

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Příslušenství vyvrtávacích a frézovacích strojů. Frézovací  
zařízení – finální převod, uložení vřetene.

Autor: **Matěj ŠTĚDRÝ**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Zdeněk HUDEC, CSc.**

Akademický rok 2016/17

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Matěj ŠTĚDRÝ**

Osobní číslo: **S16B0345P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**

Název tématu: **Příslušenství vyvrtávacích a frézovacích strojů. Frézovací zařízení - finální převod, uložení vřetene.**

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:

Proveďte rešerši v dané oblasti. Zpracujte tematiku z hledisek principů, srovnání jednotlivých koncepcí, konstrukčních provedení, užitných vlastností a aplikací. Konstrukční návrh.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše, specifikace požadavků.
2. Konstrukční návrh.
3. Ověření navržené konstrukce na vyrobeném prototypu.
4. Zhodnocení práce, závěr.

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

**HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1. Brno: Computer Press, 1999**


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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**

  
Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 19. září 2016

## **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.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

**ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE**

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Štědrý	<b>Jméno</b> Matěj	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Hudec, CSc.	<b>Jméno</b> Zdeněk	
<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 vyvrtávacích a frézovacích strojů. Frézovací zařízení – finální převod, uložení včetně		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

**POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)**

<b>CELKEM</b>	60	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	54	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	6
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh otočné části frézovacího zařízení. Je zde popsána problematika daného tématu. V praktické části zpracovány výpočty pro návrh frézovacího zařízení. Součástí návrhu je uložení vřeten a jejich pohonný mechanismus.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	frézovací zařízení, vřeteno, uložení, T-drážka

**SUMMARY OF BACHELOR SHEET**

<b>AUTHOR</b>	Surname Štědrý	Name Matěj
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“	
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hudec, CSc.	Name Zdeněk
<b>INSTITUTION</b>	ZČU – FST – KKS	
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b> Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Equipment of drilling and milling machines. Milling accessories – final gear, mandrel seating.	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine design	<b>SUBMITTED IN</b>	2017
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

**NUMBER OF PAGES (A4 and eg. A4)**

<b>TOTALLY</b>	60	<b>TEXT PART</b>	54	<b>GRAPHICAL PART</b>	6
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b> <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	Subject of bachelor thesis is to make mechanical design of a rotating part of milling accessories. At first, theoretical part describes the given topic. Practical part shows all calculations needed for milling head design. Part of the mechanical design is a mandrel seating and propulsion system.
<b>KEY WORDS</b>	milling accessories, mandrel, seating, T-slot

Rád bych poděkoval Doc. Ing. Zdeňkovi Hudcovi, CSc. za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování mé bakalářské práce.

## Obsah

Úvod.....	13
1 Obrábění .....	14
1.1 Vyvrtávání.....	14
1.2 Frézování.....	15
1.2.1 Frézování rovinných ploch .....	15
1.2.2 Frézování válcovou frézou.....	15
1.2.3 Frézování čelní frézou.....	15
2 Základní funkční části obráběcího pracoviště .....	16
2.1 Rám stroje .....	16
2.1.1 Lože.....	16
2.1.2 Stojan .....	16
2.1.3 Příčnick .....	16
2.1.4 Vřeteník.....	16
2.1.5 Vřeteno.....	17
2.1.6 Pinola .....	17
2.1.7 Finální převod .....	17
2.1.8 Pohon .....	17
2.1.9 Posuvy.....	18
2.1.10 Pohybový šroub .....	18
2.1.11 Vedení.....	18
3 Vyvrtávací stroje.....	18
3.1 Deskové.....	19
3.2 Stolové.....	19
3.3 Křížové.....	19
4 Frézovací stroje.....	20
4.1 Konzolové frézky .....	20
4.2 Stolové frézky .....	20
4.3 Rovinné .....	20
4.4 Speciální.....	20
5 Příslušenství vodorovných vyvrtávaček a frézek .....	21
5.1 Frézovací zařízení .....	21
5.2 Frézovací hlavy .....	21



5.2.1	Popis jednotlivých funkčních celků frézovací hlavy .....	22
5.3	Mechanismy natáčení .....	23
5.3.1	Indexování .....	23
5.3.2	Souvislé natáčení .....	24
5.4	Vyvrtávací zařízení .....	25
6	Mazání a chlazení .....	26
6.1	Mazání .....	26
6.2	Chlazení .....	27
7	Upínání nástroje do příslušenství .....	28
7.1	ISO (SK) .....	28
7.2	HSK .....	28
7.3	Coromant Capto .....	28
8	Návrh uložení vřetena frézovacího stroje .....	29
8.1	Házení .....	29
8.2	Uložení vřetene na kuličkových ložiskách .....	30
8.3	Tuhost uložení vřetene .....	30
8.4	Uložení vřetene na kuželíkových ložiskách .....	30
8.5	Vysoce přesná ložiska (vřetenová) .....	30
9	Řešení vlastní úlohy .....	32
9.1	Analýza frézovacího zařízení .....	32
9.1.1	T-drážky a jejich výroba .....	34
9.2	Zadané parametry .....	35
9.2.1	Zátěžné stavy .....	35
9.3	Návrh soukolí .....	36
9.4	Návrh pracovního vřetene a jeho uložení .....	37
9.4.1	Životnost ložisek .....	39
9.4.2	Teplotně stabilní otáčky .....	39
9.4.3	Výpočet deformace vřetene v programu KISSSoft .....	41
9.4.4	Výpočet deformace vřetene metodou konečných prvků .....	41
9.5	Návrh uložení hřídele .....	43
9.6	Návrh prvků pro přenos momentu .....	44
9.6.1	Pera mezi vřetenem stroje a hřídelí .....	44
9.6.2	Pero mezi hnaným kolem a vřetenem .....	45
9.6.3	Pero mezi hřídelí a hnacím kolem .....	45

9.7	Model .....	46
10	Závěr .....	47
	Seznam obrázků .....	48
	Seznam tabulek .....	50
	Seznam příloh .....	50
	Použitý software.....	50
	Knižní publikace .....	50
	Podklady k přednáškám .....	51
	Publikace na internetu.....	51

## Seznam zkratk a symbolů

F – síla

P – výkon

T – teplota

p – tlak

D – průměr díry

d – průměr hřídele

$D_F$  – průměr nástroje

$F_A$  – síla v axiálním směru

$F_R$  – síla v radiálním směru

$L_h$  – životnost

Q – koeficient kvality

q – poměrná doba běhu

a – osová vzdálenost

m – modul

$m_n$  – normálový modul

$z_1$  – počet zubů hnacího kola

$z_2$  – počet zubů hnaného kola

x – korekce osově vzdálenosti

b – šířka

$\alpha$  – úhel záběru

$\beta$  - úhel sklonu zubů

$p_A$  – dovolený tlak

$\tau_A$  – dovolené napětí ve smyku

$\eta$  - účinnost

$M_1$  – kroutící moment hnacího kola

$M_2$  – kroutící moment hnaného kola

$F_v$  – výsledná síla

$n_1$  – otáčky hnací kolo (1/min)

$n_2$  – otáčky hnané kolo (1/min)

i – převodový poměr

s – bezpečnost

h – výška

l – délka

$l_{\min}$  – minimální délka

B – šířka ložiska

kW – kilowatt

$\text{min}^{-1}$ , 1/min, ot/min – otáčky za minutu

Nm – newton metr

N – newton

mm – milimetr

° – stupeň

$\mu\text{m}$  – mikrometr

m – metr

hod – hodina

Pa – pascal

## Úvod

Tématem práce je příslušenství vyvrtávacích a frézovacích strojů. V první části této práce je na dané téma vypracována rešerše. Jsou zde zpracovány obráběcí operace, které se využívají na vyvrtávacích a frézovacích strojích a jejich příslušenství. Dále jsou rozebrány principy fungování těchto strojů se zaměřením na jejich příslušenství.

Ve vlastní úloze je řešen konstrukční návrh otočné části frézovacího zařízení pro obrábění T-drážek. Nejprve je popsána analýza zařízení, ve které je uveden příklad podobného zařízení od firmy Waldrich. Dále jsou zpracovány jednotlivé kroky návrhu, kde je popsáno, jakým způsobem je návrh řešen. Jsou zde uvedeny vstupní parametry výpočtů, vyhodnocení a obrázek z prostředí programu, ve kterém je návrh zpracován. Použity jsou programy KISSSoft, Autodesk Inventor a Siemens NX. K závěru práce je obrázek vytvořeného modelu.

# 1 Obrábění

Vyvtávání a frézování jsou jedny ze základních operací obrábění. Obrábění je technologický proces, při kterém se opracovává polotovár (obráběný předmět) do požadovaného tvaru a rozměrů odebráním materiálu ve tvaru třísek – konvenční obrábění (nekonvenční obrábění: k odebrání materiálu dochází pomocí elektrických a chemických procesů). Tyto třísky jsou oddělovány od obrobku břity nástrojů. Břit je pracovní část nástroje ve tvaru klínu.

K samotnému odebrání materiálu ale nedochází jen tak. Je potřeba, aby docházelo k vzájemnému pohybu mezi obrobkem a nástrojem. Tento pohyb se nazývá řezný pohyb.

**Hlavní pohyb** – hlavní složka řezného pohybu, základní pohyb stroje – rotační, přímočarý nebo kombinovaný

**Posuv** – pohyb nástroje nebo obrobku, současně hlavním řezným pohybem umožňuje postupné oddělování třísek

Přesnost obrábění je dána mnoha faktory jako je např.: chlazení, obsluha, odvádění třísky, rychlost a podmínky obrábění, správné upnutí obrobku i upnutí nástroje. [9]

Základní dělení obráběcích strojů je podle technologie obrábění na daném stroji

- Hlavní technologie obrábění
- Soustružení
- Frézování
- Vrtání, vyvtávání
- Broušení

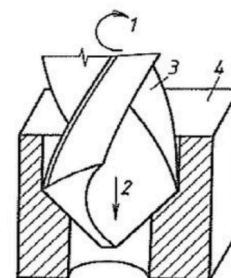
## 1.1 Vyvtávání

Vyvtávání je obráběcí metoda, při níž se rozšiřují předlité, překované, přelisované, předvrtané nebo jinými způsoby předhotovené díry na požadovaný poměr nebo tvar. Používá se pro hrubování i dokončovací operace. Hlavní pohyb je rotační, vedlejší pohyb posuvný.

Plochy, které se obrábí, mají tvar válce, kužele, čelního mezikruží nebo i další, jako například řezání zápchů nebo frézování, a to díky vyvtávacímu příslušenství, díky kterému jsou vyvtávací stroje velmi univerzální.

Převážně se tato metoda používá pro obrobení vnitřních ploch, lze ale vyvtáváním obrobit i plochy vnější. Pro tvarově složitější plochy nebo dokončovací operace se častěji používá pouze jednobřítý nástroj. Vícebřité nástroje jsou vhodné spíše pro hrubování válcových děr.

Nástrojem jsou vyvtávací nože, které se upevňují do vyvtávací tyče nebo do vyvtávací hlavy. Nástroje rotují nebo se posouvají v nožových saních. [11]



Obrázek 1- Schéma vyvtávání [10]

- 1 – Hlavní řezný pohyb
- 2 – Posuvný pohyb
- 3 – Nástroj
- 4 – Obráběný předmět

## 1.2 Frézování

Obrábění rovinných nebo tvarových ploch rotačním vícebřitým nástrojem – frézou. Břity jsou rozloženy na povrchu válcové, kuželové nebo jiné rotační plochy, jejíž osa je shodná s osou otáčení nástroje. Při frézování je vhodné, aby bylo vždy v záběru co nejvíce břitů. Každý břit odebírá samostatnou třísku proměnné tloušťky. Díky přesnosti a produktivitě má frézování velké uplatnění v praxi. [12]

Řezný pohyb je složen ze dvou pohybů

- Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho nástroj
- Obrobek je upnutý a koná vedlejší pohyby (posuvy) – přímočaré nebo posuvné

### 1.2.1 Frézování rovinných ploch

Frézování válcovou frézou – osa rotace rovnoběžná s obráběnou plochou. Obrábí břity po odvodu válcové frézy

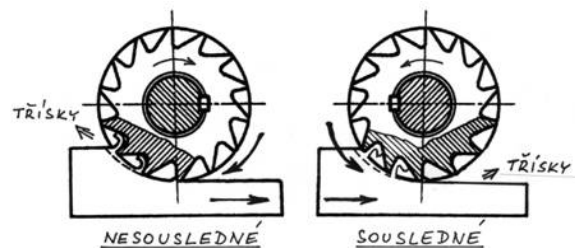
Frézování čelní frézou – osa rotace kolmá s obráběnou plochou. Obrábí břity na čele a po obvodu čelní frézy

### 1.2.2 Frézování válcovou frézou

Frézování válcovou frézou se dělí na sousledné a nesousledné.

Při nesousledném frézování se fréza otáčí proti směru posuvu – řezná síla působí proti posuvu a má tendenci „zvedat“ obrobek. Jak se zřejmě z obrázku, tloušťka třísky je při vniknutí ostří do materiálu minimální a postupně se rozšiřuje. Vyšší nároky na bezpečnost upnutí.

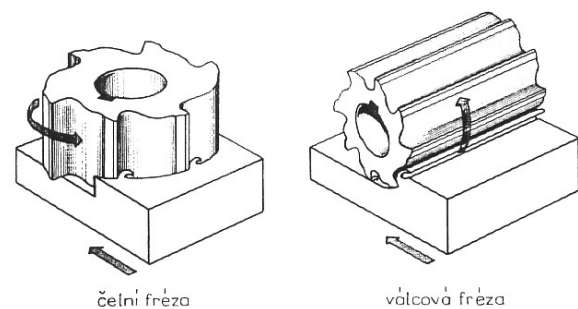
Při sousledném frézování se fréza otáčí ve směru posuvu – řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu (vtahuje obrobek pod sebe). Tříška má nejprve maximální tloušťku, která se postupně snižuje až do svého minima. Při záběru zubů vnikají silové rázy – to je oproti nesouslednému frézování nevýhoda. Tudiž jsou větší požadavky na tuhost konstrukce. Vhodné touto metodou obrábět spíše houževnatější materiály. [12]



Obrázek 2 - Sousledné a nesousledné frézování [13]

### 1.2.3 Frézování čelní frézou

Zabírá více zubů, uplatňují se jak břity obvodové, tak čelní. Osa nástroje je kolmá k obráběné ploše. Nejběžnější obrábění rovinných ploch, drážek, osazení, vybrání



Obrázek 3 - Čelní a válcová [14]

## 2 Základní funkční části obráběcího pracoviště

Existuje celá řada obráběcích strojů od ručně ovládaných, kde je vyžadovaná velká míra obsluhy stroje, až po obráběcí stroje moderní, které jsou plně automatické a lišící se velikostí stroje.

Požadavky na obráběcí stroje jsou vysoké z důvodu zajištění definovaných poloh obráběcího stroje a obrobku za klidu i v pohybu. Hlavními požadavky je tedy přesnost a výkonnost stroje, přičemž se obráběcímu stroji musí přiřadit potřebný výkon. Dalšími požadavky na obráběcí stroje je malá půdorysná plocha, snadná ovladatelnost, trvanlivost a životnost závisující na vhodně zvolených konstrukčních prvcích a v neposlední řadě je požadavkem rovněž vybavenost příslušenstvím, která zajišťuje rozmanitost obráběcích úkonů. [2]

### 2.1 Rám stroje

Rám stroje plní nosnou funkci obráběcího stroje. Proces obrábění je složen z několika řezných pohybů, které vyvolávají statické a dynamické zatížení. Zachycení těchto sil zajišťuje právě rám stroje. Mimo jiné zachycuje i účinky dané hmotností obrobku. Rám musí mít s ohledem na požadavky přesnosti obrábění stroje dostatečnou tuhost v tahu, tlaku, ohybu a také krutu. Mimo jiné musí být zajištěna odolnost proti opotřebení vodících ploch, dynamická stabilita a stálost tvaru. Rám stroje se skládá z menších celků: [2]

#### 2.1.1 Lože

základní funkcí je přenos sil do základu a vytvoření trajektorie posuvů pomocí vodících ploch (pro stůl, stojan nebo jiné základní části), které jsou na loži umístěny. U většiny strojů slouží jako spojení ostatních základních částí stroje v celek. Nese stojan s vřeteníkem a příslušenstvím, ten se pohybuje po loži v příčném směru. Lože se připevňuje pomocí šroubů k základu. Uprostřed může být upevněn kalený ozubený hřeben do kterého zabírají předepnuté pastorky nebo kuličkový šroub pro posuv stojanu. Na loži mohou být také umístěny trubky pro transport maziva. [8]

#### 2.1.2 Stojan

část stroje skříňového tvaru s výškou převládající nad jejím průměrem. Slouží k ustavení dalších částí stroje jako například vřeteník (může nést třeba i kabinu pro obsluhu). Na těle stojanu je také umístěn pohon a svislé vedení, to umožňuje svislý pohyb vřeteníku. [1]

#### 2.1.3 Příčnick

u některých obráběcích strojů se vyskytuje vodorovně uložená část stroje. Většinou je uložen pohyblivě na jednom nebo dvou stojanech a jsou na něm vodící plochy pro vřeteník. [1]

#### 2.1.4 Vřeteník

část stroje, nachází se v něm pinola, ve které je uloženo vřeteno. případně i převodové ústrojí pro změnu otáček vřetena. Součástí vřeteníku je hlavní pohon, který roztáčí vřeteno. Může být umístěn uvnitř nebo vně vřeteníku. Ke zlepšení přesnosti je tíha vřeteníku kompenzována závažím, které bývá umístěné na zadní části stojanu a je zavěšeno pomocí řetězu nebo lana – vyrovnávání přímočarosti výsuvu vřetena/pinoly. [8]



### 2.1.5 Vřetenno

Je uloženo uvnitř vřeteníku. Vykonává dva pohyby. Rotace kolem svojí osy (osy Z) – hlavní řezný pohyb, druhý pohyb je posuvný v příčném směru (ven z vřeteníku). Na konci vřetená bývá umístěn kužel pro upínání nástrojů. [2]

### 2.1.6 Pinola

ocelový odlitek hranolovitého tvaru, čtvercového průřezu. Pinola tvoří nosný element (k podepření a zpevnění), ve kterém jsou uložena pracovní vřetená. Na čelo pinoly se připevňují různá přídavná zařízení, která rozšiřují možnosti stroje (frézovací, vyvrtávací hlavy). Vedení pinoly bývá kluzné, může být i hydrostatické. V přední polovině pinoly jsou přesné vývrty pro uložení ložisek. V rozích čela jsou čtyři válcové otvory pro upnutí technologického zařízení. [8]

### 2.1.7 Finální převod

Uložen na horní straně pinoly, je s ní pevně spojen a při jejím vysouvání s ní koná přímočarý pohyb. Slouží k přenosu výkonu mezi převodovým mechanismem a vřetenem při současné změně jeho parametrů. [8]

Finálním převodem (frézovacích) strojů a zařízení je věnec s pastorkem opatřený čelním ozubením nebo kuželová kola. Případně i ozubený řemen. Převod frézovacího zařízení je umístěn mezi ložisky vřetená. Průměr finálního kola je dán rozměrem tělesa uložení vřetená. Převodový poměr se určí při návrhu převodovky hlavního pohonu. [1]

### 2.1.8 Pohon

Pohonný systém obráběcích strojů se skládá z hnacího členu a převodového mechanismu. Zabezpečuje rotaci vřetená – hlavní řezný pohyb. Hlavní pohon je tvořen regulačním motorem. Motor bývá uložena v zadní části vřeteníku. Výkon je přenášen přes převodovku reprezentovanou ozubenými koly. Převodový mechanismus sloužící k vyvození hlavního řezného pohybu od spojení koncové části s vrtacím vřetenem. Finální výstupním členem pohonu je vřetenno frézovacího zařízení. (Vřetenno duté se používá pro frézování, plné vřetenno pro vrtání.) Z převodovky vystupuje hřídel, ze které je výkon přenášen finálním převodem. Vřetenno může vykonávat kromě rotačního pohybu i výsuv díky spojení finálního převodu a hřídele pomocí drážkování. [1]

Hnací členy (motory) – motor je základní částí pohonného systému, kde je transformována některá ze vstupních energií v energii mechanickou. Podle vstupní energie se dělí na elektromotory a hydromotory.

Podle charakteru vstupního a výstupního pohybu na rotační motory (výstupem je krouticí moment) a lineární motory (výstupem je posuvová rychlost).

### 2.1.9 Posuvy

Posuvy slouží k vyvození vedlejších obráběcích pohybů ve třech osách (u moderních, drahých, obráběcích center v pěti osách). Uskutečňují se pinolou nebo vřeteníkem, po stojanu, stojanem po loži nebo posunem stolu. [1]

### 2.1.10 Pohybový šroub

je tvořen vlastním šroubem a maticí. U tohoto mechanismu lze rozlišit dva základní případy užívané v konstrukci obráběcích strojů

- Šroub se otáčí, matice je držena proti otáčení a posouvá se
- Matice se otáčí a posouvá, držen je šroub

### 2.1.11 Vedení

Vedení je systém vodících ploch na stroji, na nichž je se stýkají pohyblivé části stroje. Tato soustava musí zabezpečit pohyb uzlů stroje po geometricky přesných drahách. Provedení vodících ploch je velmi důležité, protože značně ovlivňuje kvalitu pohybových os stroje a tím i jeho pracovní přesnost. [1]

Má základní dvě funkce:

- Zabezpečit polohu nebo určitý relativní pohyb mezi pevnou a pohyblivou částí stroje
- Přenést zatížení z jednoho dílu na druhý

Rozdělení:

Podle druhu tření

- Kluzná (hydrodynamická)
- Valivá
- Hydrostatická

Podle tvaru vedení

- Přímá
- kruhová vedení

## 3 Vyvrtávací stroje

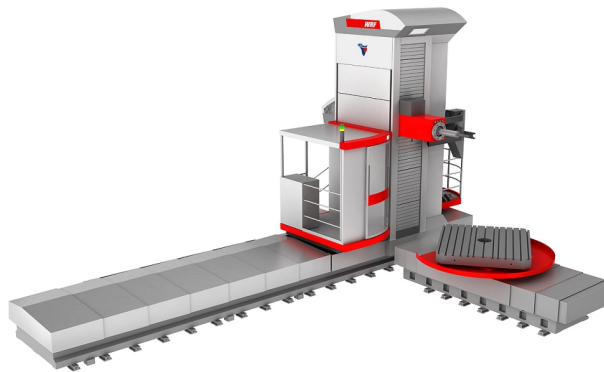
Jsou to velmi univerzální stroje. Hlavním řezný pohyb je rotační a ve většině případů posuvy ve 3 směrech koná nástroj upnutý na pracovní vřeteně. Nejzákladnější technologickou operací je obrábění nástrojem s jedním břitem – vyvrtávání. Díky tomu jsou velké požadavky na tuhost stroje, kvůli měnící se orientaci působení řezané síly během rotace. Ve většině případů mají tyto stroje vodorovně orientované vřeteně. Obrábění tvarově náročné obrobky. [8]

Pohony horizontek jsou řešeny regulačními motory s následnými převodovými mechanismy.

Posuvy jsou navrhovány regulačními elektromotory s kuličkovými šrouby, u velkých pojezdů se uplatní mechanismus pastorek a hřeben

### 3.1 Deskové

Hlavním znakem je stojan posuvný po loži v podélném směru. Po stojanu se svisle pohybuje vřeteník s vodorovně výsuvným vřetenem. Nemají pracovní stůl, obrobek se upíná na upínací nepohyblivou desku. Stojan s vřeteníkem se pohybuje podél této desky. Pokud se používá otočný stůl, je upnut na desku a má vlastní pohon. Lože deskové vyvrtávačky je tuhý, bohatě žebrovaný odlitek ze šedé litiny, výjimečně ocelový svařenec. Stejně jako u stolové vyvrtávačky bývá na stojanu umístěno závaží pro kompenzaci tíhy vřeteníku. [7]



Obrázek 4 – Horizontální vyvrtávací stroj od firmy Ferma [15]

### 3.2 Stolové

Jsou charakteristické pracovním stolem, který se pohybuje na příčných saních v podélném i příčném směru díky křížově uspořádaným saním. Pracovní stůl se dá pootočit až o 360°, což umožňuje obrábět obrobek ze 4 stran na jedno upnutí. Na jednom konci lože je připevněn stojan se svisle posuvným vřeteníkem. Smykadlo nebo pinola se mohou vysouvat z vřeteníku. Pracovní vřetení se otáčí a zároveň posouvá z pinoly. V praxi kombinace pohybu stolu a stroje. [7]



Obrázek 5 - Stolový vyvrtávací stroj firmy Ferma [15]

### 3.3 Křížové

Jsou koncepčně řešeny tak, že stůl je s obrobkem pohyblivý pouze v příčném směru a stojan podélně po loži. Tyto horizontky se používají k frézování rovinných ploch dlouhých obrobků. Jde o vyvrtávačky středních rozměrů. [8]

## 4 Frézovací stroje

Frézovací stroje pracují za využití vícebřitého nástroje. K tomu, aby bylo chvění frézovacího stroje co nejmenší, je dobré, aby v záběru s obrobkem bylo co nejvíce břitů. Frézovací stroje patří k nejvýkonnějším obráběcím strojům.

### 4.1 Konzolové frézky

Konzolové frézky souží k běžným operacím jako je obrábění rovinných ploch spíše menších a středních rozměrů obrobků. V praxi se vyskytují koncepce se vodorovnou i svislou osou vřetene. Rozměrový parametr – šířka stolu. Základním znakem rámu je přestavitelná konzola, která se po stojanu může pohybovat. Na konzole se nachází stůl a saně. U univerzálních konzolových frézek je možné předělat polohu vřeteníku. [1]

### 4.2 Stolové frézky

Stolové frézky bývají stroje větších rozměrů a jsou užívány také pro obrábění velkých těžkých obrobků na upínacím stole. Rozměrový parametr – upínací plocha – šířka x délka, hmotnost obrobku (přibližně 5 tun). Vyrábí se koncepce vodorovné a svislé orientace vřetena s posuvným stolem. Tento typ frézek nemývá pohyblivý stojan. Po stojanu se ve vedení posouvá vřeteník – osa Z. Stůl může být otočný a posouvá se po loži stroje. V případě, že je stůl otočný může vykonávat otočný pohyb, nebo ho koná frézovací zařízení, které se připevňuje na pinolu stroje. [1]

### 4.3 Rovinné

Rovinné frézky si jsou svou koncepcí podobné předchozímu typu frézek a slouží k obrábění rovinných i složitějších útvarů jako jsou například drážky, a to na velmi rozměrných obrocích. Podle orientace osy vřetene se rozdělují na vodorovné a svislé rovinné frézovací stroje. Rozměrový parametr – šířka stolu (přibližně několik desítek centimetrů až 4 metry). Rám frézky, kde se nachází jeden stojan, je složen ze stolu, stojanu a vřeteníku. Frézky mohou být s uzavřeným tvarem rámu – těm se říká portálové. Stojany jsou potom tedy spojeny výškově posuvným příčnickem. Zde se pak nachází vřeteníky. [1]

### 4.4 Speciální

Pro frézování velmi složitých tvarů jsou speciální frézky. Slouží k obrábění například drážek, na různé druhy ozubených kol a výrobu nástrojů.

Obvykle pracují se značnou přesností. Možnosti těchto strojů velmi rozšiřuje nabízené příslušenství.

Mezi tento druh strojů jsou řazeny i frézky kopírovací, ty obrábí různé tvary podle vzoru. Tyto tvary jsou kopírovány tykadlem. Posuvy jsou řízeny servopohony, tím je zaručena velká přesnost. Přibližně do 0,02 mm. [7]

## 5 Příslušenství vodorovných vyvrtávaček a frézek

Přídavná zařízení (příslušenství) rozšiřují technologické možnosti stroje. Frézovací a vyvrtávací zařízení se zpravidla upevňují na čelo pinoly stroje a umožňují obrábět tvarově složité plochy. Bohatá nabídka příslušenství zvyšuje kredit výrobce OS a zlepšuje jeho postavení na trhu. Příslušenství prodává stroj. [8]

### Technologická zařízení

Zvyšují flexibilitu a produktivitu stroje a rozšiřují jeho technologické možnosti tak, aby bylo možno vyhovět speciálním požadavkům zákazníků. U starších strojů lze využít k modernizaci stroje. [8]

### Manipulační zařízení

Slouží především ke snížení mezioperačních časů a intenzitu práce obsluhy. Všechna tato zařízení mají hlavní funkci – zvýšit produktivitu obráběcího procesu. [8]

### 5.1 Frézovací zařízení

Rozdělení frézovacích zařízení

Podle počtu a sklonu os natáčení

- Úhlové hlavy – natáčení kolem jedné osy – sklon 90°
- Univerzální – natáčení kolem dvou os – sklon 90° nebo 45°

Podle způsobu natáčení

- Ruční natáčení – pomocí šnekového soukolí
- Pomocí vřeten stroje – indexování
- Polohovým servomechanismem

Podle upínání nástrojů (ISO 50, 40, SK)

- Ručně nebo automatickým upínačem

Podle manipulace s hlavou

- Ručně s pomocí jeřábu nebo manipulačního vozíku
- Automaticky

### 5.2 Frézovací hlavy

Výměnné hlavy zvyšují technologické možnosti obráběcího stroje pro obrábění svislých, vodorovných i jinak orientovaných ploch. Dosahuje se toho změnou orientace polohy vřeten a jeho vhodného natočení, například u horizontální vyvrtávačky, kdy je hlavní osa vřeten stroje ve vodorovné poloze. Pomocí vřetenové hlavy je výstupní vřeten možno orientovat svisle. Vřetenová hlava může být neodnímatelnou součástí vřeteníku stroje, případně ji lze využívat jako příslušenství stroje, kdy je hlavu možné odepnout od vřeteníku. V dnešní době CNC obráběcích strojů a center, jsou vřetenové hlavy jistým standardem jejich vybavení. Ze strojů původně určených pro specifické práce (vodorovné vyvrtávačky pro vrtání a vyvrtávání), vznikají stroje s jistou přidanou hodnotou, kde je možné vřetenovými hlavami provádět například operace frézování. [2]

## Režimy a funkce frézovací hlavy

Hlavním znakem pracovního režimu těchto zařízení je jejich umístění na pinolu stroje. Přenos momentu od stroje na pracovní vřetena zařízení je vyvozen od hlavního pohonu. Pro zajištění aretace kolem os slouží Hirthova spojka spolu s hydromotory. Při uvolnění tlaku v hydromotorech dojde k výsuvu vřetena a uvolnění ve spojce. Tehdy může dojít k pootočení. K pootočení dojde vlivem hlavního pohybu. Natáčení kolem dalších os funguje podobně. Hirthova spojky se uvolní ze záběru. [16]

### 5.2.1 Popis jednotlivých funkčních celků frézovací hlavy

#### Rám

Rám je charakteristickým prvkem hlavy po stránce tvaru a rozměrů. Nachází se zde pohon a další mechanismy k zajištění požadovaného fungování zařízení. Rám se skládá ze statické části, která bývá připevňována na čelo pinoly pomocí šroubů a dále jedné nebo více pohyblivých částí, které jsou vůči sobě natáčeny. Rám je ve většině případů vyroben z oceli nebo litiny. [16]

#### Hlavní pohon

Je to systém, který umožňuje přenášet točivý moment od obráběcího stroje na pracovní vřeteno frézovací hlavy a tím pádem také na nástroj. Tento systém je tvořen jednotlivými částmi zařízení – hřídele a například ozubených převodů. Volí se čelní ozubená kola s přímými nebo šikmými zuby. Hřídele a vřetena jsou uloženy do valivých ložisek. [16]

#### Mechanismy natáčení

Umožňují otáčení – indexování částí frézovací hlavy a poté jejich zajištění. Jak je výše zmíněno, k tomu slouží hydromotory a Hirthovo ozubené spojky. Spojky jsou k sobě tlačeny vyvozenou silou od hydromotorů. Snížením tlaku pak dojde zase k jejich uvolnění. [16]

#### Přívody energií

Zde se jedná především o dodání tlakové kapaliny, chladiva, elektrické energie. Tlaková kapalina je v tomto případě použita pro zajištění os zařízení. Vzduch nebo chladicí kapalina může být rozváděna externě, nebo středem nástroje. Vzduch je používán pro ochranu a ofukování dutiny, která vždy musí zůstat čistá. Kapalina může například napomoci také při odvádění třísek z pracovního prostoru. [16]

Jako **parametry** frézovacího zařízení jsou nejčastěji udávány (v závorkách přibližné hodnoty):

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| - Výkon (20 kW)                              | - Upínací kužel (např.: ISO 50)    |
| - Moment (1000 Nm)                           | - Rozsah otáčení v 1. Ose (0–360°) |
| - Jmenovité otáčky (250 min <sup>-1</sup> )  | - Rozsah otáčení v 2. Ose (0–360°) |
| - Maximální otáčky (2000 min <sup>-1</sup> ) | - Úhel os natáčení (90°)           |
| - Převod (1:1)                               | - (rozměry, přesnost, životnost)   |

## 5.3 Mechanismy natáčení

### 5.3.1 Indexování

je přesné natáčení o určitý úhel a je prováděno za klidu zařízení

Natáčení polohovým servomechanismem – provádí se v 1 nebo ve 2 souřadnicích

**Hirthova spojka** – Pevné spojení na principu Hirthovo ozubení vytvořeného na obou čelech spojovaných součástí, které jsou k sobě stlačovány osovými silami. Hirthovo aretační ozubení se používá k přesnému ustavení polohy strojní součásti se zaručenou opakovatelností, v tomto případě k zajištění přesné polohy upnutí frézovacích hlav. Přesnost dělení  $\pm 3''$  a přesnost otáčení o  $360^\circ$  je 0,001 mm. Nevýhodou je, že nelze frézovací hlavu natočit o jakýkoliv úhel, ale pouze úhle daný např. počtem zubů Hirthovy spojky. Hirthovy spojky se vyrábí v rozsahu 12-360 zubů. Je tedy možno indexovat nejjemněji po jednom stupni. K dosahování velké přesnosti napomáhá také středící kužel. [8]



Obrázek 6 - Kroužky s Hirthovo ozubením [25]

### Indexování – 1 osa

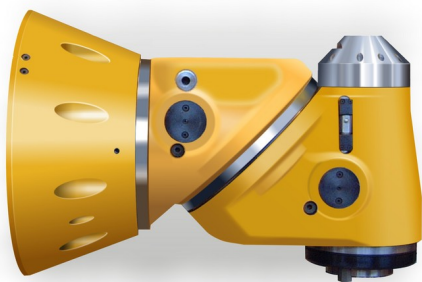
Natočení je provedeno vřetenem stroje. Pro lehčí vrtací a frézovací operace prováděné pod libovolným úhlem. Vřeteno hlavy je kolmé na vřeteno stroje – možné natáčet o  $360^\circ$ . Tělo se skládá nejčastěji ze dvou částí, jedna je pevná, druhou lze natáčet kolem osy automatiky nebo manuálně. Pravoúhlé hlavy mají obvykle dobrou tuhost, která napomáhá přesnějšímu obrábění. [8]



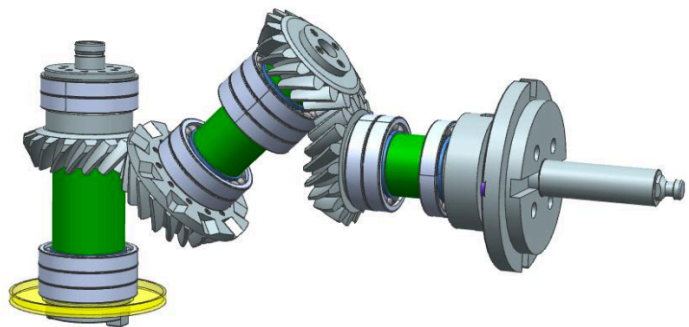
Obrázek 7 - Hlava indexovaná - 1 osa [17]

## 2 osy 45°

Univerzální, automaticky natáčená ve dvou osách. První osa je vodorovná a je totožná s osou vřetena stroje, druhá osa je skloněná pod úhlem 45° od první vodorovné osy. Rozsah indexovaného natáčení ve dvou osách je 0–360°. Počet indexovaných poloh je dán počtem zubů Hirthovy spojky. Použití, tam kde je potřeba obrábět složitější tvary. Tuhost s předchozím typem o něco menší, ale více nastavitelných úhlů vůči obráběné ploše. [8]



Obrázek 9 - Hlava indexovaná - 2 osy [17]



Obrázek 8 - Schéma pohonu [16]

## Indexování – 2 osy

Je zde jiná vzájemná poloha os. Osy svírají úhel 90°. Tyto hlavy jsou pravoúhlé, oproti jednoosým hlavám je zde možnost ovládat další osu.

Natáčení je prováděno pomocí vřetena stroje. Upínání nástrojů je řešeno pomocí kleštinových upínačů a talířových pružin, uvolňování nástrojů hydraulikou. Kužel ve vřetenu je ISO 50.) [8]



Obrázek 10 - Hlava indexovaná pravoúhlá [17]

### 5.3.2 Souvislé natáčení

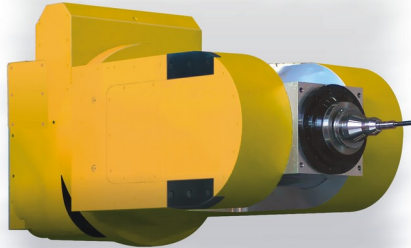
je přesné otáčení a provádí se za provozu zařízení

Je řešeno samotným servomotorem, který je součástí hlavy nebo stroje. Kroutící moment je přenášen přes určitý převod a harmonickou převodovku. Výhodou oproti indexování – možné otáčení o jakýkoliv úhel. Toto pootáčení je většinou doplněno o přesné odměřovací zařízení, které zvyšuje cenu hlavy. Frézovací hlavy s tímto způsobem natáčení vhodné pro obrábění složitých zakřivených ploch – např. lopatky turbín. [8]



### Souvislé natáčení – 2 osy 90°

Speciální zařízení pro obrábění zakřivených ploch. Rotační pohyb je odvozen od vřetene stroje. Posuvné pohyby hlavy mají často svůj pohon. Ve velké míře se používá u portálových strojů, kde je vřeteno stroje orientované svisle – zde se obrábí složité tvary z vrchní části obrobku. [8]



Obrázek 11 - Hlava souvisle natáčená [17]

### Souvislé natáčení – 2 osy 45°

Dalším typem je frézovací hlava, která je natáčená kolem dvou os, ale v jiném uspořádání. Uspořádání je podobné jako u 2osé frézovací hlavy indexované. Vzájemná poloha je 45°, což umožňuje obrábět z jiných úhlů. Umožňuje souvislé natáčení za provozu. [8]

## 5.4 Vyvrtávací zařízení

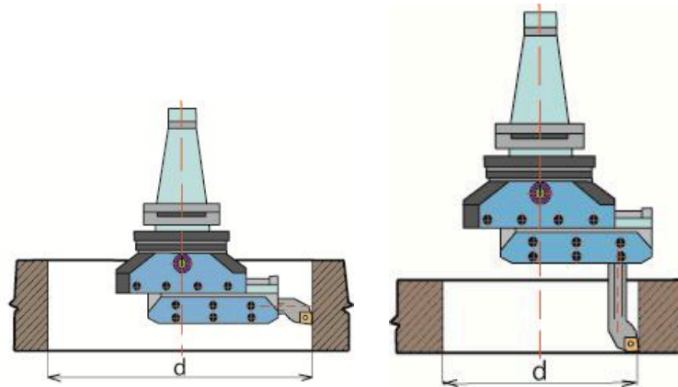
Stejně jako frézovací hlavy, hlavy vyvrtávací značně rozšiřují možnosti vyvrtávacích strojů. Opracování čelních ploch a vyvrtávání otvorů, zápichy, vybrání v otvorech, obecné rotační plochy. Hlavní řezný pohyb je dán rotací celé soustavy vyvrtávací hlavy. Nástroj je umístěn v saních, které se posouvají vůči tělesu, které je upnuto ve vřeteni.



Obrázek 12 - Vyvrtávací zařízení s upínacím kuželem [20]

Základním prvkem hlavy je těleso, ve kterém jsou kolmo na jeho osu otáčení uloženy saně. Pro zpevnění soustavy těleso – saně slouží šroub, tím soustava lépe odolává chvění nebo samovolné změně nastaveného rozměru při vyvrtávání. Při nastavování rozměru, nebo při využití samočinného posuvu hlavy musí být šroub povolen. V saních je otočně uložen vodící šroub,

který je zajištěn proti samovolnému otáčení. Šroub se otáčí šestihranným zástrčným klíčem, který uvolní pojistku. Klíčem lze otáčet na obě strany – 1 dílek na stupnici představuje 0,005mm. Pokud je posuv saní samočinný je odvozen od rotačního pohybu hlavy.



Obrázek 13 - Obrábění pomocí vyvrtávacího zařízení [18]

Upínací stopka je nasazená do středícího otvoru příruby, která je šrouby přitažena k tělesu hlavy. Hlava se upíná do vřetena obráběcího stroje tak, že se kuželová stopka vloží do dutiny a upne upínacím systémem stroje. Při upínání je potřeba dbát na čistotu obou upínacích ploch – kužele stopky i dutiny. [8]

Vři vyvrtávání kuželů musí být spojen příčný posuv saní s axiálním posuvem vřetena stroje. Posuv saní může při pravém otáčení vřetena stroje směřovat je jedním směrem. Když se nůž upne ve směru příčného posuvu saní, bude se vyvrtávat rozšiřující kužel. Pokud se nůž upne proti směru posuvu saní, bude se vyvrtávat zužující se kužel. [8]

Pokud je splněna podmínka pevné vazby mezi posuvem vřetene stroje a jeho otáčkami, je možné řezání válcových závitů.

## 6 Mazání a chlazení

Jsou funkce, které napomáhají k plynulému chodu zařízení. Jedná se například o posuvy, ozubené převody, nebo uložení vřetene. Napomáhají tak k přesnosti obrábění. Snižují a odvádí teplo v místech, kde dochází ke tření. Zvyšuje účinnost a brání vnikání nečistot. Výrazně prodlužují životnost jednotlivých částí, když je jich použito správně.

### 6.1 Mazání

Napomáhá ke snížení třecích odporů a opotřebením funkčních ploch. U ozubených převodů slouží také ke snižování hlučnosti. Má se přivádět dostatečné množství maziva a toto množství, pokud možno, automaticky kontrolovat. Na stroji se rozlišují místa s vyššími nároky na kvalitní mazání – ložiska, spojky, ozubená kola, vodící plochy a místa, kde stačí přetržité mazání. [24]

Způsoby mazání:

Podle počtu mazaných míst se dělí na centrální a jednotlivé. Podle mazacího média se rozlišuje na mazání olejem nebo plastickými mazivy – tukem.

**Ruční mazání** – jednotlivé přerušované mazání nalitím do maznic, které jsou na stroji označeny.

**Rozstříkáním, broděním** – je metoda mazání při které se v uzavřené prostoru části brodí v oleji a rozstříkovaný olej maže ostatní místa. Rozlišení vhodnosti typů mazání se posoudí podle obvodových rychlostí. Při rozstříkání je ozubené kolo ponořeno maximálně do výšky tří zubových mezer, tento způsob se používá do obvodových rychlostí 6 m/s, při vyšších rychlostech se olej přehřívá a pění. Při broděním jsou ozubená kola ponořena až po záběr a šneky více než z poloviny – požívá se do rychlosti 4 m/s. [24]

**Olejová mlha** – tento způsob je vhodný u rychloběžných vřeten. Do prostoru ložisek se přivádí tlakový vzduch a malé množství oleje.

**Oběhové mazání** – tvoří uzavřenou soustavu, jedná se o centrální nepřetržité tlakové mazání, které mnohdy plní víc funkcí.

### Valivá ložiska

Chráníme mazáním proti vnějším vlivům prostředí, ve kterém pracují. Důležitá ochrana je ložiska proti korozi. Žádoucím výsledkem mazání je také odvod tepla mazivem. Většina typů valivých ložisek může být mazána plastickým mazivem nebo olejem, kromě soudečkových axiálních – ty se mažou pouze olejem. Mazání ložisek výrazně prodlužuje jejich životnost a snižuje možnost poruchy vlivem mechanického poškození. Velmi často užívané mazání při uložení vřetene je tukem. (ložiska musí být dobře utěsněna, aby nedocházelo ke vnikání nečistot) [24]

### Ozubené převody

Používaným mazivem pro ozubené převody je mazací olej. Mazivo se musí dostat do záběru převodu. Snižuje se tak otěr boků zubů, příliš hlasitému chodu a nadměrným teplotám. To jak rychle je přiváděno mazivo se odvíjí od obvodové rychlosti ozubených kol.

## 6.2 Chlazení

Chlazení má za cíl dobrý odvod tepla z prostoru obrábění, napomáhat odvodu třísek a zvyšovat tak účinky mazání. Chladícími kapalinami jsou vodní roztoky, minerální organické oleje nebo emulsní kapaliny.

Při procesu obrábění vzniká velké množství tepla, které je nutno odvádět, aby se nezvyšovala teplota celého stroje. Dalším důležitým faktorem je tepelná roztažnost, která může způsobit výrobní nepřesnost.

Řezný prostor je oplachován zvenku, nebo středem nástroje. Při chlazení středem nástroje k tomuto typu chlazení musí být nástroj přizpůsoben. Chlazení středem nástroje zvyšuje produktivitu obrábění, trvanlivost nástroje a umožňuje obrábění při vyšších řezných rychlostech. [24]

## 7 Upínání nástroje do příslušenství

Jde o pojení nástrojů s vřetenem stroje nebo zařízení. Toto spojení se provádí pomocí držáků se stejným typem kužele. To zaručí velkou přesnost v místě spojení. Na trhu jsou různé typy těchto upínacích kuželů. Poměrně novým systémem jsou držáky Capto. Mezi nejvíce rošířené patří bezesporu systém ISO a HSK. Kuželová dutina pro upínání je ofukována vzduchem, pro zbavení nečistot, aby došlo k přesnému upnutí. [18]

### 7.1 ISO (SK)

Hlavním prvkem je kužel na upínacím trnu s určitým poměrem kuželovitosti. Na tomto provedení upínání je točivý moment přenesen z pracovního vřetena vlivem tření mezi kuzelem nástroje a kuzelem v dutině vřetena. Nástroj je zde středěný na osu rotace vřetena. Upnutí je uzpůsobené tak, že je nástroj kleštinami vtahován do dutiny. Vřetena mají dané rozměry kužele, tím pádem je kužel nezaměnitelný, což je v praxi nevýhoda. [19]

### 7.2 HSK

Tento typ kuželů využívá axiální síly a kuželovité stopky. Celkově tento spoj funguje podobně jako ISO systém, s tím rozdílem, že tření nevniká jen dutině vřetena, ale držák dosedá i na čelo vřetene. To zapříčiňuje upnutí o něco vyšší tuhosti. Tam kde je požadována velmi velká přesnost, je možné použít dlouhý šroubem procházející vřetenem (není možné použít u automatické výměny nástrojů). U HSK vyšší otáčky při obrábění napomáhají lepšímu upnutí nástroje. [19]

### 7.3 Coromant Capto

Coromant Capto je spojka, která využívá kontaktu na čelní ploše příruby a na kuželové ploše stopky s kuželovostí 1:20. Hlavním znakem a rozdílem oproti dvou předchozím typům je, že zde není užito kužele rotačního tvaru, ale kužele polygonálního. To značně zlepšuje pevnost upnutí, jelikož jsou síly rozděleny do několika míst dotyku. To zlepšuje tuhost v krutu, ohybu a opakovatelnost. Je používán i pro automatickou výměnu nástrojů. [19]

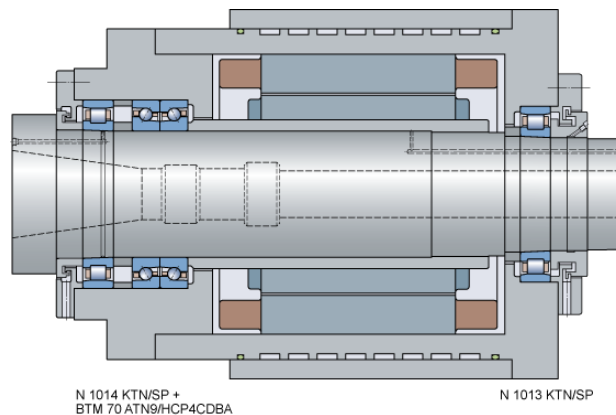


Obrázek 14 - Upínací kužel Capto [26]

## 8 Návrh uložení vřetena frézovacího stroje

Vřeteno se nachází ve vřeteníku. Jeho úkolem je zaručit nástroji přesný otáčivý pohyb. Vřeteno je v drtivé většině případů uloženo valivých ložisek, jen velmi malé procento jsou ložiska hydrostatická. Obvykle je uloženo ve dvou radiálních a v jednom axiálním ložisku. Přední ložisko bývá axiálně nehybné, zadnímu je povolen axiální pohyb (kvůli tepelné roztažnosti vřetena). Ložisko bližší přednímu konci má rozhodující vliv na přesnost otáčení, říká se mu hlavní, musí být velmi přesné a tuhé.

Uložení se neskládá pouze z ložisek, ale i ze souvisejících dílů. Velmi důležitou roli hraje také mazivo ložisek. Úniku maziva zabraňuje těsnění, které také brání vnikání nečistot k ložisku.



Obrázek 15 - Uložení vřetene SKF [23]

Při návrhu je potřeba zvolit typ a velikost ložiska, je při tom nutno vzít v úvahu i další hlediska jako tolerance uložení, vůli ložiska, odpovídající těsnění, typ a množství maziva. Každý jednotlivý faktor má vliv na výkon, spolehlivost a hospodárnost uložení. [2]

Požadavky na vřetena

- Přesnost chodu – radiální a axiální házení
- Dokonalé vedení – vřeteno nesmí měnit polohu v prostoru, při změně zatížení
- Konstruovat vřeteno s možností vymezování vůle
- Tepelné ztráty v uložení musejí být co nejmenší
- Pasivní odpory musejí být co nejmenší
- Vřeteno musí být tuhé

### 8.1 Házení

Je způsobeno nepřesností otáčení vřetena, kdy osa vřetena mění během jedné otáčky svou polohu mezi dvěma krajními body; příčinou je, že jedno nebo dvě ložiska mají odlišnou osu rotace vnějšího a vnitřního kroužku, tzv. házejí.

- Nesouosost plochy na vřetenu, na níž měříme, s osou otáčení.
- Neokrouhlým tvarem příslušné měřené funkční plochy.

Výsledné radiální házení je tedy složeno z těchto tří dílčích házení. Poslední dvě příčiny se dají odstranit nebo alespoň omezit zvýšením přesnosti při výrobě. Nepřesnost otáčení vřetena je způsobena radiálním, popř. axiálním házením ložisek. Obecně platí pravidlo pro volbu a montáž uložení vřeten obráběcích strojů, aby radiální házení bylo co nejmenší, je třeba zvolit přední ložisko přesnější, tj. s menším házením než zadní a montovat je tak, aby obě házela v jedné rovině ve stejném smyslu. Pro hlavní ložisko se používá valivé ložisko se zvýšenou přesností chodu a pro zadní ložisko se dá použít ložisko běžné přesnosti. [2]

## 8.2 Uložení vřetene na kuličkových ložiskách

Obvykle je určen průměr předního ložiska vřetene – volí se již při projektu frézovacího stroje nebo zařízení, na základě požadovaného rozměru upínací dutiny pro stopku nástroje (například ISO 50)

Volba typu ložisek a jejich uspořádání je závislá na zatěžovacích parametrech – na silách a otáčkách, požadované přesnosti.

Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem jsou vhodná pro přenos radiální a axiální síly. Používají se jednotlivě nebo v sadách, které mají uspořádání T, O, X. Při užití v sadě se zvyšuje únosnost, ale snižuje se hodnota maximálních otáček. [3]

## 8.3 Tuhost uložení vřetene

Tuhost uložení vřetene se vztahuje do místa působící síly a zahrnuje:

- Tuhost vlastního vřetene
- Tuhost ložisek
- Tuhost těles, ve kterých je vřeteno uloženo

Hodnota tuhosti je určující veličinou pro přenášený výkon při frézování. [3]

## 8.4 Uložení vřetene na kuželíkových ložiskách

Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem jsou vhodná pro přenos radiální a axiální síly. Používají se obvykle jednotlivě v uspořádání O, X nebo v sadě O, X.

Vřetenová ložiska jsou vhodná pro uložení, na něž jsou kladeny nejvyšší nároky z hlediska přesnosti chodu a vysokých otáček. Ložiska se používají pro uložení hřídel obráběcích strojů. [3]

## 8.5 Vysoce přesná ložiska (vřetenová)

Vysoce přesná ložiska pomáhají optimalizovat výkonnostní parametry obráběcích strojů. Výhody se liší v závislosti na ložiskových řadách různých firem a na aplikacích. Mezi výhody se řadí schopnost vysokých otáček, vysoká únosnost, dlouhá provozní trvanlivost ložisek, dlouhé intervaly údržby a nižší spotřeba energie. [2]

Vřetenová ložiska jsou jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem skládající se z masivních vnějších i vnitřních kroužků a kuličkových věnců s masivními okénkovými klecemi. Tato ložiska existují v otevřeném a utěsněném provedení.

Vřetenová ložiska mají zúžené tolerance. Jsou vhodná zejména na uložení s nejvyššími požadavky na přesnost vedení a vhodnost počtu otáček. Nejlépe se osvědčila při uložení vřeten obráběcích strojů. Optimalizované vnitřní konstrukce nabízí nejčastěji tři stykové úhly:  $15^\circ$ ,  $25^\circ$ ,  $30^\circ$ , v přesnostech P4 a vyšších. Ložiska jsou k dispozici s ocelovými nebo keramickými kuličkami. [2]

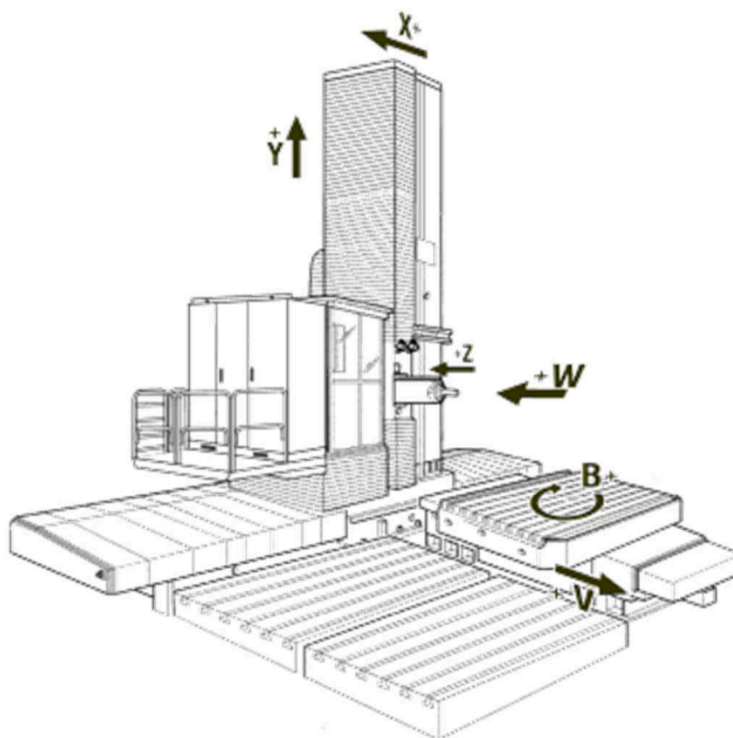


Obrázek 16 - Kuličkové ložisko [21]

## 9 Řešení vlastní úlohy

Cílem této úlohy je navrhnout konstrukci otočné části frézovacího zařízení se dvěma vřeteny dle náčrtu (obrázek zadání frézovacího zařízení v příloze). Účelem tohoto zařízení je frézování T-drážek. Otočná část, je část frézovacího zařízení, kde se nachází pracovní vřetena. Tato část je natáčena vůči statické části zařízení pro dosažení požadované rozteče obráběných drážek. Součástí úlohy je navrhnout uložení vřeten a jejich pohonný mechanismus.

Zařízení jako celek má být příslušenstvím pro horizontální vyvrtávací stroje. Zařízení bude tedy uzpůsobeno tak, aby mohlo být upnuto na pinolu stroje, jehož příklad je na obrázku níže.



Obrázek 17 - Horizontální vyvrtávací stroj [8]

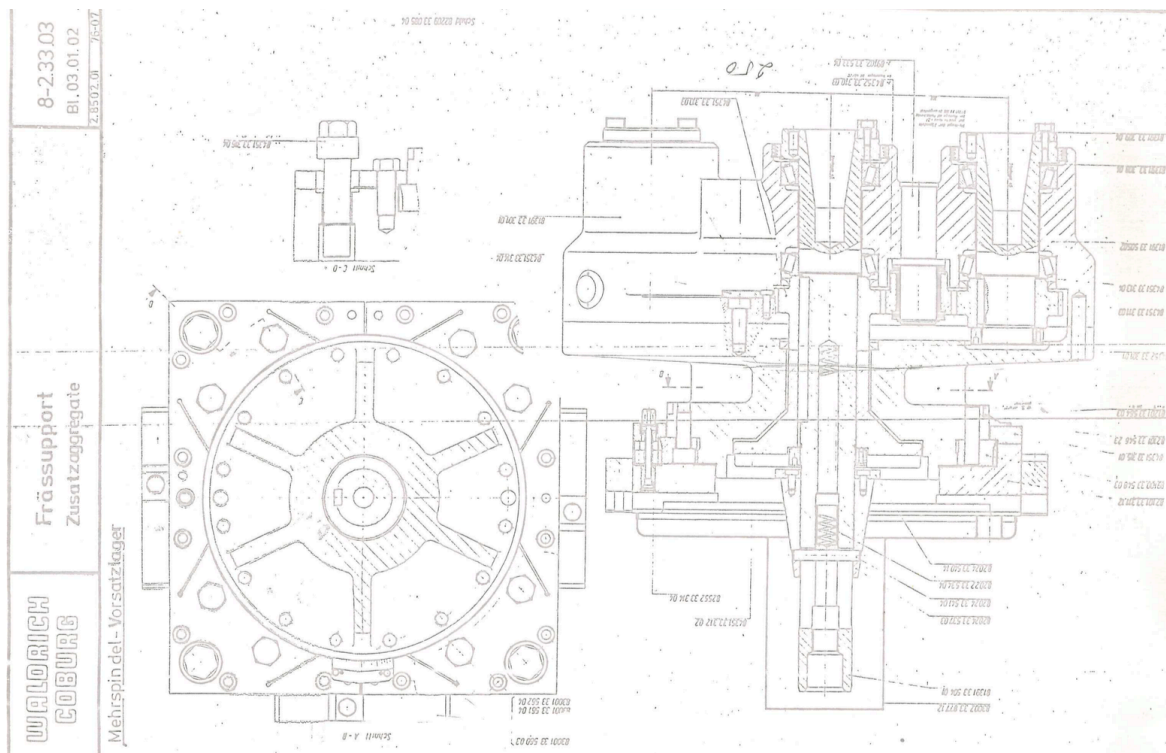
### 9.1 Analýza frézovacího zařízení

Všechny funkční prvky frézovacího zařízení jsou uloženy uvnitř tělesa. Těleso udává základní tvar zařízení, umožňuje upnutí zařízení ke stroji a musí být navrženo tak, aby bylo zařízení smontovatelné.

Přímo ve středu tělesa a zároveň zařízení se nachází hřídel, která slouží pro přenos točivého momentu od vřetena stroje. Hřídel je uložena do valivých ložisek a přenáší otáčky dál na pracovní vřetena.



Příkladem zařízení na frézování T-drážek je výrobek Waldrich Coburg, který je umístěný na smykadle portálového stroje (obrázek 18). Toto konkrétní zařízení obsahu tři pracovní vřetena, do kterých se upíná nástroj pro frézování. Prostřední vřeteno je roztáčeno přímo od vřetena stroje a další dvě od ozubeného převodu.



Obrázek 18 - Výkres frézovací hlavy Coburg firmy Waldrich

Pracovní vřetena jsou, stejně jako hřídel, uložena do valivých ložisek. Valivá ložiska musí v tomto případě přenášet i axiální zatížení. Při tomto řešení je vhodné volit kuželíková ložiska nebo kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. Kvůli silám, které při obrábění vznikají jsou na uložení vřetene kladeny velké nároky.

Ozubené převody napomáhají k plynulému chodu zařízení, což je při přesném obrábění nezbytné. Kola musí být dobře mazána, a tak je tento prostor utěsněn například hřídelovými těsnícími kroužky.

Pracovní vřetena jsou opatřena dutinou pro upnutí frézovacího nástroje a unášecími kameny. Je nutné, aby byl frézovací nástroj v dutině dobře upevněn.

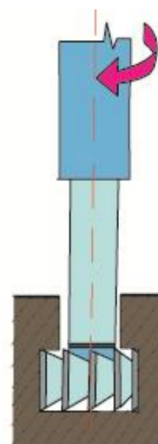
Velmi důležitým faktorem při návrhu zařízení jsou požadované parametry a provozní podmínky. Od toho se pak odvíjí velká část návrhu. Důležitým parametrem, který do velké míry ovlivní návrh a velikost zařízení je maximální rozteč  $t$  drážek, které má zařízení vyrobit. Zařízení by mělo být co nejvíce univerzální, a proto by mělo umět obrábět drážky s různou roztečí. Proto je opatřeno natáčecím mechanismem, který umožní to, že se zkrátí vzdálenost mezi pracovními vřeteny ve směru pohybu zařízení při obrábění.

### 9.1.1 T-drážky a jejich výroba

T drážky se vyrábějí především za účelem upínání. Najít je můžeme na různých pracovních plochách a přípravcích. Pomocí těchto drážek a šroubů s T hlavou a upínek se upínají například obrobky na stoly obráběcích strojů. T-drážky se frézují nejprve kotoučovou frézou, při čemž vznikne drážka tvaru U požadované hloubky a poté se dokončí T tvar příslušným nástrojem pro frézování T-drážky. Tímto způsobem se zajistí dobrý odvod třísek a delší životnost nástroje. Nástrojem je korunková fréza.



Obrázek 19 - Frézovací nástroj pro T-drážky [22]

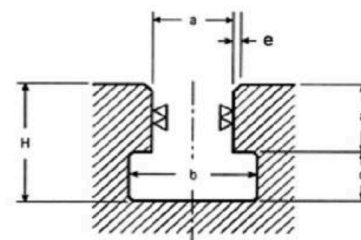


Obrázek 20 - Obrábění T drážky [18]

Drážky slouží k upínání předmětů o různé velikosti a hmotnosti, od toho se odvíjí i rozměry šroubů, aby nedošlo k uvolnění. Rozměry drážek tedy odpovídají velikosti šroubů.

Dimension a	for screw		b (mm)	c (mm)	H (mm)	e (mm)
10	M 8	-	17.5 - 18	8	18	1.0
12	M 10	-	20.5 - 21	9	21	1.0
14	M 12	1/2"	23.5 - 24	10	24	1.0
16	M 14	-	26.5 - 27	11	27	1.0
18	M 16	5/8"	29.5 - 30	12	30	1.5
20	M 18	-	33.5 - 34	14	34	1.5
22	M 20	3/4"	37.5 - 38	16	38	1.5
24	M 22	7/8"	41.0 - 42	18	42	1.5
28	M 24	1"	47.0 - 48	20	48	1.5
32	M 27	1 1/8"	54	22	54	1.5
36	M 30	1 1/4"	60	25	61	2.0
42	M 36	1 1/2"	70	29	74	2.0

Obrázek 22 - Rozměry T drážek [8]



Obrázek 21 - T drážka [8]

## 9.2 Zadané parametry

Pro řešení úlohy byly zadány tyto požadované parametry. Z těchto hodnot je vycházeno při návrhu všech částí frézovacího zařízení.

Převod mezi vřeten frézovacího stroje a vřetenem zařízení			1 : 1,2	
Počet pracovních vřeten			2	
Max otáčky vřetene zařízení	$n_{\max}$	3000	1/min	
Výkon na vřetenu od otáček 895/min	$P_2$	15	kW	
Maximální točivý moment na vřetenu od otáček 895/min	$M_2$	160	Nm	
Upínací dutina vřetene			ISO 40	
Životnost			4000	hod
Max řezné síly na vřetenu zařízení	Tečná složka	$F$	6667	N
	Radiální složka	$F_R$	5333	N
	Axiální složka	$F_A$	4000	N

Tabulka 1 - Zadané parametry

### 9.2.1 Zátěžné stavy

Stav	Poměrná doba běhu – q [-]	Moment [Nm]	Otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	Průměr nástroje – $D_F$ [mm]	Řezné síly [N]		
					F	$F_R$	$F_A$
1	0,75	160	895	48	6667	5333	4000
2	0,25	8	2880	21	762	610	457

Tabulka 2 - Zátěžné stavy

Řezní síly působí v místě nástroje. To se dle zadání nachází ve vzdálenosti 166 mm od pracovního vřetena po ose Y.

Pro úplnost je zadání doplněno o obrázek. Viz příloha.

### 9.3 Návrh soukolí

Pro návrh soukolí je použit program KISSSoft. Při zvolení základních parametrů pro výpočet se vychází ze zadaných hodnot. Ostatní hodnoty jsou voleny tak, aby se dosáhlo co nejlepších výsledků.

Jelikož zařízení bude mít dvě pracovní vřetena, soukolí se bude skládat z jednoho hnacího kola a dvou hnaných.

Základní parametry pro výpočet:

		----- Gear 1 -----	Gear 2	----- Gear 3 ---
Number of idler gears	[No.wheel]	(1)	1	(1)
Power (kW)	[P]		15.000	
Speed (UpM)	[n]	895.2	741.4	895.2
		----- GEAR 1 -----	----- GEAR 2 -----	----- GEAR 3 ---
Center distance (mm)	[a]		125.000	125.000
Centre distance tolerance		ISO 286:2010 Measure js7	ISO 286:2010 Measure js7	
Normal module (mm)	[mn]		2.0000	
Pressure angle at normal section (°)	[alfn]		20.0000	
Helix angle at reference circle (°)	[beta]		20.0000	
Number of teeth	[z]	53	64	53
Facewidth (mm)	[b]	40.00	42.00	40.00
Hand of gear		right	left	right

Obrázek 23 - Vstupní parametry pro návrh soukolí

$z$  – počet zubů

$n$  – rychlost otáček

$a$  – osová vzdálenost

$m$  – modul

$\alpha$  – úhel záběru

$\beta$  – úhel sklonu zubů

$b$  – šířka kol

$i = 1,2$  převodový poměr

$l_h = 4000$  hod životnost

Pro ozubená kola je zvolen materiál ČSN 14 220.

Mazacím médiem je olej.

System data			
Normal module $m_n$	<input type="text" value="2.0000"/>	mm	
Pressure angle at normal section $\alpha_n$	<input type="text" value="20.0000"/>	°	
Gear 1	<input type="text" value="helix right hand"/>		
Helix angle at reference circle $\beta$	<input type="text" value="20.0000"/>	°	
Center distance			
Gear 1 - Gear 2	<input type="text" value="125.0000"/>	mm	
Gear 2 - Gear 3	<input type="text" value="125.0000"/>	mm	
Gear data			
	Gear 1	Gear 2	Gear 3
Number of teeth $z$	<input type="text" value="53"/>	<input type="text" value="64"/>	<input type="text" value="53"/>
Facewidth $b$	<input type="text" value="40.0000"/>	<input type="text" value="42.0000"/>	<input type="text" value="40.0000"/>
Profile shift coefficient $x^*$	<input type="text" value="0.0000"/>	<input type="text" value="0.2488"/>	<input type="text" value="-0.0000"/>
Quality (ISO 1328) $Q$	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="6"/>
<input type="button" value="Details..."/>			
Material and lubrication			
Gear 1	<input type="text" value="16 MnCr 5 (1), Case-carburized steel, case-hardened, ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), core strength &gt;=25HRC Jominy J=12mm &lt;HRC28"/>		
Gear 2	<input type="text" value="16 MnCr 5 (1), Case-carburized steel, case-hardened, ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), core strength &gt;=25HRC Jominy J=12mm &lt;HRC28"/>		
Gear 3	<input type="text" value="16 MnCr 5 (1), Case-carburized steel, case-hardened, ISO 6336-5 Figure 9/10 (MQ), core strength &gt;=25HRC Jominy J=12mm &lt;HRC28"/>		
Lubrication	<input type="text" value="Oil: ISO-VG 220"/>	<input type="text" value="Oil bath lubrication"/>	

Obrázek 24 - Návrh soukolí v programu KISSSoft

Results			
Contact ratio (Transverse/Overlap) Gear 1 - Gear 2	1.5853 /	2.1774	
Contact ratio (Transverse/Overlap) Gear 2 - Gear 3	1.5853 /	2.1774	
	Gear 1	Gear 2	Gear 3
Actual tip circle (mm)	116.791	141.198	116.791
Root safety	3.7181	2.7203	3.7181
Flank safety	2.1525	2.1650	2.1525
Safety against scuffing (integral temperature)		4.6266	4.6266
Safety against scuffing (flash temperature)		16.9391	17.0655

Obrázek 25 - Výsledky pro návrh soukolí

Programem jsou pro zvolené hodnoty vypočteny rozměry ozubených kol, přepočtena korekce soukolí a ověřeno, zda návrh vyhovuje z hlediska bezpečnosti. Ve výsledcích, které jsou programem generovány, jsou hodnoty bezpečnosti u obou kol větší než minimální požadovaná bezpečnost 2. Tento návrh je tedy vyhovující.

S výsledky tohoto návrhu se dále pracuje při dalších výpočtech.

## 9.4 Návrh pracovního vřetene a jeho uložení

Návrh je opět řešen pomocí programu KISSSoft, jehož prostředí umožňuje na základě zadaných parametrů ověřit zvolená ložiska a zároveň vypočítat deformace vřetene.

Sestavený model pro výpočet je zatížen reznými silami ze zadání. Program také umožňuje načíst ozubené kolo z předchozího návrhu, která je tedy zatíženo zadaným silovým momentem  $M_2$  při otáčkách  $n_2$ .

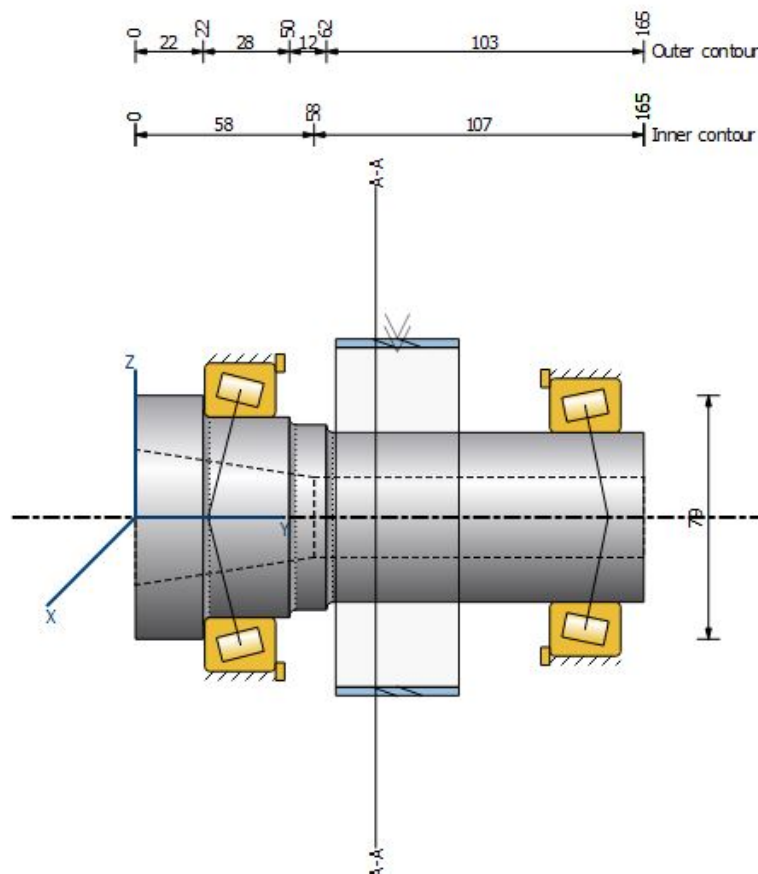
Ložiska jsou ověřena z hlediska životnosti a také z hlediska teplotní stability při chodu zařízení. Na vřetenu je stanovena maximální deformace způsobená zatížením sil ( $F$ ,  $F_R$ ,  $F_A$ ) v místě nástroje a také průběh napětí, což umožňuje u vřetena ověřit bezpečnost.

Materiál vřetene je ČSN 12 050.

Zvolená ložiska:

SKF 32013 X/Q	SKF 32011 X/Q	
65	55	průměr hřídele – d [mm]
100	90	průměr díry – D [mm]
23	23	Šířka – B [mm]

Tabulka 3 - Zvolená ložiska pro uložení vřetene



Obrázek 26 - Model pro návrh uložení vřetene v programu KISSSoft

**Results with load spectrum LS 1**

maximum deflection				47.46 $\mu\text{m}$
maximum equivalent stress				76.60 N/mm <sup>2</sup>
minimum bearing service life				4033.47 h
minimum static bearing safety				6.61
minimum fatigue safety				3.64
minimum static safety				3.91
	<b>Fatigue safety</b>	<b>Fatigue results [%]</b>	<b>Static safety</b>	<b>Static results [%]</b>
A-A	3.64	303.17	3.91	325.85
<b>Bearing service life</b>			<b>S0</b>	<b>Ln<sub>h</sub></b>
Roller bearing_1			6.61	4033 h
Roller bearing_3			9.40	9815 h

Obrázek 27 - Výsledky návrhu uložení  
vřeteno

### 9.4.1 Životnost ložisek

Z výsledků vyplívá, že životnost ložisek je vyšší než 4000 hodin, což znamená, že z hlediska životnosti tyto ložiska vyhovují.

Dále je z výsledku známá hodnota minimální bezpečnosti vřetena. V tomto výpočtovém modelu je zjišťována statická a únavová bezpečnost v místě řezu A-A. To znamená, že výsledky bezpečnosti jsou aktuální vždy jen pro jedno místo na vřetenu. V rámci návrhu jsou ověřena různá místa vřetene, kde se bezpečnost pohybuje kolem hodnoty 3 a vždy je vyšší než minimální požadovaná hodnota 2. Místě řezu, který je na obrázku odpovídá hodnota 3,64.

### 9.4.2 Teplotně stabilní otáčky

Jak je výše zmíněno, programem jsou při výpočtu zároveň ověřeny teplotně stabilní otáčky. To jsou maximální otáčky, při kterých je zaručena teplotní stabilita ložisek – teplota se při chodu zařízení zastaví na určité přípustné hodnotě a dále se nezvyšuje.

### Teplotní podmínky a způsob mazání frézovacího zařízení

Lubricant

Thermally safe operating speed

Lubrication type

Temperature around the bearing  $T_u$   °C

Mean bearing temperature  $T_m$   °C

Obrázek 28 - Způsob mazání ložisek

**Zatěžovací stavy**

	Frequency [%]	Torque [Nm]	Speed [1/min]
1	75.000000	160.0441	895.0000
2	25.000000	8.0022	2864.0000

Obrázek 29 - Zatěžovací stavy

**Teplotně stabilní otáčky pro jednotlivé stavy**

1. stav:

Results :

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing\_1'

Reference speed 6150.77 [1/min]

Thermally safe operating speed 2162.38 [1/min]

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing\_3'

Reference speed 7182.23 [1/min]

Thermally safe operating speed 2840.63 [1/min]

Obrázek 30 - Výsledky teplotně stabilních otáček pro 1. stav

2. stav:

Results :

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing\_1'

Reference speed 6150.77 [1/min]

Thermally safe operating speed 3423.77 [1/min]

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing\_3'

Reference speed 7182.23 [1/min]

Thermally safe operating speed 4050.52 [1/min]

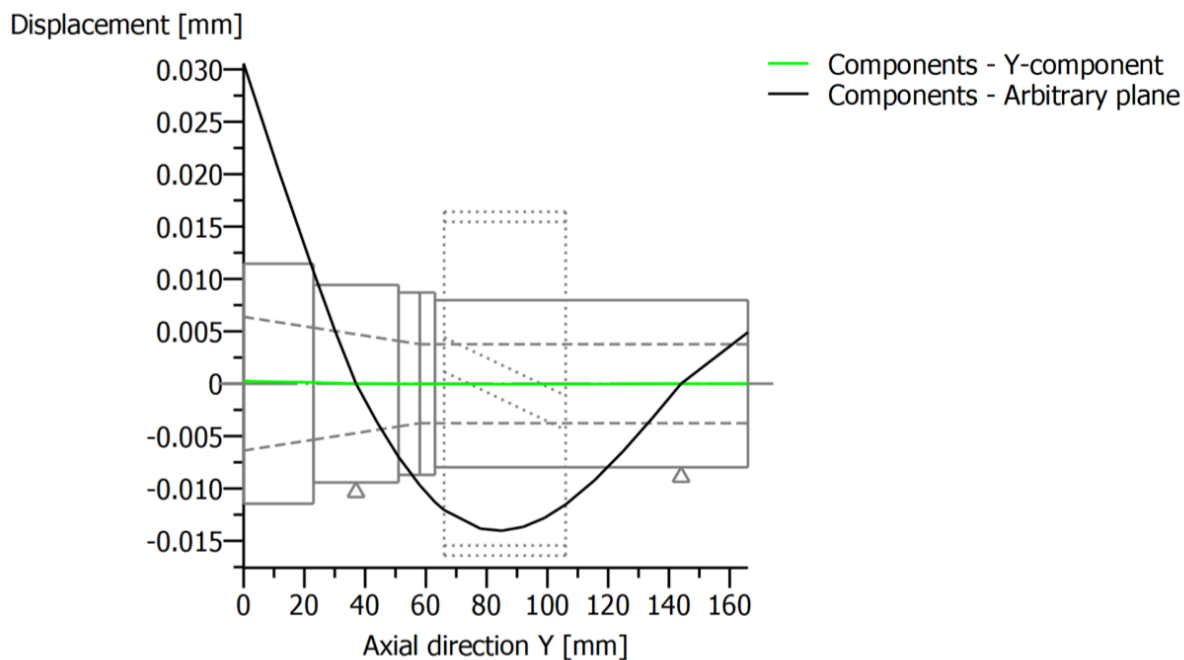
Obrázek 31 - Výsledky teplotně stabilních otáček pro 2. stav

Pro ověření jsou porovnávány výsledné otáčky s provozními otáčkami zátěžných stavů ze zadání. Výsledné maximální otáčky teplotní stability jsou pro oba stavy vyšší a tím pádem zvolená ložiska vyhovují.



### 9.4.3 Výpočet deformace vřetena v programu KISSsoft

Od zadaného zatížení je vypočteno maximální posunutí 0,031 mm. Z grafu je vidět v jakém místě dojde na vřetenu k největšímu posunutí. To je na konci vřetena. Podpěry jsou v místě ložisek. V tomto případě program neuvažuje tuhost ložisek.



Obrázek 32 - Graf deformace vřetena

### 9.4.4 Výpočet deformace vřetena metodou konečných prvků

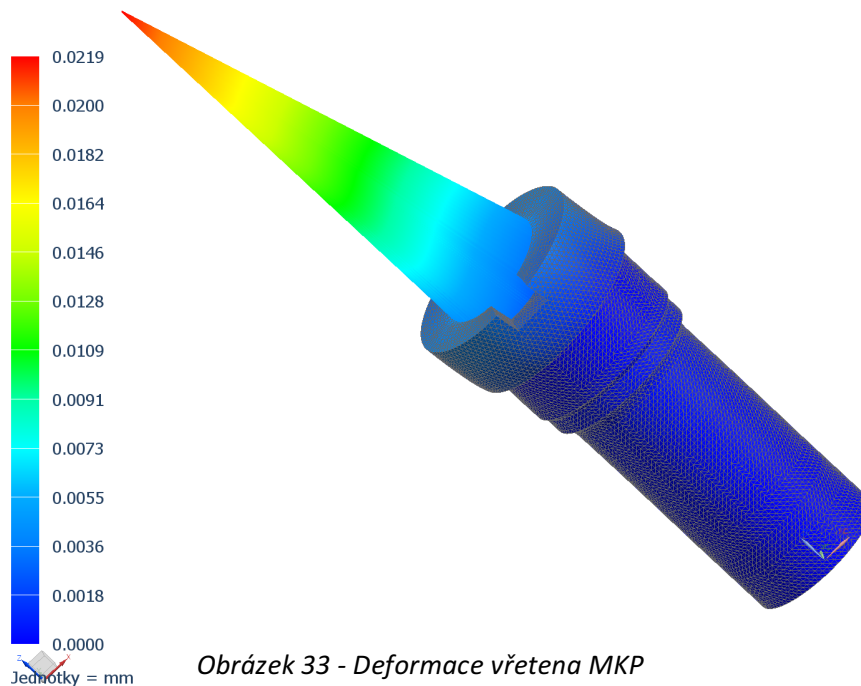
Tento výpočet je proveden pomocí programu Siemens NX. Je využito vytvořeného modelu vřetena, který je v prostředí simulace síťován 3D sítí a je simulováno zatížení vřetene řeznými silami. Při simulaci je vřeteno podepřeno v místě ložisek. A zatížení je zjednodušeno na jednu výslednici  $F_V$ , která je součtem jednotlivých složek řezné síly. Velikost elementů sítě je 2 mm.

Výpočet výsledné síly  $F_V$ :

$$F_V = \sqrt{F_R^2 + F^2} = \sqrt{5333^2 + 6667^2} = 8537,5 \text{ N}$$

$F_R$  – Radiální složka síly

$F$  – tečná složka síly

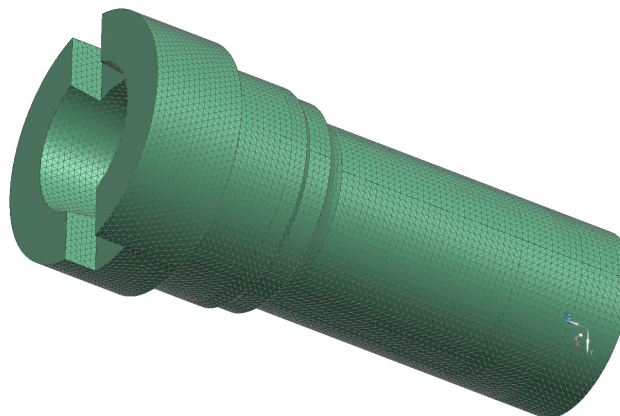


Obrázek 33 - Deformace vřetena MKP

Touto metodou je snadno zjištěno, jaký bude mít vliv deformace vřetena na posunutí nástroje, který je do něj upnutý. Kužel, který je vidět na obrázku a spojuje dutinu vřetena a bod, kde působí řezné síly, představuje v tomto případě absolutně tuhý nástroj. Z výsledků je zřejmé, že maximální deformace je v místě působení řezných sil. To je 0,0219 mm.

### Kvalita prvků

Před výpočtem je ověřena 3D síť funkcí kvalita prvků. To znamená zjistit, zda příprava pro simulaci proběhla správně a jestli bude program vyhodnocovat výsledky.



0 prvků s chybou, 0 prvků s upozorněním

Obrázek 34 - Kvalita prvků MPK

### Srovnání

Dle výpočtu MKP došlo na vřeteni k menší deformaci než při výpočtu v programu KISSSoft. Je pravděpodobné, že k tomuto rozdílu došlo z důvodu podepření ložisek. MKP model je podepřen v celé šířce ložisek, naproti tomu model v KISSSoft po délce vřetene pouze ve dvou bodech.

## 9.5 Návrh uložení hřídele

Zde je použito stejného postupu jako u návrhu uložení vřetene, jedná se tedy opět o program KISSSoft, kde jsou navoleny jednotlivé prvky výpočtového modelu a zadány jejich rozměry. Rozměry ozubeného kola jsou znovu získány načtením kola v programu z již hotového návrhu soukolí.

Materiál hřídele je ČSN 11 600.

Kolo musí být zatíženo odpovídajícím momentem  $M_1$ .

$$M_1 = 2 \cdot M_2 \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{1}{\eta^2} = 2 \cdot 160 \cdot \frac{64}{53} \cdot \frac{1}{0,98^2} = 403 \text{ N}$$

$z_1$  – počet zubů na kole 1

$z_2$  – počet zubů na kole 2

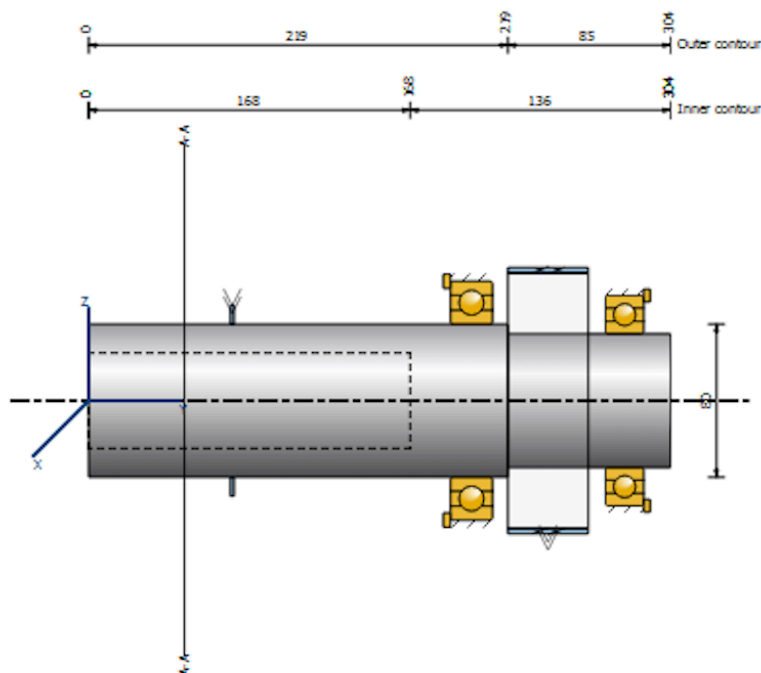
$\eta$  – účinnost převodu

$n_1 = 741 \text{ min}^{-1}$  počet otáček za minutu – z předchozího návrhu

Zvolená ložiska:

SKF 6016	SKF 6014	
80	70	průměr hřídele – d [mm]
125	110	průměr díry – D [mm]
22	20	Šířka – B [mm]

Tabulka 4 - Zvolená ložiska pro uložení hřídele



Obrázek 35 - Model pro výpočet uložení hřídele v programu

Results	
maximum deflection	78.61 $\mu\text{m}$
maximum equivalent stress	13.32 N/mm <sup>2</sup>
minimum bearing service life	18164.68 h
minimum static bearing safety	8.53
Bearing service life	
Rolling bearing	11976 h
Rolling bearing	73100 h

Obrázek 36 - Výsledky pro návrh uložení hřídele

Životnost zvolených ložisek je větší než 4000 hodin

## 9.6 Návrh prvků pro přenos momentu

Aby bylo zaručeno, že otáčky od stroje budou přeneseny na pracovní vřetena přesně tak, jak je požadováno, musí být zajištěno, že nedojde mezi jednotlivými rotačními členy za chodu k protočení. Za tímto účelem jsou použita pera.

K návrhu per je použit program Autodesk Inventor, jehož prostředí umožňuje ověřit, zda zvolené pero vyhovuje a navrhnout jeho délku.

Použita pera dle normy ISO 2491 B.

### 9.6.1 Pera mezi vřetenem stroje a hřídelí

Zde jsou požita dvě pera, která jsou montována proti sobě.

Vstupní parametry jsou zřejmé z obrázku.

$n$  – počet otáček za minutu

$N$  – počet per

$T$  – kroutící moment

$p_A$  – dovolený tlak

$d$  – průměr hřídele

$\tau_A$  – dovolené napětí ve smyku

Obrázek 37 - Návrh pera vřeteno – hřídel

Výsledné hodnoty:

$b$  – šířka pera

$l$  – délka pera

$h$  – výška pera

$s$  – bezpečnost

### 9.6.2 Pero mezi hnáným kolem a vřetenem

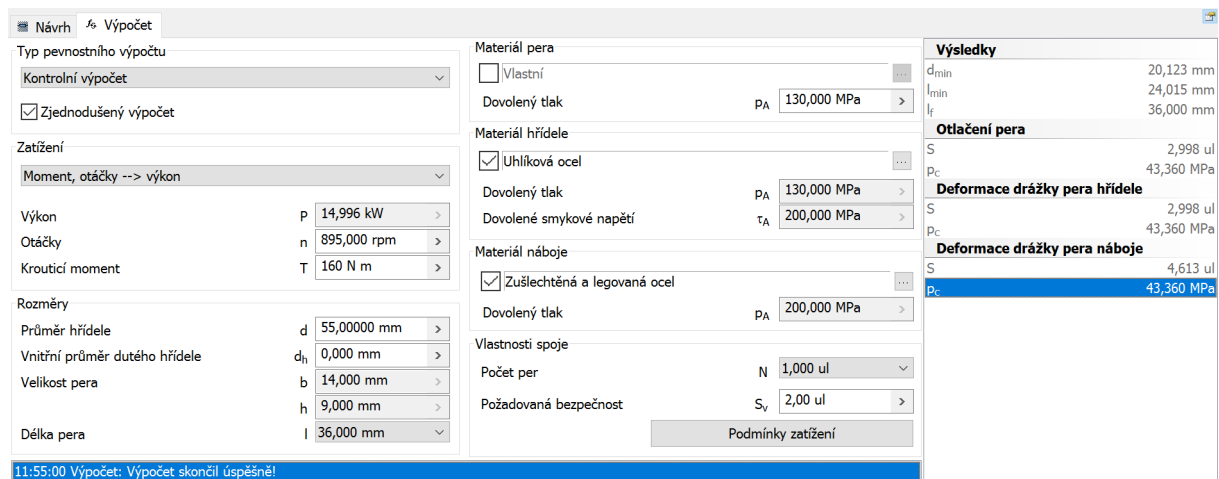
Zde jsou oproti předchozímu zvoleny jinak zvoleny tyto vstupy:

$n$  – počet otáček za minutu

$d$  – průměr hřídele

$T$  – kroutící moment

$N$  – počet per



Obrázek 38 - Návrh pera hnáné kolo - prac. vřetenem

Výsledná délka pera je 36 mm

### 9.6.3 Pero mezi hřídelí a hnacím kolem

Stejným způsobem jako předchozí dva návrhy pera, je řešen i návrh pera mezi hřídelí a hnacím kolem.

Parametry zadávané pro vstup výpočtu:

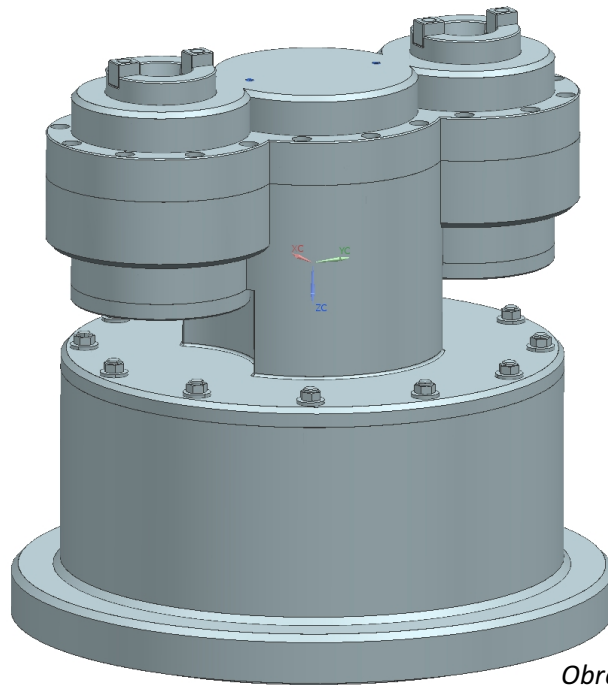
$n = 741 \text{ min}^{-1}$	počet otáček za minutu
$T = 403 \text{ Nm}$	kroutící moment
$d = 70 \text{ mm}$	průměr hřídele
$N = 1$	počet per

Výsledné rozměry pera:

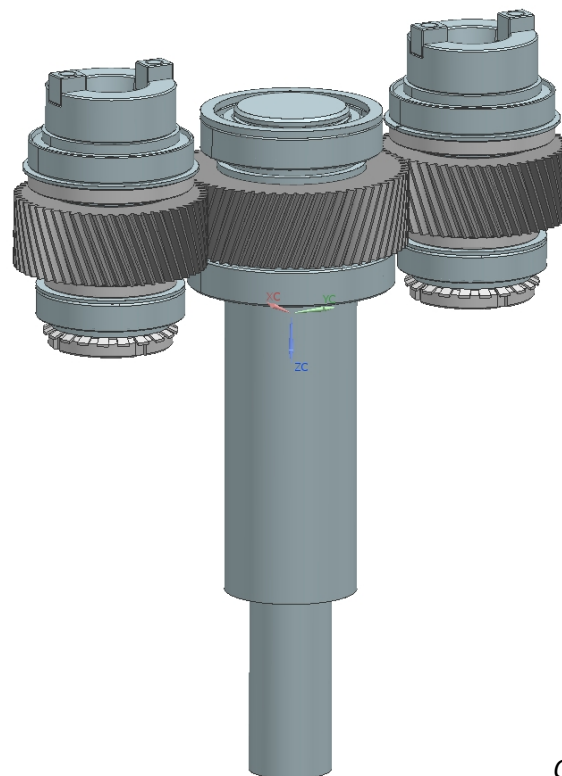
$b = 16 \text{ mm}$	šířka pera
$h = 11 \text{ mm}$	výška pera
$l_{\min} = 39,66 \text{ mm}$	$\rightarrow l = 40 \text{ mm}$ délka pera

## 9.7 Model

3D model je vytvořen v programu Siemens NX.



Obrázek 39 - Model 01



Obrázek 40 - Model 02

## 10 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout konstrukční řešení části frézovacího zařízení pro obrábění T-drážek, které by se upínalo na pinolu horizontálního vyvrtávacího stroje. Pro tuto úlohu byly zadány parametry a zátěžné stavy, ve kterých zařízení pracuje. Z těchto údajů se vycházelo při návrhu. Pro dané konstrukční řešení byla zpracována analýza.

Poté se přistoupilo k návrhu jednotlivých částí zařízení. Nejprve bylo v programu KISSSoft navrženo soukolí. Výstupní parametry tohoto výpočtu byly dále použity při dalších krocích návrhu. A to při návrhu uložení pracovního vřetene a uložení hřídele. I pro tyto výpočty byl zvolen program KISSSoft. Umožňuje načíst data ozubených kol pro tyto výpočty z předchozího návrhu a snadno ověří životnost ložisek nebo jejich maximální otáčky pro teplotní stabilitu. Při návrhu uložení pracovního vřetene byla spočtena i jeho deformace, a to nejprve v programu KISSSoft a poté v programu Siemens NX pomocí metody konečných prvků. Oba tyto výpočty byly srovnány. Dále byly vypočteny potřebné rozměry per pro přenos momentu. Tento výpočet proběhl v programu Autodesk Inventor. Byl vytvořen 3D model zařízení a ten použit pro vytvoření výkresové dokumentace.

## Seznam obrázků

Obrázek 1- Schéma vyvrtávání.....	14
Obrázek 2 - Sousledné a nesousledné frézování.....	15
Obrázek 3 - Čelní a válcová fréza.....	15
Obrázek 4 – Horizontální vyvrtávací stroj od firmy Fermat.....	19
Obrázek 5 - Stolový vyvrtávací stroj firmy Fermat.....	19
Obrázek 6 - Kroužky s Hirthovo ozubením.....	23
Obrázek 7 - Hlava indexovaná - 1 osa.....	23
Obrázek 8 - Schéma pohonu.....	24
Obrázek 9 - Hlava indexovaná - 2 osy.....	24
Obrázek 10 - Hlava indexovaná pravoúhlá.....	24
Obrázek 11 - Hlava souvisle natáčená.....	25
Obrázek 12 - Vyvrtávací zařízení s upínacím kuželem.....	25
Obrázek 13 - Obrábění pomocí vyvrtávacího zařízení.....	26
Obrázek 14 - Upínací kužel Capto.....	28
Obrázek 15 - Uložení vřetene SKF.....	29
Obrázek 16 - Kuličkové ložisko.....	31
Obrázek 17 - Horizontální vyvrtávací stroj.....	32
Obrázek 18 - Výkres frézovací hlavy Coburg firmy Waldrich.....	33
Obrázek 19 - Frézovací nástroj pro T drážky.....	34
Obrázek 20 - Obrábění T drážky.....	34
Obrázek 21 - T drážka.....	34
Obrázek 22 - Rozměry T drážek.....	34
Obrázek 23 - Vstupní parametry pro návrh soukolí.....	36
Obrázek 24 - Návrh soukolí v programu KISSSoft.....	37
Obrázek 25 - Výsledky pro návrh soukolí.....	37
Obrázek 26 - Model pro návrh uložení vřetene v programu KISSSoft.....	38
Obrázek 27 - Výsledky návrhu uložení vřetene.....	39
Obrázek 28 - Způsob mazání ložisek.....	39
Obrázek 29 - Zatěžovací stavy.....	40
Obrázek 30 - Výsledky teplotně stabilních otáček pro 1. stav.....	40
Obrázek 31 - Výsledky teplotně stabilních otáček pro 2. stav.....	40
Obrázek 32 - Graf deformace vřetena.....	41



Obrázek 33 - Deformace vřetena MKP .....	42
Obrázek 34 - Kvalita prvků MPK.....	42
Obrázek 35 - Model pro výpočet uložení hřídele v programu KISSSoft .....	43
Obrázek 36 - Výsledky pro návrh uložení hřídele .....	44
Obrázek 37 - Návrh pera vřeteno – hřídel .....	44
Obrázek 38 - Návrh pera hnané kolo - prac. vřeteno .....	45
Obrázek 39 - Model 01 .....	46
Obrázek 40 - Model 02 .....	46

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Zadané parametry .....	35
Tabulka 2 - Zátěžné stavy .....	35
Tabulka 3 - Zvolená ložiska pro uložení vřetene.....	38
Tabulka 4 - Zvolená ložiska pro uložení hřídele .....	43

## Seznam příloh

Výkres sestavy – ZČU – FREZ T SLOT
Výrobní výkres vřetene – ZČU – 1320 VRETENO
Kusovník – ZČU – FREZ T SLOT
Příloha zadání

## Použitý software

KISSSoft 3/2016  
Autodesk Inventor Professional 2016  
Siemens NX 11

## Knižní publikace

- [1] LAŠOVÁ, Václava. *Základy stavby obráběcích strojů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. ISBN 978-80-261-0126-0
- [2] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [3] HUDEC, Zdeněk. *Uložení vřetene – příklady*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013. ISBN 978-80-261-0390-5
- [4] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. 2., opr. vyd. Brno: Computer Press, 2007. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-1887-0.
- [5] KRÁTKÝ, Jaroslav, Eva KRÓNEROVÁ a Stanislav HOSNEDL. *Obecné strojní části 2: základní a složené převodové mechanismy*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2011. ISBN 9788026100935.
- [6] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6.

## Podklady k přednáškám

[7] LAŠOVÁ, V., *Základy stavby výrobních strojů* – podklady k přednáškám

[8] HUDEC, Z., *Konstrukce obráběcích strojů* – podklady k přednáškám

## Publikace na internetu

[9] SPS-KO. *SPS-KO* [online]. Copyright © [cit. 09.05.2017]. Dostupné z: [http://www.sps-ko.cz/documents/STT\\_obeslova/Z%C3%A1klady%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%A1.pdf](http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Z%C3%A1klady%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%A1.pdf)

[10] *Veřejné služby Informačního systému* [online]. Copyright ©pV [cit. 03.06.2017].

Dostupné z:

[https://is.muni.cz/el/1441/jaro2013/DT3MK\\_STR2/um/Strojirenska\\_technologie\\_1\\_2.pdf](https://is.muni.cz/el/1441/jaro2013/DT3MK_STR2/um/Strojirenska_technologie_1_2.pdf)

[11] SPS-KO. *SPS-KO* [online]. Copyright © [cit. 03.06.2017]. Dostupné z: [http://www.sps-ko.cz/documents/STT\\_obeslova/Vrt%C3%A1n%C3%AD%20a%20vyvrt%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD.pdf](http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslova/Vrt%C3%A1n%C3%AD%20a%20vyvrt%C3%A1v%C3%A1n%C3%AD.pdf)

[12] Střední odborné učiliště Horní Slavkov, příspěvková organizace [online]. Copyright © [cit. 03.06.2017]. Dostupné z:

[http://www.ouhornislavkov.cz/assets/File.ashx?id\\_org=400056&id\\_dokumenty=1706](http://www.ouhornislavkov.cz/assets/File.ashx?id_org=400056&id_dokumenty=1706)

[13] *Tiscali.cz* [online]. Copyright © 1996 [cit. 03.06.2017]. [online]. Dostupné z:

<http://home.tiscali.cz/novyl/praxes3.htm>

[14] ELUC. *ELUC* [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1226>

[15] Průmyslový design, produktový design, design přístrojů | Faktum Design. [online].

Dostupné z: <http://www.faktumdesign.cz/cz>

[16] Fakulta strojí [online]. Copyright ©Q [cit. 03.06.2017]. Dostupné z:

[https://www.old.fst.zcu.cz/\\_files\\_web\\_FST/\\_SP\\_FST\(SVOC\)/\\_2012/\\_sbornik/PapersPdf/Mgr/Rojik\\_J.pdf](https://www.old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP_FST(SVOC)/_2012/_sbornik/PapersPdf/Mgr/Rojik_J.pdf)

[17] Frézovací hlavy - TOS Varnsdorf a.s.. [online]. Dostupné z:

<https://www.tosvarnsdorf.cz/cz/produkty/prislusenstvi/frezovaci-hlavy/>

[18] ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE [online]. Copyright ©D [cit. 03.06.2017].

Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)

[19] Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright © [cit. 03.06.2017]. Dostupné z:

[https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=39702](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=39702)

[20] Přesná vyvrtávací hlava ISO40 [online]. Copyright © 2008 [cit. 03.06.2017]. Dostupné z:

<https://www.svarecky-obchod.cz/kovoobrabeci-stroje/frezy-frezky/prislusenstvi/presne-vyvrtavaci-hlavy-optimum/8280-presna-vyvrtavaci-hlava-iso40--5-250-mm.htm>

[21] Vysoce přesná ložiska. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 03.06.2017]. Dostupné z:

<http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/index.html>

[22] Tvarové stopkové frézy | [www.i-frezy.cz](http://www.i-frezy.cz). [www.i-frezy.cz](http://www.i-frezy.cz) [online]. Dostupné z:

<https://www.i-frezy.cz/i-frezy/eshop/5-1-Tvarove-stopkove-frezy/15-2-Pro-T-drazky>

[23] Uspořádání ložisek pro velká zatížení. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 03.06.2017]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/principles/design-considerations/bearing-arrangements/for-heavy-loads/index.html>

[24] KVS. KVS [online]. Copyright © 2011 Katedra výrobních systémů, FS TUL [cit. 03.06.2017]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni\\_stroje/obrabeci.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni_stroje/obrabeci.pdf)

[25] Rosa Sistemi SpA | Programma completo per la tecnologia lineare [online]. Dostupné z: <http://www.rosa-sistemi.it/wp-content/uploads/2013/09/corone-400x268.png>

[26] Coromant Capto. Document Moved [online]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant\\_cpto/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant_cpto/pages/default.aspx)

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra konstruování strojů

Akad. rok: 2016/2017

## PŘÍLOHA ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Jméno a příjmení:** Štědrý  
**Studijní program:** B2341 Strojírenství  
**Studijní obor:** Stavba výrobních strojů a zařízení

**Téma bakalářské práce:**  
Příslušenství vyvrtávacích a frézovacích strojů. **Frézovací zařízení pro obrábění T drážek - otočná část.**

Požadavky a základní technické údaje:

- Provést analýzu konstrukcí frézovacích zařízení pro T drážky
- Navrhnout konstrukci otočné části frézovacího zařízení
- Navrhnout uložení vřeten a jejich pohonný mechanismus
- Zpracovat projektovou dokumentaci (sestava, kusovník hlavních dílů, výpočet, popis, detail vybrané součásti)
- Zpracovat výpočty programy KISSsoft případně KISSsys a MITcalc

Parametry

Převod mezi vřetenem frézovacího stroje a vřetenem zařízení			1 : 1,2
Počet vřeten			2
Max. otáčky vřetene zařízení		l/min	3000
Výkon na vřetenu od otáček 895 /min		kW	15
Max. točivý moment na vřetenu do otáček 895 /min		Nm	160
Upínací dutina vřetene		ISO	40
Životnost		hod	4000
Max. řezné síly na vřetenu zařízení (poloha viz vřet_frez_T_slot.dwg):			
• Tečná složka	F	N	6667
• Radiální složka	F <sub>R</sub>	N	5333
• Axiální složka	F <sub>A</sub>	N	4000

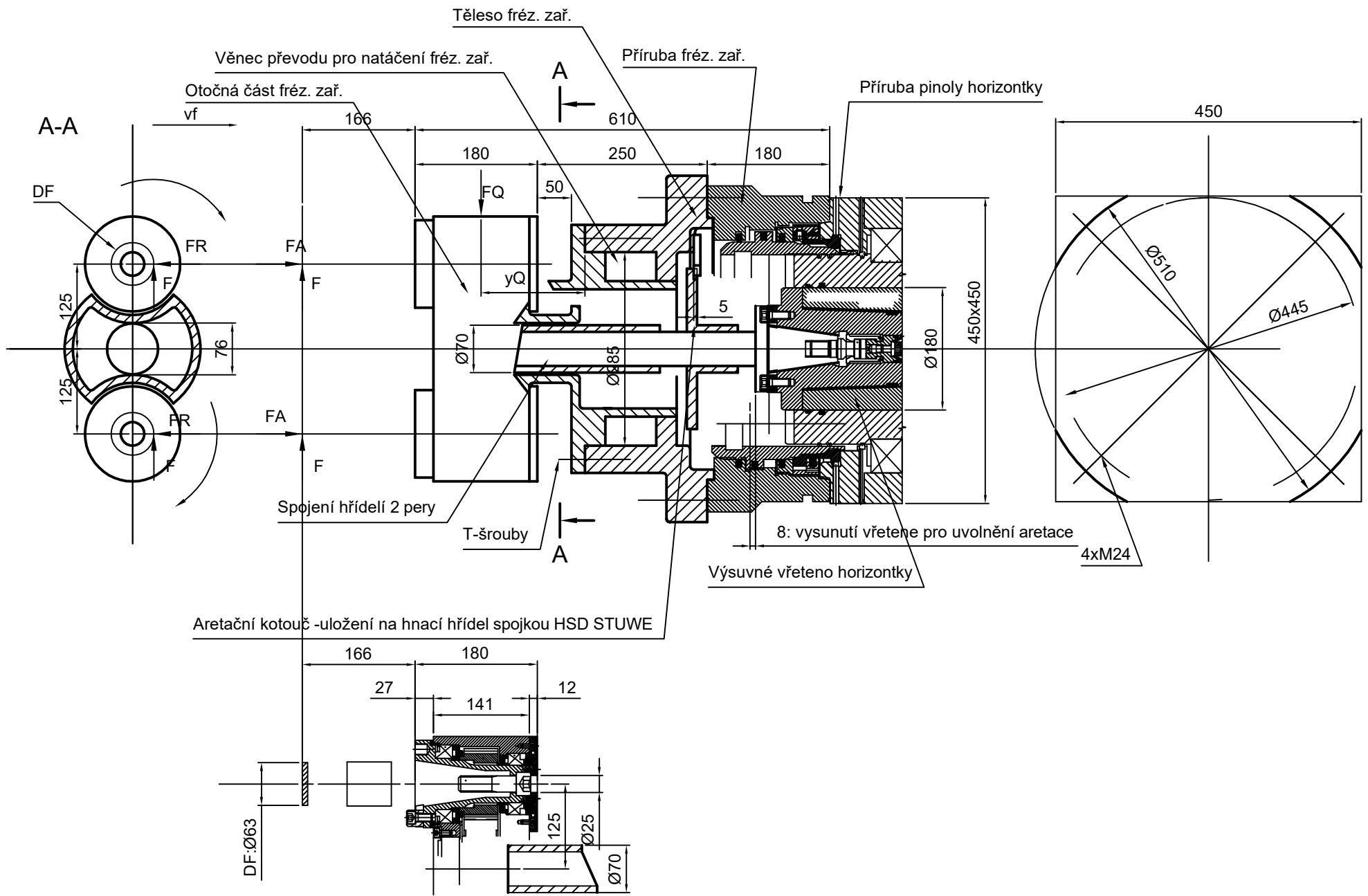
## Zatěžovací stavy

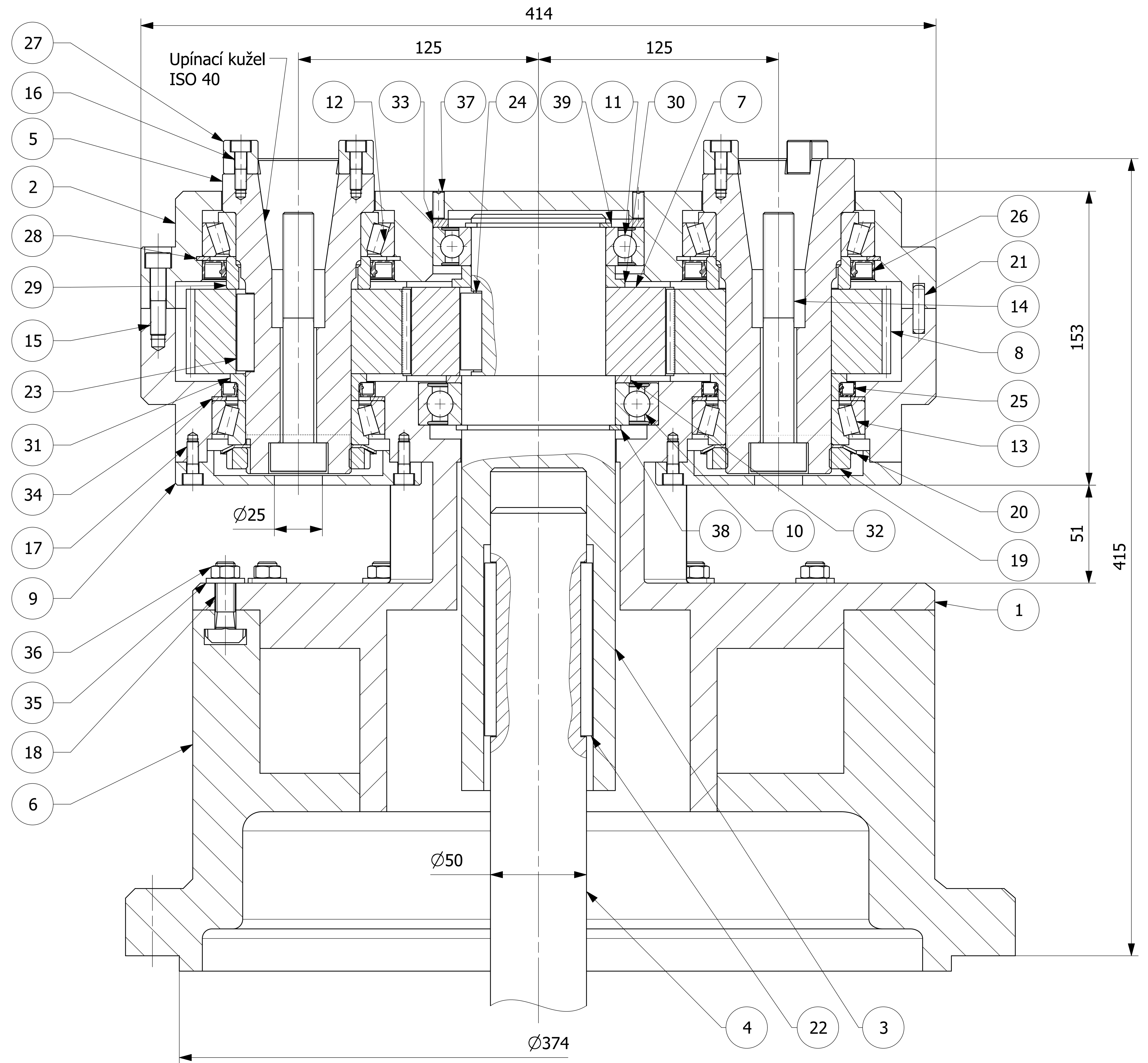
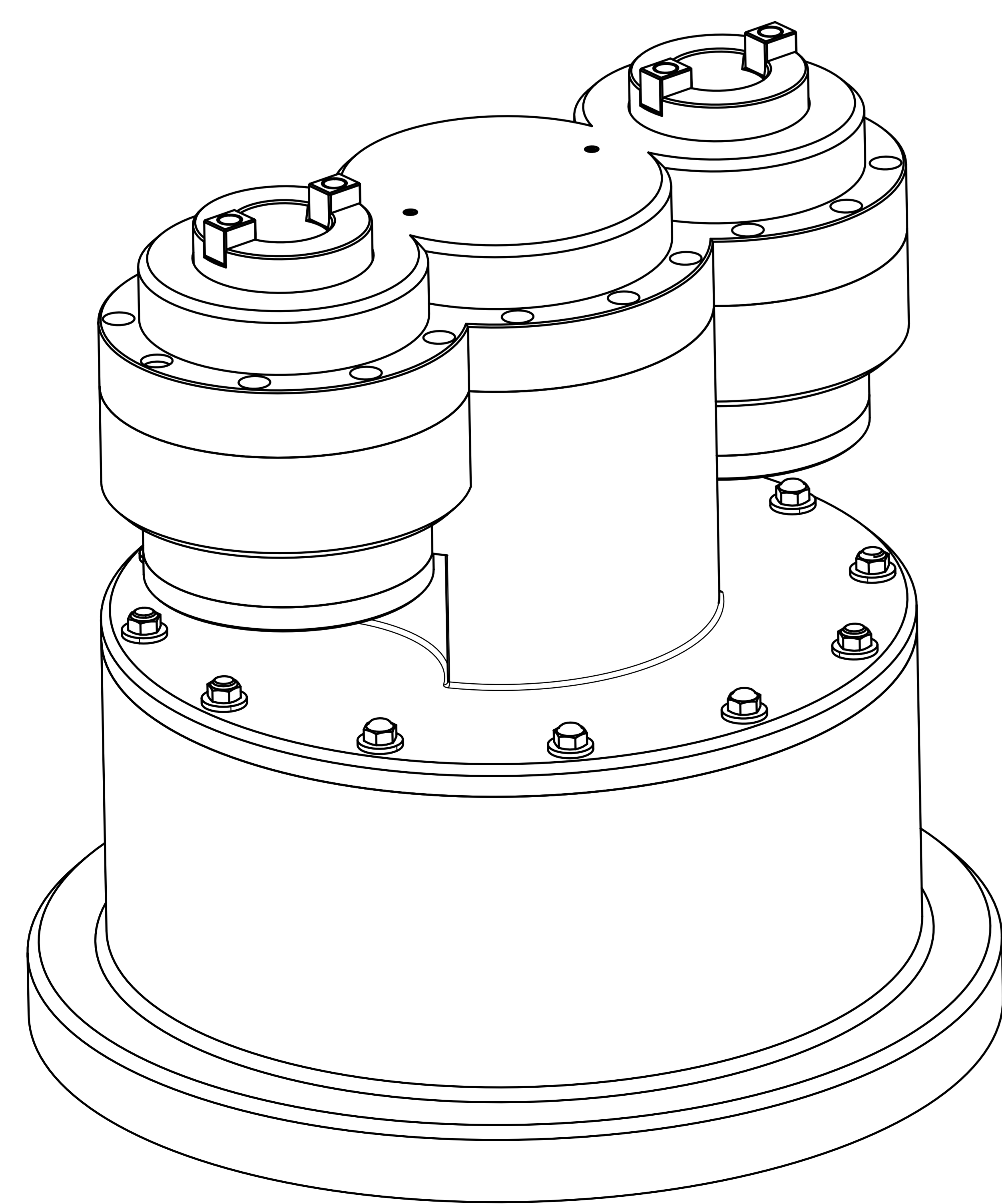
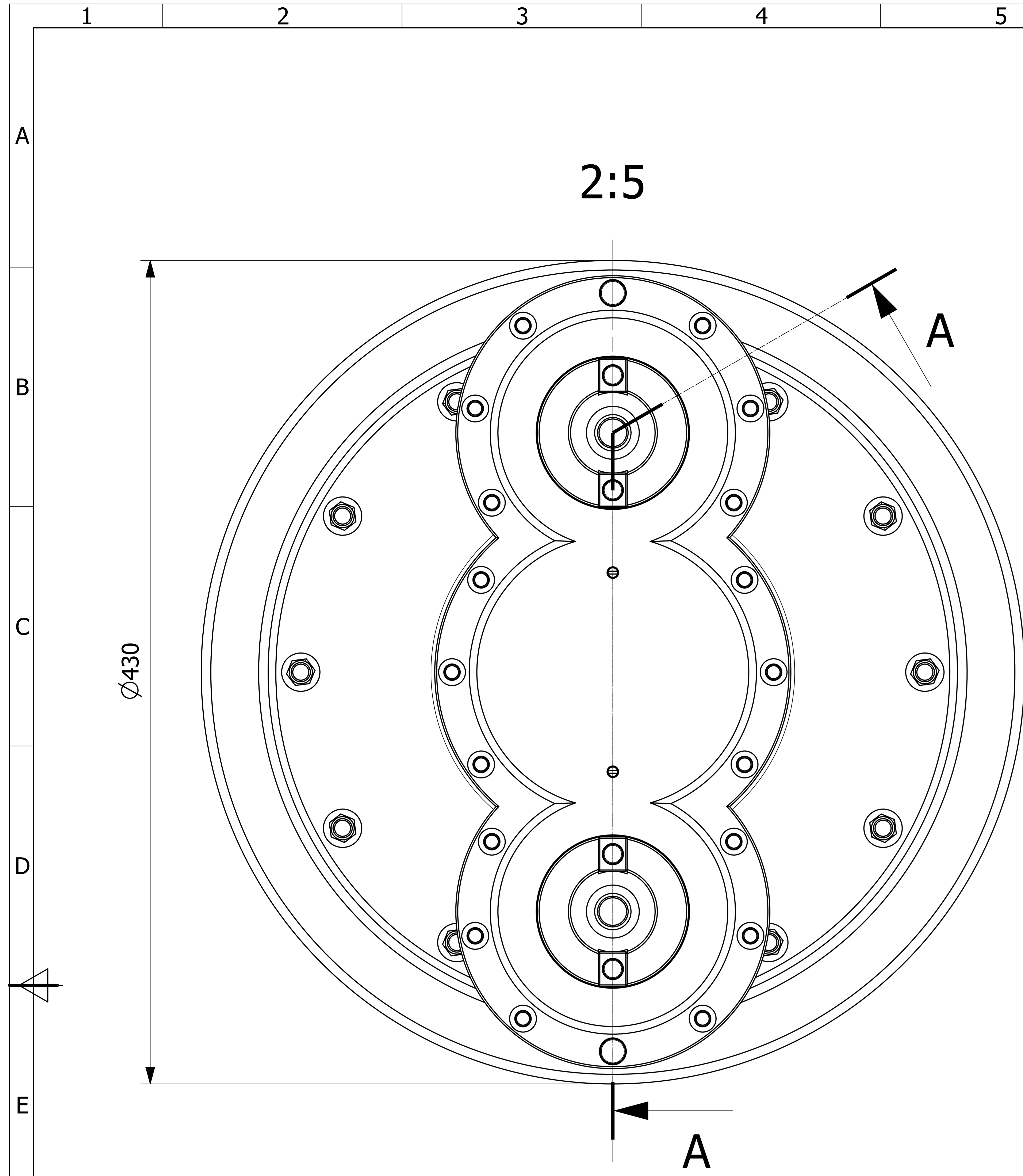
Stav	Poměrná doba běhu q	Moment Nm	Otáčky min <sup>-1</sup>	Průměr nástroje D <sub>F</sub> mm	Řezné síly		
					F N	F <sub>R</sub> N	F <sub>A</sub> N
1	0,75	160	895	48	6667	5333	4000
2	0,25	8	2880	21	762	610	457
Souřadnice Y				mm	166		

## Dokumentace pro konstrukci

Učební text	hl_poh_2013.pdf, ul_vret_2013.pdf
Výkresy	vret_frez_T_slot.dwg, ifvw1c.pdf, waldrich_frez.pdf

V Plzni dne 18.1.2016





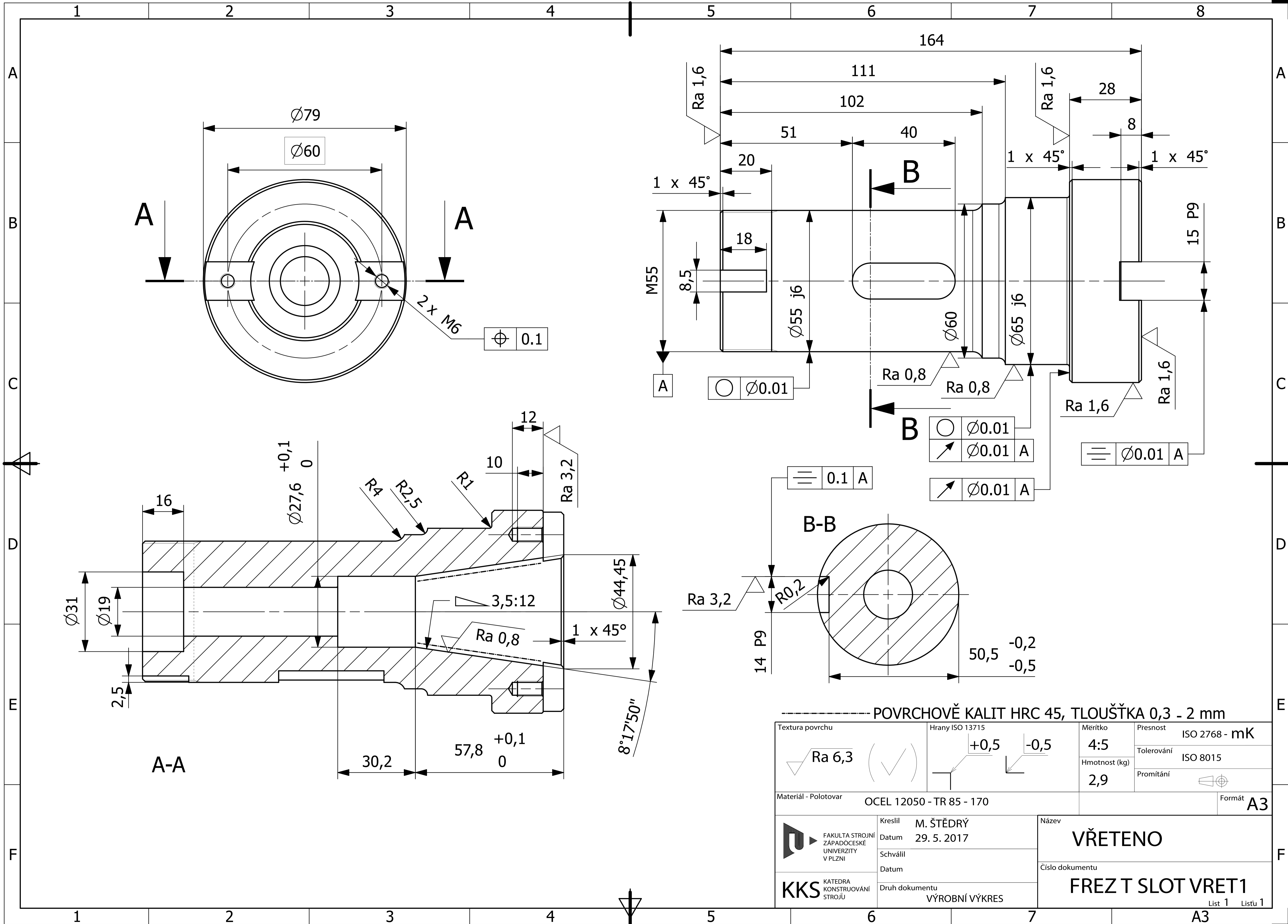
A-A

Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	137	Promítání		Formát	A2
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	M. ŠTĚDRÝ	Název	FRÉZOVACÍ HLAVA			
	Datum	29. 5. 2017	Císlo dokumentu	FREZ T SLOT1			
 KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil		List 1 Listu 1				
	Datum						
Druh dokumentu		VÝKRES SESTAVY					



POZICE	NÁZEV	NORMA/VÝKRES	HMOTNOST [kg]	KS
1	Otočné těleso	ZČU ...	36,193	1
2	Víko tělesa	ZČU ...	10,435	1
3	Hřídel	ZČU ...	6,538	1
4	Vřeteno stroje	ZČU ...	3,453	1
5	Pracovní vřeteno	ZČU - 1320 VŘETENO	2,921	2
6	Těleso	ZČU ...	55,214	1
7	Ozubené kolo hnací	ZČU ...	3,876	1
8	Ozubené kolo hnané	ZČU ...	2,552	2
9	Spodní víko	ZČU ...	0,731	2
10	Kuličkové ložisko 01	SKF 6016	1,594	1
11	Kuželíkové ložisko 01	SKF 32013 X/Q	1,438	1
12	Kuličkové ložisko 02	SKF 6014	1,388	1
13	Kuželíkové ložisko 02	SKF 32011 X/Q	1,272	1
14	Šroub M16 x 120	DIN 7984	0,251	2
15	Šroub M8 x 35	DIN 7984	0,038	20
16	Šroub M6 x 20	DIN 7984	0,024	4
17	Šroub M6 x 15	DIN 7984	0,025	16
18	Šroub s T hlavou M10 x 35	DIN 186	0,032	12
19	KM matice	SKF KM 11	0,121	2
20	MB podložka	SKF MB 11	0,017	2
21	Kolík 6x25	DIN 6325	0,005	6
22	Pero 6x11 - 100	ISO 2491 B	0,033	2
23	Pero 9x14 - 40	ISO 2491 B	0,064	1
24	Pero 11x16 - 36	ISO 2491 B	0,297	2
25	Těsnící kroužek 63x8	SKF CRW1 R	0,012	2
26	Těsnící kroužek 75x10	SKF CRW1 R	0,009	2
27	Unášecí kamen 18x14	DIN 2079	0,029	4
28	Pojistný kroužek 106	DIN 472	0,163	2
29	Kroužek 01	ZČU ...	0,237	2
30	Kroužek 02	ZČU ...	0,193	1
31	Kroužek 03	ZČU ...	0,189	2
32	Kroužek 04	ZČU ...	0,141	1
33	Kroužek 05	ZČU ...	0,137	1
34	Kroužek 06	ZČU ...	0,122	2
35	Podložka M10	DIN 125A	0,004	2
36	Matice M10	DIN 934	0,006	2
37	Stavěcí šroub M6	DIN 551	0,004	2
38	Pojistný kroužek 77	DIN 472	0,093	1
39	Pojistný kroužek 67	DIN 472	0,087	1

 <p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p>	Kreslil <b>M. ŠTĚDRÝ</b>	<p>Název <b>FRÉZOVACÍ HLAVA</b></p>
	Datum 29. 5. 2017	
<p><b>KKS</b> KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJU</p>	Schválil	<p>Číslo dokumentu <b>FREZ T SLOT2</b></p>
	Datum	
	Druh dokumentu <b>SEZNAM POLOŽEK</b>	<p>List 1 Listu 1</p>



**POVRCHOVĚ KALIT HRC 45, TLOUŠŤKA 0,3 - 2 mm**

Textura povrchu	Hrany ISO 13715	Měřítko	Přesnost
$Ra 6,3$ (✓)	$+0,5$ $-0,5$	4:5	ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovar		Hmotnost (kg)	Tolerování
OCEL 12050 - TR 85 - 170		2,9	ISO 8015
			Promítání
			Formát
			A3

<p>FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI</p> <p>KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ</p>	Kreslil M. ŠTĚDRÝ Datum 29. 5. 2017 Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	Název <b>VŘETENO</b> Číslo dokumentu <b>FREZ T SLOT VRET1</b>
	List 1 Listů 1	