

# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

## FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2301R016/19 Stavba výrobních strojů a zařízení

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh malého otočného stolu pro CNC frézovací centrum

Autor: **Pavel Zeman**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Josef FORMÁNEK, Ph.D.**

**Akademický rok: 2015/2016**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel ZEMAN**  
Osobní číslo: **S13B0298P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**  
Název tématu: **Návrh malého otočného stolu pro CNC frézovací centrum**  
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:

Cílem je provést technický návrh mechanické části otočného stolu pro obrábění rotačních součástí na malé 3-osé CNC frézce. Manipulační prostor pro jednotlivé operace s výrobkem jsou dány technologickými vlastnostmi výrobního procesu a velikostí stroje. Pro pohon stolu bude sloužit krokový motor. U výsledného řešení provést technické hodnocení.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Vypracování rešerše včetně systematické specifikace požadavků.
2. Vypracování variant koncepčních řešení.
3. Vypracování potřebného grafického zpracování.
4. Zhodnocení navrženého technického řešení.

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

**MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM** *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha, 2006

**ŘASA, J., ŠVERCL, J.** *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, 2004

**KARGER, A., KARGEROVÁ, M.** *Základy robotiky a prostorové kinematiky*. Praha: ČVUT, 2008

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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**


Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Josef Formánek, Ph.D.**

Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **21. září 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2016**

  
Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 21. září 2015

## Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: 20.5. 2016

.....

podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení <b>Pavel</b>	Jméno <b>Zeman</b>
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	„Stavba výrobních strojů a zařízení“	
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Jméno Josef
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS	
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh malého otočného stolu pro CNC frézovací centrum	

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	61	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	57	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p><b>STRUČNÝ POPIS</b> (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Práce se zabývá konstrukcí otočného stolu. V teoretické části je popsána funkce, dělení a používané komponenty stolů. Praktická část se soustředí na konstrukci konkrétního otočného stolu.</p>
<p><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> (ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE)</p>	<p>otočný stůl, CNC, frézování, krokový motor, šnekový převod</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname <b>Pavel</b>	Name <b>Zeman</b>
<b>FIELD OF STUDY</b>	“ Design of Manufacturing Machines and Equipment“	
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Formánek, Ph.D.	Name Josef
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS	
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of small rotary table for CNC milling center	

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KKS	<b>SUBMITTED IN</b>	2016
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	61	<b>TEXT PART</b>	57	<b>GRAPHICAL PART</b>	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The bachelor thesis deals with construction of a rotary table. In the theoretical part the functions, divisions and components used in rotary tables are described. The practical part is focused on the design of the particular rotary table.
<b>KEY WORDS</b>	rotary table, CNC, milling, stepper motor, worm gear

# Obsah:

<b>1. ÚVOD:</b> .....	<b>3</b>
1.1. HISTORIE OBRÁBĚNÍ A OBRÁBĚCÍCH STROJŮ .....	4
<b>2. OTOČNÉ STOLY</b> .....	<b>6</b>
<b>3. ROZDĚLENÍ OTOČNÝCH STOLŮ</b> .....	<b>8</b>
3.1 DLE POHONU .....	8
3.1.1 <i>Přímý pohon</i> .....	8
3.1.2 <i>Nepřímý pohon</i> .....	9
3.2 MĚŘÍCÍ SYSTÉMY.....	12
3.2.1 <i>Analogové</i> .....	13
3.2.2 <i>Číslicové</i> .....	14
3.3 BRZDY .....	15
3.3.1 <i>Pneumatické</i> .....	15
3.3.2 <i>Hydraulické</i> .....	16
3.3.3 <i>Elektromagnetická</i> .....	16
3.3.4 <i>Hirthovo ozubení</i> .....	17
3.4 MOŽNOSTI POHONU.....	17
3.4.1 <i>Klasický motor</i> .....	17
3.4.2 <i>Servomotor</i> .....	18
3.4.3 <i>Krokový motor</i> .....	18
3.5 MOŽNOSTI TLUMENÍ VIBRACÍ .....	22
3.5.1 <i>Vibrace krokových motorů</i> .....	22
3.5.2 <i>Tlumení vibrací otočného stolu</i> .....	23
<b>4. VLASTNÍ KONSTRUKCE OTOČNÉHO STOLU</b> .....	<b>24</b>
4.1 POUŽITÝ STROJ .....	24
4.2 PARAMETRY OTOČNÉHO STOLU.....	25
4.3 NAMÁHÁNÍ OTOČNÉHO STOLU .....	25
4.3.1 <i>Maximální rezná síla na stroji</i> .....	25
4.3.2 <i>Zadané parametry obrábění</i> .....	26
4.3.3 <i>Síly působící na stůl:</i> .....	26
4.4 VOLBA MOTORU .....	27
4.5 VARIANTY KONCEPČNÍCH ŘEŠENÍ .....	28
4.5.1 <i>Varianta A</i> .....	28
4.5.2 <i>Varianta B</i> .....	28
4.5.3 <i>Zvolená varianta</i> .....	28
4.5.4 <i>Zvolený motor</i> .....	29
4.6 MOMENT STOLU.....	30
4.6.1 <i>Výpočet převodového poměru:</i> .....	30
4.6.2 <i>Maximální moment na stole:</i> .....	30
4.7 NÁVRH LOŽISKA UPÍNAČÍ DESKY STOLU .....	30
4.7.1 <i>Otáčky stolu:</i> .....	31
4.7.2 <i>Výpočet ložiska v axiálním směru:</i> .....	31
4.7.3 <i>Výpočet ložiska v radiálním směru</i> .....	32
4.8 VÝPOČET ŠNEKOVÉHO OZUBENÍ .....	33
4.8.1 <i>Návrh modulu ozubení:</i> .....	33
4.8.2 <i>Základní rozměry ozubení</i> .....	33
4.8.3 <i>Volba materiálu</i> .....	35
4.8.4 <i>Síly na ozubení</i> .....	35
4.8.5 <i>Kontrolní výpočet dle ČSN 01 4780</i> .....	36

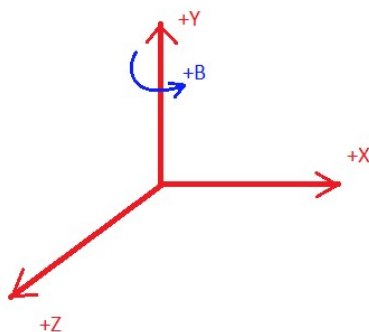
4.8.6	<i>Samosvornost:</i> .....	38
4.8.7	<i>Skutečná účinnost převodu:</i> .....	38
4.9	VÝPOČET REAKCÍ POD LOŽISKY .....	39
4.10	KONTROLA ŠNEKOVÉ HŘÍDELE .....	41
4.10.1	<i>Délka pera na výstupu:</i> .....	43
4.11	KONTROLA LOŽISEK NA ŠNEKOVÉ HŘÍDELI .....	44
<b>5.</b>	<b>KONSTRUKCE .....</b>	<b>46</b>
5.1	RÁM .....	46
5.2	DESKA STOLU .....	47
5.3	ULOŽENÍ ŠNEKOVÉ HŘÍDELE.....	48
5.4	VÝSLEDNÁ KONCEPCE.....	49
<b>6.</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>51</b>
<b>7.</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>52</b>
<b>8.</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>52</b>
<b>9.</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>53</b>
9.1	TIŠTĚNÉ PŘÍLOHY .....	53
9.2	ELEKTRONICKÉ PŘÍLOHY NA CD.....	53
<b>10.</b>	<b>ZDROJE:.....</b>	<b>54</b>



## 1. Úvod:

Ve své bakalářské práci se budu zabývat problematikou otočných stolů a následně konstrukcí malého otočného stolu pro menší, hobby frézku. Konkrétně se bude jednat o frézku Optimum BF 20L vario.

Frézka má v základu tři řízené osy, stůl jí přidá možnost řízení čtvrté osy, a to rotace B kolem osy Y (Obr. 1).



obr. 1 - řízené osy (zdroj: vlastní)

Zástavbou otočného stolu, tedy přidáním schopnosti řízení čtvrté osy, zvýšíme užitnou hodnotu frézky.

Při konstrukci použijeme pro pohon rotačního pohybu otočného stolu krokový motor bez odměřovacího systému. Stůl se nestane stálou součástí stroje, ale bude koncipován jako přídatné zařízení a bude možné ho opět odmontovat.

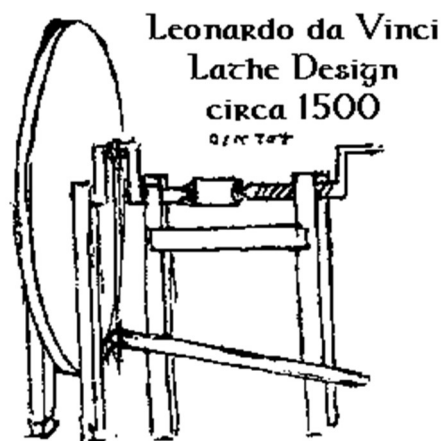


obr. 2 - Frézka Optimum BF 20L vario [1]

## 1.1. Historie obrábění a obráběcích strojů

Problematika třískového obrábění je stará téměř jako lidstvo samo. Člověk postupně zjistil, že nalezené předměty nemusí vyhazovat, ale může je svou prací zdokonalit a získat tím výkonnější a trvanlivější nástroje. Postupem času se vyvinuly nástroje výrobní, které mu pomáhaly při zpracování materiálu. Prvními nástroji tvarově velmi podobnými těm dnešním byly primitivní pilníky. V roce 2700 př. n. l v Indii byla známá vrtačka na principu luku.

Prvním, kdo se pokoušel o konstrukci obráběcích strojů fungujících na soudobých principech třískového obrábění, byl v 15. století Leonardo Da Vinci (princip otáčení soustruhu) - (Obr. 2).



obr. 3 - da Vinciho princip soustruhu [3]

Obrábění kovů se dostalo do popředí s příchodem průmyslové revoluce. První frézka byla vyvinuta roku 1830 v USA a roku 1861 začaly být frézky úspěšně vyráběny americkou firmou Brown & Scharpe. K rozvoji ručně ovládaných obráběcích strojů také přispěl Christophee M. Spencer z Hardfordu, který zdokonalil revolverový soustruh a automatizoval na něm výrobu šroubů a matic pomocí vaček, které ovládaly páky nástroje.

Následně založil svou firmu Hartford Machine Screw Company, jejichž výrobky napomohly k rozvoji ručně ovládaných strojů. Od této doby jsou základní principy obráběcích strojů v zásadě stejné. Ke změnám došlo v oblasti pohonů, kdy parní pohon rozváděný pomocí transmise byl počátkem 20. století nahrazen elektromotorem.

Další vývoj probíhal na poli automatizace, schopnosti vyrábět opakovaně tvarově složité obrobky a zvyšování přesnosti a spolehlivosti výroby.

V této oblasti se o rozvoj nejvíce zasloužil John T. Parsonsov, který s Frankem Stulenem stál za vývojem číslicově řízeného stroje, který pracoval s pomocí děrného štítku. Projekt posléze převzala MIT a vyvinula stroj řízený děrnou páskou. Vývoj byl důležitý zejména pro leteckou výrobu, která požadovala vyšší nároky. Tyto technologie byly ze začátku velmi nákladné a k šíření automatizovaných docházelo velmi pomalu. Velkým posunem v automatizaci byl posléze příchod výpočetní techniky.

Dnes ve výrobě převládají počítačově řízené stroje a i menší podnik nebo firma si je mohou dovolit. Obecným trendem je snaha o co největší míru automatizace výroby, univerzálnost výrobních strojů, přesnost a současně snižující se nároky na obsluhu.[2]

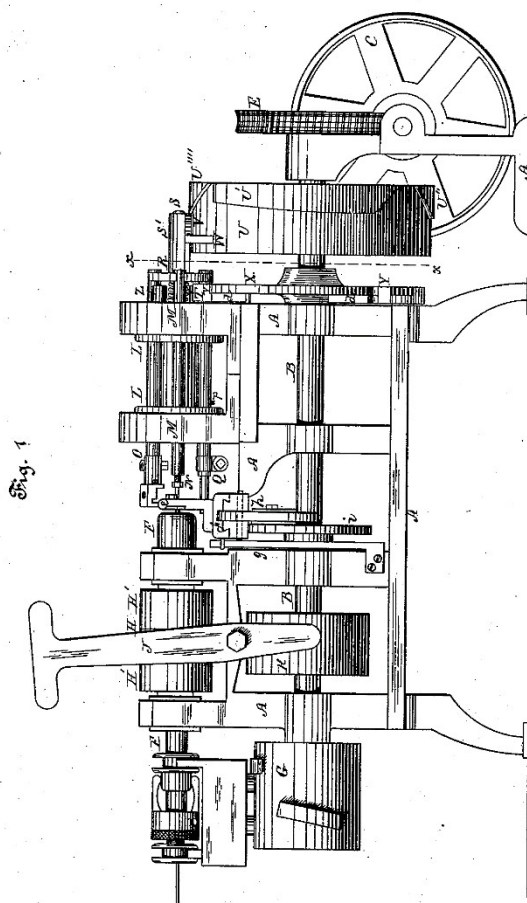
(No Model.)

4 Sheets—Sheet 1.

C. M. SPENCER.  
METAL SCREW MACHINE.

No. 275,431.

Patented Apr. 10, 1883.



Witnesses:

Walter H. Bunker  
Edwin J. Dimock.

Inventor:

Christopher M. Spencer  
By Theo. G. Peck  
Attorney.

N. PETERS, Photo-Lithographer, Washington, D. C.

obr. 4 - Spencerův patent - automatizační systém [4]

## 2. Otočné stoly

Otočné stoly (obr. 4) jsou nejčastěji koncipovány jako přídatné zařízení frézovacích center. Jejich přínos je zejména v realizování rotačního pohybu A, B, C, tedy rotačního pohybu okolo jedné z hlavních os kartézského souřadnicového systému.



obr. 5 - otočný stůl Fibromat [6]

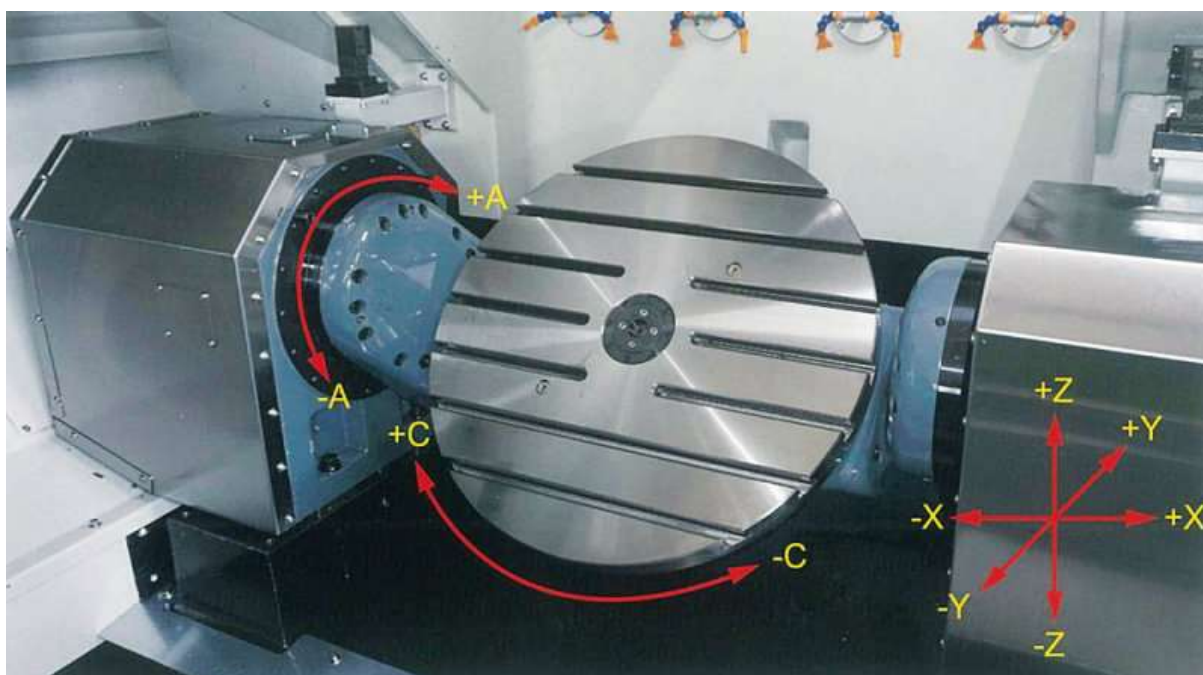
U multifunkčních obráběcích center, v souladu s celosvětovým trendem stavby strojů schopných jak frézařských, tak i soustružnických operací, je rovněž možné využití stolu pro soustružnické operace, kde by zastupoval funkci vřetene. Jedná se o tzv. otočný stůl s karuselovou funkcí. Stůl musí být schopen dosahovat otáček vhodných pro soustružení. [5]



obr. 6 - otočný stůl s karuselovou funkcí [7]

Otočných stolů se používá také v montážních pracích, kde nejsou kladeny velké nároky na přesnost.

Stůl je rovněž možno zakomponovat do kolébky (obr. 6), která přidá další osu. Dostaneme tedy ve výsledku 5 řízených os. Pětiosé obrábění je vhodné pro obrábění složitých tvarů. Výhodou je také snížení nutného počtu upnutí. Ideálem je obrobit součást na jedno upnutí. Tímto způsobem rovněž dosáhneme snížení potřebného strojního času.



obr. 7 – otočný stůl s kolébkou – OPTImill [8]

### 3. Rozdělení otočných stolů

#### 3.1 Dle pohonu

Pohon u tohoto typu zařízení bude sloužit v drtivém množství případů k převodu vstupující elektrické energie na mechanickou práci, rotační pohyb stolu.

Otočné stoly mohou být poháněny celou řadou pohybových ústrojí. Pohony budeme volit podle určitých kritérií. Zejména dle požadavků na stroj, který budeme osazovat, a finančních možností. Ve většině případů se jedná o elektromotor ve spojení s převodovým ústrojím.

##### 3.1.1 Přímý pohon

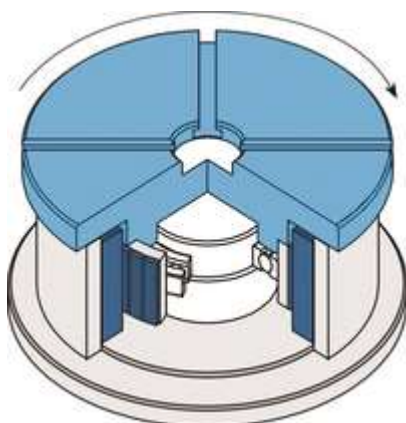
Realizovaný skrze prstencový, momentový motor. Synchronní servomotor, který funguje na principu lineárního elektromotoru. Jedná se tedy o netočivý elektrický stroj. Od lineárního elektromotoru se liší tvarem. Základní části rotor a stator jsou prstencového tvaru. Na vnější části motoru se nachází statorové vinutí a rotorový prstenec je na vnějšku osazen permanentními, neodymií magnety. Motor funguje bezdotykově.[9]

Díky své konstrukci je tento motor vhodný pro přímo zástavbu do rámu stroje. Dochází k minimalizaci potřebného zástavbového prostoru. [11]

Není třeba používat převodového ústrojí. Díky minimalizaci počtu členů přenášejících moment se zde nenacházejí žádné vůle. Motor má již od počátku plynulý chod. Je schopný dosahovat velkých kroutících momentů a velké torzní tuhosti při regulaci polohy. [9],[11]

Výhodou je také velká přesnost, které je omezena pouze nejmenší hodnotou rozlišení odměřovacího systému. [9]

Mezi nevýhody řadíme zejména vysokou cenu. U dosahovaných vyšších momentů je taktéž nutná zástavba chladičského systému. [9],[10]



obr. 9 – momentový motor – řez [11]



obr. 8 – momentový motor – stator a rotor [12]

### 3.1.2 Nepřímý pohon

Nepřímý pohon využívá elektromotoru, jehož výstup je ve spojení s převodovým ústrojím, které mění otáčky a přenáší kroutící moment na samotný stůl.

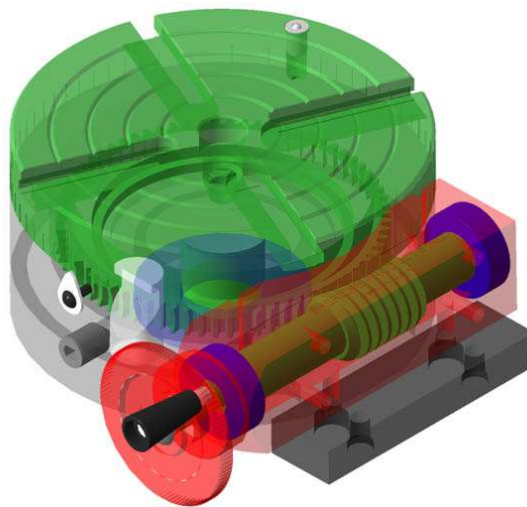
V převodovém ústrojí může docházet k opotřebení ploch přenášejících moment a tím ke vzniku vůlí, které se mohou promítat do přesnosti stavitelnosti otočného stolu.

U tohoto typu pohonu s ohledem na typ přenosu momentu užíváme brzdícího systému a vyjma některých aplikací s krokovým motorem bývá nutností použití odměřování.

#### - Druhy převodových ústrojí

##### Šnekový převod

Šnekové převody realizují přenos momentu mezi dvěma mimoběžnými hřídeli. Hřídele jsou na sebe kolmé. Tento druh převodu je schopen vysokého převodového poměru, jelikož šnek bývá z pravidla navržen s jedním chodem (zubem). Převod je schopný přenášet vysoké výkony. Může být navržen jako samosvorný. Nevýhodou je nižší účinnost, která je způsobena vyšším třením v tomto typu převodu. [13]



obr. 10 – otočný stůl se šnekovým převodem [14]

- Šnekový převod s přímým ozubením:  
Jedná se o základní variantu šnekového převodu. Značnou nevýhodou šnekového převodu s přímým ozubením je vznik pouze malé stykové plochy, kdy při nehodě může rázem dojít ke vzniku deformace, a tedy zničení převodu. Výhodou je naopak nižší cena tohoto provedení.
- Šnekový převod s globoidním ozubením:  
Nejčastěji se používá kombinace válcový šnek a globoidní kolo. Tento typ převodu nám zajišťuje větší stykovou plochu, klidnější chod ozubení. Kombinace globoidního šneku i globoidního ozubeného kola má nejvýhodnější záběrové podmínky, ale tato výroba je velmi nákladná a složitá.



obr. 11 - šnekový převod – válcový šnek/globoidní kolo

- OTT šnekový převod:

Vylepšený šnekový převod. Šnekový převod vzniklý společným vývojem firem S.M.P. Technik (Francie) a OTT (Německo). Šnek je dělený na dvě poloviny. Lze nastavit vůli v převodu. Snaha o maximalizaci stykové plochy, zlepšení záběrových podmínek a maximální trvanlivost. [15], [16]



obr. 12 - Otočný stůl s OTT šnekovým převodem [17]

**Převod s globoidní vačkou**

Jedná se o přesný krokový mechanismus. Převod je tvořen vačkou a kolem osazeným čepy, často s vodícími rolnami. Vačka je tvořena válcem, po jehož obvodu jsou přesné, broušené a tvrzené drážky. Těmito drážkami jsou vedeny čepy.

Vzniká přesný a plynulý převod. Vodící vačka je konstruována tak, že při záběru dvou čepů mají tyto dva vůči sobě „předpětí“ a tím je docíleno zajištění pracovní polohy bez vůle.

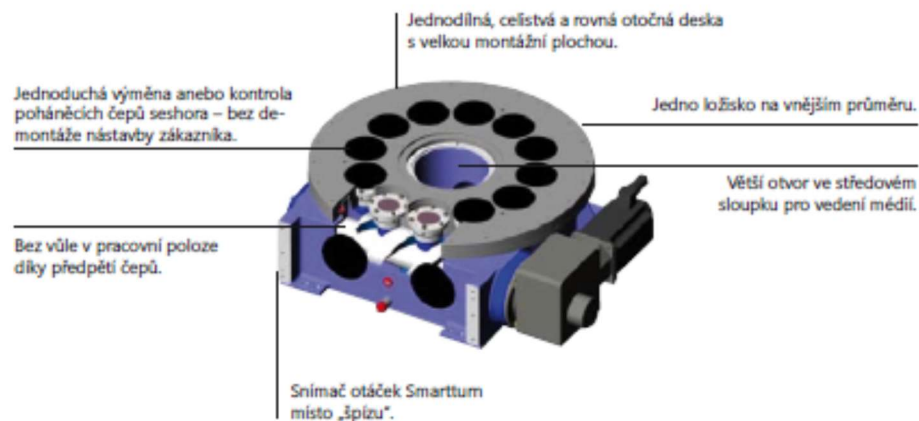


obr. 13 – systém globoidní vačky s čepy [18]



Stůl je schopen i při vysoké zátěži dosahovat značné dynamiky při změnách nebo zastavení pohybu.

Specialistou na tento typ uložení je firma EXPERT-TÜNKERS. [18]



obr. 14 – přehled argumentů pro otočné stoly EXPERT-TÜNKERS [18]

### Převod s dvěma pastorky a ozubeným věncem

Ozubený věnec je hnán pomocí dvou motorů uspořádaných do systému zapojení Master/Slave. Pomocí této metody je možné neustálé vymezení vůlí v převodu. Jeden pastorek neustále klade menší odpor vůči věnci (slave) a druhý slouží jako hnací (master). Výhodou tohoto systému řízení je neustálé vymezení vůlí a vysoká schopnost opětovné přesnosti. Při zastavení motory stále působí proti sobě a tím fixují pozici stolu, proto ve většině případů tedy není nutnost použití brzdového systému. Nevýhodou je nutnost použití dvou motorů a s tím spojené vyšší náklady a větší potřebný zástavbový prostor. Redukci zástavbového prostoru bychom mohli provést pomocí použití vnitřního ozubení věnce, avšak ve vertikálním směru by k úspoře místa nedošlo.



obr. 15 – Redex MSDR převodovka [19]

### Převod pomocí maltézského kříže

Velmi zajímavý typ převodu. Stůl je možno otáčet o určitý úhlový krok, který je pevně definován konstrukcí. Jedná se tedy o mechanický systém řízení. Tento mechanismus přenáší plynulý rotační pohyb na neplynulý po určitých krocích.



obr. 16 - Maltézský kříž zdroj: vlastní

## 3.2 Měřicí systémy

Při volbě vhodného měřicího systému musíme zohlednit přesnost použitého převodového mechanismu, případně velikost minimálního dosažitelného kroku momentového motoru. Není vhodné volit vždy nejpřesnější možný měřicí systém. Přesnost měřicího systému by měla převyšovat přesnost převodového systému, ale být volena s ohledem na rychlost přenosu dat, rozměry, složitost, cenu. Důležité je mít představu o velikosti jednotek, v kterých jsou přesnosti u jednotlivých typů snímačů udávány. Základními údaji při výběru snímače jsou tedy přesnost, rozlišení a opakovatelnost. Přesnost je míra shody mezi skutečnou hodnotou a hodnotou zjištěnou měřicím systémem. Rozlišení je nejmenší vzdálenost mezi dvěma měřitelnými rozměry. Nejmenší zaznamenaná změna veličiny. Opakovatelností chápeme schopnost zaznamenání opakovaně stejného výsledku za totožných podmínek měření.[20]

### Přímé odměřování:

Měření probíhá přímo na pohybujících se částech. Eliminuje tedy většinu chyb, které se přenáší od motoru na polohovanou součást.

Nepřímé odměřování:

Měření probíhá přímo na pohybovém mechanismu, měří tedy například přímo natočení hřídele motoru. Nevýhodou je, že nezahrnuje chybu způsobenou nepřesností převodového ústrojí nebo teplotními dilatacemi.

**3.2.1 Analogové**

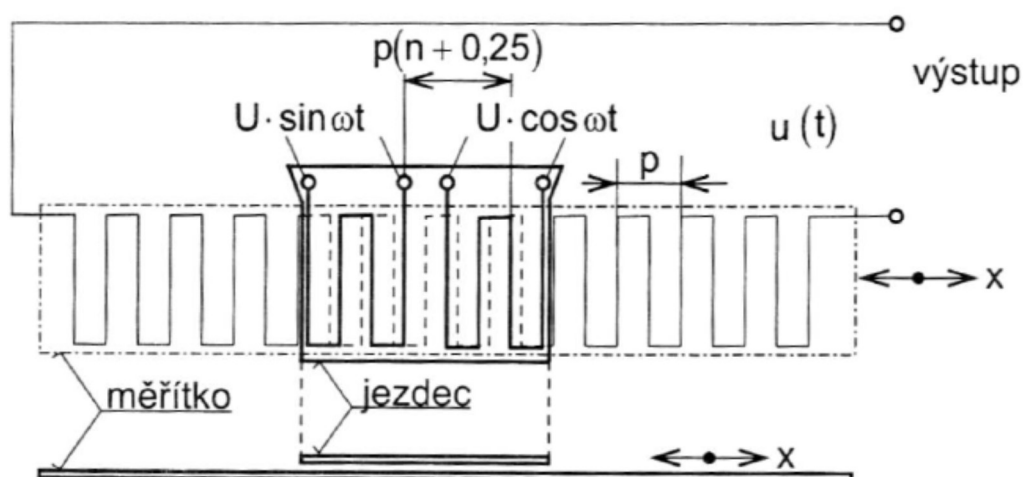
Tento typ snímače pracuje na principu převedení vstupní měřené veličiny na veličinu výstupní, které je jí úměrná. Výstupní veličina může být vyjádřena například změnou proudu, napětí, odporu, indukčnosti, kapacity apod. [21]

**Indukčnostní snímače**

Patří mezi pasivní snímače. Měřená veličina se převádí na změnu indukčnosti.

- Induktosyn

Skládá se z pravítka (sekundárního vinutí) a jezdec (primárního vinutí). Obě vinutí mají tvar pravoúhlého meandru. Jedná se o plošné spoje na podkladu ze skla, keramiky nebo z nemagnetické ocele s izolační vrstvou. Jezdec se skládá ze dvou vinutí. Mezi primárním a sekundárním vinutím je magnetická vazba závislá na vzájemném posuvu jezdec a pravítka. Velkou nevýhodou tohoto systému je citlivost na znečištění. [21]



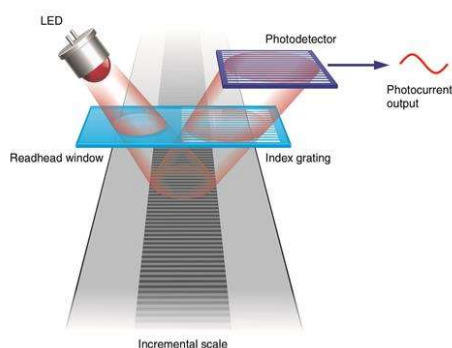
obr. 17 – schéma Induktosynu [22]

### 3.2.2 Číslicové

Dnes používané v drtivé většině příkladů. Měřenou veličinu převádějí na číslo. Mohou fungovat jako inkrementální nebo absolutní. Fungují na různých fyzikálních principech.

#### Optické

Paprsek světla generovaný zdrojem a usměrněný optikou dopadá na stupnici, která způsobuje změnu optického signálu snímanou čtecím zařízením. Signál poté putuje do rozhraní, kde je vyhodnocen. Současné snímače se skládají z univerzální čtecí hlavy, obsahující zdroj světla, optiku a přijímač, připojené na interface a stupnice, která v případě firmy Renishaw umístěna na ocelovém kroužku a pro vyšší přesnost má přesně definovaný koeficient teplotní roztažnosti.[23]



obr. 18 – Princip optického snímače [24]



obr. 19 – Odměřovací systém SIGNUM RESM [23]

#### Magnetické

Bezkontaktní magnetické snímače polohy fungující většinou na principu Hallova jevu. Nedosahují takové přesnosti jako optické snímače, ale vynikají velkou odolností proti znečištění a příznivou cenou. Snímače mohou být rušeny přítomností externího magnetického pole. Snímače OnAxis firmy Renishaw potlačily vnitřním uspořádáním citlivost na rušení vnějším magnetickým polem.[25]



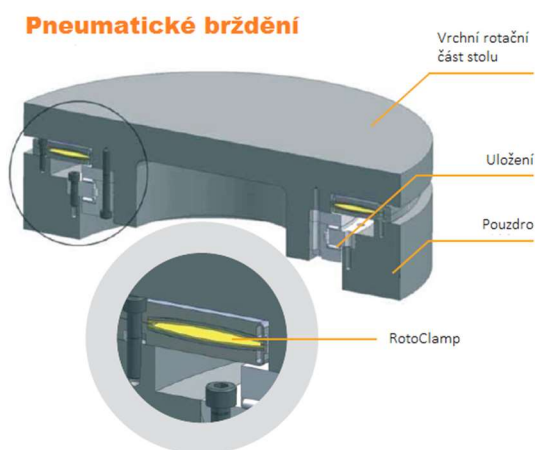
obr. 20 - magnetický modulární snímač Heidenhain ERM 200 [26]

### 3.3 Brzdy

Zajišťuje pevnou fixaci polohy stolu v průběhu obrábění. Na stůl při obrábění působí síly, které je potřeba zachytit. Některé pohony, jako například krokový motor, mohou fixovat stabilní polohu, avšak v použitém převodovém ústrojí mohou vznikat vůle a ve většině případů je použití brzdového systému nutností. Ve stabilní poloze se tak odlehčí pohonnému ústrojí stolu. Použití typu brzdového systému závisí také na mediu, které je přivedeno na stroj.

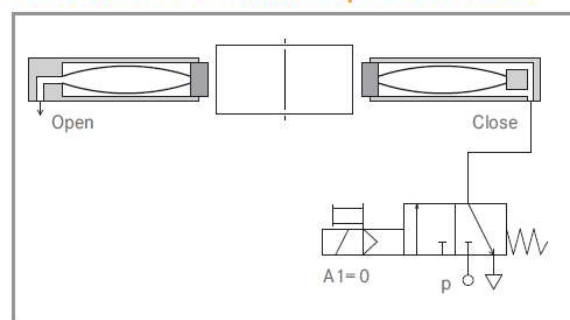
#### 3.3.1 Pneumatické

Tato varianta má nižší nároky na těsnění oproti hydraulice. Pneumatický systém má velmi krátké reakční časy a dochází k rychlému vyvolání brzdového účinku. Přesné principy přívodu tlaku jsou rozdílné. Stůl je brzděn na vnitřní nebo vnější průměr pomocí pružného kroužku, který je stahován a uvolňován pomocí membrány. Membrána může být stahována pružinou a roztahována tlakem vzduchu nebo v obou směrech může být ovládána tlakem.[27]



obr. 22 - pneumatické brždění otočného stolu [27]

#### Function of the RotoClamp Inside Active

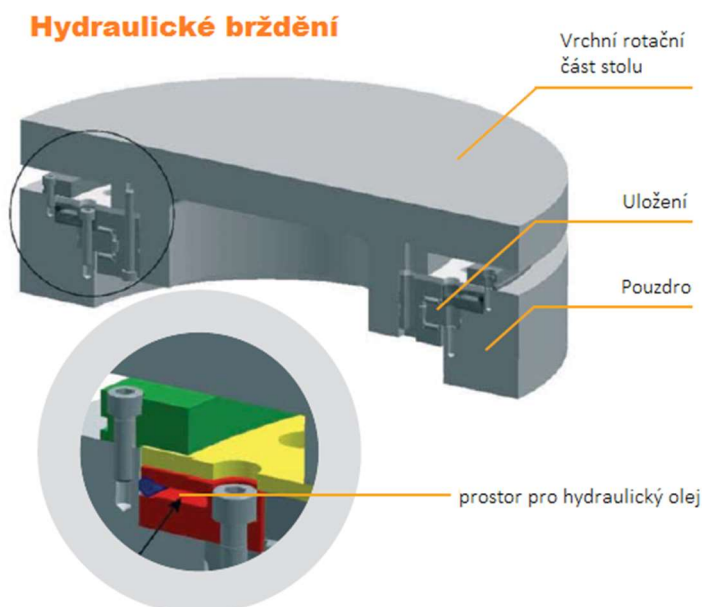


RotoClamp Inside aktive, opened

obr. 21 - princip RotoClamp [27]

### 3.3.2 Hydraulické

Jedná se o nákladnější řešení z důvodu vyšších nároků na těsnění hydraulické kapaliny. Prostor v expanzním prstenci (součást červené barvy) je plněn hydraulickou kapalinou. Vrchní část prstence se tlakem kapaliny pohybuje vzhůru a tlačí na brzdný kroužek (žlutá barva) vznikající tření má brzdný účinek.[27]

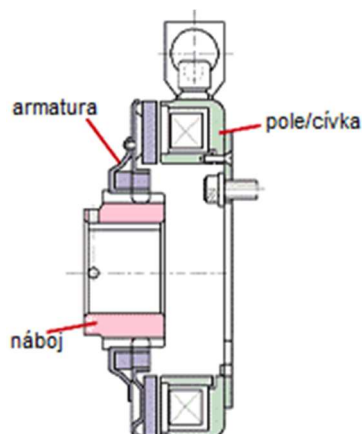


obr. 23 - hydraulické brždění otočného stolu [27]

### 3.3.3 Elektromagnetická

Základní princip elektromagnetické brzdy je přitlačení brzdícího kotouče pomocí elektromagnetu a samotné brzdění již probíhá pomocí mechanického tření.

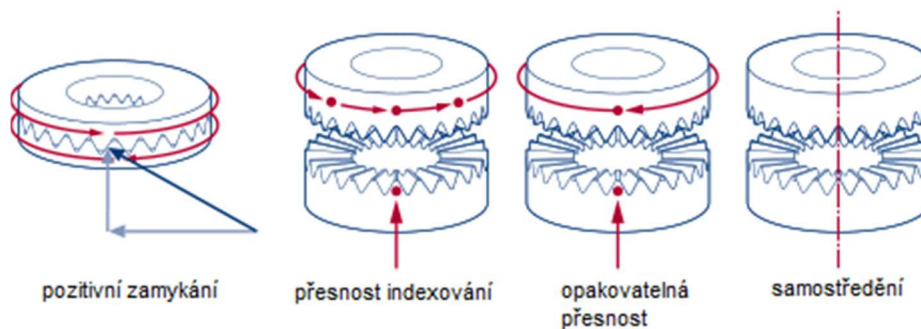
Elektromagnetických brzd se také často používá jakou „záchranných brzd“, které se aktivují například při výpadku proudu. Mohou být buď pružinové, nebo s permanentními magnety.



obr. 24 - jednokotoučová elektromagnetická brzda [28]

### 3.3.4 Hirthovo ozubení

Speciální typ ozubení vytvořen na dvou součástech, tedy dvou do sebe zapadajících polovin. Ozubení vytváří mezi součástmi (hřídeli, přírubami) mechanické spojení. Ozubení má specifický „V“ tvar a poskytuje rozsáhlou stykovou plochu. Uložení disponuje velkou přesností, opakovatelností a je bez vůle. Hirthova ozubení se využívá jako systému indexování. Nevýhodou je polohovatelnost závislá na jemnosti ozubení.

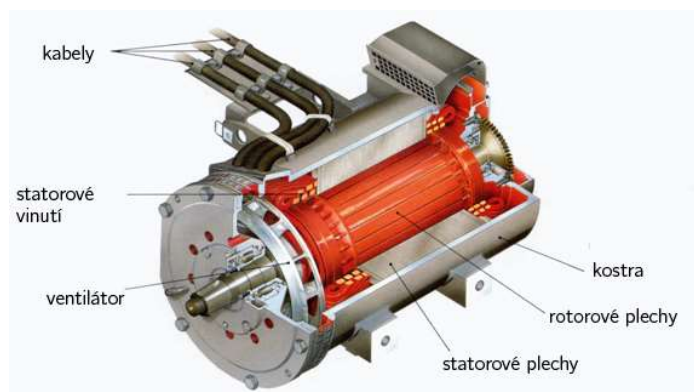


obr. 25 - Hirthovo ozubení [29]

## 3.4 Možnosti pohonu

### 3.4.1 Klasický motor

Pohon pomocí klasického střídavého třífázového motoru (například třífázový asynchronní motor s kotvou nakrátko). Tento typ elektromotoru je velmi spolehlivý, ekonomicky poměrně nenáročný, jeho konstrukce je standardizována a najdeme ho ve velmi rozsáhlém spektru nabízených typů od různých výrobců. U tohoto pohonu jsou omezené možnosti řízení. V nenáročných aplikacích by se nabízelo například použití koncového snímače natočeného o 180°. Tato varianta se nabízí spíše u stolů „vlastní konstrukce“ a u stolů nabízených na trhu se tato aplikace nevyskytuje.



obr. 26 - asynchronní motor s kotvou nakrátko [30]

### 3.4.2 Servomotor

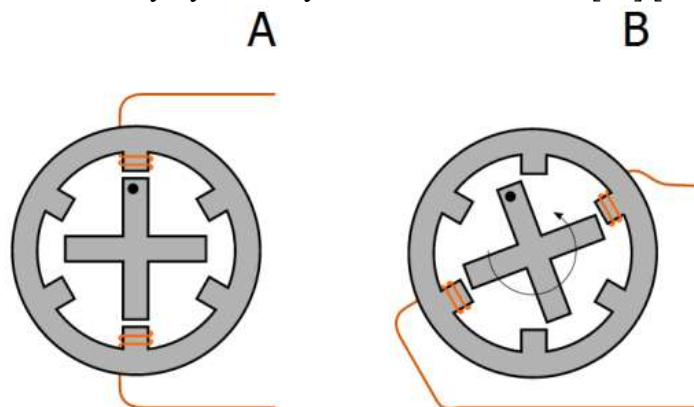
Obecně se takto nazývá spojení motoru (nemusí se nutně jednat o elektromotor) s vhodným zabudovaným řídicím systémem. U tohoto motoru lze tedy přesně nastavit natočení výstupního hřídele. Motor může být použit jak střídavý, tak i stejnosměrný. Může být použito přímého i nepřímého systému odměřování. Hojně se se servomotory setkáváme v modelářství, kde slouží k ovládání řídicích ploch a často i otáček motoru.



obr. 27 - Modelářské servo HITEC HS-81 (zdroj: vlastní)

### 3.4.3 Krokový motor

Synchronní elektromotor. Jeho točivé pole není generováno střídavým proudem, ale do motoru vstupují impulsy stejnosměrného proudu. Motor se pohybuje postupně vždy s určitým minimálním úhlem natočení, tzv. krokem. Pohyb je působen spínáním protilehlých dvojic cívek umístěných na statoru. Rotor se natáčí tak, aby dosáhl stavu minimální reluktance (minimálního odporu). Jeho použití je pro otočný stůl velmi výhodné. Jeho dynamická odezva je velmi dobrá, jelikož motor je spojen přímo se stolem bez potřeby převodového mechanismu, který by mohl být oblastí vzniku vůlí. [31],[32],[34]



obr. 28 - princip činnosti krokového motoru [31]

Rotor tvoří váleček z magneticky měkkého nebo tvrdého materiálu s vystouplými póly. K jedinému dotyku dochází v ložiskách. Krokový motor je tedy mechanicky velmi odolný a



jeho provoz je bezúdržbový. Při zastavení motor zůstává ve stálé poloze. Jelikož se pohybuje po krocích o známé velikosti, není třeba zpětné vazby.[33], [31]

Důležitou součástí krokového motoru je řídicí elektronika. Řídicí elektronika často tvořená mikroprocesorem, logickými obvody nebo relé posílá řídicí impulzy na jednotlivá vedení motoru. Jeden impuls se zpravidla rovná pohybu o jeden krok. Řídicí elektronika se většinou prodává ve zvlášť ve formě driveru. Existují ale i varianty s driverem zabudovaným do kompletu s motorem.[33]



obr. 29 - Krokový motor 57STH76-2804 s integrovaným enkodérem [37]



obr. 30 - M415B – driver pro 2-fázové krokové motory [36]

Motor je citlivý na přetížení. Při přetížení dochází ke „ztrátě kroku“ motor nedokáže reagovat další impulzy. Dalšími nevýhodami je hlučnost a možnost vzniku vibrací. [31]

### Typy krokových motorů:

- Struktura řízení krokových motorů:

#### Unipolární:

Každý pól je osazen dvěma vinutími, která často bývají vinuta bifilárně. V jednom okamžiku vede vždy jedno vinutí. Systém řízení je jednodušší. Motor má nízký odběr, ale zároveň i moment. [38]

#### Bipolární:

Stačí jedno vinutí na fázi. Nutností je však použití dvojnásobného množství spínačů. Toto zapojení nám poskytuje vyšší moment. [38]

Řízení plným krokem:

Jednu otáčku je třeba provést na stejný počet kroků, kolik je zubů na statoru daného KM motoru. Celý krok většinou bývá  $1,8^\circ$  tzn. 200 kroků na otáčku (u dvoufázových motorů).

Mikrokrokování:

Pomocí tohoto systému řízení krokového motoru můžeme oblast jednoho kroku rozdělit na několik menších. Tohoto „drobení“ kroku zajistíme tím, že na jedné fázi budeme snižovat hodnotu budícího proudu a na druhé budeme jeho hodnotu zvyšovat.[34]

- Dle stavby motoru:

Pasivní krokový motor (s variabilní reluktancí):

Rotor motoru je tvořen z magneticky měkkého materiálu. Na rotoru jsou tvarovány výstupky. Stator tvořen izolovanými ocelovými pásy s vytvořenými póly s vedením. Směr otáčení je regulován pořadím vysílaných impulsů. Motor je schopen vysokých otáček, ale s nízkým momentem. [32], [33]

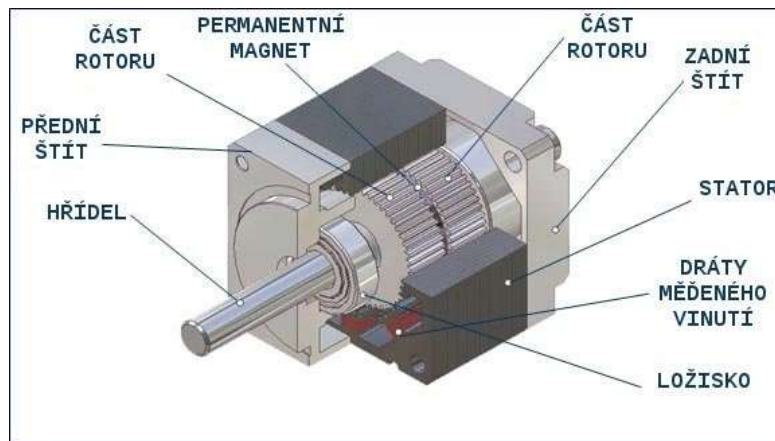


obr. 31- schéma třífázového krokového motoru s pasivním rotorem [33]

Aktivní krokový motor:

Rotor je tvořen radiálně polarizovaným permanentním magnetem. Rotor je bez výčnělků a po obvodu se střídají náboje. Stator je tvořen ze dvou polovin tvořených deskami s výčnělkou, na kterých je měděné vinutí. Může být ve variantě s radiálně i axiálně polarizovaným permanentním magnetem.

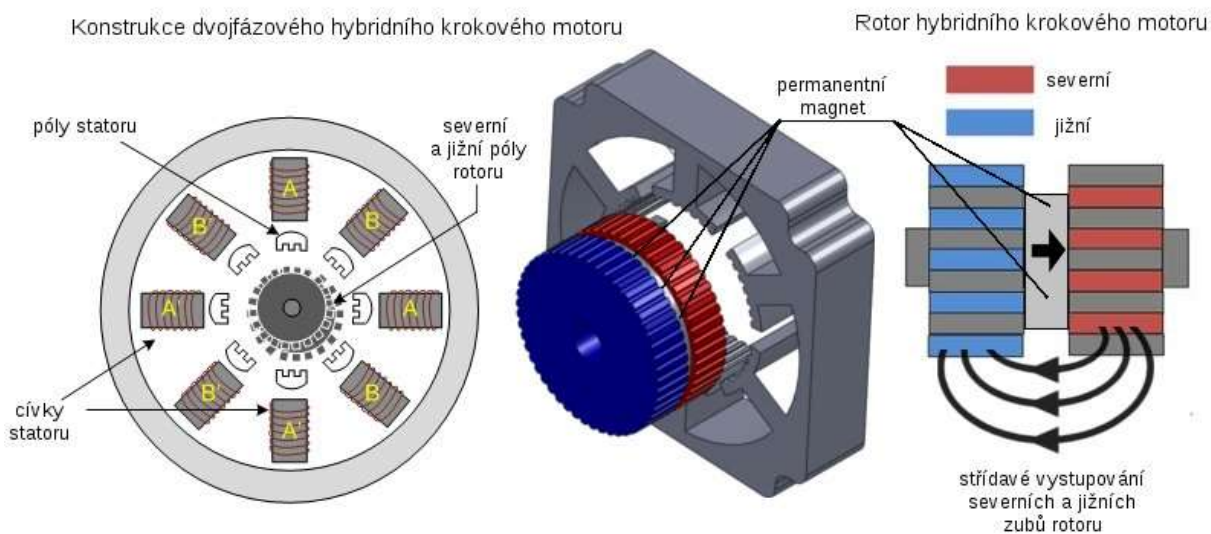
Nedosahuje takových otáček. Generuje vyšší moment. Je schopný vytvářet tzv. klidový moment, který je přítomen i bez napájení statoru proudem. [33],[34],[35]



obr. 32 – krokový motor s aktivním rotorem [35]

Hybridní krokové motory:

Kombinace obou předchozích typů. Vysokorychlostního krokového motoru s pasivním jádrem a motoru s aktivním jádrem z permanentního magnetu.



obr. 33 - konstrukce dvoufázového hybridního motoru [35]

### 3.5 Možnosti tlumení vibrací

#### 3.5.1 Vibrace krokových motorů

Průběh momentu na jednotlivých fázích je sinusový. Počtem fází je ovlivněna velikost momentového skoku, s čímž se pojí vyšší sklon ke vzniku nestability, vibrací a rezonance. Čím menší počet fází, tím větší krok.

#### Jednotlivé krokové motory

Zde uvedené rozdělení je provedeno vzhledem k počtu fází (cívek). Větší počet fází nám zpravidla zajišťuje lepší momentovou charakteristiku a hladší chod. Při volbě KM motoru musíme rovněž zvážit, zdali požadujeme nízké vibrace a velký rozsah možných použitelných otáček.

##### Krokový dvoufázový motor:

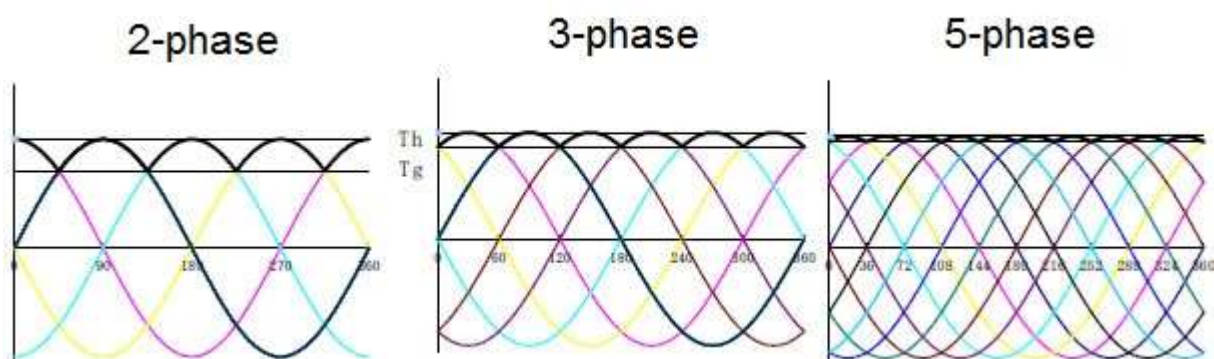
Jednoduchý, bezúdržbová konstrukce. Nízká cena. Hlučný, nepříznivá momentová charakteristika pro použití při vyšších otáčkách, riziko vzniku nestability. Většinou konstruovány na 200 kroků na otáčku (úhel  $1,8^\circ$ ). S pokročilou řídicí technikou charakteristiky motoru významně zlepšit.[33]

##### Krokový 3-fázový motor:

Oproti 2-fázovému motoru má množství výhod. Bezhluchý chod, příznivější momentová charakteristika. Motory konstruovány převážně na 300 kroků s úhlovým posunem  $1,2^\circ$ . Oproti 2-fázovým jsou dražší a mají složitější řízení.[33]

##### Krokový 5-fázový motor:

Motor je silnější. Jednu otáčku provede na 500 kroků po úhlu  $0,72^\circ$ . Při polovičním kroku až  $0,36^\circ$ . Velkou výhodou je hladký chod bez kolísání otáček. Disponují rovněž lepší START-STOP charakteristikou, v důsledku čehož se zkracuje odezva. Systém má složité řízení, a proto je 5-fázový motor drahý.[33]

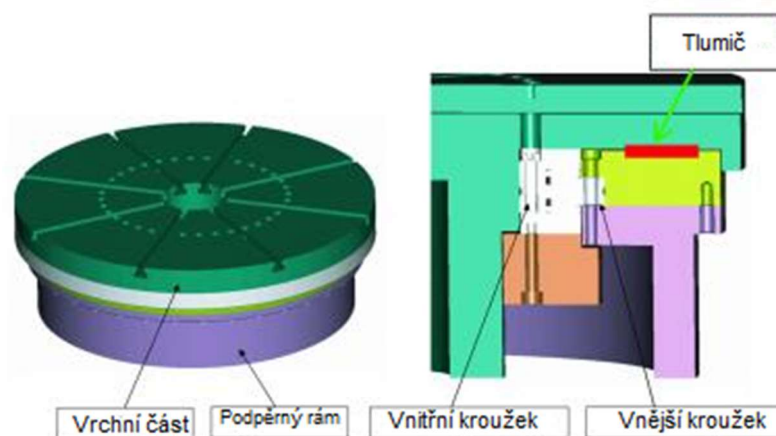


obr. 34 - Momentové zvlnění u 2, 3 a 5-fázových hybridních krokových motorů [33]

### 3.5.2 Tlumení vibrací otočného stolu

Skupina Schaeffler Group Industrial přišla s řešením tlumení vibrací, které jsou při řezném procesu přenášeny do zařízení otočného stolu. Tento systém má za cíl nám poskytnout dobrou tuhost v kombinaci se zlepšenými schopnostmi tlumení.

Systém tlumení je integrován přímo do vnějšího kroužku ložiska. Do vnějšího kroužku je vložen přídatný kotouč. Přesně definovaná úzká mezera, která vznikne mezi vrchní rotující deskou stolu a tímto kotoučem, je vyplněna olejem. Vibrace jsou tlumeny neustálým vytlačováním a přisáváním oleje v mezeře. [39]



obr. 35 - Systém tlumení Schaeffler [39]

## 4. Vlastní konstrukce otočného stolu

V praktické části se budeme zabývat konstrukcí otočného stolu pro malou 3osou CNC frézku. Stůl bude používán převážně při obrábění oceli, hliníku a plastů.

Pohon otočného stolu bude realizován pomocí krokového motoru, který zajistí potřebnou přesnost. Převod bude nepřímý pomocí šneku a šnekového kola.

Jak již bylo předesláno v úvodu práce, otočný stůl bude koncipován jako přídavné zařízení a ke stolu frézky ho bude možné uchytit pomocí T-drážek.

Bude brán zřetel na kompaktnost a užitnou hodnotu zařízení.

### 4.1 Použitý stroj

#### Optimum BF 20 L vario



obr. 36 - frézka Optimum BF 20 L vario (zdroj: vlastní)

#### Parametry frézky:

Maximální průměr vrtáku:	20 mm
Maximální průměr nožové hlavy:	63 mm
Maximální průměr stopkové frézy:	20 mm – 3 břity
Maximální vzdálenost vřetene a stolu:	370 mm
Otáčky vřetene:	90 – 1480 / 150 – 3000 ot./min
Max. vrtací hloubka:	50 mm
Velikost T-Drážky:	12 mm
Rozměry stolu:	700 x 180 mm
Rozsah posuvu v ose Z:	275 mm
Rozsah posuvu v ose Y:	175 mm
Rozsah posuvu v ose X:	480 mm
Výkon motoru:	850 W /230 V
Hmotnost stroje:	103 kg

Tabulka 1 – Optimum BF 20 L vario [1]

## 4.2 Parametry otočného stolu

Průměr upínací části stolu -  $D_s$ : 200 [mm]

Maximální hmotnost obrobku -  $m$ : 100 [kg]

## 4.3 Namáhání otočného stolu

### 4.3.1 Maximální řezná síla na stroji

U tohoto výpočtu vycházíme z toho, že maximální síla je na stroji generována za nejnižších možných nastavitelných otáček a s použitím nejmenšího průměru frézky.

Minimální používaná fréza -  $D$ : 3 [mm]

Výkon motoru vřetene –  $P_{mot}$ : 850 [W]

Minimální otáčky –  $n_{min}$ : 90 [ot/min]

Účinnost  $\eta$ : 0,7 [-]

#### Minimální řezná rychlost:

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

$$v = \frac{\pi \cdot 3 \cdot 90}{60000} = 0,01414 [m \cdot s^{-1}]$$

#### Výkon na vřetenu:

$$P_{už} = P_{mot} \cdot \eta \quad (2)$$

$$P_{už} = 850 \cdot 0,7 = 560 [W]$$

#### Maximální síla:

$$P_{už} = \frac{F \cdot v}{1000} [kW] \quad (3)$$

$$F_{max} = \frac{P_{už} \cdot 1000}{v_{min}} = \frac{560}{0,01414} = 39604 [N]$$

Toto je maximální řezná síla, kterou stroj dokáže za krajních podmínek vyvinout. Při použití však takovou silou systém zatěžovat nebudeme. Jedná se pouze o teoretickou hodnotu.

### 4.3.2 Zadané parametry obrábění

Fréza: stopková Ø 10 [mm] – 2-břitá

Posuv na otáčku  $f_n$ : 0,5 [mm/ot]

Hloubka řezu  $a_p$ : 0,5 [mm]

**Hodnoty materiálu z tabulek [41]:**

Obráběný materiál:

WNr.	DIN	ČSN
1.1191	C45E	12050

Koeficient vlivu materiálu  $k_c$ : 2007 [-]

Řezný odpor při frézování  $p$ : 4500 [N/mm<sup>2</sup>]

### 4.3.3 Síly působící na stůl:

**Obecný vztah:**

$$F_{\bar{x}} = k_c \cdot a_p^{x_z} \cdot f^{y_z} \quad (4)$$

U čelního frézování, kde úhel nastavení hlavního ostří  $\kappa_r$  uvažujeme 90°, můžeme použít tento zjednodušený vztah.

$$F_{\bar{x}} = S \cdot p \quad (5)$$

**Maximální průřez třísky:**

$$f_z = \frac{f_n}{z} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ [mm/z]} \quad (6)$$

$$S = a_p \cdot f_z = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125 \text{ [mm}^2\text{]} \quad (7)$$

**Řezná síla:**

Kvůli náchylnosti krokového motoru na přetížení při výpočtu použijí koeficient bezpečnosti:

Koeficient bezpečnosti  $k$ : 1,5

$$F_{\bar{x}} = k \cdot S \cdot p$$

$$F_{\bar{x}} = 1,5 \cdot 0,125 \cdot 4500 = 844 \text{ [N]}$$

**Zatížení stolu váhou obrobku:**

$$F_m = m \cdot g \quad (8)$$

$$F_m = 100 \cdot 9,81 = 981 \text{ [N]}$$



**Moment od řezné síly:**

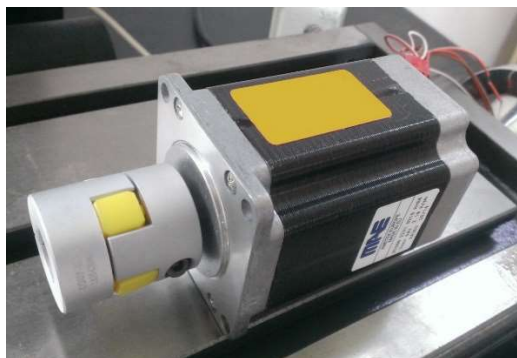
$$M_s = F_{\check{r}} \cdot \frac{D_s}{2} \quad (9)$$

$$M_s = 844 \cdot \frac{200 \cdot 10^{-3}}{2} = 84,4 \text{ [N} \cdot \text{m]}$$

**4.4 Volba motoru**

V teoretické části práce jsou uvedeny možnosti pohonu stolu. Pro pohon konkrétního stolu byl zvolen, jako vhodná varianta, krokový motor, který zajistí dostatečně přesné polohování.

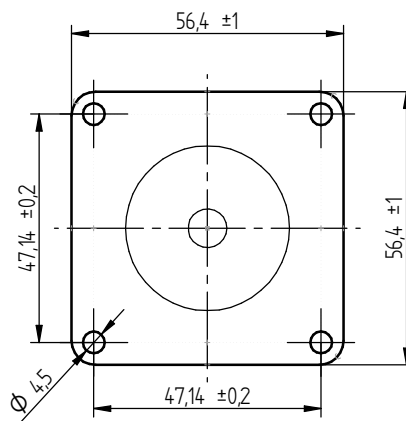
Po určení parametrů stolu se jako dostatečný motor jevil tento:

**AMETEK MAE HS 200 2231 0210 AX04**

obr. 37 – KM HS 200 2231 0210 AX04 (zdroj: vlastní)

**Parametry:**

Úhel kroku:	1,8°
Maximální napětí:	84 [V]
Přídržný moment $M_m$ :	1,6 [Nm]
Příruba NEMA 23	



obr. 38 - příruba vel. NEMA 23 (zdroj: vlastní)

Předběžným výpočtem bylo zjištěno, že motor nemá dostatečné parametry. Převodový poměr by při použití takto malého motoru musel být nejméně 80. Šnekové kolo by v takovém případě mělo moc velký průměr a nevešlo by se do zástavbového prostoru. Nutné je tedy použití výkonnějšího motoru.

Možným řešením pro stůl by bylo použití samosvorného šneku. Při použití motoru s nejbližším vyšším výkonem tedy 2,8 Nm by stále nebylo možné, kvůli nižší účinnosti šneku, dosáhnout samosvornosti. Pro dosažení samosvornosti by bylo nutné použít motor o výkonu 4,8 Nm, jehož cena je o necelých 300 Kč vyšší. Největší nevýhodou tohoto motoru jsou značné rozměry příruby.

## 4.5 Varianty koncepčních řešení

### 4.5.1 Varianta A

První možnou variantou řešení by bylo použití motoru s nižším výkonem. Parametry šnekového převodu by se v tomto případě nastavily tak, abychom dosahovali vyšší účinnosti a motor by v tom případě splňoval výkonnostní parametry. Nebylo by však dosaženo samosvornosti a fixování klidové polohy stolu by se muselo řešit jiným způsobem. Muselo by se využít některého ze způsobů brždění. Další možností by bylo „držení“ motoru pod stálým napětím při obrábění, mohlo by však vlivem přetížení motoru, dojít ke ztrátě aktuální polohy motoru.

### 4.5.2 Varianta B

Druhou možnou variantou je použití šnekového převodu, který by splňoval požadavky pro dosažení samosvornosti. Tato varianta by si nárokovala použití motoru v vyšším výkonem. Výhodné by bylo vyloučení nutnosti použít brzdy a motor by v klidové poloze nemusel být zatížen.

### 4.5.3 Zvolená varianta

Pro konstrukci otočného stolu byla nakonec, s přihlédnutím na benefity plynoucí z použití samosvorného převodu, vybrána varianta B.

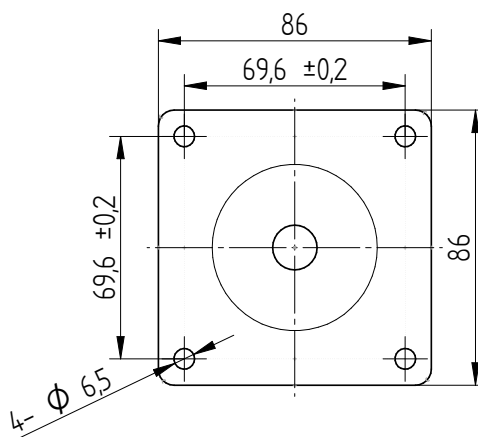
#### 4.5.4 Zvolený motor

HN 200 3438 0430



obr. 39 – KM HN 200 3438 0430 [40]

Úhel kroku:	1,8°
Maximální napětí:	90 [V]
Přidržený moment $M_m$ :	4,8 [Nm]
Příruba NEMA 34	



obr. 40 - příruba NEMA 34 (zdroj: vlastní)

Krokový motor nemůže dosahovat moc vysokých otáček. Dle momentové charakteristiky, pro zachování požadovaného momentu, se budeme pohybovat okolo 1000 kroků/s. Při velikosti kroku 1,8° to je 200 kroků/ot.

z toho plyne:

$$n_1 = 5 \text{ [ot/s]} = 300 \text{ [ot/min]}$$

## 4.6 Moment stolu

### 4.6.1 Výpočet převodového poměru:

Při výpočtu vycházím z momentu působícího na stůl a momentu, který generuje krokový motor.

Účinnost převodu  $\eta_c$ : 0,492

$$M_m = \frac{M_s}{i \cdot \eta_c} \quad (10)$$

$$i = \frac{M_s}{M_m \cdot \eta_c} = \frac{84,4}{4,8 \cdot 0,495} = 35,5 \text{ dle tabulek } i = 40$$

### 4.6.2 Maximální moment na stole:

$$M_{s_{max}} = \frac{M_m}{i \cdot \eta_c}$$

$$M_{s_{max}} = 4,8 \cdot 40 \cdot 0,495 = 95,04 \text{ [Nm]}$$

Toto je maximální moment, který stůl při daných parametrech dokáže vyvinout.

## 4.7 Návrh ložiska upínací desky stolu

Pro otočný stůl použiji axi/radiální válečkové ložisko z nabídky firmy Shaeffler.

YRT80-TV

Vnitřní průměr: 80 [mm]

Vnější průměr: 146 [mm]

Výška: 35 [mm]



obr. 41 - ložisko YRT 80-TV (zdroj: vlastní)

**4.7.1 Otáčky stolu:**

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \cdot z_1}{z_2} \quad (11)$$

$$n_2 = \frac{300 \cdot 1}{40} = 7,5 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}] = 45 [^\circ \cdot \text{s}^{-1}]$$

**4.7.2 Výpočet ložiska v axiálním směru:**

p (pro ložiska s čárovým stykem) 10/3 [-]

**Axiální únosnost:**

Dynamická  $C_a$ : 38000 [N]

Statická  $C_{0a}$ : 158000[N]

**Ekvivalentní zatížení:**

$$F_a = F_m + F_{\dot{\gamma}} = P_a \quad (12)$$

$$P_a = 981 + 950,4 = 1931,4 [\text{N}]$$

**Statická bezpečnost:**

$$S_{0a} = \frac{C_{0a}}{P_a} = \frac{158000}{1931,4} = 82 \quad (13)$$

**Trvanlivost:**

$$L_{10} = \left(\frac{C_a}{P_a}\right)^p \quad (14)$$

$$L_{10} = \left(\frac{38000}{1629}\right)^{\frac{10}{3}} = 20560,7 \text{ (mili ů otáček)}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{C_a}{P_a}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad (15)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{38000}{1629}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot \frac{20}{3}} = 4,569 \cdot 10^7 h$$

**4.7.3 Výpočet ložiska v radiálním směru****Radiální únosnost:**

Dynamická  $C_r$ : 44000 [N]

Statická  $C_{0r}$ : 98000 [N]

**Ekvivalentní zatížení:**

$$F_r = F_{\dot{r}} = P_r$$

$$P_r = 950,4 \text{ [N]}$$

**Statická bezpečnost:**

$$S_{0r} = \frac{C_{0r}}{P_r} = \frac{98000}{950,4} = 103 \quad (16)$$

**Trvanlivost:**

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r}\right)^p \quad (17)$$

$$L_{10} = \left(\frac{44000}{844}\right)^{\frac{10}{3}} = 356304,1 \text{ (milionů otáček)}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{C_r}{P_r}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \quad (18)$$

$$L_{10h} = \left(\frac{44000}{844}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 6} = 7,9 \cdot 10^8 h$$

Ložisko v obou směrech vyhovuje s velkou rezervou.

## 4.8 Výpočet šnekového ozubení

### 4.8.1 Návrh modulu ozubení:

Dle převodového poměru:

Ozubení: spirální

$z_1$  1

$z_2$  40

Hodnoty volím z [43]

$\psi$  volím 12 [-]

$c$  volím pro litinu 2 [MPa]

$q$  – součinitel průměru šneku volím 10 [-]

$$M_{smax} = M_{k2}$$

Dle Bacha:

$$m_n = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{k2} \cdot \cos \gamma}{z_2 \cdot \psi \cdot c}} \quad (19)$$

$$q = \frac{z_1}{\operatorname{tg} \gamma} \quad (20)$$

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left( \frac{z_1}{q} \right) = \operatorname{arctg} \left( \frac{1}{10} \right) = 5,71^\circ$$

$$m_n = 7,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{95,04 \cdot \cos 5,71}{40 \cdot 12 \cdot 2}} = 3,46$$

$$m_x = \frac{m_n}{\cos \gamma} = 3,48 \Rightarrow \text{volím z tabulek [42]} \quad m_x = 4 \text{ [mm]}$$

### 4.8.2 Základní rozměry ozubení

Průměr roztečné kružnice:

$$d_1 = m_x \cdot q \quad (21)$$

$$d_1 = 4 \cdot 10 = 40 \text{ [mm]}$$

$$d_2 = m_x \cdot z_2 \quad (22)$$

$$d_2 = 4 \cdot 40 = 160 \text{ [mm]}$$

**Osová vzdálenost:**

$$a_w = 100 [mm]$$

$$a = 0,5 \cdot (d_1 + d_2) \quad (23)$$

$$a = 0,5 \cdot (40 + 160) = 100 [mm]$$

**Korekce na osovou vzdálenost:**

$$x = \frac{a_w - a}{m} \quad (24)$$

$$x = \frac{100 - 100}{4} = 0$$

**Průměr hlavové kružnice:**

$$h_a^* = 1$$

$$c_a^* = 0,25$$

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_x \cdot h_a^* \quad (25)$$

$$d_{a1} = 40 + 2 \cdot 4 \cdot 1 = 48 [mm]$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_x \cdot (h_a^* + x) \quad (26)$$

$$d_{a2} = 160 + 2 \cdot 4 \cdot (1 + 0) = 168 [mm]$$

**Průměr patní kružnice:**

$$d_{f1} = d_1 - 2 \cdot m_x \cdot (h_a^* + c_a^*) \quad (27)$$

$$d_{f1} = 40 - 2 \cdot 4 \cdot (1 + 0,25) = 30 [mm]$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot m_x \cdot (h_a^* + c_a^* - x) \quad (28)$$

$$d_{f2} = 160 - 2 \cdot 4 \cdot (1 + 0,25 - 0) = 150 [mm]$$

**Průměr valivé kružnice:**

$$d_{w1} = d_1 + 2 \cdot m_x \cdot x \quad (29)$$

$$d_{w1} = 40 + 2 \cdot 4 \cdot 0 = 40 [mm]$$

$$d_{w2} = d_2 \quad (30)$$

$$d_{w2} = 160 [mm]$$



**Minimální délka šneku:**Pro  $z_1 < 4$ 

$$l_1 = (11 + 0,06 \cdot z_2) \cdot m_x \quad (31)$$

$$l_1 = (11 + 0,06 \cdot 40) \cdot 4 = 53,6 \text{ [mm]} \Rightarrow \text{volím } 70 \text{ [mm]}$$

**Šířka věnce šnek kola:**Pro  $z_1 < 4$ 

$$b_2 = 0,45 \cdot (d_{a1} + 4 \cdot m_x) \quad (32)$$

$$b_2 = 0,45 \cdot (40 + 4 \cdot 4) = 28 \text{ [mm]} \Rightarrow \text{dle výpočtu v CAD programu volím } 27 \text{ [mm]}$$

**4.8.3 Volba materiálu**

Volba materiálu pro šnek a šnekové kolo proběhla na základě dosahované kluzné rychlosti v ozubení a požadovaném třecím úhlu.

**Kluzná rychlost:**

$$v_k = \frac{\frac{d_1 \cdot \omega_1}{2}}{\cos \gamma} = \frac{\pi \cdot n_1 \cdot d_1}{\cos \gamma} \quad (33)$$

$$v_k = \frac{\pi \cdot 5 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{\cos 5,71} = 0,631 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$$

**Třecí úhel:**

styk: ocel-litina

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,1 \Rightarrow \varphi = 5,71^\circ$$

**Materiál šneku:**

11600	$R_m$	600 [MPa]
	$R_e$	325 [MPa]

**Materiál šnekového kola:**

42 2420	$R_m$	380 [MPa]
	$R_{p0,2}$	200 [MPa]

**4.8.4 Síly na ozubení****Obvodová síla:**

$$F_{o1} = \frac{2 \cdot M_m}{d_1} \quad (34)$$

$$F_{o1} = \frac{2 \cdot 4,8}{40 \cdot 10^{-3}} = 240 \text{ [N]}$$

$$F_{o2} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{d_2} \quad (35)$$

$$F_{o2} = \frac{2 \cdot 95,04}{160 \cdot 10^{-3}} = 1188 \text{ [N]}$$

**Radiální složka:**

$$F_{r1} = F_{o1} \cdot \frac{tg\alpha_x}{tg\gamma + tg\varphi} \quad (36)$$

$$F_{r1} = 240 \cdot \frac{tg 20,09179^\circ}{tg 5,71^\circ + tg 5,71^\circ} = 439 \text{ [N]}$$

$$F_{r2} = F_{o2} \cdot \frac{tg \alpha_x}{1 - tg\gamma \cdot tg\varphi} \quad (37)$$

$$F_{r2} = 1188 \cdot \frac{tg 20,09179^\circ}{1 - tg 5,71 \cdot tg 5,71} = 439 \text{ [N]}$$

**Axiální složka:**

$$F_{ax1} = \frac{F_{o1}}{tg(\gamma + \varphi)} \quad (38)$$

$$F_{ax1} = \frac{240}{tg(5,71 + 5,71)} = 1188 \text{ [N]}$$

$$F_{ax2} = F_{o2} \cdot tg(\gamma + \varphi) \quad (39)$$

$$F_{ax2} = 1188 \cdot tg(5,71 + 5,71) = 240 \text{ [N]}$$

#### 4.8.5 Kontrolní výpočet dle ČSN 01 4780

**Dovolené obvodové síly na ohyb**

$$\chi_o = 0,7$$

$$\chi_d = 0,65$$

$$\cos\delta = \frac{d_{a1} - 2 \cdot m_n}{d_{a1}} \quad (40)$$

$$\cos\delta = \frac{48 - 2 \cdot 4}{48} = \frac{5}{6}$$

$$\delta = 33,557^\circ \Rightarrow 0,585 \text{ [rad]}$$

$$c_a = \frac{1}{6} \cdot m_n \quad (41)$$

$$c_a = \frac{1}{6} \cdot 4 = 0,667$$

Výpočtová šířka na ohyb

$$b_o = (d_{a1} + 2 \cdot c_a) \cdot \delta \quad (42)$$

$$b_o = (48 + 2 \cdot 0,667) \cdot 0,585 = 28,893 \text{ [mm]}$$

**a) pro materiál šneku**

z [43] tabulka 2.9-4 volím materiálovou konstantu

$$k_{M_{o1}} = 195 \text{ [MPa]}$$

Z [43] tabulka 2.9-5 volím rychlostní součinitel pro ohyb

$$r_{o1} = 0,34$$

$$F_{o1d} = \frac{1}{\chi_o} \cdot m_n \cdot b_o \cdot k_{M_{o1}} \cdot r_{o1} \quad (43)$$

$$F_{o1d} = \frac{1}{0,7} \cdot 4 \cdot 28,893 \cdot 195 \cdot 0,34 = 10946,63 \text{ [N]}$$

**b) pro materiál šnekového kola**

z [43] tabulka 2.9-4 volím materiálovou konstantu

$$k_{M_{o2}} = 52 \text{ [MPa]}$$

z [43] tabulka 2.9-5 volím rychlostní součinitel pro ohyb

$$r_{o2} = 0,58$$

$$F_{o2d} = \frac{1}{\chi_o} \cdot m_n \cdot b_o \cdot k_{M_{o2}} \cdot r_{o2} \quad (44)$$

$$F_{o2d} = \frac{1}{0,7} \cdot 4 \cdot 28,893 \cdot 52 \cdot 0,58 = 4979,644 \text{ [N]}$$

**Dovolené obvodové síly na dotyk**Výpočtová šířka na dotyk

$$b_d = d_{a1} \cdot \sin \delta \quad (45)$$

$$b_d = 48 \cdot \sin 33,557 = 26,533 \text{ [mm]}$$

**a) pro materiál šneku**

z [43] tabulka 2.9-4 volím materiálovou konstantu

$$k_{M_{d1}} = 5,3 \text{ [MPa]}$$

Z [43] tabulka 2.9-6 volím rychlostní součinitel pro dotyk

$$r_{d1} = 0,25$$

$$F_{d1d} = \frac{1}{\chi_d} \cdot d_2^{0,8} \cdot b_d \cdot k_{M_{d1}} \cdot r_{d1} \quad (46)$$

$$F_{d1d} = \frac{1}{0,65} \cdot 160^{0,8} \cdot 26,533 \cdot 5,3 \cdot 0,25 = 3136,063 [N]$$

#### b) pro materiál šnekového kola

z [43] tabulka 2.9-4 volím materiálovou konstantu

$$k_{M_{d2}} = 2,9 [MPa]$$

z [43] tabulka 2.9-6 volím rychlostní součinitel pro dotyk

$$r_{d2} = 0,5$$

$$F_{d2d} = \frac{1}{\chi_d} \cdot d_2^{0,8} \cdot b_d \cdot k_{M_{d2}} \cdot r_{d2} \quad (47)$$

$$F_{d2d} = \frac{1}{0,65} \cdot 160^{0,8} \cdot 26,533 \cdot 2,9 \cdot 0,5 = 3434,918 [N]$$

Žádná z dovolených sil není menší, než skutečné síly v ozubení  $\Rightarrow$  ozubení VYHOVUJE

#### 4.8.6 Samosvornost:

Při navrhování ozubení jsem se snažil o dosažení samosvornosti šnekového převodu. Samosvornost převodu nám zajistí odlehčení motoru při stabilní pozici stolu. Nepříjemným vedlejším jevem je nízká účinnost převodu.

Převod je samosvorný, pokud je třecí úhel  $\varphi$  větší nebo rovný úhlu stoupání šneku  $\gamma$ .

$$\varphi \geq \gamma$$

#### 4.8.7 Skutečná účinnost převodu:

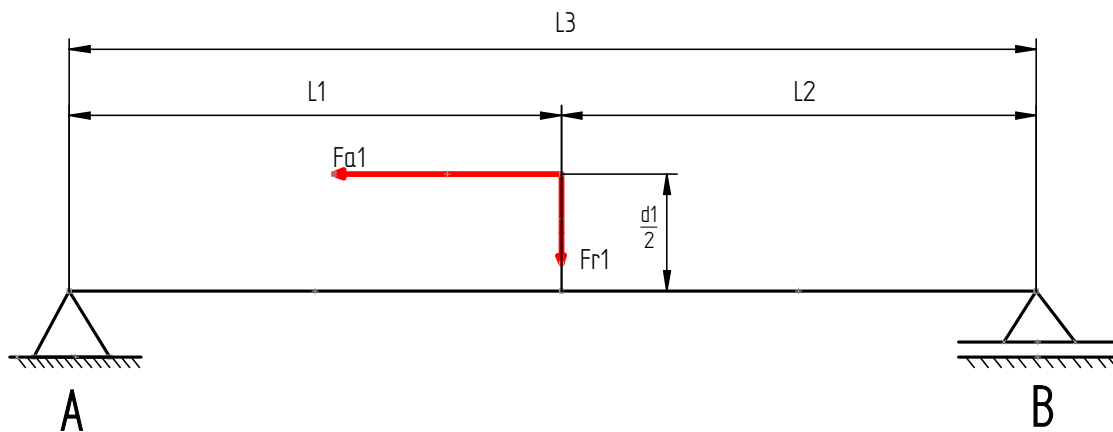
Hnacím členem je šnek:

$$\eta_z = \frac{tg \gamma}{tg(\gamma + \varphi)} \quad (48)$$

$$\eta_z = \frac{tg 5,71}{tg(5,71 + 5,71)} = 0,495$$

## 4.9 Výpočet reakcí pod ložisky

Síly v rovině ZY:



obr. 42 - síly v rovině ZY (zdroj: vlastní)

$l_1$	83,9 [mm]
$l_2$	81 [mm]
$l_3$	164,9 [mm]
$d_1$	40 [mm]

$$F_{A_{zy}} \cdot l_3 = F_{r1} \cdot l_2 + F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2} \quad (49)$$

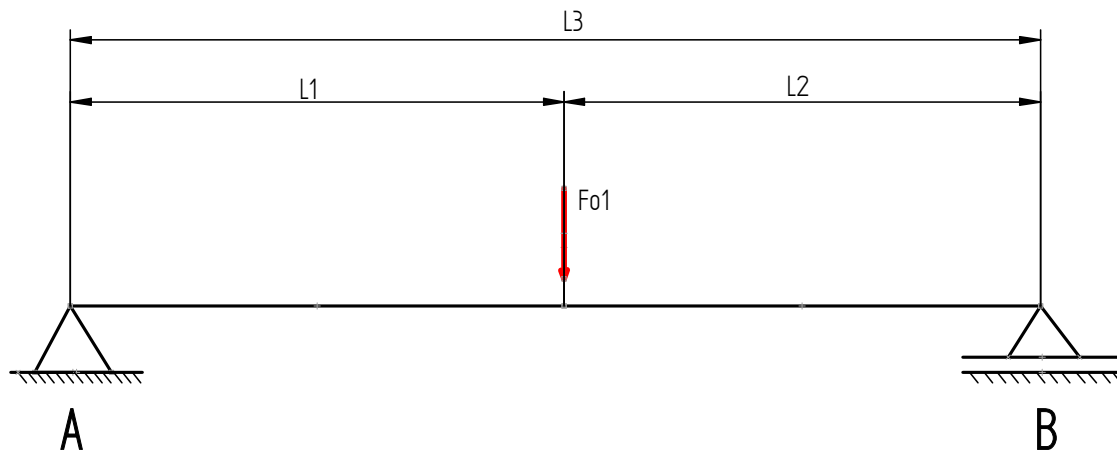
$$F_{A_{zy}} = \frac{F_{r1} \cdot l_2 + F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2}}{l_3} = \frac{439 \cdot 81 + 1188 \cdot \frac{40}{2}}{164,9} = 378,53 \text{ [N]}$$

$$F_{A_{zy}} = 378,53 \text{ [N]}$$

$$F_{B_{zy}} \cdot l_3 = F_{r1} \cdot l_1 - F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2} \quad (50)$$

$$F_{B_{zy}} = \frac{F_{r1} \cdot l_1 - F_{a1} \cdot \frac{d_1}{2}}{l_3} = \frac{439 \cdot 83,9 - 1188 \cdot \frac{40}{2}}{164,9} = 71,52 \text{ [N]}$$

$$F_{B_{zy}} = 71,52 \text{ [N]}$$

**Síly v rovině XY:**

obr. 43 - síly v rovině XY (zdroj: vlastní)

$$F_{A_{xy}} \cdot l_3 = F_{01} \cdot l_2 \quad (51)$$

$$F_{A_{xy}} = \frac{F_{01} \cdot l_2}{l_3} = \frac{240 \cdot 81}{164,9} = 117,89 \text{ [N]}$$

$$F_{A_{xy}} = 117,89 \text{ [N]}$$

$$F_{B_{xy}} \cdot l_3 = F_{01} \cdot l_1 \quad (52)$$

$$F_{B_{xy}} = \frac{F_{01} \cdot l_1}{l_3} = \frac{240 \cdot 83,9}{164,9} = 122,11 \text{ [N]}$$

$$F_{B_{xy}} = 122,11 \text{ [N]}$$

**Reakce v bodě A:**

$$F_{rA} = \sqrt{F_{A_{zy}}^2 + F_{A_{xy}}^2} \quad (53)$$

$$F_{rA} = \sqrt{359,7^2 + 117,89^2} = 378,53 \text{ [N]}$$

**Axiální síla v bodě A:**

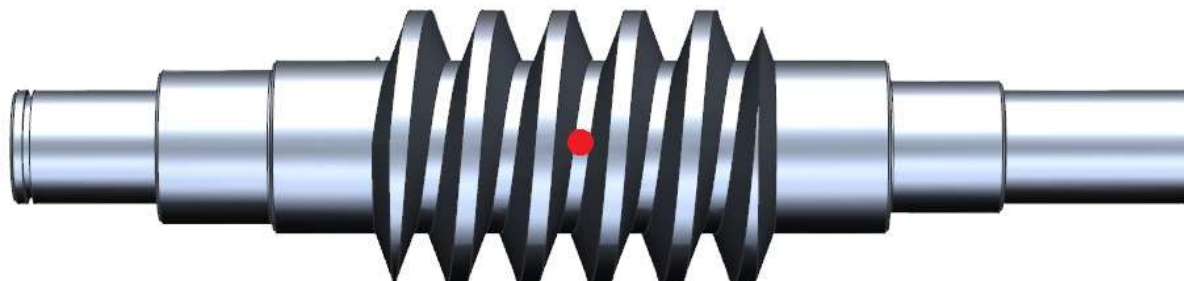
$$F_{A_{ax}} = 1188 \text{ [N]}$$

**Reakce v bodě B:**

$$F_{rB} = \sqrt{F_{B_{zy}}^2 + F_{B_{xy}}^2} \quad (54)$$

$$F_{rA} = \sqrt{71,52^2 + 122,11^2} = 141,52 \text{ [N]}$$

#### 4.10 Kontrola šnekové hřídele



obr. 44 - místo kontroly šnekové hřídele (zdroj: vlastní)

Materiál:	ocel 11600
Dovolené napětí v krutu $\tau_{Dk}$ :	80 [MPa]
Dovolené napětí v ohybu $\sigma_{Do}$ :	140 [MPa]
Dovolené napětí v tahu/tlaku $\sigma_{Dt}$ :	130 [MPa]

$d_{f1}$  30,4 [mm]

#### Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \quad (55)$$

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d_{f1}^3} = \frac{16 \cdot 4,8 \cdot 10^3}{\pi \cdot 30,4^3} = 0,87 \text{ [MPa]}$$

#### Napětí v ohybu:

$$M_{Az} = F_{Azy} \cdot l_1 \quad (56)$$

$$M_{Az} = 378,53 \cdot 83,9 \cdot 10^{-3} = 31,75 \text{ [Nm]}$$

$$M_{Ax} = F_{Axy} \cdot l_1 \quad (57)$$

$$M_{Ax} = 117,89 \cdot 83,9 \cdot 10^{-3} = 9,89 \text{ [Nm]}$$

$$M_{omax} = \sqrt{M_{Az}^2 + M_{Ax}^2} \quad (58)$$

$$M_{omax} = \sqrt{31,75^2 + 9,89^2} = 33,25 \text{ [Nm]}$$

$$M_{omax} = 33,25 \text{ [Nm]}$$

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} \quad (59)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{32 \cdot M_{omax} \cdot 10^3}{\pi \cdot d_{f1}^3} = \frac{32 \cdot 33,25 \cdot 10^3}{\pi \cdot 30,4^3} = 12,1 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_o = 12,1 \text{ [MPa]}$$

**Napětí v tahu:**

$$\sigma_T = \frac{F}{S} \quad (60)$$

$$\sigma_T = \frac{F}{S} = \frac{4 \cdot F_{Aax}}{\pi \cdot d_{f1}^2} = \frac{4 \cdot 1188}{\pi \cdot 30,4^2} = 1,64 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_T = 1,64 \text{ [MPa]}$$

**Redukované napětí:**

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_o + \sigma_T)^2 + 4 \cdot \tau_k^2} \quad (61)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{(12,1 + 1,64)^2 + 4 \cdot 0,87^2} = 13,85 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{red} = 13,85 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{red} \leq \sigma_{Dov} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

**Krut hřídele na výstupu:**

$$d_1 \quad 20 \text{ [mm]}$$

$$d_2 \quad 9,5 \text{ [mm]}$$

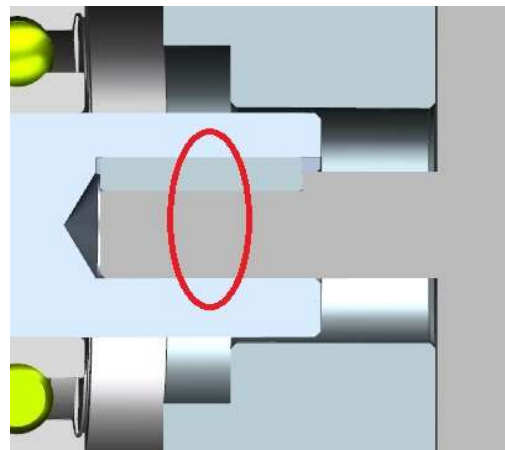
$$M_{k1} \quad 4,8 \text{ [Nm]}$$

z (55)

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_k \cdot d_1}{\pi \cdot (d_1^4 - d_2^4)} = \frac{16 \cdot 4,8 \cdot 20}{\pi \cdot (20^4 - 9,5^4)}$$

$$\tau_k = 3,22 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_k \leq \tau_{Dk} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$



obr. 45 - hřídel na výstupu (zdroj: vlastní)



**Nejmenší možný průměr z hlediska namáhání krutem:**

Dle (55)

$$\tau_{Dk} \geq \frac{M_k}{W_k} = \frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot d^3} \Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{M_k}{\pi \cdot \tau_{Dk}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_k}{\pi \cdot \tau_{Dk}}} = \sqrt[3]{\frac{4,8}{\pi \cdot 80 \cdot 10^6}}$$

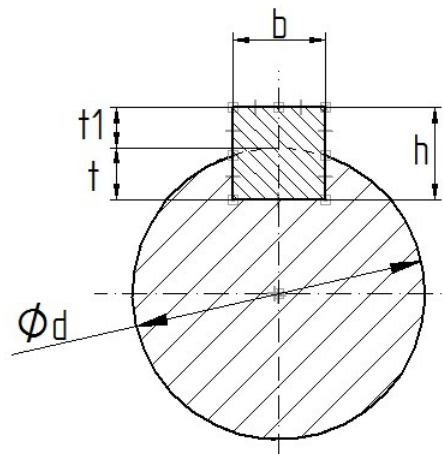
$$d \geq 2,67 \text{ [mm]}$$

**4.10.1 Délka pera na výstupu:**

Pero pro přenos kroutícího momentu z motoru na šnekovou hřídel.

**Rozměry pera:**

h	3 [mm]
b	3 [mm]
t <sub>1</sub>	1,3 [mm]
$\tau_{Ds}$	75 [MPa]
$\sigma_{Dt}$	130 [MPa]
d	9,5 [mm]
M <sub>k1</sub>	4,8 [Nm]



obr. 46 - náčrtek pera (zdroj: vlastní)

**Síla:**

Síla od kroutícího momentu působící na pero.

$$F = \frac{2 \cdot M_{k1}}{d} \quad (62)$$

$$F = \frac{2 \cdot M_{k1}}{d} = \frac{2 \cdot 4,8 \cdot 10^3}{9,5} = 1010,53 \text{ [N]}$$

**Střih:**

$$\tau_{Dov} \geq \frac{F}{S} \quad (63)$$

$$\tau_{Ds} \geq \frac{F}{(l-b) \cdot b} \Rightarrow l \geq \frac{F}{\tau_{Ds} \cdot b} + b$$

$$l \geq \frac{1010,53}{75 \cdot 3} + 3$$

$$l \geq 7,49 \text{ [mm]}$$

**Otlačení:**

z (60)

$$\sigma_{Dt} \geq \frac{F}{(l-b) \cdot t_1} \Rightarrow l \geq \frac{F}{\sigma_{Dt} \cdot t_1} + b$$

$$l \geq \frac{1010,53}{130 \cdot 1,3} + 3$$

$$l \geq 13,4 \text{ [mm]} \Rightarrow \text{délka pera } 18 \text{ [mm]}$$

**4.11 Kontrola ložisek na šnekové hřídeli****Dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem**

Ložisko zvolené s ohledem na nutnost zachycení axiální síly vznikající ve šnekovém ozubení.

**3304 A-2Z**

d	20 [mm]
D	52 [mm]
C <sub>A</sub>	23600 [N]
C <sub>A0</sub>	14600 [N]
e <sub>tab</sub>	0,8
X	0,63
Y <sub>2</sub>	1,24
p	3
F <sub>ax</sub>	1188 [N]
F <sub>rA</sub>	378,5 [N]



obr. 47 – ložisko 3304 A-2Z (zdroj: vlastní)

$$e_v = \frac{1188}{378,5} = 3,14$$

$$e_v > e_{tab} \Rightarrow X = 0,63, Y_2 = 1,24$$

**Ekvivalentní zatížení:**

$$P_A = X \cdot F_{rA} + Y_2 \cdot F_{ax}$$

$$P_A = 0,63 \cdot 378,5 + 1,24 \cdot 1188$$

$$P_A = 1711,6 \text{ [N]}$$

**Hodinová trvanlivost:**

$$L_{10h} = \left(\frac{C_A}{P_A}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_1}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{23600}{1711,6}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 300} = 145634,3 \text{ [hod]}$$

$$L_{10h} = 145634,3 \text{ [hod]}$$

Ložisko vyhovuje.

**Kuličkové ložisko**

Ložisko na straně výstupu do motoru.

**6004-2Z**

d	20 [mm]
D	42 [mm]
$C_B$	10000 [N]
$C_{B0}$	5000 [N]
p	3
$F_{rB}$	141,52 [N]



obr. 48 - ložisko 6004-2Z  
(zdroj: vlastní)

**Ekvivalentní zatížení:**

$$P_B = F_{rB}$$

$$P_B = 141,52 \text{ [N]}$$

**Hodinová trvanlivost:**

$$L_{10h} = \left(\frac{C_B}{P_B}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_1}$$

$$L_{10h} = \left(\frac{10000}{141,52}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 300} = 1,96 \cdot 10^7 \text{ [hod]}$$

$$L_{10h} = 1,96 \cdot 10^7 \text{ [hod]}$$

Ložisko vyhovuje.

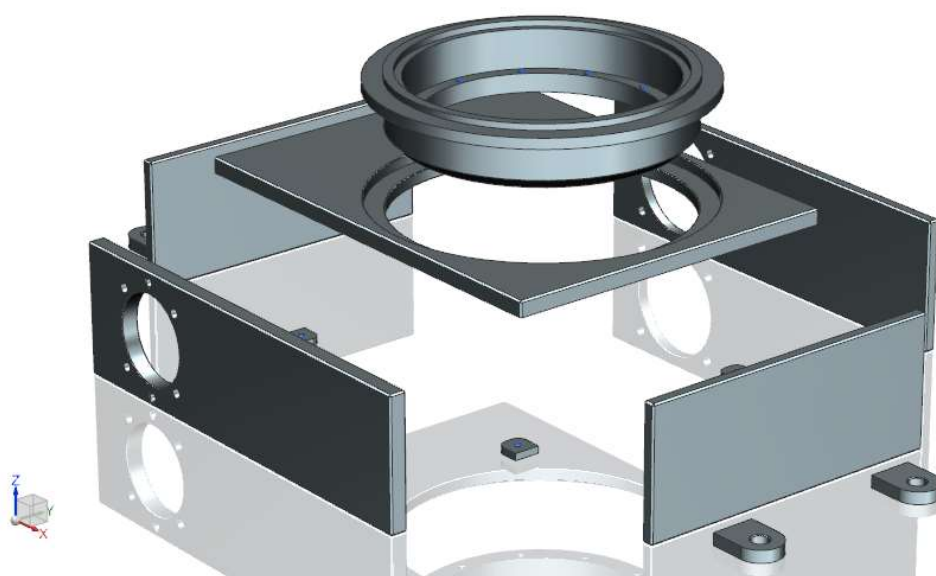
## 5. Konstrukce

### 5.1 Rám

Rám otočného stolu je koncipován jako svařenec. Skládá se ze šesti velkých částí, které do sebe zapadají, a osmi menších držáků. Z vnějšku jsou přivařeny čtyři držáky pro uchycení do T-drážek stolu frézky. Uvnitř jsou navařeny čtyři malé držáky pro uchycení krycího plechu. Součásti mají obráběné otvory pro uchycení dalších součástí stolu.

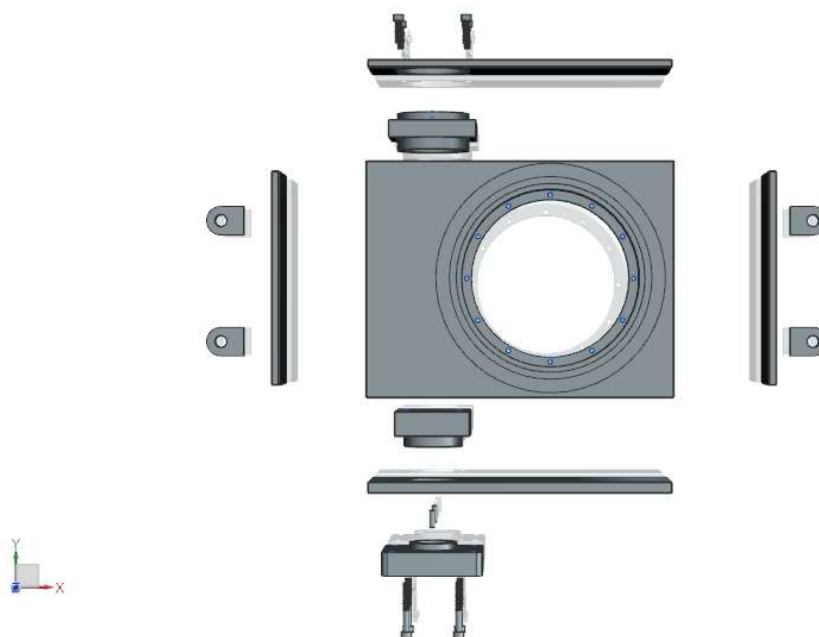


obr. 49 - Rám otočného stolu (zdroj: vlastní)



obr. 50 - rám stolu - rozstřelená sestava (zdroj: vlastní)

Do svařovaného rámu jsou následně pomocí šroubů připevněny bloky pro ložiska uložení šnekové hřídele (obr.51).

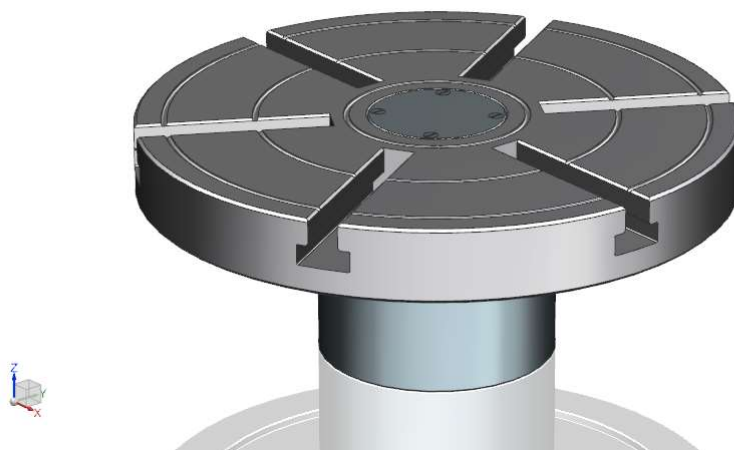


obr. 51 - Rám s uložením (zdroj: vlastní)

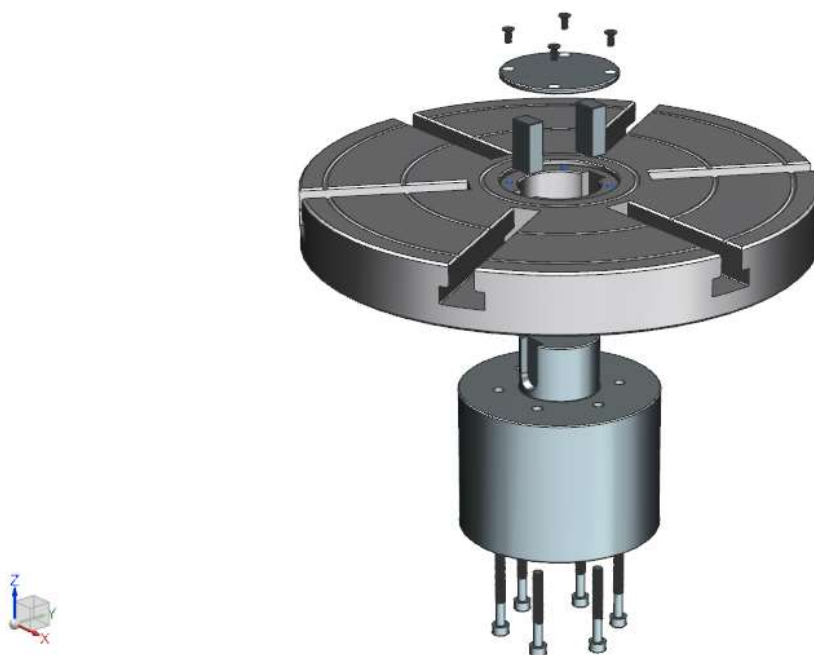
Hlavní Axi/radiální ložisko YRT 80-TV od firmy SHAEFFLER je uloženo do obruče, která je zasazena do tělesa rámu a pojištěna svarovým spojem. Ložisko je v obruči upevněno pomocí dvanácti šroubů. V tomto ložisku je uložena otočná deska stolu.

## 5.2 Deska stolu

Deska stolu je tvořena dvěma hlavními částmi, kruhovou upínací deskou, která je osazena T drážkami pro uchycení obrobku nebo svěrného zařízení a nábojem. Náboj je uložen do desky a přišroubován. Vzájemná poloha desky a náboje je zajištěna dvěma pery. Uložení náboje je zakryto víkem proti nečistotám vznikajícím při obrábění.



obr. 52 - otočná část (zdroj: vlastní)

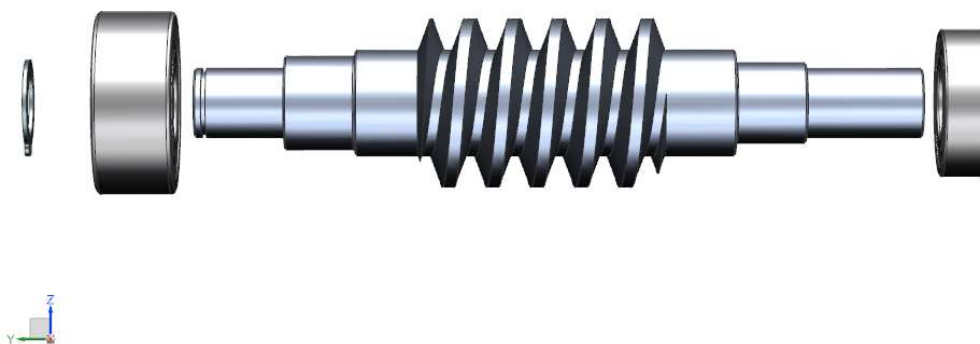


obr. 53 - otočná část-rozstřelená sestava (zdroj: vlastní)

### 5.3 Uložení šnekové hřídele

Šneková hřídel je uložena do dvou ložisek po každé straně. Jsou voleny uzavřené typy ložisek. Na levé straně je použito kuličkové dvouřadé ložisko s kosoúhlým stykem (3304-A-2Z). Tato strana byla více zatížená a navíc ložisko pohltí i axiální sílu vznikající ve šnekovém ozubení.

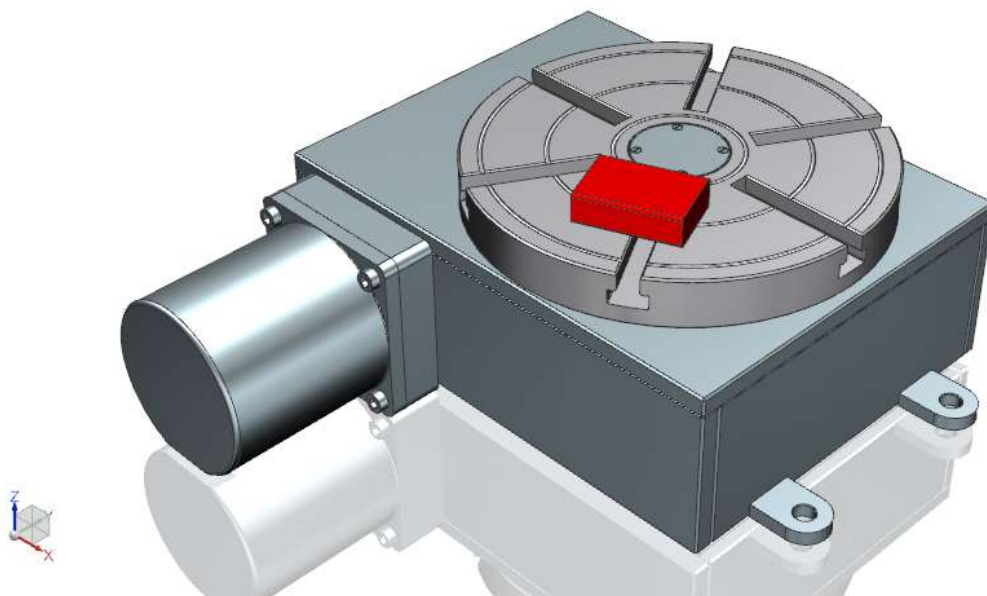
Na straně u výstupu hřídele k motoru je použito kuličkové jednořadé ložisko (6004-2Z), kterému je umožněn posuv v axiálním směru.



obr. 54-uložení šnekové hřídele (zdroj: vlastní)

## 5.4 Výsledná koncepce

Výsledkem práce je kompaktní otočný stůl. Výsledný výška stolu i s upínací otočnou deskou je 111 milimetrů. Rozsah pohybu obráběcího stroje v ose Z je 275 milimetrů, do stolu je tedy možné upnout obrobek o výšce okolo 150 milimetrů. Průměr otočné desky je 200 milimetrů, což je největší průměr, který bylo možné použít. Délka stolu je 260 milimetrů. Na obrázku (obr.55) můžete vidět porovnání velikosti stolu s velikostí krabičky od zápalek (červený hranolek).

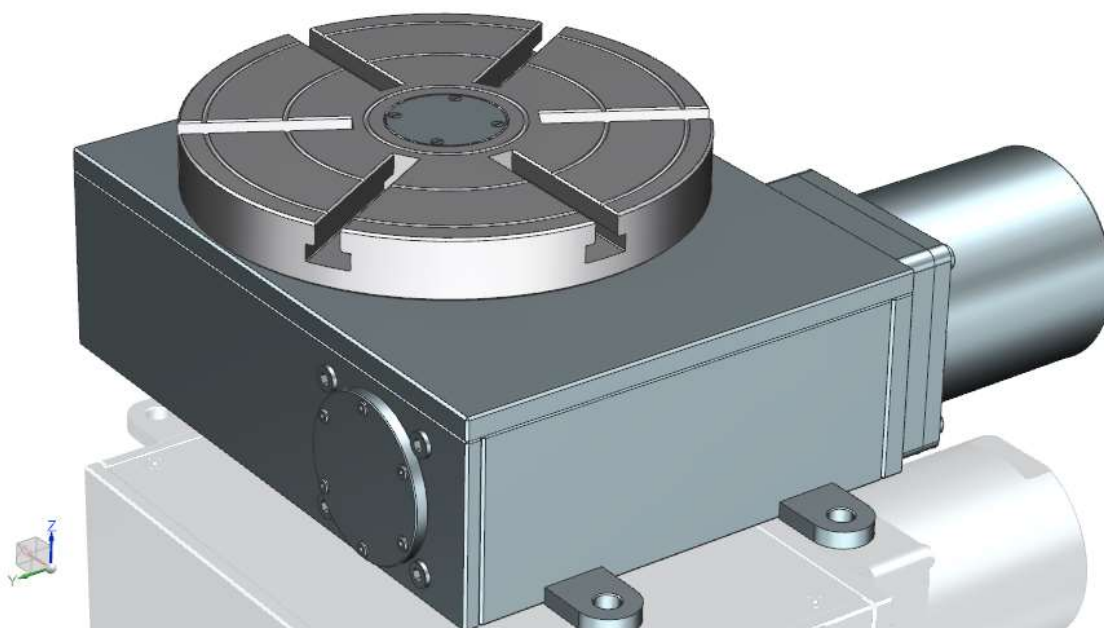


obr. 55 - otočný stůl- porovnání velikosti (zdroj: vlastní)

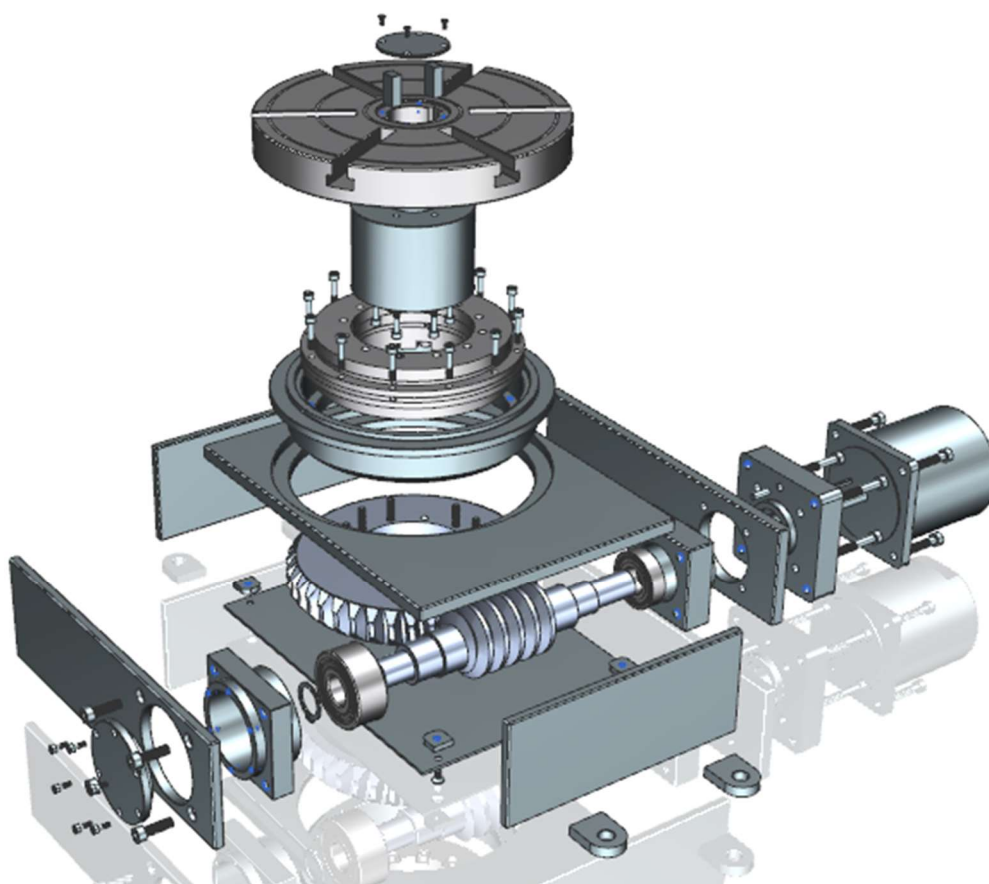
Rotace stolu dosahuje maximálně rychlosti  $45^\circ/\text{s}$ , a proto k mazání převodu bude použito tuhé mazivo a není nutné jeho speciální chlazení. Z tohoto důvodu nemuselo být použito těsnění výstupního hřídele.

Spodní krycí plech je uchycen pouze čtyřmi šrouby se zápusťnou hlavou. A jeho sundáním se tedy snadno dostaneme k vnitřnímu mechanismu stolu.

Všechny komponenty stolu lze poměrně snadno demontovat a po opotřebení měnit. Na obrázku (obr. 56) můžeme vidět konečný vzhled stolu a na dalším (obr. 57) můžeme vidět vnitřní strukturu na rozstřeleném pohledu.



obr. 56 – Otočný stůl-pohled (zdroj: vlastní)



obr. 57 - Otočný stůl - rozstřelená sestava (zdroj: vlastní)

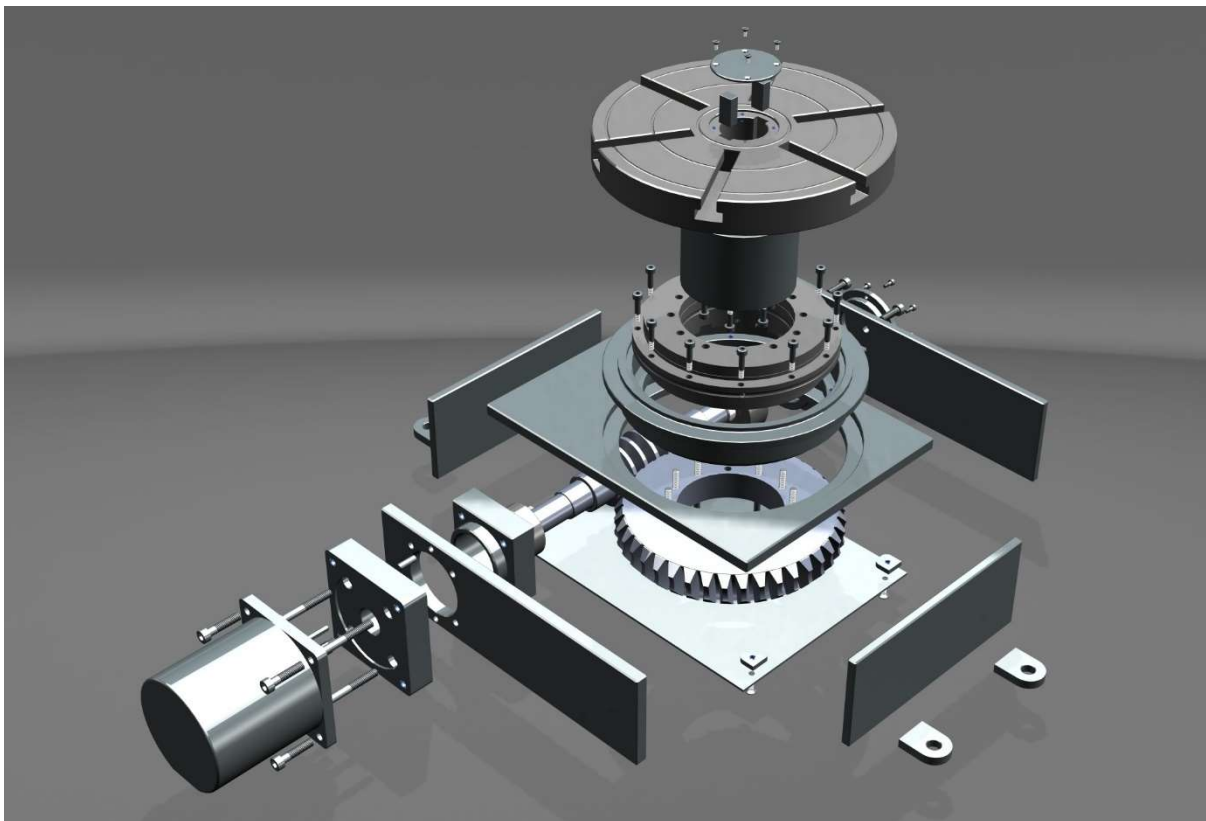


## 6. Závěr

Účelem této bakalářské práce bylo zpracování tematiky konstrukce otočného stolu. Práce je svým obsahem rozdělena do dvou částí.

V první části se zabýváme teoreticky funkcí a použitím otočného stolu. Důraz je kladen zejména na jednotlivé používané komponenty, pomocí kterých je dosahováno požadovaných vlastností stolu. Práce se zabývá typy používaných převodů, pohonů, pro jejichž volbu je nejdůležitější požadovaný moment, přesnost a případně přítomnost a typ systému odměřování. Dále se tato část zabývá právě používanými typy a principy odměřovacích systémů, možností brzdění stolu a tlumení vibrací.

Ve druhé, praktické části, se zabýváme vlastní konstrukcí otočného stolu. Jedná se o stůl pro použití spíše v domácím prostředí a je konstruován vzhledem k parametrům konkrétního stroje. Stůl je koncipován jako přídavné zařízení. V práci se zabýváme zejména volbou vhodného motoru, dimenzováním šnekového převodu se snahou o dosažení samosvornosti šneku, kontrolou šnekového hřídele a ložisek. Výsledkem práce je konstrukce malého otočného, který splňuje požadované parametry a dodrží dostupné zástavbové rozměry.



obr. 58 - Otočný stůl sestava - render

## 7. Seznam tabulek

TABULKA 1 – OPTIMUM BF 20 L VARIO [1] .....	24
---	----

## 8. Seznam obrázků

OBR. 1 - ŘÍZENÉ OSY (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	3
OBR. 2 - FRÉZKA OPTIMUM BF 20L VARIO [1] .....	3
OBR. 3 - DA VINCIHO PRINCIP SOUSTRUHU [3] .....	4
OBR. 4 - SPENCERŮV PATENT - AUTOMATIZAČNÍ SYSTÉM [4] .....	5
OBR. 5 - OTOČNÝ STŮL FIBROMAT [6] .....	6
OBR. 6 - OTOČNÝ STŮL S KARUSELOVOU FUNKCÍ [7] .....	6
OBR. 7 – OTOČNÝ STŮL S KOLÉBKOU – OPTIMILL [8] .....	7
OBR. 8 – MOMENTOVÝ MOTOR – STATOR A ROTOR [12] .....	8
OBR. 9 – MOMENTOVÝ MOTOR – ŘEZ [11] .....	8
OBR. 10 – OTOČNÝ STŮL SE ŠNEKOVÝM PŘEVODEM [14] .....	9
OBR. 11 - ŠNEKOVÝ PŘEVOD – VÁLCOVÝ ŠNEK/GLOBOIDNÍ KOLO .....	10
OBR. 12 - OTOČNÝ STŮL S OTT ŠNEKOVÝM PŘEVODEM [17] .....	10
OBR. 13 – SYSTÉM GLOBOIDNÍ VAČKY S ČEPY [18] .....	10
OBR. 14 – PŘEHLED ARGUMENTŮ PRO OTOČNÉ STOLY EXPERT-TÜNKERS [18] .....	11
OBR. 15 – REDEX MSDR PŘEVODOVKA [19] .....	11
OBR. 16 - MALTÉZSKÝ KŘÍŽ ZDROJ: VLASTNÍ .....	12
OBR. 17 – SCHÉMA INDUKTOSYNU [22] .....	13
OBR. 18 – PRINCIP OPTICKÉHO SNÍMAČE [24] .....	14
OBR. 19 – ODMĚŘOVACÍ SYSTÉM SIGNUM RESM [23] .....	14
OBR. 20 - MAGNETICKÝ MODULÁRNÍ SNÍMAČ HEIDENHAIN ERM 200 [26] .....	15
OBR. 21 - PRINCIP ROTOCLAMP [27] .....	15
OBR. 22 - PNEUMATICKÉ BRZDĚNÍ OTOČNÉHO STOLU [27] .....	15
OBR. 23 - HYDRAULICKÉ BRZDĚNÍ OTOČNÉHO STOLU [27] .....	16
OBR. 24 - JEDNOKOTOUČOVÁ ELEKTROMAGNETICKÁ BRZDA [28] .....	16
OBR. 25 - HIRTHOVO OZUBENÍ [29] .....	17
OBR. 26 - ASYNCHRONNÍ MOTOR S KOTVOU NAKRÁTKO [30] .....	17
OBR. 27 - MODELÁŘSKÉ SERVO HITEC HS-81 (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	18
OBR. 28 - PRINCIP ČINNOSTI KROKOVÉHO MOTORU [31] .....	18
OBR. 29 - KROKOVÝ MOTOR 57STH76-2804 S INTEGROVANÝM ENKODÉREM [37] .....	19
OBR. 30 - M415B – DRIVER PRO 2-FÁZOVÉ KROKOVÉ MOTORY [36] .....	19
OBR. 31- SCHÉMA TŘÍFÁZOVÉHO KROKOVÉHO MOTORU S PASIVNÍM ROTOREM [33] .....	20
OBR. 32 – KROKOVÝ MOTOR S AKTIVNÍM ROTOREM [35] .....	21
OBR. 33 - KONSTRUKCE DVOUFÁZOVÉHO HYBRIDNÍHO MOTORU [35] .....	21
OBR. 34 - MOMENTOVÉ ZVLNĚNÍ U 2, 3 A 5-FÁZOVÝCH HYBRIDNÍCH KROKOVÝCH MOTORŮ [33] .....	22
OBR. 35 - SYSTÉM TLUMENÍ SCHAEFFLER [39] .....	23
OBR. 36 - FRÉZKA OPTIMUM BF 20 L VARIO (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	24
OBR. 37 – KM HS 200 2231 0210 AX04 (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	27
OBR. 38 - PŘÍRUBA VEL. NEMA 23 (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	28
OBR. 39 – KM HN 200 3438 0430 [40] .....	29
OBR. 40 - PŘÍRUBA NEMA 34 (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	29
OBR. 41 - LOŽISKO YRT 80-TV (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	31
OBR. 42 - SÍLY V ROVINĚ ZY (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	39
OBR. 43 - SÍLY V ROVINĚ XY (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	40
OBR. 44 - MÍSTO KONTROLY ŠNEKOVÉ HŘÍDELE (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	41

OBR. 45 - HŘÍDEL NA VÝSTUPU (ZDROJ: VLASTNÍ).....	42
OBR. 46 - NÁKRES PERO (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	43
OBR. 47 – LOŽISKO 3304 A-2Z (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	44
OBR. 48 - LOŽISKO 6004-2Z (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	45
OBR. 49 - RÁM OTOČNÉHO STOLU (ZDROJ: VLASTNÍ).....	46
OBR. 50 - RÁM STOLU - ROZSTŘELENÁ SESTAVA (ZDROJ: VLASTNÍ).....	46
OBR. 51 - RÁM S ULOŽENÍM (ZDROJ: VLASTNÍ).....	47
OBR. 52 - OTOČNÁ ČÁST (ZDROJ: VLASTNÍ).....	47
OBR. 53 - OTOČNÁ ČÁST-ROZSTŘELENÁ SESTAVA (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	48
OBR. 54-ULOŽENÍ ŠNEKOVÉ HŘÍDELE (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	48
OBR. 55 - OTOČNÝ STŮL- POROVNÁNÍ VELIKOSTI (ZDROJ: VLASTNÍ).....	49
OBR. 56 – OTOČNÝ STŮL-POHLED (ZDROJ: VLASTNÍ) .....	50
OBR. 57 - OTOČNÝ STŮL - ROZSTŘELENÁ SESTAVA (ZDROJ: VLASTNÍ).....	50
OBR. 58 - OTOČNÝ STŮL SESTAVA - RENDER .....	51

## 9. Seznam příloh

### 9.1 Tištěné přílohy

Výkres sestavy otočného stolu

### 9.2 Elektronické přílohy na CD

Výkres sestavy otočného stolu

CAD modely součástí a sestavy ve formátu .prt (NX 10)

## 10. Zdroje:

- [1] Doležalová s.r.o.: *Prodej a servis nářadí (Optimum BF 20 L Vario)* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.narex-makita.cz/kovoobrabeci-stroje/frezy-na-kov/optimum-bf-20-l-vario/>
- [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] *Leonardo da Vinci Lathe design* [online]. [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://historicgames.com/lathes/treadle.html>
- [4] SPENCER, Christophee. *METAL SCREW MACHINE*. USA. US275431 A. Přihlášeno 26. srpen 1882. Uděleno 10. duben 1883. [online]. [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <https://www.google.ch/patents/US275431?hl=cs>
- [5] SULITKA, Matěj a Jan SOBOLA. *Otočný CNC stůl s karuselovací funkcí*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, (2012/12) [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/otocny-cnc-stul-s-karuselovaci-funkci.html>
- [6] DVOŘÁK, Luděk. *Dynamické a bezpečné polohování velkých břemen*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, (2012/1) [cit. 2016-02-25]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/dynamicke-a-bezpecne-polohovani-velkych-bremen.html>
- [7] ŠVAJKOVÁ, Vendula. *Multifunkční centra s otočnými stoly*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, (2011/9) [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/multifunkcni-centra-s-otocnymi-stoly.html>
- [8] PILART s.r.o.: *CNC obráběcí centrum OPTImill FU 5-600 HSC 12* [online]. Blansko: PILART s.r.o., 2013 [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: <http://www.pilart.cz/produkt/CNC-obrabeci-centrum-OPTImill-FU-5-600-HSC-12-698/>
- [9] *Prstencové motory*. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, **2012**(2012/12), 1 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prstencove-motory.html>
- [10] *Etel motion technology: Torque motors overview*. *Etel motion technology* [online]. Headquarters Switzerland: © ETEL S.A., 2016 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.etel.ch/torque-motors/overview/>
- [11] *Etel motion technology: What is a torque motor*. *Etel motion technology* [online]. Headquarters Switzerland: © ETEL S.A., 2016 [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <http://www.etel.ch/torque-motors/direct-drive/>
- [12] *Katalog torque motorů TGQ: Momentové motory (vestavné provedení)* [online]. TG Drives, 2015, **2015**(03/2015) [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: [http://www.tgdrives.cz/fileadmin/user\\_upload/download/TG\\_Drives\\_2014\\_Katalog\\_TGQ\\_CZ.pdf](http://www.tgdrives.cz/fileadmin/user_upload/download/TG_Drives_2014_Katalog_TGQ_CZ.pdf)

- [13] *Mitcalc: Šnekové soukolí* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z:  
<http://www.mitcalc.com/doc/gear4/help/cz/gear4txt.htm>
- [14] *Sherline products: 4" Rotary Table, P/N 3700* [online]. Sherline Products Inc., 2000 [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.sherline.com/3700pg.htm>
- [15] *OTT-gears: OTT worm gears* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: <http://www.ott-gears.com/worm-gears/ott-worm-gears.html>
- [16] *SMP Technik: Des couples résolutement modernes* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z:  
<http://www.smp.fr/index.php/nos-produits/couples-roue-et-vis>
- [17] *MATSUMOTO MACHINE CO.,LTD.: Big bore NC rotary table* [online]. [cit. 2016-03-12]. Dostupné z: [http://www.mmkchuck.com/english/product/table\\_point.html](http://www.mmkchuck.com/english/product/table_point.html)
- [18] *Krátký pracovní takt a polohování* [online]. EXPERT-TÜNKERS [cit. 2016-03-13]. Dostupné z:  
[http://www.tuenkers.sk/pdf/expert\\_katalog\\_taktovanie\\_a\\_polohovanie.pdf?navid=10](http://www.tuenkers.sk/pdf/expert_katalog_taktovanie_a_polohovanie.pdf?navid=10)
- [19] KOTROUŠOVÁ, Radka. Pohony pro obráběcí stroje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, **2011**(12) [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pohony-pro-obrabeci-stroje-4841.html>
- [20] Snímače polohy pro výrobní stroje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/snimace-polohy-pro-vyrobní-stroje.html>
- [21] Doc. Ing. Josef JENČÍK, CSC, a Doc. Ing. Jaromír VOLF, CSC. *Technická měření*. První vydání. Vydavatelství ČVUT, Žitná 4, 166 36 Praha 6: Vydavatelství ČVUT, 2000.
- [22] *Senzory a převodníky: skripta*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, s. 135. ISBN 80-01-03123-3.
- [23] VLČEK, Jan. Nová generace snímačů polohy. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003, **2003**(3), 36 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nova-generace-snimacu-polohy.html>
- [24] RGH20 incremental encoder with RESR rotary (angle) ring: How it works. *RENISHAW: apply innovation*[online]. Renishaw plc., 2016 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z:  
<http://www.renishaw.com/en/resr-rotary-angle-encoder-system--6453>
- [25] VLČEK, Jan. Magnetické a optické snímače polohy. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, **2007**(3) [cit. 2016-03-26]. Dostupné z:  
<http://www.mmspektrum.com/clanek/magneticke-a-opticke-snimace-polohy.html>
- [26] *HEIDENHAIN: ERM 200 Series* [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z:  
[http://www.heidenhain.cz/cs\\_CZ/produkty-a-pouziti/uhlove-snimace/magneticke-modularni-snimace/erm-200-series/](http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/uhlove-snimace/magneticke-modularni-snimace/erm-200-series/)

- [27] HEMA: Clamping and Braking systems. In: *HEMA Maschinen- und Apparateschutz GmbH* [online]. Seligenstadt, 2014 [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: [http://www.hema-group.com/fileadmin/user\\_upload/\\_imported/fileadmin/Download/Kataloge/HEMA\\_Clamping\\_Systems\\_2014\\_EN\\_ov\\_2\\_2014.pdf](http://www.hema-group.com/fileadmin/user_upload/_imported/fileadmin/Download/Kataloge/HEMA_Clamping_Systems_2014_EN_ov_2_2014.pdf)
- [28] Electromagnetic brake. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_brake](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_brake)
- [29] *Hirth Couplings on Customers' Components: Technical information* [online]. Voith [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.voith.com/en/products-services/power-transmission/hirth-couplings/hirth-couplings-on-customers-components-46564.html>
- [30] *Odborná terminologie v cizích jazycích pro žáky SŠ: 2.2 Asynchronní stroje 2.2 Asynchronous Machines*[online]. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://vyuka.odbornaterminologie.cz/anglicky-jazyk/2-2-asynchronni-stroje-en>
- [31] MyLMS. *MyLMS: krokový motor - princip* [online]. © LMS Software, 2016 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: <http://www.mylms.cz/text-krokovy-motor-princip/>
- [32] Krokový motor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2016 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Krokov%C3%BD\\_motor](https://cs.wikipedia.org/wiki/Krokov%C3%BD_motor)
- [33] Princip - Krokový motor. *Pohonnatechnika.cz* [online]. © Pohonnatechnika.cz, 2016 [cit. 2016-03-06]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/krokovy-motor>
- [34] *Pohony s krokovými motorky: studijní materiál* [online]. [cit. 2016-04-29]. Dostupné z: [http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/se/cast\\_C\\_el\\_pohony/se\\_eph\\_c1\\_krokac\\_02\\_theorie.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/se/cast_C_el_pohony/se_eph_c1_krokac_02_theorie.pdf)
- [35] *Servo-drive s.r.o.: Speciální krokové motory na míru* [online]. [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: [http://www.servo-drive.cz/specialni\\_krokovy\\_motory\\_krokovy\\_motory\\_na\\_miru.php](http://www.servo-drive.cz/specialni_krokovy_motory_krokovy_motory_na_miru.php)
- [36] Drivery pro KM 2f. *CNCshop* [online]. 2010 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/m415b-driver-pro-krokovy-motory-40v-1-5a>
- [37] Krokový motor 57STH76-2804 s integrovaným enkodérem. *4ISP REL CUT* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <https://cnc.inshop.cz/krokovy-motory-drivery/krokovy-motor-57sth76-2804-s-integrovanym-encoderem>
- [38] PISKAČ, Luděk. *Elektrické pohony: Principy a funkce*. 2. upravené vydání. Západočeská univerzita v Plzni Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, 2008.
- [39] Inovace pro zvýšení výkonu, kvality a účinnosti. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, 2008(9), s. 100 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/inovace-pro-zvyseni-vykonu-kvality-a-ucinnosti.html>

- [40] *Raveo e-shop: Krokový motor - NEMA34 – 4,8 Nm* [online]. Otrokovice: RAVEO s.r.o. [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.motory-prevodovky.cz/elektromotory/krokove-elektromotory/krokovy-motor-nema34-4-8-nm-detail>
- [41] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi*. Praha: Scientia, 2007. ISBN 978-80-86960-20-3.
- [42] FIALA, Jaromír, Pavel SVOBODA a Karel ŠŤASTNÝ. *Strojnické tabulky 3*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-030-0151-X.
- [43] KRÁTKÝ, Jaroslav, Eva KRÓNEROVÁ a Stanislav HOSNEDL. *Obecné strojní části 2: základní a složené převodové mechanismy*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2011. ISBN 978-80-261-0093-5.
- [44] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). *Konstruování strojních součástí*. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTIUUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.