ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Uložení vřeten a hrotů koníků u soustruhů. Uložení vřetene soustruhu.

Autor: **Zdeněk JANOTA**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Zdeněk HUDEC, CSc.**

Akademický rok 2016/17

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: **2016/2017**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Zdeněk JANOTA**
Osobní číslo:	**S13B0163P**
Studijní program:	**B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor:	**Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu:	**Uložení vřeten a hrotů koníků u soustruhů. Uložení vřetene soustruhu.**
Zadávající katedra:	**Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování:

Základní požadavky:
Proveďte rešerši v dané oblasti. Zpracujte tématiku z hledisek principů, srovnání jednotlivých koncepcí, konstrukčních provedení, užitných vlastností a aplikací. Konstrukční návrh.

Základní technické údaje:
Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše, specifikace požadavků.
2. Konstrukční návrh.
3. Ověření navržené konstrukce na vyrobeném prototypu.
4. Zhodnocení práce, závěr.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. **Brno: Computer Press, 1999**

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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Západočeská univerzita v Plzni
L.S.
Fakulta strojní

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

V Plzni dne 19. září 2016

Katedra konstruování Zdeněk Janota

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.
Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: ……. . . . . .

podpis autora

Katedra konstruování Zdeněk Janota

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Janota	**Jméno** Zdeněk
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Stavba výrobních strojů a zařízení“	
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Doc. Ing. Hudec, CSc.	**Jméno** Zdeněk
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS	
DRUH PRÁCE	~~**DIPLOMOVÁ**~~	**BAKALÁŘSKÁ**	**Nehodící se škrtněte**
NÁZEV PRÁCE	Uložení vřeten a hrotů koníků u soustruhů. Uložení vřetene soustruhu.		

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KKS		**ROK ODEVZD.**	2017

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	78		**TEXTOVÁ ČÁST**	72		**GRAFICKÁ ČÁST**	6

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Bakalářská práce pojednává o problematice uložení vřeten a hrotů koníků u soustruhů. Je zde analyzováno několik variant uložení. Praktická část je pak věnována návrhu svršku koníku soustruhu a to zejména uložení otočné objímky, odpružení a návrhu pohybového šroubu.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	soustruh, uložení, vřeteno, koník, hrot, objímka, pohybový šroub, pružina

Katedra konstruování Zdeněk Janota

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	**Surname** Janota	**Name** Zdeněk
FIELD OF STUDY	B2301 „Design of Manufacturing Machines and Equipment“	
SUPERVISOR	**Surname (Inclusive of Degrees)** Doc. Ing. Hudec,CSc.	**Name** Zdeněk
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS	

TYPE OF WORK	~~**DIPLOMA**~~	**BACHELOR**	**Delete when not applicable**
TITLE OF THE WORK	The seating (imposition) of a mandrel and tailstock pin of a lathe. Lathe mandrel seating.		

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	Machine Design		**SUBMITTED IN**	2017

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	78		**TEXT PART**	72		**GRAPHICAL PART**	6

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS**	The bachelor´s thesis deals with seating of a mandrel and tailstock pin of a lathe. A few types of seating/alignment were analyzed. The practical part is devoted to tailstock upper part design, specifically tailstock chuck seating/alignment, spring loaded tapping tips and lead screw design.
KEY WORDS	lathe, seating, mandrel, tailstock, tailstock pin, tailstock chuck, lead screw spring

Rád bych poděkoval vedoucímu mojí bakalářské práce Doc. Ing. Hudcovi, CSc. za rady a podporu při vypracování.

Obsah

Úvod 14

1. Soustružení, druhy soustruhů 15

1.1 Lícní soustruh 15

1.2 Karusel (svislý soustruh) 15

1.3 Revolverový soustruh 16

1.4 Hrotový soustruh 16

2. Části hrotového soustruhu 17

2.1. Pohon soustruhu 17

2. 1. 1 Hlavní pohonný systém 17

2. 1. 2 Vedlejší pohonný systém 17

2. 1. 3 Členy pohonných systémů 17

2.2. Rám 18

2.3. Lože 19

2.4. Suport 19

2.5. Vodící tyč a vodící šroub 19

2.6. Vřeteník 20

2.7. Vřeteno 20

2.7.1. Házení vřetene 22

2.7.2. Deformace vřetene 23

2.7.3. Varianta z praxe – SKF, uložení u CNC soustruhu pro velká zatížení 23

2.8. Koník 24

2.8.1. Hrot koníku 25

2.8.2. Varianta z praxe – SKF, uspořádání v případě velkých zatížení 25

3. Varianty upnutí obrobku u hrotového soustruhu 26

3.1 Upnutí mezi hroty 26

3.2 Upnutí pomocí sklíčidla 26

3.3 Upnutí pomocí lícní desky 26

3.4 Upnutí pomocí trnů 27

3.5 Upnutí do kleštin 27

4. Příslušenství soustruhu 27

4. 1 Opěry 27

4. 2 Podvalky 27
4. 3 Vyvrtávací tyče 27
5. Používaná ložiska 28
5.1. Ložiska kluzná 28
5.2. Ložiska valivá 29
5.2.1. Ložiska kuličková 30
5.2.2. Ložiska válečková 31
5.2.3. Ložiska kuželíková 31
5.2.4. Ložiska axiální soudečková 31
5.3. Příklady předepnutí ložisek podle metodiky firmy SKF 32
6. Mazání vřetene a hrotu koníku 32
6.1. Malé hroty a malá vřetena – mazání tukem 33
6.1.1. Příklad z praxe 33
6.2. Velké hroty – mazání lázní 33
6.3. Velká vřetena – mazání cirkulací 34
7. Druhy těsnění 34
7.1. Vnější těsnění 34
7.1.1. Kontaktní těsnění 34
7.1.2. Bezkontaktní těsnění 35
8. Řešení vlastní úlohy 36
8.1. Analýza uložení vřeten 36
8.1.1. Varianta A 36
8.1.2. Varianta B 36
8.1.3. Varianta C 37
8.2. Analýza uložení hrotů koníku 38
8.2.1. Varianta A 38
8.2.2. Varianta B 38
8.2.3. Varianta C 39
8.3. Zadané parametry vlastní úlohy 40
8.4. Popis stroje SR1 40
8.4.1. Vřeteno stroje SR1 41
8.5. Návrh hrotové objímky 42

8.5.1. Základní parametry 42
8.5.2. Postup výpočtů v programu Zatěžovací stavy vřeteníku a koníku soustruhu 43
8.5.3. Souhrn získaných vstupů pro program konik.W10 v prostředí KISSSoft 44
8.5.4. Návrh uložení programem konik.W10 v prostředí KISSSoft 45
8.6. Návrh odpružení pinoly 50
8.6.1. Výpočet posuvové síly 50
8.6.2. Výpočet tuhosti 51
8.6.3. Souhrn výstupů pro návrh 51
8.6.4. Výběr pružiny 52
8.7. Návrh pohybového šroubu 54
8.7.1. Vstupní hodnoty pro návrh a návrh 54
8.7.2. Výsledek 55
8.7.3. Návrh pera pro matici 55
8.8. Ověření převodu 56
8.9. Rychlost výsuvu pinoly 58
8.10. Návrh hrotu 59
8.10.1. Základní vstupy do MathCAD 59
8.10.2. Vstupy pro KISSSoft 59
8.10.3. Výsledek návrhu 60
8.11. Výpočty deformací při zatížení maximálně vysunuté pinoly 60
8.11.1. Simulace programem Siemens NX 60
8.11.2. Výpočet vetknutého nosníku 61
8.11.3. Výpočet tuhosti tělesa pinoly pro srovnání 63
9. Model 64
10. Závěr 65
SEZNAM OBRÁZKŮ 66
SEZNAM TABULEK 68
SEZNAM PŘÍLOH 68
POUŽITÝ SOFTWARE 68
KNIŽNÍ PUBLIKACE 68
PODKLADY K PŘEDNÁŠKÁM 69
PUBLIKACE NA INTERNETU 69

Seznam zkratek a symbolů

F – síla

v - rychlost

Δ_A - házení předního ložiska

Δ_B - házení zadního ložiska

Δ_vA - házení předního ložiska převedené na házení vřetene

Δ_vB - házení zadního ložiska převedené na házení vřetene

Δ_v - celkové házení na konci vřetene

δ_v – deformace vřetene

δ_L – deformace ložisek

δ_S – deformace skříně

L_h - trvanlivost

F_e - ekvivalentní dynamické zatížení

n - otáčky (1/min)

C - Dynamická únosnost

p – mocnitel pro výpočet trvanlivosti ložisek, rozteč

X, Y – koeficienty pro výpočet ekvivalentního zatížení ložisek

F_r – síla v radiálním směru

F_a – síla v axiálním směru

F_M – maximální obvodová složka řezné síly

F_{QM} – maximální tíha obrobku

P – výkon

η_1 – účinnost 1. st.

M_L – omezný moment vřetene

n_L – otáčky příslušné omeznému momentu

n_M – maximální otáčky vřetene

D_{FM} – max. obráběný průměr při max. řezné síle F_M

D – oběžný průměr nad suportem

T_C – celková doba běhu

τ_{1c} – poměr T_1/T_C

T_1 – doba běhu při obrábění

T_2 – doba běhu bez obrábění

z_9 – počet zubů pastorku, z_{10} – počet zubů oz. kola

m - modul ozubení, β - sklon zubů

n_{81} – spektrum stavů pro návrh koníka

T_{Kc} – celková doba běhu pro návrh koníka

F_{xK}^{T} – zatěžovací stav ve směru osy X pro návrh koníka

F_{zK}^{T} – zatěžovací stav ve směru osy Z pro návrh koníka

F_{aK}^{T} – bezpečné axiální předpětí koníka

q_{TK}^{T} – spektrum poměrné doby běhu, q_{n8K}^{T} – spektrum poměrných otáček

F_Q – tíha obrobku upnutého mezi hroty

F_S – maximální posuvová síla

f_V – součinitel tření ve vedení pinoly

L_1 – délka vedení pinoly

Δy – výsuv pinoly

a_1 – min. vyložení síly 0,6FQ od kraje vedení

F_p – tíha pinoly

a_p – souřadnice síly F_p od působiště síly 0,5 F_Q

F_h – maximální axiální síla na hrotu

ΔF – nárůst síly

k – tuhost pružiny

Δ_{ob}, Δ – dilatace obrobku

l – délka obrobku, délka vetknutého nosníku

k_{sp} – předpokládaná tuhost svazku pružin

d – průměr závitu, průměr hřídele (matice)

H – výška matice

n – součinitel uložení, otáčky elektromotoru

L – maximální délka pohybového šroubu = výsuv + výška matice

T - kroutící moment, který má pero zachytit

d_h – vnitřní průměr dutého hřídele

M – kroutící moment elektromotoru/moment působící na přírubu

F_{MS} – maximální hodnota síly na snímači

Δt - doba expozice zraku

$v_{\Delta F}$ - maximální posuvová rychlost pinoly

M_O – ohybový moment

S_M – plocha momentového obrazce

M_S – statický moment/střední utahovací moment

x_T - poloha těžiště momentového obrazce od působení síly F

y_{max} – maximální průhyb

E – Youngův modul pružnosti v tahu

J – kvadratický moment průřezu

d_s – střední hodnota vnitřních průměrů pinoly

kN – kilonewton

kW – kilowatt

kNm – kilonewtonmetr

min^{-1}, ot/min, 1/min – otáčky za minutu

hod – hodiny

mm – milimetry

° - stupeň

mm/min – milimetry za minutu

m – metr

kN/mm – kilonewton na milimetr

π – pí

mm^4 – milimetr na čtvrtou

MPa – megapascal

GPa – gigapascal

mm^2 – milimetr na druhou

mm/s – milimetr za sekundu

D_2- průměr otočné vložky

D_K – největší průměr kužele

L_K – délka kužele

K – kuželovitost

F_A - vnější ax. síla na hrotu

F_V - radiální výslednice působící na hrot

d_t - roztečný průměr šroubů

D_h - průměr hlavy šroubu

L_p - tloušťka příruby

Úvod

Tématem práce je uložení vřeten a hrotů koníků u soustruhů. První část práce bude věnována rešerši v této oblasti. Budou zde rozebrány jednotlivé druhy soustruhů a části, ze kterých se skládá hrotový soustruh. U vřetene a hrotu koníku budou uvedeny příklady konstrukcí. Dále bude věnována pozornost ložiskům, na kterých mohou být tyto části uloženy, mazání a těsnění uložení.

Cílem vlastní úlohy práce je přestavba svršku koníka pro soustruh SR1 od společnosti ŠKODA MACHINE TOOL. V úvodu je provedena analýza konkrétních uložení jak vřeten, tak hrotů koníků z praxe. Následuje stručný popis stroje, pro který je svršek konstruován a popis vřetene tohoto stroje. Dále už je věnována pozornost výpočtům. Jako první dojde k provedení návrhu uložení hrotové objímky. Výpočty pro tento návrh jsou provedeny v příslušných programech v prostředích MathCAD a KISSSoft. Po navržení hrotové objímky následuje výpočet jejího odpružení. K odpružení je využit příslušný svazek pružin od společnosti MUBEA. Další výpočet se týká návrhu pohybového šroubu, který zajišťuje vysouvání pinoly. Tento návrh je proveden v aplikaci programu Autodesk Inventor. Převodový mechanismus od elektromotoru až po vstupní převod je převzat z původního návrhu. Tento mechanismus prošel kontrolními výpočty, zda je schopen dosáhnout požadované hodnoty kroutícího momentu. Další nezbytnou součástí návrhu je stanovení rychlosti výsuvu pinoly, návrh hrotu a simulace zatížení pro získání informací o deformacích pinoly. Simulaci provádí program Siemens NX, následně je provedena její kontrola ručním výpočtem a porovnání výsledných hodnot.

1. Soustružení, druhy soustruhů

Soustruh je obráběcí stroj, který slouží k obrábění rotačních součástí. Jedná se zejména o obrobky z tyčových materiálů - hřídele, příruby, kotouče apod. – hlavní řezný pohyb je rotační. Při procesu soustružení koná rotační pohyb obrobek, který je uchycen v otočné části stroje. Řezný nástroj je umístěn na suportu stroje a koná posuv – určuje dráhu, kterou nástroj urazí za otáčku nebo přísuv – určuje jakou tloušťku má odebíraná tříska. Řezným nástrojem pro soustružení je soustružnický nůž. Soustružnických nožů je několik druhů. Nože malých rozměrů jsou vyrobeny celé z řezného materiálu, velké nože jsou složeny z upínací části z konvenční oceli a z tzv. břitové destičky z řezného materiálu. Typy nožů jsou odlišeny také podle toho, jakou plochu obrábíme nebo jakou operaci provádíme, existují tak nože pro vnější nebo vnitřní průměry, nože závitové anebo nože pro vytváření zápichů. Obrábění soustružením se vyznačuje vysokými rychlostmi a třením, proto je důležité soustruh chladit, ať už olejem nebo jinou kapalinou. Odpadový materiál, který během soustružení vzniká, se nazývá tříska. Soustruhy jsou děleny do několika kategorií podle různých kritérií. Například podle způsobu ovládání na manuálně řízené a číslicově řízené (počítačově – CNC). Jak již bylo naznačeno u popisu soustružnických nožů, na soustruhu lze provádět několik druhů operací, patří mezi ně například vytváření závitů, ale i vrtání, vyvrtávání atd. Mezi další typy soustruhů patří lícní, hrotové, revolverové atd. [11]

1.1 Lícní soustruh

Z důvodu nízké tuhosti upnutí se využívají především k obrábění málo rozměrných, po většinou deskových obrobků připevněných na lícní desku. Tento druh upnutí pak značně zatěžuje vřeteno ohybovým namáháním. Soustruh nemá koník a obrobek je upnut tzv. letmo, z toho plyne již zmíněné zatěžování uložení vřetene. Využívají se také u operací, kde je zvýšený požadavek na bezpečnost. U lícního soustruhu je kroutící moment výkonovým parametrem a průměr nad ložem rozměrovým parametrem. Řezná rychlost je stálá a je zajištěna plynulou regulací pohonu. Suport lícního soustruhu je téměř totožný se suportem hrotového soustruhu. [9]

1.2 Karusel (svislý soustruh)

Slouží k obrábění svisle upnutých součástí, jejichž průměr přesahuje délku. Jejich výhodou je, že jsou značně výkonné a přesné. Je možné je využít k různým druhům operací (vrtání, frézování apod.) Obrábí se na nich obrobky středně velké až velké a lze je vidět zejména v malosériové a sériové výrobě. Nejdůležitější částí svislého soustruhu je otočný stůl, kde je vedení zajištěno kluzným pohybem, valivým pohybem nebo hydrostaticky. Dále pak stojany, které podléhají velkému namáhání a příčníky, pro jejichž vedení je využívána buď valivá, nebo kluzná vazba. V zásadě se karusely dělí na dva typy: jednostojanové (otevřený rám) a dvoustojanové (uzavřený rám). Rozdílem je jak konstrukce tak i například počet suportů. U jednostojanového je nejčastěji jeden suport na stojanu a druhý na příčníku. U soustruhu dvoustojanového pak jsou dva suporty umístěné na příčníku, další mohou být také na stojanech. Za výkonový parametr je považován, stejně jako u lícního soustruhu, kroutící moment. Nevýhodou u jednostojanového karuselu je nepříznivé namáhání stojanu, jedná se o vetknutý nosník. Při práci s dvoustojanovým karuselem je pak z důvodu uzavřeného rámu obtížnější manipulace s obrobkem. Rozměrové parametry jsou u karuselů dva, oběžný průměr

a výška soustružení. Co se týká pohonu u svislého soustruhu, ten zajišťuje jak pohyb vřetene, tak pohyb smykadel (převod často řešen pomocí kuličkového šroubu). [8], [12]

1.3 Revolverový soustruh

U revolverového soustruhu se provádí celý proces obrábění na jedno upnutí a setkat se s ním je možné zejména u sériové výroby. Výhody obrábění na jedno upnutí je možné dosáhnout díky revolverové hlavě. Může se totiž obrábět více nástroji najednou. V revolverové hlavě jsou nože uloženy v otvorech. Konstrukčně je tento typ soustruhu velice podobný soustruhu hrotovému, na místě koníku je ale umístěna revolverová hlava. Podle uložení revolverové hlavy jsou tyto soustruhy dělené na soustruhy s hvězdicovou hlavou a bubnovou hlavou. Bubnová hlava se vyznačuje svislou osou a nástroji umístěními v čele, hvězdicová pak vodorovnou osou a nástroji umístěnými po obvodu. V praxi se lze setkat také s revolverovou hlavou se šikmou osou. [8]

1.4 Hrotový soustruh

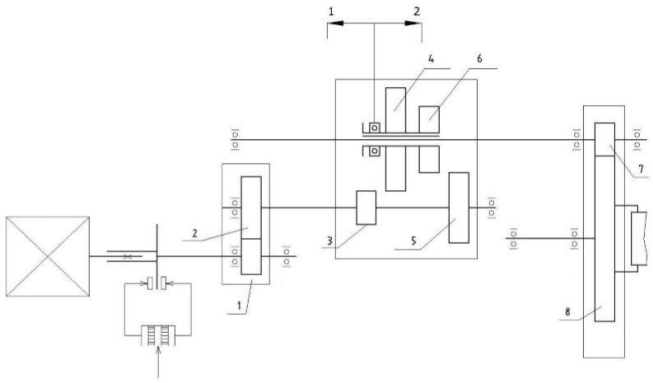
Jeden z nejčastěji používaných druhů soustruhů. Jeho výhodou je velká variabilita operací, které na něm lze provádět. Setkat se s nimi je možné zejména v kusové nebo malosériové výrobě. Mezi operace a procesy, ke kterým se využívá, patří obrábění vnějších i vnitřních válcových ploch, obrábění čelních ploch, vytváření zápichů, vrtání, řezání závitů atd.

Rozměrové parametry jsou dány vzdáleností mezi hroty při zasunuté pinole a maximálním průměrem obrobku, který je možné na soustruhu upnout. Výkonovým parametrem je pak znovu kroutící moment. I tento typ soustruhu je možné rozdělit na dvě základní podkategorie. Jsou jimi jednoduché hrotové soustruhy a univerzální hrotové soustruhy. Hlavním rozdílem mezi těmito dvěma typy je, že univerzální hrotový soustruh je vybaven vodícím šroubem a díky němu může vyrábět nespočetné množství závitů. Jednoduché hrotové soustruhy se využívají většinou pro hrubovací operace. Hrotové soustruhy mívají zpravidla otevřený rám, který tvoří několik částí. Tento rám se vyznačuje vysokou tuhostí a to z důvodu zatížení několika typy sil (řezné – namáhání na krut, tíhové – namáhání tlakem a od pohonu. [8]

2. Části hrotového soustruhu

2.1. Pohon soustruhu

Pohonné systémy obráběcích zařízení jsou rozděleny na hlavní a vedlejší. Analogicky z názvu těchto systémů plyne, že hlavní zajišťuje hlavní řezný pohyb a vedlejší zajišťuje vedlejší řezný pohyb. Principiálně se jedná u hlavního pohonu o pohyby rotační, které jsou definovány kroutícím momentem a úhlovou rychlostí, a u vedlejšího pohonu o pohyby posuvné, dané silou - F a rychlostí - v.



Obrázek 1 - Schéma pohonu soustruhu s dvoustupňovou převodovkou [3]

2. 1. 1 Hlavní pohonný systém

Může být zajištěn mnoha způsoby a je využíván pro zabezpečení potřebného výkonu pro řezný pohyb. V minulosti byla využívána aplikace motoru v kombinaci s převodovkou, v dnešní době je často aplikován také regulační motor nebo elektrovřeteno.

U malých soustruhů se v případě využití sestavy motor – převodovka, aplikují zejména jednostupňové převodovky. V případě velkých soustruhů jsou běžné i 2 – 4 stupňové převodovky. K řazení je využíváno přesuvných kol nebo kol řazených pomocí spojky.

2. 1. 2 Vedlejší pohonný systém

Je používán pro co nejpřesnější polohu posuvu. V praxi jsou instalovány jak regulační tak i například lineární motory s implementovaným mechanismem na převod druhu pohybu.

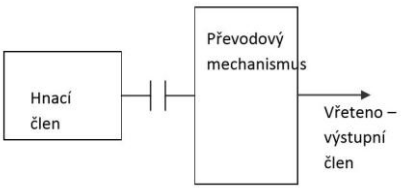
2. 1. 3 Členy pohonných systémů

Základem je hnací člen, kterým je motor. Úkolem hnacího členu je přeměna energií z energie vstupní na mechanickou. Nejčastěji se jedná o elektromotory ať už stejnosměrné nebo asynchronní. V některých případech jsou aplikovány též hydraulické motory.

Dalším členem je převod (převodový člen). Aplikují se převodové členy dvojího typu, jeden ke změně výstupních hodnot (otáček apod.), další pak ke změně principu pohybu (rotační/posuvný).

U změny výstupních hodnot je kritériem vznik potřebné síly k obrábění (řezné síly). Změna může být stupňovitá nebo plynulá a to za využití elektrozařízení nebo mechanicky.

Pro transformaci pohybu je nejčastěji využívaným mechanismem pohybový šroub. Mezi další varianty se pak řadí šnek a hřeben nebo pastorek a hřeben (pro velké délky posuvů). [3]



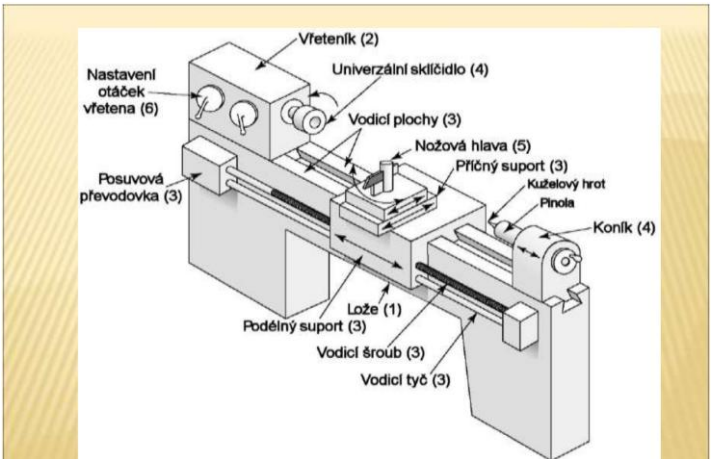
Obrázek 2 - Schéma pohonu obráběcího stroje [3]

2.2. Rám

Rám stroje tvoří několik těles, mezi nimiž dochází k přenosům sil. Jsou to jak síly statické, tak síly dynamické. Je vyžadováno, aby rám stroje vykazoval dostatečnou statickou tuhost a nedocházelo ke změnám polohy a tvarů jednotlivých částí. Z hlediska dynamických sil musí být rám odolný zejména vůči chvění, které vzniká při procesu obrábění. Mezi další požadavky na rám stroje patří například dostatečný prostor pro manipulaci s obrobkem, jednoduchost konstrukce, co nejnižší hmotnost, co nejmenší zastavěná plocha apod. [8]

Co se týká materiálů pro výrobu rámů, je důležité, aby splňovaly několik základních požadavků. Z hlediska teploty je žádoucí, aby se materiál prezentoval vysokým odvodem tepla, a aby pro jeho ohřátí o 1°C bylo zapotřebí co největší množství tepla. Nejběžnějšími materiály pro stavbu rámů obráběcích strojů jsou litina a ocel. Velkou výhodou u těchto dvou materiálů je fakt, že jsou dostatečně prozkoumány a otestovány v praxi. S postupným vývojem je ale možné se setkat při výrobě rámů obráběcích strojů také s materiály, které nejsou tak časté. Jedná se například o granit nebo různé typy kompozitů. Uchýlení se k volbě podobných materiálů většinou ovlivňuje fakt, že dokážou nabídnout lepší vlastnosti než ocel a litina. V mnohých případech je to však na úkor tuhosti.

Výroba rámů je prováděna formou svařence nebo odlitku. Svařence mají výhodu oproti odlitkům, že na nich lze provádět další úpravy. Odlitek je nevýhodný v případě výroby velkých rámů, jelikož se s ním obtížněji manipuluje. Pro sériovou výrobu se volí výroba pomocí odlitků. [3]



Obrázek 3 - Části hrotového soustruhu [32]

2.3. Lože

Lože je základním stavebním kamenem soustruhu a je součástí rámu stroje. Většinou je litinové nebo ocelové. Velmi důležitou funkcí lože je absorbování chvění a řezných sil (zejména krutové a tlakové namáhání), za účelem dosažení co největší možné přesnosti soustružení. Jsou na něm také umístěné vodící plochy pro vedení suportu, koníku atd. Důležité je, aby lože bylo dostatečně tuhé, z tohoto důvodu bývá často tvořeno žebrováním a je připevňováno k základu pomocí tzv. fixátorů (šrouby). Dalším důležitým aspektem při konstruování lože je, aby dokázalo co nejlépe odvádět vytvářející se třísku.

Existují dvě základní konstrukční provedení, je to lože vodorovné a lože zešikmené. Mezi výhody vodorovného patří například to, že se vyznačuje vysokou tuhostí a bývá součástí velkých zařízení. Naopak zešikmené lože má zajištěno lepší odvádění třísky a pracovní prostor je u něj dostupnější. Dále lze lože rozlišovat do podkategorií podle počtu vodících drah (dvoudráhové, třídráhově atd.).

Lože může být buď, odlitek nebo svařenec. Z důvodu zvýšení otěruvzdornosti vodících ploch se lože nezřídka kalí. [9]

2.4. Suport

Suport lze rozdělit na více částí. První z nich je suportová skříň a druhá je nožová hlava. V suportové skříni je mechanismus převádějící rotační pohyb na posuvný (kuličkovým šroubem, hydrostatickým šnekem apod.), který musí překonávat všechny nepříznivé vlivy (řezné, třecí a setrvačné síly). Pohon je pak zajištěn většinou motorově a pohyb může být jak příčný tak podélný. Nožová hlava je umístěná v horní části suportu a pohybuje se po nožových saních. Její základní vlastností je, že je otočná a může v ní být upnuto více nástrojů. Při upnutí nástrojů je nezbytné dbát na tuhost upínání a bezpečnost upínání (zajistit potřebným počtem šroubů). Nástroj se upíná vždy do výšky, která je totožná s výškou osy obrobku. Nůž by neměl z nožové hlavy příliš vyčnívat z důvodu namáhání na ohyb. Velké vysunutí nože by mohlo vést buď k jeho deformaci, nebo k rozvibrování a tím pádem nekvalitnímu povrchu obrobku. [28]

Další vlastností suportu je, že funguje jako „hromosvod“ a přenáší řezné síly při obrábění do lože stroje. Musí mít tedy vysokou tuhost, zejména na torzní, ohybové a tlakové namáhání. [1]

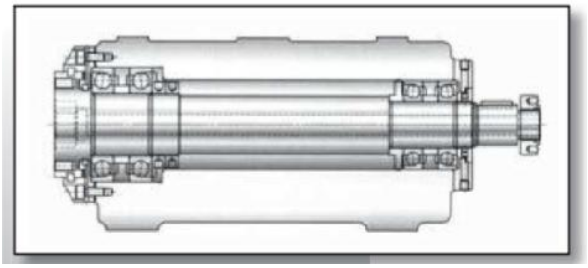
2.5. Vodící tyč a vodící šroub

Tento mechanismus slouží u soustruhu k převodu rotace na posuv, vodící tyč je závitová a šroub se po ní pohybuje. Snadno se tak mění poloha suportu. [12]

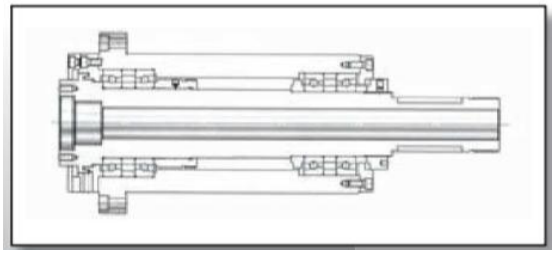
2.6. Vřeteník

Vřeteník je skříň umístěná na loži soustruhu. Uvnitř vřeteníku se nachází pohonný systém soustruhu společně s převody. Pomocí těchto převodů je možné snadno regulovat a měnit otáčky vřetene, které je výstupním členem vřeteníku.

Skříň vřeteníku rotačního tvaru je nazývána tubus. Vzhledem k vysokému namáhání této části soustruhu může být někdy vřeteník zpevněn žebrováním a musí vykazovat dostatečnou tuhost (z důvodu, že přímo ovlivňuje přesnost vřetene a tím pádem i celkovou přesnost obrábění, zachycuje zatížení vzniklá řeznou silou nebo hmotností obrobku). [9]



Obrázek 4 – Skříň [2]



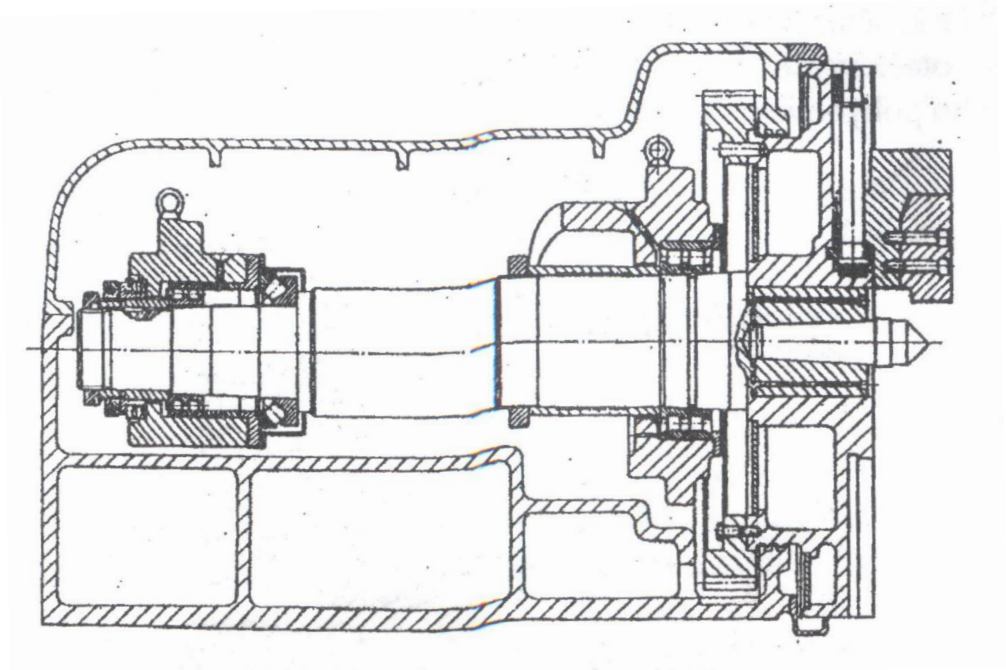
Obrázek 5 – Tubus [2]

2.7. Vřeteno

Je umístěno uvnitř vřeteníku a vzhledem k vysokému namáhání, jak řeznými silami, tak i samotnou váhou obrobku, je důležité, aby mělo vysokou tuhost. Je spojením mezi pohonem a samotným obrobkem v tom smyslu, že na něj přenáší otáčivý pohyb. Z tohoto důvodu významně ovlivňuje kvalitu obrábění. Na přesnost vřetene jsou tedy kladeny vysoké požadavky a je spousta faktorů, které ji ovlivňují. Jedná se například o házení, ať už v radiálním nebo axiálním směru. Na vnějším konci vřetene je umístěno příslušenství sloužící k upnutí obrobku. V závislosti na typu upnutí je přípravek na vřeteni doplněn hrotem koníku (upnutí mezi hroty) nebo je upnutí zajištěno pouze díky přípravku na vřeteni (lícní deska atd.). U soustruhů malých a středních rozměrů je ve většině případů aplikováno univerzální sklíčidlo, u soustruhů velkých rozměrů se instaluje lícní deska. V případě deformací vřetene nebo nepravidelností chodu vřetene, může vznikat tzv. samobuzené kmitání. [8]

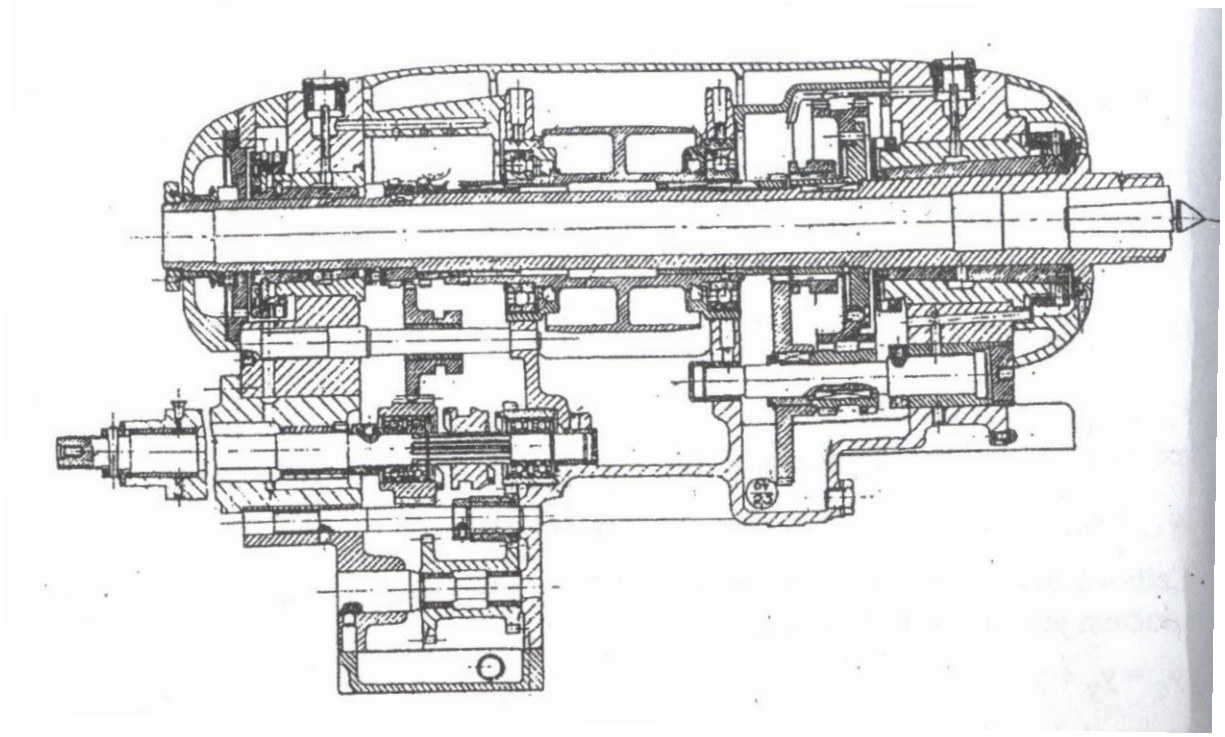
Vřetena bývají uložena na různých druzích ložisek. Typickým uložením vřetene je pak uložení na dvou ložiskách axiálních a dvou radiálních. Uložení vřeten se také liší podle stáří stroje a podle jeho velikosti. V minulosti byla vřetena například ukládána v kluzných ložiskách s možností seřízení. [1]

V současné době jsou u malých a středně velkých soustruhů uložení vřetene na valivém principu, s dvouřadým válečkovým ložiskem v přední části, u kterého je vnitřní kroužek kuželový, za účelem předepnutí ložiska. [1]



Obrázek 6 - Valivé uložení vřetene [1]

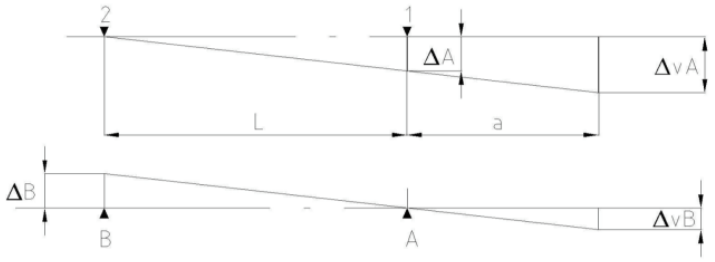
Pro soustruhy o velkých rozměrech je využíváno kombinované uložení jak s valivými, tak s kluznými ložisky, přičemž kluzné ložisko bývá hydrostatické. [1]



Obrázek 7 - Kluzné uložení vřetene [1]

2.7.1. Házení vřetene

U vřetene soustruhů jsou velice důležité dva rozměry. Prvním je vzdálenost mezi ložisky – L, druhým pak vzdálenost mezi předním ložiskem a koncem vřetene - a (konec vřetene je závislý na upnutí, které je pro soustružení zvoleno např. sklíčidlem, upínací deskou apod.). Tyto dva základní rozměrové parametry nám významně ovlivňují přesnost soustružení, jelikož se podílejí na házení na konci vřetene.



Obrázek 8 - Vliv házení ložisek na házení na konci vřetene [4]

Z obrázku č. 8 je patrné, že házení na konci vřetene ovlivňuje zejména ložisko A, z tohoto důvodu se v praxi osvědčilo instalovat přesnější ložisko A než ložisko B. Další skutečností je, že se zvyšující se vzdáleností mezi ložisky L se výsledné házení snižuje. [4]

Δ_A - házení předního ložiska

Δ_B - házení zadního ložiska

Δ_vA - házení předního ložiska převedené na házení vřetene

Δ_vB - házení zadního ložiska převedené na házení vřetene

Δ_v - celkové házení na konci vřetene

„Radiální házení je dáno:

- *nepřesností otáčení vřetena, kdy osa vřetena mění během otáčky svou polohu mezi dvěma krajními body; příčinou je, že jedno nebo obě ložiska mají odlišnou osu (rotace) vnějšího a vnitřního kroužku, tzv. házejí;*
- *nesouosostí plochy na vřetenu, na níž měříme, s osou otáčení;*
- *neokrouhlým tvarem příslušné měřené (funkční) plochy.“[2]*

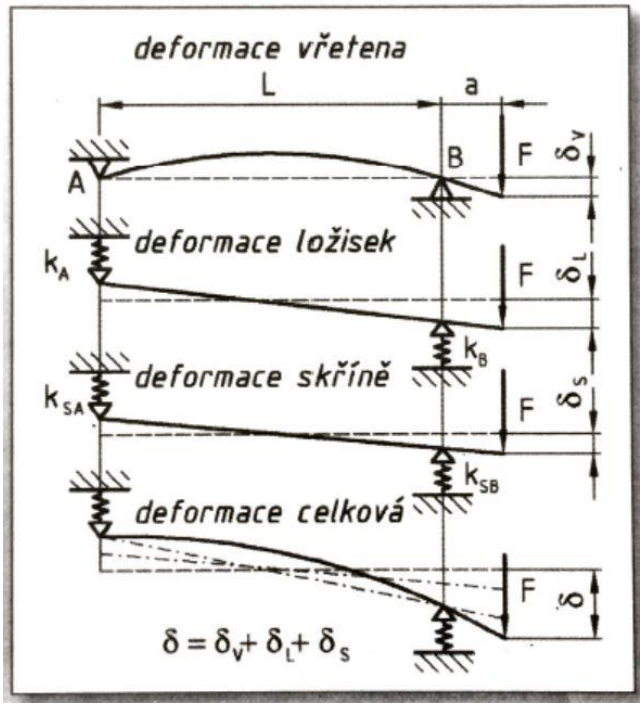
Eliminace nebo minimalizace tohoto jevu se dá provést montáží předního ložiska, které je přesnější než zadní ložisko a dále pak například tím, že budou instalována tak, aby házení obou ložisek bylo stejného smyslu a v totožné rovině. [2]

„Axiální házení se měří na čelní ploše vřetena a je způsobeno axiálním házením ložiska, či nedokonalou kolmostí čelní plochy k ose otáčení.“[2]

Tento jev se eliminuje například úpravou (zdokonalením) tvaru upínacího zařízení. [2]

2.7.2. Deformace vřetene

Celková deformace vřetene se skládá celkem ze tří částí, viz vzorec na obrázku č. 9.



Obrázek 9 - Průběh deformace vřetene [2]

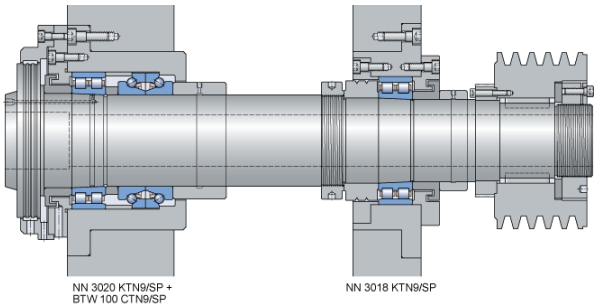
δ_v – deformace vřetene

δ_L – deformace ložisek

δ_S – deformace skříně

2.7.3. Varianta z praxe – SKF, uložení u CNC soustruhu pro velká zatížení

Tato varianta uložení se volí tehdy, když je kroutící moment přenášen na vřeteno z pohonného systému nějakým převodem (řemenem apod.). Tento převod pak významně zatěžuje vřeteno radiální silou. V kombinaci s různými druhy sil na opačném konci vřetene je pak nutné dbát na vysokou tuhost a únosnost, což zajišťuje uspořádání na obrázku č. 10. [14]

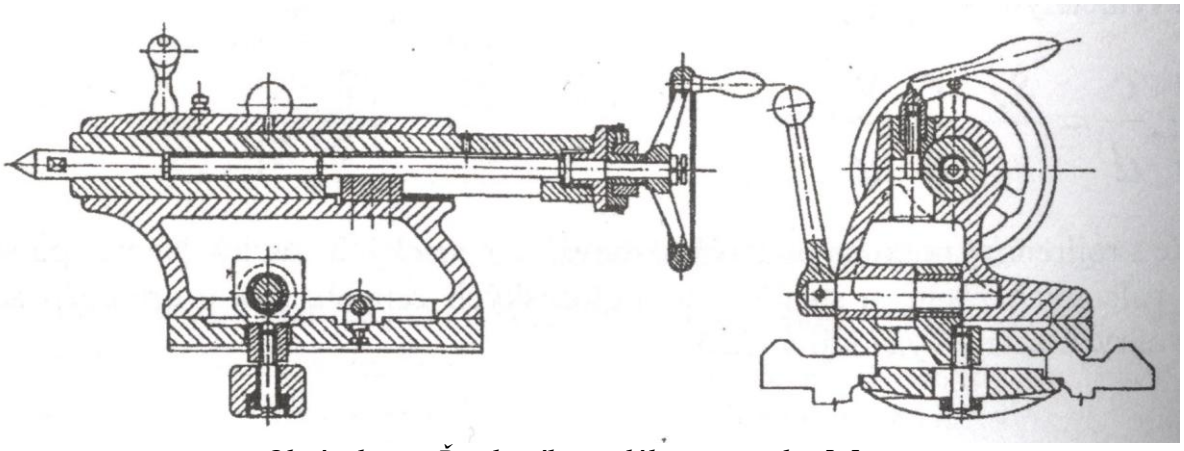


Obrázek 10 - Příklad uložení vřetene SKF [14]

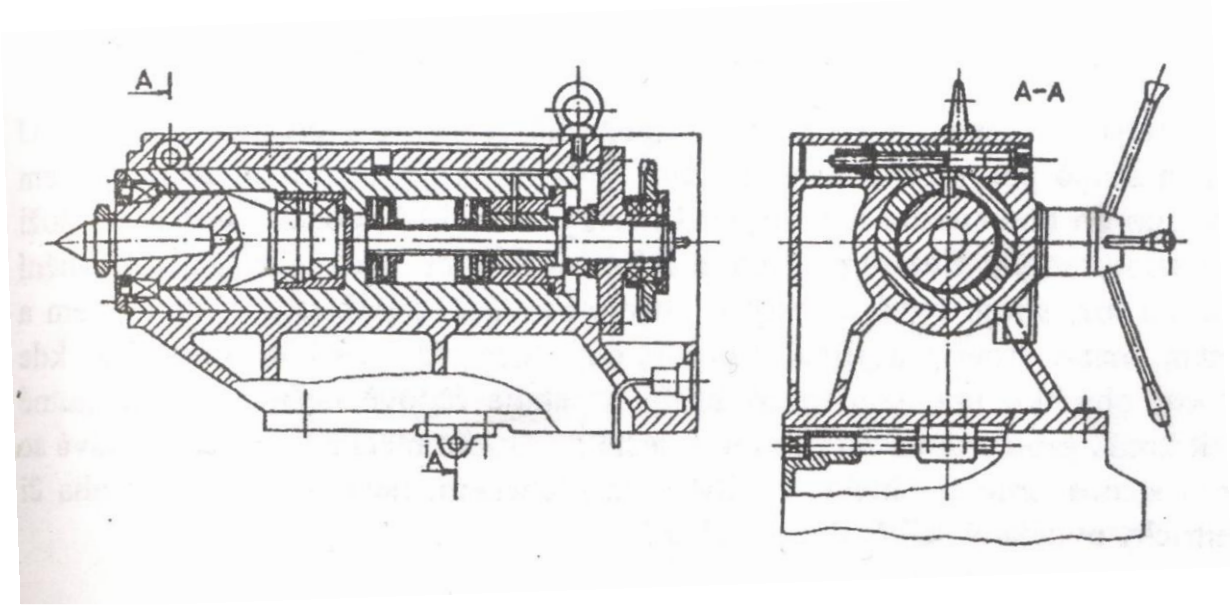
2.8. Koník

Je jednou z dalších částí rámu soustruhu. Jeho hrot slouží jako druhá část upnutí obrobku. Můžeme jej rozdělit na dva díly – horní a spodní. V horní části je umístěná odpružená pinola s hrotem a v dolní jsou vedení sloužící k posouvání po loži. Jako materiál pro výrobu koníka je volena ocel nebo litina. Pinola, ve které je umístěn hrot se může vysouvat ve vodorovném směru, její vysouvání však snižuje tuhost upnutí.

Výsuv pinoly je zajištěn u malých soustruhů ručně, u středních soustruhů ručně přes převod a u velkých soustruhů se vyskytují elektropohony s převodovkou. K připevnění koníka k loži je často využíváno šroubů se třmeny. V případě malých strojů je aplikováno upevnění pomocí páky a třmenu. U soustruhů, obrábějících velké a těžké obrobky se navíc musí koník zajistit speciálním mechanismem v axiálním směru. [1]



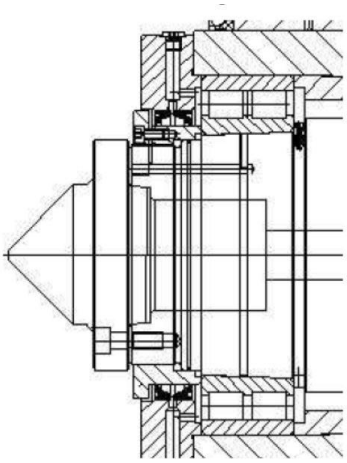
Obrázek 11 - Řez koníku malého soustruhu [1]



Obrázek 12 - Řez koníku s odpruženou pinolou [1]

2.8.1. Hrot koníku

Hrot koníku je uložen v kuželové dutině v hrotové objímce pinoly a má dvě základní funkce. Tou první je zajistit otáčení obráběné součásti a tou druhou je součást uchytit (upnout). Hroty pro stroje, které jsou určeny pro obrábění těžkých součástí, mají přírubu uchycenou v čele objímky šrouby. Pro obrábění lehkých součástí jsou používány hroty s upnutím díky Morse kuželu. Vyrábí se z vysoce legované oceli. [9]



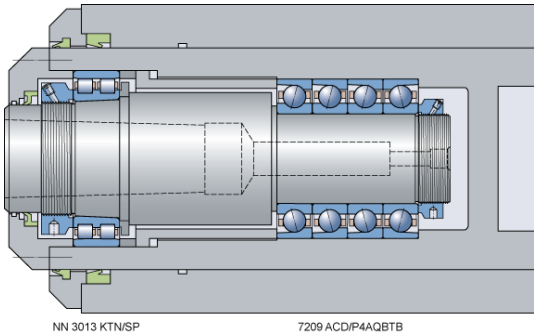
Obrázek 13 - Hrost s přírubou [9]

V axiálním směru by mělo být uložení hrotové objímky odpruženo, za účelem umožnění dilatace, kterou způsobuje zvyšování teploty. Při obrábění rozměrných výrobků může dojít k dilatacím v řádech až několika mm. V případě, že by tedy nebyl hrot axiálně odpružen, došlo by k navýšení axiální síly a k deformacím obrobku. Odpružení je zajištěno pružinou nebo hydraulickým způsobem. Z pohledu přesnosti obrábění má velký význam radiální tuhost uložení, ta je srovnatelná s tuhostí vřetene. Proto se stejně jako v případě vřeten používají pro některé hroty v přední části dvouřadá válečková ložiska. [1]

Hroty přenáší jak axiální tak radiální zatížení. Běžně jsou využívány hroty s úhlem 60 nebo 90 stupňů. Devadesátistupňové hroty se využívají hlavně pro upínání velkých a hmotných obrobků, jsou sice pevnější z hlediska ohybového namáhání, ale mají větší průřez, který je namáhán od síly obrobku (smykové namáhání). [9]

2.8.2. Varianta z praxe – SKF, uspořádání v případě velkých zatížení

Na obrázku č. 14 je zobrazeno uložení hrotu koníku pro případ velkých zatížení. [14]



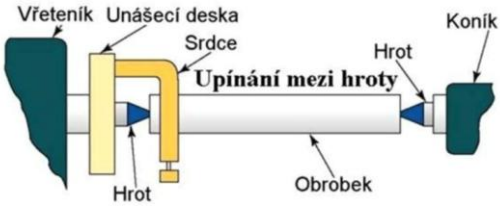
Obrázek 14 - Příklad uložení hrotu SKF [14]

3. Varianty upnutí obrobku u hrotového soustruhu

Upnutí obrobku musí v zásadě splňovat dva důležité požadavky – musí být co nejpřesnější, tak aby se obrobek pohyboval kruhovým pohybem, a musí být co nejbezpečnější. Konkrétní varianta upnutí je volena na základě informací, které máme o obrobku. Tzn. jeho rozměry, hmotnost, tvar apod. [9]

3.1 Upnutí mezi hroty

Tímto způsobem bývají upnuty zejména obrobky tyčového, podlouhlého tvaru. Mezi výhody tohoto upnutí patří velmi vysoká přesnost z hlediska souososti obrobené součásti – díky středícím důlkům pro hroty. Nevýhodou je fakt, že ve většině případů nelze obrábět součást na jedno upnutí. Obrobek je totiž uložen mezi 2 hroty (za středící důlky na obrobku), jeden je umístěn v otvoru vřetene a druhý v koníku pinoly, kroutící moment na něj ale přenáší tzv. unášecí srdce, které je spojeno s unášecí deskou (viz. obrázek č. 15) a právě tato soustava překáží nástroji v obrábění a pak je nutné obrobek znovu upnout. Používané hroty jsou buď otočné, pevné nebo také pevné s maticí (matice slouží pro snazší vyjmutí hrotu z objímky). [15]



Obrázek 15 - Upnutí mezi hroty [21]

3.2 Upnutí pomocí sklíčidla

Jedno z nejpoužívanějších upnutí. Bývá kombinováno s různým příslušenstvím, jako jsou hroty koníku nebo opěry atd. Na jedné straně je tedy na vřeteni uloženo sklíčidlo a na straně druhé je obrobek buďto letmo (malé obrobky), podepřen opěrou nebo jak už je výše uvedeno uchycen za středící důlek v hrotu koníku. Sklíčidel je více typů, mezi základní patří sklíčidla tříčelisťová, čtyřčelisťová a šestičelisťová. Mezi obrobky, které lze uchytit ve sklíčidle patří válcové tyče, čtyřhrany, šestihrany atd. Čelisti sklíčidla se zavírají a otevírají společně a mohou být ovládány manuálním i automatickým způsobem. [9]

3.3 Upnutí pomocí lícní desky

Lícní deska se používá pro upínání obrobků o velkých průměrech nebo u obrobků nepravidelných tvarů. Její výhodou je velká variabilita spočívající v téměř libovolném nastavování jejích čelistí. S čelistmi se dá pohybovat s každou zvlášť a dají se i různě natáčet. Počet čelistí je stejně jako v případě sklíčidla různý (tří, čtyř, ale i osmičelisťové). Pohyb čelistí je zajištěn pohybovým šroubem buď ručně, nebo automaticky. Na vřeteni je deska buď nalisovaná, nebo zajištěna využitím kužele a šroubů. Z hlediska konstrukce je upínací deska většinou odlitek, v některých případech svařenec, s žebrováním a vodícími plochami pro čelisti, jejichž pohyb a radiální zatížení zachycuje pohybový šroub. [9]

3.4 Upnutí pomocí trnů

Využívají se pro upínání součástí s otvorem (příruby atd.) a je jich několik typů. Mohou být kuželové, se závitem, stavitelné nebo i pružné. U kuželových je nutná dostatečná přesnost otvoru, který je na trn nasazován. V případě nepřesného otvoru je vhodné použít pružné trny, jelikož jejich elementy vyrovnají nepřesnosti. [29]

3.5 Upnutí do kleštin

Lze pomocí nich upnout válcové tyče, ale i víceúhelníky tyčového tvaru. Velikost obrobku je u nich ale značné omezena. Výhodou je rychlost upínání a i z tohoto důvodu se využívají v sériových provozech. [29]

4. Příslušenství soustruhu

4. 1 Opěry

Opěry mohou být podle konstrukce jak otevřené tak uzavřené a skládají se z mnoha částí – rám, upínací lišty, pinoly, posuvové a upínací jednotky. Principem opěry je vystředění obrobku a zvýšení jeho tuhosti. Zavřená opěra je složena ze dvou částí a má podle potřeby 3 až 4 pinoly. U otevřené opěry jsou nejčastěji 3 pinoly. Zavřené opěry jsou také konstruovány do tvaru písmene C. Podobně jako u konstrukce samotného soustruhu je otevřený rám nevýhodný z hlediska menší tuhosti, ale je u něj výhodou větší manipulační prostor avšak i u uzavřeného rámu se dá jeden z dílů sejmout. [9]

4. 2 Podvalky

Slouží k vystředění rozměrných obrobků nebo jako podpěra při upnutí způsobem letmo. Výhodou oproti opěrám je jejich menší omezení vzhledem k rozměrům. Skládají se z lože a konzole s valivými elementy. [9]

4. 3 Vyvrtávací tyče

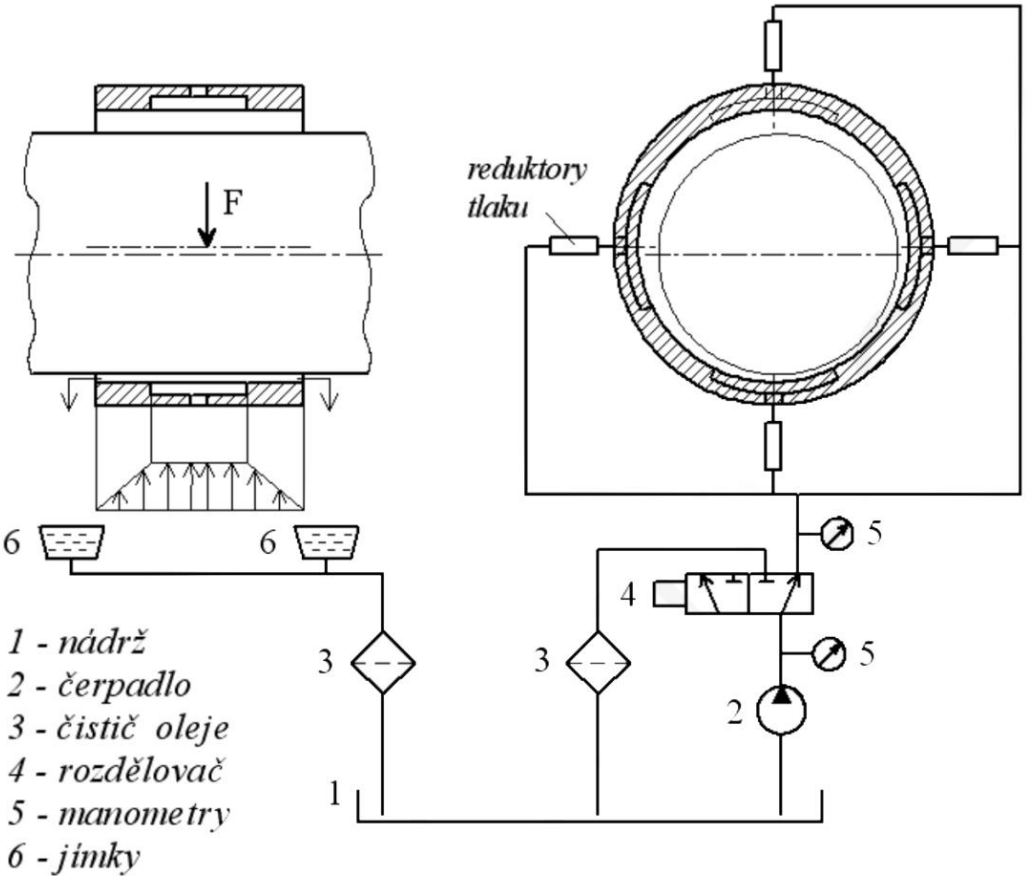
Mají své využití při vrtání děr s hlubokými otvory. Jsou upevněny pomocí specifických držáků na suportech. Základními parametry jsou průměr a hloubka vrtání. [9]

5. Používaná ložiska

5.1. Ložiska kluzná

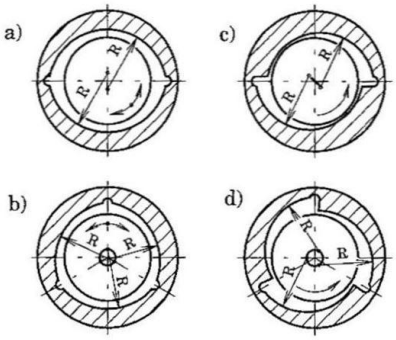
Ložiska, u kterých dochází k tzv. plošnému dotyku a tření. Tření je děleno na tři typy. Suché, mezné a tekutinové. Suché tření je charakteristické absencí maziva, u mezného tření dochází k částečnému dotyku třecích ploch a při tekutinovém tření se plochy vlivem velkého množství maziva nedotýkají. Patří sem hydrodynamická a hydrostatická ložiska. V praxi se pro uložení vřeten využívají pouze radiální kluzná ložiska. Z hlediska volby materiálů je důležité, aby ložisko mělo dobrou tepelnou vodivost, dobré smáčecí schopnosti a vlastnosti při nouzovém chodu. Tyto vlastnosti zajišťují co nejnižší opotřebení ložisek. Nejčastěji se pro výrobu kluzných ložisek používají slitiny neželezných kovů, slinované kovy nebo plasty.

Zdroj tlaku pro hydrostatické ložisko je umístěn vně ložiska. Výhodou hydrostatického ložiska je, že funguje na principu, který chytře reguluje tlak v závislosti na vyosení vřetene a může tedy snadno vřeteno vracet zpět do přesné polohy. Dalším benefitem je také vysoká tuhost a klidný chod. Mezi nevýhody lze zařadit komplikovaný systém přívodu oleje a náklady na provoz. Tento způsob uložení je aplikován například u velkých soustruhů. Na obrázku č. 16 je zobrazeno ložisko se čtyřmi mazacími kapsami a jedním čerpadlem. V praxi se počet čerpadel i kapes může lišit. [3], [10]



Obrázek 16 - Schéma hydrostatického ložiska [30]

U hydrodynamického ložiska tlak vzniká uvnitř a k požadovaným hodnotám tření dochází při běhu ložiska – při konkrétních hodnotách otáček. Při rozbíhání a dobíhání je tření nepříznivé a může způsobit zadření. Hydrodynamická ložiska mají značnou nevýhodu v tom, že se může měnit jejich osa otáčení v souvislosti se změnou zatížení. Dále se u nich mohou vyskytovat vyšší teploty. Mezi výhody pak patří jejich klid chodu (bez chvění) a relativně malý průměr. [3]



Obrázek 17 - Hydrodynamická ložiska [10]

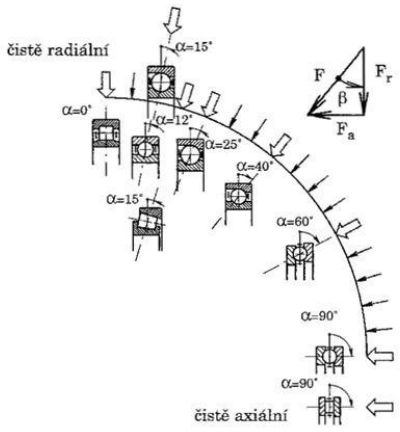
a), b) – ložiska pro oba smysly otáčení (symetrická)

c), d) – ložiska pro jeden smysl otáčení (nesymetrická)

Kontrola uložení kluzných ložisek spočívá hlavně v kontrole množství maziva a v kontrole teploty. [3]

5.2. Ložiska valivá

Valivá ložiska jsou charakteristická valivým třením a skládají se ze dvou kroužků (vnitřní a vnější), valivých elementů a klece. Oproti kluzným ložiskům mají menší náchylnost k přehřívání, jsou spolehlivá, mají vysokou tuhost a snadno se montují a demontují. Nevýhodou může být požadavek na přesnost výroby nebo špatné tlumení chvění. Existuje několik rovin, podle kterých jsou rozlišována. Podle zatížení na ložiska axiální a radiální. Podle tvaru valivých elementů na ložiska kuličková, kuželíková, válečková apod. A podle druhu dotyku na ložiska s bodovým nebo čárovým stykem. [3]



Obrázek 18 - Typy ložisek podle úhlu styku valivých těles [10]

Volbu uložení valivých ložisek ovlivňuje několik aspektů, jako velikost zatěžování, tepelné poměry v ložisku, tuhost uložení apod.

Pro výrobu kroužků a valivých elementů se nejčastěji využívají oceli třídy 14 upravené kalením a popuštěním na minimální tvrdost 59 HRC**.**

U valivých ložisek je důležitá jejich trvanlivost.

$$L_h = \frac{16666}{n} \cdot \left(\frac{C}{F_e}\right)^p$$

L_h - trvanlivost (hod)

F_e - ekvivalentní dynamické zatížení (N)

n - otáčky (1/min)

C - Dynamická únosnost (N)

p - 3 pro kuličková ložiska; 3,3 pro ložiska s čárovým stykem

Dynamická únosnost je získána z katalogu pro konkrétní ložisko. Ekvivalentní zatížení lze získat z následujícího vzorce.

$$F_e = X.F_r + Y.F_a$$

Pro zatížení čistě axiální je ekvivalentní zatížení rovno vztahu $Y.F_a$. Koeficienty X a Y můžeme najít rovněž v katalogu. [10]

5.2.1. Ložiska kuličková

Už z názvu plyne, že valivým elementem je těleso kulovitého tvaru. Jedná se o často užívaná ložiska ať už v jednořadém nebo dvouřadém provedení. Mohou přenášet jak axiální tak radiální zatížení (podle konstrukce). Existují i kuličková ložiska s kosoúhlým stykem (jednosměrná, obousměrná) pro přenos kombinovaného zatížení (radiální i axiální). Jsou uzpůsobena pro poměrně vysoká namáhání a otáčky. Konstrukčně patří k nejjednodušším a jsou nerozebíratelná. [31]

Obrázek 19 - Kuličkové ložisko [31]

5.2.2. Ložiska válečková

Na rozdíl od kuličkového ložiska se jedná o typ s čárovým stykem valivých elementů. Valivými elementy jsou válečky, existují také tzv. jehlová ložiska, která tvoří válečky malých průměrů. Jsou uzpůsobena pro přenášení radiálních zatížení. Stejně jako kuličková ložiska pracují při vysokých otáčkách. Dají se rozebírat a jejich další výhodou je odolnost vůči rázům. I tento typ ložisek se vyrábí ve dvouřadé variantě, která přenáší vysoká zatížení v radiálním směru, avšak jsou velice citlivá na dodržení souososti obou kroužků. U dvouřadého typu má vnitřní kroužek kuželovou díru. Stejně jako kuličková ložiska, tak i válečková jsou dodávána také v axiálním provedení. [16]

Obrázek 20 - Válečkové ložisko [31]

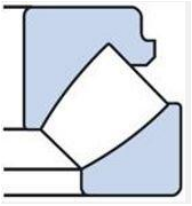
5.2.3. Ložiska kuželíková

Podobně jako u kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem mají konstruovanou tzv. oběžnou dráhu tak, aby elementy mohli zachycovat dohromady axiální zatížení s radiálním. Montují se po dvojících „proti sobě“, aby jedno ložisko zachycovalo síly v jednom a další v druhém směru. Existují ale také axiální kuželíková ložiska, která mají velmi dobré hodnoty tuhosti a jsou vhodná pro přenos vysokých axiálních zatížení. [31]

Obrázek 21 - Kuželíkové ložisko [31]

5.2.4. Ložiska axiální soudečková

Tento typ ložisek je konstruován tak, aby přenášel současně zatížení radiální s axiálními silami. Mezi nesporné výhody tohoto typu patří také možnost naklápění, díky které dokážou vyrovnávat průhyby hřídele a možnou nesouosost montáže hřídele a tělesa. [31]



Obrázek 22 - Axiální soudečkové ložisko [31]

5.3. Příklady předepnutí ložisek podle metodiky firmy SKF

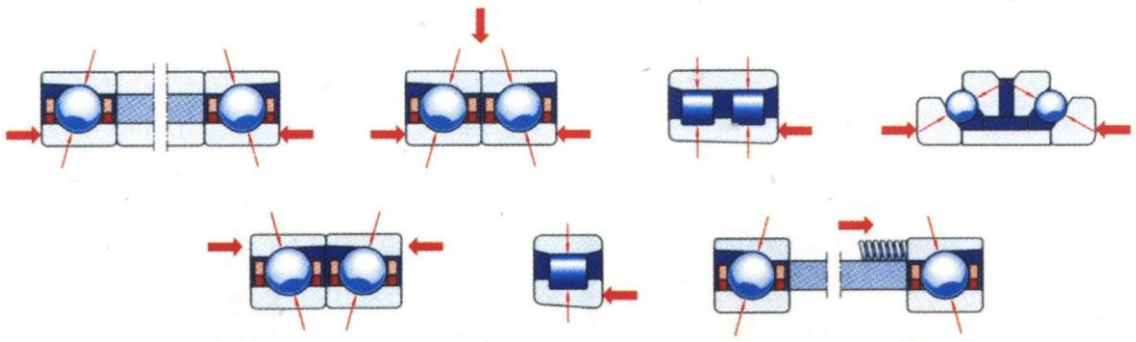
Ještě před zatížením ložisek a uložení systému obráběním, se ložiska takzvaně předepínají (zmenšuje se v nich vůle), za účelem zlepšení chodu a zejména zvýšení tuhosti uložení. [17]

Předpětí válečkových ložisek je pouze radiální. Daného předepnutí se dosahuje tak, že nasuneme vnitřní kroužek co nejvíce na hřídel (kuželový otvor) a opřeme o distanční kroužek. Čím více kroužek posuneme, tím větší předpětí kroužek vytvoří. [18]

Sadu kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem je možné instalovat buď do „O“ nebo „X“ polohy. Předpětí se pak stejně jako u válečkového ložiska vyvodí pohybem jednoho z kroužků v axiálním směru (pružinou, maticí apod). [19]

Kuželíková ložiska se montují jako sada uspořádaná do „O“ nebo do „X“ polohy.

„Když na jednotlivé ložisko působí radiální zatížení Fr, musí být použita axiální síla Fa (vnější), která je stejně velká jako je vyvolané zatížení, pokud má být plně využita základní únosnost. Jestliže je působící vnější síla menší, je počet valivých těles přenášejících zatížení nižší a únosnost ložiska je odpovídajícím způsobem snížena.“ [20]



Obrázek 23 - Předepínání ložisek [2]

6. Mazání vřetene a hrotu koníku

Způsob mazání ložisek lze rozdělit na tři základní principy viz níže. Účelů mazání je hned několik. Jedním z nejdůležitějších je snížení tření. Mazání pomáhá však ložiska i chladit a chránit proti korozi. [22]

mazání plastickým mazivem	mazání olejem
nízké teploty	vysoké teploty a extrémně nízké teploty
nízké frekvence otáčení (65% až 85% otáček, kterých lze dosáhnout při mazání olejem)	vysoké frekvence otáčení
ochrana proti vnikání nečistot (těsnění, kryty)	těsnění proti úniku oleje
dlouhodobý bezúdržbový provoz	ložiska jsou mazána z centrálního zdroje, který slouží k mazání dalších součástí stroje
slabé chlazení	odvod tepla cirkulací oleje
nemožné odtranění částic z plastického maziva	snadné odstranění částic z maziva filtrací oleje

Obrázek 24 - Druhy mazání [22]

6.1. Malé hroty a malá vřetena – mazání tukem

Tuk neboli plastické mazivo je používán do obvodových rychlostí cca 25 m/s a má několik nesporných výhod. Ložisko je díky němu téměř bezúdržbové, tuk také lépe zabraňuje znečišťování a přítomnosti vlhkosti. Tukové mazivo lze popsat jako olej, u kterého je zvýšena viskozita pomocí zahušťovadla. Někdy může být součástí tuku také nějaké aditivum za účelem prodloužení životnosti. Po vypršení intervalu životnosti maziva by mělo být ložisko domazáváno. Délka zmíněného intervalu je závislá na provozních podmínkách (frekvence otáčení apod.). V případě, že je interval příliš krátký a rychlosti otáčení příliš vysoké, volí se mazání olejem. [22]

6.1.1. Příklad z praxe

V dnešní době jsou v nabídce hroty, které obsahují mazivo aplikované výrobcem a není je většinou potřeba v rámci údržby mazat.

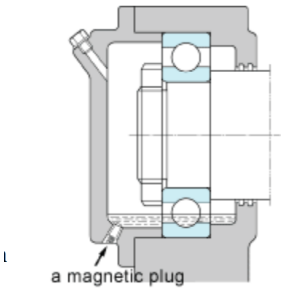
Otočný upínací hrot ŠKODA 24 3314 MORSE 3 SILVER LINE

Obrázek 25 - Příklad hrotu z praxe [23]

„Otočné hroty jsou dodávány namazané lithiovým mazacím tukem LV2-3. Je doporučeno hroty používané v extrémních podmínkách domazávat v intervalu 300 provozních hodin v množství do 1 g otvorem v hlavě pouzdra (zaslepen šroubem S1) a v množství do 0.5 g otvorem na konci kuželové stopky (zaslepen šroubem S2). Rozebírání otočných hrotů není doporučeno.“ [23]

6.2. Velké hroty – mazání lázní

V tomto případě je část ložiska ponořena do oleje a pomocí otáčení se mazivo dostává do všech částí. Hloubka lázně se liší pro horizontální a vertikální uspořádání (obecně by však hladina měla dosahovat středu spodního valivého tělesa). Používá se pro nízké až střední otáčky. V případě příliš velkých rychlostí dochází u olejů k nárůstům teploty a pěnění. [24]

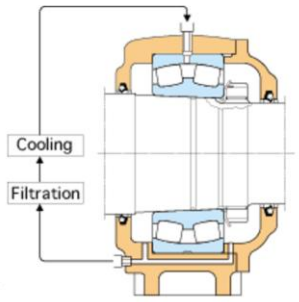


Obrázek 26 - Mazání lázní I. [24]

6.3. Velká vřetena – mazání cirkulací

Cirkulace oleje se využívá zejména v případech, kdy hrozí velké tepelné namáhání a při vysokých otáčkách.

Olej je v neustálém oběhu (čerpadlo). Z ložiska se dostává zpět do nádržky a po chlazení a odfiltrování je opět použit. Díky filtraci dosahuje olej zvýšené životnosti a není třeba jej vyměňovat tak často. [25]



Obrázek 27 - Mazání cirkulací I. [25]

7. Druhy těsnění

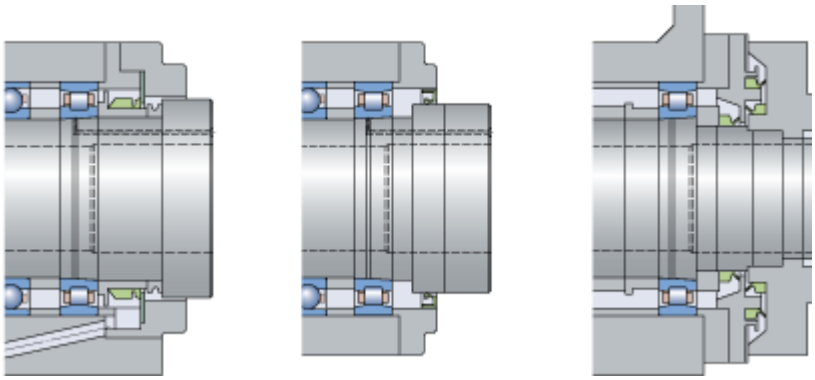
Těsnění ložisek a uložení mohou být vnitřní nebo vnější. Ke vnitřnímu se konstruktéři obracejí v případech nedostatku prostoru pro těsnění vnější. Hlavním účelem těsnění je zabránit vniknutí nečistot a vlhkosti do uložení a nedovolit únik maziv z uložení. [26]

7.1. Vnější těsnění

Jejich předností je vysoká účinnost v porovnání s těsněním vnitřním

7.1.1. Kontaktní těsnění

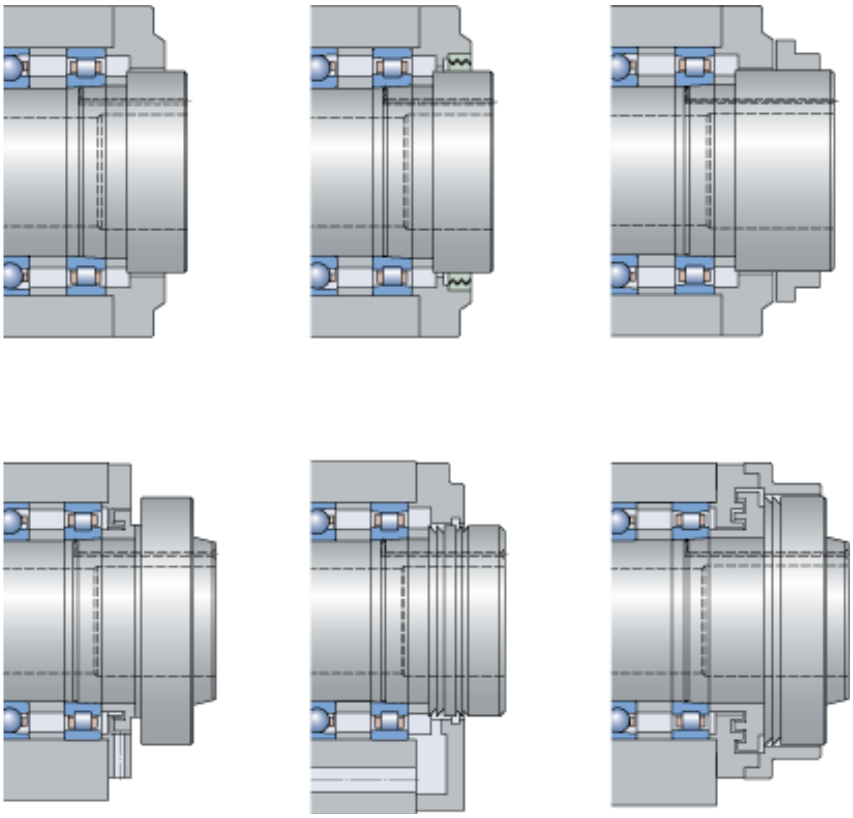
Vyznačuje se zvýšenou spolehlivostí. Co se týká účinnosti, ta je závislá na řadě faktorů hlavně kvalitativního charakteru. Toto těsnění je náchylné na přehřívání při vyšších otáčkách, a proto se s ním setkáme spíše u nízko otáčkových mechanismů. Patří sem těsnění jako plstěné kroužky nebo hřídelové kroužky (gufera). [26]



Obrázek 28 - Kontaktní těsnění SKF [26]

7.1.2. Bezkontaktní těsnění

Už z názvu je patrné, že oproti kontaktnímu typu nedochází ke vzniku tření a je tedy využitelné při vysokých otáčkách. Konstrukčně i z hlediska složitosti provedení je jich nespočetně druhů. Výrazně účinná jsou pak tzv. labyrintová těsnění, která se skládají z několika částí (stupňů). Základem je instalovat těsnění od největších částí po nejmenší ve směru dovnitř uložení. Někdy může být účinnost zvyšována tlakem vzduchu. [26]



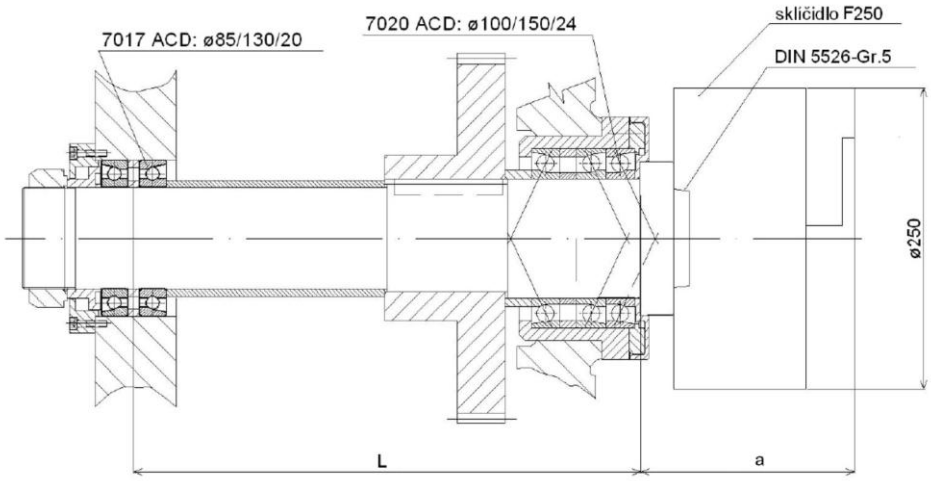
Obrázek 29 - Bezkontaktní těsnění SKF [26]

8. Řešení vlastní úlohy

Cílem vlastní úlohy je návrh otočné objímky hrotu koníka soustruhu SR1, odpružení pinoly koníka a návrh pohybového šroubu.

8.1. Analýza uložení vřeten

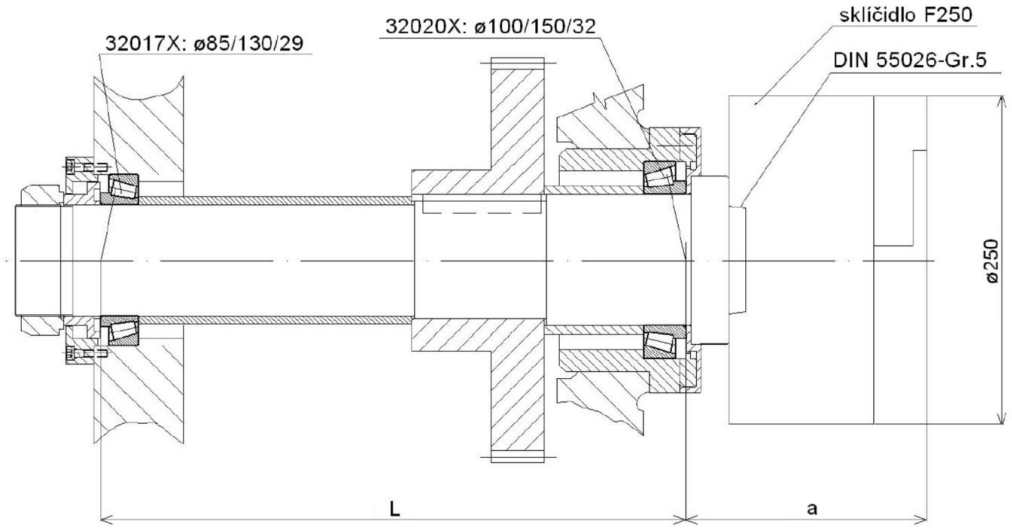
8.1.1. Varianta A



Obrázek 30 - Uložení vřetene Var. A [4]

V této aplikaci je vřeteno uloženo na kuličkových ložiskách s kosoúhlým stykem, která zachycují jak radiální, tak axiální síly.

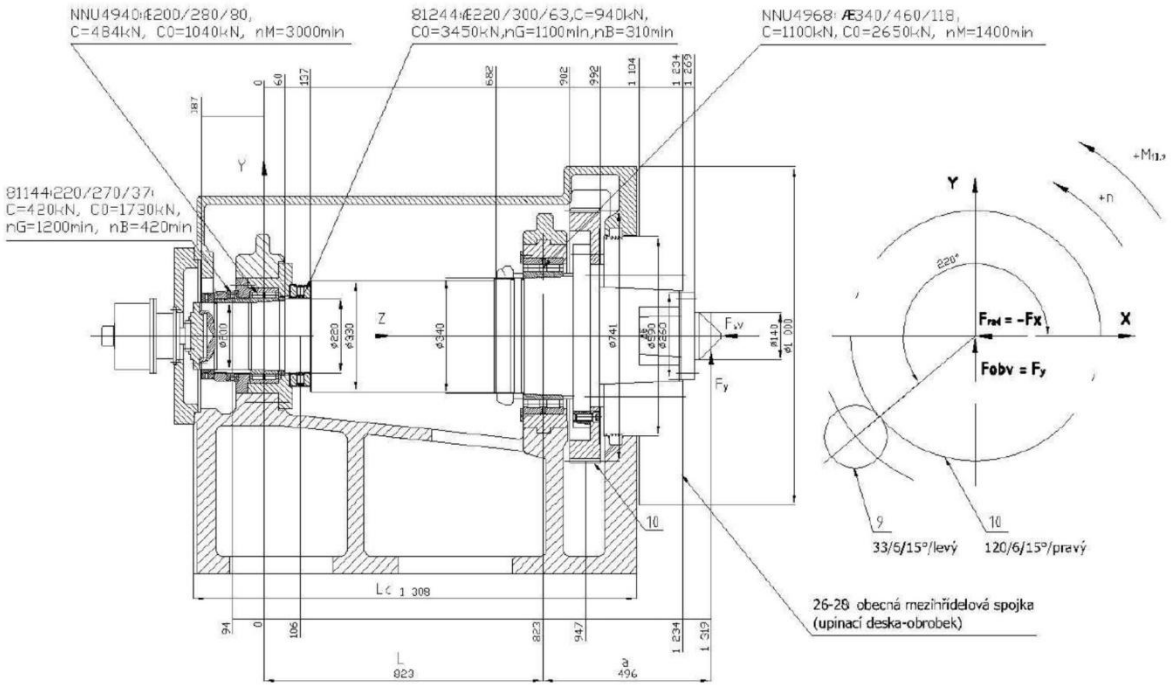
8.1.2. Varianta B



Obrázek 31 - Uložení vřetene Var. B [4]

Uložení vřetene u varianty B je provedeno pomocí kuželíkových ložisek, která rovněž zachycují síly v obou směrech, jak v axiálním tak radiálním.

8.1.3. Varianta C



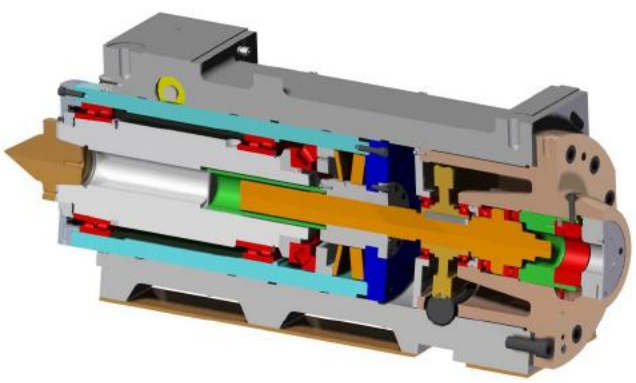
Obrázek 32 - Uložení vřetene Var. C [4]

Toto konstrukční provedení uložení vřetene je zajištěno radiálními a axiálními válečkovými ložisky. Jak už je výše v textu uvedeno, důraz je kladen zejména na přední, tedy radiální válečkové dvouřadé ložisko, které má zásadní vliv na radiální tuhost vřetene a tím tedy i na kvalitu obrábění.

8.2. Analýza uložení hrotů koníku

Při návrhu svršku koníku hraje nejdůležitější roli zvolení vhodných typů ložisek a pružiny pro odpružení pinoly. Zvolená pružina totiž zásadním způsobem ovlivňuje velikost síly předepnutí.

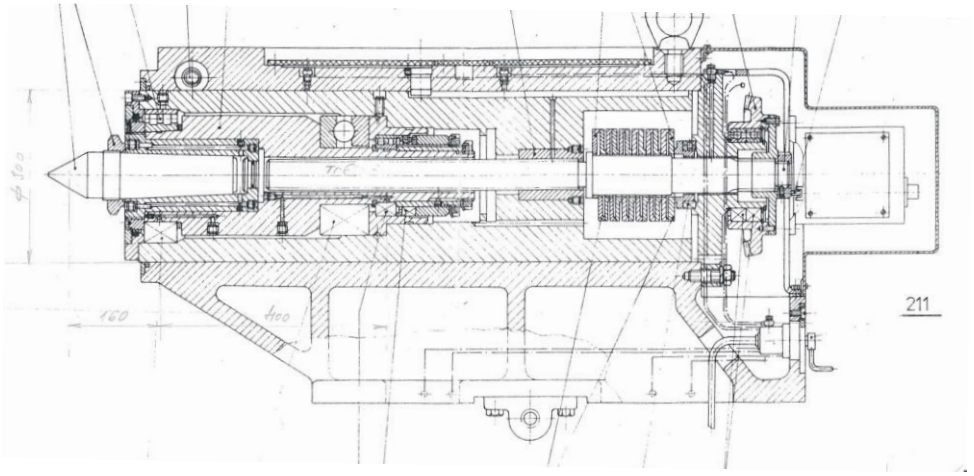
8.2.1. Varianta A



Obrázek 33 – Uložení hrotu koníku Var. A [*z dokumentace svršek koníka.doc*]

Tato konstrukční varianta využívá tzv. talířové pružiny. Jedná se o moderní variantu odpružení pinoly s vysokým zdvihem. Díky vyššímu zdvihu je pružina i přes malý prostor pro zástavbu dostatečně měkká a nezpůsobuje tak prudký nárůst sil. Slouží také k eliminaci dilatací obrobku. Hrotová objímka je zde uložena na dvou dvouřadých válečkových ložiskách, ta mají díky delšímu vnitřnímu kroužku možnost axiálního posuvu – rezerva. Tento způsob uložení má značné nevýhody, ložiska jsou totiž nestandardní a poměrně drahá. Prvně zmiňovaná ložiska jsou ještě doplněna axiálním ložiskem pro zachycení axiálních sil. Vstupní převod je zajištěn šnekovým soukolím. Toto provedení pochází od firmy ŠKODA MACHINE TOOL a.s. a je používáno u soustruhu SR1 od totožné společnosti. Rekonstrukcí svršku koníku pro tento stroj se zabývá vlastní úloha v následující části práce.

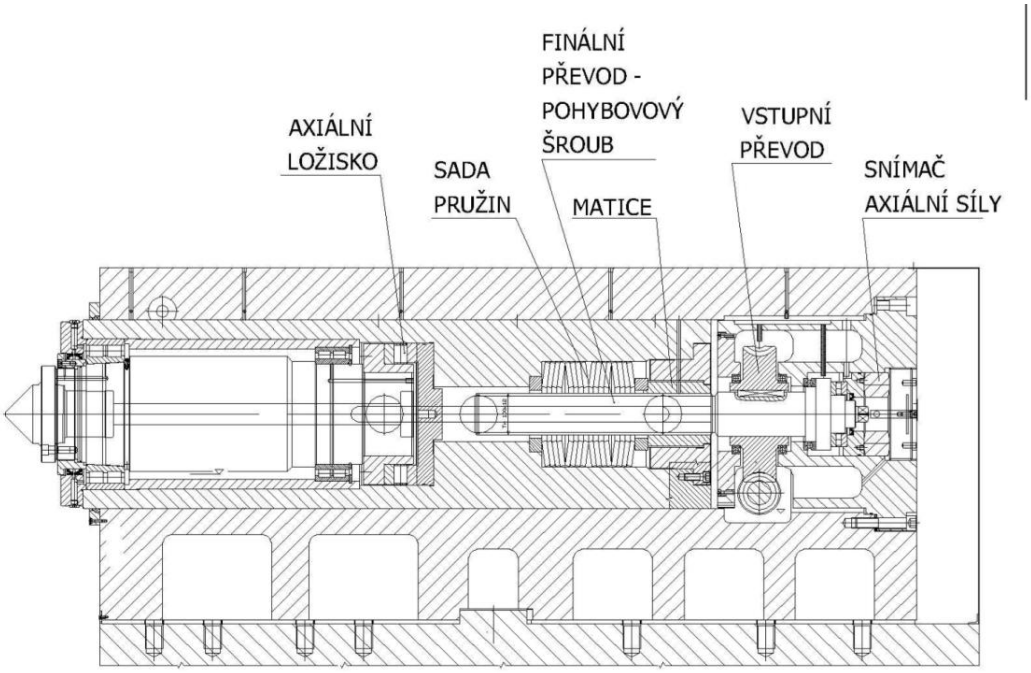
8.2.2. Varianta B



Obrázek 34 – Uložení hrotu koníku Var. B [*z dokumentace sun125.pdf*]

Tento návrh se z hlediska konstrukce odlišuje od předchozího v několika případech. K odpružení nejsou využity pružiny talířové, ale již poněkud zastaralé deskové pružiny. Ty potřebují k dosažení srovnatelných vlastností s talířovými pružinami mnohem větší prostor pro zástavbu. Vstupní převod zajišťuje kuželové ozubení a hrot je nalisován do dlouhé dutiny. Přední ložisko pro uložení hrotové objímky je radiální válečkové dvouřadé ložisko. Dalším ložiskem je zde kuličkové axiální ložisko a pro zachycení sil v obou směrech slouží válečkové axiálně radiální ložisko. Návrh pochází ze stroje SUN 125.

8.2.3. Varianta C



Obrázek 35 - Uložení hrotu koníku Var. C [9]

Poslední konstrukční varianta uložení svršku koníka využívá, stejně jako první uvedená, talířový typ odpružení. Vstupní převod zajišťuje šnekový převod a hrotová objímka je uložena na dvou dvouřadých válečkových radiálních ložiskách. Tato ložiska jsou ještě doplněna o axiální válečkové ložisko pro zachycení sil v axiálním směru. Jedná se o konstrukci soustruhu SR3 od společnosti ŠKODA MACHINE TOOL pro firmu BREMAN MACHINERY a.s.

Ve všech třech popsaných konstrukcích je nainstalován snímač sil. Tento snímač je tzv. tenzometrický. Výsledné údaje o silách jsou pak elektronicky převedeny na hlavní panel stroje, který bývá umístěn většinou na suportu.

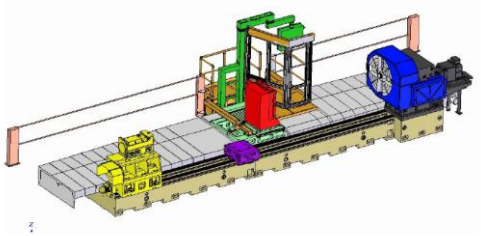
8.3. Zadané parametry vlastní úlohy

Max. svislá složka řezné síly	F_M	kN	100
Max. tíha obrobku	F_{QM}	kN	250
Výkon hlavního pohonu	P	kW	50
Účinnost 1. stupně	$\eta 1$		0,9
Omezný moment	M_L	kNm	25
Max. otáčky	nM	min^{-1}	500
Doba běhu celkem	Tc	hod	38000
Průměr pinoly		mm	320
Průměr hrotu		mm	100
Vrcholový kužel hrotu		°	90

Tabulka 1 - Zadané parametry

8.4. Popis stroje SR1

Jedná se o zařízení typu hrotový soustruh. Slouží pro obrábění hřídelí a přírub. Mezi příslušenství k tomuto zařízení patří např. vrtací tyče, frézovací zařízení, deskové suporty apod. Základ, na kterém je stroj postaven, tvoří deska z betonu. Na této desce můžou být ustaveny i další části, jako např. přívod energií apod.



Obrázek 36 - Hrotový soustruh SR1[*z dokumentace svršek koníka.doc*]

Pracovní rozsah		
Oběžný průměr nad suportem	mm	1850
Oběžný průběr nad ložem	mm	2150
Výška hrotů nad ložem (koníkové)	mm	1200
Maximální točná délka	mm	8000
Hmotnost obrobku rovnoměrně mezi hroty	t	25

Tabulka 2 - Pracovní rozsah stroje SR1

Vřeteník		
Max. moment na upínací desce	kNm	25
Rozsah otáček vřetena (upínací desky) min.	Ot/min	1
Rozsah otáček vřetena (upínací desky) max.	Ot/min	500
Počet otáčkových stupňů		3

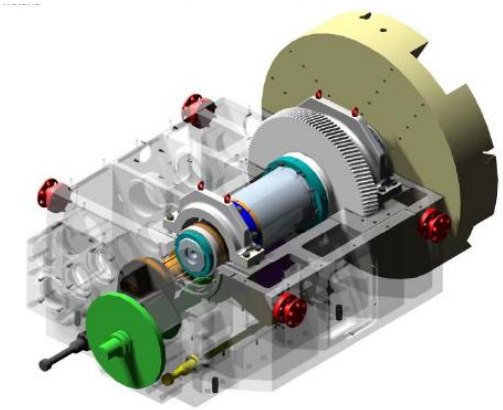
Tabulka 3 - Technické parametry vřeteníku

Koník		
Průměr pinoly	mm	320
Průměr hrotu	mm	100
Vrcholový úhel hrotu	°	90
Výsuv pinoly	mm	250
Rychlost posuvu koníku po loži	mm/min	2000

Tabulka 4 - Technické parametry koníku

8.4.1. Vřeteno stroje SR1

„Vřeteno je uloženo v tělese vřeteníku v přesných dvouřadých válečkových ložiskách. Také axiální ložiska jsou válečková se zvýšenou přesností. Axiální uložení je předepnuté. Vpředu je vřeteno ukončeno kuželem, na kterém je snímatelně připevněna upínací deska. Vnitřní kuželová plocha vřetena slouží jako centráž pro upínací hrot, který je 12 šrouby přišroubován na čelo vřetena. Pro vytažení hrotu z kuželové dutiny se použijí čtyři z těchto šroubů, pro které jsou v přírubě odtlačovací závity. Na konci vřetena je umístěn snímač otáček vřetena.“ [*návody k obsluze ŠMT z dokumentace Svršek koníka.doc*]



Obrázek 37 - Vřeteno stroje SR1 [*z dokumentace svršek koníka.doc*]

8.5. Návrh hrotové objímky

Pro návrh hrotové objímky je využit program Zatěžovací stavy vřeteníku a koníku soustruhu, který je vytvořen v prostředí programu MathCAD Prime. Hodnoty na výstupu z programu budou použity jako vstupy pro program konik.W10 v prostředí KISSSoft.

Základními parametry pro program Zatěžovací stavy vřeteníku a koníku soustruhu jsou jak zadané parametry (Tabulka 1), tak další hodnoty plynoucí například z pohonu a rozměrů stroje.

8.5.1. Základní parametry

$F_M := 100\ \text{kN}$	max. obvodová složka řezné síly
$F_{QM} := -250\ \text{kN}$	maximální tíha obrobku
$P := 50\ \text{kW}$	výkon motoru
$\eta_1 := 0{,}9$	účinnost 1. st.
$M_L := 250\ \text{kNm}$	omezný moment vřetene
$n_L := \frac{P\,.\eta_1}{2\,.\pi\,.M_L} = 17.189\ \frac{1}{\text{min}}$	otáčky příslušné omeznému momentu
$n_M := 500\ \frac{1}{\text{min}}$	maximální otáčky vřetene
$D_{FM} := \frac{2\,.M_L}{F_M} = 0{,}5\ \text{m}$	max. obráběný průměr při max. řezné síle F_M
$D := 1850\ \text{mm}$	oběžný průměr nad suportem
$T_C := 38000\ \text{hod.}$	celková doba běhu
$\tau_{1c} := 0{,}35$	poměr T_1/T_C
$T_1 := \tau_{1c}.T_C = (1{,}33\,.10^4)\ \text{hod.}$	doba běhu při obrábění
$T_2 := T_C - T_1 = (2{,}47\,.10^4)\ \text{hod.}$	doba běhu bez obrábění
Finální převod	
$z_9 := 23$	počet zubů pastorku
m := 6 mm	modul ozubení
$\beta := 15°$	sklon zubů
$z_{10} := 114$	počet zubů oz. Kola

8.5.2. Postup výpočtů v programu Zatěžovací stavy vřeteníku a koníku soustruhu

Ze základních parametrů začne program počítat zátěžná spektra. Zátěžnými spektry jsou spektrum zatížení tíhou obrobku, spektrum řezné síly, momentu, otáček a výkonu.

Výslednou hodnotou výpočtu spektra zatížení tíhou obrobku je vektor tíhy F_{QD} o pěti složkách.

Spektrum řezné síly je přímo závislé na počtu a druhu operací, které jsou při obrábění prováděny. Jedná se o tyto operace:

- 1. hrubování
- zapichování (opačný smysl)
- dokončování
- 2. Hrubování
- Letmé soustružení.

Výsledkem spektra řezné síly je vektor řezné síly F^T, vektory radiálních $F_R{}^T$ a axiálních $F_A{}^T$ složek řezné síly. Podobný je také postup pro výpočet spektra momentu, otáček a výkonu. Jednotlivé hodnoty jsou rovněž ovlivňovány typy prováděných operací.

Další fází je vypočítání zatěžovacích stavů působících na vřeteno stroje z hodnot získaných při výpočtech zátěžných spekter. Zatěžovací stavy jsou zjišťovány ve směrech os X, Y a Z. Ve všech těchto směrech jsou opět získány vektory, tentokrát o devíti složkách. Počet složek odpovídá počtu operací, u kterých se odlišuje stav při obrábění a bez obrábění. Nakonec je proveden výpočet výslednice $F_v{}^T$ v rovině XZ.

Výpočet pokračuje určením bezpečného axiálního předpětí na hrotu koníku $F_{aK0}{}^T$ pro jednotlivé zatěžovací stavy. Počet těchto stavů je ponížen o hodnotu letmého soustružení.

K operacím, které jsou rozděleny na stavy při obrábění, a bez obrábění je následně vypočítána doba jejich běhu. Vydělením doby běhu a celkové doby běhu stroje získáme tzv. spektrum poměrné doby běhu q_T.

8.5.3. Souhrn získaných vstupů pro program konik.W10 v prostředí KISSSoft

Mezi hodnoty, které jsou využity jako vstupní pro program konik.W10 patří:

Spektrum otáček pro počet stavů, který je ponížen o letmé soustružení

$$n_{81} = 17{,}189\ \frac{1}{min}$$

Celková doba běhu, která je ponížena o hodnotu letmého soustružení

$$T_{Kc} = 36100 \text{ hod.}$$

Zatěžovací stav F_{xK}^{T}, který odpovídá stavu působícímu na vřeteno ve směru X

$$F_{xK}^{T} = [-60\ 0\ -30\ 0\ 0\ 0\ -4{,}8\ 0]\ kN$$

Zatěžovací stav F_{zK}^{T}, který odpovídá stavu působícímu na vřeteno ve směru Z

$$F_{zK}^{T} = [50\ -50\ -175\ -125\ -125\ -25\ -29{,}5\ -37{,}5]\ kN$$

Bezpečné axiální předpětí na hrotu koníku F_{aK}^{T}

$$F_{aK}^{T} = [78{,}102\ 78{,}102\ 177{,}553\ 177{,}553\ 125\ 50\ 37{,}5\ 37{,}5]\ kN$$

Spektrum poměrné doby běhu q_{TK}^{T}

$$q_{TK}^{T} = [0{,}074\ 0{,}137\ 0{,}037\ 0{,}068\ 0{,}263\ 0{,}105\ 0{,}111\ 0{,}205]$$

Spektrum poměrných otáček q_{n8K}^{T}

$$q_{n8K}^{T} = [1\ 1\ -1\ -1\ 5{,}818\ 29{,}089\ 8\ 8]$$

Smysl otáčení je pak po směru hodinových ručiček

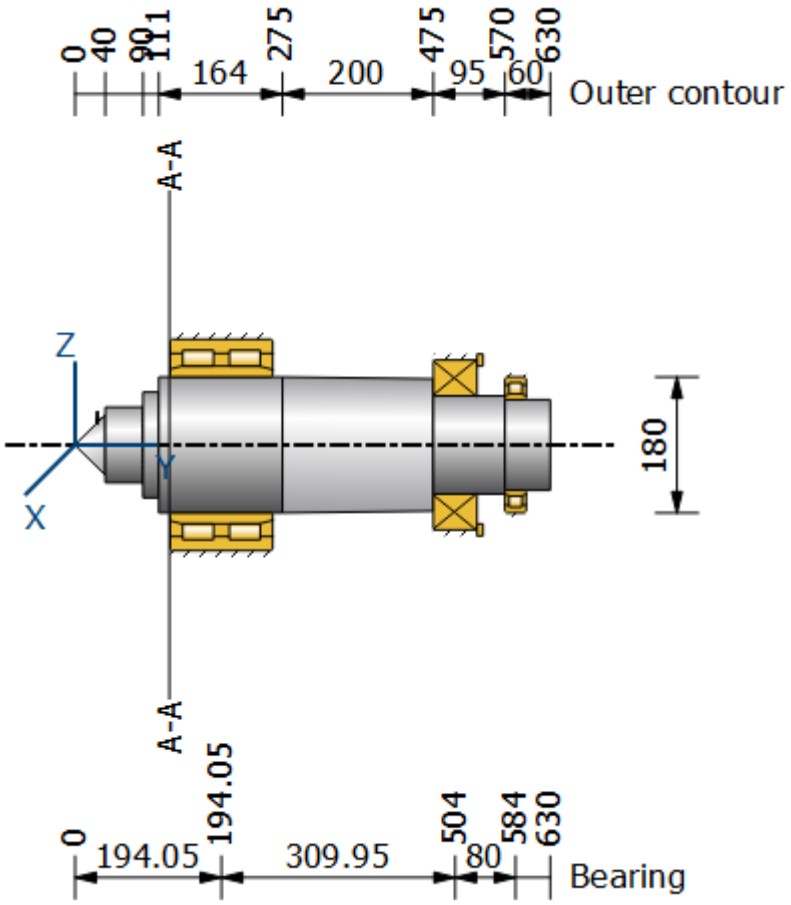
8.5.4. Návrh uložení programem konik.W10 v prostředí KISSSoft

V prostředí programu KISSSoft se provádí:

Návrh rozměrů hřídele a jeho pevnostní výpočet – výstupem jsou hodnoty statické a únavové bezpečnosti, dále deformace hřídele.

Návrh a výpočet ložisek – výstupem je statická bezpečnost a životnost ložisek, dále hodnota teplotně stabilních otáček pro vybrané stavy ze spektra zatížení.

Hrotová objímka bude vyrobena z materiálu 12050. Nákružek, ve kterém je zasunut samotný hrot, bude vyroben z kaleného materiálu 14 220.



Obrázek 38 - Navržené uložení v KISSSoft

Ložisko v přední části hrotu je válečkové dvouřadé ložisko SKF NNCF 5036 CV. Následující ložisko je soudečkový axiál SKF *29326 E. A třetím ložiskem uložení je jednořadé válečkové ložisko SKF NJ 1024 ML.

Po vložení výše uvedených vstupů do programu dojde k provedení výpočtu, jehož výsledkem je analýza navrženého uložení.

Statická a únavová bezpečnost uložení

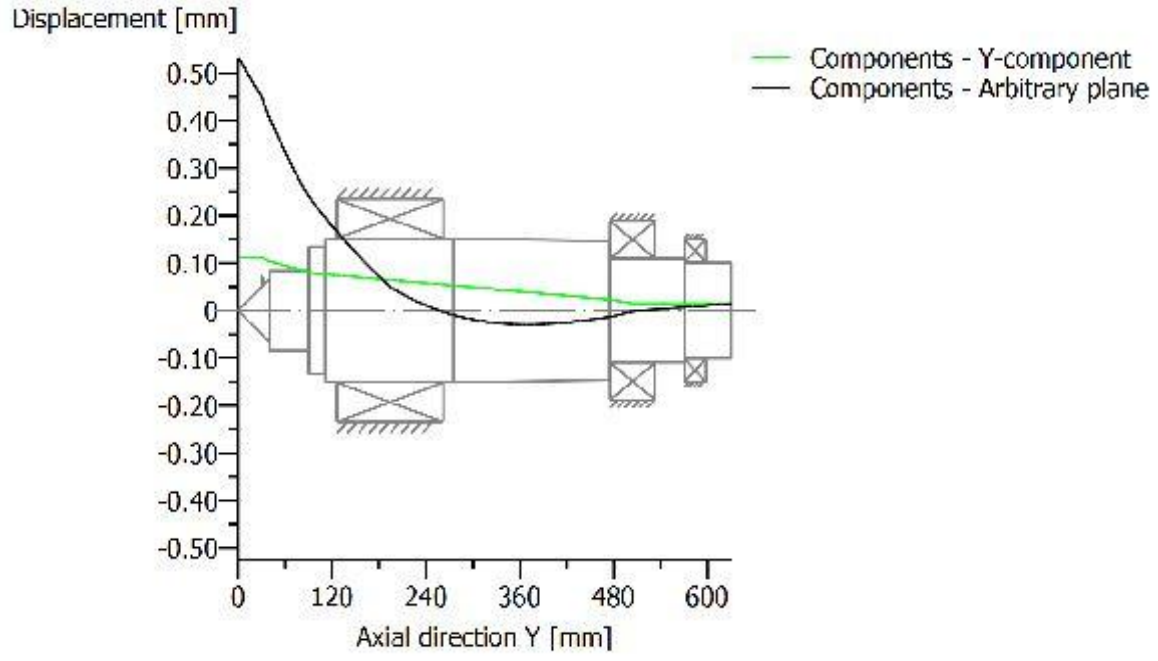
Z této analýzy plyne únavová a statická bezpečnost v řezu A - A. Tyto dvě hodnoty by měly dosahovat vyšších hodnot než 5.

Present safety for endurance limit:				
Equivalent mean stress (N/mm²)	[σmV]		-3.489	
Equivalent mean stress (N/mm²)	[τmV]		0.000	
Fatigue limit of part (N/mm²)	[σWK]	185.661	188.673	116.574
Influence coefficient of mean stress sensitivity.				
	[ψσK]	0.226	0.230	0.131
Permissible amplitude (N/mm²)	[σADK]	186.448	189.476	116.574
Permissible amplitude (N/mm²)	[σANK]	186.448	189.476	116.574
Safety against fatigue	[S]		5.741	
Result (%)	[S/Smin]		478.4	
Present safety for proof against exceed of yield point:				
Static notch sensitivity factor	[K2F]	1.000	1.200	1.200
Increase coefficient	[γF]	1.000	1.000	1.000
Safety yield stress	[S]		10.409	
Result (%)	[S/Smin]		867.5	

Obrázek 39 - Výsledky bezpečností

Z obrázku č. 39 je patrné, že hodnoty obou bezpečností jsou vyšší než 5 a jsou dostačující.

Deformace hřídele



Obrázek 40 - Deformace hrotové objímky

Na obrázku č. 40 je znázorněna deformace hrotové objímky s hrotem, která byla vygenerována programem konik.W10.

Statická bezpečnost ložisek a životnost ložisek

Výsledky kontroly statické bezpečnosti a životnosti ložisek jsou následující.

Shaft 'Shaft 1' Rolling bearing 'Roller bearing 1'			
Position (Y-coordinate)	[y]	194.05	mm
Life modification factor for reliability	[a_1]	1.000	
Nominal bearing service life	[L_{nh}]	351303.76	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm²/s
Static safety factor	[S_0]	9.21	

Obrázek 41 - Servisní cyklus válečkového dvouřadého ložiska

Shaft 'Shaft 1' Rolling bearing 'Roller bearing 2'			
Position (Y-coordinate)	[y]	584.00	mm
Life modification factor for reliability	[a_1]	1.000	
Nominal bearing service life	[L_{nh}]	1000000.00	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm²/s
Static safety factor	[S_0]	9999.99	

Obrázek 42 - Servisní cyklus válečkového jednořadého ložiska

Shaft 'Shaft 1' Rolling bearing 'Roller bearing_ax'			
Position (Y-coordinate)	[y]	504.00	mm
Life modification factor for reliability	[a_1]	1.000	
Nominal bearing service life	[L_{nh}]	61252.19	h
Operating viscosity	[v]	48.88	mm²/s
Static safety factor	[S_0]	16.72	

Obrázek 43 - Servisní cyklus soudečkového axiálu

Z výsledků je patrné, že ani jedna z hodnot servisního cyklu není nižší než požadovaná hodnota L_h = 38000 hod.

Teplotně stabilní otáčky

Výpočty sloužící pro zjištění, zda skutečné otáčky hrotu nepřesahují teplotně stabilní otáčky ložisek u vybraných stavů.

Obrázek 44 - Způsob mazání I

Obrázek 45 - Způsob mazání II

STAV	SPEED FACTOR	OTÁČKY HROTU [ot/min]
1	1	17,189
2	1	17,189
3	-1	-17,189
4	-1	-17,189
5	5,818	100
6	28,0890	500
7	8	137,51
8	8	137,51
Jm. otáčky [ot/min]	17,189	

Tabulka 5 - Zatěžovací stavy

Results :

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing 1'

Reference speed 3942.07 [1/min]

Thermally safe operating speed 1126.03 [1/min]

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing 2'

Reference speed 0.00 [1/min]

Thermally safe operating speed 0.00 [1/min]

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing_ax'

Reference speed 2653.55 [1/min]

Thermally safe operating speed 670.51 [1/min]

Obrázek 46 - Teplotně stabilní otáčky pro stav 4

Results :

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing 1'

Reference speed	3942.07	[1/min]
Thermally safe operating speed	1126.03	[1/min]

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing 2'

Reference speed	0.00	[1/min]
Thermally safe operating speed	0.00	[1/min]

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing_ax'

Reference speed	2653.55	[1/min]
Thermally safe operating speed	884.30	[1/min]

Obrázek 47 - Teplotně stabilní otáčky pro stav 5

Results :

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing 1'

Reference speed	3942.07	[1/min]
Thermally safe operating speed	2252.06	[1/min]

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing 2'

Reference speed	0.00	[1/min]
Thermally safe operating speed	0.00	[1/min]

Shaft 'Shaft 1', Rolling bearing 'Roller bearing_ax'

Reference speed	2653.55	[1/min]
Thermally safe operating speed	1515.94	[1/min]

Obrázek 48 - Teplotně stabilní otáčky pro stav 6

Otáčky stavů 4, 5 a 6 jsou nižší než teplotně stabilní otáčky ložisek. Pro jednořadé válečkové ložisko program postrádá data pro vyhodnocení této analýzy.

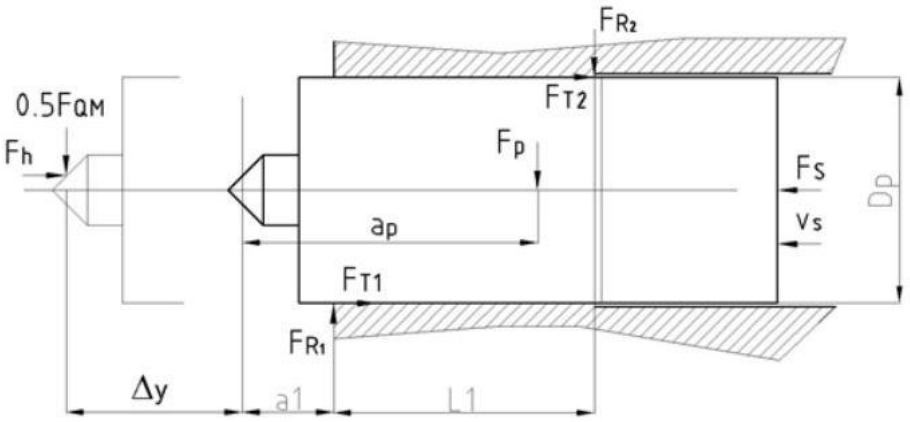
8.6. Návrh odpružení pinoly

Důvodem k odpružení pinoly je eliminace dilatací během obrábění. Zejména rozměrné obrobky mohou měnit během obrábění své rozměry až v řádech mm. Dalším důvodem pro odpružení pinoly je dosažení požadovaného předpětí. Vstupem pro návrh odpružení je zejména maximální posuvová síla F_S. Důležitým faktorem je také prostor, který máme pro zástavbu pružiny k dispozici a v neposlední řadě tuhost odpružení.

8.6.1. Výpočet posuvové síly

Hodnotu posuvové síly nám poskytuje program Zatěžovací stavy vřeteníku a koníku soustruhu (MathCAD).

$$F_S = F_Q . f_v . \frac{L_1+2(\Delta y+a_1)}{2L_1} + F_p . f_v . \frac{L_1+2(\Delta y+a_1-a_p)}{L_1} + F_h = 224{,}345 \text{ kN}$$



Obrázek 49 - Návrh odpružení

F_Q – tíha obrobku upnutého mezi hroty

f_V – součinitel tření ve vedení pinoly

L_1 – délka vedení pinoly

Δy – výsuv pinoly

a_1 – min. vyložení síly 0,6FQ od kraje vedení

F_p – tíha pinoly

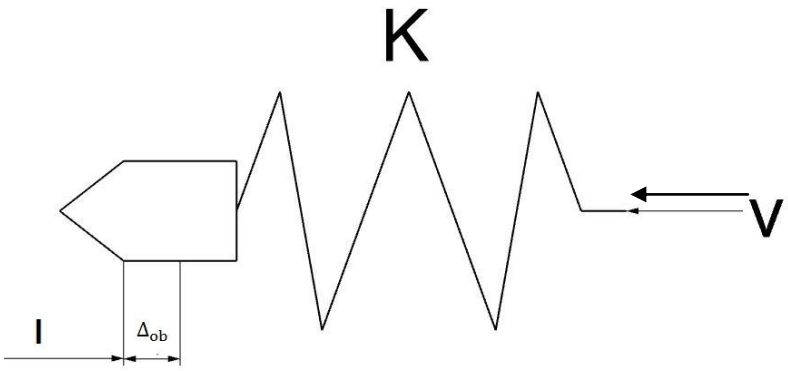
a_p – souřadnice síly F_p od působiště síly 0,5 F_Q

F_h – maximální axiální síla na hrotu

8.6.2. Výpočet tuhosti

Požadavkem také je, aby nárůst síly během předepínání, byl co nejmenší, viz vzorec.

$$\Delta F = k \,.\, \Delta_{ob} \; [N]$$



Obrázek 50 - Schéma pro tuhost odpružení

ΔF – nárůst síly

k – tuhost pružiny

Δ_{ob} – dilatace obrobku

l – délka obrobku

Ze vztahu vyplývá, že nárůst síly a tedy i výsledný návrh odpružení významně ovlivňuje tuhost pružiny. Z tohoto důvodu je nutné pružinu navrhnout tak, aby byla co nejměkčí.

Požadovanou tuhost, které by mělo být dosaženo, nám opět určí program Zatěžovací stavy vřeteníku a koníku soustruhu (MathCAD).

$$k_{sp} = \frac{\Delta F}{\Delta_{ob}} = 22{,}434 \; \frac{kN}{mm}$$

k_{sp} – předpokládaná tuhost svazku pružin

ΔF - nárůst síly působící na svazek pružin

Δ_{ob} - dilatace obrobku

8.6.3. Souhrn výstupů pro návrh

Maximální posuvová síla

$$F_S = \; 224{,}345 \; kN$$

Předpokládaná tuhost svazku pružin

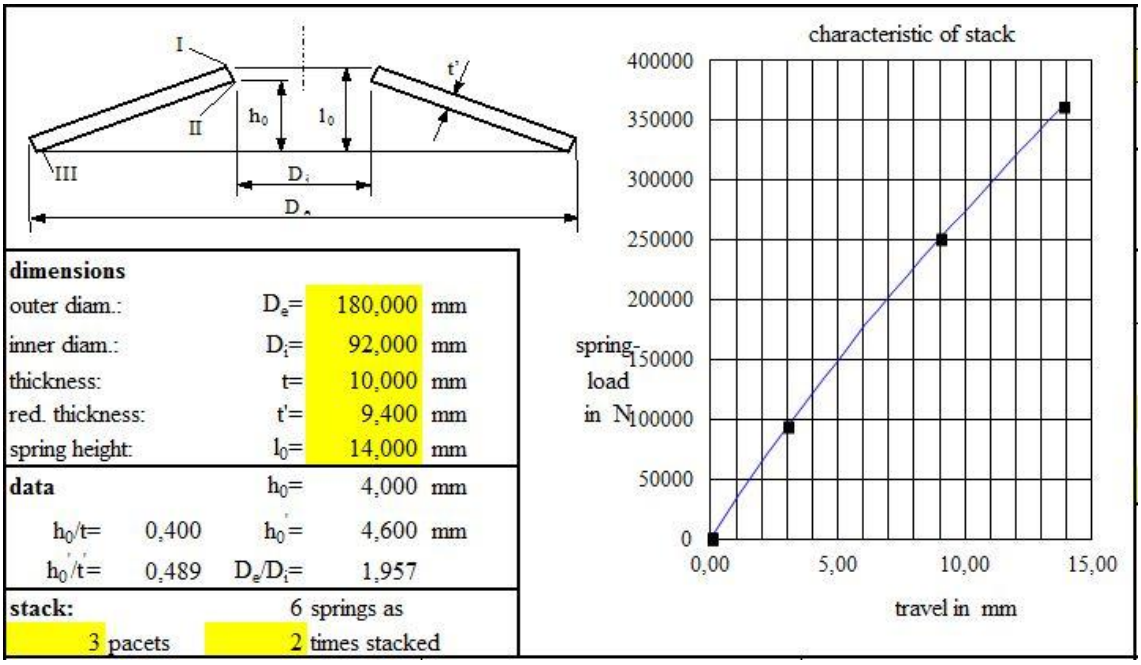
$$k_{sp} = 22{,}434 \; \frac{kN}{mm}$$

Prostor pro zástavbu

8.6.4. Výběr pružiny

Svazek pružin je vybrán pomocí programu společnosti MUBEA – Disc Spring Calculation Program 04.

Zvoleným modelem je pružina č. 19 0014 a celkového odpružení bude dosaženo pomocí 3 svazků po 2 pružinách. Materiál pružiny je ocel 50 CrV4.



dimensions				
outer diam.:		D_e=	180,000	mm
inner diam.:		D_i=	92,000	mm
thickness:		t=	10,000	mm
red. thickness:		t'=	9,400	mm
spring height:		l_0=	14,000	mm
data		h_0=	4,000	mm
h_0/t=	0,400	h_0'=	4,600	mm
h_0'/t=	0,489	D_e/D_i=	1,957	
stack:		6 springs as		
3 pacets		2 times stacked		

Obrázek 51 - Rozměrové parametry odpružení

Síla pro zatížení svazku na 65% je rovna 251 kN.

	load points of one spring				calculated stresses				load points of stack		
s/h_0'	load-point	height l mm	travel s mm	load F N	σ_I	σ_{II}	σ_{III}	σ_{OM} MPa	height l mm	travel s mm	load F N
0%	0	14,000							70,200		
22%	1	13,000	1,000	46850	-796	327	437	-394	67,200	3,000	93700
65%	2	11,000	3,000	125417	-2217	1153	1201	-1182	61,200	9,000	250835
	Flat	**9,400**	**4,600**	**180562**	**-3188**	**1979**	**1707**	**-1813**	**56,400**	**13,800**	**361125**

Obrázek 52 - Silové parametry odpružení

load points of one spring			calculated stresses				load points of stack			
height l	travel s	load F	σ_I	σ_{II}	σ_{III}	σ_{OM}	height l	travel s	load F	stiffness
mm	mm	N	MPa				mm	mm	N	N/mm
14,00	0,000	0	0	0	0	0	70,20	0,000	0	33430
13,82	0,184	9108	-151	56	83	-73	69,65	0,552	18216	32576
13,63	0,368	17985	-300	114	165	-145	69,10	1,104	35970	31757
13,45	0,552	26641	-446	174	246	-218	68,54	1,656	53282	30972
13,26	0,736	35085	-591	235	325	-290	67,99	2,208	70170	30223
13,08	0,920	43327	-734	299	403	-363	67,44	2,760	86654	29509
12,90	1,104	51377	-876	365	480	-435	66,89	3,312	102754	28829
12,71	1,288	59244	-1015	432	556	-508	66,34	3,864	118488	28184
12,53	1,472	66938	-1152	502	630	-580	65,78	4,416	133876	27574
12,34	1,656	74468	-1287	573	704	-653	65,23	4,968	148936	26999
12,16	1,840	81845	-1421	646	775	-725	64,68	5,520	163689	26459
11,98	2,024	89077	-1552	722	846	-798	64,13	6,072	178153	25954
11,79	2,208	96174	-1681	799	916	-870	63,58	6,624	192348	25483
11,61	2,392	103147	-1809	878	984	-943	63,02	7,176	206293	25047
11,42	2,576	110003	-1935	959	1051	-1015	62,47	7,728	220007	24646
11,24	2,760	116755	-2058	1042	1117	-1088	61,92	8,280	233509	24281
11,06	2,944	123410	-2180	1127	1181	-1160	61,37	8,832	246819	23949
10,87	3,128	129978	-2300	1214	1245	-1233	60,82	9,384	259956	23653
10,69	3,312	136469	-2418	1303	1307	-1305	60,26	9,936	272939	23392
10,50	3,496	142893	-2534	1393	1368	-1378	59,71	10,488	285787	23165
10,32	3,680	149260	-2648	1486	1427	-1450	59,16	11,040	298519	22974
10,14	3,864	155578	-2760	1581	1486	-1523	58,61	11,592	311156	22817
9,95	4,048	161858	-2870	1677	1543	-1595	58,06	12,144	323715	22695
9,77	4,232	168109	-2978	1776	1599	-1668	57,50	12,696	336217	22608
9,58	4,416	174340	-3084	1876	1653	-1740	56,95	13,248	348681	22555
9,40	4,600	180562	-3188	1979	1707	-1813	56,40	13,800	361125	22538
stack:			6 springs as		3 pacets		2 times stacked			

Obrázek 53 - Silové parametry odpružení II.

Na obrázku číslo 53 je vyobrazeno rozmezí, do kterého patří hodnota posuvové síly, která byla vypočítána v předchozích krocích. Z obrázku vyplývá, že požadované síly pro předepnutí (posuvové síly) je dosaženo v okamžiku, kdy je svazek pružin (stack) stlačen o 7,728 – 8,280 mm. Tuhost (stiffness) odpovídající tomuto stlačení je pak 24 – 25 $\frac{kN}{mm}$, což je hodnota, která se přibližuje již vypočítané předpokládané tuhosti svazku pružin. To znamená, že při takovémto stlačení je dosaženo téměř ideální hodnoty tuhosti a nárůst síly tedy nebude příliš velký. Maximální, tedy 100% stlačení svazku je stlačení o 13,8 mm.

8.7. Návrh pohybového šroubu

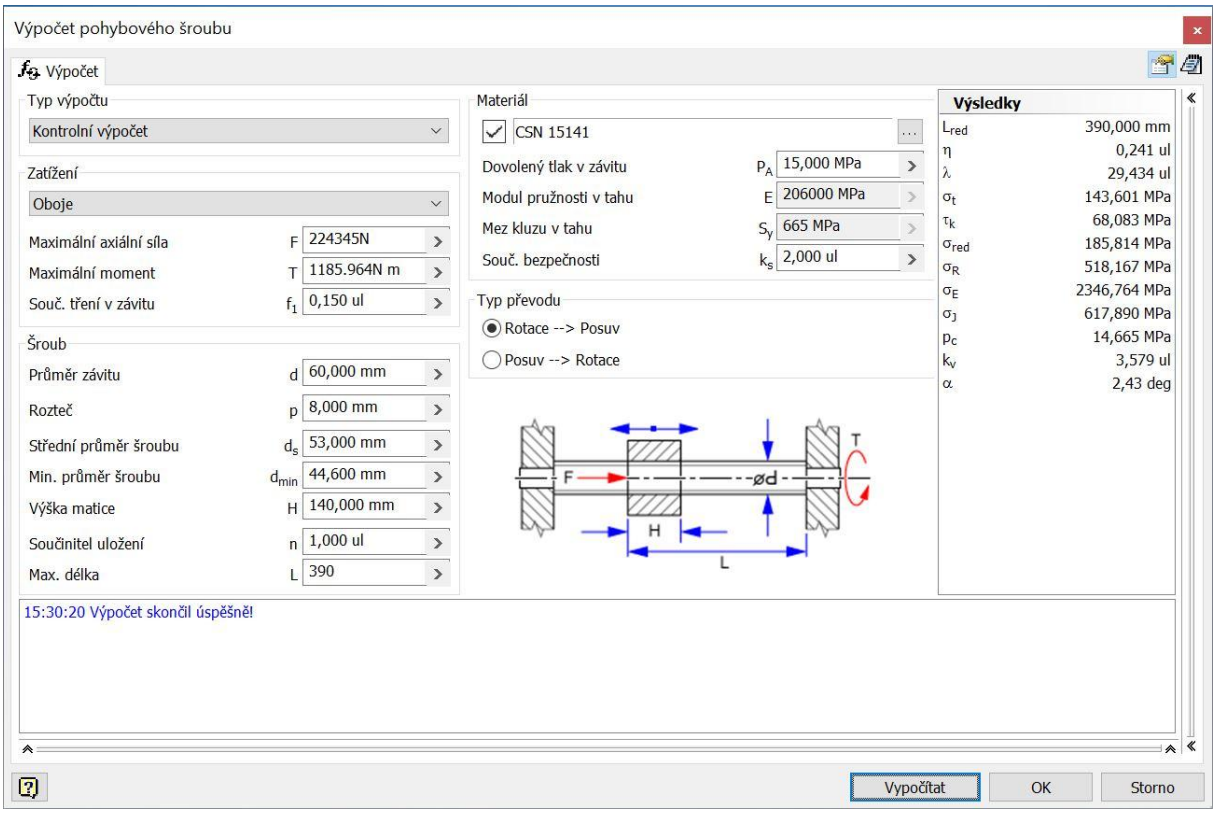
Funkcí pohybového šroubu je převod rotačního pohybu na posuvný a zajistit tak výsuv pinoly. Návrh pohybového šroubu je proveden v aplikaci programu Autodesk Inventor.

8.7.1. Vstupní hodnoty pro návrh a návrh

Základní hodnotou, která je potřebná pro návrh, je opět maximální posuvová síla, jež je známá z předchozích výpočtů.

$$F_S = 224{,}345\ \text{kN}$$

Dále jsou, jako vstupní hodnoty, zadány rozměry viz obrázek.



Obrázek 54 - Návrh pohybového šroubu

Jedná se o:

d – průměr závitu

p – rozteč

H – výška matice

n – součinitel uložení

L – maximální délka = výsuv + výška matice

V neposlední řadě je nutné doplnit informace o materiálu, ze kterého bude převod vyroben. V tomto případě byla zvolena ocel tř. 15. Hodnota dovoleného tlaku v závitu byla upravena podle následující tabulky. Jedná se hodnoty plynoucí z praxe, kde pro kombinaci ocel - bronz je dovolený tlak v závitu p_d resp. p_A až 15 MPa

Materiál	$p_D\ [MPa]$
Ocel – litina	5 – 7
Ocel – bronz	5 – 15
Ocel - ocel	7,5 – 10
15241.4 – 15241.4	20

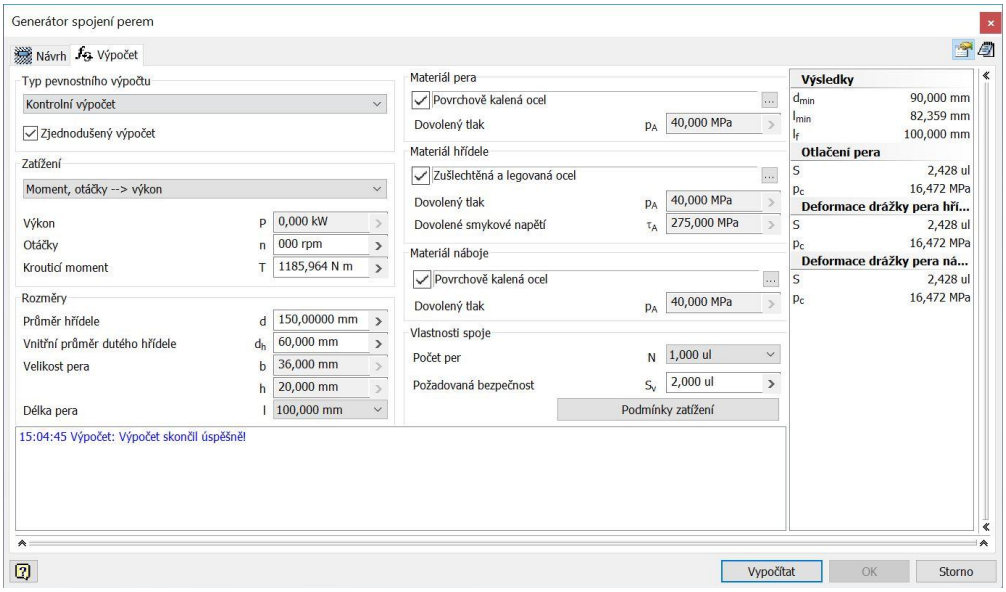
Tabulka 6 - Dovolené tlaky v závitu

8.7.2. Výsledek

Z výsledku v obrázku č. 54 je patrné, že skutečný tlak v závitu p_c = 14,67 MPa a návrh tedy vyhovuje.

8.7.3. Návrh pera pro matici

Navrženou matici je nutné zajisti proti protáčení pomocí pera. Pro návrh pera je znovu zvolena aplikace programu Autodesk Inventor.



Obrázek 55 - Návrh pera matice

Mezi vstupy pro návrh pera patří:

T - kroutící moment, který má pero zachytit. Tento moment byl získán při návrhu pohybového šroubu.

d - průměr hřídele, v tomto případě matice

d_h – vnitřní průměr dutého hřídele

Hodnota otáček je na nule, jelikož přímo neovlivňuje výsledné hodnoty.

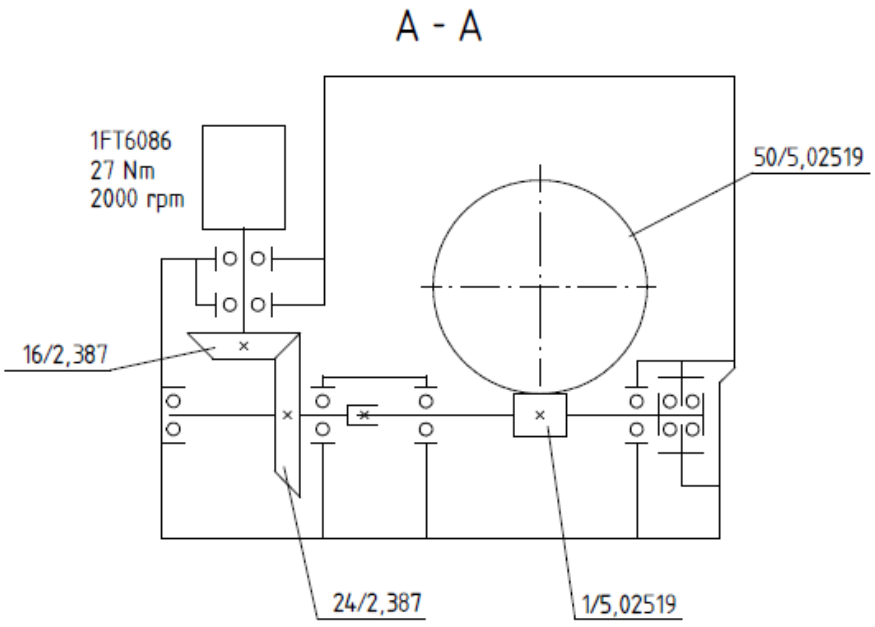
Dále je nutné také zvolit materiály jednotlivých částí spojení perem. Jelikož se jedná o pohyblivé spojení, jsou hodnoty dovolených tlaků p_A poníženy na 40 MPa.

- Materiálem pro pero je povrchově kalená ocel
- Materiálem pro hřídel, čili pro matici je již uvedená ocel 15141, jedná se o ocel k zušlechťování
- U náboje je předepsáno kalení drážky pro pero, čili materiálem je opět povrchově kalená ocel

Program vyhodnotí všechny zadané aspekty a při volbě konkrétního normalizovaného pera se jeví jako nejvhodnější volba výběr pera DIN 6885-1 D, které je navrženo v rozměrech 36 x 20 – 100.

8.8. Ověření převodu

Část svršku koníka soustruhu obsahující převody byla převzata z původního návrhu. Převody jsou tedy totožné, jako na následujícím schématu.



Obrázek 56 - Kinematické schéma převodů svršku koníka

Je nezbytné provést výpočet, který ověří, zda je reálné vyvinout motorem v kombinaci se zobrazenými převody požadovaný kroutící moment T = 1185,964 Nm.

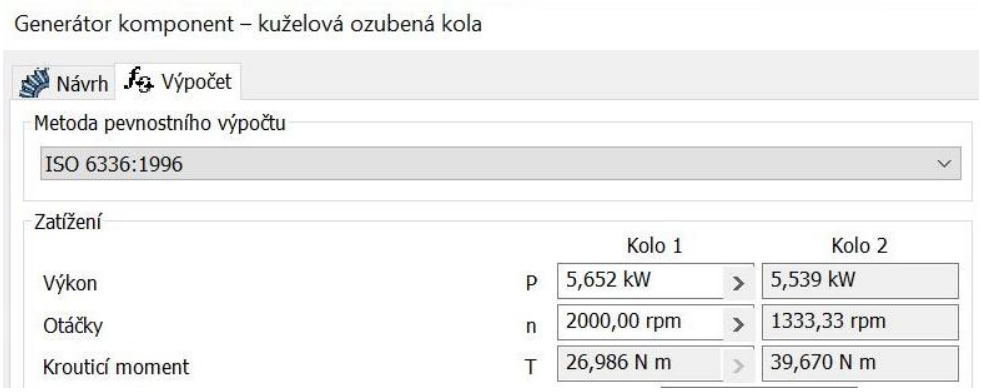
Nejprve projde kontrolou kuželový převod. Vstupem do převodu jsou hodnoty, kterých dosahuje elektromotor.

Jedná se o servomotor firmy SIEMENS typ 1FT 6086, dosahující 2000 ot/min a kroutícího momentu 27 Nm. Servomotory řady 1FT6 obsahují permanentní magnety a nabízí celou řadu výkonových variant od 0,2 po 118 kW. Najdou využití u výkonných obráběcích strojů a zaručují vysokou kvalitu obrábění. Mimo soustruhů jsou používány u frézek nebo brusek. [27]

Obrázek 57 - Servomotory řady 1FT6 [27]

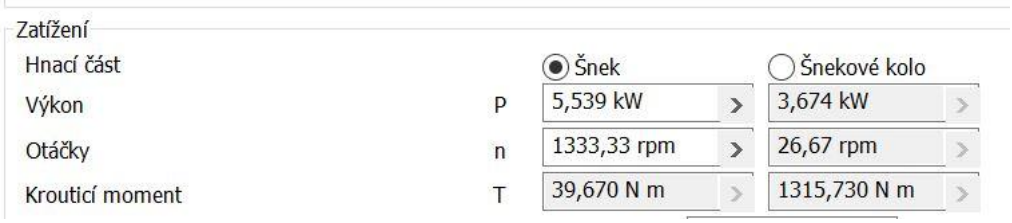
Pro zadání do programu Autodesk Inventor je potřeba dopočítat výkon

$$P = \frac{2 .\pi .M .n}{60} = \frac{2 .\pi .27 . 2000}{60} = 5652 \text{ W}$$



Obrázek 58 - Ověžení kuželového převodu

Hodnoty na kole 2 budou použity jako vstupy pro výpočet převodu šnekového.

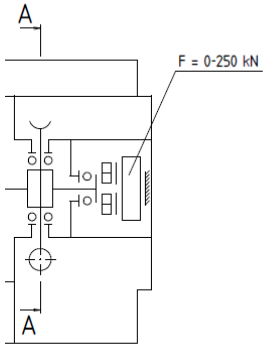


Obrázek 59 - Ověření šnekového převodu

Na obrázku pro ověření šnekového převodu lze pozorovat, že finální hodnota momentu, které je převod schopen dosáhnout je 1315, 73 Nm. Je tedy větší než potřebný moment 1185, 964 Nm a převod z tohoto hlediska vyhovuje.

8.9. Rychlost výsuvu pinoly

Vzhledem k poměrně vysokým silám, kterých je při předepínání dosaženo, je důležité nastavit rychlost výsuvu pinoly tak, aby bylo lidské oko schopné zaznamenat nárůst síly na snímači zařízení.



Obrázek 60 - Schéma části koníku se snímačem

Nárůst síly je odvozován z následujícího vzorce

$$\Delta F = 0{,}05 \,.\, F_{MS}$$

$$\Delta F = 0{,}05 \,.\, 250 = 12{,}5 \text{ kN}$$

F_{MS} – maximální hodnota síly na snímači

Hodnota tuhosti zvoleného svazku při 250 kN je podle údajů v kalkulátoru firmy MUBEA cca 24 $\frac{\text{kN}}{\text{mm}}$.

Vzorec pro potřebnou rychlost výsuvu pinoly je vyjádřen ze vzorce pro nárůst síly odpružení vydělením hodnotou doby expozice zraku lidského oka. Doba expozice zraku Δt je 1s.

$$\Delta F = k \,.\, \Delta \qquad /\Delta t$$

$$\frac{\Delta F}{\Delta t} = k \,.\, \frac{\Delta}{\Delta t} \qquad \frac{\Delta}{\Delta t} = v_{\Delta F}$$

$$\frac{\Delta F}{\Delta t} = k \,.\, v_{\Delta F} \qquad /k$$

$$\frac{\Delta F}{\Delta t} \,.\, \frac{1}{k} = v_{\Delta F}$$

$$\frac{\Delta F}{\Delta t} \,.\, \frac{1}{k} = v_{\Delta F}$$

$$\frac{12{,}5}{1} \,.\, \frac{1}{24} = v_{\Delta F}$$

$$v_{\Delta F} = 0{,}52 \ \frac{\text{mm}}{\text{s}} = 31{,}25 \ \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Pro to, aby bylo možné zaznamenat na snímači lidským okem nárůst síly předepnutí, je nezbytné, aby se pinola vysouvala rychlostí 31,25 $\frac{\text{mm}}{\text{min}}$.

8.10. Návrh hrotu

S ohledem na aplikace, pro které je využíván stroj SR1 bude použit hrot s přírubou. Návrh je proveden v příslušném programu v prostředí MathCAD. Výstupy z tohoto programu jsou použity dále jako vstupy pro kontrolu návrhu příslušným programem v prostředí KISSSoft.

8.10.1. Základní vstupy do MathCAD

Průměr otočné vložky D_2 = 160 mm

Kužel D_K = 80 mm

Délka kužele L_K = 30 mm

Kuželovitost K = 4

Vnější ax. síla na hrotu F_A = 178 kN

Radiální výslednice působící na hrot F_V = 178 kN

Roztečný průměr šroubů d_t = 130 mm

Průměr hlavy šroubu D_h = 27 mm

Tloušťka příruby L_p = 15 mm

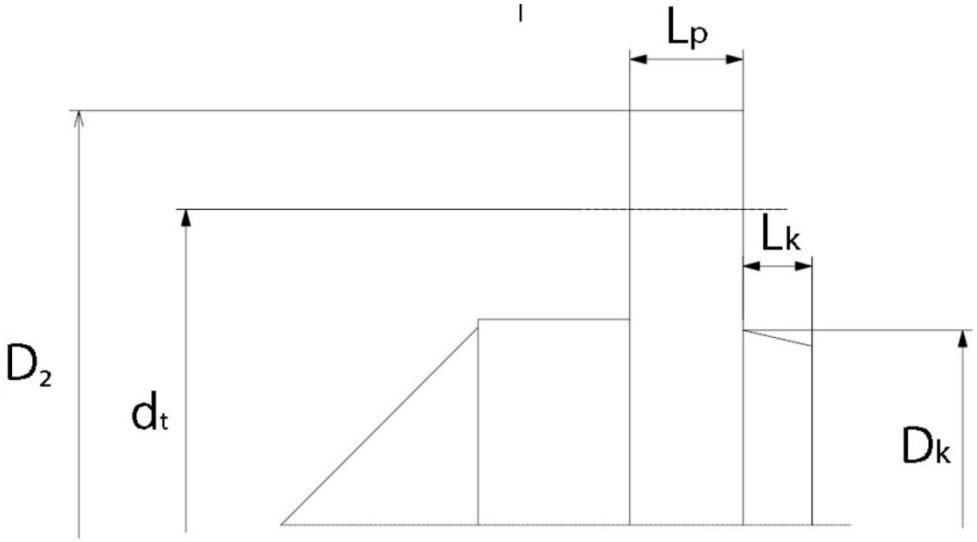
8.10.2. Vstupy pro KISSSoft

Výpočty v MathCAD jsou využity jako vstupy pro KISSSoft a jedná se o:

Moment působící na přírubu M = 13350 Nm

Vnější ax. síla na hrotu F_A = 178 kN

V neposlední řadě jsou použity souřadnice děr pro šrouby, které rovněž určí MathCAD. V prostředí KISSSoft dále lze nastavit konkrétní typ šroubu apod. Při tomto návrhu je použito 10 šroubů M18 x 50 DIN 7984.



Obrázek 61 - Rozměry hrotu

8.10.3. Výsledek návrhu

Jedním z výsledků výpočtů programu KISSSoft je střední hodnota utahovacího momentu, která je získána ze dvou hodnot na následujícím obrázku.

Required tightening torque (min/max)	181.83	290.93	Nm

Obrázek 62 - Utahovací momenty

Střední hodnota utahovacího momentu je tedy M_S = 236,4 Nm.

Neméně důležitý je pak souhrn jednotlivých bezpečností viz obrázek.

SUMMARY:

The yield point must not be exceeded.

Calculation with the maximum required assembly preload with tightening factor:		1.60
Safety against yield point	[SF]	1.66
Safety against fatigue	[SD]	1.85
Safety against pressure	[SP]	1.27

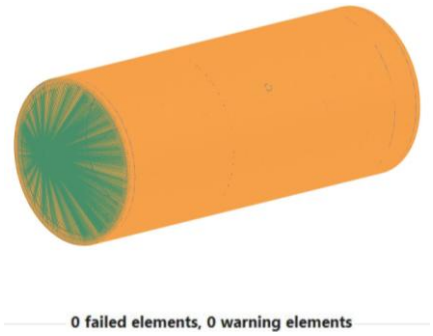
Obrázek 63 - Souhrn vybraných bezpečností

Ve shrnutí je uvedena bezpečnost k mezi kluzu, únavová bezpečnost a bezpečnost proti tlaku.

8.11. Výpočty deformací při zatížení maximálně vysunuté pinoly

8.11.1. Simulace programem Siemens NX

Před simulováním zatížení pinoly je těleso nasíťováno 3D sítí pomocí elementů ve tvaru tetraedru, přičemž velikost jednoho elementu je 5 mm. V příslušné vzdálenosti od pinoly je umístěn bod, ve kterém působí zatížení. Toto působiště je spojeno s čelem pinoly pomocí nekonečně tuhého spoje. Kvalita vytvořené sítě je ověřena prvkem element quality.



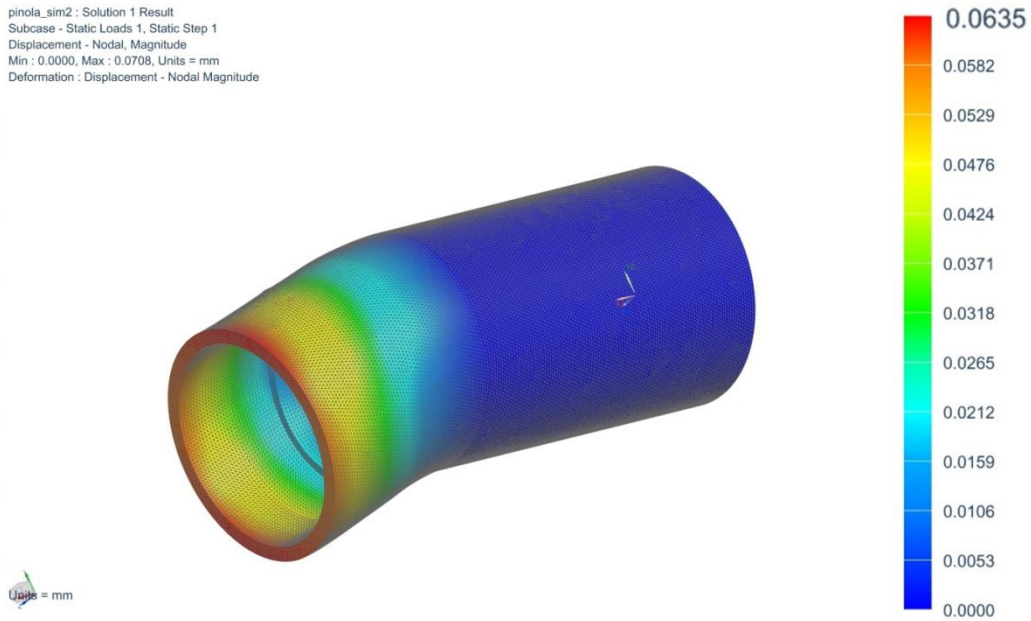
Obrázek 64 - Kontrola elementů

Před zatěžováním je nezbytné těleso zajistit proti pohybu. Pinola je rozdělena prvkem divide face na dvě části. V části, která je při maximálním výsuvu pinoly ve vedení tělesa svršku, je pinola zajištěna proti pohybu prvkem user defined constraint ve všech směrech.

Velikost zatížení, kterým je na pinolu působeno se rovná polovině maximální tíhy obrobku, čili:

$$F = 0{,}5 \,.\, F_{QM}$$

$$F = 0{,}5 \,.\, 250 = 125 \text{ kN}$$

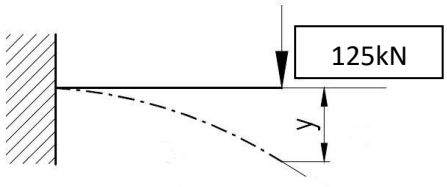


Obrázek 65 - Deformace pinoly

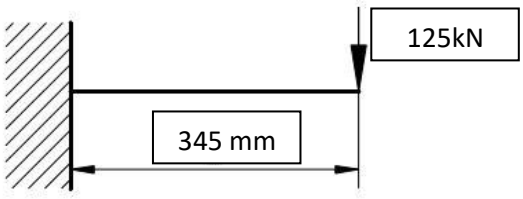
Výsledek simulace je patrný ze stupnice na obrázku, kde je uvedeno, že maximální deformace tělesa pinoly je 0,0635mm.

8.11.2. Výpočet vetknutého nosníku

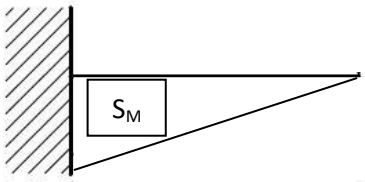
Pro srovnání bude deformace tělesa pinoly ohybem ověřena také výpočtem průhybu vetknutého nosníku y, zatíženého na jednom konci silou F = 125 kN.



Obrázek 66 - Vetknutý nosník I.



Obrázek 67 - Vetknutý nosník II.



Obrázek 68 - Plocha momentového obrazce

Délka ramene l = 345mm. Jedná se o vzdálenost od kraje vedení pinoly v tělese svršku koníku po působení zatížení na hrot.

Nejprve je určen působící ohybový moment - M_O.

$$M_O = F \,.\, l$$

$$M_O = 125\,000 \,.\, 345 = 43\,125\,000 \text{ N.mm}$$

Následně je vypočtena plocha momentového obrazce (trojúhelníka) - S_M.

$$S_M = M_O \,.\, \frac{l}{2}$$

$$S_M = 43\,125\,000 \,.\, \frac{345}{2} = 7\,439\,062\,500 \text{ mm}^2$$

Dalším krokem je určení statického momentu – M_S.

$$M_S = S_M \,.\, x_T$$

$$M_S = M_O \,.\, \frac{l}{2} \,.\, \frac{2}{3} l$$

$$M_S = 43\,125\,000 \,.\, \frac{345}{2} \,.\, \frac{2}{3} \,.345 = 1,71 \,.\, 10^{12} \text{ N} \,.\, \text{mm}$$

x_T - poloha těžiště momentového obrazce od působení síly F.

Vzorec pro průhyb vypadá následovně:

$$y_{max} = \frac{M_S}{E \,.\, J}$$

E – Youngův modul pružnosti v tahu, pro ocel E = 210 GPa = 210 000 MPa.

J – kvadratický moment průřezu

V tomto případě bude použit kvadratický moment průřezu pro trubkový profil.

$$J = \frac{\pi \,.\, (D^4 - d^4)}{64}$$

D – vnější průměr pinoly tj. D = 320 mm.

d – vnitřní průměr pinoly. Pinola má několik vnitřních průměrů, pro výpočet je provedeno zjednodušení, a tak se za vnitřní průměr bude považovat střední hodnota všech vnitřních průměrů d_s.

$$d_S = \frac{\sum_{i=1}^{9} d_i}{9}$$

$$d_S = \frac{280 + 250 + 225 + 180 + 160 + 140 + 121 + 180 + 250}{9} \doteq 200 \text{ mm}$$

Kvadratický moment průřezu je pak

$$J = \frac{\pi . (320^4 - 200^4)}{64} = 436\ 178\ 724 \text{ mm}^4$$

Z dosazení do vzorce pro průhyb tedy plyne

$$y_{max} = \frac{M_S}{E . J}$$

$$y_{max} = \frac{1,71 . 10^{12}}{210\ 000 . 436\ 178\ 724} \doteq 0,019 \text{ mm}$$

8.11.3. Výpočet tuhosti tělesa pinoly pro srovnání.

Tuhost tělesa lze vyjádřit následujícím vzorcem. Jedná se analogicky o totožný vzorec jako pro tuhost pružiny.

$$k = \frac{F}{y_{max}}$$

Podle údajů poskytnutých programem Siemens NX, kdy se maximální deformace podle stupnice pohybuje okolo 0,06 mm lze tedy vyjádřit

$$k = \frac{125}{0,06} = 2083 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

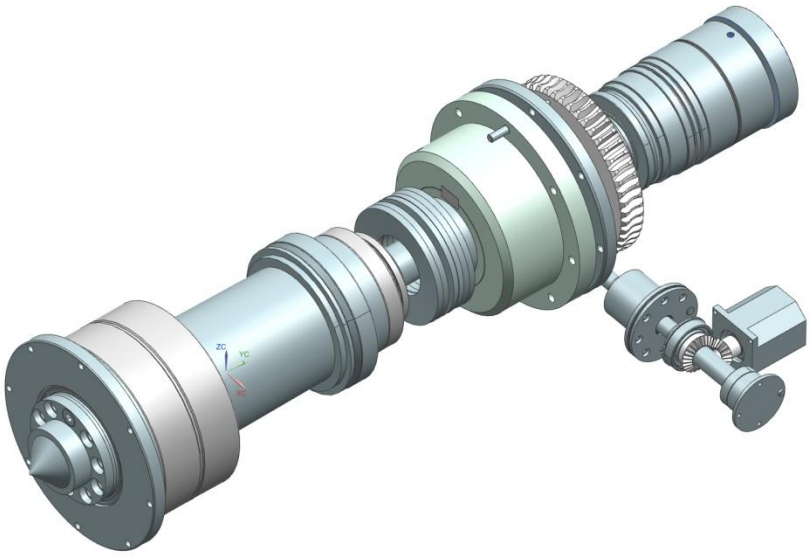
Z výpočtu vetknutého nosníku pak plyne

$$k = \frac{125}{0,019} = 6579 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$$

Příčinou poměrně velké odchylky obou hodnot je s největší pravděpodobností zjednodušení tvaru pinoly na trubku při výpočtu vetknutého nosníku.

9. Model

Obrázek 69 - Model I



Obrázek 70 - Model II

10. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout novou variantu svršku koníku pro stroj SR1. Konkrétně uložení hrotové objímky, její odpružení, pohybový šroub pro výsuv pinoly a hrot. V původním řešení uložení hrotu byla použita válečková ložiska s atypickým vnitřním kroužkem. Nestandardní ložiska jsou dražší a mají delší dodací lhůtu než ložiska normalizovaná. Proto byla provedena tato rekonstrukce. Úvod práce byl věnován popisu různých druhů soustruhů a popisu jednotlivých částí hrotového soustruhu.

Ve vlastní úloze byly provedeny výpočty pro návrh výše uvedených částí svršku koníka podle zadaných hodnot. Návrh hrotové objímky, provedený v prostředí programu KISSSoft, dosahuje dostatečných hodnot bezpečností a délek životních cyklů ložisek. U ložisek byly rovněž zjištěny teplotně stabilní otáčky a i v tomto ohledu nový návrh vyhovuje. Odpružení objímky je zajištěno svazkem pružin od společnosti MUBEA, který byl navržen podle požadovaných hodnot sil a tuhostí. Pohybový šroub pro výsuv pinoly byl navržen tak, aby vyhovoval hodnotě dovoleného tlaku v závitu. Převodový mechanismus mezi elektromotorem a pohybovým šroubem byl převzat z původního návrhu svršku koníku. Hodnota kroutícího momentu, který je schopen tento mechanismus vyvinout byla porovnána s hodnotou, která je potřebná pro nový návrh a je dostačující. Rychlost výsuvu pinoly je stanovena tak, aby lidské oko bylo schopné zaznamenat nárůst sil na snímači. Kombinací příslušných programů v prostředí MathCAD a KISSSoft byl navržen také hrot koníku. Jedná se o hrot s přírubou, která je zajištěna 10 šrouby. Výsledkem navržení hrotu je jak střední hodnota utahovacího momentu, tak únavová a tlaková bezpečnost a bezpečnost k mezi kluzu. Těleso pinoly je ověřeno simulací v programu Siemens NX. Jedná se o stav, kdy je pinola vysunuta na maximální hodnotu. Simulované zatížení se rovná polovině tíhy obrobku. Výsledná hodnota deformace byla nakonec porovnána s ručním výpočtem zatížení vetknutého nosníku.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Schéma pohonu soustruhu s dvoustupňovou převodovkou [3] 17
Obrázek 2 - Schéma pohonu obráběcího stroje [3] 18
Obrázek 3 - Části hrotového soustruhu [32] 18
Obrázek 4 – Skříň [2] 20
Obrázek 5 – Tubus [2] 20
Obrázek 6 - Valivé uložení vřetene [1] 21
Obrázek 7 - Kluzné uložení vřetene [1] 21
Obrázek 8 - Vliv házení ložisek na házení na konci vřetene [4] 22
Obrázek 9 - Průběh deformace vřetene [2] 23
Obrázek 10 - Příklad uložení vřetene SKF [14] 23
Obrázek 11 - Řez koníku malého soustruhu [1] 24
Obrázek 12 - Řez koníku s odpruženou pinolou [1] 24
Obrázek 13 - Hrost s přírubou [9] 25
Obrázek 14 - Příklad uložení hrotu SKF [14] 25
Obrázek 15 - Upnutí mezi hroty [21] 26
Obrázek 16 - Schéma hydrostatického ložiska [30] 28
Obrázek 17 - Hydrodynamická ložiska [10] 29
Obrázek 18 - Typy ložisek podle úhlu styku valivých těles [10] 29
Obrázek 19 - Kuličkové ložisko [31] 30
Obrázek 20 - Válečkové ložisko [31] 31
Obrázek 21 - Kuželíkové ložisko [31] 31
Obrázek 22 - Axiální soudečkové ložisko [31] 31
Obrázek 23 - Předepínání ložisek [2] 32
Obrázek 24 - Druhy mazání [22] 32
Obrázek 25 - Příklad hrotu z praxe [23] 33
Obrázek 26 - Mazání lázní I. [24] 33
Obrázek 27 - Mazání cirkulací I. [25] 34
Obrázek 28 - Kontaktní těsnění SKF [26] 34
Obrázek 29 - Bezkontaktní těsnění SKF [26] 35
Obrázek 30 - Uložení vřetene Var. A [4] 36
Obrázek 31 - Uložení vřetene Var. B [4] 36
Obrázek 32 - Uložení vřetene Var. C [4] 37
Obrázek 33 – Uložení hrotu koníku Var. A z dokumentace svršek koníka.doc 38
Obrázek 34 – Uložení hrotu koníku Var. B z dokumentace sun125.pdf 38
Obrázek 35 - Uložení hrotu koníku Var. C [9] 39
Obrázek 36 - Hrotový soustruh SR1z dokumentace svršek koníka.doc 40
Obrázek 37 - Vřeteno stroje SR1 z dokumentace svršek koníka.doc 41
Obrázek 38 - Navržené uložení v KISSSoft 45
Obrázek 39 - Výsledky bezpečností 46
Obrázek 40 - Deformace hrotové objímky 46
Obrázek 41 - Servisní cyklus válečkového dvouřadého ložiska 47

Obrázek 42 - Servisní cyklus válečkového jednořadého ložiska 47
Obrázek 43 - Servisní cyklus soudečkového axiálu 47
Obrázek 44 - Způsob mazání I 48
Obrázek 45 - Způsob mazání II 48
Obrázek 46 - Teplotně stabilní otáčky pro stav 4 48
Obrázek 47 - Teplotně stabilní otáčky pro stav 5 49
Obrázek 48 - Teplotně stabilní otáčky pro stav 6 49
Obrázek 49 - Návrh odpružení 50
Obrázek 50 - Schéma pro tuhost odpružení 51
Obrázek 51 - Rozměrové parametry odpružení 52
Obrázek 52 - Silové parametry odpružení 52
Obrázek 53 - Silové parametry odpružení II. 53
Obrázek 54 - Návrh pohybového šroubu 54
Obrázek 55 - Návrh pera matice 55
Obrázek 56 - Kinematické schéma převodů svršku koníka 56
Obrázek 57 - Servomotory řady 1FT6 [27] 57
Obrázek 58 - Ověžení kuželového převodu 57
Obrázek 59 - Ověření šnekového převodu 57
Obrázek 60 - Schéma části koníku se snímačem 58
Obrázek 61 - Rozměry hrotu 59
Obrázek 62 - Utahovací momenty 60
Obrázek 63 - Souhrn vybraných bezpečností 60
Obrázek 64 - Kontrola elementů 60
Obrázek 65 - Deformace pinoly 61
Obrázek 66 - Vetknutý nosník I. 61
Obrázek 67 - Vetknutý nosník II. 61
Obrázek 68 - Plocha momentového obrazce 62
Obrázek 69 - Model I 64
Obrázek 70 - Model II 64

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Zadané parametry 40
Tabulka 2 - Pracovní rozsah stroje SR1 40
Tabulka 3 - Technické parametry vřeteníku 41
Tabulka 4 - Technické parametry koníku 41
Tabulka 5 - Zatěžovací stavy 48
Tabulka 6 - Dovolené tlaky v závitu 55

SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavy – ZČU – KON1

Výrobní výkres pinoly – ZČU - 1320 PIN1

Kusovník – ZČU – KON2

Příloha zadání

POUŽITÝ SOFTWARE

KISSSoft 3/2016

PTC Mathcad Prime 3.1

Autodesk Inventor Proffesional 2017

Siemens NX 11

MUBEA – Disc Spring Calculation Program 04

KNIŽNÍ PUBLIKACE

[1] KUBÍČEK, Josef. *Základy stavby výrobních strojů: obráběcí stroje*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-710-6.

[2] MAREK, Jiří a Petr BLECHA. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.

[3] LAŠOVÁ, Václava. *Základy stavby obráběcích strojů.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2012. ISBN 978-80-261-0126-0

[4] HUDEC, Zdeněk. *Uložení vřetene – příklady.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2013. ISBN 978-80-261-0390-5

[5] NĚMEJC, Jiří. *Metodika zpracování a úprava diplomových prací*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-632-0.

[6] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. 2., opr. vyd. Brno: Computer Press, 2007. Učebnice (Computer Press). ISBN 978-80-251-1887-0.

[7] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6.

PODKLADY K PŘEDNÁŠKÁM

[8] LAŠOVÁ, V., *Základy stavby výrobních strojů* – podklady k přednáškám
[9] HUDEC, Z., *Konstrukce obráběcích strojů* – podklady k přednáškám
[10] HOSNEDL, S., *Části a mechanismy strojů I* – podklady k přednáškám

PUBLIKACE NA INTERNETU

[11] Gymnázium Karla Sladkovského - Naše gymnázium otevírá ve školním roce 2016/2017 čtyřleté i osmileté studium [online]. Copyright ©X [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.gykas.cz/projekt/nove/pracovni_sesity/vyrobni_stroje.pdf

[12] Druhy soustruhů | TumliKOVO:Technologie strojního obrábění kovů. Technologie strojního obrábění kovů a broušení nástrojů [online]. Copyright © 2010 TumliKOVO. Všechna práva vyhrazena. [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.tumlikovo.cz/druhy-soustruhu/

[13] Elearning VOŠ, SOŠ a SOU Kopřivnice [online]. Copyright ©S [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://moodle2.voskop.eu/download/teu/U03_Prirucka_zakladu_soustruzeni.pdf

[14] Uspořádání ložisek pro velká zatížení. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/principles/design-considerations/bearing-arrangements/for-heavy-loads/index.html

[15] Přípravky pro upnutí součástí mezi hroty | TumliKOVO:Technologie strojního obrábění kovů. Technologie strojního obrábění kovů a broušení nástrojů [online]. Copyright © 2010 TumliKOVO. Všechna práva vyhrazena. [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.tumlikovo.cz/pripravky-pro-upnuti-soucasti-mezi-hroty/

[16] 2.3.3.2.1 DRUHY VALIVÝCH LOŽISEK | Studium, škola, wiki. Studium, škola, wiki [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/04/23321-druhy-valivych-lozisek.html

[17] Účel předpětí ložisek . [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/design-considerations/selecting-clearance-preload/bearing-preload/effects-bearing-prelaod/index.html

[18] Válečková ložiska. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/principles/design-considerations/bearing_preload/cylindrical_roller_bearings/index.html

[19] Kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/principles/design-considerations/bearing_preload/actbb/index.html

[20] Předpětí v ložiskových systémech s kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem nebo kuželíkovými ložisky . [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/principles/design-considerations/selecting-clearance-preload/bearing-preload/preload-in-bearing-systems/index.html

[21] Upínací přípravky | Učíme v prostoru - Encyklopedie Drtič kamene. Učíme v prostoru - vzdělávací 3D encyklopedie [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2991

[22] 9. Mazání ložisek | ZKL Group. ZKL Group [online]. Copyright © 2012 ZKL, a.s. [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/9-mazani-lozisek

[23] PILSENTOOLS | PilsenTools [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.pilsentools.cz/eshop/index.htm

[24] 9_3_a. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://eb-cat.ds-navi.co.jp/enu/jtekt/tech/eb/info/09/9_3_a.htm

[25] 9_3_b. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://eb-cat.ds-navi.co.jp/enu/jtekt/tech/eb/info/09/9_3_b.htm

[26] Vnější těsnění. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 17.05.2017]. Dostupné z: http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/super-precision-bearings/principles/design-considerations/seals/external-sealing-arrangements/index.html

[27] Servomotors 1FT6 - Motors - Siemens. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © Siemens AG 1996 [cit. 20.05.2017]. Dostupné z: http://w3.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/motors/motion-control-motors/simotics-s-servomotors/simotics-s-1ft6/pages/simotics-s-1ft6.aspx

[28] ELUC [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 22.05.2017]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/sections/1222

[29] 301 Moved Permanently. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 22.05.2017]. Dostupné z: https://www.coptkm.cz/portal/?action=2&doc=39435&docGroup=-1&cmd=0&instance=2

[30] Vyrobni_stroje/obrabeci [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 22.05.2017]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobni_stroje/obrabeci.pdf

[31] Ložiska [online]. Copyright ©Nm [cit. 22.05.2017]. Dostupné z: http://www.dum.spsnome.cz/2011/tp/sr/sr-tp-sps-02-07-Loziska.pdf

[32] techstroj [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 22.05.2017]. Dostupné z: http://www.techstroj.g6.cz/S/S13.pdf

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
F A K U L T A S T R O J N Í

Katedra konstruování strojů **Akad. rok: 2016/2017**

PŘÍLOHA ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: **Zdeněk Janota**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: Stavba výrobních strojů a zařízení

Téma bakalářské práce:
Uložení vřeten a hrotů koníků u soustruhů. Uložení vřetene soustruhu. **Uložení otočné objímky hrotu koníka stroje SR1. Odpružení pinoly koníka**

Požadavky a základní technické údaje:

- Provést analýzu konstrukcí uložení vřeten a otočného hrotu koníka
- Navrhnout konstrukci otočné objímky hrotu koníka
- Navrhnout odpružení pinoly koníka a pohybový šroub
- Zpracovat projektovou dokumentaci (sestava, kusovník hlavních dílů, výpočet, popis, detail vybrané součásti)
- Zpracovat výpočty programy KISSsoft případně KISSsys a MITcalc

Parametry

Max. svislá složka řezné síly	F_M	kN	100
Max. tíha obrobku	F_Q	kN	250
Výkon hlavního pohonu	P	kW	50
Účinnost 1. stupně	$\eta 1$		0,9
Omezný moment	M_L	kNm	25
Max. otáčky	n_M	min^{-1}	500
Doba běhu celkem	Tc	hod	38000
Průměr pinoly		mm	320
Průměr hrotu		mm	100
Vrcholový kužel hrotu		°	90

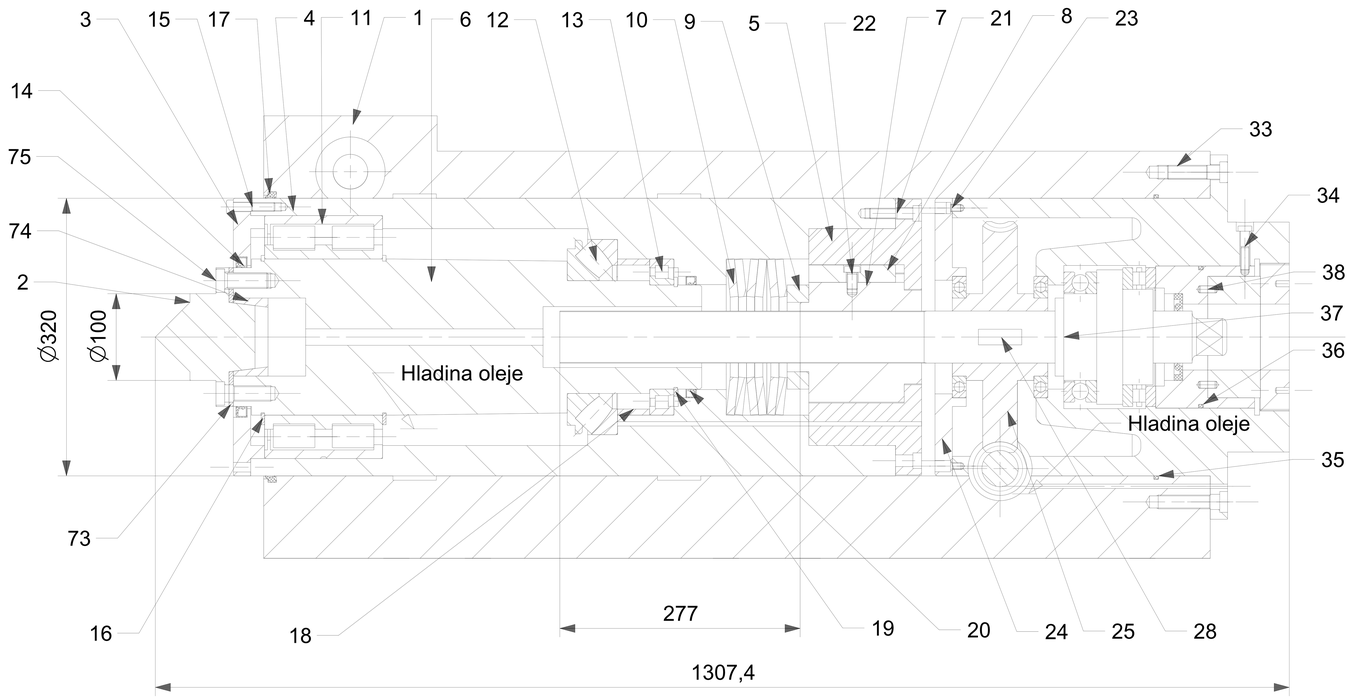
Pozn.: Tabulku zatěžovacích stavů doplnit pomocí programu Zatěžovací stavy vřeteníku a koníku soustruhu SR 1 –„zat_sta_4.xmcd“

Dokumentace pro konstrukci

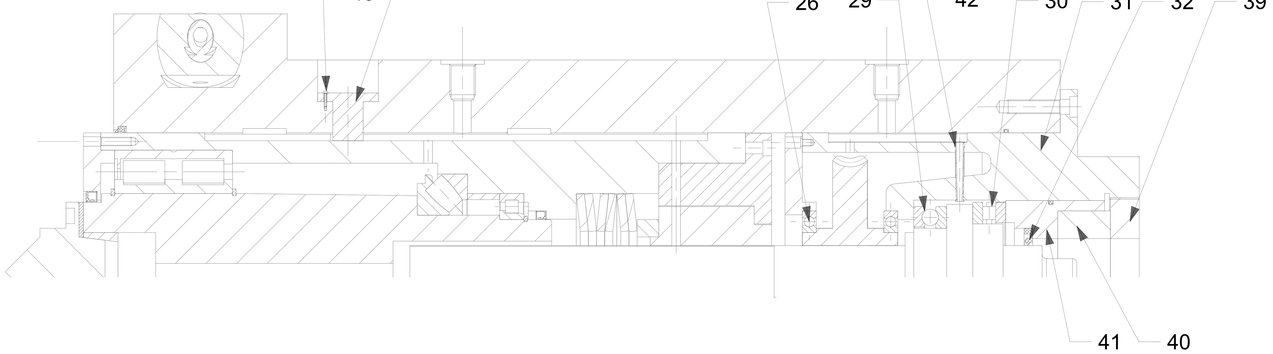
Učební text	ul_vret_2013.pdf
Dokumentace	breman.dwg, sun125.pdf, svršek koníka.doc
Programy	KISSsoft: ul_vret_kon.kpro(konik.W10, prev_120_33.Z12)

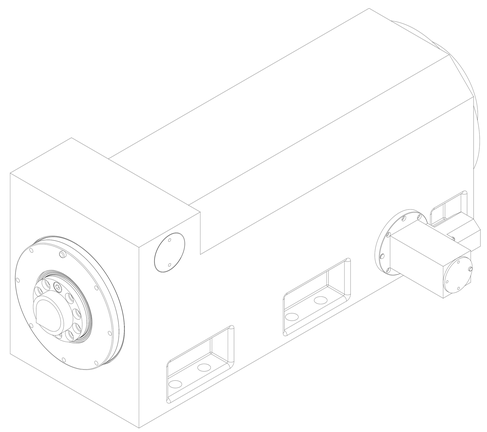
V Plzni dne 18.1.2016

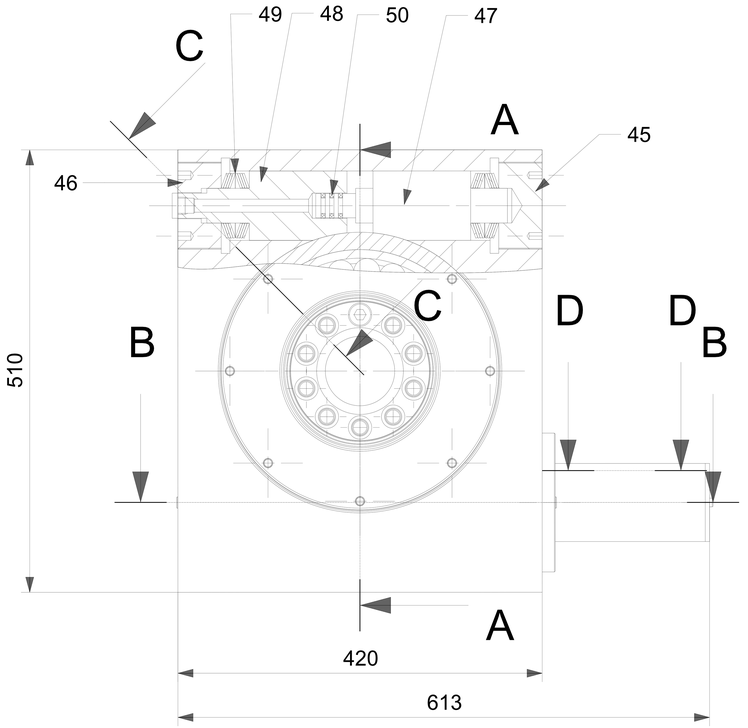
A-A



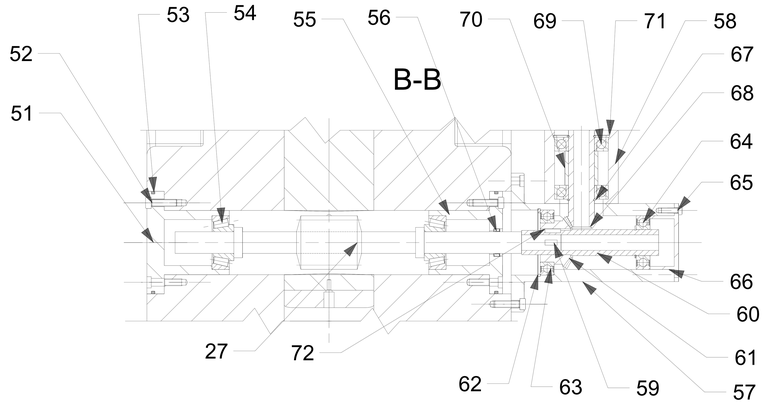
C-C



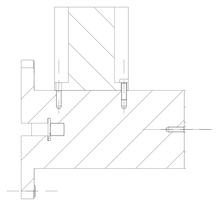




B-B



D-D



Měřítko 1:5	Hmotnost (kg) 1564	Promítání	Formát A2
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil Z. JANOTA Datum 23. 5. 2017 Schválil Datum	Název: SVRŠEK KONÍKU	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu: VÝKRES SESTAVY	Číslo dokumentu: ZČU - KON1	List 1 Listu 1

POZICE	NÁZEV	NORMA/Č. VÝKRESU	HM.[KG]	KS
1	Těleso	ZČU...	888,5	1
2	Hrot	ZČU...	5,3	1
3	Víčko pinoly I	ZČU...	11	1
4	Pinola	ZČU - 1320 PIN1	215	1
5	Víčko pinoly II	ZČU...	39	1
6	Hrotová objímka	ZČU...	83	1
7	Matice	ZČU...	13,6	1
8	Pero 36 x 20 – 100	DIN 6885-1 D	0,5	1
9	Tvrzený kroužek	ZČU...	1,8	1
10	Pružina pinoly	MUBEA 19 0014	3	6
11	Válečkové dvouřadé ložisko	SKF NNCF 5036 CV	30,5	1
12	Axiální soudečkové ložisko	SKF *29326 E	9	1
13	Válečkové ložisko	SKF NJ 1024 ML	2,6	1
14	GP 160 - 185 - 13	SKF 160x185x13 CRSA1 V	0,02	1
15	Šroub M10 x 45	DIN 7984	0,04	8
16	Pojistný kroužek 180	ČSN 02 2930	0,22	2
17	Stírací kroužek Trelleborg	WD1703200-N9	0,09	1
18	Vymezovací kroužek	ZČU...	1,3	1
19	Pojistný kroužek 120	ČSN 02 2930	0,1	1
20	GP 120 - 140 - 12	SKF 120x140x12 CRWA1 R	0,02	1
21	Šroub M12 x 50	DIN 7984	0,06	8
22	Šroub M12 x 20	DIN 7984	0,03	1
23	Šroub M8 x 12	DIN 7984	0,009	8
24	Víčko převodu I	ZČU...	11	1
25	Šnekové kolo	ZČU...	18,6	1
26	Kuličkové ložisko I	SKF 16018	0,85	2
27	Šnek	ZČU...	3	1
28	Pero 18 x 7 - 50	ISO 2491 B	0,1	1
29	Kuličkové axiální ložisko	SKF 51220	2,2	1
30	Válečkové axiální ložisko	SKF 81222 TN	2,3	1
31	Víčko převodu II	ZČU...	123	1
32	GP 60 - 100 - 10	SKF 60x100x10 HMS5 RG	0,02	1
33	Šroub M16 x 60	DIN 7984	0,1	8
34	Šroub M10 x 45	DIN 7984	0,04	1
35	Těsnění 320 Trelleborg	OR5032000-N5	0,03	1
36	Těsnění 155 Trelleborg	OR5015500-N5	0,014	1
37	Hřídel	ZČU...	24	1
38	Kolík 8 x 20 B	ISO 2338 - St	0,008	2
39	Matice snímače	ZČU...	4,7	1
40	Snímač sil	ZČU...	5,2	1
41	Pouzdro snímače	ZČU...	9,4	1
42	Vtokový kanálek	ZČU...	0,016	1
43	Šroub M3 x 16	DIN 7984	0,001	1
44	Pojistný špunt	ZČU...	0,65	1
45	Víčko PL šroubu I	ZČU...	2,9	1
46	Víčko PL šoubu II	ZČU...	2,7	1
47	Čep PL šroubu I	ZČU...	5	1
48	Čep PL šroubu II	ZČU...	4,6	1
49	Pružina PL šroubu	MUBEA 18 0095	0,06	16

FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

KKS KATEDRA
KONSTRUOVÁNÍ
STROJŮ

Kreslil Z. JANOTA
Datum 23. 5. 2017

Schválil
Datum

Druh dokumentu
SEZNAM POLOŽEK

Název
SVRŠEK KONÍKU

Číslo dokumentu
ZČU - KON2

List 1 Listů 2

POZICE	NÁZEV	NORMA/Č. VÝKRESU	HM. [KG]	KS
50	Těsnění PL šroubu	DKAR00314-N90		3
51	Víčko šneku I	ZČU...	2,7	1
52	Šroub M8 x 30	DIN 7984	0,018	24
53	Těsnění 118 Trelleborg	OR4011200-N5	0,01	2
54	Kuželíkové ložisko	SKF 32305 J2	0,36	2
55	Víčko šneku II	ZČU...	2,1	1
56	GP 25 - 32 - 7	SKF 25x32x7 CRSA1 R	0,0009	1
57	Těleso převodovky I	ZČU...	8	1
58	Těleso převodovky II	ZČU...	2,6	1
59	Pero objímky 6 x 4 - 14	ISO 2491 B	0,003	1
60	Objímka hřídele	ZČU...	0,5	1
61	Kuželové kolo	ZČU...	0,3	1
62	Pojistný kroužek 75	ČSN 02 2931	0,012	1
63	Kuličkové ložisko II	SKF 6009	0,24	1
64	Kuličkové ložisko III	SKF 6006	0,12	1
65	Šroub M6 x 20	DIN 7984	0,007	8
66	Víčko převodovky	ZČU...	0,4	1
67	Pojistný kroužek 30	ČSN 02 2930	0,003	3
68	Kuželový pastorek	ZČU...	0,4	1
69	Kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem	SKF 7206	0,2	2
70	Vymezovací kroužek	ZČU	0,13	1
71	Pojistný kroužek 62	ČSN 02 2931	0,006	1
72	Pero 8 x 5 - 18	ISO 2491B	0,005	1
73	Distanční kroužek hrotu	ZČU...	0,358	1
74	Nákružek hrotu	ZČU...	0,424	1
75	Šroub M18 x 50	DIN 7984	0,136	10

FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI

KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ

Kreslil Z. JANOTA
Datum 23. 5. 2017

Schválil
Datum

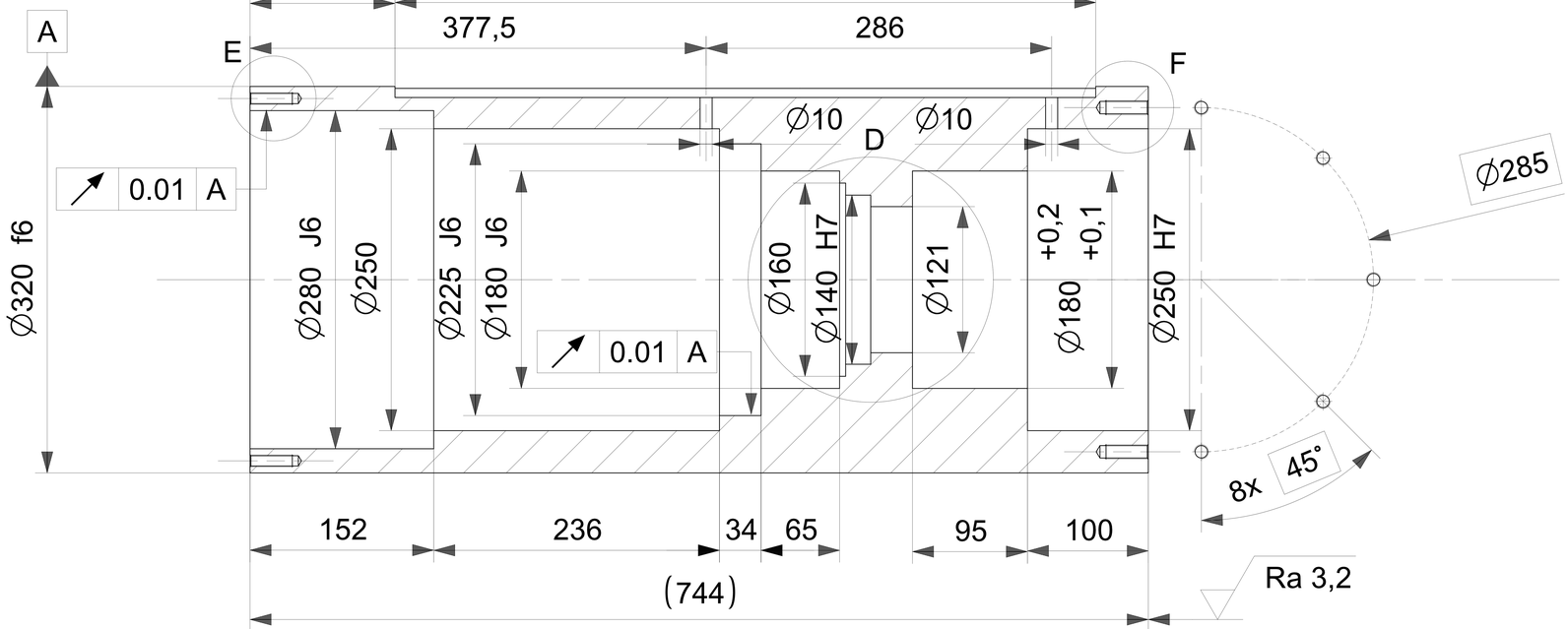
Druh dokumentu
SEZNAM POLOŽEK

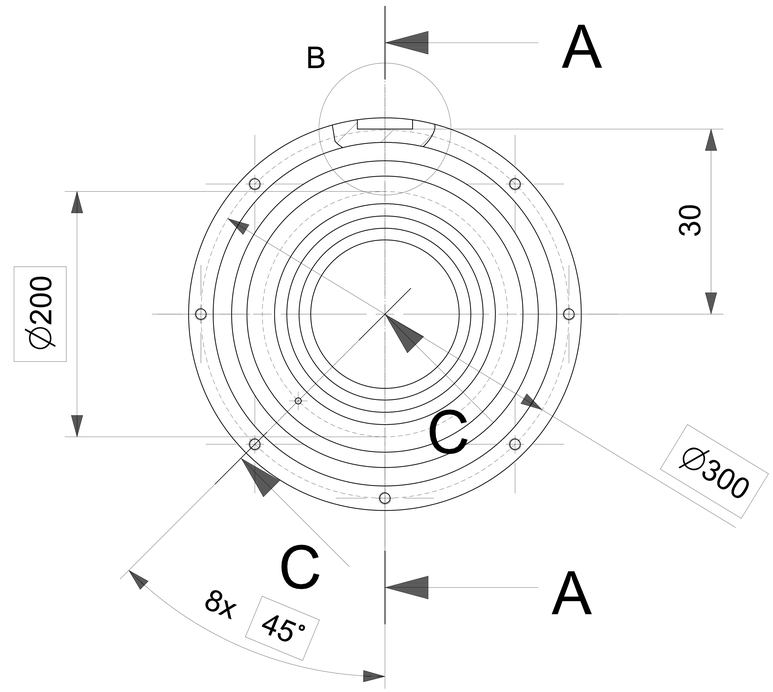
Název
SVRŠEK KONÍKU

Číslo dokumentu
ZČU - KON2

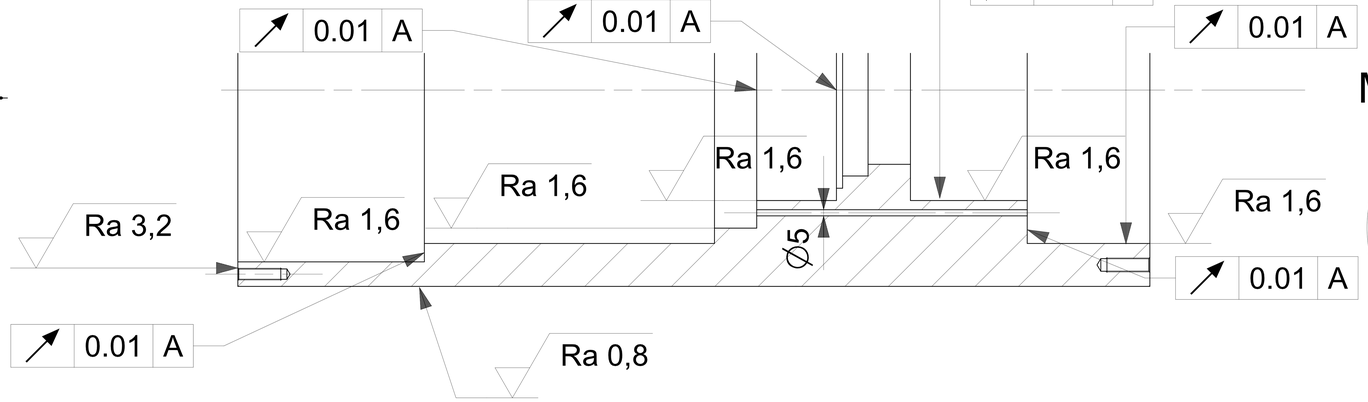
List 2 Listů 2

A-A

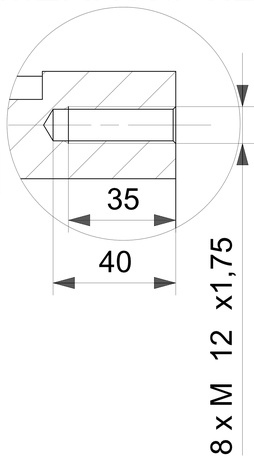




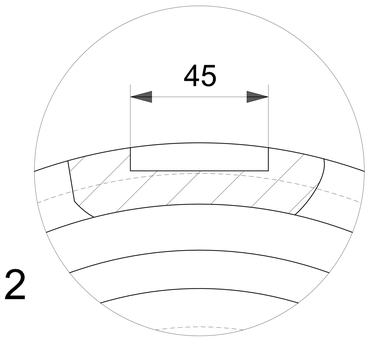
C-C



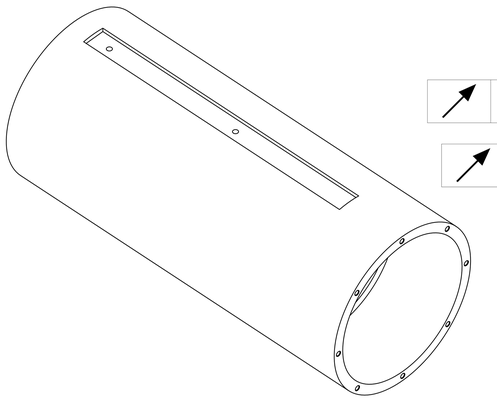
DETAIL F
MĚŘÍTKO 1:2

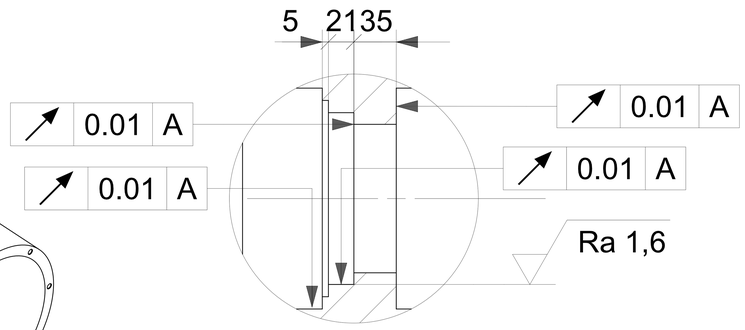


DETAIL E
MĚŘÍTKO 1:2



DETAIL B
MĚŘÍTKO 1:2





DETAIL D
MĚŘÍTKO 1:5

Textura povrchu: Ra 6,3	Hrany ISO 13715: +0,5 -0,5	Merítko: 1:5	Presnost: ISO 2768 - mK
		Hmotnost (kg): 215	Tolerování: ISO 8015
			Promítání
Materiál - Polotovar: OCEL 11600 - VÝKOVEK			Formát: A3
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOCESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil: Z. JANOTA	Název: Pinola	
	Datum: 23. 5. 2017		
	Schválil		
	Datum		
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu: VÝROBNÍ VÝKRES	Číslo dokumentu: ZČU - 1320 PIN1	
		List 1	Listu 1