

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní zaměření: Konstrukce průmyslové techniky

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Příslušenství pro vyvrtávání velkých průměrů a velkých vyložení na  
vyvrtávacích a frézovacích strojích

Autor: **Pavel BAKOWSKÝ**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Jaroslav Krátký Ph.D.**

Akademický rok 2012/2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel BAKOWSKÝ**  
Osobní číslo: **S10B0230P**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **Konstrukce průmyslové techniky**  
Název tématu: **Příslušenství pro vyvrtávání velkých průměrů na vyvrtávacích a frézovacích strojích**  
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Zpracovat rešerši technologického příslušenství a vypracovat návrh pro konkrétní zadání.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování konstrukčního návrhu včetně systémové specifikace požadavků a variant koncepčních návrhů, výběr optimálního řešení.
2. Zajištění klíčových vlastností konstrukčního návrhu s potřebnými technickými výpočty a hodnocením.
3. Vypracování potřebné technické dokumentace a technologického postupu.
4. Komplexní hodnocení navrženého řešení.



Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.** Příručka strojího inženýra: *Obecné strojí části 1.*  
Praha: Computer press, 2000

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J.** Příručka strojího inženýra: *Obecné strojí části 2.*  
Praha: Computer press, 2000

**KUBÍČEK, J.** *Konstrukce a výpočty obráběcích strojů.* Plzeň: ZČU, 1994

*Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Jaroslav Krátký, Ph.D.**

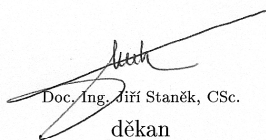
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Jaroslav Krátký, Ph.D.**

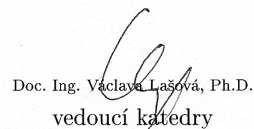
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **24. září 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. června 2013**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 24. září 2012

### **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

Tato bakalářská práce byla podpořena formou odborné konzultace Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky v rámci projektu č. CZ.1.07/2.3.00/35.0048 „Popularizace výzkumu a vývoje ve strojním inženýrství a jeho výsledků (POPULÁR)“

Odporným konzultantem byl doc. Ing. Jaroslav Krátký Ph.D., kterému děkuji za poskytnuté konzultace, kvalifikované rady a odbornou pomoc při sepsání této BP

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení:</b> Bakowský	<b>Jméno:</b> Pavel	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2341R001 „Konstrukce průmyslové techniky“		
<b>VEDOUCÍ PRÁCE</b>	<b>Příjmení:</b> Doc. Ing. Krátký Ph.D.	<b>Jméno:</b> Jaroslav	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Příslušenství pro vyvrtávání velkých průměrů a velkých vyložení na vyvrtávacích a frézovacích strojích		

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZDÁNÍ</b>	2013
----------------	---------	----------------	-----	----------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	<b>74</b>	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	<b>47</b>	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	<b>27</b>
---------------	-----------	---------------------	-----------	----------------------	-----------

<b>STRUČNÝ POPIS</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL, POZNATKY</b> <b>A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce obsahuje stručný popis metody vyvrtávání a potřebného příslušenství, vztahy pro návrh a kontrolu a konstrukční návrh vybrané části vyvrtávacího příslušenství
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	vyvrtávání, příslušenství, návrh vyvrtávacího zařízení

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname:</b> Bakowský	<b>Name:</b> Pavel	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2341R001 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname:</b> Doc. Ing. Krátký Ph.D.	<b>Name:</b> Jaroslav	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete hen not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Accessories for boring large diameters on boring and milling machines		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Mechine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2013
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and aq. A4)

<b>TOTALY</b>	<b>74</b>	<b>TEXT PART</b>	<b>47</b>	<b>GRAPHICAL PART</b>	<b>27</b>
---------------	-----------	------------------	-----------	-----------------------	-----------

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This work include a descripútion of a technological proces of boring, boring attachments and design of a boring hrad
<b>KEY WORDS</b>	boring, attachment, draft

# Obsah

1	Analýza problému .....	8
1.1	Vyvrátání.....	8
1.1.1	Operace .....	8
1.2	Vyvrátavačky .....	9
1.2.1	Stolové.....	9
1.2.2	Deskové .....	9
1.2.3	Souřadnicové vyvrátavačky.....	9
1.3	Řezné pohyby .....	10
1.4	Geometrie vyvrátacího nože .....	10
2	Popis pracoviště vyvrátání .....	11
2.1	Základní části obráběcích strojů.....	11
2.1.1	Rám stroje .....	11
2.1.2	Pohony obráběcích strojů.....	11
2.1.3	Spojení.....	12
2.1.4	Pomocné funkce.....	15
2.2	Stolová vyvrátavačka.....	16
2.3	Desková vyvrátavačka .....	17
3	Technologické příslušenství.....	18
3.1	Vyvrátací hlava.....	18
3.2	Frézovací hlava .....	18
3.3	Vrtací hlava .....	19
3.4	Brusná hlava .....	19
4	Vyvrátací zařízení .....	20
4.1	Popis vyvrátací hlavy.....	20
4.2	Schéma vyvrátací hlavy.....	21
5	Teoretická část .....	22
5.1	Základní parametry vyvrátacího zařízení.....	22
5.2	Řezná síla .....	22
5.2.1	Výpočet jednotlivých složek řezné síly .....	22
5.2.2	Výpočet výsledné řezné síly.....	23
5.3	Řezná rychlost .....	23
5.4	Měrná řezná síla .....	23
5.5	Šroubový spoj.....	23

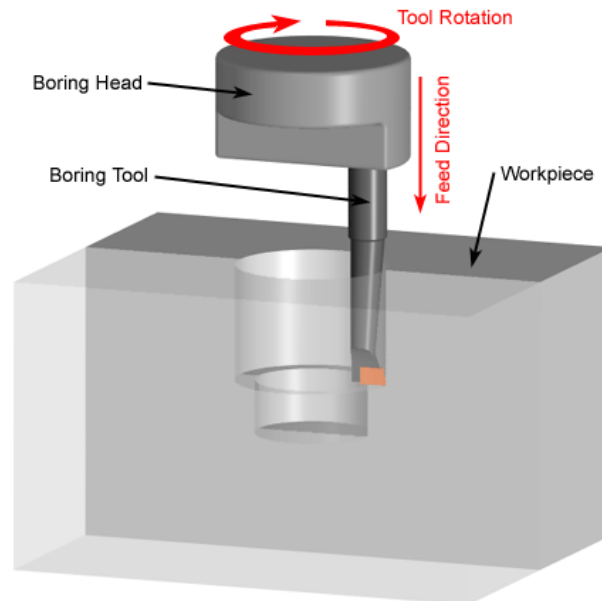


5.5.1	Namáhání šroubu .....	24
5.5.2	Utahovací moment.....	25
5.5.3	Účinnost šroubového poje .....	25
5.5.4	Předeprnuté šroubové spoje .....	25
5.6	Výpočet sil ve vedení.....	27
5.7	Výpočet ozubených kol .....	28
5.7.1	Základní parametry pro normalizované ozubení .....	28
5.7.2	Základní rozměry přímých vnějších nekorigovaných kol.....	28
6	Návrh vyvrtávacího zařízení pro zadané parametry .....	31
6.1	Zadané parametry .....	31
6.2	Konstrukční provedení .....	31
6.2.1	Volba konstrukční varianty.....	31
6.2.2	Tuhostní kontrola pro nosné těleso .....	32
6.2.3	Kontrola průhybu nosného tělesa.....	32
6.3	Výpočet posuvové síly .....	33
6.3.1	Pomocné výpočet pro zjištění neznámých .....	33
6.3.2	Posuvová síla .....	34
6.4	Návrh ozubeného kola .....	34
6.5	Výpočty šroubových spojů .....	38
6.5.1	Přípevnění tělesa vyvrtávací hlavy .....	38
6.5.2	Přípevnění vyvrtávacího zařízení k pinole stroje.....	39
6.6	Volba ložisek.....	41
6.6.1	katalogový list ložisek:.....	41
6.6.2	3D model ložiska:.....	41
6.7	Přeprava vyvrtávací hlavy.....	42
6.8	Celkový pohled na sestavu .....	42
7	Závěr .....	45
8	Bibliografie .....	46
9	Seznam příloh .....	47

# 1 Analýza problému

## 1.1 Vyvrtávání

Vyvrtáváním rozumíme technologický proces sloužící ke zvětšení nebo zlepšení povrchu předem zhotovené díry (předkováním, předlitím, předvrtáním atd.). Lze provádět hrubování i jemné obrábění. Vyvrtáváním se může obrábět geometrický tvar válce nebo kužele, obrábět čelní plochy, také lze vyrobit vnitřní závity a zápichy. K obrábění se používá obráběcí tyč. Na konci vyvrtávací tyče se nachází obráběcí nůž (břit). Vyvrtávací tyč je upnuta do vyvrtávací hlavy, která je upnuta do vyvrtávacího stroje. [1]



Obrázek 1-1 Vyvrtávání [2]

Workpiece - obrobek

Boring Tool - vyvrtávací nástroj

Boring Head - vyvrtávací hlava

Tool Rotation - rotace nástroje

Feed Direction - směr posuvu

### 1.1.1 Operace

#### 1.1.1.1 Hrubování

Při této operaci dochází k velkému úběru materiálu tedy k velkému zvětšení průměru díry. Při hrubování dosahujeme nižších přesností a velkých drsností povrchu. Jsou vyšší nároky na tuhost stroje. [3]

#### 1.1.1.2 Jemné vyvrtávání

Jedná se o dokončovací operaci následující po hrubování, jejímž cílem je zlepšení kvality povrchu (geometrických a rozměrových tolerancí) [3]

## 1.2 Vyvrtávačky

Zde jsou uvedeny základní typy vyvrtávaček, dnes se používají vyvrtávací centra, která jsou kombinací těchto uvedených strojů (např. desková vyvrtávačka s pohyblivým stolem apod.) řízená počítačem.

### 1.2.1 Stolové

Stolové vyvrtávačky se skládají z lože, na kterém jsou umístěny podélné saně (zajišťují pohyb stolu kolmo k loži) a v nich samotný pracovní stůl, pracovní stůl může být opatřen otočným mechanismem. Na loži je umístěn nepohyblivý stojan, popřípadě opěrný stojan (slouží k vedení vyvrtávací tyče). Na stojanu se ve vedení pohybuje vřeteník, který zajišťuje hlavní řezný pohyb a polohu nástroje vzhledem k obrobku, ve vřeteníku se nachází vrtací a frézovací vřeteno. [1]



Obrázek 1-2 Stolová vyvrtávačka [13]

### 1.2.2 Deskové

Deskové vyvrtávačky oproti stolovým nemají pohyblivý pracovní stůl. Obrobek je upnut na nepohyblivé pracovní desce, okolo které se na loži pohybuje stojan vyvrtávacího zařízení. Na stojanu se ve vedení pohybuje vřeteník.



Obrázek 1-3 Desková vyvrtávačka [8]

### 1.2.3 Souřadnicové vyvrtávačky

Tyto vyvrtávačky jsou určeny k výrobě otvorů přesných rozměrů a roztečí, také je lze používat pro kontrolu rozměrů obroku. Vyrábějí se s vodorovnou nebo svislou osou vřetena. Dle konstrukčního provedení mohou být jednojstanové nebo dvojstojanové.



Obrázek 1-4 Souřadnicová vyvrtávačka [9]

### 1.3 Řezné pohyby

Hlavní řezný pohyb rotační vykonává nástroj (vyvrtávací tyč upnutá ve vyvrtávací hlavě). Posuv je zajištěn pohybem - výsunem - vyvrtávací hlavy z vřetena nebo pohybem obrobku, upnutým na pracovním stole, proti nástroji. Oba pohyby lze kombinovat pro dosažení optimálních výsledků (při velkém vysunutí nástroje může dojít k nepřesnostem způsobeným průhybem hlavy, jelikož s délkou výsunu narůstá i síla působící na vyvrtávací tyč, velikost průhybu závisí na tuhosti vyvrtávací hlavy). Přísuv je zajištěn výsunem obráběcího nástroje z vyvrtávací hlavy

### 1.4 Geometrie vyvrtávacího nože

Vyvrtávací nůž umístěn na vyvrtávací tyči má geometrii shodnou se soustružnickým nožem.

$P_r$  - nástrojová základní rovina

$P_f$  - nástrojová boční rovina

$P_p$  - nástrojová zadní rovina

$P_s$  - nástrojová rovina ostří

$P_o$  - nástrojová ortogonální rovina

$\alpha$  - nástrojový úhel hřbetu

$\gamma$  - nástrojový úhel čela

$\beta$  - nástrojový úhel břitu

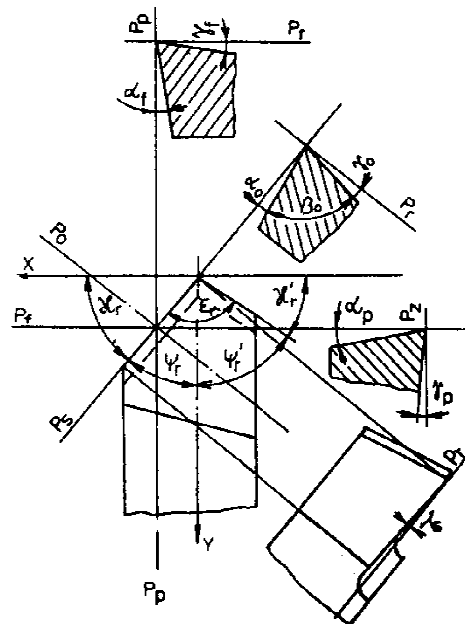
$\kappa_r$  - nástrojový úhel nastavení

$\psi_r$  - nástrojový doplňkový úhel nastavení

$\lambda_s$  - nástrojový úhel sklonu ostří

$\varepsilon_r$  - nástrojový uhel špičky

$r_\varepsilon$  - poloměr špičky



Geometrie nože [1]

## 2 Popis pracoviště vyvrtávání

### 2.1 Základní části obráběcích strojů

Základním požadavkem na obráběcí stroj je držet obrobek v přesné poloze vůči obráběcímu nástroji a to jak v klidu tak i (a to především) za chodu stroje. Obráběcí stroj musí také vyvinout potřebný výkon k obrábění obrobku. Tedy obráběcí stroj sestává z několika částí, každá z těchto částí plní určitou funkci: [4]

#### 2.1.1 Rám stroje

Rámem obráběcího stroje rozumíme soustavu těles, které mezi sebou přenášejí účinky statických i dynamických sil. Na rám jsou kladeny požadavky: [4]

##### 2.1.1.1 Statická tuhost

Hodnota statické tuhosti musí být dostatečná, aby vzniklé deformace nepřekročili dovolené hodnoty vzhledem k rozměrům obrobku. Části rámu musí mít stálou polohu a tvar. Hodnota statické tuhosti ovlivňuje i dynamické chování stroje. [4]

##### 2.1.1.2 Dynamická stabilita

Dynamická stabilita zabezpečuje odolnost proti chvění stroje. Chvění stroje je způsobováno povrchem obráběné plochy obrobku. Měřítkem stability stroje je maximální hloubka odebírané třísky, tato hodnota musí být větší než maximální dovolená hloubka odebírané třísky za určitých podmínek.

Mezi další požadavky na rám lze zařadit tepelnou stabilitu, snadnou manipulaci s výrobkem či plochu zakrytou strojem.

Rám může být dělený (části jsou spojeny předepjatými spoji) nebo nedělený, které jsou použity u menších strojů (jelikož u velkých strojů by části byly hmotné). Z hlediska tvaru lze rám rozdělit na otevřený a uzavřený. Uzavřený rám se vyznačuje lepší tuhostí, ovšem pracovní prostor je omezen a přesně vymezen. Co se materiálu týče, je zapotřebí, aby materiál měl vysoký modul pružnosti a co možná nejnížší hustotu, malý koeficient tepelné roztažnosti a dobrou tepelnou vodivost, aby byl zajištěn dobrý odvod tepla. [4]

#### 2.1.2 Pohony obráběcích strojů

Pohonný systém stroje přeměňuje vstupní energii na energii mechanickou. Tento systém se skládá z hnacího členu a převodového mechanismu. Hnací systém zajišťuje změnu rozsahu výstupních veličin. [4]

##### 2.1.2.1 Hlavní pohonný systém

Hlavní pohonný systém zabezpečuje hlavní řezný pohyb. Musí umožňovat nastavení řezných rychlostí v určitém rozsahu a přesnosti. V celém rozsahu rychlostí musí dodávat konstantní výkon. Dalším požadavkem je zajištění reverzního pohybu. [4]

##### 2.1.2.2 Vedlejší pohonný systém

Vedlejší pohonný systém zabezpečuje vedlejší řezný pohyb, většinou posuvný pohyb. Tento systém musí být dostatečně výkonný k překonání řezných, setrvačných a třecích sil a to v celém rozsahu rychlostí. Části stroje se musí pohybovat plynule a zabezpečovat přesnou polohu pohybové části stroje. [4]

### 2.1.2.3 Pomocné pohony

Zajišťují manipulační, upínací a přídatné funkce jako například dopravník třísek nebo výměna nástrojů

### 2.1.2.4 Motor

Motor je základní část pohonného systému, který transformuje vstupní energii na energii mechanickou. Podle vstupní energie mohou být děleny na:

- hydromotory
- elektromotory

Motor je charakterizován výstupními veličinami, což jsou:

- kroutící moment
- jmenovité otáčky

[4]

### 2.1.2.5 Převod

Mechanické převody vytvářejí kinematickou a silovou vazbu mezi hnacím a hnaným členem, pohyb může být přenášen přímou vazbou (třecí či ozubená kola) nebo nepřímou vazbou (řemen či řetěz). Nejčastějším mechanismem pro změnu otáček je použití ozubených kol. [4]

## 2.1.3 Spojení

Spojením se rozumí vzájemná souvislost dílů stroje. Podle charakteru mohou být spojení:

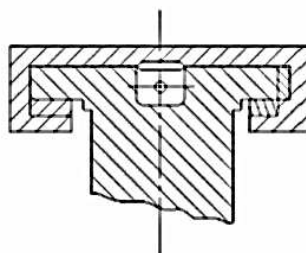
- spojení pohyblivá
  - rovinné vedení částí stroje
  - rotační uložení částí stroje
- spojení pevná
  - spojovací prvky
  - spojovací mechanismy

### 2.1.3.1 Rovinné vedení

Systém vodících ploch stroje, kde se stýkají pohyblivé části stroje. Toto vedení musí zajistit pohyb jednotlivých částí po geometricky přesných drahách. Mezi základní funkce patří jednak zabezpečení polohy, ale také přenos zatížení z jedné části stroje na další. Základní tvary vedení jsou: [4]

#### 2.1.3.1.1 Ploché vedení

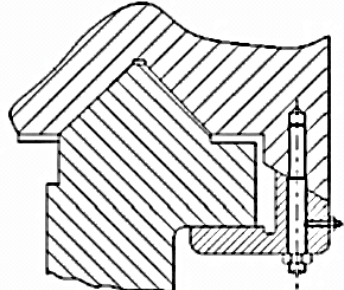
Toto vedení má vysokou účinnost, lze ho použít pro zachycení velkých sil a momentů. Hlavní tlak zachycuje horní plocha, svislé plochy zachytí stranové tlaky, síly vzhůru zachytí lišty připevněné na spodní straně plochy [4]



Obrázek 2-1 Ploché vedení [4]

#### 2.1.3.1.2 Prizmatické vedení

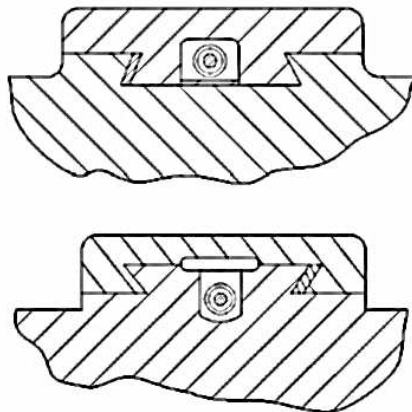
Vrcholový úhel se většinou pohybuje v rozmezí 70-120°. Výhodou tohoto vedení je jednoduché mazání. Většinou se toto vedení používá pouze na jedné straně vodících ploch, jelikož oboustranné provedení by se obtížně lícovalo. [4]



Obrázek 2-2 Prizmatické vedení [4]

#### 2.1.3.1.3 Rybinové vedení

Úhel sklonu je většinou 55°, lze ho navrhnout ve vnějším i vnitřním provedení. Velkou výhodou tohoto vedení je nízká konstrukční výška, avšak má větší třecí účinky než ploché vedení. Vůle se vymezuje po jedné straně vedení. [4]



Obrázek 2-3 Rybinové vedení [4]

### 2.1.3.2 Uložení

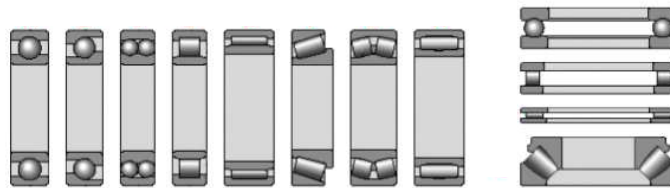
Funkcí tohoto spojení je zabezpečení relativního pohybu mezi pevnou a rotující částí stroje a zachycení působících sil. K tomuto účelu slouží ložiska, která lze rozdělit do dle provedení:

- kluzná
  - s bodovým stykem
  - s čárovým stykem
- valivá
- hydrostatická, aerostatická ložiska

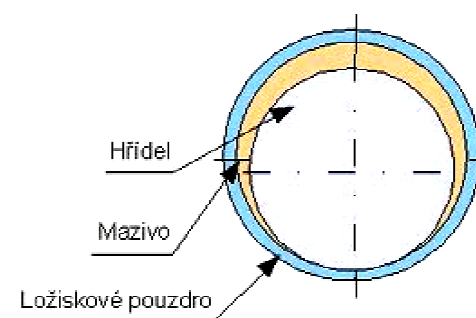
a každou skupinu lze rozdělit dle přenášených sil na:

- radiální
- axiální
- kombinované

Valivá ložiska využívají valivého tření. Jsou výhodné díky malému tření (malé oteplování), také mají vysokou tuhost a snesou vysoké otáčky. Mají větší citlivost na rázy a špatně tlumí chvění. Jako valivý element lze použít kuličky, válečky, kuželíky nebo jehly. [4]



Kluzná ložiska využívají hydrodynamické tření, toto tření vzniká až při určitých otáčkách, což může vést k zadření ložisek při rozběhu stroje. Také dochází k většímu oteplování než u ložisek valivých.



Obrázek 2-5 Kluzné ložisko - řez [4]



Hydrostatická ložiska využívají jako nosné médium olejové vrstvy, které je přiváděna pod tlakem do ložiska. Aerostatická ložiska využívají vzduch. Tyto ložiska mají vysokou tuhost, klidný chod, malý součinitel tření a minimální opotřebení. Ložiskům se musí zajistit plynulý přívod oleje (vzduchu) a jejich provoz je nákladný (chod olejového (vzduchového) hospodářství). [4]

### **2.1.3.3 Pevné spojení**

Pro pevné spojení se používají mnohé způsoby, lze je rozlišit:

- Spoje se spojovacími prvky
  - čepy
  - kolíky
  - pera a klíny
  - drážky
- Spoje s využitím tření
  - nalisování
  - sevření
- Spoje s využitím přídavného materiálu
  - svary
  - pájené spoje
- Lepené spoje
- Spoje s předepjatými elementy
  - šrouby
  - zděře

[4]

## **2.1.4 Pomocné funkce**

### **2.1.4.1 Mazání**

Hlavní funkcí mazání je snížení opotřebení funkčních ploch, v převodových mechanismech pak snížení hlučnosti. Na stroji jsou místa, která vyžadují nepřetržité mazání, jako spojky, ložiska či vodící plochy, a také místa, kterým stačí přetržité mazání. [4]

### **2.1.4.2 Chlazení**

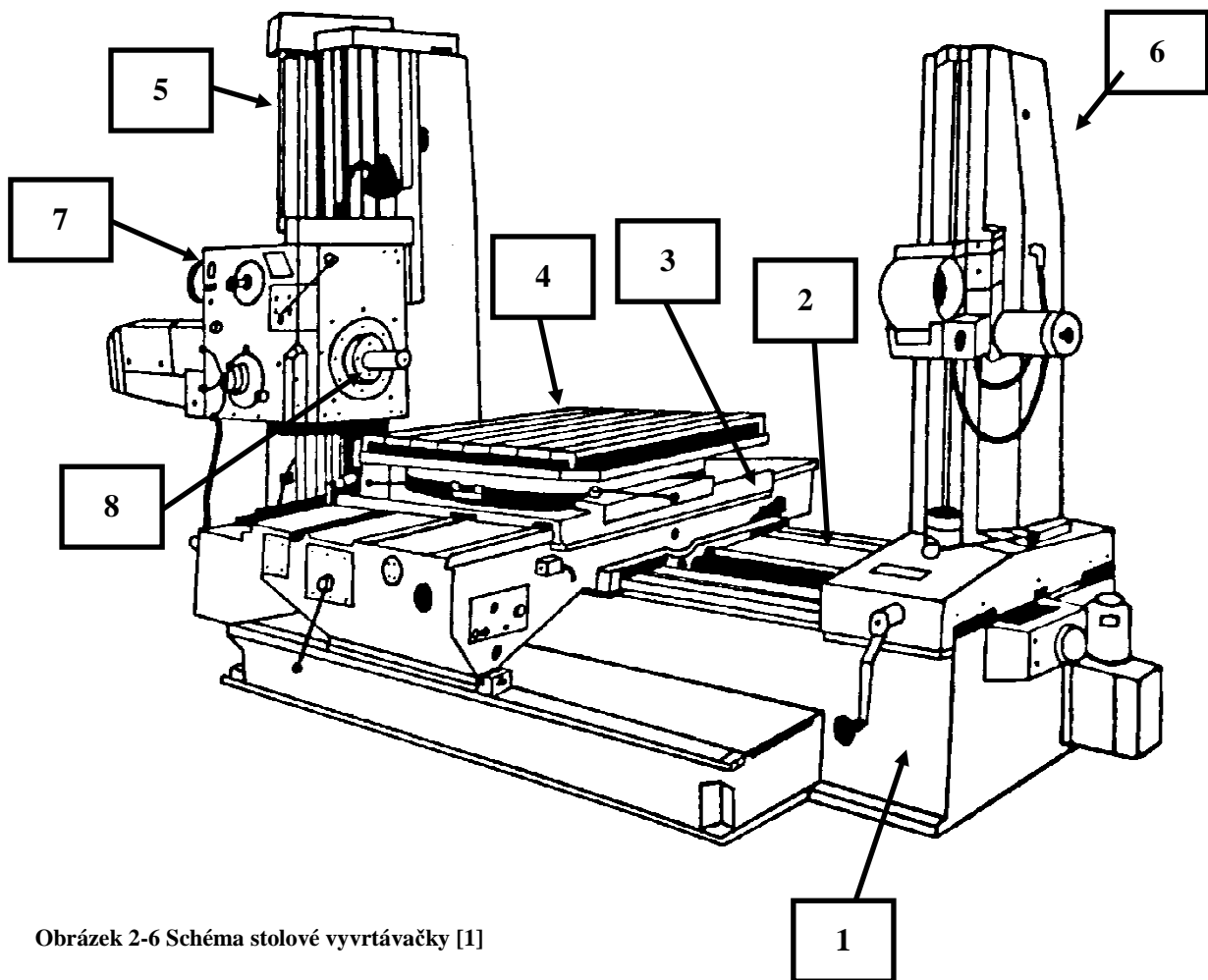
Hlavní funkcí je odvod tepla z prostoru obrábění. Také napomáhá odvodu třísek z obráběné plochy a zvyšuje mazací účinek. Jako chladicí kapalina se používá:

- vodní roztok
- minerální a mastný organický olej
- emulsní kapalina

Chladicí soustava sestává z čerpadla (většinou s vlastním zdrojem, čerpadlo je ponorné a samonasávací), nádrží, přívodních a vývodních hadic, potrubí, filtračních a sedimentačních zařízení a svodných žlabů.

[4]

## 2.2 Stolová vyvrtávačka

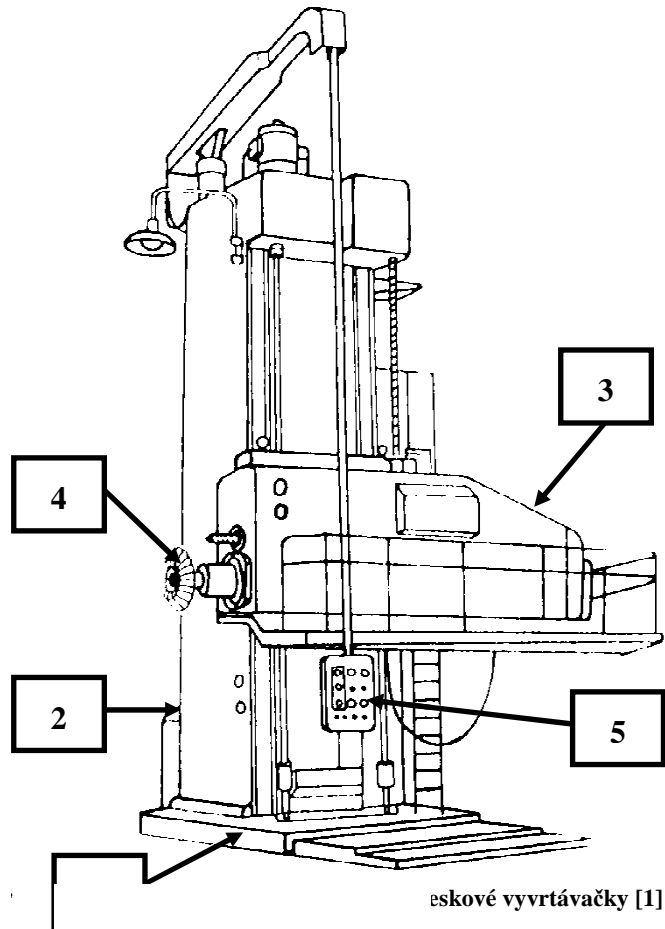


Obrázek 2-6 Schéma stolové vyvrtávačky [1]

1. lože – základ samotného stroje, na loži jsou umístěny saně pro pracovní stůl, je zde pevně upevněn stojan a pohyblivě pomocný stojan.
2. podélné saně – umožňují pohyb pracovnímu stolu v ose posuvu nástroje.
3. stolové saně – umožňují pohyb pracovnímu stolu ve směru přísuvu (avšak přísuv je vykonáván vysunutím nože z nožové hlavy).
4. pracovní stůl – na pracovní stůl se upíná obrobek, pracovní stůl může být otočný díky kruhovému „točnicku“, který je upevněn mezi stolovými saněmi a pracovním stolem, zajišťuje otočení stolu o 360°. Díky této technologii lze obrábět povrch obrobku ze všech stran bez přeupínání obrobku. Pohyb pracovního stolu po saních je zajištěn pohybovým šroubem uloženým v loži stroje (otáčením šroubu se stůl pohybuje po saních).
5. stojan – na stojanu se pohybuje ve svislém směru vřeteník, pohyb je zajištěn pohybovým šroubem.
6. pomocný stojan – pomocný stojan je pohyblivě uložen na loži (pomocí saní), je opatřen výškově nastavitelným ložiskem pro vedení vyvrtávací tyče
7. vřeteník – pohon vyvrtávacího zařízení, na vřeteníku lze regulovat otáčky nástroje
8. vřetena – frézovací a vrtací vřeteno stroje, slouží pro upnutí vyvrtávací hlavy, obě vřetena rotují

## 2.3 Desková vyvrtávačka

1. lože – nepohyblivá část stroje, která je pevně připevněna k podlaze
2. stojan – pohybuje se po loži, v podélném směru k obrobku, na stojanu je umístěn vřeteník, který se pohybuje ve svislém směru pomocí pohybového šroubu.
3. vřeteník - pohon vřetena vyvrtávacího stroje, z vřeteníku se vysouvají vřetena stroje
4. vřetena - frézovací a vrtací vřeteno stroje, slouží pro upnutí vyvrtávací hlavy, obě vřetena rotují
5. ovládací panel – panel pro obsluhu stroje, v dnešní době nahrazen počítačem (CNC)



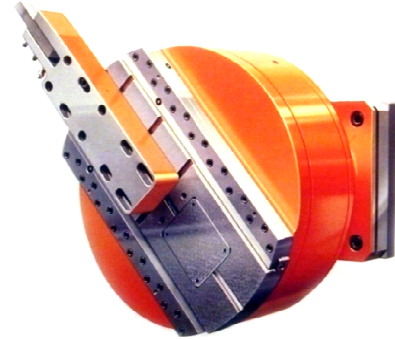
deskové vyvrtávačky [1]

### 3 Technologické příslušenství

Jak již bylo zmíněno, na vyvrtávacích strojích lze aplikovat řadu technologických operací mimo samotného vyvrtávání, pro každou zvláštní operaci je zapotřebí speciální nástrojová hlava, která je upnuta do vřetena vyvrtávacího stroje.

#### 3.1 Vyvrtávací hlava

Základní vyvrtávací příslušenství na tvorbu kruhových děr, vnějších čelních ploch včetně srážení hran a řezání závitů. Hlava je upevněna pomocí upínacích kolíků/šroubů (dle provedení hlavy) ve vřetenu. Na konci hlavy je na saních umístěn obráběcí nůž či vyvrtávací tyč. Nožové saně lze vysunout a tak nastavit požadovaný přísuv nástroje (průměr obrábění). Maximální obráběný průměr je dán maximálním vysunutím nožových saní a délkou nástroje.



Vyvrtávací hlava [11]

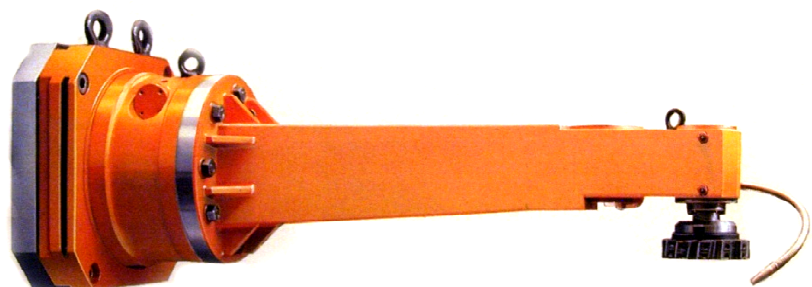
#### 3.2 Frézovací hlava

Příslušenství umožňující obrábění rovinných ploch (vnitřních i vnějších), hlava je upnuta ve vřetenu pomocí upínacích kolíků/šroubů. Frézovací hlavy se vyrábí v provedení s jedním nebo dvěma stupni volnosti. Hlavu lze otáčet v rovině rovnoběžné s čelem ramena v rozmezí 0°-360° (hlava s jedním stupněm volnosti). Úhel natočení lze zjistit s úhelníku vybaveným noniusem. S dvěma stupni volnosti můžeme frézovací hlavu natáčet ve dvou na sebe kolmých rovinách v každé v rozmezí 0°-360°, s narůstajícím počtem stupňů volnosti ovšem může poklesnout tuhost nástroje. Frézy lze na hlavě libovolně měnit, jelikož hlava je vybavena Morse kuželem. Chladicí kapalina je přiváděna (většinou) vnitřkem hlavy, vyústění je co nejbližší pracovnímu prostoru.



upni volnosti [12]

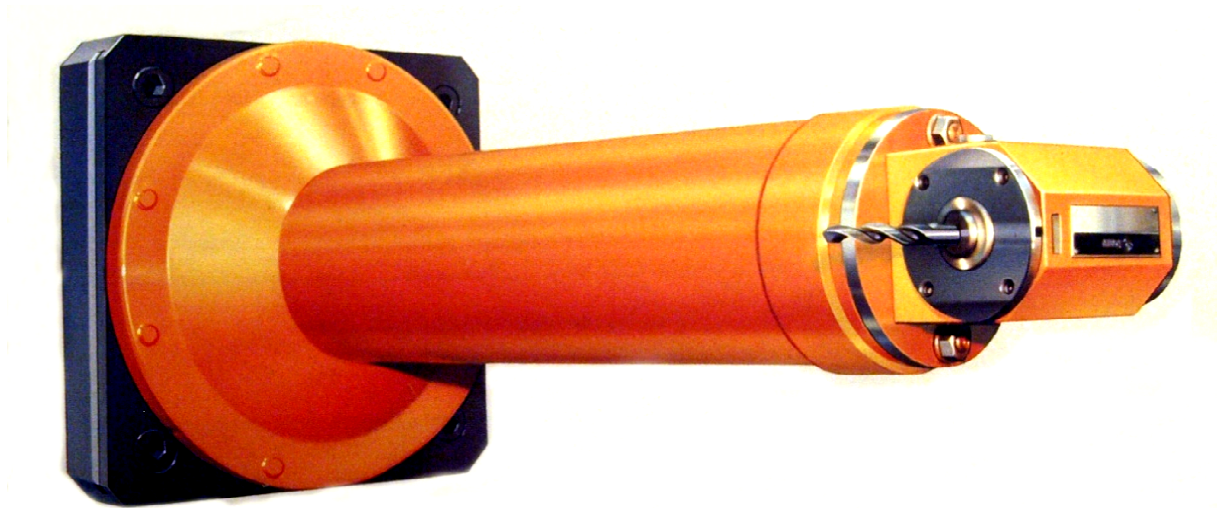
Obrázek 3-3 Frézovací hlava [12]



ava [12]

### 3.3 Vrtací hlava

Příslušenství pro vrtání děr v těžko přístupných místech nebo v místech s malým pracovním prostorem. Vrták je umístěn na rameni, které je připevněno ve vřetenu stroje (šrouby/kolíky). Vrták lze otáčet v rovině rovnoběžné s čelem ramena. Úhel natočení lze odečíst z úhloměru. Přívod chladicí kapaliny je vyřešen vnitřkem ramena.



Obrázek 3-5 Vrtací hlava [5]

### 3.4 Brusná hlava

Příslušenství pro broušení rovinných ploch. Operace broušení se používá pro zlepšení kvality povrchu. Brusná hlava obsahuje převod otáček, jelikož broušení probíhá při vysokých otáčkách, které vyvrtávací stroj nevyvine.

## 4 Vyvrtávací zařízení

### 4.1 Popis vyvrtávací hlavy

Vyvrtávací hlava je upnuta pomocí dvou vřeten vyvrtávacího stroje, vrtacího a frézovacího. Vrtací vřeteno je opatřeno kuželem Morse, k frézovacímu vřetenu je vyvrtávací hlava připevněna šrouby a přenos točivého momentu zajišťují unášecí kameny. Vyvrtávací hlava sestává ze dvou částí (nosné části a hřídele spojené s vřetenem stroje), obě části rotují.

Hřídel spojená s vřetenem stroje (Morse kuželem) je spojena s ozubeným hřebenem. Nad ozubeným hřebenem je umístěno ozubené kolo (či ozubený segment), které je otočně připevněno k tělesu vyvrtávací hlavy. Druhý hřeben je připevněn k posuvným saním, na které lze upevnit pracovní nástroj. Výsunem hřídele dojde k posunu ozubeného hřebenu, který přes ozubené kolo pohybuje ozubeným hřebenem připevněným k posuvným saním. Maximální výsun posuvných saní je nazýván pracovní zdvih.

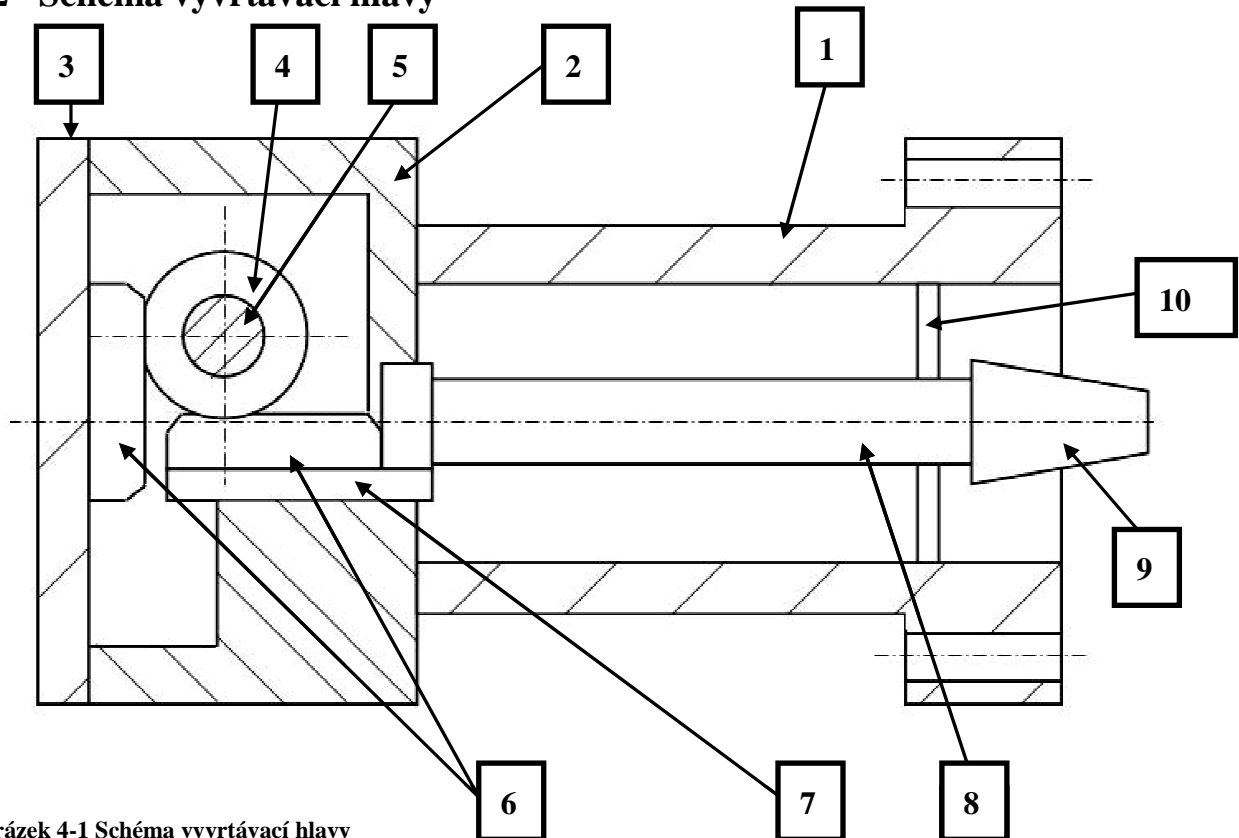
Jelikož přesnost ozubeného převodu by nezajistila přesnou polohu posuvných saní (jelikož je mezi zuby vůle) a tudíž by nebyla dosahována požadovaná přesnost obrábění, je tento mechanismus zdvojen. Tzn., že jsou ve vyvrtávací hlavě umístěny dva ozubené hřebeny připevněné k hřídeli spojené s vřetenem stroje, dvě ozubená kola (otočně uložená) a dva hřebeny na posuvných saních. Samotné zdvojení mechanismu by nezajistilo vyšší přesnost, respektive snížení vůlí, toho je dosaženo pomocí předepnutí jednotlivých hřebenů. Předepínány jsou ozubené hřebeny spojené s hřídelí a to pomocí talířových pružin umístěných v přírubě na hřídeli spojené s vřetenem stroje. Hřebeny jsou předepnuty tak, aby každý byl ve styku s ozubeným kolem jiným bokem zubu, tím se odstraní vůle mezi zuby hřebenů a ozubenými koly. Hřebeny lze předepnout také elektromagneticky.

Krom použití ozubených hřebenů lze použít také pohybový šroub a matici, kde výsunem pohybového šroubu dochází k roztáčení matice, pomocí které se vysouvají posuvné saně. Tento princip ovšem nemá velkou účinnost, jelikož pohybový šroub musí mít velké stoupání, což ovšem znamená, že k natáčení matice je zapotřebí velké délky pohybového šroubu.

Z uvedeného popisu vyplývá, že při obrábění rotují všechny komponenty vyvrtávací hlavy, všechny komponenty také musí rotovat stejnými otáčkami, ovšem musí být umožněn posuv hřídele spojené s vřetenem stroje. Kroutící moment je přenášen pomocí unášecích kamenů, které musejí být umístěny mezi všemi spojovanými částmi tak, aby žádný šroubový spoj nebyl namáhán smykem.

Pro zvýšení tuhosti vyvrtávací hlavy je používáno nosné nerotující těleso (tzv. „rukáv“), který je připevněn k pinole stroje. Jedná se o nerotační součást, která nese váhu celého zařízení. Tohoto zařízení se používá u vyvrtávacích hlav s velkým vyložení

## 4.2 Schéma vyvrtávací hlavy



Obrázek 4-1 Schéma vyvrtávací hlavy

1. nosný rám vyvrtávací hlavy (rotující) - otvory v levé části slouží k upnutí vyvrtávací hlavy do frézovacího vřetena stroje, zde jsou také umístěny unášecí kameny pro přenos momentu
2. těleso vyvrtávací hlavy - zde je umístěn ozubený mechanismus vysouvající nožové saně
3. nožové saně - slouží k upevnění nástroje
4. ozubené kolo
5. hřídel ozubených kol - pevně spojená s tělesem vyvrtávací hlavy, jsou na ní umístěny ozubená kola (otočně) a vymezení kroužky, které určují přesnou polohu ozubených kol na hřídeli
6. ozubené hřebeny
7. držák ozubených hřebenů spojený s hřídelí spojenou s vřetenem stroje - obsahuje dvojici ozubených hřebenů, jeden pevně spojen s držákem a druhý uložen pohyblivě obsahující talířové pružiny, tento hřeben je spojen s držákem přes přírubu pomocí šrouby, aby mohl být předepnut, tento hřeben je umístěn na kluzné destičce kvůli minimalizaci tření
8. hřídel spojená s vřetenem stroje
9. Morse kužel - spojuje hřídel spojenou s vřetenem stroje s vrtacím vřetenem stroje
10. nosný disk - zabraňuje prohnutí hřídele spojené s vřetenem stroje

Těleso vyvrtávací hlavy je spojeno s nosnou částí pomocí šroubů a unášecích kamenů, jejich počet závisí na velikosti vyvrtávací hlavy a na přenášeném zatížení. Vyvrtávací hlava obsahuje také soustavu mazacích kanálků, které přivádějí mazivo (olej) do všech částí s výskytem tření (např. mezi ozubená kola a jejich nosnou hřídel)

## 5 Teoretická část

### 5.1 Základní parametry vyvrtávacího zařízení

- a) zatížení
  - a. maximální točivý moment
  - b. maximální řezná síla, jedná se o maximální sílu, jakou můžeme vyvrtávací hlavu zatížit při obrábění.
- b) rozsah otáček
- c) rozsah průměru obrábění
- d) pracovní zdvih, jedná se o velikost výsuvu posuvných saní z vyvrtávací hlavy

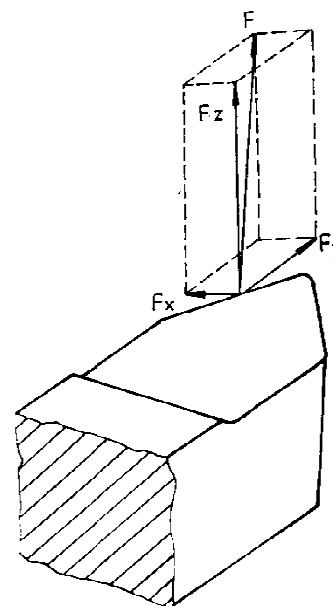
### 5.2 Řezná síla

Řeznou silou se rozumí síla potřebná k překonání řezného odporu, což je odpor, který vzniká při silovém oddělování třísky nástrojem. Řeznou sílu můžeme rozdělit do 3 směrů, které odpovídají řezným pohybům:

$F_x$  – posuvová síla (značená také  $F_f$ ), působící ve směru posuvu (výsuv vyvrtávací hlavy z vřetena nebo pohyb obrobku proti nástroji).

$F_y$  – pasivní síla (značena také  $F_p$ ), působící ve směru přísuvu (vysunutí nože z nožové hlavy).

$F_z$  – řezná síla (značená také  $F_c$ ), která působí ve směru hlavního řezného pohybu (rotace nástroje). Tato složka je velikostně největší a je důležitá pro stanovení výkonu obráběcího stroje. [1]



5-1 Řezné síly na noži [1]

#### 5.2.1 Výpočet jednotlivých složek řezné síly

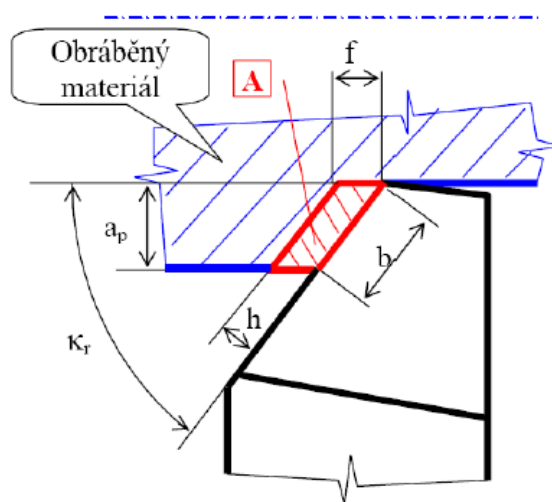
##### 5.2.1.1 Řezná síla

##### 5.2.1.2 Posuvová síla

##### 5.2.1.3 Pasivní síla

- $a_p$  – šířka záběru v mm
- $f$  – posuv na otáčku v mm
- $C_i$  – měrný řezný odpor
- $x_i$  – exponenty vlivu  $a_p$
- $y_i$  – exponenty vlivu  $f$

[6]



řezací nůž v řezu [6]



### 5.2.2 Výpočet výsledné řezné síly

Vzorec pro výpočet výsledné řezné síly vychází z Pythagorovy věty, jelikož složky výsledné síly  $F$ [N] jsou na sebe kolmé.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

### 5.3 Řezná rychlost

Řezná rychlost při vyvrtávání závisí na počtu otáček a průměru vyvrtávaného otvoru, lze spočítat vztahem:

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

kde  $D$  je průměr vyvrtávané díry v mm a  $n$  je počet otáček za minutu. Obvykle použít doporučené hodnoty podle zvolené břitové destičky.

### 5.4 Měrná řezná síla

Je definována jako řezná síla vztahená na plochu řezu, tedy:

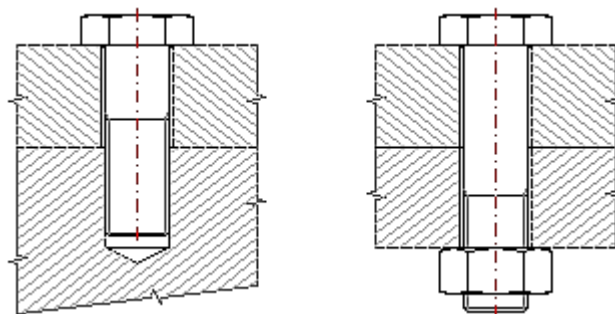
$$k_c = \frac{F_z}{A_d}$$

kde  $A_D$  lze stanovit:

$A_d = a_p \cdot f$  nebo:  $A_d = h \cdot b$  jelikož se jedná o výpočet plochy kosodélníku pokaždé se stejným výsledkem (viz obr. výše).

$a_p$  – šířka záběru v mm  
 $f$  – posuv na otáčku v mm  
 $h$  – tloušťka odebírané vrstvy  
 $b$  – šířka odebírané vrstvy  
[6]

### 5.5 Šroubový spoj



Obrázek 5-3 šroubový spoj [14]

### 5.5.1 Namáhání šroubu

Šroub je namáhán trojím typem zatížením, tahem a tlakem v závitu od osově síly působící na šroub, tahem a krutem při utahování a povolování utahovacím momentem a také ohybem je-li matice na nerovné ploše. [7]

#### 5.5.1.1 Tah od osově síly $F_1$

$$\sigma_t = \frac{F_1}{S} < \sigma_D \text{ [MPa]}, \quad S \in \min\{S_j, S_d\}$$

za průřez  $S$  [mm<sup>2</sup>] se volí menší z hodnot  $S_j$  (průřez jádra šroubu) a  $S_d$  (průřez dřívku šroubu), tyto hodnoty se vypočtou podle následujících vztahů:

$$S_j = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad S_d = \frac{\pi \cdot d_d^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]}$$

#### 5.5.1.2 Tlak v závitě od osově síly $F_1$

$$p_z = \frac{F_1}{S_z} < p_D \text{ [MPa]}$$

kde  $S_z$  [mm<sup>2</sup>] je plocha závitu, která je definována vzorcem:

$$S_z = (0,5 \div 0,75) \cdot \pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot n_z, \quad n_z = \frac{L_m}{p_h}$$

- $H_1$  - styková výška závitu
- $n_z$  - počet závitů
- $L_m$  - výška matice
- 0,5 - méně přesné šrouby (spojovací šrouby)
- 0,75 - přesné šrouby (pohybové)

#### 5.5.1.3 Tah od předepínací síly $F_p$

$$\sigma_{tp} = \frac{F_p}{S} < \sigma_D \text{ [MPa]}, \quad S \in \min\{S_j, S_d\}$$

za průřez  $S$  [mm<sup>2</sup>] se volí menší z hodnot  $S_j$  (průřez jádra šroubu) a  $S_d$  (průřez dřívku šroubu), tyto hodnoty se vypočtou podle následujících vztahů:

$$S_j = \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2}{4} \quad S_d = \frac{\pi \cdot d_d^2}{4}$$

#### 5.5.1.4 Krut od momentu v závitě

$$\tau_k = \frac{M_z}{W_k}, \quad W_k = \frac{\pi \cdot d_{min}^3}{16}, \quad d_{min} \in \min\{d_3, d_d\}$$

kde  $M_z$  je moment třecího odporu v závitě v MPa (výpočet uveden níže) a  $W_k$  průřezový modul v krutu. Za  $d_{min}$  [mm<sup>3</sup>] volíme menší z hodnot  $d_3$  (jádra) a  $d_d$  (dřívku).

### 5.5.1.5 Redukované napětí

Z hodnot  $\tau_k$  a  $\sigma_{tp}$  lze vypočítat hodnotu redukovaného napětí u předepnutého šroubového spoje, která nesmí přesáhnout hodnotu dovoleného napětí  $\sigma_D$ :

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 4 \cdot \tau_k^2} < \sigma_D [\text{MPa}]$$

### 5.5.2 Utahovací moment

Utahovací moment  $M_u$  [Nm] je roven součtu momentu třecího odporu v závitu  $M_z$  [Nm] a momentu třecího odporu v dosedací ploše matice  $M_h$  [Nm]:

$$M_u = M_z + M_h$$

$$M_z = 0,5 \cdot d_2 \cdot F_t = 0,5 \cdot d_2 \cdot F_p \cdot \tan(\alpha \pm \varphi_z)$$

$$M_h = 0,5 \cdot d_s \cdot F_p \cdot f_h$$

$d_s$  [mm] je střední průměr, který lze spočítat ze vztahu:

$$d_s = \frac{D_o + s}{2}$$

$d_2$  – střední průměr závitu šroubu [mm]

$\alpha$  – úhel stoupání závitu

$\varphi_z$  – třecí úhel v závitech

je-li  $\alpha < \varphi_z$  poté je šroubový spoj samosvorný, což znamená, že se samovolně nepovolí.

### 5.5.3 Účinnost šroubového spoje

- při povolování

$$\eta = \frac{\tan \alpha}{\tan(\alpha + \varphi_z)}$$

- při povolování

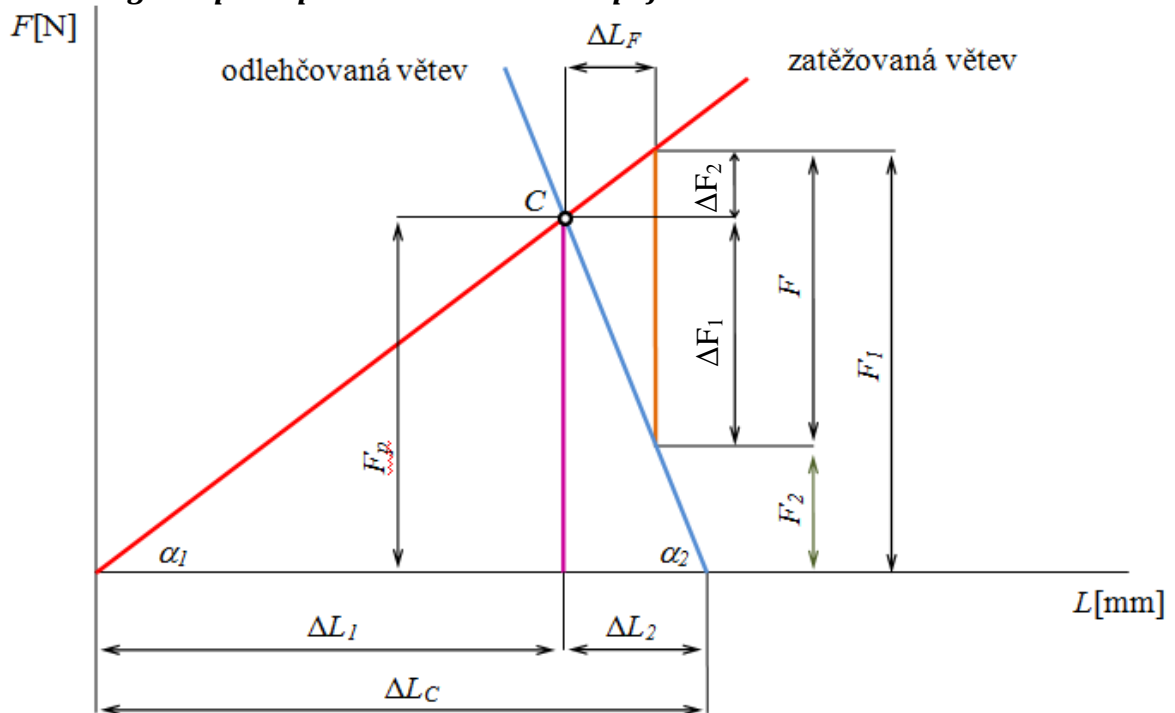
$$\eta = \frac{\tan(\alpha - \varphi_z)}{\tan \alpha}$$

### 5.5.4 Předepnuté šroubové spoje

Šrouby jsou utaheny tak, aby ještě před začátkem působení provozní síly  $F$  vzniklo předepnutí  $F_p$ . Toto předepnutí způsobí prodloužení šroubu o délku  $\Delta L_1$  a také toto předepnutí způsobí stlačení spojovaných součástí o délku  $\Delta L_2$ . Tyto hodnoty lze vyčíslit vztahy:

$$\Delta L_1 = \frac{F_p}{k_1} \quad \Delta L_2 = \frac{F_p}{k_2}$$

### 5.5.4.1 Diagram předepnutého šroubového spoje



Obrázek 5-4 Diagram předepnutého šroubového spoje [7]

$F_p$ [N] - předepínací síla

$F$ [N] - provozní síla

$F_1$ [N] - maximální síla ve šroubu

$F_2$ [N] - síla působící ve spojovaném materiálu

$\Delta F_1$ [N] - část síly  $F$  připadající na šroub

$\Delta F_2$ [N] - část síly  $F$  připadající na spojovaný materiál

$\Delta L$ [mm] - celková deformace šroubového spoje  $\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2$

$\Delta L_1$ [mm] - prodloužení šroubu (deformace šroubu)

$\Delta L_2$ [mm] - stlačení spojovaných součástí (deformace spojovaných součástí)

Bod C určuje stav předepnutého spoje, který není zatížen provozní silou  $F$ . Jedná se o průsečík obou přímek.

Zatížíme-li spoj provozní silou  $F$ , spoj se pružně zdeformuje o  $\Delta L_F$ . Při pružné deformaci připadne na šroub z provozní síly  $F$  složka  $\Delta F_1$  a na spojované součásti  $\Delta F_2$ . Tuhost šroubu by měla být co nejmenší, jelikož poté bude síla  $\Delta F_1$  malá. Tuhost spojovaných částí by měla být co největší, aby  $\Delta F_2$  byla co největší. [7]

### 5.5.4.2 Výpočet tuhosti

$$k_1 = \frac{F_p}{\Delta L_1} = \frac{E \cdot S_1}{L} = \tan \alpha_1$$

$$k_2 = \frac{F_p}{\Delta L_2} = \frac{E \cdot S_2}{L} = \tan \alpha_2$$

### 5.5.4.3 Výpočty sil v předepnutém šroubovém spoji

Výsledná síla ve šroubu  $F_1 = F_p + \Delta F_1$

Výsledná síla ve spojovaných součástech  $F_2 = F_p - \Delta F_2$

Zatížení spojovaných součástí za provozu  $F_2 = \psi \cdot F$

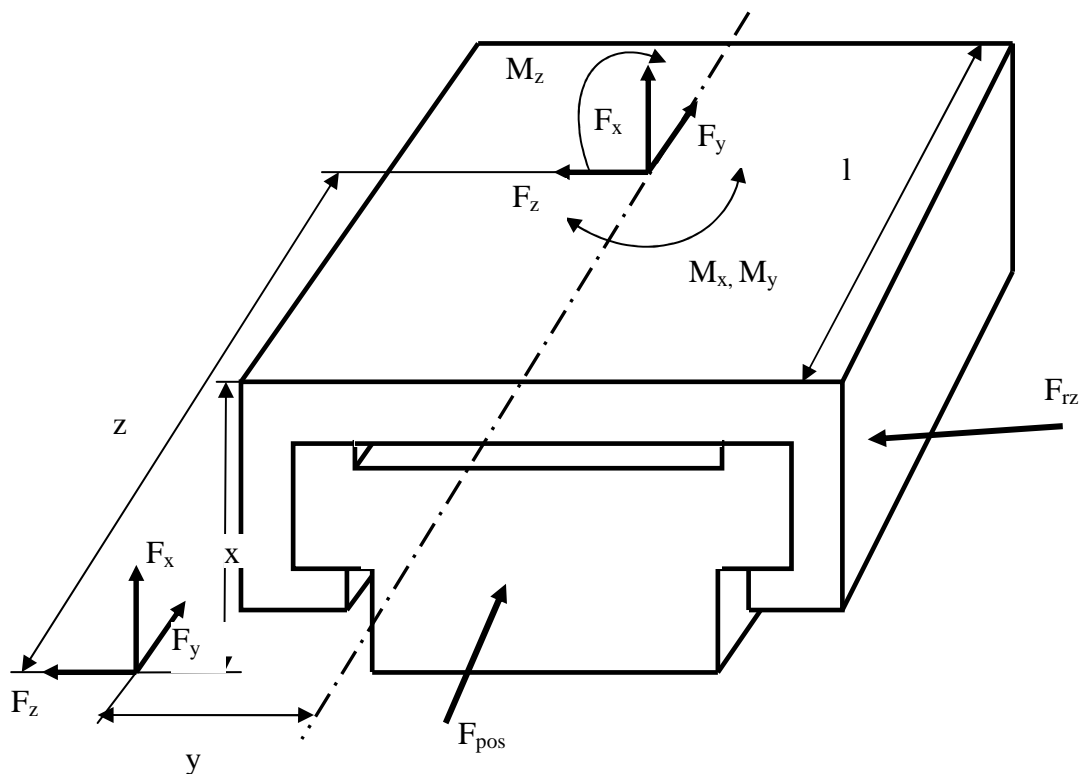
kde  $\psi$  součinitel proti odlehnutí (0,2 ÷ 1,2)

Zatížení šroubu za provozu  $F_1 = (1 + \psi) \cdot F$

Potřebné předepnutí  $F_p = F_2 + \Delta F_2$

## 5.6 Výpočet sil ve vedení

Uvažujme ploché vedení, úkolem je zjištění potřebné posuvné síly, kterou bude muset posuvný hřeben vyvinout. Síly působí na vedení dle obrázku:



Jako první krok, musíme přenést síly do osy vedení, každá síla vyvolá moment (moment od síly  $F_x$  a  $F_z$  působí v jedné rovině). Písmeny  $x$ ,  $y$ ,  $z$  jsou označeny vzdálenosti posunu působíště sil,  $l$  je délka posuvu. Při výpočtu  $F_{pos}$  [N] postupuje následovně:

$$F_{pos} = F_y + f(F_x + F_z + 2F_{rz} - 2F_{rx})$$

- kde  $f$  je koeficient tření
- veličiny  $F_{rz}$  a  $F_{rx}$  vyjádříme z momentové podmínky

$$M_x = F_z \cdot z + F_y \cdot y = \frac{2}{3} \cdot F_{rz} \cdot l$$

$$M_z = F_x \cdot x = \frac{2}{3} \cdot F_{rx} \cdot l$$

## 5.7 Výpočet ozubených kol

### 5.7.1 Základní parametry pro normalizované ozubení

radiální vůle -  $C_a^* = 0,25$

výška hlavy -  $h_a^* = 1$

úhel sklonu zubů -  $\lambda = 20^\circ$

### 5.7.2 Základní rozměry přímých vnějších nekorigovaných kol

#### 5.7.2.1 Základní parametry ozubení

$z_1, z_2$  - počet zubů pastorku, kola

$m$  - modul

$\lambda$  - úhel sklonu zubů

$C_a^*$  - radiální vůle

$h_a^*$  - výška hlavy zubu

$\lambda$  - úhel sklonu zubu

#### 5.7.2.2 Výpočet základních rozměrů

Dolní index 1 u všech níže uvedených vzorců označuje pastorek, dolní index 2 značí kolo

##### 5.7.2.2.1 Roztečná kružnice

$$d_1 = m \cdot z_1$$

$$d_2 = m \cdot z_2$$

kde:

$d_1, d_2$  - průměr roztečné kružnice [mm]

$m$  - modul

$z_1, z_2$  - počet zubů

##### 5.7.2.2.2 Základní kružnice

$$d_{b1} = d_1 \cdot \cos\lambda$$

$$d_{b2} = d_2 \cdot \cos\lambda$$

kde:

$d_{b1}, d_{b2}$  - průměr základní kružnice [mm]

$d_1, d_2$  - průměr roztečné kružnice [mm]

$\lambda$  - úhel sklonu zubů

#### 5.7.2.2.3 Hlavová kružnice

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m \cdot h_a^*$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m \cdot h_a^*$$

kde:

$d_{a1}, d_{a2}$  - průměr hlavové kružnice [mm]

$d_1, d_2$  - průměr roztečné kružnice [mm]

$m$  - modul

$h_a^*$  - výška hlavy

#### 5.7.2.2.4 Patní kružnice

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot m \cdot (h_a^* + C_a^*)$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot m \cdot (h_a^* + C_a^*)$$

kde:

$d_{f1}, d_{f2}$  - průměr patní kružnice [mm]

$d_1, d_2$  - průměr roztečné kružnice [mm]

$m$  - modul

$h_a^*$  - výška hlavy

$C_a^*$  - radiální vůle

#### 5.7.2.2.5 Teoretická osová vzdálenost

$$a = 0,5 \cdot (d_1 + d_2)$$

kde:

$a$  - teoretická osová vzdálenost [mm]

$d_1, d_2$  - průměr roztečné kružnice [mm]

#### 5.7.2.2.6 Rozteč na roztečné kružnici

$$p = \pi \cdot m$$

kde:

$p$  - rozteč na roztečné kružnici [mm]

$m$  - modul

#### 5.7.2.2.7 Tloušťka zubu na roztečné kružnici

$$s_1 = s_2 = 0,5 \cdot \pi \cdot m$$

kde:

$s_1, s_2$  - tloušťka zubu na roztečné kružnici [mm]

$m$  - modul

#### 5.7.2.2.8 Šířka zubové mezery

$$e_1 = e_2 = 0,5 \cdot \pi \cdot m$$

kde:

$e_1, e_2$  - tloušťka zubu na roztečné kružnici [mm]

$m$  - modul

#### 5.7.2.3 Výpočet modulu

$$m = 8.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k \cdot \cos\beta}{z_1 \cdot \psi \cdot c}}$$

kde:

$M_k$  – točivý moment kola [Nm]

$\beta$  – úhel sklonu zubů

$z_1$  - počet zubů na kole 1

$\psi$  – materiálová konstanta

$c$  - - materiálová konstanta



## 6 Návrh vyvrtávacího zařízení pro zadané parametry

### 6.1 Zadané parametry

maximální řezná síla  $F_z = 25\,000$ [N]

maximální točivý moment  $M_k = 10\,000$ [Nm]

rozsah obráběných průměrů: 200 – 1250[mm]

délka vyvrtávacího zařízení: 2000[mm]

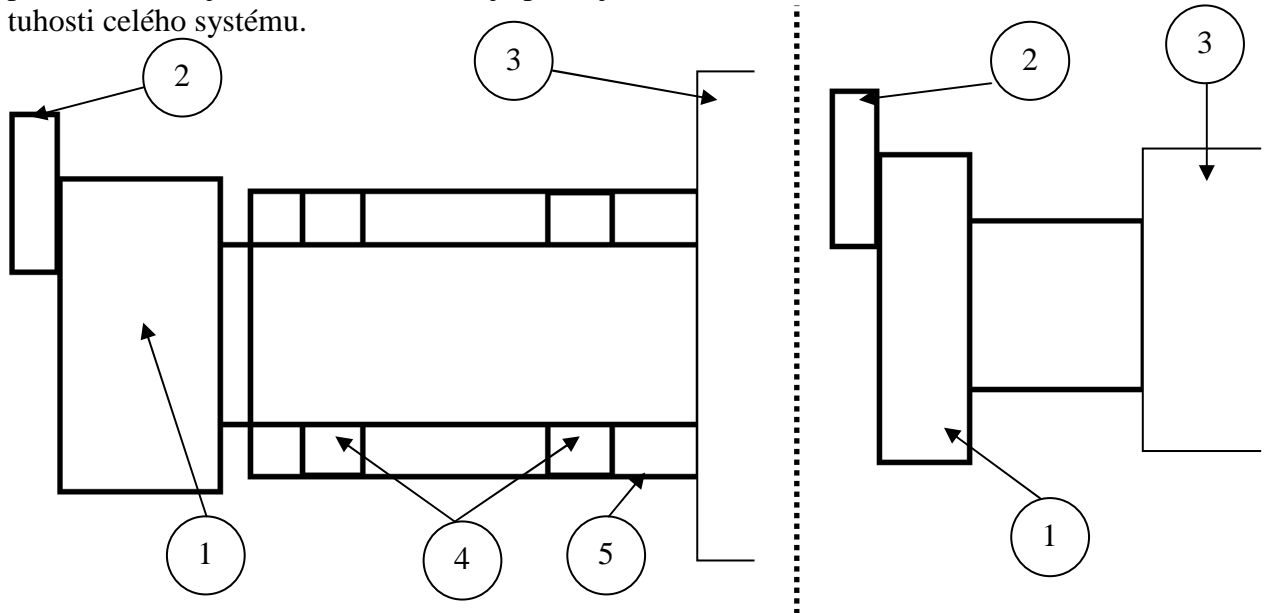
průměr hlavy: 600[mm]

zdvih (výsuv saní z vyvrtávací hlavy): 150[mm]

### 6.2 Konstrukční provedení

#### 6.2.1 Volba konstrukční varianty

Vyvrtávací hlava může být ke stroji připevněna dvěma možnými způsoby, buď může být připevněna pouze k frézovacímu vřetenu stroje, tudíž se celá otáčí a veškerá váha je nesena pouze již zmíněným frézovacím vřetenem stroje (tato metoda se hodí pro menší zařízení), nebo může být vyvrtávací hlava připevněna pomocí nosného tělesa, takzvaného rukávu, k pinole vyvrtávačky. Nosné těleso je uvnitř opatřeno ložisky, která nesou celé zařízení. Tedy váha příslušenství je přenášena na pinolu stroje a frézovací vřetenem není vahou příslušenství nijak zatíženo. Pro svoji práci jsem zvolil tuto konstrukční metodu z důvodu tuhosti celého systému.



Obrázek vlevo znázorňuje schematicky mnou zvolenou konstrukční metodu, vlevo je znázorněna varianta připevnění vyvrtávacího příslušenství na frézovací vřeten stroje.

popis:

1 – těleso vyvrtávací hlavy

2 – obráběcí nůž

3 – vyvrtávací stroj

4 – ložiska

5 – nosné těleso

### 6.2.2 Tuhostní kontrola pro nosné těleso

$$k = \frac{a \cdot E \cdot \left(\frac{D^4 - d^4}{64}\right)}{l^3}$$

kde:

a – koeficient, pro vetknutý nosník = 3

E – Youngův modul pružnosti, pro ocel =  $2,1 \cdot 10^5$  [MPa]

D – vnější průměr = 580 [mm]

d – vnitřní průměr = 540 [mm]

l – délka = 1600 [mm] (jedná se o délku rukávu, který nemá stejnou délku jako vyvrt. hlava)

k – tuhost

$$k = \frac{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{580^4 - 540^4}{64}\right)}{1600^3} = 67,6 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

- tuhost zařízení je dostačující (mezní tuhost je okolo 10 [kN/mm])

### 6.2.3 Kontrola průhybu nosného tělesa

$$y = \frac{F \cdot l^3}{a \cdot E \cdot \left(\frac{D^4 - d^4}{64}\right)}$$

kde:

a – koeficient, pro vetknutý nosník = 3

E – Youngův modul pružnosti, pro ocel =  $2,1 \cdot 10^5$  [MPa]

D – vnější průměr = 580 [mm]

d – vnitřní průměr = 540 [mm]

l – délka = 1600 [mm] (jedná se o délku rukávu, který nemá stejnou délku jako vyvrt. hlava)

F – síla působící na těleso, zjištěna z  $F_z$ :

$$M = F_z \cdot l_{\text{celková}}$$

$$M = F \cdot l$$

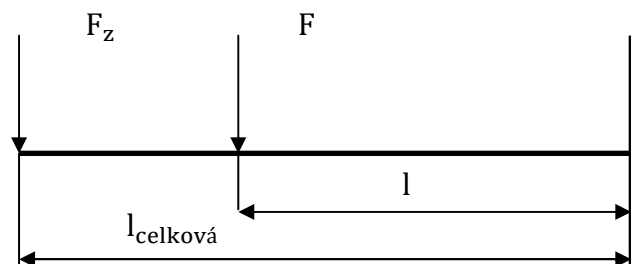
- použití podmínky rovnováhy momentů

$$F_z \cdot l_{\text{celková}} = F \cdot l$$

$$F = F_z \cdot \frac{l_{\text{celková}}}{l}$$

$$F = 25000 \cdot \frac{2000}{1600} = 31250 \text{ [N]}$$

$$y = \frac{31250 \cdot 1600^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \left(\frac{580^4 - 540^4}{64}\right)} = 0.462 \text{ [mm]}$$



### 6.3 Výpočet posuvové síly

Při výpočtu posuvové síly je zapotřebí brát v úvahu všechny síly působící při řezném procesu. Tyto síly je nutno posunout do těžiště výsuvných saní (k silám se přidá momentový účinek). Jelikož ze zadání je známo pouze  $F_z$ , bylo stanoveno že  $F_x = F_y = 0.6F_z$ . Samotný výpočtový vzorec je pak následující:

$$F_p = F_x + f \cdot (F_z + F_y + 2 \cdot (F_{Mx} + F_{My} + F_{Mz}))$$

kde:

$F_p$  - posuvová síla

$F_x$  - síla ve směru výsuvu saní

$F_y$  - síla ve směru posuvu nástroje

$F_z$  - síla ve směru hlavního řezného pohybu

$F_{Mx}$  - síla vyvolaná momentem ve směru x

$F_{My}$  - síla vyvolaná momentem ve směru y

$F_{Mz}$  - síla vyvolaná momentem ve směru z

f - součinitel tření

#### 6.3.1 Pomocné výpočet pro zjištění neznámých

-  $F_x = F_y = 0.6F_z = 15000$  [N]

- l zvoleno 400 [mm]

- malými písmeny x, y, z jsou označeny vzdálenosti, o které je jednotlivá složka síly posunuta v daném směru

$x = y = 60$  [mm]

$z = 0.5 \cdot l = 0.5 \cdot 400 = 200$

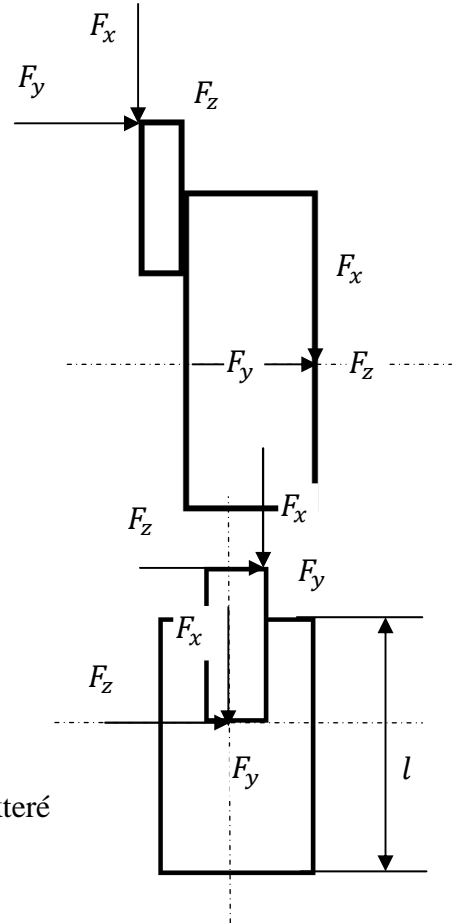
$$M_x = F_z \cdot y + F_y \cdot y = 25000 \cdot 60 + 15000 \cdot 60 = 2400000 \text{ [Nmm]}$$

$$M_x = \frac{2}{3} \cdot F_{Mx} \cdot l$$

$$2400000 = \frac{2}{3} \cdot F_{Mx} \cdot 400 \Rightarrow F_{Mx} = 9000 \text{ [N]}$$

$$M_y = F_x \cdot x + F_z \cdot x = 25000 \cdot 60 + 15000 \cdot 60 = 2400000 \text{ [Nmm]}$$

- jelikož  $x=y$  a  $F_x = F_z$  tedy pak  $F_{Mx} = F_{My}$



$$M_z = F_x \cdot z + F_y \cdot z = 15000 \cdot 200 + 15000 \cdot 200 = 6000000 \text{ [Nmm]}$$

$$M_z = \frac{2}{3} \cdot F_{Mz} \cdot l$$

$$6000000 = \frac{2}{3} \cdot F_{Mz} \cdot 400 \Rightarrow F_{Mz} = 22500 \text{ [N]}$$

### 6.3.2 Posuvová síla

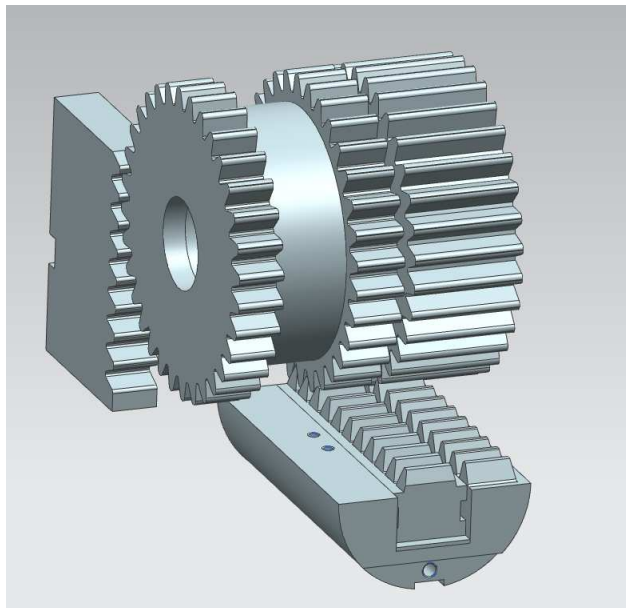
$$F_p = F_x + f \cdot (F_z + F_y + 2 \cdot (F_{Mx} + F_{My} + F_{Mz}))$$

$$F_p = 15000 + 0,1 \cdot (25000 + 15000 + 2 \cdot (9000 + 9000 + 22500))$$

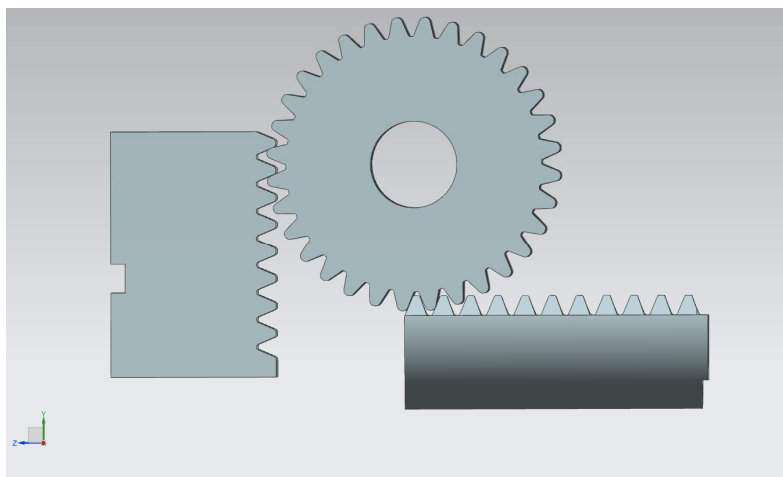
$$F_p = 27100 \text{ [N]}$$

## 6.4 Návrh ozubeného kola

Ozubené kolo zajišťuje výsuv saní z vyvrtávací hlavy spolu s párem ozubených hřebenů. Na obrázcích níže je vidět 3D model ozubeného kola a ozubených hřebenů. Svislé hřebeny jsou připevněny na saně vyvrtávací hlavy, vodorovné hřebeny jsou přes hřídel spojeny s vrtacím vřetenem obráběcího stroje. Ozubená kola jsou otočně uložena na hřídel spojenou s tělesem vyvrtávací hlavy.

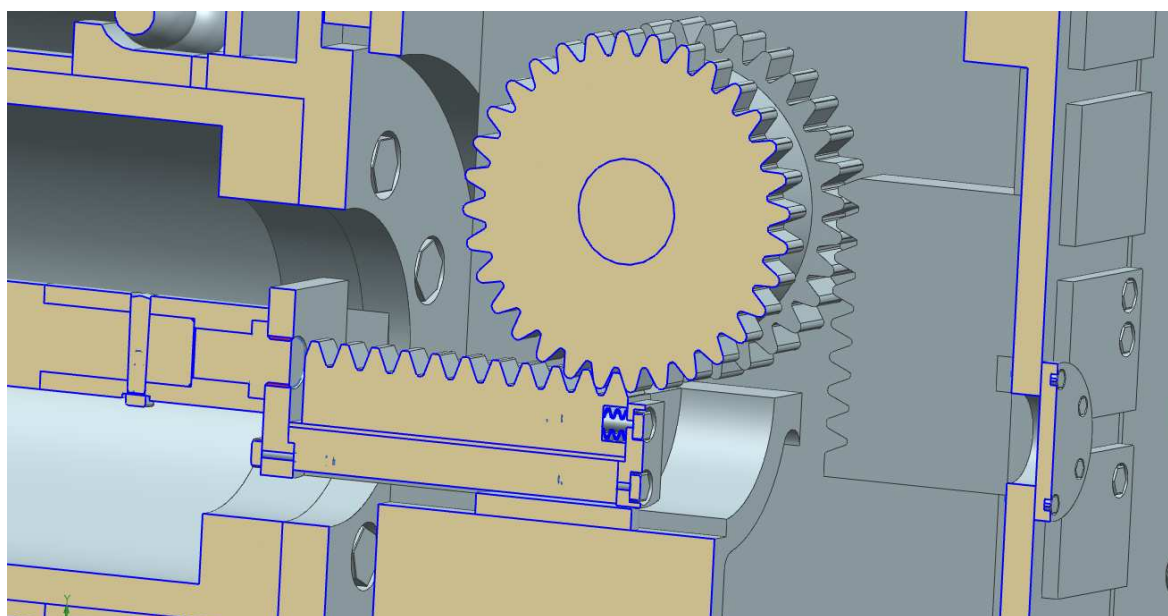


Obrázek 6-1 Mechanismus výsuvu saní



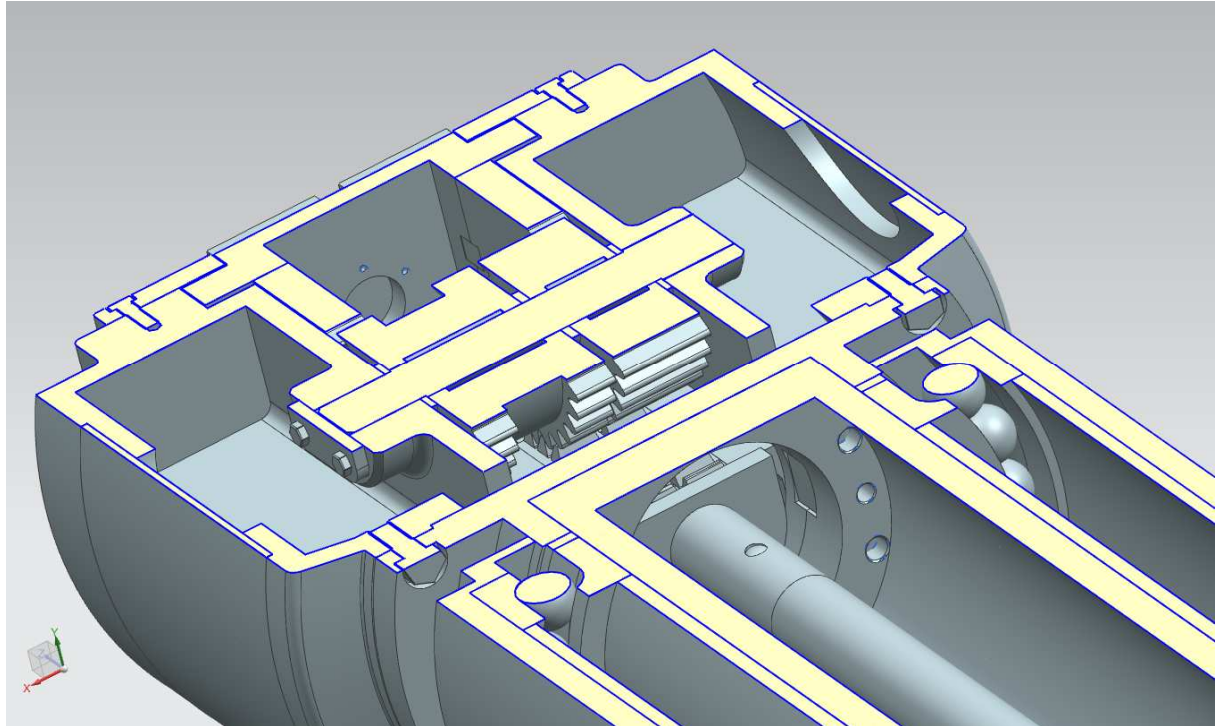
Obrázek 6-2 Mechanismus výsunu saní

Na následujícím obrázku 6-3 je zobrazen mechanismus ozubeného kola s hřebeny uvnitř tělesa vyvrtávací hlavy. Vlevo uprostřed se nachází hřídel spojené s vrtacím vřetenem stroje, která je spojena s dvojicí ozubených hřebenu, prostřední hřeben je předepnut vůči ozubenému kolu pomocí talířových pružin, což zajišťuje přesné nastavení polohy nože. Předepnutí je vymezováno pomocí šroubu, který je patrný v přední části hřebenu. Prochází deskou, která je pevně spojena pouzdrem hřebenu (na kterém se nachází druhý ozubený hřeben). Zašroubováním či vyšroubováním šroubu se nastaví dané předepnutí. Jelikož je celý mechanismus skryt uvnitř tělesa vyvrtávací hlavy, musí být v nožových saních otvor, který umožní přístup k předepínacímu šroubu. Tento otvor je vidět vpravo uprostřed. Je zakryt víkem, které je přišroubováno k nožovým saním. Aby nedošlo k pootočení hřebenu, je vloženo pero mezi pouzdro hřebenu a těleso vyvrtávací hlavy



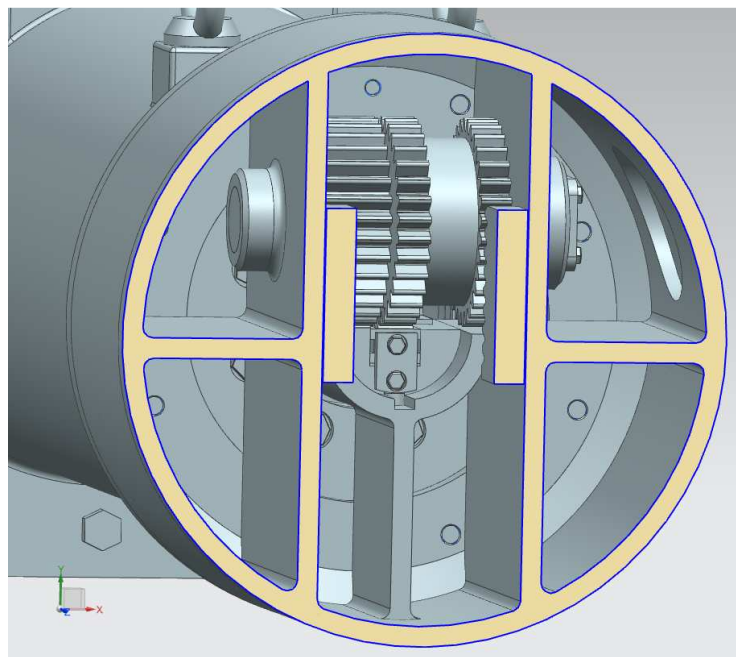
Obrázek 6-3 Řez tělesem vyvrtávací hlavy

Na obr. 6-4 je vidět vodorovný řez tělesem vrtací hlavy, kde je znázorněno připevnění ozubených kol k tělesu vyvrtávací hlavy. Mezi koly jsou umístěny vymezení kroužky, které určují jejich přesnou polohu, v horní části obrázku jsou vidět nožové saně a jejich vedení.



Obrázek 6-4 Řez tělesem vyvrtávací hlavy

Na následujícím obrázku 6-5 je znázorněn čelní řez tělesem vyvrtávací hlavy. Řez se nachází za nožovými saněmi.



Obrázek 6-5 Řez tělesem vyvrtávací hlavy

Pro výpočet kola je zapotřebí znát rozměr základní kružnice a modul. Ze zadaného zdvihu (150mm) lze zjistit průměr základní kružnice ozubeného kola, vynásobíme-li zdvih 4x, dostaneme obvod ozubeného kola, z něhož lze získat průměr:

$$O = \pi \cdot d$$

$$d = \frac{O}{\pi} = \frac{4 \cdot 150}{\pi} = 190[\text{mm}]$$

průměr ozubeného kola lze využít k výpočtu momentu na ozubeném kole, který je nezbytný pro výpočet modulu ozubeného kola. K výpočtu momentu je zapotřebí znát posuvovou sílu:

$$M_k = F_p \cdot \frac{d}{2} = 28000 \cdot \frac{0,19}{2} = 2660 [\text{Nm}]$$

když je znám moment působící na kole, je možno dopočítat modul dle vztahu:

$$m = 8.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k \cdot \cos\beta}{z_1 \cdot \psi \cdot c}}$$

kde:

$M_k$  – točivý moment kola

$\beta$  – úhel sklonu zubů (jedná se o přímé zuby, tedy  $\beta=0 \Rightarrow \cos 0=1$ )

$z_1$  - počet zubů na kole 1

- jelikož není znám počet zubu, ale průměr  $d$ , je  $z_1$  vyjádřeno z rovnice:  $d=z_1 \cdot m$

$\psi$  – materiálová konstanta – pro tvrzené boky zubů (zvoleny) = 10

$c$  – materiálová konstanta – pro tvrzené boky zubů (zvoleny) = 15

$$m = 8.6 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_k \cdot \cos\beta}{\frac{d}{m} \cdot \psi \cdot c}}$$

- jelikož hledaný modul  $m$  se nachází na obou stranách rovnice, je nutné ho vyjádřit:

$$m^3 = 8.6^3 \cdot \frac{M_k \cdot \cos\beta}{\frac{d}{m} \cdot \psi \cdot c}$$

$$m^2 = 8.6^3 \cdot \frac{M_k \cdot \cos\beta}{d \cdot \psi \cdot c}$$

$$m = \sqrt[2]{8.6^3 \cdot \frac{M_k \cdot \cos\beta}{d \cdot \psi \cdot c}}$$

$$m = \sqrt[2]{8.6^3 \cdot \frac{2660 \cdot 1}{190 \cdot 10 \cdot 15}} = 7,7$$

- byl zvolen modul 6

z modulu a průměru základní kružnice lze vypočítat počet zubů ozubeného kola:

$$d = m \cdot z_1 \Rightarrow z_1 = \frac{d}{m} = \frac{190}{6} = 31,6 \cong 32$$

rozměry ozubeného kola a ozubeného hřebene byly vypočteny pomocí programu PREF, výsledky jsou přiloženy v příloze 1 bakalářské práce.

## 6.5 Výpočty šroubových spojů

Šroubové spoje je zapotřebí zkontrolovat na dvou místech, zaprvé je to připevnění tělesa vyvrtávací hlavy k rotačnímu tělesu a zadruhé se jedná o připevnění celého příslušenství na pinolu stroje. Oba kontrolní výpočty byly provedeny pomocí programu bspoj a výsledky jsou přiloženy v příloze 2 a 3 bakalářské práce.

### 6.5.1 Připevnění tělesa vyvrtávací hlavy

Je provedeno pomocí 6 šroubů M20 na roztečném průměru 230[mm], které musejí zamezit odlehnutí tělesa vyvrtávací hlavy. Točivý moment v tomto místě je přenášen pomocí dvou unášecích kamenů. V tomto místě je počítáno pouze se silami působícími při obrábění na nůž.



Obrázek 6-6 Připevnění tělesa vyvrtávací hlavy

Na obrázku 6-6 je možno vidět otvory pro šrouby na dvou různých roztečných průměrech, ve výpočtech nás zajímá pouze menší z obou průměrů, jelikož v obou případech se jedná o stejný počet šroubů M20, ale menší roztečný průměr bude více namáhán, tudíž jestli vyhoví, musí vyhovět i větší roztečný průměr.



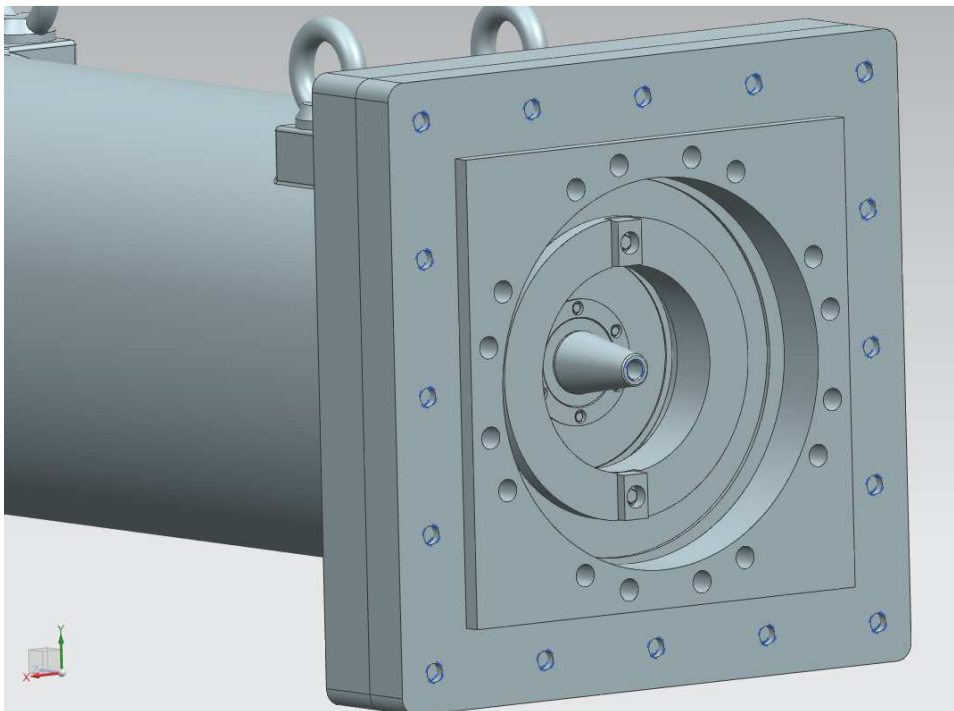
### 6.5.2 Připevnění vyvrtávacího zařízení k pinole stroje

Vyvrtávací hlava je navržena pro připevnění k horizontce Škoda HCW 3, tomu musí být uzpůsobeno rozpořádání a počet šroubů připevňující vyvrtávací hlavu k pinole.



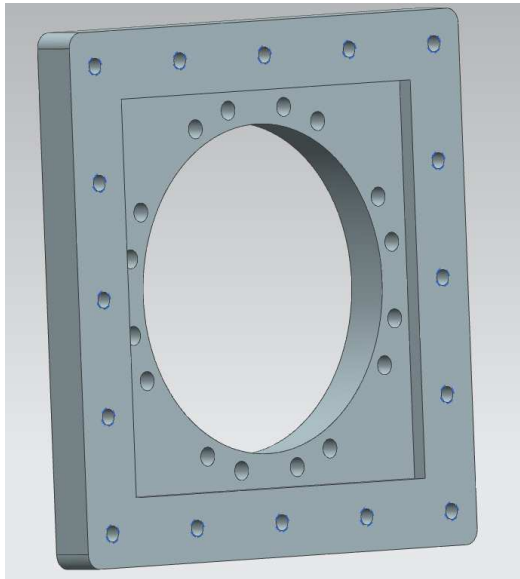
Obrázek 6-7 Horizontální vyvrtávačka HCW 3 [16]

Nosné těleso je připevněno k pinole stroje 16 šrouby M24, což je vidět na následujícím obrázku:

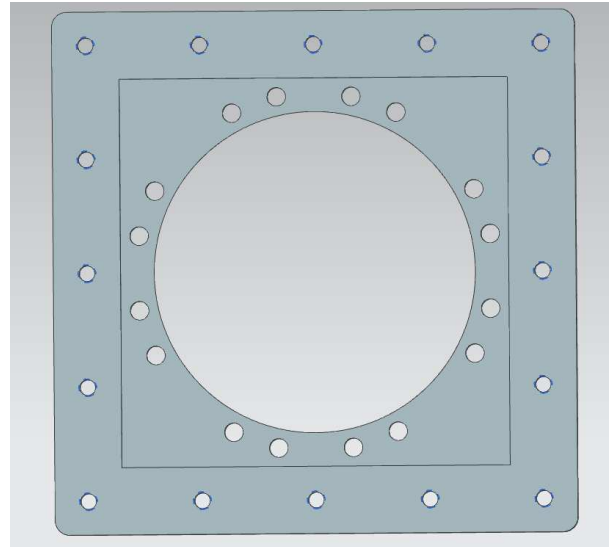


Obrázek 6-8 Zadní část vyvrtávací hlavy

Jelikož je vyvrtávací hlava rozměrná (široká), je zapotřebí redukce, aby jí bylo možno připevnit na pinolu požadovaného stroje. Redukce je přišroubována šestnácti šrouby M24 k nosnému tělesu.



Obrázek 6-9 Redukce



Obrázek 6-10 Redukce



Obrázek 6-11 Zadní část vyvrtávací hlavy bez redukce

Na obrázku 6-11 je možno vidět zadní část vyvrtávací hlavy bez redukce. Jsou zde patrné dva páry unášecích kamenů a Morse kužel, který je uchycen ve vrtacím vřetenu stroje, kameny blíže Morse kuželu přenášejí točivý moment frézovacího vřetena a dvojice kamenů dále od Morse kužele zachycuje síly z ložisek.

## 6.6 Volba ložisek

V navrhované vyvrtávací hlavě jsou umístěna dvě kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. Jsou umístěna mezi nosným tělesem a rotačním tělesem, tedy mezi pohyblivou a nepohyblivou částí zařízení. První ložisko se nachází 548[mm] od nožových saní, druhé ložisko je od prvního vzdáleno 1245[mm]. Jejich hlavním úkonem je přenášet radiální zatížení, ovšem při obrábění vznikají i axiální síly, které tyto ložiska dokážou přenést. Vnitřní průměr  $d$  je dán velikostí těla vyvrtávací hlavy, průměr  $D$  (vnější) udává vnitřní průměr rukávu. Ložiska byla zvolena dle online katalogu SKF

### 6.6.1 katalogový list ložisek:

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings	Limiting speed	Mass	Designation
$d$	$D$	$B$	dynamic	static	$P_u$	Reference speed			
mm			kN	$C_0$	kN	r/min		kg	* SKF Explorer bearing
300	460	74	423	695	15,3	1500	1600	42,5	7060 AGM

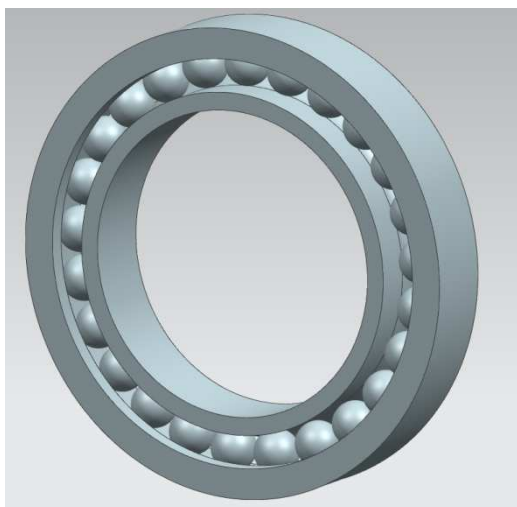
  

Technical drawing showing three views of the bearing: front view, side view, and cross-section. Dimensions include:  $B = 74$ ,  $r_{3,4min} = 1,5$ ,  $r_{1,2min} = 4$ ,  $d = 300$ ,  $d_1 = 363$ ,  $a = 147$ ,  $D = 460$ ,  $D_1 = 400$ ,  $d_2 = 335$ ,  $r_{amax} = 3$ ,  $D_{amax} = 443$ ,  $d_{amin} = 317$ ,  $r_{bmax} = 1,5$ ,  $D_{bmax} = 453$ .

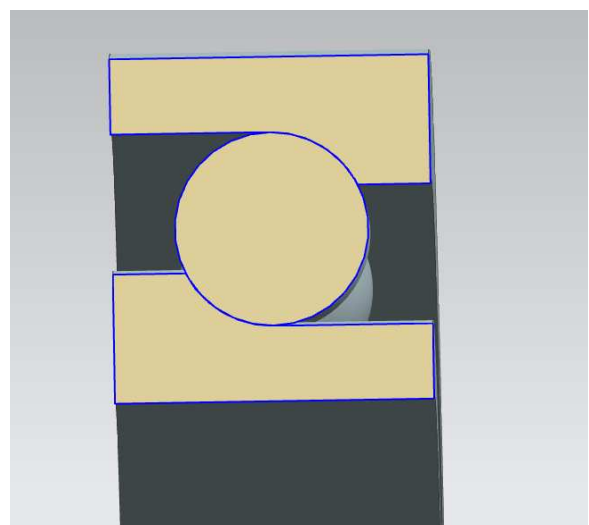
Calculation factors:  
 $k_r = 0,085$   
 $k_a = 0,5$   
 $e = 0,8$   
 $X = 0,39$   
 $Y = 0,76$   
 $Y_0 = 0,33$

Obrázek 6-12 Katalogový list ložisek [15]

### 6.6.2 3D model ložiska:



Obrázek 6-14 3D model ložisek

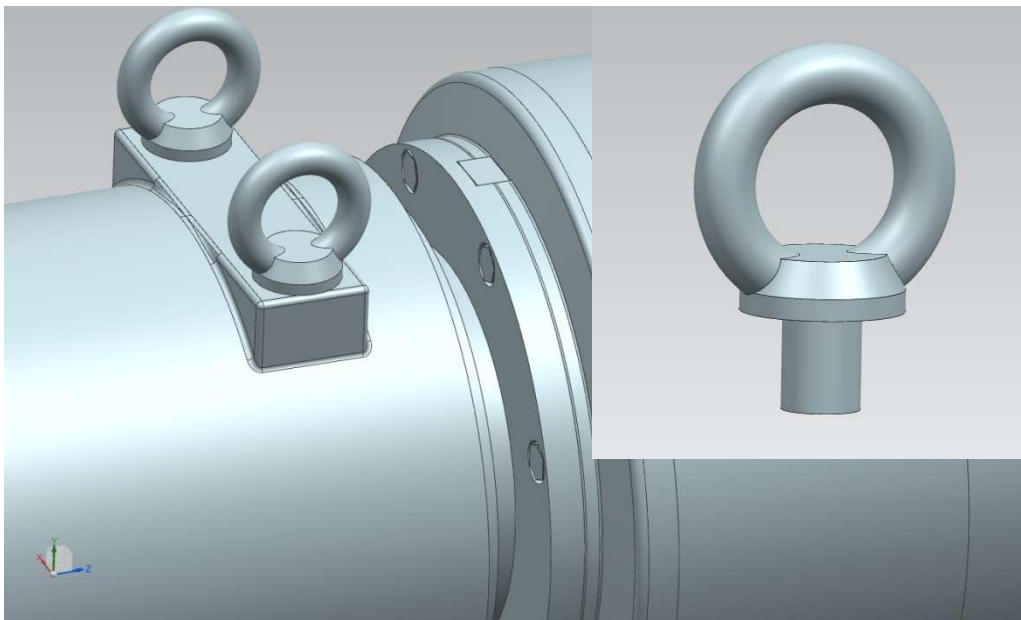


Obrázek 6-13 3D model ložiska - řez

Ložiska byla zkontrolována pomocí programu PREF, výsledky jsou přiloženy v příloze 4 bakalářské práce.

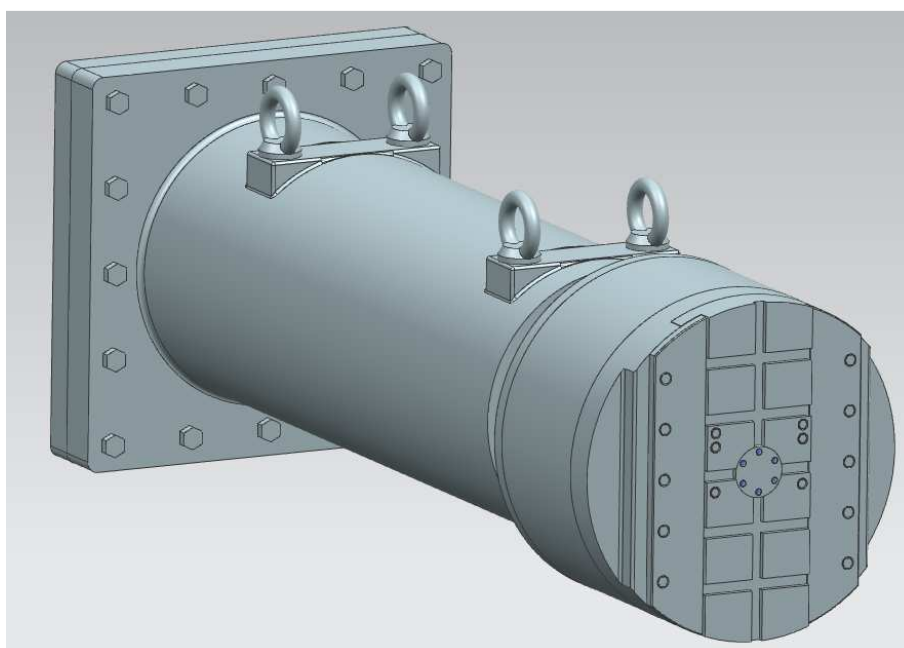
## 6.7 Přeprava vyvrtávací hlavy

Vyvrtávací hlava je opatřena čtyřmi závěsnými oky, která jsou přišroubována na nosném tělese. Závěsná oka lze před obráběním sundat. Oka jsou na hlavě umístěna po dvojicích.



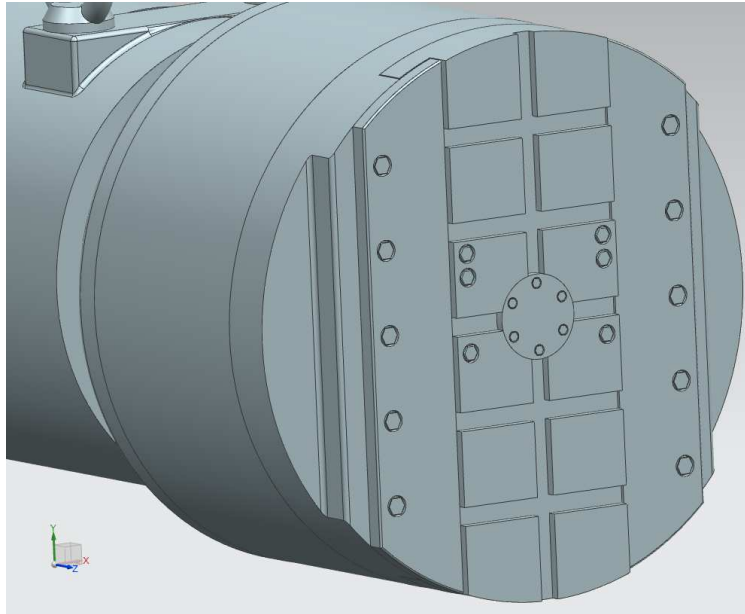
Obrázek 6-15 Závěsná oka

## 6.8 Celkový pohled na sestavu



Obrázek 6-16 Vyvrtávací hlava - celkový pohled na 3D model

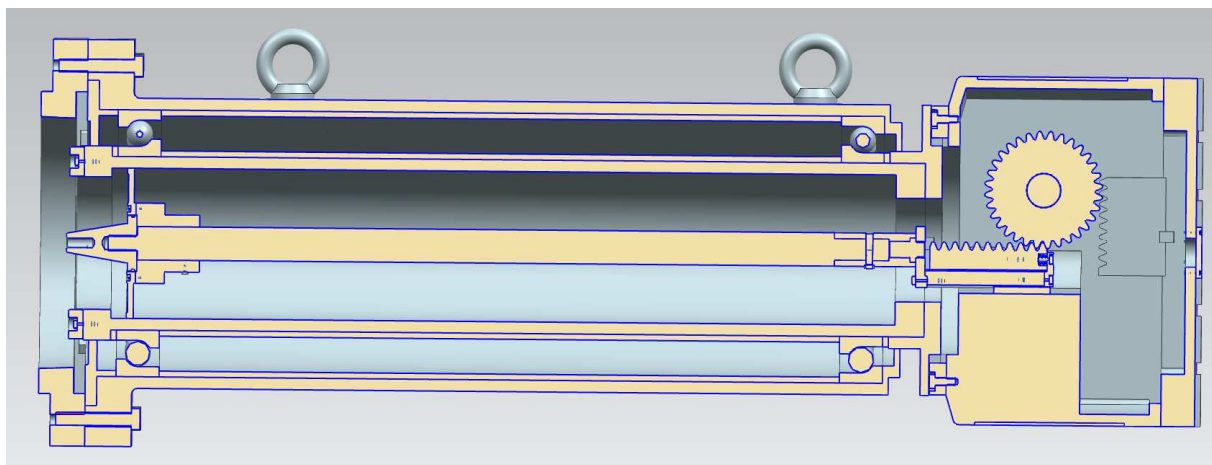
Na obrázku 6-16 je znázorněn celkový pohled na vyvrtávací hlavu, na nosném tělese jsou umístěna již zmíněná závěsná oka, v popředí jsou nožové saně s víčkem zakrývajícím předepínací šroub a v pozadí je redukce, sloužící k připevnění vyvrtávací hlavy k pinole stroje.



Obrázek 6-17 Těleso vyvrtávací hlavy

Na obrázku výše je detailnější pohled na samotné těleso vyvrtávací hlavy, je zde patrné připevnění nožových saní, víčko od předepínacího šroubu ozubeného hřebenu a šrouby připevňující ozubené hřebeny k nožovým saním.

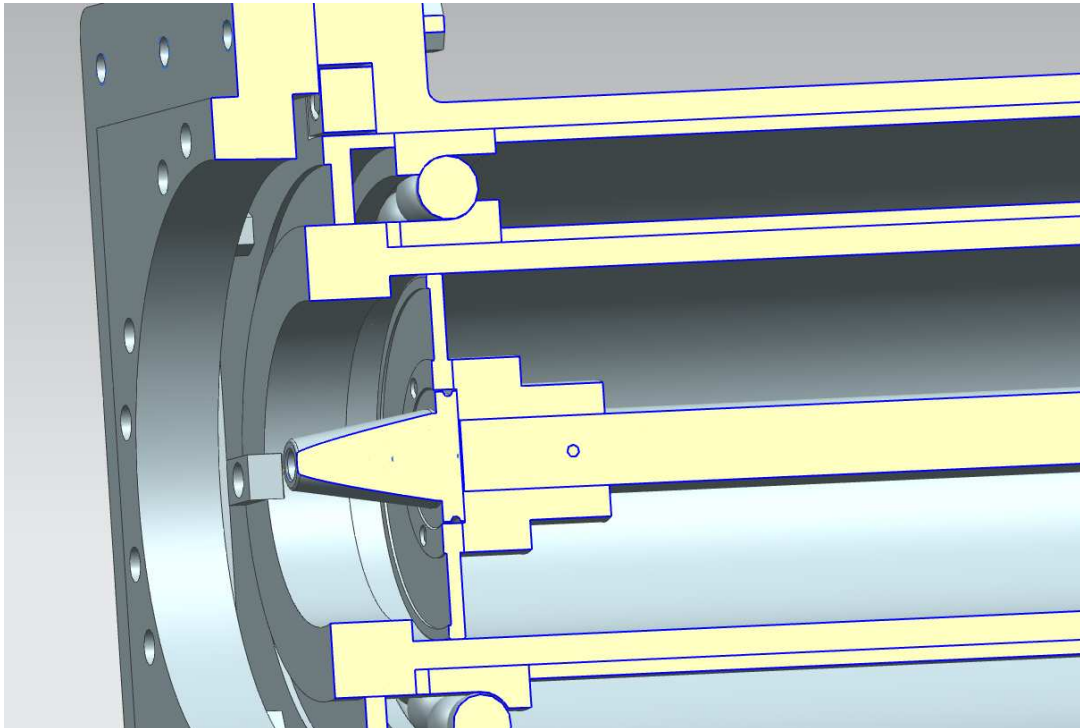
Obrázek níže představuje řez vyvrtávací hlavou, kde je názorně vidět celý princip fungování tohoto zařízení



Obrázek 6-18 Řez vyvrtávací hlavou

V levé části je vidět redukce, která se připevní na pinolu vyvrtávacího stroje. Redukce je připevněna k nosnému tělesu, které je opatřeno závěsnými oky. Nosné těleso drží váhu celého zařízení, mezi nosným tělesem a pohyblivým vnitřkem zařízení jsou uloženy již

popisovaná kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. Mezi ložisky jsou vloženy vymežovací trubky, které určují jejich přesnou polohu. Hřídel v ose stroje slouží k vysouvání nožových saní. Je přišroubována k Morse kuželu a s ozubenými hřebeny je spojena pouzdrem, opatřeným závitem. Přenos točivého momentu zajišťuje kuželový kolík



**Obrázek 6-19** Zadní část vyvrtávací hlavy - řez

Na obrázku 6-19 je detailní pohled na zadní část vyvrtávací hlavy, uprostřed je Morse kužel, který se uchycuje do vrtacího vřetene stroje. Za kuželem se nachází disk, který podpírá hřídel spojenou s ozubenými hřebeny v tělese vyvrtávací hlavy. Na obrázku jsou také vidět již popisované unášecí kameny a vymežovací trubky.

## 7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navržení vyvrtávacího zařízení pro velké průměry a velká vyložení pro zadané parametry a zadaný stroj. Při návrhu bylo zapotřebí postupně navrhnout všechny hlavní části (včetně jejich rozměrů) a jejich funkčnost - výdrž - ověřit výpočty. Většina výpočtů byla provedena softwarově, v bakalářské práci je vždy uveden postup před zpracováním dat (vedlejší výpočty potřebné k řešení), potřebné vzorce jsou uvedeny v kapitole 5. *Teoretická část* a samotné výsledky jsou přiloženy v přílohách této práce.

Postup tvorby začal s návrhem ozubeného soukolí resp. ozubeného kola, které bylo navrženo dle zadaného zdvihu nožových saní, dle parametrů ozubení byly navrženy ozubené hřebeny. Výpočty ozubení byly provedeny v programu PREF. Dle velikostí ozubeného segmentu a ozubených hřebenů byly navrženy rozměry tělesa vyvrtávací hlavy samozřejmě s ohledem na zadaný průměr tělesa vyvrtávací hlavy. Dle rozměrů tělesa vyvrtávací hlavy, celkové zadané délky a zadaného stroje bylo navrženo nosné těleso a ostatní rotační části vyvrtávací hlavy, kde musela být navržena ložiska, nesoucí rotační části vyvrtávací hlavy, spojující je s nosným tělesem vyvrtávací hlavy. Vyvrtávací hlava obsahuje dvojici ložisek, jejich poloha je určena pomocí vymežovacích trubek. Ložiska se nacházejí na okrajích nosného tělesa. Byla zvolena ložiska od firmy SKF s vnitřním průměrem  $d=300$ . Ložiska byla zkontrolována v programu PREF. Šroubové spoje byly ověřeny v programu bspoj, nemusely být ověřeny veškeré spoje, ale je postačující vypočítat spoje nesoucí větší zatížení (nacházející se na menším roztečném průměru) než spoje zatížené menší silou ve stejném místě vyvrtávací hlavy, jelikož vždy byl použit stejný počet šroubů a jak je obecně známo, šrouby na menším průměru jsou zatíženy více. Další faktor ovlivňující šroubový spoj je dosedací plocha obou částí, která vyvozuje tlak, který musí zabránit odlehnutí. Při kontrole šroubů připevňující vyvrtávací hlavu k pinole stroje je nutné uvažovat i celkovou hmotnost, která je 1700[kg], hmotnost připevnění tělesa vyvrtávací hlavy byla zanedbána. V tomto ohledu všechny spoje vyhovují, jak je uvedeno v přílohách 2 a 3 této bakalářské práce. Aby bylo možné připevnění vyvrtávací hlavy na pinolu zadaného stroje s označením HCW 3 je vyvrtávací hlava opatřena redukcí, která zmenšuje koncové rozměry vyvrtávací hlavy a díky čemuž je možné její připevnění.

Vyvrtávací hlava byla vymodelována v software Siemens NX 8.5, pomocí tohoto software byla zjištěna i hmotnost, která se od reálného provedení může nepatrně lišit, jelikož software počítá hmotnost pouze z jednoho materiálu. Výkres sestavy společně se vzorovým výrobním výkresem jsou přiloženy v bakalářské práci. Přiložený kusovník není seřazen, jelikož program Siemens NX neumožňuje v základní verzi řazení položek dle zvyklostí užívaných v českých zemích, kdy se položky v kusovníku řadí dle způsobu výroby jednotlivých částí. Nicméně řazení položek kusovníku není normalizováno, proto lze použít i tento přiložený kusovník.

## 8 Bibliografie

1. **Sova, František.** *Technologie obrábění a montáže.* Plzeň : Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-823-4 .
2. Operazioni di Fresatura. *Le frese.* [Online] 2007. [Citace: 2. červen 2013.] <http://fresatura.blogspot.cz/2013/01/operazioni-di-fresatura.html>.
3. Metody vyvrtávání . *Sandvik coromant.* [Online] [Citace: 3. listopad 2012.] [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/boring/getting\\_started/boring\\_methods/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/boring/getting_started/boring_methods/pages/default.aspx).
4. **Lašová, Václava.** *Základy stavby výrobních strojů.*
5. Produkty. *Java Machinery.* [Online] [Citace: 12. prosinec 2012.] <http://www.javamachinery.cz/index.php?strana=produkty>.
6. **Řehoř, Jan.** *Základy obrábění - tvoření třísky, charakteristiky, jevy. Strojírenská technologie obrábění.* 2011.
7. **Hosnedl, Stanislav.** *Příručka strojního inženýra : obecné strojní části. 1, Spoje, otočná uložení, hřídelové spojky, akumulátory mechanické energie.* Praha : Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3 .
8. CNC Deskové Horizontální vyvrtávačky. *m-moos.* [Online] 2012. [Citace: 3. listopad 2012.] <http://www.m-moos.cz/whmdeskove.htm>.
9. Strojní zařízení . *ZAK - kovovýroba.* [Online] [Citace: 3. listopad 2012.] [http://www.klemenko.cz/foto/stroje/sour\\_vrt/DSC01950.JPG](http://www.klemenko.cz/foto/stroje/sour_vrt/DSC01950.JPG).
10. Volba valivého ložiska. *Mechanical, Industrial and Technical Calculations.* [Online] [Citace: 5. prosinec 2012.] [http://www.mitcalc.cz/doc/help/cz/c\\_bearing\\_choice.htm](http://www.mitcalc.cz/doc/help/cz/c_bearing_choice.htm).
11. Vyvrtávací hlavy pro ŠKODA HCW. *Škoda Machine Tool.* [Online] [Citace: 10. prosinec 2012.] <http://www.cz-smt.cz/vyrobky/prislusenstvi/skoda-hcw/vyvrtavaci-hlavy/>.
12. Frézovací hlavy pro ŠKODA HCW. *Škoda Machine Tool.* [Online] [Citace: 12. prosinec 2012.] <http://www.cz-smt.cz/vyrobky/prislusenstvi/skoda-hcw/frezovaci-hlavy/>.
13. H100(A), W100(A). *Zako Turčín.* [Online] [Citace: 3. listopad 2012.] <http://www.zakoturcin.cz/detail/hw100.htm>.
14. Loading of the connection, basic parameters of the calculation. *Mechanical, Industrial and Technical Calculations.* [Online] [Citace: 15. prosinec 2012.] <http://www.mitcalc.com/doc/boltcon/help/en/boltcon.htm>.
15. Angular contact ball bearings, single row. *SKF.* [Online] [Citace: 10. květen 2013.] <http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1210220060&imperial=false>.
16. Strojírenské celky. *ALTA.* [Online] [Citace: 15. červen 2013.] <http://www.altacz.cz/obchodni-cinnost/strojirenske-celky/>.



## **9 Seznam příloh**

příloha 1 - výpočet ozubených kol v programu PREF

příloha 2 - kontrola šroubů - spojení hlavy s pohonem v programu bspoj

příloha 3 - kontrola šroubů - připevnění vyvrtávací hlavy na pinolu v programu bspoj

příloha 4 - kontrola ložisek v programu PREF

příloha 5 - výkresová dokumentace (vložená do BP)

# Příloha 1

Výpočet ozubených kol v programu PREF

\*  
\*                   ozubena kola celni  
\*                   rozmerovy vypocet  
\*

Bakowsky

26.02.2013

Vyvt. hlava

razitko pro kolo 1

```

*-----*
* ozubeni (CELNI,KUZELOVE)                i          celni
* zuby (PRIME,SIKME,SIPOVE)              i          prime
* pocet zubu                             i   z   i          32
*   i modul                              i   m   i          6.00
* nastroj i uhel profilu                  i  alfa i   20  0  0
*   i profil                             i          CSN 014607
*   i vyska hlavy nastroje               i  hxf  i  1.25.m = 7.50
* uhel sklonu bocni krivky zubu          i  beta i   0  0  0
* smysl stoupani bocni krivky zubu       i   -   i          -
* jednotkove posunuti                    i   x   i          .0000
* jednotkova zmena tloustky zubu         i  xt  i
* stupen presnosti                       i          7 - 6 - 5 Dh/III
*   i tloustka zubu na tetive            i          i          8.32 -.053
*   i                                     i          i          -.117
*   i vyska hlavy zubu nad tetivou       i          i          4.49
* kontr. i pres 4 zuby                   i   W   i          64.68 -.050
* rozmer i                               i          i          -.110
*   i pres valeyky 0 9.00                i   M   i          201.42 -.182
*   i                                     i          i          -.278
* modul celni                            i   mt  i          6.00000
* prumer zakladni kruznice                i   db  i          180.42
* uhel sklonu bocni krivky zubu na zakl.valcii betab i   0  0  0
*   i                                     i          i
*   i                                     i          i
* betaw15 = 0 0 0   dw15 = 186.79       i          i

```

\*  
\*                   spoluzabirajici kolo  
\*-----\*

```

* cislo vykresu i   pocet zubu   i   vzdalenost os aw   i   uhel os
*   i           ---            i   190.00 + .036   i   0
*   i           i              i   - .036     i

```

prumery ozubeneho kola 1 [mm]

```

*   roztecný          192.00          mezni obvodove hazeni   .056
*   patni             177.00
*   hlavovy           204.00

```

zadana sirka       30.00 mm

\* vzdalenost hlavove roviny od merici zakladny zadana   100.00 mm  
\* vzdalenost os = vzdalenost osy pastorku od merici zakladny.

ozubena kola celni  
rozmerovy vypocet

Bakowsky

26.02.2013

Vyvt. hlava

razitko pro hreben 0

* ozubeni (CELNI,KUZELOVE)	i			celni	
* zuby (PRIME,SIKME,SIPOVE)	i			prime	
* pocet zubu	i	z	i	----	
* i modul	i	m	i	6.00	
* nastroj i uhel profilu	i	alfa	i	20 0 0	
* i profil	i	CSN		014607	
* i vyska hlavy nastroje	i	hxf	i	1.25.m = 7.50	
* uhel sklonu bocni krivky zubu	i	beta	i	0 0 0	
* smysl stoupani bocni krivky zubu	i	-	i	-	
* jednotkove posunuti	i	x	i	.0000	
* jednotkova zmena tloustky zubu	i	xt	i		
* stupen presnosti st sev 312-76	i			7 - 6 - 5 Dh/III	
* i tloustka zubu na tetive	i		i	9.42 -.045	
* i	i		i	-.095	
* i vyska hlavy zubu nad tetivou	i		i	6.00	
* kontr. i pres zub	i	W	i		
* rozmer i	i		i		
* i pres valecky 0 10.00	i	M	i	100.67 -.063	
* i	i		i	-.133	
* modul celni	i	mt	i	6.00000	
* prumer zakladni kruznice	i	db	i		
* uhel sklonu bocni krivky zubu na zakl.valcii	i	betab	i		
	i		i		
	i		i		
	i		i		

spoluzabirajici kolo

* cislo vykresu i	pocet zubu	i	vzdalenost os aw	i	uhel os
* i	32	i	190.00 + .036	i	0
* i		i	- .036	i	

\* vzdalenost hlavove roviny od merici zakladny zadana 100.00 mm  
\* vzdalenost os = vzdalenost osy pastorku od merici zakladny.

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

jmeno: Bakowsky

datum: 26.02.2013

Vyvert. hlava

		<u>kolo 1</u>	<u>kolo 0</u>
<u>zadane parametry</u>			
pocet zubu		32	----
normalny modul	[mm]		6.00
normalny uhel zaberu	[deg]		20.00
uhel sklonu zubu	[deg]		.00
jednotkove posunutí		.000	.000
sirka	[mm]	30.00	30.00
souc.vysky hlavy hrebenov.nastroje			1.25
souc.polomeru zaobljeni hreb.nastr.			.38
material :		14220.4	15241.7
tepelne zpracovani		CEMENT.KAL.	SLECHTENO
jakostni trida		MQ	MQ
pevnost v jadre	[Mpa]	785.	980.
mez kluzu	[Mpa]	588.	850.
mez unavy v ohybu	[Mpa]	700.	530.
mez unavy v dotyku	[Mpa]	1270.	720.
tvrdost v jadre	[Hv]	250.	300.
tvrdost boku	[Hv]	650.	
min. tloustka tvrz. vrstvy	[mm]	1.44	
presnost soukoli		7 - 6 - 5 Dh/III	
str.aritm.uchyl.profilu(drsnost) [mkm]		1.60	1.60
uhel sklonu hridele pod kolem	[rad]	.000E+00	.000E+00
uhel nakr. hrid. na sirce kola	[rad]	.000E+00	.000E+00

soubor zatezovacich stavu na kole 1

mk [Nm]	n [1/min]	tau[hod]
2660.00	1.00	5000.00
opacny smysl tocení		

vysledne hodnoty

	<u>kolo 1</u>	<u>kolo 0</u>
smerodatne zatizeni		
moment [Nm]		
ohyb	2660.0	
dotyk	2660.0	
obvodova rychlost [m/s]		
ohyb	.010	
dotyk	.010	
soucinitele bezpecnosti :		
ohyb	* 2.67	3.25 *
dotyk	* 2.08	1.24 *

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

jmeno: Bakowsky

datum: 26.02.2013

Vyvert. hlava

kontrola pro jednoraz.max. zatizeni (staticky)

.....

soucinitele bezpec. pro jednor. zatizeni

ohyb	4.44	3.89
dotyk	2.66	2.56

## Příloha 2

Kontrola šroubů - spojení hlavy s pohonem v programu bspoj

\*\*\*\*\*

SPOJENI PLOCH SROUBY, KOLIKY, PERY A DALŠ. NOSN. PRVKY

Spojenci hlavy s pohonem .

Bakowsky .

15-05-13

\*\*\*\*\*

ZADANE HODNOTY

#####

VNEJSI PRUMER SPOJOVANE PLOCHY : 280. mm  
VNITRNI PRUMER SPOJOVANE PLOCHY : 170. mm

POCET VRSTEV SPOJ. MATERIALU : 2

1. VRSTVA : TLOUSTKA 15.0 mm  
MODUL PRUZNOSTI V TAHU 210000. MPa  
MODUL PRUZNOSTI VE SMYKU 80500. MPa  
POISSONOVO CISLO .30

2. VRSTVA : TLOUSTKA 15.0 mm  
MODUL PRUZNOSTI V TAHU 210000. MPa  
MODUL PRUZNOSTI VE SMYKU 80500. MPa  
POISSONOVO CISLO .30

SROUB : PRUMER ZAVITU 20.0 mm  
STOUPANI 2.5 mm  
DELKA MATICE 30.0 mm  
MATERIAL SROUBU 8G  
PEVNOST MATERIALU 780. MPa

PREDEPNUTI SROUBU 54554.6 N  
UTAHOVACI MOMENT 279.8 Nm

ZADANE SOURADNICE SROUBU :

X ( 1, 1) = -46.0 mm	Y ( 1, 1) = 111.0 mm	*
X ( 1, 2) = -111.0 mm	Y ( 1, 2) = 46.0 mm	*
X ( 1, 3) = -111.0 mm	Y ( 1, 3) = -46.0 mm	*
X ( 1, 4) = -46.0 mm	Y ( 1, 4) = -111.0 mm	*
X ( 1, 5) = 46.0 mm	Y ( 1, 5) = -111.0 mm	*
X ( 1, 6) = 111.0 mm	Y ( 1, 6) = -46.0 mm	*
X ( 1, 7) = 111.0 mm	Y ( 1, 7) = 46.0 mm	*
X ( 1, 8) = 46.0 mm	Y ( 1, 8) = 111.0 mm	*

ROZMERY A SOURADNICE PER NESOUCICH VE SMERU OSY Y :

VYSKA H = 30. mm  
SIRKA B = 40. MM  
DELKA L = 70. MM

X ( 1) = -115.0 mm Y ( 1) = .0 mm  
X ( 2) = 115.0 mm Y ( 2) = .0 mm



DALSI ZADANE NOSNE PRVKY :

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

SPOJENI PLOCH SROUBY, KOLIKY, PERY A DALŠ. NOSN. PRVKY

Spojenci hlavy s pohonem .

Bakowsky . 15-05-13

\*\*\*\*\*

NOSNE PRVKY NESOUČI V TECNE ROVINE (OBECNEM SMERU) :

POČET PRVKU : 1  
ZADANA TUHOST : 9999999. N/mm

SOURADNICE :

X ( 1, 1) = .0 mm Y ( 1, 1) = .0 mm

\*\*\*\*\*

SPOJENI PLOCH SROUBY, KOLIKY, PERY A DALŠ. NOSN. PRVKY

Spojenci hlavy s pohonem.

Bakowsky . 15-05-13

\*\*\*\*\*

ZATIZENI SPOJOVANE PLOCHY :  
#####

FX = 25000.0 N FY = 15000.0 N FZ = 15000.0 N  
MX = .0 Nm MY = .0 Nm MZ = .0Nm

PUSOBISTE VNEJSICH SIL :  
x = .0 mm y = 626.0 mm z = 477.0 mm

SOUCINITEL BEZPECNOSTI :

PROTI ODLEHNUTI 1.17  
PROTI PROKLOUZNUTI 2.89  
PROTI PROTOCENI .66

SOURADNICE STREDU PRUZNOSTI V NORMALNEM SMERU :

X = .0 mm Y = .0 mm

SOURADNICE STREDU PRUZNOSTI V TECNEM SMERU :

X = 38.7 mm Y = -7.3 mm

VYSLEDNE POSUNUTI V MISTE PUSOBISTE VNEJSIHO ZATIZENI

Dx = .2113E-01 mm  
Dy = .4638E-01 mm  
Dz = .7312E-03 mm

MAXIMALNI ZATIZENI A NAMAHANI SPOJOVACICH PRVKU

#####

SROUBY :

SOURAD. MAX. ZATIZENEHO SROUBU : XS = -111.0 mm  
YS = 46.0 mm

ZATIZENI SROUBU : NORMALNE 55244. N  
TECNE 1106. N

NAMAHANI

TAHOVE 225.7 MPa  
OHYBOVE 69.6 MPa  
NORMALNE 295.3 MPa  
SMYKOVE 4.5 MPa  
TLAK V ZAVITU 78.6 MPa

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

SPOJENI PLOCH SROUBY, KOLIKY, PERY A DALŠ. NOSN. PRVKY

Spojenci hlavy s pohonem .

Bakowsky . 15-05-13

\*\*\*\*\*

PERA NESOUCI VE SMERU OSY Y

---

SOURAD. MAXIM. ZATIZENEHO PERA      XP = -115.0 mm  
YP =                                         .0 mm

ZATIZENI PERA                            18110.0 N  
NAPETI VE SMYKU                        6.5 MPa  
TLAK NA PERO                             17.2 MPa

ZATIZENI DALSICH PRVKU

---

PRVKY NESOUCI VE SMERU TECNEM (OBECHNE) F = 29864.2 N

Pocet iteraci..... 1

\*\*\*\*\*

## Příloha 3

Kontrola šroubů - připevnění vyvrtávací hlavy na pinolu v programu bspoj

SPOJENI PLOCH SROUBY, KOLIKY, PERY A DALŠ. NOSN. PRVKY

Pripevneni na pinolu

Bakowsky

29-04-13

ZADANE HODNOTY

#####

SOURADNICE BODU VNEJSIHO OBVODU :

X ( 1, 1) = -260.0 mm	Y ( 1, 1) = -260.0 mm
X ( 1, 2) = 260.0 mm	Y ( 1, 2) = -260.0 mm
X ( 1, 3) = 260.0 mm	Y ( 1, 3) = 260.0 mm
X ( 1, 4) = -260.0 mm	Y ( 1, 4) = 260.0 mm

SOURADNICE BODU OTVORU :

X ( 2, 1) = -215.0 mm	Y ( 2, 1) = .0 mm
X ( 2, 2) = -208.0 mm	Y ( 2, 2) = -56.0 mm
X ( 2, 3) = -186.0 mm	Y ( 2, 3) = -107.5 mm
X ( 2, 4) = -152.0 mm	Y ( 2, 4) = -152.0 mm
X ( 2, 5) = -107.5 mm	Y ( 2, 5) = -186.0 mm
X ( 2, 6) = -56.0 mm	Y ( 2, 6) = -208.0 mm
X ( 2, 7) = .0 mm	Y ( 2, 7) = -215.0 mm
X ( 2, 8) = 56.0 mm	Y ( 2, 8) = -208.0 mm
X ( 2, 9) = 107.5 mm	Y ( 2, 9) = -186.0 mm
X ( 2, 10) = 152.0 mm	Y ( 2, 10) = -152.0 mm
X ( 2, 11) = 186.0 mm	Y ( 2, 11) = -107.5 mm
X ( 2, 12) = 208.0 mm	Y ( 2, 12) = -56.0 mm
X ( 2, 13) = 215.0 mm	Y ( 2, 13) = .0 mm
X ( 2, 14) = 208.0 mm	Y ( 2, 14) = 56.0 mm
X ( 2, 15) = 186.0 mm	Y ( 2, 15) = 107.5 mm
X ( 2, 16) = 152.0 mm	Y ( 2, 16) = 152.0 mm
X ( 2, 17) = 107.5 mm	Y ( 2, 17) = 186.0 mm
X ( 2, 18) = 56.0 mm	Y ( 2, 18) = 208.0 mm
X ( 2, 19) = .0 mm	Y ( 2, 19) = 215.0 mm
X ( 2, 20) = -56.0 mm	Y ( 2, 20) = 208.0 mm
X ( 2, 21) = -107.5 mm	Y ( 2, 21) = 186.0 mm
X ( 2, 22) = -152.0 mm	Y ( 2, 22) = 152.0 mm
X ( 2, 23) = -186.0 mm	Y ( 2, 23) = 107.5 mm
X ( 2, 24) = -208.0 mm	Y ( 2, 24) = 56.0 mm

POCET VRSTEV SPOJ. MATERIALU : 2

1. VRSTVA : TLOUSTKA 45.0 mm  
MODUL PRUZNOSTI V TAHU 210000. MPa  
MODUL PRUZNOSTI VE SMYKU 80500. MPa  
POISSONOVO CISLO .30

2. VRSTVA : TLOUSTKA 45.0 mm  
MODUL PRUZNOSTI V TAHU 210000. MPa  
MODUL PRUZNOSTI VE SMYKU 80500. MPa  
POISSONOVO CISLO .30

SPOJENI PLOCH SROUBY, KOLIKY, PERY A DALŠ. NOSN. PRVKY

Pripevneni na pinolu

Bakovsky

29-04-13

SROUB : PRUMER ZAVITU 24.0 mm  
STOUPANI 3.0 mm  
DELKA MATICE 90.0 mm  
MATERIAL SROUBU 8G  
PEVNOST MATERIALU 780. MPa

PREDEPNUTI SROUBU 78558.6 N  
UTAHOVACI MOMENT 483.6 Nm

ZADANE SOURADNICE SROUBU :

X ( 1, 1) = -118.0 mm	Y ( 1, 1) = 440.0 mm
X ( 1, 2) = -227.5 mm	Y ( 1, 2) = 394.0 mm
X ( 1, 3) = -394.0 mm	Y ( 1, 3) = 227.5 mm
X ( 1, 4) = -440.0 mm	Y ( 1, 4) = 118.0 mm
X ( 1, 5) = -440.0 mm	Y ( 1, 5) = -118.0 mm
X ( 1, 6) = -394.0 mm	Y ( 1, 6) = -227.5 mm
X ( 1, 7) = -227.5 mm	Y ( 1, 7) = -394.0 mm
X ( 1, 8) = -118.0 mm	Y ( 1, 8) = -440.0 mm
X ( 1, 9) = 118.0 mm	Y ( 1, 9) = -440.0 mm
X ( 1, 10) = 227.5 mm	Y ( 1, 10) = -394.0 mm
X ( 1, 11) = 384.0 mm	Y ( 1, 11) = -227.5 mm
X ( 1, 12) = 440.0 mm	Y ( 1, 12) = -118.0 mm
X ( 1, 13) = 440.0 mm	Y ( 1, 13) = 118.0 mm
X ( 1, 14) = 384.0 mm	Y ( 1, 14) = 227.5 mm
X ( 1, 15) = 227.5 mm	Y ( 1, 15) = 384.0 mm
X ( 1, 16) = 118.0 mm	Y ( 1, 16) = 440.0 mm

DALSI ZADANE NOSNE PRVKY :

NOSNE PRVKY NESOUCI V TECNE ROVINE (OBECNEM SMERU) :

POCET PRVKU : 1  
ZADANA TUHOST : 100000000. N/mm

SOURADNICE :

X ( 1, 1) = .0 mm Y ( 1, 1) = .0 mm

```

*****
*
*      SPOJENI PLOCH SROUBY, KOLIKY, PERY A DALŠ. NOSN. PRVKY
*
*      Pripevneni na pinolu
*
*      Bakowsky      .      29-04-13
*
*****
*
*      ZATIZENI SPOJOVANE PLOCHY :
*      #####
*
*      FX =      15000.0 N      FY =      42000.0 N      FZ =      -15000.0 N
*      MX =      -8500.0 Nm     MY =              .0 Nm     MZ =              .0 Nm
*
*      PUSOBISTE VNEJSICH SIL :
*      x =      625.0 mm      y =              .0 mm      z =      2000.0 mm
*
*
*      SOUCINITEL BEZPECNOSTI :
*
*      PROTI ODLEHNUTI      1.10
*      PROTI PROKLOUZNUTI   5.64
*      PROTI PROTOCENI      4.35
*
*
*      SOURADNICE STREDU PRUZNOSTI V NORMALNEM SMERU :
*      X =              .0 mm      Y =              .0 mm
*
*      SOURADNICE STREDU PRUZNOSTI V TECNEM SMERU :
*      X =      19.9 mm      Y =      64.4 mm
*
*
*      VYSLEDNE POSUNUTI V MISTE PUSOBISTE VNEJSIHO ZATIZENI
*      Dx =      .1229E-02 mm
*      Dy =      .4199E-02 mm
*      Dz =      -.3982E-03 mm
*
*
*      MAXIMALNI ZATIZENI A NAMAHANI SPOJOVACICH PRVKU
*      #####
*
*      SROUBY :
*
*      _____
*
*      SOURAD. MAX. ZATIZENEHO SROUBU :      XS = -118.0 mm
*                                              YS = -440.0 mm
*
*      ZATIZENI SROUBU      :  NORMALNE      79188. N
*                             TECNE          2. N
*
*      NAMAHANI
*      TAHOVE      224.6 MPa
*      OHYBOVE     .2 MPa
*      NORMALNE    224.9 MPa
*      SMYKOVE     .0 MPa
*      TLAK V ZAVITU 31.3 MPa
*
*****

```

# Příloha 4

Kontrola ložisek v programu PREF





unosnost dyn.	:	423000. [N]	I unosnost dyn.	:	423000. [N]
unosnost stat.	:	780000. [N]	I unosnost stat.	:	780000. [N]
mezni otacky	:	1200. [1/min]	I mezni otacky	:	1200. [1/min]
koef. X1	:	1.00 [-]	I koef. X1	:	1.00 [-]
koef. Y1	:	.00 [-]	I koef. Y1	:	.00 [-]
koef. X2	:	.63 [-]	I koef. X2	:	.63 [-]
koef. Y2	:	.78 [-]	I koef. Y2	:	.75 [-]
koef. X0	:	.50 [-]	I koef. X0	:	.50 [-]
koef. Y0	:	.66 [-]	I koef. Y0	:	.66 [-]
koef. e	:	.80 [-]	I koef. e	:	.80 [-]

---

I



\*\*\*\*\*

Souhmoti : 1.00                      pocet ZZM : 2

z a d a n e	h o d n o t y	I	v y p o c t e n e	h o d n o t y			
oznaceni	typ	mst.zs	Mk	I	Fo	Fr	Fa
			[Nm]	I	[N]	[N]	[N]

---

1.02	spojka	1.01	10000.0	I	.0	.0	.0
------	--------	------	---------	---	----	----	----

.....



p r e v o d . p r v k y I		v y p o c t e n e h o d n o t y					
ozn.	typ	ms.zs I	I pruhyb ux[mm]	pruhyb uy[mm]	pruhyb uo[mm]	natoceni fio[rad]	natoceni fik[rad]
1.02	spojka	1.01I	-.877E-01	.997E-01	.133E+00	.243E-03	.000E+00
.....							
3.04	spojka	1.01I	-.408E-02	.460E-02	.615E-02	.102E-03	.528E-03







