



**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

# **SOUSTRUŽNICKÉ STROJE**

LATHE MACHINES

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MAREK VIDLÁK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2013



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2012/13

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Marek Vidlák

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 bakalářské práce:

### **Soustružnické stroje**

v anglickém jazyce:

### **Lathe machines**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rešerše a popis soustružnických strojů současné produkce.

Výpočtový návrh vybrané komponenty soustružnického stroje.

Cíle bakalářské práce:

Provést rešerši, popis a rozřídění soustružnických strojů.

Provést výpočtový návrh zvolené komponenty soustružnického stroje.

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 stránky výrobců soustružnických strojů

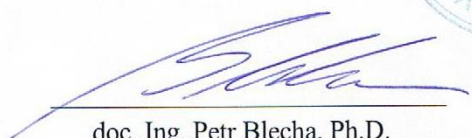
www.mmspektrum.com

www.infozdroje.cz

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

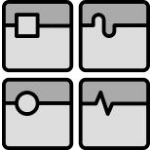
V Brně, dne 3.12.2012



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



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá rozdělením soustružnických strojů a popisem základních komponent. Je rozdělena na tři části. První část pojednává o historii a definici obrábění. Dále se zaměřuji na stavbu soustruhu a popis základních částí, zejména na popis vřetene, které jsem si vybral pro výpočtový návrh. V druhé části je provedeno rozdělení moderních soustružnických strojů a uvedeno několik příkladů strojů současné produkce. V poslední části je navržena konstrukce vřetene dle zadaných parametrů.

## Klíčová slova

Soustružnické stroje, soustruhy, stavba soustruhu, CNC, vřeteno

## Abstract

Bachelor's thesis deals with distribution of turning machines and describes the basic parts. It is divided into free parts. The first part deals with the history and definition of treatment. It is focused on building a lathe and description of basic parts, especially the description of the spindle which I chose for computational design which I chose for computational design. In the second part I will the distribution of the modern lathe machines and I give a several examples of current production machines. In the last part I will propose construction of spindle to fit the specified parameters.





## Keywords

Lathe machines, lathe, description, CNC, spindle

## Bibliografická citace

VIDLÁK, M. *Soustružnické stroje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 59 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D..



 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 7
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## Prohlášení





Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma Soustružnické stroje jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Petra Blechy, Ph.D.. Prohlašuji také, že veškerou využitou literaturu jsem uvedl v seznamu literatury.

24. 5. 2013

.....  
Marek Vidlák





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

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za pomoc při psaní této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu ve studiu.

24. 5. 2013

.....

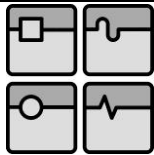
Marek Vidlák



## Obsah

1. Úvod.....	13
1.1. Historie a vývoj .....	13
2. Soustružení .....	14
2.1. Teorie třískového obrábění .....	14
2.2. Definice soustružení .....	14
2.3. Soustružnické operace .....	15
2.4. Třísky .....	16
2.5. Řezný nástroj .....	16
2.5.1. Geometrie nástroje.....	16
3. Stavba soustruhu .....	17
3.1. Lože .....	17
3.1.1. Vlastnosti loží .....	17
3.1.2. Materiály loží.....	18
3.2. Hlavní vřeteno .....	19
3.2.1. Požadované vlastnosti vřeten.....	19
3.2.2. Deformace vřetena.....	19
3.2.3. Přesnost chodu .....	21
3.2.4. Uložení vřetene.....	21
3.2.5. Pohon vřetene.....	22
3.2.5.1. Nepřímý pohon .....	22
3.2.5.1.1. Řemenový převod.....	22
3.2.5.1.2. Převod ozubenými koly .....	23
3.2.5.2. Přímý pohon.....	23
3.2.5.2.1. Elektrovřeteno .....	23
3.2.6. Upínání obrobků .....	23
3.2.7. Uspořádání ložisek ve vřetenu .....	23
3.3. Vedení.....	24
3.3.1. Kluzné vedení.....	24
3.3.2. Valivé vedení .....	24
3.3.3. Hydrostatické vedení .....	24
3.4. Mechanizmy pro přímočarý pohyb .....	24
3.4.1. Šroub a matice.....	24
3.4.2. Kuličkový šroub a matice (KŠM).....	24
3.5. Suport .....	24
3.6. Nástrojový držák .....	25
3.6.1. Nástrojová hlava .....	25
3.6.2. Revolverová hlava .....	25
3.7. Koník.....	25
3.8. Protivřeteno .....	25
3.9. Opěry.....	25
3.9.1. Pevná opěra (Luneta).....	25
3.9.2. Podvalky .....	25
3.10. C-osa.....	25
3.11. B-osa .....	26
3.12. Systémy.....	26
4. Soustruhy.....	27
4.1. Rozdělení soustruhů .....	27

4.1.1.	Univerzální hrotový soustruh .....	28
4.1.2.	Soustruh s vodorovným ložem .....	28
4.1.3.	Soustruh s šikmým ložem .....	29
4.1.4.	Čelní soustruh.....	29
4.1.5.	Vícevřetenové soustruhy .....	29
4.1.6.	Svislé soustruhy.....	30
4.1.7.	Multifunkční obráběcí centra .....	30
5.	Současná produkce soustružnických strojů .....	31
5.1.	DMG / Mori Seiki NEF 600 .....	31
5.2.	Doosan Lynx 300M .....	32
5.3.	Doosan QL300H .....	33
5.4.	TOSHULIN FORCETURN 2500.....	35
5.5.	Kovosvit MAS MULTICUT 500 S.....	36
6.	Výpočtová zpráva.....	37
6.1.	Základní parametry .....	38
6.2.	Řezné podmínky .....	38
6.3.	Volba motoru vřetene.....	39
6.3.1.	Požadavky na motor vřetene.....	39
6.4.	Automatický upínač.....	41
6.5.	Volba ložisek.....	42
6.5.1.	Předběžné rozměry vřetena .....	42
6.5.2.	Předběžná volba ložisek.....	42
6.5.3.	Výpočet ideální vzdálenosti ložisek .....	42
6.6.	Reakce v ložiskách.....	43
6.6.1.	Známé parametry.....	44
6.6.2.	Silová rovnováha .....	44
6.7.	Uspořádání ložisek.....	44
6.8.	Trvanlivost ložisek.....	45
6.8.1.	Trvanlivost ložiska A.....	46
6.8.2.	Trvanlivost ložiska B.....	46
6.9.	Návrh vřetena .....	47
6.9.1.	VVÚ .....	47
6.9.2.	Určení průměru pod řemenici.....	48
6.9.3.	Základní rozměry vřetene .....	49
6.9.4.	Výpočet cyklického namáhání.....	49
6.9.5.	Konec vřetene a adaptér.....	50
6.9.6.	Montáž vřetene .....	51
6.9.6.1.	Mazání ložisek.....	51
6.9.6.2.	Těsnění ložisek .....	51
6.9.6.3.	Montáž ložisek .....	51
6.9.6.4.	Montáž řemenice.....	51
6.10.	Zhodnocení konstrukčního řešení vřetene .....	51
7.	Závěr .....	52
8.	Seznam použitých zdrojů .....	53
9.	Seznam obrázků .....	56
10.	Seznam tabulek .....	57
11.	Seznam použitých symbolů.....	58



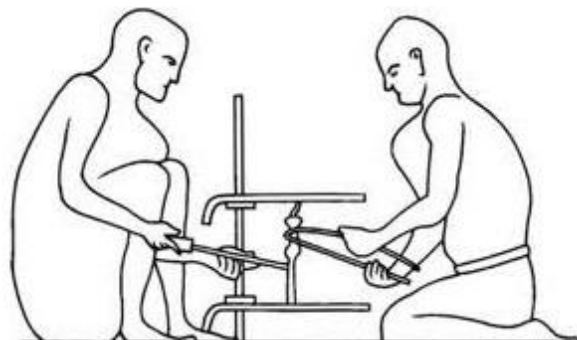
## 1. Úvod

Soustružení je nejrozšířenějším obráběcím procesem. Obrobky ve většině případů mají rotační tvar. Stroje pro soustružení se nazývají soustruhy. U soustruhu je hlavní pohyb rotační a koná ho obrobek. Vedlejší pohyb je přímočarý a koná ho posuv nástroje. Soustruh je univerzální stroj pro výrobu strojních součástí. Může obrábět vnější a vnitřní plochy obrobku, dále podporuje vrtání, vyhrubování a vystružování. Významnou operací je také řezání závitů. Modernější soustruhy podporují frézování a další obráběcí operace. Moderní soustruhy jsou vysoce výkonné obráběcí stroje a do budoucna je důraz kladen na zkrácení obráběcího času.

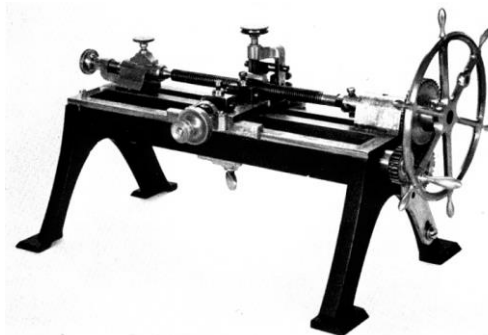
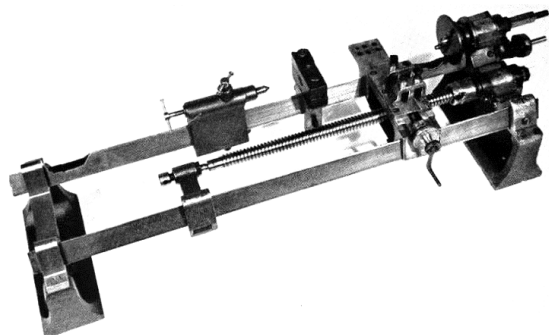
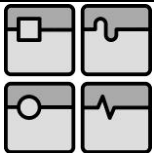
### 1.1. Historie a vývoj

Soustružení patří k jednomu z nejstarších způsobů obrábění materiálu. Vynález soustruhu je spojen se dvěma důležitými pravěkými vynálezy: lukem a hrnčířským kruhem. Luk mohl být objeven v období 1000 př. n. l. až 7000 př. n. l. a hrnčířský kruh někdy v roce 5000 př. n. l. Luk se stal zařízením se schopností akumulovat energii, která se využívala jako zdroj pohonu pro rotační pohyb. Tyto soustruhy se nazývají Smyčcové soustruhy, kde byl obrobek uložený mezi hroty a pomocí tětiny luku, která byla kolem něj obtočena, se otáčel. Nejstarší vyobrazení soustruhu pochází ze starého Egypta. Smyčcové soustruhy používaly i staří Řekové a Římané. V období středověku vznikaly nové typy soustruhů jako Šlapací a Setrvačnickový. Nejstarší dochované kresby pochází z poloviny 16. století od Leonarda Da Vinciho. Během 15. – 18. století se vyvinulo zařízení pro řezání závitů, kde byl už dokonalejší suport. Za autora moderního soustruhu je považován britský technik Henry Maudslay. Maudslayův soustruh byl sestaven v letech 1794-1797 a podobal se dnešním hrotovým soustruhům více než ty předešlé. Měl již odlité kovové lože a vodící šroub, který vedl suport při řezání závitů. Pohyb vodícího šroubu byl odvozen od hlavního rotačního pohybu. Po roce 1800 se soustruh dočkal vylepšení a byl uzpůsoben pro řezání různých závitů. Pohon vřetena byl zajišťován lidskou silou nebo při vyšších výkonech vodní silou. Parní stroj jako pohon se začal využívat až po jeho zdokonalení.

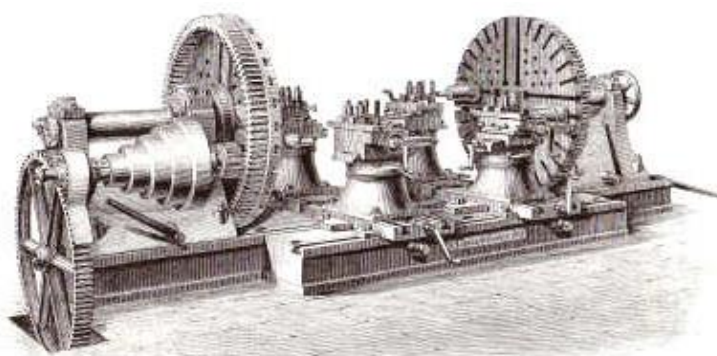
Dalším výrazným posuvem ve vývoji byl vznik NC (Numerical Control) soustruhů v roce 1942. Vynálezce NC soustruhu je John T. Parsons. V té době NC stroje využívali pro řízení děrnou páskou. V roce 1952 byl v Massachusettském technickém institutu (MIT) poprvé vyvinut CNC (Computer Numerical Control) soustruh. Do strojírenské výroby byli, ale zahrnuti až v 70. letech 20. století. Pro CNC soustruhy je typická vysoká přesnost, vysoké výkony a vyšší rychlost a bezpečnost. Momentálně jsou CNC soustruhy nebo CNC soustružnické centra nejrozšířenější na světě.



Obr. 1.1 – Smyčcový soustruh ze starého Egypta [11]



Obr. 1.2 – Dvě provedení soustruhu na řezání závitů podle Maudslayho [11]



Obr. 1.3 – Soustruh pro obrábění kol pro lokomotivy [12]

## 2. Soustružení

### 2.1. Teorie třískového obrábění

Obrábění je technologický proces, při kterém je část obráběného materiálu oddělována řezným klínem nástroje.

### 2.2. Definice soustružení

Soustružení je proces třískové obrábění. Zpravidla se obrábí válcové obrobky. Hlavní pohyb vykonává vřeteno a vedlejší pohyb posouvající nástroj s definovaným břitem. Většinou se obrábějí válcové, kuželové, obecné nebo čelní rovinné plochy. Podle umístění obráběné plochy rozlišujeme soustružení vnější a soustružení vnitřní. Dále je umožněno vrtání, vyhrubování a vystružování. U moderních soustružnických center lze i frézovat.

### Veličiny soustružení

#### Řezná rychlost: $v_c$

Volí se hlavně podle obrobitelnosti materiálu obrobku a podle otěruvzdornosti břitu nástroje. Vztah je dán průměrem obrobku  $D$  a počtem otáček  $n$ . Získává se např. z katalogu výrobce nástrojů.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} [m \cdot s^{-1}] \quad (2.1) [4]$$

#### Posuv: $f$

Posuv je dráha nástroje během jedné otáčky obrobku. Při hrubování se používá velký posuv a při hlazení malý.

### Hloubka řezu: $a_p$

Hloubka řezu je určena přísuvem (příčným posuvem) před odebráním další vrstvy při podélném posuvu.

### Celková práce: $A$

Celková práce řezání se rovná součtu dílčích prací deformačních a třecích.

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 [J] \quad (2.2) \quad [1]$$

- $A$  ..... celková práce řezání  
 $A_1 \cong 80\% \cdot A$  ..... práce deformační (až 80 %)  
 $A_2 \cong 5\% \cdot A$  ..... práce tření na čele (asi 5 %)  
 $A_3 \cong 5\% \cdot A$  ..... práce tření na hřbetě (asi 5 %)  
 $A_4 \cong 10\% \cdot A$  ..... práce pružných deformací (asi 10 %)

Celková práce řezání  $A$  se mění v celkové teplo  $Q$  a přibližně platí:

$$Q \cong A \quad (2.3) \quad [1]$$

### Celkové teplo: $Q$

$$Q = Q_t + Q_o + Q_n + Q_p [J] \quad (2.4) \quad [1]$$

- $Q$  ..... celkové odvedené teplo  
 $Q_t = (42 \div 90)\% \cdot Q$  ..... odvedené teplo třískou  
 $Q_o = (5 \div 45)\% \cdot Q$  ..... odvedené teplo obrobkem (při vrtání: (50÷70)%)  
 $Q_n = (1,5 \div 5)\% \cdot Q$  ..... odvedené teplo nástrojem  
 $Q_p = (1 \div 8)\% \cdot Q$  ..... odvedené teplo prostředím

## 2.3. Soustružnické operace

### Soustružení válcových ploch

Válcová plocha může být vytvořena při podélném posuvu nebo i příčným posuvem širokého břitu, rovnoběžného s osou rotace.

### Soustružení rovinných ploch

Rovinná plocha kolmá k ose rotace může být vytvořena při příčném posuvu nebo i podélným posuvem břitu kolmého k ose rotace.

### Řezání závitů

Řezání závitu se provádí nožem tvaru profilu závitu při podélném posuvu odpovídajícím stoupání závitu.

### Zapichování a upichování

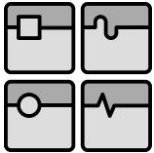
Zápich je drážka, vytvořená většinou jen příčným pohybem nože. Upíchnutí je oddělení materiálu zápichem až k ose.

### Soustružení profilů

Profil tvarového nože může být přenesen do obrobku příčným nebo podélným pohybem.

### Soustružení složitých obecných ploch

Při soustružení kuželových nebo složitě tvarovaných rotačních ploch na NC soustruhu jsou posuvy v obou směrech ovládány nezávisle



## 2.4. Třísky

Tříska vzniká při vnikání řezného klínu do materiálu, kde po překročení meze pevnosti dochází k plastické deformaci a následnému odtrhnutí třísky. Vysoká teplota a tlak způsobují sváření deformovaného materiálu a jeho následné odstříhnutí.

Vhodné řezné podmínky způsobují výhodnější tvar třísky. Nejvýhodnější tvar třísek jsou krátké šroubovitě nebo spirálovitě třísky.

## 2.5. Řezný nástroj

Soustružnický nástroj se též nazývá soustružnický nůž. Řezný klín je tvořen plochou čela a plochou hřbetu. Společná hrana tvoří hlavní břit nástroje. Hlavní břit přechází přes zaoblenou špičku do vedlejšího břitu.

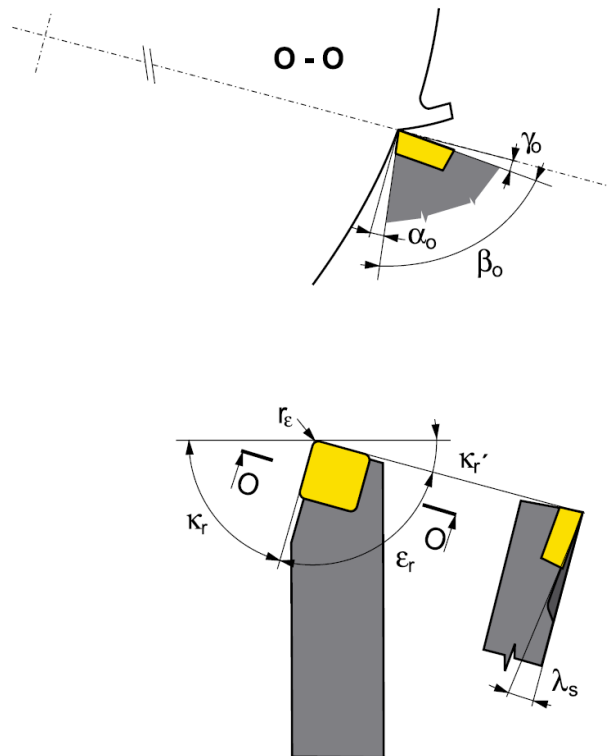
### 2.5.1. Geometrie nástroje

Hlavní a vedlejší břit spolu svírají úhel špičky  $\epsilon_r$ . Úhel by měl být co největší z důvodu vyšší pevnosti nástroje.

Pro hrubování se užívá nástrojů s větším úhlem špičky a větším poloměrem zaoblení špičky a při hlazení se musí použít menší poloměr zaoblení špičky, aby obráběná plocha odpovídala požadované drsnosti povrchu.

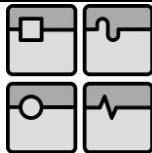
Úhel sklonu ostří  $\lambda_s$  je úhel mezi hlavním břitem a rovinou kolmou ke směru řezu. Kladný úhel ostří zlepšuje odvod třísek a záporný zlepšuje trvanlivost břitu.

Úhel nastavení  $\chi_r$  je úhel, který svírá hlavní břit a přímka obráběné plochy. Tento úhel ovlivňuje tvorbu a lámání třísky.



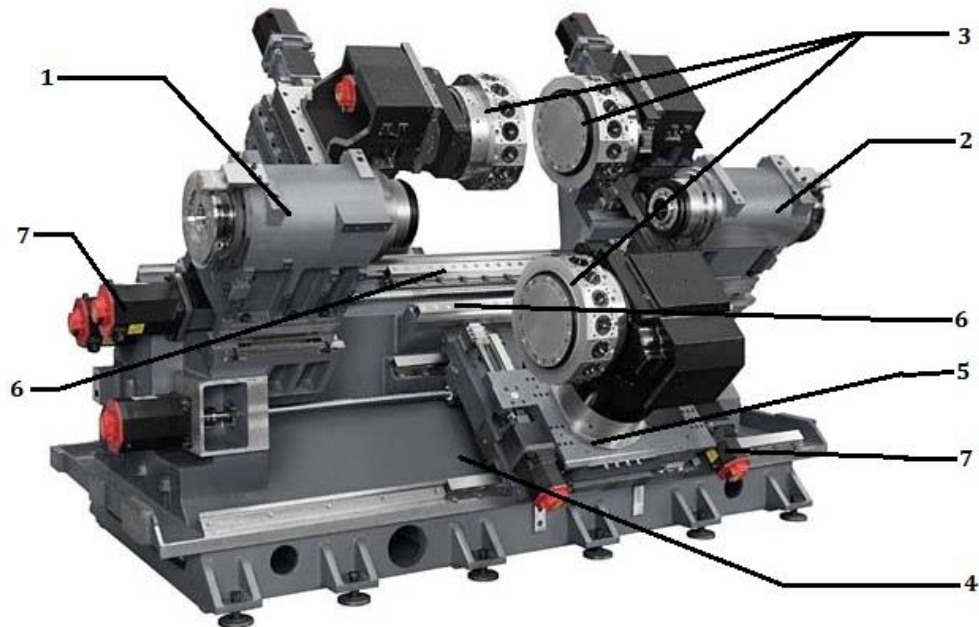
Obr. 2.1 – Geometrie nástroje [46]





### 3. Stavba soustruhu

Soustruhy se skládají z několika hlavních částí. Základní nosná část je lože soustruhu, na kterém leží vřeteník, suport s nástroji, příčné i podélné vedení a koník, nebo protivřetení.



Obr. 3.1 – Stavba soustruhu DMG / Mori Seiki NZL2500Y [upraveno ze 17]

1. Hlavní vřetení
2. Protivřetení
3. Revolverové hlavy s nástroji
4. Lože
5. Suport
6. Vedení
7. Servomotory

#### 3.1. Lože

Lože soustruhu je jeho základní nosnou částí. Na loži jsou příčné i podélné vodící plochy a případně dosedací plochy pro připojení příslušenství.

##### 3.1.1. Vlastnosti loží

Lože musí splňovat některé požadované vlastnosti:

###### ► Statické vlastnosti

Lože musí být dostatečnou statickou tuhost, hlavně proti prohnutí a zkrutu. Musí mít dobrou tvarovou stálost, protože to ovlivňuje relativní polohu nástroje a tím ovlivňuje výslednou přesnost soustružení.

###### ► Dynamické vlastnosti

Důležité jsou tlumící účinky konstrukce lože. Musí dobře pohlcovat všechny forem chvění.

► **Kompaktní velikost**

Pro lože je výhodné mít kompaktní velikost a zároveň menší hmotnost. Avšak to nesmí mít vliv na požadované statické a dynamické vlastnosti.

### 3.1.2. Materiály loží

Lože mají různé druhy materiálových provedení:

► **Litínové odlitky**

Jedná se o nejčastější formu konstrukce lože. Litina jako materiál má dobrou tuhost a dobré tlumící účinky. Kvůli nižšímu modulu pružnosti v porovnání s ocelí, musí mít větší tloušťku stěn a širší žebrování. Pro ještě lepší vlastnosti bývají v konstrukci lože dutiny, které se vyplňují polymerovým betonem (viz. dále) nebo jiným tlumícím materiálem. Litina se hodí i pro vodící plochy.

► **Polymerový beton (minerální litina)**

Polymerový beton je druh kompozitního materiálu složený z matrice a plniva. Matrice je z umělé pryskyřice a plnivo většinou žulový písek nebo jiný minerální písek. Polymerový beton se užívá jako samostatný materiál pro konstrukci anebo jako výplň dutin odlité litinové konstrukce. Výhody oproti litině jsou vyšší tlumící účinky a menší tepelnou vodivost. Nevýhodou zase nutnost dosazení vhodných vodících ploch. Pro jejich výrobu se aplikují tři postupy: zalití celých vodících ploch, broušení minerální litiny a přesné odformování (přesné odlití).

► **Ocelové svařence**

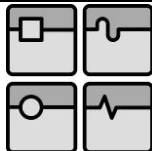
Svařovaná konstrukce se skládá z ocelových profilů a plechů. Požadované tuhosti se dosáhne volbou správné tloušťky a uspořádání profilů a žeber. Pro docílení co nejvyšší tuhosti je třeba provést výpočet pomocí metody konečných prvků. Ocelová konstrukce má oproti ostatním materiálům horší odolnost proti vibracím, pro zlepšení se do dutin přidává polymerový beton. Tyto lože jsou vhodné pro méně zatížené soustruhy nebo soustruhy na dřevo.

► **Granit (přírodní žula)**

Lože z žuly se využívají hlavně u měřících, speciálních a velmi přesných soustruhů. Vyrábí se z monolitu (jednoho kusu minerálu). Hlavní přednost spočívá v jeho homogenitě (žula je materiál bez vnitřního pnutí), dále pak vysoká tuhost a dobré dynamické vlastnosti.



Obr. 3.2 – Soustruh Steel City 60170G s ložem z žuly [22]



### ► Hydrobeton

Méně využívaný nekonvenční materiál pro konstrukci lože. Má velmi podobnou strukturu jako polymerický beton, liší se chemickým složením.

## 3.2. Hlavní vřeteno

Vřeteno je ve většině případů dutý hřídel nesoucí sklíčidlo. Je poháněno motorem a koná rotační pohyb. Vřeteno je nejčastěji uloženo na valivých ložiskách ve vřeteníku. Výjimečně je vřeteno uloženo v ložiskách hydrostatických.

Tuto část rešerše rozeberu podrobněji z důvodu výpočtové zprávy vřetena.

### 3.2.1. Požadované vlastnosti vřeten

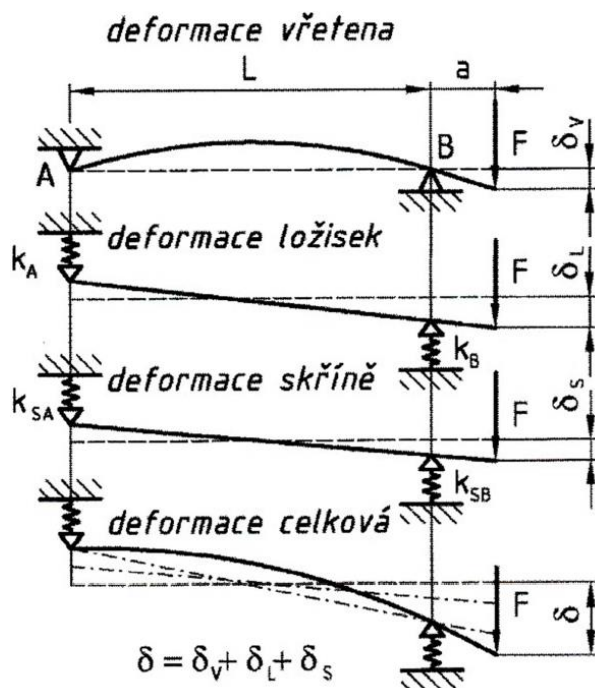
Vřeteno jako důležitá hlavní část soustruhu musí splňovat některé požadavky:

- Tuhost vřetene – ovlivňuje celkovou deformaci
- Přesnost chodu – minimální axiální a radiální házení
- Dokonalé vedení
- Možnost vymezování vůlí
- Dobrou tepelnou stálost

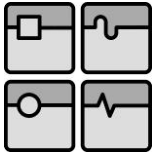
### 3.2.2. Deformace vřetena

Největší vliv na přesnost vřetena má hlavně celková deformace na předním konci. Celková deformace je dána součtem dílčích deformací vřetene, ložisek a skříně a je dána vztahem:

$$\delta = \delta_v + \delta_L + \delta_s \quad (3.1) \quad [1]$$



Obr. 3.3 – Celková deformace [1]

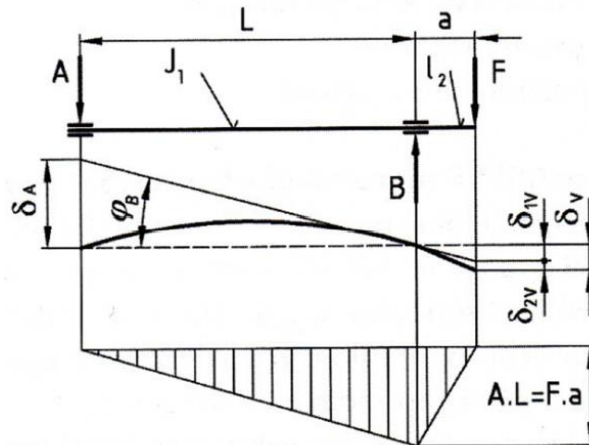


## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

► **Deformace vřetene**

Deformace vřetene závisí na jednotlivých délkách hřídele a jejich průřezech, dále na síle působící na konec vřetene a samozřejmě na charakteristice materiálu. Výsledný průhyb na konci vřetene je dán vztahem:

$$\delta_V = \frac{F \cdot a^2}{3 \cdot E} \cdot \left( \frac{L}{J_1} + \frac{a}{J_2} \right) \quad (3.2) \quad [1]$$

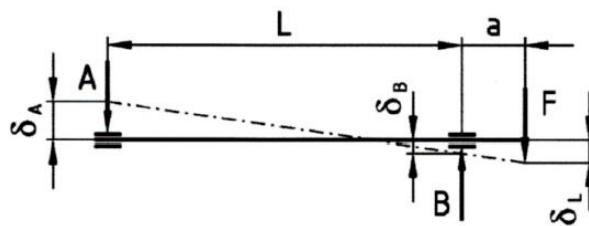


Obr. 3.4 – Deformace vřetene [1]

► **Deformace ložisek**

Deformace ložisek závisí na rozměrech hřídele a na tuhosti obou ložisek. Tuhost ložisek určíme buď z katalogu výrobce, nebo přepočtem, když známe jejich poddajnost. Vztah pro výpočet je následující:

$$\delta_L = \frac{F}{L^2} \cdot [a^2 \cdot C_A + (a + L)^2 \cdot C_B] \quad (3.3) \quad [1]$$



Obr. 3.5 – Deformace ložisek [1]

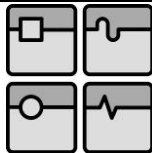
► **Deformace skříně**

Pro určení deformace skříně neexistuje univerzální výpočet. Závisí to na konkrétním případě a využívá se metody konečných prvků. Proto pro celkovou deformaci užíváme zkrácený vzorec 3.1:

$$\delta = \delta_V + \delta_L \quad (3.4) \quad [1]$$

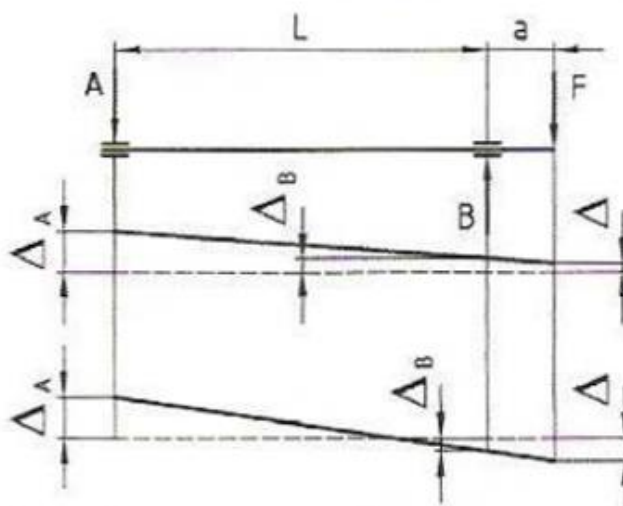
Po dosažení vztahů 3.2 a 3.4 do rovnice 3.4 dostáváme:

$$\delta = \frac{F \cdot a^2}{3 \cdot E} \cdot \left( \frac{L}{J_1} + \frac{a}{J_2} \right) + \frac{F}{L^2} \cdot [a^2 \cdot C_A + (a + L)^2 \cdot C_B] \quad (3.5)$$



### 3.2.3. Přesnost chodu

Velikost radiálního i axiálního házení musí být na předním konci vřeteno co nejmenší a tím je přesnost chodu nejvyšší. Radiální házení je způsobeno nepřesností otáčení, kdy osa vřetene mění svou polohu. Příčinou může být částečná nesouměrnost os ložisek.



Obr. 3.6 – Přesnost chodu vřetene [1]

Velikost házení je závislá na poměru délky vyložení  $a$  ke vzdálenosti ložisek  $L$ .

$$\frac{\Delta_A - \Delta}{\Delta_B - \Delta} = \frac{L + a}{a} \quad (3.6) \quad [1]$$

Vyjádřením  $\Delta$  získáváme rovnici:

$$\Delta = \Delta_B + \frac{a}{L} \cdot (\Delta_B - \Delta_A) \quad (3.7) \quad [1]$$

Teoreticky bude-li:

$$\frac{\Delta_A}{\Delta_B} = \frac{L + a}{a} \quad (3.8) \quad [1]$$

Bude  $\Delta = 0$  a vřeteno bude mít konec vřetena nulové házení. S tímto případem se, ale v praxi nesetkáme. Obecně platí, že přední ložisko je považováno za hlavní a má větší přesnost než zadní ložisko. Obě ložiska by měla mít stejný smysl házení.

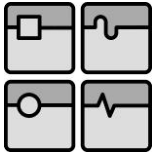
V případě opačného smyslu házení bude výsledné házení podle vzorce:

$$\Delta = \Delta_B + \frac{a}{L} \cdot (\Delta_B + \Delta_A) \quad (3.9) \quad [1]$$

### 3.2.4. Uložení vřetene

Jsou dva hlavní typy provedení ukládání vřetena do vřeteníku.

- Ukládání do skříně
- Ukládání do tubusu



a)

b)

Obr. 3.7 – Uložení vřetene: a) ve skříni [23], b) v tubusu [24]

### 3.2.5. Pohon vřetene

Jedním z nejdůležitějších faktorů správného obrábění je řezná rychlost. Řezná rychlost je závislá na otáčkách stroje, průměru a vlastnostech obrobku. Pro zachování konstantní řezné rychlosti při soustružení čelní rovinné plochy je třeba zvyšovat otáčky.

#### 3.2.5.1. Nepřímý pohon

Jako nejčastější možnost pohonů se využívají asynchronní elektromotory. Elektromotor většinou bývá umístěn mimo vřeteno. Převedení krouticího momentu na vřeteno je možné několika způsoby.

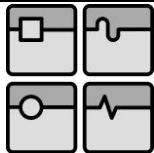
##### 3.2.5.1.1. Řemenový převod

Řemenový převod se spíše využívá pro přenos menších až středně velkých krouticích momentů. Využívají se ploché, klínové a ozubené řemeny. Výhodou řemenového převodu je tlumení vibrací z motoru, vyšší účinnost a plynulost pohybů (bez rázu). Nevýhodou je větší namáhání ložisek, a tím snížení jejich trvanlivosti vlivem napínací síly řemenu. Dále se musí dbát na údržbu řemene.



Obr. 3.8 – Pohon řemenovým převodem ROHM [45]





### 3.2.5.1.2. Převod ozubenými koly

Převod ozubenými koly je nejvíce využívaný převod u nepřímých pohonů vřeten. Výhodou je využití vyšších převodových poměrů při vyšších krouticích momentech a jednoduchost konstrukce. Nevýhody jsou přenos vibrací a tepla z motoru a také horší plynulost.

### 3.2.5.2. Přímý pohon

Přímý pohon vřetena se využívá hlavně pro vysokorychlostní obrábění. Na rozdíl od nepřímého pohonu není vřeteno duté. Není vhodně pro vyšší krouticí momenty. U přímých pohonů se využívají hybridní ložiska místo valivých.

#### 3.2.5.2.1. Elektrovřeteno

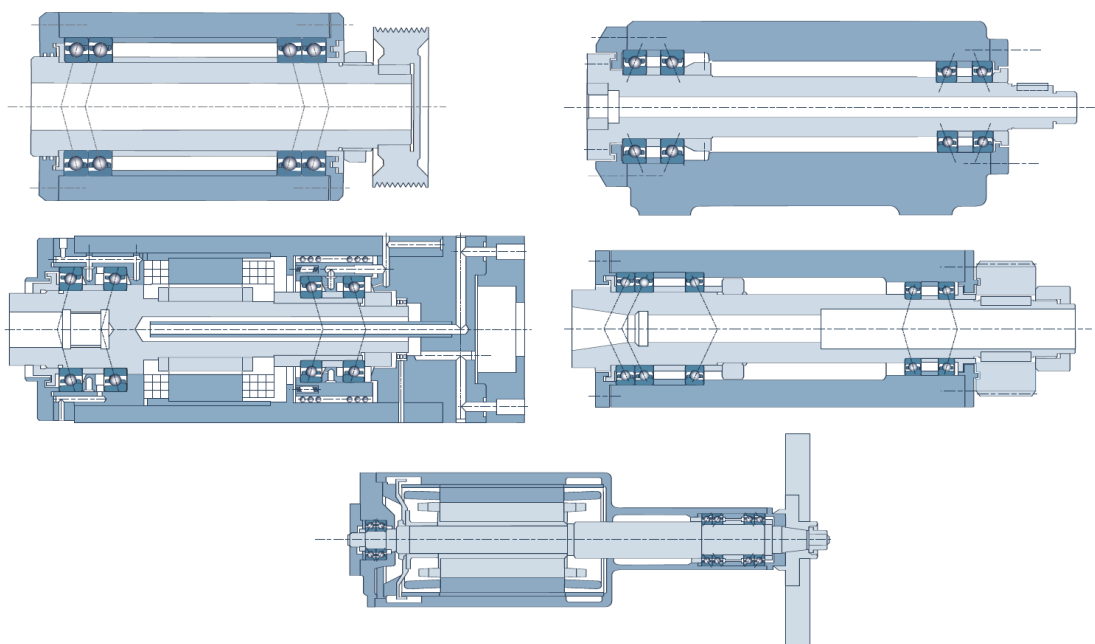
Elektrovřeteno má uvnitř vřetena namontovaný motor. Rotor je nalisován na vřeteno a stator je navinut na vnitřní část skříně. Výhodou je bezkontaktní pohon a tím pádem omezení vibrací a vysoké rychlosti. Nevýhodou je vznik tepla uvnitř vřetene a nutnost účinně chladit vřeteno.

### 3.2.6. Upínání obrobků

Přední konce vřeten jsou normalizované, aby se na ně mohla připojit pomocí adaptérů nebo mezipříruby sklíčidlo. Upínače jsou utahovány buď manuálně, nebo automaticky. V sériové výrobě jsou pro obrobky menších průměrů využívány různé kleštiny. Pro větší obrobky se používají sklíčidla, ať už manuální nebo silová.

### 3.2.7. Uspořádání ložisek ve vřetenu

Pro účely vřeten existuje více uspořádání ložisek. Záleží na požadovaných rychlostech a zatíženích.



Obr. 3.9 – Příklady uspořádání ložisek vřetene [upraveno z 25]

### 3.3. Vedení

Vedení soustruhu umožňuje lineární pohyb částí stroje.

#### 3.3.1. Kluzné vedení

Je nejrozšířenější mechanismus vedení. Kluzné plochy jsou přímo na loži. Záleží na dobré kvalitě povrchu, protože ovlivňuje třecí součinitel mezi kluznými plochami. Nevýhodou je částečné opotřebování ploch a tím větší tření.

#### 3.3.2. Valivé vedení

Výhodnější než kluzné vedení, protože má značně menší součinitel tření. Výhodou je velmi malé opotřebování a velká životnost vedení. Nevýhodou je přenos vibrací.

#### 3.3.3. Hydrostatické vedení

Hydrostatické vedení má mezi kluznými plochami velmi malou vrstvu oleje a tím má velmi malý součinitel tření. Do vedení je přiváděn olej pod tlakem, který se rovnoměrně rozdělí po kluzné ploše. Mezi výhody patří celková tuhost vedení, velká životnost a tlumení chvění. Nevýhodou jsou dražší pořizovací náklady.

### 3.4. Mechanizmy pro přímočarý pohyb

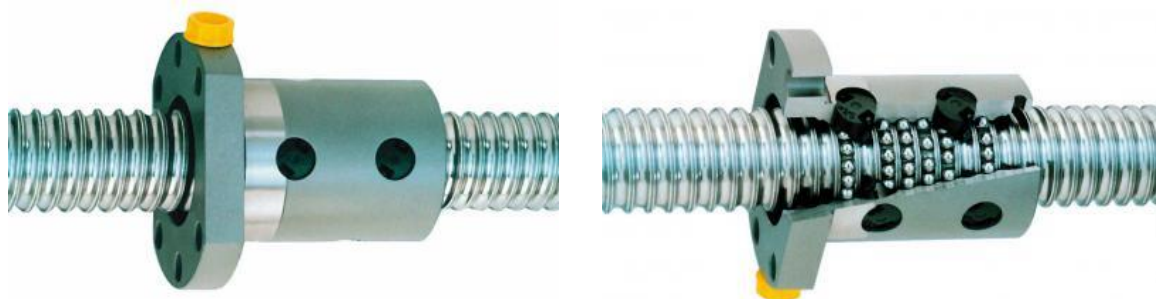
Tyto mechanismy převádějí rotační pohyb na lineární.

#### 3.4.1. Šroub a matice

Využívá se pro malé posuvové rychlosti. Jako závit se nejčastěji využívá lichoběžníkový (trapézový), který se řadí do skupiny pohybových závitů. Výhoda je jednoduchost celého mechanismu. Nevýhodou zase velké opotřebení, způsobené velkým třením a nižší životnost.

#### 3.4.2. Kuličkový šroub a matice (KŠM)

Mechanismus využívá valivých kuliček pro zmenšení odporu a snížení tření. Závit se jako v předchozím případě používá lichoběžníkový. Vymezení vůle je řešeno dotažením dělené matice proti sobě. Kuličky a povrchy závitů jsou kaleny. Přesnost mechanismu závisí na přesnosti závitů. Výhody jsou přesnost, životnost a univerzálnost.

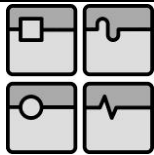


Obr. 3.10 – Kuličkový šroub matice vcelku a v řezu [1]

### 3.5. Suport

Suport je spojovací část mezi ložem nástrojem. Zachycuje síly vznikající při soustružení. Obsahuje několik pohyblivých částí. Polohu suportu udává odměřovací systém, buď analogový, nebo digitální. Pohyb suport umožňuje pomalý nebo rychlý strojní posuv.





### 3.6. Nástrojový držák

Nástrojový držák slouží k připevnění nástrojů.

#### 3.6.1. Nástrojová hlava

Nástrojová hlava je ve většině případů čtyřboká. Nejčastěji je k dispozici u univerzálních hrotových soustruhů a jím podobných strojů. Umožňuje upnutí až čtyř soustružnických nožů. Nástroje se mění otáčením nástrojové hlavy. Některé hlavy mají osm poloh otáčení (po 45°).

#### 3.6.2. Revolverová hlava

Využívaný zejména pro automatickou výměnu nástrojů. Obsahuje velký počet nástrojů. Poháněné pozice jsou určeny pro frézovací nebo vrtací hlavy, které umožňují frézování a vrtání v oblast C-osy.

### 3.7. Koník

Koník je stojan posouvající se po loži. Osa koníku je soustředná s osou rotace vřetena. V případě osazení hrotem slouží jako opora pro upnutí obrobku mezi hroty. Dále se může osadit vrtacími nástroji jako je vrták, výhrubník nebo výstružník.

### 3.8. Protivřeteno

U modernějších strojů může být naproti hlavnímu vřetenu protivřeteno, které je s ním poháněno synchronně. Protivřeteno v některých případech leží na suportu a slouží k upnutí druhého konce obrobku. Tato operace je vhodná pro obrábění obrobků ze všech stran. Protivřeteno se může dále využít při upichování bez zbytkové stopky.

### 3.9. Opěry

Pro obrábění na univerzálním hrotovém soustruhu platí vztahy:

$$L < 4 \cdot D \quad \text{Upínání ve sklíčidle} \quad (3.10) \quad [1]$$

$$4 \cdot D < L < 10 \cdot D \quad \text{Upínání mezi hroty} \quad (3.11) \quad [1]$$

$$L > 10 \cdot D \quad \text{Upínání mezi hroty s opěrou} \quad (3.12) \quad [1]$$

#### 3.9.1. Pevná opěra (Luneta)

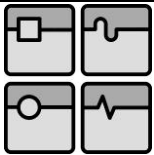
Luneta se využívá k upínání dlouhých obrobků dle vztahu 3.12. Obrobek je přitom opíráno o tři kontaktní plochy. Kontaktní plochy jsou řešeny, buď jako kluzné nebo valivé.

#### 3.9.2. Podvalky

Pro velké dlouhé a těžké obrobky, které se nevydají do lunety, se využívají podvalky. Obrobek je podpírán kladkami podvalku. Podvalek leží na loži jen volně.

### 3.10. C-osa

Frézování nástrojů poháněných z revolverové hlavy probíhá v tzv. C-ose. C-osa musí mít přesnost alespoň 1/1000°. Pak je možné provádět frézovací operace jako na frézce. Příklad užití C-osy je např. u stroje Doosan Lynx 300 M v kapitole 5.2.



### 3.11. B-osa

U multifunkčních obráběcích center je k dispozici samostatné frézovací vřeteno. Osa tohoto vřetene se nazývá B-osa. Na rozdíl od C-osy má vlastní pohybové mechanismy a není závislá na poloze suportu. Příklad využití B-osy je u stroje Kovosvit MAS MULTICUT 500 S v kapitole 5.5.

### 3.12. Systémy

V současné době je mnoho druhů řídicích systémů, které se liší uživatelským prostředím, uskupením řídicích prvků. Na řídicí systém jsou napojeny všechny ovládané části stroje, např. pohon vřetena, pohon posuvů, pohon revolverových hlav.

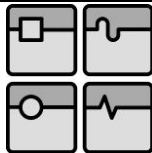
System díky snímačům monitoruje všechny souřadnice a pozice. System s uživatelem komunikuje skrze uživatelské prostředí, kde má uživatel provádí všechny operace, např. vytváření a upravování NC kódu, korekce nástrojů, atd.



Obr. 3.11 – Kompletní řídicí systém SINUMERIK [44]

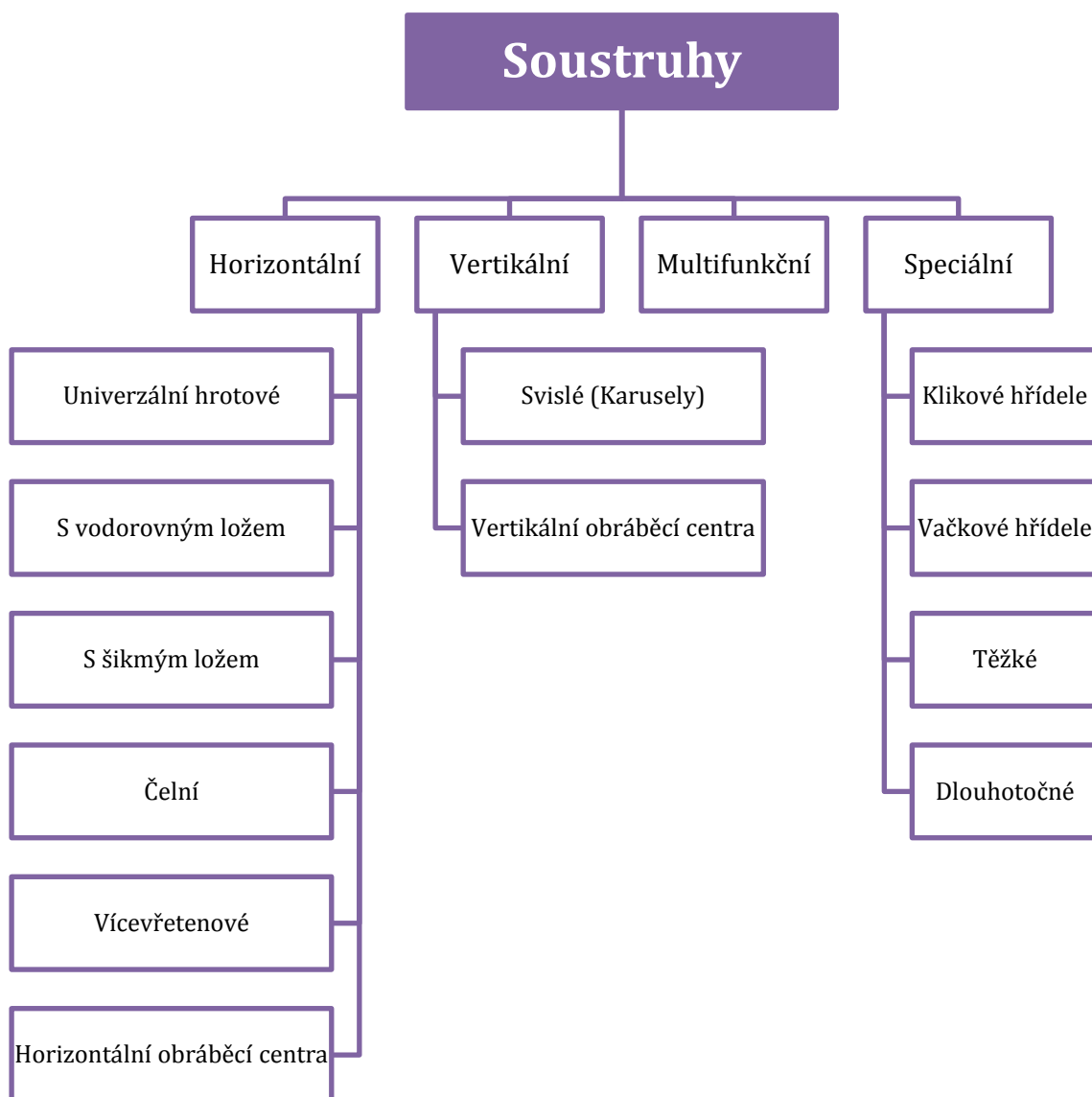
Vybraní výrobci řídicích systémů	
Výrobce	System
Siemens	<b>SINUMERIK</b>
FANUC	<b>FANUC i</b>
Mazak	<b>Mazatrol</b>
Heidenhain	<b>Manual plus</b>
FAGOR	<b>FAGOR</b>

Tab. 3.1 – Vybraní výrobci a jejich řídicí systémy

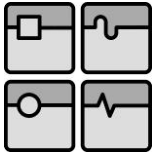


## 4. Soustruhy

### 4.1. Rozdělení soustruhů



Obr. 4.1 – Rozdělení soustruhů



#### 4.1.1. Univerzální hrotový soustruh

Univerzální hrotové soustruhy se nejvíce využívají v kusové nebo malosériové výrobě. Obvykle mají lože ve vodorovném směru. Nejčastěji bývají vybaveny koníkem ležícím na loži naproti vřetenu. Dále nožovým držákem, ale mohou být vybaveny také revolverovými hlavami. Největší výhodou je jejich univerzálnost a jednoduchost. Disponují velkým rozsahem otáček a posuvů.



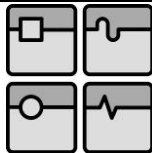
Obr. 4.2 – CNC univerzální hrotový soustruh MASTURN 820 CNC-4500 [14]

#### 4.1.2. Soustruh s vodorovným ložem

Soustruhy s vodorovným ložem mají podobnou konstrukci jako univerzální hrotové soustruhy. Na rozdíl od nich mají kompaktnější rozměry, ale nejsou tak víceúčelové. Nicméně výrobci pokrývají celou řadu velikostí, a proto si uživatel může vybrat konkrétní typ pro dané účely. V poslední době se více vyskytují soustruhy se šikmým ložem pro jejich menší rozměry.



Obr. 4.3 – CNC soustruh OPTIMUM Opti L440 [15]



### 4.1.3. Soustruh s šikmým ložem

Oproti klasickým soustruhům s vodorovným ložem mají tyto soustruhy lože šikmé. To má za následek menší rozměry stroje a další výhodou je lepší odvod třísek do spodní nádoby. Tyto soustruhy jsou většinou určeny pro sériovou výrobu.



Obr. 4.4 – CNC soustruh DMG / Mori Seiki NLX2500 / 700 [16]

### 4.1.4. Čelní soustruh

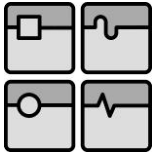
Čelní soustruhy se využívají k soustružení přírubových součástí. Obrobky se upínají na lícní desky, které umožňují upnutí obrobků velkých rozměrů. Největší uplatnění čelních soustruhů je v malosériové výrobě.



Obr. 4.5 – CNC čelní soustruh GEMINIS GHT-8 [18]

### 4.1.5. Víceřetenové soustruhy

Tyto soustruhy mají největší využití ve velkosériové nebo hromadné výrobě. Díky nezávislým vřetenům mají vysokou produktivitu. Pro přemísťování obrobků se využívá různých portálových manipulátorů.



Obr. 4.6 – Dvou vřetenový CNC soustruh Mazak DUAL TURN 20 [34]

#### 4.1.6. Svislé soustruhy

Svislé soustruhy mají vertikální osu rotace. Slouží hlavně pro obrábění rozměrných obrobků. Dělí se na jednostránové (menší) a dvoustránové (větší). Využití mají v kusové až malosériové výrobě, někdy i v sériové výrobě.



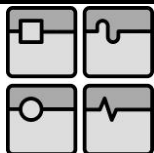
Obr. 4.7 – Svislý CNC soustruh DMG / Mori Seiki NVL 1350 MC [34]

#### 4.1.7. Multifunkční obráběcí centra

Obráběcí centra kombinují soustruhy s frézkami. Mimo soustružnické vřeteno mají k dispozici frézovací vřeteno, které umožňuje pětiosé obrábění. Obráběcí centra mají často protivřeteno a lze obrobek obrábět ze všech stran. Bývají vybaveny velkým zásobníkem nástrojů.



Obr. 4.8 – OKUMA Macturn 350 [35]



## 5. Současná produkce soustružnických strojů

Zde je uvedeno několik příkladů strojů současné produkce, u kterých je k dispozici tabulka s jejich parametry.

### 5.1. DMG / Mori Seiki NEF 600

NEF 600 je soustruh se šikmým ložem, které využívá nejnovější technologii výrobců DMG a Mori Seiki. Řada NEF se využívá v kusové, malosériové až sériové výrobě. Výrobce nabízí mnoho konfigurací tohoto modelu podle požadavků zákazníka. Má dobrou produktivitu práce pro obrobky z jednoho kusu polotovaru a pro obrábění polotovarů z celých tyčí.

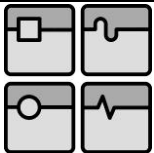


Obr. 5.1 – DMG/Mori Seiki NEF 600 [27]

DMG/Mori Seiki NEF 600			
Popis		Hodnota	Jednotky
Parametry soustružení	Max. průměr soustružení	600	mm
Hlavní vřeteno	Max. otáčky vřetene	3500	ot./min
Pohyby	Pojezd	x-osa	398 mm
		z-osa	1250 mm
	Rychloposuv	x-osa	30 m/min
		z-osa	30 m/min
Nástroje	Počet poloh nástrojů	12	-
	Velikost nožového držáku	25x25	mm
	Průměr vrtací tyče	40	Mm
	Počet otáček	4500	ot./min

Tab. 5.1 – DMG/Mori Seiki NEF 600 [27]





## 5.2. Doosan Lynx 300M

Kompaktní čelní CNC soustruh se šikmým ložem má středně velký rozsah otáček a vysokou přesnost. Vysoce výkoné obrábění je umožněno elektromotorem o výkonu 15 kW. Používá revolverovou nástrojovou hlavu s 12 pozicemi. Je vhodný spíše pro malosériovou výrobu. U verze M je k dispozici C-osé frézování. Využívá řídicí systém FANUC.

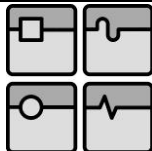


Obr. 5.2 – Doosan Lynx 300M [28]

Doosan Lynx 300M			
Popis		Hodnota	Jednotky
Parametry soustružení	Max. průměr soustružení	370	mm
	Max. délka soustružení	712	mm
Hlavní vřeteno	Max. otáčky vřetene	3500	ot./min
Pohyby	Rychloposuv	x-osa	24 m/min
		z-osa	30 m/min
Nástroje	Počet poloh nástrojů	12	-
	Velikost nožového držáku	25x25	mm
	Průměr vrtací tyče	40	Mm

Tab. 5.2 – Doosan Lynx 300M [28]



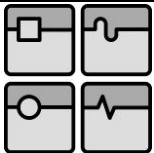


### 5.3. Doosan QL300H

Obráběcí centrum QL300H zajišťuje vysokou produktivitu díky dvěma navzájem nezávislým vřetenům. Obráběcí centrum je vybaveno tříosým portálovým manipulatorem, který je řízený servomotory. Manipulátor slouží k manipulaci s polotovary a k přemísťování obrobků mezi vřeteny. Pro uchopení objektů má k dispozici tříčelistový upínač. Vřetena se dělí na levé a pravé a u každého je samostatná revolverová nástrojová hlava (levá a pravá).



Obr. 5.3 – Doosan Puma QL300H s portálovým manipulatorem [29]



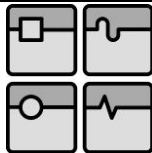
## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Doosan Puma QL300H				
Popis		Hodnota	Jednotky	
Parametry soustružení	Max. průměr soustružení	400	mm	
	Max. délka soustružení	230	mm	
Vřetena	Počet vřeten	2	-	
	Max. otáčky vřeten	3500	ot./min	
Pohyby	Pojezd	x-osa	210	mm
		z-osa	230	mm
	C-osa	360	deg	
	Rychloposuv	x-osa	24	m/min
		z-osa	24	m/min
Nástroje	Počet revolverových hlav:	2	-	
	Počet poloh nástrojů	12+12	-	
	Velikost nožového držáku	25x25	mm	
	Průměr vrtací tyče	40	mm	

Tab. 5.3 – Doosan Puma QL300H [29]

Portálový manipulátor obráběcího centra PUMA QL300H				
Popis		Hodnota	Jednotky	
Pracovní parametry	Max. rozměr příruby	ø250x150	mm	
	Max. zatížení	8	kg	
	Čas přemístění	13	s	
Kluzný modul	Pojezd	x-osa	4200	mm
		y-osa	780	mm
		z-osa	80	mm
	Rychloposuv	x-osa	100	m/min
		y-osa	80	m/min
		z-osa	30	m/min
Upínací modul	Rozsah otáčení	180	deg	
	Čas otočení	1	S	

Tab. 5.4 – Portálový manipulátor obráběcího centra PUMA QL300H [30]



#### 5.4. TOSHULIN FORCETURN 2500

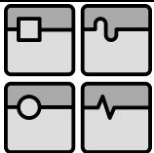
Svislý soustruh FORCETURN 2500 je nejmenší z řady FORCETURN. Tato řada je určena pro vysokovýkonné obrábění velkorozměrových dílů. Má vysoce stabilní rám z litiny a extrémně tuhé uložení upínací desky. Je vybaven dvěma vertikálními suporty. Umožňuje vysokotlaké chlazení. K dispozici je řídicí systém SIEMENS, nebo FANUC.



Obr. 5.4 – TOSHULIN FORCETURN 2500 [32]

TOSHULIN FORCETURN 2500				
Popis		Hodnota	Jednotky	
Parametry soustružení	Průměr upínací desky	2500	mm	
	Max. průměr obrobku	2900	mm	
	Max. výška obrobku	2640	mm	
	Max. hmotnost obrobku	50000	kg	
Upínací deska	Max. otáčky desky	200	ot./min	
Nástrojový modul	Výkon motoru	SIEMENS	31	kW
		FANUC	30	kW
	Max. otáčky nástrojů	3000	ot./min	

Obr. 5.5 – TOSHULIN FORCETURN 2500 [32]



### 5.5. Kovosvit MAS MULTICUT 500 S

Stroje z řady MULTICUT jsou multifunkční soustružnicko-frézovací centra. Tyto centra tvoří přechod mezi soustružnickými a frézovacími stroji. Mimo základní soustružnické operace je s přídatnými komponenty možné např. frézování vaček, odvalování ozubení, broušení a měření. Stroj je vybaven osou – B, která umožňuje možnost mimoosého vrtání a pětiosého frézování. Model 500 S je vybaven ještě protivřetenem, které umožňuje stroji komplexní obrábění z obou stran obrobku.



Obr. 5.5 – MULTICUT 500 S [33]

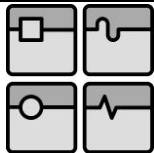


Obr. 5.6 – Detail MULTICUT 500 S [33]

Kovosvit MAS MULTICUT 500 S

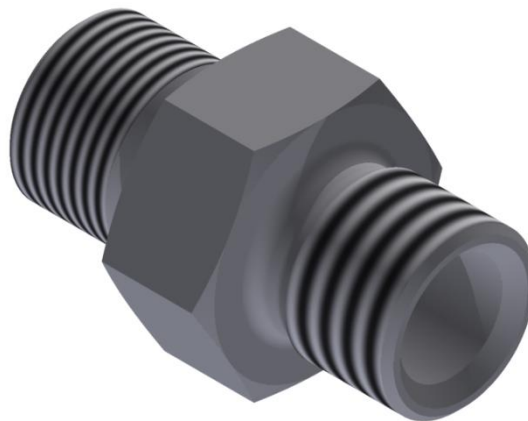
Popis		Hodnota	Jednotky	
Parametry obrábění	Max. průměr soustružení	549	mm	
	Max. délka soustružení	1600	mm	
	Max. profil frézování	486x486	mm	
Vřetena	Počet vřeten	2	-	
	Max. otáčky vřeten	3500	ot./min	
Pohyby	Rychloposuv	x-osa	24	m/min
		z-osa	24	m/min
	C-osa	360	deg	
	B-osa	-120/ +105	deg	
Nástroje	Počet míst zásobníku:	81	-	
	Velikost nožového držáku	25x25	mm	
	Upínací kužel	HSK - A63		
	Průměr vrtací tyče	40	mm	

Tab. 5.6 – Kovosvit MAS MULTICUT 500 S [33]



## 6. Výpočtová zpráva

Pro výpočtovou část je zvolen výpočet vřetena soustruhu. Jako soustružený obrobek je vybráno hydraulické hrdlo. Polotvar hrdla je šestihranná tyč. Rozsah šířky šestihranů obrobků je od 20 mm do 80 mm. Materiál obrobku volím 11 500, který je vhodný pro strojní součásti. Rozsah otáček vřetene je od 100ot./min do 3000 ot./min. Upínání bude automatické. Pohon vřetene bude zajišťovat elektromotor přes řemenový převod. Soustruh bude přizpůsoben automatickému podavači tyčí.



Obr. 6.1 – Hydraulické hrdlo

Požadované parametry obrábění		
Materiál obrobku:	<b>11 500</b>	
Min. průměr obrábění:	<b>20</b>	<b>mm</b>
Max. průměr obrábění:	<b>80</b>	<b>mm</b>
Max délka obrábění:	<b>160</b>	<b>mm</b>

Tab. 6.1 – Požadované parametry obrábění

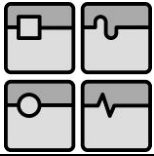
Charakteristika materiálu obrobku		
Max. tvrdost:	<b>268</b>	<b>HB</b>
Obrobitelnost:	<b>13B</b>	
Měrná řezná síla:	<b>2100</b>	<b>N</b>
Mez kluzu:	<b>245</b>	<b>MPa</b>
Max. pevnost	<b>470-610</b>	<b>MPa</b>

Tab. 6.2 – Charakteristika materiálu obrobku

Materiál vřetene volím 14 220, který je vhodný materiál pro výrobu vřeten.

Charakteristika materiálu vřetena		
Modul pružnosti:	<b>21 000</b>	<b>MPa</b>
Mez kluzu:	<b>588</b>	<b>MPa</b>
Max. pevnost	<b>640-930</b>	<b>MPa</b>

Tab. 6.3 – Charakteristika materiálu vřetena



## 6.1. Základní parametry

$D_{min} = 20 \text{ mm}$	Min. průměr obrobku
$D_{max} = 80 \text{ mm}$	Max. průměr obrobku
$R_m = 610 \text{ MPa}$	Max. pevnost v tahu
$R_e = 245 \text{ MPa}$	Mez kluzu v tahu
$k_c = 2100 \text{ MPa}$	Měrná řezná síla
$E = 21000 \text{ MPa}$	Modul pružnosti

## 6.2. Řezné podmínky

Pro materiál s max. pevností od 500 MPa do 850 MPa je k dispozici Nástroj ze slinutého karbidu SK P20.

Pro hloubku řezu  $a_p = 5 \text{ mm}$ , poloměr špičky nástroje  $r_\epsilon = 1 \text{ mm}$  a posuv  $f = 0,4 \text{ mm}$  volím řeznou rychlost  $v_{cv} = 230 \text{ m/min}$ .

Opravný součinitel řezné rychlosti pro obrobitelnost 13B:  $K_{V1} = 0,8$

Přepočítaná řezná rychlost:

$$v_c = v_{cv} \cdot K_{V1} = 230 \cdot 0,8 = 184 \frac{\text{m}}{\text{min}} \quad (6.1)$$

### Výpočet celkové řezné síly:

Celková řezná síla se určí z jednotlivých silových složek. Řezné součinitele a exponenty jsem volil z tabulky pro materiál s  $R_m = 600 \text{ MPa}$ .

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p^{X_{F_c}} \cdot f^{Y_{F_c}} = 4184 \text{ N} \quad \text{Řezná rychlost} \quad (6.2)$$

$$F_p = C_{F_p} \cdot a_p^{X_{F_p}} \cdot f^{Y_{F_p}} = 1948 \text{ N} \quad \text{Pasivní síla} \quad (6.3)$$

$$F_f = C_{F_f} \cdot a_p^{X_{F_f}} \cdot f^{Y_{F_f}} = 1661 \text{ N} \quad \text{Posuvová síla} \quad (6.4)$$

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} = 4905 \text{ N} \quad \text{Celková řezná síla} \quad (6.5)$$

### Výpočet otáček vřetene:

$$n_{D_{min}} = \frac{v_c}{\pi \cdot D_{min}} = 2928 \frac{1}{\text{min}} \quad \text{Otáčky vřetene při průměru 20 mm} \quad (6.6)$$

$$n_{D_{max}} = \frac{v_c}{\pi \cdot D_{max}} = 732,1 \frac{1}{\text{min}} \quad \text{Otáčky vřetene při průměru 80 mm} \quad (6.7)$$

### Výpočet krouticího momentu vřetene:

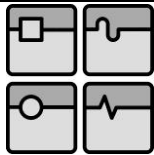
$$M_{k_{max}} = F_c \cdot \frac{D_{max}}{2} = 167,4 \text{ Nm} \quad \text{Max. krouticí moment} \quad (6.8)$$

Aby měl motor nějakou momentovou rezervu, volím korekci se součinitelem 1,25

$$M_k = M_{k_{max}} \cdot 1,25 = 209,3 \text{ Nm} \cong 210 \text{ Nm} \quad (6.9)$$

### Výpočet výkonu vřetene:

$$P_c = F_c \cdot v_c = 15,04 \text{ kW} \quad \text{Výkon vřetene} \quad (6.10)$$



Protože krouticí moment bude převáděn z motoru na vřeteno přes řemenový převod, musím do výkonu započítat ztráty z řemenového převodu.

$$\eta_p = 0,91$$

Ztrátový součinitel řemenového převodu

$$P_M = \frac{P_c}{\eta_p} = 16,5 \text{ kW} \quad (6.11)$$

### 6.3. Volba motoru vřetene

Motor volím řady 1PH7 z katalogu SIEMENS, které jsou vhodné pro vřetena.

#### 6.3.1. Požadavky na motor vřetene

Výkon vyšší než 16,5 kW

Krouticí moment co nejbližší 210 Nm

Otáčky motoru vyšší než 3000 min<sup>-1</sup>

Z uvedených požadavků nejvíce vyhovuje motor SIEMENS 1PH7163-2ND.

Charakteristika motoru SIEMENS 1PH7163-2ND		
Jmenovitý výkon:	<b>22</b>	<b>kW</b>
Jmenovité otáčky:	<b>1000</b>	<b>min<sup>-1</sup></b>
Jmenovitý krouticí moment:	<b>210</b>	<b>kW</b>
Jmenovitý proud:	<b>43</b>	<b>A</b>
Max. otáčky:	<b>8000</b>	<b>min<sup>-1</sup></b>
Hmotnost:	<b>130</b>	<b>kg</b>

Tab. 6.4 – Charakteristika motoru

Pro řemenový převod musím určit převodové číslo.

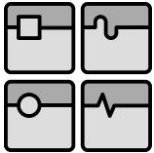
$$M_{k_M} = 22 \text{ kW}$$

Krouticí moment motoru

$$i = \frac{M_k}{M_{km} \cdot \eta_p} = 1,09 \cong 1,1$$

Převodové číslo

(6.12)



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

1PH7 AC Main Spindle Motor

12.01

3.1 Power-speed diagrams

Table 3-35 AC main spindle motor 1PH7163-2ND□□

Rated output $P_{\text{rated}}$ [kW]	Rated speed $n_{\text{rated}}$ [RPM]	Rated torque $M_{\text{rated}}$ [Nm]	Rated current $I_{\text{rated}}$ [A]	Time constant (therm.) $T_{\text{th}}$ [min]	Max. speed $n_{\text{max}}$ [RPM]	Moment of inertia $J$ [kgm <sup>2</sup> ]	Weight $m$ [kg]
22	1000	210	55	35	6500	0.19	180

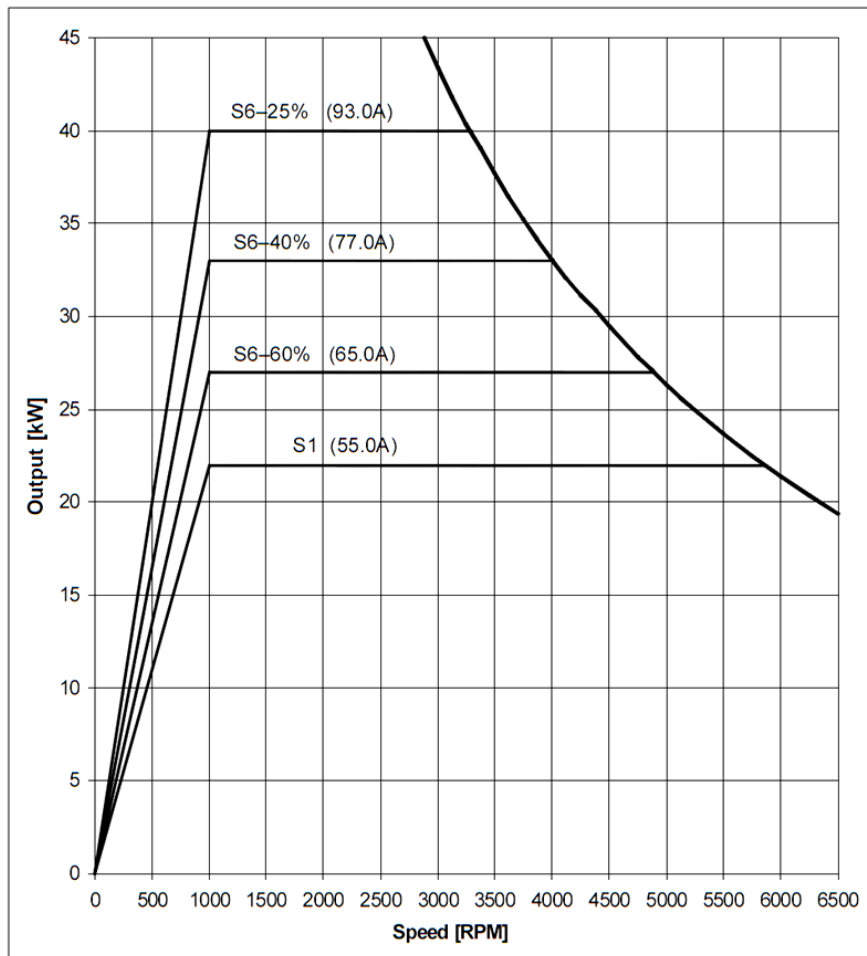


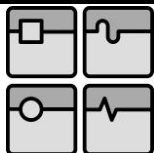
Fig. 3-35 Power-speed diagram 1PH7163-2ND□□

1PH7/3-224

© Siemens AG 1993-2001 All rights reserved  
SIMODRIVE AC Induction Motors for Main Spindle Drives (PPH), 12.01 Edition

Obr. 6.2 – Charakteristika motoru 1PH7163-2ND [37]





#### 6.4. Automatický upínač

Pro automatické upínání obrobků se nejvíce využívá různých druhů kleštín. Z důvodu šestihranného průřezu tyče musí být otvor kleštiny ve tvaru šestihranu. Tyto kleštiny jsou běžně dostupné do šířky šestihranu 50 mm, ale upínač musí být schopen upnout obrobek do šířky šestihranu 80 mm. Z tohoto důvodu volím tříčelistové sklíčidlo s měkkými čelistmi a s tím kompatibilní vysokorychlostní hydraulický válec s průchozím otvorem od výrobce STRONG Di Chun.

Průměr otvoru sklíčidla i válce musí být větší než 80 mm, aby se k soustruhu mohl připojit automatický podavač tyčí a podávat je od zadního konce vřetene.

Volba sklíčidla a vysokorychlostního hydraulického válce:

Sklíčidlo	<b>STRONG N-212</b>
Hydraulický válec:	<b>STRONG M2085</b>

Tab. 6.5 – Volba sklíčidla a vysokorychlostního hydraulického válce



Obr. 6.3 – Hydraulické sklíčidlo N-212 [40]



Obr. 6.4 - Hydraulický válec M2085 [41]

##### Parametry sklíčidla N-212

Průchozí díra:	<b>91</b>	<b>mm</b>
Posun pístu:	<b>23</b>	<b>mm</b>
Max. otáčky:	<b>3300</b>	<b>min<sup>-1</sup></b>
Max. upínací síla:	<b>74</b>	<b>kN</b>
Hmotnost:	<b>56,5</b>	<b>kg</b>

Tab. 6.6 – Parametry sklíčidla N-212

##### Parametry hydraulického válce M2085

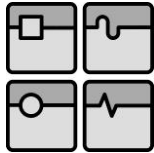
Průchozí díra:	<b>85</b>	<b>mm</b>
Průměr pístu:	<b>96</b>	<b>mm</b>
Zdvih pístu:	<b>30</b>	<b>mm</b>
Max. otáčky:	<b>3800</b>	<b>min<sup>-1</sup></b>
Hmotnost:	<b>37,5</b>	<b>kg</b>

Tab. 6.7 – Parametry hydraulického válce M2085

Průměr pístu je 96 mm, proto musí být ve vřetenu díra. Průměr díry volím 100 mm.  
 $d = 100 \text{ mm}$

Průměr díry vřetene





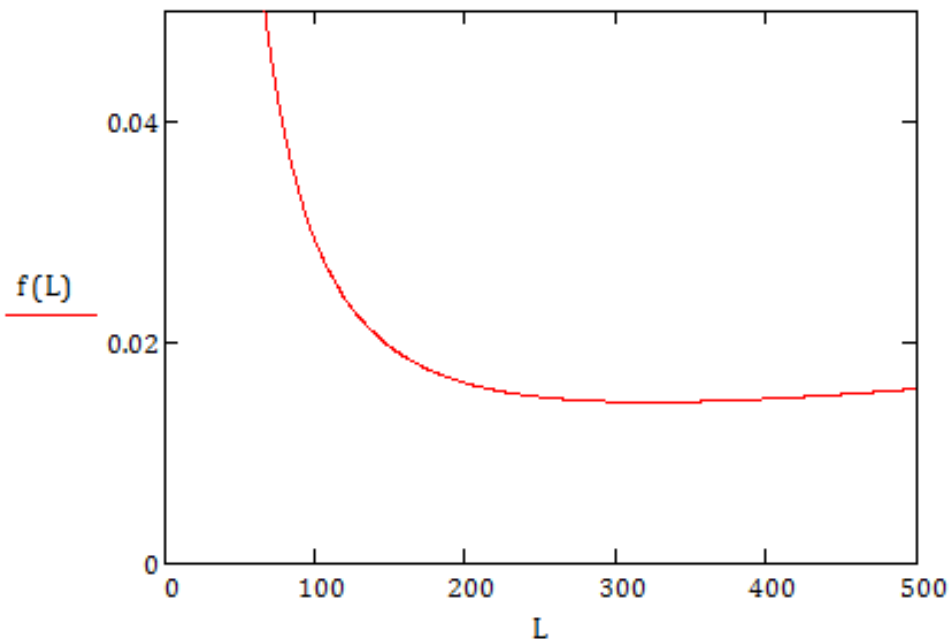
$$C_A = \frac{1}{k_A} = 7,5 \cdot 10^4 \mu\text{m}/\text{N} \quad \text{Poddajnost ložiska A} \quad (6.16)$$

$$C_B = \frac{1}{k_B} = 6,9 \cdot 10^4 \mu\text{m}/\text{N} \quad \text{Poddajnost ložiska B} \quad (6.17)$$

Po dosazení všech známých veličin do rovnice 6.14 vypočítáme parametr  $L$ . Výpočet je poměrně složitý, proto jsem ho vypočítal pomocí softwaru Mathcad.

**Ideální vzdálenost je 322 mm.**

Ideální vzdálenost ložisek

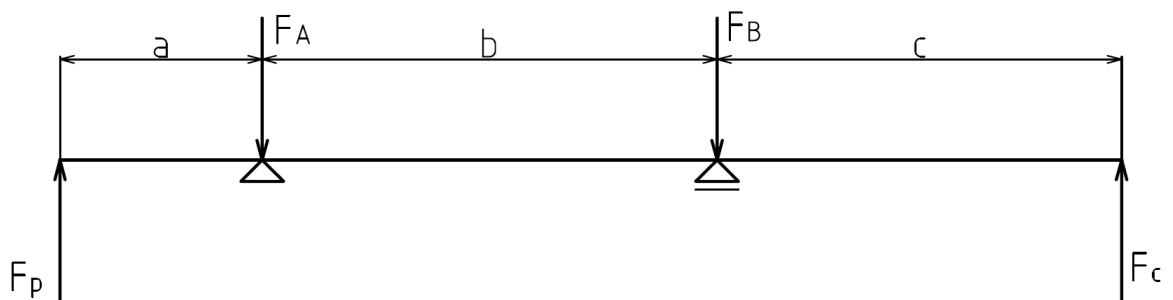


Obr. 6.5 – Graf funkce ideální vzdálenosti ložisek

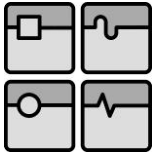
$$b = L = 322 \text{ mm}$$

Vzdálenost mezi ložisky

### 6.6. Reakce v ložiskách



Obr. 6.6 – Radiální síly působící na vřeteno



### 6.6.1. Známé parametry

$$F_c = 4184 \text{ N} \quad \text{Řezná síla}$$

Pro výpočet síly od řemenového převodu je nutné navrhnout roztečný průměr řemenice. Roztečný průměr volím 160 mm.

$$D_p = 160 \text{ mm} \quad \text{Roztečný průměr řemenice}$$

$$F_p = \frac{2 \cdot M_k}{D_p} = 2625 \text{ N} \quad \text{Síla působící na řemenici} \quad (6.17)$$

### 6.6.2. Silová rovnováha

$$\Sigma F = F_p - F_{AR} - F_{BR} + F_c = 0 \quad (6.18)$$

$$\Sigma M_B = F_p \cdot (a + b) - F_{AR} \cdot b - F_c \cdot c = 0 \quad (6.19)$$

Z rovnice 6.19 vyjádříme sílu  $F_{AR}$ :

$$F_{AR} = \frac{F_p \cdot (a + b) - F_c \cdot c}{b} = 1899 \text{ N} \quad (6.20)$$

Z rovnice 6.18 vyjádříme sílu  $F_{BR}$ :

$$F_{BR} = F_c + F_p - F_{AR} = 4910 \text{ N} \quad (6.21)$$



Obr. 6.7 – Axiální síly působící na vřeteno

V axiálním směru na ložiska působí síla předpětí, udávaná výrobcem. Z důvodu působení posuvové síly  $F_f$  musíme určit hlavní ložisko, které bude tuto axiální sílu zachycovat. Jako hlavní ložisko volím ložisko B.

$$F_f = 1661 \text{ N} \quad \text{Posuvová síla}$$

$$F_{Ap} = 2160 \text{ N} \quad \text{Síla předpětí ložiska A}$$

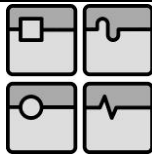
$$F_{Bp} = 2680 \text{ N} \quad \text{Síla předpětí ložiska B}$$

Výsledná axiální síla působící na ložisko B:

$$F_{Bpv} = F_{Bp} + F_f = 4910 \text{ N} \quad (6.22)$$

### 6.7. Uspořádání ložisek

Pro vřeteno je více způsobů uspořádání ložisek. Předběžně volím uspořádání DB dle katalogu UKF [39]. To znamená, že na místě A budou dvě kosoúhlá ložiska 719 USS 140 do „O“ a na místě B budou dvě ložiska 719 USS do „O“ dle obrázku 6.9. Toto uspořádání je vhodné pro středně velké zatížení a vysoké otáčky.



Poté porovnám trvanlivosti ložisek s trvanlivostmi, když by ložiska byly uspořádány samostatně a vyberu nejvhodnější řešení.

Výrobce UKF nabízí vedle řady USS také řadu USO. Ložisko této řady je v podstatě dvě ložiska USS uspořádané do „0“. Ložiska řady USO jsou výhodnější, proto z ekonomických důvodů volím místo dvou ložisek 719 USS 140 do „0“ jedno ložisko 719 USO 150 a místo dvou ložisek 719 USS 150 do „0“.



Obr. 6.9 – Uspořádání ložisek DB dle UKF



Obr. 6.8 – Ložiska řady 719 USO/USS [38]

Obr. 6.10 – Uspořádání ložisek samostatně

Vlastnosti ložisek UKF 719 USO			
Označení ložiska		719 USO 140	719 USO 150
Vnitřní průměr	mm	140	150
Vnější průměr	mm	190	210
Šířka	mm	48	56
Tuhost ložiska	N/ $\mu$ m	1330	1450
Statická únosnost	N	201000	266500
Dynamická únosnost	N	152500	187000
Max. otáčky	min <sup>-1</sup>	8000	7500
Síla předpětí	N	2160	2680

Tab. 6.9 – Vlastnosti ložisek řady 719 USO [39]

### Trvanlivost ložisek pro uspořádání DB:

$$L_{h_{10DBA}} = 176900 \text{ hod}$$

Trvanlivost skupiny ložisek A

$$L_{h_{10DBB}} = 24860 \text{ hod}$$

Trvanlivost skupiny ložisek B

### 6.8. Trvanlivost ložisek

Výpočet trvanlivosti provedu pouze pro samostatná ložiska. Pro výpočet je nutné zná dynamickou únosnost ložisek udávanou výrobcem, viz tabulka Tab. 6.8.

$$C_{GB} = 85500 \text{ N}$$

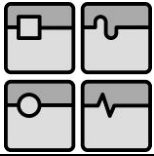
Dynamická únosnost ložiska B

$$C_{GA} = 152500 \text{ N}$$

Dynamická únosnost ložiska A

e	$FA/Fr \leq e$		$FA/Fr > e$	
	X	Y	X	Y
0,57	1	0	0,43	1

Tab. 6.10 – Ekvivalentní dynamické zatížení pro řadu USS [40]



### 6.8.1. Trvanlivost ložiska A

$$F_{A_y} = F_{A_R} = 1899 \text{ N}$$

Radiální síla působící na ložisko A

$$F_{A_z} = F_{A_p} = 2160 \text{ N}$$

Axiální síla působící na ložisko A

Pro výpočet ekvivalentního dynamického zatížení je nutné znát radiální a axiální koeficienty. Ty se volí z tabulky 6.10. Pro určení hodnot musíme znát poměr axiální a radiální síly.

$$\frac{F_{A_z}}{F_{A_y}} = 1,137 \geq 0,57 \quad (6.23) \quad [40]$$

Z rovnice víme, že poměr sil je vyšší než 0,57 a proto platí druhý sloupec tabulky 6.10, kde  $X = 0,43$  a  $Y = 1$ . Ekvivalentní dynamické zatížení se vypočítá dle vztahu:

$$P_A = X \cdot F_{A_y} + Y \cdot F_{A_z} = 2977 \text{ N} \quad (6.24) \quad [40]$$

#### Výpočet trvanlivosti

$$L_{h_{10A}} = \left( \frac{C_{GA}}{P_A} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_{D_{min}}} = 134900 \text{ hod} \quad \text{Trvanlivost ložiska A} \quad (6.25) \quad [40]$$

### 6.8.2. Trvanlivost ložiska B

$$F_{B_y} = F_{B_R} = 1899 \text{ N}$$

Radiální síla působící na ložisko B

$$F_{B_z} = F_{B_{pv}} = 4910 \text{ N}$$

Axiální síla působící na ložisko B

$$\frac{F_{B_z}}{F_{B_y}} = 1 \geq 0,57 \quad (6.26) \quad [40]$$

Z rovnice víme, že poměr sil je vyšší než 0,57 a proto platí druhý sloupec tabulky 6.10, kde  $X = 0,43$  a  $Y = 1$ . Ekvivalentní dynamické zatížení se vypočítá dle vztahu:

$$P_B = X \cdot F_{B_y} + Y \cdot F_{B_z} = 7021 \text{ N} \quad (6.27) \quad [40]$$

#### Výpočet trvanlivosti

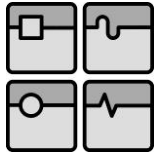
$$L_{h_{10B}} = \left( \frac{C_{GB}}{P_B} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{n_{D_{min}}} = 25010 \text{ hod} \quad \text{Trvanlivost ložiska B} \quad (6.28) \quad [40]$$

Z výsledků je patrné, že trvanlivosti obou provedení jsou skoro totožné, proto volím uspořádání ložisek samostatně z ekonomických důvodů. Trvanlivost ložiska je zbytečně vysoká a ložisko A by šlo nahradit menším ložiskem, ale protože díra v hřídeli má průměr 100 mm tak ponechám toto ložisko.

Výpočet součinitele dynamického zatížení  $f_L$

$$f_{LB} = \frac{C_{GB}}{P_B} \cdot \sqrt[3]{\frac{100/3}{n_{D_{min}}[\text{min}]}} = 3,685 \quad (6.29) \quad [40]$$

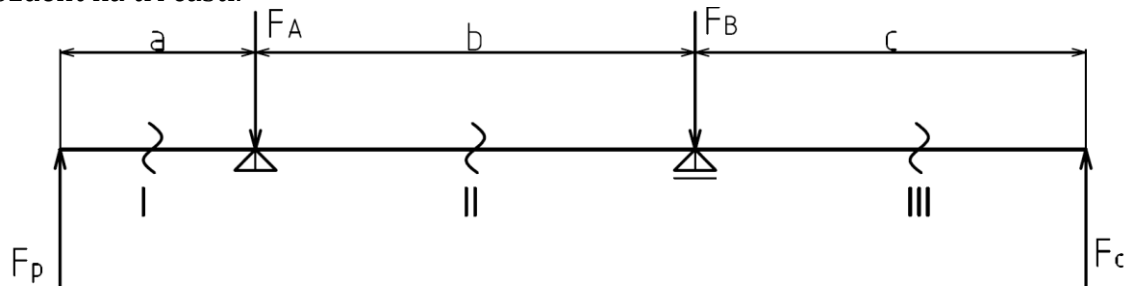
Z mnohaletých zkušeností výrobce UKF by měla být hodnota  $f_L$  pro soustruhy v rozpětí (3 ÷ 4,5), takže jsem při návrhu ložisek uvažoval správně.



## 6.9. Návrh vřetena

### 6.9.1. VVÚ

Na vřeteno mimo působících sil také působí krouticí moment  $M_k = 210 \text{ Nm}$ , který působí na celou délku vřetena. Pro určení vnitřních silových účinků je třeba vřeteno rozdělit na tři části.



Obr. 6.11 – Vřeteno s vyznačenými řezy

Část I:  $x_I \in (0, a)$

$$M_{oI}(x_I) = F_p \cdot x_I \quad \text{Ohybový moment části I.} \quad (6.30)$$

Část II:  $x_{II} \in (0, b)$

$$M_{oII}(x_{II}) = F_p \cdot (a + x_{II}) \cdot F_A + x_{II} \quad \text{Ohybový moment části II.} \quad (6.31)$$

Část III:  $x_{III} \in (0, c)$

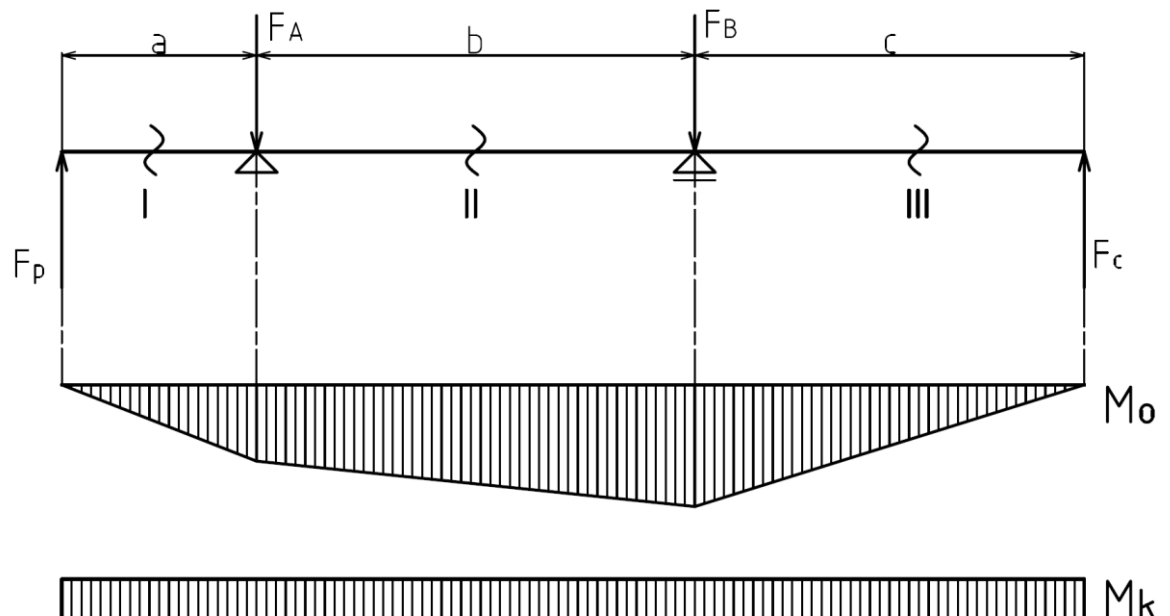
$$M_{oIII}(x_{III}) = F_c \cdot x_{III} \quad \text{Ohybový moment části III.} \quad (6.32)$$

Po dosazení hodnot je nejvyšší ohybový moment v místě podpory B:

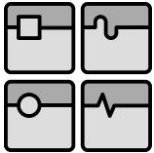
$$M_{o_{max}} = F_c \cdot c = 627,6 \text{ Nm} \quad \text{Max. ohybový moment} \quad (6.33)$$

V místě podpory A je ohybový moment:

$$M_{oI} = F_p \cdot a = 393,8 \text{ Nm} \quad \text{Ohybový moment v místě A} \quad (6.34)$$



Obr. 6.12 – Grafické znázornění ohybových a krouticích momentů



### 6.9.2. Určení průměru pod řemenicí

Při návrhu průměru pod řemenicí uvažuji návrhový součinitel. Vzhledem k tomu, že vyjádření průměru z pevnostních výpočtů je poměrně náročné, zvolil jsem pro výpočet jednoduší možnost. A to že po vyjádření pevnostních rovnic do nich budu dosazovat vhodné průměry, až dosáhnu nejmenšího možného průměru při bezpečnosti  $k_k = 2,5$ .

$d = 100 \text{ mm}$  Průměr díry vřetene

$\sigma_e = R_e = 588 \text{ MPa}$  Mez kluzu vřetene

$\sigma_m = R_m = (640 - 930) \text{ MPa}$  Max. pevnost vřetene

Návrh min. průměru pod řemenicí  $D_1$

$$D_{1n} = 100,71 \text{ mm}$$

Průřezový modul v ohybu

$$w_o = \frac{\pi \cdot (D_{1n}^4 - d^4)}{32 \cdot D_{1n}} = 2798 \text{ mm}^4 \quad (6.35)$$

Namáhání v ohybu

$$\sigma_o = \frac{M_{o\max}}{w_o} = 224,3 \text{ MPa} \quad (6.36)$$

Průřezový modul v krutu

$$w_k = \frac{\pi \cdot (D_{1n}^4 - d^4)}{16 \cdot D_{1n}} = 5596 \text{ mm}^4 \quad (6.37)$$

Namáhání v krutu

$$\tau_k = \frac{M_k}{w_k} = 37,3 \text{ MPa} \quad (6.38)$$

Redukované napětí podle HMH

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_k^2} = 233,4 \text{ MPa} \quad (6.36) \quad [8]$$

Bezpečnost s návrhovým součinitelem  $k_k = 2,5$

$$k_k = \frac{\sigma_e}{\sigma_{red}} = 2,52 \quad (6.37) \quad [8]$$

Krouticí moment mezi vřetenem a řemenicí bude přenášet tvarový spoj, konkrétně pero těsné. Délku pera volím 150 mm.

Pro průměr  $D_{1n} = 100,8 \text{ mm}$  je hloubka pera v hřídeli  $t_n = 9,9 \text{ mm}$ , ta se připočte k navrhovanému průměru dvakrát, protože vřeteno je dutý hřídel.

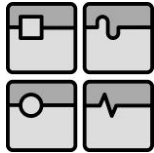
$$D_{11} = D_{1n} + 2 \cdot t_{n1} = 120,6 \text{ mm} \quad (6.37)$$

Pro průměr 120,6 mm je jiný rozměr pera, proto průměr musím přepočítat s hodnotou hloubky drážky  $t_{n2} = 11,1 \text{ mm}$ . **PERO ČSN 02 2562 - 32E7x18x100**

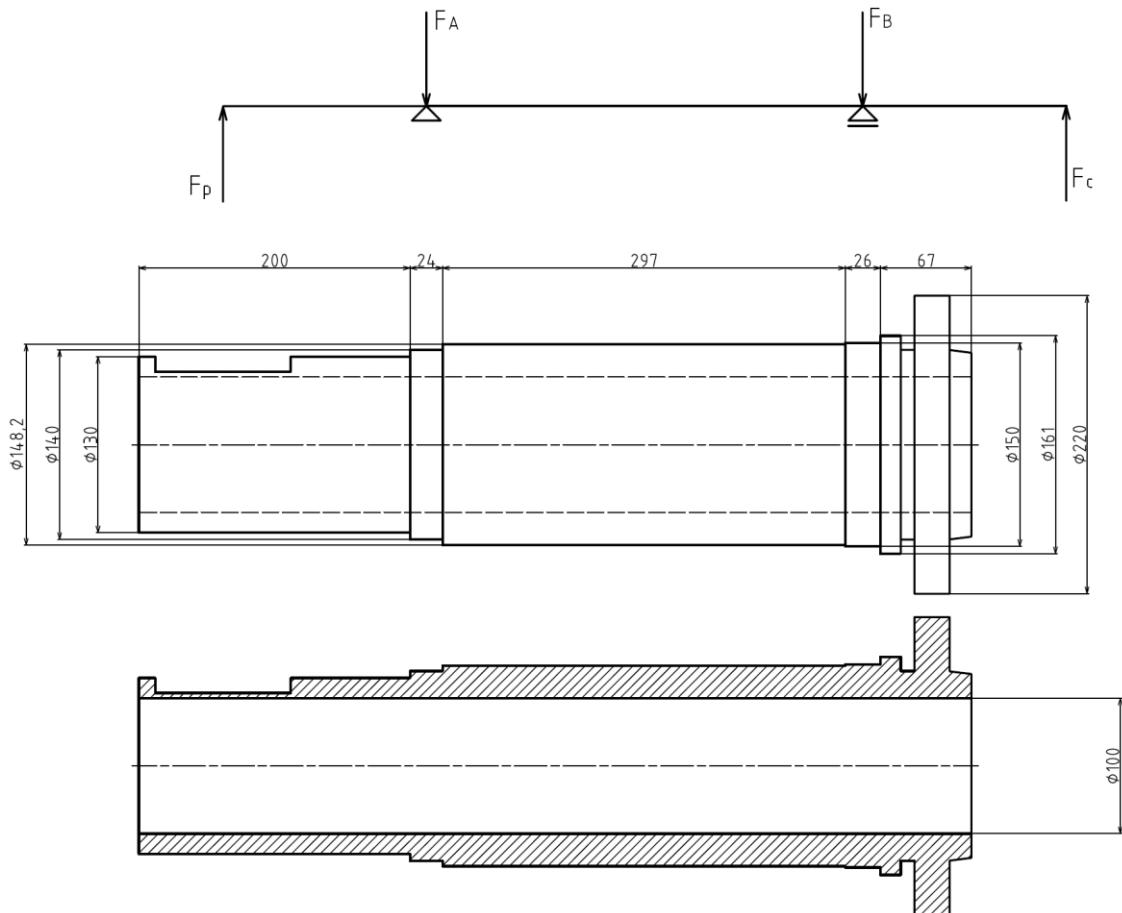
$$D_{12} = D_{1n} + 2 \cdot t_{n2} = 122,9 \text{ mm} \quad (6.37)$$

$$D_1 = D_{12} = 122,9 \text{ mm} \cong 130 \text{ mm} \quad \text{Konečný průměr pod řemenicí} \quad (6.38)$$





### 6.9.3. Základní rozměry vřetene



Obr. 6.13 – Základní rozměry vřetena

### 6.9.4. Výpočet cyklického namáhání

Protože se jedná o cyklické namáhání, provedu výpočet bezpečnosti mezi únavy.

$$R_{m_c} = \min. R_m = 640 \text{ MPa} \quad \text{Dolní mez pevnosti} \quad (6.39)$$

$$\sigma_{c_o} = 0,504 \cdot R_{m_c} = 322,6 \text{ MPa} \quad \text{Mez únavy} \quad (6.40)$$

Určení součinitelů pro výpočet bezpečnosti meze únavy [8]:

$$a_c = 4,51 \quad [8]$$

$$b_c = -0,265 \quad [8]$$

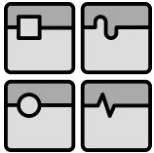
$$k_a = a_c \cdot R_{m_c}^{b_c} = 0,814 \quad \text{Součinitel vlivu povrchu} \quad (6.41) \quad [8]$$

$$d_e = 0,37 \cdot D_1 = 44,4 \text{ mm} \quad [8]$$

$$k_b = 1,24 \cdot d_e^{-0,107} = 0,826 \quad \text{Součinitel vlivu velikosti} \quad (6.42) \quad [8]$$

$$k_c = 1 \quad \text{Součinitel vlivu zatěžování} \quad [8]$$

$$k_d = 1 \quad \text{Součinitel vlivu teploty} \quad [8]$$



$$k_e = 0,814$$

Pro 99% spolehlivost

[8]

$$k_f = 1$$

Součinitel dalších vlivů

[8]

Výpočet korigované meze únavy:

$$\sigma'_{c_o} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot \sigma_{c_o} = 176,6 \text{ MPa} \quad (6.43) \quad [8]$$

Výpočet bezpečnosti meze únavy:

$$k_u = \frac{\sigma_e}{\sigma'_{c_o}} = 3,3 \geq 2,5 \quad \text{Bezpečnost vyhovuje} \quad (6.44) \quad [8]$$

### 6.9.5. Konec vřetene a adaptér

Konce vřeten jsou normalizované. Pro sklíčidlo N-212 musím zvolit konec vřetene podle normy DIN 55026 typ A velikost 8.



Obr. 6.14 – Normalizovaný konec vřetene DIN 55026 A [upraveno z 35]

Rozměry konce vřetene DIN 55026 A velikost 8

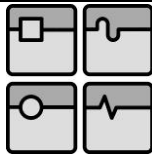
Velký průměr	<b>210</b>	<b>mm</b>
Šířka:	<b>44</b>	<b>mm</b>
Díry:	<b>11xM16</b>	

Tab. 6.11 – Rozměry konce vřetene DIN 55026 [43]

Mezi konec vřetene a sklíčidlo N-212 se musí vložit adaptér od STRONG Di Chun, typ N0210-OJB.



Obr. 6.15 – Adaptér pro uchycení sklíčidla STRONG N0210-OJB [42]



### 6.9.6. Montáž vřetene

Vřeteno bude uloženo do skříně.

#### 6.9.6.1. Mazání ložisek

Volím mazání tukem z důvodů jednoduchosti.

#### 6.9.6.2. Těsnění ložisek

U těsnění ložisek jsem volil mezi hřídelovým těsnícím kroužkem (guferem) a labyrintovým těsněním. Zvolil jsem labyrintové těsnění z důvodu vyšší životnosti.

#### 6.9.6.3. Montáž ložisek

Přední ložisko UKF 719 USS 150 bude nalisováno na průměr 150 mm a axiálně bude zajištěno speciální maticí M150x8. Na pření straně bude ještě víko, ve kterém se bude nacházet labyrintové těsnění. Zadní ložisko UKF 719 USS 140 se nalisuje na průměr 140 mm a axiálně bude zajištěno víkem, ve kterém také bude zasazeno těsnění.

#### 6.9.6.4. Montáž řemenice





Po vsazení pera se řemenice nasune na průměr 130 mm. Axiálně bude zajištěna speciální maticí M130x8.

### 6.10. Zhodnocení konstrukčního řešení vřetene

Při návrhu jsem postupoval podle vědomostí získaných v rešeršní části. Podle zvolených počátečních parametrů jsem určil rezné podmínky při obrábění zvoleného obrobku. Na základě potřebného výkonu vřetene jsem vybral elektromotor od výrobce SIEMENS, který je vhodný pro pohon vřeten. Poté jsem určil převodové číslo řemenového převodu. Podle velikosti polotovaru jsem zvolil vhodné silové sklíčidlo a vysokorychlostní hydraulický válec. Obě zařízení jsem vybral z katalogu výrobce STRONG Di Chun. Pro připojení silového sklíčidla je nutné, aby byl konec vřetena DIN 55026 typ A a k němu přimontován adaptér od stejného výrobce. Po osazení hydraulickým válcem je ve vřetenu díra průměru 85 mm a soustruh je přizpůsoben pro automatické podávání tyčí do max. průměru 80 mm. Poté jsem zvolil vhodná ložiska a uspořádání skupiny ložisek. Porovnal jsem dvě provedení a vybral ekonomicky výhodnější možnost. Zvolil jsem mazání tukem. Těsnění ložiska je provedeno bezkontaktní metodou, konkrétně vícestupňovým labyrintovým těsněním. Nakonec jsem provedl pevnostní výpočet vřetene a zkontroloval, zda vřeteno splňuje všechny pevnostní požadavky včetně požadavků cyklického namáhání.



Obr. 6.16 – Model vřetene v řezu

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 52
 	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

## 7. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést rešerši, popis a roztrídění soustružnických strojů. Dále pak provést výpočtový návrh vybrané komponenty. Pro výpočet jsem si zvolil konstrukci vřetene. Během celé práce jsem se snažil podat látku jasně a srozumitelně a přitom přehledně.



Na úvod jsem stručně vysvětlil, co se rozumí pod pojmem soustružení. Poté jsem sepsal zkrácenou historii vývoje soustružnických strojů. Další kapitolou byla samotná stavba soustruhu s výpisem hlavních částí soustruhu. V této části práce jsem se zaměřil více na rešerši vřetene, protože jsem z těchto poznatků vycházel při pozdějším návrhu konstrukce vřetene. Mezi hlavními částmi jsem uvedl např. protivřeteno, obrábění C-osy, které jsou u moderních strojů součástí příslušenství. Dále jsem provedl rozdělení moderních soustružnických strojů. Už jsem nezmiňoval starší provedení soustruhů, ale zaměřil jsem se na sektor CNC soustruhů a CNC obráběcích center. Nejprve jsem uvedl popis druhů strojů podle rozdělení a poté uvedl konkrétní příklady současné produkce soustružnických strojů. U nich jsem sepsal stručný popis, vložil obrázek a tabulku se základními parametry.

V další části jsem přešel k samotné konstrukci vřetene. Definoval jsem si tvar a parametry obrobku, které byly potřeba pro výpočet. Po zvolení materiálu vřetene jsem určil řezné podmínky soustružení. Dále jsem vybral na základě potřebných parametrů vřetene asynchronní elektromotor od výrobce SIEMENS. Poté jsem podle parametrů obrobku volil automatické sklíčidlo spolu s kompatibilním hydraulickým válcem s průchozí dírou. Podle průměru táhla jsem určil průměr díry vřetene. Po předběžném návrhu ložisek jsem s pomocí softwaru Mathcad spočítal ideální vzdálenost ložisek. Zvolil jsem jejich uspořádání a provedl výpočet trvanlivosti. Vybíral jsem ze dvou provedení uspořádání ložisek a vybral ekonomicky výhodnější možnost. Dále jsem provedl pevnostní výpočet vřetene a následně jsem výpočtem ověřil bezpečnost meze únavy. Vřeteno vyhovuje bezpečnému provozu. Dle zvoleného sklíčidla jsem z katalogu výrobce určil normalizované zakončení vřetene DIN 55260 typ A velikost 8. Mezi vřeteno a sklíčidlo se musí vložit adaptér od stejného výrobce. Nakonec jsem výpočet konstrukce zhodnotil.





Při psaní této bakalářské práce jsem získal mnoho nových znalostí z oblasti soustružnických strojů a vřeten. Nakonec lze říci, že práce vyhovuje všem zadaným požadavkům.

## 8. Seznam použitých zdrojů

- [1] Borský, Václav. *Obráběcí stroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992. 216s. ISBN 80-214-0470-6.
- [2] Borský, Václav. *Základy stavby obráběcích strojů*. 2. vyd. Brno: VUT Brno, 1991. 214 s. ISBN 80-214-0361-6.
- [3] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 1. vyd. 2006. 284 s. ISSN 1212-2572.
- [4] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. 1. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [5] PROKOP, Mojmír. *Výrobní stroje I*. 1. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně. ISBN 55-589-85.
- [6] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP a Jana PETRŮ. *Výrobní stroje obráběcí*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, 145 s. ISBN 978-80-248-2941-8.
- [7] HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie I.* Pavel Vávra. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984. 172 s. ISBN 04-225-84.
- [8] SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. *Konstruování strojních součástí*. 1.vyd. Brno: VUTIUM, 2010. 1160s. ISBN 978-80-214-2629-0
- [9] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [10] SVOBODA, Pavel; BRANDEJS, Jan; PROKEŠ, František. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 3. Brno: CERM, 223 s. ISBN 978-80-7204-636-2.
- [11] *On ye art and myserie of turning* [online]. 2000 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://homepages.ihug.com.au/~dispater/turning.htm>
- [12] *The Woodturner's Workshop* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z: <http://www.turningtools.co.uk/history2/history-turning2.html>
- [13] *History CNC Milling Machine* [online]. 2011 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: <http://www.cncmasters.com/index.php?page=cnc-milling-machine-history-history-cnc-milling-machine>
- [14] *MASTURN 820 CNC - 4500* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/cz/masturn-70-cnc---4500>
- [15] *CNC soustruhy - CNC soustruh Opti L440 - Numco - CNC obráběcí stroje* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.numco.cz/produkt/3514410-cnc-soustruh-opti-l440>
- [16] *NLX2500 / 700 | Turn-Mill Machines | DMG / Mori Seiki* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.dmgmori-seiki.com/turning-nlx-series/nlx2500-700>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 54
	<b>BAKALÁŘSKÁ PRÁCE</b>	

- [17] *NZL2500Y / 600 | CNC Horizontal Turning Centers | DMG / Mori Seiki* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.dmgmoriseikiusa.com/nz-series/nzl2500y-600>
- [18] *GHT 8 | ZAMAQ Tech - CNC obráběcí stroje a multifunkční centra* [online]. [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.zamaq.cz/ght-8>
- [19] *Nové technologie při výrobě nosných dílů obráběcích strojů* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-technologie-pri-vyrobe-nosnych-dilu-obrabecich-stroju.html>
- [20] *Beton a přírodní žula při výrobě loží a rámu obráběcích strojů* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/beton-a-prirodni-zula-pri-vyrobe-lozi-a-ramu-obrabecich-stroju.html>
- [21] *Vřetena a jejich komponenty* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vretena-a-jejich-komponenty.html>
- [22] *Steel City Tool Works - Product Categories* [online]. [cit. 2013-05-02]. Dostupné z: [http://www.steelcitytoolworks.com/products\\_tools.cfm?section=2category=8&category=8&tool=60170G](http://www.steelcitytoolworks.com/products_tools.cfm?section=2category=8&category=8&tool=60170G)
- [23] *Milwaukee Machine Tool Corporation* [online]. [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: [http://www.milwaukeemachinetool.com/Block\\_spindles.htm](http://www.milwaukeemachinetool.com/Block_spindles.htm)
- [24] *WAY LONG Technology Co., Ltd.* [online]. [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://www.spindleway.com/e/product03.htm>
- [25] *Katalog vřetenových ložisek* [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: [http://www.loziska.com/store/loziska\\_vretenova.pdf](http://www.loziska.com/store/loziska_vretenova.pdf)
- [26] *Metodické pokyny* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: [http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general\\_turning/application\\_overview/external\\_turning/how\\_to\\_apply/pages/default.aspx](http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/general_turning/application_overview/external_turning/how_to_apply/pages/default.aspx)
- [27] *NEF 600 - A Lathe by DMG / MORI SEIKI* [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <http://cz.dmgmoriseiki.com/sites/products/en/turning/nef-600>
- [28] *Doosan Infracore Machine Tools : Lynx 300* [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: [http://www.doosan.com/doosaninfracoremachinetool/en/products.do?cmd=selectView&product\\_seq=20100520112729890625](http://www.doosan.com/doosaninfracoremachinetool/en/products.do?cmd=selectView&product_seq=20100520112729890625)
- [29] *Doosan Infracore Machine Tools : PUMA H310T, QL300H* [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: [http://www.doosan.com/doosaninfracoremachinetool/en/products.do?cmd=selectView&product\\_seq=20100520142553468750](http://www.doosan.com/doosaninfracoremachinetool/en/products.do?cmd=selectView&product_seq=20100520142553468750)
- [30] *PUMA HT 230T / HT 250T / H310T / HT 230TG / QL200H / QL300H* [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: [http://romegatrade.ro/filepdf/11167P-HT-QLser\\_EU0808.pdf](http://romegatrade.ro/filepdf/11167P-HT-QLser_EU0808.pdf)
- [31] *TOSHULIN FORCETURN* [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <http://www.toshulin.cz/stroj.asp?idstroj=9&mapa=14&l=CZ>
- [32] *TOSHULIN: Catalog of Production* [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <http://www.machinery.fi/konepajateollisuus/metallintyostokoneet/5%20TOS%20Katalog%20NEW%20EN.pdf>

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 55
 	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [33] *MULTICUT 500 | KOVOSVIT MAS* [online]. [cit. 2013-04-24]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/cz/multicut-500/>
- [34] *Dual Turn 20 | Yamazaki Mazak Europe* [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.mazak.eu/CNC-Turning-Centres/Dual-Turn-20>
- [35] *NVL1350MC - A Lathe by DMG / MORI SEIKI* [online]. [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://en.dmgmorseiki.com/sites/products/en/turning/nvl1350mc>
- [36] *Macurn 350* [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.okuma.com/macturn-350>
- [37] *SIEMENS SIMODRIVE* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: [https://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/840C\\_1101\\_E/PPH.pdf?p=1](https://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/840C_1101_E/PPH.pdf?p=1)
- [38] *Spindle Bearings* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: [http://www.ukf.de/index.php?option=com\\_content&view=article&id=7&Itemid=18](http://www.ukf.de/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=18)
- [39] *Bearings catalog - UKF - Page n° 57 - PDF Catalogue | Technical Documentation | Brochure* [online]. [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: [http://pdf.directindustry.com/pdf/ukf/bearings-catalog/27264-47407-\\_57.html](http://pdf.directindustry.com/pdf/ukf/bearings-catalog/27264-47407-_57.html)
- [40] *Di Chun Iron Work Co., LTD. - Power Chuck* [online]. [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: [http://www.auto-strong.com/web\\_e/products\\_c1.html](http://www.auto-strong.com/web_e/products_c1.html)
- [41] *Di Chun Iron Work Co., LTD. - Hydraulic cylinder* [online]. [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: [http://www.auto-strong.com/web\\_e/products\\_e1.html](http://www.auto-strong.com/web_e/products_e1.html)
- [42] *Di Chun Iron Work Co., LTD. - Adapters* [online]. [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: [http://www.auto-strong.com/web\\_e/products\\_i1.html](http://www.auto-strong.com/web_e/products_i1.html)
- [43] *Spindle Norms* [online]. [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: [http://www.schunk.com/schunk\\_files/attachments/Drehfutter\\_Technik\\_Spindelnormen\\_DE\\_EN.pdf](http://www.schunk.com/schunk_files/attachments/Drehfutter_Technik_Spindelnormen_DE_EN.pdf)
- [44] *SINUMERIK 828 - CNC SINUMERIK - Siemens* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/mcms/m2/en/automation-systems/cnc-sinumerik/sinumerik-controls/sinumerik-828/pages/sinumerik-828.aspx>
- [45] *Belt driven spindle - EHS / EVS - RÖHM* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/rohmbelt-driven-spindles-15881-468288.html>
- [46] *Pramet - Katalog soustružení* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download.php?id=80>
- [47] *Volba kuličkových šroubů* [online]. [cit. 2013-05-18]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/volba-kulickovych-sroubu.html>

## 9. Seznam obrázků

Obr. 1.1	Smyčkový soustruh ze starého Egypta [11]	str. 14
Obr. 1.2	Dvě provedení soustruhu na řezání závitů podle Maudslayho [11]	str. 15
Obr. 1.3	Soustruh pro obrábění kol pro lokomotivy [12]	str. 15
Obr. 2.1	Geometrie nástroje [46]	str. 15
Obr. 3.1	Stavba soustruhu DMG / Mori Seiki NZL2500Y [upraveno ze 17]	str. 17
Obr. 3.2	Soustruh Steel City 60170G s ložem z žuly [22]	str. 17
Obr. 3.3	Celková deformace [1]	str. 21
Obr. 3.4	Deformace vřetene [1]	str. 21
Obr. 3.5	Deformace ložisek [1]	str. 21
Obr. 3.6	Přesnost chodu vřetene [1]	str. 22
Obr. 3.7	Uložení vřetene: a) ve skříni [23], b) v tubusu [24]	str. 23
Obr. 3.8	Pohon řemenovým převodem ROHM [45]	str. 23
Obr. 3.9	Příklady uspořádání ložisek vřetene [upraveno z 25]	str. 24
Obr. 3.10	Kuličkový šroub matice vcelku a v řezu [1]	str. 25
Obr. 3.11	Kompletní řídicí systém SINUMERIK	str. 27
Obr. 4.1	Rozdělení soustruhů	str. 28
Obr. 4.2	CNC univerzální hrotový soustruh MASTURN 820 CNC-4500 [14]	str. 29
Obr. 4.3	CNC soustruh OPTIMUM Opti L440 [15]	str. 29
Obr. 4.4	CNC soustruh DMG / Mori Seiki NLX2500 / 700 [16]	str. 30
Obr. 4.5	CNC čelní soustruh GEMINIS GHT-8 [18]	str. 30
Obr. 4.6	Dvou vřetenový CNC soustruh Mazak DUAL TURN 20 [34]	str. 31
Obr. 4.7	Svislý CNC soustruh DMG / Mori Seiki NVL 1350 MC [34]	str. 31
Obr. 4.8	OKUMA Macturn 350 [35]	str. 31
Obr. 5.1	DMG/Mori Seiki NEF 600 [27]	str. 32
Obr. 5.2	Doosan Lynx 300M [28]	str. 33
Obr. 5.3	Doosan Puma QL300H s portálovým manipulátorem [29]	str. 34
Obr. 5.4	TOSHULIN FORCETURN 2500 [32]	str. 36
Obr. 5.5	MULTICUT 500 S [33]	str. 37
Obr. 5.6	Detail MULTICUT 500 S [33]	str. 37
Obr. 6.1	Hydraulické hrdlo	str. 38
Obr. 6.2	Charakteristika motoru 1PH7163-2ND [37]	str. 41
Obr. 6.3	Hydraulické sklíčidlo N-212 [40]	str. 42
Obr. 6.4	Hydraulický válec M2085 [41]	str. 42
Obr. 6.5	Graf funkce ideální vzdálenosti ložisek	str. 44
Obr. 6.6	Radiální síly působící na vřeteno	str. 44
Obr. 6.7	Axiální síly působící na vřeteno	str. 45
Obr. 6.8	Ložiska řady 719 USO/USS [38]	str. 46
Obr. 6.9	Uspořádání ložisek DB dle UKF	str. 46
Obr. 6.10	Uspořádání ložisek samostatně	str. 46
Obr. 6.11	Vřeteno s vyznačenými řezy	str. 48
Obr. 6.12	Grafické znázornění ohybových a krouticích momentů	str. 48
Obr. 6.13	Základní rozměry vřetena	str. 50
Obr. 6.14	Normalizovaný konec vřetene DIN 55026 A [upraveno z 35]	str. 51
Obr. 6.15	Adaptér pro uchycení sklíčidla STRONG N0210-OJB [42]	str. 51
Obr. 6.16	Model vřetene v řezu	str. 52



## 10. Seznam tabulek

Tab. 3.1	Vybraní výrobci a jejich řídicí systémy	str. 27
Tab. 5.1	DMG/Mori Seiki NEF 600 [27]	str. 32
Tab. 5.2	Doosan Lynx 300M [28]	str. 33
Tab. 5.3	Doosan Puma QL300H [29]	str. 35
Tab. 5.4	Portálový manipulátor obráběcího centra PUMA QL300H [30]	str. 35
Tab. 5.5	TOSHULIN FORCETURN 2500 [32]	str. 36
Tab. 5.6	Kovosvit MAS MULTICUT 500 S [33]	str. 37
Tab. 6.1	Požadované parametry obrábění	str. 38
Tab. 6.2	Charakteristika materiálu obrobku	str. 38
Tab. 6.3	Charakteristika materiálu vřetena	str. 38
Tab. 6.4	Charakteristika motoru	str. 40
Tab. 6.5	Volba sklíčidla a vysokorychlostního hydraulického válce	str. 42
Tab. 6.6	Parametry sklíčidla N-212	str. 42
Tab. 6.7	Parametry hydraulického válce M2085	str. 42
Tab. 6.8	Vlastnosti ložisek řady 719 USS [39]	str. 43
Tab. 6.9	Vlastnosti ložisek řady 719 USO [39]	str. 46
Tab. 6.10	Ekvivalentní dynamické zatížení pro řadu USS [40]	str. 46
Tab. 6.11	Rozměry konce vřetene DIN 55026 [43]	str. 51

## 11. Seznam použitých symbolů

$v_c$	Řezná rychlost	$m/min$
$f$	Posuv	$mm/ot.$
$a_p$	Hloubka řezu	$mm$
$A_p$	Průřez třísky	$mm^2$
$A$	Práce	$J$
$Q$	Teplo	$J$
$\varepsilon_r$	Úhel špičky nástroje	$^\circ$
$\lambda_s$	Úhel sklonu ostří	$^\circ$
$\chi_r$	Úhel nastavení	$^\circ$
$\delta$	Deformace	$mm$
$L$	Délka obrobku	$mm$
$D$	Průměr obrobku	$mm$
$D_{min}$	Min. průměr obrobku	$mm$
$D_{max}$	Max. průměr obrobku	$mm$
$R_m$	Max. pevnost v tahu	$MPa$
$R_e$	Mez kluzu v tahu	$MPa$
$k_c$	Měrná řezná síla	$MPa$
$E$	Modul pružnosti	$MPa$
$K_{V1}$	Opravný součinitel řezné rychlosti	—
$C_F$	Řezný součinitel	—
$X_F, Y_F$	Řezné exponenty	—
$F_c$	Řezná rychlost	$N$
$F_p$	Pasivní síla	$N$
$F_f$	Posuvová síla	$N$
$F$	Celková řezná síla	$N$
$n_{D_{min}}$	Otáčky vřetene při malém průměru	$mm$
$n_{D_{max}}$	Otáčky vřetene při velkém průměru	$mm$
$M_k$	Krouticí moment	$Nm$
$P_c$	Výkon	$kW$
$\eta_p$	Ztrátový součinitel řemenového převodu	—
$i$	Převodové číslo	—
$d$	Průměr díry	$mm$
$a$	Vzdálenost od středu řemenice po ložisko A	$mm$
$b$	Vzdálenost mezi ložisky	$mm$
$c$	Vzdálenost od ložiska B po konec vřetena	$mm$
$J_1$	Kvadratický moment v místě ložiska A	$mm^4$
$J_2$	Kvadratický moment v místě ložiska B	$mm^4$
$k_A$	Tuhost ložiska A	$N/\mu m$
$k_B$	Tuhost ložiska B	$N/\mu m$
$C_A$	Poddajnosti ložiska A	$\mu m/N$
$C_B$	Poddajnosti ložiska B	$\mu m/N$
$D_p$	Roztečný průměr řemenice	$mm$
$F_p$	Síla působící na řemenici	$N$
$f_{LB}$	Součinitele dynamického zatížení	—
$F_{AR}$	Radiální síla v ložisku A	$N$
$F_{BR}$	Radiální síla v ložisku B	$N$

$F_{Ap}$	Síla předpětí ložiska A	$N$
$F_{Bp}$	Síla předpětí ložiska B	$N$
$F_{Bpv}$	Celková axiální síla ložiska B	$N$
$L_{h_{10DBA}}$	Trvanlivost skupiny ložisek A dle DB	$hod$
$L_{h_{10DBB}}$	Trvanlivost skupiny ložisek B dle DB	$hod$
$L_{h_{10A}}$	Trvanlivost ložiska A	$hod$
$L_{h_{10B}}$	Trvanlivost ložiska B	$hod$
$C_{GA}$	Dynamická únosnost ložiska A	$N$
$C_{GB}$	Dynamická únosnost ložiska B	$N$
$F_{Ay}$	Radiální zatížení ložiska A	$N$
$F_{By}$	Radiální zatížení ložiska B	$N$
$F_{Az}$	Axiální zatížení ložiska A	$N$
$F_{Bz}$	Axiální zatížení ložiska B	$N$
$P_A$	Ekvivalentní dynamické zatížení A	$N$
$P_B$	Ekvivalentní dynamické zatížení B	$N$
$M_o$	Ohybový moment	$Nm$
$\sigma_e$	Mez kluzu	$MPa$
$\sigma_m$	Max. pevnosti	$MPa$
$w_o$	Průřezový modul v ohybu	$mm^4$
$w_k$	Průřezový modul v krutu	$mm^4$
$\sigma_o$	Namáhání v ohybu	$MPa$
$\tau_k$	Namáhání v krutu	$MPa$
$\sigma_{red}$	Redukované napětí podle HMM	$MPa$
$k_k$	Bezpečnost k mezi kluzu	—
$\sigma_{c_o}$	Mez únavy v ohybu za rotace	$MPa$
$k_a$	Součinitel vlivu povrchu	—
$k_b$	Součinitel vlivu velikosti	—
$k_c$	Součinitel vlivu zatěžování	—
$k_d$	Součinitel vlivu teploty	—
$k_e$	Součinitel spolehlivosti	—
$k_f$	Součinitel dalších vlivů	—
$\sigma'_{c_o}$	Korigovaná mez únavy v ohybu za rotace	$MPa$
$k_u$	Bezpečnost k mezi únavy	—