

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Návrh technologie vrtání hlubokých otvorů
Proposal of the Technology Drill of Deep Holes

Student:

Bc. Zuzana Michnová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zuzana Michnová**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh technologie vrtání hlubokých otvorů**
Proposal of the Technology Drill of Deep Holes

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky hlubokého vrtání.
2. Návrh technologie hlubokého vrtání.
3. Návrh a realizace experimentální činnosti.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěrečné zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [3] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [4] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábaní*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [5] SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.

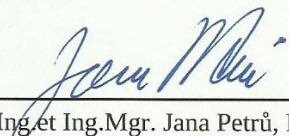
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: Ing. Antonín Trefil

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013


Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20.5.2013

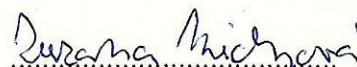
Zuzana Michnová

podpis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byla seznámena s tím, že na mojí diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo výdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že užit své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 SB., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20.5.2013



podpis

Jméno a příjmení autorky práce:

Bc. Zuzana Michnová

Adresa trvalého pobytu autorky:

Fryčovice 197

Fryčovice

739 45

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

MICHNOVÁ, Z. *Návrh technologie vrtání hlubokých otvorů*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2013, 51 s. Vedoucí práce: Petrů, J.

Diplomová práce se zabývá rozbořem a porovnáním dvou metod hlubokého vrtání na zadané součásti. Jedním z úkolů bylo navržení nové technologie vrtání pro výrobu otvoru v hlavní hřídeli větrné elektrárny a její porovnání se stávající výrobní metodou. Prvním cílem je porovnání obou použitých metod z hlediska technické náročnosti. Dále se práce zabývá porovnáním ekonomickým, a to jak z hlediska porovnání výrobních časů, využití materiálu tak i opotřebení řezných nástrojů. Experimentální část byla prováděna ve spolupráci s firmou VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s.. Závěr obsahuje celkové porovnání obou metod jak o technické tak i ekonomické stránce.

ANOTATIO OF THESIS

MICHNOVÁ, Z. *Proposal of the Technology Drill of Deep Holes*: Diploma Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining und Assembly, 2013, 51 p. Thesis head: Petrů, J.

This Master's thesis deals with the analysis and comparison of two methods of deep drilling of given parts. One of the tasks was to design a new drilling technology to make a hole in the main shaft of a wind power plant and its comparison with the current production method. The first goal is to compare the two used methods from the point of view of technical demands. Furthermore, the thesis deals with economic comparing from the point of view of production time, usage of material, and cutting gear wear. The experimental part was done with VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. cooperation. The conclusion includes overall comparison of both methods, the technical as well as the economical aspects.

Obsah

Seznam použitých symbolů.....	8 -
Úvod	9 -
1. Úvod do problematiky hlubokého vrtání	10 -
1.1. Vrtání.....	10 -
1.1.1. Základní výpočty řezných podmínek při vrtání.....	10 -
1.1.2. Nástroje pro vrtání – vrtáky.....	11 -
1.1.3. Materiály vrtacích nástrojů	13 -
1.1.4. Stroje pro vrtání – vrtačky.....	16 -
1.2. Technologie hlubokého vrtání.....	16 -
1.2.1. Základní varianty dle použití procesní kapaliny.....	17 -
1.2.2. Rozdělení vrtacích systémů	18 -
1.2.3. Metody obrábění hlubokých děr	22 -
1.2.4. Systém procesních kapalin	24 -
1.2.5. Typy procesních kapalin.....	26 -
2. Návrh technologie hlubokého vrtání	28 -
2.1. Popis současného stavu	28 -
2.2. Popis navržené technologie jádrového vrtání	29 -
3. Návrh a realizace experimentální činnosti	31 -
3.1. Představení součásti	31 -
3.2. Polotovary vyráběné součásti	33 -
3.4. Data z experimentu	36 -
3.5. Popis technologie jádrového vrtání	37 -
3.6. Kontrola během procesu.....	38 -
3.7. Vytažení jádra	39 -
4. Technicko-ekonomické zhodnocení	40 -
4.1. Technické zhodnocení.....	40 -
4.1.1. Srovnání řezných a posuvových rychlostí u obou technologií	40 -
4.1.2. Materiálové využití	41 -
4.1.3. Časová úspora	41 -
4.2. Ekonomické zhodnocení	42 -

4.2.1.	Zhodnocení časové náročnosti.....	- 42 -
4.2.2.	Materiálové využití	- 45 -
4.2.3.	Počet využitých VB destiček	- 45 -
5.	Závěrečné zhodnocení	- 47 -
	Použitá literatura:	- 49 -
	Elektronické zdroje:.....	- 49 -

Seznam použitých symbolů

A_{C1}	- eutektoidní teplota [$^{\circ}\text{C}$]
A_{C3}	- teplota překrystalizace austenitu na ferit [$^{\circ}\text{C}$]
D	- průměr nástroje [mm]
EP	- Extreme Pressure – extrémní tlak
HCS	- High carbon steel – vysokouhlíková ocel
HRC	- zkouška tvrdosti podle Rockwella
HSS	- High speed steel – rychlořezné oceli
L	- délka [mm]
MQL	- Minimum Quantity Lubrication – minimální množství mazání
Ra	- průměrná aritmetická úchylna posuzovaného profilu [μm]
Rm	- mez pevnosti [MPa]
RN	- režijní náklady [$K\check{c} \cdot \text{hod}^{-1}$]
SK	- slinutý karbid
STS	- Single tube systém – trubkový systém
VBD	- vyměnitelné břitové destičky
f	- posuv nástroje na jednu otáčku [mm]
f_z	- hodnota posuvu na zub [mm]
n	- otáčky vrtáku [min^{-1}]
n_v	- počet vyrobených kusů [ks]
t_v	- čas výroby [hod]
v_c	- řezná rychlost [$m \cdot \text{min}^{-1}$]
v_f	- posuvová rychlost [$mm \cdot \text{min}^{-1}$]
z	- počet zubů nástroje [–]

Úvod

Cílem diplomové práce je porovnání dvou metod vrtání hlubokých otvorů. Úkolem práce je porovnání stávající technologie výroby otvoru v hlavní hřídeli větrné elektrárny s nově navrženou metodou, která by měla výrobu zjednodušit a zlevnit. Obě tyto metody jsou složité, a to z důvodu manipulace s velkými obrobky i nástroji. Výroba těchto obrobků probíhá na speciálních strojích určených pro obrábění součástí velkých rozměrů.

Experimentální činnost probíhala ve společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s, kde byla možnost zúčastnit se obou experimentů i s porovnáním jejich obtížnosti. Základní technologie pro výrobu zadané součásti je vrtání otvoru do plného materiálu a jeho postupné vyvrtávání. U této technologie bude nutné použít pět různých nástrojů, při jejichž výměně bylo nutné přestavení celého stroje. Navržená metoda bude včetně použití jádrového vrtání, při kterém je použit jeden nástroj pro vyvrtání hotového otvoru.

V závěru budou tyto technologie porovnány z hlediska technického, finančního i časového. Předpokladem je časová i finanční úspora při navržení nové technologie výroby hlavní hřídele větrné elektrárny.

1. Úvod do problematiky hlubokého vrtání

1.1. Vrtání

Vrtání je výrobní metoda, která se zabývá výrobou otvorů do plného materiálu nebo se zvětšováním již zhotovené díry (předvrtané, předlité, předlisované, atd.). Nástroj použitý při této metodě se nazývá vrták, který koná hlavní pohyb - rotační. Občas vykonává hlavní pohyb obrobek. Vedlejší pohyb vykonává také nástroj, je to pohyb přímočarý posuvný. Při vrtání je osa vrtáku kolmá k obráběné ploše.

Důležitým faktorem při vrtání je, zda jde o díry průchozí nebo neprůchozí (slepé). Výroba průchozích děr je z hlediska výrobní technologie jednodušší než výroba děr slepých. U neprůchozích děr je nejdůležitější myslet na to, jaké bude její zakončení, na zabezpečení přesné hloubky vrtání, na odstranění třísek ze dna díry atd.

1.1.1. Základní výpočty řezných podmínek při vrtání

Řezná rychlost v_c :

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot \min^{-1}]$$

kde:

D – průměr nástroje [mm],

n – otáčky vrtáku (případně obrobku) [\min^{-1}], [2]

Posuvová rychlost v_f :

$$v_f = f \cdot n [mm \cdot \min^{-1}]$$

kde:

f – posuv nástroje na jednu otáčku [mm] [2]

Rychlost řezného pohybu v_e :

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

Hodnotu posuvu na zub f_z :

$$f_z = \frac{f}{z} [mm]$$

z – počet zubů nástroje [-][2]

1.1.2. Nástroje pro vrtání – vrtáky

Nejčastěji používané nástroje pro vrtání jsou šroubovitě vrtáky, nebo kopinaté vrtáky dvoubřité.

Technologie a druh vrtání, konstrukce a geometrie použitého nástroje jsou důležité aspekty pro rozdělení nástrojů do několika skupin.

- a) Vrtáky s vyměnitelnou špičkou – (viz Obr. 1.1.) špička tohoto vrtáku se vyrábí jako vyměnitelná břitová destička nebo hlavice. Tyto břitové destičky nebo hlavice bývají vyrobeny nejčastěji ze slinutého karbidu, obvykle povlakovaného. Hlavice mívají různou geometrii a to podle toho, pro jakou technologii budou použity a jaký materiál se s nimi bude obrábět.



1.1. Vrták s vyměnitelnou špičkou [9]

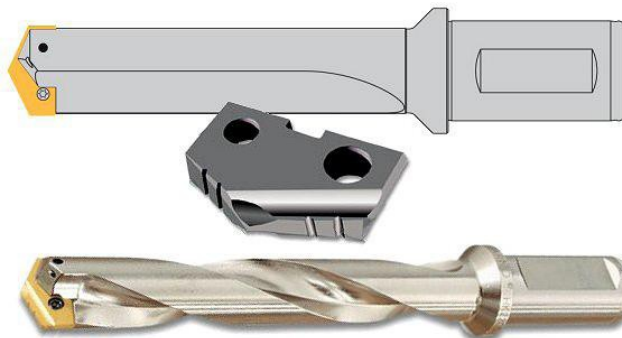
- b) Šroubovitě vrtáky - (viz obr. 1.2) jsou nejčastějším nástrojem pro vrtání krátkých děr. Mají na válcovém těle vytvořeny dvě protilehlé šroubové drážky, které nám slouží k odvodu třísky, ale např. i k přívodu procesní kapaliny do místa řezu. Úhel stoupání šroubovice je $27^\circ \pm 5^\circ$ pro vrtáky určené k vrtání ocelí a litin běžných pevností a tvrdostí . Pro vyvrtávání materiálů s vysokou houževnatostí (měkké

oceli, slitiny hliníku, termoplasty) mají vrtáky větší úhel ($42^\circ \pm 5^\circ$). Úhel $12^\circ \pm 5^\circ$ mají vrtáky pro vrtání tvrdších materiálů (bronz, mosaz, tvrdá pryž, plexisklo). [2]



Obr. 1.2 šroubovitý vrták [22]

- c) Kopinaté vrtáky – (viz Obr. 1.3) jsou to dvoubřité nástroje s příčným ostřím a vnějším odvodem třísek. Tyto nástroje umožňují vrtání do plného materiálu díry o průměru 10 – 128 mm. Tyto vrtáky mívají velkou tuhost. Velmi důležité je dodržovat poměr mezi délkou a průměrem vrtáku, tento poměr je maximálně $L:D = 3:1$. Tento vrták mívá vnitřní přívod procesní kapaliny.



1.3 Kopinaté vrtáky [2]

- d) Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami (viz Obr. 1.4) – používají se destičky ze slinutých karbidů, které jsou do tělesa vrtáku upnuty přímo pomocí šroubů, nebo z velké většiny pomocí kazet, které chrání lůžka vrtáku proti opotřebení a usnadňují výměnu destiček. Používají se zde destičky z SK jak povlakované, tak i nepovlakované.



Obr. 1.4 Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami [2]

1.1.3. Materiály vrtacích nástrojů

Nejčastěji se používají tyto materiály:

- a) rychlořezná ocel,
- b) rychlořezná ocel s pájenými destičkami z SK,
- c) řezná keramika

Rychlořezné oceli

Jsou v podstatě nástrojové oceli slitinové s většími přísadami legujících prvků, které podstatně zlepšují jejich řezné vlastnosti.

Hlavní přísadové prvky jsou :

Wolfram W (zvětšuje řezivost nástroje), jeho obsah bývá u HSS 5 až 20% a ve struktuře oceli vytváří s uhlíkem sloučeninu tzv. karbid wolframu, který je velmi tvrdý a odolný proti otěru. [11]

Chrom Cr (zlepšuje kalitelnost) obsah u HSS bývá asi 4% a vanad V 1 až 4%, který zvětšuje odolnost proti popouštění a opotřebení. U některých druhů rychlořezných ocelí může být wolfram částečně nebo úplně nahrazen Molybdenem. [11]

Nejvýkonnější oceli obsahují jako přísadu kobalt Co 5 až 10%. Přiměřené množství uhlíku slouží k vytvoření správného množství karbidů, aby ocel byla dobře kalitelná a dostatečně tvrdá. [11]

Kromě dobré řezivosti má HSS i příznivé mechanické vlastnosti, tvrdost, pevnost, houževnatost, které se dobře uplatňují při namáhání nástrojů v řezu. HSS si udržuje tvrdost získanou kalením i při vysokých teplotách obrábění. Nejmarkantnější trvanlivost za vysokých teplot je u vysokowolframových ocelí legovaných kobaltem. [11]

Nejznámějším zástupcem rychlořezných ocelí je tzv. RADECO. Pod tímto názvem se všeobecně zahrnují všechny druhy HSS nástrojů, hlavně soustružnických nožů. Označení RADECO je ochranná známka Poldi huti, ale jedná se jen o jeden druh oceli a to **19 810**. Všechny druhy HSS materiálů jsou popsány níže (v závorce obchodní značení Poldiny huti). [11]

Zkratka HSS značí (high speed steel) neplést s HCS (high carbon steel) což je zase vysokouhlíková ocel. [11]

Slinuté karbidy SK

Jsou vyráběny práškovou metalurgií, kde je struktura tvořena karbidy vysocetavitelných kovů wolframu (WC), titanu (TiC) a pojícím kovem, kterým je nejčastěji kobalt (Co). Jako další přísady se používají karbidy tantalu (TaC) a niobu (NbC). Velký rozvoj zaznamenaly slinuté karbidy zejména na konci 50. let minulého století při změně v upevnění VBD z pájené na konstrukci s mechanickým upínáním. [3]

V současné době většina výrobců slinuté karbidy povlakuje. Povlakované slinuté karbidy jsou složeny z pevného karbidového podkladu a termochemicky stabilního povlaku (karbidy, nitrity, oxidy a jejich kombinace). Výsledkem jsou lepší materiály pro vysoké řezné a posuvové rychlosti, vysoký úběr třísky a přerušovaný řez. Hlavním cílem povlaků je snížit součinitel tření, neulpívání třísek na čele, získání tvrdého povrchu při zachování houževnatého jádra, zamezení vzniku nárůstků a zejména prodloužení životnosti nástroje. [3]

Získáme tak vysoce kvalitní nástroje, zajišťující vysoký úběr materiálu, vysoké řezné a posuvové rychlosti i možnost využití pro přerušované řezy. Jako první se na trhu

objevily povlaky z TiC a brzy na to byly vyvinuty povlaky typu TiN a TiCN, povlaky Al₂O₃ přišly na trh nejpозději. Mají vyšší teplotní odolnost oproti předchozí skupině materiálů a to přibližně 800°C. [3]

Obvykle se uvádějí tyto vývojové stupně povlakovaných slinitých karbidů:

1. generace: jednovrstvý povlak (téměř výhradně TiC) s tloušťkou asi 7mm a špatnou soudržností podkladu a povlaku.
2. generace: jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN) bez eta-karbidu na přechodu podklad - povlak. Zdokonalení technologie výroby umožnilo vytvořit vrstvy povlaků o větší tloušťce (až 13 (mm), bez nebezpečí jejich odlupování při funkci nástroje.
3. generace: vícevrstvý povlak (dvě až tři, případně i více vrstev) s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Řazení vrstev odpovídá jejich vlastnostem tak, že jako první jsou na podklad obvykle nanášeny vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu, které mají relativně nižší odolnost proti opotřebení a jako poslední jsou nanášeny vrstvy, které nemusí mít dobrou přilnavost k podkladu, ale požaduje se od nich zejména vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení. Nejčastěji bývají jednotlivé vrstvy řazeny v tomto pořadí (od podkladu k povrchu): TiC-Al₂O₃, TiC-TiN, TiC-TiCN-TiN, TiC-Al₂O₃-TiN.
4. generace: speciální vícevrstvý povlak (velmi často i více než 10 vrstev a mezivrstev), s méně či více výraznými přechody mezi jednotlivým vrstvami (užívají se stejné materiály povlaků jako u 3.generace). [3]

Vůbec nejnovější povlaky firem mají mezi podkladem a vlastním povlakem vrstvu speciálního materiálu typu WC-Co. Je tedy zřejmé, že se aplikují jak jednovrstvé, tak i vícevrstvé povlaky, a to podle různých způsobů a podmínek obrábění. Různé druhy povlaků vykazují různé vlastnosti, např. TiC je nejtvrdší a má největší odolnost vůči abrazivnímu opotřebení, naproti tomu TiN je měkčí a proto méně otěruvzdorný, ale termodynamicky stabilní a odolný proti tvorbě výmolu na čele nástroje. Al₂O₃ vykazuje největší otěruvzdornost při vysokých teplotách, tedy při vysokých řezných rychlostech. Proto má vícevrstvá technologie velký význam pro optimální kombinaci požadovaných vlastností povlakovaných destiček. Aplikace vícevrstvých povlaků má rostoucí tendenci a řazení vrstev je obvykle v posloupnosti substrát (podklad) - TiC - TiCN - TiN - Al₂O₃. [3]

1.1.4. Stroje pro vrtání – vrtačky

Tyto stroje jsou využívány nejen pro vrtání, ale také vyvrtávání, vyhrubování, vystružování a zahlubování. Stroj, v jehož vřetenu je upnut nástroj vykonává hlavní pohyb rotační, a zároveň vedlejší pohyb (posuv). Jako charakteristický rozměr vrtaček se používá vrtací průměr, čímž se myslí největší průměr, který je možné na daném stroji vyrobit do plného materiálu. Vrtání můžeme provádět také na soustruzích, frézkách, horizontálních vyvrtávačkách, obráběcích centrech, apod.

Dle konstrukce můžeme dělit vrtačky na [6] :

- a) stolní,
- b) sloupové,
- c) stojanové,
- d) otočné,
- e) speciální.

1.2. Technologie hlubokého vrtání

Největší problémy u hlubkového vrtání jsou přesné vedení nástroje, chlazení a mazání nástroje a odvod třísek z místa řezu. Přesné vedení nástroje je složité z toho důvodu, že na nástroj působí axiální síly, které nástroj vychylují z osy vrtání. Pro správné vedení nástroje se používají vodítka, která udržují nástroj ve správné poloze a jsou umístěná po obvodu nástroje.

Pro vrtání hlubokých děr lze použít speciální stroje, nebo stejné stroje, které jsou používány pro běžné vrtání. Nástroje jsou speciální nebo se používají pouze upravené vrtačky. Můžeme použít vrtačky dělové (hlavní), ejektorové, STS. Lze ale také použít pouze vrták přivařený na tyč, při této metodě je ale nutné aby nástroj často vyjížděl a tím byly odstraněny třísky. Navařují se jak vrtáky šroubovitě, tak i dělové. Obvykle se pro vrtání hlubokých děr využívá speciálního vodorovného stroje, který zajišťuje rotační pohyb obrobku.

1.2.1. Základní varianty dle použití procesní kapaliny

Při plynulém vrtání hlubokých děr se pro odvod třísek používá tlaková procesní kapalina. Tohle řešení má 3 základní metody:

a) Kapalina je přiváděna vnějším přívodem

- Kapalina se přivádí vnějším přívodem a tříska poté odchází vnitřkem upraveného nástroje. Vrták tvoří vrtací hlava s jedním nebo více břity, která je upevněna na duté vrtací tyči. Kapalina je u této varianty přiváděná přes těsnicí objímku pod vysokým tlakem do prostoru mezi vrtací hlavou a vyvrtanou dírou až k břitu.
- Patří zde přetlakové vrtání, které je označováno jako STS, které se provádí pomocí jednobřité vrtací hlavy a za pomoci dvou vodiček. Tato metoda má tři varianty použití:
 - vrtání do plna (ϕ 20 až 80 mm)
 - vrtání na jádro (ϕ 60 až 200 mm)
 - převrtání (vyžaduje zvláštní úpravu)
 - vyvrtávání



Obr. 1.5. Vrtací hlava [7]

b) Procesní kapalina je přiváděna vnitřkem nástroje

- Procesní kapalina je přiváděna otvorem v těle nástroje a poté je spolu s třískami odváděná ven vnější prostorem mezi povrchem nástroje a povrchem obrobku. Hlavní nevýhodou použití této metody je zhoršení drsnosti povrchu díry.

- Mezi představitele metody patří například dělové vrtáky, které se používají pro vrtání děr o průměru 15 až 200 mm a délce vrtání až 10 m.
- Pro tuto metodu lze ale použít také vrtáků frézovacích nebo šroubovitých, které jsou opatřeny otvory pro přívod kapaliny.
- Lze zde použít také vícebřitou korunovou transparentní hlavu, která vrtá otvory v rozmezí 30 až 500 mm. Při použití hlavy je procesní kapalina dopravována do místa řezu drážkami na vnitřním povrchu nástroje. Řezné břity nástroje musí být upravovány tak, aby třísku dělily na malé kousičky, které jsou jednodušeji odstranitelné.

c) Kombinovaný přívod procesní kapaliny

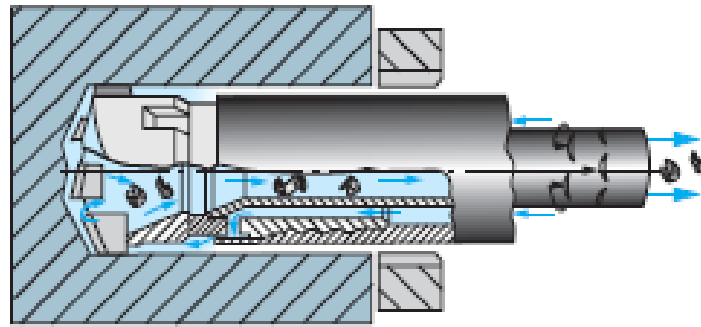
- U kombinovaného způsobu jsou použity dvě trubky. Na vnější trubce je připevněna vrtací hlava, kapalina je přiváděná pod tlakem asi 1,5 MPa prostorem mezi vnitřní a vnější trubkou. Velká část kapaliny (asi 70 %) je přiváděná až k místu řezu pomocí drážek, zbylá kapalina putuje drážkami do vnitřní trubky a vyvolává ejektorový efekt, čím je dosaženo většího efektu odvodu třísek z místa řezu.

1.2.2. Rozdělení vrtacích systémů

a) Ejektorový systém

Ejektorový systém je podobný systému STS. Jedinou jejich odlišností je, že vrták je u ejektorového systému spojen jak s vnější tak vnitřní trubkou. Procesní kapalina je v tomto případě čerpána do vrtáku mezerou mezi dvěma trubkami. Celý proces proudění kapaliny je tedy proveden vevnitř vrtáku, protože procesní kapalina je poté se šponami odváděná pryč vnitřní trubkou.

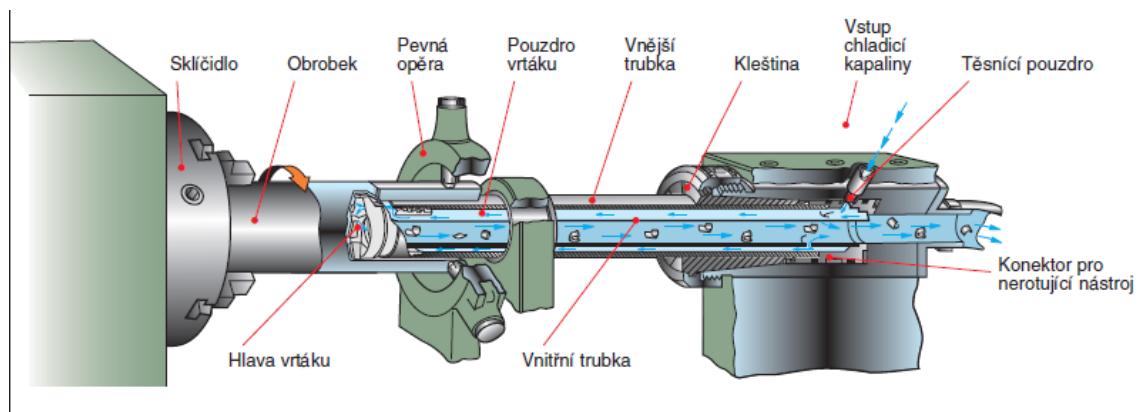
U ejektorového systému si vystačíme s nižším tlakem kapaliny než u systému STS, což umožňuje použití systému na běžných obráběcích strojích bez jakéhokoli zásahu do jejich konstrukce.



Obr. 1.6. Ejektorový systém [12]

Důvody použití:

- snadno lze přizpůsobit pro běžné stroje, proto lze použít na soustruzích, obráběcích centrech, i vodorovných vyvrtávačkách,
- používá se pro obrábění obrobků kde je možný vznik problémů s těsněním, nevyžaduje totiž těsnění mezi obrobkem a pouzdem vrtáku,
- výhodou je, že je možno použít ho tam, kde není nutné použít vrtací pouzdro vrtáku, ale vedení je povedeno předvrtaným otvorem.



Obr. 1.7. Popis vrtání při použití ejektorového systému [12]

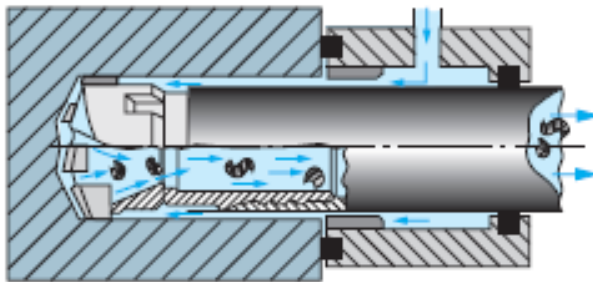
b) Systém STS

Je to systém, u kterého se využívá pouze jedna trubka. U tohoto systému je procesní kapalina dopravována pomocí vysokotlakého čerpadla, prostorem mimo trubku vrtáku. Kapalina tedy proudí mezi trubkou vrtáku a obráběnou dírou. Poté co je kapalina

dopravena k hlavě vrtáku, je i s třískami vytlačována štěrbinami ve vrtací hlavě do duté stopky nástroje.

U této metody je tlak procesní kapaliny větší než u ejektorové metody, proto je STS systém spolehlivější, a to hlavně pro obrábění materiálu s obtížným odvodem třísek z místa řezu, ale také u korozivzdorných a nízkouhlíkových ocelí.

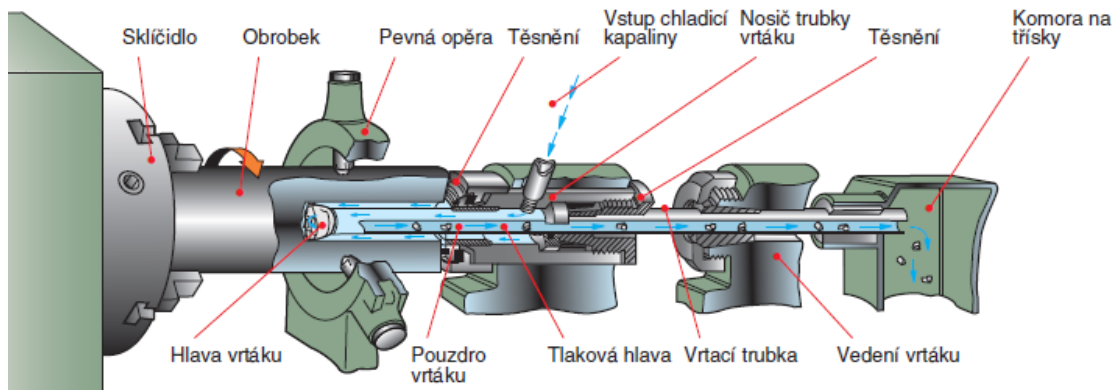
STS systém se používá ve velkých výrobních sériích.



Obr. 1.8. Systém STS [12]

Důvody použití :

- lze použít pro vrtání materiálu s nerovnoměrnou strukturou, u kterých bývají problémy s lámáním třísek,
- používá se také u materiálu se špatným utvářením třísky, ale také u nízkouhlíkových a korozivzdorných ocelí,
- je vhodný pro extrémně dlouhé obrobky a pro využití při výrobě velkých sérií,
- používá se také pro výrobu děr s průměrem přes 200 mm,
- nevýhodou je potřeba speciálního stroje.

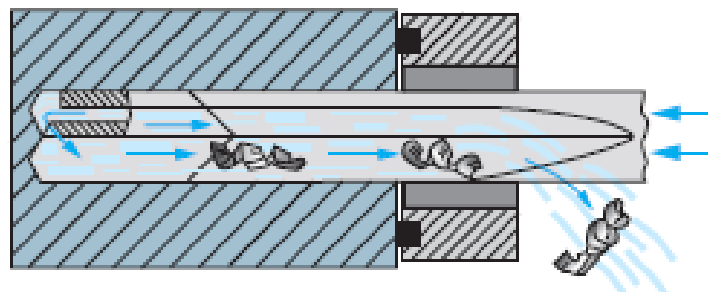


Obr. 1.9. Popis vrtání při použití systému STS [12]

c) Systém dělových vrtáků

U systému dělového vrtáku se používá vrták s dutou stopkou, v níž je procesní kapalina dopravována do místa řezu, kde je následně vytlačována otvory v hlavě nástroje. Stopka vrtáku má zvenku drážku, buď běžnou, nebo ve tvaru písmene V. Touto drážkou je poté za pomoci tlaku odváděná procesní kapalina spolu s třískami ven z díry.

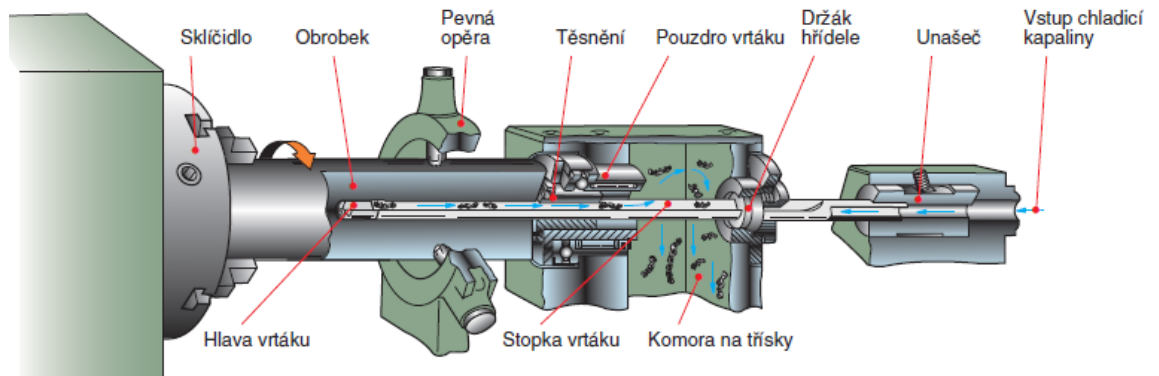
Vrtání dělovým vrtákem je možno používat i na běžných obráběcích centrech, jediná podmínka je, že musí být zajištěn vysoký tlak procesní kapaliny.



Obr. 1.10. Systém dělového vrtání [12]

Důvody použití :

- používá se především na malé průměry,
- po předvrtání díry jej lze jednoduše používat na jakémkoli obráběcím centru, tato díra poslouží jako vodič,
- nevýhodou je nutnost vysokotlakého přívodu procesní kapaliny.



Obr. 1.11. Popis vrtání při použití dělového vrtáku [12]

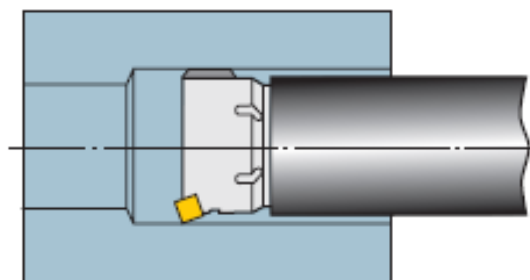
1.2.3. Metody obrábění hlubokých děr

a) Vrtání s předvrtaným otvorem

Metoda vrtání s předvrtaným otvorem se používá hlavně pro zlepšení povrchu děr, které byly předkované, odlévané, lisované, nebo taky protlačované.

Při této metodě se díra může také předvrtat vrtákem s menším průměrem a poté se teprve vrtá přesný otvor, to je nejčastěji z důvodu, jelikož stroj má nedostatečný výkon, aby díru vyvrtal na jednu operaci.

Důležité je, že při vrtání do předvrtané díry se nikdy mezi vrtáním a vyvrtáváním nesmí používat žádné operace typu kalení, žihání nebo popouštění.

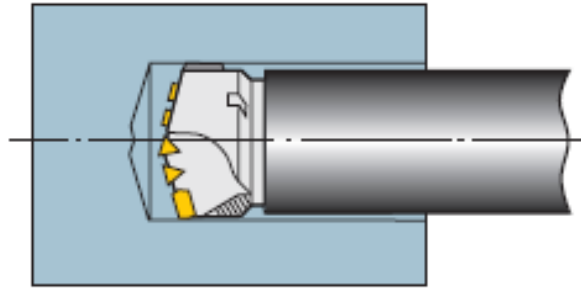


Obr. 1.12. Vrtání s předvrtanou dírou [12]

b) Vrtání do pevného materiálu

Je nečastěji používaným způsobem a také způsobem nejoblíbenějším. U této metody se díra vrtá přímo do pevného materiálu bez jakéhokoliv převrtání. Díry

bývají velice přesné, mají požadovaný průměr i požadovanou jakost povrchu, díky čemuž už není důvod pro použití žádné jiné technologie obrábění.

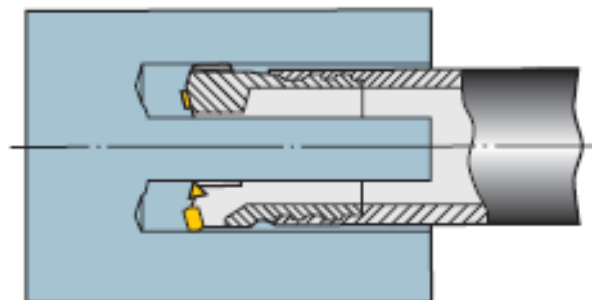


Obr. 1.13. Vrtání do plného materiálu [12]

c) Jádrové vrtání

Pro jádrové vrtání se používají trepanační vrtáky. Používá se bez předvrtání. Při této metodě se odvrtný materiál neodstraňuje ve formě třísek, ale je vedený jako jádro uprostřed nástroje. Využití metody jádrového vrtání je hlavně při použití stroje, který má omezený výkon. Není zde nutno použít tak velký výkon jako při vrtání do plného materiálu. Jádro, které po vrtání zůstane, lze dále používat, například u drahých materiálu ho lze použít buď jako materiál pro výrobu dalších obrobků, nebo se používá jako zkušební vzorek pro zkoušky pevnosti v tahu a materiálovou analýzu.

Pokud jsou díry vyráběné touto metodou slepé, je nutné použít také speciální nástroj, který jádro na konci podsekne. Problémem u hlubokých děr je ale také to, že jádro se vlastní tíhou vychyluje a musí být tedy zajištěno jeho podepření, a to z důvodu aby nedošlo k poškození VBD.



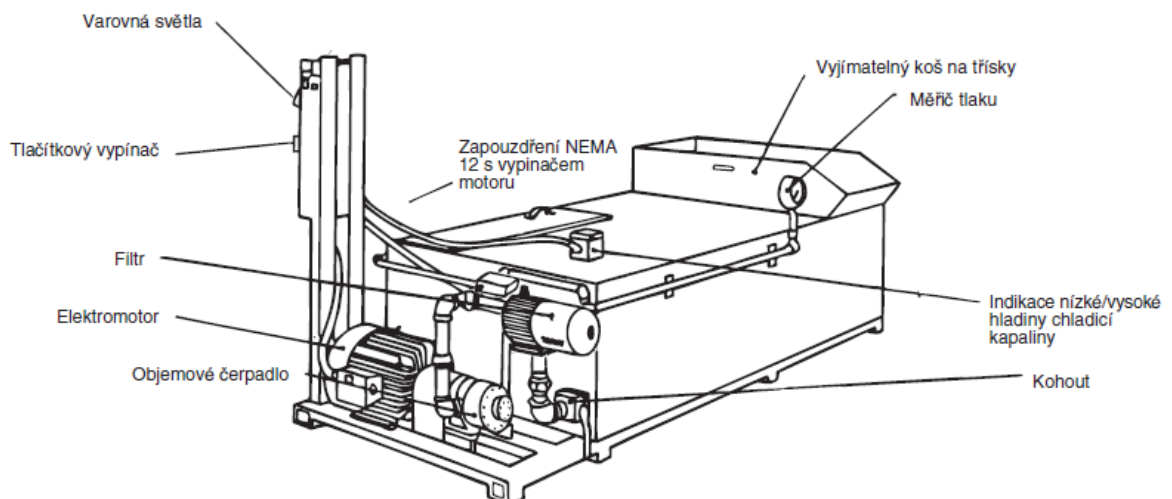
Obr. 1.14. Vrtání na jádro [12]

1.2.4. System procesních kapalin

Kapalinový systém je určen k zajištění potřebné dodávky procesní kapaliny až k nástroji a to se správnou teplotou a pod správným tlakem. Při ejektorovém vrtání lze pro chlazení použít také emulzi, která by měla obsahovat i přísady, které jsou nutné při dopravování kapaliny pod tlakem.

Procesní kapaliny se používají z několika důvodů:

- zvyšují životnost nástroje,
- podporují a maže podložky,
- zajišťují odvod třísek z místa řezu,
- rozptylují teplo.



Obr. 1.15. Příklad systému chlazení [12]

Procesní kapalina

U procesních kapalin je důležitá její jakost, na které z části závisí kvalita vyrobené díry. Pro vrtání hlubokých děr se na trhu objevují speciální oleje pro chlazení a mazání. Tyto oleje obsahují přísady EP (Extreme Pressure), které jsou důležité pro vrtání při extrémních teplotách na břitů a vysokém tlaku na opěrných podložkách. V případě, že je pro chlazení zvolena emulze (olej + voda), je důležitá její koncentrace, a to alespoň v poměru 1:12.

Výměna tepla

Skoro všechna energie, která je vložena do tvorby třísek, a také velká většina energie, kterou vydává čerpadlo je přeměna na teplo absorbované procesní kapalinou. Pokud teplota procesní kapaliny překročí 55°C, mazací schopnost nástroje a čerpadla není dostačující a procesní kapalina degraduje. Nejlepší výsledky obrábění jsou dosaženy při teplotě procesní kapaliny mezi 30 – 40°C. Dostatečné chlazení ve výrobě může zajišťovat také velká vana.

Vysokotlaké čerpadlo

Základní parametry pro vysokotlaká čerpadla jsou tlak a množství. Při metodách, kde se používá pouze jedna trubka se pro rozvod procesní kapaliny používají různé druhy čerpadel, jako například šneková nebo zubová čerpadla. Při požadavcích na množství procesní kapaliny lze použít dvě a více čerpadel. Z důvodu hrozícího opotřebení čerpadel je velmi důležité, aby pro konkrétní procesní kapalinu byla používána správná těsnění čerpadla. Při používání emulzí je velice důležité, aby bylo dosaženo dostatečného mazání.

Filtrace procesní kapaliny

Filtrace procesní kapaliny je velice důležitá, a to z důvodu dosažení požadovaného povrchu po vyvrtání díry a také proto aby se předešlo nadměrnému opotřebení vodících lišt. Dále slouží jako ochrana proti opotřebení nebo poškození čerpadla. Filtrace také prodlužuje životnost nástroje.

Nejčastěji se používají tyto druhy filtrace :

- automatická filtrace,
- pásová filtrace,
- nohavicová filtrace,
- magnetická filtrace.

Objem nádrže a výkon procesní kapaliny

U objemu nádrže je nejdůležitější to, aby byl dostačující a tím zajišťoval optimální chlazení. Je důležité, aby bylo zajištěno filtrování třísek a drobných nečistot od procesní kapaliny. Objem nádrže by měl být desetkrát větší než výkon čerpadla. Aby byla procesní kapalina účinná, doba zadržky kapaliny v nádrži by měla být 5 až 10 minut.

a) Chlazení nádrže:

- teplo je předáváno z nádrže do okolí do té doby, než teplota kapaliny přesáhne teplotu okolí. Ztráta tepla se snadněji redukuje, je-li nádrž uzavřena.
- obrobek mívá stejnou teplotu jako okolí a má proto chladicí účinek.

b) Ohřívací účinek

- všechna energie čerpání se mění na teplo. Asi 95% tohoto tepla absorbuje chladicí kapalina.
- energie vrtání je vytvářena pouze tehdy, kdy je vrták v řezu. Doba řezu je velmi rozhodující pro ohřev nádrže, protože je to největší zdroj tepla.

1.2.5. Typy procesních kapalin

a) Hluboko vrtací oleje

Jsou to oleje bez přidání vody, často taky kombinace minerálních a mastných olejů s dalšími přísadami. Je nutné, aby tato směs byla skladována při teplotě 30 – 40° C, jinak se rozkládá.

Olejová procesní kapalina zvyšuje životnost nástroje a zrovnoměrňuje vytváření třísek. Práce s touto kapalinou je lepší než práce s emulzí.

b) Olejové emulze

Jsou směsí vody a oleje, čímž jsou kombinovány mazací schopnosti oleje a chladicí schopnosti vody. V těchto směsích se používá i velká řada dalších přísad, například mazadla, emulgátory, EP aditiva a antibakteriální činidla. Tyto přísady jsou dodávány jako koncentráty, které musí být pečlivě dávkovány podle přesného předpisu.

Emulze jsou vhodné jak pro použití ve vysokorychlostním obrábění, tak i v případě kdy je více strojů napájeno z jednoho rozvodu. Emulze má také na rozdíl od oleje čistící účinek. Její užívání je ale dost složité a musí být pečlivě kontrolováno.

c) MQL (olejová mlha)

Při použití olejové mlhy se využívá procesní emulze vyrobená z ekologického oleje, který je pomocí jedné nebo více trysek dopravován k nástroji do místa řezu. Olejová mlha se používá nejčastěji tam, kde procesní kapalina dosahuje malého účinku, nebo je v místě řezu vysoká teplota a procesní kapalina se vypařuje.

Výhody olejové mlhy:

- Převažuje mazací účinek nad chladícím,
- snadné a rychlé použití ve všech technologických oblastech,
- při použití mlhy je vyšší životnost nástroje a to až o 40%,
- vysoká kvalita obrobenej plochy,
- malé množství spotřebovaného oleje,
- rovnoměrný olejový povlak.

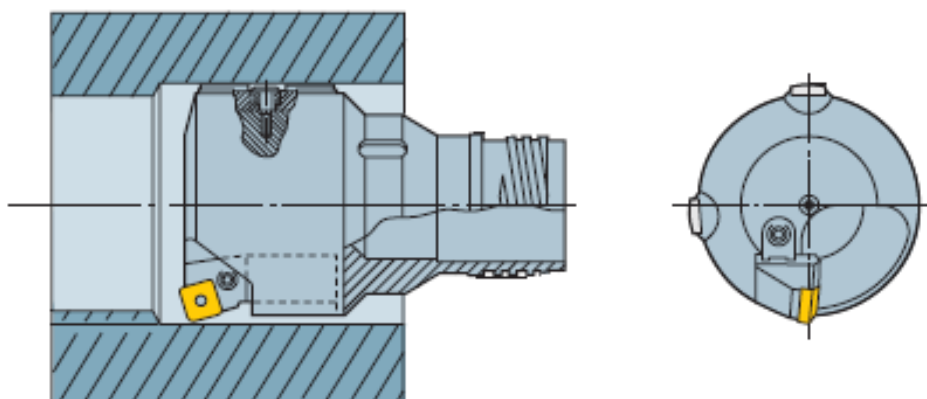
Olejovou mlhu můžeme použít pro jakoukoli technologii jako je soustružení, frézování, vrtání dělovými vrtáky, řezání apod. Olejovou mlhu je ale možno použít také v jiných oblastech, například při tváření nebo lisování.

2. Návrh technologie hlubokého vrtání

2.1. Popis současného stavu

Před použitím mnou zvolené technologie pro výrobu hlubokého otvoru na zadané součásti, byl otvor vyráběn pomocí několika vrtacích hlav. Jako první byla použita vrtací hlava o průměru 190 mm, která vyvrtala otvor do plného materiálu. Následně bylo nutné stroj upravit tak, aby bylo možno použít větší vyvrtávací hlavu. Při výměně hlavy musela být vyměněna i vodící trubka, na které je umístěna vrtací hlava, a to za trubku o větším průměru. Dále se musely na stroji navolit také nové vrtací parametry. Poté se pomocí větší vrtací hlavy o průměru 300 mm zvětšila už předem odvrтанá díra. Následovala další výměna nástroje, vodící trubky i změna vrtacích parametrů ještě u 3 dalších nástrojů a to o průměrech 400 mm, 420 mm a 480 mm. Vrtací hlava o průměru 480 mm je poslední a je s ní vyvrtán požadovaný otvor.

Tato technologie je velice nákladná jak časově, tak i finančně. Je nutno zde použít 5 různých vrtacích hlav, kdy je každá hlava opatřena 4 břitovými destičkami. Ke každé hlavě náleží vodící trubka, která vede nástroj v otvoru součásti. Tato vodící trubka musí mít průměr přizpůsobený vrtací hlavě. Díky tomu, že je použito 5 vrtacích nástrojů, se zvyšuje i časová náročnost. Vysoká je nejen doba vrtání, ale i doba přestavení nástroje mezi jednotlivým vrtáním, a to i z důvodu, že se zde manipuluje s velkými nástroji a je zapotřebí použití jeřábu.



Obr. 2.1. Příklad vyvrtávací hlavy [12]

2.2. Popis navržené technologie jádrového vrtání

Jako alternativu pro výrobu zadané součásti jsem zvolila zhotovení díry pomocí jádrového vrtání. Tato technologie by měla výrazně ovlivnit výrobu součásti, a to jak z časového, tak i finančního hlediska. Tuto metodu lze aplikovat na stávajícím stroji, je zde nutno pouze použití speciálního nástroje.

Tato technologie zproduktivní výrobu z mnoha důvodů. Patří mezi ně například :

- snížení energie,
- zkrácení doby výroby,
- není nutno použít více jak jeden nástroj,
- je hospodárná z hlediska odpadu,
- možnost použití vrtáků velkých průměrů,
- není nutné centrovat,
- není nutno předvrtávat,
- přesnější otvor,
- tišší chod, atd.

2.2.1. Nástroje pro jádrové vrtání

Jádrové neboli trepanační vrtáky jsou speciální nástroje, které jsou zkonstruovány tak, aby byl materiál odebírán pouze jako mezikruží v šířce ostří. Zbylý materiál je spolu s třískami odváděn tělem vrtáku. U těchto vrtáků není nutno, aby byl materiál nejprve předvrtáván, čímž zredukujeme dobu vrtání (až o 40 %). Tyto vrtáky se vyrábí o různých průměrech i délkách a je s nimi možno vrtat i díry o délce 10 m. Tato technologie je velice přesná a otvory jsou hladké.

V této době jsou jádrové vrtáky široce oblíbené a prošly velkým technickým rozvojem. Dnes se vyrábějí v různých rozměrech, z různých materiálů a s různými možnostmi upínání. Jádrové vrtáky lze používat nejen do kovů, ale i dřeva, plastů, různých druhů ocelí, jejich slitin i velmi tvrdých kovů.



Obr. 2.2. Použitá jádrovací hlava

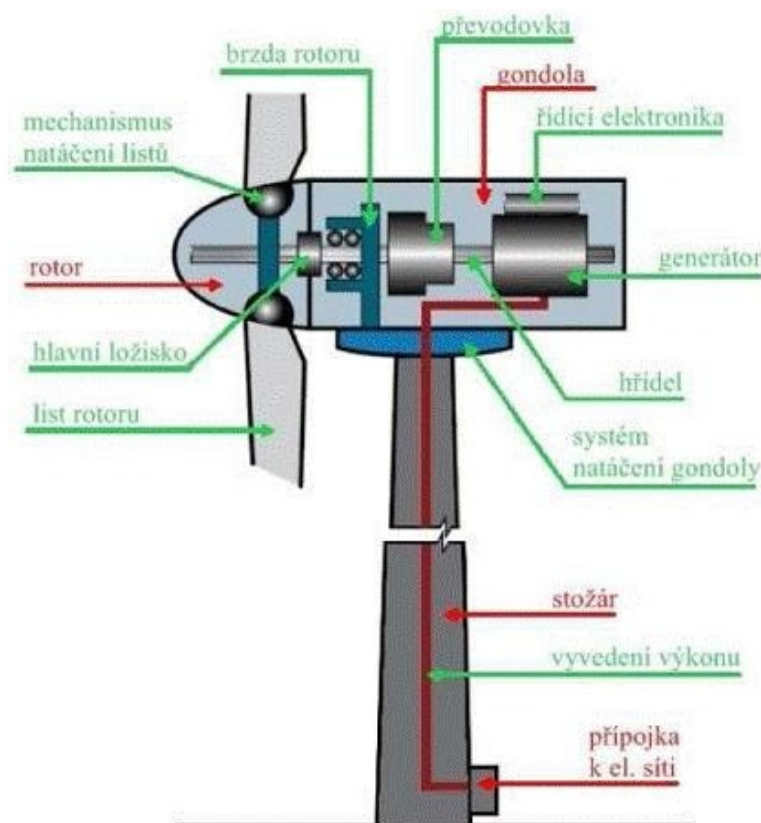
Pro vyvrtání zadaného otvoru je zvolena jádrovací hlava s pěti vyměnitelnými břitovými destičkami, kdy jsou umístěny dvě a tři destičky naproti sobě. Vnitřní průměr vrtací hlavy je 340 mm a vnější průměr je 480 mm. Šířka vrtací hlavy je tedy 140 mm, což je také šířka odebraného materiálu. Zbylý materiál, který odchází vodící trubicou ven, je tedy tyč o průměru 340 mm a délce 4000 mm, což je velmi výhodné hlavně u drahých materiálů, kdy lze tento polotovar opětovně využít.

3. Návrh a realizace experimentální činnosti

Experimentální část jsem realizovala ve společnosti VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s., což je významná strojírenská společnost s vlastní výrobou oceli, která se zaměřuje na dodávky zejména v oblasti těžkých ocelových odlitků, opracovaných výkovků, zalomených hřídelí a dílů lodí, zařízení oceláren a válcoven, tvářecích zařízení a válcovaných obručí pro železniční průmysl. Své úsilí směřuje na zvyšování podílu výroby a dodávek strojírenských produktů s vysokou přidanou hodnotou. [21]

3.1. Představení součástí

Součást, která je vyráběná, je hlavní hřídel větrné elektrárny. Tyto elektrárny bývají umístěny na moři, ve výšce asi 20 m nad mořem. Výkon této elektrárny je cca 3,6 MW a průměr vrtule je 60 m.



Obr 3.1. Průřez větrné elektrárny s popisem [16]

Větrné elektrárny se dnes na moře umísťují hlavně proto, že na moři panují vhodné povětrnostní podmínky. Vítr je tam velice silný a proudění větru je stabilnější než na pevnině. Výstavba větrných elektráren na moři je vyhovující i z estetického hlediska, kdy vysoké stožáry s turbínami neovlivňují krajinný ráz. Tyto elektrárny se umísťují v dostatečné vzdálenosti od pevniny, aby nenarušovaly obydlené prostory jak esteticky, tak hlukem. Mořská hladina je pro umístění elektráren vhodná hlavně pro země, které mají malé množství prostoru pro umístění větrných elektráren na pevnině.

Počet větrných elektráren na moři stále roste. První větrné elektrárny se na evropských mořích začaly stavět už v 90. letech. Největší rozvoj těchto elektráren ovšem začal v roce 2001. Výroba elektrické energie z větrných elektráren na moři stále stoupá, a to jak díky novým elektrárnám, tak i díky technologii, která se stále vyvíjí. Kapacita těchto elektráren od 90. let velice vzrostla, zatímco v 90. letech byla kapacita elektrárny asi 1 MW, v roce 2011 byly instalovány turbíny s kapacitou více než 5 MW. Turbíny ale v posledním roce dosahují průměrné kapacity 3,6 MW.

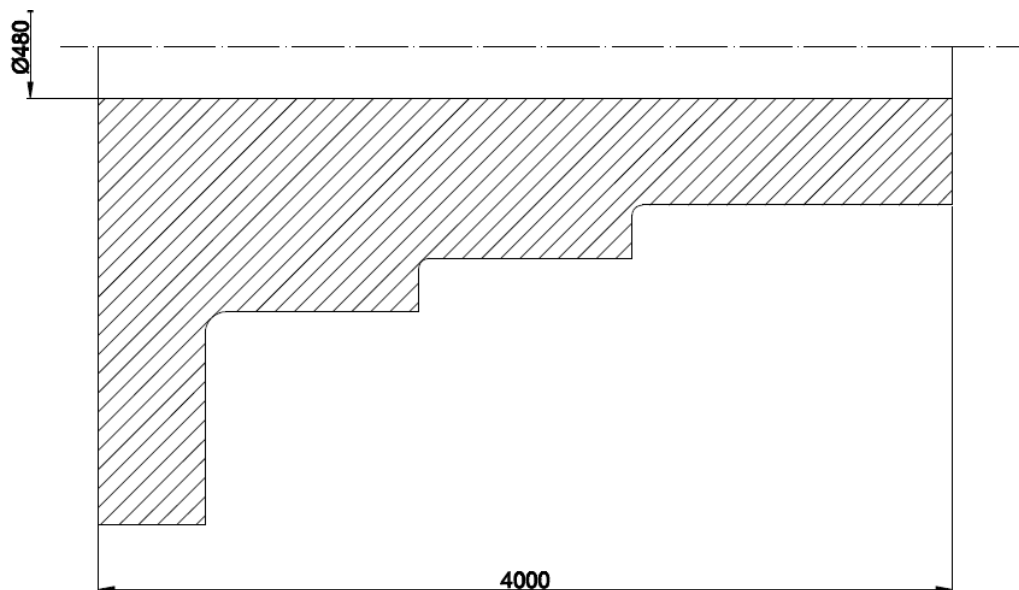
Nejrozšířenější výroba elektřiny pomocí větrných elektráren na moři je v Evropě. Z celkového množství takto vyrobené elektřiny je v evropských zemích vyrobeno celých 97 %. Nejvíce těchto elektráren na moři umístila Velká Británie, po ní následují Dánsko a Nizozemsko. Nyní se těmito projekty začínají zabývat ale i mimoevropské země jako třeba Čína, kde byly v posledních letech vybudovány dvě větrné farmy s kapacitou až 100 MW.



Obr. 3. 2. *Příklad rozmístění větrných elektráren na moři [15]*

3.2. Polotovar vyráběné součásti

Polotovar pro výrobu hřídele větrné elektrárny byl výkovek z materiálu 42CrMo4, který měl přídavek na obrábění 10 mm a drsnost $R_a = 1,6 - 3,2 \mu\text{m}$. Tento výkovek byl opracován a bylo na něm umístěno ložisko pro lunetu, poté byla odvrtána díra. Z důvodu, že firma, pro kterou je tato hřídel vyráběna nepovoluje zveřejnění technického výkresu, uvádím pouze zjednodušený nákres součásti (obr 3.3.), který ovšem dostačuje k představení vyráběného otvoru.



Obr. 3.3. Nákres součásti

3.2.1. Materiál polotovaru

Jako materiál pro výrobu těchto hřídel byla zvolena ocel 42CrMo4 (15 142), což je nízkolegovaná chrom – molybdenová ocel k zušlechťování. Používá se zejména pro výrobu namáhaných strojních součástí. Po zakalení ocel dosahuje tvrdosti až 58 HRC. Tato ocel patří k nejčastěji používaným ocelím k zušlechťování.

Tab. 3.1. Technické vlastnosti

Druh tepelného zpracování	Normalizační žihání	Žihání na měkko	Kalení	Popouštění
Teplota [°C]	850 - 880	680 - 880	820 - 860	450 - 680
Ochlazovací prostředí	vzduch	-	olej, voda	vzduch

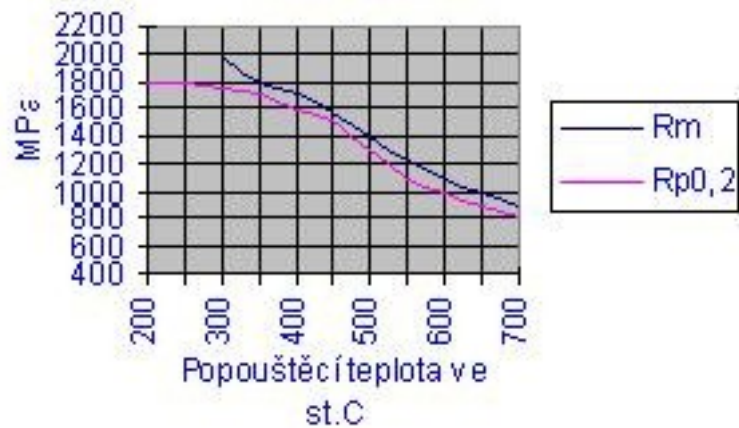
Body tepelné přeměny

- $A_{c1} = 745^{\circ}\text{C}$
- $A_{c3} = 790^{\circ}\text{C}$

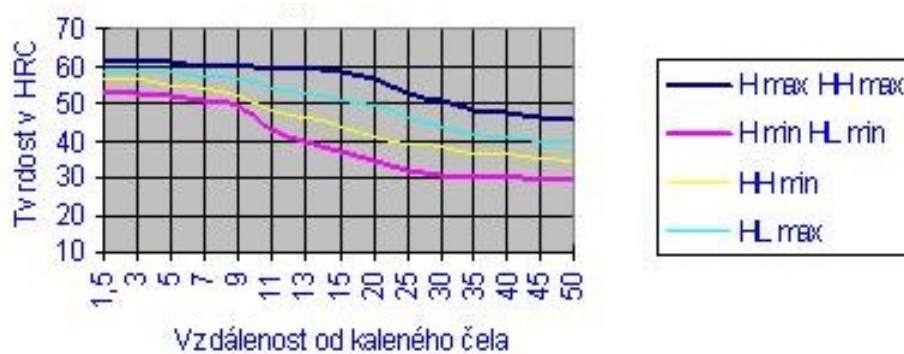
Mez pevnosti : $R_m = 800 \text{ MPa}$

Tab. 3.2. Chemické složení v hmot. %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,38 – 0,45	Max. 0,4	0,6 - 0,9	Max. 0,025	Max. 0,035	0,9 – 1,2	0,15 – 0,30



Obr. 3.4. Křivka popouštění pro zadaný materiál [17]



Obr. 3.5. Křivka kalení pro zadaný materiál [17]

3.3. Představení stroje

Vrtání požadovaného otvoru se v obou případech zhotovení bude provádět na stejném stroji. Jedná se o vrtačku na vrtání hlubokých děr SCHIESS – RRORIEP, typ BT 80 – 50 – 1500. Je to stroj s rokem výroby 1976. Tato vrtačka lze použít jak na vrtací tak i honovací práce.

Tab. 3.3. Údaje o stroji

Délka stroje		25 500 mm
Šířka lože		1 200 mm
Rozsah vrtání	BTA	40 – 500 mm
	konvenčně	500 – 900 mm
Počet stupňů otáček		2
Počet otáček motoru (hlavního)		50 – 500 – 2 000 min^{-1}
Počet otáček hlavního vřetene		2 – 230 min^{-1}
Průměr vrtání v hlavním vřetenu		400 mm
Průměr vrtání v hlavním vřetenu		200 mm
Únosnost		30 tun
Upínací průměr		200 – 950 mm
Upínací průměr přestavením čelistí		500 – 1250 mm

Tab. 3.4. Údaje o vodícím ložisku

Hnací výkon	2,2 kW
Čerpadlo 1 přepínatelné (20 bar)	190 – 290 [$l \cdot \text{min}^{-1}$]
Čerpadlo 2 přepínatelné (15 bar)	240 – 360 [$l \cdot \text{min}^{-1}$]
Čerpadlo 3 přepínatelné (10 bar)	330 – 250 [$l \cdot \text{min}^{-1}$]
Čerpadlo 4 (10 bar)	720 [$l \cdot \text{min}^{-1}$]



Obr. 3.6. Vrtačka na hluboké díry [18]

3.4. Data z experimentu

Jako nezpracovaná data z experimentu byla uvedena posuvová rychlost a otáčky, pro otvory vyrobené oběma zvolenými technologiemi, a to u všech použitých nástrojů. Dále zde uvádím také časy vrtání, které jsou ovšem uvedeny bez časů přípravných. Data jsem zpracovala do jednoduchých tabulek zvlášť pro vrtání do plna a postupné vyvrtávání (tab. 3.5.) a po té pro jádrové vrtání (tab. 3.6.).

Tabulka 3.5. data z experimentu při vrtání několika nástroji

Průměr nástroje D [mm]	Otáčky nástroje n [min^{-1}]	Posuvová rychlost v_f [$mm \cdot min^{-1}$]	Čas vrtání [hodiny]
190	100	20	40
300	70	14	
400	50	10	
420	50	10	
480	40	8	

Tabulka 3.6. data z experimentu při jádrovém vrtání

Průměr vrtaného otvoru D [mm]	Otáčky nástroje n [min^{-1}]	Posuvová rychlost v_f [$mm \cdot min^{-1}$]	Čas vrtání [hodiny]
480	31	7	17,5

3.5. Popis technologie jádrového vrtání

Jádrové vrtání je metoda, která se používá hlavně při vrtání otvorů velkých průměrů do kvalitních materiálů. Je to hlavně z toho důvodu, že materiál, který odejde tělem nástroje jako jádro, lze dále využít a není pouze jako odpad. Zbylý materiál se ale také používá jako zkušební vzorek pro pevnostní a materiálovou analýzu. Tato metoda se používá na speciálním stroji pro hluboké vrtání. Tento stroj je vodorovná vrtačka pro hluboké díry.

Před započítím vrtání je nutné nejprve ustavit na stroji polotovary pro vrtání a nastavit na stroji vrtací parametry. Protože je polotovar velice těžký, musí být na stroj dopravován pomocí jeřábu a při upínání se musí postupovat velmi opatrně. Po upevnění obrobku následuje ustavení nástroje. Také nástroj pro vrtání takhle velkých děr je velký a těžký, manipulace s ním není vůbec jednoduchá. Nástroj se upevňuje na vodící tyč, která je u hlubokého vrtání nutná. Tato tyč je velice dlouhá a těžká proto musí být ke stroji dopravována také pomocí jeřábu. Tyto tyče se používají v mnoha průměrech, a to podle průměru použitého vrtacího nástroje. Je také nutné použít těsnění, kterým se utěsní prostor mezi nástrojem a obrobkem a to z důvodu rozstříku procesní kapaliny. Nakonec jsou na stroji nastaveny vrtací parametry a můžeme začít s vrtáním.

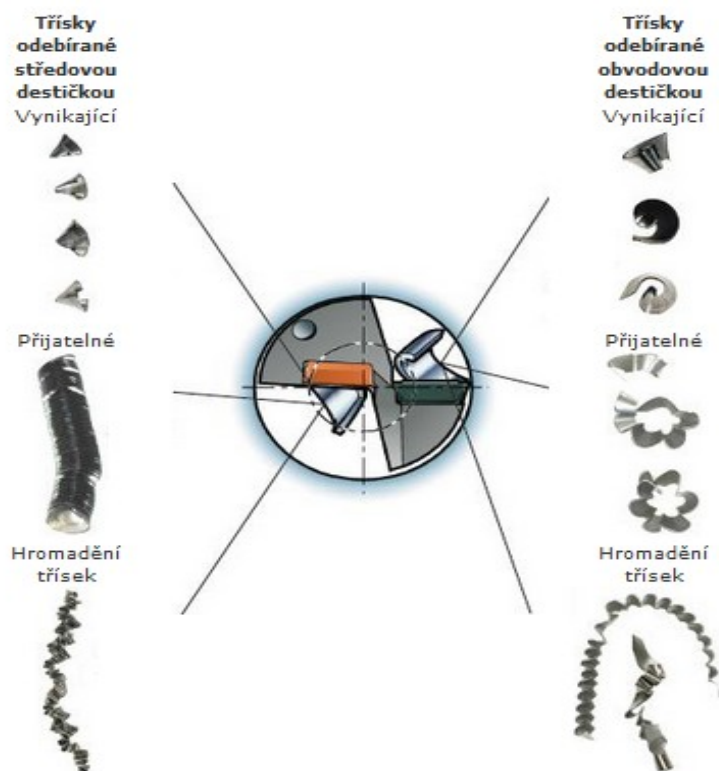
Vrtací hlava má tvar prstence, jehož tloušťka je při vrtání mírou pro množství odpadu odvedeného ve formě třísek. Při vrtání jsou zapnuta celkem 3 čerpadla (360, 650 a 720 l), která dopravují do místa řezu procesní kapalinu, která poté společně s třískami odchází pryč v mezeře mezi vodící tyčí a jádrem. Vrtání takto dlouhé součásti je časově náročné, samotné vrtání zabralo čas 17,5 hodiny. Poté, co vrtací hlava odvrtá celou délku otvoru, je jádro od součásti odděleno.

3.6. Kontrola během procesu

Během procesu jsou kontrolovány základní parametry, při jejichž kontrole nezasahujeme do vrtacího procesu. Provádíme tedy kontrolu třísek, stavu VBD, chvění, tlaku oleje, osového tlaku a kroutícího momentu.

Část těchto parametrů je hlídána automaticky dle nastavení mezních hodnot systémem stroje. V případě kdy dojde k otupení VBD, poškození vodítek na nástroji, hromadění třísek apod., dochází k navýšení výkonu na jednom z motorů a tím k automatickému zastavení vrtacího procesu.

Kontrola třísek je velice důležitá, kontrolujeme jejich tvar, barvu i odváděné množství. Třísky závisí zejména na voleném vrtáku, geometrii břitových destiček, obráběném materiálu, tlaku procesní kapaliny a také na řezných podmínkách. Musíme dávat pozor hlavně na hromadění třísek, které může způsobit vychýlení vrtáku, čímž je ovlivněna jak kvalita díry, tak také životnost vrtáku a jeho spolehlivost. Vychýlení vrtáku může být ale také příčinou zlomení VBD.



Obr. 3.7. Ukázka vhodných a nevhodných tvarů třísek [20]

3.7. Vytažení jádra

Po odvrtání otvoru je třeba z díry odstranit jádro. Jelikož je jádro velké a těžké je manipulace s ním složitá, a je nutné být při ní opatrný. Pro vytažení se tedy používá jeřábů. Na jádro připevníme lano tak aby, jádro při manipulaci jeřábu nevyklouzlo a nepoškodilo stroje a neohrozilo obsluhu. Lano upevníme k jeřábu a pomalu s jeho pomocí vytahujeme jádro z díry. Po vytažení je jádro položeno mimo stroj a může být dále používáno jak pro zkoušky materiálu, tak pro další obrábění.

4. Technicko-ekonomické zhodnocení

4.1. Technické zhodnocení

4.1.1. Srovnání řezných a posuvových rychlostí u obou technologií

Tab. 4.1. Srovnání řezných a posuvových rychlostí u stávající technologie

Stávající technologie		
Průměr nástroje [mm]	$v_f [mm \cdot min^{-1}]$	$v_c [m \cdot min^{-1}]$
190	20	60
300	14	66
400	10	63
420	10	66
480	8	60

Tab. 4.2. Srovnání řezných a posuvových rychlostí u navržené technologie

Navržená technologie		
Průměr nástroje [mm]	$v_f [mm \cdot min^{-1}]$	$v_c [m \cdot min^{-1}]$
480	7	47

Ukázka výpočtu řezné rychlosti v_c : [2]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot min^{-1}]$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot 480 \cdot 31}{1000} = 47 [m \cdot min^{-1}]$$

Pro ukázkou jsem zvolila výpočet řezné rychlosti pro jádrovací hlavu s průměrem $D = 480\text{mm}$ a otáčkami $n = 31\text{min}^{-1}$.

4.1.2. Materiálové využití

U stávající technologie je spotřeba materiálu vyšší než u nově navržené technologie. Materiál odebraný při technologii vrtání do plna odchází ve formě třísek jako odpad, který musí být následně odstraněn a dále už se nedá využít. Díky tomu, že vrtaný otvor je velice dlouhý a má velký průměr, je u tohoto obrobku materiálová ztráta dost podstatná. Mimo to, že zbylý materiál už nelze použít, je zde díky jeho množství i vyšší náročnost na jeho pozdější likvidaci.

Nově navržená technologie jádrového vrtání je oproti stávající technologii ve využití materiálu šetrnější. Při této metodě je ve formě třísek odváděna pouze část materiálu z vrtaného otvoru. Tato část má stejnou velikost jako šířka prstence jádrového vrtáku. Zbylý materiál je odváděn středem nástroje ve formě tyče. U tak velkých otvorů jako je otvor v našem polotovaru je tato metoda velice výhodná. Tyč, která po vyvrtání otvoru zůstává, má průměr cca. 340 mm a jeho délka je 4000 mm. Tato tyč je po dokončení vrtání vytažena z vodící trubky a je připravena k dalšímu využití. Velkou výhodou to má hlavně u velmi drahých materiálů, kde lze tyč znovu použít nebo výhodně prodat.

4.1.3. Časová úspora

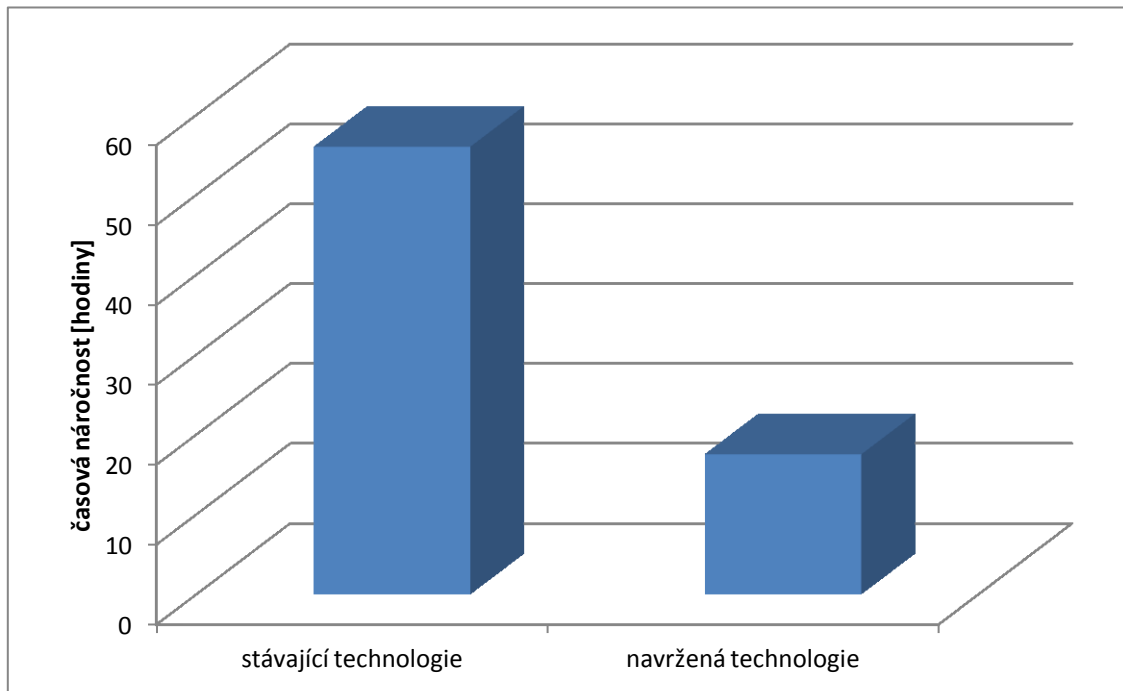
Časová úspora je při srovnání těchto dvou metod velice výrazná, a to hlavně z důvodu, že při stávající metodě musí být použito 5 nástrojů různých průměrů. Po každé výměně nástroje je navíc nutné stroj přestavět a změnit nastavení řezných parametrů.

Tab. 4.3. Zhodnocení technické náročnosti z časového hlediska

Technologie	Čas vrtání [hodiny]
stávající technologie	56
navržená technologie	17,5

Časy vrtání jsou uvedeny i s přídatnými časy určenými na přestavení stroje a změnu vrtacích parametrů.

Tab. 4.4. Grafické porovnání časové náročnosti



Z přiloženého grafu je jasně viditelné, že časová náročnost u navržené technologie je výrazně menší, a proto je z technického hlediska použití této technologie velice výhodné. Za dobu výroby jedné součásti stávajícími technologiemi je možno nově navrženou technologií vyrobit požadovanou součást 3 krát.

4.2. Ekonomické zhodnocení

4.2.1. Zhodnocení časové náročnosti

Časová náročnost je při porovnání těchto dvou technologií velice rozhodující. Při stávající technologii je čas výroby zadané součásti 56 hodin a u nově navržené technologie pouze 17,5 hodiny. Obě technologie jsou prováděny na stejném stroji, proto je režijní sazba stejná. Režijní sazba je pro výrobu na tomto stroji 1100 Kč/hodinu.

Díky těmto údajům je možné vypočítat návratnost ceny nástroje, který je pro nově navrženou technologii nutné zakoupit. U stávající technologie už všechny nástroje firma vlastní a není tedy nutné jejich zakoupení. Všechny vodící trubky jsou také součástí stroje, proto se jejich cena nebude započítávat. Vodící trubku nebylo nutné zakoupit ani pro nově navrženou technologii, může zde být použita vodící trubka ze základní výbavy stroje.

Výrobní cena VC:

$$n_v \cdot RN \cdot t_v = VC[\text{Kč}]$$

kde:

n_v – počet vyrobených kusů [ks]

RN – režijní náklady [$\text{Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$]

t_v - čas výroby [hod]

Výrobní cena jednoho kusu:

Stávající technologie:

$$1 \cdot 1100 \cdot 56 = 61\,600 \text{ [Kč]}$$

Navržená technologie:

$$1 \cdot 1100 \cdot 17,5 = 19\,250 \text{ [Kč]}$$

Výpočet návratnosti nástroje pro jádrové vrtání:

Cena nástroje pro jádrové vrtání = 250 000 Kč

Pro výpočet bylo použito porovnání času výroby, režijních nákladů a počtu vyrobených kusů.

Tab. 4.5. Porovnání ceny výroby u stávající a nové technologie

Počet vyrobených kusů	Cena výroby pro stávající technologii [Kč]	Cena výroby pro nově navrženou technologii [Kč]	Rozdíl cen výroby [Kč]
1	61 600	19 250	42 350
2	123 200	38 500	84 700
3	184 800	57 750	127 050
4	246 400	77 000	169 400
5	308 000	96 250	211 750
6	369 600	115 500	254 100

Příklad výpočtu při výrobě 6 ks zadaných hřídelí:

$$n_v \cdot RN \cdot t_v = VC[\text{Kč}]$$

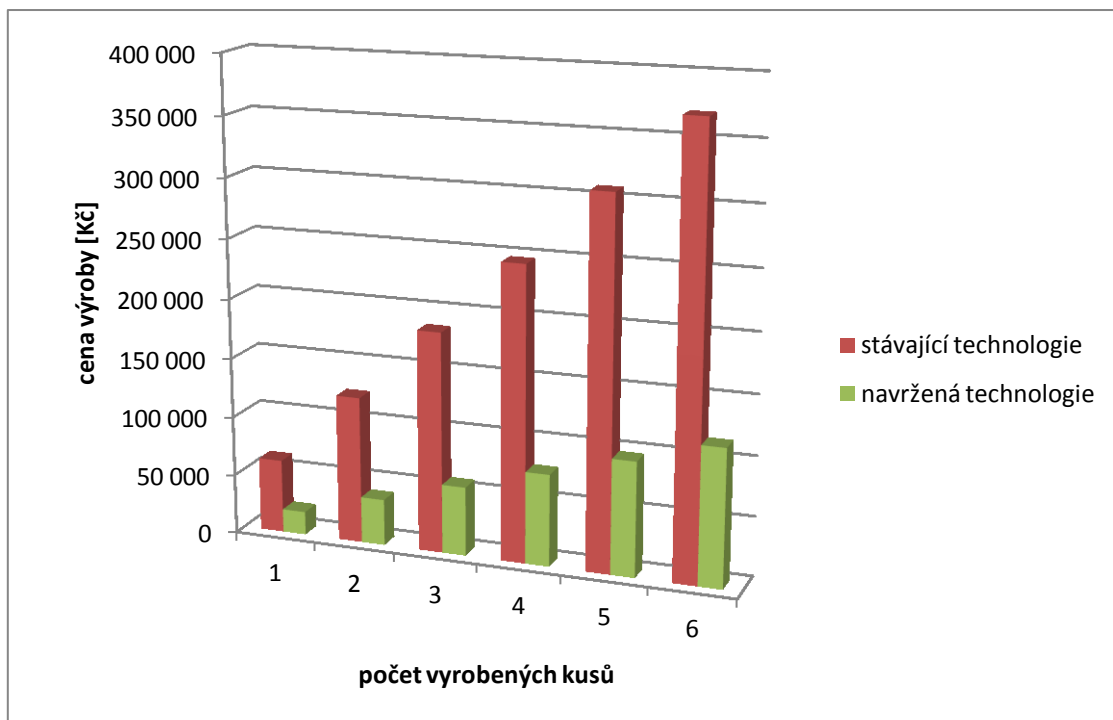
Stávající technologie:

$$6 \cdot 56 \cdot 1100 = 369\,600 \text{ [Kč]}$$

Navržená technologie:

$$6 \cdot 17,5 \cdot 1100 = 115\,500[\text{Kč}]$$

Tab. 4.6. Grafické porovnání ceny výroby



Podle rozdílu cen výroby znázorněných v tab. 4.5. je návratnost nově pořízeného nástroje pro jádrové vrtání již po 6 vyrobených kusech.

4.2.2. Materiálové využití

Materiálové využití je jednoznačně ekonomičtější u nově navržené technologie. U stávající technologie je všechen přebytečný materiál z díry odveden ve formě třísek, které již dále nelze využít. U nově navržené technologie se ve formě třísek odvádí pouze část materiálu z odvrтанého otvoru. Zbylý materiál je ve formě tyče odváděn během procesu tělem nástroje do vodící trubky, ze které je po odvrтанí celého otvoru vytažen.

U stávající technologie se otvor vrtá do plna pomocí 5 nástrojů různých průřezů a odvrтанý materiál je tělem nástroje odváděn ve formě třísek spolu s procesní kapalinou. U této metody je také vyšší náročnost na odstranění odvrтанého materiálu, jeho skladování a pozdější odvoz. U nově navržené technologie je odvrтанého materiálu ve formě třísek mnohem méně, čímž je jeho náročnost na skladování a následné zlikvidování menší. Navíc při jádrovém vrtání zůstává přebytečný materiál ve formě tyče, kterou lze dále zpracovávat, nebo ji lze prodat. Jak při následném zpracování ve firmě, tak i prodejem této tyče je po ekonomické stránce navržená technologie výhodnější.

4.2.3. Počet využitých VB destiček

U stávající technologie je nutné použití 5 nástrojů s různými průměry. Každý z těchto nástrojů má 4 VB destičky. Při použití nově navržené technologie je použit pouze jeden nástroj s 5 VB destičkami.

Tab. 4.7. Spotřeba VB destiček pro výrobu jednoho otvoru pomocí stávající technologie

Číslo nástroje	1	2	3	4	5	celkem
Počet VB destiček [ks]	4	4	4	4	4	20

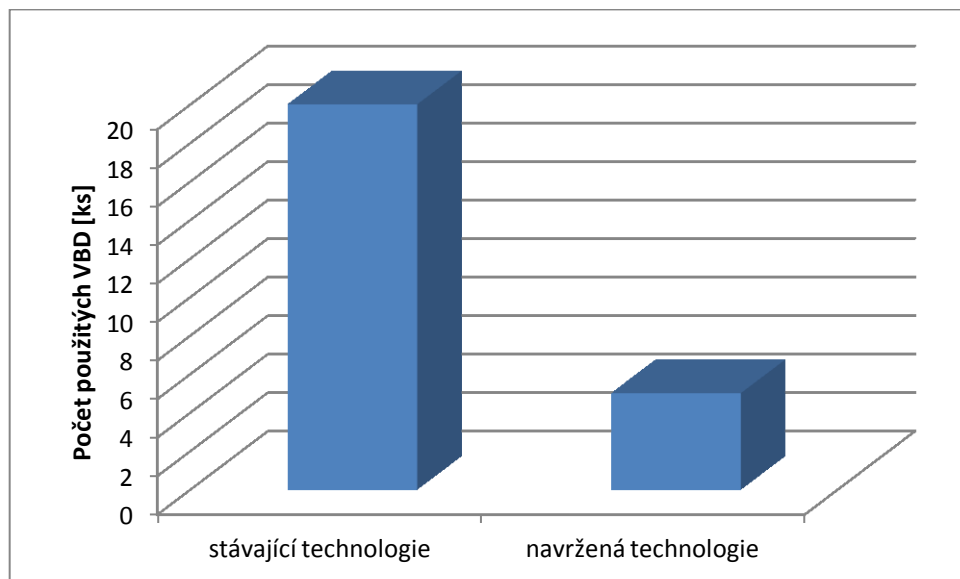
Z tab. 4.7. lze vyčíst, že pro výrobu zadaného otvoru stávající technologií je nutné použití 20 VB destiček.

Tab. 4.8. Spotřeba VVB destiček pro výrobu jednoho otvoru pomocí navržené technologie

Číslo nástroje	1
Počet VB destiček [ks]	5

Z tab. 4.8. lze vyčíst, že pro výrobu zadaného otvoru stávající technologií je nutné použít pouze 5 VB destiček.

Tab. 4.9. Grafické znázornění počtu použitých VB destiček při obou metodách výroby



Z uvedeného grafu lze jednoznačně určit že v počtu využití VB destiček na výrobu jednoho otvoru je navržená technologie po ekonomické stránce výhodnější.

Díky tomu, že kontrola VB destiček během procesu vrtání hlubokých otvorů je složitá, pro vrtání každého nového otvoru se používají nové VB destičky.

5. Závěrečné zhodnocení

Cílem diplomové práce bylo navržení nové technologie pro vrtání hlubokých otvorů a její porovnání se stávajícími technologiemi. Porovnání těchto dvou technologií je jak z hlediska ekonomického, tak i technického. Stávajícími technologiemi pro výrobu otvoru v hlavní hřídeli větrné elektrárny je vrtání do plna a následné vyvrtávání. Navržená technologie je vrtání hlubokého otvoru pomocí jádrového vrtání.

Stávající a navržená technologie se liší v mnoha aspektech. Stávající technologie využívá pro vyvrtání hlubokého otvoru 5 nástrojů různých průměrů, kde první nástroj s nejmenším průměrem vyvrtá díru do plného materiálu a další nástroje díru pouze zvětšují pomocí vyvrtávání. Navržená technologie potřebuje pro výrobu hlubokého otvoru pouze jeden vrtací nástroj, který vyvrtá hotovou díru na jedno zavrtání. Díky tomu, že je u těchto technologií použit různý počet nástrojů, je zde taky velký rozdíl v časech výroby.

Z technologického hlediska je výroba hlubokého otvoru pomocí navržené technologie hlubokého vrtání mnohem výhodnější než stávající technologie vrtání do plna. Z hlediska časové náročnosti je rozdíl velmi viditelný, což znázorňuje tab. 4.3.. Výroba zadané součásti pomocí stávající technologie je i s přípravnými časy 56 hodin, u nově navržené technologie je čas výroby pouze 17,5 hodiny. U stávající technologie je tento čas vyšší hned z několika důvodů. Pro vyvrtání otvorů je třeba použití pěti nástrojů, jejichž výměna zahrnuje také přestavbu stroje, výměnu vodících trubek pro správný průměr a změnu vrtacích parametrů. Díky tomuto časovému rozdílu je možné nově navrženou technologii vyrobit 3 otvory za kratší dobu než stávajícími technologiemi otvor jeden.

Navržená technologie je také výhodnější z důvodu spotřeby materiálu. Při použití stávající technologie odchází všechen přebytečný materiál ve formě třísek, které se už dále nedají zpracovávat. Množství třísek je velké a z tohoto důvodu je i velká náročnost na jejich následnou likvidaci. U nově navržené technologie je množství odpadu ve formě třísek mnohem menší, a to z důvodu, že při jádrovém vrtání část odvrtného materiálu odchází tělem nástroje ve formě tyče a hodí se pro další zpracování.

Zhodnocení po ekonomické stránce bylo také pozitivnější pro nově navrženou technologii, byla zde hodnocená časová náročnost, návratnost nově pořízeného nástroje, využití materiálu a spotřeba VB destiček.

Velmi rozdílná časová náročnost byla dokázána již u technického zhodnocení. Rozdílný čas mezi výrobou stávající a nově navrženou metodou je markantní. Tato veličina ovlivňuje ale i ekonomickou stránku, protože délka výroby ovlivňuje také cenu výroby. Režijní sazba stroje je u obou technologií stejná, ale cena výroby jedné součásti, je díky velkému rozdílu výrobních časů rozhodující.

Pro nově navrženou technologii není nutné zakoupení nového stroje, lze zde pracovat se strojem stávajícím, což nezvyšuje náklady na pořízení nové technologie. Jediné co je nutné zakoupit je nový vrtací nástroj, jehož pořizovací cena je 250 000 Kč. Tato částka je ale lehce návratná, a to díky zkrácení časové náročnosti. Cena za pořízení nového nástroje je návratná již po vyrobění 6 ks hlavních hřídelí větrné elektrárny, jak lze vidět viz tab. 4.5..

Výhodou nové technologie je také materiálové využití. Polotovar, co zůstává po odvrtání uvnitř nástroje ve formě tyče, se dále používá ve výrobě, nebo výhodně prodává. Lze na něm také provádět různé zkoušení materiálů. Při této technologii vzniká menší množství odpadu ve formě třísek než je obvyklé, což znamená menší finanční nároky na jejich uskladnění a následnou likvidaci.

Díky použití pěti různých nástrojů u stávající technologie je i nákladnost na spotřebu VB destiček větší než u navržené technologie. Vrtací hlavy použité při vrtání do plna a následném vyvrtávání mají po čtyřech destičkách, což znamená že na výrobu jedné součásti je u stávající metody použito 20 VB destiček. Jádrovací hlava u navržené technologie je tvořena pouze 5 VB destičkami, pomocí níž vyrobíme celý otvor. Při vrtání hlubokých otvorů je kontrola VB destiček složitá, proto se při každém vrtání používají nové destičky.

Použitá literatura:

- [1] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ: 3. DÍL*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN -.
- [2] ČEP, R.; BRYCHTA, J.; SADÍLEK, M.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. s. 251. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] BRYCHTA, J.; CEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETRKOVSÁ, L. *Technologie II 1. díl*. Ostrava : VŠB TU Ostrava, 2007, s. 126. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [4] BRYCHTA, J.; CEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETRKOVSÁ, L. *Technologie II 2. díl*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008, s. 150. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [5] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; CEP, R.; TABACEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [6] ČADA Radek, ADAMEC Jaromír, TICHÁ Šárka, OCHODEK Vladislav, HLAVATÝ Ivo, ŠIMČÍK Stanislav. *Základy strojírenské technologie*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1997. 115 s. ISBN 80-7078-300-1

Elektronické zdroje:

- [7] Vrtání na jádro. *Winter-servis* [online]. - [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://www.winter-servis.cz/index.php?page=botek/jadro_bta
- [8] Stolní vrtačka-28128. In: *NAKOL s.r.o.* [online]. - [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.nakol.cz/proxxon-tbm-220-stolni-vrtacka-28128#lightbox>
- [9] Moderní nástroje zvyšují produktivitu vrtání. In: *Mmspektrum* [online]. - [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/moderni-nastroje-zvysuji-produktivitu-vrtani.html>
- [10] PROMA PTB-16B/230 sloupová vrtačka. In: *Rucni-naradi* [online]. - [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.rucni-naradi.cz/proma-ptb-16b-230>
- [11] Velký přehled materiálů pro výrobu nástrojů a náradí aneb z čeho se to vyrábí. In: *Tumlikovo* [online]. - [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/rozdeleni-nastrojovych-oceli/v>
- [12] SANDVIK COROMANT. *Vrtání hlubokých děr: Katalog produktů a aplikační příručka* [CD]. 2011, 160 s. [cit. 2013-04-08].
- [13] Přimazávání olejovou mlhou. In: *Vm systém* [online]. - [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: http://www.vmsystem.eu/download/MM_78%202008.pdf
- [14] Mořské větrné elektrárny: Ekologická energie pro Evropu. In: *Energie Plus* [online]. - [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://eon.energieplus.cz/ekologicka-energie/vetrna-energie/morske-vetrne-elektrarny-ekologicka-energie-pro-evropu>

- [15] Cape Wind - první pobřežní větrná farma v Americe. In: *Ekobydlení* [online]. - [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/vetrna-energie/cape-wind-prvni-pobrezni-vetrna-farma-v-americe>
- [16] Sama proti větru. In: *GEOCACHING* [online]. - [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: http://www.geocaching.com/seek/cache_details.aspx?guid=367fdc27-9632-4290-8c31-f12581eb2c60
- [17] Přehled vlastností oceli 42CrMo4. In: *Balzano* [online]. - [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techpriI/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_42CrMo4/
- [18] Deep Hole Boring Machine SCHIESS FRORIEP BT-80. In: *Resale.info* [online]. - [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.resale.info/pice.php?id=492841&bild=1&remote=&user=&myid=&dealer=&machine=Deep%20Hole%20Boring%20Machine%20SCHIESS%20FRORIEP%20BT-80>
- [19] SANDVIK COROMANT. *DRILLING* [CD]. 2011, 67 s. [cit. 2013-05-07]
- [20] Kontrola utváření třísek. In: *Sandvik* [online]. - [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/getting_started/chip_control/pages/default.aspx
- [21] VÍTKOVICE HEAVY MACHINERY a.s. In: *Vitkovicemachinery* [online]. - [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://www.vitkovicemachinery.com/default/index/index/site/18/lang/cs>
- [22] Přesný vrták HSS-G 10,2 DIN338 pro závit M12,0. In: *Abrasiv* [online]. - [cit. 2013-05-07]. Dostupné z: <http://eshop.abrasiv.cz/doprodej-za-vyhodne-ceny%5B1%5D/vrtaky-frezy-bity/presny-vrtak-hss-g-102-din338-pro-zavit-m120>

Děkuji Ing. et Ing. Mgr. Janě Petrů, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce, poskytování rad, materiálových podkladů a za hodnotné připomínky k práci. Také chci poděkovat Ing. Antonínu Trefilovi za pomoc při experimentální části, poskytnutí materiálových podkladů a cenných rad.