



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A  
ROBOTIKY**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

## **KONSTRUKCE PORTÁLOVÉ FRÉZKY**

DESIGN OF GANTRY-TYPE MILLING MACHINE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. MICHAELA MIKULOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.**

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Michaela Mikulová

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Konstrukce portálové frézky**

v anglickém jazyce:

### **Design of gantry-type milling machine**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši v oblasti portálových frézek. Na základě rešerše zvolí technické parametry konstruovaného stroje. Provede potřebné konstrukční výpočty a vypracuje 3D model stroje.

Součástí diplomové práce bude výkresová dokumentace stroje a v elektronické příloze 3D model stroje a prezentační poster.

Cíle diplomové práce:

Rešerše v oblasti portálových frézek

Konstrukční návrh portálové frézky

Výkresová dokumentace stroje

3D model konstruovaného stroje (elektronická příloha)

Poster s hlavními výsledky diplomové práce (elektronická příloha)

Seznam odborné literatury:

Marek, J.; Konstrukce CNC obráběcích strojů, ISSN 1212-2572

Borský, V.; Obráběcí stroje, ISBN 80-214-0470-1

Borský, V.; Základy stavby obráběcích strojů, VUT Brno

[www.infozdroje.cz](http://www.infozdroje.cz)

[www.mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com)

[www stránky výrobců obráběcích strojů](http://www.stranky.vyrobcu-obrabecich-strojů)

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.11.2010

L.S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá portálovými frézky. Nejprve je provedeno rozdělení frézek dle konstrukce. Následně jsou popsány základní části frézky typu horní gantry, která bude navržena ve výpočtové části diplomové práce. Ve výpočtové části je proveden výpočet řezné síly, výpočet potřebného momentu pohonu vřeten a posuvového šroubu pro osy x, y, z, návrh řemenového převodu mezi vřetenem a pohonem. Dále byl sestaven model této portálové frézky a vytvořena výkresová dokumentace některých jejích částí.

## **ABSTRACT**

This master's thesis deals with gantry – type milling machines. At first gantry – type milling machines are divided according to their structure. Then basic parts of an upper gantry – type milling machine are described. This machine is designed in a calculation part of this thesis. A calculation of a cutting force, a calculation of a needed moment of a drive of a spindle and a feed screw for axis x, y, z, a design of a belt drive between the spindle and the drive are done in the calculation part. Then the model of this upper gantry – type milling machines is made. Drawings are created for some parts of this machine.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Portálová frézka, výpočet pohonu, výpočet řezné síly

## **KEYWORDS**

Gantry – type milling machine, calculation of drive, calculation of cutting force

MIKULOVÁ, M. *Konstrukce portálové frézky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 101 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D..

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího diplomové práce a děkana FSI VUT v Brně.

V Brně 27.5. 2011

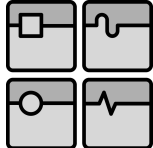
Michaela Mikulová

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji svému vedoucímu práce doc. Ing. Petru Blechovi, Ph. D. za jeho odborné vedení a podnětné připomínky.

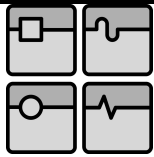
## Obsah

1. Úvod	2
2. Definice a charakteristika portálových frézek	3
3. Stavba portálové frézky	5
3.1 Významné části portálové frézky typu horní gantry	6
4. Technologie frézování	7
4.1 Způsoby frézování	7
4.2 Nástroje pro frézování – frézy	7
5. Cíle práce	10
6. Technologický výpočet aneb určení řezné síly	11
6.1 Kinematická studie	11
6.2 Řezné podmínky	11
6.3 Otáčky nástroje	12
6.3.1 Hrubování	12
6.3.2 Dokončování	13
6.4 Řezná síla	13
6.4.1 Frézování čelní frézou – hrubování	14
6.4.2 Frézování čelní frézou – dokončování	17
6.5 Určení kroutícího momentu	19
7. Výběr vhodného motoru	20
8. Výpočet řemene a řemenic	21
9. Návrh vřeteníku	24
10. Výpočet pohonu v ose z	36
11. Výpočet pohonu v ose y	55
12. Výpočet pohonu v ose x	73
13. Model portálové frézky	92
14. Závěr	94
15. Použitá literatura	95
16. Použité symboly	97
17. Příloha	101

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 2
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

## 1. Úvod

Existuje mnoho obráběcích strojů, které slouží k úpravě polotovaru a k tvorbě výrobků pro použití v průmyslu i v běžném životě. Jedním z nich jsou i portálové frézky, které se většinou používají pro obrábění rozměrnějších odlitků, či svarků. Jejich nevýhodou je velká zástavbová náročnost. Rozlišujeme tři typy portálových frézek – horní gántry, spodní gántry a s posuvným stolem. Prvně jmenovanou se bude zabývat tato práce.



## 2. Definice a charakteristika portálových frézek

Frézky jsou obráběcí stroje, které slouží k výrobě rovinných a tvarových ploch, např. závitů, drážky, ...

Do kategorie frézek zahrnujeme velké množství strojů, které se liší svoji stavbou, účelem použití, ... Jedním z nich jsou portálové frézky.



Obr. 2.1 Portálová frézka [1]

Své označení si vysloužili kvůli svojí konstrukci. Základním prvkem je portál, který je složený ze dvou stojanů spojených nahoře příčnicí. Dalším stavebním prvkem je stůl, který má pevnou výšku, což portálové frézky řadí mezi frézky stolové. Někdy můžeme portálové frézky považovat za obráběcí centra, protože umožňují více technologických operací. [2]



Obr. 2.2 Pětiosé obráběcí centrum [3]

Jedná se hlavně o frézování a vrtání. Jelikož frézování je natolik specifický způsob obrábění, tak si tyto stroje ponechávají označení frézky, nikoliv obráběcí centra. [2]

Portálové frézky jsou obvykle určeny na výrobu skříňovitých obrobků, nebo velkých rovinných ploch. Nejčastěji jsou používány v leteckém a automobilním průmyslu. [2,4]  
 U portálových frézek můžeme dle konstrukce rozlišit celkem tři typy:

- portálová frézka typu horní gantry
- portálová frézka typu spodní gantry
- portálová frézka s posuvným stolem



Obr. 2.3 Portálová frézka typu horní (vlevo) a spodní (vpravo) gantry [5,6]

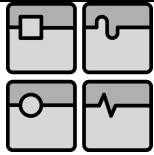


Obr. 1.4 Portálová frézka s posuvným stolem [7]

Pro **portálové frézky typu spodní gantry** je typickým znakem pevný stůl a pojezd celého portálu, tzn. pohyb stojanů s pevný příčnickem. Využívá se hlavně pro výrobu složitých tvarů forem, lisovacích nástrojů, zápustek, či tvarově složitých obrobků, které se musí obrábět pomocí tří až pěti souvisle řízených os. Vlivem, posuvného portálu se snižuje zastavěná plocha stroje. Pevný stůl s definovanou výškou umožňuje upnout těžké i rozměrné obrobky a zajišťuje stabilní dynamické poměry, a tak i kvalitu obráběcího povrchu. [2]

**Portálové frézky typu horní gantry** mají obdobné charakteristiky jako varianta se spodním gantry. Odlišují se pouze způsobem pohybu portálu. V tomto případě nepojíždí celý potál, ale jeho konstrukce je upravena tak, že příčnick, který nese polohovací zařízení vřetenové hlavy, pojíždí na vysokých ložích zdí. [2]

Posledním typem je **portálová frézka s pohyblivým stolem**. Jejím typickými znaky jsou pevný portál a pohyblivý stůl, který zajišťuje posuv ve směru osy x. Používá se k obrábění lehkých, menších obrobků. Příčka je obvykle pevná. Vyznačují se také snadnějším řízením, protože je nutné zajistit pouze posuv stolu, nikoliv dvou stojanů současně. Je to nejpřesnější varianta. [2]



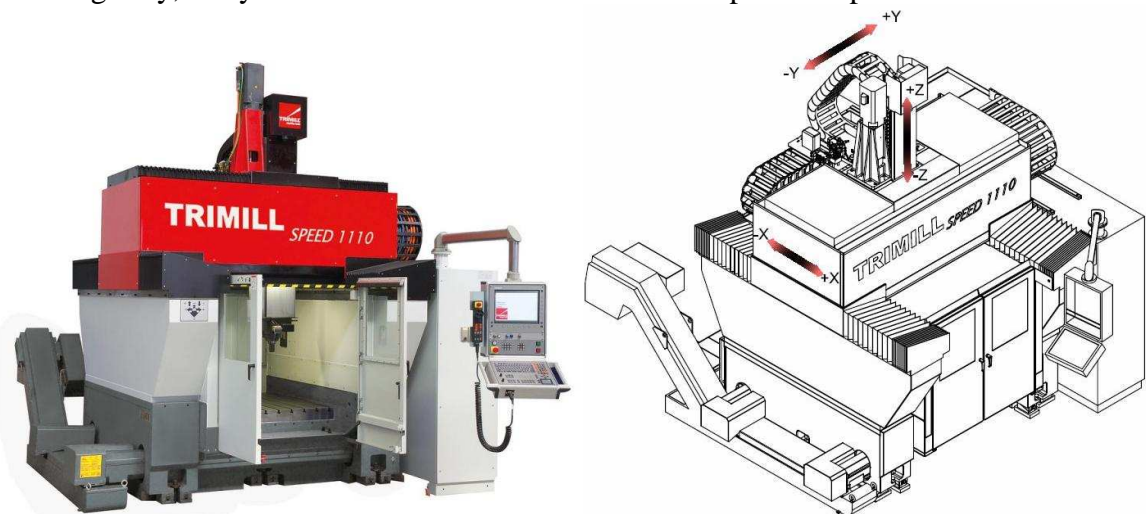
Zvláštní typ portálové frézky je s využitím paralelní kinematiky.



Obr. 2.5 Hybridní konstrukce portálové frézky s využitím paralelní kinematiky [8]  
Portálové frézky jsou většinou stavebnicové, tzn. možnost kombinovat jednotlivé části (vřeteník, stůl, stojan,...) dle přání zákazníka. [2]

### 3. Stavba portálové frézky

V této kapitole se zaměřím na detailnější popis konstrukce portálové frézky. Bude se jednat o typ horní gantry, který budu řešit i v konstrukční části této diplomové práce.



Obr. 3.1 Portálové frézky typu horní gantry [9]

Veškeré pohyby už nejsou ovládány ručně, ale pomocí PLC, což vede k umístění převážně lineárního odměřování jako zpětné vazby. Lineární je použito kvůli velikosti stroje (hlavně osy x, y, z). Snímací odměřovací hlava je chráněna v tzv. domečku před nečistotami. Pro rotační pohyb se používá inkrementální rotační odměřování. [2]

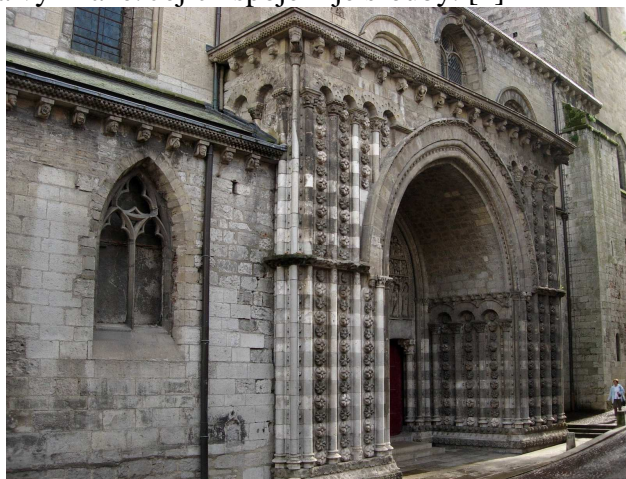
Třísky jsou odváděny pomocí článkových dopravníků v kombinaci se dvěma vynášecíma šneky pro dopravu třísky mimo místo řezu. [10]

Nádrž na chladicí kapalinu je umístěna v základu stroje. Kapalina je z ní čerpána a po filtraci sem opět navracena. [2]

### 3.1 Významné části portálové frézky typu horní gantry

#### Portál

Jak již bylo zmíněno, skládá se ze dvou vysokých loží a příčnicku, který je pohyblivý. Své označení získal vlivem podobnosti s vchody do katedrál-portálů. Jeho hlavní funkce je nosná. Jsou na něm připevněny saně, motory pro pohon saní, vodící plochy saní, hydroagregát pro dodávání chladicí a mazací kapaliny. Vlivem toho musí mít vysokou tuhost. Jednotlivé lože a příčník jsou odlévané a vyžíhané. Jejich spojení je šrouby. [2]



Obr. 3.2 Portál katedrály St. Etienne [11]

#### Příčník

Jedná se opět o odlitek se dvěma vodícíma plochama, jednou pro pohyb na vysokých ložích (směr osy x) a druhou pro pohyb saní příčnicku (směr osy y). Pro pohyb je vždy využíván zvláštní servomotor pro každé lože. Saně jezdí po kombinovaném vedení, které je složeno z valivé a kluzné části. To je krytováno. [2]

#### Saně příčnicku

Umožňují pohyb vřeteníku v ose Y. Na nich se pohybuje smýkadlo ve směru osy z, které nese vřeteník. To zlepšuje polohování nástroje. Saně mohou nést jeden až dva vřeteníky. Čím více má stroj vřeteníků, tím více může obrábět součástí naráz. Další způsob využití je při výměně nástrojů. Jeden vřeteník obrábí, na druhém je prováděna výměna nástroje. [2,4]

#### Smýkadlo vřeteníku

Posouvá se po kluzném vedení. Smýkadlo je nositelem vřeteníku a jeho pohonu, který zajišťuje rotační pohyb vřeteníku. [2]

Smýkadlo a saně jsou poháněny pomocí servomotorů, které roztáčejí příslušné kuličkové šrouby. [2]

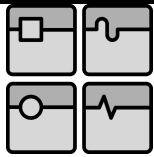
#### Vřeteník

Slouží k upnutí rezného nástroje – frézy, nebo frézovací hlavy. Je mnoho způsobů upínání. Nejčastěji se používá upnutí skrze talířové pružiny, ovládané hydraulicky. Vřeteník je někdy užíván v provedení elektrovřetená. [2,20]

#### Stůl

Je pevný. Je opatřený tzv. T – drážkami pro upnutí obrobku. [2]

#### Krytování



Většinou se jedná o teleskopické kryty se stěrači pro pohyblivé části a pevné plechové krytování pro nepohyblivé. [2]

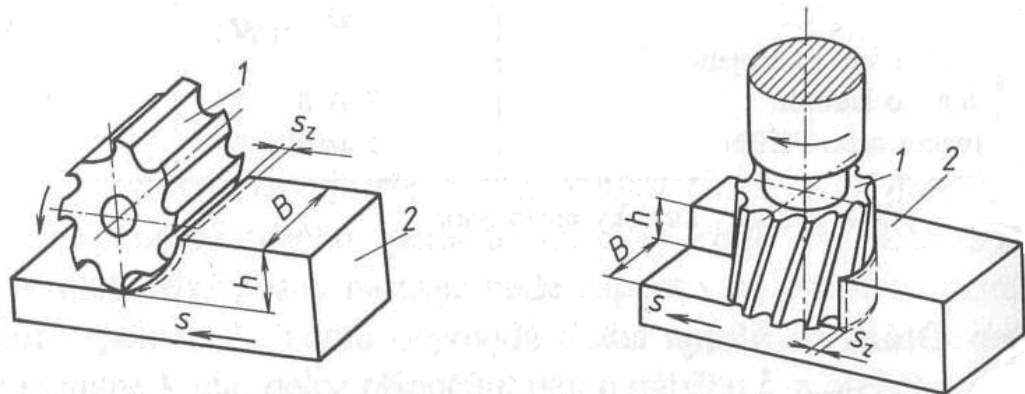
#### System automatické výměny nástrojů

Plně závisí na požadavcích zákazníka. Je možné použít robot k výměně nástroje, či výměnu provést pomocí manipulátoru. Při výměně nástroje je ofukována dutina vřeteníku a stopka nástroje stlačeným vzduchem k odstranění nečistot.

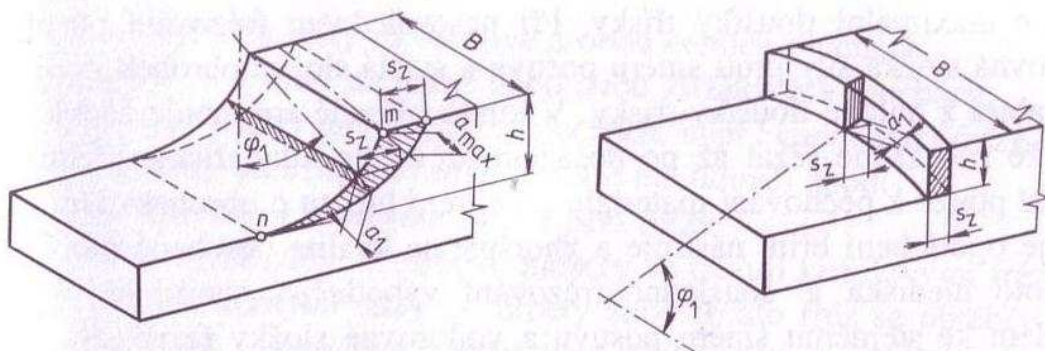
## 4. Technologie frézování

### 4.1 Způsoby frézování

„Frézovat je možné dvěma způsoby dle typu nástroje. Jedná se o *frézování obvodem válcové frézy*, kdy se řeže zuby umístěnými na obvodu frézy. Hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a směr posuvu. Dalším typem je frézování *čelem čelních fréz*, které obrábí pomocí zubů na čele a obvodě frézy. Fréza zde pracuje sousledně a současně i nesousledně.“ [12]



Obr. 4.1 Frézování válcové a čelní [12]



Obr. 4.2 Průřez třísky při válcovém a čelním frézování [12]

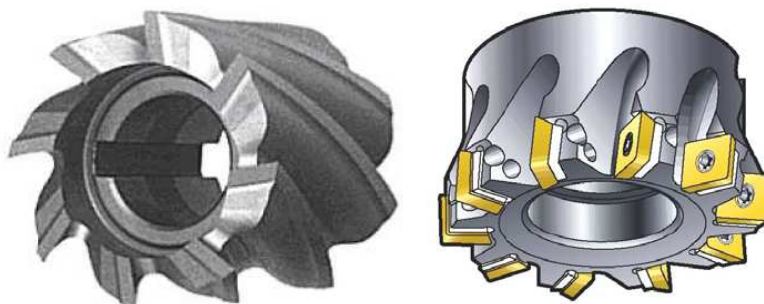
### 4.2 Nástroje pro frézování – frézy

Existuje několik typů fréz. Kompaktní frézy s břity přímo na stopce, které jsou celistvé.



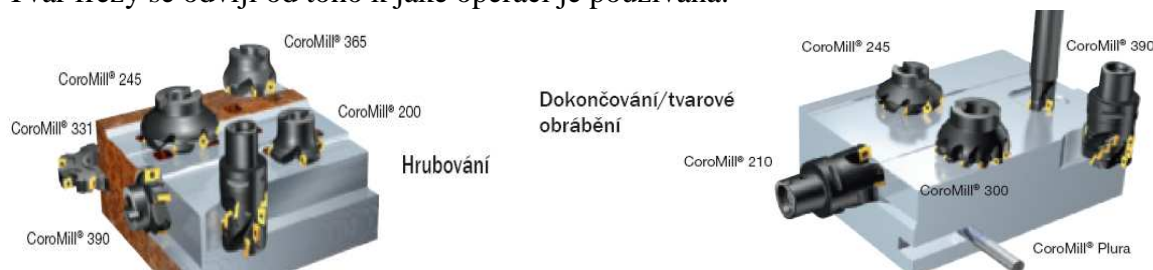
Obr. 4.3 Monolitní fréza [13]

Dalším typem jsou frézy složené z více částí – buď z břitových destiček a jejich držáku, či ze stopky a části s břity, která představuje frézu.



Obr. 4.4 Frézy složené z více částí – fréza s výměnnými břitovými destičkami (vpravo) a nástrčná monolitní fréza (vlevo) [13]

Tvar frézy se odvíjí od toho k jaké operaci je používána.



Obr. 4.5 Různé tvary fréz dle požadované obráběcí operace [14]

### Upínání nástroje

Upnutí nástroje musí zajistit nástroj před pootočením, či vysunutím z upínacího pouzdra. Existuje několik způsobů:

Pomocí svěrných pouzder, či hydraulických upínacích pouzder

Jejich upínací síla je omezena a někdy nedostačující

Pomocí upínacích šroubů

Zajišťují tuhé upnutí pro libovolně velké točivé momenty. Nevýhodou je větší házivost a nepřesnost upnutí, což snižuje trvanlivost břitu nástroje.

Pomocí safelock

Jedná se o kombinovaný způsob upínání. Slučuje výhody svěrného a tvarového upnutí. Stopka nástroje je upravena vyrobením šroubové drážky. Upínací pouzdro obsahuje unášecí kameny tvaru kuličky, či čepu. Upínací pouzdro se zahřeje a nástroj se zašroubuje dovnitř. Unášecí kameny zapdnou do drážek.

Pružinou je zaručena vůle i poloha nástroje. [15]

Nástroj může být těmito způsoby upnut přímo do vřeten, nebo to do tzv. vřetenové hlavy, která nese několik nástrojů najednou.

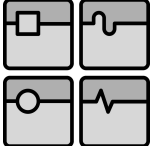
### Materiály nástrojů

Důležitý je také materiál, z kterého je vyrobena řezná část nástroje, protože ovlivňuje velikost řezné rychlosti. Materiál nástroje je také závislý na materiálu, který je obráběn.

Používané materiály nástrojů:

#### **nástrojové oceli**

Nejstarší používaný materiál. Jejich vlastnosti lze zlepšit přidáním legur. Nevýhodou je nízká řezná rychlost 15 - 25 m/min, která je pro obrábění neefektivní. [16]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 9
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Zvláštní výjimkou jsou rychlořezné nástrojové oceli. Dle názvu by měly dosahovat velkých řezných rychlostí, ale jejich maximum je 50 m/min, což je už nedostačující. [16]

#### **slinuté karbidy**

Nositelům řezných vlastností jsou karbidy, proto byl vyvinut materiál slinutý karbid. Jedná se o spojení karbidů pomocí pojiva. Vlastnosti tohoto materiálu jsou ovlivněny složením pojiva, typem karbidu i povlakem vytvořeným na povrchu nástroje. Řezná rychlost se pohybuje v rozmezí 150 – 500 m/min. [16]

#### **řezná keramika**

Rozlišujeme dva typy složení keramiky. Základem oxidické keramiky je  $Al_2O_3$ . Dosahuje řezné rychlosti 300 – 700 m/min. Neoxidická keramika je tvořena sloučeninou  $Si_3N_4$ . Řezná rychlost se pohybuje v rozmezí 300 – 1000 m/min. Většinou se používá na obrábění litiny. [16]

#### **supertvrdé materiály – polykrystalický diamant, polykubický nitrid bóru**





##### polykrystalický diamant

Jedná se o diamant vyrobený uměle. Přírodní se vlivem vysoké ceny k obrábění nehodí. Většinou se používají na obrábění neželezných kovů a slitin, protože jsou afinní k železu. Řezná rychlost se pohybuje okolo 500 m/min. [16,17]

##### polykubický nitrid bóru

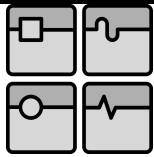
Tato sloučenina se v přírodě nevyskytuje. Používá se na opracování litiny a vysoce tvrdých materiálů. Lze dosáhnout řezné rychlosti 400 – 1200 m/min. [16]

Pro tuto portálovou frézku volím nástroje složené z výměnných břitových destiček a jejich držáku. Důvodem je možnost výměny destiček při jejich opotřebení. Výměnné břitové destičky budou vyrobeny ze slinutého karbidu pro obrábění ocelí.

		Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 10
		DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 5. Cíle práce

Cílem této práce je navržení portálové frézky typu horní gantry. Bude proveden výpočet řezných sil, potřebného momentu pro určení pohonu včetně a posuvového šroubu, výpočet vedení. Dále bude vytvořen 3D model a zpracována výkresová dokumentace.



## 6. Technologický výpočet aneb určení řezných rychlostí a sil

### 6.1 Kinematická studie

Portálová frézka se používá na hrubovací i dokončovací operace pro velké odlitky, formy na odlévání, ... Konstruovaný stroj bude obrábět obrobek pouze horní část (čelní fréza). Pro hrubování je typický velký úběr materiálu a malé řezné rychlosti. Pro dokončovací operace jsou charakteristické velké řezné rychlosti a malý úběr materiálu. V dnešní době se při hrubování klade důraz na co největší úběr materiálu v co nejkratším možném čase bez ohledu na přesnost. Ta bude docílena během dokončovací operace.

Nejprve se zaměříme na technologii frézování a z toho plynoucí parametry – řezná síla a řezná rychlost.

### 6.2 Řezné podmínky

Jako nástroj volím čelní frézu složenou z držáku a břitových destiček. Břítové destičky budou vyrobeny ze slinutého karbidu vhodného pro frézování oceli. Označení karbidu je P dle firmy Sandvik Coromant. Dle katalogu Corokey 2010 od této firmy [14] jsme určili následné základní řezné podmínky.

Pro dokončování:

$$f_z = 0,12 \text{ mm} \quad v_c = 360 \text{ m/min}$$

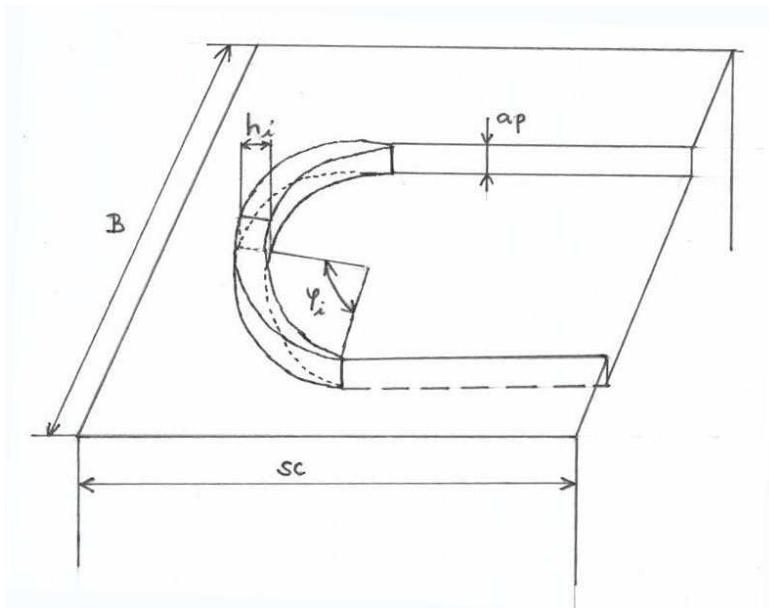
Pro hrubování

$$f_z = 0,45 \text{ mm} \quad v_c = 205 \text{ m/min}$$

#### Ověření řezných podmínek

Nyní ověříme, zda takto zvolené vstupní hodnoty vyhovují podmínce o maximálním objemu ubraného materiálu při hrubování pro jeden typ nástroje (fréza o průměru  $D_{100} = 100 \text{ mm}$ , počtu zubů frézy  $z = 10$ ).

Hrubování čelní frézou



Obr.6.1 Průřez třísky při frézování čelní frézou

vstupní hodnoty

$$f_z = 0,15 \text{ mm} \quad z = 8 \quad v_c = 185 \text{ m/min} \quad D_{100} = 100 \text{ mm} \quad t = 1 \text{ min}$$

$$a_p = 10 \text{ mm} \quad B = 98 \text{ mm}$$

posuvová rychlost

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n = f_z \cdot z \cdot \frac{1000 \cdot v_c}{D_{100} \cdot \pi} = 0,15 \cdot 8 \cdot \frac{1000 \cdot 185}{100 \cdot \pi} = 706,648 \text{ mm/min}$$

ujetá dráha za hodinu

$$s_c = v_f \cdot t = 706,648 \cdot 1 = 706,648 \text{ mm}$$

objem odebraného materiálu za hodinu

$$V = s_c \cdot B \cdot a_p = 706,648 \cdot 98 \cdot 10 = 692514,988 \text{ mm}^3 = 0,69 \text{ dm}^3$$

Vypočtený objem odebraného materiálu za minutu je dostatečný. Navíc odpovídá trendu maximálního úběru v nejkratším čase.

### 6.3 Otáčky nástroje

Průměr nástroje d v mm

čelní fréza pro hrubování

čelní fréza pro dokončování

d1=	20 mm	d7=	20 mm
d2=	30 mm	d8=	30 mm
d3=	40 mm	d9=	40 mm
d4=	50 mm	d10=	50 mm
d5=	63 mm	d11=	63 mm
d6=	80 mm	d12=	80 mm

#### 6.3.1 Hrubování

Řezná rychlost  $v_{cH}$  v m/min je volena dle doporučení v katalogu CoroKey 2010. [14]

$$v_{cH}(d1-d6) = 175 \text{ m/min}$$

Otáčky  $n_H$  v  $\text{min}^{-1}$

$$n_H = 1000 \cdot v_{cH} / (d \cdot \pi)$$

vzorový výpočet pro  $d = 40 \text{ mm}$

$$n_H = 1000 \cdot 175 / (40 \cdot \pi) \text{ min}^{-1}$$

hodnoty otáček  $n_H$

$$n_H(d1) = 2785,212 \text{ min}^{-1}$$

$$n_H(d2) = 1856,808 \text{ min}^{-1}$$

$$n_H(d3) = 1392,606 \text{ min}^{-1}$$

$$n_H(d4) = 1114,085 \text{ min}^{-1}$$

$$n_H(d5) = 884,1941 \text{ min}^{-1}$$

$$n_H(d6) = 696,3029 \text{ min}^{-1}$$

### 6.3.2 Dokončování

Řezná rychlost  $v_{cD}$  v m/min je volena dle katalogu CoroKey 2010. [14]

$$v_{cD}(d7-d12)= 300 \text{ m/min}$$

Otáčky  $n_D$  v  $\text{min}^{-1}$

$$n_D=1000*v_{cD}/(d*\pi)$$

vzorový výpočet pro  $d=50 \text{ mm}$

$$n_D=300*1000/(50*\pi) \text{ min}^{-1}$$

hodnoty otáček  $n_D$

$$n_D(d7)= 4774,648 \text{ min}^{-1}$$

$$n_D(d8)= 3183,099 \text{ min}^{-1}$$

$$n_D(d9)= 2387,324 \text{ min}^{-1}$$

$$n_D(d10)= 1909,859 \text{ min}^{-1}$$

$$n_D(d11)= 1515,761 \text{ min}^{-1}$$

$$n_D(d12)= 1193,662 \text{ min}^{-1}$$

### 6.4 Řezná síla

Dle Teorie obrábění, tváření a nástroje [16] str. 147 určíme koeficienty pro výpočet řezné síly (řezný nástroj bude slinitý karbid typu P a obráběný materiál ocel na odlitky).

$$m_c= 0,25$$

$$k_{c1}= 2100 \text{ Mpa}$$

Dle příručky Corokey 2010 [14] od firmy Sandvik Coroman jsme určili následující posuvy na zub.

Pro dokončování:

$$f_{zD}= 0,12 \text{ mm}$$

Pro hrubování

$$f_{zHc}= 0,45 \text{ mm}$$

Počet zubů frézy  $z$

Pro hrubování

$$z(d1)= 4 \qquad z(d4)= 4$$

$$z(d2)= 4 \qquad z(d5)= 5$$

$$z(d3)= 4 \qquad z(d6)= 5$$

Pro dokončování

$$z(d7)= 4 \qquad z(d10)= 5$$

$$z(d8)= 4 \qquad z(d11)= 6$$

$$z(d9)= 4 \qquad z(d12)= 8$$

Úhel nastavení ostří  $\kappa$

$$\kappa(d1,d2,d7-9) = 1,570796 \text{ rad}$$

$$\kappa(d3-d6,d10-12) = 0,785398 \text{ rad}$$

### 6.4.1 Frézování čelní frézou - hrubování

Jedná se o frézování do plného materiálu.

Počet zubů v záběru

	$n = (z \cdot 180^\circ) / 360^\circ$	
	vzorový výpočet pro $z = 4$	
	$n = (4 \cdot 180^\circ) / 360^\circ$	zaokrouhlení
n(d1)=	2	2
n(d2)=	2	2
n(d3)=	2	2
n(d4)=	2	2
n(d5)=	2,5	3
n(d6)=	2,5	3

Úhel mezi zuby v radiánech

$$p = (360^\circ \cdot \pi / 180^\circ) / z$$

vzorový výpočet pro  $z = 4$

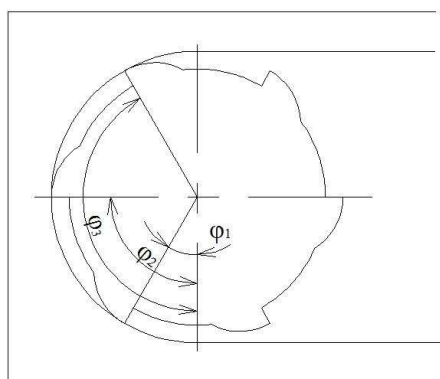
$$p = (360^\circ \cdot \pi / 180^\circ) / 4$$

p(d1)=	1,570796
p(d2)=	1,570796
p(d3)=	1,570796
p(d4)=	1,570796
p(d5)=	1,256637
p(d6)=	1,256637

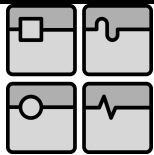
Úhly polohy jednotlivých zubů frézy v radiánech

Rozložení zubů v záběru je zvoleno tak, aby byl dodržena maximální plocha průřezu.

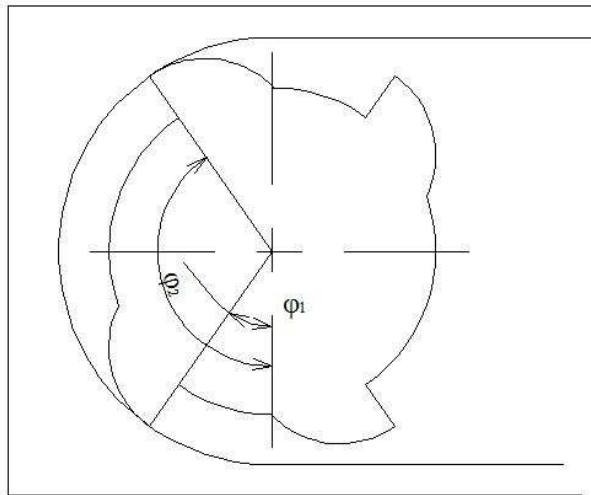
Pro lichý počet zubů v záběru viz obr. 6.4.1.1



Obr. 6.4.1.1 Rozložení lichého počtu zubů v záběru



Pro sudý počet zubů v záběru viz obr. 6.4.1.2



Obr. 6.4.1.2 Rozložení sudého počtu zubů v záběru

$\varphi_1(d1)=$	0,785398	$\varphi_2(d1)=$	2,35619449	$\varphi_3(d1)=$	-
$\varphi_1(d2)=$	0,785398	$\varphi_2(d2)=$	2,35619449	$\varphi_3(d2)=$	-
$\varphi_1(d3)=$	0,785398	$\varphi_2(d3)=$	2,35619449	$\varphi_3(d3)=$	-
$\varphi_1(d4)=$	0,785398	$\varphi_2(d4)=$	2,35619449	$\varphi_3(d4)=$	-
$\varphi_1(d5)=$	0,314159	$\varphi_2(d5)=$	1,57079633	$\varphi_3(d5)=$	2,827
$\varphi_1(d6)=$	0,314159	$\varphi_2(d6)=$	1,57079633	$\varphi_3(d6)=$	2,827

Suma měrné řezné síly všech zubů v záběru

$$k_{ci} = k_{c1} / (f_{zHc} * \sin\varphi_i * \sin\kappa)^{mc}$$

vzorový výpočet

$$k_{ci} = 2100 / (0,45 * (\sin 0,785) * \sin 0,785)^{0,25} \text{ MPa}$$

$$k_{ci}(d1-z1) = 2796,05 \text{ MPa} \quad k_{ci}(d4-z2) = 3049,11402 \text{ MPa}$$

$$k_{ci}(d1-z2) = 2796,05 \text{ MPa} \quad k_{ci}(d5-z1) = 3750,15592 \text{ MPa}$$

$$k_{ci}(d2-z1) = 2796,05 \text{ MPa} \quad k_{ci}(d5-z2) = 2796,04989 \text{ MPa}$$

$$k_{ci}(d2-z2) = 2796,05 \text{ MPa} \quad k_{ci}(d5-z3) = 3750,15592 \text{ MPa}$$

$$k_{ci}(d3-z1) = 3049,114 \text{ MPa} \quad k_{ci}(d6-z1) = 3750,15592 \text{ MPa}$$

$$k_{ci}(d3-z2) = 3049,114 \text{ MPa} \quad k_{ci}(d6-z2) = 2796,04989 \text{ MPa}$$

$$k_{ci}(d4-z1) = 3049,114 \text{ MPa} \quad k_{ci}(d6-z3) = 3750,15592 \text{ MPa}$$

Šířka záběru  $a_p$  v mm

$$a_p(d1-d8) = 3 \text{ mm}$$

Průřez třísky  $A_{di}$  v  $\text{mm}^2$

$$A_{di} = f_{zHc} * a_p * \sin\varphi_i$$

vzorový výpočet

$$A_{di} = 0,45 \cdot 4 \cdot (\sin 0,785) \quad \text{mm}^2$$

$A_{di}(d1-z1) = 0,954594 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d4-z2) = 0,95 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d1-z2) = 0,954594 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d5-z1) = 0,41 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d2-z1) = 0,954594 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d5-z2) = 1,35 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d2-z2) = 0,954594 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d5-z3) = 0,41 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d3-z1) = 0,954594 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d6-z1) = 0,41 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d3-z2) = 0,954594 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d6-z2) = 1,35 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d4-z1) = 0,954594 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d6-z3) = 0,41 \text{ mm}^2$

Řezná síla  $F_c$  v N

$$F_c = \sum k_{ci} \cdot A_{di}$$

vzorový výpočet

$$F_c = 3049,11 \cdot 1,273 + 3049,11 \cdot 1,273 \quad \text{N}$$

$F_c(d1) = 5338,186 \text{ N}$	$F_c(d4) = 5821,33284 \text{ N}$
$F_c(d2) = 5338,186 \text{ N}$	$F_c(d5) = 6903,59451 \text{ N}$
$F_c(d3) = 5821,333 \text{ N}$	$F_c(d6) = 6903,59451 \text{ N}$

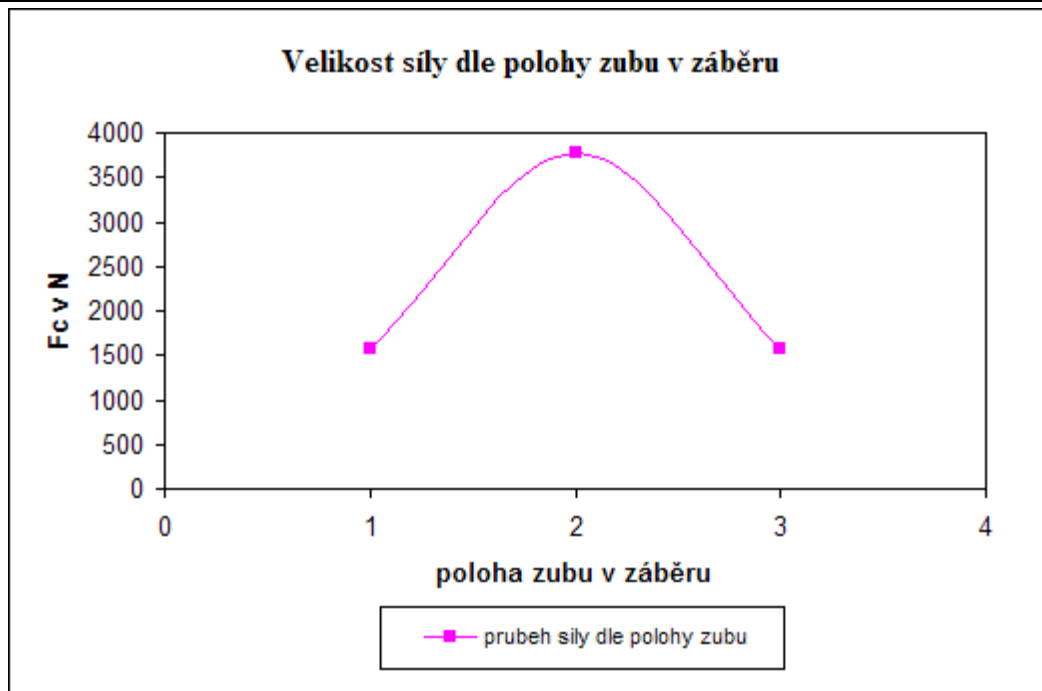
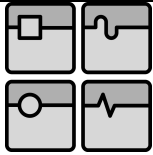
Velikost síly v závislosti na poloze zubu v záběru

Pro čelní frézu s průměrem  $d_7 = 160 \text{ mm}$  a počtem zubů 10.

Zub v záběru	Řezný odpor proti zubu v záběru	Průřez třísky pro daný zub
1	3750,156 MPa	0,4171729 mm <sup>2</sup>
2	2796,05 MPa	1,35 mm <sup>2</sup>
3	3750,156 MPa	0,4171729 mm <sup>2</sup>

Zub v záběru

	Dílčí řezné síly působící na zub
1	1564,464 N
2	3774,667 N
3	1564,464 N



Obr. 6.4.1.3 Velikost síly dle polohy zubu

#### 6.4.2 Frézování čelní frézou - dokončování

Jedná se opět o frézování do plného materiálu.

Počet zubů v záběru

$$n = (z \cdot 180^\circ) / 360^\circ$$

vzorový výpočet pro  $z = 5$

$$n = (5 \cdot 180^\circ) / 360^\circ$$

		zaokrouhlení
n(d7)=	2	2
n(d8)=	2	2
n(d9)=	2	2
n(d10)=	2,5	3
n(d11)=	3	3
n(d12)=	4	4

Úhel mezi zuby v radiánech

$$p = (360^\circ \cdot \pi / 180^\circ) / z$$

vzorový výpočet pro  $z = 5$

$$p = (360^\circ \cdot \pi / 180^\circ) / 5$$

p(d7)=	1,570796
p(d8)=	1,570796
p(d9)=	1,570796
p(d10)=	1,256637
p(d11)=	1,047198
p(d12)=	0,785398

φ1(d7)=	0,785398	φ2(d7)=	2,35619449	φ3(d7)=	-
φ1(d8)=	0,785398	φ2(d8)=	2,35619449	φ3(d8)=	-
φ1(d9)=	0,785398	φ2(d9)=	2,35619449	φ3(d9)=	-
φ1(d10)=	0,314159	φ2(d10)=	1,57079633	φ3(d10)=	2,82743339
φ1(d11)=	0,523599	φ2(d11)=	1,57079633	φ3(d11)=	2,61799388
φ1(d12)=	0,392699	φ2(d12)=	1,17809725	φ3(d12)=	1,96349541
φ4(d7)=	-				
φ4(d8)=	-				
φ4(d9)=	-				
φ4(d10)=	-				
φ4(d11)=	-				
φ4(d12)=	2,748893572				

Suma měrné řezné síly všech zůbů v záběru

$$k_{ci} = k_{c1} / (f_{zD} * \sin\phi_i * \sin\kappa_r)^{mc}$$

vzorový výpočet

$$k_{ci} = 2100 / (0,12 * (\sin 0,785) * \sin 0,314)^{0,25} \text{ MPa}$$

$k_{ci}(d7-z1) = 3890,924 \text{ MPa}$	$k_{ci}(d10-z3) = 5218,63763 \text{ MPa}$
$k_{ci}(d7-z2) = 3890,924 \text{ MPa}$	$k_{ci}(d11-z1) = 4627,11434 \text{ MPa}$
$k_{ci}(d8-z1) = 3890,924 \text{ MPa}$	$k_{ci}(d11-z2) = 3890,92386 \text{ MPa}$
$k_{ci}(d8-z2) = 3890,924 \text{ MPa}$	$k_{ci}(d11-z3) = 4627,11434 \text{ MPa}$
$k_{ci}(d9-z1) = 3890,924 \text{ MPa}$	$k_{ci}(d12-z1) = 4947,01033 \text{ MPa}$
$k_{ci}(d9-z2) = 3890,924 \text{ MPa}$	$k_{ci}(d12-z2) = 3968,70571 \text{ MPa}$
$k_{ci}(d10-z1) = 5218,638 \text{ MPa}$	$k_{ci}(d12-z3) = 3968,70571 \text{ MPa}$
$k_{ci}(d10-z2) = 3890,924 \text{ MPa}$	$k_{ci}(d12-z4) = 4947,01033 \text{ MPa}$

Šířka záběru  $a_p$  v mm

$$a_p(d8-d15) = 1,8 \text{ mm}$$

Průřez třísky  $A_{di}$  v  $\text{mm}^2$

$$A_{di} = f_{zD} * a_p * \sin\phi_i$$

vzorový výpočet

$$A_{di} = 0,12 * 1,8 * (\sin 0,314) \text{ mm}^2$$

$A_{di}(d7-z1) = 0,152735 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d10-z3) = 0,06674767 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d7-z2) = 0,152735 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d11-z1) = 0,108 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d8-z1) = 0,152735 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d11-z2) = 0,216 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d8-z2) = 0,152735 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d11-z3) = 0,108 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d9-z1) = 0,152735 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d12-z1) = 0,08265962 \text{ mm}^2$
$A_{di}(d9-z2) = 0,152735 \text{ mm}^2$	$A_{di}(d12-z2) = 0,19955798 \text{ mm}^2$

$$A_{di}(d10-z1) = 0,066748 \text{ mm}^2$$

$$A_{di}(d12-z3) = 0,19955798 \text{ mm}^2$$

$$A_{di}(d10-z2) = 0,216 \text{ mm}^2$$

$$A_{di}(d12-z4) = 0,08265962 \text{ mm}^2$$

Řezná síla  $F_c$  v N

$$F_c = \sum k_{ci} \cdot A_{di}$$

vzorový výpočet

$$F_c = 5218,638 \cdot 0,067 + 3890,924 \cdot 0,216 + 5218,638 \cdot 0,067 \text{ N}$$

$$F_c(d7) = 1188,561 \text{ N}$$

$$F_c(d10) = 1537,10337 \text{ N}$$

$$F_c(d8) = 1188,561 \text{ N}$$

$$F_c(d11) = 1839,89625 \text{ N}$$

$$F_c(d9) = 1188,561 \text{ N}$$

$$F_c(d12) = 2401,80978 \text{ N}$$

## 6.5 Určení kroutícího momentu

Řezný moment

$$M_k = F_c \cdot (d/2)$$

vzorový výpočet pro hrubování čelní frézou o průměru 40 mm

$$M_k = 7761,777 \cdot (0,04/2)$$

Nm

Průměr frézy	Mk pro hrubování čelní frézou	Mk pro dokončování čelní frézou
0,02 m	53,3818576 Nm	11,8856102 Nm
0,03 m	80,0727863 Nm	17,8284152 Nm
0,04 m	116,426657 Nm	23,7712203 Nm
0,05 m	145,533321 Nm	38,4275842 Nm
0,063 m	217,463227 Nm	57,9567319 Nm
0,08 m	276,14378 Nm	96,0723914 Nm

Motor vřetene budu dimenzovat na maximální velikost řezného momentu 276,144 Nm.

Moment na motoru

Převodový poměr  $i$  volím

2

Celková účinnost převodu

$$\eta = \eta_v^{p1} \cdot \eta_p^{p2} \cdot \eta_m^{p3}$$

účinnost kuličkového ložiska  $\eta_v$

0,98

počet kuličkových ložisek  $p1$

5

účinnost převodu ozubeným řemenem  $\eta_p$

0,99

počet ozubených řemenů  $p2$

1

účinnost odměřování  $\eta_m$

0,98

počet odměřovacích zařízení  $p3$

2

$$\eta = 0,98^5 \cdot 0,99^1 \cdot 0,98^2$$

$$\eta = 0,85944428$$

Moment motoru

$$M_m = M_v / (i \cdot \eta)$$

$$M_m = 276,144 / (2 \cdot 0,859) \quad \text{Nm}$$

$$M_m = 160,6525 \quad \text{Nm}$$

Otáčky na motoru

$$n_m = n_v \cdot i$$

Otáčky na vřetenu

$$n_v = 696,3029 \quad \text{min}^{-1}$$

$$n_m = 696,303 \cdot 2 \quad \text{Nm}$$

$$n_m = 1392,606 \quad \text{Nm}$$

## 7. Výběr vhodného motoru

Maximální otáčky v  $\text{min}^{-1}$  4774,64829

Výkon  $P_j$  v kW

Jedná se o maximální potřebný výkon, tzn. pro hrubování čelní frézou

$$P_j = 2 \cdot \pi \cdot n_m \cdot M_m$$

$$P_j = 2 \cdot \pi \cdot (1392,606/60) \cdot 160,653 \quad \text{W}$$

$$P_j = 23428,49 \quad \text{W}$$

$$P_j = 23,42849 \quad \text{kW}$$

Na základě velikosti potřebného výkonu motoru 23,428 kW a potřebných otáček

1392,606  $\text{min}^{-1}$  byl zvolen motor od firmy Siemens 1PH8 137 - 1\_F2. [18]

Charakteristiky motoru:

$$P_j = 27 \quad \text{kW}$$

$$n_m = 1500 \quad \text{min}^{-1}$$

$$n_{\max} = 8000 \quad \text{min}^{-1}$$

nominální kroutící moment 172 Nm

Hmotnost: 157 kg

Rozměry:

Max. průřez motoru □260 mm

Délka motoru 480,5 mm

Průměr výstupní hřídele 48 mm

Délka výstupní části hřídele 110 mm

Dle výkonu (27 kW), nominálního momentu (157 Nm) a nominálních otáček (1500  $\text{min}^{-1}$ )

volíme pružnou spojku ROTEX - 48 - GG - 92 - 1a-63 - 1-63 od firmy KTR. [19]

Vstupní díry pro hřídele

díra 1a

díra 1

průměr 48 mm 60 mm

hloubka 45 mm 45 mm

Pohon bude pohánět vřeteno přes ozubený řemen

## 8. Výpočet řemene a řemenic

Dle katalogu [20] na tyma.cz

Vstupní údaje

výkon motoru	27 kW
otáčky motoru	1500 min <sup>-1</sup>
otáčky stroje	4774,64829 min <sup>-1</sup>
osová vzdálenost a	300 mm

faktor zatížení c <sub>2</sub>	1,5	pro obráběcí stroj a startovací moment až 2,5 krát vypočteného
faktor zrychlení c <sub>3</sub>	0,2	dle převodního poměru práce 10 - 16 hodin
faktor únavy c <sub>4</sub>	0,2	denně

celkový provozní faktor  $c_0=c_2+c_3+c_4$

$$c_0=1,5+0,2+0,2$$

$$c_0=1,9$$

Dle otáček motoru (1500 min<sup>-1</sup>) a dle  $P \cdot c_0$  volíme typ pásu (rozteč).

$$P \cdot c_0=51,3 \text{ kW}$$

Dle obr. 3 na str. 39 [20] volíme pás CONTI SYNCHROBELL HTD synchronous drive belts 14M s roztečí 14 mm

převodový poměr i	2
Volím průměr malé řemenice $d_{wk}=\dots$	160,43 mm
Počet zubů malé řemenice $z_1=\dots$	36
Počet zubů velké řemenice $z_2$	

$$i=(z_2/z_1)$$

$$z_2=i \cdot z_1$$

$$z_2=2 \cdot 50$$

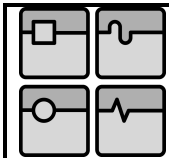
$$z_2=72$$

Dle počtu zubů volíme průměr velké řemenice (tab 15, str. 21)

$$d_{wg}=320,86 \text{ mm}$$

Rozteč

$$t=14 \text{ mm}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Předběžná délka řemene

$$L_w = 2 \cdot a + \frac{t}{2} \cdot (z_2 + z_1) + \frac{\left[ \frac{t}{\pi} \cdot (z_2 - z_1) \right]^2}{4 \cdot a}$$

$$L_w = 2 \cdot 300 + \frac{14}{2} \cdot (72 + 36) + \frac{\left[ \frac{14}{\pi} \cdot (72 - 36) \right]^2}{4 \cdot 300}$$

$$L_w = 1377,44767 \text{ mm}$$

Dle tab. 4 str. 13 volíme délku řemenu 1400 s počtem zubů z.

$$z = 100$$

$$L_w = 1400 \text{ mm}$$

Osová vzdálenost vzhledem k zvolené délce řetězu

$$2 \cdot a^2 + \left[ \frac{t}{2} \cdot (z_2 + z_1) - L_w \right] \cdot a + \frac{\left[ \frac{t}{\pi} \cdot (z_2 - z_1) \right]^2}{4} = 0$$

$$2 \cdot a^2 - 644 \cdot a + 6434,300 = 0$$

$$D = b^2 - 4 \cdot e \cdot c$$

$$D = (-644)^2 - 4 \cdot 2 \cdot 6434,300$$

$$D = 363261,596$$

$$a_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2 \cdot e}$$
$$a_{1,2} = \frac{-(-644) \pm \sqrt{363261,596}}{2 \cdot 2}$$

$$a_1 = 311,677967 \text{ mm}$$

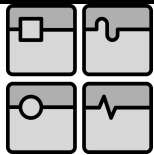
$$a_2 = 10,3220329 \text{ mm}$$

Hodnota osové vzdálenosti  $a_2$  je nereálná, proto bude osová vzdálenost 311,678 mm.

Rychlost pásu

$$v = \frac{t \cdot z_1 \cdot n}{60 \cdot 10^3}$$
$$v = \frac{14 \cdot 36 \cdot 1500}{60 \cdot 10^3}$$

$$v = 40,1070457 \text{ m/s}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Úhel opásání

$$\beta = 2 \cdot \arccos \left[ \frac{t \cdot (z_2 - z_1)}{2 \cdot \pi \cdot a_1} \right]$$
$$\beta = 2 \cdot \arccos \left[ \frac{14 \cdot (72 - 36)}{2 \cdot \pi \cdot 311,678} \right]$$

$$\beta = 150,17281^\circ$$

Počet zubů pro faktor opásání

$$z_e = z_1 \cdot \frac{\beta}{360}$$
$$z_e = 36 \cdot \frac{150,173}{360}$$

$$z_e = 15,017281$$

Faktor opásání

Dle tabulky 26 na straně 35 katalogu [20] podle hodnoty  $z_e$  volíme  $c_1$ 

$$c_1 = 1$$

Faktor délky

Dle tabulky 30 strana 37 [20] a dle délky pásu (1400 mm) a rozteče 14M volíme  $c_5$ 

$$c_5 = 0,9$$

Dle otáček motoru ( $1600 \text{ min}^{-1}$ ) a počtu zubů (36) malé řemenice určíme  $P_R$  na straně 58 tabulka 43 katalogu [20].

$$P_R = 134,7 \text{ kW} \quad \text{pro šířku pásu } 170 \text{ mm}$$

Šířka pásu

Musí platit

$$P \cdot c_0 \leq P_R \cdot c_1 \cdot c_5$$

$$P \cdot c_0 = 27 \cdot 1,9 = 51,3$$

$$P_R \cdot c_1 \cdot c_5 = 134,7 \cdot 1 \cdot 0,9 = 121,23$$

Platí

$$P \cdot c_0 \leq P_R \cdot c_1 \cdot c_5$$
$$51,3 \leq 121,23$$

Zvoleny:

Ozubený pás CONTI SYNCHROBELT HTD synchronous drive belt 1400 - 14M - 170

Malá řemenice HTD toothed pulley PT36 - 14M - 170

Velká řemenice HTD toothed pulley PT72 - 14M - 170

Celková síla v řemenu

$$F_v = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot P \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{t \cdot z_1 \cdot n_1}$$

$$F_v = \frac{60 \cdot 10^6 \cdot 27 \cdot \sin \frac{150,173}{2}}{14 \cdot 36 \cdot 1500}$$

$$F_v = 2070,67509 \text{ N}$$

Maximální dovolená zatěžující síla pro zvolený řemen

$$F_u = 11000 \text{ N}$$

Musí platit

$$F_v < F_u \quad \text{Splněno}$$

Síla pro předpětí řemenu

$$F_{\text{stat}} = \frac{F_v}{2 \cdot \sin \left( \frac{\beta}{2} \right)}$$

$$F_{\text{stat}} = \frac{2070,675}{2 \cdot \sin \left( \frac{150,173}{2} \right)}$$

$$F_{\text{stat}} = 1071,42857 \text{ N}$$

Uložení řemenic bude realizováno pomocí svěrných pouzder pro válcové díry. Pro malou řemenici volíme svěrné pouzdro RCK80-22x32 s vnějším průměrem 32 mm a vnitřním 22 mm. Pro velkou řemenici volíme svěrné pouzdro 4040 B - 60 s vnitřním průměrem 60 mm, které je součástí řemenice. Použit katalog [21]

## 9. Návrh vřeteníku

Vřeteno

Do vřetena budeme upínat trny (pro nástrčné frézy) a nástroje s kuželem ISO 40, který se nejčastěji používá v Evropě.

Upnutí bude zajištěno upínacím mechanismem pro ISO kužele od firmy Ott Jacob. Upínací čep kuželu bude uchopen kleštěmi a vtažen do vřetene.

Upínací zařízení překonává sílu od tíhy nástroje a úhlové hlavy, dále svislou složku řezné síly při obrábění.

Max. řezná síla v ose z	0 N
Max. tíha nástroje a trnu	8 kg
Trn 3 kg, nástroj 5 kg	
Tíhová síla od nástroje a trnu	80 N
Tíha upínacího zařízení a vnitřní části vřetena	40 kg
Upínací zařízení 10 kg, část vřetena 30 kg	
Tíhová síla upínacího zařízení a části vřetena	400 N

Celková síla	480 N
Bezpečnost nf	1,4

$$nf = \frac{F_{ch}}{F_{cel}}$$

$$F_{ch} = nf \cdot F_{cel}$$

$$F_{ch} = 1,4 \cdot 67$$

$F_{ch} = 672 \text{ N}$

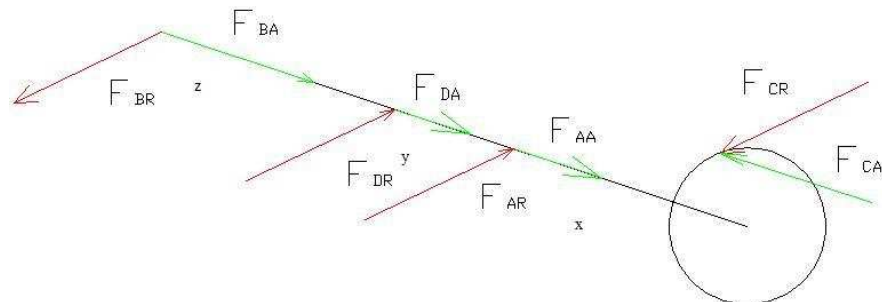
Upínací síla zvoleného zařízení	12000 N
---------------------------------	---------

Podmínka upínací síla je větší než působící síla platí.

### Výpočet ložisek

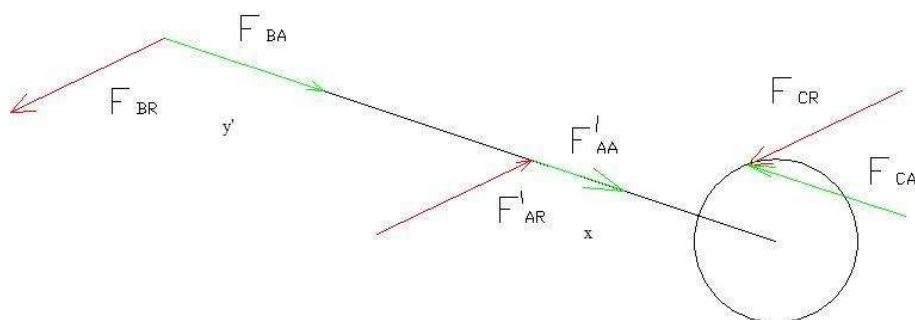
Přední část vřetena bude uložena ve dvouřadém kuličkovém ložisku s kosouhlým stykem a jednoduchém kuličkovém ložisku s kosouhlým stykem. Zadní část vřetena bude uložena v dvouřadém kuličkovém ložisku s kosouhlým stykem.

### Rozložení zatížení



Obr. 9.1 Působení sil v místě ložisek

Ložiska A a D jsou tak blízko sebe, že je budeme považovat za jeden celek. Budeme je tedy pro zjednodušení pokládat za jednotné ložisko označené A.



Obr. 9.2 Zjednodušení působení sil v místě ložisek

$$\begin{aligned}
 F_x : F_{CR} - F_{AR} + F_{BR} &= 0 \\
 F_z : -F_{BA} - F_{AA} + F_{CA} &= 0 \\
 M_{BX} : -F_{AR} \cdot y + F_{CR} \cdot (x + y) &= 0
 \end{aligned}$$

$$F_{CR} = 6903,595 \text{ N}$$

$$F_{CA} = 672 \text{ N}$$

$$x = 0,05 \text{ m}$$

$$x = 50 \text{ mm}$$

$$y = 0,5 \text{ m}$$

Hodnota  $y$  bude přepočítána při určování optimální vzdálenosti ložisek.

Jelikož přední ložisko má zachytávat veškeré axiální zatížení, tak platí  $F_{CA} = F_{AA}$  a  $F_{BA} = 0$ .

Radiální zatížení

$$\begin{aligned}
 F'_{AR} &= \frac{F_{CR} \cdot (x + y)}{y} \\
 F'_{AR} &= \frac{6903,595 \cdot (0,05 + 0,5)}{0,5}
 \end{aligned}$$

$$F'_{AR} = 7593,954 \text{ N}$$

$$F_{AA} = F_{CA} = 672 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 F_{BR} &= F_{AR} - F_{CR} \\
 F_{BR} &= 7593,954 - 6903,595
 \end{aligned}$$

$$F_{BR} = 690,3595 \text{ N}$$

Přední ložisko

Přední ložisko je tvořeno třemi ložisky (jednořadé a dvouřadé)

Axiální zatížení bude rozloženo do tří ložisek.

$$A = F_{CA} / 3$$

$$A = 672 / 3 \text{ N}$$

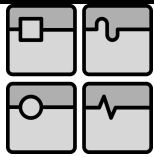
$$A = 224 \text{ N}$$

Dvouřadé bude přenášet 2/3 axiální síly ( $F_{AA} = 2A$ ) a jednořadé zbytek.

$$\text{Pro dvouřadé ložisko } F_{AA} = 448 \text{ N}$$

$$\text{Pro jednořadé ložisko } F_{DA} = 224 \text{ N}$$

Obdobný postup aplikujeme pro radiální zatížení.



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Radiální zatížení bude rozloženo do tří ložisek.

$$R = F_{AR} / 3$$

$$R = 7593,954 / 3 \quad \text{N}$$

$$R = 2531,31799 \quad \text{N}$$

Dvouřadé bude přenášet 2/3 radiální síly ( $F_{AR} = 2R$ ) a jednořadé zbytek.

$$\text{Pro dvouřadé ložisko} \quad F_{AR} = 5062,63597 \quad \text{N}$$

$$\text{Pro jednořadé ložisko} \quad F_{DR} = 2531,31799 \quad \text{N}$$

Návrh ložisek bude proveden dle [22].

Ložisko A

Stanovení ekvivalentního zatížení

$$P_{e1} = X1 \cdot F_{AR} + Y1 \cdot F_{AA}$$

hodnoty X a Y určíme z katalogu ložisek

$F_r$  radiální síla působící na ložisko v N

$F_a$  axiální síla působící na ložisko v N

$$F_{AR} = 5062,63597 \quad \text{N}$$

$$F_{AA} = 448 \quad \text{N}$$

$$X1 = 0,35$$

$$Y1 = 0,57$$

$$P_{e1} = 0,35 \cdot 5062,636 + 0,57 \cdot 448$$

$$P_{e1} = 2027,28259 \quad \text{N}$$

Životnost ložiska v hodinách

Frézka bude v provozu 16 hodin denně 5 dní v týdnu. Životnost ložisek budem počítat po dobu 10 let.

$$L_{10,h,min} = 41600 \quad \text{hodin}$$

$$L_{10,h} = \left( \frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

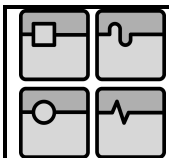
C základní dynamická únostnost ložiska v N

$P_e$  ekvivalentní zatížení v N

p exponent typu ložiska (pro kuličkové 3, pro ostatní 10/3)

n otáčky ložiska

$$n = 4774,64829 \quad \text{min}^{-1}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Přibližná hodnota základní dynamické únosnosti

$$C_1 = P_{e1} \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot n \cdot L}{10^6}}$$
$$C_1 = 2027,283 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 4774,648 \cdot 41600}{10^6}}$$

$$C_1 = 46306,6055 \text{ N}$$

Životnost zvoleného ložiska

Základní dynamická únosnost ložiska uvedená v katalogu

$$C_A = 93600 \text{ N}$$

$$L_{10,ha} = 343551,649 \text{ hod}$$

Volím tedy ložiska montovaná v páru 2x 7212 BECBJ v uspořádání do tandemu (DT).

Vnitřní průměr 60 mm

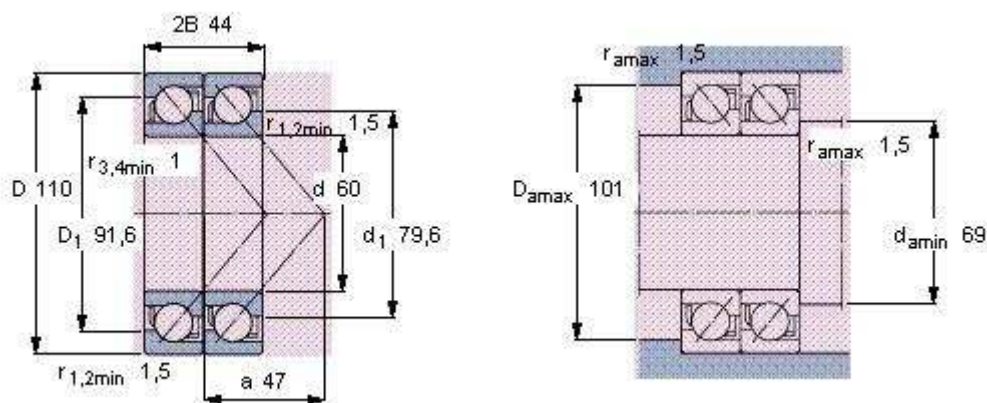
Vnější průměr 110 mm

Hmotnost 1,65 kg

Základní dynamická únosnost 93,6 kN

Nominální otáčky 5600 min<sup>-1</sup>

Maximální otáčky 7000 min<sup>-1</sup>

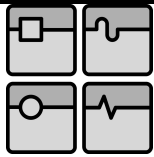


Obr. 9.3 Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem 7212 BECBJ

Ložisko D

Stanovení ekvivalentního zatížení

$$P_{e2} = X_2 \cdot F_{DR} + Y_2 \cdot F_{DA}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

hodnoty X a Y určíme z katalogu ložisek

$F_r$  radiální síla působící na ložisko v

N

$F_a$  axiální síla působící na ložisko v N

$$F_{DR} = 2531,31799 \text{ N}$$

$$F_{DA} = 224 \text{ N}$$

$$X_2 = 0,35$$

$$Y_2 = 0,57$$

$$P_{e2} = 0,35 \cdot 2531,318 + 0,57 \cdot 224$$

$$P_{e2} = 1013,64129 \text{ N}$$

Životnost ložiska v hodinách

Frézka bude v provozu 16 hodin denně 5 dní v týdnu. Životnost ložisek budem počítat po dobu 10 let.

$$L_{10,h,min} = 41600 \text{ hodin}$$

$$L_{10,h} = \left( \frac{C}{P} \right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

C základní dynamická únosnost ložiska v N

$P_e$  ekvivalentní zatížení v N

p exponent typu ložiska (pro kuličkové 3, pro ostatní 10/3)

n otáčky ložiska

$$n = 4774,64829 \text{ min}^{-1}$$

Přibližná hodnota základní dynamické únosnosti

$$C_2 = P_{e2} \cdot \sqrt[p]{\frac{60 \cdot n \cdot L}{10^6}}$$
$$C_2 = 1013,641 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 4774,648 \cdot 41600}{10^6}}$$

$$C_2 = 23153,3028 \text{ N}$$

Životnost zvoleného ložiska

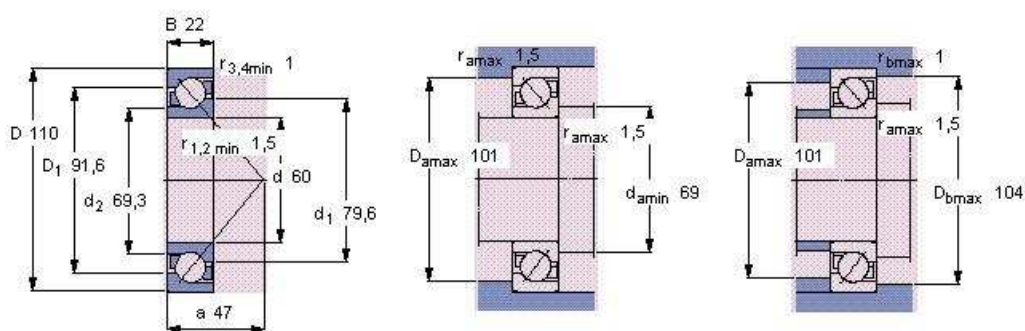
Základní dynamická únosnost ložiska uvedená v katalogu

$$C_D = 57200 \text{ N}$$

$$L_{10,hD} = 627252,736 \text{ hod}$$

Volím tedy ložisko 7212 BECBJ

Vnitřní průměr	60 mm
Vnější průměr	110 mm
Hmotnost	0,83 kg
Základní dynamická únosnost	57,2 kN
Nominální otáčky	7000 min <sup>-1</sup>
Maximální otáčky	7000 min <sup>-1</sup>



Obr. 9.4 Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem 7212 BECBJ

Zadní ložisko B

Stanovení ekvivalentního zatížení

$$P_{e3} = X3 \cdot F_{BR} + Y3 \cdot F_{BA}$$

hodnoty X a Y určíme z katalogu ložisek

$F_r$  radiální síla působící na ložisko v N

$F_a$  axiální síla působící na ložisko v N

$$F_{BR} = 690,359451 \text{ N}$$

$$F_{BA} = 0 \text{ N}$$

$$X3 = 0,35$$

$$Y3 = 0,57$$

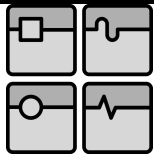
$$P_{e3} = 0,35 \cdot 690,359 + 0,57 \cdot 0$$

$$P_{e3} = 241,625808 \text{ N}$$

Životnost ložiska v hodinách

Frézka bude v provozu 16 hodin denně 5 dní v týdnu. Životnost ložisek budem počítat po dobu 10 let.

$$L_{10,h,min} = 41600 \text{ hodin}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$L_{10,h} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

C základní dynamická únosnost ložiska v N

$P_e$  ekvivalentní zatížení v N

p exponent typu ložiska (pro kuličkové 3, pro ostatní 10/3)

n otáčky ložiska

$$n = 4774,64829 \text{ min}^{-1}$$

Přibližná hodnota základní dynamické únosnosti

$$C_3 = P_{e3} \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot n \cdot L}{10^6}}$$
$$C_3 = 241626 \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 4774,648 \cdot 41600}{10^6}}$$

$$C_3 = 5519,14717 \text{ N}$$

Minimální průměr pod ložiskem B je 100 mm

Životnost zvoleného ložiska

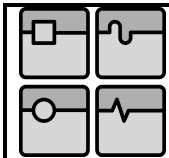
Základní dynamická únosnost ložiska uvedená v katalogu

$$C_B = 93600 \text{ N}$$

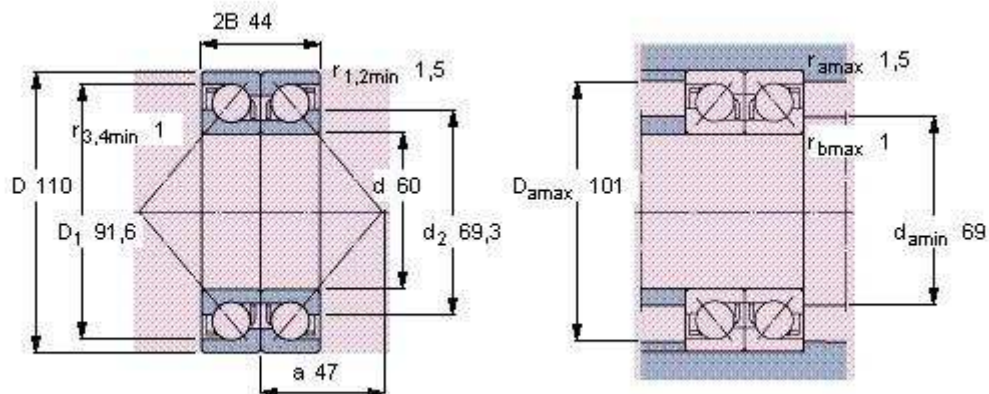
$$L_{10,h} = 1,48E+09 \text{ hod}$$

Volím tedy ložiska montovaná v páru 2x 7212 BECBJ v uspořádání do X (DB)

Vnitřní průměr	60 mm
Vnější průměr	110 mm
Hmotnost	1,65 kg
Základní dynamická únosnost	93,6 kN
Nominální otáčky	5600 $\text{min}^{-1}$
Maximální otáčky	7000 $\text{min}^{-1}$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr. 9.5 Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem 7212 BECBJ

Výpočet optimální vzdálenosti ložisek

Obecně

$$y' = \sqrt[3]{-\frac{r}{2} + \sqrt{s}} + \sqrt[3]{-\frac{r}{2} - \sqrt{s}}$$
$$r = -6 \cdot E \cdot J \cdot (c'_A + c_B)$$
$$q = -\frac{E \cdot J}{x} \cdot c_B$$
$$s = \frac{r^2}{4} + \frac{q^3}{27}$$

J... kvadratický moment průřezu v  $\text{mm}^4$

E... modul pružnosti v tahu v MPa

$c'_A, c_B$  ... tuhost ložisek A a B

$y'$  ... optimální vzdálenost ložisek 1 a 2

x ... délka vyloženého konce vřetene v mm

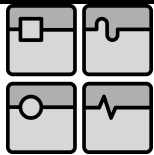
Kvadratický moment kruhového průřezu

$$J = \frac{\pi \cdot d_v^4}{64}$$

$d_v =$  60 mm

$$J = \frac{\pi \cdot 60^4}{64}$$

J= 4908738,52  $\text{mm}^4$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

## Poddajnost ložiska A a B

Poddajnost soustavy ložisek A se určí součtem dílčím poddajností, jelikož se jedná soustavu, jejíchž tělesa jsou uspořádána lineárně.

$$\begin{aligned}c'_A &= c_A + c_D \\c'_A &= 93,6 + 57,2\end{aligned}$$

$$c'_A = 150,8$$

## Poddajnost ložiska B

$$c_B = 93,6$$

Vřeteno bude vyrobeno z oceli 12050.

Modul pružnosti v tahu dle [14 z bakalarky]

$$E = 211000 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}r &= -6 \cdot E \cdot J \cdot (c'_A + c_B) \\r &= -6 \cdot 211000 \cdot 4908738,52 \cdot (150,8 + 57,2)\end{aligned}$$

$$r = -1,5E+15$$

$$\begin{aligned}q &= -\frac{E \cdot J}{x} \cdot c_B \\q &= -\frac{210000 \cdot 4908738,52}{50} \cdot 93,6\end{aligned}$$

$$q = -3,1E+12$$

$$\begin{aligned}z &= \frac{r^2}{4} + \frac{q^3}{27} \\z &= \frac{(-1,5 \cdot 10^{15})^2}{4} + \frac{(-3,1 \cdot 10^{12})^3}{27}\end{aligned}$$

$$z = -1,1E+36$$

$$\begin{aligned}y' &= \sqrt[3]{-\frac{r}{2} + \sqrt{z}} + \sqrt[3]{-\frac{r}{2} - \sqrt{z}} \\y' &= \sqrt[3]{-\frac{-5 \cdot 10^{15}}{2} + \sqrt{7,2 \cdot 10^{30}}} + \sqrt[3]{-\frac{-5 \cdot 10^{15}}{2} - \sqrt{7,2 \cdot 10^{30}}}\end{aligned}$$

$$y' = 486,207 \text{ mm}$$

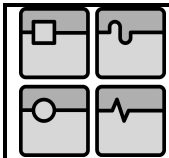
Přepočet silového působení dle optimální vzdálenosti

$$F_{CR} = 6903,595 \text{ N}$$

$$F_{CA} = 672 \text{ N}$$

$$x = 0,05 \text{ m}$$

$$x = 50 \text{ mm}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$y = 0,486207 \text{ m}$$

Radiální zatížení

$$F_{AR} = \frac{F_{CR} \cdot (x + y)}{y}$$
$$F_{AR} = \frac{6903,595 \cdot (0,05 + 0,486)}{0,486}$$

$$F_{AR} = 7613,538 \text{ N}$$

$$F_{AA} = F_{CA} = 672 \text{ N}$$

$$F_{BR} = F_{AR} - F_{CR}$$
$$F_{BR} = 7613,538 - 6903,595$$

$$F_{BR} = 709,9439 \text{ N}$$

Přední ložisko

Přední ložisko je tvořeno třemi ložisky (jednořadé a dvouřadé)

Axiální zatížení bude rozloženo do tří ložisek.

$$A = F_{CA} / 3$$

$$A = 672 / 3 \quad \text{N}$$

$$A = 224 \text{ N}$$

Dvouřadé bude přenášet 2/3 axiální síly ( $F_{AA} = 2A$ ) a jednořadé zbytek.

$$\text{Pro dvouřadé ložisko} \quad F_{AA} = 448 \text{ N}$$

$$\text{Pro jednořadé ložisko} \quad F_{DA} = 224 \text{ N}$$

Obnovený postup aplikujeme pro radiální zatížení.

Radiální zatížení bude rozloženo do tří ložisek.

$$R = F_{AR} / 3$$

$$R = 7613,538 / 3 \quad \text{N}$$

$$R = 2537,84614 \text{ N}$$

Dvouřadé bude přenášet 2/3 radiální síly ( $F_{AR2} = 2R$ ) a jednořadé zbytek.

$$\text{Pro dvouřadé ložisko} \quad F_{AR2} = 5075,69229 \text{ N}$$

$$\text{Pro jednořadé ložisko} \quad F_{DR} = 2537,84614 \text{ N}$$

Ekvivalentní zatížení ložiska A

$$P_{e1} = 2031,8523$$

Potřebná dynamická únosnost ložiska A

$$C1 = 46410,9856 \text{ N}$$

$$C1 < C_A$$

⇒ ložisko A vyhovuje

Ekvivalentní zatížení ložiska D

$$P_{e2} = 1015,92615$$

Potřebná dynamická únosnost ložiska A

$$C_2 = 23205,4928 \text{ N}$$

$$C_2 < C_D$$

⇒ ložisko D vyhovuje

Ekvivalentní zatížení ložiska B

$$P_{e3} = 248,480375$$

Potřebná dynamická únosnost ložiska A

$$C_3 = 5675,71721 \text{ N}$$

$$C_3 < C_B$$

⇒ ložisko B vyhovuje

Ložiska A a D budou od sebe vzdálena 34 mm.

Uspořádání ložisek na vřetenu

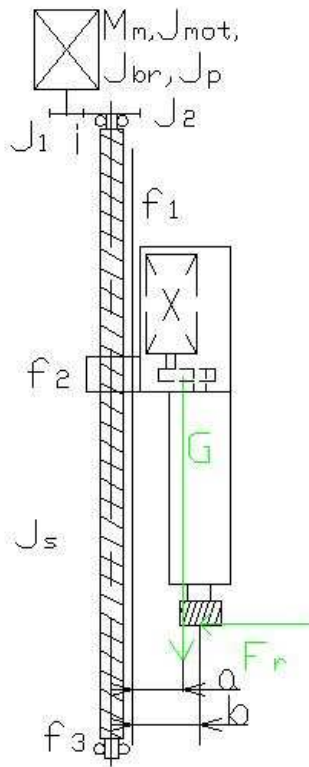
Ložiska budou uspořádána s ohledem na typ stroje (frézka) viz obr. 9.6.



Obr. 9.6 Uspořádání ložisek na vřetenu [2]

Těsnění vřetena je pomocí těsnících kroužků s vnitřním průměrem 115 mm a vnějším 125 mm a tloušťkou 2,5 mm. [23]

## 10. Výpočet pohonu posuvu v ose z



Obr. 10.1 Schéma posuvu v ose z

Nejprve zvolíme parametry kuličkového šroubu.

Délka šroubu odpovídá délce zdvihu 1000 mm a potřebné délky konců pohybového šroubu 100 mm.

$L = 1200$  mm

Stoupání volíme dle otáček motoru a maximální rychlosti.

Rychlost rychloposuvu  $0,33333333$  m/s

Předpokládané otáčky motoru  $1500$  min<sup>-1</sup>

stoupání  $s = (0,2 \cdot 1000 \cdot 60) / 2300 = 13,333333$  mm

Volím stoupání

$s = 20$  mm

Dle stoupání šroubu volíme průměr šroubu

$d_s = 36$  mm

minimální průměr určíme ze vzorce str. 34 v katalogu [24]

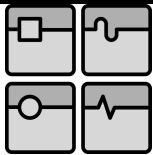
$$P_2 = 116 \cdot d_{sm}^2$$

$$d_{sm} = \sqrt{\frac{P_2}{116}}$$

$$d_{sm} = \sqrt{\frac{548 \cdot 9,81}{116}}$$

$P_2$  je axiální zatížení určené z hmotnosti vřeteníku.

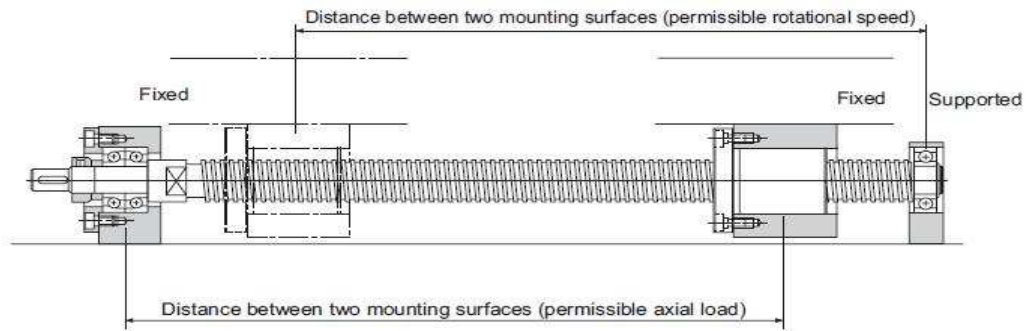
$d_{sm} = 6,96594178$



Musí platit  $d_s > d_{sm}$ .

Přesnost polohování volím dle katalogu THK 0,05mm/300mm.

Způsob upevnění pohybového šroubu s pevným horním koncem s motorem a podporou pro spodní konec, která umožňuje posuv šroubu ve směru osy



Obr. 10.2 Upevnění pohybového šroubu, otočeno o 90° [24]

Pohon bude upevněn na horním konci, proto není nutné provádět kontrolu na vzpěr.

Maximální axiální zatížení

Odpor vedení bez zatížení

$$f_v = 20 \text{ N}$$

Hmotnost vřetena

$$m_v = 573,2 \text{ kg}$$

Zrychlení pohybu v ose z

$$a_z = 1,11111111 \text{ m/s}^2$$

Spočteno níže na str.....

Tíhové zrychlení

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Axiální zatížení během rozjezdu směrem nahoru

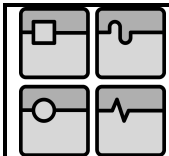
$$F_{a1} = m_v \cdot g + f_v + m_v \cdot a_z$$
$$F_{a1} = 573,2 \cdot 9,81 + 20 + 573,2 \cdot 1,11$$

$$F_{a1} = 6279,98089 \text{ N}$$

Axiální zatížení rovnoměrného pohybu směrem nahoru

$$F_{a2} = m_v \cdot g + f_v$$
$$F_{a2} = 573,2 \cdot 9,81 + 20$$

$$F_{a2} = 5643,092 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Axiální zatížení během zpomalení směrem nahoru

$$F_{a3} = m_v \cdot g + f_v - m_v \cdot a_z$$
$$F_{a3} = 573,2 \cdot 9,81 + 20 - 573,2 \cdot 1,11$$

$$F_{a3} = 5006,20311 \text{ N}$$

Axiální zatížení během rozjezdu směrem dolů

$$F_{a4} = m_v \cdot g - f_v - m_v \cdot a_z$$
$$F_{a4} = 573,2 \cdot 9,81 - 20 - 573,2 \cdot 1,11$$

$$F_{a4} = 4966,20311 \text{ N}$$

Axiální zatížení během rovnoměrného pohybu směrem dolů

$$F_{a5} = m_v \cdot g - f_v$$
$$F_{a5} = 573,2 \cdot 9,81 - 20$$

$$F_{a5} = 5603,092 \text{ N}$$

Axiální zatížení během zpomalení směrem dolů

$$F_{a6} = m_v \cdot g - f_v + m_v \cdot a_z$$
$$F_{a6} = 573,2 \cdot 9,81 - 20 + 573,2 \cdot 1,11$$

$$F_{a6} = 6239,98089 \text{ N}$$

Maximální možné otáčky

Rychlost rychloposuvu

$$v_{rp} = 0,33333333 \text{ m/s}$$

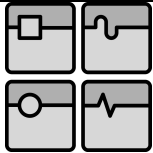
Stoupání

$$s = 20 \text{ mm}$$

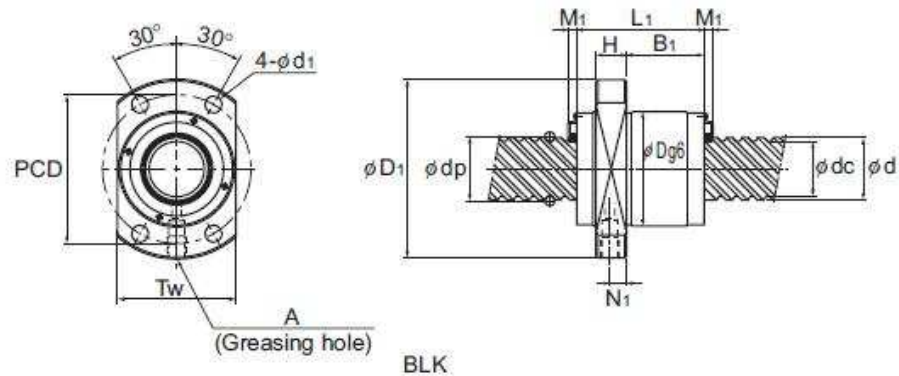
$$n_{smax} = \frac{v_{rp} \cdot 60 \cdot 1000}{s}$$
$$n_{smax} = \frac{0,333 \cdot 60 \cdot 1000}{20}$$

$$n_{smax} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

Dle průměru šroubu (20 mm) volím matici BLK 3620 - 5.6 [24]



DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr. 10.3 Matice pohybového šroubu BLK 3620 - 5.6 [24]

Charakteristiky matice:

Základní dynamická únosnost

$$C_a = 39,8 \text{ kN}$$

Základní statická únosnost

$$C_{a0} = 121,7 \text{ kN}$$

Rozměry

$$D = 70 \text{ mm}$$

$$D_1 = 110 \text{ mm}$$

$$L_1 = 78 \text{ mm}$$

$$H = 17 \text{ mm}$$

$$B_1 = 45 \text{ mm}$$

$$T_w = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Hmotnost matice} = 1,74 \text{ kg}$$

$$\text{Hmotnost šroubu} = 8,5 \text{ kg}$$

Výpočet ujeté vzdálenosti

Maximální rychlost

$$v_{rp} = 0,33333333 \text{ m/s}$$

Čas rozběhu a zpomalení na rychlost rychloposuvu:

$$t_r = t_z = 0,3 \text{ s}$$

Zdvih

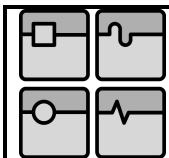
$$L_z = 1 \text{ m}$$

Vzdálenost pro rozjezd

$$l_{1,4} = \frac{v_{rp} \cdot t_r}{2}$$

$$l_{1,4} = \frac{0,333 \cdot 0,3}{2}$$

$$l_{1,4} = 0,05 \text{ m}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vzdálenost pro pohyb rovnoměrnou rychlostí

$$l_{2,5} = L_z - \frac{2 \cdot v_{rp} \cdot t_r}{2}$$
$$l_{2,5} = 1 - \frac{2 \cdot 0,333 \cdot 0,3}{2}$$

$$l_{2,5} = 0,9 \text{ m}$$

Vzdálenost pro zpomalení

$$l_{3,6} = \frac{v_{rp} \cdot t_z}{2}$$
$$l_{3,6} = \frac{0,333 \cdot 0,3}{2}$$

$$l_{3,6} = 0,05 \text{ m}$$

Průměrné axiální zatížení

$$F_m = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_z} (F_{a1}^3 \cdot l_1 + F_{a2}^3 \cdot l_2 + F_{a3}^3 \cdot l_3 + F_{a4}^3 \cdot l_4 + F_{a5}^3 \cdot l_5 + F_{a6}^3 \cdot l_6)}$$
$$F_m = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1} \left( \begin{array}{l} 6279,981^3 \cdot 0,05 + 5643,092^3 \cdot 0,9 \\ + 506,203^3 \cdot 0,05 + 4966,203^3 \cdot 0,05 \\ + 5603,092^3 \cdot 0,9 + 6239,981^3 \cdot 0,05 \end{array} \right)}$$

$$F_m = 5630,367 \text{ N}$$

Nominální životnost

Dynamická únosnost

$$C_a = 39800 \text{ N}$$

Faktor zatížení dle tab. 19 stran 730 katalog [24]

$$f_w = 1,5$$

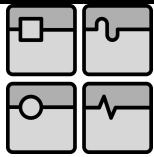
$$L_n = \left( \frac{C_a}{f_w \cdot F_m} \right)^3 \cdot 10^6$$
$$L_n = \left( \frac{13900}{2,5 \cdot 5630,367} \right)^3 \cdot 10^6$$

$$L_n = 104656270 \text{ otáček}$$

Průměrné otáčky za minutu

Počet zdvihů za minutu

$$n_{ZD} = 10 \text{ min}^{-1}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$N_{ZV} = \frac{2 \cdot n_{ZD} \cdot L_z}{s}$$
$$N_{ZV} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 1}{0,02}$$

$$N_{ZV} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

Životnost pohybového šroubu v hodinách

$$L_h = \frac{L_n}{60 \cdot N_{ZV}}$$
$$L_h = \frac{962973,173}{60 \cdot 2000}$$

$$L_h = 1744,27117 \text{ hod}$$

Životnost pohybového šroubu v kilometrech

$$L_{km} = L_n \cdot s \cdot 10^{-6}$$
$$L_{km} = 104656270 \cdot 20 \cdot 10^{-6}$$

$$L_h = 2093,1254 \text{ km}$$

Minimální životnost je 41 600 hod (pro práci stroje 16 hod denně 5 dní v týdnu po dobu 10 let).

Vypočtená životnost posuvového šroubu je tedy dostatečná.

Při návrhu pohonu posuvového šroubu se zabýváme několika hledisky (statické, dynamické, kinematické) a kontrolou na oteplení. Výpočet proveden dle [2].

Statické hledisko

Vstupní hodnoty:

$$G = m_v \cdot g$$

$$\text{hmotnost vřetena } m_v = 573,2 \text{ kg}$$

$$\text{tíhové zrychlení } g = 9,82 \text{ m/s}^2$$

$$G = 548 \cdot 9,82$$

$$G = 5628,824 \text{ N}$$

$$Fr = 6903,595 \text{ N}$$

$$a = 0,4 \text{ m}$$

$$b = 0,23 \text{ m}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

Potřebný moment motoru:

$$M_m = \frac{G \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p} + M_{zsrhm}$$

G... tíhová síla působící na vřeteník

i... převodový poměr  
 s... stoupání šroubu  
 η<sub>p</sub>... účinnost převodu  
 M<sub>zsrhm</sub>... statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru

Statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru:

$$M_{zsrhm} = M_{FrT} + M_G + M_L + M_{KSM} + M_F$$

M<sub>FrT</sub> ... moment od radiální řezné síly  
 Tento moment vzniká, pouze pokud je vedení skloněno, pro náš případ je roven 0, vedení je totiž pod úhlem α=0°

M<sub>G</sub> ... moment zátěže od třecích sil přesouvaných hmot

$$M_G = \frac{F_r \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^j \cdot \eta_p}$$

tření ve vedení f <sub>1</sub>	0,005	
tření mezi maticí a šroubem f <sub>2</sub>		0,002
tření v uložení šroubu f <sub>3</sub>		0,003
stoupání šroubu s	0,02 m	
převodový poměr i	1	
účinnost kuličkového šroubu η <sub>s</sub>		0,92
účinnost kuličkového ložiska η <sub>L</sub>		0,99
počet kuličkových ložisek j		2
účinnost převodu η <sub>p</sub>		1

$$M_G = \frac{6903,595 \cdot 0,005 \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,02}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 \cdot 1}$$

M<sub>G</sub>= 0,121853 Nm

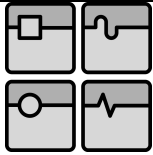
M<sub>L</sub> ... moment zátěže od třecích sil v ložisku

$$M_L = \frac{0,5 \cdot (G + F_r \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_L \cdot f_3}{i \cdot \eta_p}$$

průměr šroubu pod ložisky d<sub>L</sub> 0,03 m

$$M_L = \frac{0,5 \cdot (5628,824 + 6903,595 \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,005) \cdot 0,03 \cdot 0,003}{1 \cdot 1}$$

M<sub>L</sub>= 0,25485 Nm



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$M_{KSM}$  ... moment zátěže od předeptnutí kuličkového šroubu

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^j} \cdot (1 - \eta_s^2) + \frac{0,5 \cdot (G + F_r \cdot \cos \alpha \cdot f_1) \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^j}$$

$F_p$  ... předeptnutí kuličkového šroubu

$$F_p = 0,35 \cdot G$$

$$F_p = 0,35 \cdot 5628,824$$

$$F_p = 1970,088 \text{ N}$$

$$M_{KSM} = \frac{1970,088 \cdot 20 \cdot (1 - 0,92^2)}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99^2} + \frac{0,5 \cdot (5628,824 + 6903,595 \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,005) \cdot 0,036 \cdot 0,002}{1 \cdot 1 \cdot 0,99^2}$$

$$M_{KSM} = 1,190801 \text{ Nm}$$

$M_F$  ... moment zátěže od vyosení G

Podmínky pro vznik tohoto momentu je:

$$F_r \leq \frac{6 \cdot G \cdot a}{L}$$

L ... délka vřeteníku

$$L = 1 \text{ m}$$

$$6903,594 \leq \frac{6 \cdot 5628,824 \cdot 0,4}{1}$$

$$6903,595 < 13509,1776$$

Výše uvedená nerovnost je splněna, proto moment  $M_F$  vzniká.

Třecí síla v kluzném vedení

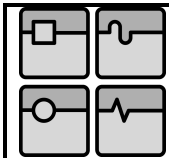
$$F_{TV} = \left( \frac{3 \cdot G \cdot a}{L} \right) \cdot f_1 + F_r \cdot f_1 \cdot \cos \alpha$$
$$F_{TV} = \left( \frac{3 \cdot 5628,824 \cdot 0,4}{1} \right) \cdot 0,005 + 6903,595 \cdot 0,005 \cdot \cos 0^\circ$$

$$F_{TV} = 68,2909165 \text{ N}$$

Moment zátěže při vyosení G

$$M_F = \frac{F_{TV} \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^j \cdot \eta_p}$$
$$M_F = \frac{68,291 \cdot 0,02}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 \cdot 1}$$

$$M_F = 0,24107649 \text{ Nm}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru

$$M_{zsrhm} = M_{FrT} + M_G + M_L + M_{KSM} + M_F$$

$$M_{zsrhm} = 0 + 0,327 + 0,256 + 1,188 + 0,241$$

$$M_{zsrhm} = 1,808581 \text{ Nm}$$

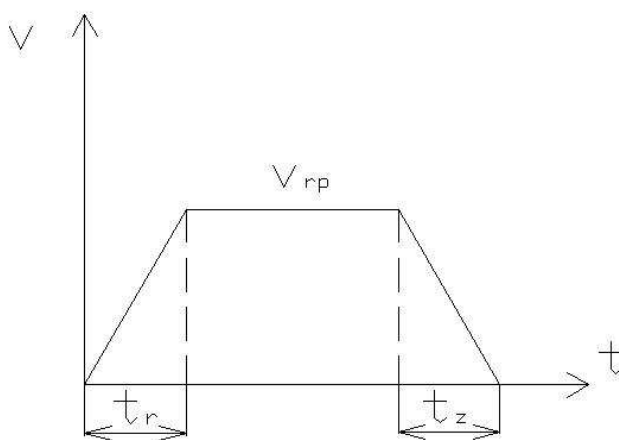
Potřebný moment motoru určíme následovně.

$$M_m = \frac{G \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p} + M_{zsrhm}$$

$$M_m = \frac{5629,824 \cdot 0,02}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 0,96} + 1,809$$

$$M_m = 19,72568 \text{ Nm}$$

Kinematické hledisko



Obr. 10.4 Schéma pracovního cyklu posuvového mechanismu

Rychlost rychloposuvu volíme :

$$v_{rp} = 20 \text{ m/min}$$

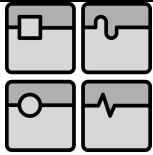
$$v_{rp} = 0,33333333 \text{ m/s}$$

Čas rozběhu a zpomalení na rychlost rychloposuvu:

$$t_r = t_z = 0,3 \text{ s}$$

Čas nezrychleného pohybu

$$t_s = 5 \text{ s}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Velikost zrychlení

$$a_z = \frac{v_{rp}}{t_r}$$
$$a_z = \frac{0,33}{3}$$

$$a_z = 1,11111111 \text{ m/s}^2$$

Celková dráha pohybu

$$s_c = v_{rp} \cdot t_s + a_z \cdot t_r^2$$
$$s_c = 0,33 \cdot 5 + 0,167 \cdot 2^2$$

$$s_c = 1,76666667 \text{ m}$$

Určení doby běhu

Určíme dle této podmínky

$$s_c \geq \frac{v_{rp}^2}{a_z} \quad t_c = \frac{s_c}{v_{rp}} + \frac{v_{rp}}{a_z}$$
$$s_c \leq \frac{v_{rp}^2}{a_z} \quad t_c = 2 \cdot \sqrt{\frac{s_c}{a_z}}$$

$$v_{rp}^2/a_z = 0,1$$

Platí tedy podmínka

$$s_c \geq \frac{v_{rp}^2}{a_z} \quad t_c = \frac{s_c}{v_{rp}} + \frac{v_{rp}}{a_z}$$

$$t_c = \frac{1,767}{0,33} + \frac{0,33}{1,111}$$

$$t_c = 5,6 \text{ s}$$

Úhlové zrychlení šroubu

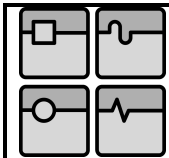
$$\epsilon_s = \frac{a_z \cdot 2 \cdot \pi}{s}$$
$$\epsilon_s = \frac{1,11 \cdot 2 \cdot \pi}{0,02}$$

$$\epsilon = 349,06585 \text{ rad/s}^2$$

Úhlové zrychlení motoru

$$\epsilon_m = \epsilon_s \cdot i$$
$$\epsilon_m = 349,07 \cdot 1$$

$$\epsilon_m = 349,06585 \text{ m/s}^2$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Otáčky při rychloposuvu

$$n_{rp} = \frac{v_{rp}}{2 \cdot \pi \cdot d_s}$$
$$n_{rp} = \frac{0,333}{2 \cdot \pi \cdot 0,036}$$

$$n_{rp} = 2,94731376 \text{ s}^{-1}$$

$$n_{rp} = 176,838826 \text{ min}^{-1}$$

Dynamické hledisko

dynamický moment při rozběhu  $M_{mD}$ 

$$M_{mD} = J_{RHM} \cdot \varepsilon_m + M_{ZRHM}$$

moment zátěže redukováný na hřídel motoru  $M_{ZRHM}$ 

$$M_{ZRHM} = M_{GT} + M_G + M_{KSH}$$

Moment od radiální síly při skloněném vedení  $M_{GT}$ 

$$M_{GT} = \frac{F_r \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c}$$

$$\text{pro } \alpha=0^\circ M_{GT} =$$

$$0 \text{ Nm}$$

Pasivní odpor ve vedení  $M_G$ 

$$M_G = \frac{F_r \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^j \cdot \eta_p}$$
$$M_G = \frac{5628,824 \cdot 0,005 \cdot \cos 0 \cdot 0,02}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 \cdot 1}$$

$$M_G = 0,121853 \text{ Nm}$$

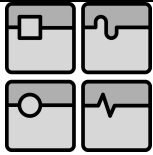
Pasivní odpor v matici a kuličkovém šroubu při rozběhu

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot s \cdot (1 - \eta_s^2)}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^j} + \frac{0,5 \cdot F_r \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^j}$$
$$M_{KSM} = \frac{1970,088 \cdot 0,02 \cdot (1 - 0,92^2)}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99^2} + \frac{0,5 \cdot 6903,595 \cdot 0,005 \cdot \cos 0 \cdot 0,036 \cdot 0,002}{1 \cdot 1 \cdot 0,99^2}$$

$$M_{KSM} = 1,966829 \text{ Nm}$$

Celkový moment zátěže redukováný na hřídel motoru

$$M_{ZRHM} = M_{GT} + M_G + M_{KSH}$$
$$M_{ZRHM} = 0 + 0,122 + 1,967$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$M_{ZRHM} = 2,088683 \text{ Nm}$$

Moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru

$$J_{RMH} = J_{MOT} + \frac{J_s}{i^2} + \frac{J_m}{i^2}$$

Potřebný výkon motoru

$$P_{ms} = 2 \cdot \pi \cdot n_{rp} \cdot M_m$$

$$P_{ms} = 2 \cdot \pi \cdot 1,474 \cdot 19,726$$

$$P_{ms} = 365,290447 \text{ W}$$

Dle statického momentu jsme zvolili motor od firmy Siemens 1FT7102-5AB71-1MB1-ZX01 [25]

Parametry motoru

Výkon 4,08 kW

Jmenovité otáčky 1500 min<sup>-1</sup>

Jmenovitý moment 26 Nm

Moment setrvačnosti 0,00914 m<sup>2</sup>kg

Hmotnost 26,1 kg

Moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru

$$J_{RMH} = J_{MOT} + \frac{J_s}{i^2} + \frac{J_m}{i^2}$$

Moment setrvačnosti motoru s brzdou

$$J_{MOT} = 0,00914 \text{ m}^2\text{kg}$$

Moment setrvačnosti pohybového šroubu

$$J_s = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot L \cdot \left(\frac{d_s}{2}\right)^4$$

$$L = 1,2 \text{ m}$$

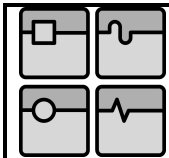
$$d_s = 0,036 \text{ m}$$

$$J_s = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{0,02}{2}\right)^4$$

$$J_s = 0,00154936 \text{ m}^2\text{kg}$$

Moment setrvačnosti přesouvaných hmot

$$J_m = m_v \cdot \left(\frac{s}{2 \cdot \pi}\right)^2$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hmotnost vřetena

$$m_v = 572 \text{ kg}$$

$$J_m = 572 \cdot \left( \frac{0,02}{2 \cdot \pi} \right)^2$$

$$J_m = 0,00579557 \text{ m}^2\text{kg}$$

$$J_{RMH} = 0,00914 + \frac{0,00015}{l^2} + \frac{0,0058}{l^2}$$

$$J_{RMH} = 0,01648493 \text{ m}^2\text{kg}$$

dynamický moment při rozběhu  $M_{mD}$ 

$$M_{mD} = J_{RHM} \cdot \epsilon_m + M_{ZRHM}$$
$$M_{mD} = 0,0151 \cdot 349,066 + 2,088$$

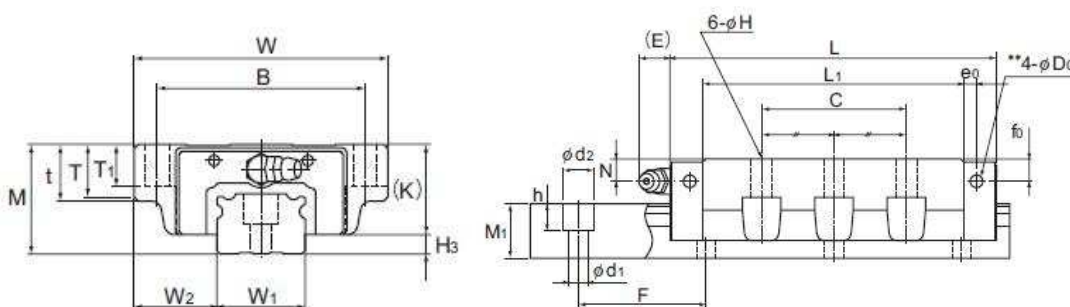
$$M_{mD} = 7,84301 \text{ Nm}$$

Uložení posuvového šroubu

Posuvový šroub bude uložen na obou koncích ložisek, které jsou vloženy do tzv. domečků. Pro tento posuvový šroub byly zvoleny domečky s označením BK25 a BF25 dle katalogu [24] od firmy thk.

Návrh vedení pro posuv v ose z

Dle katalogu [24] THK str. 76 volím vedení NRS 55 LB.



Obr. 10.5 Vedení NRS 55 LB [24]

Charakteristiky vedení

Rozměry

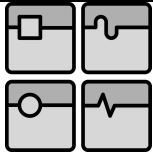
$$M = 75 \text{ mm}$$

$$W = 170 \text{ mm}$$

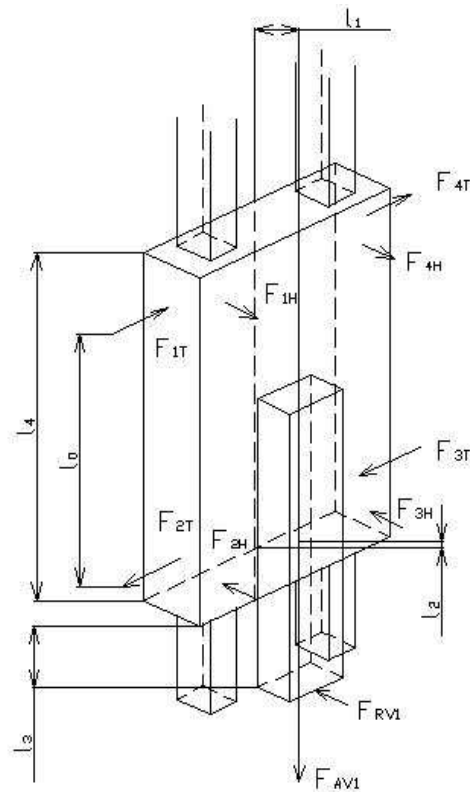
$$L = 245,6 \text{ mm}$$

Základní dynamická únosnost

$$C_v = 204 \text{ kN}$$



Základní statická únosnost

 $C_{V0} = 425 \text{ kN}$ 

Obr. 10.6 Schéma vedení osy z

 $l_0 = 0,4 \text{ m}$  $l_1 = 0,4 \text{ m}$  $l_2 = 0 \text{ m}$  $l_3 = 0,522 \text{ m}$  $l_4 = 0,8 \text{ m}$  $l_5 = 0,04 \text{ m}$ 

Hmotnost vřetena

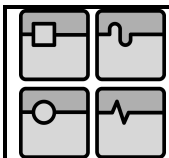
 $m_v = 573,2 \text{ kg}$  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ 

$$F_{AV1} = m_v \cdot g$$

 $F_{RV1} = 6903,595 \text{ N}$ 

Zrychlení

 $a_z = 1,111111 \text{ m/s}^2$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zatížení během zrychlení

$$P_{zzv1} = P_{zzv4} = -\frac{m_v \cdot (g + a_z) \cdot l_1}{2 \cdot l_0} - \frac{F_{RV1} \cdot (l_3 + 0,5 \cdot l_4)}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{zzv1} = P_{zzv4} = -\frac{573,2 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zzv1} = P_{zzv4} = -11086,4 \text{ N}$$

$$P_{zzv2} = P_{zzv3} = \frac{m_v \cdot (g + a_z) \cdot l_1}{2 \cdot l_0} + \frac{F_{RV1} \cdot (l_3 + 0,5 \cdot l_4)}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{zzv2} = P_{zzv3} = \frac{573,2 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zzv2} = P_{zzv3} = 11086,38 \text{ N}$$

$$P_{Tzzv1} = P_{Tzzv4} = -\frac{m_v \cdot (g + a_z) \cdot l_2}{2 \cdot l_0} - \frac{F_{RV1} \cdot l_5}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{Tzzv1} = P_{Tzzv4} = -\frac{573,2 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzzv1} = P_{Tzzv4} = -345,17973 \text{ N}$$

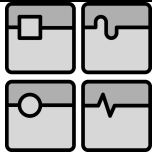
$$P_{Tzzv2} = P_{Tzzv3} = \frac{m_v \cdot (g + a_z) \cdot l_2}{2 \cdot l_0} + \frac{F_{RV1} \cdot l_5}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{Tzzv2} = P_{Tzzv3} = \frac{573,2 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzzv2} = P_{Tzzv3} = 345,179725 \text{ N}$$

Zatížení během rovnoměrného pohybu

$$P_{zrv1} = P_{zrv4} = -\frac{m_v \cdot g \cdot l_1}{2 \cdot l_0} - \frac{F_{RV1} \cdot (l_3 + 0,5 \cdot l_4)}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{zrv1} = P_{zrv4} = -\frac{573,2 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zrv1} = P_{zrv4} = -10767,939 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{zrv2} = P_{zrv3} = \frac{m_v \cdot g \cdot l_1}{2 \cdot l_0} + \frac{F_{RV1} \cdot (l_3 + 0,5 \cdot l_4)}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{zrv2} = P_{zrv3} = \frac{573,2 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zrv2} = P_{zrv3} = 10767,9387 \text{ N}$$

$$P_{Tzrv1} = P_{Tzrv4} = -\frac{m_v \cdot g \cdot l_2}{2 \cdot l_0} - \frac{F_{RV1} \cdot l_5}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{Tzrv1} = P_{Tzrv4} = -\frac{573,2 \cdot 9,81 \cdot 0}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzrv1} = P_{Tzrv4} = -345,17973 \text{ N}$$

$$P_{Tzrv2} = P_{Tzrv3} = \frac{m_v \cdot g \cdot l_2}{2 \cdot l_0} + \frac{F_{RV1} \cdot l_5}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{Tzrv2} = P_{Tzrv3} = \frac{573,2 \cdot 9,81 \cdot 0}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzrv2} = P_{Tzrv3} = 345,179725 \text{ N}$$

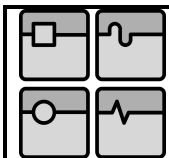
Zatížení během zpomalení

$$P_{zpv1} = P_{zpv4} = -\frac{m_v \cdot (g - a_z) \cdot l_1}{2 \cdot l_0} - \frac{F_{RV1} \cdot (l_3 + 0,5 \cdot l_4)}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{zpv1} = P_{zpv4} = -\frac{573,2 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zpv1} = P_{zpv4} = -10449,494 \text{ N}$$

$$P_{zpv2} = P_{zpv3} = \frac{m_v \cdot (g - a_z) \cdot l_1}{2 \cdot l_0} + \frac{F_{RV1} \cdot (l_3 + 0,5 \cdot l_4)}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{zpv2} = P_{zpv3} = \frac{573,2 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zpv2} = P_{zpv3} = 10449,4942 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{Tzpv1} = P_{Tzpv4} = -\frac{m_v \cdot (g - a_z) \cdot l_2}{2 \cdot l_0} - \frac{F_{RV1} \cdot l_5}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{Tzpv1} = P_{Tzpv4} = -\frac{573,2 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzpv1} = P_{Tzpv4} = -345,17973 \text{ N}$$

$$P_{Tzpv2} = P_{Tzpv3} = \frac{m_v \cdot (g - a_z) \cdot l_2}{2 \cdot l_0} + \frac{F_{RV1} \cdot l_5}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{Tzpv2} = P_{Tzpv3} = \frac{573,2 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzpv2} = P_{Tzpv3} = 345,179725 \text{ N}$$

Kombinace radiálního a axiálního zatížení

Během zrychleného pohybu

$$P_{CZZ1} = |P_{zv1}| + |P_{Tzv1}|$$
$$P_{CZZ1} = |-110864| + |-34518|$$

$$P_{CZZ3} = |P_{zv3}| + |P_{Tzv3}|$$
$$P_{CZZ3} = |110864| + |34518|$$

$$P_{CZZ1} = 11431,56 \text{ N}$$

$$P_{CZZ3} = 11431,5628 \text{ N}$$

$$P_{CZZ2} = |P_{zv2}| + |P_{Tzv2}|$$
$$P_{CZZ2} = |110864| + |34518|$$

$$P_{CZZ4} = |P_{zv4}| + |P_{Tzv4}|$$
$$P_{CZZ4} = |-110864| + |-34518|$$

$$P_{CZZ2} = 11431,56 \text{ N}$$

$$P_{CZZ4} = 11431,5628 \text{ N}$$

Během rovnoměrného pohybu

$$P_{CZR1} = |P_{zv1}| + |P_{Tzv1}|$$
$$P_{CZR1} = |-10767,939| + |-345,18|$$

$$P_{CZR3} = |P_{zv3}| + |P_{Tzv3}|$$
$$P_{CZR3} = |10767,939| + |345,18|$$

$$P_{CZR1} = 11113,12 \text{ N}$$

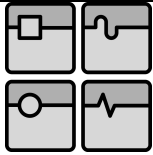
$$P_{CZR3} = 11113,1184 \text{ N}$$

$$P_{CZR2} = |P_{zv2}| + |P_{Tzv2}|$$
$$P_{CZR2} = |10767,939| + |345,18|$$

$$P_{CZR4} = |P_{zv4}| + |P_{Tzv4}|$$
$$P_{CZR4} = |-10767,939| + |-345,18|$$

$$P_{CZR2} = 11113,12 \text{ N}$$

$$P_{CZR4} = 11113,1184 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Během zpomaleného pohybu

$$P_{CZP1} = |P_{zpv1}| + |P_{Tzpv1}|$$
$$P_{CZZ1} = |-10449,494| + |-345,18|$$

$$P_{CZP1} = 10794,67 \text{ N}$$

$$P_{CZP3} = |P_{zpv3}| + |P_{Tzpv3}|$$
$$P_{CZP3} = |110449,494| + |345,18|$$

$$P_{CZP3} = 10794,6739 \text{ N}$$

$$P_{CZP2} = |P_{zpv2}| + |P_{Tzpv2}|$$
$$P_{CZP2} = |10449,494| + |345,18|$$

$$P_{CZP2} = 10794,67 \text{ N}$$

$$P_{CZP4} = |P_{zpv4}| + |P_{Tzpv4}|$$
$$P_{CZP4} = |-10449,494| + |-345,18|$$

$$P_{CZP4} = 10794,6739 \text{ N}$$

Průměrné zatížení každého vozíku

Zdvih

$$L_z = 1 \text{ m}$$

$$P_{zm1} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_z} \cdot (P_{CZZ1}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CZR1}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CPZ1}^3 \cdot 2 \cdot L_z)}$$
$$P_{zm1} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1} \cdot (11431,56^3 \cdot 2 \cdot 1 + 11113,12^3 \cdot 2 \cdot 1 + 10794,67^3 \cdot 2 \cdot 1)}$$

$$P_{zm1} = 16036,66 \text{ N}$$

$$P_{zm2} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_z} \cdot (P_{CZZ2}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CZR2}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CPZ2}^3 \cdot 2 \cdot L_z)}$$
$$P_{zm2} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1} \cdot (11431,56^3 \cdot 2 \cdot 1 + 11113,12^3 \cdot 2 \cdot 1 + 10794,67^3 \cdot 2 \cdot 1)}$$

$$P_{zm2} = 16036,66 \text{ N}$$

$$P_{zm3} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_z} \cdot (P_{CZZ3}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CZR3}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CPZ3}^3 \cdot 2 \cdot L_z)}$$
$$P_{zm3} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1} \cdot (11431,56^3 \cdot 2 \cdot 1 + 11113,12^3 \cdot 2 \cdot 1 + 10794,67^3 \cdot 2 \cdot 1)}$$

$$P_{zm3} = 16036,66 \text{ N}$$

$$P_{zm4} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_z} \cdot (P_{CZZ4}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CZR4}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CPZ4}^3 \cdot 2 \cdot L_z)}$$

$$P_{zm4} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1} \cdot (11431,56^3 \cdot 2 \cdot 1 + 11113,12^3 \cdot 2 \cdot 1 + 10794,67^3 \cdot 2 \cdot 1)}$$

$$P_{zm4} = 16036,66 \text{ N}$$

Životnost vedení v kilometrech

Zátěžný faktor  $f_w$  je zvolen dle katalogu [24] str. 128 tab. 12.

$$f_w = 1,2$$

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = \left( \frac{C_v}{f_w \cdot P_{zml}} \right)^3 \cdot 50$$

$$L_1 = \left( \frac{133}{1,2 \cdot 16036,66} \right)^3 \cdot 50$$

$$L_1 = 59562,8 \text{ km}$$

Životnost vedení v hodinách

Počet zdvihů za minutu

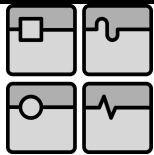
$$n_{zD} = 10 \text{ min}^{-1}$$

$$L_{1h} = \frac{L_1 \cdot 10^6}{2 \cdot L_z \cdot n_{zD} \cdot 60 \cdot 1000}$$

$$L_{1h} = \frac{16505,91 \cdot 10^6}{2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 60 \cdot 1000}$$

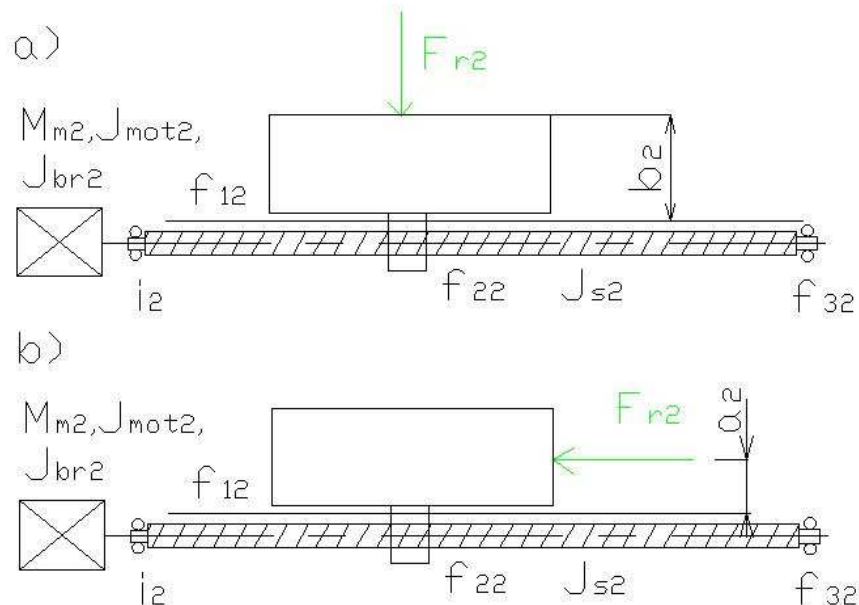
$$L_{1h} = 49635,66 \text{ hod}$$

Potřebná životnost vedení je stanovena na 41 600 hod (Práce frézky po 16 hodin denně 5 dní v týdnu po 10 let), což vyhovuje vypočtené.



## 11. Výpočet pohonu posuvu v ose y

Posuvový šroub je zatížen dvěma způsoby v závislosti na směru řezné síly. Výpočet bude proveden pro obě varianty. Pohon bude dimenzován na větší z obou zatížení.



Obr. 11.1 Schéma posuvu v ose y

Nejdříve zvolíme parametry kuličkového šroubu.

Délka šroubu odpovídá délce posuvu 1500 mm a potřebné délky konců pohybového šroubu 100 mm.

$L_2 = 1700$  mm

Stoupání volíme dle otáček motoru a maximální rychlosti.

Rychlost rychloposuvu 0,33333333 m/s

Předpokládané otáčky motoru 1500  $\text{min}^{-1}$

stoupání  $s_2 = (0,2 \cdot 1000 \cdot 60) / 2300 = 13,333333$  mm

Volím stoupání

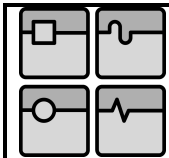
$s_2 = 20$  mm

Dle stoupání šroubu volíme průměr šroubu

$d_{s2} = 36$  mm

minimální průměr určíme ze vzorce na str. 34 katalogu [24]

$$F_{r2} = 116 \cdot d_{sm2}^2$$
$$d_{sm2} = \sqrt{\frac{P_{r2}}{116}}$$
$$d_{sm2} = \sqrt{\frac{6903,595}{116}}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

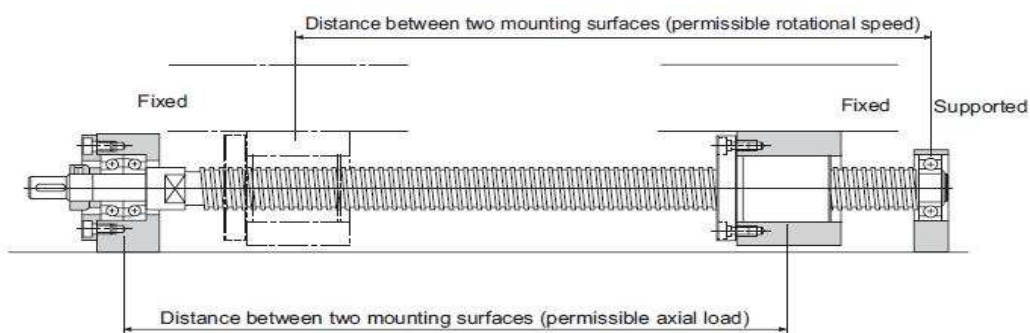
$$F_{r2} = 6903,59451 \text{ N}$$

$$d_{sm2} = 7,71451526 \text{ mm}$$

Musí platit  $d_{s2} > d_{sm2}$ .

Přesnost polohování volím dle katalogu THK 0,05mm/300mm.

Způsob upevnění pohybového šroubu je s pevným pravým koncem s motorem a podporou pro levý konec, která umožňuje posuv šroubu ve směru osy rotace např. při prodloužení šroubu vlivem teploty.



Obr. 11.2 Upevnění pohybového šroubu [24]

Maximální axiální zatížení

Odpor vedení bez zatížení

$$f_{v2} = 20 \text{ N}$$

Hmotnost vřetena a supportu

$$m_{v2} = 896 \text{ kg}$$

Zrychlení pohybu v ose y

$$a_{z2} = 1,11111111 \text{ m/s}^2$$

Tíhové zrychlení

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{tření ve vedení } f_{12} = 0,005$$

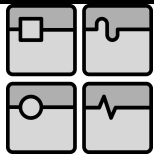
Axiální zatížení během rozjezdu směrem doprava

$$F_{a12} = f_{12} \cdot m_{v2} \cdot g + f_{v2} + m_{v2} \cdot a_{z2}$$
$$F_{a12} = 0,005 \cdot 896 \cdot 9,81 + 20 + 896 \cdot 1,11$$

$$F_{a12} = 1059,50436 \text{ N}$$

Axiální zatížení rovnoměrného pohybu směrem doprava

$$F_{a22} = f_{12} \cdot m_{v2} \cdot g + f_{v2}$$
$$F_{a22} = 0,005 \cdot 896 \cdot 9,81 + 20$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$F_{a22} = 63,9488 \text{ N}$$

Axiální zatížení během zpomalení směrem doprava

$$\begin{aligned} F_{a32} &= f_{12} \cdot m_{v2} \cdot g + f_{v2} - m_{v2} \cdot a_{z2} \\ F_{a32} &= 0,005 \cdot 896 \cdot 9,81 + 20 - 896 \cdot 1,11 \end{aligned}$$

$$F_{a32} = -931,60676 \text{ N}$$

Axiální zatížení během rozjezdu směrem doleva

$$\begin{aligned} F_{a42} &= -f_{12} \cdot m_{v2} \cdot g - f_v - m_{v2} \cdot a_{z2} \\ F_{a42} &= -0,005 \cdot 896 \cdot 9,81 - 20 - 896 \cdot 1,11 \end{aligned}$$

$$F_{a42} = -1059,5044 \text{ N}$$

Axiální zatížení během rovnoměrného pohybu směrem doleva

$$\begin{aligned} F_{a52} &= -f_{12} \cdot m_{v2} \cdot g - f_{v2} \\ F_{a52} &= -0,005 \cdot 896 \cdot 9,81 - 20 \end{aligned}$$

$$F_{a52} = -63,9488 \text{ N}$$

Axiální zatížení během zpomalení směrem dolů

$$\begin{aligned} F_{a62} &= -f_{12} \cdot m_{v2} \cdot g - f_{v2} + m_{v2} \cdot a_{z2} \\ F_{a62} &= -0,005 \cdot 896 \cdot 9,81 - 20 + 896 \cdot 1,11 \end{aligned}$$

$$F_{a62} = 931,606756 \text{ N}$$

Maximální možné otáčky

Rychlost rychloposuvu

$$v_{rp} = 0,33333333 \text{ m/s}$$

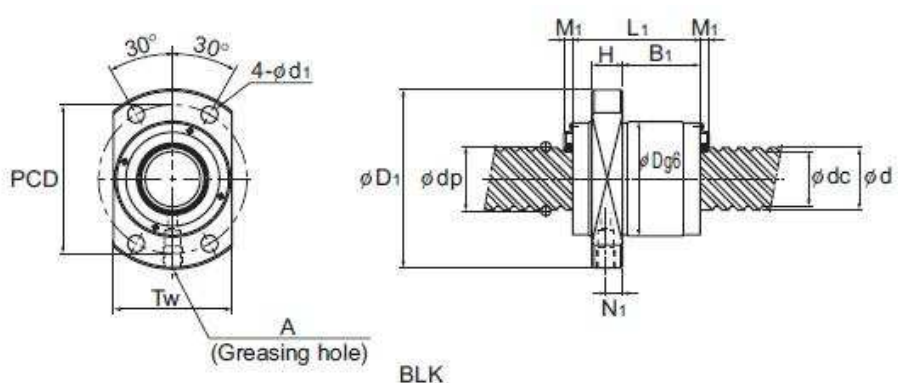
Stoupání

$$s_2 = 20 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} n_{s \max 2} &= \frac{v_{rp} \cdot 60 \cdot 1000}{s_2} \\ n_{s \max 2} &= \frac{0,333 \cdot 60 \cdot 1000}{20} \end{aligned}$$

$$n_{s \max 2} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

Dle průměru šroubu (36 mm) volím matici BLK 3620 - 5.6 [24]



Obr. 11.3 Matice pohybového šroubu BLK 3620 - 5.6 [24]

Charakteristiky matice:

Základní dynamická únosnost

$$C_{a2} = 39,8 \text{ kN}$$

Základní statická únosnost

$$C_{a02} = 121,7 \text{ kN}$$

Rozměry

$$D_2 = 70 \text{ mm}$$

$$D_{12} = 110 \text{ mm}$$

$$L_{12} = 78 \text{ mm}$$

$$H_2 = 17 \text{ mm}$$

$$B_{12} = 45 \text{ mm}$$

$$T_{w2} = 80 \text{ mm}$$

Hmotnost matice 1,74 kg

Hmotnost šroubu 8,5 kg

Výpočet ujeté vzdálenosti

Maximální rychlost

$$v_{rp} = 0,33333333 \text{ m/s}$$

Čas rozběhu a zpomalení na rychlost rychloposuvu:

$$t_{r2} = t_{z2} = 0,3 \text{ s}$$

Zdvih

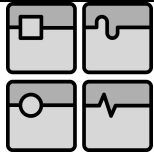
$$L_{z2} = 1,5 \text{ m}$$

Vzdálenost pro rozjezd

$$l_{12,42} = \frac{v_{rp} \cdot t_{r2}}{2}$$

$$l_{12,42} = \frac{0,333 \cdot 0,3}{2}$$

$$l_{12,42} = 0,05 \text{ m}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vzdálenost pro pohyb rovnoměrnou rychlostí

$$l_{22,52} = L_z - \frac{2 \cdot v_{rp} \cdot t_{r2}}{2}$$
$$l_{22,52} = 1,5 - \frac{2 \cdot 0,333 \cdot 0,3}{2}$$

$$l_{22,52} = 1,4 \text{ m}$$

Vzdálenost pro zpomalení

$$l_{32,62} = \frac{v_{rp} \cdot t_{z2}}{2}$$
$$l_{32,62} = \frac{0,333 \cdot 0,3}{2}$$

$$l_{32,62} = 0,05 \text{ m}$$

Průměrné axiální zatížení

$$F_{m2} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_{z2}} (F_{a12}^3 \cdot l_{12} + F_{a22}^3 \cdot l_{22} + F_{a32}^3 \cdot l_{32} + F_{a42}^3 \cdot l_{42} + F_{a52}^3 \cdot l_{52} + F_{a62}^3 \cdot l_{62})}$$
$$F_{m2} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1,5} \left( 1059,504^3 \cdot 0,05 + 63,949^3 \cdot 1,4 + \right.}$$
$$\left. \begin{aligned} &|-931,607|^3 \cdot 0,05 + |-1059,504|^3 \cdot 0,05 \\ &+ |-63,949|^3 \cdot 1,4 + 931,607^3 \cdot 0,05 \end{aligned} \right)}$$

$$F_{m2} = 405,8314 \text{ N}$$

Nominální životnost

Dynamická únosnost

$$C_{a2} = 39800 \text{ N}$$

Faktor zatížení dle tab. 19 stran 730 katalogu [24]

$$f_{w2} = 1,5$$

$$L_{n2} = \left( \frac{C_{a2}}{f_{w2} \cdot F_{m2}} \right)^3 \cdot 10^6$$
$$L_{n2} = \left( \frac{39800}{1,5 \cdot 405,831} \right)^3 \cdot 10^6$$

$$L_{n2} = 2,7947E+11 \text{ otáček}$$

Průměrné otáčky za minutu

Počet zdvihů za minutu

$$n_{ZD2} = 6 \text{ min}^{-1}$$

$$N_{ZV2} = \frac{2 \cdot n_{ZD2} \cdot L_{z2}}{s_2}$$

$$N_{ZV2} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 1,5}{0,02}$$

$$N_{ZV2} = 900 \text{ min}^{-1}$$

Životnost pohybového šroubu v hodinách

$$L_{h2} = \frac{L_{n2}}{60 \cdot N_{ZV2}}$$

$$L_{h2} = \frac{2,795 \cdot 10^{11}}{60 \cdot 900}$$

$$L_{h2} = 5175411,18 \text{ hod}$$

Životnost pohybového šroubu v kilometrech

$$L_{KM2} = L_{h2} \cdot s_2 \cdot 10^{-6}$$

$$L_{KM2} = 5175411,18 \cdot 0,02 \cdot 10^{-6}$$

$$L_{KM2} = 5589444,07 \text{ km}$$

Minimální životnost je 41 600 hod (pro práci stroje 16 hod denně 5 dní v týdnu po dobu 10 let).

Výpočtená životnost posuvového šroubu je tedy dostatečná.

Při návrhu pohonu kuličkového šroubu se zabýváme několika hledisky (statické, dynamické, kinematické) a kontrolou na oteplení. Výpočet proveden dle [2]

Statické hledisko

Vstupní hodnoty:

$$F_{r2} = 6903,595 \text{ N}$$

$$a_2 = 0,465 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,465 \text{ m}$$

$$\alpha_2 = 0^\circ$$

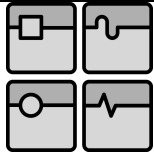
Potřebný moment motoru:

$$\text{a) } M_{m2a} = M_{zsrhm2a}$$

$$\text{b) } M_{m2b} = \frac{F_{r2} \cdot s_2}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p} + M_{zsrhm2b}$$

$i_2$ ... převodový poměr

$s_2$ ... stoupání šroubu



$\eta_{p2}$ ... účinnost převodu

$M_{zsrhm2}$ ... statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru

Statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru:

$$\begin{aligned} \text{a) } M_{zsrhm2a} &= M_{FrT2a} + M_{G2a} + M_{L2a} + M_{KSM2a} + M_{F2a} \\ \text{b) } M_{zsrhm2b} &= M_{L2b} + M_{KSM2b} + M_{F2b} \end{aligned}$$

$M_{FrT2a}$  ... moment od radiální řezné síly

Tento moment vzniká, pouze pokud je vedení skloněno, pro náš případ je roven 0, vedení je totiž pod úhlem  $\alpha=0^\circ$

$M_{G2a}$  ... moment zátěže od třecích sil přesouvaných hmot

$$M_{G2a} = \frac{F_{r2} \cdot f_{12} \cdot \cos \alpha_2 \cdot s_2}{2 \cdot \pi \cdot i_2 \cdot \eta_{s2} \cdot \eta_{L2}^j \cdot \eta_{p2}}$$

tření ve vedení $f_{12}$	0,005	
tření mezi maticí a šroubem $f_{22}$		0,002
tření v uložení šroubu $f_{32}$		0,003
stoupání šroubu $s_2$	0,02 m	
převodový poměr $i_2$	1	
účinnost kuličkového šroubu $\eta_{s2}$		0,92
účinnost kuličkového ložiska $\eta_{L2}$		0,99
počet kuličkových ložisek $j_2$		2
účinnost převodu $\eta_{p2}$		1

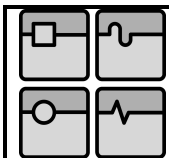
$$M_{G2a} = \frac{6903,595 \cdot 0,005 \cdot \cos 20^\circ \cdot 0,02}{2 \cdot \pi \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 \cdot 1}$$

$$M_{G2a} = 0,121853 \text{ Nm}$$

$$\begin{aligned} \text{a) } M_{L2a} &= \frac{0,5 \cdot (F_{r2} \cdot \cos \alpha_2 \cdot f_{12}) \cdot d_{L2} \cdot f_{32}}{i_2 \cdot \eta_{p2}} \\ \text{b) } M_{L2b} &= \frac{0,5 \cdot F_{r2} \cdot d_{L2} \cdot f_{32}}{i_2 \cdot \eta_{p2}} \end{aligned}$$

průměr šroubu pod ložisky  $d_{L2}$

0,03 m



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$M_{L2a} = \frac{0,5 \cdot (6903,595 \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,005) \cdot 0,03 \cdot 0,003}{1 \cdot 1}$$

$$M_{L2a} = 0,001553 \text{ Nm}$$

$$M_{L2b} = \frac{0,5 \cdot 6903,595 \cdot 0,03 \cdot 0,003}{1 \cdot 1}$$

$$M_{L2b} = 0,310662 \text{ Nm}$$

$M_{KSM}$  ... moment zátěže od předeptnutí kuličkového šroubu

$$\begin{aligned} \text{a) } M_{KSM2a} &= \frac{0,5 \cdot (F_{r2} \cdot \cos \alpha_2 \cdot f_{l2}) \cdot d_{\xi 2} \cdot f_{22}}{i_2 \cdot \eta_{p2} \cdot \eta_{L2}^j} \\ \text{b) } M_{KSM2b} &= \frac{F_{p2} \cdot (1 - \eta_{s2}^2)}{2 \cdot \pi \cdot i_2 \cdot \eta_{p2} \cdot \eta_{L2}^j} + \frac{0,5 \cdot F_{r2} \cdot d_{\xi 2} \cdot f_{22}}{i_2 \cdot \eta_{p2} \cdot \eta_{L2}^j} \end{aligned}$$

$F_{p2}$  ... předeptnutí kuličkového šroubu

$$F_{p2} = 0,35 \cdot F_{r2}$$

$$F_{p2} = 0,35 \cdot 6903,595$$

$$F_{p2} = 2416,258 \text{ N}$$

průměr šroubu  $d_{\xi 2}$  0,036 m

$$M_{KSM2a} = \frac{0,5 \cdot (6903,595 \cdot \cos \alpha_2 \cdot 0,005) \cdot 0,036 \cdot 0,002}{1 \cdot 1 \cdot 0,99^2}$$

$$M_{KSM2a} = 0,001268 \text{ Nm}$$

$$M_{KSM2b} = \frac{2416,258 \cdot (1 - 0,92^2)}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99^2} + \frac{0,5 \cdot 6903,595 \cdot 0,036 \cdot 0,002}{1 \cdot 1 \cdot 0,99^2}$$

$$M_{KSM2b} = 1,64933 \text{ Nm}$$

$M_{F2}$  ... moment zátěže od vyosení G

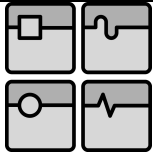
Podmínky pro vznik tohoto momentu je:

$$\text{a, b) } F_{\text{radial}} \leq \frac{6 \cdot F_{\text{axial}} \cdot a_2}{L_2}$$

$F_{\text{radial}}$  je síla kolmá na osu rotace,  $F_{\text{axial}}$  je rovnoběžná s osou rotace

Tato podmínka je splněna pouze pro variantu b.

$L_2$  ... délka supportu



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$L_2 = 0,5 \text{ m}$$

$$0 < \frac{6 \cdot 6903,595 \cdot 0,465}{0,5}$$

$$0 < 38522,0573$$

Třecí síla v kluzném vedení

$$F_{TV2} = \left( \frac{3 \cdot F_{r2} \cdot a_2}{L_2} \right) \cdot f_1$$
$$F_{TV2} = \left( \frac{3 \cdot 6003,595 \cdot 0,465}{0,5} \right) \cdot 0,005$$

$$F_{TV2} = 96,3051434 \text{ N}$$

Moment zátěže při vyosení  $F_{r2}$

$$M_{F2} = \frac{F_{TV2} \cdot s_2}{2 \cdot \pi \cdot i_2 \cdot \eta_{s2} \cdot \eta_{L2}^j \cdot \eta_{p2}}$$
$$M_{F2} = \frac{96,305 \cdot 0,02}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 \cdot 1}$$

$$M_{F2} = 0,33997062 \text{ Nm}$$

Statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru

$$M_{zsrhm2a} = M_{FrT2a} + M_{G2a} + M_{L2a} + M_{KSM2a} + M_{F2a}$$
$$M_{zsrhm2a} = 0 + 0,122 + 0,002 + 0,001 + 0$$

$$M_{zsrhm2a} = 0,124674 \text{ Nm}$$

$$M_{zsrhm2b} = M_{L2b} + M_{KSM2b} + M_{F2b}$$
$$M_{zsrhm2b} = 0,311 + 1,649 + 0,340$$

$$M_{zsrhm2b} = 2,299962 \text{ Nm}$$

Potřebný moment motoru určíme následovně.

$$M_{m2a} = M_{zsrhm2a}$$

$$M_{m2a} = 0,124674 \text{ Nm}$$

$$M_{m2b} = \frac{F_{r2} \cdot s_2}{2 \cdot \pi \cdot i_2 \cdot \eta_{p2}} + M_{zsrhm2b}$$
$$M_{m2b} = \frac{6903,595 \cdot 0,02}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1} + 2,300$$

$$M_{m2b} = 24,27479 \text{ Nm}$$

### Kinematické hledisko

Výpočet zrychlení a úhlového zrychlení je shodný s výpočtem provedeným při výpočtu pohonu pohybového šroubu pro osu z, proto zde nebude uváděn.

### Dynamické hledisko

Výpočet momentu pro dynamické hledisko dimenzování pohonu bude proveden pouze pro variantu b, která způsobuje vyšší zatížení posuvového šroubu.

dynamický moment při rozběhu  $M_{mD2}$

$$M_{mD2} = J_{RHM2} \cdot \epsilon_m + M_{ZRHM2}$$

moment zátěže redukovaný na hřídel motoru  $M_{ZRHM2}$

$$M_{ZRHM2} = M_{GT2} + M_{G2} + M_{KSH2}$$

Moment od radiální síly při skloněném vedení  $M_{GT2}$

$$M_{GT2} = \frac{F_{r2} \cdot \sin \alpha_2 \cdot s_2}{2 \cdot \pi \cdot i_2 \cdot \eta_{c2}}$$

pro  $\alpha=0^\circ$   $M_{GT2} = 0$  Nm

Pasivní odpor ve vedení  $M_G$

$$M_{G2} = \frac{F_{r2} \cdot f_{l2} \cdot \cos \alpha_2 \cdot s_2}{2 \cdot \pi \cdot i_2 \cdot \eta_{s2} \cdot \eta_{L2}^j \cdot \eta_{p2}}$$

$$M_{G2} = \frac{6903,595 \cdot 0,005 \cdot \cos 0 \cdot 0,02}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 \cdot 1}$$

$M_{G2} = 0,121853$  Nm

Pasivní odpor v matici a kuličkovém šroubu při rozběhu

$$M_{KSM2} = \frac{F_{p2} \cdot s_2 \cdot (1 - \eta_{s2}^2)}{2 \cdot \pi \cdot i_2 \cdot \eta_{p2} \cdot \eta_{L2}^j} + \frac{0,5 \cdot F_{r2} \cdot f_{l2} \cdot \cos \alpha_2 \cdot d_{s2} \cdot f_{22}}{i \cdot \eta_{p2} \cdot \eta_{L2}^j}$$

$$M_{KSM2} = \frac{2416,258 \cdot 0,02 \cdot (1 - 0,92^2)}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99^2} + \frac{0,5 \cdot 6903,595 \cdot 0,005 \cdot \cos 0 \cdot 0,036 \cdot 0,002}{1 \cdot 1 \cdot 0,99^2}$$

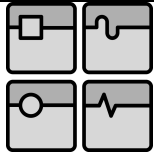
$M_{KSM2} = 2,411974$  Nm

Celkový moment zátěže redukovaný na hřídel motoru

$$M_{ZRHM2} = M_{GT2} + M_{G2} + M_{KSH2}$$

$$M_{ZRHM2} = 0 + 0,122 + 2,412$$

$M_{ZRHM2} = 2,533827$  Nm



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru

$$J_{\text{RMH } 2} = J_{\text{MOT } 2} + \frac{J_{s2}}{i_2^2} + \frac{J_{m2}}{i_2^2}$$

Potřebný výkon motoru

$$P_{ms2} = 2 \cdot \pi \cdot n_{rp} \cdot M_{m2}$$

$$P_{ms2} = 2 \cdot \pi \cdot 1,474 \cdot 24,275$$

$$P_{ms} = 449,533077 \text{ W}$$

Dle statického momentu jsme zvolili motor od firmy Siemens 1FT7102-5AB71-1MB1-ZX01 dle katalogu [25]

Parametry motoru

Výkon 4,08 kW

Jmenovité otáčky 1500 min<sup>-1</sup>

Jmenovitý moment 26 Nm

Moment setrvačnosti 0,00914 m<sup>2</sup>kg

Hmotnost 26,1 kg

Moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru

$$J_{\text{RMH } 2} = J_{\text{MOT } 2} + \frac{J_{s2}}{i_2^2} + \frac{J_{m2}}{i_2^2}$$

Moment setrvačnosti motoru s brzdou

$$J_{\text{MOT}2} = 0,00914 \text{ m}^2\text{kg}$$

Moment setrvačnosti pohybového šroubu

$$J_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot L \cdot \left( \frac{d_{s2}}{2} \right)^4$$

$$L_2 = 1,7 \text{ m}$$

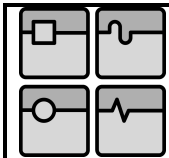
$$d_{s2} = 0,036 \text{ m}$$

$$J_{s2} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot 1,7 \cdot \left( \frac{0,036}{2} \right)^4$$

$$J_{s2} = 0,00219493 \text{ m}^2\text{kg}$$

Moment setrvačnosti přesouvaných hmot

$$J_{m2} = m_{v2} \cdot \left( \frac{s_2}{2 \cdot \pi} \right)^2$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hmotnost vřetena

$$m_{v2} = 896 \text{ kg}$$

$$J_{m2} = 896 \cdot \left( \frac{0,02}{2 \cdot \pi} \right)^2$$

$$J_{m2} = 0,00907838 \text{ m}^2\text{kg}$$

$$J_{RMH2} = 0,00914 + \frac{0,0022}{l^2} + \frac{0,0091}{l^2}$$

$$J_{RMH2} = 0,02041331 \text{ m}^2\text{kg}$$

dynamický moment při rozběhu  $M_{mD2}$ 

$$M_{mD2} = J_{RHM2} \cdot \epsilon_m + M_{ZRHM2}$$
$$M_{mD2} = 0,020 \cdot 349,066 + 2,534$$

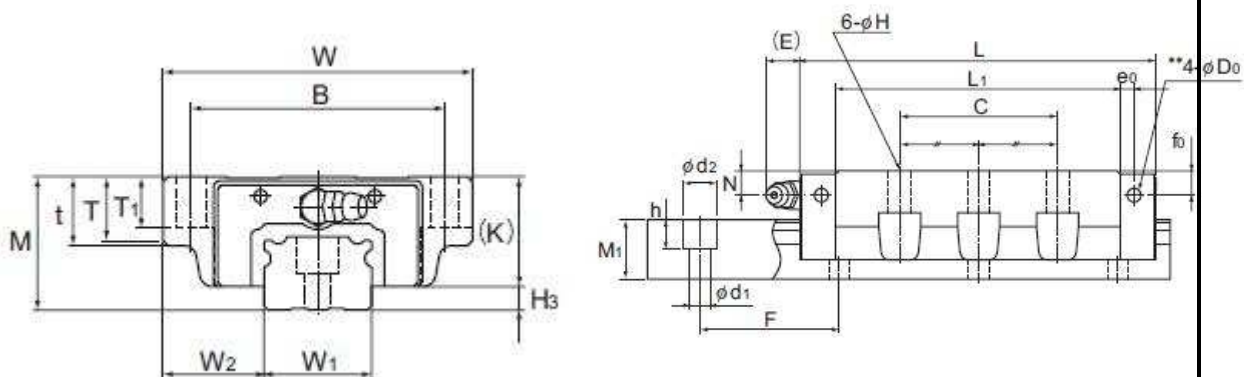
$$M_{mD} = 9,659416 \text{ Nm}$$

Uložení posuvového šroubu

Posuvový šroub bude uložen na obou koncích ložisek, které jsou vloženy do tzv. domečků. Pro tento posuvový šroub byly zvoleny domečky s označením BK25 a BF25 dle katalogu [24] od firmz thk.

Návrh vedení pro posuv v ose y

Dle katalogu [24] str. 76 volím vedení NR 85 LB.



Obr. 11.4 Vedení NR 85 LB

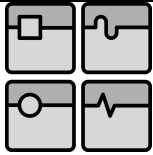
Charakteristiky vedení

Rozměry

$$M2 = 90 \text{ mm}$$

$$W2 = 215 \text{ mm}$$

$$L2 = 302,8 \text{ mm}$$



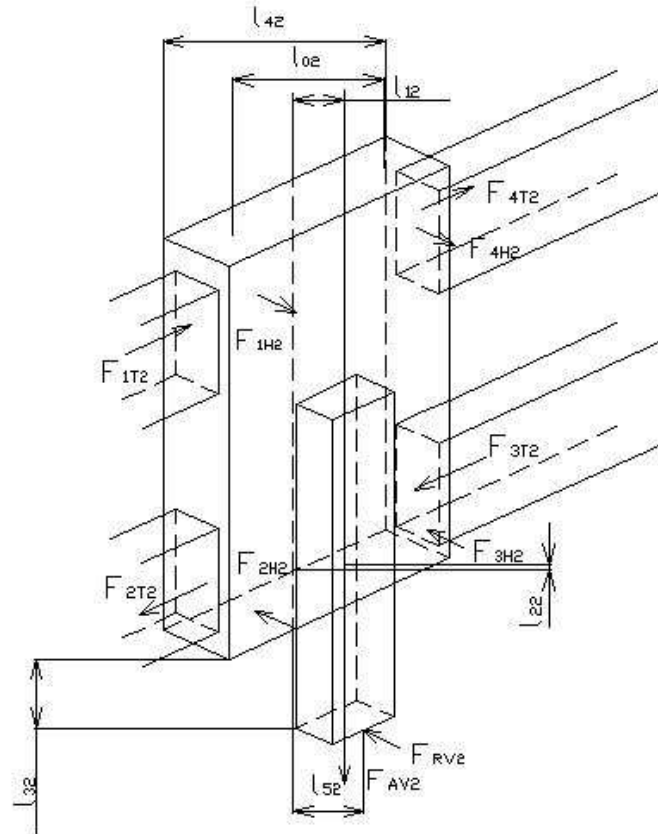
## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Základní dynamická únosnost

$$C_{V2} = 435 \text{ kN}$$

Základní statická únosnost

$$C_{V02} = 972 \text{ kN}$$



Obr. 11.5 Schéma vedení osy y

$$l_{02} = 0,3 \text{ m}$$

$$l_{12} = 0,5 \text{ m}$$

$$l_{22} = 0 \text{ m}$$

$$l_{32} = 0,8 \text{ m}$$

$$l_{42} = 0,8 \text{ m}$$

$$l_{52} = 0,04 \text{ m}$$

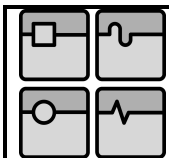
Hmotnost vřetena

$$m_{v2} = 896 \text{ kg}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{AV2} = m_{v2} \cdot g$$

$$F_{RV2} = 6903,595 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zrychlení

$$a_z = 1,111111 \text{ m/s}^2$$

Zatížení během zrychlení

$$P_{zzv12} = P_{zzv42} = -\frac{m_{v2} \cdot (g + a_z) \cdot l_{12}}{2 \cdot l_{02}} - \frac{F_{RV2} \cdot (l_{32} + 0,5 \cdot l_{42})}{2 \cdot l_{02}}$$

$$P_{zzv12} = P_{zzv42} = -\frac{896 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0,5}{2 \cdot 0,3} - \frac{6903,595 \cdot (0,8 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{zzv12} = P_{zzv42} = -21961,6 \text{ N}$$

$$P_{zzv22} = P_{zzv32} = \frac{m_{v2} \cdot (g + a_z) \cdot l_{12}}{2 \cdot l_{02}} + \frac{F_{RV2} \cdot (l_{32} + 0,5 \cdot l_{42})}{2 \cdot l_{02}}$$

$$P_{zzv22} = P_{zzv32} = \frac{896 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0,5}{2 \cdot 0,3} + \frac{6903,595 \cdot (0,8 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{zzv22} = P_{zzv32} = 21961,62 \text{ N}$$

$$P_{Tzzv12} = P_{Tzzv42} = -\frac{m_{v2} \cdot (g + a_z) \cdot l_{22}}{2 \cdot l_{02}} - \frac{F_{RV2} \cdot l_{52}}{2 \cdot l_{02}}$$

$$P_{Tzzv12} = P_{Tzzv42} = \frac{896 \cdot 9,81}{4} - \frac{896 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,3} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{Tzzv12} = P_{Tzzv42} = 1737,20037 \text{ N}$$

$$P_{Tzzv22} = P_{Tzzv32} = \frac{m_{v2} \cdot g}{4} + \frac{m_{v2} \cdot (g + a_z) \cdot l_{22}}{2 \cdot l_{02}} + \frac{F_{RV2} \cdot l_{52}}{2 \cdot l_{02}}$$

$$P_{Tzzv22} = P_{Tzzv32} = \frac{896 \cdot 9,81}{4} + \frac{896 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,3} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,3}$$

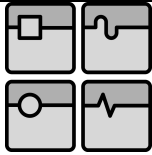
$$P_{Tzzv22} = P_{Tzzv32} = 2657,67963 \text{ N}$$

Zatížení během rovnoměrného pohybu

$$P_{zrv12} = P_{zrv42} = -\frac{m_{v2} \cdot g \cdot l_{12}}{2 \cdot l_0} - \frac{F_{RV2} \cdot (l_{32} + 0,5 \cdot l_{42})}{2 \cdot l_0}$$

$$P_{zrv12} = P_{zrv42} = -\frac{896 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,3} - \frac{6903,595 \cdot (0,8 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{zrv12} = P_{zrv42} = -21131,989 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{zrv22} = P_{zrv32} = \frac{m_{v2} \cdot g \cdot l_{12}}{2 \cdot l_{02}} + \frac{F_{RV2} \cdot (l_{32} + 0,5 \cdot l_{42})}{2 \cdot l_{02}}$$
$$P_{zrv22} = P_{zrv32} = \frac{896 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{2 \cdot 0,3} + \frac{6903,595 \cdot (0,8 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{zrv22} = P_{zrv32} = 21131,989 \text{ N}$$

$$P_{Tzrv42} = P_{Tzrv42} = \frac{m_{v2} \cdot g}{4} - \frac{m_{v2} \cdot g \cdot l_{22}}{2 \cdot l_{02}} - \frac{F_{RV2} \cdot l_{52}}{2 \cdot l_{02}}$$
$$P_{Tzrv42} = P_{Tzrv42} = \frac{896 \cdot 9,81}{4} - \frac{896 \cdot 9,81 \cdot 0}{2 \cdot 0,3} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{Tzrv22} = P_{Tzrv32} = \frac{m_{v2} \cdot g}{4} + \frac{m_{2v} \cdot g \cdot l_{22}}{2 \cdot l_{02}} + \frac{F_{RV2} \cdot l_{52}}{2 \cdot l_{02}}$$
$$P_{Tzrv22} = P_{Tzrv32} = \frac{896 \cdot 9,81}{4} + \frac{896 \cdot 9,81 \cdot 0}{2 \cdot 0,3} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{Tzrv22} = P_{Tzrv32} = 2657,67963 \text{ N}$$

## Zatížení během zpomalení

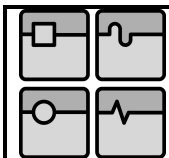
$$P_{zpv12} = P_{zpv42} = -\frac{m_{v2} \cdot (g - a_z) \cdot l_{12}}{2 \cdot l_{02}} - \frac{F_{RV2} \cdot (l_{32} + 0,5 \cdot l_{42})}{2 \cdot l_{02}}$$
$$P_{zpv12} = P_{zpv42} = -\frac{896 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0,5}{2 \cdot 0,3} - \frac{6903,595 \cdot (0,8 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{zpv12} = P_{zpv42} = -20302,359 \text{ N}$$

$$P_{zpv22} = P_{zpv32} = \frac{m_{v2} \cdot (g - a_z) \cdot l_{12}}{2 \cdot l_{02}} + \frac{F_{RV2} \cdot (l_{32} + 0,5 \cdot l_{42})}{2 \cdot l_{02}}$$
$$P_{zpv22} = P_{zpv32} = \frac{896 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0,5}{2 \cdot 0,3} + \frac{6903,595 \cdot (0,8 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{zpv22} = P_{zpv32} = 20302,3594 \text{ N}$$

$$P_{Tzpv42} = P_{Tzpv42} = \frac{m_{v2} \cdot g}{4} - \frac{m_{v2} \cdot (g - a_z) \cdot l_{22}}{2 \cdot l_{02}} - \frac{F_{RV2} \cdot l_{52}}{2 \cdot l_{02}}$$
$$P_{Tzpv42} = P_{Tzpv42} = \frac{896 \cdot 9,81}{4} - \frac{896 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,3} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,3}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{T_{zpv22}} = P_{T_{zpv32}} = \frac{m_{v2} \cdot g}{4} + \frac{m_{v2} \cdot (g - a_z) \cdot l_{22}}{2 \cdot l_{02}} + \frac{F_{RV2} \cdot l_{52}}{2 \cdot l_{02}}$$
$$P_{T_{zpv22}} = P_{T_{zpv32}} = \frac{896 \cdot 9,81}{4} + \frac{896 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,3} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,3}$$

$$P_{T_{zpv2}} = P_{T_{zpv3}} = 2657,67963 \text{ N}$$

Kombinace radiálního a axiálního zatížení

Během zrychleného pohybu

$$P_{CZZ12} = |P_{zpv12}| + |P_{Tzpv12}|$$
$$P_{CZZ12} = |-21961,6| + |1737,2|$$

$$P_{CZZ12} = 23698,82 \text{ N}$$

$$P_{CZZ32} = |P_{zpv32}| + |P_{Tzpv32}|$$
$$P_{CZZ32} = |21961,6| + |2657,7|$$

$$P_{CZZ32} = 24619,2983 \text{ N}$$

$$P_{CZZ22} = |P_{zpv22}| + |P_{Tzpv22}|$$
$$P_{CZZ22} = |21961,6| + |2557,7|$$

$$P_{CZZ22} = 24619,3 \text{ N}$$

$$P_{CZZ42} = |P_{zpv42}| + |P_{Tzpv42}|$$
$$P_{CZZ42} = |-21961,6| + |1737,2|$$

$$P_{CZZ42} = 23698,819 \text{ N}$$

Během rovnoměrného pohybu

$$P_{CZR12} = |P_{zrv12}| + |P_{Tzrv12}|$$
$$P_{CZR12} = |-21131,989| + |1737,2|$$

$$P_{CZR12} = 22869,19 \text{ N}$$

$$P_{CZR32} = |P_{zrv32}| + |P_{Tzrv32}|$$
$$P_{CZR32} = |21131,98| + |2657,7|$$

$$P_{CZR32} = 23789,6686 \text{ N}$$

$$P_{CZR22} = |P_{zrv22}| + |P_{Tzrv22}|$$
$$P_{CZR22} = |21131,98| + |2557,7|$$

$$P_{CZR22} = 23789,67 \text{ N}$$

$$P_{CZR42} = |P_{zrv42}| + |P_{Tzrv42}|$$
$$P_{CZR42} = |-21131,989| + |1737,2|$$

$$P_{CZR42} = 22869,1894 \text{ N}$$

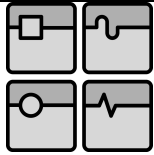
Během zpomaleného pohybu

$$P_{CZP12} = |P_{zpv12}| + |P_{Tzpv12}|$$
$$P_{CZP12} = |-20302,359| + |1737,2|$$

$$P_{CZP12} = 22039,56 \text{ N}$$

$$P_{CZP32} = |P_{zpv32}| + |P_{Tzpv32}|$$
$$P_{CZP32} = |20302,359| + |2657,7|$$

$$P_{CZP32} = 22960,039 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{CZP22} = |P_{zpv22}| + |P_{Tzpv22}|$$
$$P_{CZP22} = |20302359| + |26577|$$

$$P_{CZP22} = 22960,04 \text{ N}$$

$$P_{CZP42} = |P_{zpv42}| + |P_{Tzpv42}|$$
$$P_{CZP42} = |-20302359| + |1737,2|$$

$$P_{CZP42} = 22039,5597 \text{ N}$$

Průměrné zatížení každého vozíku

Zdvih

$$L_{z2} = 1,5 \text{ m}$$

$$P_{zm12} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_{z2}} \cdot (P_{CZZ12}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2} + P_{CZR12}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2} + P_{CPZ12}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2})}$$
$$P_{zm12} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1,5} \cdot (23698,82^3 \cdot 2 \cdot 1,5 + 22869,19^3 \cdot 2 \cdot 1,5 + 22039,56^3 \cdot 2 \cdot 1,5)}$$

$$P_{zm12} = 33011,99 \text{ N}$$

$$P_{zm22} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_{z2}} \cdot (P_{CZZ22}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2} + P_{CZR22}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2} + P_{CPZ22}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2})}$$
$$P_{zm22} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1,5} \cdot (24619,3^3 \cdot 2 \cdot 1,5 + 23789,67^3 \cdot 2 \cdot 1,5 + 22960,04^3 \cdot 2 \cdot 1,5)}$$

$$P_{zm22} = 34338,44 \text{ N}$$

$$P_{zm3} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_{z2}} \cdot (P_{CZZ32}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2} + P_{CZR32}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2} + P_{CPZ32}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2})}$$
$$P_{zm3} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1,5} \cdot (24619,3^3 \cdot 2 \cdot 1,5 + 23789,67^3 \cdot 2 \cdot 1,5 + 22960,04^3 \cdot 2 \cdot 1,5)}$$

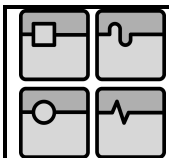
$$P_{zm32} = 34338,44 \text{ N}$$

$$P_{zm42} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_{z2}} \cdot (P_{CZZ42}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2} + P_{CZR42}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2} + P_{CPZ42}^3 \cdot 2 \cdot L_{z2})}$$
$$P_{zm42} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1,5} \cdot (23698,82^3 \cdot 2 \cdot 1,5 + 22869,19^3 \cdot 2 \cdot 1,5 + 22039,56^3 \cdot 2 \cdot 1,5)}$$

$$P_{zm42} = 33011,99 \text{ N}$$

Životnost vedení v kilometrech

Zátěžný faktor  $f_w$  je zvolen dle katalogu [24] str. 128 tab. 12.



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$f_{w2} = 1,2$$

$$L_{12} = L_{42} = \left( \frac{C_{v2}}{f_{w2} \cdot P_{zm12}} \right)^3 \cdot 50$$
$$L_{12} = \left( \frac{435}{1,2 \cdot 33011,99} \right)^3 \cdot 50$$

$$L_{12} = 66203,18 \text{ km}$$

$$L_{22} = L_{32} = \left( \frac{C_{v2}}{f_{w2} \cdot P_{zm22}} \right)^3 \cdot 50$$
$$L_{22} = \left( \frac{435}{1,2 \cdot 34338,44} \right)^3 \cdot 50$$

$$L_{22} = 58823,73 \text{ km}$$

Životnost vedení v hodinách

Počet zdvihů za minutu

$$n_{zD2} = 6 \text{ min}^{-1}$$

$$L_{1h2} = \frac{L_{12} \cdot 10^6}{2 \cdot L_{z2} \cdot n_{zD2} \cdot 60 \cdot 1000}$$
$$L_{1h2} = \frac{66203,18 \cdot 10^6}{2 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 1000}$$

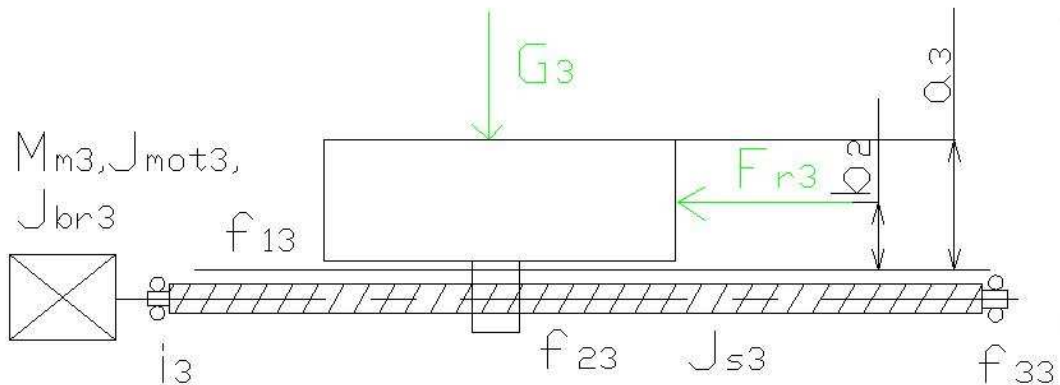
$$L_{1h2} = 61299,24 \text{ hod}$$

$$L_{2h2} = \frac{L_{22} \cdot 10^6}{2 \cdot L_{z2} \cdot n_{zD2} \cdot 60 \cdot 1000}$$
$$L_{2h2} = \frac{58823,73 \cdot 10^6}{2 \cdot 1,5 \cdot 6 \cdot 60 \cdot 1000}$$

$$L_{1h} = 54466,41 \text{ hod}$$

Potřebná životnost vedení je stanovena na 41 600 hod (Práce frézky po 16 hodin denně 5 dní v týdnu po 10 let), což vyhovuje vypočtené.

## 12. Výpočet pohonu posuvu v ose x



Obr. 12.1 Schéma posuvu v ose x

Pohon bude realizován pomocí dvou motorů ve vztahu master slave. Tíhové zatížení příčky se tedy rovnoměrně rozloží mezi oba motory. Zatížení od vřeteníku nelze takto rozložit, protože jeho velikost pro každý motor závisí na poloze vřeteníku. Celkové zatížení motoru bude tvořeno polovičním zatížením od příčky a zatížením vřeteníku.

Nejprve zvolíme parametry kuličkového šroubu.

Délka šroubu odpovídá délce zdvihu 1500 mm a potřebné délky konců pohybového šroubu 100 mm.

$L_3 = 1700$  mm

Stoupání volíme dle otáček motoru a maximální rychlosti.

Rychlost rychloposuvu  $0,33333333$  m/s

Předpokládané otáčky motoru  $1500$  min<sup>-1</sup>

stoupání  $s_3 = (0,2 \cdot 1000 \cdot 60) / 2300 = 13,333333$  mm

Volím stoupání

$s_3 = 16$  mm

Dle stoupání šroubu volíme průměr šroubu

$d_{s3} = 50$  mm

minimální průměr určíme ze vzorce na str. 34 [24]

$$P_{23} = 116 \cdot d_{sm3}^2$$

$$d_{sm3} = \sqrt{\frac{P_{23}}{116}}$$

$$d_{sm3} = \sqrt{\frac{6903,595}{116}}$$

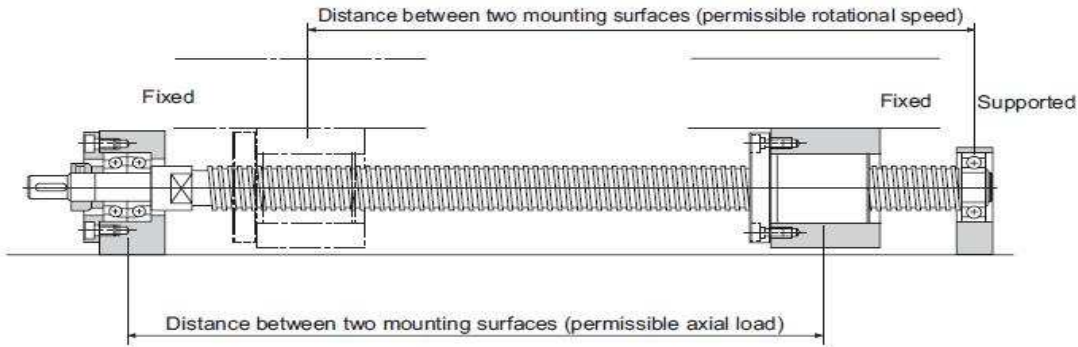
$P_2$  je axiální zatížení od řezné síly

$d_{sm3} = 12,3236106$  mm

Musí platit  $d_{s3} > d_{sm3}$ .

Přesnost polohování volím dle katalogu THK 0,05mm/300mm.

Způsob upevnění pohybového šroubu je s pevným levým koncem s motorem a podporou pro pravý konec, která umožňuje posuv šroubu ve směru osy rotace např. při prodloužení šroubu vlivem teploty.



Obr. 12.2 Upevnění pohybového šroubu, otočeno o 90° [34]

Maximální axiální zatížení

Odpor vedení bez zatížení

$$f_{v3} = 20 \text{ N}$$

Poloviční hmotnost příčky a hmotnost vřeteníku

$$m_{v3} = 1794 \text{ kg}$$

Zrychlení pohybu v ose z

$$a_z = 1,11111111 \text{ m/s}^2$$

Spočteno výše na str.....

Tíhové zrychlení

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Axiální zatížení během rozjezdu směrem dopředu

$$F_{a13} = m_{v3} \cdot g + f_{v3} + m_{v3} \cdot a_z$$

$$F_{a13} = 1794 \cdot 9,81 + 20 + 1794 \cdot 1,11$$

$$F_{a13} = 19612,4733 \text{ N}$$

Axiální zatížení rovnoměrného pohybu směrem dopředu

$$F_{a23} = m_{v3} \cdot g + f_{v3}$$

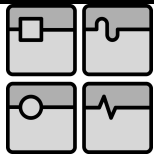
$$F_{a23} = 1794 \cdot 9,81 + 20$$

$$F_{a23} = 17619,14 \text{ N}$$

Axiální zatížení během zpomalení směrem dopředu

$$F_{a33} = m_{v3} \cdot g + f_{v3} - m_{v3} \cdot a_z$$

$$F_{a33} = 1794 \cdot 9,81 + 20 - 1794 \cdot 1,11$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$F_{a33} = 15625,8067 \text{ N}$$

Axiální zatížení během rozjezdu směrem dozadu

$$F_{a43} = m_{v3} \cdot g - f_{v3} - m_{v3} \cdot a_z$$

$$F_{a43} = 1794 \cdot 9,81 - 20 - 1794 \cdot 1,11$$

$$F_{a43} = 15585,8067 \text{ N}$$

Axiální zatížení během rovnoměrného pohybu směrem dozadu

$$F_{a53} = m_{v3} \cdot g - f_{v3}$$

$$F_{a53} = 1794 \cdot 9,81 - 20$$

$$F_{a53} = 17579,14 \text{ N}$$

Axiální zatížení během zpomalení směrem dozadu

$$F_{a63} = m_{v3} \cdot g - f_{v3} + m_{v3} \cdot a_z$$

$$F_{a63} = 1794 \cdot 9,81 - 20 + 1794 \cdot 1,11$$

$$F_{a63} = 19572,4733 \text{ N}$$

Maximální možné otáčky

Rychlost rychloposuvu

$$v_{rp} = 0,33333333 \text{ m/s}$$

Stoupání

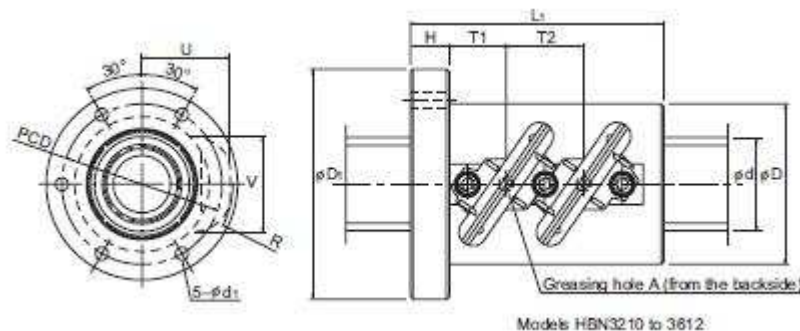
$$s_3 = 16 \text{ mm}$$

$$n_{s \max 3} = \frac{v_{rp} \cdot 60 \cdot 1000}{s_3}$$

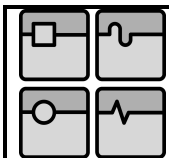
$$n_{s \max 3} = \frac{0,333 \cdot 60 \cdot 1000}{16}$$

$$n_{s \max 3} = 1250 \text{ min}^{-1}$$

Dle průměru šroubu (50 mm) volím matici HBN 5016 - 7.5 [24]



Obr. 12.3 Matice pohybového šroubu HBN 5016 - 7.5 [24]



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Charakteristiky matice:

Základní dynamická únosnost

$$C_{a3} = 379,6 \text{ kN}$$

Základní statická únosnost

$$C_{a03} = 820,9 \text{ kN}$$

Rozměry

$$D_3 = 95 \text{ mm}$$

$$D_{13} = 135 \text{ mm}$$

$$L_{13} = 211 \text{ mm}$$

$$H_3 = 28 \text{ mm}$$

$$\text{Hmotnost matice} = 10 \text{ kg}$$

$$\text{Hmotnost šroubu} = 8,5 \text{ kg}$$

Výpočet ujeté vzdálenosti

Maximální rychlost

$$v_{rp} = 0,33333333 \text{ m/s}$$

Čas rozběhu a zpomalení na rychlost rychloposuvu:

$$t_{r3} = t_{z3} = 0,3 \text{ s}$$

Zdvih

$$L_{z3} = 1,5 \text{ m}$$

Vzdálenost pro rozjezd

$$l_{13,43} = \frac{v_{rp} \cdot t_{r3}}{2}$$
$$l_{13,43} = \frac{0,333 \cdot 0,3}{2}$$

$$l_{13,43} = 0,05 \text{ m}$$

Vzdálenost pro pohyb rovnoměrnou rychlostí

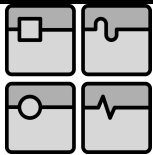
$$l_{23,53} = L_{z3} - \frac{2 \cdot v_{rp} \cdot t_{r3}}{2}$$
$$l_{23,53} = 1,5 - \frac{2 \cdot 0,333 \cdot 0,3}{2}$$

$$l_{23,53} = 1,4 \text{ m}$$

Vzdálenost pro zpomalení

$$l_{33,63} = \frac{v_{rp} \cdot t_{z3}}{2}$$
$$l_{33,63} = \frac{0,333 \cdot 0,3}{2}$$

$$l_{33,63} = 0,05 \text{ m}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Průměrné axiální zatížení

$$F_{m3} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_{z3}} \left( F_{a13}^3 \cdot l_{13} + F_{a23}^3 \cdot l_{23} + F_{a33}^3 \cdot l_{33} + F_{a43}^3 \cdot l_{43} \right.}$$
$$\left. + F_{a53}^3 \cdot l_{53} + F_{a63}^3 \cdot l_{63} \right)}$$
$$F_{m3} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1,5} \left( 19612,473^3 \cdot 0,05 + 17619^3 \cdot 1,4 + \right.}$$
$$\left. 15625,807^3 \cdot 0,05 + 15585,807^3 \cdot 0,05 + \right.}$$
$$\left. 17579,14^3 \cdot 1,4 + 19572,473^3 \cdot 0,05 \right)}$$

$$F_{m3} = 17614,2 \text{ N}$$

Nominální životnost

Dynamická únosnost

$$C_{a3} = 379600 \text{ N}$$

Faktor zatížení dle tab. 19 stran 730 katalog THK

$$f_{w3} = 1,5$$

$$L_{n3} = \left( \frac{C_{a3}}{f_{w3} \cdot F_{m3}} \right)^3 \cdot 10^6$$
$$L_{n3} = \left( \frac{379600}{1,5 \cdot 17614,2} \right)^3 \cdot 10^6$$

$$L_{n3} = 2965623213 \text{ otáček}$$

Průměrné otáčky za minutu

Počet zdvihů za minutu

$$n_{ZD3} = 4 \text{ min}^{-1}$$

$$N_{ZV3} = \frac{2 \cdot n_{ZD3} \cdot L_{z3}}{s_3}$$
$$N_{ZV3} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 1,5}{0,05}$$

$$N_{ZV3} = 750 \text{ min}^{-1}$$

Životnost pohybového šroubu v hodinách

$$L_{h3} = \frac{L_{n3}}{60 \cdot N_{ZV3}}$$
$$L_{h3} = \frac{2965623213}{60 \cdot 750}$$

$$L_{h3} = 65902,7381 \text{ hod}$$

Životnost pohybového šroubu v kilometrech

$$L_{km3} = L_n \cdot s_3 \cdot 10^{-6}$$

$$L_{km3} = 2965623213 \cdot 50 \cdot 10^{-6}$$

$$L_{km3} = 47449,9714 \text{ km}$$

Minimální životnost je 41 600 hod (pro práci stroje 16 hod denně 5 dní v týdnu po dobu 10 let).

Výpočtená životnost posuvového šroubu je tedy dostatečná.

Při návrhu pohonu kuličkového šroubu se zabýváme několika hledisky (statické, dynamické, kinematické) a kontrolou na oteplení.

Statické hledisko

Vstupní hodnoty:

$$G_3 = m_{v3} \cdot g$$

hmotnost vřetena $m_v$	1794 kg
tíhové zrychlení g	9,82 m/s <sup>2</sup>

$$G_3 = 548 \cdot 9,82$$

$$G_3 = 17617,08 \text{ N}$$

$$F_{r3} = 6903,595 \text{ N}$$

$$a_3 = 0,8 \text{ m}$$

$$b_3 = 0,4 \text{ m}$$

$$\alpha_3 = 0^\circ$$

Potřebný moment motoru:

$$M_{m3} = \frac{F_{r3} \cdot s_3}{2 \cdot \pi \cdot i_3 \cdot \eta_{p3}} + M_{zsrhm3}$$

$G_3$ ... tíhová síla působící na vřeteník

$i_3$ ... převodový poměr

$s_3$ ... stoupání šroubu

$\eta_{p3}$ ... účinnost převodu

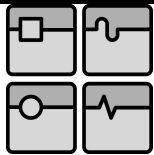
$M_{zsrhm3}$ ... statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru

Statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru:

$$M_{zsrhm3} = M_{GT3} + M_{G3} + M_{L3} + M_{KSM3} + M_{F3}$$

$M_{GT3}$  ... moment od tíhové síly

Tento moment vzniká, pouze pokud je vedení skloněno, pro náš případ je roven 0, vedení je totiž pod úhlem  $\alpha=0^\circ$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

 $M_{G3}$  ... moment zátěže od třecích sil přesouvaných hmot

$$M_{G3} = \frac{G_3 \cdot f_{13} \cdot \cos \alpha_3 \cdot s_3}{2 \cdot \pi \cdot i_3 \cdot \eta_{s3} \cdot \eta_{L3}^j \cdot \eta_{p3}}$$

tření ve vedení $f_{13}$	0,005
tření mezi maticí a šroubem $f_{23}$	0,002
tření v uložení šroubu $f_{33}$	0,003
stoupání šroubu $s_3$	0,016 m
převodový poměr $i_3$	1
účinnost kuličkového šroubu $\eta_{s3}$	0,92
účinnost kuličkového ložiska $\eta_{L3}$	0,99
počet kuličkových ložisek $j_3$	2
účinnost převodu $\eta_{p3}$	1

$$M_{G3} = \frac{17617,08 \cdot 0,005 \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,016}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 \cdot 1}$$

$M_{G3} = 0,248763 \text{ Nm}$

 $M_{L3}$  ... moment zátěže od třecích sil v ložisku

$$M_{L3} = \frac{0,5 \cdot (F_{r3} + G_3 \cdot \cos \alpha_3 \cdot f_{13}) \cdot d_{L3} \cdot f_{33}}{i_3 \cdot \eta_{p3}}$$

průměr šroubu pod ložisky  $d_{L3}$  0,045 m

$$M_{L3} = \frac{0,5 \cdot (6903,595 + 17617,08 \cdot \cos \alpha_3 \cdot 0,005) \cdot 0,045 \cdot 0,003}{1 \cdot 1}$$

$M_{L3} = 0,471938 \text{ Nm}$

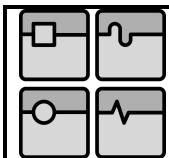
 $M_{KSM3}$  ... moment zátěže od předeprnutí kuličkového šroubu

$$M_{KSM3} = \frac{F_{p3} \cdot s_3}{2 \cdot \pi \cdot i_3 \cdot \eta_{p3} \cdot \eta_{L3}^j} \cdot (1 - \eta_{s3}^2) + \frac{0,5 \cdot (F_{r3} + G_3 \cdot \cos \alpha_3 \cdot f_{13}) \cdot d_{s3} \cdot f_{23}}{i \cdot \eta_{p3} \cdot \eta_{L3}^j}$$

 $F_{p3}$  ... předeprnutí kuličkového šroubu

$$F_{p3} = 0,35 \cdot F_{r3}$$
$$F_p = 0,35 \cdot 6903,595$$

$F_{p3} = 2416,258 \text{ N}$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$M_{\text{KSM3}} = \frac{2416,3 \cdot 16 \cdot (1 - 0,92^2)}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99^2} + \frac{0,5 \cdot (6903,6 + 17617,1 \cdot \cos 0^\circ \cdot 0,005) \cdot 0,05 \cdot 0,002}{1 \cdot 1 \cdot 0,99^2}$$

$$M_{\text{KSM3}} = 1,320964 \text{ Nm}$$

$M_{\text{F3}}$  ... moment zátěže od vyosení  $F_{\text{r3}}$

Podmínky pro vznik tohoto momentu je:

$$G_3 \leq \frac{6 \cdot F_{\text{r3}} \cdot a_3}{L_3}$$

$L_3$  ... délka vřeteníku

$$L_3 = 0,5 \text{ m}$$

$$17617,08 \leq \frac{6 \cdot 6903,595 \cdot 0,4}{0,5}$$

$$17617,08 < 66274,5073$$

Výše uvedená nerovnost je splněna, proto moment  $M_{\text{F3}}$  vzniká.

Třecí síla v kluzném vedení

$$F_{\text{TV3}} = \left( \frac{3 \cdot F_{\text{r3}} \cdot a_3}{L_3} \right) \cdot f_{\text{l3}} + G_3 \cdot f_{\text{l3}} \cdot \cos \alpha_3$$
$$F_{\text{TV3}} = \left( \frac{3 \cdot 6903,595 \cdot 0,4}{0,5} \right) \cdot 0,005 + 17617,08 \cdot 0,005 \cdot \cos 0^\circ$$

$$F_{\text{TV3}} = 253,771668 \text{ N}$$

Moment zátěže při vyosení  $F_{\text{r3}}$

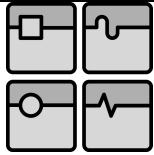
$$M_{\text{F3}} = \frac{F_{\text{TV3}} \cdot s_3}{2 \cdot \pi \cdot i_3 \cdot \eta_{\text{s3}} \cdot \eta_{\text{L3}}^j \cdot \eta_{\text{p3}}}$$
$$M_{\text{F3}} = \frac{253,772 \cdot 0,016}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 \cdot 1}$$

$$M_{\text{F}} = 0,71667958 \text{ Nm}$$

Statický moment zátěže redukováný na hřídel motoru

$$M_{\text{zsrhn8}} = M_{\text{GT3}} + M_{\text{G3}} + M_{\text{L3}} + M_{\text{KSM3}} + M_{\text{F3}}$$
$$M_{\text{zsrhn8}} = 0 + 0,249 + 0,472 + 1,321 + 0,717$$

$$M_{\text{zsrhm}} = 2,758345 \text{ Nm}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Potřebný moment motoru určíme následovně.

$$M_{m3} = \frac{F_{r3} \cdot s_3}{2 \cdot \pi \cdot i_3 \cdot \eta_{p3}} + M_{zsrhm3}$$
$$M_m = \frac{6903,595 \cdot 0,016}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1} + 2,759$$

$$M_m = 20,3382 \text{ Nm}$$

Kinematické hledisko

Výpočet zrychlení a úhlového zrychlení je shodný s výpočtem provedeným při výpočtu pohonu pohybového šroubu pro osu z, proto zde nebude uváděn.

Dynamické hledisko

dynamický moment při rozběhu  $M_{mD3}$

$$M_{mD3} = J_{RHM3} \cdot \epsilon_m + M_{ZRHM3}$$

moment zátěže redukováný na hřídel motoru  $M_{ZRHM3}$

$$M_{ZRHM3} = M_{GT3} + M_{G3} + M_{KSH3}$$

Moment od radiální síly při skloněném vedení  $M_{GT3}$

$$M_{GT3} = \frac{G_3 \cdot \sin \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_c}$$

$$\text{pro } \alpha=0^\circ M_{GT} =$$

$$0 \text{ Nm}$$

Pasivní odpor ve vedení  $M_G$

$$M_G = \frac{G_3 \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot s}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_s \cdot \eta_L^j \cdot \eta_p}$$
$$M_G = \frac{17617,08 \cdot 0,005 \cdot \cos 0 \cdot 0,016}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,99^2 \cdot 1}$$

$$M_G = 0,248763 \text{ Nm}$$

Pasivní odpor v matici a kuličkovém šroubu při rozběhu

$$M_{KSM} = \frac{F_p \cdot s \cdot (1 - \eta_s^2)}{2 \cdot \pi \cdot i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^j} + \frac{0,5 \cdot G_3 \cdot f_1 \cdot \cos \alpha \cdot d_s \cdot f_2}{i \cdot \eta_p \cdot \eta_L^j}$$
$$M_{KSM} = \frac{2416,3 \cdot 0,02 \cdot (1 - 0,92^2)}{2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,99^2} + \frac{0,5 \cdot 17617,08 \cdot 0,005 \cdot \cos 0 \cdot 0,05 \cdot 0,002}{1 \cdot 1 \cdot 0,99^2}$$

$$M_{KSM} = 1,930326 \text{ Nm}$$

Celkový moment zátěže redukováný na hřídel motoru

$$M_{ZRHM} = M_{GT} + M_G + M_{KSH}$$

$$M_{ZRHM} = 0 + 0,249 + 1,93$$

$M_{ZRHM} =$  2,179089 Nm

Moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru

$$J_{RMH} = J_{MOT} + \frac{J_s}{i^2} + \frac{J_m}{i^2}$$

Potřebný výkon motoru

$$P_{ms} = 2 \cdot \pi \cdot n_{rp} \cdot M_m$$

$$P_{ms} = 2 \cdot \pi \cdot 1,474 \cdot 20,33$$

$P_{ms} =$  376,633416 W

Dle statického momentu jsme zvolili motor od firmy Siemens 1FT7102-5AB71-1MB1-ZX01 dle katalogu [25].

Parametry motoru	
Výkon	4,08 kW
Jmenovité otáčky	1500 min <sup>-1</sup>
Jmenovitý moment	26 Nm
Moment setrvačnosti	0,00914 m <sup>2</sup> kg
Hmotnost	26,1 kg

Moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru

$$J_{RMH} = J_{MOT} + \frac{J_s}{i^2} + \frac{J_m}{i^2}$$

Moment setrvačnosti motoru s brzdou

$J_{MOT} =$  0,00914 m<sup>2</sup>kg

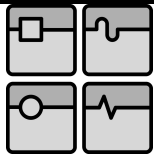
Moment setrvačnosti pohybového šroubu

$$J_s = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot L \cdot \left(\frac{d_s}{2}\right)^4$$

$L =$  1,7 m

$d_s =$  0,05 m

$$J_s = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 7830 \cdot 1,7 \cdot \left(\frac{0,05}{2}\right)^4$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$J_s = 0,00816753 \text{ m}^2\text{kg}$$

Moment setrvačnosti přesouvaných hmot

$$J_m = m_v \cdot \left( \frac{s}{2 \cdot \pi} \right)^2$$

Hmotnost vřetena

$$m_v = 1794 \text{ kg}$$

$$J_m = 1794 \cdot \left( \frac{0,016}{2 \cdot \pi} \right)^2$$

$$J_m = 0,00370917 \text{ m}^2\text{kg}$$

$$J_{RMH} = 0,00914 + \frac{0,0082}{l^2} + \frac{0,0037}{l^2}$$

$$J_{RMH} = 0,02101669 \text{ m}^2\text{kg}$$

dynamický moment při rozběhu  $M_{mD}$ 

$$M_{mD} = J_{RHM} \cdot \epsilon_m + M_{ZRHM}$$

$$M_{mD} = 0,021 \cdot 349,066 + 2,18$$

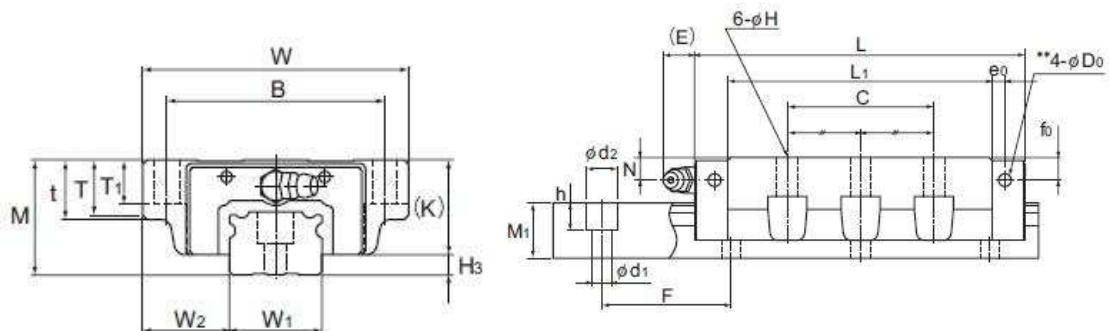
$$M_{mD} = 9,515299 \text{ Nm}$$

## Uložení posuvového šroubu

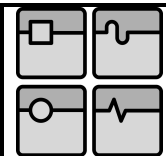
Posuvový šroub bude uložen na obou koncích ložisek, které jsou vloženy do tzv. domečků. Pro tento posuvový šroub byly zvoleny domečky s označením BK25 a BF25 dle katalogu [24] od firmy thk.

Návrh vedení pro posuv v ose x

Dle katalogu THK str. 76 volím vedení NR 85 LB.



Obr. 12.4 Vedení NR 85 LB [24]



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

## Charakteristiky vedení

## Rozměry

M2= 90 mm

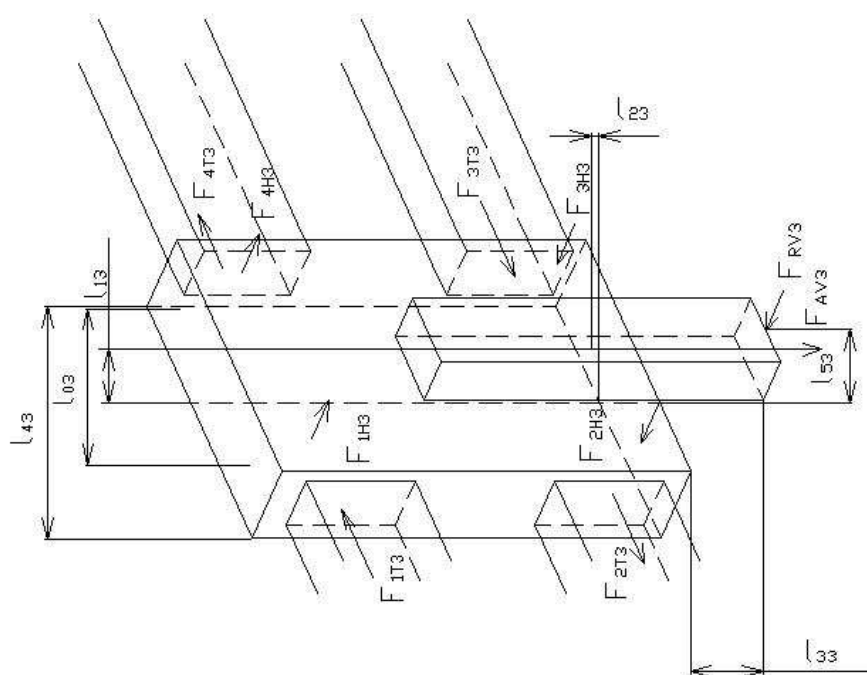
W2= 215 mm

L2= 302,8 mm

## Základní dynamická únosnost

 $C_{V2} = 435$  kN

## Základní statická únosnost

 $C_{V02} = 972$  kN

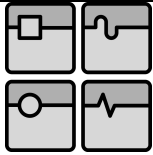
Obr. 12.5 Schéma vedení osy x

 $l_{03} = 0,4$  m $l_{13} = 0,4$  m $l_{23} = 0$  m $l_{33} = 0,522$  m $l_{43} = 0,8$  m $l_{53} = 0,04$  m

## Hmotnost vřetena

 $m_{v3} = 1794$  kg $g = 9,81$  m/s<sup>2</sup>

$$F_{AV3} = m_{v3} \cdot g$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$F_{RV3} = 6903,595 \text{ N}$$

Zrychlení

$$a_z = 1,111111 \text{ m/s}^2$$

Zatížení během zrychlení

$$P_{zzv13} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot (g + a_z) \cdot l_1}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{zzv13} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zzv13} = 22152,41 \text{ N}$$

$$P_{zzv23} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot (g + a_z) \cdot l_1}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{zzv23} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zzv23} = 2559,941 \text{ N}$$

$$P_{zzv33} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot (g + a_z) \cdot l_1}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{zzv33} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

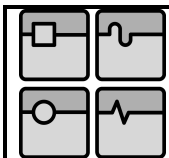
$$P_{zzv33} = 6239,629 \text{ N}$$

$$P_{zzv43} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot (g + a_z) \cdot l_1}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{zzv43} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zzv43} = -13352,8 \text{ N}$$

$$P_{Tzzv13} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot (g + a_z) \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{Tzzv13} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzzv13} = 4744,96473 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{T_{zzv43}} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot (g + a_z) \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$

$$P_{T_{zzv43}} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{T_{zzv43}} = 4054,605 \text{ N}$$

$$P_{T_{zzv23}} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot (g + a_z) \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$

$$P_{T_{zzv23}} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{T_{zzv23}} = 4744,96473 \text{ N}$$

$$P_{T_{zzv23}} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot (g + a_z) \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$

$$P_{T_{zzv23}} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot (9,81 + 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{T_{zzv33}} = 4399,785$$

Zatížení během rovnoměrného pohybu

$$P_{zrv13} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot g \cdot l_{13}}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_{03}}$$

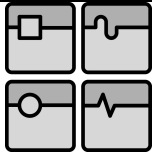
$$P_{zrv13} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zrv1} = 21155,7477 \text{ N}$$

$$P_{zrv43} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot g \cdot l_{13}}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_{03}}$$

$$P_{zrv43} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zrv43} = -12356,2 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{zrv23} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_v \cdot g \cdot l_1}{2 \cdot l_0} + \frac{F_{RV1} \cdot (l_3 + 0,5 \cdot l_4)}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{zrv23} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zrv33} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot g \cdot l_{13}}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{zrv33} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zrv23} = 3556,60767 \text{ N}$$

$$P_{zrv33} = 5242,962 \text{ N}$$

$$P_{Tzrv13} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot g \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{Tzrv13} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot 9,81 \cdot 0}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzrv13} = 4744,96473 \text{ N}$$

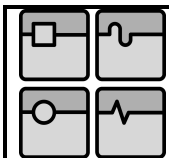
$$P_{Tzrv43} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot g \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{Tzrv43} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot 9,81 \cdot 0}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzrv43} = 4054,605 \text{ N}$$

$$P_{Tzrv23} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot g \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{Tzrv23} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot 9,81 \cdot 0}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzrv23} = 4744,96473 \text{ N}$$

$$P_{Tzrv33} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot g \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{Tzrv33} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot 9,81 \cdot 0}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{Tzrv33} = 4054,605 \text{ N}$$

Zatížení během zpomalení

$$P_{zpv13} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot (g - a_z) \cdot l_{13}}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{zpv13} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zpv13} = 20159,081 \text{ N}$$

$$P_{zpv43} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot (g - a_z) \cdot l_{13}}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{zpv43} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zpv43} = -11359,5 \text{ N}$$

$$P_{zpv23} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot (g - a_z) \cdot l_{13}}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{zpv23} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

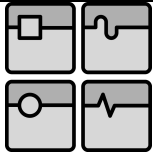
$$P_{zpv23} = 4553,27433 \text{ N}$$

$$P_{zpv33} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot (g - a_z) \cdot l_{13}}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot (l_{33} + 0,5 \cdot l_{43})}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{zpv33} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot (0,522 + 0,5 \cdot 0,8)}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{zpv33} = 4246,296 \text{ N}$$

$$P_{Tzpv13} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_v \cdot (g - a_z) \cdot l_2}{2 \cdot l_0} + \frac{F_{RV1} \cdot l_5}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{Tzpv13} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzpv13} = 4744,96473 \text{ N}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{Tzpv43} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_v \cdot (g - a_z) \cdot l_2}{2 \cdot l_0} - \frac{F_{RV1} \cdot l_5}{2 \cdot l_0}$$
$$P_{Tzpv43} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzpv43} = 4054,605 \text{ N}$$

$$P_{Tzpv23} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} - \frac{m_{v3} \cdot (g - a_z) \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} + \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{Tzpv23} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} - \frac{1794 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} + \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzpv23} = 4744,96473 \text{ N}$$

$$P_{Tzpv33} = \frac{m_{v3} \cdot g}{4} + \frac{m_{v3} \cdot (g - a_z) \cdot l_{23}}{2 \cdot l_{03}} - \frac{F_{RV3} \cdot l_{53}}{2 \cdot l_{03}}$$
$$P_{Tzpv33} = \frac{1794 \cdot 9,81}{4} + \frac{1794 \cdot (9,81 - 1,11) \cdot 0}{2 \cdot 0,4} - \frac{6903,595 \cdot 0,04}{2 \cdot 0,4}$$

$$P_{Tzpv33} = 4054,605 \text{ N}$$

Kombinace radiálního a axiálního zatížení

Během zrychleného pohybu

$$P_{CZZ1} = |P_{zv1}| + |P_{Tzv1}|$$
$$P_{CZZ1} = |-110864| + |-34518|$$

$$P_{CZZ1} = 26897,38 \text{ N}$$

$$P_{CZZ2} = |P_{zv2}| + |P_{Tzv2}|$$
$$P_{CZZ2} = |110864| + |34518|$$

$$P_{CZZ2} = 7304,906 \text{ N}$$

Během rovnoměrného pohybu

$$P_{CZR} = |P_{zv}| + |P_{Tzv}|$$
$$P_{CZR} = |-1076939| + |-34518|$$

$$P_{CZZ3} = |P_{zv3}| + |P_{Tzv3}|$$
$$P_{CZZ3} = |110864| + |34518|$$

$$P_{CZZ3} = 10639,414 \text{ N}$$

$$P_{CZA} = |P_{zv4}| + |P_{Tzv4}|$$
$$P_{CZA} = |-110864| + |-34518|$$

$$P_{CZA} = 17407,4496 \text{ N}$$

$$P_{CZR3} = |P_{zv3}| + |P_{Tzv3}|$$
$$P_{CZR3} = |1076939| + |34518|$$

$$P_{CZR1} = 25900,71 \text{ N}$$

$$P_{CZR3} = 9297,56761 \text{ N}$$

$$P_{CZR2} = |P_{zrv2}| + |P_{Tzrv2}|$$

$$P_{CZZ} = |10767,939| + |34518|$$

$$P_{CZR} = |P_{zrv4}| + |P_{Tzrv4}|$$

$$P_{CZR} = |-10767,939| + |-34518|$$

$$P_{CZR2} = 8301,572 \text{ N}$$

$$P_{CZR4} = 16410,7829 \text{ N}$$

Během zpomaleného pohybu

$$P_{CZP} = |P_{zpv4}| + |P_{Tzpv4}|$$

$$P_{CZZ} = |-10449,494| + |-34518|$$

$$P_{CZB} = |P_{zpv3}| + |P_{Tzpv3}|$$

$$P_{CZB} = |11044,9494| + |34518|$$

$$P_{CZP1} = 24904,05 \text{ N}$$

$$P_{CZP3} = 8300,90094 \text{ N}$$

$$P_{CZP2} = |P_{zpv2}| + |P_{Tzpv2}|$$

$$P_{CZP2} = |10449,494| + |34518|$$

$$P_{CZB} = |P_{zpv4}| + |P_{Tzpv4}|$$

$$P_{CZB} = |-10449,494| + |-34518|$$

$$P_{CZP2} = 9298,239 \text{ N}$$

$$P_{CZP4} = 15414,1163 \text{ N}$$

Průměrné zatížení každého vozíku

Zdvih

$$L_z = 1,5 \text{ m}$$

$$P_{zm1} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_z} \cdot (P_{CZZ1}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CZR1}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CPZ1}^3 \cdot 2 \cdot L_z)}$$

$$P_{zm1} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1} \cdot (11431,56^3 \cdot 2 \cdot 1 + 11113,12^3 \cdot 2 \cdot 1 + 10794,67^3 \cdot 2 \cdot 1)}$$

$$P_{zm1} = 37392,13 \text{ N}$$

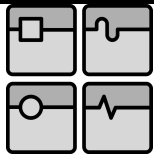
$$P_{zm2} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_z} \cdot (P_{CZZ2}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CZR2}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CPZ2}^3 \cdot 2 \cdot L_z)}$$

$$P_{zm2} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1} \cdot (11431,56^3 \cdot 2 \cdot 1 + 11113,12^3 \cdot 2 \cdot 1 + 10794,67^3 \cdot 2 \cdot 1)}$$

$$P_{zm2} = 12086,9 \text{ N}$$

$$P_{zm3} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_z} \cdot (P_{CZZ3}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CZR3}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CPZ3}^3 \cdot 2 \cdot L_z)}$$

$$P_{zm3} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1} \cdot (11431,56^3 \cdot 2 \cdot 1 + 11113,12^3 \cdot 2 \cdot 1 + 10794,67^3 \cdot 2 \cdot 1)}$$



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

$$P_{zm3} = 13715,43 \text{ N}$$

$$P_{zm4} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot L_z} \cdot (P_{CZZ4}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CZR4}^3 \cdot 2 \cdot L_z + P_{CPZ4}^3 \cdot 2 \cdot L_z)}$$
$$P_{zm4} = \sqrt[3]{\frac{1}{2 \cdot 1} \cdot (11431,56^3 \cdot 2 \cdot 1 + 11113,12^3 \cdot 2 \cdot 1 + 10794,67^3 \cdot 2 \cdot 1)}$$

$$P_{zm4} = 23726,5 \text{ N}$$

Životnost vedení v kilometrech

Zátěžný faktor  $f_w$  je zvolen dle katalogu THK str. 128 tab. 12.

$$f_w = 1,2$$

$$L_1 = L_2 = L_3 = L_4 = \left( \frac{C_v}{f_w \cdot P_{zm1}} \right)^3 \cdot 50$$
$$L_1 = \left( \frac{435}{1,2 \cdot 37393} \right)^3 \cdot 50$$

$$L_1 = 45556,82 \text{ km}$$

Životnost vedení v hodinách

Počet zdvihů za minutu

$$n_{ZD} = 4 \text{ min}^{-1}$$

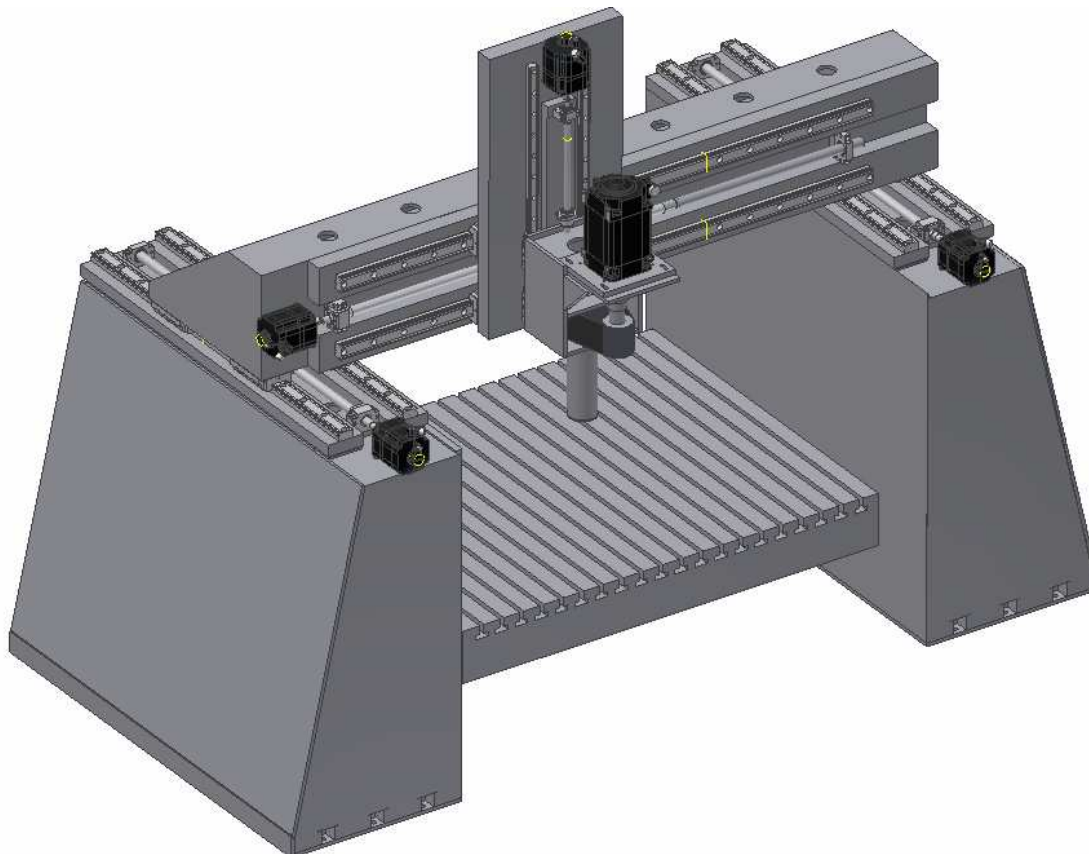
$$L_{1h} = \frac{L_1 \cdot 10^6}{2 \cdot L_z \cdot n_{ZD} \cdot 60 \cdot 1000}$$
$$L_{1h} = \frac{45556,82 \cdot 10^6}{2 \cdot 1,2 \cdot 4 \cdot 60 \cdot 1000}$$

$$L_{1h} = 63273,36 \text{ hod}$$

Potřebná životnost vedení je stanovena na 41 600 hod (Práce frézky po 16 hodin denně 5 dní v týdnu po 10 let), což vyhovuje vypočtené.

### 13. Model portálové frézky

Model portálové frézky typu horní gantry byl vytvořen v programu Autodesk Inventor 2009.



Obr. 13.1 Pohled na model portálové frézky

#### Vysoké lože

Bude se jednat o svařenec, který bude vylit polymerbetonem skrze díry na horní části ložete. Toto lože bude připevněno k základu pomocí šroubů, umístěných do zanořených patek. Lože bude 500 mm po úrovni podlahy.

#### Příčka

Příčka bude vytvořena jako svařenec vylitý polymerbetonem.

#### Smýkadlo

Smýkadlo je litinový odlitek.

#### Vřeteník

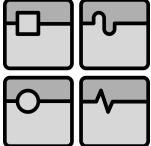
Vřeteník je svařenec z oceli 11 500.

#### Vřeteno

Vřeteno je obrobená součást z oceli 12 050.

#### Předepnutí řemenu

Předepnutí řemenu je dosaženo posunem desky, na které je připevněn motor, směrem od osy vřetena pomocí stavěcího šroubu.

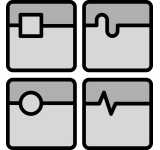
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 93
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

#### Stůl

Stůl je litinový odlitek umístěný 100 mm nad úroveň podlahy. Mezi stolem a vysokým ložem je mezera pro vložení dvou třískových vynašečů (na každé straně jeden), které nejsou součástí modelu.

V modelu nejsou vloženy šrouby, spojky mezi motory a posuvovými šrouby pro osy x, y a z, upínací zařízení od firmy ott jacob a vzorový trn s frézou.

Stroj je bez vnějšího krytování.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 94
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 14. Závěr

V této práci jsme poznali základní stavbu portálových frézek. Dále jsme na základě výpočtu zkonstruovali portálovou frézku typu horní gantry.

Pro tuto frézku budou použity nástrčné frézy o průměru 20 – 80 mm a příslušné trny s ISO kuželem ISO 40 pro upnutí do vřetene. Upí nání bude zajištěno pomocí upínacího zařízení pro ISO 40 od firmy Ott Jacob. Dle maximálního krouťícího momentu od řezné síly ( 276 Nm) byl zvolen asynchronní motor 1PH8 137 – 1\_F od firmy Siemens.

Převod mezi pohonem a vřetenem je řešen pomocí ozubeného řemenu CONTI SYNCHROBELT HTD 1400 – 14M – 170 a příslušných řemenic HTD PT36 – 14M – 170 a HTD PT72 – 14M – 170 od firmy tyma.cz.

Vřeteno je uloženo v kuličkových ložiscích s kosoúhlým stykem (7212 BECBJ) od firmy SKF.

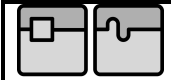

Posuv v ose x je řešen pomocí posuvového šroubu HBN 5016 – 7.5 od firmy THK a synchronního motoru 1FT7 102 – 5AB od firmy Siemens. Pro osu y a z je použit stejný synchronní motor od firmy Siemens jako pro osu x. Pro osu y a z použijem posuvový šroub BLK 3620 – 5.6.

Vedení přímočarého pohybu v jednotlivých osách je dosaženo pomocí valivého vedení, konkrétně valivých „hnízd“ a profilové kolejnice. Pro osu z byl použit typ NRS 55 LB od firmy THK a pro osy x, y NRS 85 LB od firmy THK.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 95
	<b>DIPLOMOVÁ PRÁCE</b>	

## 15. Použitá literatura

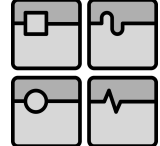
- [1] *DARO HANDEL* [online]. 23.01.2009, 26.4.2010 [cit. 2011-05-26]. Portálová frézka FOREST LINE. Dostupné z WWW: <<http://www.usedmachines.org/aktuality/portalova-frezka-forest-line.html>>.
- [2] MAREK, Jiří, et al. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Praha : MM publishing, s. r. o, 2010. 422 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [3] SZABO, František Szabo. Výroba modelů na CNC obráběcím centru. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 1, [cit. 2011-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-modelu-na-cnc-obrabecim-centru>>.
- [4] CHERAGHI, S. Hossien; WARAM, Vish. Scheduling of multi-spindle CNC gantry mills. *JOURNAL OF SCHEDULING*[online]. 2002, 5, [cit. 2011-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/fulltext/89013621/PDFSTART>>.
- [5] *MM Průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2011-05-26]. Dostupné z WWW: <[http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/81/8110\\_big.jpg](http://www.mmspektrum.com/multimedia/image/81/8110_big.jpg)>.
- [6] *Rotas strojírny* [online]. c2001 - 2008 [cit. 2011-05-26]. Strojpark. Dostupné z WWW: <<http://www.rotas-strojirny.cz/strojpark/img21.jpg>>.
- [7] *TOS Kurim* [online]. [cit. 2011-05-26]. FRP. Dostupné z WWW: <<http://www.tos-kurim.cz/picture/machine-frp-web.jpg>>.
- [8] TANG, Xiaoqiang; WANG, Jinsong; GAO, Men. Kinematic calibration of gantry hybrid machine tool based on estimation error and local measurement information. *Springer-Verlag* [online]. 24.11.2004, [cit. 2011-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://web.ebscohost.com/ehost/pdf?vid=5&hid=11&sid=5cdb7cee-460a-4f6b-a829-2272e3d67124%40sessionmgr14>>.
- [9] *TRIMILL machine tool* [online]. [cit. 2011-05-26]. TRIMILL VC 1110. Dostupné z WWW: <<http://www.trimill.cz/en/produkty/51-trimill-speed-1110.html>>.
- [10] GRESCHNER, Martina . Třetí generace HSC frézovacích strojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2007, 9, [cit. 2011-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/treti-generace-hsc-frezovacich-stroju>>.
- [11] [online]. [cit. 2011-05-26]. Cahors katedrála . Dostupné z WWW: <[http://lh6.ggpht.com/\\_haq8GjFEmZE/ScOOHy1XR\\_I/AAAAAAAAABEY/4EbnAFnqZ4k/D4966\\_Cahors\\_katedra\\_portal.jpg](http://lh6.ggpht.com/_haq8GjFEmZE/ScOOHy1XR_I/AAAAAAAAABEY/4EbnAFnqZ4k/D4966_Cahors_katedra_portal.jpg)>.
- [12] MIKULOVÁ, M. *Frézovací stroje současné produkce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 34 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Blecha, Ph.D.
- [13] HUMÁR, Anton. *Technologie I : Technologie obrábění - 1.část* [online]. 2003 [cit. 2009-05-20]. Dostupný z WWW: <[http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)>.
- [14] *CoroKey* [online]. : Sandvik Coromant, 2010 [cit. 2010-07-20]. Dostupné z WWW: <[http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/CoroKey\\_2010.pdf](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/CoroKey_2010.pdf)>.
- [15] LUNÁČEK, F. Větší spolehlivost při upínání nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2009, 4, [cit. 2011-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vetsi-spolehlivost-pri-upinani-nastroju>>.
- [16] FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 226 s. ISBN 80-214-2374-9.
- [17] VÝKONNÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003, 4, [cit. 2011-05-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-rezne-materialy>>.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 96
	<b>DIPLOMOVÁ PRÁCE</b>	

- [18] [online]. 2009 [cit. 2011-05-27]. 1PH8 asynchronous and synchronous motors Main drives for SINAMICS S120, s. . Dostupné z WWW: <[http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentcenter/mc/Documentsu20Catalogs/pm21n\\_en-2009-11.pdf](http://www.automation.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentcenter/mc/Documentsu20Catalogs/pm21n_en-2009-11.pdf)>.)
- [19] *KTR* [online]. [cit. 2011-05-27]. Company katalogue, s. . Dostupné z WWW: <[http://ktr.com/root/img/pool/pdf/produktkataloge/en/en\\_gesamt/ktr\\_kat00ek00.pdf](http://ktr.com/root/img/pool/pdf/produktkataloge/en/en_gesamt/ktr_kat00ek00.pdf)>.
- [20] *Contitech* [online]. [cit. 2011-05-27]. CONTI SYNCHROBELT, s. . Dostupné z WWW: <[http://www.tyma.cz/files/katalogy/contitech\\_htd\\_e.pdf](http://www.tyma.cz/files/katalogy/contitech_htd_e.pdf)>.
- [21] *Tyma* [online]. [cit. 2011-05-27]. Řemenice a upínací pouzdra, s. . Dostupné z WWW: <[http://www.tyma.cz/files/katalogy/tyma\\_remenice\\_2007.pdf](http://www.tyma.cz/files/katalogy/tyma_remenice_2007.pdf)>. [22] *SKF* [online]. [cit. 2011-05-27]. Dostupné z WWW: <<http://www.skf.com/portal/skf/home>>.
- [23] LEINVEBER, Jan; ŘASA, Jaroslav; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Praha : Scientia, 1999. 986 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [24] *THK* [online]. 2006 [cit. 2011-05-27]. Dostupné z WWW: <[www.thk.com](http://www.thk.com)>.
- [25] *Siemens* [online]. 2009 [cit. 2011-05-27]. Motor series 1FT7, s. . Dostupné z WWW: <<https://www.click4business-supplies.com/resources/articles/6zb5711-0aj02-0aa1.pdf>>.

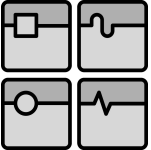
## 16. Použité symboly

$A$  – celkové axiální zatížení ložisek A a D [N]  
 $a$  – osová vzdálenost [mm]  
 $a_{1-3}$  – poloha působíště síly [m]  
 $a_{1,2}$  – osová vzdálenost řemenu [mm]  
 $A_{di}$  – průřez třísky [mm<sup>2</sup>]  
 $a_p$  – hloubka úběru [mm]  
 $a_{pc}$  – hloubka úběru [mm]  
 $a_z$  – zrychlení ve směru pohybu [m/s<sup>2</sup>]  
 $b_{1-3}$  – poloha působíště síly [m]  
 $B_{1,1-3}$  – rozměr matice posuvového šroubu [mm]  
 $B_c$  – šířka obráběného polotovaru [mm]  
 $c_0$  – celkový provozní faktor [-]  
 $C_{1-3}$  – přibližná hodnota základní dynamické únosnosti ložiska [N]  
 $c_1$  – faktor opásání [-]  
 $c_2$  – faktor zatížení [-]  
 $c_3$  – faktor zrychlení [-]  
 $c_4$  – faktor únavy [-]  
 $c_5$  – faktor délky [-]  
 $C_{A,B,D}$  – základní dynamická únosnost ložiska dle katalogu [N]  
 $C_{a0,1-3}$  – základní statická únosnost [kN]  
 $C_{a1-3}$  – základní dynamická únosnost [kN]  
 $c'_A$  – tuhost ložisek A a D [N/m]  
 $c_A$  – tuhost ložiska A [N/m]  
 $c_B$  – tuhost ložiska B [N/m]  
 $c_D$  – tuhost ložiska D [N/m]  
 $C_{v1-3}$  – základní dynamická únosnost vedení [kN]  
 $C_{v01-3}$  – základní statická únosnost vedení [kN]  
 $d$  – průměr frézy [mm]  
 $d_1$  –  $d_{12}$  – průměr frézy [mm]  
 $D_{1-3}$  – rozměr matice posuvového šroubu [mm]  
 $D_{1,1-3}$  – rozměr matice posuvového šroubu [mm]  
 $D_{100}$  – průměr frézy 100 mm [mm]  
 $D_i$  – diskriminant [-]  
 $d_{L,1-3}$  – průměr šroubu pod ložisky [mm]  
 $d_{s1-3}$  – průměr šroubu [mm]  
 $d_{sm}$  – minimální průměr šroubu [mm]  
 $d_v$  – průměr vřetena [mm]  
 $d_{wg}$  – průměr velké řemenice [mm]  
 $d_{wk}$  – průměr malé řemenice [mm]  
 $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa]  
 $f_{1,1-3}$  – tření ve vedení [-]  
 $f_{2,1-3}$  – tření mezi maticí a šroubem [-]  
 $f_{3,1-3}$  – tření v uložení šroubu [-]  
 $F_{a1-6,1-3}$  – axiální zatížení šroubu při pohybu přesouvaných hmot [N]  
 $F_{AA}$  – axiální složka síly v místě ložiska A [N]  
 $F_{AA}'$  – axiální složka síly v místě ložisek A a D [N]  
 $F_{AR}$  – radiální složka síly v místě ložiska A [N]  
 $F_{AR}'$  – radiální složka síly v místě ložisek A a D [N]





	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 98
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

$F_{AV1-3}$  – axiální složka síly působící na vedení [N]  
 $F_{BA}$  – axiální složka síly v místě ložiska B [N]  
 $F_{BR}$  – radiální složka síly v místě ložiska B [N]  
 $F_c$  – řezná síla [N]  
 $F_{CA}$  – axiální složka řezné síly [N]  
 $F_{CR}$  – radiální složka řezné síly [N]  
 $F_{DA}$  – axiální složka síly v místě ložiska D [N]  
 $F_{DR}$  – radiální složka síly v místě ložiska D [N]  
 $F_{ch}$  – síla působící proti upínacímu zařízení [N]  
 $F_{m1-3}$  – průměrné axiální zatížení posuvového šroubu [N]  
 $F_{p,1-3}$  – předepnutí kuličkového šroubu [N]  
 $F_{r,1-3}$  – řezná síla [N]  
 $F_{RV1-3}$  – radiální síla působící na vedení [N]  
 $F_{stat}$  – síla pro předpětí řemenu [N]  
 $F_{TV,1-3}$  – třecí síla v kluzném vedení [N]  
 $F_u$  – dovolená zatěžující síla v řemenu [N]  
 $F_v$  – celková síla v řemenu [N]  
 $f_{v1-3}$  – odpor ve vedení bez zatížení [N]  
 $f_{w,1-3}$  – faktor zatížení [-]  
 $F_x$  – celková síla v ose x [N]  
 $F_z$  – celková síla v ose z [N]  
 $f_{zc}$  – posuv na zub [mm]  
 $f_{zD}$  – posuv na zub pro dokončování [mm]  
 $f_{zHc}$  – posuv na zub pro hrubování [mm]  
 $g$  – tíhové zrychlení [ $m/s^2$ ]  
 $G1-3$  – tíhová síla [N]  
 $H1-3$  – rozměr matice posuvového šroubu [mm]  
 $J$  – kvadratický moment průřezu [ $mm^4$ ]  
 $J_{m,1-3}$  – moment setrvačnosti přesouvaných hmot [ $m^2kg$ ]  
 $J_{MOT,1-3}$  – moment setrvačnosti motoru s brzdou [ $m^2kg$ ]  
 $J_{RMH,1-3}$  – moment setrvačnosti redukováný na hřídel motoru [ $m^2kg$ ]  
 $J_{s,1-3}$  – moment setrvačnosti šroubu [ $m^2kg$ ]  
 $k_{c1}$  – měrný řezný odpor [MPa]  
 $k_{ci}$  – měrná řezná síla pro daný zub [MPa]  
 $l_{0-5,1-3}$  – rozměry vedení [mm]  
 $L1-3$  – délka kuličkového šroubu [mm]  
 $L_{1,1-3}$  – rozměr matice posuvového šroubu [mm]  
 $l_{1-6,1-3}$  – vzdálenost pro zrychlený, rovnoměrný a zpomalený pohyb [m]  
 $L_{10,h,min}$  – minimální životnost ložiska [hod]  
 $L_{10,h,A,B,D}$  – životnost vedení [hod]  
 $L_{1h,1-3}$  – životnost vedení [hod]  
 $L_{1km,1-3}$  – životnost vedení [km]  
 $L_{h,1-3}$  – životnost posuvového šroubu [hod]  
 $L_{km,1-3}$  – životnost posuvového šroubu [km]  
 $L_{n,1-3}$  – životnost posuvového šroubu [otáčky]  
 $LV1-3$  – rozměr vedení [mm]  
 $L_w$  – délka řemenu [mm]  
 $L_z,1-3$  – zdvih posuvového šroubu [m]  
 $M1-3$  – rozměr vedení [mm]

$M_{BX}$  – moment k bodu B [Nm]  
 $m_c$  – koeficient pro výpočet řezné síly [-]  
 $M_{F,1-3}$  – moment zátěže od vyosení axiální síly [Nm]  
 $M_{FrT,1-2}$  – moment od radiální řezné síly při skloněném vedení [Nm]  
 $M_{G,1-3}$  – moment zátěže od třecích sil přesouvaných hmot [Nm]  
 $M_{GT,1-3}$  – moment od radiální řezné síly při skloněném vedení [Nm]  
 $M_k$  – kroutící moment na vřetenu [Nm]  
 $M_{KSM,1-3}$  – moment zátěže od předepnutí kuličkového šroubu [Nm]  
 $M_{L,1-3}$  – moment zátěže od třecích sil v ložisko [Nm]  
 $M_m$  – kroutící moment na motoru [Nm]  
 $M_{mD,1-3}$  – dynamický moment při rozběhu [Nm]  
 $m_{v1-3}$  – přenášená hmotnost [kg]  
 $M_{zsrhm,1-3}$  – statický moment redukováný na hřídel motoru [Nm]  
 $M_{ZRHM,1-3}$  – moment zátěže redukováný na hřídel motoru [Nm]  
 $n$  – počet zubů v záběru [-]  
 $n_D$  – otáčky pro dokončování [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $n_f$  – bezpečnost [-]  
 $n_H$  – otáčky pro hrubování [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $n_m$  – otáčky motoru [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $n_{max}$  – maximální otáčky motoru [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $n_{rp,1-3}$  – otáčky rychloposuvu [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $n_{smax1-3}$  – maximální otáčky posuvového šroubu [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $n_v$  – otáčky vřetena [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $n_{ZD,1-3}$  – počet zdvihů [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $N_{ZV,1-3}$  – průměrné otáčky [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $p$  – úhel mezi zuby v [rad]  
 $p_1$  – počet kuličkových ložisek [-]  
 $p_2$  – počet ozubených řemenů [-]  
 $P_2$  – axiální zatížení odvozené od hmotnosti vřeteníku [N]  
 $p_3$  – počet odměřovacích zařízení [-]  
 $P_{e1-3}$  – ekvivalentní zatížení ložiska [N]  
 $P_j$  – výkon [kW]  
 $P_{ms,1-3}$  – potřebný výkon motoru pro pohon šroubu [kW]  
 $P_R$  – přenášený výkon [kW]  
 $P_{CZP1-6,1-3}$  – kombinace radiální a axiálního zatížení vedení [N]  
 $P_{CZR1-6,1-3}$  – kombinace radiální a axiálního zatížení vedení [N]  
 $P_{CZZ1-6,1-3}$  – kombinace radiální a axiálního zatížení vedení [N]  
 $P_{zm1-4,1-3}$  – průměrné zatížení každého vozíku [N]  
 $P_{zpv1-6,1-3}$  – zatížení během zpomaleného pohybu vedení [N]  
 $P_{zrv1-6,1-3}$  – zatížení během rovnoměrného pohybu vedení [N]  
 $P_{zzv1-6,1-3}$  – zatížení během zrychleného pohybu vedení [N]  
 $q$  – koeficient pro výpočet optimální vzdálenosti ložisek [-]  
 $R$  – celkové radiální zatížení ložisek A a D [N]  
 $r$  – koeficient pro výpočet optimální vzdálenosti ložisek [-]  
 $s_{1-3}$  – stoupání posuvový šroub [mm]  
 $s_c$  – dráha ujetá za čas  $t_c$  [mm]  
 $t$  – rozteč [mm]  
 $t_c$  – celkový čas obrábění [s]  
 $t_r, 1-3$  – čas rozběhu [s]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 100
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

$t_s, 1 - 3$  – čas rovnoměrného pohybu [s]  
 $t_z, 1 - 3$  – čas zpomalení [s]  
 $T_w, 1 - 3$  – rozměr matice posuvového šroubu [mm]  
 $V$  – objem odebraného materiálu za hodinu [dm<sup>3</sup>]  
 $v_c, v_{cc}$  – řezná rychlost [m/min]  
 $v_{cD}$  – řezná rychlost pro dokončování [m/min]  
 $v_{cH}$  – řezná rychlost pro hrubování [m/min]  
 $v_{fc}$  – posuvová rychlost [m/mm]  
 $v_p$  – rychlost pásu [m/s]  
 $v_{rp}$  – rychlost rychloposuvu [m/s]  
 $W1 - 3$  – rozměr vedení [mm]  
 $x$  – vzdálenost předního ložiska od předního konce vřetene [m]  
 $X1 - 3$  – koeficient ložiska [-]  
 $y$  – vzdálenost předních a zadních ložisek [m]  
 $y'$  – optimální vzdálenost ložisek [mm]  
 $Y1 - 3$  – koeficient ložiska [-]  
 $z$  – počet zubů [-]  
 $z_1$  – počet zubů malé řemenice [-]  
 $z_2$  – počet zubů velké řemenice [-]  
 $z_c$  – počet zubů pro kontrolní výpočet úběru materiálu [-]  
 $z_e$  – počet zubů pro faktor opásání [-]  
 $z_l$  – koeficient pro výpočet optimální vzdálenosti ložisek [-]  
 $\alpha 1 - 3$  – úhel naklonění vedení [°]  
 $\beta$  – úhel opásání [°]  
 $\epsilon_{s, 1 - 3}$  – úhlové zrychlení šroubu [rad/s<sup>2</sup>]  
 $\epsilon_{m, 1 - 3}$  – úhlové zrychlení motoru [rad/s<sup>2</sup>]  
 $\eta$  – celková účinnost převodu [-]  
 $\eta_{v,L}$  – účinnost kuličkového ložiska [-]  
 $\eta_p$  – účinnost převodu ozubeným řemen [-]  
 $\eta_m$  – účinnost odměřování [-]  
 $\eta_s$  – účinnost kuličkového šroubu [-]  
 $\kappa$  – úhel nastavení ostří [rad]  
 $\phi 1 - \phi 4$  – úhly polohy jednotlivých zubů frézy v záběru [rad]

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 101
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

## 17. Příloha

Výkres sestavy portálové frézky typu horní gantry