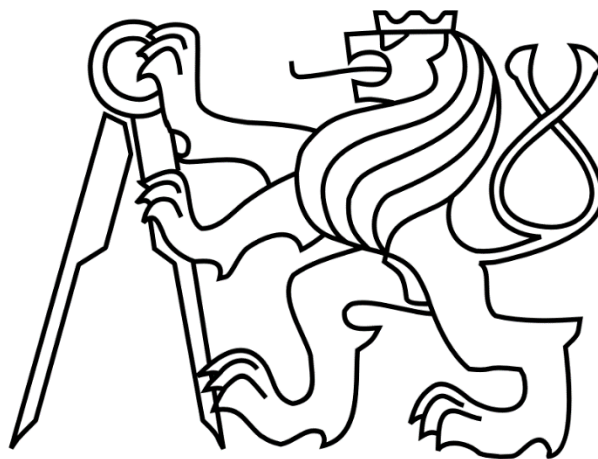


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Otočný stůl pro pětiosé multifunkční centrum

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Padevět** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **440030**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Strojírenství**  
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Otočný stůl pro pětiosé multifunkční centrum**

Název bakalářské práce anglicky:

**Rotary table for 5 axis multifunctional machine tool center**

Pokyny pro vypracování:

Návrh otočného stolu (jedna část otočně-sklopného stolu) stroje MCU700 ve variantě pro soustružení; Osnova práce: Rešerše vhodných komponent rotačních pohybových os pro soustružnickou a frézovací variantu otočného stolu, přehled konceptů pohonů rotačních os pro soustružnickou a frézovací variantu otočného stolu. Rozměrový návrh řešení umístění do rámu pro soustružnickou variantu, návrhové a kontrolní výpočty; Rozsah grafické části: Sestava + vybrané výrobní výkresy; Rozsah textové části: 40-60 stran.

Seznam doporučené literatury:

HOUŠA, J.: Stavba výrobních strojů II. ČVUT, Praha, 1994.; MAREK, Jiří a BLECHA, Petr: Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2, přeprac. a rozš. PRAHA: MM Publishing, 2010, MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3; Firemní literatura a prospekty.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D., ústav výrobních strojů a zařízení FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


**Ing. Lukáš Havlík, KOVOSVIT MAS Machine Tools**

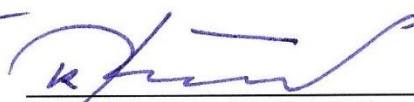
Datum zadání bakalářské práce: **31.10.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **03.01.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2019**

  
Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

  
Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

31.10.2019  
Datum převzetí zadání

Padevět  
Podpis studenta

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v přiloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne do 21.7.2019

.....

podpis

## Poděkování

Úvodem bych rád poděkoval především svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Miroslavovi Ondráčkovi za vedení, odborné konzultace a podnětné připomínky při jejím vypracování. Děkuji i konzultantovi Ing. Lukáši Havlíkovi z firmy Kovosvit MAS za odborné konzultace a cenné rady.

Chtěl bych také poděkovat svým rodičům za podporu a trpělivost, se kterou mě podporovali při mém studiu.

## Anotace

Autor:	Jakub Padevět
Název BP:	Otočný stůl pro pětiosé multifunkční centrum
Rozsah práce:	44 stránek, 45 obrázků, 20 tabulek, 4 přílohy
Školní rok vyhotovení:	2019/2020
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 Výrobní stroje a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D.
Konzultant BP:	Ing. Lukáš Havlík
Klíčová slova:	otočný stůl, momentový motor, šnekový mechanismus, frézování, soustružení, rotační odměřování, hydraulická brzda, dvouřadé kuličkové ložisko, válečkové ložisko
Anotace:	Tato práce se věnuje konstrukci otočného stolu pětiosého multifunkčního centra a návrhu jeho pohonu. Jsou zde popsány jednotlivé komponenty a typy konstrukcí otočného stolu. V další části je provedena volba komponent a kontrolní výpočty. Následuje popis modelu soustavy otočného stolu, který je vymodelován v programu CAD. Nakonec je řešen přívod kabelů ke komponentám.

# Annotation

Autor:	Jakub Padevět
Title:	Rotary table for 5- axis multifunctional machine tool center
Extent:	44 pages, 45 figures, 20 tables, 4 attachments
Academic year:	2019/2020
University:	CVUT –Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Miroslav Ondráček, Ph.D.
Consultant:	Ing. Lukáš Havlík
Submitter of the Theme:	CTU - Faculty of Mechanical Engineering
Key words:	rotary table, torque motor, worm gear, milling, turning, rotary encoder, hydraulic brake, double-row ball bearing, roller bearing
Annotation:	This thesis deals with the construction of the rotary table of five-axis multifunctional machine tool center and with the design of its propulsion. There are described individual components and types of rotary table constructions. In the next section, the components are selected and the check calculations are performed. The following is a description of the turntable system model that is modelled in CAD. Finally, the cables are supplied to the components.

## Přehled použitých veličin a jednotek

Symbol	Jednotka	Význam
a	[-]	koeficient pro typ kontaktu valivých elementů
a <sub>p</sub>	[mm]	tloušťka třísky
C	[N]	základní dynamická únosnost
C <sub>0a</sub>	[N]	základní statická axiální únosnost
C <sub>0r</sub>	[N]	základní statická radiální únosnost
C <sub>a</sub>	[N]	základní dynamická axiální únosnost
C <sub>k</sub>	[-]	konstanta obrábění
C <sub>r</sub>	[N]	základní dynamická radiální únosnost
d	[mm]	vnitřní průměr ložiska
d <sub>exter</sub>	[mm]	vnější průměr prstencového motoru
D	[mm]	vnější průměr ložiska
f	[Hz]	frekvence
f	[mm]	posuv
F <sub>a</sub>	[N]	axiální síla
F <sub>c</sub>	[N]	řezná síla
F <sub>r</sub>	[N]	radiální síla
g	[m.s <sup>-2</sup> ]	gravitační konstanta
H	[mm]	šířka ložiska
I	[mA]	proud
I <sub>jmen</sub>	[A]	jmenovitá hodnota elektrického proudu
J	[kgm <sup>2</sup> ]	moment setrvačnosti
L <sub>10</sub>	[hod]	základní trvanlivost ložiska
L <sub>A</sub>	[mm]	délka těsnění brzdy
L <sub>ges</sub>	[mm]	celková délka brzdy
m <sub>max</sub>	[kg]	maximální hmotnost
M	[Nm]	výsledný moment
M <sub>jmen</sub>	[Nm]	jmenovitá hodnota kroutícího momentu
M <sub>k pmax</sub>	[Nm]	kroutící moment při maximálním tlaku
M <sub>k pmin</sub>	[Nm]	kroutící moment při nulovém tlaku
M <sub>max</sub>	[Nm]	maximální hodnota kroutícího momentu
M <sub>t</sub>	[Nm]	třecí moment
n <sub>G</sub>	[min <sup>-1</sup> ]	maximální otáčky ložiska
n <sub>max</sub>	[min <sup>-1</sup> ]	maximální otáčky prstencového motoru
p	[-]	mocnitel pro ložisko
p <sub>o</sub>	[bar]	tlak pro ovládání
P	[N]	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
r	[mm]	poloměr
R <sub>m</sub>	[MPa]	mezní pevnost v tahu
t	[°C]	pracovní teplota
U	[V]	napětí
v <sub>c</sub>	[m.min <sup>-1</sup> ]	řezná rychlost
v <sub>max</sub>	[min <sup>-1</sup> ]	maximální rychlost
X	[N]	koeficient radiálního zatížení
Y	[N]	koeficient axiálního zatížení
μ	[-]	statický koeficient tření

# Obsah

Obsah.....	8
1. Úvod .....	10
1.1 Zadaný stroj:.....	11
2. Rešerše .....	13
2.1. Otočně-sklopný stůl.....	13
2.1.1 Rozdělení otočných naklápěcích stolů .....	13
2.1.2 Výrobci otočných stolů .....	13
2.2. Pohon rotačních os stolu .....	16
2.2.1 Přímý pohon .....	16
2.2.2 Nepřímý pohon.....	18
2.3. Úhlové snímače .....	19
2.3.1 Optické odměřování .....	19
2.3.2 Magnetické odměřování .....	20
2.4. Ložiska .....	21
2.5. Brzdy.....	23
2.5.1 Pneumatická a hydraulická brzda.....	23
2.6. Shrnutí: .....	23
3. Návrh komponent .....	24
3.1. Soustružení .....	24
3.1.1 Pohon.....	24
3.1.2 Ložisko .....	25
3.1.3 Rotační odměřování .....	25
3.1.4 Brzda .....	26
3.2. Frézování .....	27
3.2.1 Šnekový pohon .....	27
3.2.2 Ložisko .....	28
3.2.3 Rotační odměřování .....	28
3.2.4 Brzda .....	28
3.3. Shrnutí: .....	29
4. Kontrolní výpočty .....	30
4.1. Prstencový motor .....	30
4.1.1 Kontrola motoru při soustružnické operaci hrubování .....	30





4.2.	Ložisko .....	32
4.3.	Hydraulická brzda .....	33
4.4.	Shrnutí: .....	34
5.	Model .....	35
6.	Závěr .....	38
7.	Seznam použité literatury .....	39
8.	Seznam obrázků .....	42
9.	Seznam tabulek .....	43
10.	Seznam příloh .....	44

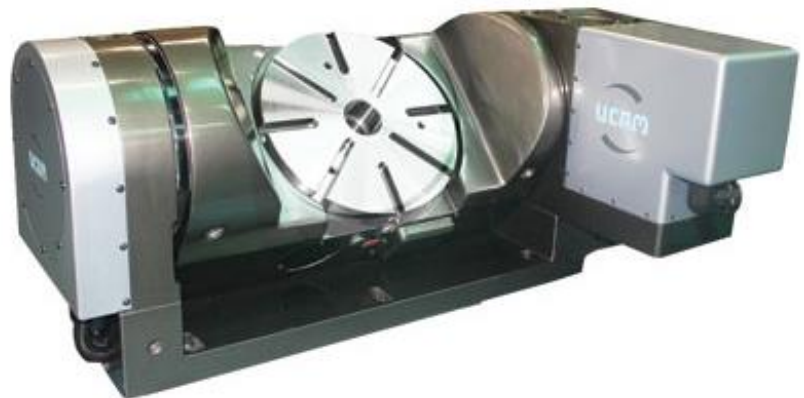
## 1. Úvod

S otočnými stoly se lze setkat jako volitelné příslušenství u CNC strojů bez rotační osy nebo u víceosých obráběcích center, kde otočný stůl je hlavní částí konstrukce. Klasické obráběcí stroje mohou totiž provádět pracovní pohyb pouze ve třech kartézských osách X, Y nebo Z. Další osu přidá otočný stůl, který může rotovat kolem os X, Y nebo Z, viz Obr. 1. Tyto osy se značí A, B či C. Takové uspořádání umožňuje takzvané 4osé obrábění. U 5osých center je otočný stůl zabudován do kolébky (Obr. 2), čímž tvoří pátou osu pracovního pohybu.

Stůl koná rotaci či naklopení buď přímo při řezném procesu nebo slouží pro ustavení do dané polohy při zabrzděném stole. Víceosé stroje jsou sice dražší než klasické, ale přinášejí řadu výhod. Dochází k úspoře strojního času při obrábění tvarově složitých součástí bez nutnosti změny upnutí, čímž se zvyšuje multifunkčnost stroje a produktivita.



Obr. 1: Otočný stůl pro 4osé obrábění [1]



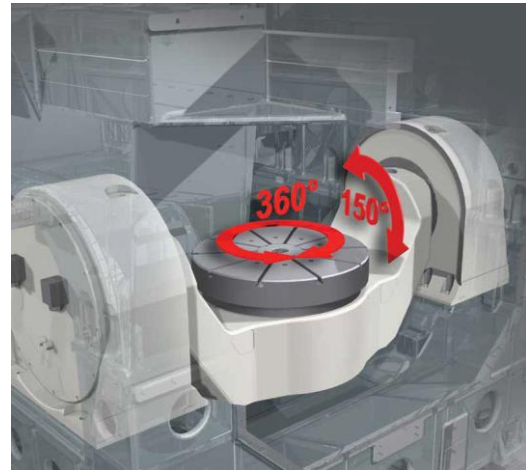
Obr. 2: Otočný stůl v kolébce [2]

## 1.1 Zadaný stroj:

Na Obr. 3 je stroj, pro který se navrhuje otočně-sklopný stůl. Jedná se o multifunkční obráběcí centrum typu MCU700 VT-5X vyráběné firmou Kovosvit MAS. Konkrétně bude navržen pohon otočného stolu (Obr. 4).



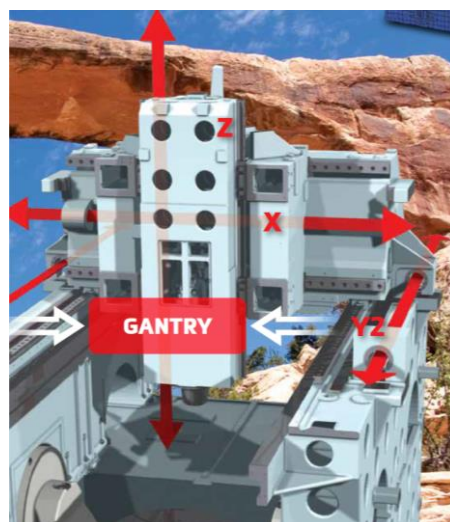
Obr. 3: Stroj MCU 700VT-5X [3]



Obr. 4: Otočně-sklopný stůl [3]

Tabulka 1: Parametry lineárních os [3]

Parametry os	Rozjezdy [mm]	Posuvy [mm/min]	Zrychlení [mm/s <sup>2</sup> ]	Posuvová síla [N]
osa X	700	60 000	6 500	5 000
osa Y	820	60 000	6 500	10 000
osa Z	550	60 000	6 500	5 000



Obr. 5: Lineární osy [3]

*Tabulka 2: Parametry rotačních os [3]*

Parametry os	Rozsah otáčení [°]	Maximální otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Souvislý kroučící moment [Nm]	Brzdný kroučící moment [Nm]
osa A	150	25	2 500	5 000
osa C	360	500	1 250	2 500

Tato práce se zabývá rotační osou C, ale neuvažují se zmíněné katalogové hodnoty. Od firmy Kovosvit byly zadány vyšší parametry pro dvě různé technologické operace: soustružení a frézování. V tabulce 3 a 4 jsou vypsány katalogové a zvýšené parametry.

*Tabulka 3: Katalogové parametry osy C [3]*

Operace	Maximální otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Souvislý kroučící moment [Nm]	Brzdný kroučící moment [Nm]
Soustružení	500	1 250	2 500
Frézování	100	1 250	2 500

*Tabulka 4: Zvýšené parametry osy C*

Operace	Maximální otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Souvislý kroučící moment [Nm]	Brzdný kroučící moment [Nm]	Tlak hydrauliky pro ovládání brzd [bar]	Špičkový kroučící moment [Nm]
Soustružení	1 000	1 250	3 000	40÷60	2 000
Frézování	100	1 870	2 500	70÷90	3 740

## 2. Rešerše

### 2.1. Otočně-sklopný stůl

Již bylo zmíněno, že otočně-sklopný stůl zajišťuje 4. a 5. osu stroje, čímž umožňuje obrábět tvarově složité součásti v krátkém čase. Používá se přednostně u víceosých obráběcích center.

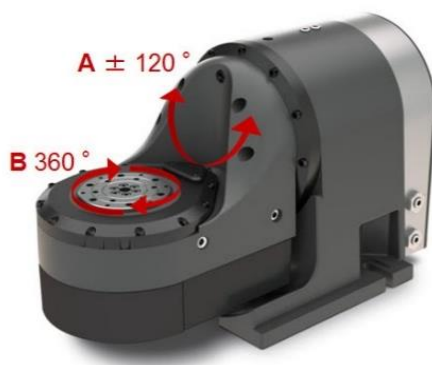
#### 2.1.1 Rozdělení otočných naklápěcích stolů

Stoly lze rozdělit podle více kritérií:

- 1) podle uložení naklápěcí osy na:
  - a) jednostranné uložení
  - b) oboustranné uložení
- 2) podle použitého pohonu
  - a) s přímým pohonem
  - b) s nepřímým pohonem
- 3) podle počtu upínacích desek
  - a) s jedním místem
  - b) s více místy

#### 2.1.2 Výrobci otočných stolů

##### 1 a) Stoly s jednostranným uložením



Obr. 6: Stůl HAAS TRT100 [4]



Obr. 7: Stůl LEHMANN [5]

1 b) Stoly s oboustranným uložením



Obr. 8: Otočně-sklopný stůl Tyntech s.r.o. [6]

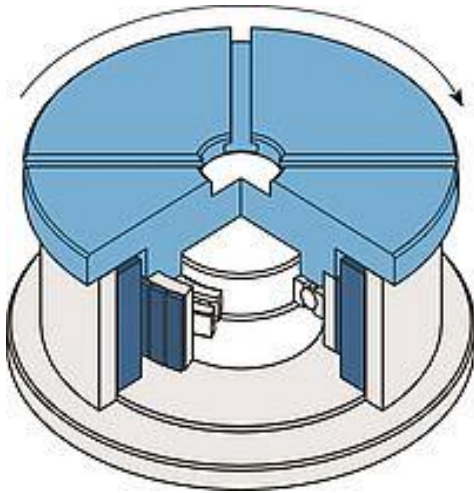


Obr. 9: Otočně-sklopný stůl MCV 1000 5AX Kovosvit MAS [7]

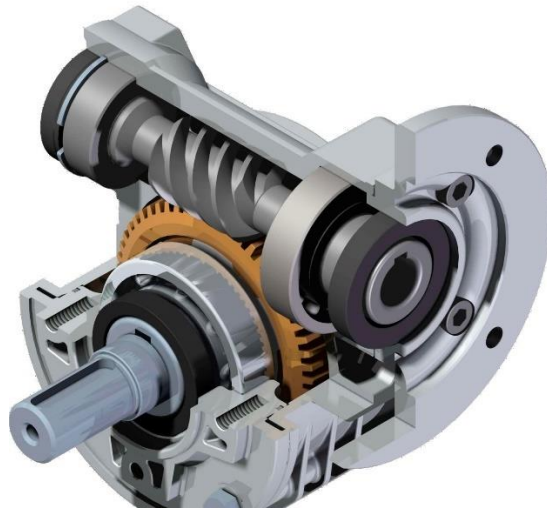


Obr. 10: Otočně-sklopný stůl HAAS TR210 [8]

2) podle použitého pohonu



Obr. 11: Stůl s přímým pohonem [9]

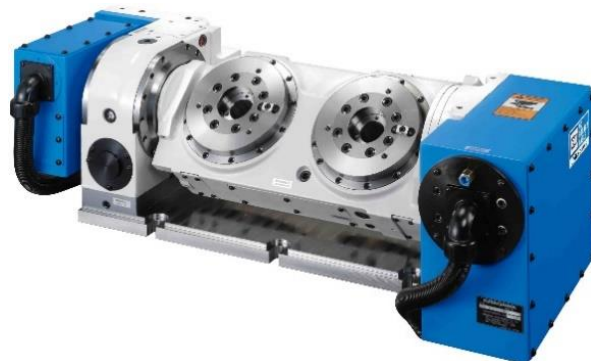


Obr. 12: Nepřímý pohon [10]

3) Na Obr. 13 a Obr. 14 je srovnání stolu s jednou a více upínacími deskami od firmy Kitagawa.



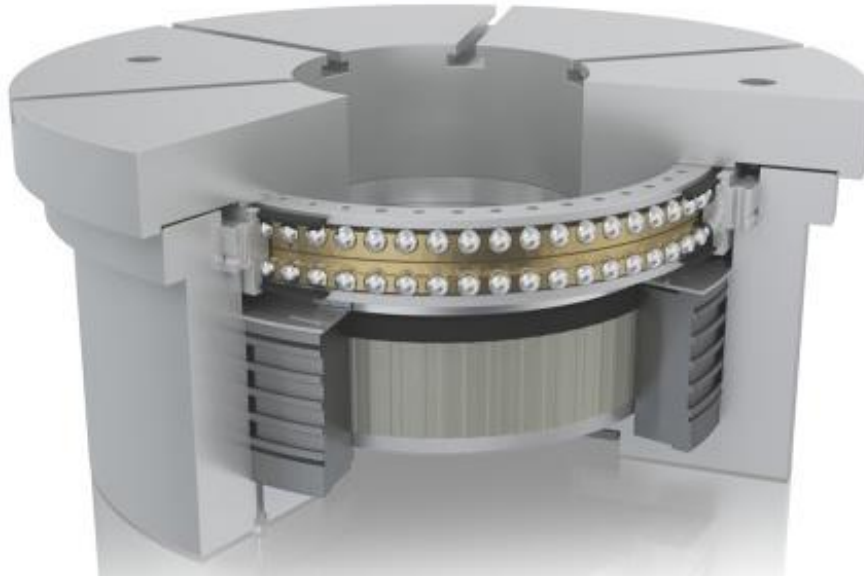
Obr. 13: Otočně-sklopný stůl TT101 s jednou deskou [11]



Obr. 14: Otočně-sklopný stůl TW2180 s více deskami [11]

## 2.2. Pohon rotačních os stolu

Celá konstrukce (Obr. 15) otočného stolu se skládá z několika komponent, kterými jsou: upínací deska, pohon, úhlové odměřování, rotační ložiska, mazání a brzdy.



Obr. 15: Konstrukce stolu [22]

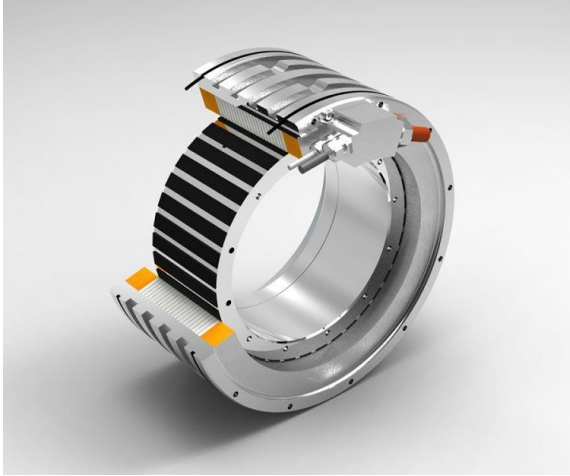
Pohony lze rozdělit na pohony přímé a nepřímé. Přímé pohony jsou specifické tím, že neobsahují převodové mechanismy a hlavní zatížení je připojeno přímo na rotor. Přímé pohony jsou vhodné pro soustružnické operace a nepřímé pro frézování.

### 2.2.1 Přímý pohon

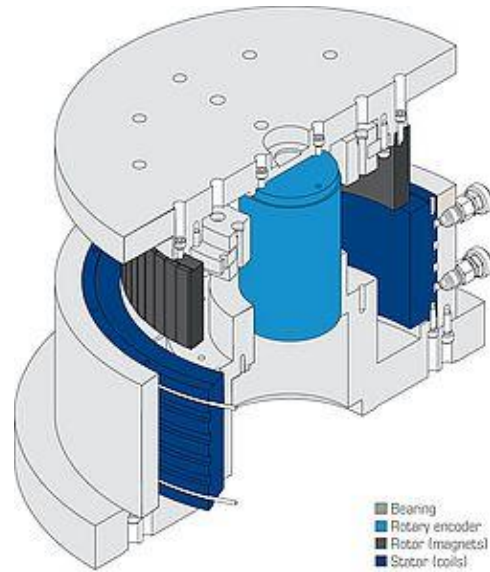
Přímý pohon je realizován prostřednictvím prstencového motoru, který dosahuje vysokých otáček a nízkého kroutícího momentu. Jde o speciální případ synchronního motoru. V anglické literatuře se motor označuje jako torque motor nebo ring motor.

Motor se skládá ze dvou prstenců, vnitřního rotoru a vnějšího statoru. Zatímco stator je opatřen vinutím a drážkou pro chladicí médium, na rotor jsou zvenjšku upevněny permanentní magnety. Oba díly spojuje radiálně-axiální ložisko, které zároveň udržuje konstantní vzduchovou mezeru. Na Obr. 16 je zobrazena integrace motoru do otočného stolu. Významnými firmami, které vyrábějí prstencové motory jsou: Heidenhain, Etel, Kollmorgen, Idam, Siemens a další. [12], [13]





Obr. 16: Konstrukce prstencového motoru [14]



Obr. 17: Otočný stůl [15]

### Chlazení prstencových motorů: [15]

Aby motor pracoval bez problémů, tak je nutné ho chladit. Motory mohou být chlazeny buď vzduchem nebo vodou. U prstencových motorů se používá převážně voda, která proudí uvnitř kanálů umístěných po obvodu statorové části. Chladicí kanály však musí být dobře utěsněny. Některé typy motorů se mohou pyšnit moderním uzavřeným chladicím pláštěm, který je, stejně jako kanály, po obvodu statoru.

## 2.2.2 Nepřímý pohon

Jako převodový mechanismus lze použít buď šnekového převodu nebo ozubeného věnce kola s pastorkem.

### Šnekové soukolí

Základem šnekového pohonu je šnek a šnekové kolo s levým nebo pravým stoupáním (Obr. 18). Jedná se o soukolí s mimoběžnými osami.



Obr. 18: Šnekové soukolí firmy T.E.A. Technik [16]

### Pastorek s ozubeným věncem

Pastorek s ozubeným věncem představuje typ soukolí s rovnoběžnými osami. Na Obr. 19 jsou ozubené věnce od firmy Sew-Eurodrive a na Obr. 20 věnce od firmy ETA Industry.



Obr. 19: Ozubené věnce firmy Sew-Eurodrive [17]



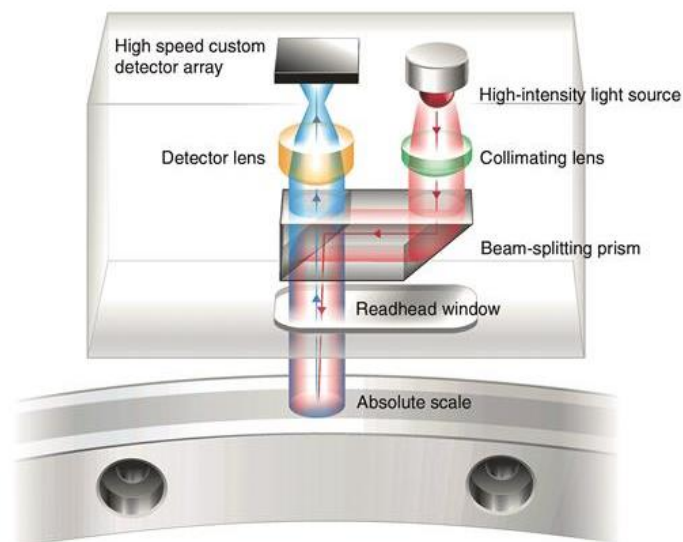
Obr. 20: Ozubené věnce firmy ETA Industry [18]

## 2.3. Úhlové snímače

Další důležitou komponentou je úhlový snímač polohy, který dělíme buď podle funkce nebo podle principu. Podle funkce ho dělíme na absolutní a inkrementální a podle principu na optické nebo magnetické. Absolutní snímač, oproti inkrementálnímu, udává pouze relativní vzdálenost a nemusí při zahájení měření najet do referenčního bodu. [19] Firmy vyrábějící snímače jsou: Balluff, Renishaw, Micro-Epsilon, ELBO, PROFESS, Heidenhain, ad.

### 2.3.1 Optické odměřování

Základem optického senzoru je asférická čočka, (beam-splitting prism) která má za úkol nasměrovat krátký záblesk z diody na stupnici (absolute scale) a do detektoru (custom detector array).



Obr. 21: Snímač s asférickou čočkou [20]



Obr. 22: Optický snímač firmy Renishaw [20]



Obr. 23: Zapouzdřený snímač RCN firmy Heidenhain [31]

### 2.3.2 Magnetické odměřování

Magnetické snímání polohy pracuje na principu magnetostrikčního měření, kdy dochází k interakci mezi magnetickým polem měřícího permanentního magnetu a magnetickým impulzem feromagnetického vodiče uvnitř snímače. Při interakci vzniká magnetostrikční impulz, který je zachycen velmi přesným snímačem a následně vyhodnocená časová prodleva vyslání a příjmu impulzu.



Obr. 24: Magnetický snímač ERM firmy Heidenhain [31]



Obr. 25: Magnetický snímač LM13 firmy Renishaw [20]

## 2.4. Ložiska

Ložiska v otočných stolech musí mít vysokou únosnost, axiální tuhost a nízké tření. Podle tvaru valivých elementů je lze rozdělit na kuličková, válečková a jehlová ložiska. Lze je dělit také podle sil, které zachycují na axiální nebo axiálně radiální.



Obr. 26: Dvouřadé axiálně-radiální válečkové ložisko firmy Schaeffler [22]



Obr. 27: Ložisko s otočným prstencem firmy Igus [23]



Obr. 28: Dvouřadé axiálně-radiální kuličkové ložisko s kosouhlým stykem [22]



Obr. 29: Axiální válečkové ložisko 75491 firmy NTN [24]



Obr. 30: Dvouřadé axiální válečkové ložisko typu NN [25]



Obr. 31: Křížové válečkové ložisko firmy Hennlich [26]

## Mazání ložiska [27]

Každé ložisko je potřeba mazat, aby se snížilo tření a opotřebení valivých částí. Mezi kroužky a valivými elementy dochází k prokluzu a ke tření. Jak velké bude tření, to závisí na druhu ložiska, velikosti zatížení a režimu mazání. Dalšími úkoly maziva je ochrana ložiska před korozi, prodloužení únavové životnosti, odvod tepla a odvod cizích částic z ložiska. Běžně používanými mazadly jsou tuk, olej či plastické mazivo. U speciálních případů, kdy dochází k vysokému tření a vzniku vysokých teplot, lze použít pevné mazivo.

### Oleje

#### Výhody

- nabízí lepší mazačí schopnosti
- odolnost vůči vysokým i extrémně nízkým teplotám
- vhodné pro vysokorychlostní ložiska
- dobrá vodivost tepla
- snadné odstranění částic z maziva filtrací

#### Nevýhody

- nadměrné množství oleje zvyšuje teplotu ložiska

### Plastické mazivo/tuk

#### Výhody

- lépe se udrží v ložisku, nevyteče
- vhodné pro nízké teploty
- jednoduchá údržba ložiska
- vysoká chemická a mechanická stálost
- přidaná aditiva zvyšují životnost

#### Nevýhody

- mají nízkou viskozitu – nízká mezní rychlost
- horší vodivost tepla

### Pevné mazivo

#### Výhody

- odolné vůči tření a teplotám

#### Nevýhody

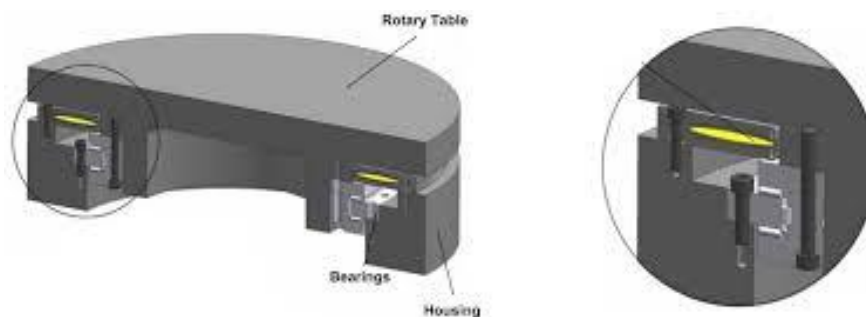
- vysoký koeficient tření
- malé tlumení vibrací
- špatně chladí

## 2.5. Brzdy

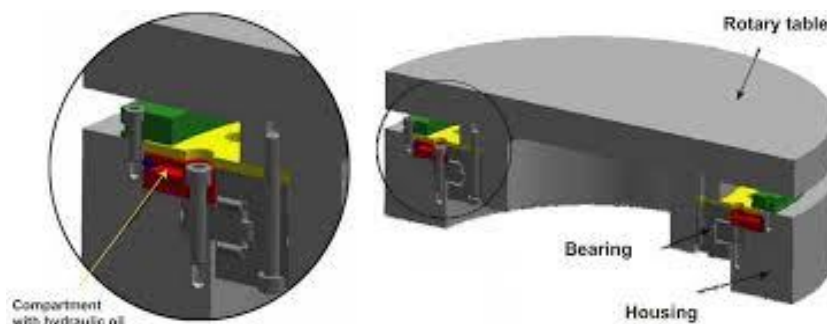
Součástí konstrukce je brzda. Ta může mít funkci provozní či bezpečnostní. U rotačních stůlů se užívají brzdy, které splňují oba tyto požadavky. Hlavním cílem provozní brzdy není jen zabrzdit stůl, ale i ustavit v dané poloze a zpevnit. Toho se využívá u technologických operací, kdy je stůl zastavený a je nutné, aby se neprotáčel. Zatímco u provozní brzdy vyvíjí brzdny moment buď kapalina nebo plyn, u bezpečnostní brzdy vše zajišťuje pružina.

### 2.5.1 Pneumatická a hydraulická brzda

Hlavní částí pneumatické brzdy je elastický kroužek, který brzdí stůl tím, že je rozevřen. Aby se brzda uvolnila, tak se vpustí vzduch do kroužku a ten se roztáhne. V případě hydraulické brzdy (obr.32) jde o brzdění pomocí hydraulického oleje. Ten se nachází v “červeném prstenci” a tlačí na “žlutý” prsteneček, který rotuje spolu se stolem. V porovnání s pneumatickou brzdou je hydraulická komplikovanější a dražší. [5] Hydraulická brzda dokáže naopak vyvinout vyšší tlak a tím i sílu.



Obr. 32: Pneumatická brzda [28]



Obr. 33: Hydraulická brzda [28]

## 2.6. Shrnutí:

V předchozí rešerši byly popsány komponenty konstrukce otočně-sklopného stolu. Je patrné, že pro každou ze dvou zadaných operací (soustružení a frézování) se komponenty liší. V následující kapitole budou vybrány konkrétní komponenty pro každou operaci.

## 3. Návrh komponent

### 3.1. Soustružení

#### 3.1.1 Pohon

Pro soustružení je výhodné zvolit prstencový motor, protože dosahuje vysokých otáček a má menší zástavbový prostor než např. šnekový pohon.

*Tabulka 5: Zadané parametry pohonu - soustružení*

$M_{jmen}$ [Nm]	$M_{max}$ [Nm]	$n_{max}$ [ $min^{-1}$ ]
1250	2000	1000

*Tabulka 6: Parametry zvoleného pohonu - soustružení [29]*

typ	$d_{exter}$ [mm]	$M_{jmen}$ [Nm]	$M_{max}$ [Nm]	$n_{max}$ [ $min^{-1}$ ]	$I_{jmen}$ [A]	firma
TMK0530 - 100	565	2160	3520	1360	184	Etel

Pro chlazení zvoleného pohonu TMK0530 – 100 bude použita voda.



### 3.1.2 Ložisko

Zvolené dvouřadé kuličkové ložisko je od firmy Schaeffler a zachycuje axiální síly. Kuličková ložiska jsou pro tuto variantu výhodnější než válečková, protože mají nižší tření a dosahují vyšších otáček.

#### Parametry zvoleného ložiska: [30]

- typ ložiska: ZKLDF325
- vnější průměr:  $d = 325$  mm
- vnitřní průměr:  $D = 450$  mm
- šířka:  $H = 60$  mm
- zachycené síly: axiální
- maximální otáčky:  $n_G = 2\,000$  1/min
- základní statická axiální únosnost:  $C_{0a} = 1\,110$  kN
- základní dynamická axiální únosnost:  $C_a = 172$  kN
- kosoúhlý styk:  $\alpha = 10/3$
- vhodné mazat tukem



Obr. 34: Dvouřadé kuličkové ložisko [30]

### 3.1.3 Rotační odměřování

Rotační odměřování by mělo splňovat přednostně rozměrové parametry, tzn. středící průměr stolu 50 mm a maximální otáčky  $1000$   $\text{min}^{-1}$ . Odměřování typu RCN 8390F od firmy Heidenhain toto splňuje.

Tabulka 7: Parametry zvoleného odměřování - soustružení [31]

Typ	přirozená frekvence [Hz]	pracovní teplota [°C]	max. rychlost [ $\text{min}^{-1}$ ]	proud, napětí	axiální pohyb [mm]	firma
RCN 8390F	> 900	0÷50	≤ 1 500	140 mA, 5 V	± 0,3	Heidenhain



Obr. 35: Rotační odměřování firmy Heidenhain [31]

### 3.1.4 Brzda

Pro jednoduchost konstrukce a vyšší bezpečnost by bylo vhodné volit pneumatickou brzdu. Ta bohužel nedokáže vyvinout požadovaný tlak pro ovládání. Z toho důvodu je pro obě operace zvolena hydraulická brzda.

*Tabulka 8: Požadované parametry brzdy - soustružení*

Operace	tlak pro ovládání	$M_K$ provozní brzdy při $p = \max$	$M_K$ bezpečnostní brzdy při $p = 0$
SOUSTRUŽENÍ	40÷60 bar	3 000 Nm	570 Nm

*Tabulka 9: Parametry zvolené brzdy - soustružení [32]*

Dodavatel	tlak pro ovládání	$M_K$ při $p = \max$	Provozní teplota [°C]	hydraulické médium
Kostyrka	50÷200 bar	3 000	10 ÷40	minerální olej



*Obr. 36: Hydraulická brzda firmy Kostyrka [32]*

## 3.2. Frézování

U technologické operace frézování by bylo jednodušší zvolit, stejně jako u soustružení, prstencový motor s nižšími parametry. Pro odlišnost konstrukcí obou operací bude zvolen šnekový pohon. Šnekový pohon sice nedosahuje vysokých rychlostí, ale je tišší oproti prstencovému motoru. Na druhou stranu zde vzniká nežádoucí vůle, kterou lze odstranit několika způsoby. Jedním ze způsobů je použití dvou šneků paralelně vedle sebe. Druhým způsobem je použití jediného šneku, který musí mít buď postupně proměnnou rozteč nebo polovinu ozubení oddělenou a nalisovanou.

### 3.2.1 Šnekový pohon

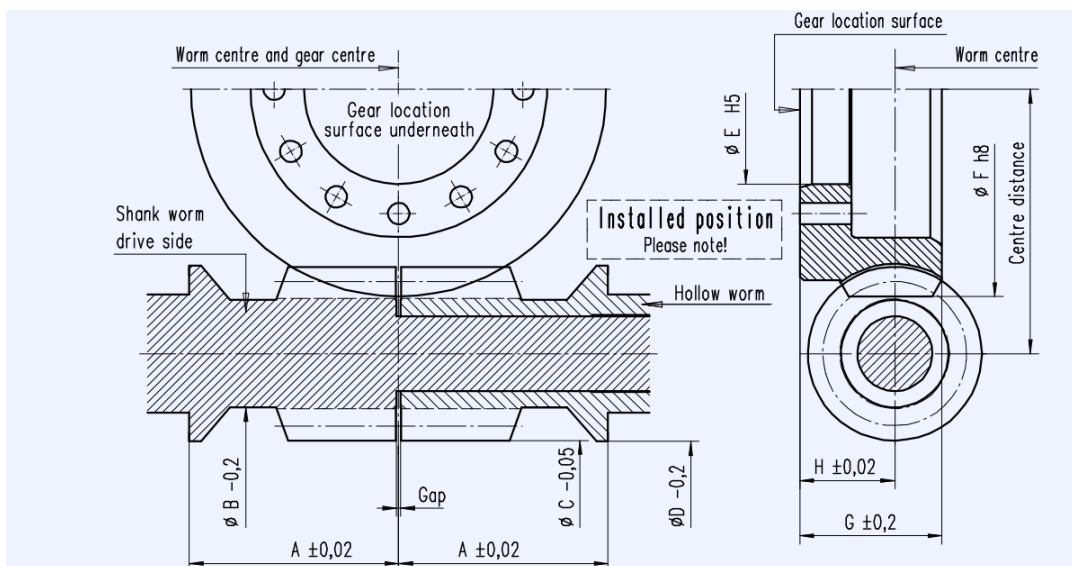
Z důvodu malého zástavbového prostoru je výhodné použít jediný šnek s nalisovanou částí ozubení.

*Tabulka 10: Zadané parametry pohonu - frézování*

$M_{jmen}$ [Nm]	$M_{max}$ [Nm]	$n_{max}$ [ $min^{-1}$ ]
1870	3740	100

*Tabulka 11: Parametry zvoleného pohonu - frézování [33]*

typ	Series	$M_{max}$ [Nm]	$n_{max}$ [ $min^{-1}$ ]	firma
4870 SSR	R3	3961	120	OTT



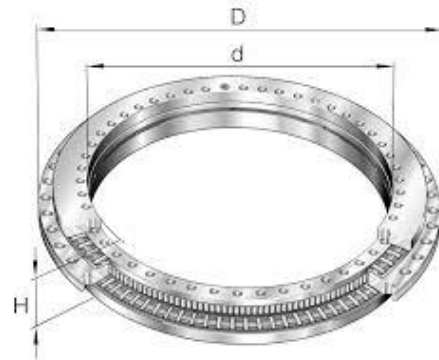
*Obr. 37: Šnekový pohon [33]*

### 3.2.2 Ložisko

Pro variantu frézování bylo zvoleno válečkové ložisko YRTC325-XL. Hlavním důvodem pro volbu válečkového ložiska byly nižší otáčky než u kuličkového ložiska a rozměry.

#### Parametry ložiska: [30]

- typ ložiska: YRTC325-XL
- vnější průměr:  $d = 325$  mm
- vnitřní průměr:  $D = 450$  mm
- šířka:  $H = 60$  mm
- zachycené síly: axiální, radiální
- maximální otáčky:  $n_G = 2\ 00$  1/min
- základní statická axiální únosnost:  $C_{0a} = 1\ 900$  kN
- základní statická radiální únosnost:  $C_{0r} = 530$  N
- základní dynamická axiální únosnost:  $C_a = 247$  kN
- základní dynamická radiální únosnost:  $C_r = 183$  N



Obr. 38: Axiálně radiální válečkové ložisko [30]

### 3.2.3 Rotační odměřování

Rotační odměřování bude stejné jako u varianty soustružení.

Tabulka 12: Parametry zvoleného odměřování - soustružení [31]

Typ	přirozená frekvence [Hz]	pracovní teplota [°C]	max. rychlost [min <sup>-1</sup> ]	proud, napětí	axiální pohyb [mm]	firma
RCN 8390F	> 900	0÷50	≤ 1 500	140 mA, 5 V	± 0,3	Heidenhain

### 3.2.4 Brzda

Brzdu pro frézování jsem zvolil stejnou jako u operace soustružení.

Tabulka 13: Zadané parametry brzdy - frézování

tlak pro ovládání	$M_K$ provozní brzdy při $p = \max$	$M_K$ bezpečnostní brzdy při $p = 0$
70–90 bar	2 500 Nm	1 500 Nm

Tabulka 14: Parametry zvolené brzdy - frézování [32]

Dodavatel	tlak pro ovládání	$M_K$ při $p = \max$	Provozní teplota [°C]	hydraulické médium
Kostyrka	50÷200	3 000	10 ÷ 40	minerální olej

### 3.3. Shrnutí:

V této kapitole byl proveden výběr konkrétních komponent pro obě operace. Přestože mohl být u obou operací volen stejný pohon, tak pro pestrost byl volen u soustružení prstencový pohon a u frézování šnekový pohon. Zvolená hydraulická brzda je od firmy Kostyrka sice dokáže vyvinout požadovaný krouticí moment při maximálním tlaku ( $M_{k\,pmax} = 3\,000\,Nm$ ), ale její tlak pro ovládání je příliš vysoký ( $p_o = 200\,barů$ ). Pokud by však měla brzda splňovat tlak pro ovládání, tak pravděpodobně nebude splňovat maximální krouticí moment. Byla tedy dána přednost krouticímu momentu před ovládacím tlakem. Následující kapitoly, tj. kontrolní výpočty a výkresová dokumentace, se zaměří pouze na operaci soustružení. Důvodem je komplikovanost konstrukce a náročnost výpočtů pro operaci frézování.

## 4. Kontrolní výpočty

### 4.1. Prstencový motor

#### 4.1.1 Kontrola motoru při soustružnické operaci hrubování

Parametry pro hrubování: [34]

- řezná rychlost:  $v_c = 40 \div 300 \text{ mmin}^{-1}$
- mez pevnosti v tahu pro ocel 11500:  $R_m = 470 \div 610 \text{ MPa}$
- tloušťka třísky:  $a_p = 3 \div 30 \text{ mm}$
- konstanta:  $C_K = 5$
- posuv:  $f = 0,4 \div 5 \text{ mm}$

U prstencového motoru je třeba porovnat špičkový moment ( $M_{max}$ ) s vypočtenou hodnotou celkového momentu při samotném obrábění ( $M$ ). Je vzato v úvahu soustružení s největší tloušťkou třísky, maximálním posuvem a maximálním průměrem obrobku, tzv. hrubování. Velikost konstanty  $C_K$  se pro tuto technologii obrábění pohybuje v rozmezí 3÷5.

**Řezná síla s dosazením:**

$$F_c = C_k * R_m * a_p * f \text{ [N]} = 5 * 470 * 10^6 * 0,03 * 0,005 = \underline{352 \text{ kN}} \quad (1)$$

**Řezný moment:**

$$M_c = F_c * r \quad (2)$$

Vzdálenost řezné síly  $F_c$  od osy otáčení  $r$  se mění podle polohy nástroje. Moment je možné vypočítat např. uprostřed stolu ( $r = 0 \text{ mm}$ ) nebo na kraji stolu ( $r = 400 \text{ mm}$ ).

$$M_{c(r=0)} = 352\,000 * 0 = \underline{0 \text{ Nm}} \quad (3)$$

$$M_{c(r=400)} = 352\,000 * 0,4 = \underline{140\,800 \text{ Nm}} \quad (4)$$

Je vidět, že na kraji stolu vychází vyšší moment než uprostřed. Moment na kraji je však vůči špičkovému krouticímu momentu zvoleného prstencového motoru příliš velký. ( $M_{max} = 3520 \text{ Nm}$ ) Je to pravděpodobně kvůli řezným parametrům, kde byly voleny maximální hodnoty pro technologickou operaci hrubování.

### Optimalizované řezné parametry:

- mez pevnosti v tahu pro ocel 11500:  $R_m=470\div 610$  MPa
- tloušťka třísky:  $a_p = 9$  mm
- konstanta:  $C_K = 5$
- posuv:  $f = 0,4$  mm

### Řezná síla s dosazením:

$$F_c = C_k * R_m * a_p * f [N] = 5 * 470 * 10^6 * 0,009 * 0,4 * 10^{-3} = \underline{8\,460\,N} \quad (5)$$

### Řezný moment:

$$M_c = F_c * r \quad (6)$$

Vzdálenost řezné síly  $F_c$  od osy otáčení  $r$  se mění podle polohy nástroje. Moment je možné vypočítat např. uprostřed stolu ( $r = 0$  mm) nebo na kraji stolu ( $r = 400$  mm).

$$M_{c(r=0)} = 8\,460 * 0 = \underline{0\,Nm} \quad (7)$$

$$M_{c(r=400)} = 8\,460 * 0,4 = \underline{3\,384\,Nm} \quad (8)$$

Tento moment ale není jediný, který působí při soustružení. Svou roli zde hraje i třecí moment.

Třecí moment ložiska je [35]

$$\underline{M_{tř} = 11\,Nm} \quad (9)$$

Výsledný moment motoru je roven součtu dílčích momentů:

$$M = M_c + M_{tř} \leq M_{max} \quad (10)$$

$$M = 3\,384 + 11 = \underline{3\,395\,Nm} \leq 3\,520\,Nm \quad (11)$$

Je třeba, aby celkový moment při soustružení nepřesáhl špičkový moment prstencového motoru. Toho lze dosáhnout, pokud bude tloušťka třísky  $a_p \leq 9$  mm a posuv  $f \leq 0,4$  mm. V opačném případě bude nutné použít pro obrábění jiný motor.

## 4.2. Ložisko

U dvouřadého kuličkového ložiska je třeba vypočítat trvanlivost a provést kontrolu bezpečnosti. Pro axiální ložisko jsou uvažovány síly jen v axiálním směru.

- typ ložiska: ZKLDF 325
- základní dynamická axiální únosnost:  $C_a = 172 \text{ kN}$
- základní statická únosnost:  $C_{0a} = 1\,110 \text{ kN}$
- mocnitel pro kuličková ložiska:  $p = 3$
- požadované otáčky:  $n_G = 1\,000 \text{ 1/min}$
- maximální zatížení stolu:  $850 \text{ kg}$

### Výpočet základní trvanlivosti [36]

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p * \frac{10^6}{60 * n_G} [\text{hod}] \quad (12)$$

- C...základní dynamická únosnost
- P...ekvivalentní dynamické zatížení
- p... mocnitel pro kuličková ložiska  $\sim 3$
- $n_G$ ... otáčky

Ekvivalentní zatížení je rovno součtu součinů radiální a axiální síly s koeficienty zatížení X a Y. [36]

$$P = X * F_r + Y * F_a [\text{N}] \quad (13)$$

- X... koeficient radiálního zatížení
- Y... koeficient axiálního zatížení
- $F_r$ ...radiální síla
- $F_a$ ... axiální síla

Na ložiska, která přenášejí pouze axiální zatížení působí axiální síla:

$$F_a = m_{max} * g = 850 * 10 = 8\,500 \text{ N} \quad (14)$$

a ekvivalentní zatížení se zjednoduší na vztah:

$$P = F_a = 8\,500 \text{ N} \quad (15)$$

Vyčíslením vztahu (12) dostaneme trvanlivost pro axiální únosnost:

$$L_{10} = \left(\frac{172\,000}{8\,500}\right)^3 * \frac{10^6}{60 * 1000} = \underline{\underline{138\,094 \text{ hodin}}} \quad (16)$$

Doporučená trvanlivost ložisek u obráběcích strojů se pohybuje mezi 20 a 30 tisíci hodinami. [37]  
Zvolené ložisko ZKLDF 325 vyhovuje.



### 4.3. Hydraulická brzda

*Tabulka 15: Zadané parametry brzdy - kontrolní výpočty*

Operace	tlak pro ovládání	$M_K$ provozní brzdy při $p = \max$	$M_K$ bezpečnostní brzdy při $p = 0$
SOUSTRUŽENÍ	40÷60 bar	3 000 Nm	570 Nm

*Tabulka 16: Parametry zvolené brzdy [32]*

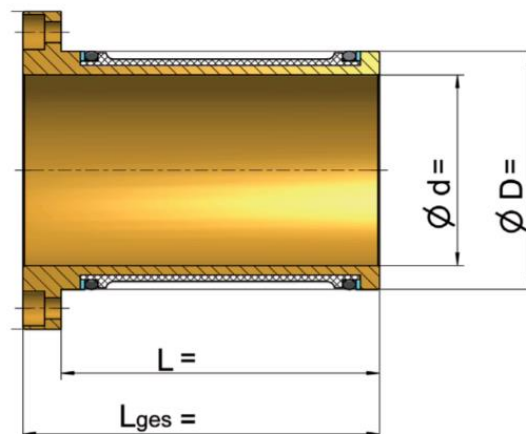
Dodavatel	tlak pro ovládání	$M_K$ při $p = \max$	Provozní teplota [°C]	hydraulické médium	frekvence operací [Hz]	čas operací [min]	$\pi$ [-]	$\mu$ [-]
Kostyrka	50÷200	3 000	10÷40	minerální olej	0÷20	5÷480	3.14	0.1

*Tabulka 17: Geometrické parametry zvolené brzdy [32]*

d [mm]	D [mm]	$L_A$ [mm]	$L_{ges}$ [mm]
230	250,5	$\leq 49,5$	$\leq 69,5$

$L_A$ .....délka těsnění

$L_{ges}$ .....celková délka



*Obr. 39: Rozměry hydraulické brzdy [32]*

Aby byl otočný stůl zabrzděn, tak je třeba vybudit třecí moment. Ten vznikne při tzv. radiálním upnutí. Vztah kroutícího momentu je popsán rovnicí (17):

$$M_t = \frac{d * L_A * p * 9,81 * \pi * \mu * r}{10^6} \quad (17)$$

$M_t$ .....krouticí moment třecí [daNm]

$p$ .....tlak pro ovládání [bar]

$d$ .....průměr brzděné hřídele [mm]

$\mu$ .....statický koeficient tření [-]

$L_A$ .....aktivní délka těsnění [mm]

$r$ .....poloměr brzděné hřídele [mm]

Po dosažení všech parametrů dostaneme:

$$M_t = \frac{230*49,5*60*9,81*3,14*0,1*115}{10^6} = \underline{241,98 \text{ daNm} \rightarrow 2\,419,8 \text{ Nm}} \quad (18)$$

$$M_t < M_{k \text{ pmax}} = 3\,000 \text{ Nm} \quad (19)$$

Porovnáním třecího momentu brzdy a zadaného kroutícího momentu při maximálním tlaku je patrné, že vypočtený krouticí moment nepřesahuje krouticí moment brzdy při maximálním tlaku. Brzda vyhovuje požadavkům.

## 4.4. Shrnutí:

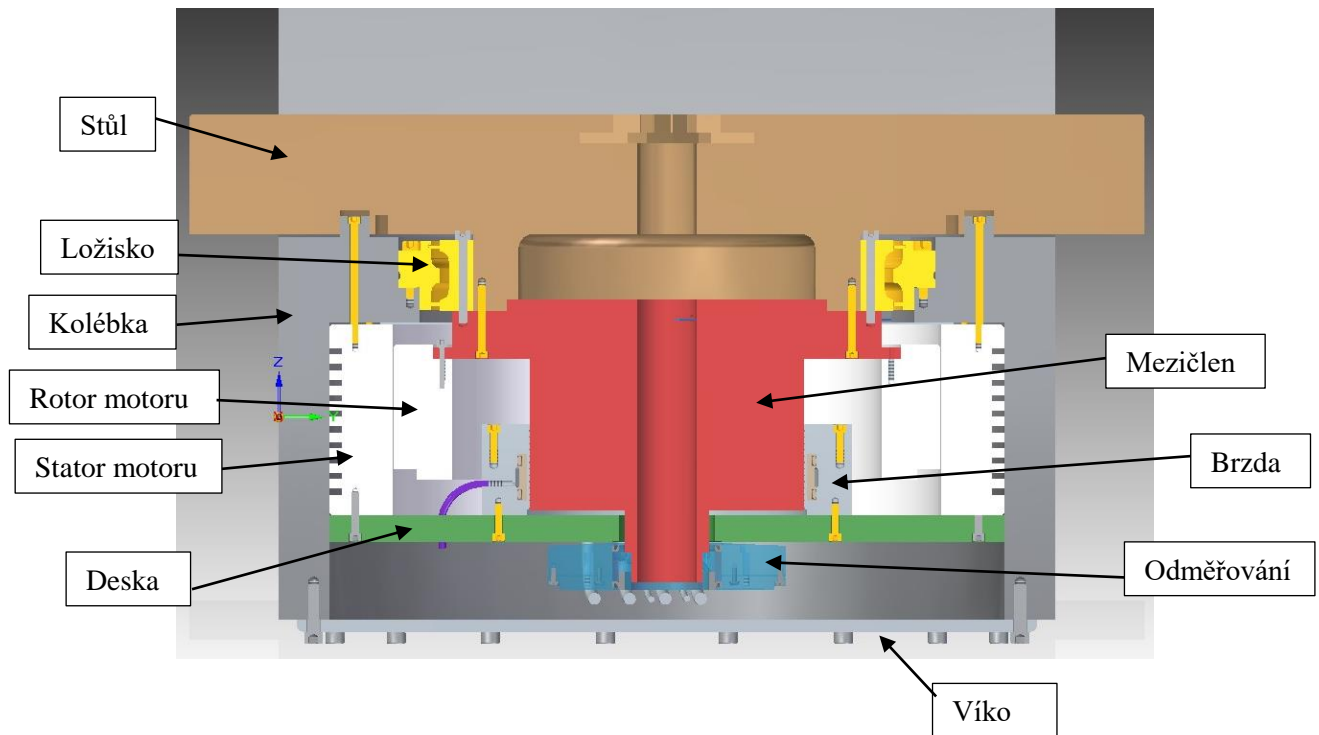
Kontrolní výpočet pohonu, pro operaci soustružení, ukázal, že zvolený prstencový motor TMK0530-100 dokáže pokrýt zatížení stolu od celkového momentu vzniklého při soustružnické operaci hrubování. Důležitá je ovšem volba řezných parametrů. Pro tloušťku třísky  $a_p \leq 9 \text{ mm}$  a posuvu  $f \leq 0,4 \text{ mm}$  je celkový moment na okraji stolu ( $r = 400 \text{ mm}$ ) roven  $M = 3\,395 \text{ Nm}$ , což je menší než špičkový moment motoru. ( $M_{max} = 3\,520 \text{ Nm}$ ) Pokud bude volba řezných parametrů jiná, tak motor nebude vyhovovat.

U dvouřadého axiálního kuličkového ložiska ZKLDF 325 byla pro dynamickou axiální únosnost  $C_a = 172 \text{ kN}$  spočtena základní dynamická trvanlivost  $L_{10} = 138\,094 \text{ hodin}$ . V porovnání s běžnou trvanlivostí ložisek  $L = 20\,000 \div 30\,000 \text{ hodin}$  je zvolené ložisko dostačující.

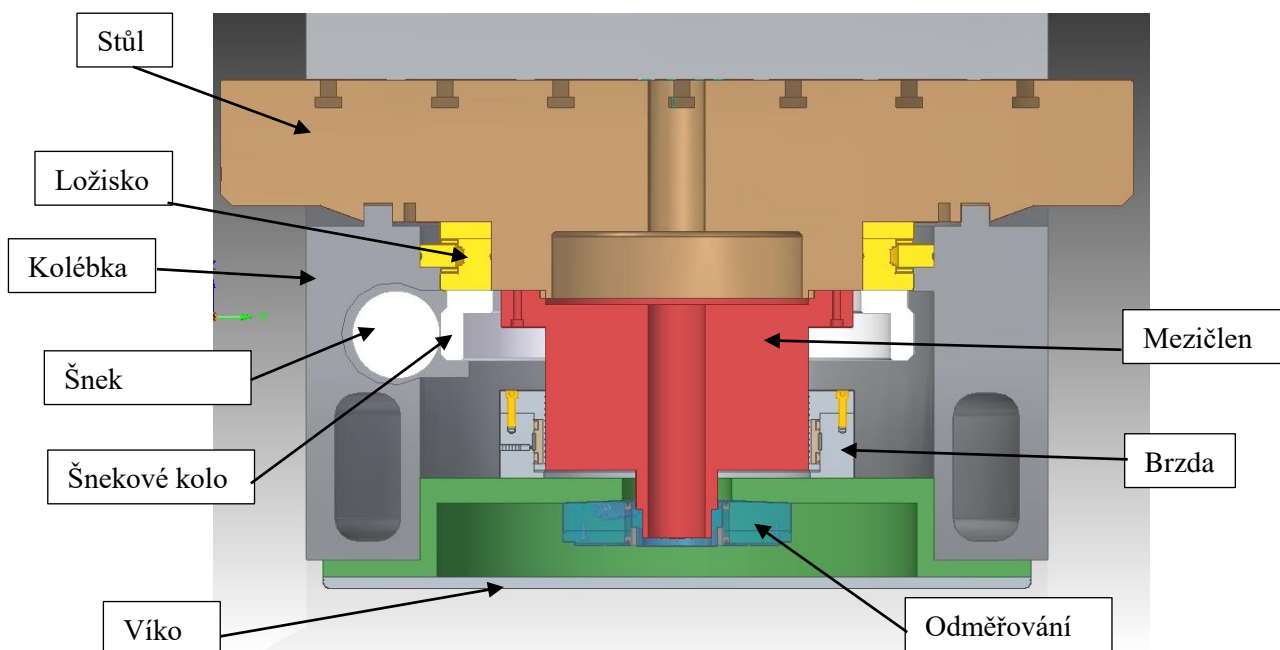
Na závěr kontrolních výpočtů byla zkontrolována i hydraulická brzda od firmy Kostyrka. Zde byl porovnáván třecí moment vybudovaný při brždění ( $M_t = 2\,419 \text{ Nm}$ ) s kroutícím momentem brzdy při maximálním tlaku ( $M_{k \text{ pmax}} = 3\,000 \text{ Nm}$ ). Brzda vyhovuje.

## 5. Model

Na Obr. 39 a Obr. 41 je znázorněna sestava otočného stolu pro operace soustružení a frézování vymodelována v CAD programu Solid Edge ST8.

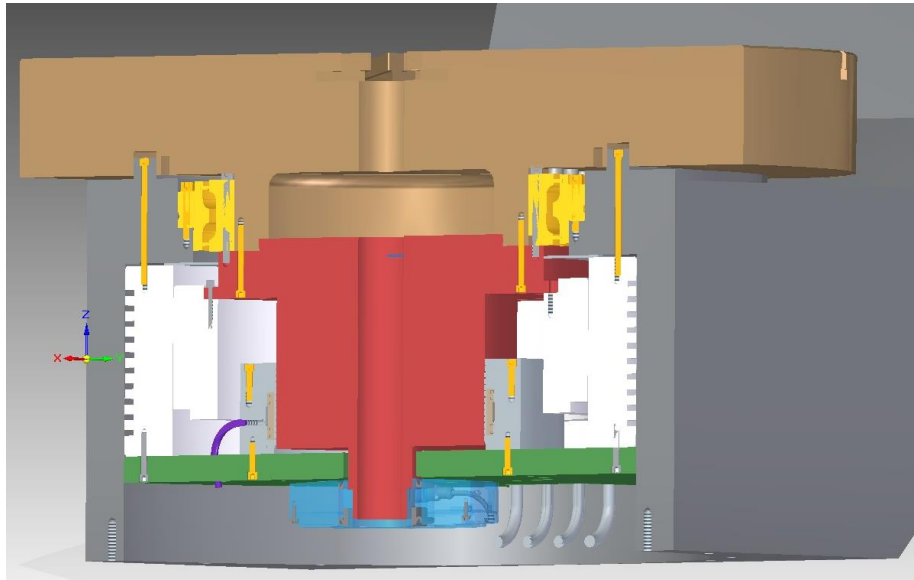


Obr. 40: Model sestavy pro soustružení



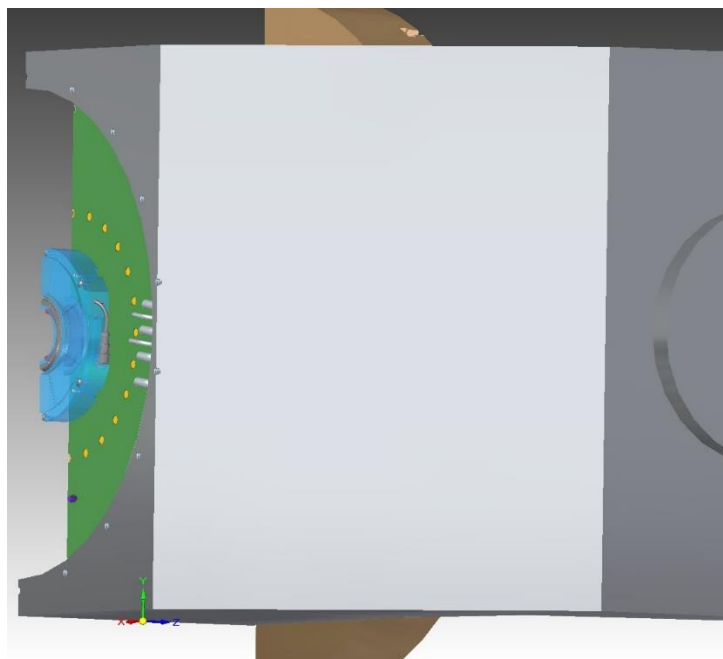
Obr. 41: Model sestavy pro frézování

U konstrukce se nesmí zapomenout na přívod elektrické energie, chladicí kapaliny a signálu. Kabeláž není v osnově této práce, ale je nutné s ní počítat. K ložisku je třeba přivést mazivo, k motoru zas elektrická energie s chladicí kapalinou. Kapalinu potřebuje i hydraulická brzda a rotační odměřování potřebuje signálový kabel.



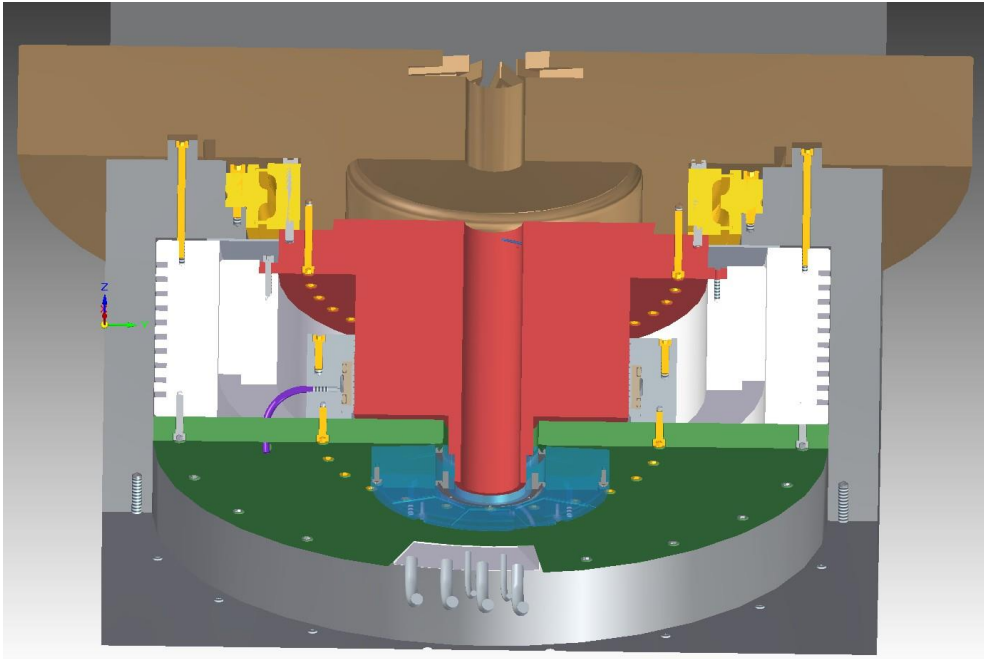
Obr. 42: Přívod kabelů k motoru

Od zvoleného prstencového motoru TMK0530 – 100 vedou kabely s elektrickou energií a chladicí kapalinou. Poloměr dovoleného ohybu každého kabelu by Na Obr. 42 je pohled zespoda na sestavu otočného stolu. Bíle zbarvený prstencový motor má celkem šest kabelů, které prochází skrz (zelenou) desku směrem dolů a skrz naklápěcí osu A ven z kolébky. Stejně tak bude procházet silový kabel k rotačnímu odměřování, který je znázorněný na Obr. 43 tyrkysovou barvou.



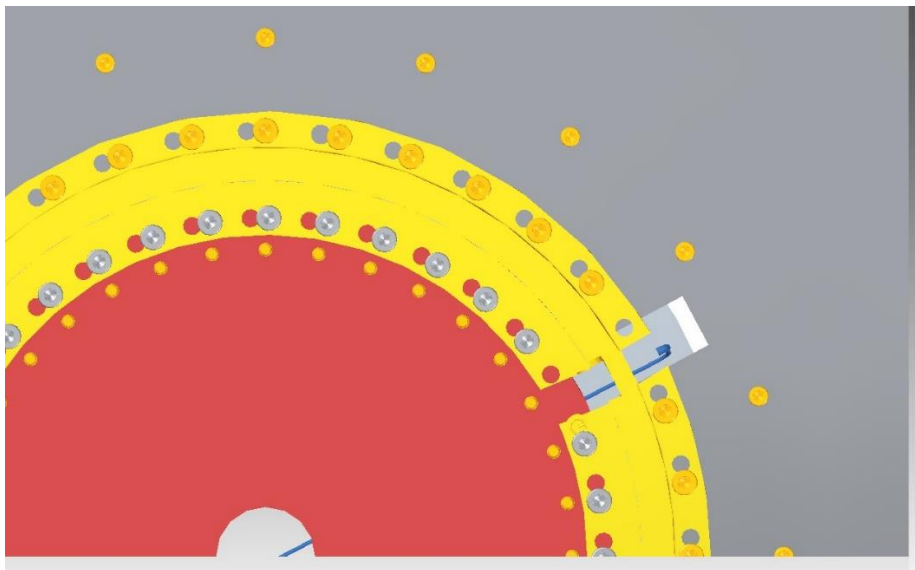
Obr. 43: Přívod silového kabelu k odměřování

Fialově zbarvená hadice s kapalinou odchází z hydraulické brzdy otvorem v zelené desce motoru dolů a ven skrz osu A. (Obr. 44)



Obr. 44: Přívod kapaliny k brzdě

Ke kuličkovému ložisku (žluté) je potřeba přivést mazivo. (Obr. 45) Aby bylo vše lépe vidět, tak je při pohledu shora udělán řez žlutým ložiskem. Modrá hadička s mazivem prochází dolů skrz obdélníkový otvor v šedé kolébce, prochází pod ložiskem do úzkého otvoru, který vede skrz červený mezičlen přímo do středu kolébky a padá dolů. Dále vede skrz osu A ven.



Obr. 45: Přívod maziva ke kuličkovému ložisku

## 6. Závěr

Prvním úkolem této práce bylo sepsat teoretickou část zabývající se otočně-sklopnými stoly. Byly popsány jednotlivé komponenty, z nichž se skládá konstrukce stolu. Dále byl proveden návrh komponent otočně-sklopného stolu pro vylepšené parametry zadaného pětiosého multifunkčního centra MCU700 VT-5X a to pro dvě různé technologické operace: soustružení a frézování. Původní a zvýšené parametry jsou uvedeny v Tabulka 18 a Tabulka 19.

Tabulka 18: Původní parametry osy C

Maximální otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	Souvislý kroučící moment [Nm]	Brzdňý kroučící moment [Nm]
500	1 250	2 500

Tabulka 19: Zvýšené parametry osy C

Operace	Maximální otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]	Souvislý kroučící moment [Nm]	Brzdňý kroučící moment [Nm]	Tlak hydrauliky pro ovládání brzd [bar]	Špičkový kroučící moment [Nm]
Soustružení	1 000	1 250	3 000	40÷60	2 000
Frézování	100	1 870	2 500	70÷90	3 740

Pro operaci soustružení bylo zvoleno dvouřadé axiální kuličkové ložisko ZKLDF 325, prstencový motor TMK0530-100, rotační odměřování RCN 8390F a hydraulická brzda od firmy Kostyrka. Zvolená brzda sice dokáže vyvinout požadovaný kroučící moment při maximálním tlaku ( $M_{k\text{ }p\text{ }max} = 3\,000\text{ Nm}$ ), ale její tlak pro ovládání je příliš vysoký ( $p_o = 200\text{ barů}$ ). Pokud by měla brzda splňovat i tlak pro ovládání, tak pravděpodobně nebude splňovat maximální kroučící moment.

Pro operaci frézování byl volen šnekový pohon, i když by bylo jednodušší volit stejný pohon jako u soustružení. Důvodem byla snaha o různorodost konstrukcí obou operací. Dále axiálně-radiální ložisko YRTC325-XL, rotační odměřování RCN 8390F a hydraulická brzda od firmy Kostyrka.

Výkresová dokumentace a kontrolní výpočty se provedly pouze pro jednu variantu, kvůli vyšší náročnosti výpočtů šnekového pohonu. Sestava konstrukce stolu pro obě operace byla vymodelována v CAD programu Solid Edge ST8. V Tabulka 20 je porovnání kontrolovaných parametrů pro jednotlivé komponenty. Je patrné, že parametry zvolených komponent se nejen rovnají, ale i přesahují požadavky.

Tabulka 20: Porovnání kontrolovaných parametrů

Komponenta	Prstencový motor	Ložisko	Brzda
Katalogový parametr	$M_{max} = 3\,520\text{ Nm}$	$L = 30\,000\text{ hod}$	$M_{k\text{ }p\text{ }max} = 3\,000\text{ Nm}$
Vypočtený parametr	$M = 3\,395\text{ Nm}$	$L_{10} = 138\,094\text{ hod}$	$M_t = 2\,419,8\text{ Nm}$

## 7. Seznam použité literatury

- [1] Mechanické otočné stoly. [online]. Copyright © 2008 MIKRON Moravia, s.r.o. [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <http://www.mikronmoravia.cz/vybaveni/mechanicke-otocne-stoly/>
- [2] Tilting Rotary Table, UCAM | Indian Machine Tools Magazine | Indian Machine Tools Industry. Indian Machine Tools Magazine, Indian Machine Tools Manufacturer [online]. Copyright © 2015. Divya Media Publications Pvt. Ltd. All rights reserved [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.mtvmag.com/tilting-rotary-table-ucam/>
- [3] Obráběcí stroje, CNC stroje, CNC soustruhy | KOVOSVIT MAS [online]. Copyright © [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: [https://www.kovosvit.cz/download/lightproducts\\_produkty\\_cs/1540365849\\_cs\\_1\\_88\\_mcu700cz-pl-web.pdf](https://www.kovosvit.cz/download/lightproducts_produkty_cs/1540365849_cs_1_88_mcu700cz-pl-web.pdf)
- [4] Techmagazín.cz. Techmagazín.cz [online]. Copyright © 2010 [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/2682>
- [5] TF rotary tables - Bost Stroje. Bost Stroje - bost stroje [online]. Copyright © 2016 BOST [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <http://www.bost-stroje.sk/stroje/tf-rotary-tables/>
- [6] Dvouosé - Tyntech. třískové obráběcí stroje - Tyntech [online]. Dostupné z: <http://www.tyntech.cz/cnc-otocne-stoly-delicky/dvouose>
- [7] Obráběcí stroje, CNC stroje, CNC soustruhy | KOVOSVIT MAS [online]. Copyright © [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: [https://www.kovosvit.cz/download/lightproducts\\_produkty\\_cs/1540365801\\_cs\\_1\\_87\\_mcvlinecz-pl-web.pdf](https://www.kovosvit.cz/download/lightproducts_produkty_cs/1540365801_cs_1_87_mcvlinecz-pl-web.pdf)
- [8] TR210 | Kolébka | Pětiosové otočné prvky | Otočné prvky a děličky – Stroje Haas s řízením CNC. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.haascnc.com/cs/machines/rotaries-indexers/5-axis-rotaries/models/tr210.html>
- [9] Přímý pohon. Home [online]. Copyright © ETEL S.A. [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.etel.ch/cz/momentove-motory/primy-pohon/>
- [10] Přehled používaných ozubených převodů - Portál pro strojní konstruktéry. Portál pro strojní konstruktéry [online]. Copyright © 2013 [cit. 25.12.2019]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/prehled-pouzivanych-ozubenych-prevodu>
- [11] Plnohodnotná 5. osa | Kitagawa . [online]. Dostupné z: <https://www.kitagawa.global/cz/products/nc-otocne-stoly/plnohodnotna-5-osa>
- [12] Prstencové motory. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2019 www.mmspektrum.com [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prstencove-motory.html>
- [13] KONSTRUKCE OTOČNÉHO STOLU OBRÁBĚCÍHO STROJE - PDF Stažení zdarma. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/25377499-Konstrukce-otocneho-stolu-obrabeciho-stroje.html>
- [14] Power density in robotics - a question of torque - drive.tech. [online]. Dostupné z: <https://drive.tech/en/stream-content/power-density-in-robotics-a-question-of-torque>

- [15] Home [online]. Dostupné z: <https://www.etel.ch/cz/pohybove-systemy/konstrukce>
- [16] Šneková soukolí typ II | T.E.A. TECHNIK s.r.o.. T.E.A. TECHNIK s.r.o. - lineární vedení a pohony [online]. Copyright © Teatechnik 2019 [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/typ-ii/>
- [17] Ozubené věnce pro velké rotační systémy. Nejčtenější strojírenský časopis - MM spektrum [online]. Copyright © 2019 [www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com) [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ozubene-vence-pro-velke-rotacni-systemy.html>
- [18] Ozubené věnce - Převodovky - ETA industry polska. eta INDUSTRY Polska [online]. Dostupné z: <http://etaindustry.com/cz/prevodovky/ozubene-vence/>
- [19] Magnetostrikční snímače polohy, senzory polohy - ALPHA international [online]. Dostupné z: <http://www.alphaint.cz/slovník>
- [20] Výrobky. Object moved [online]. Copyright © [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/vyrobky--32083>
- [21] Jak fungují optické snímače. Object moved [online]. Copyright © [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.renishaw.cz/cs/jak-funguji-opticke-snimace--36979>
- [22] Product Portfolio | Schaeffler Česká republika. [online]. Copyright © Schaeffler CZ s.r.o. [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: [https://www.schaeffler.cz/content.schaeffler.cz/cs/products-and-solutions/industrial/nabidka\\_produkту/index.jsp?app=portfolio&filtertype=categories](https://www.schaeffler.cz/content.schaeffler.cz/cs/products-and-solutions/industrial/nabidka_produkту/index.jsp?app=portfolio&filtertype=categories)
- [23] Speciální rozměry kluzných ložisek iglidur® - přehled řady výrobků . energy chains, flexible cables, polymer bearings [online]. Dostupné z: <https://www.igus.cz/info/plain-bearings-special-dimensions>
- [24] Qualität Kugelgelenk-Lager & Schrägkugellager Hersteller. Qualität Kugelgelenk-Lager & Schrägkugellager Hersteller [online]. Copyright © 2012 [cit. 25.12.2019]. Dostupné z: <http://german.balljointbearings.com/>
- [25] Doppelte zylinderförmige Rollen-Drucklager der Reihen-NN, hohes Preciso-Zylinderrollenlager. Qualität Kugelgelenk-Lager & Schrägkugellager Hersteller [online]. Copyright © 2012 [cit. 25.12.2019]. Dostupné z: <http://german.balljointbearings.com/sale-2119628-double-row-nn-cylindrical-roller-thrust-bearings-high-preciso-cylindrical-roller-bearing.html>
- [26] Lin-Tech: špičková kvalita HENNLICH. LIN-TECH HENNLICH - specialista na lineární kluzná vedení IGUS, THK [online]. Dostupné z: <https://lin-tech.hennlich.cz/produkty>
- [27] 9. Mazání ložisek | ZKL Group. ZKL Group [online]. Copyright © 2012 ZKL, a.s. [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/9-mazani-lozisek>
- [28] CORE – Aggregating the world’s open access research papers [online]. Copyright © [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30292247.pdf>
- [29] Specifikace. Home [online]. Copyright © ETEL S.A. [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.etel.ch/cz/momentove-motory/tmk/specifikace/>
- [30] Axial angular contact ball bearings - ZKLDF. [online]. Copyright © Schaeffler Technologies AG [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://medias.schaeffler.com/medias/en!hp.ec.br/ZKLDF>



- [31] Angle Encoders | HEIDENHAIN. Measurement and Control Technology for Demanding Positioning Tasks | HEIDENHAIN [online]. Copyright © [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: [https://www.heidenhain.com/en\\_US/products/angle-encoders/](https://www.heidenhain.com/en_US/products/angle-encoders/)
- [32] Kostyrka: Produkte. Kostyrka: Spann- und Klemmelementen für Rund- und Flachführungen [online]. Dostupné z: <https://www.kostyrka.com/produkte.html>
- [33] Willkommen - Zahnradfertigung OTT [online]. Copyright © [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: [https://www.zahnrad-ott.de/files/inhalte/downloads/Katalog\\_en\\_TypG1\\_Zahnrad-OTT\\_2013web.pdf](https://www.zahnrad-ott.de/files/inhalte/downloads/Katalog_en_TypG1_Zahnrad-OTT_2013web.pdf)
- [34] Střední průmyslová škola Ostrava - Vítkovice, příspěvková organizace - Úvod [online]. Copyright © [cit. 26.12.2019]. Dostupné z: <https://www.spszengrova.cz/texty/texty/ZAV/ZAV2-Soustru%C5%BEEen%C3%AD-UT.pdf>
- [35] Levné ložiska řady ZKLDF Rotační stolní ložiska Vysokorychlostní axiální ložiska axiálních kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem Výrobci & dodavatel & továrna - nejlepší cena otočných ložisek na skladě - Luoyang Yujie. Hřídele, ozubená kola, spojky, frézovací vložka, výrobci a továrna na podporu ložisek - Luoyang Yujie Industry & Trade Co., Ltd [online]. Copyright © Luoyang Yujie Industry [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <http://cz.yujebearing-machining.com/bearing/turtable-bearings/zkldf-series-rotary-table-bearings-high-speed.html>
- [36] 5. Určení velikosti ložiska | ZKL Group. ZKL Group [online]. Copyright © 2012 ZKL, a.s. [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/5-urceni-velikosti-loziska#54>
- [37] Směrné hodnoty doporučené trvanlivosti pro různé typy strojů. [online]. Dostupné z: <https://www.skf.com/pages/jsp/catalogue-table.jsp?id=tcm:151-295050>

#### **Zdroje modelů a výkresové dokumentace:**

- [38] Bolzano | Úvod. Bolzano | Úvod [online]. Copyright © 2019 Bohdan Bolzano, s.r.o. [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/>
- [39] Feron online - Materiálové normy. Feron online - Vítejte [online]. Copyright © 2017 Feron a.s. [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
- [40] Bolt: 3D models of the JIS catalog - SOLIDWORKS, Inventor, CATIA V5, AutoCAD, STEP, STL and many more | TraceParts. Redirecting to <https://www.traceparts.com/en> [online]. Copyright © copyright TraceParts S.A.S. 1990 [cit. 16.12.2019]. Dostupné z: <https://www.traceparts.com/en/search/jis-bolt?CatalogPath=JIS%3AJISLIB.2.1>

## **8. Seznam obrázků**

OBR. 1: OTOČNÝ STŮL PRO 4OSÉ OBRÁBĚNÍ [1]	10
OBR. 2: OTOČNÝ STŮL V KOLÉBCE [2]	10
OBR. 3: STROJ MCU 700VT-5X [3]	11
OBR. 4: OTOČNĚ-SKLOPNÝ STŮL [3]	11
OBR. 5: LINEÁRNÍ OSY [3]	11
OBR. 6: STŮL HAAS TRT100 [4]	13
OBR. 7: STŮL LEHMANN [5]	13
OBR. 8: OTOČNĚ-SKLOPNÝ STŮL TYNTECH S.R.O. [6]	14
OBR. 9: OTOČNĚ-SKLOPNÝ STŮL MCV 1000 5AX KOVOSVIT MAS [7]	14
OBR. 10: OTOČNĚ-SKLOPNÝ STŮL HAAS TR210 [8]	14
OBR. 11: STŮL S PŘÍMÝM POHONEM [9]	15
OBR. 12: NEPŘÍMÝ POHON [10]	15
OBR. 13: OTOČNĚ-SKLOPNÝ STŮL TT101 S JEDNOU DESKOU [11]	15
OBR. 14: OTOČNĚ-SKLOPNÝ STŮL TW2180 S VÍCE DESKAMI [11]	15
OBR. 15: KONSTRUKCE STOLU [22]	16
OBR. 16: KONSTRUKCE PRSTENCOVÉHO MOTORU [14]	17
OBR. 17: OTOČNÝ STŮL [15]	17
OBR. 18: ŠNEKOVÉ SOUKOLÍ FIRMY T.E.A. TECHNIK [16]	18
OBR. 19: OZUBENÉ VĚNCE FIRMY SEW-EURODRIVE [17]	18
OBR. 20: OZUBENÉ VĚNCE FIRMY ETA INDURSTRY [18]	18
OBR. 21: SNÍMAČ S ASFÉRIČKOU ČOČKOU [20]	19
OBR. 22: OPTICKÝ SNÍMAČ FIRMY RENISHAW [20]	19
OBR. 23: ZAPOUZDŘENÝ SNÍMAČ RCN FIRMY HEIDENHAIN [31]	19
OBR. 24: MAGNETICKÝ SNÍMAČ ERM FIRMY HEIDENHAIN [31]	20
OBR. 25: MAGNETICKÝ SNÍMAČ LM13 FIRMY RENISHAW [20]	20
OBR. 26: DVOUŘADÉ AXIÁLNĚ-RADIÁLNÍ VÁLEČKOVÉ LOŽISKO FIRMY SCHAEFFLER [22]	21
OBR. 27: LOŽISKO S OTOČNÝM PRSTENCEM FIRMY IGUS [23]	21
OBR. 28: DVOUŘADÉ AXIÁLNĚ-RADIÁLNÍ KULIČKOVÉ LOŽISKO S KOSOÚHLÝM STYKEM [22]	21
OBR. 29: AXIÁLNÍ VÁLEČKOVÉ LOŽISKO 75491 FIRMY NTN [24]	21
OBR. 30: DVOUŘADÉ AXIÁLNÍ VÁLEČKOVÉ LOŽISKO TYPU NN [25]	21
OBR. 31: KŘÍŽOVÉ VÁLEČKOVÉ LOŽISKO FIRMY HENNLICH [26]	21
OBR. 32: PNEUMATICKÁ BRZDA [28]	23
OBR. 33: HYDRAULICKÁ BRZDA [28]	23
OBR. 34: DVOUŘADÉ KULIČKOVÉ LOŽISKO [30]	25
OBR. 35: ROTAČNÍ ODMĚŘOVÁNÍ FIRMY HEIDENHAIN [31]	25
OBR. 36: HYDRAULICKÁ BRZDA FIRMY KOSTYRKA [32]	26
OBR. 37: ŠNEKOVÝ POHON [33]	27
OBR. 38: AXIÁLNĚ RADIÁLNÍ VÁLEČKOVÉ LOŽISKO [30]	28
OBR. 39: ROZMĚRY HYDRAULICKÉ BRZDY [32]	33
OBR. 40: MODEL SESTAVY PRO SOUSTRUŽENÍ	35
OBR. 41: MODEL SESTAVY PRO FRÉZOVÁNÍ	35
OBR. 42: PŘÍVOD KABELŮ K MOTORU	36
OBR. 43: PŘÍVOD SILOVÉHO KABELU K ODMĚŘOVÁNÍ	36
OBR. 44: PŘÍVOD KAPALINY K BRZDĚ	37
OBR. 45: PŘÍVOD MAZIVA KE KULIČKOVÉMU LOŽISKU	37

## 9. Seznam tabulek

TABULKA 1: PARAMETRY LINEÁRNÍCH OS [3].....	11
TABULKA 2: PARAMETRY ROTAČNÍCH OS [3].....	12
TABULKA 3: KATALOGOVÉ PARAMETRY OSY C [3] .....	12
TABULKA 4: ZVÝŠENÉ PARAMETRY OSY C .....	12
TABULKA 5: ZADANÉ PARAMETRY POHONU - SOUSTRUŽENÍ.....	24
TABULKA 6: PARAMETRY ZVOLENÉHO POHONU - SOUSTRUŽENÍ [29] .....	24
TABULKA 7: PARAMETRY ZVOLENÉHO ODMĚŘOVÁNÍ - SOUSTRUŽENÍ [31].....	25
TABULKA 8: POŽADOVANÉ PARAMETRY BRZDY - SOUSTRUŽENÍ .....	26
TABULKA 9: PARAMETRY ZVOLENÉ BRZDY - SOUSTRUŽENÍ [32].....	26
TABULKA 10: ZADANÉ PARAMETRY POHONU - FRÉZOVÁNÍ .....	27
TABULKA 11: PARAMETRY ZVOLENÉHO POHONU - FRÉZOVÁNÍ [33].....	27
TABULKA 12: PARAMETRY ZVOLENÉHO ODMĚŘOVÁNÍ - SOUSTRUŽENÍ [31].....	28
TABULKA 13: ZADANÉ PARAMETRY BRZDY - FRÉZOVÁNÍ .....	28
TABULKA 14: PARAMETRY ZVOLENÉ BRZDY - FRÉZOVÁNÍ [32].....	28
TABULKA 15: ZADANÉ PARAMETRY BRZDY - KONTROLNÍ VÝPOČTY .....	33
TABULKA 16: PARAMETRY ZVOLENÉ BRZDY [32].....	33
TABULKA 17: GEOMETRICKÉ PARAMETRY ZVOLENÉ BRZDY [32] .....	33
TABULKA 18: PŮVODNÍ PARAMETRY OSY C .....	38
TABULKA 19: ZVÝŠENÉ PARAMETRY OSY C .....	38
TABULKA 20: POROVNÁNÍ KONTROLOVANÝCH PARAMETRŮ.....	38

## 10. Seznam příloh

- **Tištěné přílohy**

Výkres sestavy otočného stolu pro operaci soustružení  
Kusovník sestavy otočného stolu pro operaci soustružení

- **Elektronické přílohy (CD)**

3D model sestavy otočného stolu pro operaci soustružení (.step)

3D model sestavy otočného stolu pro operaci frézování (.step)