Obr. 23 Nástrojová lupa Brinell.

4.3 Teplota obrobku

Většina práce probíhající při procesu obrábění (mechanická práce vynaložená na přeměnu odřezávané vrstvy v třísku a zároveň odvedení třísky z místa řezu) se přeměňuje v teplo. [9] Teplo vzniká v malé oblasti a důsledkem jsou vysoké teploty, které mohou v závislosti na parametrech obrábění dosáhnout až 1200 °C.

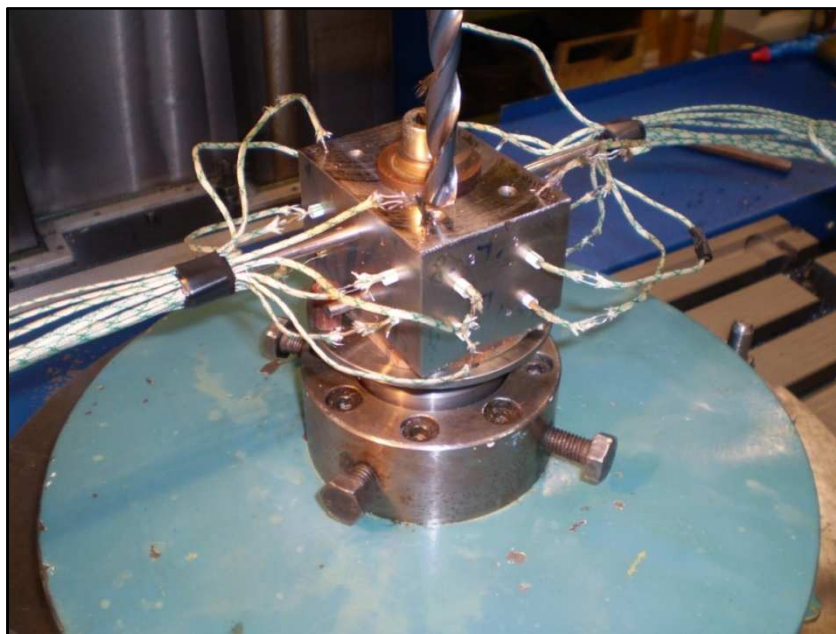
Teplota při procesu obrábění je jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících tento proces a má vliv na všechny další parametry. Závisí na ní možnosti a vhodnost použití různých řezných rychlostí, posuvů, hloubky řezu a také ovlivňuje trvanlivost nástroje. Je známo několik metod měření teploty v místě řezu. Jedná se o vznik termoelektrického napětí (termočlánky), změnu elektrického odporu se změnou teploty (termistory), změnu skupenství nebo barvy při dosažení určité teploty (teplotní indikátory). Dále se jedná o měření, při kterých se využívá tepelného záření (nebo části spektrálního rozsahu tepelného záření) vyzařovaného měřeným tělesem (pyrometry, termovize).

K měření teploty obrobku byly využity termočlánky. Při měření termočlánky se využívá tzv. termoelektrického jevu. Tento jev využívá vzniku termoelektrického napětí, v obvodu tvořeného dvěma různými vodiči, jejichž konce jsou vodivě spojeny, jestliže jsou oba spoje udržovány na různých teplotách. Při obrábění se ho využije tak, že měřicí spoj je umístěn do místa měření teploty a srovnávací spoj je udržován na známé teplotě (obvykle teplota okolí). K těmto vodičům je pak připojen milivoltmetr. Velikost vznikajícího

termoelektrického napětí však závisí nejen na rozdílu teplot, ale i na druhu materiálů obou vodičů, tvořících termočlánek. Pro praktická měření teploty lze využít jen některé dvojice kovů nebo slitin. Musí být sestaveny tak, aby vzniklé termoelektrické napětí bylo dostatečně velké v rozsahu předpokládaných teplot. Je vhodné kombinovat vodiče tak, aby tvořily pokud možno lineární charakteristiku, časovou stabilitu, odolnost proti korozi a chemickým vlivům. Při obrábění se k měření teplot a teplotních polí užívají nejen dva druhy vodičů, ale s výhodou i jako vodič materiál nástroje nebo obrobku. Podle provedení je lze rozdělit do těchto skupin: umělý, poloumělý, přirozený, termoduo.

4.3.1 Měření teploty pomocí termočláneků

Podstatou umělého termočlánek je přímé umístění termočlánek do místa řezu (měření teploty). S pomocí těchto dvou cizích vodičů lze měřit teplotu v různých místech nástroje i obrobku, vyjma stykových ploch bříty s třískou a plochou řezu. Nejčastěji se používá k měření teploty na bříty nástroje. Upravený a izolovaný termočlánek se vloží na dno otvoru v nástroji. Vlastní zabudování termočlánek do nástroje je poměrně složité a lze jen obtížně určit přesnou polohu umístění měřicího spoje termočlánek. Tato poloha zároveň mění i podmínky vedení tepla a často znehodnocuje obráběcí nástroj.



Obr. 24 Vzorek s připojenými termočlánek.

4.4 Řezná síla

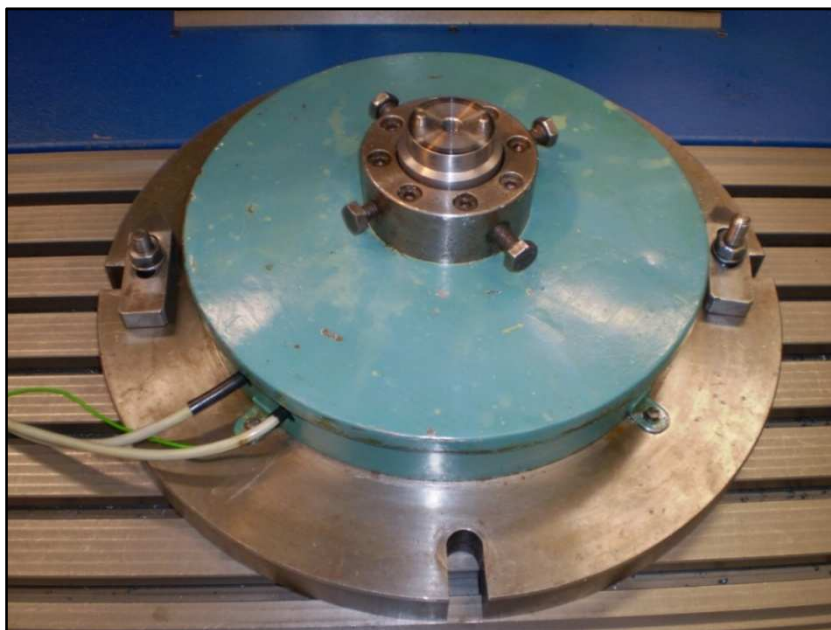
Přímé měření složek síly řezání a jejich točivých momentů se zakládá na měření deformací v soustavě stroj – nástroj – obrobek během obrábění prostřednictvím dynamometrů. Dynamometr jakožto měřicí přístroj musí zaručit nezávislost měřicí veličiny na provozních vlastnostech přístroje. Dále se od něj požaduje schopnost měřit sledovanou veličinu ve zvoleném rozsahu s maximální přesností, musí zaručit stálost naměřených hodnot s časem včetně její reprodukovatelnosti.

Piezoelektrické dynamometry využívají pro snímání deformace piezoelektrického jevu, který je charakterizován vznikem elektrického náboje na povrchu některých krystalů při mechanickém zatížení. Mezi nejužívanější piezoelektrické materiály patří především křemen, dále potom materiály na bázi titaničitanu barnatého, Seignettovy soli a podobně. Základem piezoelektrického snímače pro tyto druhy dynamometrů je měřicí destička vhodně vyříznutá z příslušného krystalu. Při zatěžování je velikost náboje přímo úměrná velikosti působící síly a s poklesem zatížení se lineárně snižuje, až zcela vymizí při zatížení nulovém.

4.4.1 Elektrický odporový dynamometr

Pro měření řezných sil při technologii vrtání byl použit elektrický odporový dynamometr (obr. 25), který využívá pro měření velikosti deformace změny odporu snímačů.

Přímé měření složek síly řezání a jejich točivých momentů se zakládá na měření deformací v soustavě stroj – nástroj – obrobek během obrábění. Dynamometr jakožto měřicí přístroj musí zaručit nezávislost měřicí veličiny na provozních vlastnostech přístroje. Dále se od něj požaduje schopnost měřit sledovanou veličinu ve zvoleném rozsahu s maximální přesností, musí zaručit stálost naměřených hodnot s časem včetně její reprodukovatelnosti.



Obr 25. Dynamometr.

4.5 Drsnost povrchu

Skutečný povrch součásti je vrstva, která ohraničuje součást a odděluje ji od okolí. Tato vrstva se liší od ideálního povrchu různými nerovnostmi. Drsností povrchu rozumíme část geometrických nerovností s poměrně malou vzdáleností sousedních nerovností. Tyto geometrické nerovnosti jsou způsobeny stopami nástrojů při třískovém obrábění a dalšími vlivy při zhotovování konečného tvaru povrchu součásti.

4.5.1 Popis měřicího zařízení pro měření drsnosti povrchu

Pro měření drsnosti povrchu byl použit Profiloměr Mitutoyo Surftest SV-2000N2. Přístroj pracuje na principu dotykové metody snímání povrchu a skládá se z mechanické a elektronické části. Mechanická část snímá pomocí hrotu nerovnosti povrchu a vertikální pohyb hrotu je v převodníku transformován na elektrický signál, který je zpracován buď do souřadnicového záznamu profilu povrchu. Zpracování naměřených dat je prováděno s využitím dodávaného softwaru „Surfpak“ v připojeném počítači. Tento software umožňuje vyhodnocení mnoha parametrů drsnosti podle norem ISO, DIN a JIS, zobrazení profilu v různém nastavení a vyjádření profilu pomocí zvoleného diagramu. Velkou výhodou tohoto softwaru je možnost exportu nasnímaných souřadnic bodů ve formátu *.csv, kdy je následně možné zpracovat údaje i jiným výpočetním programem.



Obr 26: Profiloměr Mitutoyo SurfTest SV-2000N2 a dotek s diamantovou kuželovou špičkou

Z velkého počtu parametrů drsnosti povrchu, které umožňuje software SurfPak vypočítat byly pro vyhodnocení naměřených hodnot prvních vzorků předběžně zvoleny následující parametry:

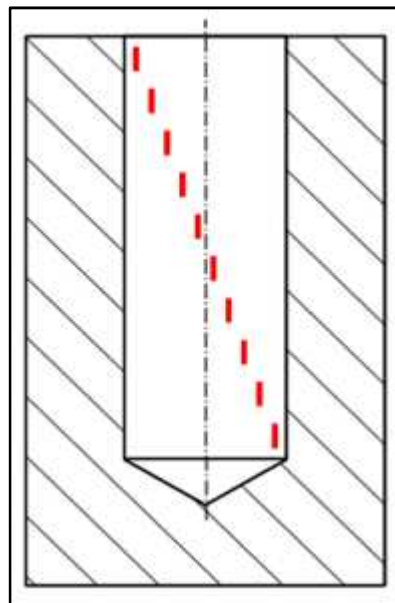
Tab. 2 Měřené parametry drsnosti

Parametr	Popis parametru
Ra	průměrná aritmetická úchylka profilu
Rz	největší výška profilu
Rt	celková výška profilu

Tab. 3 Technická specifikace profiloměru Mitutoyo SurfTest SV-2000N2:

Parametr	Hodnota
Maximální posuv	50 mm
Maximální zdvih	800 μm
Výškové přestavení	300 mm

Měření drsnosti povrchu proběhlo v místech podle obrázku. Snímač ujel po povrchu vzdálenost 4,8 mm, z každé strany bylo oříznuto 0,4 mm a vyhodnocení proběhlo na dráze 4 mm. Hodnoty jednotlivých parametrů se spočítaly pomocí ovládacího softwaru.



Obr. 27 Místa měření vzorku.

4.6 Rozměrová přesnost

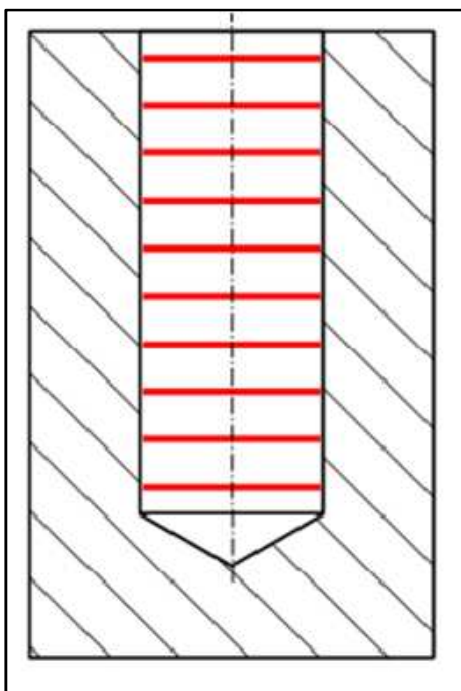
Skutečné plochy vyrobených součástí se liší od jmenovitých ploch svými rozměry, tvarem a vzájemnou polohou. To znamená, že nejsou vyrobeny s absolutní přesností. Protože výrobu součástí lze zajistit pouze s určitou přesností, je vhodné předepisovat dovolenou nepřesnost výše uvedených faktorů formou úchylek rozměrů, úchylek tvaru a polohy a úchylek drsnosti povrchu. Požadavek dodržení úchylek (dovolené nepřesnosti) se týká především funkčních ploch, tj. těch, které se stýkají s jinými a zajišťují správnou funkci součásti. Někdy je třeba dodržet s určitou přesností rozměry a tvar – rozměrová přesnost.

4.6.1 Digitální třídotekový dutinoměr

K měření rozměrové přesnosti byl použit digitální třídotekový dutinoměr.

Tab. 4 technická specifikace dutinoměru

Parametr	Hodnota
Rozsah	8–10 mm; 10–12 mm
Rozlišení	0,001 mm



Obr. 28 Místa pro měření průměru vrtané díry.



Obr. 29 Digitální třídotekový dutinoměr.

5 Měření

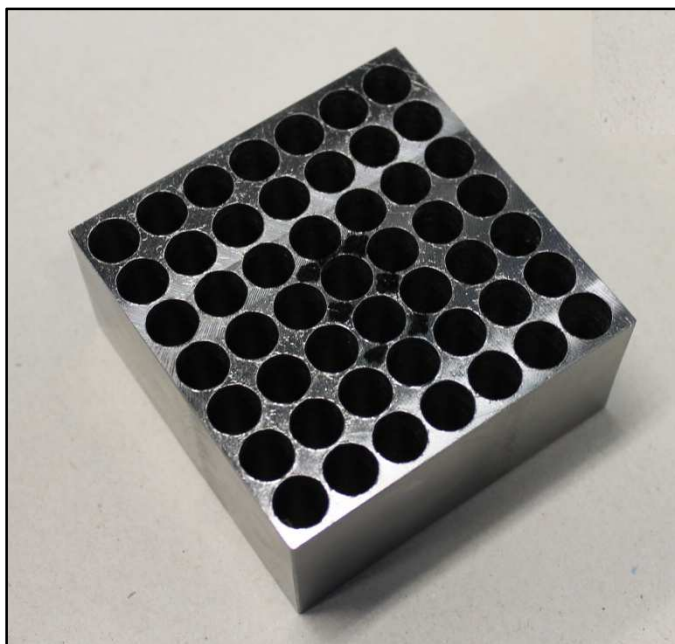
Experimenty byly provedeny v laboratoři Katedry obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci. Veškeré naměřené hodnoty byly graficky zpracovány v prostředí Microsoft Office Excel 2007. Tabulky naměřených hodnot jsou uvedeny v přílohách této diplomové práce.

Řezné podmínky pro všechny experimenty:

- otáčky n 1000 min^{-1} ,
- posuv f 250 $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

5.1 Měření opotřebení břitu řezného nástroje

Pro experiment byly připraveny vzorky (obr. 16) s předvrtanými otvory 2 mm, které sloužily ke správnému vedení nástroje a přívodu procesního média do místa řezu. Celkově bylo každým vrtákem vyvrtáno 49 děr o hloubce 41 mm. Pro každé procesní médium byly provedeny tři experimenty. Opotřebení nástroje bylo měřeno nástrojovou lupou Brinell.



Obr. 30 Vzorek po měření opotřebení břitu řezného nástroje.

První měření opotřebení řezného nástroje proběhlo po vyvrtání 7 děr, v celkové délce 287 mm. Každé další měření proběhlo po vyvrtání 6 děr o celkové délce 246 mm. Měření probíhalo až do dosažení kritéria opotřebení nebo vyvrtání 49 děr o celkové délce 2009 mm.

Opotřebení šroubovitého vrtáku bylo sledováno na dvou parametrech. Jedním bylo opotřebení hlavního ostří a druhým opotřebení vedlejšího hřbetu.

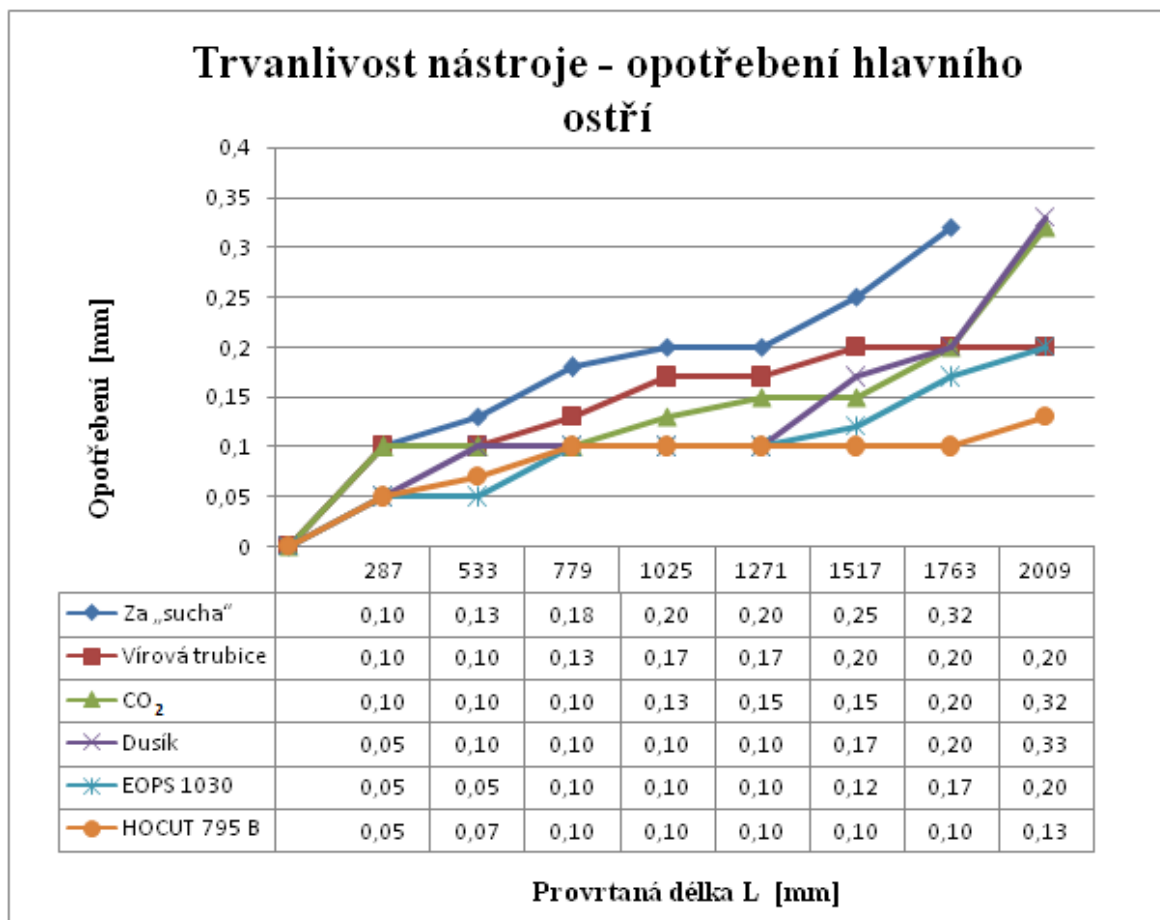
Kritéria opotřebení byla stanovena:

- opotřebení hlavního ostří O_{HO} 0,3 mm
- opotřebení vedlejšího hřbetu O_{VH} 3 mm

5.1.1 Opotřebení hlavního ostří

V grafu číslo 3 jsou uvedeny střední hodnoty opotřebení hlavního ostří v závislosti na vrtané délce. Je patrné, že nejhorších výsledků bylo dosaženo při obrábění bez použití procesního média za „sucha“, kdy bylo dosaženo kritéria opotřebení už po vyvrtání 42 děr o celkové délce 1763 mm. Dále bylo kritérium opotřebení dosaženo při obrábění s použitím CO₂ a dusíku. A to po vyvrtání 49 otvorů v celkové délce 2009 mm. Při použití Vírové trubice a obou procesních kapalin nebylo kritérium opotřebení dosaženo.

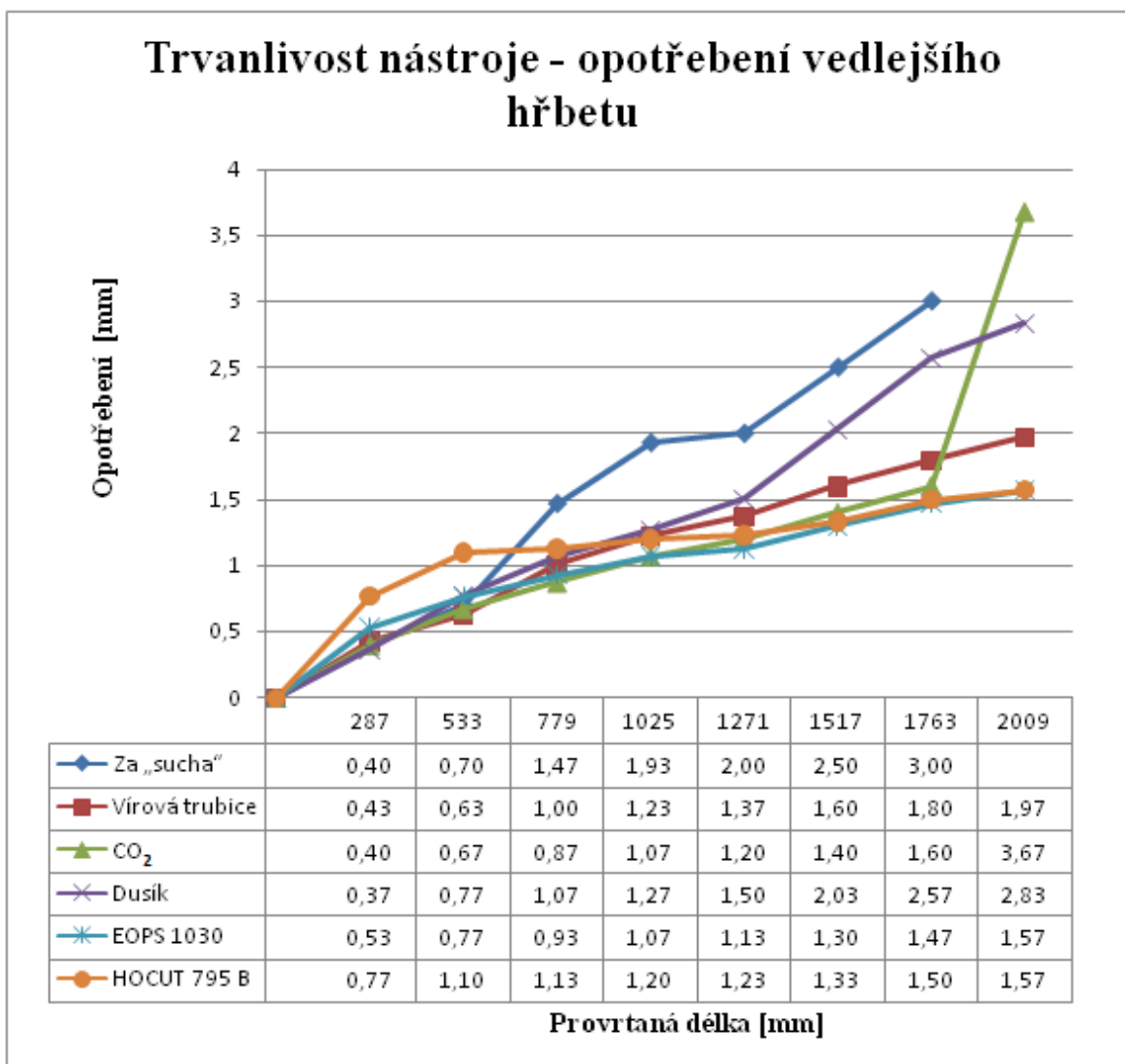
Graf 1 Trvanlivost nástroje opotřebení hlavního ostří.



5.1.2 Opotřebení vedlejšího hřbetu

Nejdříve bylo kritérium opotřebení dosaženo při obrábění za „sucha“, a to již při obrobení 42 děr o celkové délce 1763 mm. Při použití CO₂ bylo kritérium opotřebení dosaženo po vyvrtání 49 děr o délce 2009 mm. Při vrtání s použitím ostatních médií nebylo kritéria opotřebení dosaženo. Při vrtání s použitím dusíku bylo kritéria téměř dosaženo. Následovalo vrtání s použitím vírové trubice, nejlepších výsledků bylo shodně dosaženo při použití procesních kapalin.

Graf 2 Trvanlivost nástroje opotřebení vedlejšího hřbetu.



5.1.3 Shrnutí naměřených výsledků opotřebení břitu řezného nástroje

Forma opotřebení břitu nástroje byla u všech vrtáků téměř shodná, jednalo o abrazivní opotřebení. Nejmenší míru opotřebení vykazoval řezný nástroj při použití procesní kapaliny HOCUT 795 B. Následovala procesní kapalina EOPS 1030. Opotřebení nástroje při obrábění s použitím vírové trubice dosáhlo středních hodnot. Největší míru opotřebení vykazovaly nástroje po obrábění za „sucha“.

Při použití dusíku a CO_2 dosáhly hodnoty opotřebení téměř vždy kritéria opotřebení. V porovnání s procesními kapalinami byly při použití procesních plynů dosaženy až dvojnásobné hodnoty opotřebení. Z hlediska opotřebení řezného nástroje lze jednoznačně doporučit pro technologii vrtání použití procesních kapalin.



Obr. 31 Zkouška opotřebení břitu řezného nástroje, vrtání s využitím procesní kapaliny.



Obr. 32 Opotřebený vrták.

5.2 Měření teploty obrobku

Na záznamu z měření teploty (graf 3) můžeme vidět průběh teplot v čase u pěti termočlánků. Každý termočlánek byl umístěn v jiné vzdálenosti od místa řezu (obr. 17 příprava vzorků). Nejblíže místu řezu byly termočlánky T1 a T2, nejdále byl termočlánek T5, který byl umístěn na horní ploše obrobku (viz obrázek č. kapitola příprava vzorků).

Tab. 5 Maximální hodnoty teplot jednotlivých termočlánků

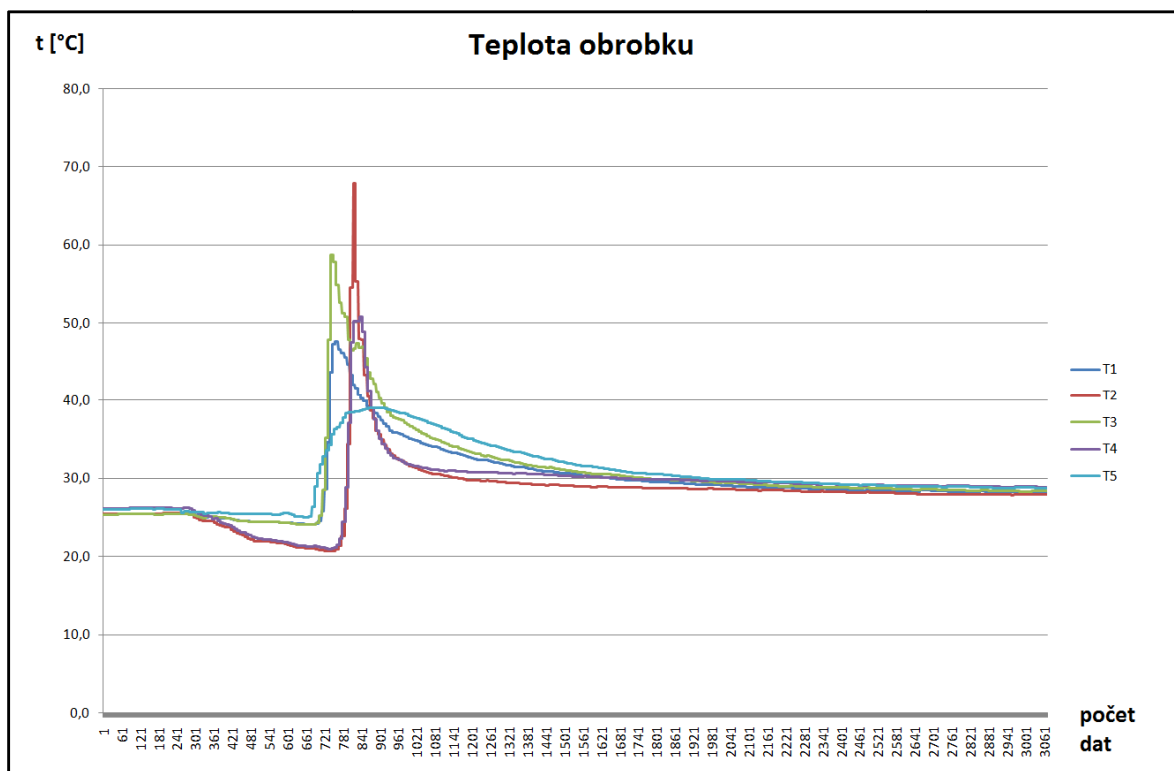
procesní médium	teplota [°C]	termočlánek				
		T1	T2	T3	T4	T5
Za „sucha“	T_{\max}	46,4	44,5	44,6	55,4	46
Vírová trubice	T_{\max}	55,6	54,7	48	41,4	45,8
CO₂	T_{\max}	51,9	44	41,5	42	37,1
Dusík	T_{\max}	43,6	46,2	41,8	44,9	35,7
EOPS 1030	T_{\max}	44,4	45,3	40,5	42,1	43,4
HOCUT 795 B	T_{\max}	41,0	41,2	43,9	41,8	48,0

V tabulce jsou zapsány průměrné maximální naměřené hodnoty pro jednotlivá procesní média. Naměřené hodnoty jsou absolutní, počáteční teplota byla 24°C. Nejvyšší průměrná teplota 55,6 °C byla zaznamenána na termočlánek T1 který byl vzdálen 1 mm od vrtané díry při použití vírové trubice. Tuto skutečnost vysvětlujeme tím, že chlazen byl střed díry a vrtáku. Chladicí efekt podchlazeného vzduchu není tak velký, aby mohl být znatelný i na krajích vrtané díry, kde byly umístěny termočlánky.

Naopak nejnižší teplota 35,7 °C byla zaznamenána na termočlánek T5, který byl umístěn na povrchu obrobku a nejdále vzdálen od místa řezu. Tato nejnižší teplota by naměřena při vrtání s použitím dusíku.

V grafu je vidět výstup z měření teploty obrobku při vrtání s použitím dusíku. Nejdříve se v grafu objevuje lineární část, kdy je snímána teplota okolí. V okamžiku kdy byl do předvrtané díry v obrobku zaveden dusík, je na grafu patrné ochlazení termočlánků. Následuje samotné vrtání, při kterém jednotlivé termočlánky dosáhnou maximální teploty závislé na vzdálenosti termočlánku od místa řezu. Dále můžeme v grafu vidět postupné chladnutí obrobku.

Graf 3 Průběh teploty obrobku



5.2.1 Shrnutí naměřených výsledků teploty obrobku

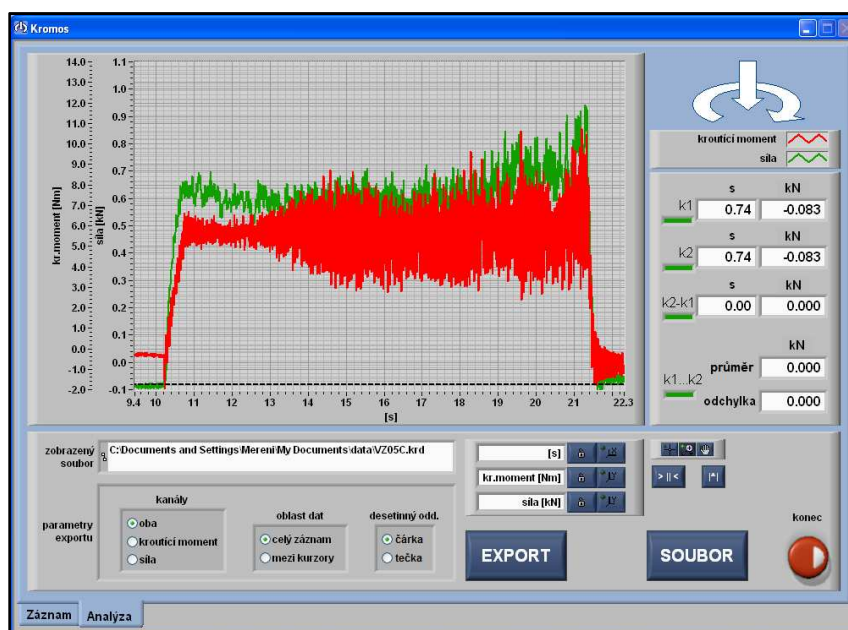
Nejvyšší průměrná teplota byla naměřena při použití vírové trubice. Nejnižší průměrná teplota byla naměřena při použití procesní kapaliny HOCUT 795 B.

Celkově mělo v porovnání s obráběním za „sucha“ největší chladicí účinek použití dusíku. Následovaly procesní kapaliny EOPS 1030 a HOCUT 795 B, z nichž nepatrně větší účinek měla procesní kapalina EOPS 1030. Stále ještě výrazný chladicí účinek na teplotu obrobku mělo použití CO₂.

U vzorků vrtaných s použitím vírové trubice byly naměřeny některé průměrné hodnoty vyšší, než při obrábění za „sucha“. Je možné, že vírová trubice nemá tak velký koeficient chlazení, aby se tato hodnota projevila ve výsledném hodnocení.

5.3 Měření velikosti řezné síly a krouticího momentu

K měření řezné síly a krouticího momentu byl použit elektrický odporový dynamometr. Měření proběhlo při vrtání děr o délce 40 mm. Pro záznam měření byl použit program Kromos.



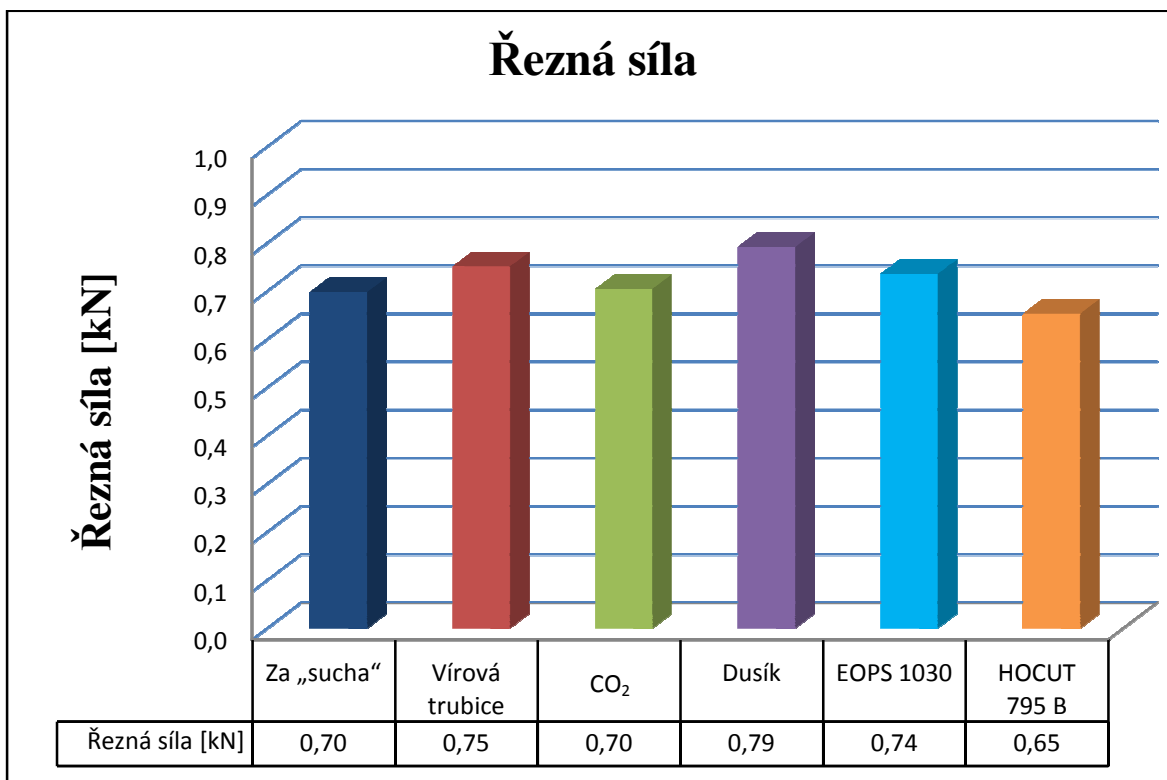
Obr. 33 Záznam z měření řezné síly a krouticího momentu v programu Kromos.

Na obrázku X je vidět ukázka grafického výstupu z měření řezné síly. Zelenou barvou je znázorněna velikost řezné síly, červenou barvou je znázorněna velikost krouticího momentu. Zvětšující se rozptýl hodnot je následkem rozkmitání soustavy stroj-nástroj-obrobek.

5.3.1 Měření velikosti řezné síly

Na grafu č. 4 jsou znázorněny průměrné řezné síly působící v ose vrtáku za použití šesti různých procesních prostředí.

Graf 4 Velikost řezné síly.



V grafu X je vidět, že nejmenší řezná síla byla naměřena při použití procesní kapaliny HOCUT 795 B. Druhá nejmenší průměrná hodnota byla shodně naměřena při obrábění za „sucha“ a při použití CO₂.

Další v pořadí je řezná síla naměřená při vrtání s použitím procesní kapaliny EOPS 1030, s minimálním rozestupem následuje vrtání s použitím vírové trubice.

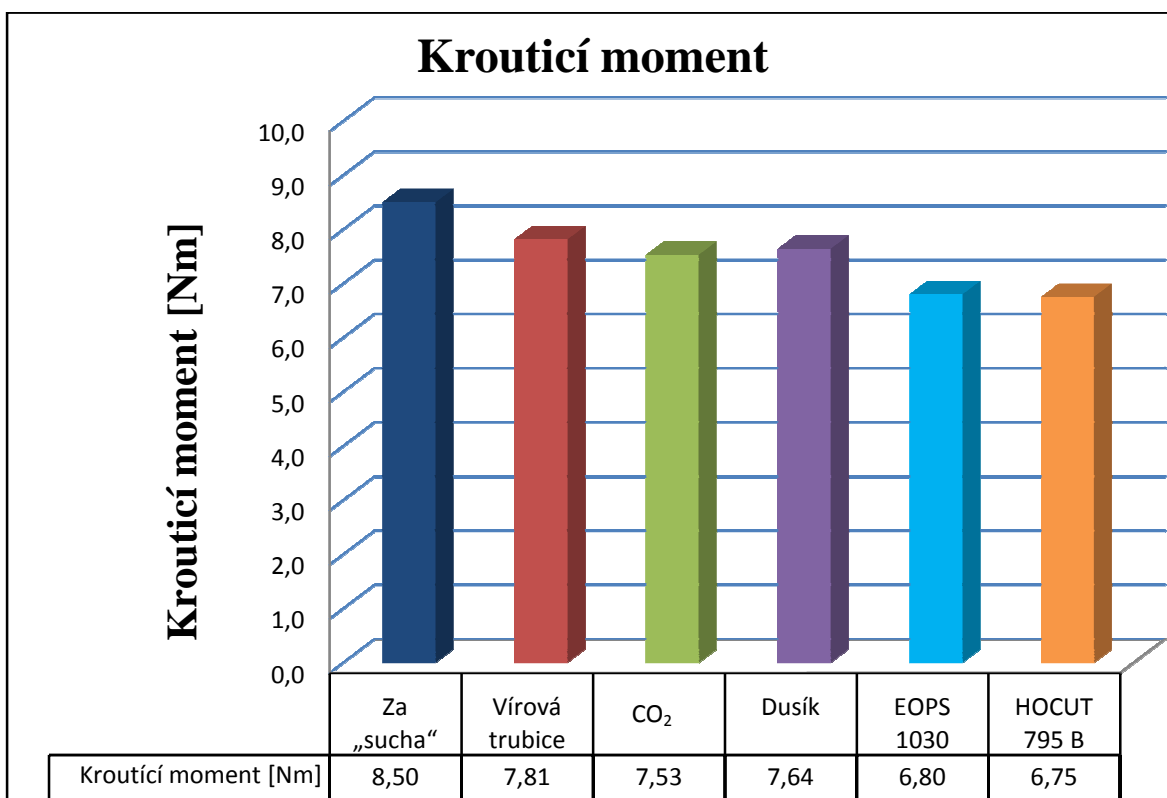
Z hodnot v grafu je zřejmé, že největší řezná síla byla naměřena při použití zkapalněného dusíku. Ochlazení místa řezu dusíkem nemělo pozitivní efekt a zvětšilo řeznou sílu v porovnání s obráběním za „sucha“ o 110 N.

5.3.2 Měření krouticího momentu

Z naměřených hodnot, které jsou zobrazeny v grafu č. 5 je zřejmé, že nejmenší krouticí moment byl naměřen při použití procesní kapaliny HOCUT 795 B. Druhý nejmenší průměrný krouticí moment byl naměřen při použití procesní kapaliny EOPS 1030. Třetí největší krouticí moment byl zaznamenán při použití dusíku. Dále následovalo obrábění s použitím vírové trubice, CO₂ a obrábění za „sucha“.

Rozdíl mezi největším krouticím momentem při obrábění za „sucha“ a nejmenším při použití procesní kapaliny HOCUT 795 B byl 1,75 Nm, tj. 20,6 %.

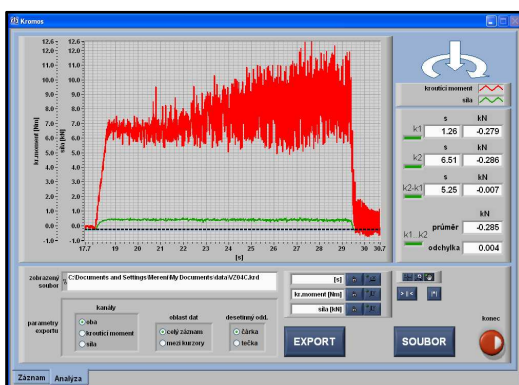
Graf 5 Velikost krouticího momentu.



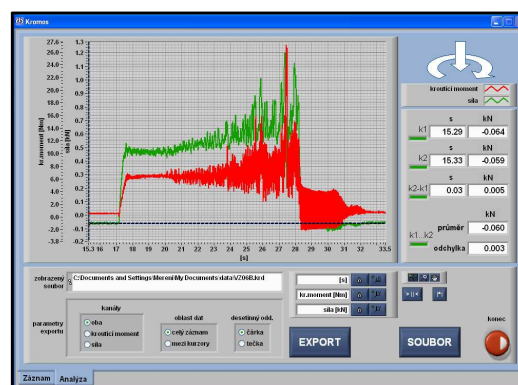
5.3.3 Shrnutí měření velikosti řezné síly a kroučícího momentu

V porovnání s obráběním za „sucha“ měla největší pozitivní efekt na velikost řezné síly i kroučícího momentu procesní kapalina HOCUT 795 B. Kromě zmíněné procesní kapaliny HOCUT 795 B měla ostatní procesní média na velikost řezné síly v porovnání s obráběním za „sucha“ žádný nebo negativní efekt. Na velikost kroučícího momentu měla v porovnání s obráběním za „sucha“ všechna procesní média pozitivní vliv.

Procesní plyny měly v případě měření řezné síly spíše negativní vliv, na velikost kroučícího momentu byl vliv procesních plynů naopak pozitivní.



Obr. 34 Záznam z měření řezné síly a kroučícího momentu při vrtání s využitím dusíku.

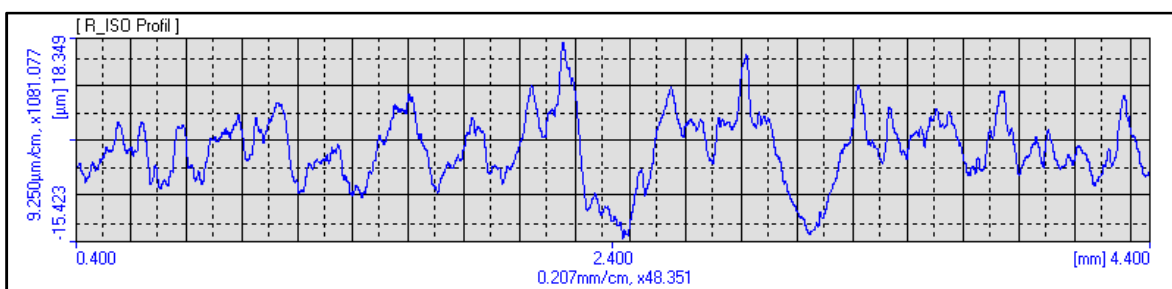


Obr. 35 Záznam z měření řezné síly a kroučícího momentu při vrtání s využitím procesní kapaliny HOCUT 795 B.

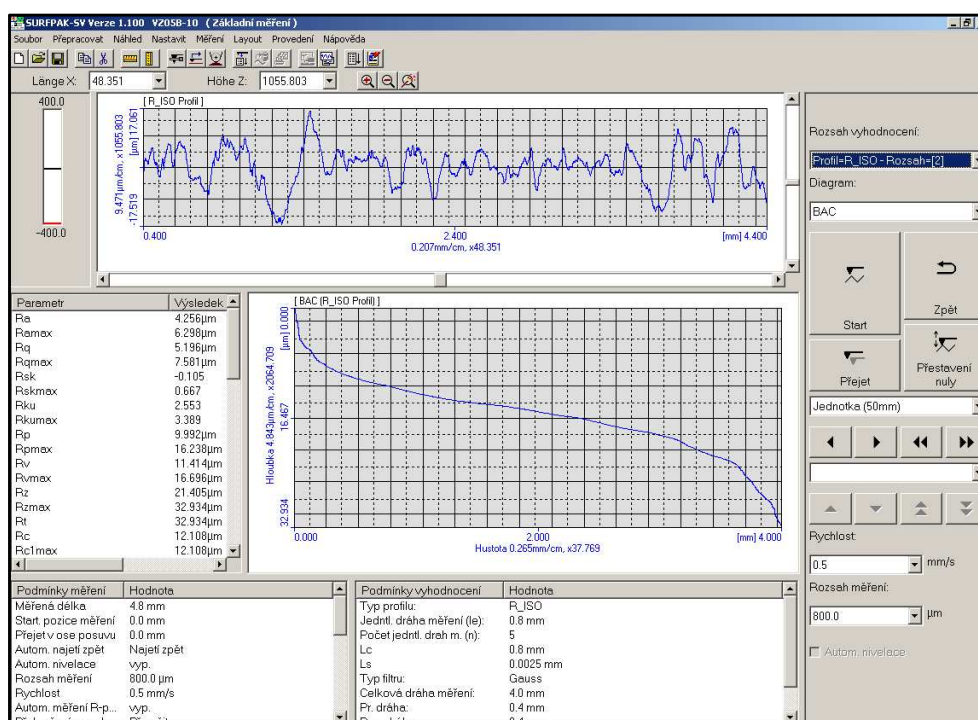
Při porovnání záznamů z měření řezné síly a kroučícího momentu při vrtání s využitím dusíku a procesní kapaliny HOCUT 795 B, můžeme vidět velký rozdíl v průběhu záznamů. Při vrtání s využitím dusíku je vidět velký rozptyl naměřených hodnot kroučícího momentu hned od začátku obrábění. Na obr je vidět vrtání s využitím procesní kapaliny HOCUT 795 B, kde na začátku obrábění je proběh kroučícího momentu konstantní a až s postupující hloubkou vrtání dochází k rozptylu hodnot.

5.4 Měření drsnosti povrchu

Parametry drsnosti povrchu po vrtání byly měřeny na vzorcích použitých pro zkoušku opotřebení řezného břitů. Grafy číslo X ukazují průměrné výsledky měřených parametrů drsnosti. Měření proběhla na všech třech obrobkách vzniklých při zkoušce opotřebení řezného břitů pro dané procesní médium. A to tak, že parametry drsnosti povrchu byly měřeny vždy na dvacáté páté díře z celkově čtyřiceti devíti děr. Pro získání dalších hodnot proběhla dvě měření na díře dvacet čtyři a dvacet šest. Pro získání co nejpřesnějších údajů byla každá z děr měřena desetkrát na deseti různých místech.



Obr. 36 Profil nasnímaného povrchu.

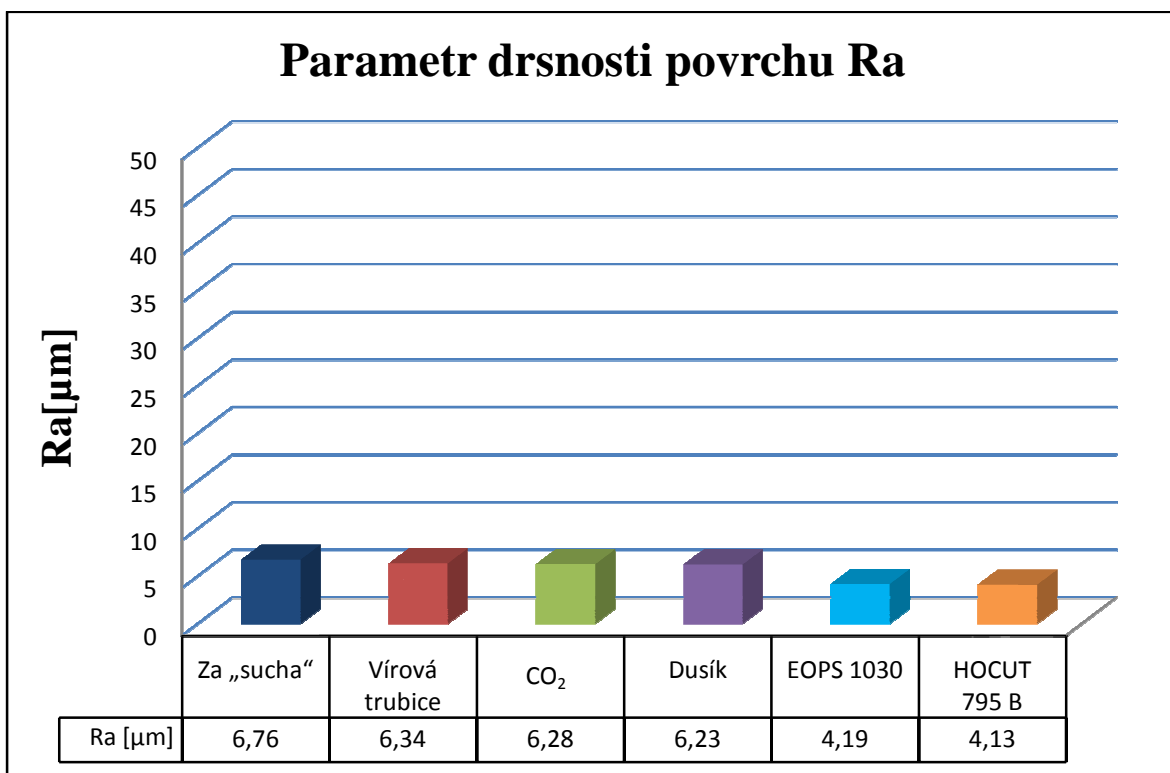


Obr. 37 Záznam měření drsnosti v programu SURFPAK.

5.4.1 Parametr drsnosti povrchu Ra

Na grafu č. 6 jsou vidět parametry drsnosti povrchu Ra, které znázorňují průměrnou aritmetickou výšku posuzovaného profilu povrchu po vrtání s použitím jednotlivých procesních médií

Graf 6 Parametr drsnosti povrchu Ra.



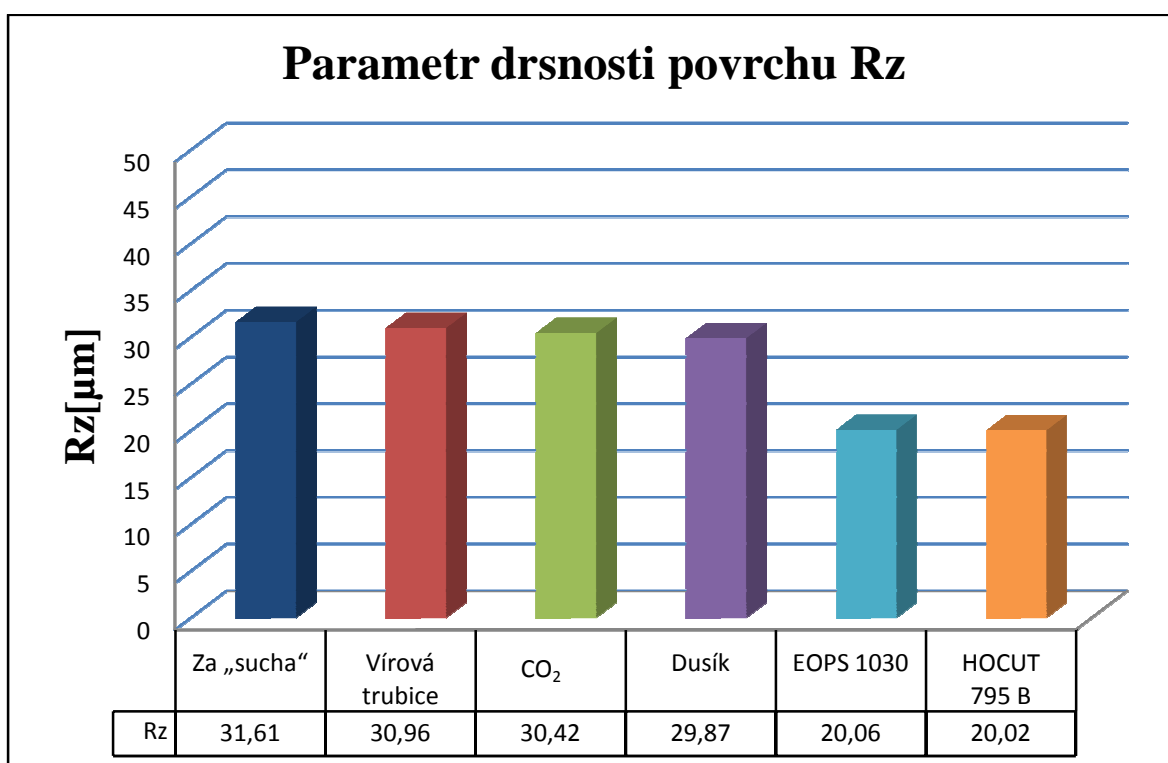
Největší drsnost povrchu byla změřena po vrtání bez použití procesního média. Druhá největší drsnost povrchu byla naměřena na vzorcích vrtaných při použití vírové trubice. Při použití procesních plynů CO₂ a dusíku byly naměřeny velice podobné parametry drsnosti povrchu Ra. Rozdíl byl pouze 0,05 μm. Použití dusíku zmenšilo parametr drsnosti povrchu Ra o 0,52 μm, tj. o 7,8 %.

Nejlepší drsnosti povrchu bylo dosaženo při použití procesních kapalin EOPS 1030 a HOCUT 795 B. Mezi oběma kapalinami byl opět jen velice malý rozdíl 0,06 μm. Procesní kapaliny HOCUT 795 B zlepšila drsnost povrchu o 2,63 μm, tj. o 38,9 %.

5.4.2 Parametr drsnosti povrchu Rz

Parametr drsnosti povrchu Rz ukazuje největší výšku posuzovaného profilu, který je při tomto měření rozdělen na 5 shodných dílů, přičemž zaznamenaná hodnota je nejvyšší naměřená.

Graf 7 Parametr drsnosti povrchu Rz.

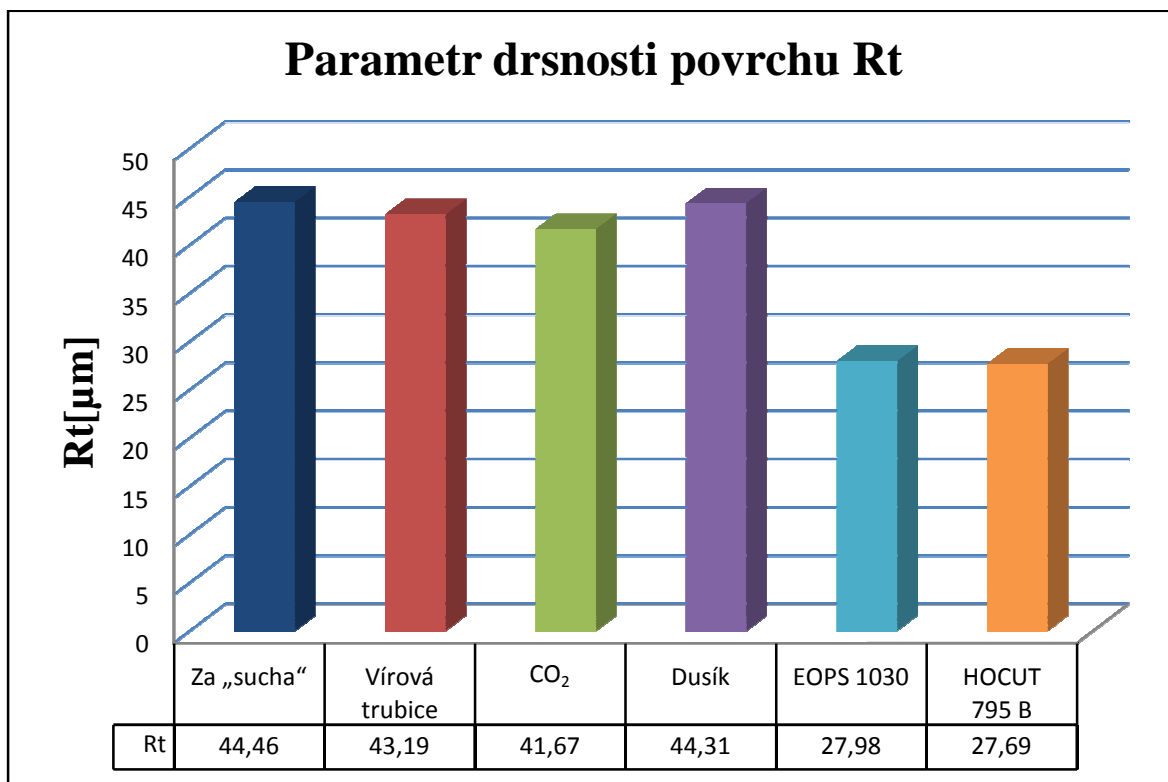


Největší výška profilu byla zaznamenána u vzorků obráběných za „sucha“ bez použití procesních médií. Pouze o 0,65 μm menší hodnota byla naměřena u vzorků obrobků s použitím vírové trubice. Menší hodnoty byly naměřeny u povrchu děr obrobků s použitím CO₂ a dusíku. Nejmenší ukazatel drsnosti povrchu Rz byl naměřen u vzorků, které byly obráběny s pomocí procesních kapalin.

5.4.3 Parametr drsnosti povrchu Rt

Graf č. 8 znázorňuje hodnoty parametru drsnosti povrchu Rt, který značí celkovou výšku posuzovaného profilu.

Graf 8 Parametr drsnosti povrchu Rt.



Největší parametr drsnosti povrchu Rt byl naměřen opět při obrábění za „sucha“. Druhá nejvyšší hodnota byla naměřena na vzorku, při jehož obrábění bylo jako procesního média použito dusíku. Následovaly vzorky, při jejichž obrábění bylo využito vírové trubice a CO₂. Nejmenší hodnoty parametru drsnosti povrchu Rt byly opět naměřeny na vzorcích, pro které bylo jako procesních médií použito kapalin EOPS 1030 a HOCUT 795 B.

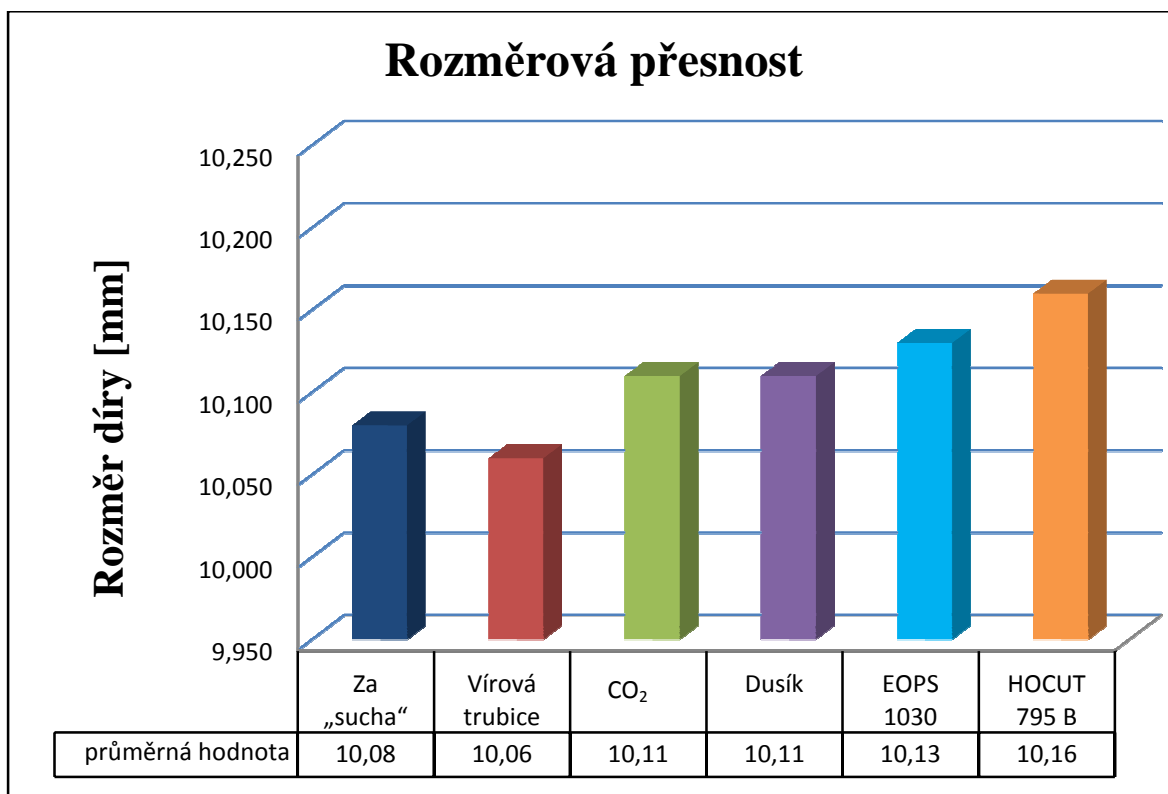
5.4.4 Shrnutí naměřených výsledků drsnosti povrchu

Nejhorší parametry drsnosti povrchu vždy vykazoval povrch po obrábění za „sucha“. Drsnost povrchu po obrobení s použitím vírové trubice byla lepší než při obrábění za „sucha“. U procesních plynů CO₂ a dusíku jsme také zaznamenali zlepšení drsnosti povrchu, ale ne výrazné jako u procesních kapalin. Nejlepší drsnost povrchu byla naměřena na vzorcích, při jejichž obrábění byly použity procesní kapaliny. Toto zlepšení je způsobeno obsahem oleje v procesních kapalinách, který výrazně napomáhá mazání procesu řezání, a tím zlepšuje jakost povrchu.

5.5 Měření rozměrové přesnosti

Rozměrová přesnost byla měřena na stejných otvorech, na kterých byla měřena drsnost povrchu. V Grafu číslo 9 jsou znázorněny průměrné naměřené hodnoty.

Graf 9 Rozměrová přesnost.



Nejlepší rozměrová přesnost byla naměřena na vzorcích po obrábění s pomocí Vírové trubice, jako druhý následovaly vzorky po obrábění za „sucha“. Oba výsledné rozměry jsou v třídě tolerance 10H11. Na vzorcích obroběných s pomocí procesních plynů CO₂ a dusíku byl shodně zaznamenán výsledný rozměr 10,11 mm. Tento rozměr řadí vzorky do třídy tolerance 10H12, což značí horší rozměrovou přesnost než u vzorků předcházejících.

V pořadí předposlední, byly vzorky, u kterých bylo použito procesní kapaliny EOPS 1030, rozměr byl taktéž v třídě tolerance 10H12. Nejhorší rozměrová přesnost byla naměřena na vzorcích, u kterých bylo použito procesní kapaliny HOCUT 795 B. Výsledný rozměr dosáhl až třídy přesnosti 10H13.

5.5.1 Shrnutí výsledků měření rozměrové přesnosti

Kromě podchlazeného vzduchu bylo u všech ostatních procesních médií zaznamenáno zhoršení rozměrové přesnosti. Toto zhoršení se pohybovalo v rozmezí 38 až 100%, což představuje 0,3 až 0,8 mm.

Vrtání není dokončovací operací, proto není na rozměrovou přesnost kladen takový důraz jako u jiných technologií. Díry po vrtání jsou následně obráběny vyhrubováním a vystružováním, případně sloučí pro výrobu závitů.

6 Ekonomické vyhodnocení účinnosti procesních médií

Nedílnou součástí posuzování vhodnosti jednotlivých procesních médií pro využití v průmyslu, je nejenom hledisko strojní, ale i hledisko ekonomické. Každá změna nebo nákup nového technologie musí být pro podnik ekonomicky výhodná.

6.1 Fixní náklady pro jednotlivá procesní prostředí

Fixní náklady jsou takové náklady, které se změnou objemu výroby nemění. Podnik je musí vynaložit při každém (i nulovém) objemu výroby.

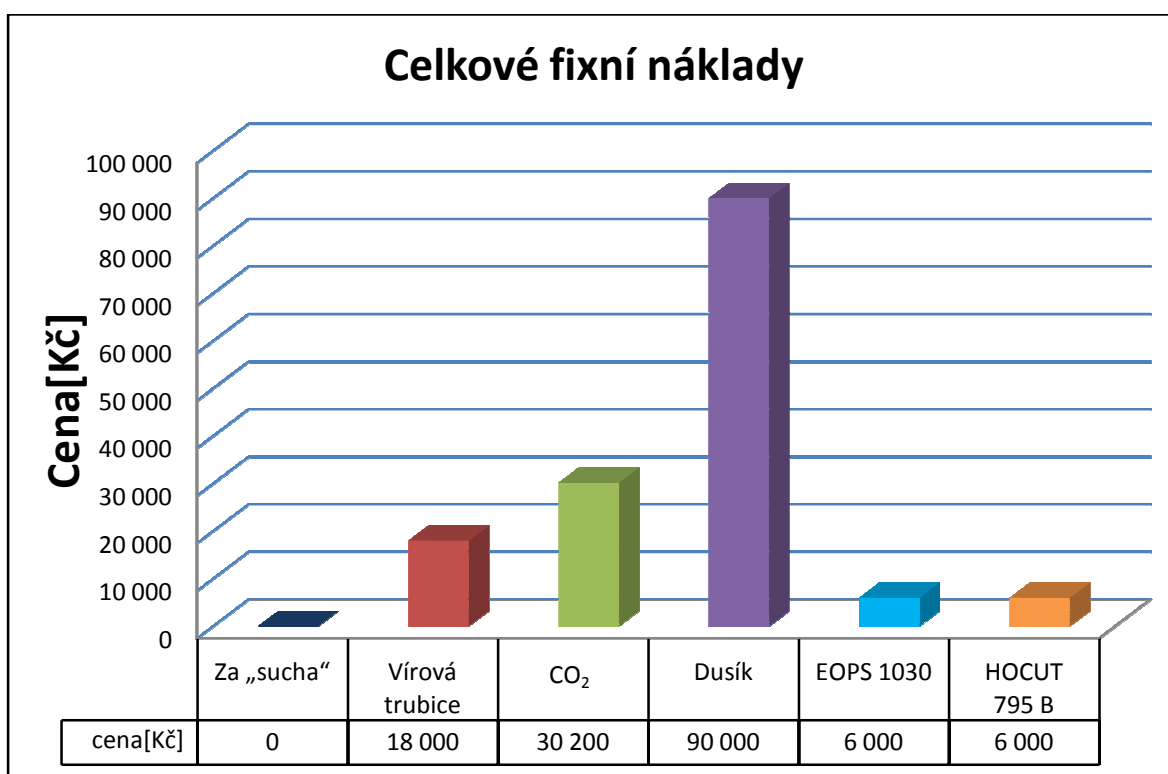
Tabulka 6 celkové fixní náklady

Procesní prostředí	Příslušenství	Cena [Kč]
Za „sucha“	U tohoto procesního prostředí nejsou fixní náklady	
Vírová trubice	Vírová trubice	11000
	Kompresor	6000
	Příslušenství (hadice, držáky)	1000
	Celkové fixní náklady V.T.	18000
CO ₂	Řídící aparatura, škrtkový ventil	19000
	Tlaková nádoba	5200
	Příslušenství (hadice, držáky)	1000
	Celkové fixní náklady CO₂	25200
Zkapalněný dusík	Řídící jednotka, přečerpávací zařízení	39000
	Přepravní nádoba	25000
	Příslušenství (hadice, držáky)	1000
	Celkové fixní náklady zkapalněný dusík	65000
EOPS 1030	Externí čerpadlo	5000
	Příslušenství (hadice, držáky)	1000
	Celkové fixní náklady na EOPS 1030	6000
HOCUT 795 B	Externí čerpadlo	5000
	Příslušenství (hadice, držáky)	1000
	Celkové fixní náklady na HOCUT 795 B	6000

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobených součástí

Pro CO₂ volíme 2 tlakové lahve a pro dusík 2 Dewarovy nádoby, protože předpokládáme, že vždy jedna láhev či nádoba bude u dodavatele procesního plynu na doplnění a druhá láhev bude připravená k použití.

Graf 10 Celkové fixní náklady.



Nejvyšší fixní náklady jsou při obrábění, kde se jako procesní médium používá tekutý dusík. Jsou zapříčiněny vysokou pořizovací cenou přečerpávacího zařízení, řídicí jednotky a přepravní nádoby.

Na celkových fixních nákladech na CO₂ má podobně jako v předcházejícím případě největší podíl řídicí jednotka a přepravní, v tomto případě tlaková nádoba. Ve fixních nákladech na obrábění s pomocí vírové trubice jsou největšími položkami pořízení samotné vírové trubice a kompresoru, který ji pohání.

Nízké fixní náklady jsou při použití procesních kapalin. Nejdražší položkou v nákladech je pořízení externího čerpadla.

6.2 Celkové roční náklady pro jednotlivá procesní prostředí

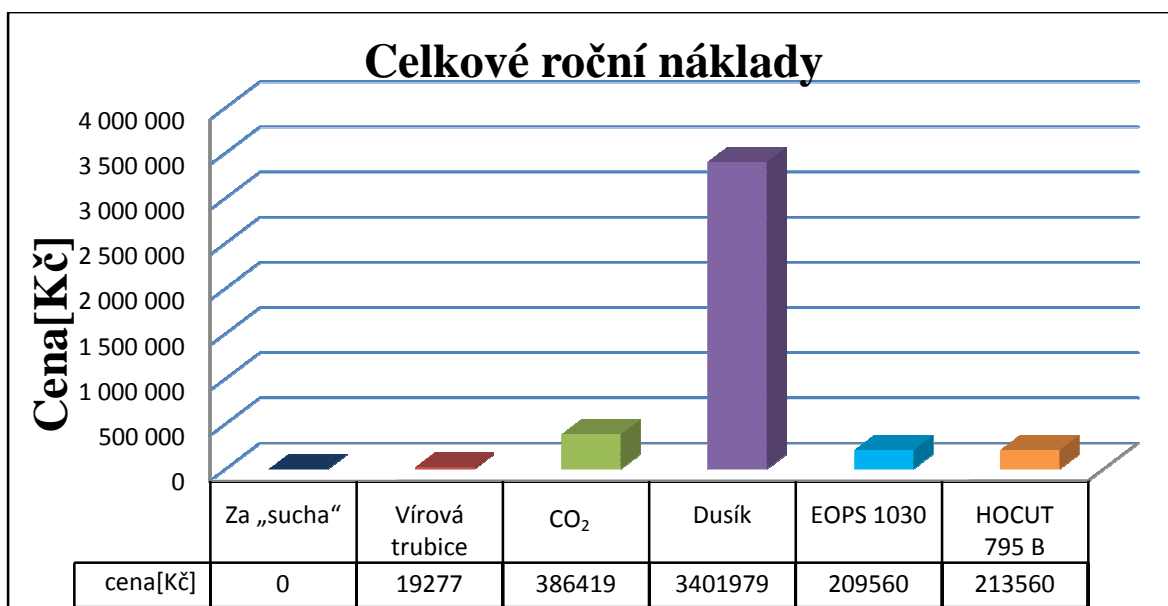
Celkové roční náklady byly stanoveny za těchto podmínek:

- rok 2015 má 251 pracovních dnů a 2008 pracovních hodin (8. hod. směna),
- celková roční obrobená délka je stanovena z experimentu na 30120m,
- průtočné množství $\text{CO}_2 = 2,20 \text{ g/s}$,
- spotřeba CO_2 za rok je 15,80 T = 795 doplnění lahve za rok,
- doplnění láhve CO_2 20kg = 480 Kč,
- průtočné množství dusíku = 6,47 g/s,
- spotřeba zkapalněného dusíku za rok je 46,8 T = 1807 doplnění nádoby za rok,
- doplnění Dewarovy nádoby 32 litrů = 1880 Kč,
- průtočné množství procesní kapaliny = 0,27 l/s,
- do 1 m³ vody je potřeba 50 litrů procesní kapaliny,
- množství koncentráту procesní kapaliny na 1 výměnu = 250 litrů,
- počet výměn procesní kapaliny stanoven na 4 výměny za rok,
- ekologická likvidace procesní kapaliny – 50 litrů = 10000 Kč,
- elektřina – cena 1 kWh = 4,80 Kč,
- vodné a stočné – cena za 1 m³ = 96 Kč.

Tab. 7 Celkové roční náklady.

Procesní prostředí	Roční spotřeba	Cena [Kč]
Za „sucha“	U tohoto procesního prostředí nejsou roční náklady na provoz	
Vírová trubice	Elektřina 2 kWh x 2008 prac. hodin	19277
	Celkové roční náklady V.T.	19277
CO ₂	Doplnění 20 kg láhve CO ₂ 795 x za rok	381600
	Elektřina 500 W x 2008 prac. hodin	4819
	Celkové roční náklady CO₂	386419
Zkapalněný dusík	Doplnění 32 litrů nádoby na dusík 1807 x rok	3397160
	Elektřina 500 W x 2008 prac. hodin	4819
	Celkové roční náklady zkapalněný dusík	3401979
EOPS 1030	EOPS kanistr 10 litrů x 5l	8500
	Voda 950 litrů za rok	96
	Ekolog. likvidace 1 m ³ použité procesní kapaliny	200000
	Elektřina 100 W x 2008 prac. hodin	964
	Celkové roční náklady na EOPS 1030	209560
HOCUT 795 B	HOCUT kanistr 10 litrů x 5l	12500
	Voda 950 litrů za rok	96
	Ekolog. likvidace 1 m ³ použité procesní kapaliny	200000
	Elektřina 100 W x 2008 prac. hodin	964
	Celkové roční náklady na HOCUT 795 B	213560

Graf 11 Celkové roční náklady pro jednotlivá procesní prostředí.



Celkové roční náklady jsou největší při obrábění s použitím dusíku. Na této ceně se největší částí podílí složitý proces zkapalňování dusíku. Druhé nejvyšší jsou náklady na obrábění s použitím kapalného CO₂, na ceně se opět největší měrou podílí složitý proces zkapalňování plynu.

Mnohem nižší jsou náklady na obrábění s procesními kapalinami. Tady je největší položkou v nákladech ekologická likvidace použité procesní kapaliny.

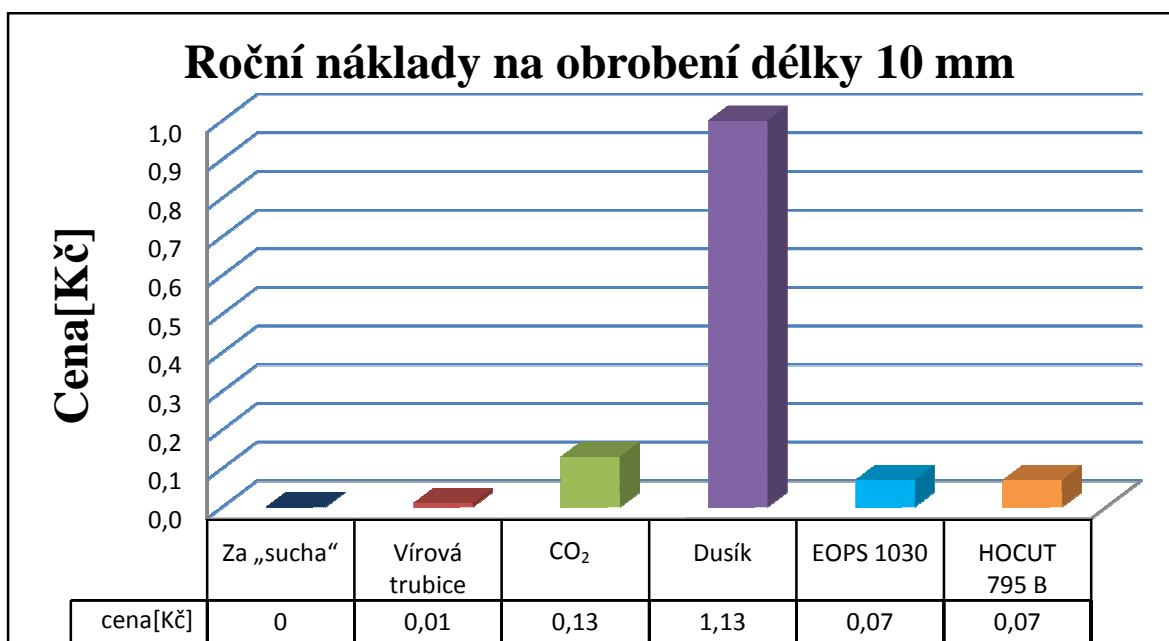
Při obrábění s použitím vírové trubice jsou náklady velice malé, při obrábění bez procesního media jsou náklady nulové.

Roční náklady na obrábění 10 mm pro jednotlivá procesní prostředí

Tab. 8 Roční náklady.

Procesní prostředí	Roční náklady [Kč]	Roční náklady na obrábění 10 mm délky [Kč]
Za sucha	Bez nákladů	
Vírová trubice	19277	0,01
CO ₂	386419	0,13
Dusík	3401979	1,13
HOCUT 795B	213560	0,07
EOPS 1030	209560	0,07

Graf 12 Roční náklady obrábění délky 10 mm.



Pro lepší názornost uvádíme náklady na obrábění délky 10 mm. Největší náklady byly při obrábění s použitím zkapalněného dusíku. Tyto náklady jsou desetkrát vyšší, než náklady při obrábění se zkapalněným oxidem uhličitým a šestnáctkrát vyšší než při obrábění s procesními kapalinami. Velice malé byly náklady na obrábění s použitím vírové trubice. Nulové náklady byly při obrábění za „sucha“.

7 Diskuze výsledků

Tato diplomová práce řeší problematiku účinku procesních plynů na technologii vrtání a kvalitu obrobených součástí. Zda jsou procesní plyny schopny ovlivnit proces vrtání, bylo zkoušeno na pěti různých experimentech. Byly provedeny experimenty, které zjišťovali míru opotřebení řezného nástroje, teplotu obrobku, velikost řezné síly a krouticího momentu, na vyvrtaných děrách pak byla měřena drsnost povrchu a rozměrová přesnost. Tyto všechny experimenty byly provedeny se šesti procesními médii. Byly to, okolní vzduch, podchlazený vzduch, zkapalněný oxid uhličitý, zkapalněný dusík a procesní kapaliny EOPS 1030 a HOCUT 795 B.

Měření opotřebení řezného nástroje bylo sledováno na vrtané délce 2009, nebo do dosažení kritéria opotřebení, které bylo stanoveno 0,3 mm pro opotřebení hlavního ostří a 3 mm pro opotřebení vedlejšího hřbetu. Nejdříve bylo kritických hodnot opotřebení dosaženo u obrábění za „sucha“. Při obrábění s využitím CO₂ bylo také dosaženo kritického opotřebení, ale až na maximální vrtané délce. Následuje obrábění s využitím dusíku, kde bylo dosaženo kritéria opotřebení pouze na hlavním ostří. Při obrábění s využitím vírové trubice a procesních kapalin nebylo kritéria opotřebení dosaženo, ani při vyvrtání maximální délky. Nejmenší opotřebení břitu řezného nástroje bylo zaznamenáno u obrábění s použitím procesní kapaliny HOCUT 795 B.

Nejnižší průměrná teplota obrobku byla naměřena při obrábění s využitím dusíku, a to na termočlátku, který byl umístěn na povrchu obrobku. Nejvyšší průměrná teplota byla naměřena na termočlátku, který byl vzdálen 1 mm od vrtané díry při vrtání s použitím vírové trubice. Celkově měl nejvyšší chladicí účinek dusík následovaný procesními kapalinami EOPS 1030 a HOCUT 795 B. Také ještě velice dobrý chladicí účinek prokázal zkapalněný CO₂. Při použití vírové trubice však byly ve srovnání s obráběním za „sucha“ naměřené teploty vyšší.

Řezná síla se pohybovala mezi 790, až 650 N. Nejvyšší hodnota byla naměřena při vrtání s využitím dusíku, nejmenší potom při vrtání s využitím procesní kapaliny HOCUT 795 B. Při vrtání za „sucha“ byla naměřena řezná síla 700 N. Pouze při vrtání s využitím procesní kapaliny HOCUT byla naměřena menší řezná síla. Při vrtání s využitím CO₂ byla naměřena stejná řezná síla 700N, u ostatní procesních médií byla naměřená řezná síla větší. Velikost krouticího momentu byla největší při vrtání za „sucha“ a to 8,5 Nm. Nejmenší krouticí moment byl naměřen při použití procesní kapaliny HOCUT 795 B a to 6,75 Nm.

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobeneých součástí

Pouze nepatrně vyšší byl krouticí moment při vrtání s využitím procesní kapaliny EOPS 1030. Hodnoty krouticího momentu při vrtání s využitím procesních plynů a vírové trubice se pohybovaly uprostřed intervalu naměřených hodnot.

Drsnost povrchu byla hodnocena parametry Ra, Rz a Rt. Největší hodnoty všech tří parametrů byly naměřeny na povrchu obrobeneém za „sucha“. Nejlepší hodnoty všech třech parametrů drsnosti povrchu byly naměřeny na povrchu obrobeneém s využitím procesní kapaliny HOCUT 795 B. Procesní kapalina HOCUT 795 B zmenšila parametr drsnosti povrchu Ra v porovnání s obráběním za „sucha“ z 6,76 μm na 4,13 μm , tj. o 39 %. Z procesních plynů zlepšil drsnost povrchu nejvíce zkapalněný dusík, a to o 7,8 %. Všechna procesní prostředí drsnost povrchu zlepšila, procesní plyny však ne o mnoho.

Měření rozměrové přesnosti ukázalo, že všechna procesní média kromě obrábění s vírovou trubicí rozměrovou přesnost zhoršila. Vrtání není dokončovací operací, a proto není na rozměrovou přesnost kladen takový důraz jako u jiných technologií. Díry po vrtání jsou následně obráběny vyhrubováním a vystružováním, případně sloučí pro výrobu závitů.

Nulové náklady byly při obrábění za „sucha“. V nákladech na procesní plyny se projevuje především jejich náročná výroba, aplikace a přeprava. Je ale třeba brát v úvahu, že s uvedením do průmyslové velkoobjemové výroby by tyto náklady klesly. Použití procesních kapalin je již vyzkoušené, optimalizované a tudíž méně finančně náročné. Nevýhodou procesních kapalin je nutnost jejich ekologické likvidace.

8 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo porovnávání účinku procesních médií na technologii vrtání a kvalitu obrobeného povrchu.

Celkově bylo porovnáváno šest procesních prostředí při stejných řezných podmínkách a materiálu z šesti různých hledisek.

Procesní prostředí:

- bez procesního média, za „sucha“,
- podchlazený vzduch z vírové trubice,
- zkapalněný CO₂,
- zkapalněný Dusík
- procesní kapalina EOPS 1030,
- procesní kapalina HOCUT 795 B.

Hlediska hodnocení:

- opotřebení břitu řezného nástroje,
- teplota obrobku,
- řezná síla a krouticí moment,
- drsnost obrobeného povrchu,
- rozměrová přesnost vyvrtaných otvorů,
- náklady.

Účinek procesních plynů a kapalin na technologii vrtání a kvalitu obrobených součástí

Pro obrábění s přístupem okolního vzduchu za „sucha“, můžeme učinit následující závěry:

- vysoké opotřebení nástroje,
- nízká kvalita povrchu,
- nulové náklady na procesní prostředí.

Pro obrábění s využitím podchlazeného vzduchu můžeme učinit následující závěry:

- nejvyšší naměřená teplota obrobku,
- nejlepší rozměrová přesnost vyvrtaných otvorů,
- velmi malé náklady.

Pro obrábění s využitím zkapalněného CO₂ můžeme učinit následující závěry:

- malé zlepšení drsnosti povrchu,
- malé snížení krouticího momentu,
- vysoké náklady.

Pro obrábění s využitím zkapalněného dusíku můžeme učinit následující závěry:

- největší chladicí účinek,
- malé zlepšení drsnosti povrchu,
- malé snížení krouticího momentu,
- vysoké náklady.

Pro obrábění s využitím procesní kapaliny EOPS 1030 můžeme učinit následující závěry:

- malé opotřebení řezného nástroje,
- dobrá drsnost povrchu,
- snížení velikosti krouticího momentu.

Pro obrábění s využitím procesní kapaliny HOCUT 795 B můžeme učinit následující závěry:

- nejmenší opotřebení řezného nástroje,
- nejmenší krouticí moment,
- nejmenší drsnost povrchu.

Zdroje

- [1] DRÁB V. a kolektiv, *Technologie 1*, podklad pro výuku předmětu Technologie 3 – obrábění. Dostupné na: http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_skr.pdf.
- [2] HUMÁR A., *Technologie 1 Technologie obrábění – 1. Část*. Dostupné na: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf.
- [3] HUMÁR A., *Technologie 1 Technologie obrábění – 2. Část*. Dostupné na: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf.
- [4] VENZARA, Pavel. *Návrh podmínek obrábění pro vrtání geopolymerů*. Liberec, 2011. Diplomová práce. TU Liberec. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
- [5] ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3 - 1. díl - Metody, stroje a nástroje na obrábění*. 1. vyd. Praha: Pedagogické nakladatelství Scientia, spol. s.r.o., 2000. 256s. ISBN 80-7183-207-3.
- [6] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- [7] REŽNÝ T., *Nástroje pro vrtání*, Bakalářská práce ,Brno 2008, Vysoké učení technické v Brně, Vedoucí práce doc. Ing. Anton Humár, CSc. Dostupné na: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=4895.
- [8] PROTECO, výrobce náradí, Dostupné na: <http://www.proteco-naradi.cz/>
- [9] JERSÁK, J. *Základní konvenční technologie obrábění* (podklad pro výuku předmětu TECHNOLOGIE III - OBRÁBĚNÍ). [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, katedra obrábění a montáže, [cit. 2015-02-20]. Dostupné na: <http://www.kom.tul.cz/download.php>
- [10] BENZINOL. *Rezné kapaliny a ich použitie při obrábaní kovov.* – vyd. Bratislava: Svépomoc Praha, 1990. 71s. ISBN 80-85168-12-X.
- [11] BUMBÁLEK, B., OŠTÁDAL, B., ŠAFR, E. *Řezné kapaliny*. 1. vyd. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1963. 136 s.

- [12] JIRKA, M., *STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE 2* Vysoká škola Zemědělská v Praze 1983.
- [13] LOLEK, Jan. *Procesní kapaliny používané na CNC strojích*, Bakalářská práce, Brno 2012, Vysoké učení technické v Brně, Vedoucí práce Ing Milan Kalivoda.
- [14] STŘELCOVÁ, Radka. *Řezné kapaliny a jejich uplatnění v moderní výrobě*, Bakalářská práce, Brno 2008, Vysoké učení technické v Brně, Vedoucí práce prof. Ing. Bohumil Bumbálek, CSc.
- [15] KOČMAN. K., *Speciální technologie Obrábění*, Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, 2004. 227 s. ISBN 80-214-2562-8
- [16] BENEŠ, Petr. *Chladicí a mazací schopnost procesních kapalin při obrábění* Diplomová práce. Liberec: TU v Liberci, 2009. 78 s. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
- [17] DOBEŠ, P. Současné trendy v oblasti kapalin pro obrábění. MM spektrum [online]. 2007/5 [cit. 2015-03-11]. Dostupné na <
<http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasne-trendy-v-oblasti-kapalin-pro-obrabeni.html> >.
- [18] MM SPECTRUM, Obrábění za sucha – ano, či ne? MM spektrum [online]. 2001/11 [cit. 2015-03-11]. Dostupné na <
<http://www.mmspektrum.com/clanek/ucinek-rezneho-prostredi-na-trvanlivost-britu.html> >.
- [19] TECHNICKÁ UNIVERZITA, Liberec. Aplikovaný multioborový výzkum a vývoj progresivních způsobů chlazení u technologických procesů: Etapa 1 – "Výzkum chlazení u technologických procesů". [online]. 2013, s. 36 [cit. 2015-03-01].
- [20] TOS VARNSDORF a. s.: Vzpomínky 76 - Historie obrábění 3, [cit. 2015-03-11]. Dostupné na : <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/ospolecnosti/historie/vzpominky/clanky/vzpominky-76-historie-obrabeni-3.html>
- [21] KROUPA, A. Kryogenní technologie chlazení reaktorů a vymrazování VOC pro chemii a farmacii. Chemagazin [cit. 2015-03-15]. Dostupné na: <
http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/chxix_3_cl6.pdf >

- [22] NESLUŠAN, M., TUREK, S., BRYCHTA, J., aj. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. 1. vyd. Žilina: Žilinská univerzita, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8
- [23] ZETEK, M. *Vliv otěruvzdorných vrstev na žezivost nástrojů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. [cit. 2015-03-8]. Dostupné na: http://www.benjamin.ic.cz/vp_zetek.pdf.
- [24] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praxe*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting-A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [25] KOREJS, Michal. *Účinek procesních plynů na technologii frézování a kvalitu obrobených součástí*. Liberec 2014, TU v Liberci, Vedoucí práce Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D..
- [26] ČEP, R., PETRŮ, J. *Experimentální metody v obrábění – učební texty*. 1. vydání. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011. 143 s. ISBN 978-80-248-2533-5. [cit. 2015-03-9]. Dostupné na: http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Experimentalni_metody_%20v_obrabeni.pdf
- [27] BUMBÁLEK, B., ODVODY, V., OŠTÁDAL, B. *Drsnost povrchu* Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1989. 340 s.
- [28] BUKÁČEK, Zdeněk. *Technologie obrábění tvrdých materiálů nástroji s definovanou geometrií břitu*, Diplomová práce, Brno 2009, Vysoké učení technické v Brně, Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc..
- [29] GAZDA, Jaromír. *Teorie obrábění: řezné síly při obrábění*. Vyd. 1. Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1993, 123 s. ISBN 80-708-3110-3.
- [30] DOLANSKÝ, Pavel. *Návrh optimálních řezných podmínek pro technologii frézování hořčíkových slitin ve firmě EXPLAT, spol. s.r.o.*, Bakalářská práce, Liberec 2012, TU v Liberci, Vedoucí práce Ing. Štěpánka Dvořáčková, Ph.D..

- [31] ŠMEJKAL, Martin. *Rozklad řezných sil na břitu šroubovitého vrtáku*, Bakalářská práce, Plzeň 2012, Západočeská univerzita v Plzni, Vedoucí práce Ing. Josef Sklenička.
- [32] HOCUT 795 B. [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné na: www.houghtonintl.com/si-si/.../Hocut-795-B.aspx
- [33] PARAMO - Mogul. [online], [cit. 2015-03-16]. Dostupné na: <https://eshop.paramo.cz/produkty/KatalogovyList.aspx?kodproduktu=V032467>
- [34] STRYAL, Jaroslav. *Vliv procesního média na vlastnosti frézovaného obrobku*. Liberec, 2010. Bakalářská práce. TU Liberec. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Přílohy:

- 1) CD