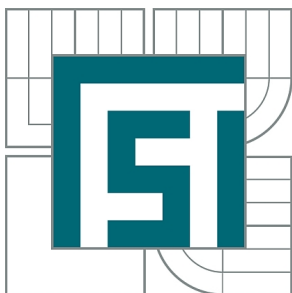


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

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 VŘETENE SOUSTRUHU

DESIGN OF LATHE SPINDLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

TOMÁŠ NOVÁK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BLECHA, Ph.D.

BRNO 2012



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Tomáš Novák

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:

### **Konstrukce vřetene soustruhu**

v anglickém jazyce:

### **Design of lathe spindle**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Student provede rešerši v oblasti soustružnických vřeten. Na základě rešerše zvolí typ a technické parametry vřetene. Provede základní konstrukční výpočty a vlastní zjednodušenou konstrukci vřetene v 3D modelu.

Součástí bakalářské práce bude výkres sestavy vřetene a v elektronické příloze jeho 3D model.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti soustružnických vřeten.

Určení typu a technických parametrů vřetene.

Základní konstrukční výpočty vřetene.

Zjednodušená konstrukce vřetene v 3D modelu.

Výkres sestavy vřetene.

3D model vřetene.

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 obráběcích strojů

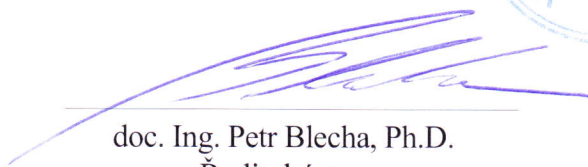
www.infozdroje.cz

www.mmspektrum.com

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

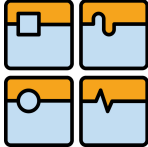
V Brně, dne 30.11.2011



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



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

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

## **Anotace**

Předmětem této bakalářské práce je rešerše a jednoduchá konstrukce vřetene soustruhu se základními výpočty. První část obsahuje přehled a rozdělení soustruhů s jejich technickými parametry. Dále rešerši, která je zaměřena na vřetena obráběcích strojů. Druhá část obsahuje výpočty a konstrukční provedení vřetene soustruhu. Součástí práce je model vřetene ve 3D vytvořený v programu SolidWorks 2008 a výkres sestavy vřetene soustruhu.

## **Klíčová slova**

Soustruh, vřeteno, konstrukce vřetene, vřetenová ložiska, parametry vřetene, pohon vřetene.

## **Annotation**

The subject of this bachelor's thesis is a literary overview and a simple design of a lathe spindle with basic calculations. The first part contains a overview and a categorization of lathes with their technical parameters and the literary research, which is focused on the spindle of machine tools. The second part contains calculations and the design of the lathe spindle. The 3D model of the spindle, designed in SolidWorks 2008 software, and the assembly drawing of the lathe spindle are also included in this thesis.

## **Keywords**

Lathe, spindle, spindle design, spindle bearings, spindle characteristics, spindle drive.

## **Bibliografická citace**

NOVÁK, T. *Konstrukce vřetene soustruhu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 59 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.



### Čestné prohlášení

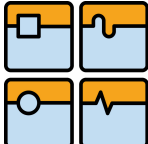
Tímto prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Konstrukce vřetene soustruhu* vypracoval samostatně pod vedením a s pomocí Ing. Petra Blechy, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne: 22.5. 2012

  
Vlastnoruční podpis autora





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

## Poděkování

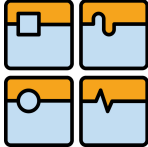
Přednostně bych chtěl poděkovat Ing. Petru Blechovi za rady a konzultace, které mi věnoval. Dále potom své mámě Olze a přítelkyni Dáše, které mě do práce neustále tlačily a podporovaly mě.



## Obsah

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. Úvod</b>                                                | 13 |
| <b>2. Druhy soustruhů a jejich parametry</b>                  | 14 |
| 2.1. Hrotové soustruhy                                        | 15 |
| 2.1.1. Univerzální hrotové soustruhy                          | 16 |
| 2.1.2. Jednoduché hrotové soustruhy                           | 18 |
| 2.2. Malé stolní/modelářské soustruhy                         | 18 |
| 2.3. Soustruhy na dřevo                                       | 19 |
| 2.4. Revolverové soustruhy                                    | 19 |
| 2.5. Čelní soustruhy                                          | 20 |
| 2.6. Svislé soustruhy (Karusely)                              | 21 |
| 2.7. Poloautomatické soustruhy                                | 22 |
| 2.8. Automatické soustruhy                                    | 22 |
| 2.9. NC soustruhy (Numerical control)                         | 22 |
| 2.10. CNC soustruhy (Computer numerical controlled)           | 22 |
| <b>3. Vřeteno a jeho komponenty</b>                           | 23 |
| 3.1. Způsob zástavby                                          | 23 |
| 3.2. Vřetenová ložiska                                        | 24 |
| 3.3. Valivá ložiska                                           | 25 |
| 3.4. Hybridní ložiska                                         | 27 |
| 3.5. Mazání vřetenových ložisek                               | 27 |
| 3.5.1. Mazání tukem                                           | 28 |
| 3.5.2. Mazání olejem                                          | 28 |
| 3.6. Montáž a demontáž                                        | 29 |
| 3.7. Těsnění                                                  | 30 |
| 3.8. Náhon vřetena                                            | 31 |
| 3.8.1. Přímý náhon                                            | 31 |
| 3.8.2. Náhon s vloženým převodem                              | 31 |
| 3.8.3. Elektrovřeteno                                         | 31 |
| <b>4. Návrh vřetene</b>                                       | 32 |
| 4.1. Požadavky                                                | 32 |
| 4.2. Přesnost chodu                                           | 32 |
| 4.3. Tuhost vřetene a jeho deformace                          | 33 |
| 4.3.1. Velikost deformace vřetene $\delta_v$                  | 34 |
| 4.3.2. Deformace ložisek (tuhost uložení) $\delta_L$          | 35 |
| 4.3.3. Deformace skříně $\delta_s$                            | 35 |
| 4.3.4. Celková deformace $\delta$                             | 35 |
| <b>5. Výpočet vřetene a stanovení jeho parametrů</b>          | 36 |
| 5.1. Základní parametry                                       | 36 |
| 5.1.1. Výpočet řezného odporu $p$                             | 37 |
| 5.1.2. Výpočet řezné síly $F_c$                               | 37 |
| 5.1.3. Maximální moment krutu $M_k$                           | 37 |
| 5.1.4. Výkon elektromotoru $P$                                | 38 |
| 5.1.5. Porovnání průměru obrobku v závislosti na otáčkách     | 38 |
| 5.2. Sklíčidlo                                                | 38 |
| 5.3. Základní rozměr vřetene, výběr ložisek a jejich umístění | 39 |
| 5.3.1. Kvadratický moment průřezu vřetene mezi ložisky $J_1$  | 39 |
| 5.3.2. Poddajnost ložisek $C_A$ a $C_B$                       | 40 |
| 5.3.3. Výpočet vzdálenosti $L$                                | 40 |
| 5.4. Síly na vřeteno                                          | 41 |

|                                                                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.4.1. Výpočet obvodové síly $F_O$ , radiální síly $F_{RO}$ , normálové síly $F_{NO}$ na ozubeném kole vřetene..... | 41        |
| 5.4.2. Výpočet reakcí v ložiscích od zatěžujících sil.....                                                          | 42        |
| 5.4.3. Výpočet axiálních sil na ložiscích A a B.....                                                                | 43        |
| 5.5. Výpočet trvanlivosti ložisek A a B.....                                                                        | 45        |
| 5.6. Kontrolní výpočet vřetene.....                                                                                 | 47        |
| 5.6.1. Výsledné vnitřní účinky v radiálním směru síly ozubeného kola.....                                           | 47        |
| 5.6.2. Výsledné vnitřní účinky v obvodovém směru síly ozubeného kola..                                              | 48        |
| 5.6.3. Výpočet bezpečnosti vřetene vzhledem k meznímu stavu pružnosti $k$ .....                                     | 49        |
| 5.7. Výpočet rozměrů pera pod ozubeným kolem.....                                                                   | 50        |
| 5.7.1. Kontrola vřetene v místě s perem.....                                                                        | 50        |
| <b>6. Konstrukční provedení vřetene.....</b>                                                                        | <b>52</b> |
| <b>7. Závěr.....</b>                                                                                                | <b>54</b> |
| <b>8. Seznam použité literatury.....</b>                                                                            | <b>55</b> |
| <b>9. Seznam použitých symbolů a značek.....</b>                                                                    | <b>56</b> |
| <b>10. Seznam obrázků a tabulek.....</b>                                                                            | <b>58</b> |
| <b>11. Seznam příloh.....</b>                                                                                       | <b>59</b> |

|                                                                                   |                                            |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------|
|  | Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky | Str. 13 |
|                                                                                   | BAKALÁŘSKÁ PRÁCE                           |         |

## **1. Úvod**

Soustruhy jsou jedny z nejrozšířenějších obráběcích strojů, protože symetrické součástky na nich vyráběné jsou ve strojírenství a jiných odvětvích velmi hojně používané. V dnešní době se stále větší množství jednoduchých velkých, malých stolních nebo modelářských mikro soustruhů (ať už na kov nebo dřevo), dostává do domácností a domácích dílen, díky kutilům a modelářům.

Vřeteno soustruhu je velmi důležitá součást přenášející kroutící moment a výkon motoru přes sklíčidlo až k obrobku. Je potřeba, aby vřeteno a jeho uložení bylo vyrobeno v dostatečné přesnosti, což zamezí házení obrobku a tím pádem bude možné vyrábět součástky co nejpřesnější. Čím přesnější výrobek, tím přesnější a náročnější je výpočet, výroba a uložení vřetene. Jsou firmy, které se přímo specializují na problematiku návrhu a výroby. Hotové vřeteníky pak dodávají výrobcům obráběcích strojů, kteří je pouze zabudují do jejich konstrukce.

Obsahem mé práce je výpočet a návrh jednoduché konstrukce vřetene a jeho uložení. Toto vřeteno by se mohlo uplatnit právě v domácích dílnách a kusové výrobě, kde nebude potřeba vyrábět velmi přesné výrobky a součástky. Jeho jednoduchou konstrukcí bych rád docílil nízké pořizovací ceny a jeho snadné a levné výroby.

## 2. Druhy soustruhů a jejich parametry

První soustruhy byly užívány už ve starověku pro obrábění dřeva později pak i kovů. Soustruh by se dal jednoduše definovat, jako třískový obráběcí stroj, na němž obrobek dostává rotačně symetrický tvar.

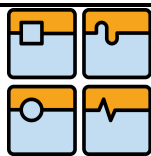
Hlavní řezný pohyb (rotační) zde vykonává vřetenno do kterého je obrobek upnut a vedlejší řezný pohyb (neboli posuv) pak vykonává nástroj. Posuv může být podélný (ve směru osy obrobku) nebo příčný (v kolmém směru na obrobek). Oba tyto pohyby je možné provádět také současně. Vedlejší řezný pohyb je možné provádět jak ručně (u soustruhů na dřevo), tak i mechanicky či pomocí počítače.

Soustružení patří mezi nejčastější způsoby obrábění. Je to proto, že ve dřevomodelářství a hlavně strojírenství se vyskytuje velký počet součástí rotačního charakteru (kruhového průřezu). Lze však také obrábět i rovinné plochy (čelní soustružení), závity, vrtat, apod.

Díky širokému uplatnění tohoto stroje máme jeho více konstrukčních provedení (dle zaměření) a i více druhů obráběcích nástrojů.



Obr. 2.1. Historický soustruh Donauwerk Ernst Crause & Co. [3]

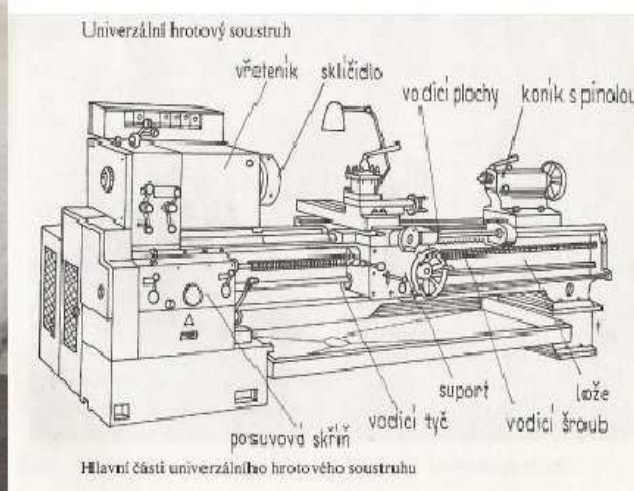


## 2.1. Hrotové soustruhy

Hrotové soustruhy se rozdělují na:

- **Univerzální hrotové soustruhy**
- **Jednoduché (někdy také klasické) hrotové soustruhy**

Velikosti hrot. soustruhů je posuzována hlavně podle točného průměru nad ložem, tedy maximálního průměru součásti, kterou lze na nich obrobít. V označení soustruhů se uvádí točný průměr na prvním místě označení. Další uváděná hodnota je největší délka soustružení, která se udává od pevného hrotu zasazeného do vřetene až k hrotu v pinole koníku. Dále uváděná hodnota (často ne v označení) je největší průměr obrobku nad nejvyšším místem suportu.



Obr 2.2. Hlavní části univerzálního hrotového soustruhu [3]

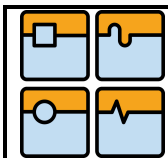
Hlavní základní části hrotových soustruhů jsou:

- **Lože:** je ze šedé litiny, zachycuje řezné síly, chvění stroje, upínací síly. Musí být tuhé a umožňovat odvod třísek.
- **Vřeteník:** Jeho hlavní část je vřeteno, které je duté a přenáší kroučící moment. Musí zachycovat radiální a axiální síly. Je nutné ho chladit a mazat, je demontovatelné a musí umožňovat vymezení vůle.
- **Suport (Saně):** Umožňuje příčný a podélný posuv. Pohybuje se po loži pomocí vodící tyče nebo vodícího šroubu. Jeho strojový posuv vychází od vřetene přes ozubená kola ve vřeteníku do posuvové skříně, kde se nastavuje rychlost posuvu či smysl pohybu. Výše na vřeteníku pak řazení otáček. Na Suportu jsou pak spojky posuvu a závitového posuvu.

Suport se skládá z podélných saní se suportovou skříní, pak z příčných saní na kterých jsou upevněny nožové saně. Ty lze pomocí točnice natáčet. Na nožových saních je umístěna nožová hlava, kterou je možné otáčet a lze do ní upnout až čtyři nástroje.

- **Vodící tyč:** Slouží k odvození podélného nebo příčného posuvu.
- **Vodící šroub:** Slouží pouze k odvození podélného posuvu při řezání závitů.
- **Koník:** Je dvoudílné litinové těleso, které se dá posouvat po loži (často ručně). Polohu koníku na loži lze zajistit šroubem a objímkou. V horní části, jenž je možné





mírně vychýlit do stran, je umístěna výsuvná pinola s vnitřním kuzelem (umožňuje upnutí hrotu nebo vrtáku).

- **Vřeteníková a Posuvová převodovka**

### 2.1.1. Univerzální hrotové soustruhy

Hlavní poznávací znak je, že mají vodící šroub, jenž jim umožňuje výrobu různých druhů závitů o velkých rozsazích stoupání. Dále mají velký rozsah otáček i posuvů.

Lze na nich obrábět vnější i vnitřní rotační plochy, čelní rovinné i kuželové plochy, zapichovat při podélném a vypichovat při čelním soustružení, vrtat, soustružit krátké (pomocí šikmého břitů nože až natočením nožového suportu) i dlouhé a štíhlé kuželové plochy (vyosením koníku), vnější i vnitřní tvarové plochy pomocí kopírovacího zařízení. Pomocí zvláštního příslušenství i nepravidelné tvary jako např. vačky.

Z této kategorie bych rád čerpal při svém návrhu vřetene a proto zde uvádím nejvíce příkladů. Kvůli srovnání parametrů jsou v tomto případě příklady hrotových soustruhů od jedné firmy.



Obr. 2.3. Soustruh Opti D 320 x 630 [12]

#### Technická data:

Výška hrotu 160 mm

Max. točný průměr nad ložem 312 mm

Max. točný průměr nad suportem 190 mm

Max. točný průměr bez můstku 430 mm

Délka můstku 230 mm

Vzdálenost mezi hroty 630 mm

Otáčky 65 – 1800 ot./min

Otáčky - provedení Vario 10 – 2500 ot./min

Plynulá změna otáček ne

Počet rychlostních stupňů 18

Průchod vřetene 38 mm

Kužel vřetene MK5

Provedení vřetene Camlock ASA D 1 - 4“

Posuv pinoly 100 mm

Kužel pinoly koníka MK3

Posuv podélný 0,052– 1,392 mm/ot.( 32 )

Posuv příčný 0,014– 0,380 mm/ot.( 32 )

Max. posuv nožového suportu 85 mm

Max. posuv příčného suportu 162 mm

Závit metrický 0,4 –7 mm/ot.( 26 )

Závit palcový 4 –56 záv./1“( 34 )

Závit trapézový Ne

Závit modulový Ne

Příkon 1500 W

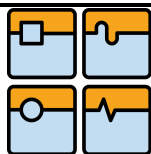
Elektrické připojení 400 V

Rozměry (š × v × h) 1485 × 1320 × 750 mm

Hmotnost 485 kg

Možnost provedení »VARIO« pro plynulou regulaci otáček pomocí Vario jednotky Lenze 1,5 kW





Obr. 2.4. Soustruh Opti D 420 x 1500 [12]

**Technická data:**

Výška hrotu 210 mm

Max. točný průměr nad ložem 420 mm

Max. točný průměr nad suportem 250 mm

Max. točný průměr bez můstku 590 mm

Délka můstku 240 mm

Vzdálenost mezi hroty 1500 mm

Otáčky 45 – 1800 ot./min

Otáčky - provedení Vario 10 – 2500 ot./min

Plynulá změna otáček ne

Počet rychlostních stupňů 16

Průchod vřetene 52 mm

Kužel vřetene MK6

Provedení vřetene Camlock ASA D 1 - 6“

Posuv pinoly 120 mm

Možnost provedení »VARIO« pro plynulou regulaci otáček pomocí Vario jednotky Lenze 5,5 kW

Kužel pinoly koníka MK4

Posuv podélný 0,05– 1,7 mm/ot.

Posuv příčný 0,025– 0,85 mm/ot.

Max. posuv nožového suportu 102 mm

Max. posuv příčného suportu 210 mm

Závit metrický 0,2 –14 mm/ot.( 39 )

Závit palcový 2 –72 záv./1“( 45 )

Závit trapézový 8– 44 D.P.( 18 )

Závit modulový 0,3– 3,5 M.P.( 21 )

Příkon motoru chladicího čerpadla 90 W

Příkon 4500 W

Elektrické připojení 400 V

Rozměry (š × v × h) 2525 × 1375 × 915 mm

Hmotnost 1800 kg



Obr. 2.5. Soustruh Opti D 460 x 1500 DPA [12]

#### Technická data:

|                                                                                           |                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Výška hrotu 230 mm                                                                        | Kužel pinoly koníka MK4                   |
| Max. točný průměr nad ložem 465 mm                                                        | Posuv podélný 0,031– 1,7 mm/ot.( 40 )     |
| Max. točný průměr nad suportem 270 mm                                                     | Posuv příčný 0,014– 0,784 mm/ot.( 40 )    |
| Max. točný průměr bez můstku 690 mm                                                       | Max. posuv nožového suportu 128 mm        |
| Délka můstku 240 mm                                                                       | Max. posuv příčného suportu 285 mm        |
| Vzdálenost mezi hroty 1500 mm                                                             | Závit metrický 0,1 –14 mm/ot.( 53 )       |
| Otáčky 25 – 2000 ot./min                                                                  | Závit palcový 2 –112 záv./1“( 40 )        |
| Otáčky - provedení Vario 10 – 2500 ot./min                                                | Závit trapézový 4– 112 D.P.( 50 )         |
| Plynulá změna otáček ne                                                                   | Závit modulový 0,1– 7 M.P.( 34 )          |
| Počet rychlostních stupňů 12                                                              | Příkon motoru chladícího čerpadla 100 W   |
| Průchod vřetene 58 mm                                                                     | Příkon 5500 W                             |
| Kužel vřetene MK6                                                                         | Elektrické připojení 400 V                |
| Provedení vřetene Camlock ASA D 1 - 6“                                                    | Rozměry (š × v × h) 2750 × 1370 × 1245 mm |
| Posuv pinoly 130 mm                                                                       | Hmotnost 1980 kg                          |
| Možnost provedení »VARIO« pro plynulou regulaci otáček pomocí Vario jednotky Lenze 5,5 kW |                                           |

### 2.1.2. Jednoduché hrotové soustruhy

Od soustruhů univerzálních se liší tím, že nemají vodící šroub, takže nemohou řezat závity. Převážně se používají pro hrubovací práce, ale i pro jednoduché práce dokončovací. Mají menší rozsah otáček a posuvů, zato mají celkově větší tuhost než soustruhy univerzální.

### 2.2. Malé stolní/modelářské soustruhy

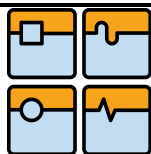
Tuto kategorii jsem zde vytvořil proto, že se na trhu objevuje stále více malých hrot. soustruhů se kterými je možné i řezání závitů. V porovnání s velkými působí jako hračky, nicméně své uplatnění si našly u modelářů a domácích kutilů k výrobě menších a malých součástek.



Obr. 2.6. Micro soustruh C0 [12]

#### Technické data:

|                                      |                                        |
|--------------------------------------|----------------------------------------|
| Max. točný průměr nad ložem 110 mm   | Vnější závit koníku M14x1              |
| Max. točný průměr nad suportem 50 mm | Příkon 150 W                           |
| Vzdálenost mezi hroty 125 mm         | Elektrické připojení 230 V             |
| Otáčky 100 – 3800 ot./min            | Rozměry (š × v × h) 440 × 210 × 310 mm |
| Plynulá změna otáček ano             | Hmotnost 14 kg                         |
| Průchod vřetene 10 mm                |                                        |



### 2.3. Soustruhy na dřevo

Mají celkově lehčí a jednodušší konstrukci, než hrotové soustruhy na kov. Oproti nim mají místo pohyblivého suportu polohovatelnou opěrku soustružnického nože. Nemají vodící tyč ani šroub. Nůž se při obrábění drží v rukách a jeho nakláněním a posouváním po opěrce vzniká tvar obrobku. Mohou být vybaveny kopírovacím zařízením. K upínání obrobku se krom čelistového sklíčidla používají hojně ozubené unašeče o různém počtu zubů. Koník zůstává konstrukčně stejný jen je dimenzován k obrábění dřevěných obrobků.



Obr. 2.7. Soustruh na dřevo DB 450 [12]

**Technická data:**

Vzdálenost mezi hroty 450 mm  
(1000 mm s prodlouženým ložem)  
Výška lože 127 mm  
Otáčky 500 – 3150 ot./min  
Plynulá změna otáček ne  
Počet rychlostních stupňů 4  
Kužel vřetene MK2

Provedení vřetene M33 x 3,5  
Max. průměr soustružení 254 mm  
Příkon 370 W  
Elektrické připojení 230 V  
Rozměry (š × v × h) 820 × 430 × 300 mm  
Hmotnost 38 kg

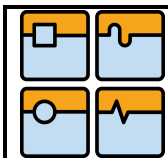
### 2.4. Revolverové soustruhy

Uplatňují se zejména v malosériové a středně-sériové výrobě. Jejich velikost se určuje dle největšího průměru tyče, kterou je možné zasunout do vřetene. Nástroje se upínají do revolverové hlavy ta může být dle smyslu rotace buď vodorovná, šikmá nebo svislá. Ve vodorovné ose může pojmout 12-16 nástrojů nebo ve svislé 6 nástrojů po bocích.

Obrobky se obrábí zpravidla na jedno upnutí nástroji v revolverové hlavě a také nástroji upnutými na suportu.

Lze na nich soustružit podélně i příčně, vrtat v ose obrobku, vystružovat, řezat závity apod. Při řezání závitu je nůž veden výměnnou vodící patronou, která posouvá čelist spojenou s držákem nože (její otáčky jsou odvozeny převodem od vřetene). Nůž je upevněn na výkyvné páce a čelist se uvádí do záběru ručně.

Výhoda revolverových soustruhů v porovnání s hrotovými je možnost obrábění několika nástroji současně. (revolverová hlava + příčné suporty)



Obr. 2.8. Revolverový poloautomatický soustruh SPR 63 NC [13]

**Technická data:**

Průměr sklíčidla 280 mm

Maximální průchod tyče vřetenem 63 mm

Rozsah podélných a příčných posuvů 5-600 mm Rozměry (š × v × h) 3196x3020x1755 mm

Rychloposuv podélný 8000 mm/min

Rychloposuv příčný 6000 mm/min

Rozsah otáček vřetená 3,5-1800/min

Zastavěná plocha včetně řídicího systému a skříně přizpůsobovacích obvodů: délka x šířka 4300x4800 mm

Největší pojezd suportu podélně 740 mm

Největší pojezd suportu příčně 325 mm

Hmotnost 8000 kg

Řídicí systém NS 421 E

Celkový příkon stroje 42,5 kW

**2.5. Čelní soustruhy**

Slouží k soustružení obrobků, které mají velkých průměr a malou délku (např. příruby, kola apod.). Jejich charakteristickým znakem je, že obrobek je upnut na lícni desku, lože a suport tvoří samostatnou jednotku a tyto soustruhy nemají koníka. Používá se hlavně v kusové výrobě.



Obr. 2.9. Čelní soustruh Geminis GHT8 1600 [14]



#### Technická data:

Oběžný průměr nad ložem 1600 mm  
 Oběžný průměr nad suportem 900 mm  
 Průchod vřetene 104 mm  
 Průměr vřetene na předním ložisku 220 mm  
 Rozsah otáček 0-650 ot./min.  
 Výkon motoru 51 kW

Moment krutu 4500 Nm  
 Max. podélný posuv supportu 1000 mm  
 Max. příčný posuv supportu 900 mm  
 Šířka lože 1000 mm  
 Max. váha obrobku 3150 kg

## 2.6. Svislé soustruhy (Karusely)

Mají vodorovnou upínací plochu, které se říká otočný stůl. Na něj se upíná obrobek, který pak koná hlavní řezný pohyb. Otáčky tohoto stolu jsou poměrně malé. Karusely se užívají k obrábění rozměrných a těžkých obrobků velkého průměru a malých délek.

Hlavní části soustruhu jsou: Otočný stůl, sloupky a příčné vedení se suporty. Jsou schopny obrábět a řezat: Vnější i vnitřní válcové plochy, kuželové plochy (natočením supportu), závity, tvarové plochy pomocí kopírovacího zařízení (pokud je jím vybaven). Jako zvláštní příslušenství mohou mít naklápěcí brousící vřeteník pro broušení vnějších a vnitřních povrchů.

Svislé soustruhy se vyrábí ve dvou variantách: Jednosloupové (do průměru stolu cca 1500mm) a Dvousloupové (do průměru stolu až 18000mm).

Velikosti těchto soustruhů se uvádí v největším oběžném průměru a maximální hmotnosti obrobku.



Obr. 2.10. Svislý soustruh TOSHULIN řada SKE-12 [15]

#### Technická data:

Průměr stolu 1250 mm  
 Max. průměr obvodového soustružení 1 260 mm  
 Max. průměr obrobku 1 260 mm  
 Max. výška obrobku – standardní typ 1 400 mm  
 Max. váha obrobku 8 000 kg  
 Počet míst v zásobníku nástrojů disku 9(12)  
 Sloup (osa Z)  
 - průřez 200x240 mm  
 - prac. zdvih 1 060 mm  
 Pracovní posuv 1 – 4000 mm/min  
 Rychloposuv 12 000 mm/min  
 Max. řezné síly na hlavě 50 000N  
 Rozměry (š × v × h) 6365x5550x4460 mm  
 Otáčky jsou plynule regulovatelné

#### Stůl:

Doporučený výkon hl. motoru 40 kW  
 Max. moment krutu hl. motoru 800 Nm  
 Stupně rychlosti 2  
 Rozsah otáček 2-400 ot./min  
 Rychlost stolu – osa C 0,01-7,4 ot./min  
 Max. moment krutu na stole 32 200 Nm

#### Rotační pohon nástroje:

Výkon motoru vřetena 20 (28) kW  
 Stupně rychlosti 2  
 Rozsah otáček 4 – 3000 ot./min  
 Max. moment krutu 840 Nm  
 Max. posuv příčníku – standardní typ 800 mm

## 2.7. Poloautomatické soustruhy

Uplatňují se v středně-sériové až velkosériové výrobě. Mají automatický pracovní cyklus, ale materiál k obrobení je nutné upnout ručně. Dělí se na:

- **Hrotové poloautomatické soustruhy:** Které jsou vhodné k obrábění součástí mezi hroty, tak k obrábění krátkých součástí upnutých do sklíčidla. Mají 2-3 suporty, jenž se mohou pohybovat současně.
- **Sklíčidlové poloautomatické soustruhy:** K obrábění přírubových součástí upínaných letmo ve sklíčidle. Jsou často vybavovány programovým řízením.
- **Několikavřetenové poloautomatické soustruhy:** Vhodné pro sériovou a hromadnou výrobu. Existují 4-8 vřetenové.

## 2.8. Automatické soustruhy

Používají se ve velkosériové a hromadné výrobě. Charakteristický znak těchto soustruhů je samočinné opakování pracovního cyklu po obrobení jedné součásti. Jako polotovár slouží zpravidla tyčový materiál, který je podáván i upínán automaticky. Soustruhy se dělí podle použitého systému automatizace na:

- **Křivkové soustruhy:** Pracovní cyklus nástroje je řízen křivkovými bubny a vačkami.
- **Bezkrivkové soustruhy:** Pracovní cyklus je zde řízen pomocí nárazek. A podle počtu pracovních vřeten na:
  - **Jednovřetenové:** Ty se dále dělí na zapichovací a revolverové
  - **Několikavřetenové**

## 2.9. NC soustruhy (Numerical control)

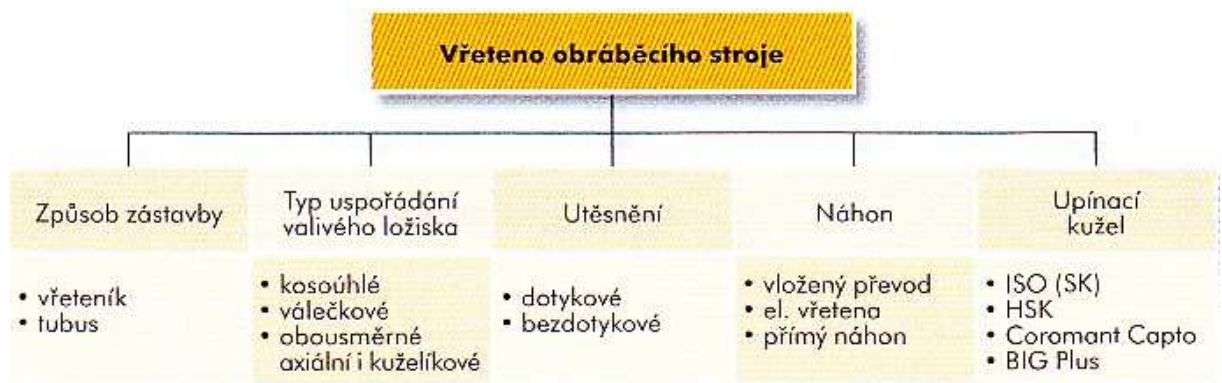
Jsou to soustruhy dovybavené o digitální odečítání pohybu souřadnic nástroje. Dělník nemusí vše odečítat a nastavovat ručně.

## 2.10. CNC soustruhy (Computer numerical controlled)

Používají se ve velkosériové a hromadné výrobě. Jedná se o soustruh, který je plně řízený počítačem. Jeho program lze upravovat i během obrábění.

### 3. Vřeteno a jeho komponenty

Vřeteno obráběcího stroje je tvořeno z více komponentů. Vřeteno samo o sobě je velmi důležitá součást obráběcích strojů, pracovní přesnost je vedle výrobnosti hlavním ukazatelem kvality obráběcího stroje a proto jsou na konstrukci vřetena a jeho uložení kladeny vysoké nároky.

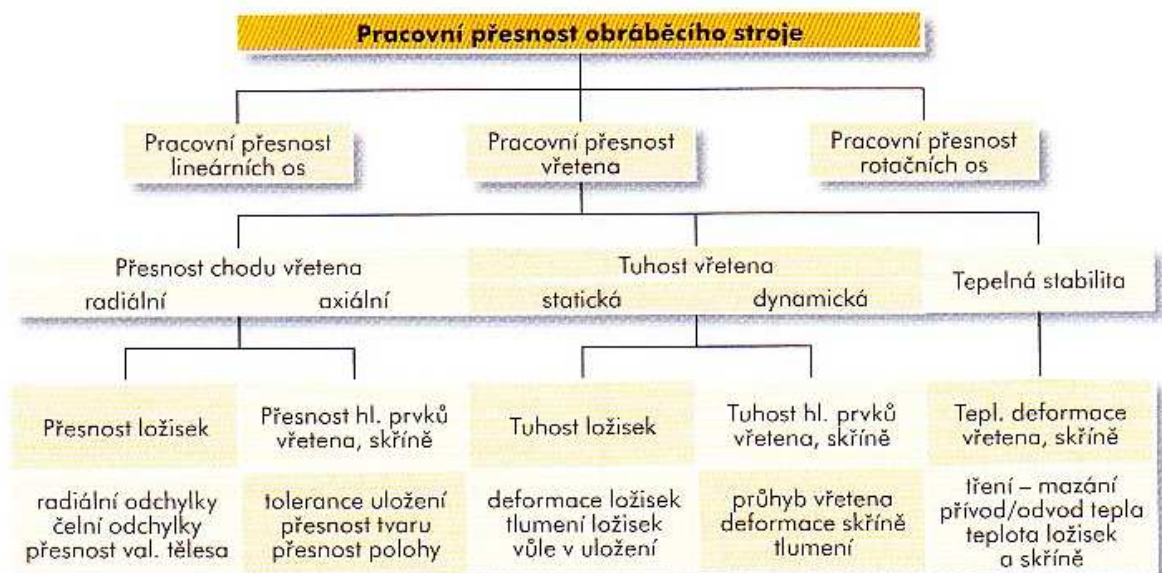


Obr. 3.1. Morfologie vřetena [1]

Pracovní přesnost je ovlivněna zejména:

- **Pracovní přesností vřetena (přesnost chodu radiální i axiální)**
- **Tuhostí statickou a dynamickou**
- **Teplotními vlastnostmi během provozu**

Souvislosti těchto vlivů v závislosti na komponentech ukazuje dobře obr. 3.2.



Obr. 3.2. Vlivy na pracovní přesnost obráběcího stroje [1]

#### 3.1. Způsob zástavby

Je více konstrukčních řešení a variant zástavby vřetena do nosné struktury obráběcího stroje. Do této nosné struktury se vřeteno umísťuje ve vřeteníku, který má v zásadě jen dva základní způsoby provedení. První je vřeteník skříňového tvaru obr. 3.3. a druhý tubusového obr. 3.4.



Obr. 3.3. Skříňový vřeteník [7]



Obr. 3.4. Tubusový vřeteník [7]

### 3.2. Vřetenová ložiska

Ložiska hrají v uložení vřetene velmi důležitou roli a to zejména v jeho přesnosti chodu. Tato ložiska zachycují síly, které vznikají při obrábění. U vřeten se ve velké míře používají ložiska valivá. Nicméně krom ložisek sehraje důležitou roli také zvolené mazivo a těsnění, které brání jak úniku maziva z ložiska, tak vniku nečistot do ložiska. Při volbě ložiska dochází ke kompromisu mezi jeho tuhostí a prostorem pro jeho zástavbu.

Při volbě ložiska dodržujeme postup podle obr. 3.5.



Obr. 3.5. Etapy návrhu uložení vřetene [1]



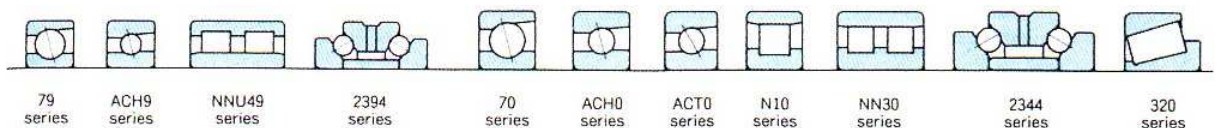
### 3.3. Valivá ložiska

Tato ložiska jsou nejpoužívanější. Je to proto, že mají velkou tuhost, malý součinitel tření, umožňují vymezení vůle, nevyžadují zaběhnutí a jsou snadno vyměnitelná. Jsou však citlivá na rázy a netlumí vibrace.

Nejmenší únosnost mají ložiska s kosoúhlým stykem (vysoké otáčky, přenos axiálních sil), pak válečková (vysoká únosnost v radiálním směru, vysoká tuhost, používají se pro uložení zadního konce vřetene) a největší mají ložiska kuželíková (přenos vyšších axiálních sil a vyšší tuhost).

Dalším faktorem pro volbu ložiska je:

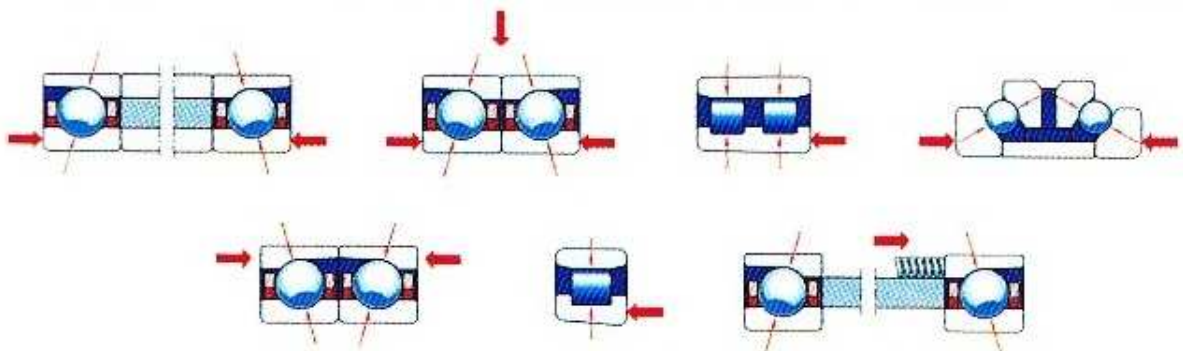
- **Přesnost uložení**
- **Výrobní přesnost**
- **Otáčkový faktor:** je dán jako  $n \cdot d_n$  kde  $n$  jsou otáčky a  $d_n$  střední průměr ložiska. Vliv na přesnost chodu má například způsob mazání, materiál klece atd.



Obr. 3.6. Druhy valivých ložisek (Koyo) [1]

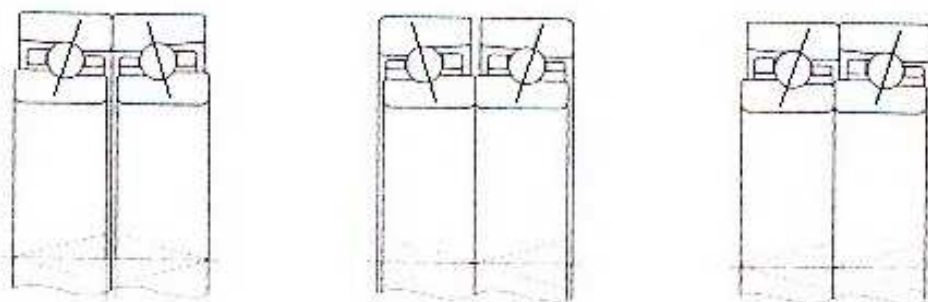
Na ložiska s kosoúhlým stykem je potřeba působit předpětím (axiální silou), kterým se eliminuje jak axiální, tak radiální vůle. Pokud bude předpětí příliš velké, dojde k zvětšení tření a tím k větší teplotě, což sníží životnost ložiska. Pokud by však bylo předpětí příliš malé a v ložisku byly za provozu vůle, tak nebude plně využita únosnost ložiska.

Předpětí můžeme vytvořit například pomocí pružiny, která působí na vnější kroužek (nerotující). Výhodou je, že pružina vyvozuje konstantní sílu na kroužek. Další možností jsou distanční kroužky. Nevýhodou je, že se za provozu může předpětí měnit díky teplotní roztažnosti materiálů.



Obr. 3.7. Způsoby předepínání ložisek (SKF) [1]

Ložiska s kosoúhlým stykem se montují do takzvaných uspořádání, která vyvozují předpětí už jenom svým provedením. Uspořádání mohou být: do „O“, do „X“ nebo do tandemu „T“.



Obr. 3.8. Uspořádání z leva do O, X a T

Při výběru uspořádání vyskytujících se v obráběcích strojích je tedy nutné zvažovat:

- **Provozní otáčky (otáčkový faktor)**
- **Požadovanou přesnost chodu**
- **Zatížení vřetena od řezných sil**
- **Způsob mazání**
- **Požadovanou tuhost**

Tabulka 3.1. reprezentuje malé množství z možných kombinací uspořádání, ta zde jsou rozdělena do čtyř základních skupin:

- **I. Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem**
- **II. Uložení v ložiskách s kosoúhlým stykem**
- **III. Uložení v ložiskách kuželíkových**
- **IV. Uložení vřeten s průvlekovým motorem (elektrovřeten)**

| Typ  | Uspořádání ložisek | Charakteristika [%] |                 |        |          |                   | Užití                                                                                                                         |
|------|--------------------|---------------------|-----------------|--------|----------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      |                    | Axiální tuhost      | Radialní tuhost | Otáčky | Přesnost | Radialní zatížení |                                                                                                                               |
| I.   |                    | 100                 | 100             | 100    | 100      | 100               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• soustruhy</li> <li>• frézky</li> <li>• vrtačky</li> <li>• obráběcí centra</li> </ul> |
|      |                    | 66                  | 100             | 118    | 100      | 100               |                                                                                                                               |
| II.  |                    | 57                  | 85              | 155    | 160      | 100               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• soustruhy</li> <li>• frézky</li> <li>• obráběcí centra</li> </ul>                    |
|      |                    | 81                  | 58              | 155    | 160      | 110               |                                                                                                                               |
|      |                    | 81                  | 66              | 180    | 160      | 100               |                                                                                                                               |
|      |                    | 60                  | 61              | 230    | 160      | 85                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vrtačky</li> <li>• obráběcí centra</li> </ul>                                        |
|      |                    | 21                  | 55              | 360    | 160      | 50                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• brusky</li> </ul>                                                                    |
| III. |                    | 120                 | 120             | 100    | 90       | 100               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• velké soustruhy</li> <li>• obráběcí centra</li> </ul>                                |
| IV.  |                    | 50                  | 60              | 300    | 160      | 80                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• obráběcí centra</li> </ul>                                                           |

Tab. 3.1. Uspořádání ložisek (obrázky uložení Koyo) [1]

### 3.4. Hybridní ložiska

Tato ložiska jsou sice dražší, ale umožňují dosažení vyšších otáček. Jejich valivé elementy jsou zhotoveny z keramiky ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). Tyto valivé elementy mají při stejných rozměrech nižší hmotnost než ocelové. Díky tomu jsou odstředivé síly menší, menší tepelná vodivost způsobuje, že se teplo mezi vnitřním a vnějším kroužkem prakticky nepřenáší. Keramika není magnetická a je odolná vůči korozi. Dále neumožňují a nebo jen málo přenos elektrické energie mezi kroužky, což může být v některých případech velká výhoda.

Nicméně i tato ložiska se vyvíjejí. Keramické valivé elementy a vnější kroužky z vysoce legované antikorozi oceli umožňují dosažení ještě vyšších otáček.

### 3.5. Mazání vřetenových ložisek

Hlavním důvodem je zmenšit tření na minimum, což vede k prodloužení životnosti ložiska. Mazivo též (hlavně při vysokých otáčkách) odvádí generované teplo. Generované teplo je závislé na:

- **Typu ložiska**
- **Otáčkách**
- **Zatížení**

Mezi mazanými komponenty pak vzniká tenká vrstva maziva, takzvaný mazivový film. Jeho tloušťka závisí na:

- **Otáčkách**
- **Provozní teplotě**
- **Viskozitě maziva**

Krom tloušťky maziva je třeba pamatovat i na jeho trvanlivost. Dle tlouštěk mazivového filmu rozlišujeme 3 druhy mazání:

- **Mezné mazání:** Malá tloušťka maziva mezi stykovými plochami. Může být způsobeno malou vrstvou maziva, nízkou viskozitou či malým relativním pohybem stykových ploch. Nastává zde velké tření což vede k opotřebení.
- **Hydrodynamické mazání:** Vyhovující stav, kdy je tloušťka mazivového filmu dostatečná.
- **Elastohydrodynamické mazání:** Je to jev, který nastává při vysokém zatížení přenášeného na malou plochu. Způsobuje dočasné zvýšení viskozity maziva, které je zachyceno mezi lehce deformované protilehlé povrchy.



Obr. 3.9. Způsoby mazání vřetenových ložisek [1]

### 3.5.1. Mazání tukem (plastickým mazivem)

Je nejpoužívanější. Tuk se skládá z 90% z minerálního či ropného oleje a z 10% ze zahušťovadla. Plastické mazivo se používá při nižších provozních otáčkách a neodvádí dobře teplo, nicméně jeho aplikace je co do konstrukčního řešení jednodušší a co do ceny levnější. Ložiska je ale nutné po prvním namazání zabíhat a posléze domazávat.

### 3.5.2. Mazání olejem

Používáme tam, kde provozní otáčky vyžadují i odvod generovaného tepla. Pro mazání přesných vřetenových ložisek je třeba pouze malého množství oleje. Způsoby mazání olejem jsou:



- **Olejovou mlhou:** Olej je dopravován pomocí stlačeného vzduchu, často pomocí tubiček.
- **Pomocí trysky:** Olej je přiváděn tryskou k ložisku.
- **Olej-vzduch:** Velmi malé množství oleje je pomocí vzduchu jako dopravního média přivedeno k ložisku.

Všechny tyto způsoby mazání také zamezují vniknutí vody k ložisku. Výhody a nevýhody nám shrnuje tabulka 3.2

| Metoda mazání                            | Vyobrazení | Výhoda                                                                                                                                                                                                                                                      | Nevýhoda                                                                                                                                      |
|------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| tukem                                    |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– nízká cena</li> <li>– univerzální použití</li> </ul>                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>– menší otáčky</li> <li>– neodvádí teplo</li> <li>– tuk je trvanlivější než olej</li> </ul>            |
| olejovou mlhou<br>(oil-mist lubrication) |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– žádné zhoršení trvanlivosti maziva</li> <li>– do prostoru ložisek se nedostane voda (olejová mlha ji vytlačí)</li> </ul>                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>– znečištění okolí</li> <li>– množství oleje závisí na teplotě a viskozitě</li> </ul>                  |
| olej – tryska<br>(oil jet lubrication)   |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– stabilní teplota ložiska</li> <li>– do prostoru ložisek se nedostane voda</li> </ul>                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>– vysoký třecí moment</li> <li>– vyšší cena</li> <li>– prosak oleje při vertikální aplikaci</li> </ul> |
| olej – vzduch<br>(oil air lubrication)   |            | <ul style="list-style-type: none"> <li>– je environmentální</li> <li>– do prostoru ložisek se nedostane voda</li> <li>– žádné zhoršení trvanlivosti maziva</li> <li>– stabilní teplota ložiska</li> <li>– nízká generace tepla z přebytku maziva</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– vysoká cena</li> <li>– obtížné určení množství oleje</li> </ul>                                      |

Tab. 3.2. Výhody a nevýhody metod mazání (schémata mazání Koyo) [1]

### 3.6. Montáž a demontáž

Zvolený způsob montáže ložisek výrazným způsobem ovlivňuje životnost vřetenového uložení a jeho přesnost. Montáž (opačně demontáž) má tyto kroky postupu:

- **Očištění ložisek a souvisejících částí**
- **Proměření částí (vřeteno, skříň)**
- **Montáž dle typu ložiska**
- **Ověření postupu**

Konkrétní postup montáže (demontáže) ložiska závisí na jeho typu a na jeho uložení. Ložiska bývají uložena jak na vřetenu, tak ve vřeteníku shodně nebo s přesahem (dle výrobce).

Obecně se dá říct, že s přesahem je uložen ten kroužek, který se pak otáčí. Metody montáže jsou:

- **Mechanicky (stahováky):** Malá ložiska s přesahem.
- **Hydraulicky:** Malá ložiska s přesahem.
- **Tlakovým olejem:** Pro středně velká ložiska s přesahem vyžadující značnou montážní sílu.
- **Ohřevem:** Pro větší ložiska. Obvyklá teplota je o 80-90°C vyšší než je teplota vřetene (hřídele). Avšak absolutní teplota ložiska nesmí přesáhnout 125°C, pak by mohlo dojít k metalurgickým změnám materiálu.

### 3.7. Těsnění

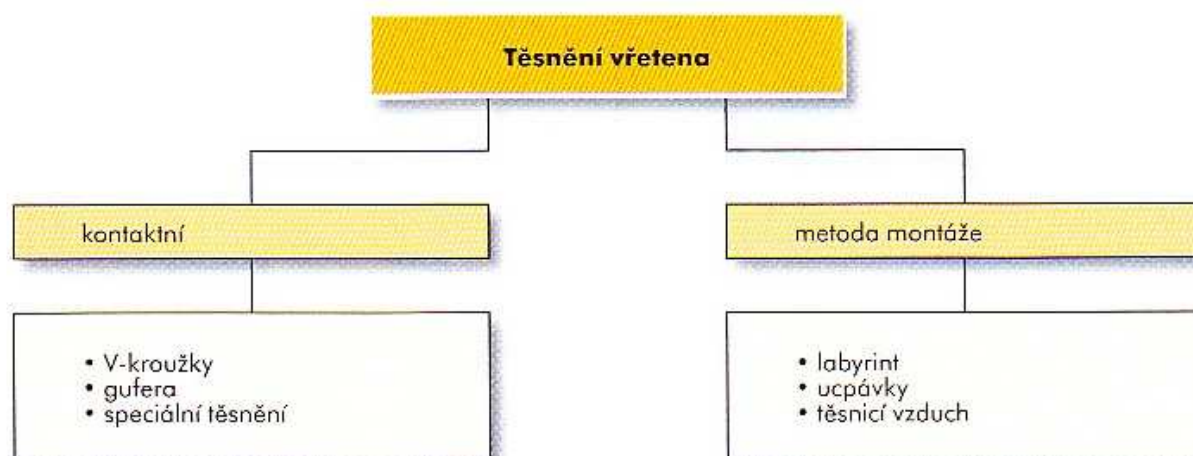
Utěsnění ložisek vřetena je velmi důležité. Nejenom, že těsnění zabraňuje úniku maziva od ložiska, ale zároveň brání vniku nečistot, které pak znehodnotí mazivo uvnitř, případně přímo mechanicky poškodí ložisko. Těsnění můžeme v základu rozdělit na kontaktní a bezkontaktní.

**Kontaktní těsnění** se obvykle dotýká přímo rotující hřídele, proto musí být povrch této hřídele v místě styku s těsněním náležitě upraven hlavně po stránce drsnosti povrchu. Způsob kontaktního řešení ale produkuje třením teplo, což může mít negativní účinky. Uvádí se, že je tento způsob výhodné užívat pokud součinitel  $n \cdot d_m \leq 200000$ .

**Bezkontaktní těsnění** jsou velmi úzké štěrby, které jsou například mezi rotující hřídelí a víkem k ní přiléhajícím. V těchto případech druhu utěsnění se rotující součást vůbec nedotýká ostatních součástí, tudíž nedochází ke tření. Je tedy výhodné při vysokých otáčkách. Ovšem toto provedení je náročnější na výrobu a tím pádem i dražší.

U vřeten používáme:

- **Labyrint:** Bývá výhodné před vlastní labyrint umístit ještě jeden a mezi ně „V“ zápich (odstřikovací drážka). Vůle v labyrintu bývá 0.1-0.2 mm
- **Ucpávky**
- **Těsnicí vzduch:** Funguje na principu přetlakového vzduchu, ten zaručuje zabránění vniku řezné kapaliny.



Obr. 3.10. Druhy těsnění vřetena [1]

### 3.8. Náhon vřetena

Aby mohlo vřeteno fungovat je nutné ho nějakým způsobem propojit s motorem. Obecně jsou tři základní způsoby, které se pak dále rozdělují jak nám ukazuje obrázek 3.11.



Obr. 3.11. Druhy náhonu vřetena [1]

#### 3.8.1. Přímý náhon

Je používán v oblasti vysokorychlostního obrábění. Motor je zde přímo spojen s vřetenem a sdílí s ním i jeho otáčky. Toto provedení se používá tam, kde je třeba dynamicky stabilní náhon.

#### 3.8.2. Náhon s vloženým převodem

Umožňuje využívat převodový poměr. Převod může být:

- **Řemenem:** Plochý řemen se používá u vřeten zejména brousících strojů. Nejsou totiž zdrojem vibrací a nepřenáší vibrace na vřeteno od motoru (bývá uložen v méně přesných ložiscích). Ozubený řemen: Je pro přenos větších výkonů s požadavkem na neprokluznost řemene. Dále se využívají i řemeny klínové. Účinnost tohoto převodu se pohybuje okolo 95%. Propojení řemenem zabere však více místa a ložiska jsou radiálně namáhána.
- **Ozubenými koly:** Účinnost tohoto převodu se sice pohybuje okolo 90%, ale umožňuje přenos velkých kroutících momentů, převodových poměrů a ozubená kola neumožňují možnost prokluzu. Tento převod je hlučnější než řemenový a vytváří vibrace. Nevyžadují však častou údržbu a mají menší nároky na čistotu.
- **Převodovkou**

#### 3.8.3. Elektrovřeteno

Se opět využívá pro vysokorychlostní obrábění. Je to vlastně motor ve vřetenu. Rotor je nalisován na vřeteno a stator je ve vnějším plášti. Ve statorovém vinutí se nachází chlazení, které odvádí velké množství tepla, které zde vytváří motor a přenáší ho na vřeteno. U těchto vřeten se používají často hybridní ložiska (kvůli vysokým otáčkám). Motor je zde umístěn mezi přední a zadní ložiska, což snižuje možnost vzniku vibrací.



## 4. Návrh vřetene

Většina vřeten je v obráběcích strojích uložena ve valivých ložiscích. Aby bylo vřeteno uloženo staticky určitě je uloženo ve dvou radiálních a v jednom či ve dvou axiálních ložiscích. Přední uložení bývá axiálně nehybné, kdežto zadnímu je axiální pohyb dovolen kvůli teplotní roztažnosti.

Konec vřetena vyčnívající ze vřeteníku na který je přizpůsoben pro upnutí obrobku nebo nástroje se nazývá přední konec. Ložisko, které je tomuto konci nejbližší se jmenuje Přední ložisko nebo Hlavní ložisko.

### 4.1. Požadavky

Na konstrukční provedení jsou kladeny tyto požadavky:

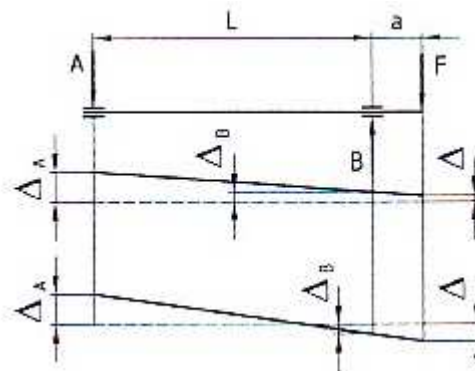
- **Přesnost chodu:** Určuje velikost radiálního a axiálního házení.
- **Dokonalé vedení:** Vřeteno nesmí měnit polohu mění-li se směr a smysl zatížení.
- **Možnost vymezení vůle:** V uložení vřetene je třeba mít možnost vymezovat vůli, která vznikne opotřebením
- **Malé ztráty v uložení:** Jde o účinnost, oteplování, tepelné dilatace, změny polohy a funkce)
- **Tuhost vřetena:** Deformace má spolu s přesností chodu rozhodující vliv na přesnost práce.
- **Dlouhodobá životnost a provozní spolehlivost:** Vede ke spokojenosti uživatele.

### 4.2. Přesnost chodu

Přesnost chodu vřetena se kontroluje na jeho předním konci. Konkrétně na ploše, jenž má přímý vliv na přesnost otáčení obrobku nebo nástroje (plocha pro upnutí sklíčidla, upínací kužel pro soustružnický hrot apod.) Může zde vzniknout radiální házení a to například:

- **Nepřesností otáčení vřetena:** Osa vřetene mění během jedné otáčky svou polohu mezi dvěma krajními body. Za toto může házející ložisko nebo ložiska. (mají odlišné osy rotace vnitřního a vnějšího kroužku)
- **Nesouosostí plochy s osou otáčení:** Nesouosost plochy na vřetenu na níž měříme.
- **Neokrouhlým tvarem příslušné měřené plochy**

Jak tedy omezíme tato házení? Druhou a třetí příčinu omezíme zvýšením přesnosti při výrobě. Za první příčinu mohou ložiska. Vliv jejich radiálního házení na radiální házení předního konce vřetene je závislý na: Poměru délky vyložení ku vzdálenosti ložisek a na velikosti a směru házení obou ložisek.



Obr. 4.1. Vliv házení ložisek na přesnost chodu [1]

Házení předního ložiska označíme jako  $\Delta_B$  a zadního ložisko jako  $\Delta_A$ . Délku vyložení jako  $a$  a vzdálenost ložisek jako  $L$ . Pokud jsou obě házení ložisek stejného směru a smyslu, pak platí že:

$$\frac{\Delta_A - \Delta}{\Delta_B - \Delta} = \frac{L + a}{a} \quad [1] \quad (4.1)$$

Po vyjádření  $\Delta$  dostaneme:

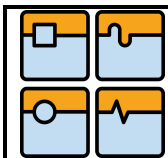
$$\Delta = \frac{\Delta_B \cdot (a + L) - \Delta_A \cdot a}{L} = \Delta_B + \frac{a}{L} \cdot (\Delta_B - \Delta_A) \quad [1] \quad (4.2)$$

Bude-li pak:

$$\frac{\Delta_A}{\Delta_B} = \frac{L + a}{a} \text{ bude } \Delta = 0 \quad [1] \quad (4.3)$$

Tak vřeteno nebude na předním konci házet. V praxi se ale s tímto případem prakticky nesetkáme. Pokud budou mít ložiska házení v jedné rovině opačných smyslů, bude na předním konci házení  $\Delta$  největší.

**Obecně však platí pravidlo:** Aby radiální házení bylo na předním konci co nejmenší, je třeba volit přední ložisko s menším házením než zadní a montovat je tak, aby házela v jedné rovině a smyslu. Axiální házení se měří na čelní ploše vřetene a je způsobeno axiálním házením ložiska nebo nedokonalou kolmostí čelní plochy k ose otáčení. Axiální házení příruby lze částečně odstranit obrobením na vlastním stroji.

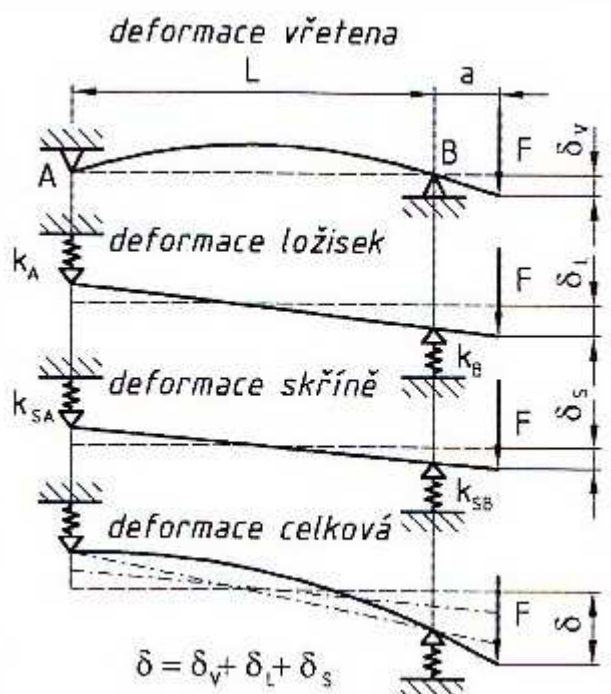


### 4.3. Tuhost vřetene a jeho deformace

Tuhost vřetene má vliv jak na přesnost práce, tak na dynamickou stabilitu obráběcího stroje. Protože deformace na předním konci má přímý vliv na jakost práce, udává se tuhost vřetena právě z tohoto místa. **Celková deformace vřetena  $\delta$**  je pak součtem všech dílčích deformací:

- **Vřetena  $\delta_v$**
- **Ložisek  $\delta_L$**
- **Skříně (tubusu)  $\delta_s$**

$$\delta = \delta_v + \delta_L + \delta_s \quad [1] \quad (4.4)$$



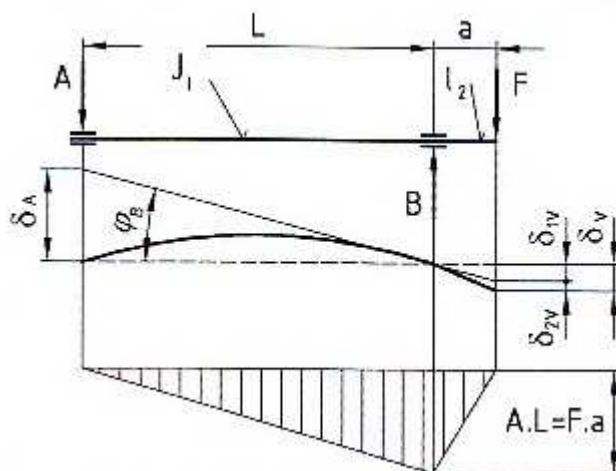
Obr. 4.2. Dílčí a celková deformace vřetene [1]

#### 4.3.1. Velikost deformace vřetene $\delta_v$

Velikost deformace předpokládá dokonale radiálně tuhá ložiska s možností jejich naklápění. Deformaci  $\delta_v$  pak můžeme definovat takto: Vřeteno se rozdělí na část mezi ložisky o délce  $L$  a momentu setrvačnosti  $J_1$  a na část převislého konce o momentu setrvačnosti  $J_2$ . Složka  $\delta_{v1}$  je složka průhybu od deformace vřetena mezi ložisky a složka  $\delta_{v2}$  je průhyb převislého konce.  $\delta_v$  je pak součtem těchto složek ( $\delta_{v1}$  a  $\delta_{v2}$ ). Myšlený průhyb části vřetena mezi ložisky označený jako  $\delta_A$  tu je pro případ, kdyby bylo vřeteno v ložisku B vetknuto a na konci A zatíženo reakcí ložiska A.

Výsledný průhyb  $\delta_v$  v místě působení síly  $F$  pak bude:

$$\delta_v = \frac{F \cdot a^2}{3E} \cdot \left( \frac{L}{J_1} + \frac{a}{J_2} \right) \quad [1] \quad (4.5)$$

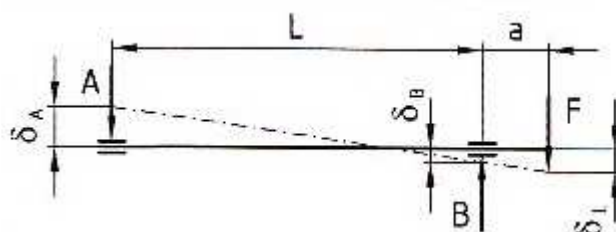


Obr. 4.3. Vliv poddajnosti vřetene [1]

#### 4.3.2. Deformace ložisek $\delta_L$ (tuhost uložení)

Tato deformace přímo ovlivňuje deformaci vřetena. Pokud známe tuhost ložiska  $k_A$  a  $k_B$  nebo jejich poddajnost  $C_A$  a  $C_B$ , tak můžeme vyjádřit (při předpokladu dokonale tuhého vřetena) vliv jejich deformace na deformaci vřetena.

$$\delta_L = \frac{F}{I^2} \cdot [a^2 \cdot C_A + (a+L)^2 \cdot C_B] \quad [1] \quad (4.6)$$



Obr. 4.4. Vliv poddajnosti ložisek [1]

### 4.3.3. Deformace skříně $\delta_s$

Je složitější. Matematické vztahy je třeba odvodit vždy pro konkrétní případ, výpočty jsou složité a užívá se u nich metody konečných prvků.

#### 4.3.4. Celková deformace vřetene $\delta$

Na jeho konci v místě působení síly  $F$  způsobená poddajností vřetena a ložisek bez deformace skříně pak bude:

$$\delta = \delta_v + \delta_l \quad [1] \quad (4.7)$$

Po dosazení z výše odvozených výrazů:

$$\delta = \frac{F \cdot a^2}{3 \cdot E} \cdot \left( \frac{L}{J_1} + \frac{a}{J_2} \right) + \frac{F}{L^2} \cdot [a^2 \cdot C_A + (a+L)^2 \cdot C_B] \quad [1] \quad (4.8)$$

## 5. Výpočet vřetene a stanovení jeho parametrů

### 5.1. Základní parametry

Při návrhu vřetene a některých jeho dílčích rozměrů a parametrů se budu inspirovat ze soustruhu Opti D 420 x 1500 ze strany 16. Maximální točný průměr nad suportem (tedy zároveň i maximální velikost průměru obrobku, kde může působit nůž) je  $D$  250 mm.

Řezná rychlost  $v_c$  se obvykle pohybuje v rozmezí mezi 10-600  $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$  a závisí zejména na druhu obráběného materiálu, na způsobu obrábění a na druhu materiálu nástroje:

- RO - Rychlořezná ocel
- SK - Slinuté karbidy
- MK - Keramické materiály

Jednoduchý přehled řezných rychlostí  $v_c$  a posuvů  $f$  ukazuje tabulka 5.1.

| Materiál obrobku          | Posuv za otáčku $f$ (mm) |     |    |                   |     |     |                   |     |     |
|---------------------------|--------------------------|-----|----|-------------------|-----|-----|-------------------|-----|-----|
|                           | hrubování                |     |    | Na čisto          |     |     | Jemné soustr.     |     |     |
|                           | $f > 0,3$                |     |    | $f = 0,3 - 0,05$  |     |     | $f < 0,05$        |     |     |
|                           | Materiál nástroje        |     |    | Materiál nástroje |     |     | Materiál nástroje |     |     |
|                           | RO                       | SK  | KM | RO                | SK  | KM  | RO                | SK  | KM  |
| Uhlíková ocel do 800 MPa  | 15                       | 60  | -  | 20                | 90  | 150 | 60                | 150 | 300 |
|                           | až                       | až  | -  | až                | až  | až  | až                | až  | až  |
|                           | 40                       | 140 | -  | 60                | 180 | 400 | 100               | 250 | 600 |
| Uhlíková ocel nad 800 MPa | 10                       | 40  | -  | 15                | 70  | 120 | 50                | 120 | 350 |
|                           | až                       | až  | -  | až                | až  | až  | až                | až  | až  |
|                           | 35                       | 100 | -  | 50                | 140 | 300 | 80                | 200 | 500 |
| Legované oceli            | 8                        | 35  | -  | 15                | 45  | -   | 30                | 60  | -   |
|                           | až                       | až  | -  | až                | až  |     | až                | až  |     |
|                           | 35                       | 110 | -  | 50                | 160 | -   | 60                | 150 | -   |
| Šedá litina               | 15                       | 30  | -  | 20                | 60  | 120 | -                 | -   | -   |
|                           | až                       | až  | -  | až                | až  | až  |                   |     |     |
|                           | 30                       | 90  | -  | 50                | 100 | 200 | -                 | -   | -   |
| Slitiny hliníku           | 20                       | 80  | -  | 40                | 120 | 150 | 80                | 150 | 300 |
|                           | až                       | až  | -  | až                | až  | až  | až                | až  | až  |
|                           | 80                       | 200 | -  | 100               | 300 | 600 | 120               | 350 | 800 |

Tab. 5.1. Přehled řezných rychlostí pro soustružení [11]

Předpoklad často obráběného materiálu bude uhlíková ocel do 800 MPa nástrojem hlavně z RO někdy SK. Tudíž maximální řeznou rychlost  $v_c$  budu pomocí tabulky 5.1. uvažovat 100  $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ , ta by měla být dostačující i pro jiné obráběné materiály. Otáčky pak ponechám v rozmezí  $n$  45-1800  $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$  dle vzorového soustruhu. Vzhledem k využití břitů nástroje a jeho trvanlivosti se přihlíží i ke tvaru třísky. Používají se menší posuvy a větší hloubky třísky při zachování poměru  $f:a_p$  1:3 až 1:10. Podélný posuv  $f$  volím 0.3 mm/ot k maximální hloubce řezu  $a_p$  1 mm.

#### Shrnutí:

- **$D = 250 \text{ mm}$** : Maximální točný průměr nad suportem
- **Materiál o  $R_m$  do 800 MPa**
- **$v_c = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$** : Maximální řezná rychlost
- **$n = 45\text{-}1800 \text{ ot/min}$** : Otáčky vřetene
- **$f = 0.3 \text{ mm/ot}$** : Maximální podélný posuv
- **$a_p = 1 \text{ mm}$** : Maximální hloubka řezu

#### 5.1.1. Výpočet řezného odporu $p$

Velikost řezného odporu  $p$  je průměrně 4-5krát vyšší než pevnost v tahu daného materiálu  $R_m$ . V našem případě budu uvažovat ocel 11700 která má dle Strojírenských tabulek  $R_m$  685-835 MPa.

$$R_m = 800 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 p &= (4 - 5) \cdot R_m \\
 p &= 4.5 \cdot 800 \\
 p &= 3600 \text{ Mpa}
 \end{aligned} \tag{5.1}$$

#### 5.1.2. Výpočet řezné síly $F_c$

$S$  je průřez třísky

$$S = a_p \cdot f \tag{5.2}$$

$$\begin{aligned}
 F_c &= S \cdot p \\
 F_c &= a_p \cdot f \cdot p \\
 F_c &= 1 \cdot 0.3 \cdot 3600 \\
 F_c &= 1080 \text{ N}
 \end{aligned} \tag{5.3}$$

Pokud budeme mít materiál o menším  $R_m$  můžeme si dovolit větší hloubku řezu  $a_p$  a větší rychlost posuvu  $f$  a naopak.

#### 5.1.3. Maximální moment krutu $M_k$

$$\begin{aligned}
 M_k &= F_z \cdot \frac{D}{2} \\
 M_k &= 1080 \cdot \frac{0.25}{2} \\
 M_k &= 135 \text{ Nm}
 \end{aligned} \tag{5.4}$$



#### 5.1.4. Výkon elektromotoru $P_e$

Výkon je přenášen pomocí ozubeného převodu, který má účinnost okolo  $\eta = 90\%$

$$P_{n\dot{z}} = \frac{F_c \cdot v_c}{6 \cdot 10^4} \quad (5.5)$$

$$P_{n\dot{z}} = \frac{1080 \cdot 100}{6 \cdot 10^4}$$

$$P_{n\dot{z}} = 1.8 \text{ kW} = 1800 \text{ W (Výkon na noži)}$$

$$P_e = \frac{P_{n\dot{z}}}{\eta} \quad (5.6)$$

$$P_e = \frac{1.8}{0.9}$$

$$P_e = 2 \text{ kW} = 2000 \text{ W}$$

#### 5.1.5. Porovnání průměru obrobku v závislosti na otáčkách

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

$$D_{\min/\max} = \frac{v_c \cdot 1000}{n_{\min/\max} \cdot \pi} \quad (5.7)$$

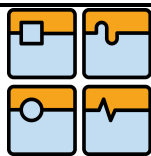
$$D_{\min} = \frac{100 \cdot 1000}{1800 \cdot \pi} = 17.68 \text{ mm}$$

$$D_{\max} = \frac{100 \cdot 1000}{45 \cdot \pi} = 707.35 \text{ mm}$$

Zde je vidět v jakém rozmezí se můžeme pohybovat díky zvolené řezné rychlosti  $v_c$   $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ . Pokud bychom řeznou rychlost změnili, ovlivníme tím výkon, ale dostaneme se k jiným průměrům obrobků.

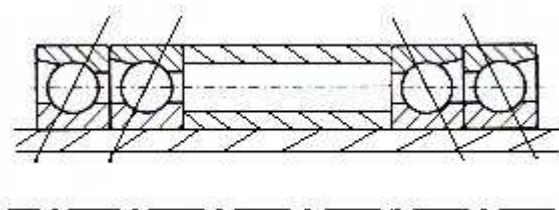
#### 5.2. Sklíčidlo

K vřetenu bude připevněno sklíčidlo firmy TOS Svitavy, označením IUG-250/3-2-M2. Jedná se o tříčelistové sklíčidlo vnějšího průměru 250 mm a vnitřního 76 mm. Maximální moment který je schopno přenést je 180 Nm, maximální otáčky pak  $3500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ . Bližší technické informace jsou k nalezení v příloze.



### 5.3. Základní rozměr vřetene, výběr ložisek a jejich umístění

Předběžný výběr ložisek (který jsem provedl) vyplývá ze zvolených rozměrů vřetena. Tyto rozměry jsou závislé na rozměrech sklíčidla a jeho strany uzpůsobené k připevnění k vřetenu. Základní rozměry průměrů vřetena (na kterém budou ložiska) jsou vnitřní průměr  $d_v = 80 \text{ mm}$  (kvůli možnosti průchodu obrobku sklíčidlem) a vnější  $D_v = 100 \text{ mm}$ . Výběr ložisek jsem provedl pomocí Strojnických tabulek a tabulek na stránkách výrobce SKF. Zvolená ložiska jsou jednořadá kuličková s kosoúhlým stykem a budou umístěna v tandemu tak, aby přední i zadní pár ložisek zachycoval případné axiální síly v obou axiálních směrech a zároveň měli spojnice stykových bodů (průsečík osy vřetene a osy zkosení ložiska) dále od sebe. Provedení ukazuje obrázek 5.1.



Obr. 5.1. Umístění ložisek na vřetenu

Přední ložiska A i zadní ložiska B volím stejná. Dvojice ložisek 7220BECBM od SKF v tandemu má tyto vlastnosti:

- $d_l = 100 \text{ mm}$ : Vnitřní průměr
- $D_l = 180 \text{ mm}$ : Vnější průměr
- $2B = 68 \text{ mm}$ : Celková šířka
- $C_0 = 245000 \text{ N}$ : Statická únosnost
- $C = 221000 \text{ N}$ : Dynamická únosnost
- $n_r = 3200 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ : Referenční otáčky
- $n_m = 4300 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ : Přípustné mezní otáčky
- $k_l = 422 \text{ N} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ : Tuhost
- $\alpha_l = 40^\circ$ : Kontaktní úhel

#### 5.3.1. Kvadratický moment průřezu vřetene mezi ložisky $J_1$

Vnější průměr vřetena  $D_v = 100 \text{ mm}$

Vnitřní průměr vřetena  $d_v = 80 \text{ mm}$

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \cdot (D_v^4 - d_v^4) \quad (5.9)$$

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \cdot (0.10^4 - 0.08^4)$$

$$J_1 = 2.898 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

### 5.3.2. Poddajnost ložisek $C_{AT}$ a $C_{BT}$

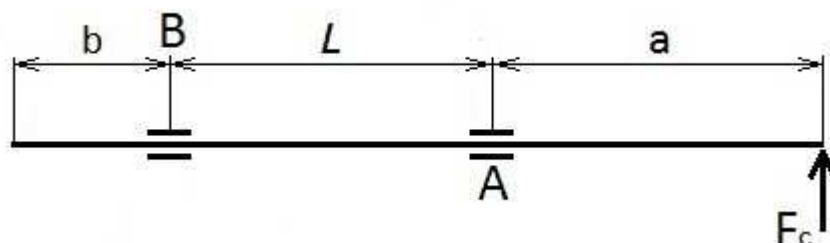
Tuhost ložisek v tandemu  $k_l = 422 \text{ N} \cdot \mu\text{m}^{-1} = 422 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$

$$C_{AT} = C_{BT} = \frac{1}{k_l} \quad (5.10)$$

$$C_{AT} = C_{BT} = \frac{1}{422 \cdot 10^6}$$

$$C_{AT} = C_{BT} = 2.370 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{N}^{-1}$$

### 5.3.3. Výpočet vzdálenosti $L$



Obr. 5.2. Vzdálenosti na vřetenu

K vypočítání vzdálenosti stykových bodů mezi ložisky, kterou označíme jako  $L$ , použijí vztah 4.8 ze strany 34 pro výpočet celkové deformace vřetene, který se zderivuje a bude se rovnat nule.

$$\frac{d\delta}{dL} = \frac{1}{3} \cdot \frac{F \cdot a^2}{J_1 \cdot E} - \frac{2 \cdot F \cdot (a^2 \cdot C_A + (a+L)^2 \cdot C_B)}{L^3} + \frac{2 \cdot F \cdot (a+L) \cdot C_B}{L^2} = 0 \quad (5.8)$$

Tato rovnice byla vyřešena kvůli své složitosti v programu MAPLE 12 s těmito vstupními hodnotami:

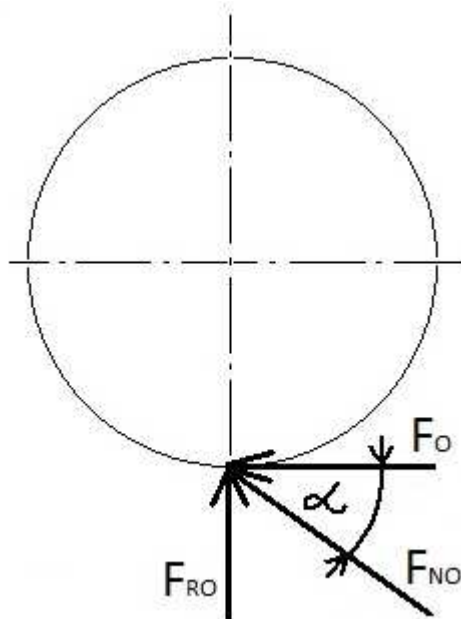
- $a = 339 \text{ mm}$ : Vzdálenost  $a$  je součtem délky vyložení obrobku (kterou volím 200 mm), délkou sklíčidla (82 mm) a délkou dalších dílčích délkových rozměrů mezi sklíčidlem a stykovým bodem předního ložiska A (57 mm).
- $F = F_c = 1080 \text{ N}$ : Zatěžující síla.
- $E = 210 \text{ MPa}$ : Modul pružnosti oceli.
- $J_1 = 2.898 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$ : Kvadratický moment průřezu vřetena mezi ložisky
- $C_{AT} = C_{BT} = 2.370 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{N}^{-1}$ : Poddajnost ložisek A a B

Po dosazení těchto hodnot do rovnice vyjdou tři kořeny, kde pouze jeden je reálný a má hodnotu vzdálenosti mezi stykovými body ložisek při maximálním vyložení obrobku 200 mm.  $L = 0.29141 \text{ m} = 291.4 \text{ mm}$ . Volím  $L = 292 \text{ mm}$ .

## 5.4. Síly na vřetenu

### 5.4.1. Výpočet obvodové síly $F_O$ , radiální síly $F_{RO}$ , normálové síly $F_{NO}$ na ozubeném kole vřetene

Hnané ozubené kolo, které bude na vřeteni budu uvažovat o roztečné kružnici  $D_O = 152 \text{ mm}$  (Ta odpovídá modulu 4 a počtu zubů 38). Hnací kolo bude umístěno pod hnáným kolem. Síly, kterými ozubené kolo působí na vřeteno vychází z maximálního kroutícího momentu  $M_k = 135 \text{ Nm}$ . Úhel záběru budu uvažovat často používaný úhel  $\alpha = 20^\circ$ .



Obr. 5.3. Síly na ozubeném kole vřetene

$$F_O = \frac{M_k}{\frac{D_O}{2}} \quad (5.9)$$

$$F_O = \frac{135000}{\frac{152}{2}}$$

$$F_O = 1776.32 \text{ N}$$

$$F_{RO} = F_O \cdot \tan \alpha \quad (5.10)$$

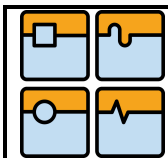
$$F_{RO} = 1776.32 \cdot \tan 20^\circ$$

$$F_{RO} = 646.53 \text{ N}$$

$$F_{NO} = \frac{F_O}{\cos \alpha} \quad (5.11)$$

$$F_{NO} = \frac{1776.32}{\cos 20^\circ}$$

$$F_{NO} = 1890.32 \text{ N}$$

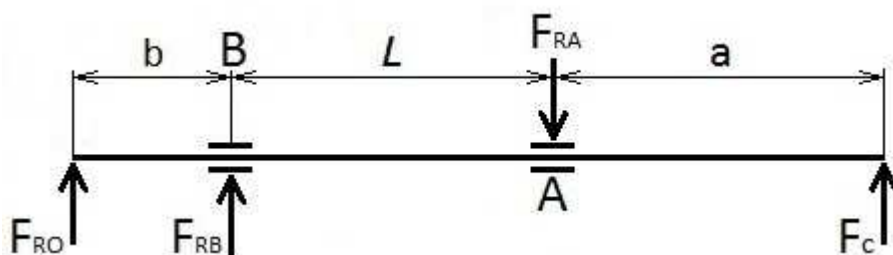


### 5.4.2. Výpočet reakcí v ložiscích od zatěžujících sil

Znamé hodnoty:

- $F_c = 1080 \text{ N}$
- $F_{RO} = 646.53 \text{ N}$
- $F_O = 1776.32 \text{ N}$
- $a = 339 \text{ mm}$
- $L = 292 \text{ mm}$
- $b = 45.50 \text{ mm}$

Reakce od radiální síly ozubeného kola:



Obr. 5.4. Reakce od radiální síly ozubeného kola

Rovnice statické rovnováhy:

$$\sum F_y = 0: F_{RO} + F_{RB} - F_{RA} + F_c = 0 \quad (5.12)$$

$$\sum M_A = 0: F_{RO} \cdot (b + L) + F_{RB} \cdot L - F_c \cdot a = 0 \quad (5.13)$$

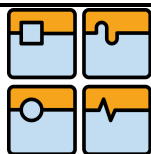
Vyjádření  $F_{RB}$  z rovnice 5.13

$$F_{RB} = \frac{-F_{RO} \cdot (b + L) + F_c \cdot a}{L} \quad (5.14)$$
$$F_{RB} = \frac{-646.53 \cdot (45.50 + 292) + 1080 \cdot 339}{292}$$

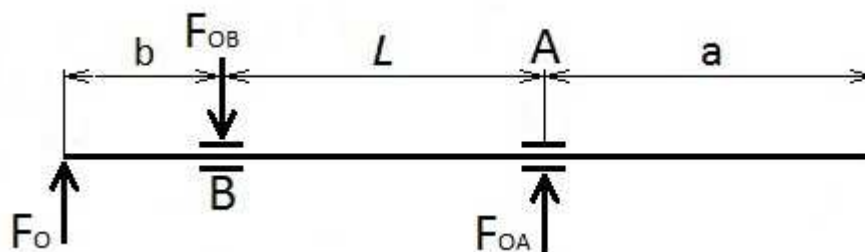
$$F_{RB} = 506.56 \text{ N}$$

Vyjádření  $F_{RA}$  z rovnice 5.12

$$F_{RA} = F_{RO} + F_{RB} + F_c \quad (5.15)$$
$$F_{RA} = 1310.29 + 506.56 + 1080$$
$$F_{RA} = 2896.85 \text{ N}$$



**Reakce od obvodové síly ozubeného kola:**



Obr. 5.5. Reakce od obvodové síly ozubeného kola

Rovnice statické rovnováhy:

$$\sum F_y = 0: F_O - F_{OB} + F_{OA} = 0 \quad (5.16)$$

$$\sum M_B = 0: F_O \cdot b - F_{OA} \cdot L = 0 \quad (5.17)$$

Vyjádření  $F_{OA}$  z rovnice 5.17

$$F_{OA} = \frac{F_O \cdot b}{L} \quad (5.18)$$

$$F_{OA} = \frac{1776.32 \cdot 45.50}{292}$$

$$F_{OA} = 276.79 \text{ N}$$

Vyjádření  $F_{OB}$  z rovnice 5.16

$$F_{OB} = F_O + F_{OA} \quad (5.19)$$

$$F_{OB} = 1776.32 + 276.79$$

$$F_{OB} = 2053.11 \text{ N}$$

**Výpočet výsledných reakčních sil na ložiska A a B**

$$F_A = \sqrt{F_{RA}^2 + F_{OA}^2} \quad F_B = \sqrt{F_{RB}^2 + F_{OB}^2} \quad (5.20)$$

$$F_A = \sqrt{2233.09^2 + 276.79^2}$$

$$F_A = 2250.18 \text{ N}$$

$$F_B = \sqrt{506.56^2 + 2053.11^2}$$

$$F_B = 2114.68 \text{ N}$$

U dalších výpočtů, které se budou týkat ložisek, budu počítat s těmito maximálními reakčními silami v radiálním směru na ložiska:

- $F_A = 2250.18 \text{ N}$ : Maximální síla, která působí na ložisko A v radiálním směru.
- $F_B = 2114.68 \text{ N}$ : Maximální síla, která působí na ložisko B v radiálním směru.



### 5.4.3. Výpočet axiálních sil na ložiscích A a B

Axiální síly na ložiska vytváří síly radiální, díky jejich kosoúhlé konstrukci. A také síla od předpětí jejichž hodnotu uvádí výrobce ložisek SKF. U ložisek našeho typu je předpětí  $F_{pa} = 410$  N. Axiální sílu od procesu obrábění  $F_{ax}$  budu uvažovat jako cca 10% řezné síly  $F_c = 1080$  N.

$$F_{ax} = F_c \cdot 0.1 = 1080 \cdot 0.1 = 108 \text{ N} \quad (5.21)$$

Obeční vzorec celkového axiálního předpětí pro jedno ložisko:

$$F_{pc} = \frac{F_R}{2} \cdot 1.2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{F_{pa}}{4} \quad [1] \quad (5.22)$$

V našem případě budeme počítat axiální sílu rovnou pro tandem, kde jsou ložiska dvě. Známé hodnoty:

- $F_{pa} = 410$  N: Předepínací síla
- $F_{ax} = 108$  N: Axiální síla od obrobku
- $\alpha_l = 40^\circ$ : Kontaktní úhel
- $F_A = 2250.18$  N: Radiální síla
- $F_B = 2114.68$  N: Radiální síla

Celkové axiální předpětí  $F_{pcA}$  na ložisku A:

$$F_{pcA} = F_A \cdot 1.2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{F_{pa}}{2} \quad (5.22)$$

$$F_{pcA} = 2250.18 \cdot 1.2 \cdot \operatorname{tg} 40^\circ + \frac{410}{2}$$

$$F_{pcA} = 2470.75 \text{ N}$$

Celkové axiální předpětí  $F_{pcB}$  na ložisku B:

$$F_{pcB} = F_B \cdot 1.2 \cdot \operatorname{tg} \alpha + \frac{F_{pa}}{2} \quad (5.23)$$

$$F_{pcB} = 2114.68 \cdot 1.2 \cdot \operatorname{tg} 40^\circ + \frac{410}{2}$$

$$F_{pcB} = 2334.31 \text{ N}$$

Vybereme tu která bude větší, tu označíme jako  $F_{pc} = F_{pcA} = 2470.75$  N a stou pak počítáme dál. [1]

Celkové axiální zatížení na A  $F_{CAA}$  a B  $F_{CBB}$ :

$$F_{CAA} = \frac{1}{3} F_{ax} + F_{pc} = \frac{1}{3} 108 + 2470.75 = 2506.75 \text{ N} \quad (5.24)$$

$$F_{CAB} = F_{pc} - \frac{1}{6} F_{ax} = 2470.75 - \frac{1}{6} 108 = 2452.75 \text{ N} \quad (5.25)$$

- $F_{CAA} = 2506.75$  N: Celková axiální síla na A
- $F_{CAB} = 2452.75$  N: Celková axiální síla na B

## 5.5. Výpočet trvanlivosti ložisek A a B

Obecně pro ložiska v tandemu je ekvivalentní dynamické zatížení  $P$ :

$$\begin{aligned}
 \frac{F_a}{F_r} \leq 1.14 \quad P &= F_r \\
 \frac{F_a}{F_r} > 1.14 \quad P &= 0.35 \cdot F_r + 0.57 \cdot F_a
 \end{aligned}
 \tag{5.26}$$

### Výpočet pro ložiska v tandemu A:

Znamé hodnoty:

- **$C = 221000 \text{ N}$** : Dynamická únosnost
- **$F_{CAA} = 2506.75 \text{ N}$** : Celková axiální síla
- **$F_A = 2250.18 \text{ N}$** : Radiální síla
- **$m = 3$** : Mocnitel pro kuličková ložiska
- **$n = 1800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$** : Maximální otáčky vřetene

Ekvivalentní dynamické zatížení  $P_A$ :

$$\frac{F_{CAA}}{F_A} = \frac{2506.75}{2250.18} = 1.11 < 1.14
 \tag{5.27}$$

$$P_A = F_A = 2250.18 \text{ N}
 \tag{5.28}$$

Trvanlivost ložiska A v hodinách  $L_{hA}$ :

$$L_{hA} = \left( \frac{C}{P_A} \right)^m \cdot \frac{16667}{n}
 \tag{5.29}$$

$$L_{hA} = \left( \frac{221000}{2250.18} \right)^3 \cdot \frac{16667}{1800}$$

$$L_{hA} = 8772229.20 \text{ hod}$$

### Výpočet pro ložiska v tandemu B:

Znamé hodnoty:

- $C = 221000 \text{ N}$ : Dynamická únosnost
- $F_{CAB} = 2452.75 \text{ N}$ : Celková axiální síla
- $F_B = 2114.68 \text{ N}$ : Radiální síla
- $m = 3$ : Mocnitel pro kuličková ložiska
- $n = 1800 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ : Maximální otáčky vřetene

Ekvivalentní dynamické zatížení  $P_B$ :

$$\frac{F_{CAB}}{F_B} = \frac{2452.75}{2114.68} = 1.16 > 1.14 \quad (5.30)$$

$$P_B = 0.35 \cdot F_B + 0.57 \cdot F_{CAB} \quad (5.31)$$

$$P_B = 0.35 \cdot 2114.68 + 0.57 \cdot 2452.75$$

$$P_B = 2138.21 \text{ N}$$

Trvanlivost ložiska B v hodinách  $L_{hB}$ :

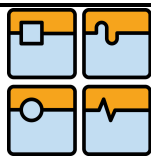
$$L_{hB} = \left( \frac{C}{P_B} \right)^m \cdot \frac{16667}{n} \quad (5.32)$$

$$L_{hB} = \left( \frac{221000}{2138.21} \right)^3 \cdot \frac{16667}{1800}$$

$$L_{hB} = 10223760.86 \text{ hod}$$

Hodinová trvanlivost obou párů ložisek vychází vysoká, proto by bylo možné použít v místě A a B pouze jedno ložisko s kosoúhlým stykem 7220BECBM od SKF.

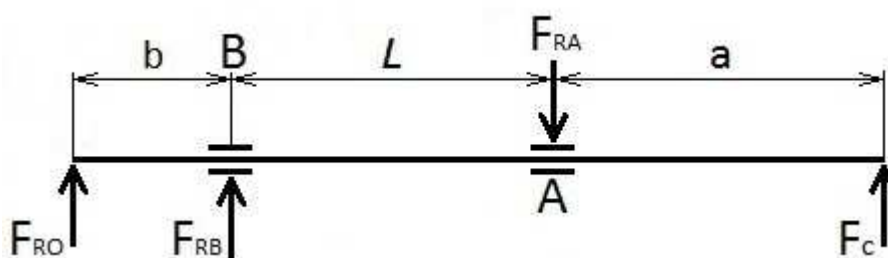
Staticky jsou ložiska zatěžována pouze vahou vřetene se sklíčidlem. Toto zatížení je oproti zatížení v chodu mnohem menší a statická únosnost je vysoká, tudíž ho netřeba počítat.



## 5.6. Kontrolní výpočet vřetene

Po stanovení všech vnějších sil, které působí na vřeteno nyní můžeme stanovit výsledné vnitřní účinky. Materiál vřetena bude ocel 11500, která má dle strojírenských tabulek mez kluzu 245-290 MPa. Moment krutu  $M_k$  je v obou případech (jak v radiálním tak v normálovém směru) po celé délce vřetena stejný a je roven momentu krutu z (5.4) na straně 36.  $M_k = 135 \text{ Nm}$ .

### 5.6.1. Výsledné vnitřní účinky v radiálním směru síly ozubeného kola



Obr. 5.4. Reakce od radiální síly ozubeného kola

Znamé hodnoty:

- $F_c = 1080 \text{ N}$
- $F_{RO} = 646.53 \text{ N}$
- $F_{RA} = 2233.09 \text{ N}$
- $F_{RB} = 506.56 \text{ N}$
- $a = 339 \text{ mm}$
- $L = 292 \text{ mm}$
- $b = 45.50 \text{ mm}$

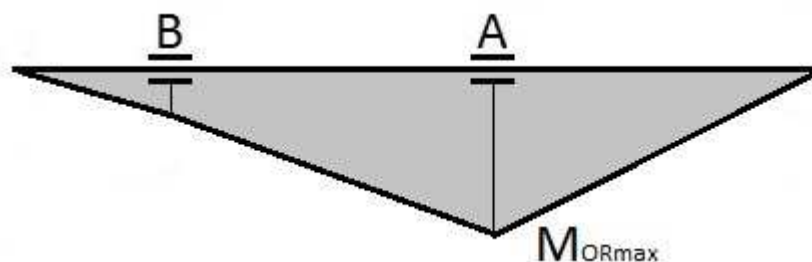
Výpočet výsledných vnitřních účinků:

Úsek b:  $M_{OR} = F_{RO} \cdot x$   $x \in (0; b)$  (5.33)

Úsek L:  $M_{OR} = F_{RO} \cdot (b + x) + F_{RB} \cdot x$   $x \in (0; L)$  (5.34)

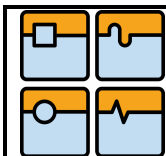
Úsek a:  $M_{OR} = F_{RO} \cdot (b + L + x) + F_{RB} \cdot (L + x) - F_{RA} \cdot x$   $x \in (0; a)$  (5.35)

Po dosazení nám vyjde takovýto obrazec:

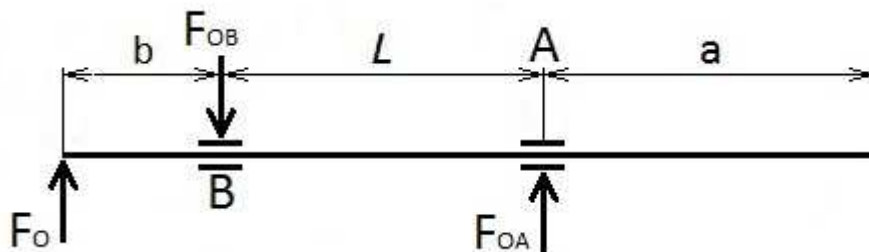


Obr. 5.6. Průběh ohybového momentu v radiálním směru síly ozubeného kola

Maximální ohybový moment v radiálním směru je v místě ložiska A a má hodnotu  $M_{ORmax} = 366119.40 \text{ Nmm}$



### 5.6.2. Výsledné vnitřní účinky v obvodovém směru síly ozubeného kola



Obr. 5.5. Reakce od obvodové síly ozubeného kola

Znamé hodnoty:

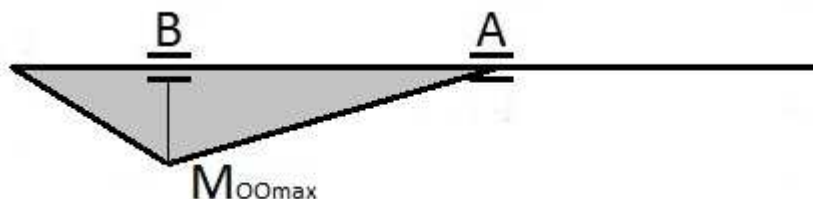
- $F_O = 1776.32 \text{ N}$
- $F_{OA} = 276.79 \text{ N}$
- $F_{OB} = 2053.11 \text{ N}$
- $a = 339 \text{ mm}$
- $L = 292 \text{ mm}$
- $b = 45.50 \text{ mm}$

Výpočet výsledných vnitřních účinků:

Úsek b:  $M_{OO} = F_O \cdot x$   $x \in (0; b)$  (5.36)

Úsek L:  $M_{OO} = F_O \cdot (b + x) - F_{OB} \cdot x$   $x \in (0; L)$  (5.37)

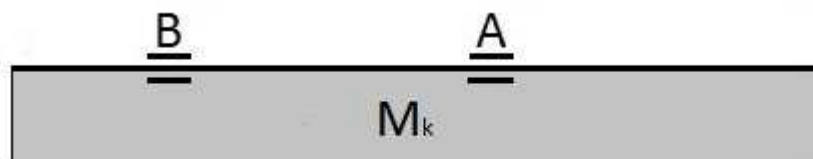
Po dosazení nám vyjde takovýto obrazec:



Obr. 5.7. Průběh ohybového momentu v obvodovém směru síly ozubeného kola

Maximální ohybový moment v obvodovém směru je v místě ložiska B a má hodnotu  $M_{OOmax} = 80822.56 \text{ Nmm}$

Moment krutu je pro oba případy stejný  $M_k = 135 \text{ Nm}$



Obr. 5.8. Průběh kroutícího momentu v radiálním i normálovém směru síly ozubeného kola

### 5.6.3. Výpočet bezpečnosti vřetene vzhledem k meznímu stavu pružnosti $k$

Znamé hodnoty:

- $M_{Omax} = M_{ORmax} = 366119.40 \text{ Nmm}$ : Maximální ohybový moment
- $M_k = 135000 \text{ Nmm}$ : Moment krutu
- $D_v = 100\text{mm}$ : Vnější průměr vřetena
- $d_v = 80 \text{ mm}$ : Vnitřní průměr vřetena
- $Re = 245 \text{ MPa}$ : Mez kluzu oceli vřetene z materiálu 11500

Napětí v ohybu:

$$\sigma_o = \frac{M_{Omax}}{W_o} = \frac{M_{Omax}}{\frac{\pi}{32 \cdot D_v} \cdot (D_v^4 - d_v^4)}$$

$$\sigma_o = \frac{366119.40}{\frac{\pi}{32 \cdot 100} \cdot (100^4 - 80^4)}$$

$$\sigma_o = 6.32 \text{ MPa}$$
(5.38)

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi}{16 \cdot D_v} \cdot (D_v^4 - d_v^4)}$$

$$\tau_k = \frac{135000}{\frac{\pi}{16 \cdot 100} \cdot (100^4 - 80^4)}$$

$$\tau_k = 1.16 \text{ MPa}$$
(5.39)

Redukované napětí podle HMM:

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_k^2}$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{6.32^2 + 3 \cdot 1.16^2}$$

$$\sigma_{RED} = 6.63 \text{ MPa}$$
(5.40)

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti:

$$k = \frac{Re}{\sigma_{RED}} = \frac{245}{6.63} = 36.95$$
(5.41)

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti je velmi vysoká, vřeteno vyhovuje.

## 5.7. Výpočet rozměrů pera pod ozubené kolo

Pod ozubeným kolem o šířce 25 mm je z důvodu přenosu kroutícího momentu  $M_k = 135 \text{ Nm}$  na vřeteno umístěno pero o zvolené délce 16 mm.

Známe hodnoty:

- $M_k = 135000 \text{ Nmm}$ : Moment krutu
- $D_v = 100 \text{ mm}$ : Vnější průměr vřetena
- $d_v = 80 \text{ mm}$ : Vnitřní průměr vřetena
- $p_D = 120 \text{ MPa}$ : Dovolený tlak pro neposuvný náboj
- $l = 16 \text{ mm}$ : Zvolená délka pera
- $Re = 245 \text{ MPa}$ : Mez kluzu oceli vřetene z materiálu 11500

Výpočet síly působící na pero  $F_{Per}$ :

$$F_{Per} = \frac{M_k}{\frac{D_v}{2}} = \frac{135000}{\frac{100}{2}} = 2700 \text{ N} \quad (5.42)$$

Výpočet výšky pera  $h$ :

$$p_D \geq \frac{F_{Per}}{S}$$

$$p_D \geq \frac{F_{Per}}{\frac{h}{2} \cdot l} \quad (5.43)$$

$$h = \frac{2 \cdot F_{Per}}{p_D \cdot l} = \frac{2 \cdot 2700}{120 \cdot 16}$$

$$h = 2.81 \text{ mm}$$

Pomocí Strojnických tabulek volím pero o rozměrech 4 x 4 délky 16 mm pro případ možného využití kroutícího momentu  $M_k = 180 \text{ Nm}$

### 5.7.1. Kontrola vřetene v místě s perem

V místě umístění pera je nutné odebrat materiál pro výrobu jeho drážky což vede k menšímu vnějšímu průměru vřetene a tím pádem k jeho oslabení, proto je třeba spočítat, jestli je zde bezpečnost vyhovující. Drážka ve vřeteni pro pero má hloubku  $t = 2.4 \text{ mm}$ .

Vnější průměr vřetene v místě drážky:

$$D_{Per} = D_v - t = 100 - 2.4 = 97.60 \text{ mm} \quad (5.44)$$



Maximální moment ohybu v místě kde je drážka bude od síly  $F_{NO} = 3831.03 \text{ N}$ .  
Působíště této síly předpokládáme v polovině šířky ozubeného kola.

Polovina délky drážky pera se nachází v prostřed kola, tudíž rameno na kterém síla působí je rovno polovině délky pera  $l/2 = 8 \text{ mm}$ :

$$M_{OPer} = F_{NO} \cdot \frac{l}{2} = 3831.03 \cdot 8 = 30648.24 \text{ Nmm} \quad (5.45)$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_O = \frac{M_{OPer}}{W_O} = \frac{M_{OPer}}{\frac{\pi}{32 \cdot D_{Per}} \cdot (D_{Per}^4 - d_v^4)} \quad (5.46)$$

$$\sigma_O = \frac{30648.24}{\frac{\pi}{32 \cdot 97.60} \cdot (97.60^4 - 80^4)}$$

$$\sigma_O = 0.61 \text{ MPa}$$

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi}{16 \cdot D_{Per}} \cdot (D_{Per}^4 - d_v^4)} \quad (5.47)$$

$$\tau_k = \frac{135000}{\frac{\pi}{16 \cdot 97.60} \cdot (97.60^4 - 80^4)}$$

$$\tau_k = 1.35 \text{ MPa}$$

Redukované napětí podle HMM:

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_O^2 + 3 \cdot \tau_k^2} \quad (5.48)$$

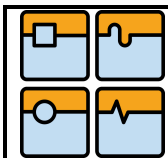
$$\sigma_{RED} = \sqrt{0.61^2 + 3 \cdot 1.35^2}$$

$$\sigma_{RED} = 2.42 \text{ MPa}$$

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti:

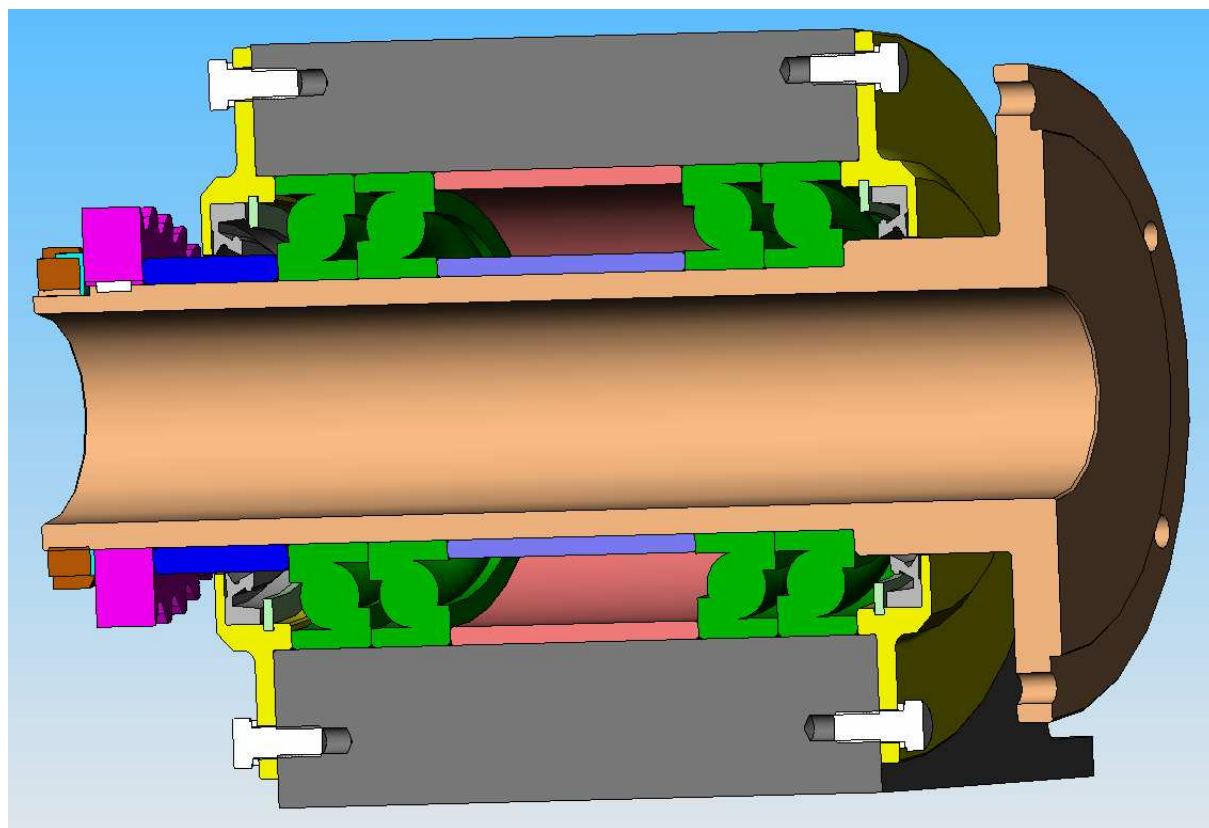
$$k = \frac{Re}{\sigma_{RED}} = \frac{245}{2.42} = 101.23 \quad (5.49)$$

Bezpečnost k meznímu stavu pružnosti je velmi vysoká, vřetenno vyhovuje.

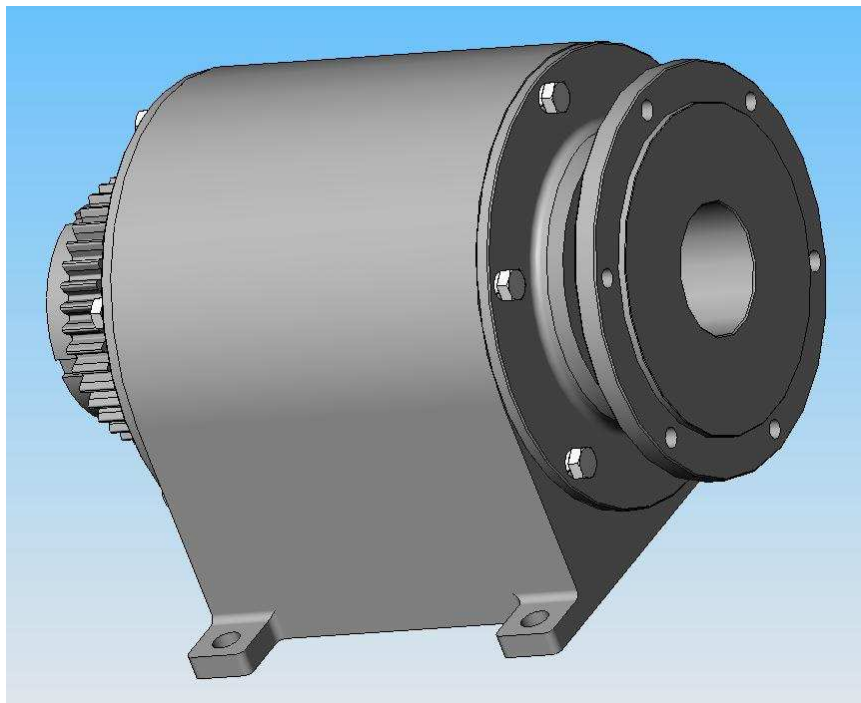
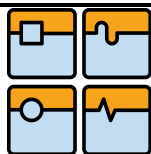


## 6. Konstrukční provedení vřetene a vřeteníku

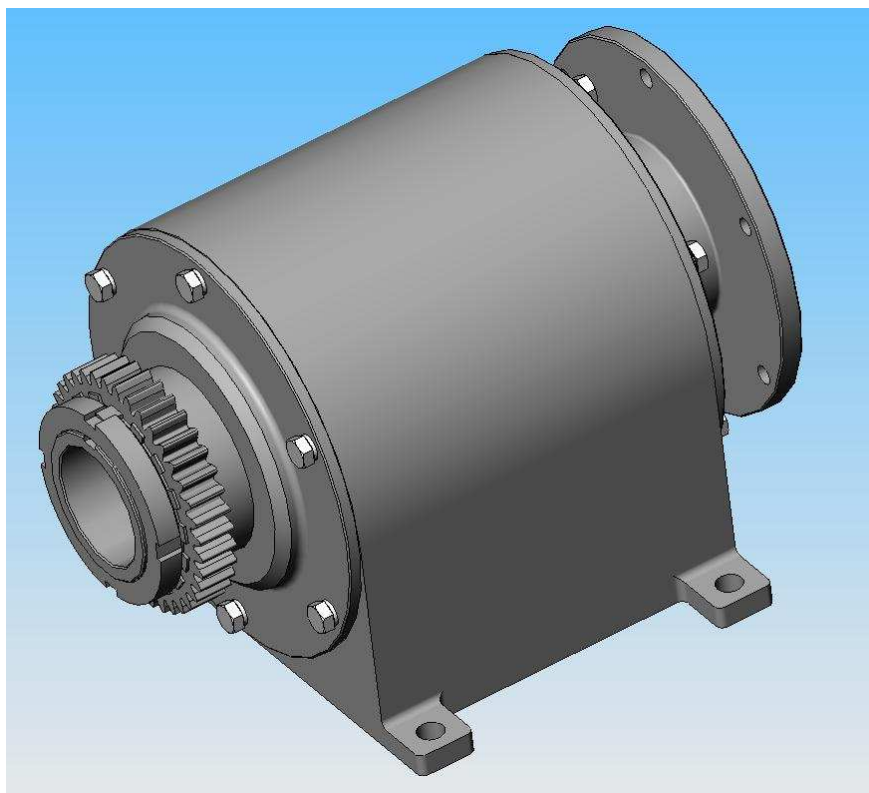
Tvar a rozměr čela vřetene je přizpůsoben sklíčidlu IUG-250/3-2-M2 od TOS Svitavy. Od průměru světlosti sklíčidla jsou odvozeny vnitřní i vnější průměry vřetene. Vřeteno je uloženo ve čtyřech ložiscích s kosoúhlým stykem 7220BECBM od SKF uspořádaných do tandemu. Pohon vřetene je převáděn přes ozubené kolo, které je zajištěno KM maticí s MB podložkou. Předpětí ložisek zaručují spodní distanční kroužky. Horní distanční kroužek pak přenáší axiální síly od vřetene přes ložiska a víčka do vřeteníku. Víčka jsou k vřeteníku připevněna pomocí šroubů M12x30 s pérovými podložkami. Otvary pro vřeteno ve víčkách jsou zajištěny proti úniku maziva a vniknutí nečistot těsníci kroužky (gufery), kterým v posunu směrem k ložiskům brání pojistné kroužky. Vřeteník je odlitek, do kterého je na jedno upnutí vyvrtána díra pro ložiska, víčka a horní distanční kroužek. To zaručí větší přesnost uložení.



Obr. 6.1. Navržené vřeteno a jeho uložení



Obr. 6.2. Vřeteno s vřeteníkem zepředu



Obr. 6.3. Vřeteno s vřeteníkem zezadu

## 7. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout jednoduchou konstrukci vřetene na základě vlastních zvolených hodnot vyplívajících z poznatků nabitých řešerší.

Konstrukci vřetena a jeho zabudování do vřeteníku jsem se snažil řešit jednoduše, aby výroba byla co nejjednodušší a cena tím pádem co nejnižší. Vřeteno je navrženo tak aby bylo schopno obrábět materiál:

- O maximálním průměru 250 mm
- Maximálním vyložení bez opory 200 mm
- S mezí pevnosti 800 MPa
- Podélným posuvem 0.3 mm/ot
- Hloubkou řezu 1 mm

Tyto podmínky vytváří moment krutu  $M_k = 135 \text{ Nm}$  a vřeteno je s tímto momentem počítáno. Sklíčidlo ovšem může unést až  $M_k = 180 \text{ Nm}$  to by umožnilo řeznou sílu o velikosti  $F_c = 1440 \text{ N}$  (původní  $F_c = 1080 \text{ N}$ ), což by ale vřeteno a jeho uložení mělo v pořádku zvládnout, jak jsem přepočítáním ověřil. Jediný komponent, který byl tímto navýšením  $M_k$  ohrožen, bylo pero 3x3 délky 16 mm a proto jsem ho zvětšil na 4x4 délky 16 mm, což velikosti  $M_k = 180 \text{ Nm}$  vyhovuje.

Rozměry samotného vřetene vyplývaly hlavně z rozměrů sklíčidla, které bylo zvoleno na základě výpočtů a parametrů odvozených v kapitole 5.1. Základní parametry. Při dalších výpočtech se ukázalo, že nejvíce omezující byl právě maximální moment krutu  $M_k$ , který je sklíčidlo schopné přenést. Tento omezující prvek měl vliv na řeznou sílu  $F_c$ , která má vliv jak na hloubku řezu, posuv a druh obráběného materiálu, tak i na reakce v uložení vřetene a tím na ložiska.

Ložiska od výrobce SKF byla volena taková aby byla schopna přenášet axiální síly a odpovídala vnějšímu průměru vřetena. Díky relativně malým silám na ně působícím by měla fungovat zcela bezporuchově. Jejich mazání bude provedeno při montáži plastickým mazivem a případné domazání je lehce proveditelné díky odnímatelnosti víček, která k nim přiléhají.

I vřeteno, díky materiálu ze kterého je vyrobeno a rozměrům má velkou bezpečnost, což je v blízkosti osob žádoucí a zároveň výhodné z důvodu prevence zásadnějšího poškození celého vřeteníku nebo i soustruhu.

Těsnění jsem v rámci jednoduchosti konstrukce volil kontaktní prostřednictvím hřídelových těsnících kroužků takzvaných gufer.

Pohon vřetena je proveden přes vložený převod ozubenými koly.

## 8. Seznam použité literatury

- [1] MAREK, Jiří. *MM Průmyslové spektrum: Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Speciální vydání. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2006. ISSN 1212-2572.
- [2] ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL. *Strojnické tabulky: pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha: Scientia, 2004, 753 s. ISBN 80-718-3312-6.
- [3] Druhy soustruhů. *Tumlikovo* [online]. 31.10. 2010 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/druhy-soustruhu/>
- [4] BRENÍK, Přemysl. *Obráběcí stroje: konstrukce a výpočet*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1982, 573 s.
- [5] Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. *Katalog ložisek SKF* [online]. 2005 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/515058.pdf>
- [6] Valivá ložiska. *SKF* [online]. 2005 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://www.skf.com/portal/skf\\_cz/home/products?contentId=259446&lang=cs](http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/products?contentId=259446&lang=cs)
- [7] Construction of MILWAUKEE PreciSion Machine Spindles. *Milwaukee MachineTool Corporation* [online]. © 2006 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://www.milwaukeechinematool.com/Spindle\\_Facts.htm](http://www.milwaukeechinematool.com/Spindle_Facts.htm)
- [8] Elastohydrodynamické mazání. *Oleje a maziva MPA* [online]. © 2010 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.oleje-mpa.cz/elastohydrodynamicke-mazani>
- [9] Přehled jednotlivých typů sklíčidel včetně příslušenství. *TOS Svitavy* [online]. 2008 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.tos.cz/index.php?stranka=sklicidla>
- [10] Řezné podmínky při obrábění. *Katedra obrábění a montáže, TU v Liberci* [online]. 2001 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://www.kom.tul.cz/soubory/tob\\_rp.pdf](http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_rp.pdf)
- [11] DRIML, Bohuslav. Soustružení. *Střední průmyslová škola strojnická a Vyšší odborná škola technická, Sokolská 1, Brno* [online]. 2004 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep17.pdf>
- [12] Soustruhy. *První hanácká BOW* [online]. © 2005 - 2011 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.bow.cz/produkty/soustruhy/>
- [13] Obráběcí stroje. *eBazar* [online]. 2012. vyd. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.ebazar.cz/stroje-a-naradi/obrabeci-stroje/soustruh-revolverovy-poloautomaticky-spr-63-nc/>
- [14] Čelní soustruh Geminis. *Teximp* [online]. © 2007. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.teximp.cz/product/76-celni-soustruh.html>
- [15] Základní informace o produktech. *TOSHULIN* [online]. © 2011. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/dok/eJoRaTSwzRsBiGAV>

## 9. Seznam použitých symbolů a značek

|               |                                                  |                      |
|---------------|--------------------------------------------------|----------------------|
| $\Delta_B$    | Házení předního ložiska                          | mm                   |
| $\Delta_A$    | Házení zadního ložiska                           | mm                   |
| $a$           | Délka vyložení                                   | mm                   |
| $L$           | Vzdálenost mezi ložisky                          | mm                   |
| $b$           | Délka zadního konce vřetene                      | mm                   |
| $\delta$      | Celková deformace vřetene                        | mm                   |
| $\delta_V$    | Deformace vřetene                                | mm                   |
| $\delta_L$    | Deformace ložisek                                | mm                   |
| $\delta_S$    | Deformace skříně                                 | mm                   |
| $\delta_{V1}$ | Složka průhybu mezi dvěma ložisky                | mm                   |
| $\delta_{V2}$ | Složka průhybu převislého konce                  | mm                   |
| $\delta_A$    | Myšlený průhyb části vřetena                     | mm                   |
| $J_1$         | Kvadratický moment setrvačnosti mezi ložisky     | m <sup>4</sup>       |
| $J_2$         | Kvadratický moment setrvačnosti převislého konce | m <sup>4</sup>       |
| $F$           | Síla na konci vřetene                            | N                    |
| $E$           | Modul pružnosti oceli                            | MPa                  |
| $k_B$         | Tuhost předního ložiska                          | N·m <sup>-1</sup>    |
| $k_A$         | Tuhost zadního ložiska                           | N·m <sup>-1</sup>    |
| $C_B$         | Poddajnost předního ložiska                      | m·N <sup>-1</sup>    |
| $C_A$         | Poddajnost zadního ložiska                       | m·N <sup>-1</sup>    |
| $D$           | Průměr obrobku                                   | mm                   |
| $v_c$         | Řezná rychlost                                   | m·min <sup>-1</sup>  |
| $f$           | Posuv podélný                                    | mm·ot <sup>-1</sup>  |
| $n$           | Otáčky vřetene                                   | ot·min <sup>-1</sup> |
| $a_p$         | Hloubka řezu                                     | mm                   |
| $Rm$          | Mez pevnosti v tahu                              | MPa                  |
| $p$           | Řezný odpor                                      | MPa                  |
| $F_c$         | Řezná síla                                       | N                    |
| $M_k$         | Maximální moment krutu                           | Nm                   |
| $P_{nž}$      | Výkon na noži                                    | W                    |
| $P_e$         | Výkon na noži                                    | W                    |
| $\eta$        | Účinnost převodu                                 | %                    |
| $D_{min}$     | Minimální průměr obrobku                         | mm                   |
| $D_{max}$     | Maximální průměr obrobku                         | mm                   |
| $n_{min}$     | Minimální otáčky                                 | ot·min <sup>-1</sup> |
| $n_{max}$     | Maximální otáčky                                 | ot·min <sup>-1</sup> |
| $D_v$         | Vnější průměr vřetene                            | mm                   |
| $d_v$         | Vnitřní průměr vřetene                           | mm                   |
| $D_l$         | Vnější průměr ložisek v tandemu                  | mm                   |
| $d_l$         | Vnitřní průměr ložisek v tandemu                 | mm                   |
| $2B$          | Celková šířka ložisek v tandemu                  | mm                   |
| $C_0$         | Statická únosnost ložisek v tandemu              | N                    |
| $C$           | Dynamická únosnost ložisek v tandemu             | N                    |
| $n_r$         | Referenční otáčky ložisek v tandemu              | ot·min <sup>-1</sup> |
| $n_m$         | Přípustné mezní otáčky ložisek v tandemu         | ot·min <sup>-1</sup> |
| $k_l$         | Tuhost ložisek v tandemu                         | N·m <sup>-1</sup>    |

|                |                                                |                                |
|----------------|------------------------------------------------|--------------------------------|
| $C_{AT}$       | Poddajnost předního ložiska v tandemu          | $\text{m} \cdot \text{N}^{-1}$ |
| $C_{BT}$       | Poddajnost zadního ložiska v tandemu           | $\text{m} \cdot \text{N}^{-1}$ |
| $\alpha_l$     | Kontaktní úhel ložisek v tandemu               | $^\circ$                       |
| A              | Přední ložisko                                 | -                              |
| B              | Zadní ložisko                                  | -                              |
| $F_O$          | Obvodová síla na ozubeném kole                 | N                              |
| $F_{RO}$       | Radiální síla na ozubeném kole                 | N                              |
| $F_{NO}$       | Normálová síla na ozubeném kole                | N                              |
| $D_O$          | Roztečná kružnice na ozubeném kole             | mm                             |
| $\alpha$       | Úhel záběru                                    | $^\circ$                       |
| $F_{RA}$       | Reakce od radiální síly ozubeného kola v A     | N                              |
| $F_{RB}$       | Reakce od radiální síly ozubeného kola v B     | N                              |
| $F_{OA}$       | Reakce od obvodové síly ozubeného kola v A     | N                              |
| $F_{OB}$       | Reakce od obvodové síly ozubeného kola v B     | N                              |
| $F_A$          | Maximální síla na ložisko A v radiálním směru  | N                              |
| $F_B$          | Maximální síla na ložisko B v radiálním směru  | N                              |
| $F_{pa}$       | Předpětí ve dvojici ložisek                    | N                              |
| $F_{ax}$       | Axiální síla od obrobku                        | N                              |
| $F_{pcA}$      | Celkové axiální předpětí v A                   | N                              |
| $F_{pcB}$      | Celkové axiální předpětí v B                   | N                              |
| $F_{pc}$       | Celkové axiální předpětí                       | N                              |
| $F_{CAA}$      | Celková axiální síla v A                       | N                              |
| $F_{CAB}$      | Celková axiální síla v B                       | N                              |
| $F_a$          | Axiální síla obecně                            | N                              |
| $F_r$          | Radiální síla obecně                           | N                              |
| $P$            | Ekvivalentní dynamické zatížení obecně         | N                              |
| $P_A$          | Ekvivalentní dynamické zatížení v A            | N                              |
| $P_B$          | Ekvivalentní dynamické zatížení v B            | N                              |
| $X$            | Součinitel ekvivalentního dynamického zatížení | -                              |
| $Y$            | Součinitel ekvivalentního dynamického zatížení | -                              |
| $L_{hA}$       | Hodinová trvanlivost ložisek A                 | hodin                          |
| $L_{hB}$       | Hodinová trvanlivost ložisek B                 | hodin                          |
| $M_{ORmax}$    | Maximální ohybový moment v radiálním směru     | Nm                             |
| $M_{OOmax}$    | Maximální ohybový moment v obvodovém směru     | Nm                             |
| $M_{Omax}$     | Maximální ohybový moment                       | Nm                             |
| $\sigma_O$     | Napětí v ohybu                                 | MPa                            |
| $W_O$          | Průřezový modul v ohybu                        | $\text{mm}^4$                  |
| $\tau_k$       | Napětí v krutu                                 | MPa                            |
| $W_k$          | Průřezový modul v krutu                        | $\text{mm}^4$                  |
| $\sigma_{RED}$ | Redukované napětí                              | MPa                            |
| $Re$           | Mez kluzu                                      | MPa                            |
| $k$            | Bezpečnost                                     | -                              |
| $p_D$          | Dovolený tlak pro neposuvný náboj              | MPa                            |
| $l$            | Délka pera                                     | mm                             |
| $F_{Per}$      | Síla na pero                                   | N                              |
| $h$            | Výška pera                                     | mm                             |
| $D_{Per}$      | Vnější průměr vřetene v místě drážky pera      | mm                             |
| $t$            | Hloubka drážky ve vřetenu                      | mm                             |
| $M_{OPer}$     | Maximální ohybový moment na pero               | Nm                             |



## **10. Seznam obrázků a tabulek**

### **Obrázky:**

|            |                                                                              |        |
|------------|------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Obr. 2.1.  | Historický soustruh Donauwerk Ernst Crause & Co.                             | 14     |
| Obr. 2.2.  | Hlavní části univerzálního hrotového soustruhu                               | 15     |
| Obr. 2.3.  | Soustruh Opti D320x630                                                       | 16     |
| Obr. 2.4.  | Soustruh Opti D420x1500                                                      | 17     |
| Obr. 2.5.  | Soustruh Opti D460x1500 DPA                                                  | 17     |
| Obr. 2.6.  | Micro soustruh C0                                                            | 18     |
| Obr. 2.7.  | Soustruh na dřevo DB450                                                      | 19     |
| Obr. 2.8.  | Revolverový poloautomatický soustruh SPR63NC                                 | 20     |
| Obr. 2.9.  | Čelní soustruh Geminis GHT8 1600                                             | 20     |
| Obr. 2.10. | Svislý soustruh TOSHULIN řada SKE-12                                         | 21     |
| Obr. 3.1.  | Morfologie vřetena                                                           | 23     |
| Obr. 3.2.  | Vlivy na pracovní přesnost obráběcího stroje                                 | 23     |
| Obr. 3.3.  | Skříňový vřeteník                                                            | 24     |
| Obr. 3.4.  | Tubusový vřeteník                                                            | 24     |
| Obr. 3.5.  | Etapy návrhu uložení vřetene                                                 | 24     |
| Obr. 3.6.  | Druhy valivých ložisek (Koyo)                                                | 25     |
| Obr. 3.7.  | Způsoby předepínání ložisek (SKF)                                            | 25     |
| Obr. 3.8.  | Uspořádání z leva do O,X a T                                                 | 26     |
| Obr. 3.9.  | Způsoby mazání vřetenových ložisek                                           | 28     |
| Obr. 3.10. | Druhy těsnění vřetena                                                        | 30     |
| Obr. 3.11. | Druhy náhonu vřetena                                                         | 31     |
| Obr. 4.1.  | Vliv házení ložisek na přesnost chodu                                        | 33     |
| Obr. 4.2.  | Dílčí a celková deformace vřetene                                            | 34     |
| Obr. 4.3.  | Vliv poddajnosti vřetene                                                     | 35     |
| Obr. 4.4.  | Vliv poddajnosti ložisek                                                     | 35     |
| Obr. 5.1.  | Umístění ložisek na vřetenu                                                  | 39     |
| Obr. 5.2.  | Vzdálenosti na vřetenu                                                       | 40     |
| Obr. 5.3.  | Síly na ozubeném kole vřetene                                                | 41     |
| Obr. 5.4.  | Reakce od radiální síly ozubeného kola                                       | 42; 47 |
| Obr. 5.5.  | Reakce od obvodové síly ozubeného kola                                       | 43; 48 |
| Obr. 5.6.  | Průběh ohybového momentu v radiálním směru síly ozubeného kola               | 47     |
| Obr. 5.7.  | Průběh ohybového momentu v obvodovém směru síly ozubeného kola               | 48     |
| Obr. 5.8.  | Průběh krouticího momentu v radiálním i normálovém směru síly ozubeného kola | 48     |
| Obr. 6.1.  | Navržené vřeteno a jeho uložení                                              | 52     |
| Obr. 6.2.  | Vřeteno s vřeteníkem zepředu                                                 | 53     |
| Obr. 6.3.  | Vřeteno s vřeteníkem zezadu                                                  | 53     |

### **Tabulky:**

|           |                                                     |    |
|-----------|-----------------------------------------------------|----|
| Tab. 3.1. | Uspořádání ložisek (obrázky uložení Koyo)           | 27 |
| Tab. 3.2. | Výhody a nevýhody metod mazání (schéma mazání Koyo) | 29 |
| Tab. 5.1. | Přehled řezných rychlostí pro soustružení           | 36 |

## **11. Seznam příloh**

### **CD:**

- Elektronická verze bakalářské práce (.pdf)
- 3D Model sestavy vřetene vymodelovaný v SolidWorks 2008 (.step; .asm )
- Výkres sestavy vřetene s kusovníkem (.pdf)
- Sklíčidlo IUG (.pdf)
- Technické informace sklíčidla (.pdf)

Výkres sestavy vřetene s kusovníkem (A2)