ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T013 Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vřeteník univerzálního hrotového soustruhu

Autor: **Bc. Šimon PUŠMAN**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Martin HYNEK, Phd.**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: **2013/2014**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Šimon PUŠMAN**
Osobní číslo:	**S12N0043P**
Studijní program:	**N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor:	**Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu:	**Vřeteník univerzálního hrotového soustruhu**
Zadávající katedra:	**Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování:

Základní požadavky:
Průzkum současného stavu problematiky, rešerše. Analýza získaných poznatků. Návrh koncepcí vřeteníku s ohledem na požadované parametry soustruhu. Porovnání jednotlivých konstrukčních variant a výběr vhodné varianty. Kinematické schéma vřeteníku. MKP analýza konstrukčního řešení. Detailní konstrukce vřeteníku. Výrobní a výkresová dokumentace v závislosti na technologii výroby.

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

Osnova diplomové práce:

1. Průzkum současného stavu problematiky
2. Návrh koncepcí vřeteníku s ohledem na požadované parametry soustruhu
3. Porovnání jednotlivých variant a výběr vhodné varianty
4. Detailní konstrukce, výkresová dokumentace a MKP analýza vybrané varianty
5. Zhodnocení práce, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah pracovní zprávy: **50-70 stran A4**

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

Seznam odborné literatury:

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

KRÁTKÝ, J., HOSNEDL, S., KRÓNEROVÁ, E. *Obecné strojní části 2.* **Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011**

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

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Martin Hynek, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant diplomové práce: **Jaroslav Vykoukal**
GENERAL ENGINEERING SERVICES s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **23. září 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2014**

Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan

L.S.

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

V Plzni dne 23. září 2013

Prohlášení o autorství

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

V Plzni dne: ……. **. . . . . .**

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Doc. Ing. Martinu Hynkovi, Phd., konzultantu panu Jaroslavu Vykoukalovi a Doc. Ing. Zdeňkovi Hudcovi, CSc. za poskytnutí cenných rad při zpracování diplomové práce. Jejich znalosti a zkušenosti byly nezbytným zdrojem informací, potřebných k řešení dané problematiky.

Dále bych rád poděkoval rodině za podporu poskytovanou po celou dobu studia.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Pušman	**Jméno** Šimon	
STUDIJNÍ OBOR	2302T019 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Doc. Ing. Hynek Phd.	**Jméno** Martin	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	**DIPLOMOVÁ**	~~**BAKALÁŘSKÁ**~~	**Nehodící se škrtněte**
NÁZEV PRÁCE	Vřeteník univerzálního hrotového soustruhu		

FAKULTA	strojní		**KATEDRA**	KKS		**ROK ODEVZD.**	2014

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	76		**TEXTOVÁ ČÁST**	54		**GRAFICKÁ ČÁST**	22

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	V této diplomové práci byly vytvořeny dvě varianty konstrukčního řešení vřeteníku univerzálního hrotového soustruhu. Tyto varianty byly vyhodnoceny a bylo zvoleno vhodné konstrukční řešení. Pomocí analytických a numerických výpočtů byly navrženy a zkontrolovány jednotlivé části vřeteníku. Vřeteník byl zkonstruován pomocí CAD systému a pro jeho vybrané součásti byla vytvořena výkresová dokumentace.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	vřeteník, univerzální hrotový soustruh, hlavní pohon, vřeteno, převodové mechanismy, MKP, CAD

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	**Surname** Pušman	**Name** Šimon	
FIELD OF STUDY	2302T019“ Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	**Surname (Inclusive of Degrees)** Doc. Ing. Hynek Phd.	**Name** Martin	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	**DIPLOMA**	~~**BACHELOR**~~	**Delete when not applicable**
TITLE OF THE WORK	The Headstock of the Universal Centre Lathe		

FACULTY	Mechanical Engineering		**DEPARTMENT**	Machine Design		**SUBMITTED IN**	2014

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	76		**TEXT PART**	54		**GRAPHICAL PART**	22

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS**	Two design variants of the headstock of the universal center lathe were made in this diploma sheet. These variant were compared and the right design solution of the headstock was chosen. Particular components were designed and checked due to analytic and numeric calculations. The headstock was designed in the CAD system and drawings were made for particular component.
KEY WORDS	headstock, universal center lathe, main drive, spindle, transmission mechanism

Obsah:

1 Úvod 14
2 Zadávající společnost 14
3 Technické parametry soustruhu SU 840 14
4 Rozdělení univerzálních hrotových soustruhů 16
4.1 Konvenční univerzální hrotové soustruhy 16
4.2 CNC univerzální hrotové soustruhy 17
5 CNC univerzální hrotové soustruhy 17
5.1 Masturn 820 CNC 18
5.2 Tur 800 MN 18
5.3 SE 820 19
6 Technické parametry univerzálních hrotových soustruhů 20
7 Základní konstrukční celky vřeteníku 21
7.1 Motor hlavního pohonu 21
7.2 Převodové mechanismy hlavního pohonu 21
7.3 Skříň vřeteníku 22
7.4 Uložení vřetene 22
7.4.1 Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem 23
7.4.2 Uložení s kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem 24
7.4.3 Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem a ložisky s kosoúhlým stykem 25
8 Návrh konstrukčních řešení vřeteníku 26
8.1 Varianta A 26
8.2 Varianta B 29
9 Porovnání konstrukčních řešení vřeteníku a výběr vhodné varianty 32
10 Hlavní pohon 33
10.1 Motor hlavního pohonu 33
10.2 Převodové mechanismy hlavního pohonu 34
10.2.1 Návrh prvního převodového stupně 35
10.2.2 Návrh druhého převodového stupně 36
10.2.3 Návrh ozubeného převodu kola 3 a kola 4 37
10.2.4 Návrh řemenového převodu 38
10.2.5 Parametry navrženého hlavního pohonu 39
10.3 Zatěžovací stavy jednotlivých souhmotí 42
10.3.1 Souhmotí SH 4 43
10.3.2 Souhmotí SH 3 44
10.3.3 Souhmotí SH 2 45
10.4 Kontrolní výpočty souhmotí SH 2 a SH 3 47

10.5 Zatěžovací stavy uložení vřetene ... 49
10.6 Kontrolní výpočet uložení vřetene ... 50
11 MKP analýza vřeteníku ... 52
11.1 Výpočtový model vřeteníku ... 52
11.1.1 Definování kontaktů ... 54
11.2 Úloha 1 - maximální zatížení vřeteníku ... 55
11.2.1 Okrajové podmínky úlohy 1 ... 55
11.2.2 Výsledky úlohy 1 ... 57
11.2.3 Vyhodnocení úlohy 1 ... 60
11.3 Úloha 2 – tuhost uložení ložisek ... 60
11.3.1 Okrajové podmínky úlohy 2 ... 60
11.3.2 Výsledky úlohy 2 ... 62
11.3.3 Vyhodnocení úlohy 2 ... 63
12 Tuhost uložení vřetene ... 64
12.1 Tuhost uložení vřetene ve směru X ... 65
12.1.1 Tuhost vřetene ve směru X ... 65
12.1.2 Tuhost ložisek ve směru X ... 65
12.1.3 Tuhost skříně vřeteníku ve směru X ... 67
12.1.4 Celková tuhost uložení vřetene ve směru X ... 68
12.2 Tuhost uložení vřetene ve směru Y ... 68
12.2.1 Tuhost vřetene ve směru Y ... 68
12.2.2 Tuhost ložisek ve směru Y ... 68
12.2.3 Tuhost skříně vřeteníku ve směru Y ... 69
12.2.4 Celková tuhost uložení vřetene ve směru Y ... 70
12.3 Tuhost uložení vřetene ve směru Z ... 70
12.3.1 Tuhost ložiska ve směru Z ... 70
12.3.2 Tuhost skříně vřeteníku ve směru Z ... 71
12.3.3 Celková tuhost uložení vřetene ve směru Z ... 71
12.4 Celková tuhost uložení vřetene ... 71
13 Závěr ... 72
14 Použitá literatura, zdroje ... 73
15 Seznam použitého software ... 74
16 Seznam obrázků ... 74
17 Seznam tabulek ... 75
18 Seznam příloh ... 76

Seznam použitých symbolů:

Symbol	Název	Jednotky
a	vyložení působiště vnějších sil od předního ložiska	mm
$a_{1.2}$	pokles výkonu mezi 1. stupněm a 2. stupněm	-
$a_{3.4}$	osová vzdálenost kola 4 a kola 3	mm
$a_{5.6}$	osová vzdálenost kola 6 a kola 5	mm
$a_{7.8}$	osová vzdálenost kola 7 a kola 8	mm
c	dovolené namáhání zubu v ohybu	MPa
d_1	průměr řemenice 1	mm
d_2	průměr řemenice 2	mm
D_3	průměr roztečné kružnice kola 3	mm
D_4	průměr roztečné kružnice kola 4	mm
D_5	průměr roztečné kružnice kola 5	mm
D_6	průměr roztečné kružnice kola 6	mm
D_7	průměr roztečné kružnice kola 7	mm
D_8	průměr roztečné kružnice kola 8	mm
d_{NN_3932}	vnitřní průměr vnějšího kroužku ložiska NN 3932	mm
d_{NN_3936}	vnitřní průměr vnějšího kroužku ložiska NN 3936	mm
$D_{v_NN_3932}$	vnější průměr válečku ložiska NN 3932	mm
$D_{v_NN_3936}$	vnější průměr válečku ložiska NN 3936	mm
F	tečná složka řezné síly	kN
F_{AK}	minimální bezpečná upínací síla koníku	kN
F_{AV}	axiální síla působící na vřeteno	kN
F_Q	gravitační síla působící na obrobek	kN
F_{QD}	gravitační síla od obrobku působící na vřeteno	kN
F_R	radiální složka řezné síly	kN
$F_{R.0}$	radiální složka síly působící na vřeteno při 0. zátěžném stavu	kN
$F_{R_x_NN_3932}$	síla působící na ložisko NN 3932 ve směru X při 0. zátěžném stavu	N
$F_{R_x_NN_3936}$	síla působící na ložisko NN 3936 ve směru X při 0. zátěžném stavu	N
F_{x_v}	síla působící na vřeteno ve směru X	kN
$F_{y.0}$	svislá složka síly působící na vřeteno při 0. zátěžném stavu	kN
i_1	převodový poměr 1. stupně	-
$i_{1.2}$	převodový poměr řemenice 1 a řemenice 2	-
i_2	převodový poměr 2. stupně	-
$i_{3.4}$	převodový poměr kola 4 a kola 3	-
$i_{5.6}$	převodový poměr kola 6 a kola 5	-
$i_{7.8}$	převodový poměr kola 7 a kola 8	-

i_{NN_3932}	počet řad válečků ložiska NN 3932	-
i_{NN_3936}	počet řad válečků ložiska NN 3936	-
k_1	koeficient provozu 1. stupně	-
k_2	koeficient provozu 2. stupně	-
k_{x_L}	tuhost na hrotu vřetene ve směru X určená ložisky	*kN/mm*
$k_{T.0}$	koeficient doby běhu při normálním směru otáčení, při 1. stupni	-
$k_{T.1}$	koeficient doby běhu při reverzním směru otáčení, při 1. stupni	-
$k_{T.2}$	koeficient doby běhu při normálním směru otáčení, při 2. stupni	-
$k_{T.3}$	koeficient doby běhu při reverzním směru otáčení, při 2. stupni	-
k_{x_sk}	tuhost na hrotu vřetene ve směru X určená skříní vřeteníku	*kN/mm*
$k_{x_uloz_vret}$	celková tuhost uložení vřetene ve směru X	*kN/mm*
k_{x_v}	tuhost vřetene ve směru X	*kN/mm*
kx_{NN_3932}	tuhost skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru X	*kN/mm*
kx_{NN_3936}	tuhost skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru X	*kN/mm*
k_{y_l}	tuhost na hrotu vřetene ve směru Y určená ložisky	*kN/mm*
k_{y_sk}	tuhost na hrotu vřetene ve směru Y určená skříní vřeteníku	*kN/mm*
$k_{y_uloz_vret}$	celková tuhost uložení vřetene ve směru Y	*kN/mm*
k_{y_v}	tuhost vřetene ve směru Y	*kN/mm*
ky_{NN_3932}	tuhost skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru Y	*kN/mm*
ky_{NN_3936}	tuhost skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru Y	*kN/mm*
k_{z_l}	tuhost na hrotu vřetene ve směru Z určená ložiskem	*kN/mm*
k_{z_sk}	tuhost na hrotu vřetene ve směru Z určená skříní vřeteníku	*kN/mm*
$k_{z_uloz_vret}$	celková tuhost uložení vřetene ve směru Z	*kN/mm*
L	vzdálenost mezi předním a zadním ložiskem	*mm*
$L_{v_NN_3932}$	délka valivého elementu ložiska NN 3932	*mm*
$L_{v_NN_3936}$	délka valivého elementu ložiska NN 3936	*mm*
M_1	jmenovitý moment motoru	*N.m*
$M_{2.1}$	hnací moment - moment na řemenici 2 od řemenice 1	*N.m*
$m_{3.4}$	modul ozubeného kola 3 a kola 4	*mm*
$M_{3.4}$	hnaný moment - moment na kole 3 od kola 4	*N.m*
M_4	točivý moment přenášený kolem 4	*N.m*
$M_{4.3}$	moment hnací - moment na kole 4 od kola 3	*N.m*
$m_{5.6}$	modul ozubeného kola 5 a kola 6	*mm*
$M_{5.6}$	hnaný moment - moment na kole 5 od kola 6 (1. stupeň)	*N.m*
$M_{6.5}$	hnací moment - moment na kole 6 od kola 5 (1. stupeň)	*N.m*
$m_{7.8}$	modul ozubeného kola 7 a kola 8	*mm*
$M_{7.8}$	točivý moment přenášený kolem 7 a kolem 8	*N.m*
$M_{7.8}$	hnaný moment - moment na kole7 od kola 8 (2. stupeň)	*N.m*

$m_{7.8min}$	minimální modul ozubeného kola 7 a kola 8	*mm*
$M_{8.7}$	hnací moment - moment na kole 8 od kola 7 (2. stupeň)	*N.m*
$M_{9.10}$	hnaný moment - moment na sklíčidle 9 od obrobku 10	*N.m*
M_{e1}	maximální moment na vřetenu pro 1. stupeň (teoretický)	*N.m*
M_{e2}	maximální moment na vřetenu pro 2. stupeň	*N.m*
M_L	omezný moment na vřetenu	*N.m*
N	počet klínů řemenového převodu	-
n	otáčky vřetene	*ot/min*
n_2	otáčky souhmotí SH 2	*ot/min*
n_3	otáčky souhmotí SH 3	*ot/min*
n_4	otáčky souhmotí SH 4	*ot/min*
n_{e1}	jmenovité otáčky na vřetenu pro 1. stupeň	*ot/min*
n_{e2}	jmenovité otáčky na vřetenu pro 2. stupeň	*ot/min*
n_L	otáčky vřetene při omezném momentu	*ot/min*
n_{M1}	maximální otáčky na vřetenu pro 1. stupeň	*ot/min*
n_{M2}	maximální otáčky na vřetenu pro 2. stupeň	*ot/min*
n_{max}	maximální otáčky motoru	*ot/min*
n_N	jmenovité otáčky motoru	*ot/min*
P_L	požadovaný výkon na vřetenu	*kW*
P_N	výkon motoru	*kW*
P_{Nmin}	potřebný výkon motoru	*kW*
q_c	poměrné doby běhu	-
r_p	regulační rozsah při konstantním výkonu	-
T_c	celková předepínací síla řemenu	*N*
T	doby běhu vřetene	*hod*
T_2	doba běhu souhmotí SH 2	*hod*
T_3	doby běhu souhmotí SH 3	*hod*
T_4	doby běhu souhmotí SH 4	*hod*
$T_{4.0}$	doba běhu vřetene při normálním soustružení při 1. stupni	*hod*
$T_{4.1}$	doba běhu vřetene při reverzním soustružení při 1. stupni	*hod*
$T_{4.2}$	doba běhu vřetene při normálním soustružení při 2. stupni	*hod*
$T_{4.3}$	doba běhu vřetene při reverzním soustružení při 2. stupni	*hod*
T_{4c}	celková doba běhu vřetene při obrábění	*hod*
T_{4n}	doba běhu vřetene při normálním směru otáčení	*hod*
T_{4r}	doba běhu vřetene při reverzním směru otáčení	*hod*
u_{x_v}	posunutí na konci vřetene ve směru X, při působení síly F_{x_v}	*mm*
z_3	počet zubů kola 3	-
z_4	počet zubů kola 4	-

z_5	počet zubů kola 5	-
z_6	počet zubů kola 6	-
z_7	počet zubů kola 7	-
z_8	počet zubů kola 8	-
$z_{v_NN_3932}$	počet valivých elementů ložiska NN 3932	-
$z_{v_NN_3936}$	počet valivých elementů ložiska NN 3936	-
$\delta_{x_hrot_NN_3932}$	deformace ložiska NN 3932 ve směru X, transformovaná na hrot vřetene	*mm*
$\delta_{x_hrot_NN_3936}$	deformace ložiska NN 3936 ve směru X, transformovaná na hrot vřetene	*mm*
δ_{x_l}	posunutí na hrotu vřetene ve směru X způsobené deformací ložisek	*mm*
$\delta_{x_NN_3932}$	deformace ložiska NN 3932 ve směru X při 0. zátěžném stavu	*mm*
$\delta_{x_NN_3936}$	deformace ložiska NN 3936 ve směru X při 0. zátěžném stavu	*mm*
δ_{x_sk}	posunutí na hrotu vřetene způsobené deformací skříně vřeteníku	*mm*
$\delta_{x_sk_hrot_NN_3932}$	deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru X, transformovaná na hrot vřetene	*mm*
$\delta_{x_sk_hrot_NN_3936}$	deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru X, transformovaná na hrot vřetene	*mm*
$\delta_{x_sk_NN_3932}$	deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru X	*mm*
$\delta_{x_sk_NN_3936}$	deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru X	*mm*
δ_{y_sk}	posunutí na hrotu vřetene způsobené deformací skříně vřeteníku	*mm*
$\delta_{y_sk_hrot_NN_3932}$	deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru Y, transformovaná na hrot vřetene	*mm*
$\delta_{y_sk_hrot_NN_3936}$	deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru Y, transformovaná na hrot vřetene	*mm*
$\delta_{y_sk_NN_3932}$	deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru Y	*mm*
$\delta_{y_sk_NN_3936}$	deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru Y	*mm*
η_1	účinnost převodových mechanismů pro 1. stupeň	-
η_2	účinnost převodových mechanismů pro 2. stupeň	-
η_o	účinnost ozubeného převodu	-
η_p	předpokládaná účinnost převodových mechanismů	-
η_r	účinnost řemenového převodu	-
λ	poměr uložení vřetene soustruhu	-
ψ_3	poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 3	-
ψ_4	poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 4	-
ψ_5	poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 5	-
ψ_6	poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 6	-
$\psi_{7.8}$	poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 7 a kolo 8	-

1 Úvod

Univerzální hrotové soustruhy slouží zejména pro kusovou a malosériovou výrobu, tudíž nacházejí uplatnění především v nástrojárnách, opravárenských dílnách a výrobních závodech s výše uvedeným zaměřením výroby. Vřeteník patří mezi hlavní části univerzálního hrotového soustruhu. Oblast vřeteníku zahrnuje hlavní pohon stroje, který zajišťuje hlavní řezný pohyb při soustružení.

V této diplomové práci je provedena rešerše v oblasti CNC univerzálních hrotových soustruhů. Následně jsou popsány hlavní části CNC univerzálních hrotových soustruhů a jsou uvedena jejich možná konstrukční řešení. Dále jsou navrženy dvě konstrukční varianty vřeteníku, vhodné pro univerzální hrotový soustruh SU 840 a je provedeno jejich technicko ekonomické zhodnocení.

Zvolená varianta je dále detailně zpracována. Na základě analytických a numerických výpočtů jsou navrženy a zkontrolovány jednotlivé části vřeteníku. Pomocí CAD softwaru je vytvořen kompletní 3D model vřeteníku a následně je vyhotovena výkresová dokumentace vybraných částí vřeteníku.

2 Zadávající společnost

Zadavatelem této diplomové práce je společnost General Engineering Services s.r.o. se sídlem v Plzni.

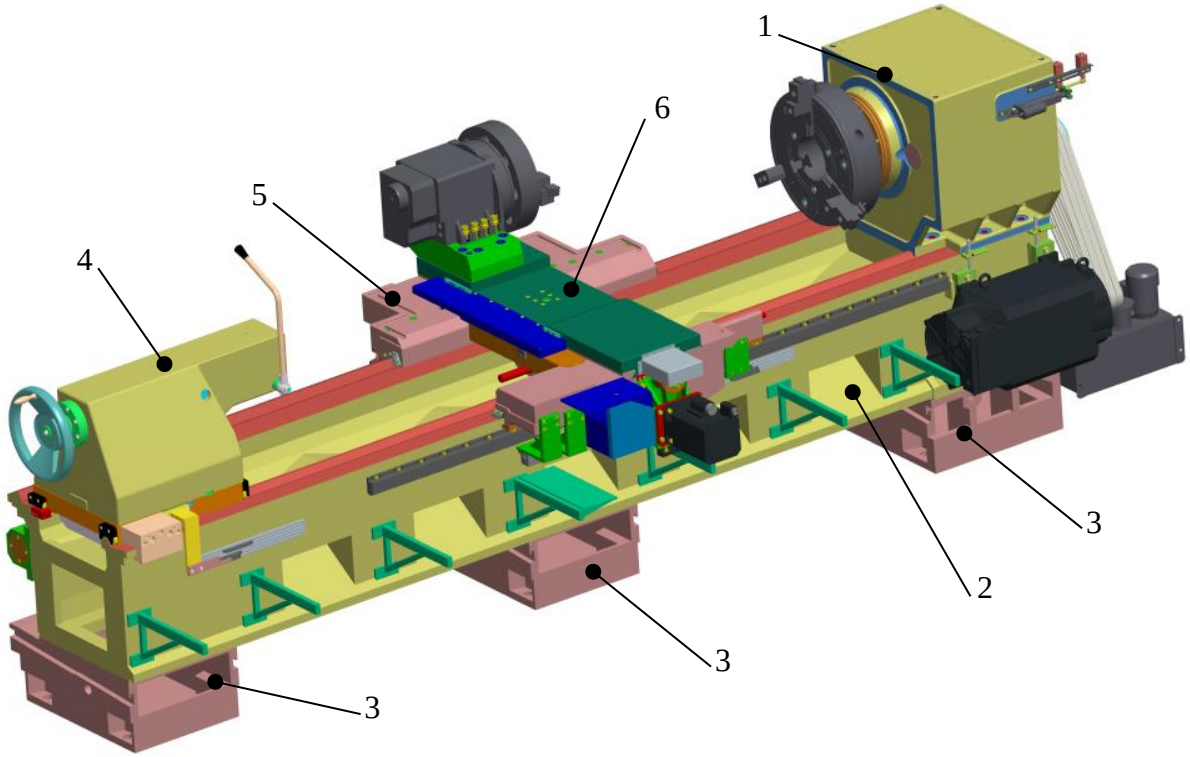
Tato společnost působí na trhu již od roku 2008. V současné době se její činnost soustřeďuje na konstrukci a poskytování IT služeb.

V oblasti konstrukce nabízí externí spolupráci s ohledem na požadované metody a standardy stanovené zákazníkem.

3 Technické parametry soustruhu SU 840

Cílem práce je návrh vřeteníku (poz.1) univerzálního hrotového soustruhu SU 840, viz obr. 1. Jedná se o středně velký stroj s dvoudráhovým, vodorovným provedením vodicích ploch. Lože (poz.2) je žebrované, vyhotovené jako odlitek. Jeho podepření zajišťuje trojice noh (poz.3), které jsou upevněny k základu stroje. Pro vodicí plochy koníku (poz. 4) a podélných saní suportu (poz.5) je použita kombinace plochého a prizmatického vedení, zatímco příčné saně suportu (poz.6) jsou uloženy ve vedení rybinovém. Pohon podélných a příčných saní suportu je realizován pomocí kuličkových šroubů, které jsou ovládané servomotory. Stabilní a tuhé podepření obrobku zajišťuje koník s možností elektricky řízeného posuvu po loži.

Soustruh SU 840 je možné ovládat manuálně nebo s využitím CNC řízení. Soustruh musí splňovat zkoušky geometrické přesnosti dle ČSN ISO 13041-1 [15] a umožnit výrobu obrobků ve stupni přesnosti IT 7 pro Ø 20 mm - 100 mm a IT 6 pro Ø 100 mm - 400 mm. Ostatní zadané parametry soustruhu SU 840 jsou uvedeny v tab. 1. Výše uvedených požadavky je nutné zohlednit při návrhu konstrukčního řešení vřeteníku.



Obr. 1 - Univerzální hrotový soustruh SU 840

1-vřeteník, 2-lože, 3-nohy, 4-koník, 5-podélné saně suportu, 6-příčné saně suportu

Tab. 1 - Zadané technické parametry soustruhu SU 840

Pracovní rozsah	**SU 840**
Oběžný průměr nad ložem [*mm*]	840
Oběžný průměr nad suportem [*mm*]	530
Vzdálenost mezi hroty [*mm*]	2500
Max. hmotnost obrobku (letmo) [*kg*]	1000
Max. hmotnost obrobku (mezi hroty) [*kg*]	3000
Vřeteno	
Ukončení vřetene [-]	ISO 702-1
Vrtání [*mm*]	135
Omezný moment na vřetenu [*N.m*]	2600
Max. otáčky vřetena [*1/min*]	1600
Výkon na vřetenu [*kW*]	18
Suporty	
Rychlost posuvu příčného suportu [*mm/min*]	1-3000
Rychlost rychloposuvu příčného suportu [*mm/min*]	5000
Rychlost posuvu podélného suportu [*mm/min*]	1-5000
Rychlost rychloposuvu příčného suportu [*mm/min*]	6000
Koník	
Vnitřní kužel pinoly [-]	MORSE 6

4 Rozdělení univerzálních hrotových soustruhů

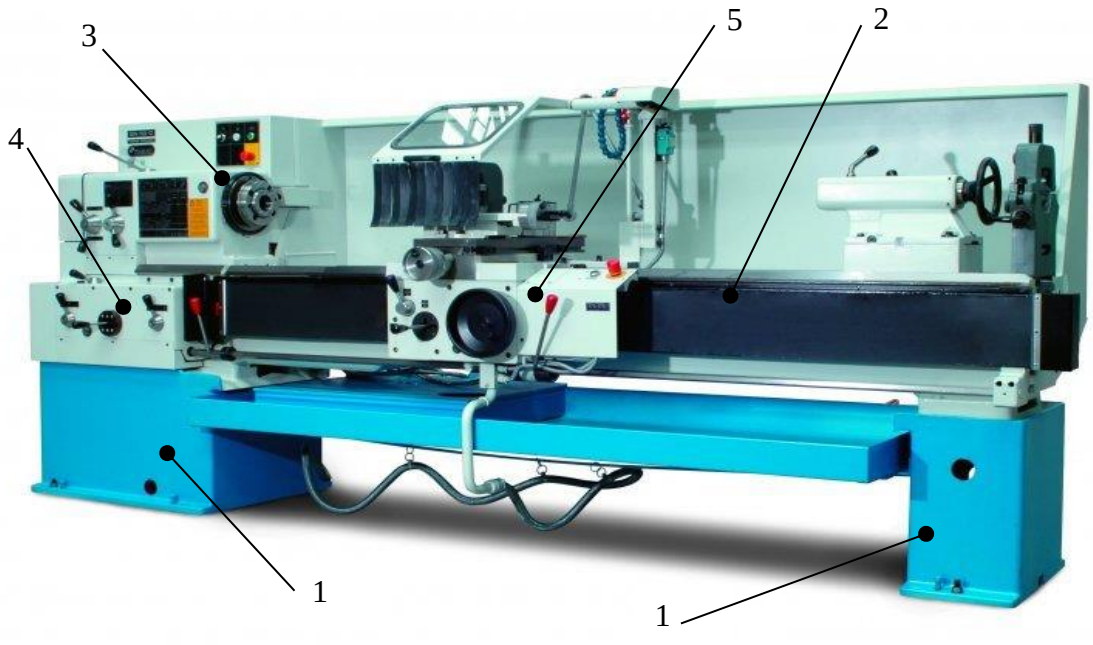
V této kapitole jsou uvedeny dva základní typy univerzálních hrotových soustruhů. Níže uvedený způsob dělení je odvislí od metody řízení těchto strojů. Toto rozdělení využívá většina výrobců univerzálních hrotových soustruhů.

4.1 Konvenční univerzální hrotové soustruhy

Základním znakem těchto strojů je jejich manuální ovládání bez možnosti zautomatizování procesu obrábění. Řízení těchto strojů klade vysoké požadavky na schopnosti a zkušenosti obsluhy a vyžaduje její zapojení do ovládání stroje po celou dobu obrábění. Vzhledem k těmto skutečnostem jsou konvenční univerzální hrotové soustruhy používány zejména pro kusovou výrobu.

Na základních nohách stroje (poz. 1), viz obr. 2, je upevněno lože (poz. 2). Na jeho zadní straně je namontována převodovka a motor hlavního pohonu. Točivý moment je z hřídele motoru přenášen na vstupní hřídel převodovky hlavního pohonu pomocí řemenového převodu. Převodovka hlavního pohonu je vícestupňová a je ovládána manuálně obsluhou stroje. U stroje této koncepce jsou otáčky měněny pouze stupňovitě za klidu stroje.

Na loži soustruhu je umístěn vřeteník (poz. 3). Točivý moment je přenášen z převodovky hlavního pohonu na vřeteník pomocí řemenového převodu. Stejný typ převodu je také použit pro propojení vřetene a suportové převodovky (poz. 4), upevněné na přední straně lože. U tohoto typu soustruhů je pohyb podélných saní suportu (poz. 5) spojen pomocí převodů, tedy mechanickou vazbou, s hlavním rotačním pohybem stroje. Počet převodových stupňů suportové převodovky určuje univerzálnost stroje, zejména v oblasti soustružení závitů.



Obr. 2 - Konvenční univerzální hrotový soustruh TRENS SN 500 [13]
1-nohy, 2-lože, 3-vřeteník, 4-suportová skříň, 5-suport

4.2 CNC univerzální hrotové soustruhy

Na rozdíl od konvenčních strojů, lze u CNC univerzálních hrotových soustruhů zautomatizovat proces obrábění. Obrábět lze v automatickém cyklu s podporou CNC řízení nebo ručním ovládáním stroje. Při využití CNC řízení lze tyto stroje použít i pro malosériovou výrobu.

Na nohách (poz.1), viz obr. 3, je umístěno lože (poz.2) s vřeteníkem (poz.3). V konkrétním konstrukčním provedení stroje SE 1020, viz obr. 3, je ve vřeteníku uloženo vřeteno i s převodovými mechanismy hlavního pohonu. U strojů s parametry, viz tab. 1, bývá použita dvoustupňová převodovka. Řazení jednotlivých stupňů může být automatické, dle naprogramování řídicího systému.

Z hřídele motoru umístěného na zadní straně lože je točivý moment přenášen na vstupní hřídel vřeteníku pomocí řemenového převodu. Otáčky motoru a tedy i vřetene lze v rozsahu zařazeného stupně plynule regulovat, čehož lze s výhodou využít např. při obrábění čelních ploch. Toto řízení otáček je možné použitím frekvenčního měniče motoru.

Pohyb podélného suportu je řízen samostatným motorem. Na rozdíl od konvenčních strojů není tedy rotační pohyb vřetene a posuv podélných saní suportu spojen mechanickou vazbou, ale pouze elektronicky.

CNC univerzální hrotové soustruhy bývají často doplňovány vrtacím, frézovacím nebo brousícím zařízením. Zejména při použití vrtacího zařízení je vhodné doplnit stroj také polohováním vřetena (osa C) a brzdou vřetena. Výrobci těchto strojů často také nabízejí možnost doplnit stroj o hydraulicky ovládaného sklíčidlo.

Obr. 3 - CNC univerzální hrotový soustruh – TRENS SE 1020 [13]
1-nohy, 2-lože, 3-vřeteník

5 CNC univerzální hrotové soustruhy

V této kapitole je provedena rešerše v oblasti CNC univerzálních hrotových soustruhů, jejichž technické parametry jsou srovnatelné se strojem SU 840, pro který je navrhován vřeteník. Produkcí CNC univerzálních hrotových soustruhů se zabývá poměrně široká škála výrobců. V České republice je produkce těchto strojů spojena především se společnostmi KOVOSVIT MAS a TOS Čelákovice.

Popis strojů je zaměřen zejména na oblast vřeteníku. Poznatky zjištěné v této kapitole budou využity pro návrh variant konstrukčních řešení vřeteníku.

5.1 Masturn 820 CNC

Soustruh Masturn 820 CNC je vyráběn společností KOVOSVIT MAS. Tato společnost je výrobcem strojů pro technologie soustružení, frézování a hluboké válečkování.

CNC univerzální hrotový soustruh Masturn 820 CNC je strojem s největšími rozměrovými a výkonovými parametry, který společnost Kovosvit MAS v kategorii CNC univerzálních soustruhů nabízí.

Stroj je vybaven žebrovaným litinovým ložem s dvoudráhovým vedením. Pro pohon vřetena je použit třífázový asynchronní motor Siemens z výrobní řady 1PH7. Převodovka hlavního pohonu je umístěna přímo na motoru. Jedná se o dvoustupňovou planetovou převodovku od výrobce ZF. Součástí převodovky je mechanismus elektromagnetického řazení. Finální převod mezi převodovkou a vřetenem je realizován pomocí vícenásobného klínového řemene. Ložiska uložení vřetene jsou mazána plastickým mazivem.

Obr. 4 - Masturn 820 CNC [14]

5.2 Tur 800 MN

Výrobcem CNC univerzálního hrotového soustruhu Tur 800 MN je společnost HACO. Tento výrobce nabízí širokou škálu produktů se zaměřením nejen na obráběcí stroje. V oblasti obráběcích strojů se společnost věnuje technologii soustružení.

Stejně jako předchozí stroj, je i tento soustruh vybaven žebrovaným litinovým ložem s dvoudráhovým vedením. Výrobce nabízí širokou řadu délek lože od 2000 mm do 6000 mm. Převodovka hlavního pohonu stroje je umístěna uvnitř skříně vřeteníku. Řazení probíhá v rozsahu dvou stupňů přesouváním ozubených kol. Vřeteno je k dispozici ve standartním provedení s průměrem vrtání 140 mm. Větší průměry vrtání jsou nabízeny pro zákaznická provedení strojů. Koník soustruhu je navržen s prodlouženou přední částí, což umožňuje bezproblémové obrábění v jeho blízkosti.

Výrobce nabízí širokou škálu doplňků a úprav stroje pro zákaznická provedení. K dispozici je např. hydraulicky ovládané sklíčidlo nebo systém polohování vřetene.

Obr. 5 - TUR 800 MN [17]

5.3 SE 820

Soustruh SE 820 vyrábí společnost Trens. Tento slovenský výrobce se soustřeďuje na výrobu strojů pro technologii soustružení. Nabídka společnosti obsahuje konvenční soustruhy, CNC univerzální hrotové soustruhy a soustružnická centra.

Lože stroje je vyrobeno jako odlitek. Pro dosažení vysoké přesnosti, jsou vodicí plochy broušeny až po smontování s nohami stroje. Dostatečná životnost a trvalá přesnost vedení je dosažena kalením vodicích ploch lože, saní a příčného suportu.

Ve skříni vřeteníku je uložena dvoustupňová převodovka. Přesouvání ozubených kol do záběru, při řazení prvního nebo druhého převodového stupně, je realizováno pomocí lineárního aktuátoru. Ložiska uložení vřetene jsou mazána tukem. Ostatní ložiska vřeteníku a ozubená kola jsou mazána olejem. Skříň vřeteníku slouží také jako nádrž pro olejovou náplň.

Stroj lze doplnit o systém polohování vřetene, vrtací zařízení, případně o hydraulicky ovládané sklíčidlo.

Obr. 6 - SE 82 [13]

6 Technické parametry univerzálních hrotových soustruhů

Na základě provedené rešerše v oblasti CNC univerzálních hrotových soustruhů je vytvořen přehled jejich základních technických parametrů, viz tab. 2.

Pracovní rozsahy a rozměry všech strojů jsou srovnatelné. V oblasti hlavního pohonu dosahují soustruhy Masturn 820 CNC a SE 820 podobných parametrů, zatímco Tur 800 MN oba stroje výrazně převyšuje. Tento stroj ovšem využívá pro hlavní pohon motor s vyšším výkonem.

Tab. 2 - Technické parametry univerzálních hrotových soustruhů [13],[14],[18]

Pracovní rozsah	**Masturn 820 CNC**	**Tur 800 MN**	**SE 820**
Oběžný průměr nad ložem [mm]	820	820	800
Oběžný průměr nad suportem [mm]	530	520	515
Vzdálenost mezi hroty [mm]	2000/3000	2000/6000	2000/8000
Max. hmotnost obrobku (letmo) [kg]	-	1000	1000
Max. hmotnost obrobku (mezi hroty) [kg]	-	4000	3000
Vřeteno			
Ukončení vřetene [-]	ISO 702/3 (B11), ISO 702/2 (C11)	ISO 702/2 (D11)	ISO 702/1 (A2-11), ISO 702/2 (D11), ISO 702/3
Vrtání [mm]	128	140	133
Omezný moment na vřetenu [N.m]	2150	4100	1975
Max. otáčky vřetene [1/min]	1800	1800	1600
Pohon vřetena			
Výkon hlavního motoru S1 [kW]	22	33	22
Výkon hlavního motoru S6 [kW]	27,5	45	33
Počet stupňů převodovky [-]	2	2	2
Otáčky pro 1. stupeň [1/min]	1-400	4-300	1-415
Otáčky pro 2. stupeň [1/min]	1-1800	200-1800	1-1600
Suporty			
Rychlost posuvu příčného suportu [mm/min]	-	-	1-3000
Rychlost rychloposuvu příčného suportu [mm/min]	10000	6000	5000
Rychlost posuvu podélného suportu [mm/min]	-	-	1-5000
Rychlost rychloposuvu příčného suportu [mm/min]	10000	6000	6000
Koník			
Vnitřní kužel pinoly [-]	MORSE 6	MORSE 6	MORSE 6
Rozměry stroje			
Šířka [mm]	1810	2660	2325
Výška [mm]	1885	2000	2115
Délka [mm]	4000/5000	4400/8400	4605/10604

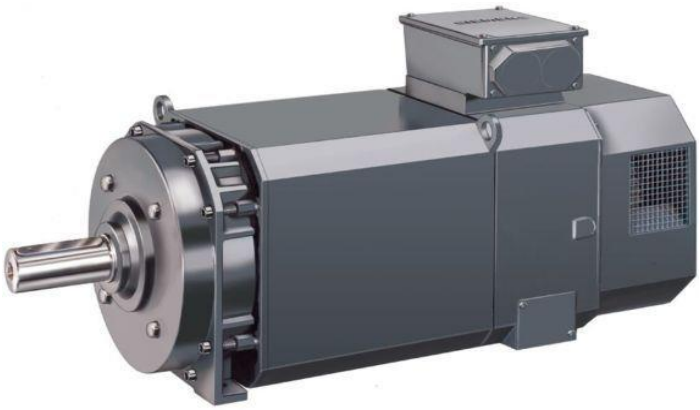
7 Základní konstrukční celky vřeteníku

V této kapitole jsou popsány základní konstrukční celky vřeteníku univerzálního hrotového soustruhu, mezi které lze zařadit motor hlavního pohonu, převodové mechanismy hlavního pohonu, skříň vřeteníku a uložení vřetene. Pro tyto celky jsou uvedena možná konstrukční řešení a zmíněny jejich hlavní výhody a nevýhody.

7.1 Motor hlavního pohonu

Pro hlavní pohony soustruhů se nejčastěji používají třífázové asynchronní motory. Soustruhy, které poskytují pracovní rozsah, viz tab. 2, kapitola 6., bývají vybaveny motory s výkony 22 kW - 37 kW.

Jedním z důležitých dodavatelů motorů pro hlavní pohony obráběcích strojů je společnost Siemens AG. Z její nabídky jsou vhodné především motory typové řady 1PH7. Jedná se o třífázové asynchronní motory s kotvou nakrátko, se stupněm krytí IP55. Dostatečné chlazení motoru zajišťuje vestavěná ventilační jednotka. Motory typové řady 1PH7 s výkony 12 - 41 kW dosahují až 6500 ot/min a mohou být již od výrobce vybaveny systémem pro měření otáček a úhlu natočení hřídele motoru. Motory jsou také osazeny sensory pro snímání teploty. Rám motoru 1PH7 může být na straně hřídele opatřen přírubou, která umožňuje připojení např. planetové převodovky ZF Duoplan nebo elektromagnetické brzdy. Pro potřebu upevnění motoru do zástavby stroje, je jeho rám opatřen čtveřicí patek.



Obr. 7 - Motor Siemens 1PH7 [19]

Dalším výrobcem poskytujícím motory podobných parametrů je společnost Fanuc. Stejně jako společnost Siemens používá i výrobce Fanuc, pro ovládání motoru, vlastní řídicí systém.

7.2 Převodové mechanismy hlavního pohonu

Hlavní funkcí převodových mechanismů je změna rozsahu výstupních parametrů motoru hlavního pohonu. U univerzálních hrotových soustruhů, s motory uvedenými v předchozí kapitole 7.1, se jedná o změnu ve smyslu snížení otáček a zvýšení točivého momentu.

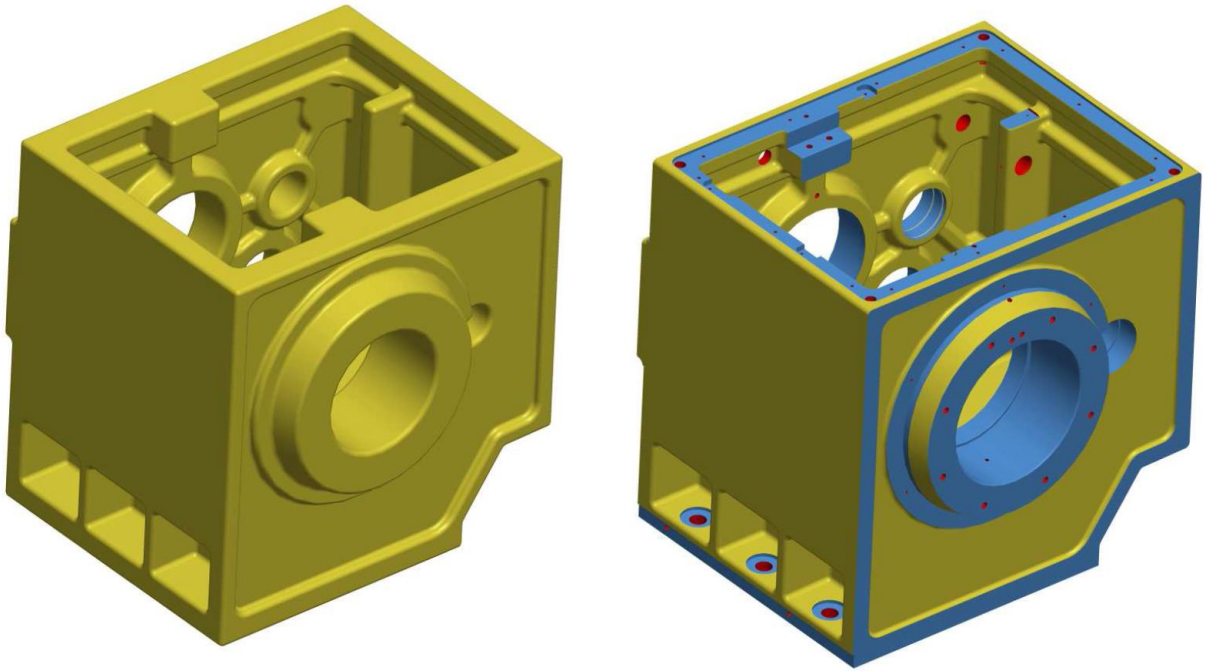
Plynulá změna otáček motoru, kterou zajišťuje řídicí systém s frekvenčním měničem, je doplněna o převodové mechanismy se stupňovitou změnou otáček. Pro CNC univerzální hrotové soustruhy je nejčastěji využívána kombinace ozubených a řemenových převodů. Převodové mechanismy hlavního pohonu mohou být uloženy ve skříni vřeteníku, nebo mohou být součástí externě umístěné převodovky. Převodovky hlavního pohonu, pro soustruhy s parametry, viz kapitola 6, bývají dvoustupňové. Řazení jednotlivých převodových stupňů je realizováno přesouváním jednotlivých kol do záběru nebo pomocí spojek. Pro řízení přesouvání kol, pří-

padně pro ovládání spojek, bývají požívány elektromagnetické a hydraulické aktuátory. Řazení převodových stupňů může být řízeno manuálně obsluhou stroje nebo může být součástí naprogramovaného obráběcího procesu.

7.3 Skříň vřeteníku

Skříň vřeteníku je vyráběna jako odlitek z šedé litiny. Ve skříni vřeteníku jsou obrobeny plochy pro jednotlivá ložiska uložení vřetene, případně pro ložiska dalších hřídelů. Od skříně vřeteníku je vyžadována především vysoká tuhost a to zejména v oblastech ložisek uložení vřetene. Tohoto požadavku je dosahováno dostatečným žebrováním odlitku, případně přidáním samostatných výztužných prvků. Skříň vřeteníku bývá u menších a středních strojů nedělená, což přináší určitá konstrukční omezení s ohledem na následnou montáž jednotlivých hřídelů.

Skříň vřeteníku je umístěna na loži soustruhu a její poloha je zajištěna pomocí šroubových spojů. Pro správnou funkci stroje je nutné zajistit rovnoběžnosti osy vřetene a vodicích ploch lože. Tohoto stavu lze dosáhnout např. pomocí tvaru stykových ploch skříně vřeteníku a lože, kdy je v dosedací ploše skříně vyrobena prizmatická drážka, která je následně uložena do prizmatické vodicí plochy lože. V případě že jsou stykové plochy skříně vřeteníku a lože pouze rovinné, je nutné ustavit skříň vřeteníku do požadované polohy během montáže s využitím měřicích přístrojů.



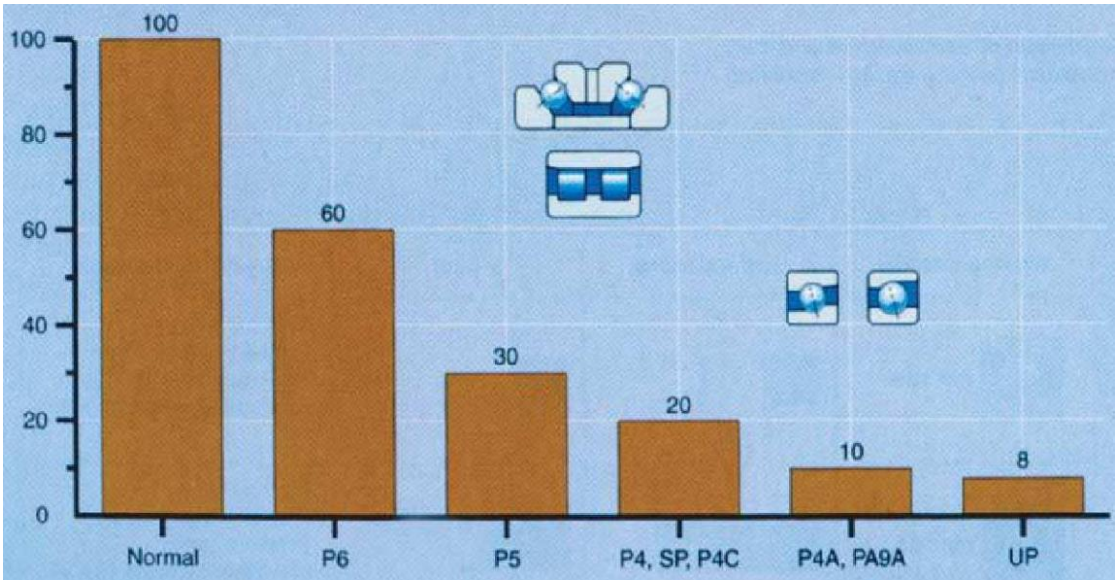
Obr. 8 - Skříň vřeteníku: odlitek (vlevo), odlitek po obrobení (vpravo)

7.4 Uložení vřetene

Při popisu jednotlivých variant uložení budou užívány pojmy přední a zadní část vřetene. Přední částí je myšlena oblast blíže ke sklíčidlu (vpravo, viz obr. 10, obr. 11, obr. 12), zatímco zadní část je dále od sklíčidla (vlevo, viz obr. 10, obr. 11, obr. 12)

Uložení vřetene má zásadní vliv na celkovou tuhost v místě nástroje a tedy i parametry dosažitelné při obrábění. Zejména přední ložisko zásadně ovlivňuje přesnost stroje. Na obr. 9 jsou uvedeny třídy přesnosti a relativní hodnoty radiálního házení pro jednotlivé typy vali-

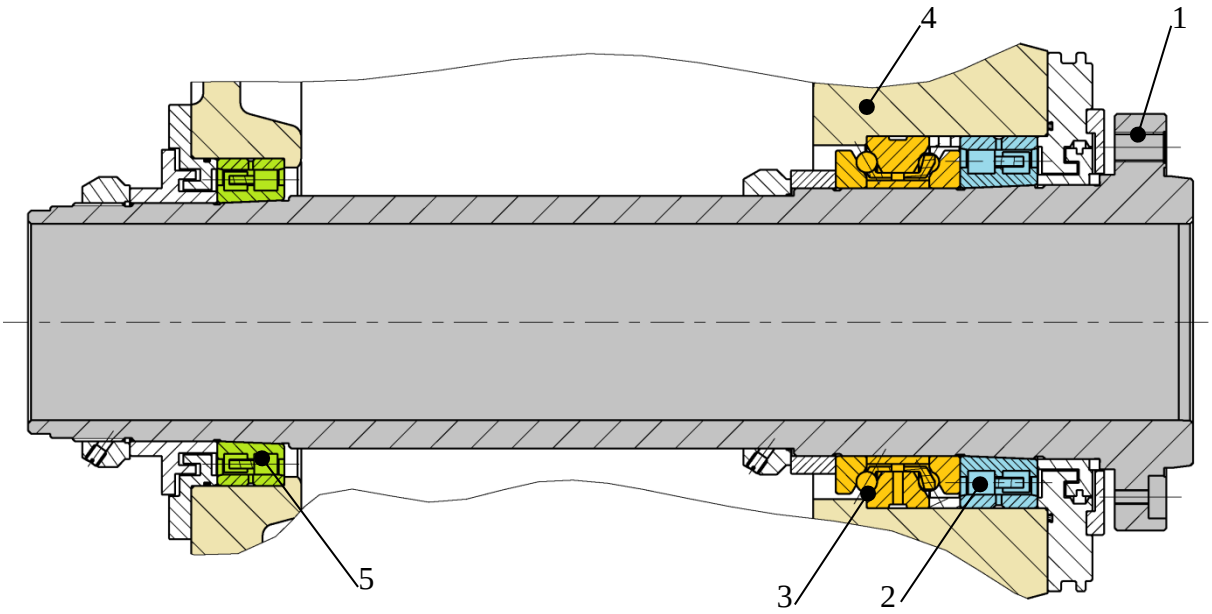
vých ložisek. V kapitolách 7.4.1 - 7.4.3 jsou představeny tři varianty uspořádání ložisek, obvykle užívané pro uložení vřeten soustruhů, s technickými parametry, viz kapitola 6.



Obr. 9 - Třídy přesnosti (osa X) a relativní hodnoty radiálního házení (osa Y) ložisek [3]

7.4.1 Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem

V přední části je vřeteno (poz.1), viz obr. 10, uloženo ve dvouřadém válečkovém ložisku (poz.2) a obousměrném axiálním kuličkovém ložisku s kosoúhlým stykem (poz.3). Díky velkému stykovému úhlu 60°, dosahuje toto ložisko velké tuhosti a únosnosti v axiálním směru. Předepnutí tohoto ložiska určují tolerance rozměrů jeho jednotlivých částí. Obě ložiska jsou uložena ve společném vývrtu, vyhotoveném ve skříni vřeteníku (poz.4). Výrobní tolerance vnějších kroužků těchto ložisek zajišťují, že veškeré radiální zatížení přenáší pouze dvouřadé válečkové ložisko, zatímco obousměrné axiální kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem přenáší jen zatížení axiální. Tato skutečnost má rozhodující vliv na únosnost a tuhost uvedeného uložení, zejména v axiálním směru.



Obr. 10 - Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem

1-vřeteno, 2-přední dvouřadé válečkové ložisko, 3- obousměrné axiální kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, 4-skříň vřeteníku, 5-zadní dvouřadé válečkové ložisko

V zadní části je vřeteno uloženo ve dvouřadém válečkovém ložisku (poz.5). Toto ložisko umožňuje posuv vnitřního kroužku a valivých elementů vůči kroužku vnějšímu. Tímto způsobem mohu být kompenzovány délkové dilatace vřetene, vyvolané změnou teploty.

Toto konstrukční řešení zajišťuje vysokou únosnost a tuhost uložení vřetene. Zejména tuhost v axiálním směru dosahuje, ve srovnání s dalšími způsoby uložení, vyšších hodnot.

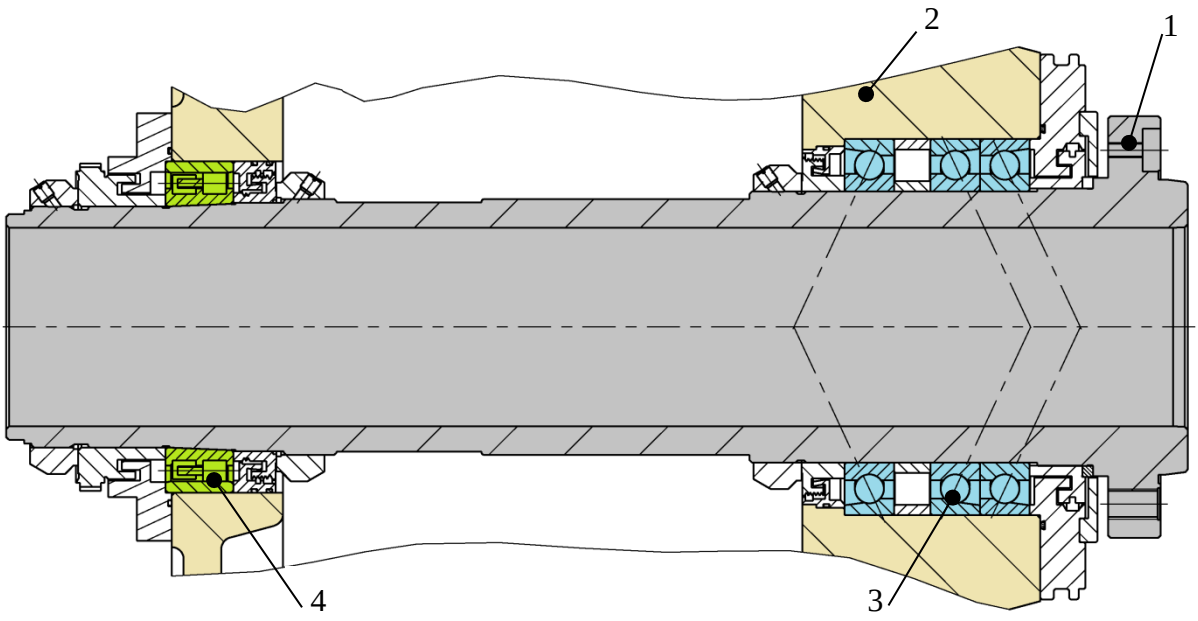
Výše definované uložení je používáno pro soustruhy, frézky, vrtačky a obráběcí centra.

7.4.2 Uložení s kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem

V přední části je vřeteno (poz.1), viz obr. 11., uloženo ve skříni vřeteníku (poz.2) pomocí trojice kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem (poz.3). Dvojice předních ložisek je namontována v tandemu (terminologie SKF), což zvyšuje axiální tuhost uložení při obrábění směrem ke vřeteníku. Třetí ložisko je namontováno v opačném směru tak, aby přenášelo axiální zatížení působící směrem od vřeteníku. Ložiska s kosoúhlým stykem jsou vyráběna v provedeních se stykovými úhly 15°, 25° a 30°. Se zvětšujícím se stykovým úhlem se zvyšuje axiální únosnost a tuhost ložiska, zatímco radiální únosnost a tuhost společně s maximálními otáčkami klesá. Stykový úhel ložisek je tedy volen dle dané aplikace a předpokládaného zatížení vřetene. Radiální zatížení vřetene přenáší zejména dvojice předních ložisek.

V zadní části je vřeteno uloženo ve dvouřadém válečkovém ložisku (poz.4). Stejně jako u varianty uložení, viz kapitola 7.4.1, umožňuje toto ložisko kompenzaci délkové dilatace vřetene.

Výhodou tohoto typu uložení je vysoká přesnost a vysoké maximální otáčky vřetene. Nevýhodou výše uvedeného uložení je nižší tuhost a únosnost, zejména v axiálním směru, v porovnání s předchozí variantou. Mezi stroje, u kterých bývá aplikován tento způsob uložení vřetene, patří zejména soustruhy a frézky.



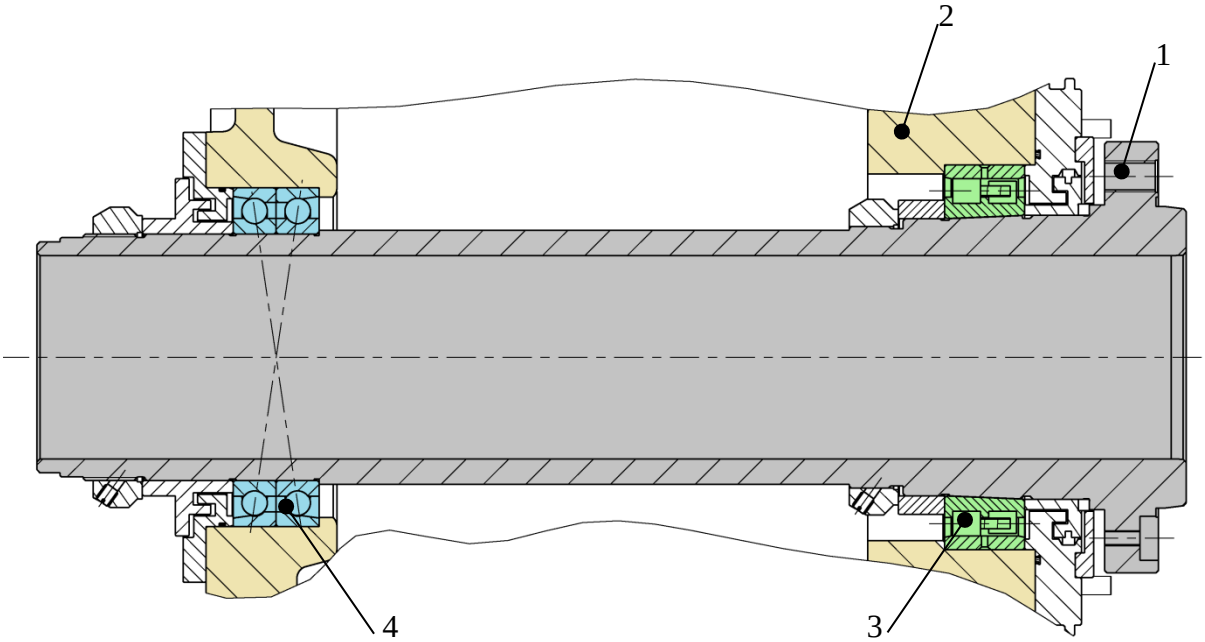
Obr. 11 - Uložení s kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem
1-vřeteno, 2-skříň vřeteníku, 3- kuličková ložiska s kosoúhlým stykem, 4-dvouřadé válečkové ložisko

7.4.3 Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem a ložisky s kosoúhlým stykem

V přední části je vřeteno (poz.1), viz obr. 12., uloženo ve skříni vřeteníku (poz.2) pomocí dvouřadého válečkového ložiska (poz.3). Vnitřní kroužek ložiska může být vyroben s válcovou nebo kuželovou dírou, čemuž je přizpůsobeno samotné vřeteno. Toto ložisko přenáší pouze radiální zatížení.

V zadní části je vřeteno uloženo pomocí dvojice kuličkových ložisek s kosoúhlým stykem (poz.4). Ložiska jsou montována zády k sobě, do "O" (terminologie SKF) a zachytávají axiální zatížení v obou směrech.

Axiální tuhost tohoto uložení je stejná ve směru ke vřeteníku i ve směru od vřeteníku. Oproti dříve uvedeným variantám uložení je však její hodnota nižší. Naopak radiální tuhost uložení je vysoká a to zejména díky použití dvouřadého válečkového ložiska v přední části. Maximální otáčky tohoto typu uložení jsou srovnatelné s variantou uložení s ložisky s kosoúhlým stykem, viz kapitola 7.4.2 a vyšší než u varianty uložení, viz kapitola 7.4.1. Toto uložení je oproti předchozím variantám konstrukčně jednodušší a ekonomicky výhodnější. Nenabízí však srovnatelnou tuhost a únosnost v axiálním směru.



Obr. 12 - Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem a ložisky s kosoúhlým stykem
1-vřeteno, 2-skříň vřeteníku, 3-dvouřadé válečkové ložisko, 4-kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem

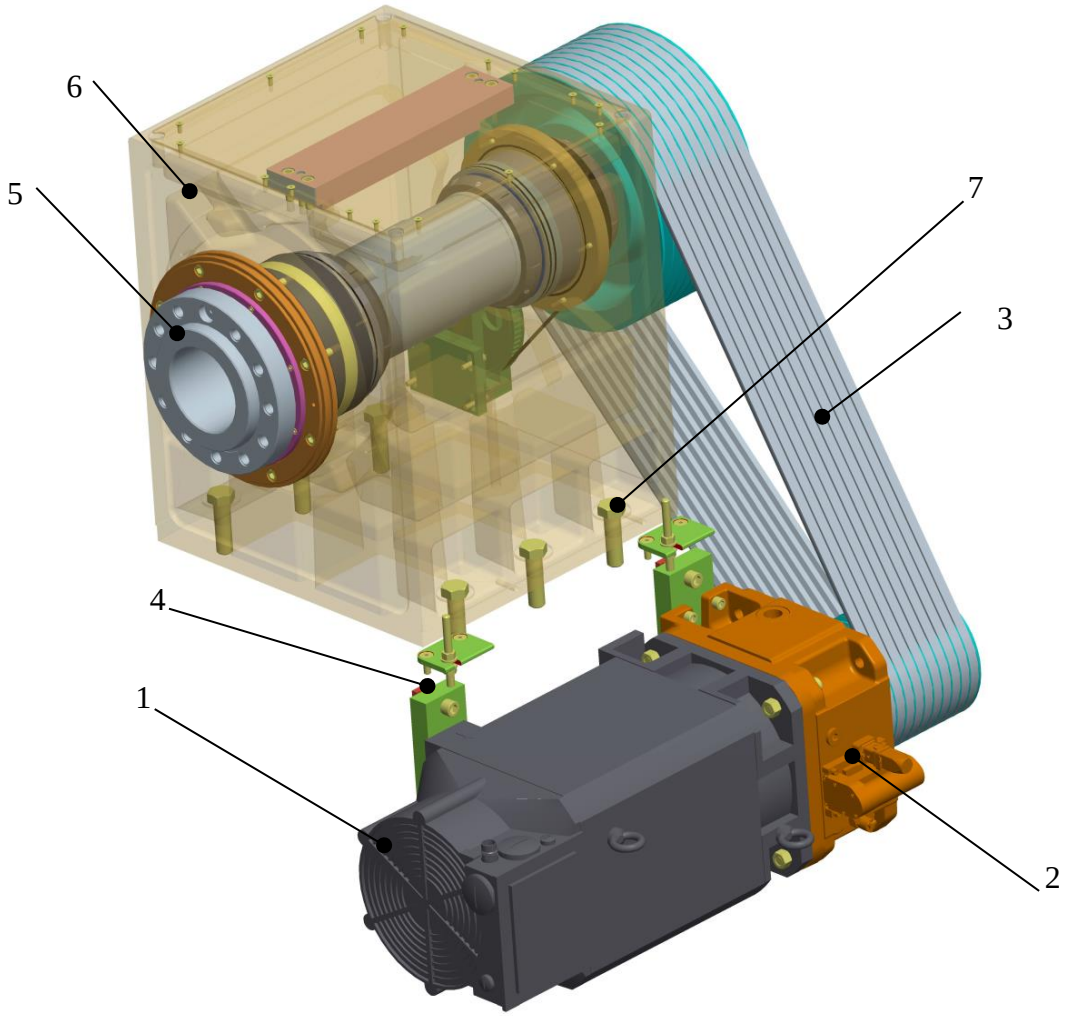
8 Návrh konstrukčních řešení vřeteníku

V této kapitole jsou navrženy dvě varianty konstrukčního řešení vřeteníku. Varianty se liší zejména v řešení převodových mechanismů hlavního pohonu. Každá varianta také využívá specifický způsob uložení vřetene.

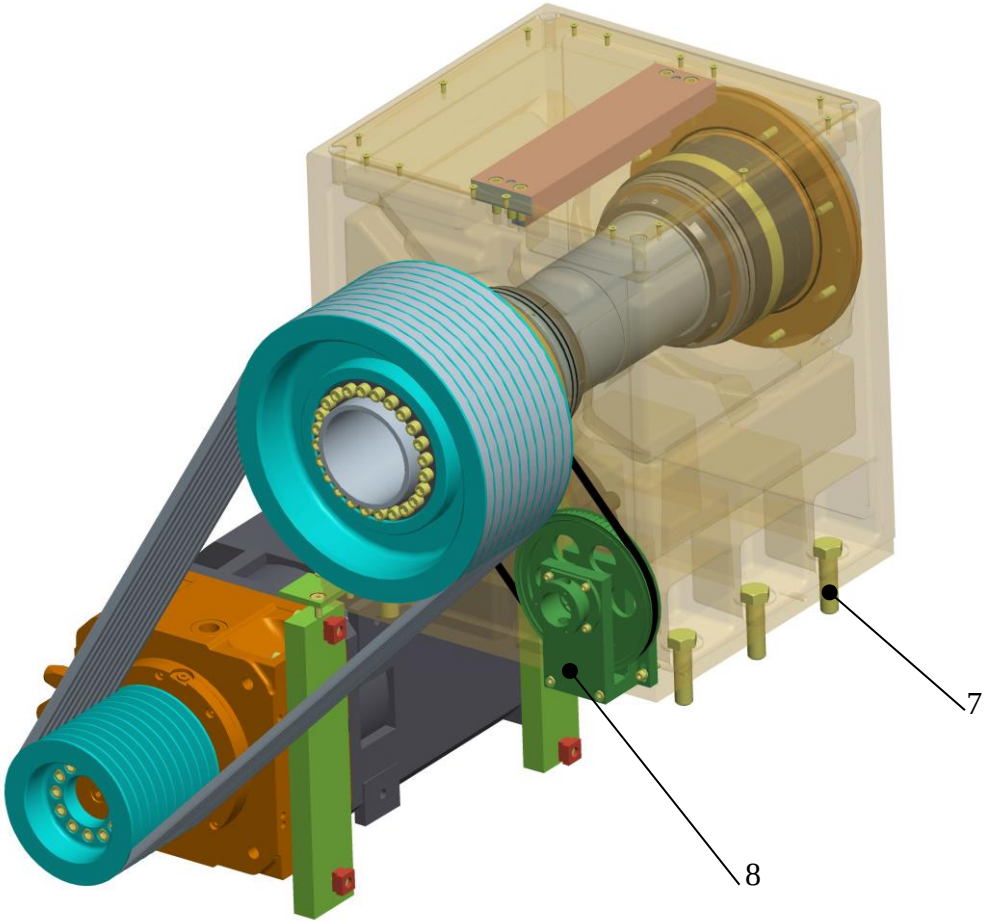
8.1 Varianta A

Konstrukční řešení varianty A využívá pro změnu otáček a točivého momentu dvoustupňovou planetovou převodovku. Převodovka je dodávána společností ZF a její připojovací rozměry odpovídají motorům typové řady 1PH7 výrobce Siemens AG.

Na přírubu motoru (poz.1) viz obr. 13, je upevněna dvoustupňová planetová převodovka (poz.2). Z výstupního hřídele převodovky je točivý moment přenášen přímo na vřeteno pomocí řemenového převodu (poz.3). Pro tento účel jsou použity klínové řemeny XPB výrobce Gates. Dostatečné předepnutí řemenů je dosaženo posuvem desek (poz.4), na kterých je upevněn motor s převodovkou, vůči vřeteníku. Vřeteno (poz.5), je uloženo ve skříni vřeteníku (poz.6). Poloha vřeteníku vůči loži je zajištěna pomocí šroubových spojů (poz.7) Zařízení pro snímání otáček vřetena (poz.8), viz obr. 14, je umístěno na zadní stěně vřeteníku. Propojení snímače otáček a vřetena je realizováno pomocí řemenového převodu.



Obr. 13 - Varianta A - pohled 1.
1-motor, 2-planetová převodovka, 3-řemenový převod, 4-desky, 5-vřeteno, 6-skříň vřeteníku, 7-šroubové spoje



Obr. 14 - Varianta A - pohled 2.
7-šroubové spoje, 8-snímání otáček

Pro toto konstrukční řešení je zvoleno uložení vřetene s kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem, viz obr. 15, detailně popsané v kapitole 7.4.2. Předepnutí ložisek namontovaných v tandemu a ložiska namontovaného opačně zajišťují distanční kroužky (poz.10). Ložiska jsou mazána plastickým mazivem. Utěsnění prostoru ložisek zajišťují labyrintové kroužky (poz.11). Poloha vřetene vůči výše zmíněným prvkům je zajištěna pomocí KMT matice 1 (poz.12).

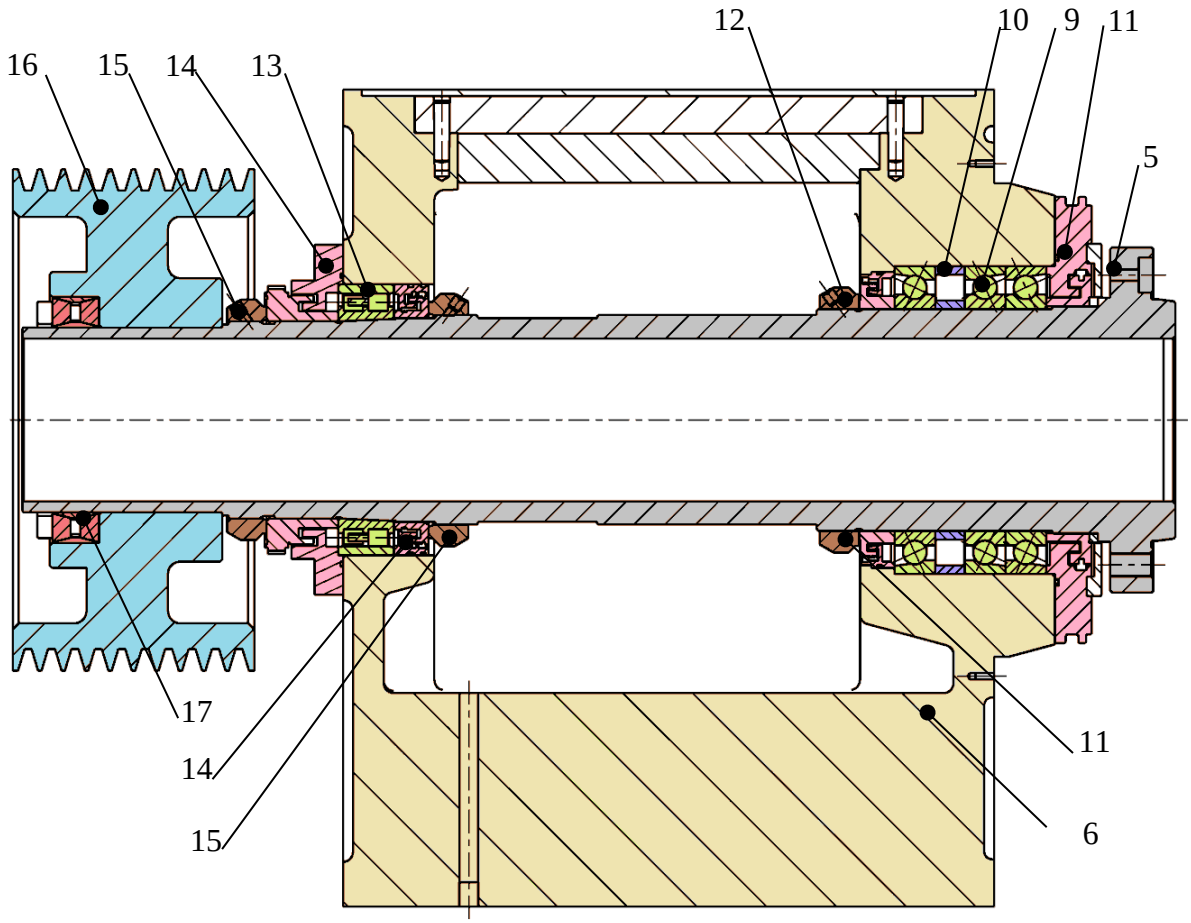
Pro uložení vřetene v zadní části vřeteníku je použito dvouřadé válečkové ložisko (poz.13). Stejně jako v případě předních ložisek, je i toto ložisko mazáno plastickým mazivem a utěsněno pomocí labyrintových kroužků (poz.14). Poloha vnitřního kroužku ložiska je zajištěna KMT maticí 2 (poz.15).

Na vřetenu je dále uložena řemenice (poz.16) finálního převodu. Točivý moment je mezi řemenicí 2 a vřetenem přenášen pomocí rozpěrných kroužků (poz.17).

Použitím planetové převodovky není třeba umísťovat další převodové mechanismy přímo do skříně vřeteníku. Odpadá tudíž nutnost náročné a nákladné výroby ozubených kol. Tato skutečnost podstatně snižuje nároky na technologické vybavení dílen, vyrábějících vřeteník. Díky použití plastického maziva pro ložiska uložení vřetene není nutné užití mazacího agregátu. Další výhodou je tvarové zjednodušení odlitku skříně vřeteníku a snížení počtu jeho obráběných ploch.

Mezi hlavní nevýhody uvedeného konstrukčního řešení patří omezená únosnost řemenového převodu. Pro přenos velkých točivých momentů je nutné řemeny dostatečně předepnout, což v daném případě způsobuje značné zatěžování zadního ložiska uložení vřetene.

Další nevýhodou uvedeného konstrukčního řešení jsou vysoké pořizovací náklady planetové převodovky.



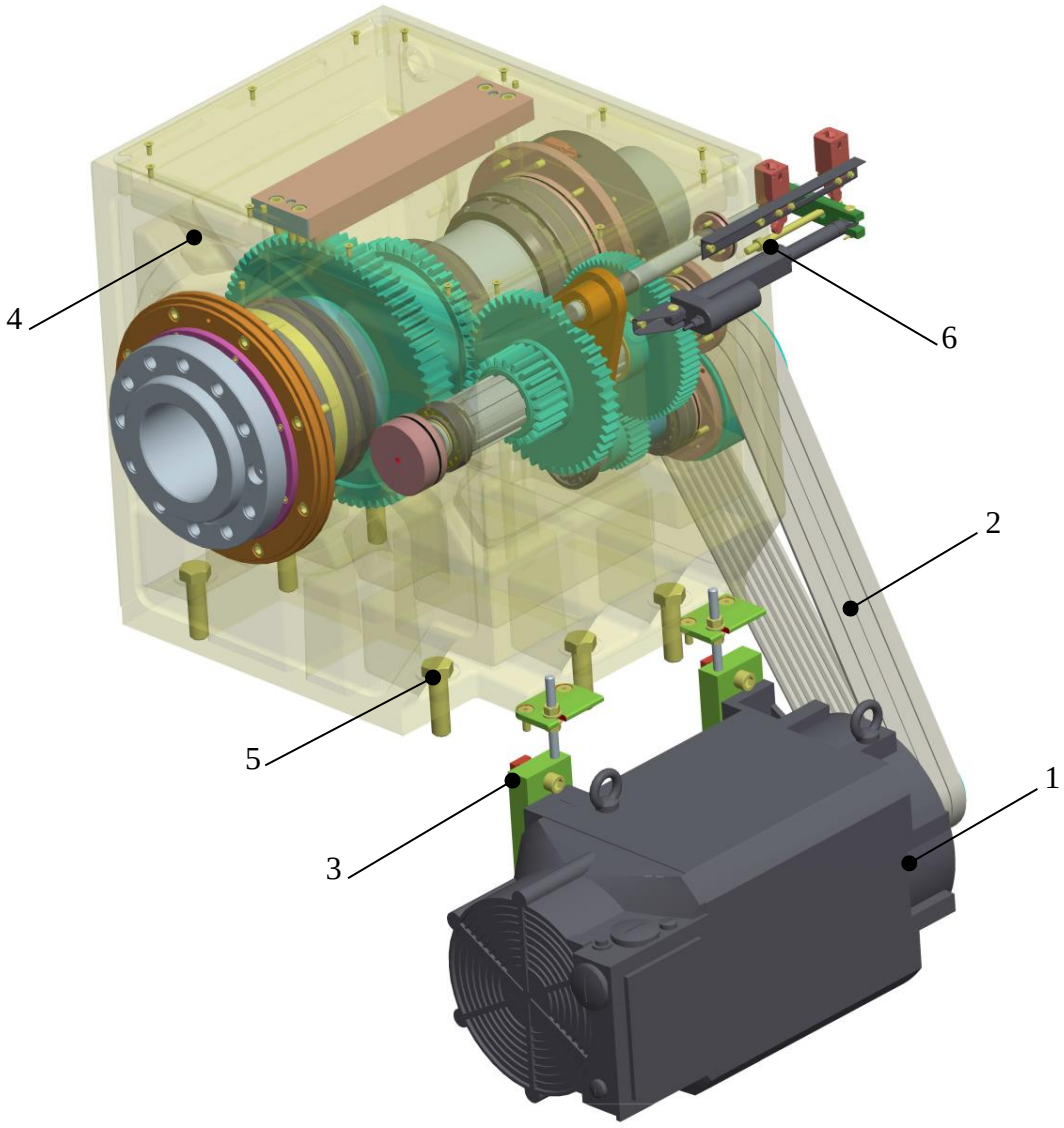
Obr. 15 - Varianta A – řez vřeteníkem

5-vřeteno, 6-skříň vřeteníku, 9-kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, 10-distanční kroužek, 11-labyrintové těsnění, 12-KMT matice 1, 13-dvouřadé válečkové ložisko, 14-labyrintové těsnění, 15-KMT matice 2, 16-řemenice, 17-rozpěrné kroužky

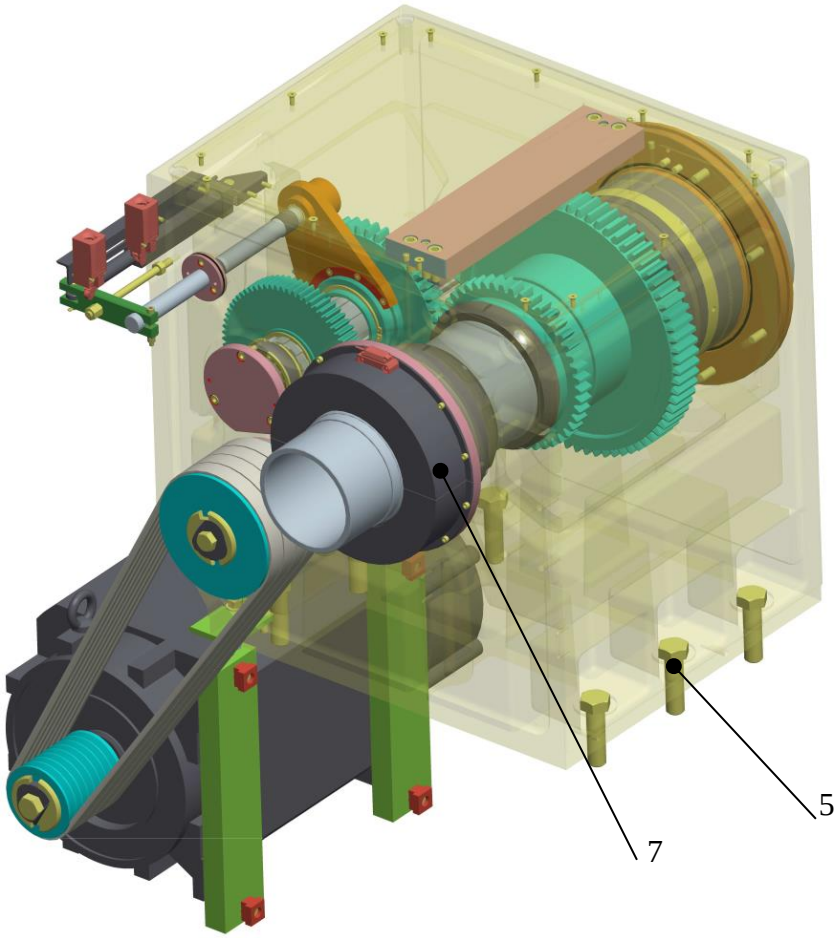
8.2 Varianta B

V konstrukčním řešení varianty B jsou převodové mechanismy hlavního pohonu umístěny do vnitřního prostoru skříně vřeteníku. Toto řešení předpokládá výrobu většiny součástí vřeteníku přímo výrobcem stroje, či v rámci kooperace.

Točivý moment je přenášen z motoru (poz.1), viz obr. 16, na vstupní hřídel vřeteníku pomocí řemenového převodu (poz.2). Požadované předepnutí řemenů je dosaženo posunutím desek (poz.3), ke kterým je motor připevněn, vůči skříni vřeteníku (poz.4). Po ustavení skříně vřeteníku do požadované polohy vůči loži, je její poloha zajištěna pomocí šroubových spojů (poz.5). Řazení jednotlivých rychlostních stupňů převodovky hlavního pohonu je realizováno pomocí lineárního aktuátoru (poz.6). Pro přesné stanovení otáček a polohy vřetene je použito přímé magnetické odměřování (poz.7), viz obr. 17.



Obr. 16 - Varianta B – pohled 1
1-motor, 2-řemenový převod, 3-desky motoru, 4-skříň vřeteníku, 5-šroubové spoje, 6-lineární aktuátor



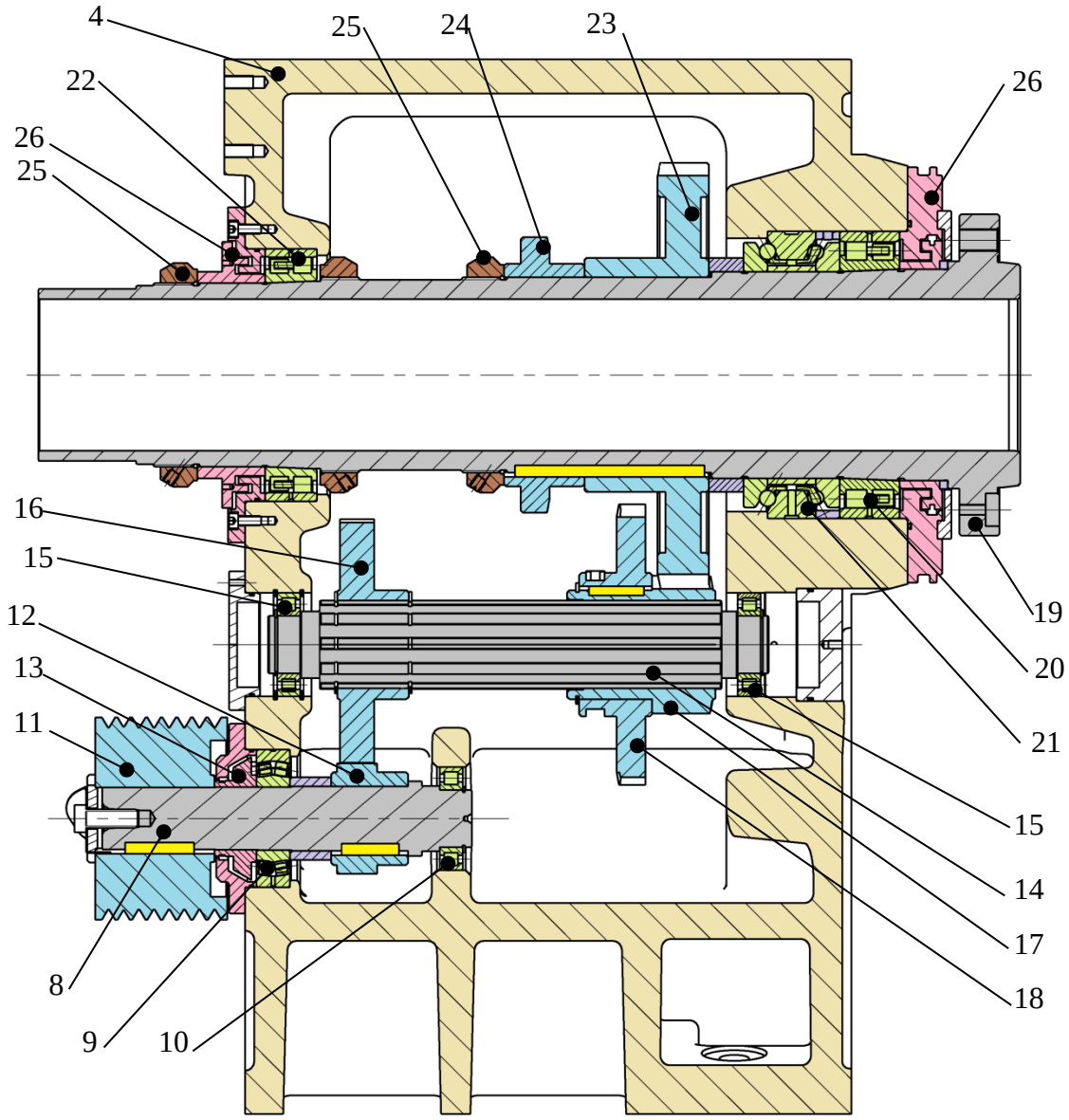
Obr. 17 - Varianta B – pohled 2
5-šroubové spoje, 7-přímé magnetické odměřování

Vstupní hřídel (poz.8), viz obr. 18, převodovky hlavního pohonu je uložen ve skříni vřeteníku pomocí soudečkového ložiska (poz.9) a válečkového ložiska (poz.10). Točivý moment je přenášen z řemenice 2 (poz.11) přes vstupní hřídel na ozubené kolo 3 (poz.12) a dále pak pomocí ozubeného kola 4 na hřídel předlohový.

Předlohový hřídel (poz.14) je na obou stranách uložen ve válečkových ložiskách (poz.15). Pomocí rovnobokého drážkování je na hřídeli posuvně uložena dvojice ozubených kol 5 (poz.17) a 7 (poz.18). Přesouváním těchto kol do záběru s koly uloženými na vřetenu je řazen první nebo druhý převodový stupeň.

Vřeteno (poz.19) je v přední části uloženo v radiálním dvouřadém válečkovém ložisku (poz.20) a obousměrném axiálním ložisku s kosoúhlým stykem (poz.21). Pro tuto variantu konstrukčního řešení je tedy využito uložení vřetene, viz kapitola 7.4.1. V zadní části je vřeteno uloženo v přesném dvouřadém válečkovém ložisku (poz.22). Na vřetenu jsou dále uložena ozubená kola 6 (poz.23) a 7 (poz.24). Ozubená kola jsou společně s předními ložisky zajištěna KMT maticí (poz.25). Vřeteno je utěsněno pomocí labyrintových kroužků (poz.26)

Veškerá ložiska a ozubené převody, použité ve vřeteníku, jsou mazány olejem. Olej je k ložiskům a ozubeným převodům přiváděn pomocí tlakových, trubkových rozvodů. Ze dna vřeteníku je stékající olej odváděn do nádrže, umístěné vně vřeteník. Následnou filtraci a distribuci oleje zpět k mazaným místům zajišťuje mazací agregát.



Obr. 18 - Varianta A – řez vřeteníkem

4-skříň vřeteníku, 8-vstupní hřídel, 9-soudečkové ložisko, 10-válečkové ložisko, 11-řemenice 2, 12-ozubené kolo 3, 13-labyrintové těsnění, 14-předlohový hřídel, 15-válečkové ložisko, 16-ozubené kolo 4, 17-ozubené kolo 5, 18-ozubené kolo 6, 19-vřeteno, 20-dvouřadé válečkové ložisko, 21- obousměrné axiální kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, 22-dvouřadé válečkové ložisko, 23-ozubené kolo 7, 24-ozubené kolo 8, 25-KMT matice, 26-labyrintové těsnění

Výhodou tohoto konstrukčního řešení je především úspora nákladů na planetovou převodovku. Navržené konstrukční řešení lze po úpravách ozubení, malého rozsahu, použít i pro soustruhy s většími výkonovými parametry. Maximální parametry na vřetenu tedy nejsou, na rozdíl od varianty A, omezeny použitím řemenového převodu jako finálního. Kombinace radiálního dvouřadého válečkového ložiska a obousměrného axiálního ložiska s kosoúhlým stykem zaručuje vysokou tuhost a únosnost uložení jak v radiálním, tak v axiálním směru.

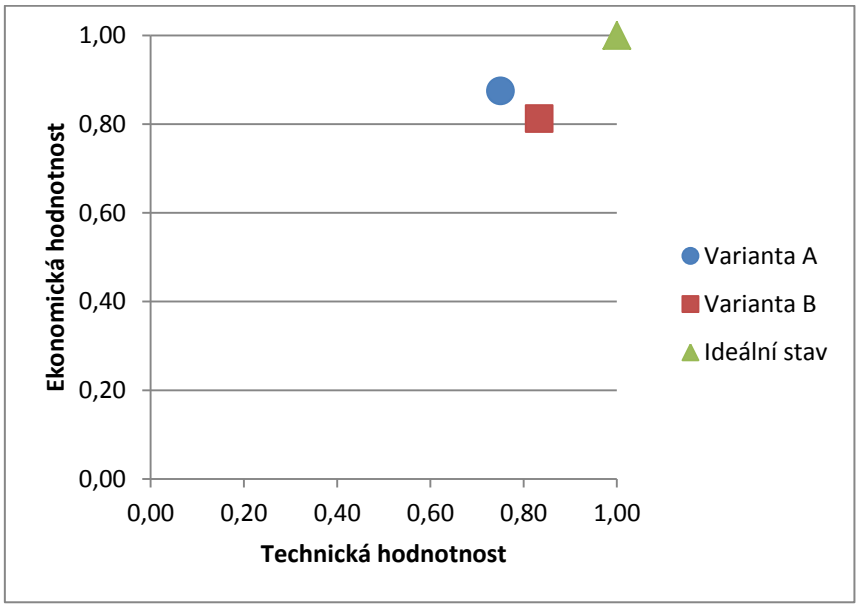
Nevýhodou varianty B jsou vyšší nároky na technické a technologické zázemí závodu, který soustruh vyrábí. Další nevýhodou je nutnost použití samostatného mazacího agregátu. Samotný odlitek skříně vřeteníku je také tvarově složitější než u varianty A.

9 Porovnání konstrukčních řešení vřeteníku a výběr vhodné varianty

V této kapitole je vypracováno technicko ekonomické zhodnocení pro obě navržené varianty konstrukčního řešení vřeteníku. Na základě tohoto zhodnocení je zpracován diagram vhodnosti variant a je vybráno vhodnější konstrukční řešení. Rozhodujícím faktorem, který ovlivní výslednou ekonomickou náročnost daného řešení a tedy i jeho vhodnost pro realizaci, jsou technické možnosti výrobního závodu, případně jeho zkušenosti s podobným konstrukčním řešením.

Tab. 3 - Technicko ekonomické zhodnocení variant

	Konstrukční řešení		
Kritérium	**Varianta A**	**Variant B**	**Ideální stav**
Konstrukce	3	2	4
Parametry na vřetenu	2	4	4
Univerzálnost	2	4	4
Vhodnost pro výrobu	4	3	4
Zástavbový prostor	4	4	4
Údržba	3	3	4
∑	18	20	24
Technická hodnotnost	**0,75**	**0,83**	**1,00**
Počet částí	4	3	4
Doba montáže	4	3	4
Cena vyráběných částí	4	3	4
Cena nakupovaných částí	2	4	4
∑	14	13	16
Ekonomická hodnotnost	**0,88**	**0,81**	**1,00**



Obr. 19 - Diagram vhodnosti variant

Na základě porovnání variant, viz obr. 19. je pro detailní konstrukční zpracování zvolena varianta B.

10 Hlavní pohon

Oblast vřeteníku univerzálního hrotového soustruhu zahrnuje také hlavní pohon stroje. Funkcí hlavního pohonu stroje je zajištění hlavního řezného pohybu, v případě soustruhu tedy rotaci obrobku. Hlavní pohon stroje je tvořen motorem, převodovými mechanismy a uložením vřetene.

V této kapitole jsou provedeny základní analytické výpočty, potřebné pro návrh a kontrolu výše zmíněných částí hlavního pohonu. Nejprve je vybrán motor, který umožní dosažení požadovaných parametrů na vřetenu. Dále jsou navrženy převodové mechanismy hlavního pohonu. Pro jednotlivá souhmotí převodových mechanismů jsou stanoveny zatěžovací stavy a jsou provedeny kontrolní výpočty pomocí softwaru PREV.

10.1 Motor hlavního pohonu

Motor byl vybírán z řady asynchronních střídavých motorů označení 1PH7 výrobce Siemens AG. Tento motor je vhodný pro hlavní pohony obráběcích strojů.

Na základě požadovaného výkonu na vřetenu a předpokládané účinnosti převodovky byl vypočten potřebný výkon motoru, viz rovnice (10.1.1). Níže uváděné hodnoty odpovídají zátěžnému stavu motoru S1 (trvalý provoz).

$P_L = 18\ kW$…požadovaný výkon na vřetenu

$\eta_p = 0.9$…předpokládaná účinnost převodových mechanismů - zvolená hodnota

P_{Nmin}…potřebný výkon motoru [kW]

$$P_{Nmin} = \frac{P_L}{\eta_p} = \frac{18}{0.9} = 20\ kW \qquad (10.1.1)$$

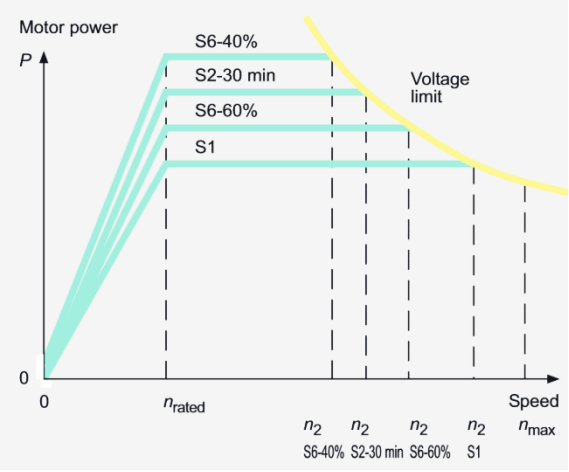
Dle výše uvedeného výpočtu byl pro hlavní pohon soustruhu zvolen asynchronní střídavý motor 1PH7-163-2ND, který disponuje níže uvedenými parametry.

$P_N = 22\ kW$…výkon motoru

$n_N = 1000\ ot/min$…jmenovité otáčky motoru

$n_{max} = 6500\ ot/min$…maximální otáčky motoru

$r_P = 6{,}5$…regulační rozsah při konstantním výkonu

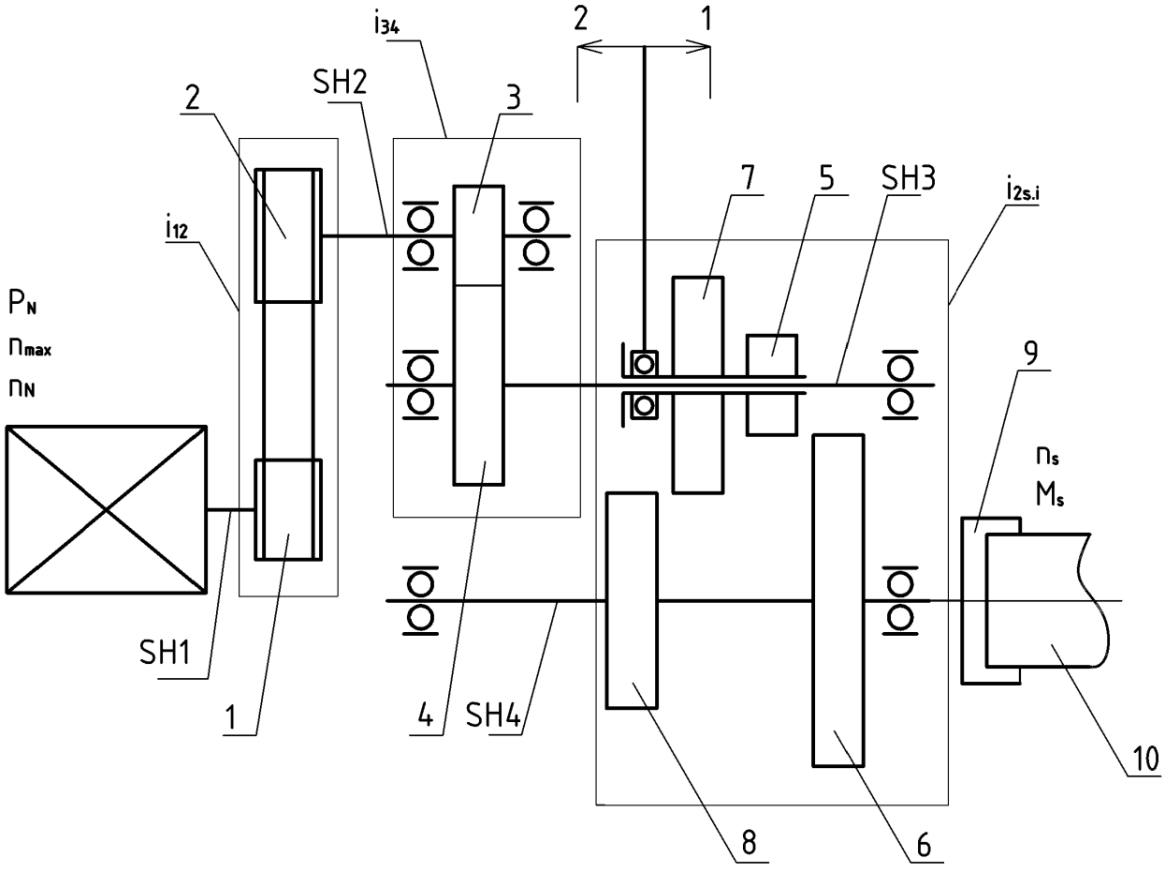


Obr. 20 - Výkonová charakteristika motoru 1PH7-163-2ND [11]

10.2 Převodové mechanismy hlavního pohonu

Pro hlavní pohon univerzálního hrotového soustruhu jsou navrženy převodové mechanismy, viz kinematické schéma na obr. 21.

Z hřídele motoru (SH 1) je točivý moment přenášen pomocí řemenového převodu na vstupní hřídel (SH 2) uložený ve skříni vřeteníku. Z tohoto hřídele je dále točivý moment přenesen pomocí ozubeného převodu, mezi koly 3 a 4, na předlohový hřídel (SH 3). Na tomto hřídeli je posuvně, pomocí drážkování, uložena dvojice ozubených kol. Posunutím kola 5 nebo 7 do záběru s koly 6 nebo 8 uloženými na vřetenu (SH 4) je řazen první nebo druhý převodový stupeň. Točivý moment je tedy přenesen na vřeteno a sklíčidlo 9 s obrobkem 10.

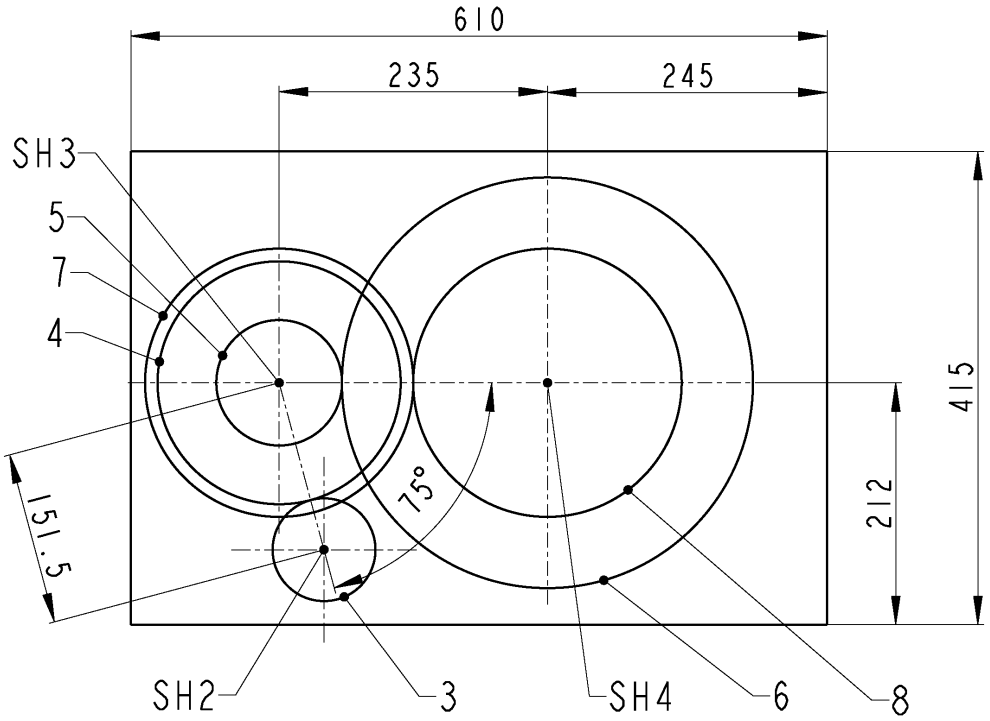


Obr. 21 - Kinematické schéma hlavního pohonu

V této kapitole jsou provedeny návrhové výpočty pro jednotlivá soukolí převodových mechanismů. Maximální rozměry ozubených kol jsou ovlivněny vnitřním prostorem skříně vřeteníku a uspořádáním jednotlivých souhmotí, viz obr. 22. Naopak minimální rozměry ozubených kol jsou omezeny průměry hřídelů, na kterých jsou kola uložena. Rozměry hřídelů jsou stanoveny na základě dovolených průhybů v místě ozubení. Je tedy zřejmé, že výpočty jednotlivých soukolí bylo nutné provádět souběžně s návrhem skříně vřeteníku a návrhem jednotlivých hřídelů.

Pro veškerá ozubená kola je uvažován materiál 14 220.4, čemuž odpovídá i dovolené namáhání zubu v ohybu.

Níže uvedené výpočty jsou pouze návrhové a jednotlivá ozubená kola jsou zkontrolována pomocí softwaru PREV, viz přílohy č. 3 až č. 5.



Obr. 22 - Uspořádání hřídelů a ozubených kol ve skříni vřeteníku

10.2.1 Návrh prvního převodového stupně

První převodový stupeň (ozubený převod mezi kolem 5 a kolem 6, viz obr. 21) je navržen tak, aby byl dosažen maximální převodový poměr. Průměr roztečné kružnice kola 6 je omezen vnitřním prostorem skříně vřeteníku. Kolo 5 je uloženo na předlohovém hřídeli (SH 3), který určuje i jeho minimální průměr.

Na základě zvolených parametrů kola 6 je navržen modul ozubení prvního převodového stupně, viz rovnice (10.2.1). Dále jsou určeny počty zubů, převodový poměr a osová vzdálenost tohoto soukolí, viz rovnice (10.2.2) - (10.2.5).

Vstupní hodnoty:

$D_6 = 360\ mm$… průměr roztečné kružnice kola 6

$D_5 = 110\ mm$… průměr roztečné kružnice kola 5

$\psi_6 = 9$…poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 6

$\psi_5 = 10$…poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 5

$M_L = 2600\ N.m$…omezný moment na vřetenu

$c = 30\ MPa$...dovolené namáhání zubu v ohybu - zvolená hodnota

Výstupní hodnoty:

$m_{5.6}$…modul kola 6 a kola 5 [mm]

z_6…počet zubů kola 6 [-]

z_5…počet zubů kola 5 [-]

$i_{5.6}$…převodový poměr kola 6 a kola 5 [-]

$a_{5.6}$…osová vzdálenost kola 6 a kola 5 [mm]

$$m_{5.6}=\sqrt{2\cdot\frac{M_L}{D_6\cdot\pi\cdot c\cdot\psi_6}}=\sqrt{2\cdot\frac{2600}{0{,}36\cdot\pi\cdot 30\cdot 9}}=4.127\cong 5\ mm \quad (10.2.1)$$

$$z_6=\frac{D_6}{m_{5.6}}=\frac{360}{5}=72 \quad (10.2.2)$$

$$z_5=\frac{D_5}{m_{5.6}}=\frac{110}{5}=22 \quad (10.2.3)$$

$$i_{5.6}=\frac{z_6}{z_5}=\frac{72}{22}=3.273 \quad (10.2.4)$$

$$a_{5.6}=\frac{z_6+z_5}{2}=\frac{72+22}{2}=235\ mm \quad (10.2.5)$$

10.2.2 Návrh druhého převodového stupně

Pro druhý převodový stupeň (ozubený převod mezi kolem 7 a kolem 8, viz obr. 21) jsou zvolena ozubená kola se stejným modulem, jako byl použit pro první stupeň.

Z osové vzdálenosti $a_{7.8}$ jsou stanoveny průměry kol 7 a 8, viz rovnice (10.2.6). Dále jsou určeny počty zubů (10.2.7) a vypočten točivý moment přenášený ozubenými koly 7 a 8, viz rovnice (10.2.8). Pomocí vztahu (10.2.9) je zjištěna potřebná minimální velikost modulu ozubení. Hodnota vypočteného minimálního modulu $m_{7.8min}$ nepřesahuje navržený modul $m_{7.8}$, tudíž soukolí vyhovuje.

Vstupní hodnoty:

$a_{7.8} = a_{5.6} = 235\ mm$…osová vzdálenost kola 7 a kola 8

$i_{7.8} = 1$…převodový poměr kola 7 a kola 8

$\psi_{7.8} = 5$ …poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 7 a kolo 8 - zvolená hodnota

$c = 30\ MPa$...dovolené namáhání zubu v ohybu - zvolená hodnota

$m_{7.8} = m_{5.6} = 5\ mm$…modul ozubeného kola 7, 8 - zvolená hodnota

Výstupní hodnoty:

D_7…průměr roztečné kružnice kola 7 [mm]

D_8…průměr roztečné kružnice kola 8 [mm]

z_7…počet zubů kola 7 [-]

z_8…počet zubů kola 8 [-]

$M_{7.8}$…točivý moment přenášený kolem 7 a kolem 8 [$N.m$]

$m_{7.8min}$…minimální modul ozubeného kola 7 a kola 8 [mm]

$$D_7 = D_8 = a_{7.8} = 235\ mm \tag{10.2.6}$$

$$z_7 = z_8 = \frac{D_7}{m_{7.8}} = \frac{235}{5} = 47 \tag{10.2.7}$$

$$M_{7.8} = \frac{i_{7.8}}{i_{5.6}} \cdot M_L = \frac{1}{3{,}273} \cdot 2600 = 794.444\ N \cdot m \tag{10.2.8}$$

$$m_{7.8min} = \sqrt{2 \cdot \frac{M_{7.8}}{D_7 \cdot \pi \cdot c \cdot \psi_{7.8}}} = \sqrt{2 \cdot \frac{794{,}444}{0{,}235 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 5}} = 3.788\ mm \tag{10.2.9}$$

10.2.3 Návrh ozubeného převodu kola 3 a kola 4

Osová vzdálenost $a_{3.4}$ a průměr kola 4 jsou zvoleny dle rozměrů skříně vřeteníku. Pomocí vztahu (10.2.10) je dopočten průměr kola 3. Dále je vypočten točivý moment na ozubeném kole 4 (10.2.11), potřebný modul (10.2.12) a počty zubů (10.2.13), (10.2.14). Nakonec je určen převodový poměr tohoto soukolí, viz rovnice (10.2.15).

Vstupní hodnoty:

$\eta_o = 0.98$...účinnost ozubeného převodu - [2]

$a_{3.4} = 150\ mm$…osová vzdálenost kola 4 a kola 3

$D_4 = 210\ mm$…průměr roztečné kružnice kola 4

$c = 30\ MPa$...dovolené namáhání zubu v ohybu - zvolená hodnota

$\psi_3 = 11$…poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 3

$\psi_4 = 10$…poměr šířky ozubení k modulu pro kolo 4

Výstupní hodnoty:

D_3…průměr roztečné kružnice kola 3 [mm]

M_4…točivý moment přenášený kolem 4 [$N.m$]

$m_{3.4}$… modul ozubeného kola 4 a kola 3 [mm]

z_3…počet zubů ozubeného kola 3 [-]

z_4…počet zubů ozubeného kola 4 [-]

$i_{3.4}$…převodový poměr kola 4 a kola 3 [-]

$$D_3 = 2 \cdot \left(a_{3.4} - \frac{D_4}{2}\right) = 2 \cdot \left(150 - \frac{210}{2}\right) = 90\ mm \tag{10.2.10}$$

$$M_4 = \frac{1}{i_{5.6} \cdot \eta_o} \cdot M_L = \frac{1}{3{,}273 \cdot 0{,}98} \cdot 2600 = 810{,}658\ N \cdot m \tag{10.2.11}$$

$$m_{3.4}=\sqrt{2\cdot\frac{M_4}{D_4\cdot\pi\cdot c\cdot\psi_4}}=\sqrt{2\cdot\frac{810{,}658}{210\cdot\pi\cdot 30\cdot 10}}=2{,}862\cong 3\ mm \tag{10.2.12}$$

$$z_3=\frac{D_3}{m_{3.4}}=\frac{90}{3}=30 \tag{10.2.13}$$

$$z_4=\frac{D_4}{m_{3.4}}=\frac{210}{3}=70 \tag{10.2.14}$$

$$i_{3.4}=\frac{z_4}{z_3}=\frac{70}{30}=2.333 \tag{10.2.15}$$

Na základě výpočtů provedených v softwaru PREV jsou parametry ozubených kol 3 a 4 upraveny, viz níže uvedené hodnoty.

D_3 *=90 mm*…průměr roztečné kružnice kola 3

D_4 *=213* mm…průměr roztečné kružnice kola 4

$a_{3.4}$ *= 151,5 mm*…osová vzdálenost kola 4 a kola 3

z_3 *= 30*…počet zubů ozubeného kola 3

z_4 *= 71*…počet zubů ozubeného kola 4

$i_{3.4}$ *=2,367*… převodový poměr kol 4, 3

10.2.4 Návrh řemenového převodu

Řemenový převod je navržen dle katalogových listů společnosti Gates [12]. Řemenový převod je realizován pomocí vícenásobného klínového řemenu Polyflex JB, který zajišťuje plynulý a tichý chod hlavního pohonu.

Zvolené rozměry řemenic odpovídají doporučením společnosti Gates. Výstupem návrhových výpočtů řemenového převodu je potřebný počet klínů pro přenos daného výkonu. V této kapitole jsou uvedeny pouze základní vstupní a výstupní hodnoty návrhu. Kompletní výpočet řemenového převodu je součástí přílohy č. 1 diplomové práce.

Vstupní hodnoty:

d_1*= 106 mm*…průměr řemenice 1

d_2*= 180 mm*…průměr řemenice 2

P_N *= 22 kW*…výkon motoru

n_N *= 1000 ot/min*…jmenovité otáčky motoru

n_{max} *= 6500 ot/min*…maximální otáčky motoru

Výstupní hodnoty:

$i_{1.2} = 1.698$…převodový poměr řemenice 1 a řemenice 2

$N = 8$…počet klínů řemenového převodu

$T_c = 3329\ N$…celková předepínací síla řemene

10.2.5 Parametry navrženého hlavního pohonu

V předchozí kapitole 10.2 jsou stanoveny převodové poměry pro použité ozubené a řemenové převody. Pomocí výpočtu, viz rovnice (10.2.16) - (10.2.27), jsou určeny základní parametry navrženého hlavního pohonu.

Vstupní hodnoty:

$P_N = 22\ kW$…výkon motoru

$n_N = 1000\ ot/min$…jmenovité otáčky motoru

$n_{max} = 6500\ ot/min$…maximální otáčky motoru

$\eta_o = 0.98$…účinnost ozubeného převodu - [2]

$\eta_r = 0.98$…účinnost řemenového převodu - [2]

$M_L = 2600\ N.m$...omezný moment na vřetenu

Hodnoty získané v předchozích výpočtech:

$i_{1.2} = 1.698$…převodový poměr mezi řemenicí 1 a 2

$i_{3.4} = 2.367$…převodový poměr kola 3 a kola 4

$i_{5.6} = i_{2s.1} = 3.273$…převodový poměr kola 6 a kola 5

$i_{7.8} = i_{2s.2} = 1$…převodový poměr koly 7 a kola 8

$M_1 = 210\ N.m$…jmenovitý moment motoru

Výstupní hodnoty:

i_1…převodový poměr 1. stupně [-]

i_2…převodový poměr 2. stupně [-]

η_1…účinnost převodových mechanismů pro 1. stupeň [-]

η_2…účinnost převodových mechanismů pro 2. stupeň [-]

n_{M1}…maximální otáčky na vřetenu pro 1. stupeň [*ot/min*]

n_{M2}…maximální otáčky na vřetenu pro 2. stupeň [*ot/min*]

n_{e1}…jmenovité otáčky na vřetenu pro 1. stupeň [*ot/min*]

n_{e2}…jmenovité otáčky na vřetenu pro 2. stupeň [*ot/min*]

M_{e1}…maximální moment na vřetenu pro 1. stupeň (teoretický) [*N.m*]

M_{e2}…maximální moment na vřetenu pro 2. stupeň [$N.m$]

n_L…otáčky vřetene při omezném momentu [ot/min]

a_{12}…pokles výkonu mezi 1. stupněm a 2. stupněm [-]

$$i_1 = i_{1.2} \cdot i_{3.4} \cdot i_{2s.1} = 1.698 \cdot 2.367 \cdot 3.273 = 13.153 \quad (10.2.16)$$

$$i_2 = i_{1.2} \cdot i_{3.4} \cdot i_{2s.2} = 1.698 \cdot 2.367 \cdot 1 = 4.019 \quad (10.2.17)$$

$$\eta_1 = \eta_r \cdot \eta_o^2 = 0.98 \cdot 0.98^2 = 0.941 \quad (10.2.18)$$

$$\eta_2 = \eta_r \cdot \eta_o^2 = 0.98 \cdot 0.98^2 = 0.941 \quad (10.2.19)$$

$$n_{M1} = \frac{n_{max}}{i_1} = \frac{6500}{13.153} = 494.197\ ot/min \quad (10.2.20)$$

$$n_{M2} = \frac{n_{max}}{i_2} = \frac{6500}{4.019} = 1617\ ot/min \quad (10.2.21)$$

$$n_{e1} = \frac{n_N}{i_1} = \frac{1000}{13.153} = 76.03\ ot/min \quad (10.2.22)$$

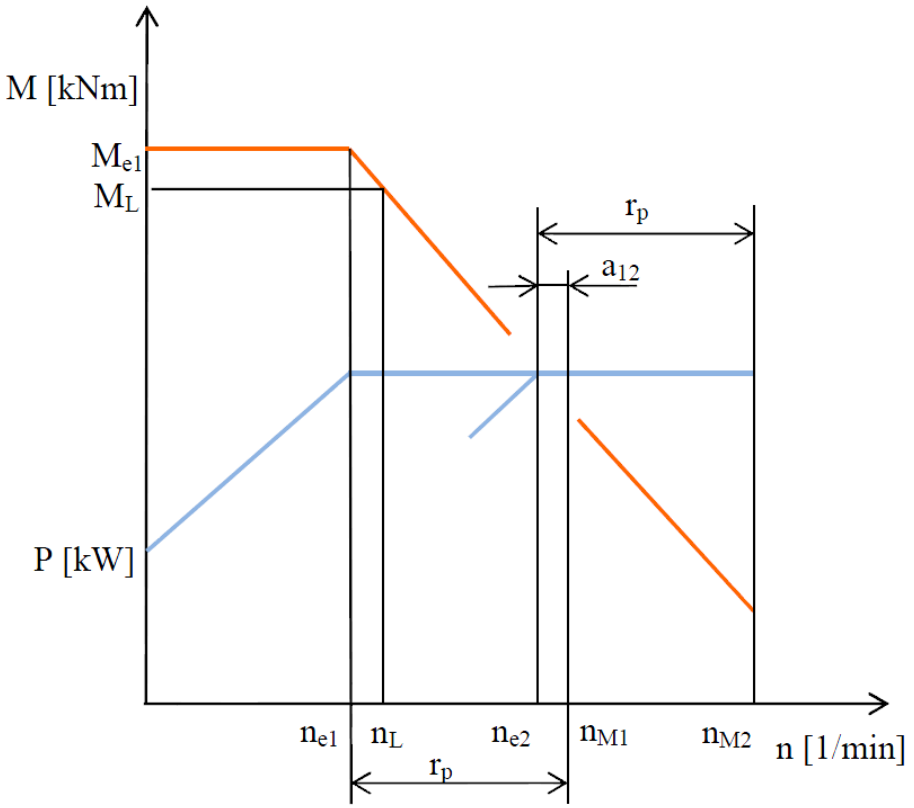
$$n_{e2} = \frac{n_N}{i_2} = \frac{1000}{4.019} = 248.826\ ot/min \quad (10.2.23)$$

$$M_{e1} = M_1 \cdot i_1 \cdot \eta_1 = 210 \cdot 13.153 \cdot 0.941 = 2601\ N \cdot m \quad (10.2.24)$$

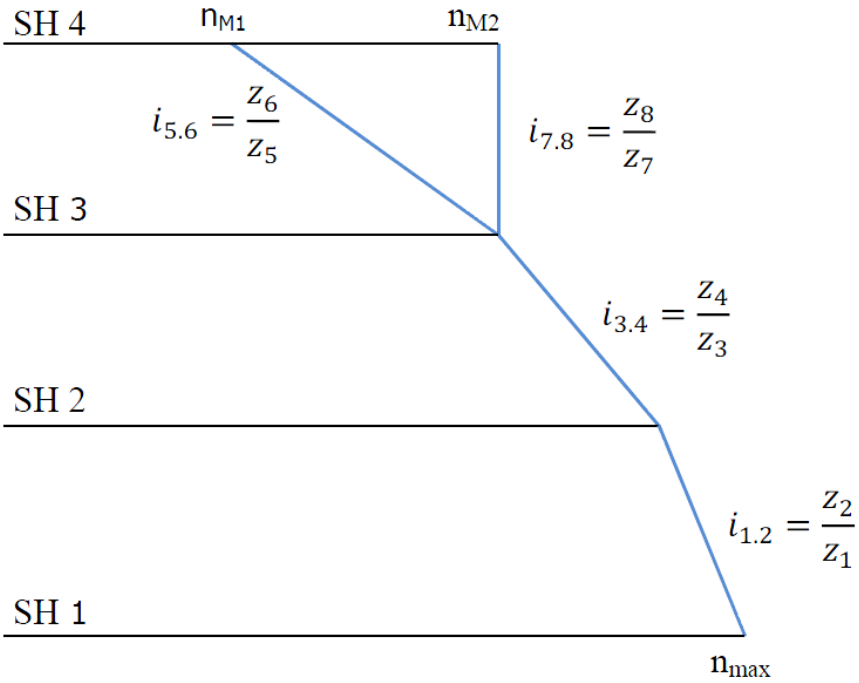
$$M_{e2} = M_1 \cdot i_2 \cdot \eta_2 = 210 \cdot 4.019 \cdot 0.941 = 794.65\ N \cdot m \quad (10.2.25)$$

$$n_L = \frac{P_N \cdot \eta_1}{2 \cdot \pi \cdot M_L} = \frac{22\,000 \cdot 0{,}941}{2 \cdot \pi \cdot 2600} = 1{,}267\ ot/s = 76{,}05\ ot/min \quad (10.2.26)$$

$$a_{12} = \frac{n_{e2}}{n_{M1}} = \frac{248{,}826}{494{,}197} = 0{,}503 \quad (10.2.27)$$



Obr. 23 - Výkonová a momentová charakteristika hlavního pohonu



Obr. 24 - Otáčkový diagram hlavního pohonu

10.3 Zatěžovací stavy jednotlivých souhmotí

Zatěžovací stavy popisují pravděpodobné zatížení jednotlivých souhmotí vřeteníku během doby běhu vřetene.

V této kapitole jsou popsány čtyři základní zatěžovací stavy jednotlivých souhmotí vřeteníku, které zahrnují normální a reverzní soustružení, při použití prvního nebo druhého převodového stupně. Doby běhu pro jednotlivé zatěžovací stavy jsou vypočteny pomocí rovnic (10.3.1) - (10.3.4).

Vstupní hodnoty:

Níže uvedené vstupní hodnoty jsou stanoveny dle [6]

$T_{4c} = 7000\ hod$…celková doba běhu vřetene při obrábění

$T_{4n} = 0{,}8.T_{4c} = 5600\ hod$…doba běhu vřetene při normálním směru otáčení

$T_{4r} = 0{,}2.T_{4c} = 1400\ hod$…doba běhu vřetene při reverzním směru otáčení

$k_{T.0} = 0.45$…koeficient doby běhu při normálním směru otáčení, při 1. převodovém stupni

$k_{T.1} = 0.45$…koeficient doby běhu při reverzním směru otáčení, při 1. převodovém stupni

$k_{T.2} = 0.55$…koeficient doby běhu při normálním směru otáčení, při 2. převodovém stupni

$k_{T.3} = 0.55$…koeficient doby běhu při reverzním směru otáčení, při 2. převodovém stupni

Výstupní hodnoty:

$T_{4.0}$…doba běhu vřetene při normálním soustružení, při 1. stupni [*hod*] – 0. zatěžovací stav

$T_{4.1}$…doba běhu vřetene při reverzním soustružení, při 1. stupni [*hod*] – 1. zatěžovací stav

$T_{4.2}$…doba běhu vřetene při normálním soustružení, při 2. stupni [*hod*] – 2. zatěžovací stav

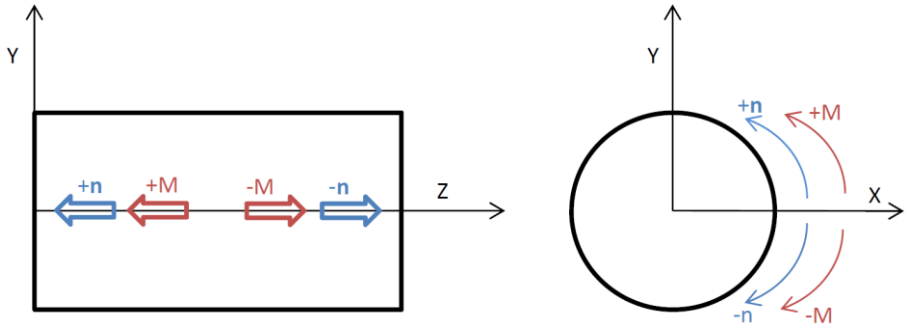
$T_{4.3}$…doba běhu vřetene při reverzním soustružení, při 2. stupni [*hod*] – 3. zatěžovací stav

$$T_{4.0}=T_{4n} \cdot k_{T.0} = 5600 \cdot 0.45 = 2520\ hod \quad (10.3.1)$$

$$T_{4.1}=T_{4r} \cdot k_{T.1} = 1400 \cdot 0.45 = 630\ hod \quad (10.3.2)$$

$$T_{4.2}=T_{4n} \cdot k_{T.2} = 5600 \cdot 0.45 = 3080\ hod \quad (10.3.3)$$

$$T_{4.3}=T_{4r} \cdot k_{T.3} = 1400 \cdot 0{,}55 = 770\ hod \quad (10.3.4)$$

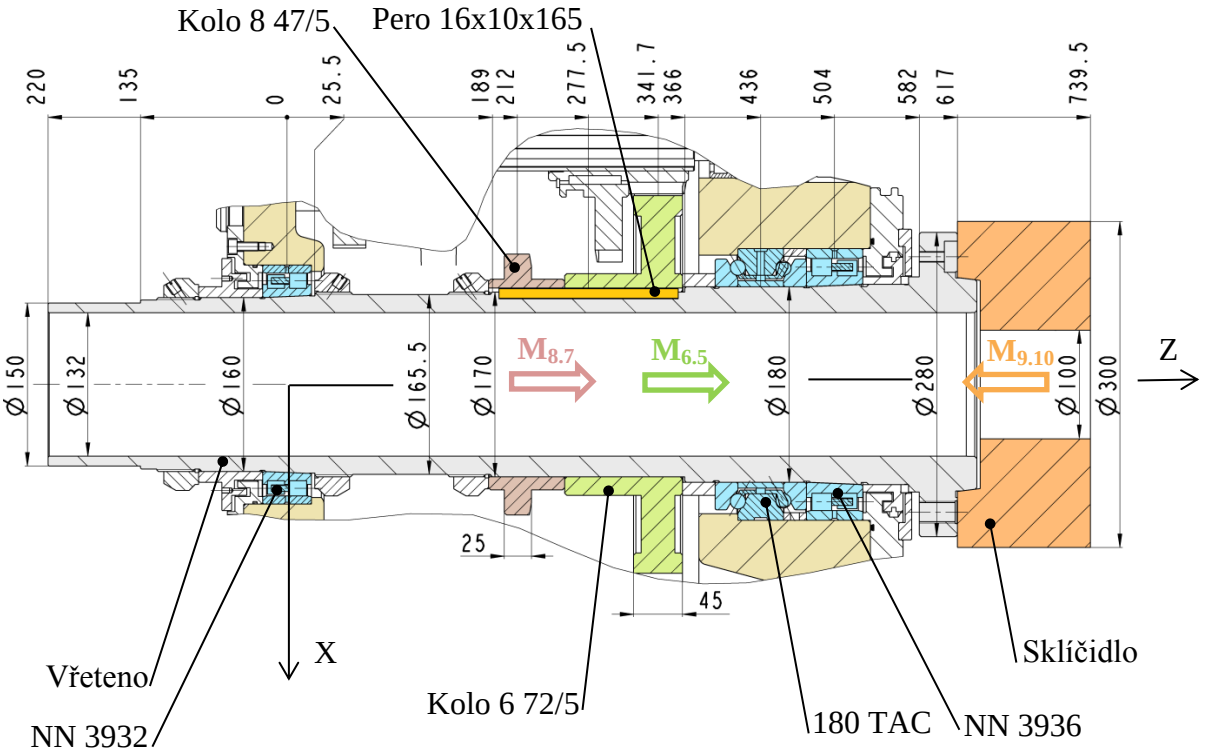


Obr. 25 - Směry momentů a otáček

Zatěžovací stavy popisují doby běhu, otáčky, hnací a hnané momenty jednotlivých souhmotí. Tyto údaje slouží jako vstupní hodnoty pro výpočty provedené v softwaru PREV. Směry momentů a otáček jsou určeny dle obr. 25. Směry momentů zobrazené na obr. 26 až obr. 28 platí pro normální soustružení, čili pro 0. a 3. zatěžovací stav.

10.3.1 Souhmotí SH 4

Souhmotí SH 4 (uložení vřetene) má, na rozdíl od ostatních souhmotí, vlastní specifické zatěžovací stavy. Tyto zatěžovací stavy budou popsány v kapitole 10.5. Zde slouží parametry zatěžovacích stavů SH 4 především jako vstupní hodnoty pro výpočty zbylých souhmotí.



Obr. 26 - Souhmotí SH 4

T_4…doby běhu souhmotí SH 4 [*hod*]

n_4…otáčky souhmotí SH 4 [*ot/min*]

k_1 …koeficient provozu 1. stupně [-]

k_2 …koeficient provozu 2. stupně [-]

$$T_4 = \begin{bmatrix} T_{4.0} \\ T_{4.1} \\ T_{4.2} \\ T_{4.3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2520 \\ 630 \\ 3080 \\ 770 \end{bmatrix} hod \qquad n_4 = \begin{bmatrix} -n_L \\ n_L \\ -n_{e2} \\ n_{e2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -76{,}05 \\ 76{,}05 \\ -248{,}826 \\ 248{,}826 \end{bmatrix} \frac{ot}{min} \qquad k_1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad k_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

M_L = *2600 N.m*…omezný moment na vřetenu

M_{e2} =*794,65 N.m*…maximální moment na vřetenu pro 2. stupeň

$M_{9.10}$ …hnaný moment - moment na sklíčidle 9 od obrobku 10 [*N.m*]

$$M_{9.10} = \begin{bmatrix} M_L \\ -M_L \\ M_{e2} \\ -M_{e2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2600 \\ -2600 \\ 794.65 \\ -794.65 \end{bmatrix} N \cdot m$$

$M_{6.5}$…hnací moment - moment na kole 6 od kola 5 (1. převodový stupeň) [*N.m*]

$M_{8.7}$…hnací moment - moment na kole 8 od kola 7 (2. převodový stupeň) [*N.m*]

$i=0..3$

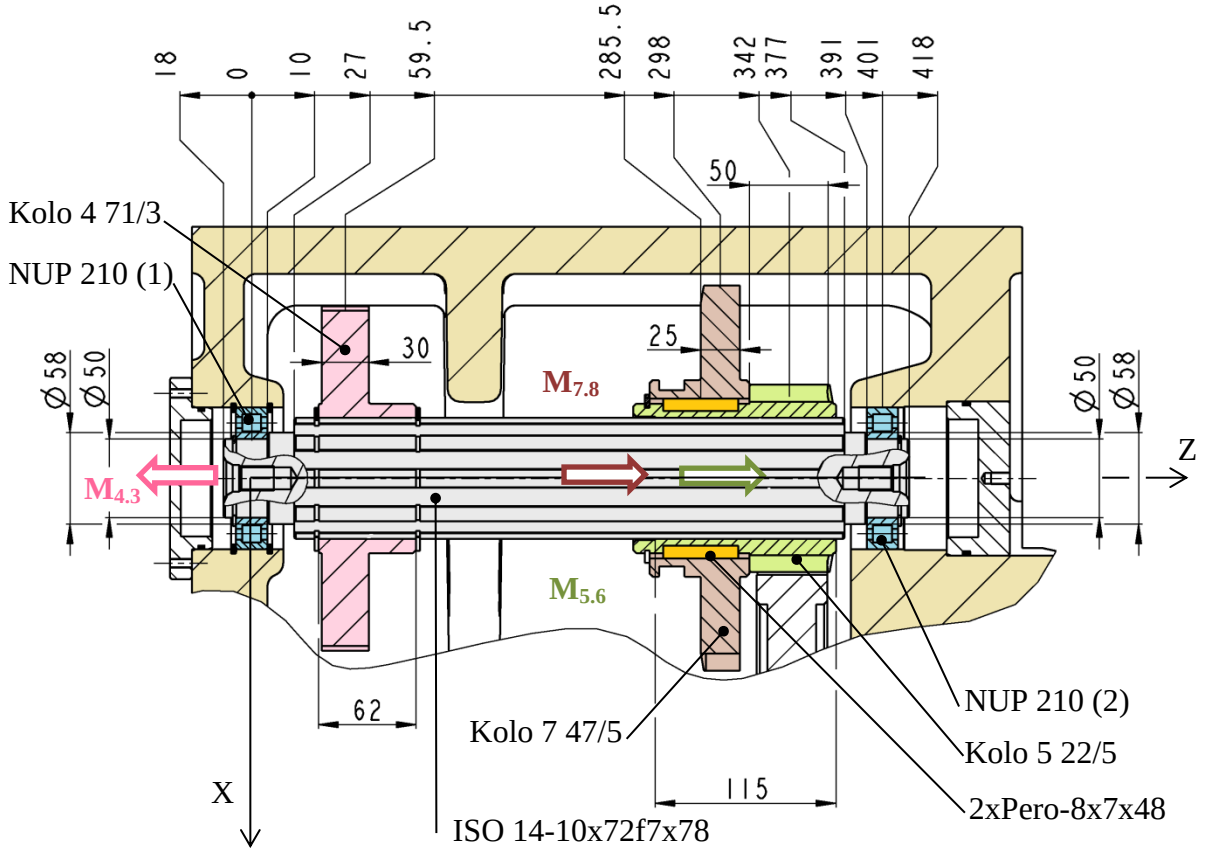
$$M_{6.5i} = -M_{9.10i} \cdot k_{1i} \quad (10.3.5)$$

$$M_{8.7i} = -M_{9.10i} \cdot k_{2i} \quad (10.3.6)$$

$$M_{6.5} = \begin{bmatrix} -2600 \\ 2600 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} N \cdot m \quad M_{8.7} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -794.65 \\ 794.65 \end{bmatrix} N \cdot m$$

10.3.2 Souhmotí SH 3

Souhmotí SH 3 zahrnuje předlohový hřídel vřeteníku, jeho uložení a trojici ozubených kol. Jak bylo již zmíněno v kapitole 10.2, přesouváním kol 5 a 7 je realizováno řazení převodových stupňů. Na obr. 27 je zobrazeno souhmotí SH 3 při zařazení prvního převodového stupně, což odpovídá 0. a 1. zatěžovacímu stavu. Při zařazení druhého převodového stupně dochází k posunutí kol 7 a 8 směrem vlevo o 83 mm. Tuto skutečnost je nutné respektovat při definování okrajových podmínek výpočtu v softwaru PREV, viz příloha č. 4.



Obr. 27 - Souhmotí SH 3 – 1. stupeň

T_3…doby běhu souhmotí SH 3 [*hod*]

n_3…otáčky souhmotí SH 3 [*ot/min*]

i=0..3

$$n_{3i}=-n_{4i}\cdot\frac{1}{i_1}\cdot k_{1i}-n_{4i}\cdot\frac{1}{i_2}\cdot k_{2i} \tag{10.3.7}$$

$$T_3=T_4=\begin{bmatrix}2520\\630\\3080\\770\end{bmatrix}hod \qquad n_3=\begin{bmatrix}248{,}891\\-248{,}891\\248{,}891\\-248{,}891\end{bmatrix}\frac{ot}{min}$$

$M_{5.6}$… hnaný moment - moment na kole 5 od kola 6 (1. převodový stupeň) [*N.m*]

$M_{7.8}$… hnaný moment - moment na kole7 od kola 8 (2. převodový stupeň) [*N.m*]

$M_{4.3}$… moment hnací - moment na kole 4 od kola 3 [*N.m*]

$$M_{7.8}=M_{8.7}\cdot\frac{z_7}{z_8}\cdot\frac{1}{\eta_o} \tag{10.3.8}$$

$$M_{5.6}=M_{6.5}\cdot\frac{z_5}{z_6}\cdot\frac{1}{\eta_o} \tag{10.3.8}$$

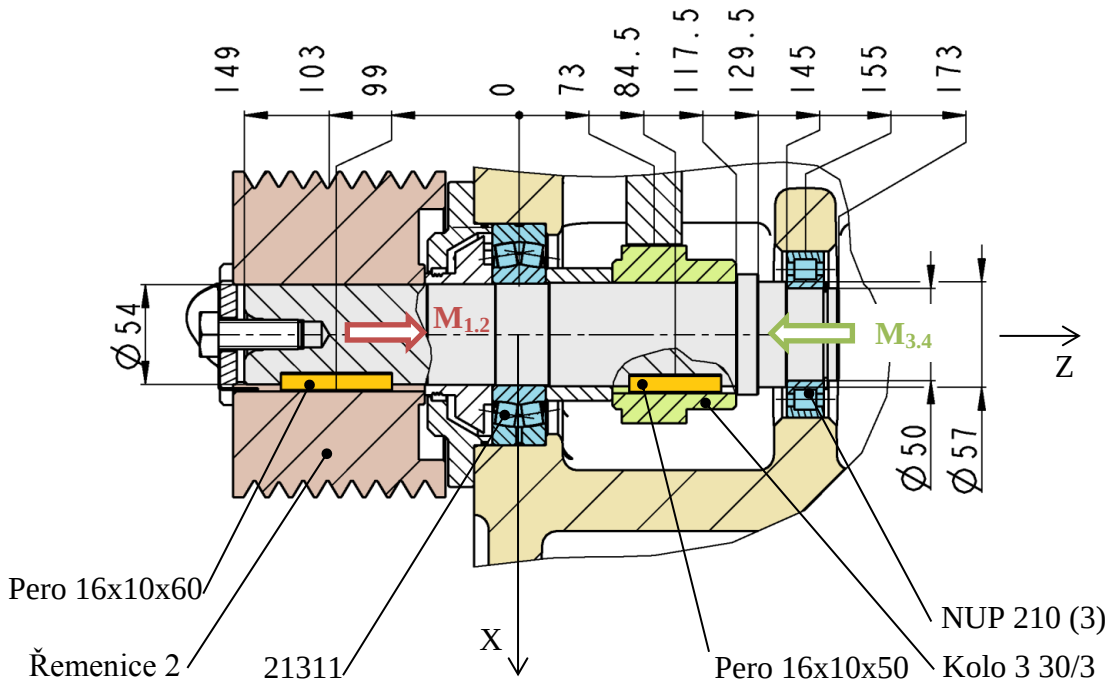
$$M_{4.3i}=-M_{5.6i}\cdot k_{1i}-M_{7.8i}\cdot k_{2i} \tag{10.3.9}$$

$$M_{5.6}=\begin{bmatrix}-810{,}658\\810{,}658\\0\\0\end{bmatrix}N\cdot m \qquad M_{7.8}=\begin{bmatrix}0\\0\\-810{,}868\\810{,}868\end{bmatrix}N\cdot m \qquad M_{4.3}=\begin{bmatrix}810{,}658\\-810{,}658\\810{,}868\\-810{,}868\end{bmatrix}N\cdot m$$

10.3.3 Souhmotí SH 2

Souhmotí SH 2, viz obr. 27, zahrnuje vstupní hřídel vřeteníku, jeho uložení, řemenici 2 a ozubené kolo 3. Ložiska, ve kterých je hřídel 2 uložen, jsou zatěžována nejen od sil působících v ozubení, ale také předepínací silou řemenového převodu.

Podobně jako v případě souhmotí SH 3 jsou vypočtené parametry zatěžovacích stavů (10.3.10) - (10.3.12) použity pro účel kontrolních výpočtů pomocí softwaru PREV, viz příloha č. 3.



Obr. 28 - Souhmotí SH 2

T_2…doby běhu souhmotí SH 2 [*hod*]

n_2…otáčky souhmotí SH 2 [*ot/min*]

$i=0…3$

$$n_{2i}=-n_{3i}\cdot\frac{z_4}{z_3} \tag{10.3.10}$$

$$T_2=T_3=\begin{bmatrix}2520\\630\\3080\\770\end{bmatrix}\ hod \qquad n_2=\begin{bmatrix}-589{,}041\\589{,}041\\-588{,}889\\588{,}889\end{bmatrix}\frac{ot}{min}$$

$M_{3.4}$… hnaný moment - moment na kole 3 od kola 4 [*N.m*]

$M_{2.1}$… hnací moment - moment na řemenici 2 od řemenice 1 [*N.m*]

$$M_{3.4}=M_{4.3}\cdot\frac{z_3}{z_4}\cdot\frac{1}{\eta_o} \tag{10.3.11}$$

$$M_{2.1}=-M_{3.4} \tag{10.3.12}$$

$$M_{3.4}=\begin{bmatrix}349{,}522\\-349{,}522\\349{,}612\\-349{,}612\end{bmatrix}N\cdot m \qquad M_{2.1}=\begin{bmatrix}-349{,}522\\349{,}522\\-349{,}612\\349{,}612\end{bmatrix}N\cdot m$$

10.4 Kontrolní výpočty souhmotí SH 2 a SH 3

Souhmotí SH 2 a SH 3 jsou kontrolována pomocí softwaru PREV. Jako vstupní hodnoty, jsou použity zatěžovací stavy popsané v předchozí kapitole. Rozměrové charakteristiky jednotlivých součástí souhmotí jsou definovány dle obr. 26 a obr. 28. Zbylé okrajové podmínky výpočtů jsou stanoveny dle zdrojů [1],[2],[4],[5],[6],[8] a jsou uvedeny v tab. 4.

Z výpočtů provedených v softwaru PREV jsou získáni hodnoty, viz tab. 5, které jsou následně kontrolovány. Veškeré součásti obou souhmotí vyhovují z hlediska pevnosti, tuhosti i životnosti.

Kompletní výstupy z provedených výpočtů jsou součástí přílohy č. 3 a přílohy č. 4. diplomové práce.

Tab. 4 - Vstupní hodnoty pro výpočty SH 2 a SH 3

Hřídele	**Souhmotí**	**Materiál**	**Mez kluzu [*MPa*] - [4]**	**Koef. bezpečnosti – zvolená hodnota**	**Dovolené napětí [*MPa*]**
Předlohový hřídel	SH 3	14220.4	590	2,5	236
Vstupní hřídel	SH 2	11600.7	255	2,5	102
Ozubená kola	**Souhmotí**	**Materiál**	**Dovolené napětí v ohybu [*MPa*] - [2]**	**Dovolené napětí v tlaku [*MPa*] - [2]**	**Modul [*mm*]**
Kolo 3	SH 2	14220.4	300	95	3
Kolo 4	SH 3	14220.4	300	95	3
Kolo 5	SH 3	14220.4	300	95	5
Kolo 7	SH3	14220.4	300	95	5
Ložiska	**Souhmotí**	**Maximální otáčky [*1/min*]**	**Typ**	**Statická únosnost [*kN*] - [8]**	**Dynam. únosnost [*kN*] - [8]**
NUP 210	SH3, SH2	7500	Válečkové jednořadé	76	69
21311	SH 2	7500	Soudečkové dvouřadé	174	178
Spojovací prvky	**Souhmotí**	**Materiál**	**Spojované části**	**Dovolený měrný tlak [*MPa*] - [1]**	**Uložení**
Drážkování 1	SH 3	14220.4	Hřídel 3 x Kolo 3	140	Neposuvné
Drážkování 2	SH 3	14220.4	Hřídel 3 x Kolo 5	70	Posuvné
Pero 1	SH 3	11600	Kolo 5 x Kolo 7	120	Neposuvné
Pero 2	SH 2	11600	Hřídel 2 x Řemenice 2	120	Neposuvné
Pero 3	SH 2	11600	Hřídel 2 x Kolo 3	120	Neposuvné

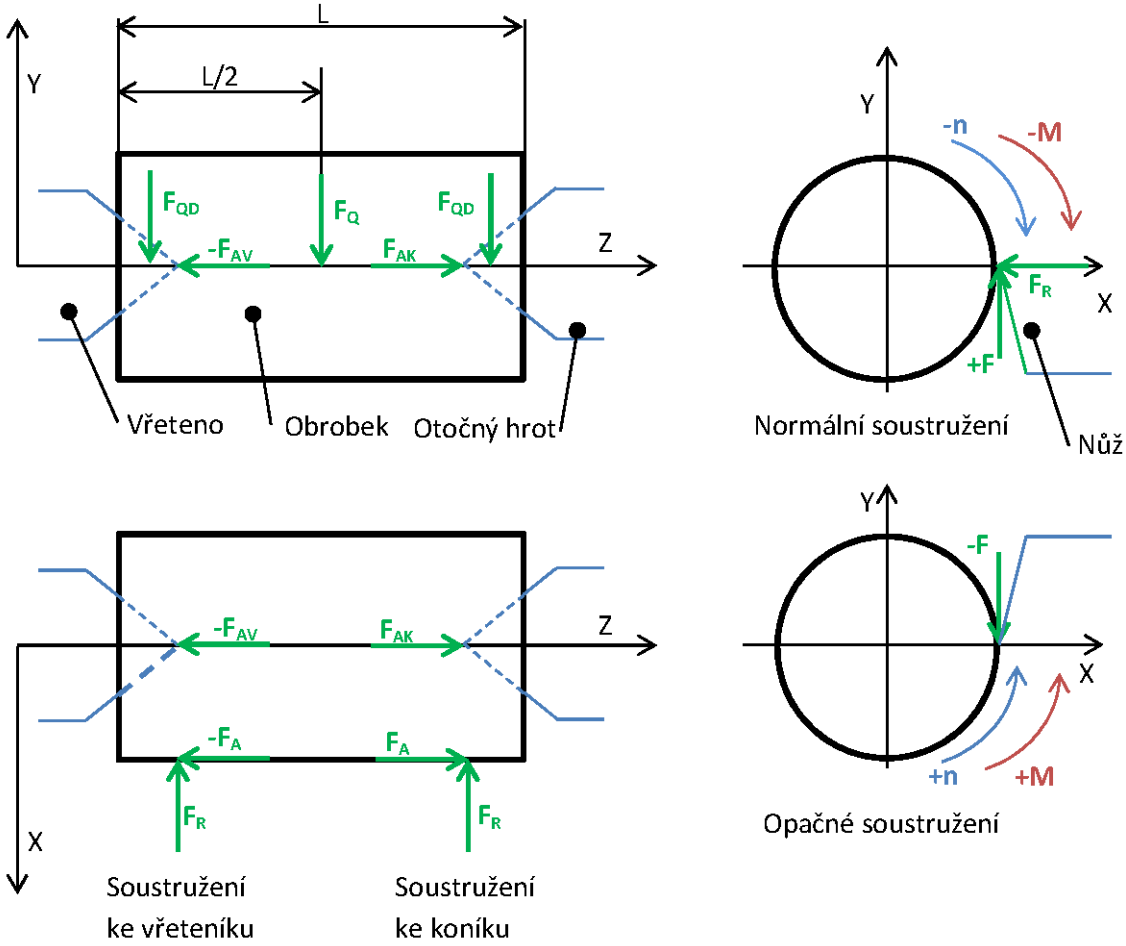
Tab. 5 - Výstupní vypočtené hodnoty výpočtů SH 2 a SH 3

Hřídele	**Posunutí v místě ozubeného převodu [*mm*]**	**Sklon v místě ozubení [*RAD*]**	**Sklon v místě válečkového ložiska [*RAD*]**	**Sklon v místě soudečkového ložiska [*RAD*]**	**Napětí [*MPa*]**
Dovolená hodnota - [6]	0.04	0.001	0.001	0.009	viz tab 4.
Hřídel 3	0.033	0.00025	0.00035	-	26.5
Hřídel 2	0.015	0.000037	0.00024	0.00042	51,5
Ozubená kola	**Součinitel bezpečnosti v ohybu**	**Součinitel bezpečnosti v dotyku**			
Dovolená hodnota - [2]	1.2	1.2			
Kolo 3	2,59	1,23			
Kolo 4	2,37	1,3			
Kolo 5	2,72	1,34			
Kolo 6	3,06	1,61			
Kolo 7	3,52	1,92			
Kolo 8	3,43	1,92			
Ložiska	**Dynamický koeficient bezpečnosti**	**Statický koeficient bezpečnosti**	**Trvanlivost ložiska [*hod*]**	**Bezpečnost proti přeotáčkování**	
Dovolená hodnota	1	1	7000	1	
NUP 210 EW (1)	23,95	7,98	167622	4,64	
NUP 210 EW (2)	5,76	5,58	40317	4,64	
NUP 210 EW (3)	57,04	11,67	399288	1,96	
211311	18,16	12,55	127133	1,46	
Spojovací prvky	**Měrný tlak [MPa]**	**Kontrola**			
Drážkování 1	40	Vyhovuje			
Drážkování 2	15,5	Vyhovuje			
Pero 1	80,5	Vyhovuje			
Pero 2	27	Vyhovuje			
Pero 3	19,83	Vyhovuje			

10.5 Zatěžovací stavy uložení vřetene

Jak bylo již uvedeno v kapitole 6.1, uložení vřetene má zásadní vliv na parametry dosažitelné při obrábění. Z tohoto důvodu je uložení vřetene věnována zvýšená pozornost, čemuž odpovídá i podrobněji zpracovaný rozbor zatěžovacích stavů.

Pro vřeteno soustruhu jsou určeny zatěžovací stavy, které zahrnují řezné síly a síly vyvozené tíhou obrobku, zatěžující vřeteno při procesu obrábění. Směry a působiště těchto sil jsou závislé na způsobu obrábění, viz obr. 29.



Obr. 29 - Síly působící na vřeteník, obrobek a koník, směry momentů a otáček

F_Q...tíha obrobku [kN]

F_{QD}...tíha obrobku působící na vřeteno [kN]

F...tečná složka řezné síly [kN]

F_R...radiální složka řezné síly[kN]

F_{AV}...axiální síla působící na vřeteno [kN]

F_{AK}...minimální bezpečná upínací síla koníka [kN]

Celkem je, pro uložení vřetene stanoveno devět zatěžovacích stavů, přičemž každý stav reprezentuje určitý druh obrábění, v kombinaci s určitým typem obrobku. V této kapitole jsou uvedeny pouze výstupy výpočtu zatěžovacích stavů, viz níže uvedené hodnoty. Kompletní výpočet je součástí přílohy č. 5 diplomové práce.

$M_{9.10}$ …hnaný moment - moment na sklíčidle 9 od obrobku 10 [$N.m$]

$M_{6.5}$…hnací moment - moment na kole 6 od kola 5 (1. převodový stupeň) [$N.m$]

$M_{8.7}$…hnací moment - moment na kole 8 od kola 7 (2. převodový stupeň) [$N.m$]

n…otáčky vřetene [ot/min]

T…doby běhu vřetene [hod]

q_c…poměrné doby běhu [-]

$$F_y = \begin{bmatrix} 29 \\ -6 \\ -32.5 \\ -1{,}5 \\ -1{,}5 \\ -3 \\ -3{,}5 \\ -4{,}5 \\ 7{,}25 \end{bmatrix} kN \qquad F_R = \begin{bmatrix} 21 \\ 0 \\ 10{,}5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4{,}8 \\ 0 \\ 5{,}25 \end{bmatrix} kN \qquad F_{AV} = \begin{bmatrix} -52{,}17 \\ -31{,}17 \\ -31{,}17 \\ -31{,}17 \\ -8{,}66 \\ -1{,}732 \\ -10{,}63 \\ -5{,}83 \\ 5{,}25 \end{bmatrix} kN$$

$$M_{6.5} = \begin{bmatrix} -2600 \\ 0 \\ 2600 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} N \cdot m \qquad M_{8.7} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -794{,}65 \\ 0 \\ -794{,}65 \end{bmatrix} N.m \qquad M_{10.9} = \begin{bmatrix} 2600 \\ 0 \\ -2600 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 794{,}65 \\ 0 \\ 794{,}65 \end{bmatrix} N.m$$

$$n = \begin{bmatrix} -76{,}05 \\ -76{,}05 \\ 76 \\ -76{,}05 \\ -323{,}474 \\ -1617 \\ -248{,}826 \\ -248{,}826 \\ -248{,}826 \end{bmatrix} ot/min \qquad T = \begin{bmatrix} 1400 \\ 2600 \\ 700 \\ 1300 \\ 5000 \\ 2000 \\ 2100 \\ 3900 \\ 1000 \end{bmatrix} hod \qquad q_c = \begin{bmatrix} 0{,}07 \\ 0{,}13 \\ 0{,}035 \\ 0{,}065 \\ 0{,}25 \\ 0{,}1 \\ 0{,}105 \\ 0{,}195 \\ 0{,}05 \end{bmatrix}$$

10.6 Kontrolní výpočet uložení vřetene

Uložení vřetene bylo stejně jako ostatní souhmotí vřeteníku kontrolováno pomocí softwaru PREV. Jako okrajové podmínky výpočtu jsou použity parametry zatěžovacích stavů určené v předchozí kapitole. Rozměrové charakteristiky jednotlivých součástí uložení vřeteny jsou definovány dle obr. 27. Zbylé okrajové podmínky výpočtů jsou stanoveny dle zdrojů [1],[2],[4],[5],[6],[8] a jsou uvedeny v tab. 6.

Vypočtené hodnoty, viz tab. 7, jsou porovnány s hodnotami dovolenými. Navržené konstrukční řešení uložení vřetene splňuje požadavky.

Tab. 6 - Vstupní hodnoty výpočtu uložení vřetene

Hřídele	**Materiál**	**Mez kluzu [*MPa*] - [4]**	**Koef. bezpečnosti - zvolen**	**Dovolené napětí [*MPa*]**
Vřeteno	12050.7	390	2,5	156
Ozubená kola	**Materiál**	**Dovolené napětí v ohybu [*MPa*] - [2]**	**Dovolené napětí v tlaku [*MPa*] - [2]**	**Modul [*mm*]**
Kolo 6	14220.4	300	95	3
Kolo 8	14220.4	300	95	3
Ložiska	**Maximální otáčky [*1/min*]**	**Typ**	**Statická únosnost [*kN*] - [8]**	**Dynamická únosnost [*kN*] - [8]**
NN 3936	4200	Válečkové dvouřadé	655	340
180 TAC 29D	2300	Axiální obousměrné kuličkové ložisko s kos. stykem	655	158
NN 3932	4800	Válečkové dvouřadé	271	520
Spojovací prvky	**Materiál**	**Spojované části**	**Dovolený měrný tlak [*MPa*] – [1]**	**Uložení**
Pero 1	11600	Vřeteno x Kolo 6	120	Neposuvné
Pero 1	11600	Vřeteno x Kolo 8	120	Neposuvné

Tab. 7 - Výstupní hodnoty výpočtu uložení vřetene

Hřídele	**Posunutí v místě ozubeného převodu [mm]**	**Sklon v místě ozubení [RAD]**	**Sklon v místě válečkového ložiska [RAD]**	**Sklon v místě kuličkového ložiska [RAD]**	**Napětí [MPa]**
Dov. hodnota - [6]	0.04	0.001	0.001	0.07	viz tab 6.
Vřeteno	0.02	0.000053	0.000178	0,000155	28.1
Ozubená kola	**Součinitel bezpečnosti v ohybu**	**Součinitel bezpečnosti v dotyku**			
Dov. hodnota - [2]	1.2	1.2			
Kolo 5	3,83	1,6			
Kolo 6	3,42	1,83			
Kolo 7	4,77	4,9			
Kolo 8	1,98	1,98			
Ložiska	**Dynamický koeficient bezpečnosti**	**Statický koeficient bezpečnosti**	**Trvanlivost ložiska [hod]**	**Bezpečnost proti přeotáčkování**	
Dovolená hodnota	1	1	7000	1	
NN 3936	28,57	10,46	571467	2,6	
180 TAC 29D	2,38	12,53	47607	1,48	
NN 3932	1431	43,17	28631310	2,97	
Spojovací prvky	**Měrný tlak [MPa]**	**Kontrola**			
Pero 1	47	Vyhovuje			
Pero 1	65	Vyhovuje			

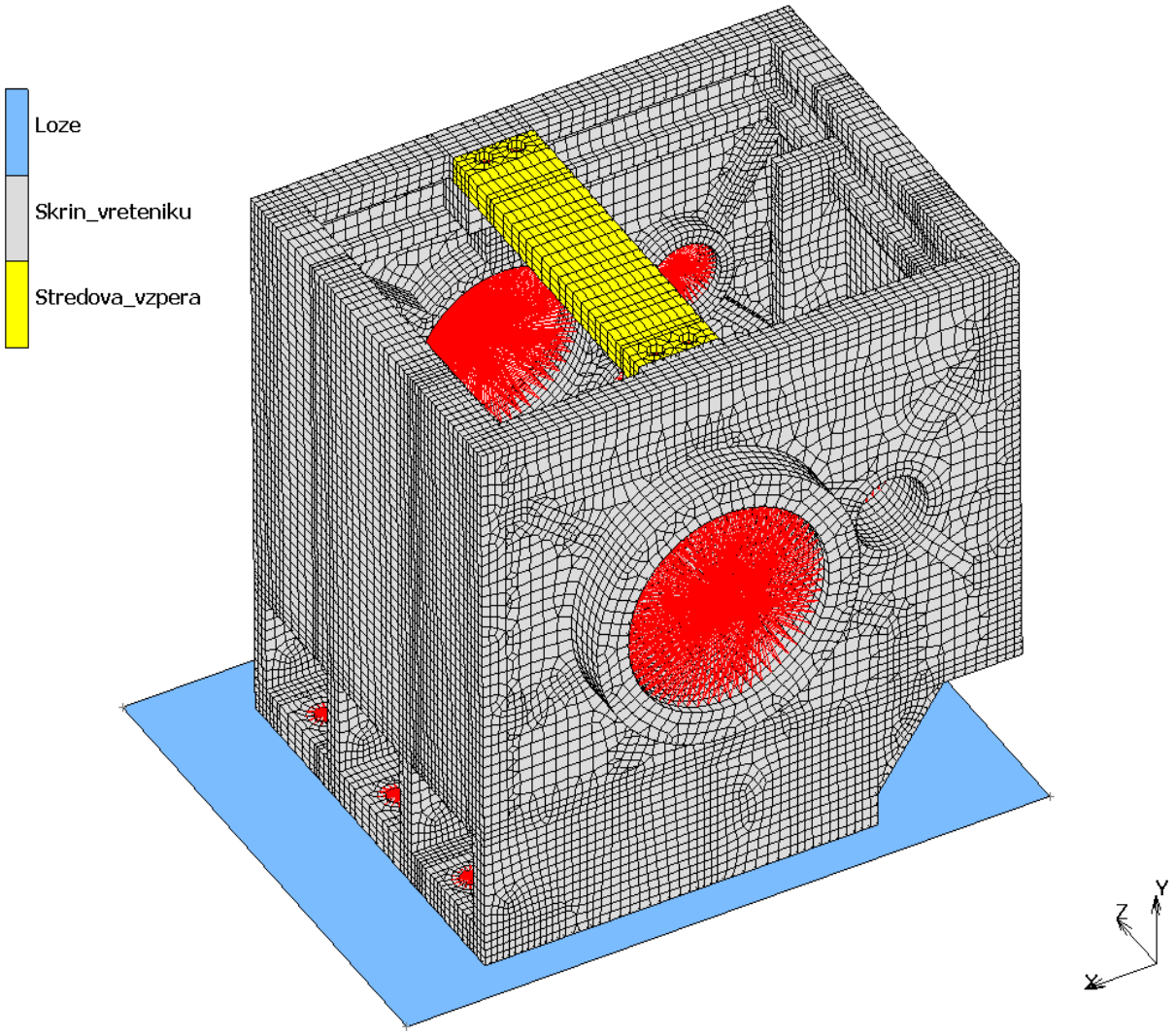
11 MKP analýza vřeteníku

V rámci této kapitoly jsou provedeny výpočty metodou konečných prvků pro dvě základní úlohy. V první úloze jsou zjišťovány velikosti a rozložení celkového redukované napětí ve skříni vřeteníku při simulaci zatěžovacího stavu uložení vřetene s maximálními řeznými silami. Druhá úloha je zaměřena na výpočet tuhostí jednotlivých oblastí skříně vřeteníku, kde jsou umístěna ložiska uložení vřetene.

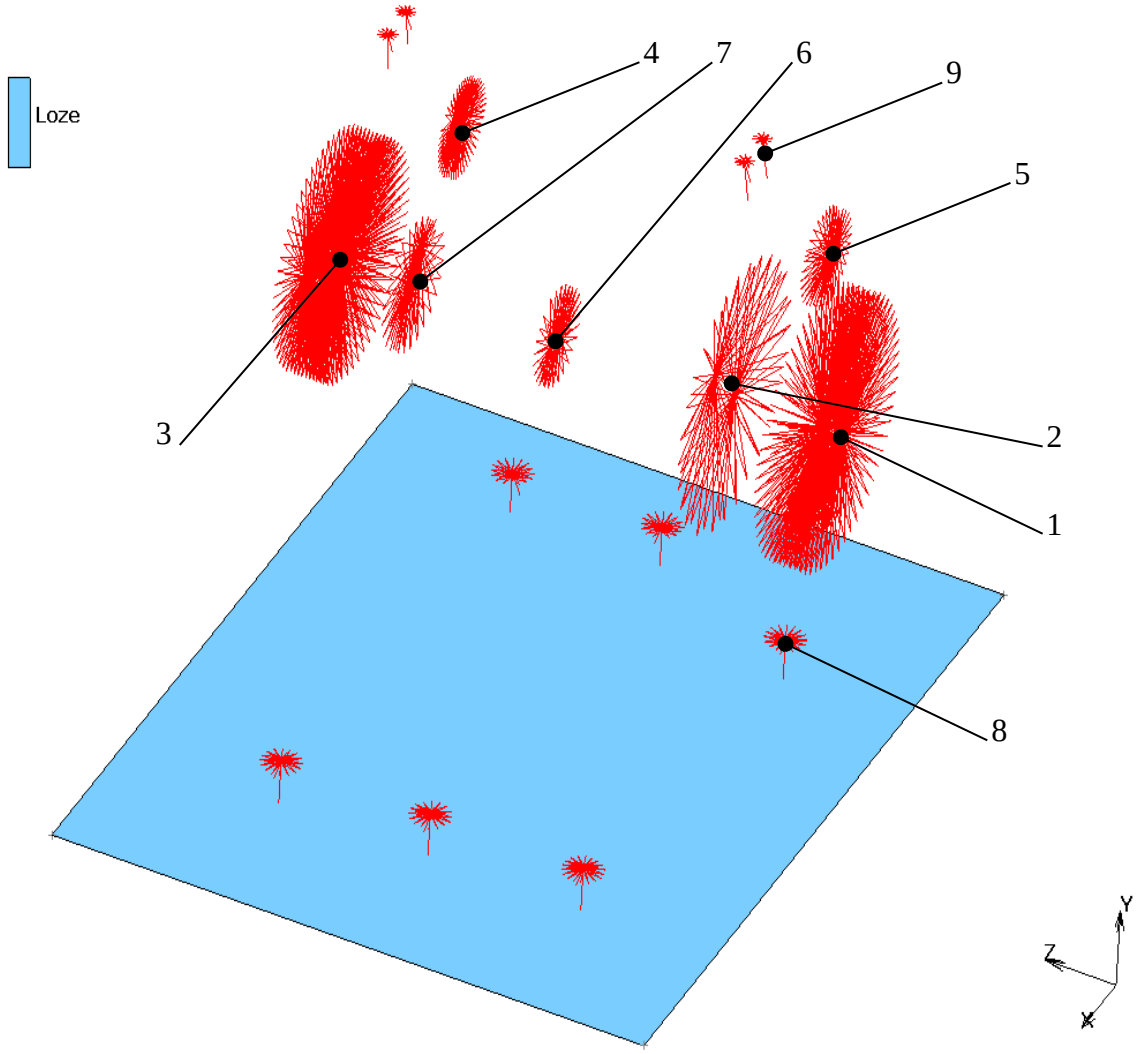
MKP analýzy vřeteníku jsou řešeny v softwaru MSC Marc Mentat 2011.

11.1 Výpočtový model vřeteníku

Pro níže uvedené MKP analýzy je použit výpočtový model vřeteníku, viz obr. 30. Skříň vřeteníku a středová vzpěra jsou vytvořeny jako objemové modely se strukturovanou sítí konečných prvků. Jednotlivá ložiska jsou idealizována pomocí růžic s absolutně tuhými pruty. Šroubové spoje jsou také nahrazeny 1D prvky, s možností nadefinování předepnutí spoje. Lože je nahrazeno absolutně tuhou plochou. Ostatní části vřeteníku nejsou ve výpočtovém modelu uvažovány. Jednotlivým celkům výpočtového modelu jsou přiřazeny materiálové charakteristiky, viz tab. 8. Materiály jsou definovány jako lineární.



Obr. 30 - Výpočtový model vřeteníku



Obr. 31 - Výpočtový model vřeteníku – idealizované součásti
1-ložisko NN 3936, ložisko 180 TAC, 3-ložisko NN 3932,4-ložisko NUP 210(1), 5-ložisko NUP 210(2),6-ložisko NUP 210(3), 7-ložisko 21311, 8-šroubové spoje M24, 9-šroubové spoje M12

Tab. 8 - Materiálové charakteristiky

Součást	Materiál	Modul pružnosti v tahu	Poissonovo číslo
1. Skříň vřeteníku	ČSN 42 2430	130 000 MPa	0,25
2. Středová vzpěra	11 375	210 000 MPa	0,3
3. Lože	-	-	-

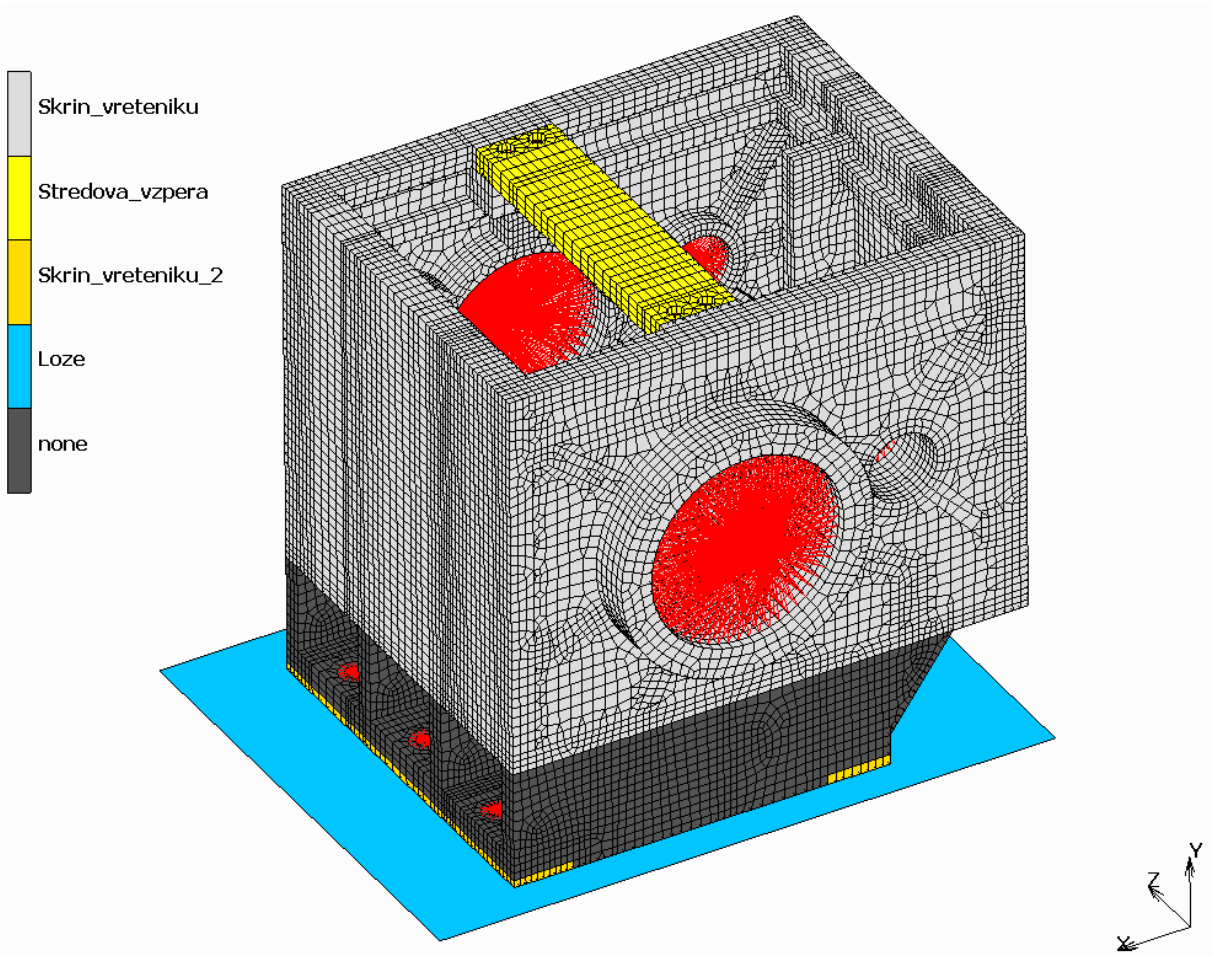
11.1.1 Definování kontaktů

Kontakt typu touching (terminologie software) je definován pro stykové plochy skříně vřeteníku (Skrin_vreteniku_1) a středovou vzpěru (Stredova_vzpera), viz obr. 32. Pro nastavení kontaktu mezi skříní vřeteníku a ložem je respektován skutečný tvar stykové plochy těchto částí. Kontakt typu touching je tedy definován pouze pro vybrané prvky skříně vřeteníku (Skrin_vreteniku_2) a lože (Loze), viz obr. 33.

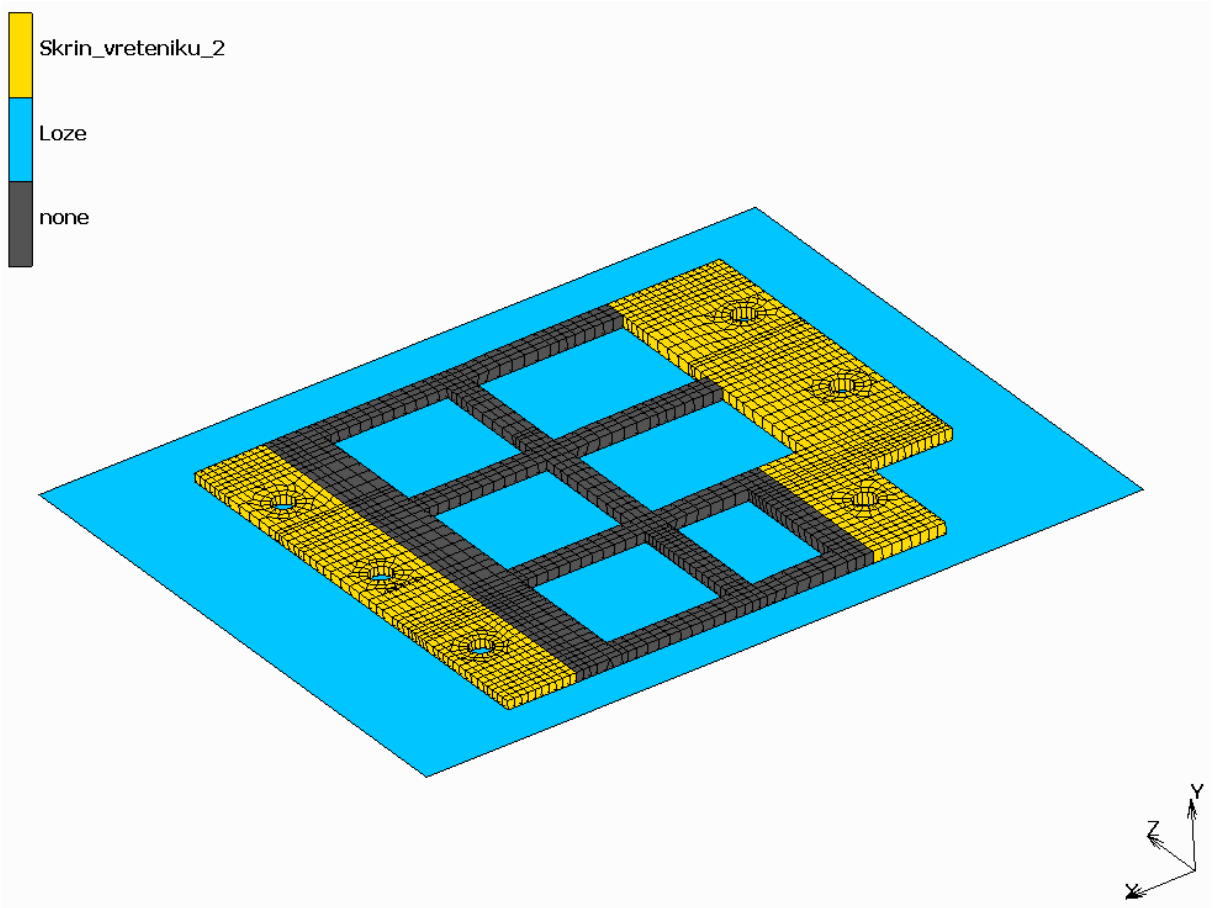
Součinitele tření mezi jednotlivými součástmi jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9 - Součinitele tření

Součást	Skříň vřeteníku	Středová vzpěra	Lože
Skříň vřeteníku	-	0,15	0,15
Středová vzpěra	0,15	-	-
Lože	0,15	-	-



Obr. 32 - Definování kontaktů



Obr. 33 - Definování kontaktů mezi skříní vřeteníku a ložem

11.2 Úloha 1 - maximální zatížení vřeteníku

Cílem této úlohy je zjištění maximálních hodnot celkového redukovaného napětí a celkové deformace, pro skříň vřeteníku a středovou vzpěru, při maximálním zatížení vřetene. Zjištěné hodnoty napětí jsou porovnány s dovoleným napětím pro danou součást.

11.2.1 Okrajové podmínky úlohy 1

Pro výpočet této úlohy je definováno zatížení dle 0. zatěžovacího stavu uložení vřetene, viz příloha č. 2. Jedná se o zatěžovací stav hrubování, při kterém působí na vřeteno maximální řezné síly. Z výpočtů provedených v softwaru PREV, viz příloha č. 5, jsou získány hodnoty reakcí, tedy i zatížení ložisek uložení vřetene, pro daný zátěžný stav.

Jednotlivé síly jsou aplikovány do středových uzlů příslušných ložisek, viz obr. 34. Dále jsou definovány předepínací síly pro šroubové spoje [10]. Velikosti zatěžujících a předepínacích sil jsou uvedeny v tabulce 9.

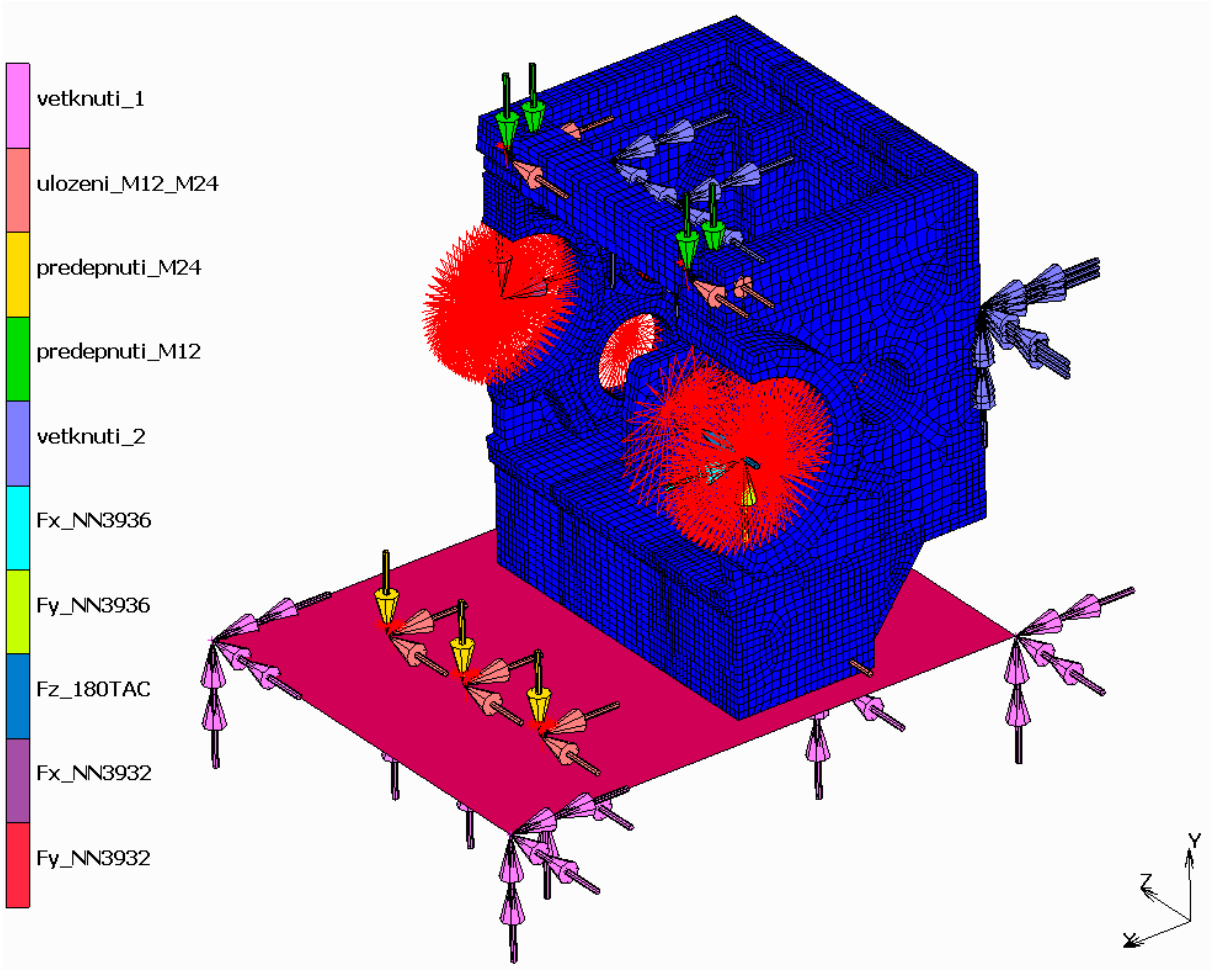
Dále je vetknuta absolutně tuhá plocha reprezentující lože (vetknuti_1, viz obr. 34).

Výpočet je proveden jako statická úloha v deseti postupných krocích. Vetknutí skříně vřeteníku a středové vzpěry (vetknuti_2) je definováno pouze pro první krok výpočtu a slouží k počáteční stabilizaci objektů pro správné nastavení kontaktů. V dalších krocích je tato okrajová podmínka zrušena.

Tab. 10 – Okrajové zatěžující podmínky úlohy 1

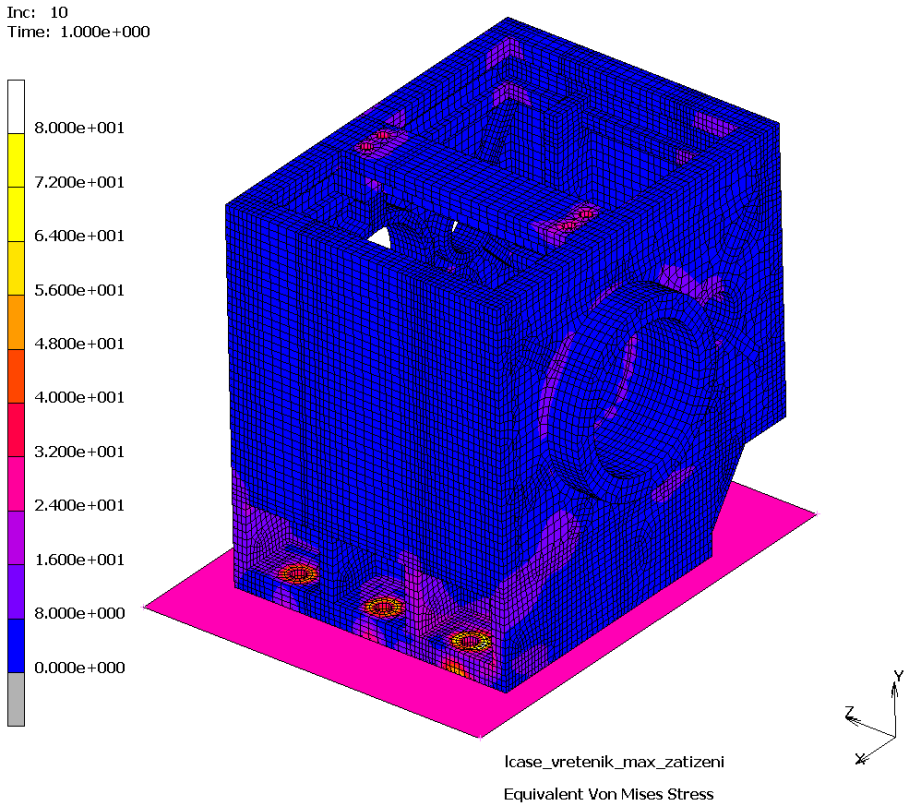
Ložisko	NN 3936	NN 3932	180 TAC
Zatížení ve směru x - Fx [N]	-27248	11505	0
Zatížení ve směru y - Fy [N]	52343	-8899	0
Zatížení ve směru z - Fz [N]	0	0	52170

Šroubový spoj	M 24	M 12
Předepínací síla [N]	90000	30000

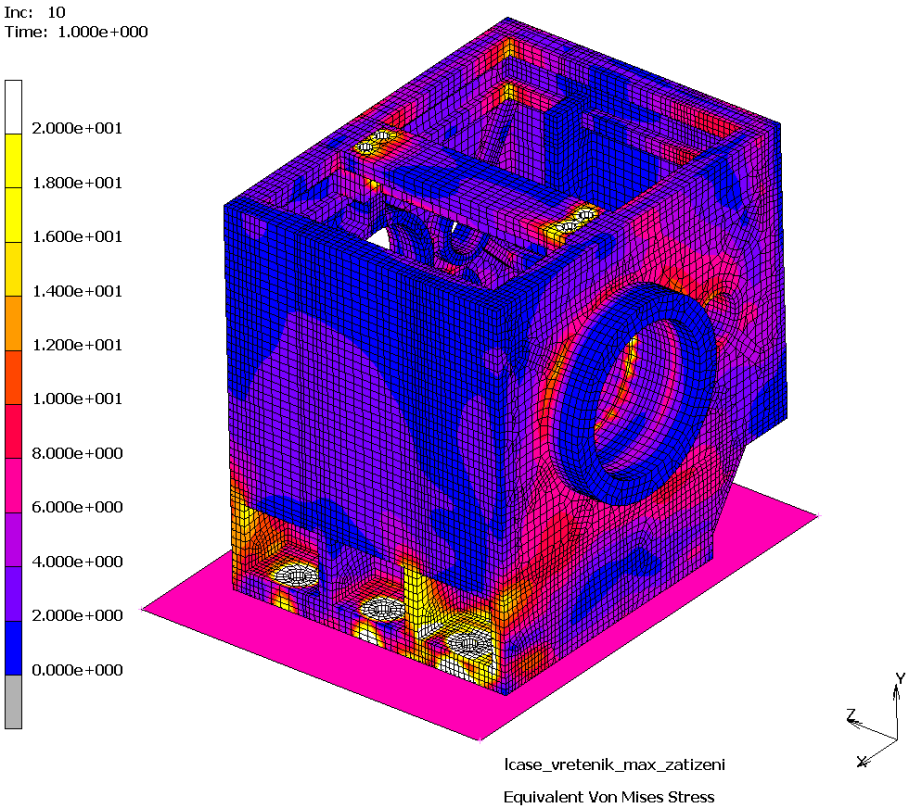


Obr. 34 - Okrajové podmínky úlohy 1

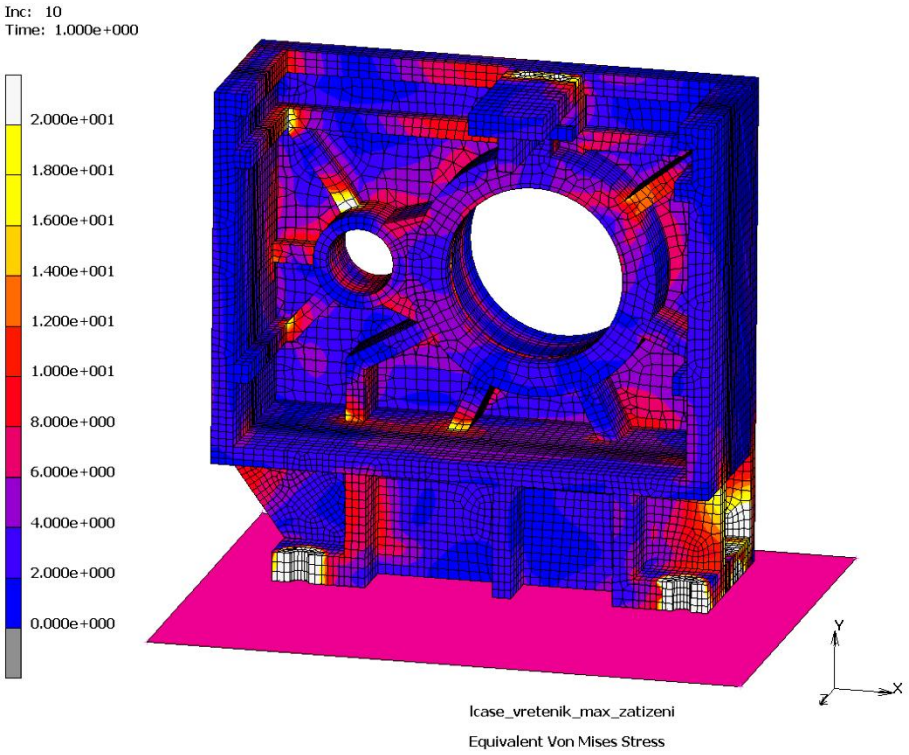
11.2.2 Výsledky úlohy 1



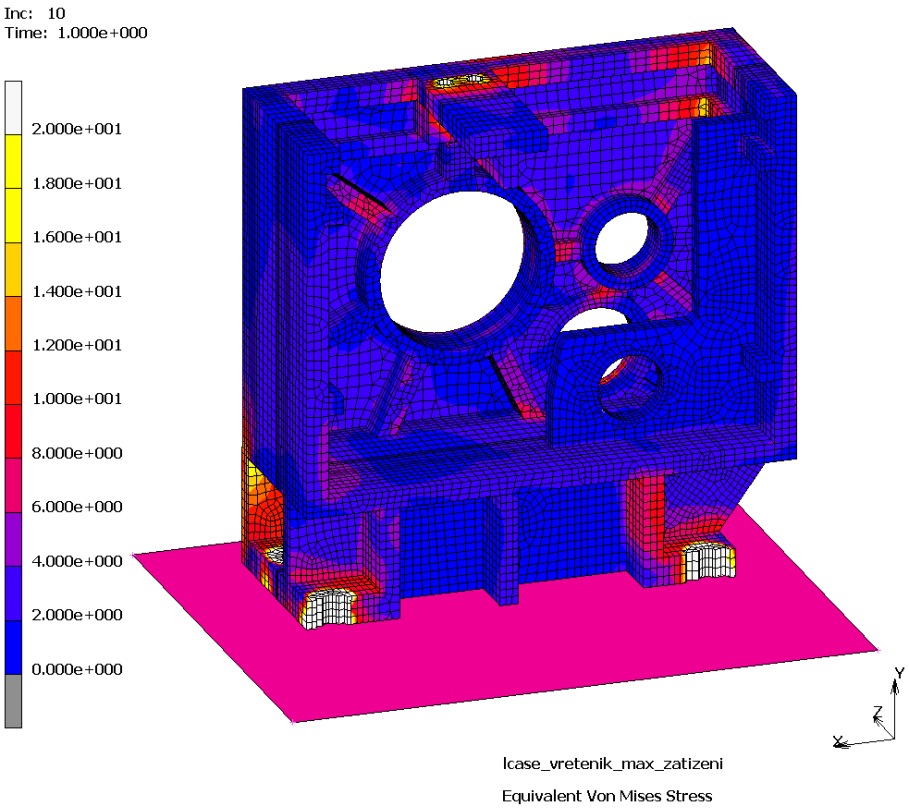
Obr. 35 - Zobrazení celkového redukované napětí do 80 MPa dle HMH [MPa]



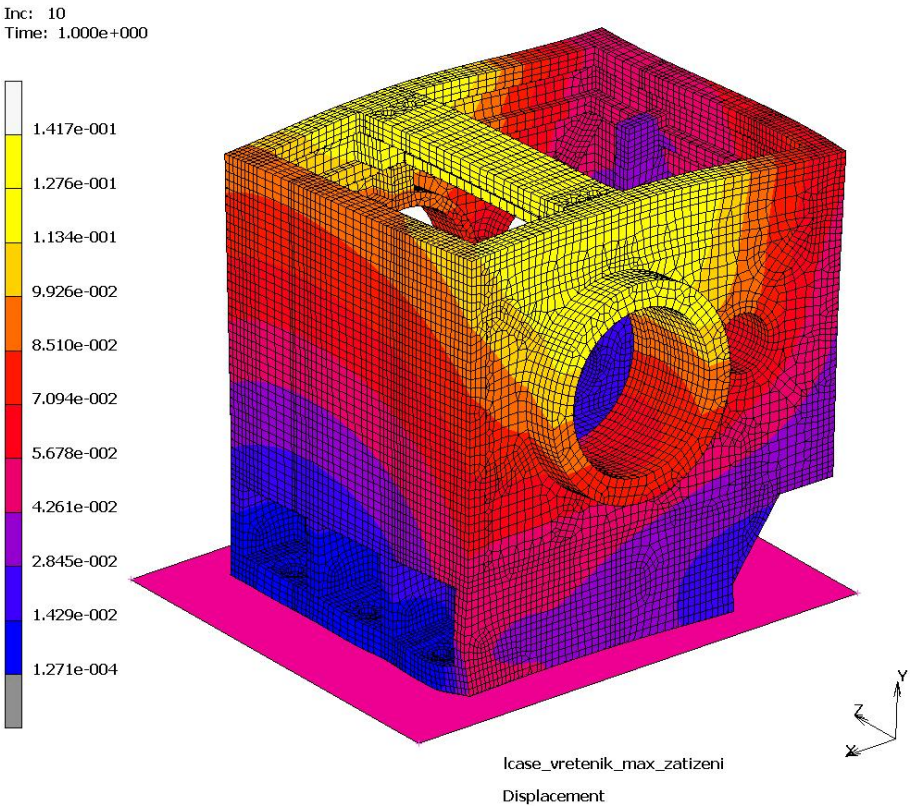
Obr. 36 - Zobrazení celkového redukovaného napětí do 20 MPa dle HMH [MPa]



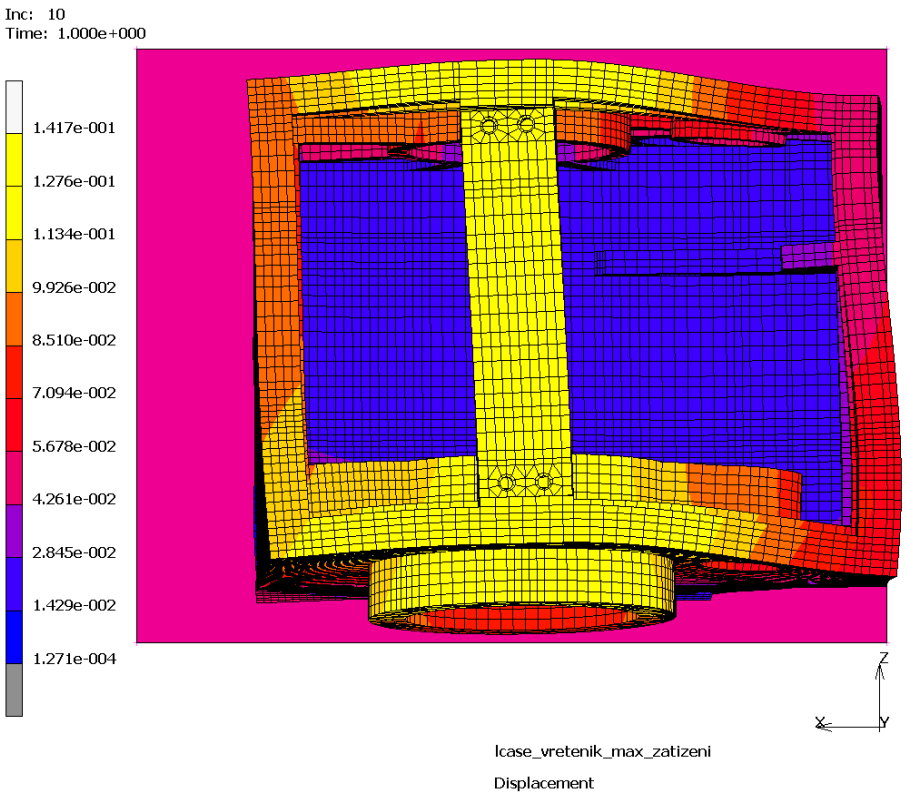
Obr. 37 - Zobrazení celkového redukovaného napětí do 20 MPa dle HMH [MPa] - žebra přední stěny skříně vřeteníku



Obr. 38 - Zobrazení celkového redukovaného napětí do 20 MPa dle HMH [MPa] – žebra zadní stěny skříně vřeteníku



Obr. 39 - Zobrazení celkové deformace vřeteníku [mm] – měřítko deformace 500:1



Obr. 40 - Zobrazení celkové deformace vřeteníku při pohledu shora [mm] – měřítko 500:1

11.2.3 Vyhodnocení úlohy 1

Maximální hodnoty celkového redukovaného napětí byly zjištěny u skříně vřeteníku, v oblastech šroubových spojů, viz obr. 35. Celkové redukované napětí zde dosahuje cca 80 MPa, což vzhledem k použitému materiálu představuje dostatečně nízkou hodnotu. V ostatních částech vřeteníku nepřesahuje celkové redukované napětí hodnotu 20 MPa. Vřeteník tedy splňuje pevností požadavky.

Vzhledem ke skutečnosti, že zatížení vřeteníku bylo definováno dle zátěžného stavu s maximálními řeznými silami, nejsou vypočtené hodnoty celkové deformace směrodatné pro výslednou přesnost stroje. Přesto lze hodnoty deformace cca 0,1 mm v oblasti předního ložiska uložení vřetene považovat za uspokojivé.

Z výsledků celkové deformace, viz obr. 39 a obr. 40 lze pozorovat vliv středové vzpěry, která propojuje přední a zadní stěnu skříně vřeteníku, čímž zvyšuje tuhost skříně ve směru osy Z.

11.3 Úloha 2 – tuhost uložení ložisek

Cílem této úlohy je zjištění tuhostí jednotlivých oblastí skříně vřeteníku, ve kterých jsou umístěna ložiska uložení vřetene. Pro stanovení těchto tuhostí je nutné nejprve zjistit posunutí středů ložisek v daných směrech v závislosti na velikosti působící síly.

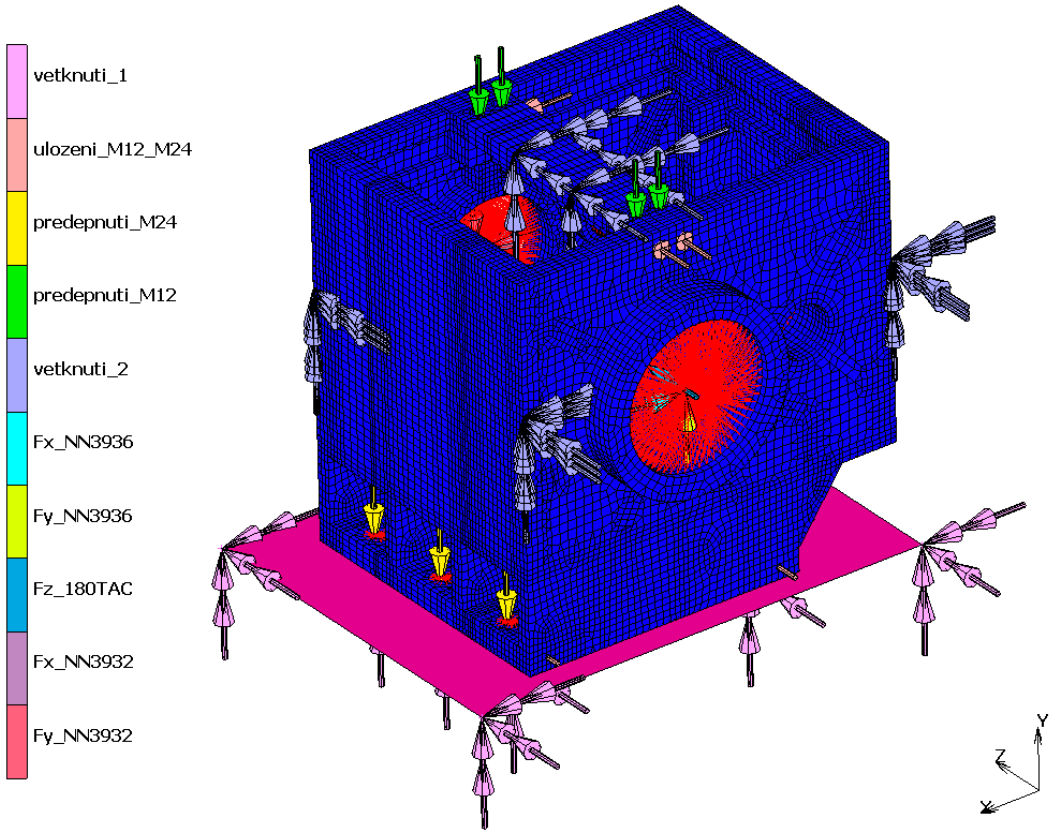
11.3.1 Okrajové podmínky úlohy 2

Stejně jako v úloze 1 byla definována předepnutí šroubových spojů dle [10], viz tab. 10., a vetknutí lože. Také vetknutí vřeteníku a středové vzpěry v prvním kroku výpočtu je totožné s úlohou 1.

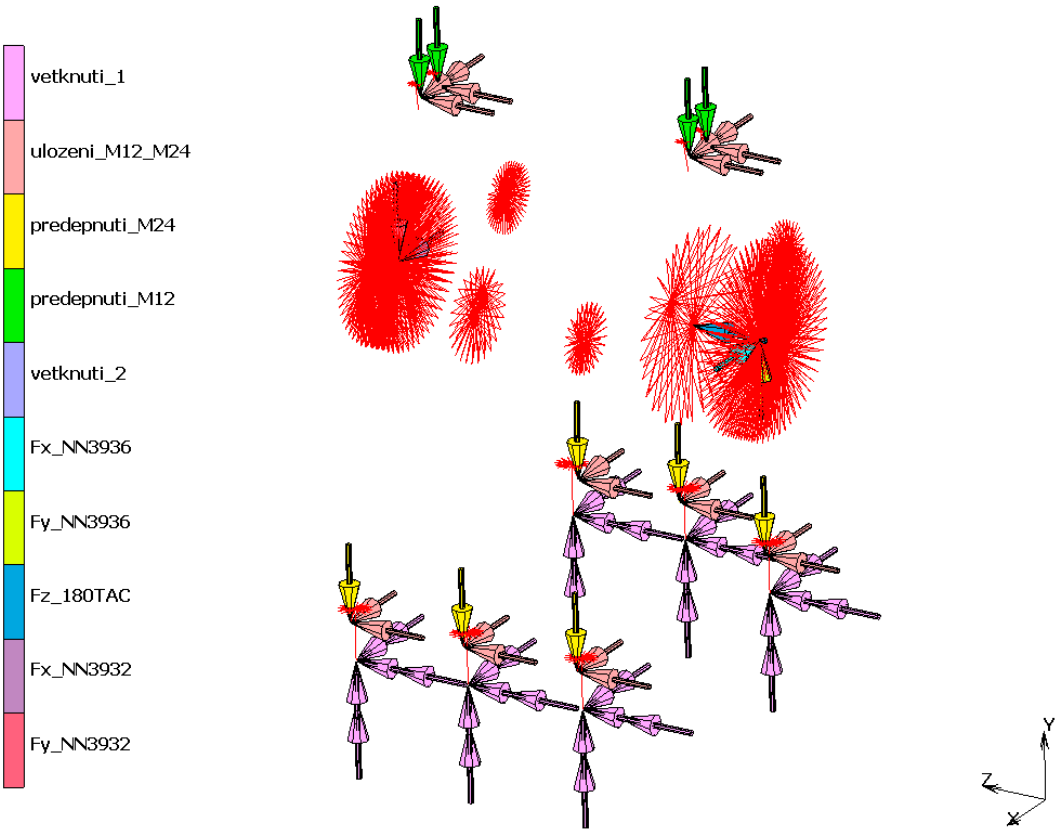
Dále bylo vytvořeno pět samostatných výpočtů. Pro každý výpočet byla do středu zvoleného ložiska aplikována osamocená síla, působící v jednom ze směrů os souřadného systému, viz obr. 39. Pro radiální ložiska NN 3936 a NN 3932 byly použity síly ve směrech os X a Y, zatímco pro axiální ložisko 180 TAC byla aplikována pouze síla ve směru osy Z. Velikosti, působiště a směry sil pro jednotlivé výpočty jsou uvedeny v tab. 11. Velkosti uvedených sil byly zvoleny a řádově odpovídají silám působícím při 0. zátěžném stavu, viz příloha č. 2.

Tab. 11 - Okrajové podmínky

Výpočet - i	1	2	3	4	5
Ložisko	**NN 3936**	**NN 3936**	**NN 3932**	**NN 3932**	**180 TAC**
Zatížení ve směru X - Fx [N]	-30000	0	30000	0	0
Zatížení ve směru Y - Fy [N]	0	30000	0	-30000	0
Zatížení ve směru Z - Fz [N]	0	0	0	0	30000



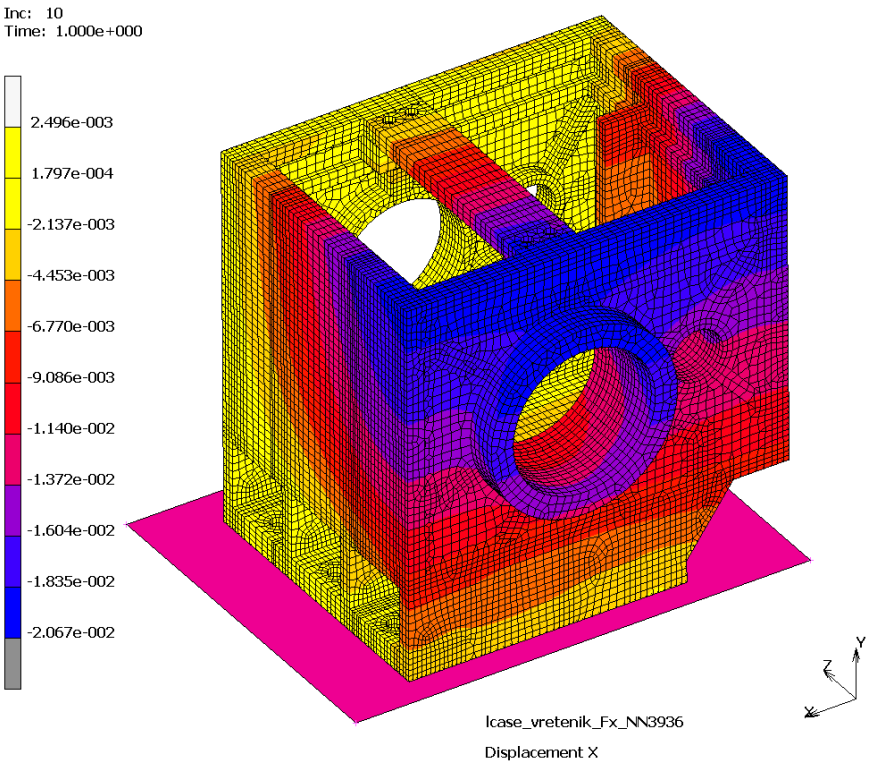
Obr. 41 - Okrajové podmínky úlohy 2



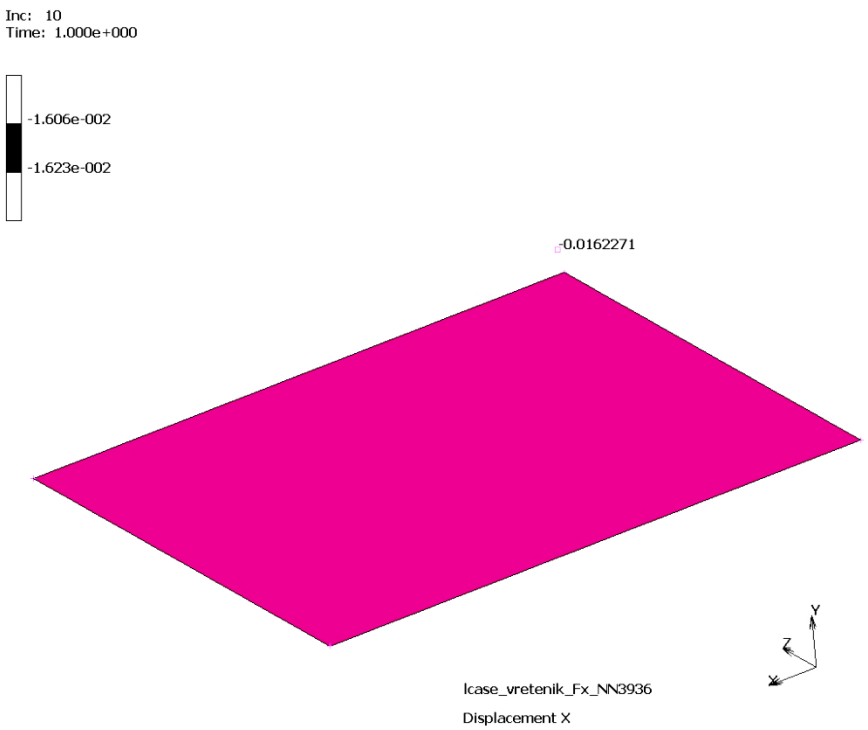
Obr. 42 - Okrajové podmínky úlohy 2 – idealizované součásti vřeteníku

11.3.2 Výsledky úlohy 2

Vzhledem k vysokému počtu provedených analýz (celkem pět samostatných výpočtů) budou v této kapitole uvedeny výsledky pouze prvního výpočtu posunutí středu ložiska NN 3936 ve směru X. Z výsledků zbylých úloh budou v kapitole 11.4.2 uvedeny pouze hodnoty vypočtených posunutí středů ložisek.



Obr. 43 - Zobrazení deformace ve směru X - výpočet č. 1.



Obr. 44 - Posunutí středu ložiska NN 3936 ve směru X - výpočet č. 1.

11.3.3 Vyhodnocení úlohy 2

Na základě provedených výpočtů byla zjištěna posunutí středů jednotlivých ložisek, viz tab. 12. Tuhosti jednotlivých oblastí skříně vřeteníku byly dále dopočteny, viz rovnice (11.3.1) - (11.3.3). Výsledné hodnoty, viz tab. 13, budou použity pro určení tuhosti uložení vřetene.

Tab. 12 - Posunutí středů ložisek uložení vřetene

Výpočet - i	1	2	3	4	5
Ložisko	**NN 3936**	**NN 3936**	**NN 3932**	**NN 3932**	**180 TAC**
Posunutí ve směru X - dx [mm]	-0,016	0	0,018	0	0
Posunutí ve směru Y - dy [mm]	0	0,011	0	-0,005	0
Posunutí ve směru Z - dz [mm]	0	0	0	0	0,021

$i=1 \ldots 5$

$$kx_i = \frac{Fx_i}{dx_i} \tag{11.3.1}$$

$$ky_i = \frac{Fy_i}{dy_i} \tag{11.3.2}$$

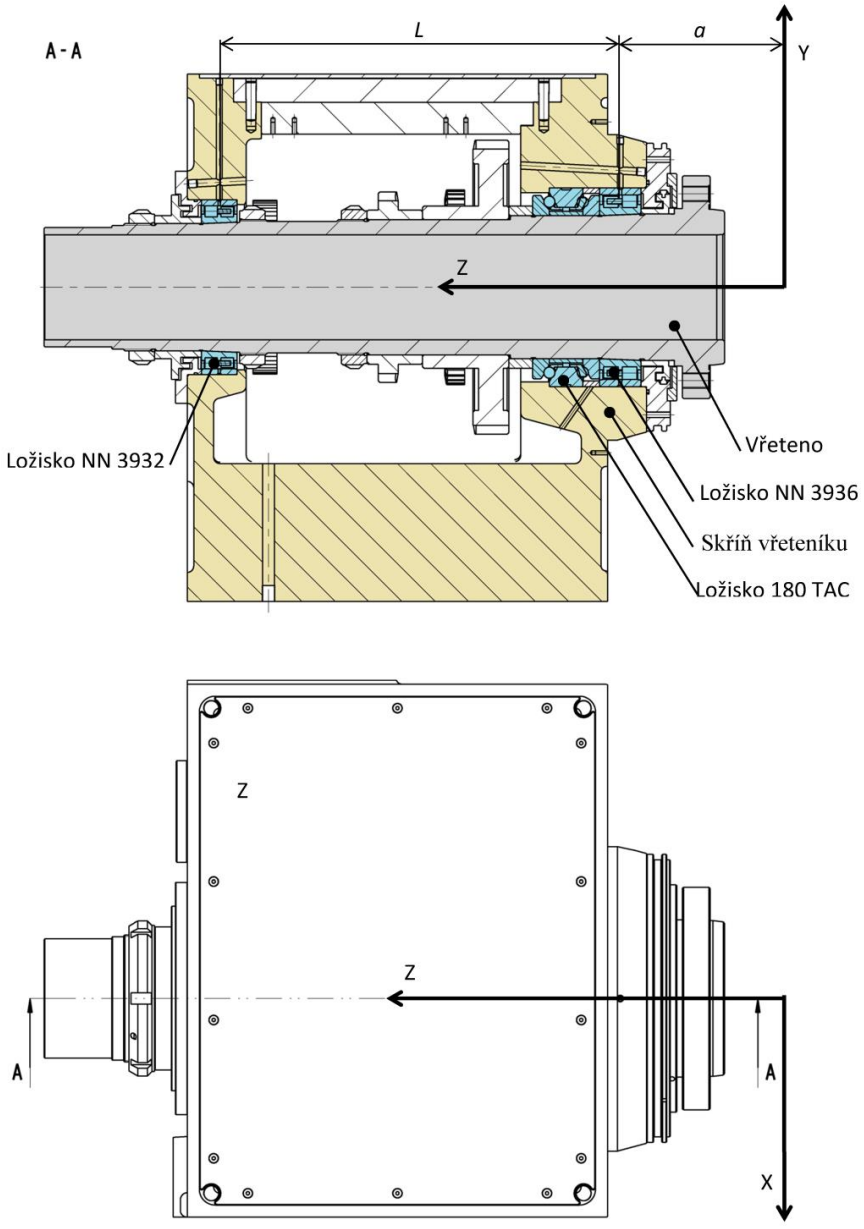
$$kz_i = \frac{Fz_i}{dz_i} \tag{11.3.3}$$

Tab. 13 - Tuhost skříně vřeteníku v oblastech ložisek uložení vřetene

Výpočet - i	1	2	3	4	5
Ložisko	**NN 3936**	**NN 3936**	**NN 3932**	**NN 3932**	**180 TAC**
Tuhost ve směru X - kx [kN/mm]	1875	0	1667	0	0
Tuhost ve směru Y - ky [kN/mm]	0	2727	0	6000	0
Tuhost ve směru Z - kz [kN/mm]	0	0	0	0	1429

12 Tuhost uložení vřetene

V této kapitole jsou vypočteny tuhosti uložení vřetene ve směrech os X, Y, Z souřadného systému, viz obr. 45. Jedná se o tuhosti na konci vřetene se sklíčidlem nebo hrotem, čili v místě upnutí obrobku. Do tohoto bodu je umístěn počátek souřadného systému, viz obr. 45. Výpočet zahrnuje tuhosti vlastního vřetene, ložisek a skříně vřeteníku. Celková tuhost na konci vřetene, v jednotlivých směrech, by měla být vyšší než 150 kN/mm. Tato hodnota byla stanovena na základě konzultací s odborníky z praxe.



Obr. 45 – Tuhost uložení vřetene

L = 504 mm…vzdálenost mezi předním a zadním ložiskem

a = 235 mm…vyložení působiště vnějších sil od předního ložiska

λ…poměr uložení vřetene soustruhu [-]

$$\lambda = \frac{L}{a} = \frac{504}{235} = 2{,}145 \tag{12.1}$$

12.1 Tuhost uložení vřetene ve směru X

12.1.1 Tuhost vřetene ve směru X

Hodnota tuhosti vlastního vřetene ve směru X, viz rovnice (12.4.2), byla stanovena z posunutí na konci vřetene a síly působící na vřeteno při 0. zátěžném stavu. Hodnota posunutí byla vypočtena pomocí softwaru PREV, viz příloha č. 5 diplomové práce.

F_{x_v}…síla působící na vřeteno ve směru X [*kN*]

$F_{R.0} = 21\ kN$…radiální složka síly působící na vřeteno při 0. zátěžném stavu - kapitola 10.5

$u_{x_v} = -0{,}042\ mm$...posunutí na konci vřetene ve směru X, při působení síly F_{x_v} - příloha č. 5

k_{x_v}…tuhost vřetene ve směru X [*kN*]

$$F_{x_v} = -F_{R.0} = -21\ kN \tag{12.1.1}$$

$$k_{x_v} = \frac{F_{x_v}}{u_x} = \frac{-21}{-0{,}042} = 500\ \frac{kN}{mm} \tag{12.1.2}$$

12.1.2 Tuhost ložisek ve směru X

Tuhost radiálních válečkových ložisek byla počítána dle [6]. Pro výpočet bylo uvažováno zatížení ložisek silou odpovídající reakcím v daných ložiskách, vypočtených v softwaru PREV, viz příloha č. 5. Nejprve byla vypočtena deformace ložisek, viz rovnice (12.1.4) a (12.1.6). Dále byla tato deformace transformována na konec vřetene, viz rovnice (12.1.7), (12.1.8) a byla vypočtena tuhost na hrotu vřetene ve směru X, kterou určují ložiska (12.1.10).

Ložisko NN 3936

$d_{NN_3936} = 232\ mm$…vnitřní průměr vnějšího kroužku ložiska NN 3936

$D_{v_NN_3936} = 16\ mm$…vnější průměr válečku ložiska NN 3936

$z_{v_NN_3936}$ [-]…počet valivých elementů ložiska NN 3936

$$z_{v_NN_3936} = \pi \cdot \left(\frac{d_{NN_3936} + D_{v_NN_3936}}{D_{v_{NN_{3936}}} + 3mm} \right) = \pi \cdot \left(\frac{232 + 16}{16 + 3} \right) \cong 41 \tag{12.1.3}$$

$i_{NN_3936} = 2$…počet řad válečků ložiska NN 3936

$L_{v_NN_3936} = 18{,}2\ mm$...délka valivého elementu ložiska NN 3936

$F_{R_x_NN_3936} = -27\ 248\ N$…síla působící na ložisko NN 3936 ve směru X při 0. zátěžném stavu - příloha č. 5

$\delta_{x_NN_3936}$ …deformace ložiska NN 3936 ve směru X při 0. zátěžném stavu [*mm*]

$$\delta_{x_NN_3936} = -7{,}68^{-5} \cdot \frac{\left|\frac{F_{R_x_NN_3936}}{N}\right|^{0,9}}{\left(i_{NN_3936} \cdot \frac{z_{v_NN_3936}}{5}\right)^{0,9} \cdot \left(\frac{L_{v_NN_3936}}{mm}\right)^{0,8}} \cdot mm$$
$$= -7{,}68^{-5} \cdot \frac{|-27248|^{0,9}}{\left(2 \cdot \frac{41}{5}\right)^{0,9} \cdot (18{,}2)^{0,8}} = -0{,}006\ mm \qquad (12.1.4)$$

Ložisko NN 3932

d_{NN_3932} = *205 mm*…vnitřní průměr vnějšího kroužku ložiska NN 3932

$D_{v_NN_3932}$ = *14 mm*…vnější průměr válečku ložiska NN 3932

$z_{v_NN_3936}$…počet valivých elementů ložiska NN 3936 [-]

$$z_{v_NN_3932} = \pi \cdot \left(\frac{d_{NN_3932} + D_{v_NN_3932}}{D_{v_{NN_{3932}}} + 3mm}\right) = \pi \cdot \left(\frac{202 + 14}{14 + 3}\right) \cong 40 \qquad (12.1.5)$$

i_{NN_3932} = *2*…počet řad válečků ložiska NN 3932

$L_{v_NN_3932}$ = *15,75 mm*…délka valivého elementu ložiska NN 3932

$F_{R_x_NN_3932}$ = *11 505 N*…síla působící na ložisko NN 3932 ve směru X při 0. zátěžném stavu

$\delta_{x_NN_3932}$ …deformace ložiska NN 3932 ve směru X [*mm*]

$$\delta_{x_NN_3932} = 7{,}68^{-5} \cdot \frac{\left|\frac{F_{R_x_NN_3932}}{N}\right|^{0,9}}{\left(i_{NN_3932} \cdot \frac{z_{v_NN_3932}}{5}\right)^{0,9} \cdot \left(\frac{L_{v_NN_3932}}{mm}\right)^{0,8}} \cdot mm$$
$$= = 7{,}68^{-5} \cdot \frac{|11505|^{0,9}}{\left(2 \cdot \frac{40}{5}\right)^{0,9} \cdot (15{,}75)^{0,8}} = 0{,}003\ mm \qquad (12.1.6)$$

Tuhost na hrotu vřetene ve směru X určená ložisky

$\delta_{x_hrot_NN_3936}$…deformace ložiska NN 3936 ve směru X, transformovaná na hrot vřetene [*mm*]

$\delta_{x_hrot_NN_3932}$…deformace ložiska NN 3932 ve směru X, transformovaná na hrot vřetene [*mm*]

δ_{x_l}…posunutí na hrotu vřetene ve směru X způsobené deformací ložisek [*mm*]

k_{x_l}…tuhost na hrotu vřetene ve směru X určená ložisky [*kN/mm*]

$$\delta_{\mathrm{x_hrot_NN_3936}} = \delta_{\mathrm{x_NN_3936}} \cdot \left(1 + \frac{a}{L}\right) = -0{,}008\ mm \qquad (12.1.7)$$

$$\delta_{\mathrm{x_hrot_NN_3932}} = -\delta_{\mathrm{x_NN_3932}} \cdot \frac{a}{L} = -0{,}003 \cdot \frac{235}{504} - 0{,}001\ mm \qquad (12.1.8)$$

$$\delta_{x_l} = \delta_{x_hrot_NN_3936} + \delta_{x_hrot_NN_3932} = -0{,}009\ mm \quad (12.1.9)$$

$$k_{x_l} = \frac{F_{x_v}}{\delta_{x_l}} = \frac{-21}{-0{,}009} = 2333\ \frac{kN}{mm} \quad (12.1.10)$$

12.1.3 Tuhost skříně vřeteníku ve směru X

Při zatížení vřetene se působící síla přenáší přes ložiska do skříně vřeteníku. Pomocí MKP analýzy, viz kapitola 11.3, byly stanoveny tuhosti ve směru X v oblastech skříně vřeteníku kde jsou uložena ložiska. Tyto tuhosti byly, spolu se silami působícími v ložiskách, použity pro výpočet deformací skříně vřeteníku v místech uložení zmíněných ložisek, viz rovnice (12.1.11) a (12.1.12). Dále byly tyto deformace transformovány na hrot vřetene a byla vypočtena tuhost na hrotu vřetene ve směru X, určená skříní vřeteníku.

Deformace v místě ložiska NN 3936

kx_{NN_3936} *= 1 875 kN/mm*…tuhost skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru X - tab. 13, viz kapitola 11.3.3

$F_{R_x_NN_3936}$ *= -27,248 kN*…síla působící na ložisko NN 3936 ve směru X při 0. zátěžném stavu - příloha č. 5

$\delta_{x_sk_NN_3936}$ …deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 [*mm*]

$$\delta_{x_sk_NN_3936} = \frac{F_{R_x_NN_3936}}{kx_{NN_3936}} = \frac{-27{,}248}{1875} = -0{,}015\ mm \quad (12.1.11)$$

Deformace v místě ložiska NN 3932

kx_{NN_3932} *= 1 667 kN/mm*…tuhost skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru X - tab. 13, viz kapitola 11.3.3

$F_{R_x_NN_3932}$ *= 11,505 kN*…síla působící na ložisko NN 3932 ve směru X při 0. zátěžném stavu - příloha č. 5

$\delta_{x_sk_NN_3932}$ …deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 [*mm*]

$$\delta_{x_sk_NN_3932} = \frac{F_{R_x_NN_3932}}{kx_{NN_3932}} = \frac{11{,}505}{1667} = 0{,}007\ mm \quad (12.1.12)$$

Tuhost na hrotu vřetene určená skříní vřetníku

$\delta_{x_sk_hrot_NN_3936}$ …deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru X, transformovaná na hrot vřetene [*mm*]

$\delta_{x_sk_hrot_NN_3932}$…deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru X, transformovaná na hrot vřetene [*mm*]

δ_{x_sk} …posunutí na hrotu vřetene způsobené deformací skříně vřeteníku [*mm*]

k_{x_sk}…tuhost na hrotu vřetene ve směru X určená skříní vřeteníku [*kN/mm*]

$$\delta_{x_sk_hrot_NN_3936} = \delta_{x_NN_3936} \cdot \left(1 + \frac{a}{L}\right) = -0{,}015 \cdot \left(1 + \frac{235}{504}\right) = -0{,}022\ mm \tag{12.1.14}$$

$$\delta_{x_sk_hrot_NN_3932} = -\delta_{x_NN_3932} \cdot \frac{a}{L} = -0{,}007 \cdot \frac{235}{504} = -0{,}003\ mm \tag{12.1.14}$$

$$\delta_{x_sk} = \delta_{x_sk_hrot_NN_3936} + \delta_{x_sk_hrot_NN_3932} = -0{,}021 - 0{,}003 = -0{,}024\ mm \tag{12.1.15}$$

$$k_{x_sk} = \frac{F_{x_v}}{\delta_{x_sk}} = \frac{-21}{-0{,}024} = 875\ \frac{kN}{mm} \tag{12.1.16}$$

12.1.4 Celková tuhost uložení vřetene ve směru X

Celková tuhost uložení vřetene ve směru X je počítána jako tuhost trojice sériově řazených pružin, které reprezentují vřeteno, ložiska a skříň vřeteníku. Výsledná hodnota tuhosti ve směru X, viz rovnice (12.1.17) je vyšší než minimální požadovaná hodnota 150 *kN/mm* a tudíž konstrukční řešení pro směr X, z hlediska tuhosti vyhovuje.

$k_{x_uloz_vret}$…celková tuhost uložení vřetene ve směru X [*kN/mm*]

$$k_{x_uloz_vret} = \frac{k_{x_v} \cdot k_{x_l} \cdot k_{x_sk}}{\left(k_{x_l} \cdot k_{x_v}\right) + \left(k_{x_sk} \cdot k_{x_l}\right) + \left(k_{x_sk} \cdot k_{x_v}\right)} = \frac{500 \cdot 2333 \cdot 875}{(2333 \cdot 500) + (875 \cdot 2333) + (875 \cdot 500)} = 280\ \frac{kN}{mm} \tag{12.1.17}$$

12.2 Tuhost uložení vřetene ve směru Y

12.2.1 Tuhost vřetene ve směru Y

Vřeteno je osově symetrické těleso, které vykazuje stejnou tuhost pro směry X a Y.

k_{y_v} …tuhost vřetene ve směru Y [*kN/mm*]

$$k_{x_v} = k_{y_v} = 500\ \frac{kN}{mm} \tag{12.2.1}$$

12.2.2 Tuhost ložisek ve směru Y

Ložiska uložení vřetene dosahují konstantní tuhosti v radiálním směru, tudíž jsou si jejich tuhosti ve směrech X a Y rovny.

k_{y_l}…tuhost na hrotu vřetene ve směru Y určená ložisky [*kN/mm*]

$$k_{y_l} = k_{x_l} = 2333\ \frac{kN}{mm} \tag{12.2.2}$$

12.2.3 Tuhost skříně vřeteníku ve směru Y

Výpočet je proveden obdobným způsobem, jako výpočet tuhosti skříně vřeteníku, viz kapitola 12.1.3.

Deformace v místě ložiska NN 3936

ky_{NN_3936} *= 2 727 kN/mm*…tuhost skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru Y - tab. 13, viz kapitola 11.3.3

$F_{R_y_NN_3936}$ *= 52,343 kN*…síla působící na ložisko NN 3936 ve směru Y při 0. zátěžném stavu – příloha č. 5

$\delta_{y_sk_NN_3936}$ …deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru Y [*mm*]

$$\delta_{y_sk_NN_3936} = \frac{F_{R_y_NN_3936}}{ky_{NN_3936}} = \frac{52{,}343}{2727} = 0{,}019\ mm \tag{12.2.3}$$

Deformace v místě ložiska NN 3932

ky_{NN_3932} *= 6000 kN/mm*…tuhost skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru Y - tab. 13, viz kapitola 11.3.3

$F_{R_y_NN_3932}$ *= 8,899 kN*…síla působící na ložisko NN 3932 ve směru Y při 0. zátěžném stavu

$\delta_{y_sk_NN_3932}$…deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru Y [*mm*]

$$\delta_{y_sk_NN_3932} = \frac{F_{R_y_NN_3932}}{ky_{NN_3932}} = \frac{8{,}899}{6000} = 0{,}002\ mm \tag{12.2.4}$$

Tuhost na hrotu vřetene určená skříní vřetníku

$\delta_{y_sk_hrot_NN_3936}$ …deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3936 ve směru Y, transformovaná na hrot vřetene [*mm*]

$\delta_{y_sk_hrot_NN_3932}$ …deformace skříně vřeteníku v místě ložiska NN 3932 ve směru Y, transformovaná na hrot vřetene [*mm*]

δ_{y_sk} …posunutí na hrotu vřetene způsobené deformací skříně vřeteníku [*mm*]

$F_{y.0}$ *= 29 kN*…svislá složka síly působící na vřeteno při 0. zátěžném stavu

k_{y_sk} …tuhost na hrotu vřetene ve směru Y určená skříní vřeteníku [*kN/mm*]

$$\delta_{\mathrm{y_sk_hrot_NN_3936}} = \delta_{\mathrm{y_NN_3936}} \cdot \left(1 + \frac{a}{L}\right) = 0{,}019 \cdot \left(1 + \frac{235}{504}\right) = 0{,}028\ mm \tag{12.2.5}$$

$$\delta_{\mathrm{y_sk_hrot_NN_3932}} = \delta_{\mathrm{x_NN_3932}} \cdot \frac{a}{L} = 0{,}002 \cdot \frac{235}{504} = 0{,}001\ mm \tag{12.2.6}$$

$$\delta_{y_sk} = \delta_{y_sk_hrot_NN_3936} + \delta_{y_sk_hrot_NN_3932} = 0{,}028 + 0{,}001 = 0{,}029\ mm \qquad (12.2.7)$$

$$k_{y_sk} = \frac{F_{y.0}}{\delta_{y_sk}} = \frac{29}{0{,}029} = 1000\ \frac{kN}{mm} \qquad (12.2.8)$$

12.2.4 Celková tuhost uložení vřetene ve směru Y

Celková tuhost uložení vřetene ve směru Y je počítána jako tuhost trojice sériově řazených pružin, které reprezentují vřeteno, ložiska a skříň vřeteníku. Výsledná hodnota tuhosti ve směru Y, viz rovnice (12.2.9) je vyšší než minimální požadovaná hodnota 150 *kN/mm* a tudíž konstrukční řešení pro směr Y, z hlediska tuhosti vyhovuje.

$k_{y_uloz_vret}$ …celková tuhost uložení vřetene ve směru Y [*kN/mm*]

$$k_{y_uloz_vret} = \frac{k_{y_v} \cdot k_{y_l} \cdot k_{y_sk}}{(k_{y_l} \cdot k_{y_v}) + (k_{y_sk} \cdot k_{y_l}) + (k_{y_sk} \cdot k_{y_v})} = \frac{500 \cdot 2333 \cdot 1000}{(2333 \cdot 500) + (1000 \cdot 2333) + (1000 \cdot 500)} = 292\ \frac{kN}{mm} \qquad (12.2.9)$$

12.3 Tuhost uložení vřetene ve směru Z

V této kapitole je počítána tuhost uložení vřetene ve směru osy Z. Samotné vřeteno vykazuje, při zatížení osovou silou, deformace řádově menších hodnot, než ložiska a skříň vřeteníku, tudíž bude považováno za absolutně tuhé těleso. Na výslednou tuhost má tedy vliv pouze axiální ložisko a skříň vřeteníku.

12.3.1 Tuhost ložiska ve směru Z

Zatížení vřetene ve směru osy Z přenáší obousměrné kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem, typového označení 180 TAC [8]. Tuhost tohoto ložiska závisí na jeho předepnutí. Pro ložisko 180 TAC byla zvolena střední třída předepnutí s označením C7, viz obr. 46. Tomuto předepnutí odpovídá tuhost ložiska udávaná výrobcem.

TAC29 series
Nominal contact angle 60° Steel ball

Nominal Bearing Bore (mm)	C6 Preload (N)	C6 Axial Rigidity (N/μm)	C7 Preload (N)	C7 Axial Rigidity (N/μm)
150	196	775	4 116	2 150
160	196	800	4 410	2 260
170	196	800	4 410	2 370
180	1 078	1 470	4 410	2 320
190	1 078	1 440	4 606	2 440
200	1 078	1 500	4 606	2 430
220	1 176	1 615	4 900	2 620
240	1 176	1 690	5 096	2 750
260	1 176	1 670	5 096	2 720
280	1 274	1 755	5 390	2 865

Obr. 46 - Tuhost ložiska 180 TAC [8]

k_{z_l} = *2320 kN/mm*…tuhost na hrotu vřetene ve směru Z, určená ložiskem

12.3.2 Tuhost skříně vřeteníku ve směru Z

Tato tuhost odpovídá tuhosti oblasti skříně vřeteníku, ve které je uloženo ložisko 180 TAC. Hodnota tuhosti byla vypočtena v kapitole 11.3.3.

$k_{z_sk} = k_{z_180_TAC} = 1429\ kN/mm$…tuhost na hrotu vřetene ve směru Z, určená skříní vřeteníku - tab. 13, viz kapitola 11.3.3

12.3.3 Celková tuhost uložení vřetene ve směru Z

Výpočet je proveden pro dvojici sériově řazených pružin, které reprezentují axiální ložisko a skříň vřeteníku. Výsledná hodnota tuhosti ve směru Z, viz rovnice (12.3.1) je vyšší než minimální požadovaná hodnota 150 *kN/mm* a tudíž konstrukční řešení pro směr Z, z hlediska tuhosti vyhovuje.

$k_{z_uloz_vret}$…celková tuhost uložení vřetene ve směru Z [*kN/mm*]

$$k_{z_uloz_vret} = \frac{k_{z_v} \cdot k_{z_sk}}{k_{y_sk} + k_{y_l}} = \frac{2320 \cdot 1429}{2320 + 1429} = 884\ \frac{kN}{mm} \qquad (12.3.1)$$

12.4 Celková tuhost uložení vřetene

Na základě výše uvedených výpočtů, viz kapitoly 12.1 až 12.3, jsou zjištěny hodnoty tuhostí uložení vřetene pro směry os X, Y a Z souřadného systému, viz obr. 45. Vypočtené hodnoty odpovídají předem stanoveným požadavkům a navržené konstrukční řešení uložení vřetene tudíž z hlediska tuhosti vyhovuje.

Tab. 14 - Tuhost uložení vřetene

Tuhost	Vypočtená hodnota [*kN/mm*]	Minimální hodnota [*kN/mm*]	Stav
$k_{x_uloz_vret}$	280	150	Vyhovuje
$k_{y_uloz_vret}$	292	150	Vyhovuje
$k_{z_uloz_vret}$	884	150	Vyhovuje

13 Závěr

V této diplomové práci je vypravována rešerše v oblasti univerzálních hrotových soustruhů. Dále jsou popsány základní konstrukční celky těchto strojů a možnosti jejich řešení.

Na základě poznatků získaných ve výše uvedených kapitolách jsou vytvořeny dva návrhy konstrukčního řešení vřeteníku. Tyto návrhy jsou následně vyhodnoceny a je zvoleno vhodné konstrukční řešení vřeteníku. Na základě požadovaných parametrů soustruhu SU 840 je navržen hlavní pohon stroje. Jednotlivé části vřeteníku jsou zkontrolovány pomocí technických analytických a numerických výpočtů. Součástí diplomové práce je také výpočet tuhostí uložení vřetene pro jednotlivé směry.

Navržené konstrukční řešení je detailně zpracováno pomocí CAD a pro vybrané součásti je vytvořena výrobní výkresová dokumentace.

Za hlavní přínos diplomové práce lze označit vypracování komplexního konstrukčního návrhu vřeteníku pro CNC univerzální hrotový soustruh SU 840. Navržené konstrukční řešení umožňuje dosažení parametrů na vřetenu, které byly požadovány zadavatelem.

14 Použitá literatura, zdroje

[1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra: obecné strojní části. 1, Spoje, otočná uložení, hřídelové spojky, akumulátory mechanické energie.* Brno: Computer Press, 1999. ISBN 80-7226-055-3

[2] KRÁTKÝ, J., KRÓNEROVÁ, E., HOSNEDL, S., *Obecné strojní části 2: základní a složené převodové mechanismy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2011. ISBN 978-80-261-0066-9

[3] MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2. Praha: MM publishing, 2010. ISBN 978-80-254-7980-3

[4] DRASTÍK, F. *Strojnické tabulky pro konstrukci a dílnu*. Praha: Montanex, 1995. ISBN 80-85780-22-4

[5] Podkladové materiály k předmětu: Konstrukce výrobních strojů (KKS/KVS)

[6] Podkladové materiály k předmětu: Konstrukce obráběcích strojů (KKS/KOS)

[7] Použité katalogové listy firmy: TRELLERBORG

[8] Použité katalogové listy firmy: NSK

[9] Použité katalogové listy firmy: SKF

[10] Použité katalogové listy firmy: BOSSARD

[11] Použité katalogové listy firmy: SIEMENS AG

[12] Použité katalogové listy firmy: GATES

[13] TRENS. Produktový katalog [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z:http://www.trens.sk/

[14] KOVOSVIT MAS. Katalog masturn 820 CNC [online].[cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.kovosvit.cz

[15] ZF. ZF_Duoplan_2K250-300_operating_manual_h-version [online].[cit. 2014-05-04]. Dostupné z: https://www.zf.com/na/content/media/united_states/corporate_replacement_parts_1/service_portfolio/industrial_drives/ZF_Duoplan_2K250-300_operating_manual_h-version.pdf

[16] ČSN ISO 13041-1. *Podmínky zkoušek pro číslicově řízené soustruhy a soustružnická centra - Část 1: Zkoušky geometrické přesnosti strojů s vodorovnou osou obrobkového vřetena.*

[17] TOOLMEX. TUR800AMN European Built Oil Country CNC Lathes 32" Swing, TRI-V Bed [online]. [cit.2014-02-04]. Dostupné z: http://www.toolmex.com/cb-Machines/tur800amn.aspx

[18] HACO. TUR_800/930/1100MN_ENG-TUR_800. [online]. [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.mastech.hr/products/pdfs/TUR_800.pdf

[19] Siemens. P_DA65_XX_00128V_strona. [online]. [cit. 2014-05-07] Dostupné z: http://www.automatyka.siemens.pl/solutionandproducts_dt/920.htm

15 Seznam použitého software

1. PTC Pro/ENGINEER Wildfire 5.0
2. PTC Mathcad Prime 2.0
3. MSC Marc Mentat 2011
4. PREV
5. Microsoft Office 2010

16 Seznam obrázků

Obr. 1 - Univerzální hrotový soustruh SU 840 15
Obr. 2 - Konvenční univerzální hrotový soustruh TRENS SN 500 [13] 16
Obr. 3 - CNC univerzální hrotový soustruh – TRENS SE 1020 [14] 17
Obr. 4 - Masturn 820 CNC [15] 18
Obr. 5 - TUR 800 MN [17] 19
Obr. 6 - SE 82 [13] 19
Obr. 7 - Motor Siemens 1PH7 [19] 21
Obr. 8 - Skříň vřeteníku: odlitek (vlevo), odlitek po obrobení (vpravo) 22
Obr. 9 - Třídy přesnosti (osa X) a relativní hodnoty radiálního házení (osa Y) ložisek [3] 23
Obr. 10 - Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem 23
Obr. 11 - Uložení s kuličkovými ložisky s kosoúhlým stykem 24
Obr. 12 - Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem a ložisky s kosoúhlým stykem 25
Obr. 13 - Varianta A - pohled 1. 26
Obr. 14 - Varianta A - pohled 2. 27
Obr. 15 - Varianta A – řez vřeteníkem 28
Obr. 16 - Varianta B – pohled 1 29
Obr. 17 - Varianta B – pohled 2 30
Obr. 18 - Varianta A – řez vřeteníkem 31
Obr. 19 - Diagram vhodnosti variant 32
Obr. 20 - Výkonová charakteristika motoru 1PH7-163-2ND [11] 33
Obr. 21 - Kinematické schéma hlavního pohonu 34
Obr. 22 - Uspořádání hřídelů a ozubených kol ve skříni vřeteníku 35
Obr. 23 - Výkonová a momentová charakteristika hlavního pohonu 41
Obr. 24 - Otáčkový diagram hlavního pohonu 41
Obr. 25 - Směry momentů a otáček 42
Obr. 26 - Souhmotí SH 4 43

Obr. 27 - Souhmotí SH 3 – 1. stupeň 44
Obr. 28 - Souhmotí SH 2 46
Obr. 29 - Síly působící na vřeteník, obrobek a koník, směry momentů a otáček 49
Obr. 30 - Výpočtový model vřeteníku 52
Obr. 31 - Výpočtový model vřeteníku – idealizované součásti 53
Obr. 32 - Definování kontaktů 54
Obr. 33 - Definování kontaktů mezi skříní vřeteníku a ložem 55
Obr. 34 - Okrajové podmínky úlohy 1 56
Obr. 35 - Zobrazení celkového redukované napětí do 80 MPa dle HMH [MPa] 57
Obr. 36 - Zobrazení celkového redukovaného napětí do 20 MPa dle HMH [MPa] 57
Obr. 37 - Zobrazení celkového redukovaného napětí do 20 MPa dle HMH [MPa] - žebra přední stěny skříně vřeteníku 58
Obr. 38 - Zobrazení celkového redukovaného napětí do 20 MPa dle HMH [MPa] – žebra zadní stěny skříně vřeteníku 58
Obr. 39 - Zobrazení celkové deformace vřeteníku [mm] – měřítko deformace 500:1 59
Obr. 40 - Zobrazení celkové deformace vřeteníku při pohledu shora [mm] – měřítko 500:1 . 59
Obr. 41 - Okrajové podmínky úlohy 2 61
Obr. 42 - Okrajové podmínky úlohy 2 – idealizované součásti vřeteníku 61
Obr. 43 - Zobrazení deformace ve směru X - výpočet č. 1. 62
Obr. 44 - Posunutí středu ložiska NN 3936 ve směru X - výpočet č.1. 62
Obr. 45 – Tuhost uložení vřetene 64
Obr. 46 - Tuhost ložiska 180 TAC [8] 70

17 Seznam tabulek

Tab. 1 - Zadané technické parametry soustruhu SU 840 15
Tab. 2 - Technické parametry univerzálních hrotových soustruhů [13],[14],[18] 20
Tab. 3 - Technicko ekonomické zhodnocení variant 32
Tab. 4 - Vstupní hodnoty pro výpočty SH 2 a SH 3 47
Tab. 5 - Výstupní vypočtené hodnoty výpočtů SH 2 a SH 3 48
Tab. 6 - Vstupní hodnoty výpočtu uložení vřetene 51
Tab. 7 - Výstupní hodnoty výpočtu uložení vřetene 51
Tab. 8 - Materiálové charakteristiky 53
Tab. 9 - Součinitele tření 54

Tab. 10 – Okrajové zatěžující podmínky úlohy 1 56
Tab. 11 - Okrajové podmínky 60
Tab. 12 - Posunutí středů ložisek uložení vřetene..... 63
Tab. 13 - Tuhost skříně vřeteníku v oblastech ložisek uložení vřetene 63
Tab. 14 - Tuhost uložení vřetene..... 71

18 Seznam příloh

Příloha č. 1 - Návrh řemenového převodu zpracovaný v softwaru PTC Mathcad Prime 2.0
Příloha č. 2 - Výpočet zatěžovacích stavů uložení vřetene zpracovaný v softwaru PTC Mathcad Prime 2.0
Příloha č. 3 - Kontrolní výpočet souhmotí SH 2 zpracovaný v softwaru PREV
Příloha č. 4 - Kontrolní výpočet souhmotí SH 3 zpracovaný v softwaru PREV
Příloha č. 5 - Kontrolní výpočet uložení vřetene zpracovaný v softwaru PREV

PŘÍLOHA č. 1

Návrh řemenového převodu zpracovaný v softwaru PTC Mathcad Prime 2.0

Návrh řemenového převodu

Výpočet byl proveden dle katalogových listů společnosti Gates [12].
Řemenový převod je realizován pomocí vícenásobného klínového řemenu Polyflex JB, který zajišťuje plynulý chod pohonu.

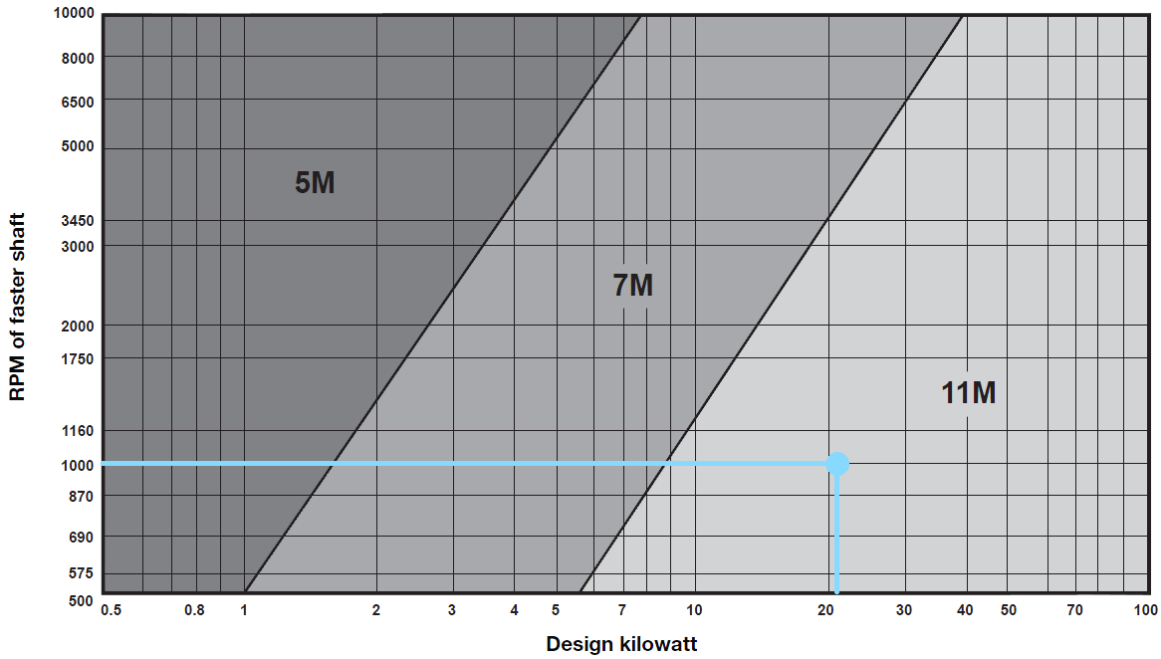
Vstupní hodnoty:

$P_N := 22\ kW$ — výkon motoru (přenášený výkon)

$n_N := 1000\ \frac{1}{min}$ — jmenovité otáčky motoru (jmenovité otáčky menší řemenice)

$n_{max} := 6500\ \frac{1}{min}$ — maximální otáčky motoru (maximální otáčky menší řemenice

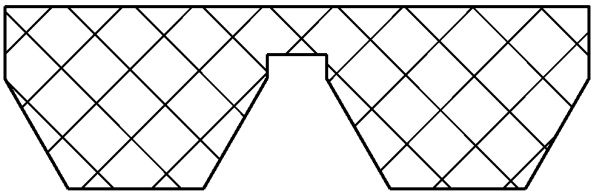
Výstupní hodnoty:



Obr. 1 - Diagram pro návrh rozměru řemenu Polyflex JB [12]

Dle diagramu, viz obr.1, byl zvolen řemen Polyflex JB 11M.

Non-Commercial Use Only



Obr. 2 - Průřez řemenu polyflex JB

Section	75	80	85	90	95	100	106	112	118	125	132	140	150	160	170	180	190	200
PJ		X		X		X		X		X		X		X				
PL	X	X		X		X		X		X		X		X		X		X
PM																X		X
SPZ / 3V	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
SPA		M	M	M	M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SPB/ 5V								M	M	M	M	M	M	X	X	X	X	X
SPC																M	M	M
8V / 25J																		
8VK																		
XPZ / 3VX	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
XPA		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
XPB / 5VX								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
XPC																X	X	X
Z	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X
A			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
B								X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
C																X	X	X
D																		
5M	X	X				X				X				X				X
7M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X				X
11M	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Obr. 3 - Doporučené rozměry řemenic [12]

$d_1 := 106\ mm$ — průměr řemenice 1 (hodnota zvolena dle průměru hřídele motoru a doporučených průměrů řemenic viz obr. 3.)

$d_2 := 180\ mm$ — průměr řemenice 2 (hodnota zvolena dle rozměrových možností vřeteníku a doporučených průměrů řemenic dle obr. 3.)

$i_{1.2} := \frac{d_2}{d_1} = 1.698$ — převodový poměr

$L_d := 8 - 16\ \frac{hr}{day}$ — předpokládaná doba běhu

Non-Commercial Use Only

DriveN machine	DriveR*					
The machines listed below are representative examples only. Select the group of which the load characteristics most closely approximate those of the machine being considered.	**AC Motors:** Normal torque, squirrel cage, synchronous. **DC Motors:** Shunt wound. **Engines:** Multiple cylinder internal, combustion.			**AC Motors:** High torque, single phase, slip ring. **DC Motors:** Series wound, compound wound. **Engines:** Single cylinder internal combustion. **Line shafts - clutches**		
	Intermittent service Up to 8 hrs daily or seasonal	Normal service 8-16 hrs daily	Continuous service >16 hrs daily	Intermittent service Up to 8 hrs daily or seasonal	Normal service 8-16 hrs daily	Continuous service >16 hrs daily
Agitators for liquids Blowers & exhausters Centrifugal pumps & compressors Fans up to 7.5 kW Light-duty conveyors	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Conveyor belts for sand, grain, etc. Dough mixers Fans over 7.5 kW Generators Line shafts Laundry machinery Machine tools Punches-presses-shears Printing machinery Positive displacement rotary pumps Revolving and vibrating screens	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4

Obr. 4 - Tabulka servisních faktorů [12]

$k_s := 1.2$ servisní faktor (hodnota dle obr. 4.)

$P := k_s \cdot P_N = 26.4\ kW$ návrhový výkon

$V := d_1 \cdot \pi \cdot n_N = 5.55\ \frac{m}{s}$ obvodová rychlost řemenu

$TCD := 580\ mm$ předběžná osová vzdálenost

$TBL := 2 \cdot TCD + 1.57 \cdot (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 \cdot TCD} = (1.611 \cdot 10^3)\ mm$ předběžná délka řemenu

11M - JB

Belt ref.	Effective length mm
11M-JB 1500	1482
11M-JB 1550	1532
11M-JB 1600	1582
11M-JB 1650	1632
11M-JB 1700	1682

Obr. 5 - Standartní délky řemenů [12]

Non-Commercial Use Only

$PL := 1632\ mm$ efektivní délka řemenu (hodnota dle obr. 5.)

$F := PL - 1.57 \cdot (d_2 + d_1) = (1.183 \cdot 10^3)\ mm$ koef 1. pro určení osové vzdálenosti

$D := d_2$ průměr řemenice 2

$d := d_1$ průměr řemenice 1

$k_h := \frac{D-d}{F} = 0.063$ koef. 2. pro určení osové vzdálenosti

D - d / F	Factor h	D - d / F	Factor h	D - d / F	Factor h
0.00	0.00	0.21	0.11	0.40	0.22
0.02	0.01	0.23	0.12	0.41	0.23
0.04	0.02	0.25	0.13	0.43	0.24
0.06	0.03	0.27	0.14	0.44	0.25
0.08	0.04	0.29	0.15	0.46	0.26
0.10	0.05	0.30	0.16	0.47	0.27
0.12	0.06	0.32	0.17	0.48	0.28
0.14	0.07	0.34	0.18	0.50	0.29
0.16	0.08	0.35	0.19	0.51	0.30
0.18	0.09	0.37	0.20		
0.20	0.10	0.39	0.21		

Obr. 6 - Tabulka koeficientů osové vzdálenosti h [12]

$h := 0.03$ koef. 3. pro určení osové vzdálenosti (hodnota dle obr. 6.)

$A_o := \frac{F - h \cdot (d_2 - d_1)}{2} = 590.38\ mm$ osová vzdálenost

RPM of faster shaft	67	71	75	80	85	90	95	100	106
585	1.01	1.16	1.30	1.48	1.66	1.84	2.02	2.19	2.40
700	1.17	1.35	1.52	1.73	1.94	2.15	2.36	2.57	2.82
725	1.21	1.39	1.56	1.78	2.00	2.22	2.43	2.65	2.90
870	1.40	1.61	1.82	2.08	2.34	2.59	2.85	3.10	3.41
950	1.51	1.73	1.96	2.24	2.52	2.80	3.07	3.35	3.68
1160	1.77	2.04	2.31	2.65	2.98	3.32	3.65	3.98	4.38
1450	2.11	2.44	2.77	3.19	3.60	4.01	4.42	4.82	5.31
1750	2.44	2.84	3.23	3.72	4.21	4.70	5.18	5.66	6.23
2850	3.51	4.12	4.73	5.49	6.25	6.99	7.73	8.47	9.34
3450	4.01	4.73	5.45	6.35	7.23	8.11	8.98	9.83	10.85
100	0.23	0.25	0.28	0.32	0.35	0.39	0.42	0.45	0.49
200	0.41	0.46	0.52	0.58	0.65	0.72	0.78	0.85	0.92
300	0.58	0.66	0.74	0.83	0.93	1.02	1.12	1.21	1.33
400	0.74	0.84	0.94	1.07	1.19	1.32	1.44	1.57	1.72
500	0.89	1.02	1.14	1.29	1.45	1.60	1.76	1.91	2.09
600	1.04	1.18	1.33	1.51	1.70	1.88	2.06	2.24	2.46
700	1.17	1.35	1.52	1.73	1.94	2.15	2.36	2.57	2.82
800	1.31	1.50	1.70	1.94	2.17	2.41	2.65	2.88	3.17
900	1.44	1.66	1.87	2.14	2.40	2.67	2.93	3.20	3.51
1000	1.57	1.81	2.04	2.34	2.63	2.92	3.21	3.50	3.85

Obr. 7 - Hodnoty přenesených výkonů, vztažené na jeden klín řemenu, pro daný průměr malé řemenice [12]

Non-Commercial Use Only

$A := 3.85\ kW$ výkon přenesený jedním klínem řemenu (hodnota dle obr. 7.)

RPM of faster shaft	1.00 to 1.01	1.02 to 1.03	1.04 to 1.05	1.06 to 1.08	1.09 to 1.11	1.12 to 1.15	1.16 to 1.21	1.22 to 1.29	1.30 to 1.46	>1.46
585	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14
700	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16
725	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17
870	0.00	0.02	0.05	0.07	0.09	0.11	0.14	0.16	0.18	0.20
950	0.00	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17	0.20	0.22
1160	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27
1450	0.00	0.04	0.08	0.11	0.15	0.19	0.23	0.26	0.30	0.34
1750	0.00	0.05	0.09	0.14	0.18	0.23	0.27	0.32	0.37	0.41
2850	0.00	0.07	0.15	0.22	0.30	0.37	0.45	0.52	0.59	0.67
3450	0.00	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81
100	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
200	0.00	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
300	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	0.07
400	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
500	0.00	0.01	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12
600	0.00	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14
700	0.00	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.16
800	0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.13	0.15	0.17	0.19
900	0.00	0.02	0.05	0.07	0.09	0.12	0.14	0.16	0.19	0.21
1000	0.00	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.16	0.18	0.21	0.23

Obr. 8 - Hodnoty přenesených výkonů vztažené na jeden klín řemenu pro daný převodový poměr [12]

$B := 0.23\ kW$ výkon vztažený na jeden klín řemenu pro daný převodový poměr (hodnota dle obr. 8.)

$\frac{D-d}{A_o} = 0.125$ koeficient pro stanovení úhlu opásání

$\frac{D-d}{A}$	Arc of contact on small pulley (degrees)	Factor G
0.00	180	1.00
0.10	174	0.99
0.20	169	0.97
0.30	163	0.96
0.40	157	0.94
0.50	151	0.93
0.60	145	0.91
0.70	139	0.89
0.80	133	0.87
0.90	127	0.85
1.00	120	0.82
1.10	113	0.80
1.20	106	0.77
1.30	99	0.73
1.40	91	0.70
1.50	83	0.65

Obr. 9 - Hodnoty koeficientů úhlu opásání [12]

$G := 0.99$ koeficient úhlu opásání (hodnota dle obr. 9.)

Non-Commercial Use Only

Belt length correction factor C_L

Belt ref.	Corr. factor C_L	Belt ref.	Corr. factor C_L
11M-JB 1400	1.06		
11M-JB 1450	1.07		
11M-JB 1500	1.08		
11M-JB 1550	1.09		
11M-JB 1600	1.09		
11M-JB 1650	1.10		
11M-JB 1700	1.11		

Obr. 10 - Hodnoty koeficientů délky řemenu [12]

$C_L := 1.10$ koeficient délky řemenu (hodnota dle obr. 10.)

$N_{kmin} := \frac{P}{(A+B)\cdot G\cdot C_L} = 5.942$ minimální počet klínů řemenu

U zvoleného typu řemenu s průřezem viz obr. 2, je každý jednotlivý řemen tvořen dvojicí spojených klínů. Lze tedy volit pouze sudé počty klínů. Dle výše uvedeného výpočtu by byl tedy dostačující počet šesti klínů. Vzhledem k minimálním rezervám vypočtené hodnoty je ovšem zvolena varianta s osmi klíny.

$N := 8$ zvolený počet klínů řemnového převodu

6.4.2 Předepnutí řemenu

$R := 2.5$ koeficient poměru napětí (hodnota udávaná výrobce pro daný typ řemenu)

$N = 8$ počet klínů řemenu

$V = 5.55\ \frac{m}{s}$ obvodová rychlost řemenu

Non-Commercial Use Only

Individual V-belt and Micro-V® cross-section	M	Y	PowerBand® and Polyflex® JB™ cross-section	M
Z	0.05	9		
A	0.09	13	A	0.11
B	0.14	19	B	0.17
C	0.26	30	C	0.31
D	0.52	63	D	0.59
SPZ/3V	0.066	15	9J/3V	0.08
SPA	0.12	20		
SPB/5V	0.17	26	SPB	0.21
			15J/5V	0.21
SPC	0.32	41	SPC	0.36
8V	0.46	60	8V/25J	0.53
SPZ*	0.05	15		
SPA*	0.1	20		
SPB*	0.15	26		
SPC*	0.28	41		
XPZ/3VX	0.06	15	3VX	0.07
XPA	0.104	20		
XPB/5VX	0.13	26	5VX	0.16
XPC	0.30	41		
PJ	0.006	1		
PL	0.022	4.4		
PM	0.089	11		
5M	0.006	2.2	5M-JB	0.009
7M	0.019	8.4	7M-JB	0.025
11M	0.039	15.5	11M-JB	0.053

Obr. 11 - Tabulka koeficientů M a Y pro jednotlivé typy řemenů [12]

$M := 0.053 \frac{N}{\left(\frac{m}{s}\right)^2}$ koeficient typu řemenu (hodnota dle obr. 11.)

$T_s := 457 \cdot \frac{(R-G)}{G} \cdot \frac{P}{N \cdot V \cdot 1000} + M \cdot V^2 = 416.078\ N$ předepínací síla pro jeden klín řemenu

Section	Minimum static tension per strand (N)
5M-JB	35
7M-JB	65
11M-JB	160

Obr. 12 - Minimální předepínací síly řemenů [12]

$T_{smin} := 160\ N$ minimální předepínací síla pro jeden klín řemenu (hodnota dle obr. 12.)

$T_s := \max\left(T_{smin}, T_s\right) = 416.078\ N$ předepínací síla pro jeden klín řemenu

$T_c := T_s \cdot N = \left(3.329 \cdot 10^3\right)\ N$ celková předepínací síla řemenu

Non-Commercial Use Only

PŘÍLOHA č. 2

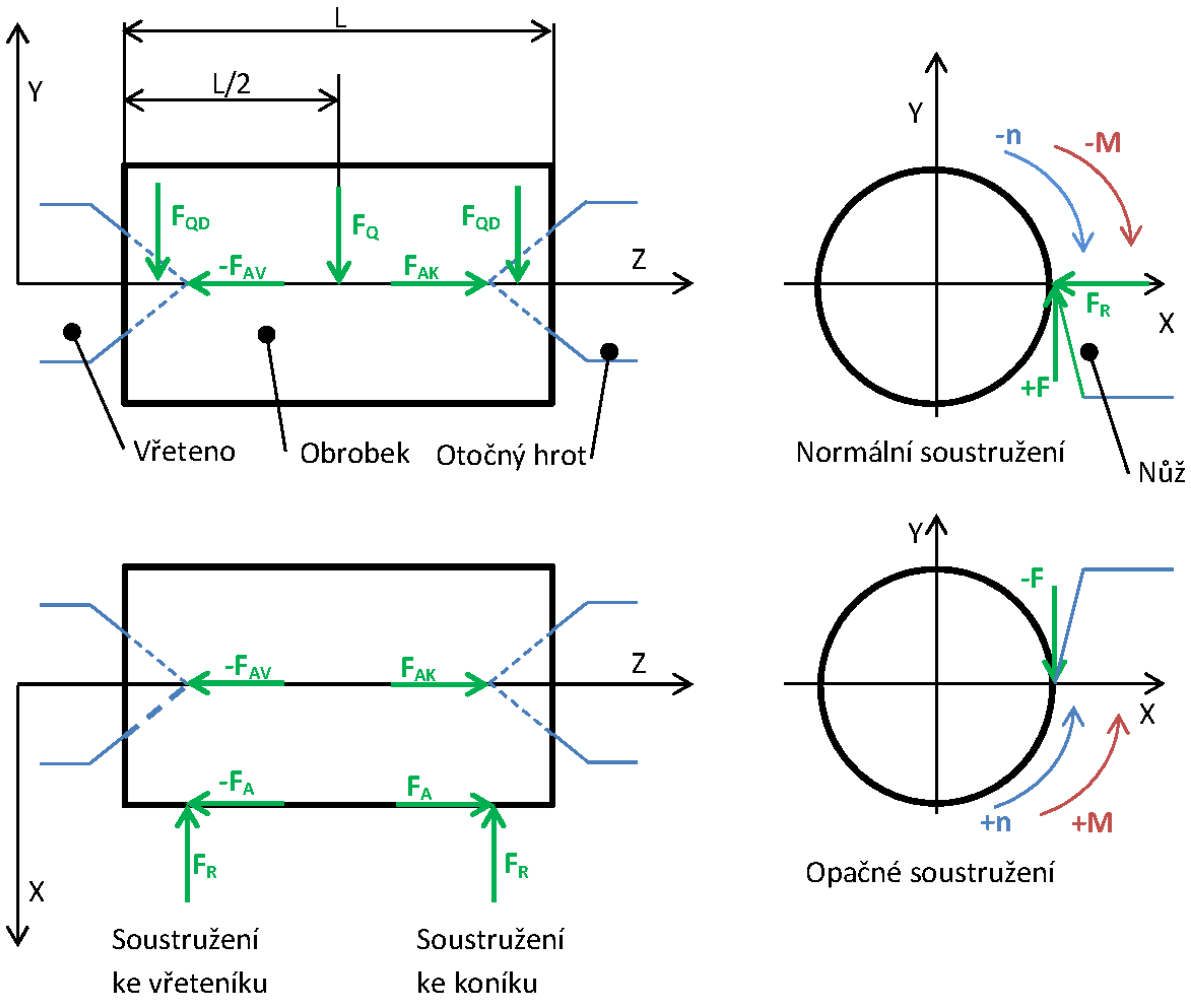
Výpočet zatěžovacích stavů uložení vřetene zpracovaný v softwaru PTC Mathcad Prime 2.0

Zatěžovací stavy uložení vřetene

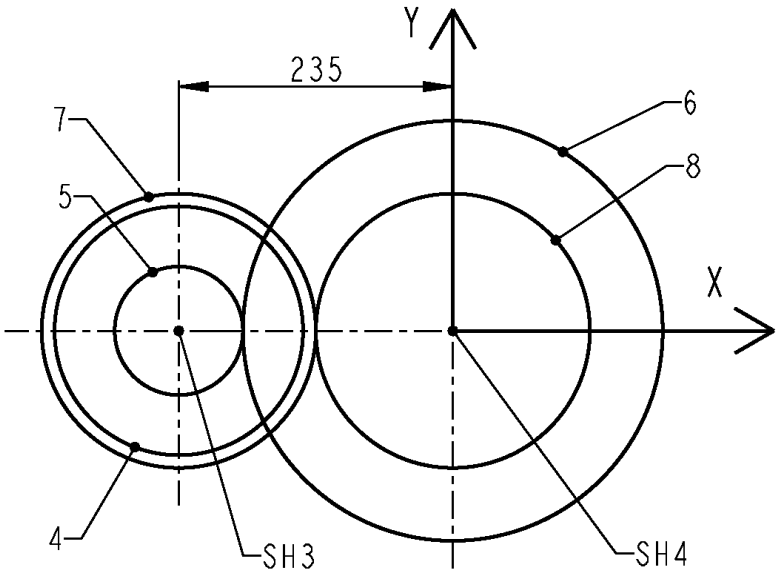
Z důvodů potřeby podrobnějšího popisu namáhání jednotlivých částí uložení vřetene je v této úloze stanoveno 9 zatěžovacích stavů. Směry otáček, momentů a sil působících na vřeteno jsou stanoveny dle obr. 1.

$F_M := 35\ kN$	maximální tečná složka řezné síly při soustružení
$F_{QM} := 30\ kN$	maximální gravitační síla působící na obrobek (mezi hroty)
$P_N := 22\ kW$	výkon motoru
$M_L := 2600\ N \cdot m$	maximální omezný moment na vřetenu
$M_{e2} := 794.65\ N \cdot m$	maximální moment na vřetenu pro 2. stupeň
$\eta_1 := 0.941$	účinnost 1. stupně
$n_L := 76.05\ \frac{1}{min}$	otáčky vřetene při omezném momentu
$n_{e2} := 248.826\ \frac{1}{min}$	jmenovité otáčky vřetene pro 2. stupeň
$n_{M2} := 1617\ \frac{1}{min}$	maximální otáčky vřetene
$T_1 := 7000\ hr$	doba běhu vřetene při obrábění
$T_2 := 13000\ hr$	doba běhu vřetene bez obrábění
$T_c := T_1 + T_2 = \left(2 \cdot 10^4\right)\ hr$	celková doba běhu vřetene
$P_L := P_N \cdot \eta_1 = 20.702\ kW$	výkon na vřetenu
$D := \frac{2 \cdot M_L}{F_M} = 148.571\ mm$	max. obráběný průměr při FM
$\alpha := 60\ deg$	vrcholový úhel otočného hrotu koníka

Non-Commercial Use Only

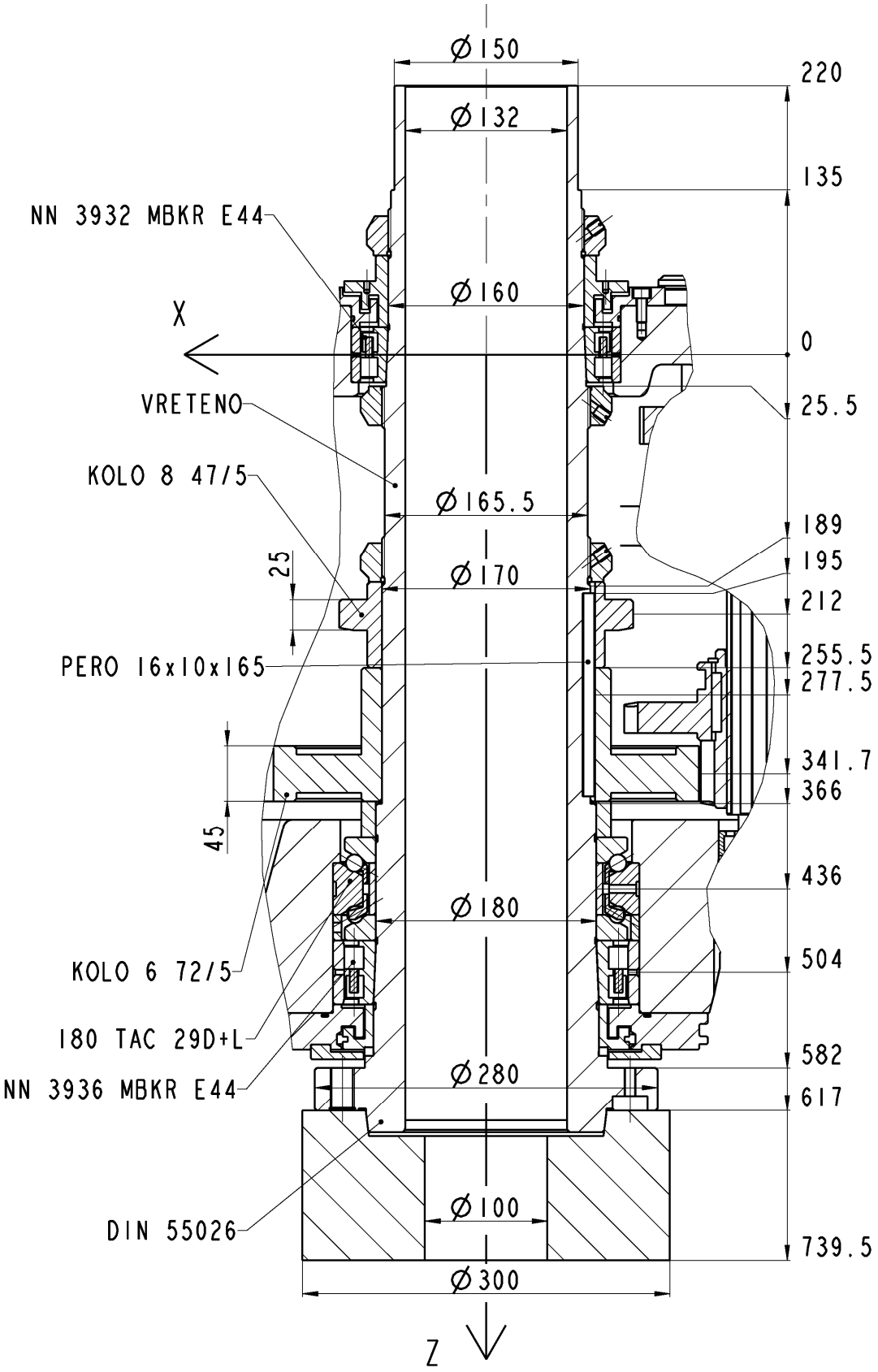


Obr. 1 - Síly působící na vřeteno, obrobek a koník, směry momentů a otáček



Obr. 2 - Poloha vřetene

Non-Commercial Use Only



Obr. 3 - Vřeteno soustruhu

Non-Commercial Use Only

9.1 Zatěžovací stavy - síly

9.2.1 Tíhy obrobků

$i := 0 .. 4$

$$k_Q := \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.4 \\ 1 \end{bmatrix}$$

součinitel stavu tíhy obrobků

$F_{Q_i} := k_{Q_i} \cdot F_{QM}$

$$F_Q = \begin{bmatrix} 3 \cdot 10^3 \\ 6 \cdot 10^3 \\ 9 \cdot 10^3 \\ 1.2 \cdot 10^4 \\ 3 \cdot 10^4 \end{bmatrix} N$$

gravitační síla působící na obrobek

$$F_{QD} := \frac{F_Q}{2} = \begin{bmatrix} 1.5 \cdot 10^3 \\ 3 \cdot 10^3 \\ 4.5 \cdot 10^3 \\ 6 \cdot 10^3 \\ 1.5 \cdot 10^4 \end{bmatrix} N$$

gravitační síla od obrobku působící na vřeteno

Non-Commercial Use Only

9.2.2 Typy obrábění

$j := 0 \,..\, 8$

$$k_F := \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -0.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0.25 \end{bmatrix}$$

koeficienty tečných sil (dle druhu obrábění)

k_{F_0} normální soustružení, hrubování 1

k_{F_1} normální soustružení, hrubování 1 - bez řezného procesu

k_{F_2} opačné soustružení, zapichování

k_{F_3} opačné soustružení, zapichování - bez řezného procesu

k_{F_4} normální soustružení, dokončování 1 - při maximální tíze obrobku

k_{F_5} normální soustružení - dokončování 2 - při maximálních otáčkách

k_{F_6} normální soustružení, hrubování 2.

k_{F_7} normální soustružení, hrubování 2. - bez řezného procesu

k_{F_8} normální soustružení, letmé upnutí

$$F_q := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 8 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} kN$$

koeficienty stavu řezných sil (dle druhu obrábění)

Non-Commercial Use Only

$$F_j := k_{F_j} \cdot F_M + F_{q_j}$$

$$F = \begin{bmatrix} 3.5 \cdot 10^4 \\ 0 \\ -1.75 \cdot 10^4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 8 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 8.75 \cdot 10^3 \end{bmatrix} N$$ tečné složky řezné síly

$$F_{R_j} := \left| 0.6 \cdot F_j \right|$$

$$F_R = \begin{bmatrix} 2.1 \cdot 10^4 \\ 0 \\ 1.05 \cdot 10^4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.8 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 5.25 \cdot 10^3 \end{bmatrix} N$$ příčné složky řezné síly

$$F_A := \begin{bmatrix} -F_{R_0} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -F_{R_6} \\ 0 \\ F_{R_8} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2.1 \cdot 10^4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -4.8 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 5.25 \cdot 10^3 \end{bmatrix} N$$ osové složky řezné síly

Non-Commercial Use Only

9.2.3. Síly působící na vřeteno pro jednotlivé zatěžovací stavy

Stav 0 - normální soustružení, hrubování 1.

$i := 3$ typ obrobku

$j := 0$ typ obrábění

$F_{y_0} := -F_{QD_i} + F_j = (2.9 \cdot 10^4)\ N$ svislá složka řezné síly

$F_{R_0} := F_{R_j} = (2.1 \cdot 10^4)\ N$ radiální složka řezné síly

$F_{V_0} := \sqrt[2]{F_{y_0}^{\ 2} + F_{R_0}^{\ 2}} = (3.581 \cdot 10^4)\ N$ výslednice radiální a svislé složky řezné síly

$F_{A_j} = -2.1 \cdot 10^4\ N$ osová složka řezné síly

$F_{AK_0} := F_{V_0} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 0.5 \cdot F_{A_j} = (3.117 \cdot 10^4)\ N$ minimální bezpečná upínací síla koníku dílčí

Stav 1 - normální soustružení, hrubování 1. - bez řezného procesu

$i := 3$ typ obrobku

$j := 1$ typ obrábění

$F_{y_1} := -F_{QD_i} + F_j = -6 \cdot 10^3\ N$ svislá složka řezné síly

$F_{R_1} := F_{R_j} = 0\ N$ radiální složka řezné síly

$F_{V_1} := \sqrt[2]{F_{y_1}^{\ 2} + F_{R_1}^{\ 2}} = (6 \cdot 10^3)\ N$ výslednice radiální a svislé složky řezné síly

$F_{A_j} = 0\ N$ osová složka řezné síly

$F_{AK_1} := F_{V_1} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 0.5 \cdot F_{A_j} = (3.464 \cdot 10^3)\ N$ minimální bezpečná upínací síla koníku dílčí

Non-Commercial Use Only

Stav 2 - opačné soustružení, zapichování

$i := 4$ typ obrobku

$j := 2$ typ obrábění

$F_{y_2} := -F_{QD_i} + F_j = -3.25 \cdot 10^4 \ N$ svislá složka řezné síly

$F_{R_2} := F_{R_j} = \left(1.05 \cdot 10^4\right) N$ radiální složka řezné síly

$F_{V_2} := \sqrt[2]{F_{y_2}{}^2 + F_{R_2}{}^2} = \left(3.415 \cdot 10^4\right) N$ výslednice radiální a svislé složky řezné síly

$F_{A_j} = 0 \ N$ osová složka řezné síly

$F_{AK_2} := F_{V_2} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 0.5 \cdot F_{A_j} = \left(1.972 \cdot 10^4\right) N$ minimální bezpečná upínací síla koníku dílčí

Stav 3 - opačné soustružení, zapichování - bez řezného procesu

$i := 4$ typ obrobku

$j := 3$ typ obrábění

$F_{y_3} := -F_{QD_i} + F_j = -1.5 \cdot 10^4 \ N$ svislá složka řezné síly

$F_{R_3} := F_{R_j} = 0 \ N$ radiální složka řezné síly

$F_{V_3} := \sqrt[2]{F_{y_3}{}^2 + F_{R_3}{}^2} = \left(1.5 \cdot 10^4\right) N$ výslednice radiální a svislé složky řezné síly

$F_{A_j} = 0 \ N$ osová složka řezné síly

$F_{AK_3} := F_{V_3} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 0.5 \cdot F_{A_j} = \left(8.66 \cdot 10^3\right) N$ minimální bezpečná upínací síla koníku dílčí

Non-Commercial Use Only

Axiální síla působící na hrot koníka

$F_{AK1} := \max\left(\left|F_{AK_0}\right|, \left|F_{AK_1}\right|, \left|F_{AK_2}\right|, \left|F_{AK_3}\right|\right) = \left(3.117 \cdot 10^4\right)\ N$ minimální bezpečná upínací síla koníku pro stavy 0.,1.,2.,3.

Stav 4 - normální soustružení, dokončování 1 - při maximální tíze obrobku

$i := 4$ typ obrobku

$j := 4$ typ obrábění

$F_{y_4} := -F_{QD_i} + F_j = -1.5 \cdot 10^4\ N$ svislá složka řezné síly

$F_{R_4} := F_{R_j} = 0\ N$ radiální složka řezné síly

$F_{V_4} := \sqrt[2]{F_{y_4}^{\ 2} + F_{R_4}^{\ 2}} = \left(1.5 \cdot 10^4\right)\ N$ výslednice radiální a svislé složky řezné síly

$F_{A_j} = 0\ N$ osová složka řezné síly

$F_{AK_4} := F_{V_4} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 0.5 \cdot F_{A_j} = \left(8.66 \cdot 10^3\right)\ N$ minimální bezpečná upínací síla koníku dílčí

Stav 5 - normální soustružení - dokončování 2 - při maximálních otáčkách

$i := 1$ typ obrobku

$j := 5$ typ obrábění

$F_{y_5} := -F_{QD_i} + F_j = -3 \cdot 10^3\ N$ svislá složka řezné síly

$F_{R_5} := F_{R_j} = 0\ N$ radiální složka řezné síly

$F_{V_5} := \sqrt[2]{F_{y_5}^{\ 2} + F_{R_5}^{\ 2}} = \left(3 \cdot 10^3\right)\ N$ výslednice radiální a svislé složky řezné síly

$F_{A_j} = 0\ N$ osová složka řezné síly

$F_{AK_5} := F_{V_5} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 0.5 \cdot F_{A_j} = \left(1.732 \cdot 10^3\right)\ N$ minimální bezpečná upínací síla koníku dílčí

Non-Commercial Use Only

Stav 6 - normální soustružení, hrubování 2.

$i := 2$ typ obrobku

$j := 6$ typ obrábění

$F_{y_6} := -F_{QD_i} + F_j = (3.5 \cdot 10^3)\ N$ svislá složka řezné síly

$F_{R_6} := F_{R_j} = (4.8 \cdot 10^3)\ N$ radiální složka řezné síly

$F_{V_6} := \sqrt[2]{F_{y_6}^{\ 2} + F_{R_6}^{\ 2}} = (5.941 \cdot 10^3)\ N$ výslednice radiální a svislé složky řezné síly

$F_{A_j} = -4.8 \cdot 10^3\ N$ osová složka řezné síly

$F_{AK_6} := F_{V_6} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 0.5 \cdot F_{A_j} = (5.83 \cdot 10^3)\ N$ minimální bezpečná upínací síla koníku dílčí

Stav 7 - normální soustružení, hrubování 2. - bez řezného procesu

$i := 2$ typ obrobku

$j := 7$ typ obrábění

$F_{y_7} := -F_{QD_i} + F_j = -4.5 \cdot 10^3\ N$ svislá složka řezné síly

$F_{R_7} := F_{R_j} = 0\ N$ radiální složka řezné síly

$F_{V_7} := \sqrt[2]{F_{y_7}^{\ 2} + F_{R_7}^{\ 2}} = (4.5 \cdot 10^3)\ N$ výslednice radiální a svislé složky řezné síly

$F_{AK_7} := F_{V_7} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) - 0.5 \cdot F_{A_j} = (2.598 \cdot 10^3)\ N$ minimální bezpečná upínací síla koníka dílčí

$F_{A_j} = 0\ N$ osová složka řezné síly

$F_{AK7.8} := \max\left(\left|F_{AK_6}\right|, \left|F_{AK_7}\right|\right) = (5.83 \cdot 10^3)\ N$ minimální bezpečná upínací síla koníku pro stav 6,7

Non-Commercial Use Only

Stav 8 - normální soustružení - letmé upnutí

$i := 0$ typ obrobku

$j := 8$ typ obrábění

$F_{y_8} := -F_{QD_i} + F_j = \left(7.25 \cdot 10^3\right)\ N$ svislá složka řezné síly

$F_{R_8} := F_{R_j} = \left(5.25 \cdot 10^3\right)\ N$ radiální složka řezné síly

$F_{V_8} := \sqrt[2]{F_{y_8}{}^2 + F_{R_8}{}^2} = \left(8.951 \cdot 10^3\right)\ N$ výslednice radiální a svislé složky řezné síly

$F_{A_j} = \left(5.25 \cdot 10^3\right)\ N$ osová složka řezné síly

$F_{AK_8} := 0$ minimální bezpečná upínací síla koníku (koník není použit)

Axiální síla působící na vřeteno

$F_{AV_0} := -F_{AK1} + F_{A_0} = -5.217 \cdot 10^4\ N$ stav 0.

$F_{AV_1} := -F_{AK1} + F_{A_1} = -3.117 \cdot 10^4\ N$ stav 1.

$F_{AV_2} := -F_{AK1} + F_{A_2} = -3.117 \cdot 10^4\ N$ stav 2.

$F_{AV_3} := -F_{AK1} + F_{A_3} = -3.117 \cdot 10^4\ N$ stav 3.

$F_{AV_4} := -F_{AK_4} + F_{A_4} = -8.66 \cdot 10^3\ N$ stav 4.

$F_{AV_5} := -F_{AK_5} + F_{A_5} = -1.732 \cdot 10^3\ N$ stav 5.

$F_{AV_6} := -F_{AK7.8} + F_{A_6} = -1.063 \cdot 10^4\ N$ stav 6.

$F_{AV_7} := -F_{AK7.8} + F_{A_7} = -5.83 \cdot 10^3\ N$ stav 7.

$F_{AV_8} := -F_{AK_8} + F_{A_8} = \left(5.25 \cdot 10^3\right)\ N$ stav 8.

Non-Commercial Use Only

9.2 Zatěžovací stavy - točivé momenty

$j := 0 .. 8$

$$M_{6.5} := \begin{bmatrix} -M_L \\ 0 \\ M_L \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2.6 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 2.6 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} N \cdot m$$

hnacího moment $M_{6.5}$ na vřetenu (při 1. stupni)

$$M_{8.7} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -M_{e2} \\ 0 \\ -M_{e2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -794.65 \\ 0 \\ -794.65 \end{bmatrix} N \cdot m$$

hnací moment $M_{8.7}$ na vřetenu (při 2. stupni)

$$k_{st1} := \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

koeficient využití 1. stupně

$$k_{st2} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

koeficient využití 2. stupně

Non-Commercial Use Only

$$M_{10.9_j} := -k_{st1_j} \cdot M_{6.5_j} - k_{st2_j} \cdot M_{8.7_j}$$

$$M_{10.9} = \begin{bmatrix} 2.6 \cdot 10^3 \\ 0 \\ -2.6 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 794.65 \\ 0 \\ 794.65 \end{bmatrix} N \cdot m$$

hnaný moment $M_{10.9}$ na vřetenu

9.3 Zatěžovací stavy - otáčky

$n_0 := -n_L = -76.05 \ \frac{1}{min}$ otáčky při 0. zátěžném stavu

$n_1 := -n_L = -76.05 \ \frac{1}{min}$ otáčky při 1. zátěžném stavu

$n_2 := n_L = 76.05 \ \frac{1}{min}$ otáčky při 2. zátěžném stavu

$n_3 := -n_2 = -76.05 \ \frac{1}{min}$ otáčky při 3. zátěžném stavu

$n_4 := -0.2 \cdot n_{M2} = -323.4 \ \frac{1}{min}$ otáčky při 4. zátěžném stavu

$n_5 := -n_{M2} = -1.617 \cdot 10^3 \ \frac{1}{min}$ otáčky při 5. zátěžném stavu

$n_6 := -n_{e2} = -248.826 \ \frac{1}{min}$ otáčky při 6. zátěžném stavu

$n_7 := -n_{e2} = -248.826 \ \frac{1}{min}$ otáčky při 7. zátěžném stavu

$n_8 := -n_{e2} = -248.826 \ \frac{1}{min}$ otáčky při 8. zátěžném stavu

Non-Commercial Use Only

$$n = \begin{bmatrix} -76.05 \\ -76.05 \\ 76.05 \\ -76.05 \\ -323.4 \\ -1.617 \cdot 10^{3} \\ -248.826 \\ -248.826 \\ -248.826 \end{bmatrix} \frac{1}{min}$$ otáčky vřetene

9.4 Zatěžovací stavy - doby běhu

$T_0 := 0.2 \cdot T_1$ doba běhu při 0. zátěžném stavu

$T_1 := 0.2 \cdot T_2$ doba běhu při 1. zátěžném stavu

$T_2 := 0.1 \cdot T_1$ doba běhu při 2. zátěžném stavu

$T_3 := 0.1 \cdot T_2$ doba běhu při 3. zátěžném stavu

$T_4 := 0.25 \cdot T_c$ doba běhu při 4. zátěžném stavu

$T_5 := 0.1 \cdot T_c$ doba běhu při 5. zátěžném stavu

$T_6 := 0.3 \cdot T_1$ doba běhu při 6. zátěžném stavu

$T_7 := 0.3 \cdot T_2$ doba běhu při 7. zátěžném stavu

$T_8 := T_c - \sum_{j=0}^{7} T_j$ doba běhu při 8. zátěžném stavu

$$T = \begin{bmatrix} 1.4 \cdot 10^{3} \\ 2.6 \cdot 10^{3} \\ 700 \\ 1.3 \cdot 10^{3} \\ 5 \cdot 10^{3} \\ 2 \cdot 10^{3} \\ 2.1 \cdot 10^{3} \\ 3.9 \cdot 10^{3} \\ 1 \cdot 10^{3} \end{bmatrix} hr$$ doby běhů

$$q_{c_j} := \frac{T_j}{T_c}$$

Non-Commercial Use Only

$$q_c = \begin{bmatrix} 0.07 \\ 0.13 \\ 0.035 \\ 0.065 \\ 0.25 \\ 0.1 \\ 0.105 \\ 0.195 \\ 0.05 \end{bmatrix}$$ poměrné doby běhů

9.5 Výsledné zatěžovací stavy uložení vřetene

$Stav$	$sila_F_y$	$sila_F_R$	$sila_F_{AV}$	$M_{6.5}$	$M_{8.7}$	$M_{10.9}$	ot_n	$d_beh_T_c$	$p_d_beh_q_c$
0	F_{y_0}	F_{R_0}	F_{AV_0}	$M_{6.5_0}$	$M_{8.7_0}$	$M_{10.9_0}$	n_0	T_0	q_{c_0}
1	F_{y_1}	F_{R_1}	F_{AV_1}	$M_{6.5_1}$	$M_{8.7_1}$	$M_{10.9_1}$	n_1	T_1	q_{c_1}
2	F_{y_2}	F_{R_2}	F_{AV_2}	$M_{6.5_2}$	$M_{8.7_2}$	$M_{10.9_2}$	n_2	T_2	q_{c_2}
3	F_{y_3}	F_{R_3}	F_{AV_3}	$M_{6.5_3}$	$M_{8.7_3}$	$M_{10.9_3}$	n_3	T_3	q_{c_3}
4	F_{y_4}	F_{R_4}	F_{AV_4}	$M_{6.5_4}$	$M_{8.7_4}$	$M_{10.9_4}$	n_4	T_4	q_{c_4}
5	F_{y_5}	F_{R_5}	F_{AV_5}	$M_{6.5_5}$	$M_{8.7_5}$	$M_{10.9_5}$	n_5	T_5	q_{c_5}
6	F_{y_6}	F_{R_6}	F_{AV_6}	$M_{6.5_6}$	$M_{8.7_6}$	$M_{10.9_6}$	n_6	T_6	q_{c_6}
7	F_{y_7}	F_{R_7}	F_{AV_7}	$M_{6.5_7}$	$M_{8.7_7}$	$M_{10.9_7}$	n_7	T_7	q_{c_7}
8	F_{y_8}	F_{R_8}	F_{AV_8}	$M_{6.5_8}$	$M_{8.7_8}$	$M_{10.9_8}$	n_8	T_8	q_{c_8}

$$F_y = \begin{bmatrix} 2.9 \cdot 10^4 \\ -6 \cdot 10^3 \\ -3.25 \cdot 10^4 \\ -1.5 \cdot 10^4 \\ -1.5 \cdot 10^4 \\ -3 \cdot 10^3 \\ 3.5 \cdot 10^3 \\ -4.5 \cdot 10^3 \\ 7.25 \cdot 10^3 \end{bmatrix} N \qquad F_R = \begin{bmatrix} 2.1 \cdot 10^4 \\ 0 \\ 1.05 \cdot 10^4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4.8 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 5.25 \cdot 10^3 \end{bmatrix} N \qquad F_{AV} = \begin{bmatrix} -5.217 \cdot 10^4 \\ -3.117 \cdot 10^4 \\ -3.117 \cdot 10^4 \\ -3.117 \cdot 10^4 \\ -8.66 \cdot 10^3 \\ -1.732 \cdot 10^3 \\ -1.063 \cdot 10^4 \\ -5.83 \cdot 10^3 \\ 5.25 \cdot 10^3 \end{bmatrix} N$$

Non-Commercial Use Only

$$M_{6.5} = \begin{bmatrix} -2.6 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 2.6 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} N \cdot m \qquad M_{8.7} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -794.65 \\ 0 \\ -794.65 \end{bmatrix} N \cdot m \qquad M_{10.9} = \begin{bmatrix} 2.6 \cdot 10^3 \\ 0 \\ -2.6 \cdot 10^3 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 794.65 \\ 0 \\ 794.65 \end{bmatrix} N \cdot m$$

$$n = \begin{bmatrix} -76.05 \\ -76.05 \\ 76.05 \\ -76.05 \\ -323.4 \\ -1.617 \cdot 10^3 \\ -248.826 \\ -248.826 \\ -248.826 \end{bmatrix} \frac{1}{min} \qquad T = \begin{bmatrix} 1.4 \cdot 10^3 \\ 2.6 \cdot 10^3 \\ 700 \\ 1.3 \cdot 10^3 \\ 5 \cdot 10^3 \\ 2 \cdot 10^3 \\ 2.1 \cdot 10^3 \\ 3.9 \cdot 10^3 \\ 1 \cdot 10^3 \end{bmatrix} hr \qquad q_c = \begin{bmatrix} 0.07 \\ 0.13 \\ 0.035 \\ 0.065 \\ 0.25 \\ 0.1 \\ 0.105 \\ 0.195 \\ 0.05 \end{bmatrix}$$

Non-Commercial Use Only

PŘÍLOHA č. 3

Kontrolní výpočet souhmotí SH 2 zpracovaný v softwaru PREV

Nazev : SH2 Stroj : soustruh

Autor : Pusman 01/22/14

SH2.dhl List : 1

Blok + souhmoti :zadani

Blok : 1 pocet souhmoti : 1

Souhmoti : 2.0 souradny system :kartezky

ish	material	souradnice pocatku (1.loz.) x[mm]	y[mm]	z[mm]
1	11500.00	.00	.00	.00

Rozmery nosneho profilu hridele - zadane

Souhmoti : 2.0 pocet rezu : 3

rez	Z[mm]	Dmax[mm]	Dmin[mm]
1	-149.00	54.00	.00
2	117.50	65.00	.00
3	145.00	57.00	.00

z-tova sour. praveho konce hrid. : 173.00[mm]

Prevodove prvky - zadani polohy

Souhmoti : 2.0 pocet zaberu : 2

c.	oznaceni	sour. Z[mm]	uhel zaberu fi[deg]
1	2.01	-103.00	240.00
2	3.04	73.00	105.00

Loziska - zadani polohy

Souhmoti : 2.0 pocet lozisek : 2

c.	oznaceni	sour.Z[mm]	podpera	maz.	uloz.
1	NSK21311E	.00	.0	olej	ra()
2	NUP 210 EW	155.00	.0	olej	r

Obecna zatezna mista -zadani polohy

Souhmoti : 2.0 pocet OZM : 2

zatizeni odvozene od remenoveho prev.	zatizeni odvozene od remenoveho prev.

- VYPOCTOVE CLENENI NOSNEHO PROFILU SOUHMOTI

Souhmoti : 2.00

h r i d e l				zatezna mista		l o z i s k a	
rez	Z[mm]	Dmax[mm]	Dmin[mm]	ozn.	ZZM/OZM	oznaceni	typ loziska uloz.
1	-149.0	54.0	.0				
2	-103.0	54.0	.0	2.01	remen. p		
3	.0	54.0	.0			NSK21311E	r.soud.dr. ra()
4	73.0	54.0	.0	3.04	valc.vne.		
5	117.5	65.0	.0				
6	145.0	57.0	.0				
7	155.0	57.0	.0			NUP 210 EW	r.val.jr. r
8	173.0	.0	.0				

Prevodove prvky - popis

souhmoti : 2.00 pocet ZZM : 2

Zakl. zatezne m.: 1		Zakl. zatezne m.: 2	
oznaceni : 2.		oznaceni : 3.	
remenovy ,(retezovy) prevod		celni kolo s vnejsim ozubenim	
prumer kola :	180.00 [mm]	pocet zubu :	30. [-]
osova vzdalenost:	590.00 [mm]	norm. modul :	3.00 [mm]
predpeti :	3329.00 [N]	uhel zaberu zubu:	20.00 [deg]
ucinnost :	.98 [-]	uhel sklonu zubu:	.00 [deg]
		sklon zubu :	
		sirka kola :	35.00 [mm]
		material :	14220.40
		drsnost :	1.60
		druh korekce :	nekorig.
		os.vzdal./j. kor:	.00 [mm]/[-
		presnost :	7 - 7 - 5 Dh/III
		ucinnost :	.98 [-]

LOZISKA - popis

souhmoti : 2.00 pocet lozisek : 2

lozisko : 1		lozisko : 2	
oznaceni :	NSK21311E	oznaceni :	NUP 210 EW
vyrobce :	NSK	vyrobce :	NSK
soudeckove dvojrade		valeckove jednorade	
vnitrni prumer :	55. [mm]	vnitrni prumer :	50. [mm]
vnejsi prumer :	120. [mm]	vnejsi prumer :	90. [mm]
sirka :	29. [mm]	sirka :	20. [mm]
unosnost dyn. :	156000. [N]	unosnost dyn. :	69000. [N]
unosnost stat. :	166000. [N]	unosnost stat. :	76000. [N]
mezni otacky :	5600. [1/min]	mezni otacky :	7500. [1/min]
koef. X1 :	1.00 [-]		
koef. Y1 :	1.90 [-]		
koef. X2 :	.67 [-]		
koef. Y2 :	2.90 [-]		
koef. X0 :	1.00 [-]		
koef. Y0 :	1.80 [-]		
koef. e :	.35 [-]		

ZATIZENI V PREVODOVYCH PRVCICH

Souhmoti : 2.00 pocet ZZM : 2

oznaceni	typ	mst.zs	Zadane hodnoty Mk [Nm]	I	otacky [1/min]	doba behu [hod]
2.01	remen. p.	1.01	-349.0	I	-589.0	2520.0
		1.02	349.0	I	589.0	630.0
		1.03	-349.0	I	-589.0	3080.0
		1.04	349.0	I	589.0	770.0
3.04	valc.vne.	1.01	349.0	I		
		1.02	-349.0	I		
		1.03	349.0	I		
		1.04	-349.0	I		

ZATIZENI V OBECNYCH ZATEZNYCH PRVCICH

Souhmoti : 2.00 pocet OZM : 2

oznaceni	typ	mst.zs	I	Fo [N]	Fr [N]	Fa [N]
1.00	remen. p.	1.01	I	--	--	--
		1.02	I	--	--	--
		1.03	I	--	--	--
		1.04	I	--	--	--
2.00	remen. p.	1.01	I	--	--	--
		1.02	I	--	--	--
		1.03	I	--	--	--
		1.04	I	--	--	--

SILY V PREVODOVYCH PRVCICH

Souhmoti : 2.00 pocet ZZM : 2

oznaceni	typ	zadane hodnoty mst.zs	Mk [Nm]	vypoctene hodnoty Fo [N]	Fr [N]	Fa [N]
2.01	remen. p.	1.01	-349.0	.0	.0	.0
		1.02	349.0	.0	.0	.0
		1.03	-349.0	.0	.0	.0
		1.04	349.0	.0	.0	.0
3.04	valc.vne.	1.01	349.0	7755.6	2822.8	.0
		1.02	-349.0	-7755.6	2822.8	.0
		1.03	349.0	7755.6	2822.8	.0
		1.04	-349.0	-7755.6	2822.8	.0

OBVODOVE RYCHLOSTI

zatez. misto	2.	3.
obv.rych.[m/s]	.00	18.04

REAKCE V LOZISKACH

Souhmoti : 2.00 pocet lozisek : 2

oznaceni	typ	lozisko mst.zs	vypoctene hodnoty Fx [N]	Fy [N]	Fr [N]	Fa [N]
NSK21311E	r. soud.dr.	1.01	7682.6	10771.5	13230.6	.0
		1.02	757.0	8070.0	8105.4	.0
		1.03	7682.6	10771.5	13230.6	.0
		1.04	757.0	8070.0	8105.4	.0
NUP 210 EW	r. val.jr.	1.01	1544.9	-1070.9	1879.8	.0
		1.02	-5910.9	-2731.0	6511.3	.0
		1.03	1544.9	-1070.9	1879.8	.0
		1.04	-5910.9	-2731.0	6511.3	.0

DEFORMACE v prevodovych prvcich

Souhmoti : 2.00 pocet ZZM : 2

prevod. ozn.	typ	prvky ms.zs I	vypoctene hodnoty pruhyb ux[mm]	pruhyb uy[mm]	pruhyb uo[mm]	natoceni fio[rad]	natoceni fik[rad]
2.01	remen. p.	1.01I	-.137E-01	-.431E-01	.453E-01	.550E-03	.000E+00
		1.02I	-.463E-01	-.466E-01	.657E-01	.748E-03	.000E+00
		1.03I	-.137E-01	-.431E-01	.453E-01	.550E-03	.000E+00
		1.04I	-.463E-01	-.466E-01	.657E-01	.748E-03	.000E+00
3.04	valc.vne.	1.01I	-.145E-02	.469E-02	.491E-02	.370E-04	-.130E-02
		1.02I	.124E-01	.752E-02	.145E-01	.265E-04	.765E-03
		1.03I	-.145E-02	.469E-02	.491E-02	.370E-04	-.130E-02
		1.04I	.124E-01	.752E-02	.145E-01	.265E-04	.765E-03

DEFORMACE v obecnych zateznych mistech

Souhmoti : 2.00 pocet OZM : 2

OZM poradi	ms.zs I	vypoctene hodnoty pruhyb ux[mm]	pruhyb uy[mm]	pruhyb uo[mm]	natoceni fio[rad]	natoceni fik[rad]

DEFORMACE v loziskach

Souhmoti : 2.00 pocet lozisek : 2

l o z i s k o oznaceni	typ	mst.zs	I vypoctene hodnoty natoceni fio [rad]
NSK21311E	r. soud.dr.	1.01	.2209E-03
		1.02	.4204E-03
		1.03	.2209E-03
		1.04	.4204E-03
NUP 210 EW	r. val.jr.	1.01	.7559E-04
		1.02	.2423E-03
		1.03	.7559E-04
		1.04	.2423E-03

maximalni NAPETI

Souhmoti : 2.00

I v y p o c t e n e h o d n o t y			
mst. [-]	zs.I [-]	c. rezu I [-]	souradnice z[mm]	napeti sigr[Mpa]
1	1 I	3	.0	51.5
1	2 I	3	.0	43.0
1	3 I	3	.0	51.5
1	4 I	3	.0	43.0

Maximalni DEFORMACE a NAPETI

Souhmoti : 2.00

velicina		: m.st.	stav	poradi	hodnota
pruhyb uo v ZZM	[mm] :	1	2	1	.657E-01
natoceni fio v ZZM	[rad] :	1	2	1	.748E-03
natoceni fio v lozisku	[rad] :	1	2	1	.420E-03
napeti	[MPa] :	1	1	3	51.5

KONTROLA LOZISEK
****

Souhmoti : 2.00 pocet lozisek : 2

Dynamicka kontrola loziska NSK21311E
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (dynamicky) loziska	:	18.16 [-]
Trvanlivost loziska	:	127133. [hod]
Potrebna unosnost pro loz. stejneho typu	:	65370. [N]
Bezpecnost proti preotackovani	:	1.46 [-]

Staticka kontrola loziska NSK21311E
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (staticky) loziska	:	12.55 [-]

Lozisko staticky vyhovuje pro vsechny druhy provozu .

.....

Dynamicka kontrola loziska NUP 210 EW
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (dynamicky) loziska	:	57.04 [-]
Trvanlivost loziska	:	399288. [hod]
Potrebna unosnost pro loz. stejneho typu	:	20511. [N]
Bezpecnost proti preotackovani	:	1.96 [-]

Staticka kontrola loziska NUP 210 EW
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (staticky) loziska	:	11.67 [-]

Lozisko staticky vyhovuje pro vsechny druhy provozu .

---

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

zadane parametry		kolo 3	kolo 4
pocet zubu		30	71
normalny modul	[mm]	3.00	
normalny uhel zaberu	[deg]	20.00	
uhel sklonu zubu	[deg]	.00	
jednotkove posunuti		.000	.000
sirka	[mm]	35.00	30.00
souc.vysky hlavy hrebenov.nastroje		1.25	
souc.polomeru zaobleni hreb.nastr.		.38	
material :		14220.4	14220.4
tepelne zpracovani		CEMENT.KAL.	CEMENT.KAL.
jakostni trida		MQ	MQ
pevnost v jadre	[Mpa]	785.	785.
mez kluzu	[Mpa]	588.	588.
mez unavy v ohybu	[Mpa]	700.	700.
mez unavy v dotyku	[Mpa]	1270.	1270.
tvrdost v jadre	[Hv]	250.	250.
tvrdost boku	[Hv]	650.	650.
min. tloustka tvrz. vrstvy	[mm]	.51	.51
presnost soukoli		7 - 7 - 5 Dh/III	
str.aritm.uchyl.profilu(drsnost)	[mkm]	1.60	1.60

soubor zatezovacich stavu na kole 3

mk [Nm]	n [1/min]	tau[hod]
zakladni smysl toceni		
349.00	-589.00	2520.00
349.00	-589.00	3080.00
opacny smysl toceni		
-349.00	589.00	630.00
-349.00	589.00	770.00

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

vysledne hodnoty

	kolo 3	kolo 4
smerodatne zatizeni		
moment [Nm]		
ohyb	349.0	826.0
dotyk	349.0	826.0
obvodova rychlost [m/s]		
ohyb	2.776	2.776
dotyk	2.776	2.776
soucinitele bezpecnosti :		
ohyb	2.59	2.37
dotyk	1.23	1.30
kontrola pro jednoraz.max. zatizeni (staticky)		
soucinitele bezpec. pro jednor. zatizeni		
ohyb	5.16	4.92
dotyk	2.52	2.61

ÉÍÍÍ

PŘÍLOHA č. 4

Kontrolní výpočet souhmotí SH 3 zpracovaný v softwaru PREV

Nazev : vretenik | Stroj : soustruh
Autor : Pusman | 01/22/14
SH3.dhl | List : 1

Blok + souhmoti :zadani

Blok : 1 pocet souhmoti : 1
Souhmoti : 3.0 souradny system :kartezky

ish	material	souradnice pocatku (1.loz.) x[mm]	y[mm]	z[mm]
1	14220.40	.00	.00	.00

Rozmery nosneho profilu hridele - zadane

Souhmoti : 3.0 pocet rezu : 5

rez	Z[mm]	Dmax[mm]	Dmin[mm]
1	-18.00	50.00	.00
2	10.00	58.00	.00
3	27.00	75.00	.00
4	377.00	58.00	.00
5	391.00	50.00	.00

z-tova sour. praveho konce hrid. : 418.00[mm]

Prevodove prvky - zadani polohy

Souhmoti : 3.0 pocet zaberu : 3

c.	oznaceni	sour. Z[mm]	uhel zaberu fi[deg]
1	4.03	27.00	285.00
2	7.08	214.50	.00
3	5.06	342.00	.00

Loziska - zadani polohy

Souhmoti : 3.0 pocet lozisek : 2

c.	oznaceni	sour.Z[mm]	podpera	maz.	uloz.
1	NUP 210 EW	.00	.0	olej	ra()
2	NUP 210 EW	401.00	.0	olej	r

Obecna zatezna mista -zadani polohy

Souhmoti : 3.0 pocet OZM : 0

- VYPOCTOVE CLENENI NOSNEHO PROFILU SOUHMOTI

Souhmoti : 3.00

	h r i d e l			zatezna mista			l o z i s k a		
rez	Z[mm]	Dmax[mm]	Dmin[mm]	ozn.	ZZM/OZM		oznaceni	typ loziska	uloz.
1	-18.0	50.0	.0						
2	.0	50.0	.0				NUP 210 EW	r.val.jr.	ra()
3	10.0	58.0	.0						
4	27.0	75.0	.0	4.03	valc.vne.				
5	214.5	75.0	.0	7.08	valc.vne.				
6	342.0	75.0	.0	5.06	valc.vne.				
7	377.0	58.0	.0						
8	391.0	50.0	.0						
9	401.0	50.0	.0				NUP 210 EW	r.val.jr.	r
10	418.0	.0	.0						

Prevodove prvky - popis

souhmoti : 3.00 pocet ZZM : 3

Zakl. zatezne m.:	1		Zakl. zatezne m.:	2	
oznaceni	4.		oznaceni	7.	
celni kolo s vnejsim ozubenim			celni kolo s vnejsim ozubenim		
pocet zubu	71.	[-]	pocet zubu	47.	[-]
norm. modul	3.00	[mm]	norm. modul	5.00	[mm]
uhel zaberu zubu:	20.00	[deg]	uhel zaberu zubu:	20.00	[deg]
uhel sklonu zubu:	.00	[deg]	uhel sklonu zubu:	.00	[deg]
sklon zubu			sklon zubu		
sirka kola	30.00	[mm]	sirka kola	25.00	[mm]
material	14220.40		material	14220.40	
drsnost	1.60		drsnost	1.60	
druh korekce	merny skluz		druh korekce	merny skluz	
os.vzdal./j. kor:	.00	[mm]/[-]	os.vzdal./j. kor:	.00	[mm]/[-
presnost	7 - 7 - 5 Dh/III		presnost	7 - 7 - 5 Dh/III	
ucinnost	.98	[-]	ucinnost	.98	[-]

Zakl. zatezne m.: 3

oznaceni	: 5.	
celni kolo s vnejsim ozubenim		
pocet zubu	: 22.	[-]
norm. modul	: 5.00	[mm]
uhel zaberu zubu	: 20.00	[deg]
uhel sklonu zubu	: .00	[deg]
sklon zubu	:	
sirka kola	: 45.00	[mm]
material	: 14220.40	
drsnost	: 1.60	
druh korekce	: nekorig.	
os.vzdal./j. kor	: .00	[mm]/[-]
presnost	: 7 - 7 - 5 Dh/III	
ucinnost	: .98	[-]

LOZISKA - popis

souhmoti : 3.00 pocet lozisek : 2

lozisko : 1			lozisko : 2		
oznaceni	: NUP 210 EW		oznaceni	: NUP 210 EW	
vyrobce	: NSK		vyrobce	: NSK	
valeckove jednorade			valeckove jednorade		
vnitrni prumer	: 50.	[mm]	vnitrni prumer	: 50.	[mm]
vnejsi prumer	: 90.	[mm]	vnejsi prumer	: 90.	[mm]
sirka	: 20.	[mm]	sirka	: 20.	[mm]
unosnost dyn.	: 69000.	[N]	unosnost dyn.	: 69000.	[N]
unosnost stat.	: 76000.	[N]	unosnost stat.	: 76000.	[N]
mezni otacky	: 7500.	[1/min]	mezni otacky	: 7500.	[1/min]

ZATIZENI V PREVODOVYCH PRVCICH

Souhmoti : 3.00 pocet ZZM : 3

oznaceni	typ	Zadane hodnoty mst.zs	Mk [Nm]	otacky [1/min]	doba behu [hod]
4.03	valc.vne.	1.01	811.0	249.0	2520.0
		1.02	-811.0	-249.0	630.0
		1.03	811.0	249.0	3080.0
		1.04	-811.0	-249.0	770.0
7.08	valc.vne.	1.01	.0		
		1.02	.0		
		1.03	-811.0		
		1.04	811.0		
5.06	valc.vne.	1.01	-811.0		
		1.02	811.0		
		1.03	.0		
		1.04	.0		

ZATIZENI V OBECNYCH ZATEZNYCH PRVCICH

Souhmoti : 3.00 pocet OZM : 0

SILY V PREVODOVYCH PRVCICH

Souhmoti : 3.00 pocet ZZM : 3

oznaceni	typ	mst.zs	zadane hodnoty Mk [Nm]	vypoctene hodnoty Fo [N]	Fr [N]	Fa [N]
4.03	valc.vne.	1.01	811.0	7615.0	2771.6	.0
		1.02	-811.0	-7615.0	2771.6	.0
		1.03	811.0	7615.0	2771.6	.0
		1.04	-811.0	-7615.0	2771.6	.0
7.08	valc.vne.	1.01	.0	.0	.0	.0
		1.02	.0	.0	.0	.0
		1.03	-811.0	-6902.1	2512.2	.0
		1.04	811.0	6902.1	2512.2	.0
5.06	valc.vne.	1.01	-811.0	-14745.5	5366.9	.0
		1.02	811.0	14745.5	5366.9	.0
		1.03	.0	.0	.0	.0
		1.04	.0	.0	.0	.0

OBVODOVE RYCHLOSTI

zatez. misto	4.	7.	5.
obv.rych.[m/s]	18.03	19.90	9.31

REAKCE V LOZISKACH

Souhmoti : 3.00 pocet lozisek : 2

oznaceni	typ	mst.zs	vypoctene hodnoty Fx [N]	Fy [N]	Fr [N]	Fa [N]
NUP 210 EW	r. val.jr.	1.01	-5401.6	-2165.6	5819.5	.0
		1.02	8319.0	-2828.3	8786.6	.0
		1.03	-5022.9	-1125.0	5147.3	.0
		1.04	8697.7	-3868.9	9519.4	.0

NUP 210 EW	r. val.jr.	1.01I	4130.3	12263.0	12939.8	.0
		1.02I	5120.8	-12623.5	13622.6	.0
		1.03I	896.8	3379.1	3496.1	.0
		1.04I	1887.4	-3739.6	4188.9	.0

DEFORMACE v prevodovych prvcich
****

Souhmoti : 3.00 pocet ZZM : 3

prevod. ozn.	typ	prvky I ms.zs I	v y p o c t e n e h o d n o t y pruhyb ux[mm]	pruhyb uy[mm]	pruhyb uo[mm]	natoceni fio[rad]	natoceni fik[rad]
4.03	valc.vne.	1.01I	.205E-03	-.342E-02	.343E-02	.132E-03	.000E+00
		1.02I	-.411E-02	.500E-02	.647E-02	.224E-03	.000E+00
		1.03I	-.116E-03	-.431E-02	.431E-02	.163E-03	.000E+00
		1.04I	-.443E-02	.588E-02	.736E-02	.255E-03	.000E+00
7.08	valc.vne.	1.01I	-.426E-02	-.229E-01	.233E-01	.379E-04	.604E-03
		1.02I	-.163E-01	.273E-01	.318E-01	.222E-04	-.604E-03
		1.03I	-.483E-02	-.244E-01	.249E-01	.121E-04	.604E-03
		1.04I	-.169E-01	.288E-01	.334E-01	.315E-04	-.604E-03
5.06	valc.vne.	1.01I	-.353E-02	-.141E-01	.145E-01	.194E-03	.102E-02
		1.02I	-.830E-02	.158E-01	.179E-01	.249E-03	-.102E-02
		1.03I	-.239E-02	-.110E-01	.112E-01	.177E-03	.604E-03
		1.04I	-.717E-02	.127E-01	.146E-01	.231E-03	-.604E-03

DEFORMACE v loziskach

Souhmoti : 3.00 pocet lozisek : 2

l o z i s k o oznaceni	typ	mst.zs	I vypoctene hodnoty I natoceni I fio [rad]
NUP 210 EW	r. val.jr.	1.01	.1249E-03
		1.02	.2494E-03
		1.03	.1581E-03
		1.04	.2836E-03
NUP 210 EW	r. val.jr.	1.01	.2882E-03
		1.02	.3471E-03
		1.03	.2019E-03
		1.04	.2611E-03

maximalni NAPETI

Souhmoti : 3.00

mst. [-]	zs.I [-]	I	c. rezu [-]	souradnice z[mm]	napeti sigr[Mpa]
1	1	I	6	342.0	26.1
1	2	I	6	342.0	26.5
1	3	I	5	214.5	24.7
1	4	I	5	214.5	26.5

Maximalni DEFORMACE a NAPETI

Souhmoti : 3.00

velicina		: m.st.	stav	poradi	hodnota
pruhyb uo v ZZM	[mm] :	1	4	2	.334E-01
natoceni fio v ZZM	[rad] :	1	4	1	.255E-03
natoceni fio v lozisku	[rad] :	1	2	2	.347E-03
napeti	[MPa] :	1	4	5	26.5

KONTROLA LOZISEK
****

Souhmoti : 3.00 pocet lozisek : 2

Dynamicka kontrola loziska NUP 210 EW
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (dynamicky) loziska	:	23.95 [-]
Trvanlivost loziska	:	167622. [hod]
Potrebna unosnost pro loz. stejneho typu	:	26612. [N]
Bezpecnost proti preotackovani	:	4.64 [-]

Staticka kontrola loziska NUP 210 EW
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (staticky) loziska	:	7.98 [-]

Lozisko staticky vyhovuje pro vsechny druhy provozu .

.....

Dynamicka kontrola loziska NUP 210 EW
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (dynamicky) loziska	:	5.76 [-]
Trvanlivost loziska	:	40317. [hod]
Potrebna unosnost pro loz. stejneho typu	:	40807. [N]
Bezpecnost proti preotackovani	:	4.64 [-]

Staticka kontrola loziska NUP 210 EW
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (staticky) loziska	:	5.58 [-]

Lozisko staticky vyhovuje pro vsechny druhy provozu .

---

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

		kolo 4	kolo 3
zadane parametry			
pocet zubu		71	30
normalny modul	[mm]	3.00	
normalny uhel zaberu	[deg]	20.00	
uhel sklonu zubu	[deg]	.00	
jednotkove posunuti		.000	.269
sirka	[mm]	30.00	35.00
souc.vysky hlavy hrebenov.nastroje		1.25	
souc.polomeru zaobleni hreb.nastr.		.38	
material :		14220.4	14220.4
tepelne zpracovani		CEMENT.KAL.	CEMENT.KAL.
jakostni trida		MQ	MQ
pevnost v jadre	[Mpa]	785.	785.
mez kluzu	[Mpa]	588.	588.
mez unavy v ohybu	[Mpa]	700.	700.
mez unavy v dotyku	[Mpa]	1270.	1270.
tvrdost v jadre	[Hv]	250.	250.
tvrdost boku	[Hv]	650.	650.
min. tloustka tvrz. vrstvy	[mm]	.51	.51
presnost soukoli		7 - 7 - 5 Dh/III	
str.aritm.uchyl.profilu(drsnost)	[mkm]	1.60	1.60

soubor zatezovacich stavu na kole 4

mk [Nm]	n [1/min]	tau[hod]
zakladni smysl toceni		
811.00	249.00	2520.00
811.00	249.00	3080.00
opacny smysl toceni		
-811.00	-249.00	630.00
-811.00	-249.00	770.00

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

vysledne hodnoty

	kolo 4	kolo 3
smerodatne zatizeni		
moment [Nm]		
ohyb	811.0	342.7
dotyk	811.0	342.7
obvodova rychlost [m/s]		
ohyb	2.777	2.777
dotyk	2.777	2.777
soucinitele bezpecnosti :		
ohyb	2.53	2.92
dotyk	1.34	1.30
kontrola pro jednoraz.max. zatizeni (staticky)		
soucinitele bezpec. pro jednor. zatizeni		
ohyb	5.19	5.99
dotyk	2.70	2.67

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

		kolo 7	kolo 8
zadane parametry			
pocet zubu		47	47
normalny modul	[mm]	5.00	
normalny uhel zaberu	[deg]	20.00	
uhel sklonu zubu	[deg]	.00	
jednotkove posunuti		.000	.000
sirka	[mm]	25.00	25.00
souc.vysky hlavy hrebenov.nastroje		1.25	
souc.polomeru zaobleni hreb.nastr.		.38	
material :		14220.4	14220.4
tepelne zpracovani		CEMENT.KAL.	CEMENT.KAL.
jakostni trida		MQ	MQ
pevnost v jadre	[Mpa]	785.	785.
mez kluzu	[Mpa]	588.	588.
mez unavy v ohybu	[Mpa]	700.	700.
mez unavy v dotyku	[Mpa]	1270.	1270.
tvrdost v jadre	[Hv]	250.	250.
tvrdost boku	[Hv]	650.	650.
min. tloustka tvrz. vrstvy	[mm]	.94	.94
presnost soukoli		7 - 7 - 5 Dh/III	
str.aritm.uchyl.profilu(drsnost)	[mkm]	1.60	1.60

soubor zatezovacich stavu na kole 7

mk [Nm]	n [1/min]	tau[hod]
zakladni smysl toceni		
.00	249.00	2520.00
.00	-249.00	630.00
811.00	-249.00	770.00
opacny smysl toceni		
-811.00	249.00	3080.00

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

vysledne hodnoty

	kolo 7	kolo 8
smerodatne zatizeni		
moment [Nm]		
ohyb	811.0	811.0
dotyk	811.0	811.0
obvodova rychlost [m/s]		
ohyb	3.064	3.064
dotyk	3.064	3.064
soucinitele bezpecnosti :		
ohyb	3.52	3.43
dotyk	1.92	1.92
kontrola pro jednoraz.max. zatizeni (staticky)		
soucinitele bezpec. pro jednor. zatizeni		
ohyb	7.55	7.52
dotyk	3.63	3.63

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

		kolo 5	kolo 6
zadane parametry			
pocet zubu		22	72
normalny modul	[mm]	5.00	
normalny uhel zaberu	[deg]	20.00	
uhel sklonu zubu	[deg]	.00	
jednotkove posunuti		.000	.000
sirka	[mm]	45.00	45.00
souc.vysky hlavy hrebenov.nastroje		1.25	
souc.polomeru zaobleni hreb.nastr.		.38	
material :		14220.4	14220.4
tepelne zpracovani		CEMENT.KAL.	CEMENT.KAL.
jakostni trida		MQ	MQ
pevnost v jadre	[Mpa]	785.	785.
mez kluzu	[Mpa]	588.	588.
mez unavy v ohybu	[Mpa]	700.	700.
mez unavy v dotyku	[Mpa]	1270.	1270.
tvrdost v jadre	[Hv]	250.	250.
tvrdost boku	[Hv]	650.	650.
min. tloustka tvrz. vrstvy	[mm]	.67	.67
presnost soukoli		7 - 7 - 5 Dh/III	
str.aritm.uchyl.profilu(drsnost)	[mkm]	1.60	1.60

soubor zatezovacich stavu na kole 5

mk [Nm]	n [1/min]	tau[hod]
zakladni smysl toceni		
811.00	-249.00	630.00
.00	249.00	3080.00
.00	-249.00	770.00
opacny smysl toceni		
-811.00	249.00	2520.00

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

vysledne hodnoty

	kolo 5	kolo 6
smerodatne zatizeni		
moment [Nm]		
ohyb	811.0	2654.2
dotyk	811.0	2654.2
obvodova rychlost [m/s]		
ohyb	1.434	1.434
dotyk	1.434	1.434
soucinitele bezpecnosti :		
ohyb	2.72	3.06
dotyk	1.34	1.61
kontrola pro jednoraz.max. zatizeni (staticky)		
soucinitele bezpec. pro jednor. zatizeni		
ohyb	5.56	6.65
dotyk	2.49	2.66

Souhmoti: 3.0 Spoj. prvek c.: 1
Prenos zatizeni od prev. prvku c.: 4

Rovnoboke drazkovani

Drazkovani z x d x D [mm] : 10 x 72 x 78
Sirka ozubeni b [mm] : 12
Delka drazkovani l [mm] : 36
Kroutici moment Mk[Nm] : 811.000
Tlak p [MPa]: 40.049
Dovoleny tlak pd[MPa]: 140.000
p : vyhovuje

Skut. namahani Tau [MPa]: 5.006

Mez pevnosti Sigmapt[MPa]: 500.000
Mez kluzu Sigmakt[MPa]: 250.000

Souhmoti: 3.0 Spoj. prvek c.: 2
Prenos zatizeni od prev. prvku c.: 5

Rovnoboke drazkovani

Drazkovani z x d x D [mm] : 10 x 72 x 78
Sirka ozubeni b [mm] : 12
Delka drazkovani l [mm] : 93
Kroutici moment Mk[Nm] : 811.000
Tlak p [MPa]: 15.503
Dovoleny tlak pd[MPa]: 70.000
p : vyhovuje

Skut. namahani Tau [MPa]: 1.938

Mez pevnosti Sigmapt[MPa]: 500.000
Mez kluzu Sigmakt[MPa]: 250.000

ÉÍÍ»
ş

PŘÍLOHA č. 5

Kontrolní výpočet uložení vřetene zpracovaný v softwaru PREV

Nazev : vret | Stroj : soustruh
Autor : Pusman | 02/24/14
VRET.dhl | List : 1

Blok + souhmoti :zadani

Blok : 1 pocet souhmoti : 1
Souhmoti : 1.0 souradny system :kartezky

ish	material	souradnice pocatku (1.loz.) x[mm]	y[mm]	z[mm]
1	12050.50	.00	.00	.00

Rozmery nosneho profilu hridele - zadane

Souhmoti : 1.0 pocet rezu : 6

rez	Z[mm]	Dmax[mm]	Dmin[mm]
1	-220.00	150.00	132.00
2	-135.00	160.00	132.00
3	189.00	170.00	132.00
4	366.00	180.00	132.00
5	582.00	280.00	132.00
6	617.00	300.00	100.00

z-tova sour. praveho konce hrid. : 739.50[mm]

Prevodove prvky - zadani polohy

Souhmoti : 1.0 pocet zaberu : 3

c.	oznaceni	sour. Z[mm]	uhel zaberu fi[deg]
1	8.07	212.00	180.00
2	6.05	341.70	180.00
3	9.10	739.50	360.00

Loziska - zadani polohy

Souhmoti : 1.0 pocet lozisek : 3

c.	oznaceni	I	sour.Z[mm]	podpera	maz.	uloz.
1	NN3932	I	.00	.0	olej	r
2	180TAC29D	I	436.00	.0	olej	a()
3	NN3936	I	504.00	.0	olej	r

Obecna zatezna mista -zadani polohy

Souhmoti : 1.0 pocet OZM : 1

obecne zatizeni

sour. pusobiste : 739.50 [mm]
polom.pusobiste : .00 [mm]
uhel pusobiste : .00 [deg]

- VYPOCTOVE CLENENI NOSNEHO PROFILU SOUHMOTI

Souhmoti : 1.00

rez	h r i d e l Z[mm]	Dmax[mm]	Dmin[mm]	I	zatezna mista ozn.	ZZM/OZM	I	l o z i s k a oznaceni	typ loziska	uloz.
1	-220.0	150.0	132.0	I			I			
2	-135.0	160.0	132.0	I			I			
3	.0	160.0	132.0	I			I	NN3932	r.val.dr.	r
4	189.0	170.0	132.0	I			I			
5	212.0	170.0	132.0	I	8.07	valc.vne.	I			
6	341.7	170.0	132.0	I	6.05	valc.vne.	I			
7	366.0	180.0	132.0	I			I			
8	436.0	180.0	132.0	I			I	180TAC29D	a.kul.os.ks.	a()
9	504.0	180.0	132.0	I			I	NN3936	r.val.dr.	r
10	582.0	280.0	132.0	I			I			
11	617.0	300.0	100.0	I			I			
12	739.5	.0	.0	I	9.10	obec.zat.	I			

Prevodove prvky - popis

souhmoti : 1.00 pocet ZZM : 3

Zakl. zatezne m.:	1	Zakl. zatezne m.:	2
oznaceni :	8.	oznaceni :	6.
celni kolo s vnejsim ozubenim		celni kolo s vnejsim ozubenim	
pocet zubu :	47. [-]	pocet zubu :	72. [-]
norm. modul :	5.00 [mm]	norm. modul :	5.00 [mm]
uhel zaberu zubu:	20.00 [deg]	uhel zaberu zubu:	20.00 [deg]
uhel sklonu zubu:	.00 [deg]	uhel sklonu zubu:	.00 [deg]
sklon zubu :		sklon zubu :	
sirka kola :	25.00 [mm]	sirka kola :	45.00 [mm]
material :	14220.40	material :	14220.40
drsnost :	1.60	drsnost :	1.60
druh korekce :	merny skluz	druh korekce :	merny skluz
os.vzdal./j. kor:	.00 [mm]/[-]	os.vzdal./j. kor:	.00 [mm]/[-
presnost :	6 - 6 - 5 Dh/III	presnost :	7 - 7 - 5 Dh/III
ucinnost :	.98 [-]	ucinnost :	.98 [-]
Zakl. zatezne m.:	3		
oznaceni :	9.		
spojka			
druh spojky :	obecna spojka		

LOZISKA - popis

souhmoti : 1.00 pocet lozisek : 3

lozisko	: 1	lozisko	: 2
oznaceni	: NN3932	oznaceni	: 180TAC29D
vyrobce	: NSK	vyrobce	: NSK
valeckove dvojrade		kulic. axial. obousm. s kos. stykem	
vnitrni prumer	: 160. [mm]	vnitrni prumer	: 180. [mm]
vnejsi prumer	: 220. [mm]	vnejsi prumer	: 250. [mm]
sirka	: 45. [mm]	sirka	: 84. [mm]
unosnost dyn.	: 271000. [N]	unosnost dyn.	: 158000. [N]
unosnost stat.	: 520000. [N]	unosnost stat.	: 655000. [N]
mezni otacky	: 4800. [1/min]	mezni otacky	: 2400. [1/min]
		koef. X	: .92 [-]
		koef. Y	: 1.00 [-]
		koef. X0	: 1.00 [-]
		koef. Y0	: 1.00 [-]
		predepnuti	: 4410.00 [N]

lozisko	: 3
oznaceni	: NN3936
vyrobce	: NSK
valeckove dvojrade	
vnitrni prumer	: 180. [mm]
vnejsi prumer	: 250. [mm]
sirka	: 52. [mm]
unosnost dyn.	: 340000. [N]
unosnost stat.	: 655000. [N]
mezni otacky	: 4200. [1/min]

ZATIZENI V PREVODOVYCH PRVCICH
****

Souhmoti : 1.00 pocet ZZM : 3

oznaceni	typ	mst.zs	Zadane hodnoty Mk [Nm]	I	otacky [1/min]	doba behu [hod]
8.07	valc.vne.	1.01	.0	I	-76.0	1400.0
		1.02	.0	I	-76.0	2600.0
		1.03	.0	I	76.0	700.0
		1.04	.0	I	-76.0	1300.0
		1.05	.0	I	-323.0	5000.0
		1.06	.0	I	-1617.0	2000.0
		1.07	-794.7	I	-249.0	2100.0
		1.08	.0	I	-249.0	3900.0
		1.09	-794.7	I	-249.0	1000.0
6.05	valc.vne.	1.01	-2600.0	I		
		1.02	.0	I		
		1.03	2600.0	I		
		1.04	.0	I		
		1.05	.0	I		
		1.06	.0	I		
		1.07	.0	I		
		1.08	.0	I		
		1.09	.0	I		
9.10	spojka	1.01	2600.0	I		
		1.02	.0	I		
		1.03	-2600.0	I		
		1.04	.0	I		
		1.05	.0	I		
		1.06	.0	I		
		1.07	794.7	I		
		1.08	.0	I		
		1.09	794.7	I		

ZATIZENI V OBECNYCH ZATEZNYCH PRVCICH

Souhmoti : 1.00 pocet OZM : 1

oznaceni	typ	mst.zs	I	Fo [N]	Fr [N]	Fa [N]
1.00	obec.zat.	1.01	I	29000.0	21000.0	-52170.0
		1.02	I	-6000.0	.0	-31170.0
		1.03	I	-32500.0	10500.0	-31170.0
		1.04	I	-15000.0	.0	-31170.0
		1.05	I	-15000.0	.0	-8660.0
		1.06	I	-3000.0	.0	-1732.0
		1.07	I	3500.0	4800.0	-10630.0
		1.08	I	-4500.0	.0	-5830.0
		1.09	I	7250.0	5250.0	5250.0

SILY V PREVODOVYCH PRVCICH

Souhmoti : 1.00 pocet ZZM : 3

				zadane hodnoty		vypoctene hodnoty		
oznaceni	typ	mst.zs	I	Mk [Nm]	I	Fo [N]	Fr [N]	Fa [N]
8.07	valc.vne.	1.01	I	.0	I	.0	.0	.0
		1.02	I	.0	I	.0	.0	.0
		1.03	I	.0	I	.0	.0	.0
		1.04	I	.0	I	.0	.0	.0
		1.05	I	.0	I	.0	.0	.0
		1.06	I	.0	I	.0	.0	.0
		1.07	I	-794.7	I	-6763.4	2461.7	.0
		1.08	I	.0	I	.0	.0	.0
		1.09	I	-794.7	I	-6763.4	2461.7	.0

6.05	valc.vne.	1.01	-2600.0	I	-14444.4	5257.3	.0	
		1.02	.0	I	.0	.0	.0	
		1.03	2600.0	I	14444.4	5257.3	.0	
		1.04	.0	I	.0	.0	.0	
		1.05	.0	I	.0	.0	.0	
		1.06	.0	I	.0	.0	.0	
		1.07	.0	I	.0	.0	.0	
		1.08	.0	I	.0	.0	.0	
		1.09	.0	I	.0	.0	.0	
9.10	spojka	1.01	2600.0	I	.0	.0	.0	
		1.02	.0	I	.0	.0	.0	
		1.03	-2600.0	I	.0	.0	.0	
		1.04	.0	I	.0	.0	.0	
		1.05	.0	I	.0	.0	.0	
		1.06	.0	I	.0	.0	.0	
		1.07	794.7	I	.0	.0	.0	
		1.08	.0	I	.0	.0	.0	
		1.09	794.7	I	.0	.0	.0	

OBVODOVE RYCHLOSTI

zatez. misto	8.	6.	9.
obv.rych.[m/s]	19.90	30.48	.00

REAKCE V LOZISKACH

Souhmoti : 1.00 pocet lozisek : 3

l o z i s k o oznaceni	typ	mst.zs	v y p o c t e n e h o d n o t y Fx [N]	Fy [N]	Fr [N]	Fa [N]
NN3932	r. val.dr.	1.01	-11505.5	8899.1	14545.5	.0
		1.02	.0	-2803.6	2803.6	.0
		1.03	-6599.2	-10534.6	12430.9	.0
		1.04	.0	-7008.9	7008.9	.0
		1.05	.0	-7008.9	7008.9	.0
		1.06	.0	-1401.8	1401.8	.0
		1.07	-3669.1	-2283.1	4321.4	.0
		1.08	.0	-2102.7	2102.7	.0
		1.09	-3879.3	-530.8	3915.5	.0

Nazev : vret Stroj : soustruh

Autor : Pusman 02/24/14

VRET.dhl List : 8

180TAC29D	a. kul.os.ks	1.01I	.0	.0	.0	52170.0
		1.02I	.0	.0	.0	31170.0
		1.03I	.0	.0	.0	31170.0
		1.04I	.0	.0	.0	31170.0
		1.05I	.0	.0	.0	8660.0
		1.06I	.0	.0	.0	1732.0
		1.07I	.0	.0	.0	10630.0
		1.08I	.0	.0	.0	5830.0
		1.09I	.0	.0	.0	-5250.0
NN3936	r. val.dr.	1.01I	27248.1	-52343.6	59011.1	.0
		1.02I	.0	8803.6	8803.6	.0
		1.03I	11841.9	57479.0	58686.2	.0
		1.04I	.0	22008.9	22008.9	.0
		1.05I	.0	22008.9	22008.9	.0
		1.06I	.0	4401.8	4401.8	.0
		1.07I	6007.4	-7980.3	9988.7	.0
		1.08I	.0	6602.7	6602.7	.0
		1.09I	6667.7	-13482.6	15041.2	.0

DEFORMACE v prevodovych prvcich
****

Souhmoti : 1.00 pocet ZZM : 3

prevod. ozn.	typ	prvky ms.zs I	vypoctene hodnoty pruhyb ux[mm]	pruhyb uy[mm]	pruhyb uo[mm]	natoceni fio[rad]	natoceni fik[rad]
8.07	valc.vne.	1.01I	.157E-01	-.129E-01	.203E-01	.417E-04	.000E+00
		1.02I	.000E+00	.388E-02	.388E-02	.785E-05	.000E+00
		1.03I	.892E-02	.151E-01	.176E-01	.367E-04	.000E+00
		1.04I	.000E+00	.969E-02	.969E-02	.196E-04	.000E+00
		1.05I	.000E+00	.969E-02	.969E-02	.196E-04	.000E+00
		1.06I	.000E+00	.194E-02	.194E-02	.392E-05	.000E+00
		1.07I	.439E-02	.129E-02	.458E-02	.747E-05	.000E+00
		1.08I	.000E+00	.291E-02	.291E-02	.589E-05	.000E+00
		1.09I	.468E-02	-.114E-02	.482E-02	.106E-04	.000E+00
6.05	valc.vne.	1.01I	.152E-01	-.130E-01	.200E-01	.538E-04	.000E+00
		1.02I	.000E+00	.380E-02	.380E-02	.105E-04	.000E+00
		1.03I	.860E-02	.152E-01	.175E-01	.449E-04	.000E+00
		1.04I	.000E+00	.949E-02	.949E-02	.263E-04	.000E+00
		1.05I	.000E+00	.949E-02	.949E-02	.263E-04	.000E+00
		1.06I	.000E+00	.190E-02	.190E-02	.526E-05	.000E+00
		1.07I	.404E-02	.527E-03	.407E-02	.149E-04	-.244E-04
		1.08I	.000E+00	.285E-02	.285E-02	.789E-05	.000E+00
		1.09I	.432E-02	-.185E-02	.470E-02	.140E-04	-.244E-04
9.10	spojka	1.01I	-.424E-01	.448E-01	.617E-01	.276E-03	-.117E-03
		1.02I	.000E+00	-.112E-01	.112E-01	.498E-04	.000E+00
		1.03I	-.229E-01	-.513E-01	.562E-01	.252E-03	.117E-03
		1.04I	.000E+00	-.279E-01	.279E-01	.124E-03	.000E+00
		1.05I	.000E+00	-.279E-01	.279E-01	.124E-03	.000E+00
		1.06I	.000E+00	-.558E-02	.558E-02	.249E-04	.000E+00
		1.07I	-.105E-01	.214E-02	.107E-01	.478E-04	-.600E-04
		1.08I	.000E+00	-.837E-02	.837E-02	.373E-04	.000E+00
		1.09I	-.114E-01	.911E-02	.146E-01	.653E-04	-.600E-04

DEFORMACE v obecnych zateznych mistech

Souhmoti : 1.00 pocet OZM : 1

O Z M poradi	ms.zs	I	vypoctene hodnoty pruhyb ux[mm]	pruhyb uy[mm]	pruhyb uo[mm]	natoceni fio[rad]	natoceni fik[rad]
1.	1.01	I	-.424E-01	.448E-01	.617E-01	.276E-03	-.117E-03
	1.02	I	.000E+00	-.112E-01	.112E-01	.498E-04	.000E+00
	1.03	I	-.229E-01	-.513E-01	.562E-01	.252E-03	.117E-03
	1.04	I	.000E+00	-.279E-01	.279E-01	.124E-03	.000E+00
	1.05	I	.000E+00	-.279E-01	.279E-01	.124E-03	.000E+00
	1.06	I	.000E+00	-.558E-02	.558E-02	.249E-04	.000E+00
	1.07	I	-.105E-01	.214E-02	.107E-01	.478E-04	-.600E-04
	1.08	I	.000E+00	-.837E-02	.837E-02	.373E-04	.000E+00
	1.09	I	-.114E-01	.911E-02	.146E-01	.653E-04	-.600E-04

DEFORMACE v loziskach
****

Souhmoti : 1.00 pocet lozisek : 3

l o z i s k o oznaceni	typ	mst.zs	I vypoctene hodnoty natoceni fio [rad]
NN3932	r. val.dr.	1.01	.1255E-03
		1.02	.2402E-04
		1.03	.1083E-03
		1.04	.6004E-04
		1.05	.6004E-04
		1.06	.1201E-04
		1.07	.3020E-04
		1.08	.1801E-04
		1.09	.3033E-04
180TAC29D	a. kul.os.ks	1.01	.1325E-03
		1.02	.2515E-04
		1.03	.1155E-03
		1.04	.6288E-04
		1.05	.6288E-04
		1.06	.1258E-04
		1.07	.2674E-04
		1.08	.1886E-04
		1.09	.3115E-04
NN3936	r. val.dr.	1.01	.1994E-03
		1.02	.3680E-04
		1.03	.1787E-03
		1.04	.9200E-04
		1.05	.9200E-04
		1.06	.1840E-04
		1.07	.3631E-04
		1.08	.2760E-04
		1.09	.4678E-04

maximalni NAPETI

Souhmoti : 1.00

mst. [-]	zs.I [-]	I	c. rezu [-]	souradnice z[mm]	napeti sigr[Mpa]
1	1	I	9	504.0	28.1
1	2	I	9	504.0	6.2
1	3	I	9	504.0	25.5
1	4	I	9	504.0	11.7
1	5	I	9	504.0	9.9
1	6	I	9	504.0	2.0
1	7	I	9	504.0	5.2
1	8	I	9	504.0	3.2
1	9	I	9	504.0	6.6

Maximalni DEFORMACE a NAPETI

Souhmoti : 1.00

velicina		: m.st.	stav	poradi	hodnota
pruhyb uo v ZZM	[mm] :	1	1	3	.617E-01
natoceni fio v ZZM	[rad] :	1	1	3	.276E-03
natoceni fio v lozisku	[rad] :	1	1	3	.199E-03
napeti	[MPa] :	1	1	9	28.1

ÉÍÍ»
Ş

Dynamicka kontrola loziska NN3936
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (dynamicky) loziska	:	32.04 [-]
Trvanlivost loziska	:	640708. [hod]
Potrebna unosnost pro loz. stejneho typu	:	120168. [N]
Bezpecnost proti preotackovani	:	2.60 [-]

Staticka kontrola loziska NN3936
(vyrobce NSK)

Koeficient bezpecnosti (staticky) loziska	:	11.10 [-]

Lozisko staticky vyhovuje pro vsechny druhy provozu .

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

		kolo 8	kolo 7
zadane parametry			
pocet zubu		47	47
normalny modul	[mm]	5.00	
normalny uhel zaberu	[deg]	20.00	
uhel sklonu zubu	[deg]	.00	
jednotkove posunuti		.000	.000
sirka	[mm]	25.00	25.00
souc.vysky hlavy hrebenov.nastroje		1.25	
souc.polomeru zaobleni hreb.nastr.		.38	
material :		14220.4	14220.4
tepelne zpracovani		CEMENT.KAL.	CEMENT.KAL.
jakostni trida		MQ	MQ
pevnost v jadre	[Mpa]	785.	785.
mez kluzu	[Mpa]	588.	588.
mez unavy v ohybu	[Mpa]	700.	700.
mez unavy v dotyku	[Mpa]	1270.	1270.
tvrdost v jadre	[Hv]	250.	250.
tvrdost boku	[Hv]	650.	650.
min. tloustka tvrz. vrstvy	[mm]	.94	.94
presnost soukoli		6 - 6 - 5 Dh/III	
str.aritm.uchyl.profilu(drsnost)	[mkm]	1.60	1.60

soubor zatezovacich stavu na kole 8

mk [Nm]	n [1/min]	tau[hod]
zakladni smysl toceni		
.00	-76.00	1400.00
.00	-76.00	2600.00
.00	76.00	700.00
.00	-76.00	1300.00
.00	-323.00	5000.00
.00	-1617.00	2000.00
.00	-249.00	3900.00
-794.70	-249.00	2100.00
-794.70	-249.00	1000.00
opacny smysl toceni		

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

vysledne hodnoty

	kolo 8	kolo 7
smerodatne zatizeni		
moment [Nm]		
ohyb	794.7	794.7
dotyk	681.3	681.3
obvodova rychlost [m/s]		
ohyb	3.064	3.064
dotyk	.935	.935
soucinitele bezpecnosti :		
ohyb	4.90	4.77
dotyk	1.98	1.98
kontrola pro jednoraz.max. zatizeni (staticky)		
soucinitele bezpec. pro jednor. zatizeni		
ohyb	10.64	10.60
dotyk	3.80	3.80

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

		kolo 6	kolo 5
zadane parametry			
pocet zubu		72	22
normalny modul	[mm]	5.00	
normalny uhel zaberu	[deg]	20.00	
uhel sklonu zubu	[deg]	.00	
jednotkove posunuti		.000	.367
sirka	[mm]	45.00	50.00
souc.vysky hlavy hrebenov.nastroje		1.25	
souc.polomeru zaobleni hreb.nastr.		.38	
material :		14220.4	14220.4
tepelne zpracovani		CEMENT.KAL.	CEMENT.KAL.
jakostni trida		MQ	MQ
pevnost v jadre	[Mpa]	785.	785.
mez kluzu	[Mpa]	588.	588.
mez unavy v ohybu	[Mpa]	700.	700.
mez unavy v dotyku	[Mpa]	1270.	1270.
tvrdost v jadre	[Hv]	250.	250.
tvrdost boku	[Hv]	650.	650.
min. tloustka tvrz. vrstvy	[mm]	.67	.67
presnost soukoli		7 - 7 - 5 Dh/III	
str.aritm.uchyl.profilu(drsnost)	[mkm]	1.60	1.60

soubor zatezovacich stavu na kole 6

mk [Nm]	n [1/min]	tau[hod]
zakladni smysl toceni		
.00	-76.00	2600.00
2600.00	76.00	700.00
.00	-76.00	1300.00
.00	-323.00	5000.00
.00	-1617.00	2000.00
.00	-249.00	2100.00
.00	-249.00	3900.00
.00	-249.00	1000.00
opacny smysl toceni		
-2600.00	-76.00	1400.00

pevnostni vypocet celnich ozubenych kol s vnejsim ozubenim

vysledne hodnoty

	kolo 6	kolo 5
smerodatne zatizeni		
moment [Nm]		
ohyb	2600.0	794.4
dotyk	2600.0	794.4
obvodova rychlost [m/s]		
ohyb	1.433	1.433
dotyk	1.433	1.433
soucinitele bezpecnosti :		
ohyb	3.42	3.83
dotyk	1.83	1.60
kontrola pro jednoraz.max. zatizeni (staticky)		
soucinitele bezpec. pro jednor. zatizeni		
ohyb	7.29	8.03
dotyk	2.85	2.80

ÉÍÍÍ

8	SROUB M5 x 20	CSN 02 1143			0.005			20
1	POJISTNA MATICE KMT 32	SKF			1.958			19
1	VIKO 3 KR 320-40	DIN 7527	12 050		4.514		02019	18
1	LABYRINT 2 KR 320-70	DIN 7527	12 050		3.831		02018	17
2	POJISTNA MATICE KMT 34	SKF			2.032			16
1	LOZISKO MN 3932 MB KR E44 CC0 P4	NSK			4.284			15
1	OZUBENE KOLO 8 KR 250-80	DIN 1013	14 220		6.038		02016	14
1	OZUBENE KOLO 6 KR 400-120	DIN 1013	14 220.4		26.644		02015	13
1	DISTANCNI KROUZEK 2 TR 219x25-40	CSN 42 5715	11 523		1.620		02014	12
1	PERO 16x10x165	CSN 02 2562	11 600		0.193			11
1	DISTANCNI KROUZEK TR 273x20-25	CSN 42 5715	11 523		0.726		02012	10
1	LOZISKO 180TAC29+L C7	NSK			10.773			9
1	LOZISKO NN 3936 MB KR E44 CC0 P4	NSK			6.597			8
3	ZASLEPKA E2071/8	MEUSBURGER			0.003			7
1	VIKO 2 P 45 KR 370	CSN 42 5310	11 500		13.674		02008	6
1	LABYRINT 1 TR KR 245x32-45	CSN 42 5715	11 523		2.319		02007	5
1	DISTANCNI KROUZEK TR KR 219x20-10	CSN 42 5715	11 523		0.228		00103	4
1	VRETENO KR 320-900	DIN 7527-6	12 050.7		66.719		02005	3
1	VIKO 1 P 15 KR 290	CSN 42 5310	11 500		2.019		02009	2
1	SKRIN OBROBEK	ODLITEK	CSN 42 2430		531.767		02002	1
Pocet kusu	Název - rozmer	Polotovar	Material	T.odp.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo výkresu	Poz.
Quan-tity	Title - size	Blank	Material		Weight	Raw weight	Drawing No.	Pos.

	Datum	Jmeno/Name		Datum	Name
Kreslil /DWN.	29-Apr-14	Pusman	Techno-log/ist		
Prezk. /CHK			Prezk. /CHK		
Schval. /APP			Schval. /APP		

Index/No.	Schvalil/Appr.	popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name

OPVK ENGINEERING

Vsechna prava vyhrazena/ All rights reserved

Poznamka/Note:

C.hmotnost sestavy/ Asm. weight: 783.321

Methode 1 ISO 128

TOLERANCE/ TOLEROVANI ISO 80015 ISO 2768mK

Soubor-model/ASM-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Soubor-vykres/DRW-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Meritko SCALE 2:5

C.sestavy / Assembly No.: 00002

Typ/Type: SU840

Nazev / Title

VRETENIK HLAVNI POHON

CISLO VYKRESU /DRAWING NO. 00100

list/sheet 3 pocet listu/ no.sheets 7

Format SIZE 4

1	O-KROUZEK 7x2	TRELLEBORG	NBR70		0.001			40
1	O-KROUZEK 2.5x115	TRELLEBORG	NBR70		0.003			39
1	POJISTNA PODLOZKA 2 P 1-80x60	CSN 42 5310	11 500		0.021		02039	38
1	POJISTNA PODLOZKA 1 KR 80x15	CSN 42 5510	11 500		0.248		02038	37
1	VIKO 1 KR 170-40	CSN 42 5510	11 500		1.913		02037	36
1	REMENICE 2 KR 180-120	CSN 42 5510	11 500		15.902		02036	35
1	PERO 16x10x60	CSN 02 2562	11 600		0.068			34
1	LABYRINT 4 KR 110-40	CSN 42 5510	11 500		0.805		02034	33
1	LOZISKO 21311EAE4	NSK			1.622			32
1	DISTANCNI TRUBKA TR 76x12.5-40	CSN 42 5715	11 523		0.431		02032	31
1	POJISTNY KROUZEK 50	CSN 02 2930			0.011			30
3	LOZISKO NUP 210EW	NSK			0.480			29
1	OZUBENE KOLO 3 KR 100-70	DIN 1013	14 220		1.598		02029	28
1	PERO 16x10x50	CSN 02 2562	11 600		0.056			27
1	HRIDEL 2 KR 70-330	CSN 42 5510	11 600.7		5.579		02027	26
2	POJISTNY KROUZEK 90	CSN 02 2931			0.036			25
8	SROUB M12 x 40	CSN 02 1143			0.052			24
12	SROUB M8 x 20	CSN 02 1143			0.015			23
1	O KROUZEK 4x260	TRELLEBORG	NBR 70		0.014			22
1	O KROUZEK 3x215	TRELLEBORG	NBR 70		0.008			21
Pocet kusu	Název - rozmer	Polotovar	Material	T.odp.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo výkresu	Poz.
Quan-tity	Title - size	Blank	Material		Weight	Raw weight	Drawing No.	Pos.

	Datum	Jmeno/Name		Datum	Name
Kreslil /DWN.	29-Apr-14	Pusman	Techno-log/ist		
Prezk. /CHK			Prezk. /CHK		
Schval. /APP			Schval. /APP		

Index/No.	Schvalil/Appr.	popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name

OPVK ENGINEERING

Vsechna prava vyhrazena/ All rights reserved

Poznamka/Note:

C.hmotnost sestavy/ Asm. weight: 783.321

Methode 1 ISO 128

TOLERANCE/ TOLEROVANI ISO 80015 ISO 2768mK

Soubor-model/ASM-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Soubor-vykres/DRW-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Meritko SCALE 2:5

C.sestavy / Assembly No.: 00002

Typ/Type: SU840

Nazev / Title

VRETENIK HLAVNI POHON

CISLO VYKRESU /DRAWING NO. 00100

list/sheet 4 pocet listu/ no.sheets 7

Format SIZE 4

1	LINEARN AKTUATOR LD2-12-30-100-IP54.C3x	MOTECK			2.035	0.000		60
7	SROUB M6 x 16	CSN 02 1143			0.007			59
1	O-KROUZEK 2.5x62	TRELLEBORG	NBR70		0.010			58
1	O-KROUZEK 2.5x25	TRELLEBORG	NBR70		0.005			57
1	VIKO 5 KR 70-15	42 5510	11 500		0.225		02057	56
1	SROUB M6 x 8	DIN 914			0.002			55
1	POUZDRO 2 KR 30-30	CSN 42 6450	CSN 42 3016		0.048		02055	54
1	POUZDRO 1 KR 40-25	CSN 42 6450	CSN 42 3016		0.051		02054	53
1	O-KROUZEK 3xx85	TRELLEBORG	NBR70		0.004			52
1	VIKO 6 KR 130-30	CSN 42 5510	11 500		1.222		02052	51
1	POJISTNY KROUZEK 95	CSN 02 2930			0.050			50
1	OZUBENE KOLO 7 KR 250-70	DIN 1013	14 220.4		7.837		02051	49
2	PERO 10x8-48	CSN 02 2562	11 600		0.028			48
1	OZUBENE KOLO 5 KR 125-135	DIN 1013	14 220.4		3.309		02049	47
1	O-KROUZEK 3.5x92	TRELLEBORG	NBR70		0.005			46
1	VIKO 4 KR 100-45	CSN 42 5510	11 500		1.558		02047	45
1	OZUBENE KOLO 4 KR 230-70	DIN 1013	14 220.4		7.597		02046	44
2	POJISTNY KROUZEK 78	DIN 471						43
1	HRIDEL 3 KR 80-450	DIN 1013	14 220.4		12.860		02044	42
1	SROUB M8 x 10	DIN 916			0.003			41
Pocet kusu	Název - rozmer	Polotovar	Material	T.odp.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo výkresu	Poz.
Quan-tity	Title - size	Blank	Material		Weight	Raw weight	Drawing No.	Pos.

	Datum	Jmeno/Name		Datum	Name
Kreslil /DWN.	29-Apr-14	Pusman	Techno-log/ist		
Prezk. /CHK			Prezk. /CHK		
Schval. /APP			Schval. /APP		

Index/No.	Schvalil/Appr.	popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name

OPVK ENGINEERING

Vsechna prava vyhrazena/ All rights reserved

Poznamka/Note:

C.hmotnost sestavy/ Asm. weight: 783.321

Methode 1 ISO 128

TOLERANCE/ TOLEROVANI ISO 80015 ISO 2768mK

Soubor-model/ASM-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Soubor-vykres/DRW-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Meritko SCALE 2:5

C.sestavy / Assembly No.: 00002

Typ/Type: SU840

Nazev / Title

VRETENIK HLAVNI POHON

CISLO VYKRESU /DRAWING NO. 00100

list/sheet 5 pocet listu/ no.sheets 7

Format SIZE 4

Pocet kusu	Název - rozmer	Polotovar	Material	T.odp.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo výkresu	Poz.
Quan-tity	Title - size	Blank	Material		Weight	Raw weight	Drawing No.	Pos.
1	3SE5212-0CE10	SIEMENS			0.001			81
2	POJISTNY KROUZEK 50	CSN 02 2930			0.011			80
1	L-PROFIL L 30x20x3-280	CSN 42 5545	11 373		0.272		02110	79
14	SROUB M6 x 16	DIN 7991-A			0.005			78
1	HORNI VIKO P 5-505x645	CSN 42 5310	11 375		11.774		02083	77
2	KUZELOVY KOLIK 12 x 50	DIN 7978			0.045			76
4	SROUB M12 x 35	CSN 02 1143			0.048			75
1	STREDOVA VZPERA ----	SVARENEC			10.986		00124	74
4	PODLOZKA 6	CSN 02 1740			0.001			72
1	VIDLICE ----	SVARENEC			2.091	0.000	00122	71
1	PERO 6x6x36	CSN 02 2562	11 600		0.010			70
2	POJISTNY KROUZEK 25	CSN 02 2930			0.003			69
2	MATICE M6	CSN 02 1401			0.002			68
1	SROUB M6 x 50	CSN 02 1143			0.015			67
1	CEP 8x40x2	ISO 2341-B			0.018			66
1	TYC KR 25-411	BOGNER	11 523		1.577		02065	65
1	SPOJKA OBD 35x15	CSN 42 5522	11 375		0.446		02065	64
2	ZAVLACKA 3,2 X 16	CSN 02 1781			0.002			63
1	CEP 8x28x2	ISO 2341-B			0.014			62
1	KONZOLE RAZENI P 2 60x100	CSN 42 5301	11 500		0.063		02062	61

	Datum	Jmeno/Name		Datum	Name
Kreslil /DWN.	29-Apr-14	Pusman	Techno-log/ist		
Prezk. /CHK			Prezk. /CHK		
Schval. /APP			Schval. /APP		

Index/No.	Schvalil/Appr.	popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name

OPVK ENGINEERING

Vsechna prava vyhrazena/ All rights reserved

Poznamka/Note:

C.hmotnost sestavy/ Asm. weight: 783.321

Methode 1 ISO 128

TOLERANCE/ TOLEROVANI ISO 80015 ISO 2768mK

Soubor-model/ASM-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Soubor-vykres/DRW-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Meritko SCALE 2:5

C.sestavy / Assembly No.: 00002

Typ/Type: SU840

Nazev / Title

VRETENIK HLAVNI POHON

CISLO VYKRESU /DRAWING NO. 00100

list/sheet 6 pocet listu/ no.sheets 7

Format SIZE 4

Pocet kusu	Název - rozmer	Polotovar	Material	T.odp.	C.hmot.	Hr.hmot.	Cislo výkresu	Poz.
Quan-tity	Title - size	Blank	Material		Weight	Raw weight	Drawing No.	Pos.
10	SROUB M5 x 8	DIN 7991-A			0.002			89
1	OBLOZENI P 20-80x160	ENSINGER	PA 6		0.053		02074	88
1	SROUB M16 x 45	CSN 21101			0.105			87
3	ZASLEPKA E2071/10	MEUSBURGER			0.006			86
4	MATICE M4	CSN 02 1401			0.001			85
4	PODLOZKA 4	CSN 02 1740			0.001			84
4	SROUB M4 x 35	CSN 02 1143			0.005			83
4	PODLOZKA 4,3	CSN 02 1702			0.001			82
1	3SE5212-0CE10	SIEMENS			0.085			81

	Datum	Jmeno/Name		Datum	Name
Kreslil /DWN.	29-Apr-14	Pusman	Techno-log/ist		
Prezk. /CHK			Prezk. /CHK		
Schval. /APP			Schval. /APP		

Index/No.	Schvalil/Appr.	popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name

OPVK ENGINEERING

Vsechna prava vyhrazena/ All rights reserved

Poznamka/Note:

C.hmotnost sestavy/ Asm. weight: 783.321

Methode 1 ISO 128

TOLERANCE/ TOLEROVANI ISO 80015 ISO 2768mK

Soubor-model/ASM-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Soubor-vykres/DRW-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Meritko SCALE 2:5

C.sestavy / Assembly No.: 00002

Typ/Type: SU840

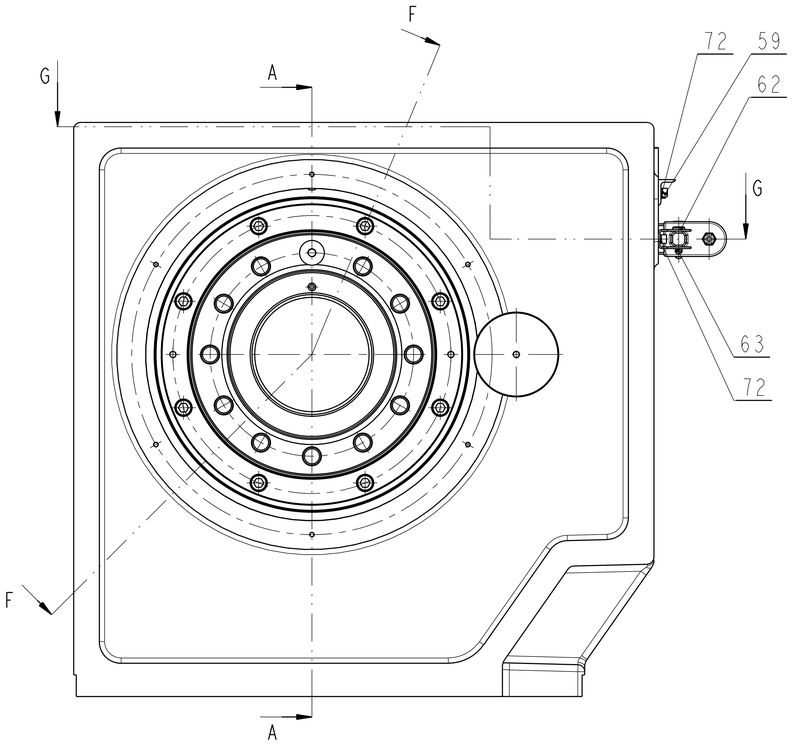
Nazev / Title

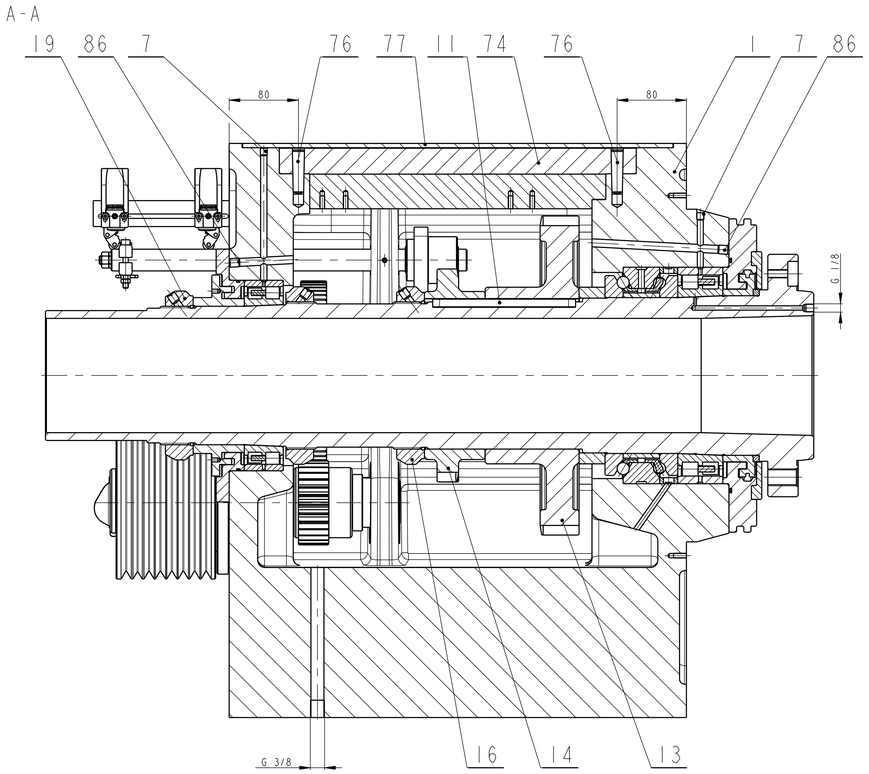
VRETENIK HLAVNI POHON

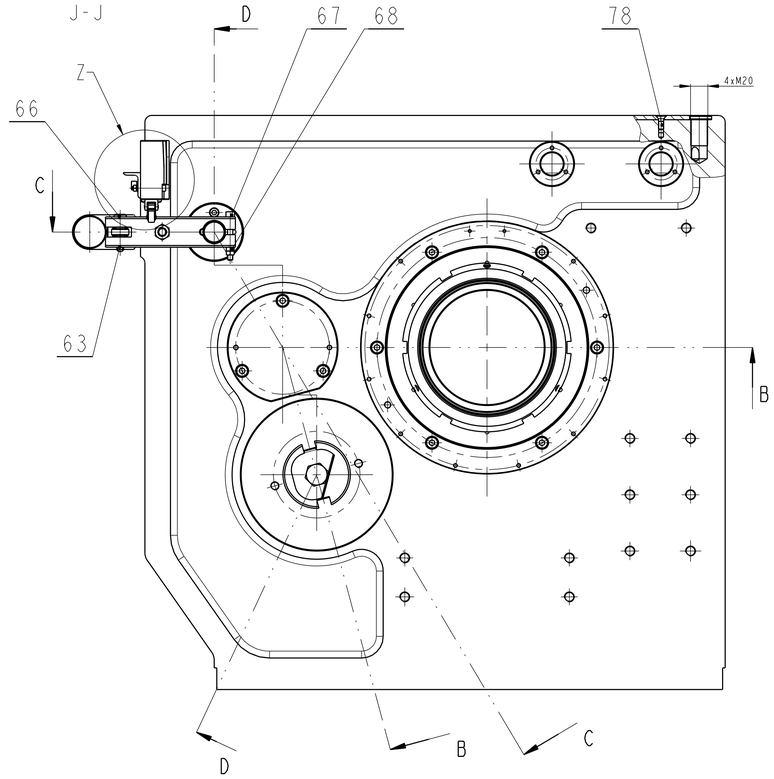
CISLO VYKRESU /DRAWING NO. 00100

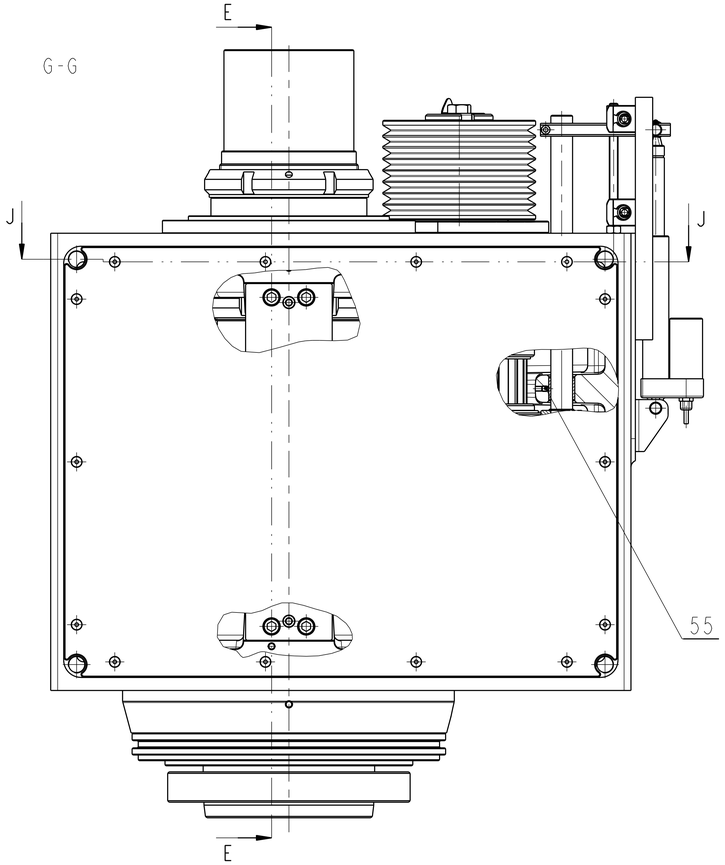
list/sheet 7 pocet listu/ no.sheets 7

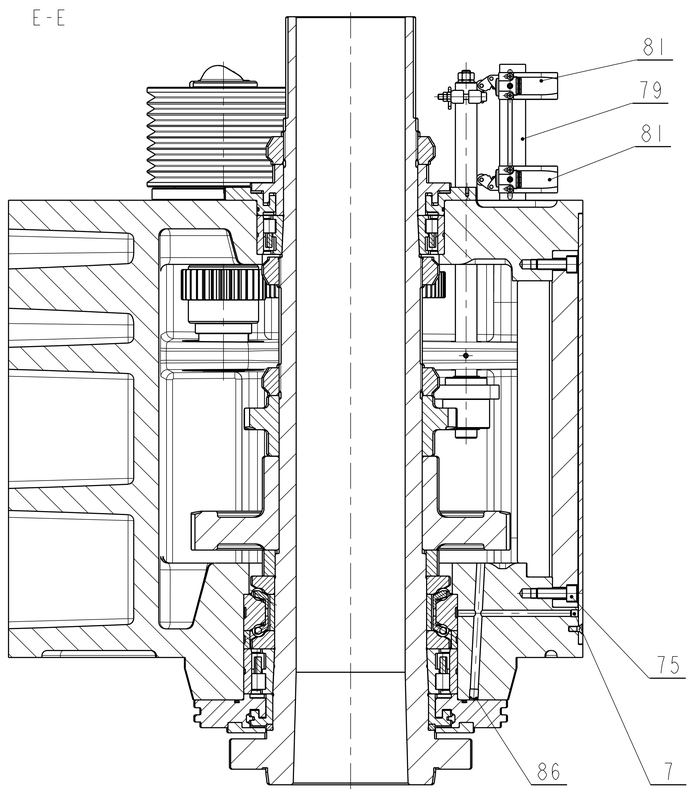
Format SIZE 4

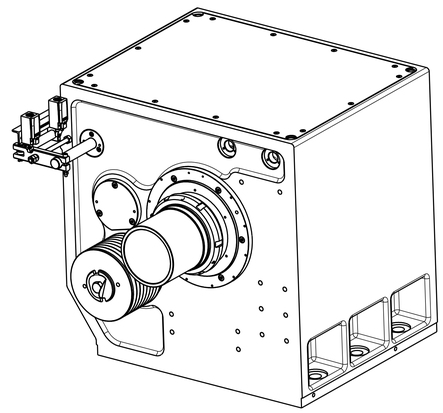


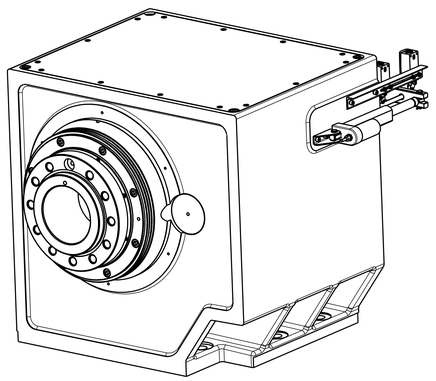


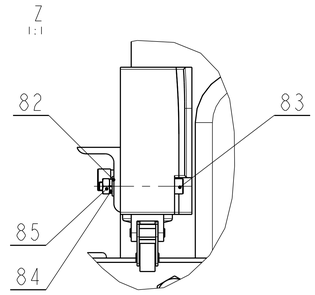












PORADI MONTAZE:

1) VRETENO POZ. 3
2) HRIDEL 2 POZ. 26
3) HRIDEL 3 POZ. 42

POSTUP MONTAZE:

* LICOVAT PRI MONTAZI

1. VYMEZIT VULE V LOZISKACH POZ. 8, POZ. 15 NA 0.02 MM PRI MOTAZI
2. PO USTAVENI ZAKOLIKOVAT POZ. 74 A POZ. 1 KOLIKEM POZ. 76

	Datum	Jmeno/Name		Datum	Name
Kresli/DRAWN	24-Apr-14	Pusman	Technol./PROCESS		
Kontr./CHK			Kontr./CHK		
Schválil/APP			Schválil/APP		

Index/No.	Schválil/Appr.	popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name

Poznamka/Note:

OPVK ENGINEERING — Vsechna prava vyhrazena dle CSN ISO 16016

Hmotnost sestavy/ Asm. weight			783.321
C.sestavy / Assembly No.			00002
Typ/Type			SU840
Format/SIZE			0

Metoda/ISO 128 — TOLERANCE/TOLEROVANI: ISO 8015, ISO 2768mK

Soubor-model/ASM-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

Soubor-vykres/DRW-file: SU840-A002-VRET_HL_POHON-00100

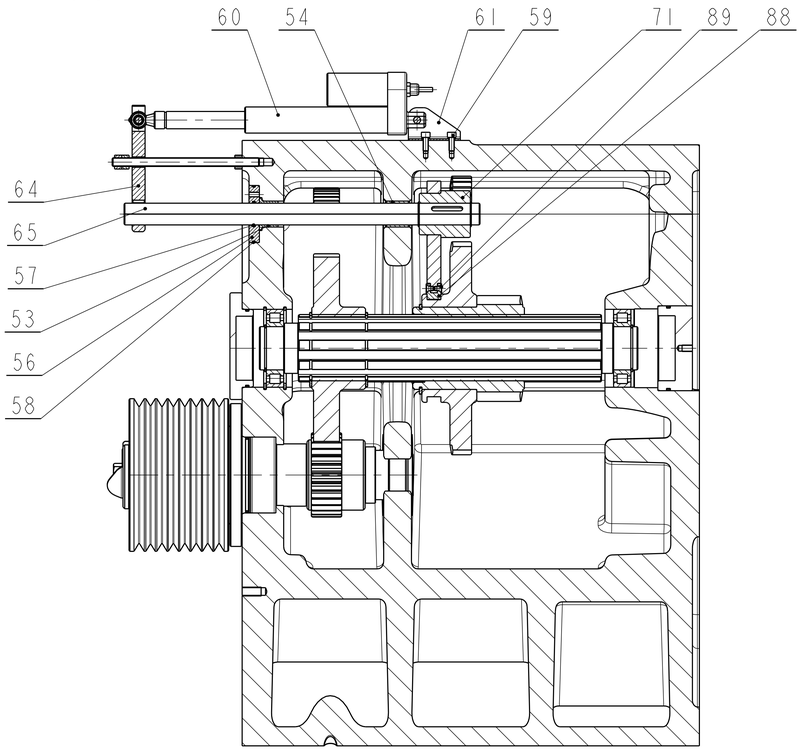
Meritko/SCALE: 2:5

Nazev / Title: VRETENIK HLAVNI POHON

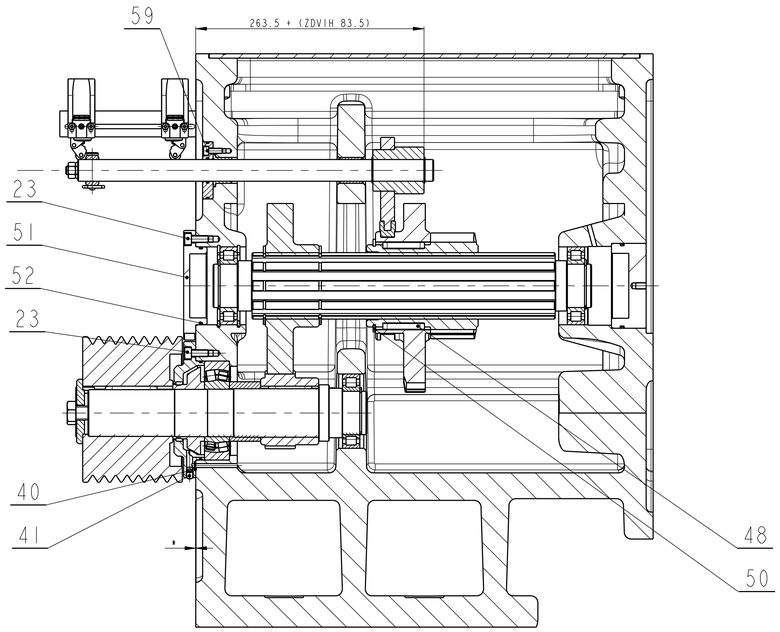
CISLO VYKRESU /DRAW.NO. NO.: 00100

list/sheet 1 — pocet listu/no.sheets 1

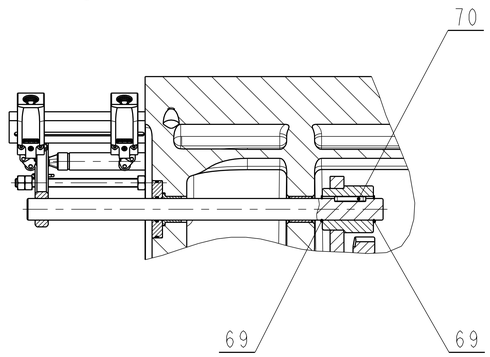
C-C



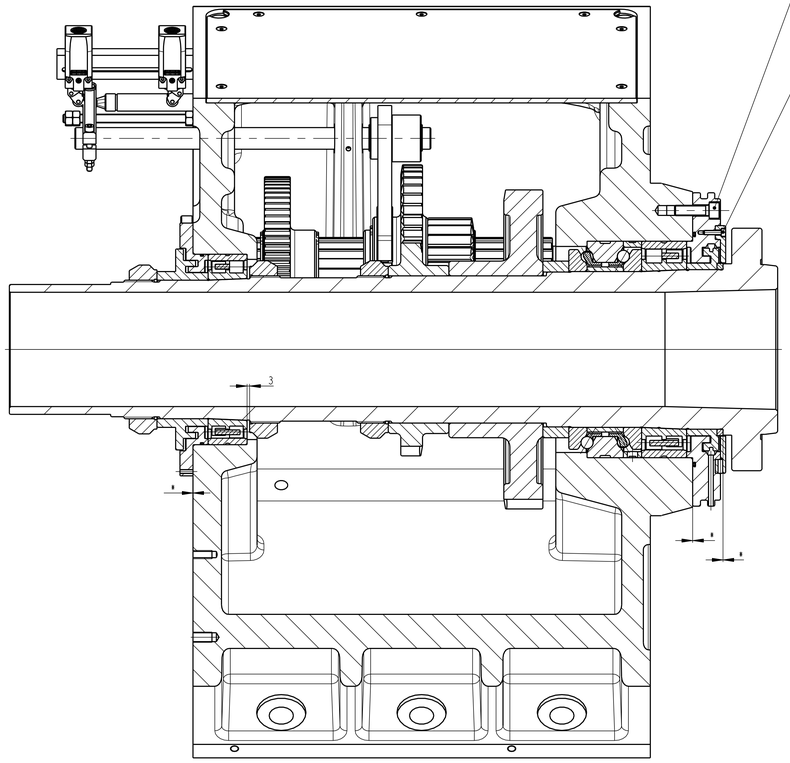
D-D



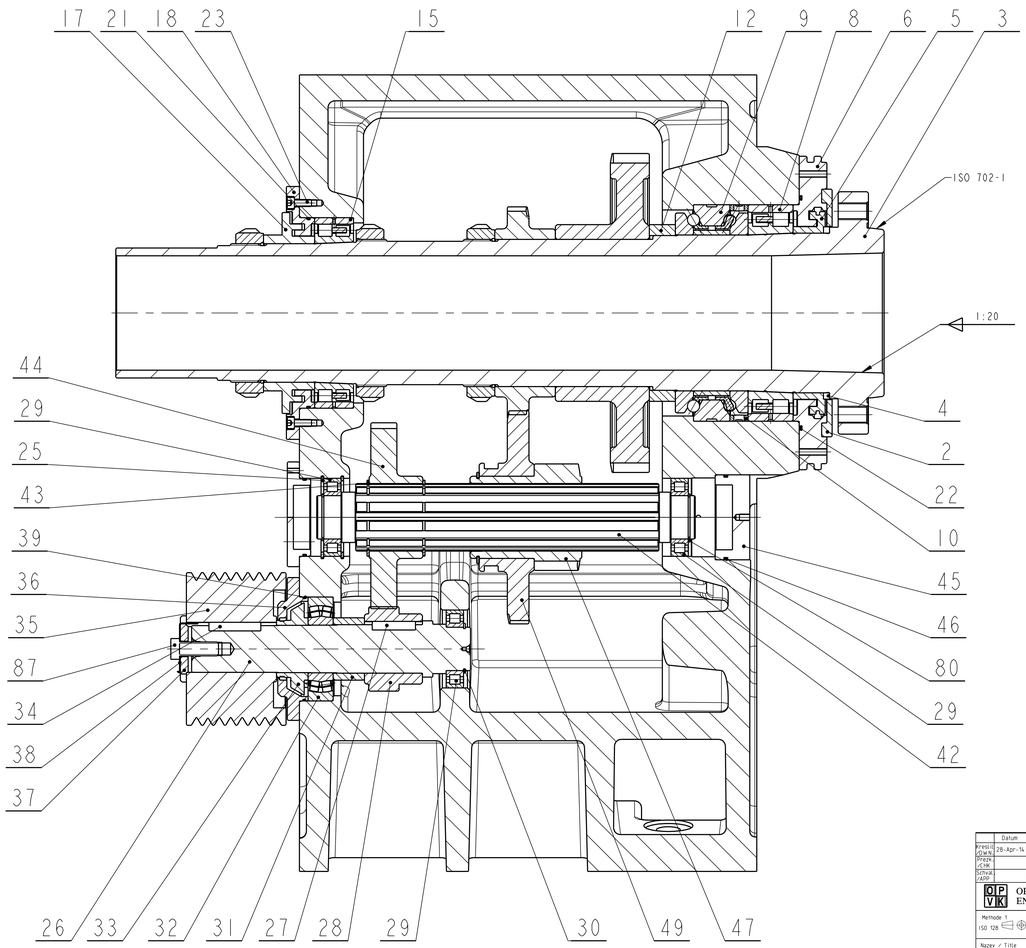
H-H



F-F



B-B



	Datum	Jméno/Name		Datum	Name				
Kreslil /Drawn	28-Apr-14	Puchan	Techno-log/Tech						
Přezk./Chk			Přezk./Chk						
Schválil /Appr			Schválil /Appr						
						index/No	Schválil/Appr.	popis změny/change	Datum	Podpis/Name
						Poznámka/Note:				

OPVK ENGINEERING

Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved

Metoda / ISO 128	TOLERANCE / TOLEROVÁNÍ ISO 8015, ISO 2768mK	Soubor-model/ASM-file	SUB40-A002-VRET_HL_POHON-00100
		Soubor-výkres/DRW-file	SUB40-A002-VRET_HL_POHON-00100

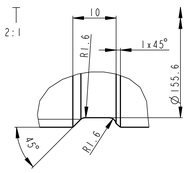
Měřítko / SCALE	2:5
Č.zástavby / Assembly No.	00002
Typ/Type	SUB40
Č.ISO výkresu /DRAW.ING. NO.	00100
list/sheet 2	počet listů/no.sheets 7

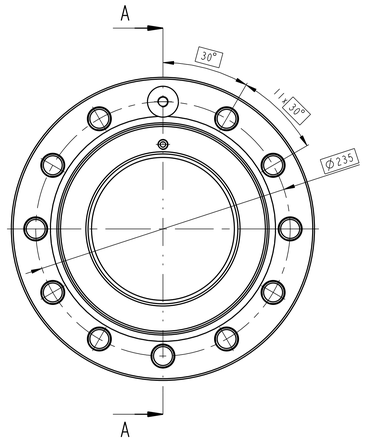
Název / Title: **VRETENIK HLAVNI POHON**

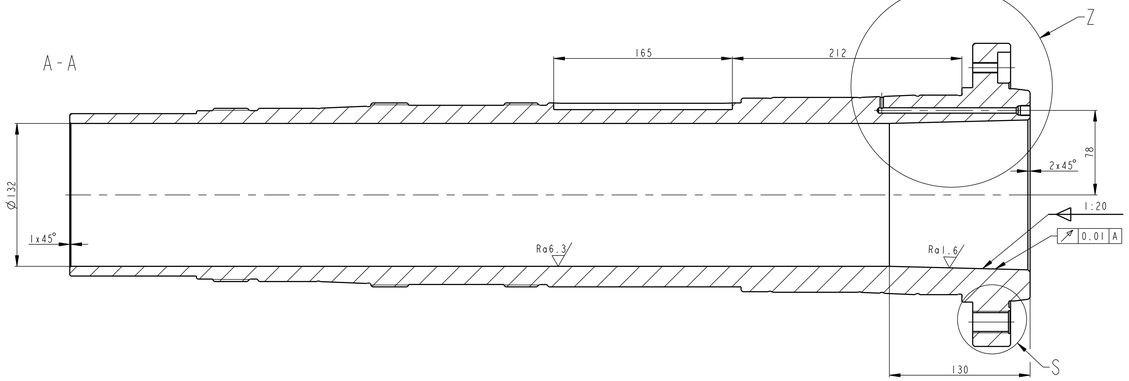
Č.množ.sestavy/ Asm. weight: 783.321

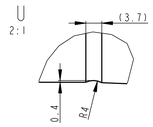
Format / SIZE: 0

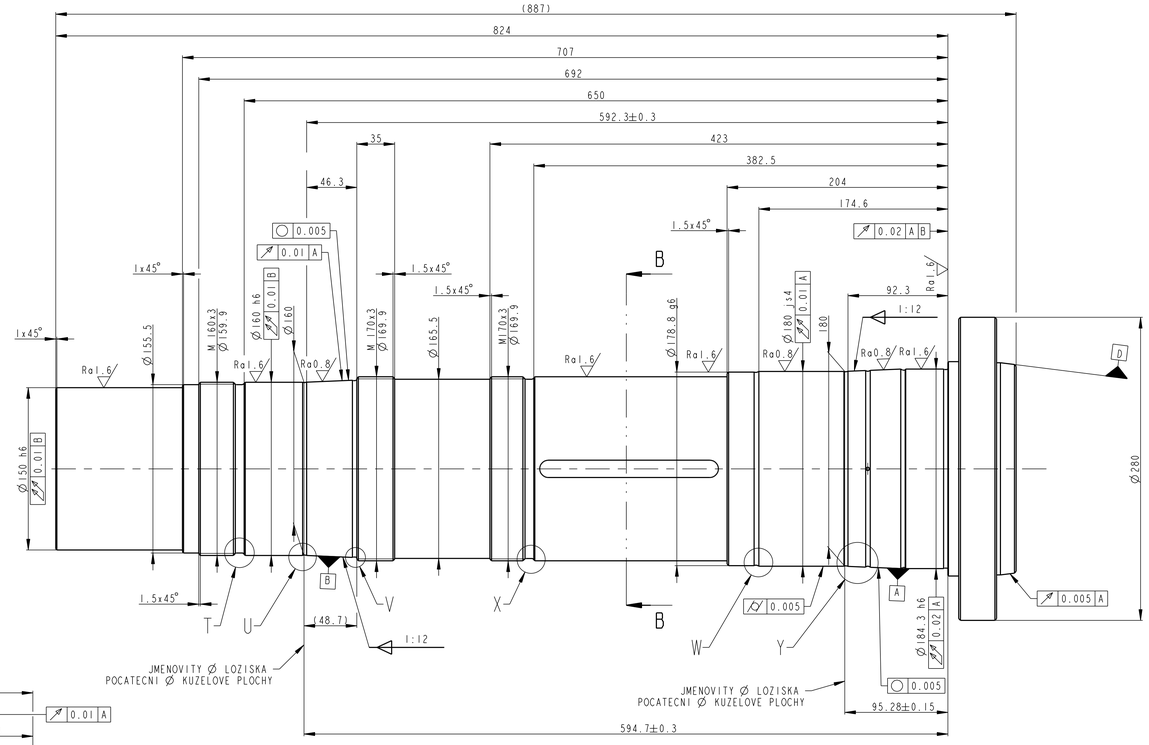
Ra 3.2

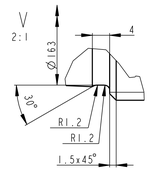


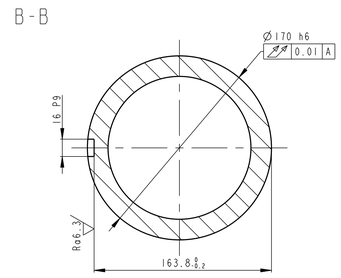


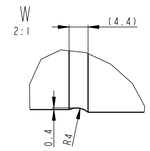


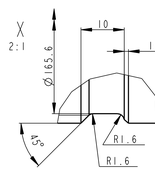


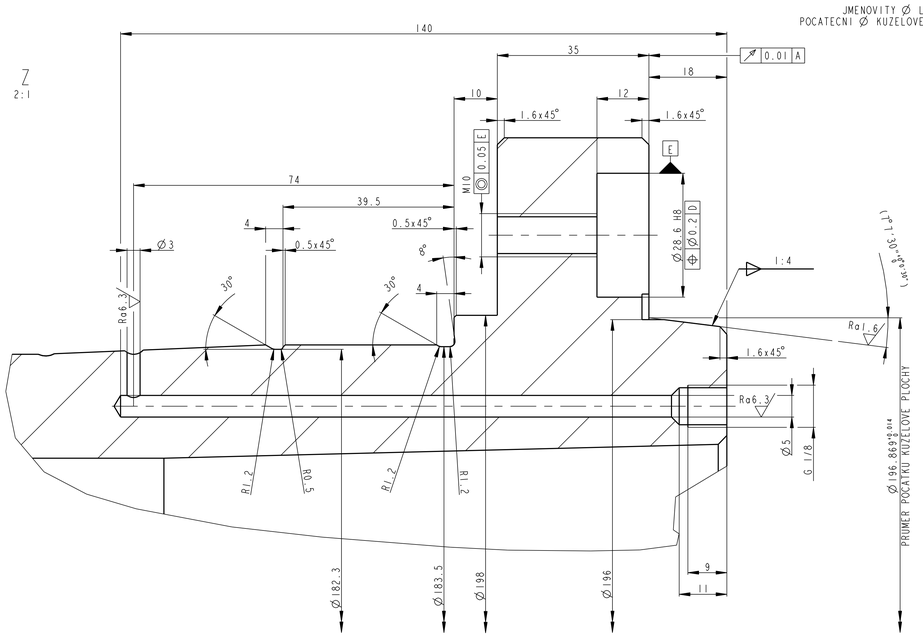


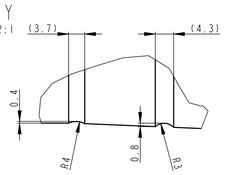


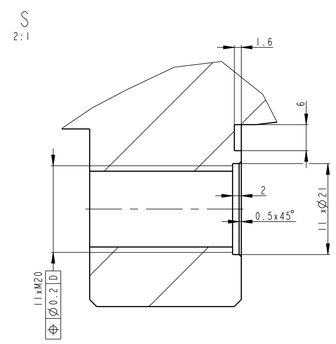


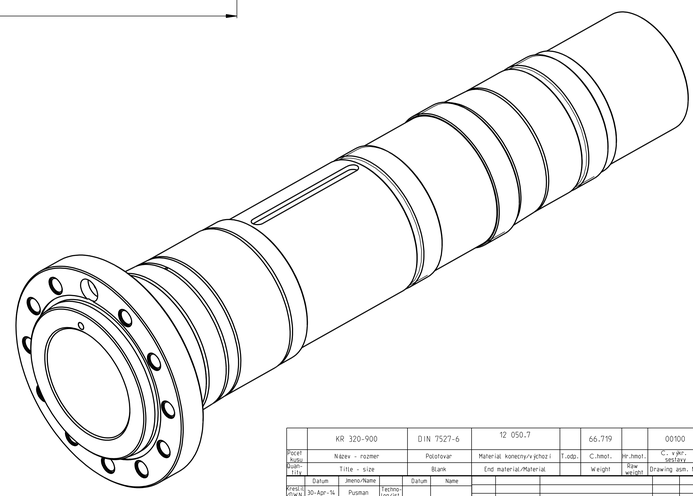












	KR 320-900		DIN 7527-6	12 050.7		66.719		00100	3
Počet kusů / Quantity	Název - rozměr / Title - size		Polotovar / Blank	Materiál, konečný výchozí / End material, Material	T.odp.	C.hmot. / Weight	Hr.hmot. / Raw weight	C. výkr. sestavy / Drawing asm. No.	Poz. / Pos.
	Datum	Jméno / Name	Datum	Podpis / Name					
Kreslil / DWN.	30-Apr-14	Puskas							
Převzal / CHK									
Schválil / APP									
Index/No.	Schválil/Appr.	popis změny/change					Datum	Podpis/Name	
Poznámka/Note:									

OPVK ENGINEERING

Všechna práva vyhrazena/ All rights reserved

Metoda / ISO 128	TOLERANCE / TOLEROVANI ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model/PART-file	Měřítko / SCALE 1:2	C.sestavy / Assembly No. 00100
		Soubor-výkres/DRW-file SUB40-A102-VRETENO-02005		Typ/Type SUB40
Název / Title	VRETENO		ČÍSLO VÝKRESU / DRW NO. 02005	Formát / SIZE A0
			list/sheet 1	počet listů / no.sheets 1

Ra6.3

CELNI OZUBENI		
Ozubeni (CELNI KUZELOVE)		celni
Zuby(PRIME,SIKME,SIPOVE)		prime
Pocet zubu	z	72
Modul	m	5
Nastroj uhel profilu	alfa	20°
Profil		CSN 014607
Vyska hlavy nastroje	hxf	1.25 x m=6.25
Uhel sklonu zubu	beta	
Smysl stoupani		
Jednotkove posunuti	x	-0.1367
Jednotk. zmena tl. zubu	xt	
Stupen presnosti		7-7-5-Dh/III
kontr. rozmer: Tloustka zubu na tetive		$6.50^{-0.074}_{-0.138}$
kontr. rozmer: vyska hl. zubu nad tet.		3.12
kontr. rozmer: pres 9 zubu	W	$130.04^{-0.070}_{-0.130}$
kontr. rozmer: pres valecky Ø 8	M	$368.44^{-0.242}_{-0.338}$
Spoluzabirajici kolo: c. vykr.		02049
Spoluzabirajici kolo: pocet zubu	z	22
Modul celni	mt	5
Prumer zakl. kruznice	db	338.29
Uhel sklonu na zakl. valci		
Uhel os		0
Vzdalenost os	aw	$236.00^{+0.035}_{-0.035}$
Prumer rozt. kruznice	D	360
Prumer patni kruznice	Df	346.13
Prumer hlavove kruznice	Da	368.6
Mezni obvodove hazeni		0.056

A

16 P9

3.2Ra

Ra3.2

P

R0.6

R0.6

Ø170 H7

Ra3.2

$173.8^{+0.4}_{+0.2}$

A

A - A

10°

1x45°

Ra1.6

X

R10

Y

2x45°

2x45°

0.05 A

0.05 A

Ø310

Ø204

Ø346.13

Ø360 | 0.056 A

Ø368.6 | 0.056 A

Ra3.2

A

Ra3.2

45

3.2Ra

108.5

Y
1:1

2x45°

R10

Ø204

2x45°

POHLED P

Z

X
1:1

Z
2:1

30°

30°

2x45°

2x45°

R2

R2

7

7

ZUBY CEMENTOVANY hl 1,2...1,4 A KALENY HRC 52...58

	KR 400-120		DIN 1013		14 220.4		26.644		00100	13
Pocet kusu	Název - rozmer		Polotovar		Material konecny/výchozí	T.odp.	C.hmot.	Hr.hmot.	C. výkr. sestavy	Poz.
Quantity	Title - size		Blank		End material/Material		Weight	Raw weight	Drawing asm. No.	Pos.

	Datum	Jmeno/Name		Datum	Name
Kreslil /DWN.	27-Mar-14	Pusman	Technolog/ist		
Prezk. /CHK			Prezk. /CHK		
Schval. /APP			Schval. /APP		

Index/No.	Schválil/Appr.	popis zmeny/change	Datum	Podpis/Name

Poznamka/Note:

OPVK ENGINEERING

Vsechna prava vyhrazena/ All rights reserved

Methode 1 ISO 128	TOLERANCE/ TOLEROVANI ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model/PART-file	SU840-A102-OZ_KOLO_6-02015
		Soubor-vykres/DRW-file	SU840-A102-OZ_KOLO_6-02015

Meritko SCALE 1:2

C.sestavy / Assembly No. 00100

Typ/Type SU840

Nazev / Title

OZUBENE KOLO 6

CISLO VYKRESU /DRAWING NO. 02015

Format SIZE 2

list/sheet 1 pocet listu/ no.sheets 1