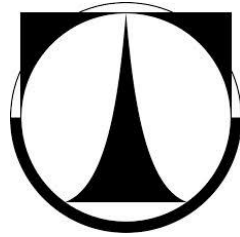


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



Šnekový lis na olejninu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Šnekový lis na olejninu

Bakalářská práce

Studijní program: B2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301R000 – Strojní inženýrství

Autor práce: **Tomáš Král**
Vedoucí práce: Ing. Rudolf Martonka, Ph.D.



ORIGINÁLNÍ ZADÁNÍ

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Poděkování

Velké poděkování patří především mému vedoucímu práce Ing. Rudolfovi Martonkovi, Ph.D. za ochotu, vstřícnost a cenné rady, které mi pomohli při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Petrovi Lepšíkovi, Ph.D. za odborné konzultace a doc. Ing. Zdeňkovi Hudcovi za užitečné rady při navrhování svařované skříně. V neposlední řadě chci poděkovat mé rodině za důvěru a podporu po dobu mého studia.

Abstrakt

Tato práce je zaměřena na konstrukci pohonné jednotky lisu na různé druhy olejnin (například semena řepky olejné, slunečnice) včetně jeho uložení ve svařovaném rámu. V teoretické části je uveden popis jednotlivých součástí mechanismu a nastíněna problematika procesu lisování olejnatých plodin. Součástí bakalářské práce je výpočtová zpráva, 3D model a výkresová dokumentace vybraných dílů. Na vstupní hřídeli byla provedena kontrola metodou konečných prvků v softwarovém prostředí SolidWorks. Součástí bakalářské práce je zjednodušený model samotného lisu na olejniny.

Klíčová slova:

hřídele, ložiska, ozubená kola, pera, řemenový převod, převodová skříň, převodovka

Abstract

This thesis is focused on a construction of an oil press power unit and its implanting in a welded frame. This press can be used for various kinds of oils (eg. seeds of oilseed rape, sunflower). The theoretical part deals with a description of the parts of the mechanism and the outlined problematics of the oil pressing process. In this thesis there are a calculation report, 3D model and a design documentation of chosen parts included. There was made a checkup of the pattern (input, output) arbor and the finite element method in a software environment of SolidWorks was used for it. One of the parts of this thesis is also a simplified model of the oil press itself. The transmission was designed for various kinds of oil.

Keywords:

shafts, bearings, gears, handles, belt transmission, gearbox, transmission

Obsah

Seznam zkratk	10
1 Úvod.....	17
2 Cíl práce	17
3 Teorie lisů.....	18
3.1 Lisování	18
3.2 Technologie lisování.....	18
3.2.1 Lisování za studena	18
3.2.2 Lisování za tepla.....	20
4 Vlastní konstrukce šnekového lisu	20
4.1 Elektromotor	20
4.2 Převodová skříň	21
4.3 Synchronizační spojka	22
4.3.1 Synchronizace	23
5 Konstrukce a výpočtová zpráva mechanismu	25
5.1 Předběžné schéma převodovky	25
5.2 Základní parametry.....	25
5.2.1 Výpočet převodových poměrů a otáček	25
5.2.2 Výpočet převodových poměrů a otáček pro 50% redukci	26
5.3 Kuželové soukolí	26
5.3.1 Výpočet rozměrů kuželového soukolí se šikmými zuby.....	26
5.3.2 Silové poměry kuželového soukolí	30
5.3.3 Pevnostní kontrola ozubení	30
5.4 Čelní soukolí.....	32
5.4.1 Výpočet rozměrů čelního ozubeného soukolí se šikmými zuby	32
5.4.2 Silové poměry čelního soukolí	33
5.4.3 Pevnostní kontrola.....	34
5.4.4 Výpočet rozměrů čelního soukolí se šikmými zuby (redukce 50%).....	37
5.4.5 Silové poměry čelního soukolí	38
5.4.6 Pevnostní kontrola.....	39
5.5 Návrh řemenového převodu	42
5.6 Výpočet složek sil působící na výstupní hřídel	43
5.7 Návrh hřídelů	44
5.7.1 Vstupní hřídel.....	44
5.7.2 Předlohový hřídel	46
5.7.3 Předlohový hřídel (50% redukce).....	49
5.7.4 Výstupní hřídel	51

5.7.5	Výstupní hřídel (50% redukce)	54
5.8	Orientační výpočet průměrů hřídelí:.....	56
5.8.1	Vstupní hřídel	56
5.8.2	Předlohový hřídel	56
5.8.3	Výstupní hřídel	57
5.8.4	Výstupní hřídel - redukce 50%	57
5.8.5	Koncová hřídel	57
5.9	Pevnostní kontrola	58
5.9.1	Pevnostní kontrola vstupní hřídele (pero pod kuželovým kolem 1)	58
5.9.2	Pevnostní kontrola předlohové hřídele (osazení u ložiska)-zápich tvaru G.....	59
5.9.3	Pevnostní kontrola výstupního hřídele (pero pod kuželovým kolem 6)	60
5.10	Výpočet kotoučové spojky	61
5.11	Výpočet potřebné délky náboje na drážkovaném hřídeli.....	62
5.12	Výpočet ložisek.....	63
5.12.1	Vstupní hřídel	63
5.12.2	Předlohový hřídel	64
5.12.3	Výstupní hřídel	66
5.13	Návrh per	68
5.13.1	Vstupní hřídel	68
5.13.2	Předlohový hřídel	68
5.13.3	Výstupní hřídel	69
5.13.4	Pero pod velkou řemenicí.....	69
5.14	Metoda konečných prvků.....	70
5.14.1	Analýza hřídele	70
6	Ekonomické zhodnocení	71
7	Závěr.....	73
	Použitá literatura	75

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1 Jednostupňové lisování</i>	19
<i>Obrázek 2 Dvoustupňové lisování</i>	19
<i>Obrázek 3 Konstrukce šnekového lisu</i>	20
<i>Obrázek 4 Svařovaná skříň</i>	21
<i>Obrázek 5 Odlévaná skříň</i>	22
<i>Obrázek 6 Znázornění funkce synchronizační spojky</i>	23
<i>Obrázek 7 Konstrukce synchronizační spojky 1. a 2. převodového stupně.....</i>	24
<i>Obrázek 8 Schéma převodovky</i>	25
<i>Obrázek 9 Vektorový diagram sil působící na řemenici</i>	43
<i>Obrázek 10 Schéma reakcí vstupního hřídele</i>	44
<i>Obrázek 11 Průběh smykové síly vstupního hřídele.....</i>	45
<i>Obrázek 12 Průběh ohybového momentu vstupního hřídele.....</i>	46
<i>Obrázek 13 Schéma reakcí předlohového hřídele.....</i>	46
<i>Obrázek 14 Průběh smykové síly předlohového hřídele</i>	48
<i>Obrázek 15 Průběh ohybového momentu předlohového hřídele</i>	48
<i>Obrázek 16 Schéma reakcí předlohového hřídele(50% redukce)</i>	49
<i>Obrázek 17 Průběh smykové síly předlohového hřídele(50% redukce).....</i>	50
<i>Obrázek 18 Průběh ohybového momentu předlohového hřídele (50% redukce).....</i>	51
<i>Obrázek 19 Schéma reakcí výstupního hřídele</i>	51
<i>Obrázek 20 Průběh smykové síly výstupního hřídele</i>	53
<i>Obrázek 21 Průběh ohybového momentu výstupního hřídele</i>	53
<i>Obrázek 22 Schéma reakcí výstupního hřídele (50% redukce).....</i>	54
<i>Obrázek 23 Průběh smykové síly výstupního hřídele (50% redukce)</i>	55
<i>Obrázek 24 Průběh ohybového momentu výstupního hřídele (50% redukce)</i>	55
<i>Obrázek 25 Kritická oblast na vstupním hřídeli</i>	58
<i>Obrázek 26 Kritický vrub na předlohovém hřídeli.....</i>	59
<i>Obrázek 27 Kritická oblast na výstupním hřídeli.....</i>	60
<i>Obrázek 28 Schéma převodovky</i>	63
<i>Obrázek 29 Definice okrajových podmínek a silových účinků.....</i>	70
<i>Obrázek 30 Výsledek analýzy hřídele pomocí MKP - ekvivalentní napětí - HMM</i>	71

Seznam zkratek

Značky použité pro výpočet rozměrů a sil ozubených kol

Značka	Jednotka	Název
a	[mm]	Osová vzdálenost
a_v	[mm]	Virtuální osová vzdálenost
b	[mm]	Šířka zubu
d	[mm]	Průměr roztečné kružnice
d'_{an}	[mm]	Průměr hlavové kružnice virtuálního kola
d'_{bn}	[mm]	Průměr základní kružnice virtuálního kola
d'_n	[mm]	Průměr virtuálního kola
d_a	[mm]	Průměr hlavové kružnice
d_e	[mm]	Vnější roztečný průměr
d_f	[mm]	Průměr patní kružnice
d_m	[mm]	Průměr střední roztečné kružnice
F_a	[N]	Axiální síla
f_F	[-]	Součinitel pro výpočet modulu ozubení
f_H	[-]	Součinitel pro výpočet kružnice pastorku
F_n	[N]	Normálová síla
F_r	[N]	Radiální síla
F_t	[N]	Tečná síla
F_δ	[N]	Složka normálové síly
h_a	[mm]	Výška hlavy zubu
h_f	[mm]	Výška paty zubu
i	[-]	Převodový poměr
i_c	[-]	Převodový poměr na čelním soukolí
i_f	[-]	Převodový poměr na řemenovém soukolí
I_k	[-]	Převodový poměr na kuželovém soukolí
K_A	[-]	Součinitel vnějších dynamických sil
K_H	[-]	Součinitel přídavných zatížení
$K_{H\beta}$	[-]	Součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce
n	[ot/min]	Otáčky
M_k	[Nm]	Kroutící moment

m_n	[mm]	Normálový modul
m_{nm}	[mm]	Normálový střední modul
m_t	[mm]	Tečný modul
m_{te}	[mm]	Čelní modul na vnějším kuželu
m_{tm}	[mm]	Tečný střední modul
P	[mm]	Rozteč
P_{bt}	[mm]	Čelní rozteč
P'_{tmb}	[mm]	Základní rozteč virtuálního kola
P_{tmb}	[mm]	Základní rozteč
r'_{an}	[mm]	Poloměr hlavové kružnice virtuálního kola
r'_{bn}	[mm]	Poloměr základní kružnice virtuálního kola
Re	[MPa]	Mez kluzu
r_{ml}	[mm]	Poloměr kola
z	[-]	Počet zubů
α	[°]	Úhel záběru
α_{mn}	[°]	Střední normálový úhel záběru
α_n	[°]	Normálový úhel záběru
α_t	[°]	Čelní úhel záběru
α_{tw}	[°]	Tečný úhel záběru
β	[°]	Úhel stoupání zubu
β_m	[°]	Střední úhel sklonu zubu
δ	[°]	Úhel roztečného kužele
ε	[-]	Součinitel záběru zubu
ε_α	[-]	Součinitel záběru profilu
ε_β	[-]	Součinitel kroku
η	[-]	Součinitel jakosti povrchu
σ_{Fp}	[MPa]	Přípustné napětí v ohybu
σ_{Hlim}	[MPa]	Mez únavy v dotyku materiálu ozubeného kola
σ_{HP}	[MPa]	Přípustné napětí v dotyku (přípustný Hertzův tlak)
Ψ_m	[-]	Poměr mezi šířkou ozubení a normálovým modulem
ω	[rad s ⁻¹]	Úhlová rychlost

Značky použité pro pevnostní kontrolu ozubených kol

Značka	Jednotka	Název
b	[mm]	Šířka zubu
d_m	[mm]	Střední roztečný průměr
F_t	[N]	Tečná síla
i	[-]	Převodový poměr
K_A	[-]	Součinitel vnějších dynamických sil
K_{as}	[-]	Součinitel vnějších dynamických sil pro výpočet s ohledem na trvalou deformaci, vznik trhliny nebo křehkého lomu z jednorázového přetížení
K_F	[-]	Součinitel přídavných zatížení (pro ohyb)
K_H	[-]	Součinitel přídavných zatížení (pro dotyk)
K_{HV}	[-]	Součinitel vnitřních dynamických sil
$K_{H\alpha}$	[-]	Součinitel podílu zatížení jednotlivých zubů
$K_{H\beta}$	[-]	Součinitel nerovnoměrnosti zatížení zubů po šířce
m	[mm]	Modul
S_{Fmin}	[-]	Nejmenší hodnota součinitele bezpečnosti proti vzniku únavového lomu v patě zubu
S_{Hmin}	[-]	Nejmenší hodnota součinitele bezpečnosti proti vzniku únavového poškození boků zubů
Y_{FS}	[-]	Součinitel tvaru zubu a koncentrace napětí
Y_{β}	[-]	Součinitel sklonu zubu
Y_{ϵ}	[-]	Součinitel vlivu záběru profilu
Z_E	[-]	Součinitel mechanických vlastností materiálů
Z_H	[-]	Součinitel tvaru spoluzabírajících zubů
Z_R	[-]	Součinitel výchozí drsnosti boků zubů
Z_{ϵ}	[-]	Součinitel součtové délky dotykových křivek boků zubů
ϵ_{α}	[-]	Součinitel záběru profilu
σ_F	[MPa]	Ohybové napětí v nebezpečném průřezu paty zubu
σ_{Flim}	[MPa]	Mez únavy v ohybu materiálu kola
σ_{FP}	[MPa]	Přípustné napětí v ohybu
σ_H	[MPa]	Napětí v dotyku (Hertzův tlak) ve valivém bodě
σ_{Hlim}	[MPa]	Mez únavy v dotyku materiálu ozubeného kola

σ_{HO}	[MPa]	Napětí v dotyku při ideálním zatížení ($K_H=1$)
σ_{HP}	[MPa]	Přípustné napětí v dotyku (přípustný Hertzův tlak)

Značky použité pro výpočet řemenového převodu

Značka	Jednotka	Název
a_p	[mm]	Předběžná osová vzdálenost
a	[mm]	Skutečná osová vzdálenost
c_1	[-]	Součinitel úhlu opásání
c_2	[-]	Součinitel provozního zatížení
c_3	[-]	Součinitel délky klínového řemene
d_p	[mm]	Průměr malé řemenice
d_2	[mm]	Průměr velké řemenice
f	[-]	Součinitel tření
f_k	[-]	Tření v klínové drážce
F_O	[N]	Předpětí řemene
F_t	[N]	Obvodová síla
F_{VR}	[N]	Zatížení hřídele
i	[-]	Převodový poměr
L_p	[mm]	Délka řemene
M_k	[Nm]	Kroutící moment
n	[min ⁻¹]	Otáčky malé řemenice
Pr	[kW]	Výkon přenášený jedním řemenem
W_p	[mm]	Výpočtová šířka klínové drážky řemenice
z	[-]	Počet řemenů
α	[rad]	Úhel opásání
β	[rad]	Úhel sklonu řemenu
φ	[°]	Úhel drážky řemenice
η	[-]	Účinnost
ξ	[-]	Součinitel prokluzu řemenu

Značky použité pro výpočet složek sil na výstupní hřídel

Značka	Jednotka	Název
a	[mm]	Osová vzdálenost řemenic
F_{VR}	[N]	Výsledná síla
F_y	[N]	Síla ve směru osy y
F_z	[N]	Síla ve směru osy z
z_B	[mm]	Vzdálenost řemenice a výstupní hřídele v ose z
α	[°]	Úhel odklonění velké řemenice

Značky použité pro výpočet a kontrolu hřídelů

Značka	Jednotka	Název
d	[mm]	Malý průměr hřídele
D	[mm]	Velký průměr hřídele
F_a	[N]	Axiální síla
F_r	[N]	Radiální síla
F_t	[N]	Tečná síla
k	[-]	Celková bezpečnost
k_k	[-]	Bezpečnost v krutu
k_o	[-]	Bezpečnost v ohybu
M	[Nmm]	Výsledný moment
M_k	[Nmm]	Kroutící moment
$M_{o\max}$	[Nmm]	Maximální ohybový moment
r	[mm]	Poloměr zaoblení
R	[N]	Výsledná reakce
r_m	[mm]	Poloměr kola
R_x	[N]	Reakce ve směru osy x
R_y	[N]	Reakce ve směru osy y
R_z	[N]	Reakce ve směru osy z
v_o	[-]	Součinitel velikosti
W_k	[-]	Průřezový modul v krutu
W_o	[-]	Průřezový modul v ohybu
α	[-]	Součinitel tvaru
β_o	[-]	Součinitel vrubu

η_0	[-]	Součinitel povrchu
σ_0	[MPa]	Napětí v ohybu
σ_{co}^*	[MPa]	Mez únavy skutečné součásti
σ_{Do}	[MPa]	Dovolené napětí v ohybu
τ_{DK}	[MPa]	Dovolené napětí v krutu
τ_{kl}	[MPa]	Mez kluzu tečného napětí
τ_K	[MPa]	Napětí v krutu

Značky použité pro výpočet přírubové spojky

Značka	Jednotka	Název
i	[-]	Počet šroubů
D	[mm]	Průměr díku šroubu
R_s	[mm]	Poloměr roztečné kružnice šroubů
T	[N]	Smyková síla
P	[MPa]	Tlak ve smykové ploše
d	[mm]	Průměr díku šroubu
b	[mm]	Šířka kotouče v místě šroubového spoje

Značky použité pro výpočet potřebné délky drážkování a per

Značka	Jednotka	Název
b	[mm]	Šířka pera
d	[mm]	Průměr hřídele
f	[-]	Sražení hran
F	[N]	Síla
f'	[mm ²]	Účinná plocha drážky
h	[mm]	Výška pera
l	[mm]	Délka pera
l_{min}	[mm]	Minimální délka drážkování
M_k	[Nmm]	Kroutící moment
z	[-]	Počet zubů
p	[MPa]	Tlak
p_D	[MPa]	Tlak dovolený
S	[mm ²]	Plocha
τ	[MPa]	Smykové napětí

τ_{DK}	[MPa]	Dovolené napětí v krutu
τ_{DS}	[MPa]	Dovolené napětí ve smyku
τ_s	[MPa]	Smykové napětí

Značky použité pro výpočet ložisek

Značka	Jednotka	Název
C	[kN]	dynamická únosnost
C_0	[kN]	statická únosnost
e	[-]	Výpočtový součinitel
F_a	[N]	Radiální síla
f_o	[-]	koeficient zatížení ložiska
F_r	[N]	Radiální síla
K_a	[N]	Axiální zatížení
L_h	[hod]	trvanlivost ložiska v hodinách
n	[min ⁻¹]	Otáčky ložiska
n_m	[min ⁻¹]	Ekvivalentní otáčky
p	[-]	koeficient tvaru tělíka
P_m	[N]	ekvivalentní zatížení ložiska
X	[-]	koeficient zatížení radiální silou
Y	[-]	koeficient zatížení axiální silou

1 Úvod

Převodovka je strojní zařízení, které mění kinematické veličiny mezi hnacím a hnaným zařízením. V uvedeném případě se jedná o otáčky. Současně se změnou otáček dochází ke změně krouticích momentů mezi hnaným a hnacím zařízením. V technické praxi se můžeme setkat s několika typy převodovek, které se liší svým kinematickým uspořádáním. V současné době je převodovka součástí téměř každého stroje. Návrh celého převodového ústrojí je velice komplikovaný. Postupy při navrhování se mohou výrazně lišit. Cílem konstruktéra je vyvarovat se chybám a konstruovat daný prvek co nejlépe. Konečným kritériem při návrhu konstrukce převodovky je výrobní a tím i konečná cena převodovky. Obvykle s tlakem na snížení ceny klesá i celková kvalita převodovky. Z tohoto důvodu je nutné přihlížet při navrhování konstrukce převodovky na konečné použití celé pohonné jednotky.

2 Cíl práce

Cílem této práce je konstrukce pohonného systému šnekového lisu na olejniny, dle daných paramentů. Hlavním úkolem je navrhnout dvoustupňovou převodovku pro zadané parametry. Vše má být uloženo ve svařovaném rámu. Při zhotovování součástí budeme brát ohled především na cenu výrobků. Jednotlivé součásti musí být vyrobitelné, splňovat bezpečnost a v neposlední řadě také životnost 8000 hodin. Hřídele, kuželové soukolí, čelní soukolí spolu se synchronizační spojkou a skříní budou tvořit hlavní části převodovky. Synchronizační spojka bude umožňovat řazení jednotlivých převodových stupňů. Redukci otáček na 50%, tedy z 250 min^{-1} na 125 min^{-1} . Tato spojka bude zvolena díky malým rozměrům a jednoduchosti vůči elektromagnetické spojce. Pro změnu převodového stupně bude použito pneumatické řazení, aby se zamezilo přímého styku obsluhy s pohyblivými součástmi stroje. Zvýšení bezpečnosti a ochrany jednotlivých součástí před poškozením bude docíleno použitím řemenů, které se při přetížení stroje budou chovat jako pojistný člen. Nevýhodou řemenů je jejich napínání, které se bude provádět pomocí posouváním převodové skříně vůči hřídeli lisu a tím bude docházet k zvětšování osových vzdáleností řemenic.

ZADANÉ PARAMETRY:		
Výkon:	15	[kW]
Vstupní otáčky:	2880	[ot/min]
Výstupní otáčky:	250/125	[ot/min]
Životnost:	8000	[h]
Časové rozdělení převodů:	35 - 65	[%]

3 Teorie lisů

3.1 Lisování

Samotné lisování je vytlačování oleje z olejnaté suroviny mechanickým tlakem, surovina by měla mít obsah tuku větší než 30%. Lisování oleje ovlivňuje mimo jiné vlhkost lisovaného materiálu, složení olejnin, použitý způsob úpravy před lisováním. V dnešní době se k lisování používají hlavně šnekové kontinuální lisy. Základní komponenty lisu jsou síto a šnek, který je složen z několika dílů osazených na otáčející se hřídeli. Konstrukce šneku je taková, aby se postupně zmenšoval volný prostor, a tím zvyšoval tlak. Na síti jsou lamely, které vytvářejí kanálky, kterými vytéká vylisovaný olej. Ve velkovýrobě se používají předlisy, ty snižují obsah oleje v pokrutině na 16 až 20%, jejich pracovní tlak je 5 - 16 MPa. Dolis s pracovním tlakem cca 39 MPa snižuje obsah oleje na 5 - 7%. Existují i speciální lisy jednostupňové, které dokáží snížit obsah oleje v pokrutinách na 3,5 - 5%, při tlaku nad 100 MPa. [3]

Vylisovaný surový olej obsahuje 12% nečistot, jako jsou zbytky rostlinných pletiv, které se odstraňují na sítích a filtrací na kalolisech. Pro moderní lisovny se využívají horizontální odstředivky, pracující kontinuálním způsobem a snižují nečistoty pod 0,5% následně se používá vertikální odstředivka, obsah nečistot se sníží pod 0,1%. Přidáním vody se částečně odstraní i fosfolipidy. [9]

3.2 Technologie lisování

3.2.1 Lisování za studena

Lisování probíhá při pokojové teplotě, tj. při vstupní teplotě semene cca 15°C.

Charakteristické znaky lisování za studena:

- nízký obsah fosforu v oleji
- jednoduchost technologického zařízení
- malé nároky na plochu
- nízká energetická náročnost technologie

Varianty lisování za studena:

3.2.1.1 Jednostupňové

Semeno prochází na výstupu mezizásobníku sítím nečistot a roštovým magnetem, kde je zbaveno případných metalických částí. Dále je dopravováno přes násypku do lisu (FL 200), kde dochází k lisování semene. Výlisky z lisu jsou dopravovány do skladu výlisků šnekovým dopravníkem. Vylisovaný olej je zachytáván v olejové vaně a čerpán do míchací (homogenizační) nádrže, kde se skladuje před filtrací. Jednostupňové lisování za studena je méně výtěžné, olej má menší obsah fosforu, menší nárok na prostor, menší nároky na energii a vstupní náklady.



Obrázek 1 Jednostupňové lisování

3.2.1.2 Dvoustupňové

Olejnaté semeno prochází na výstupu mezizásobníku sítím nečistot a roštovým magnetem. Dále je dopravováno do násypky a lisu (FL 200), kde dochází k předlisování semene. Výlisky z lisů gravitací padají do dvou dalších lisů (FS 1000), kde dochází k dolisování. Výlisky z druhého stupně lisování jsou pak šnekovým dopravníkem dopravovány do skladu výlisků. Vylisovaný olej z lisu z 1. a 2. stupně lisování je zachycován v olejové vaně a čerpán čerpadlem do míchací (homogenizační) nádrže. Oleje z obou stupňů lisování mají podobné parametry, proto je možné je smíchávat, popř. je můžeme skladovat odděleně. Charakteristické znaky v tomto typu lisování jsou větší výtěžnost oleje, ale vyšší obsah fosforu v oleji, díky přelisoávání výlisků.



Obrázek 2 Dvoustupňové lisování

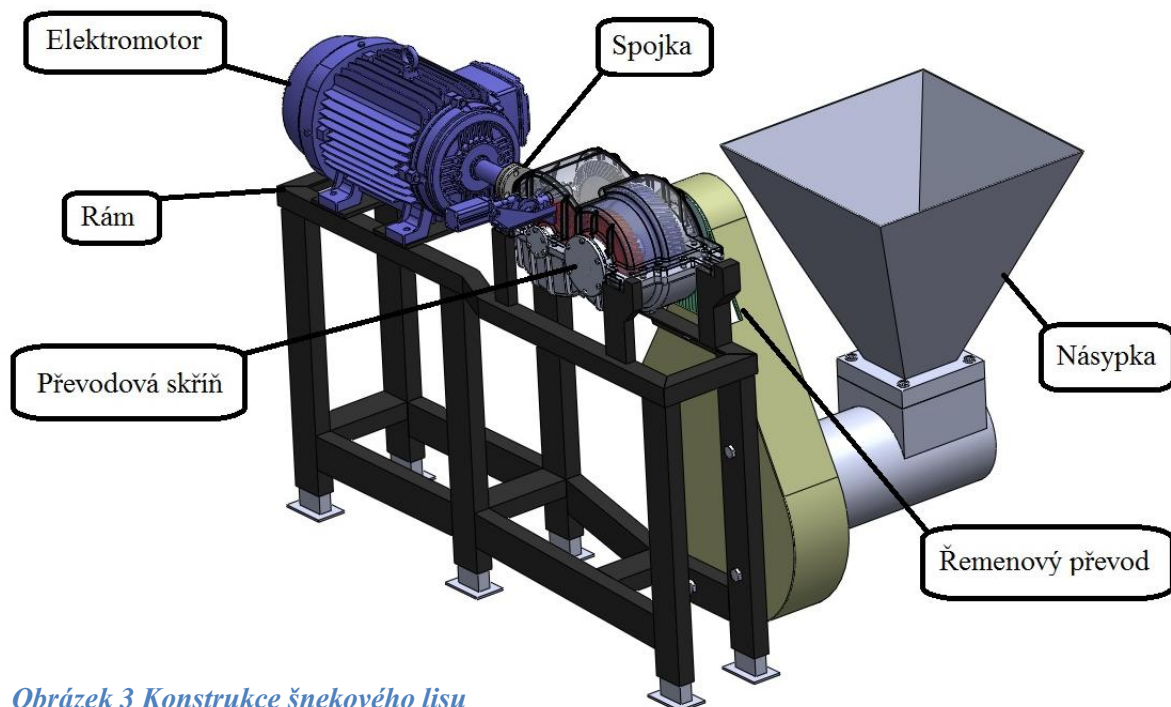
3.2.2 Lisování za tepla

Technologická zařízení na výrobu surového, řepkového oleje lisováním za tepla. Lisování za tepla probíhá při náhřevu semene řepky na 100 – 115 °C parou.

Charakteristické znaky lisování za tepla: – větší výtěžnost oleje

- lepší oxidační stabilita oleje vysoký obsah fosforu v oleji
- náročnější technologické zařízení
- energeticky náročnější technologie

4 Vlastní konstrukce šnekového lisu



Obrázek 3 Konstrukce šnekového lisu

4.1 Elektromotor

Elektromotor je elektrický stroj, který slouží k přeměně elektrické energie na mechanickou práci. Většina současných elektromotorů využívá silové účinky magnetického pole. V práci jsem zvolil elektromotor od firmy Weg. S hledanými parametry se shodoval model **W21-Aluminium frame-IE1**. Otáčky elektromotoru se od požadovaných otáček liší pouze o 2%. Případná regulace otáček by mohla být realizována pomocí frekvenčního měniče, který by ale podstatně zvednul náklady na výrobu.

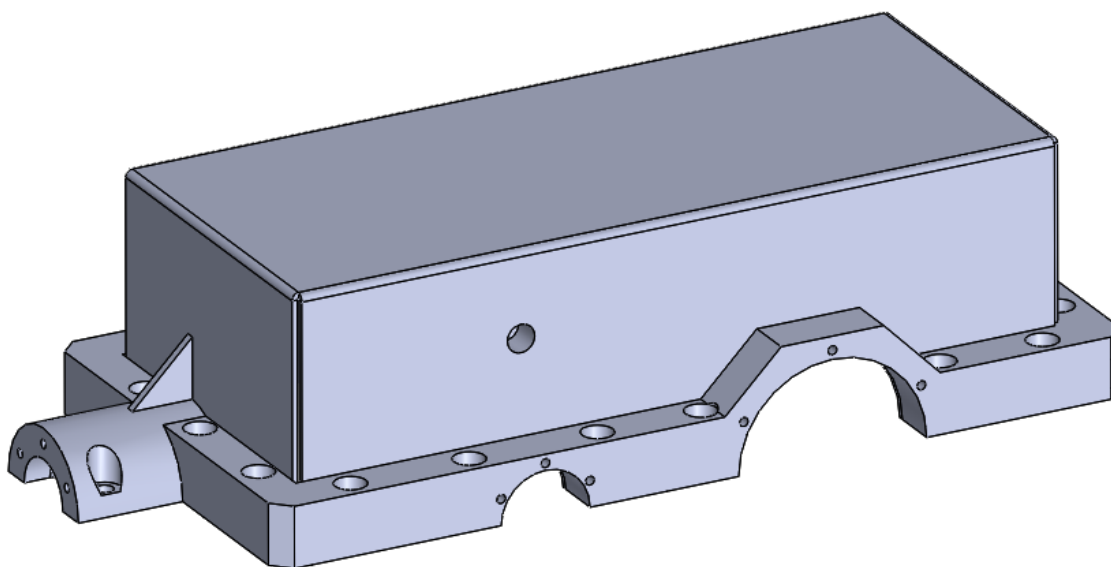


Charakteristika motoru:

Frekvence	50 Hz
Rám	160M/L
Výkon	15 kW
Póly	2
Otáčky při plném zatížení	2948
Napětí	220/380 V
Skluž	1,83%
Teplota okolí	-20°C - +40°C
Nárůst teploty	80K
Hlučnost	70 dB(A)
Váha	97 kg

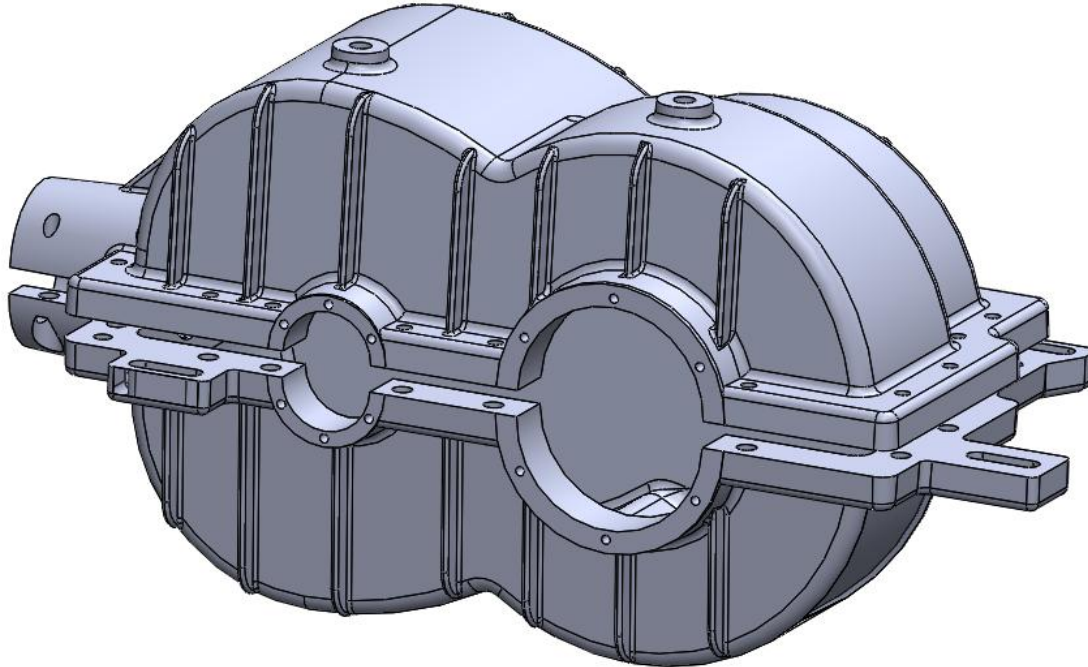
4.2 Převodová skříň

Návrh převodové skříně se především odvíjí od četnosti výroby. Pro malosériovou výrobu, popřípadě pro prototypy se používá zpravidla svařovaná skříň. Odlévané skříně jsou velice náročné na výrobu a také jsou velice nákladné. Původní svařovaná skříň sloužila jako prototyp. Kvůli zavedení hromadné výroby musela být skříň inovována na odlitek. Svařovanou skříň tvoří vypálený věnec, který zaujímá nosnou funkci převodové skříně. Na tento věnec je přivařen ohýbaný plechový díl, který uzavírá skříň.



Obrázek 4 Svařovaná skříň

Odlévaná skříň má všechny náležitosti, jak pro bezproblémové odformování, tak pro korektní výrobu. K těmto záležitostem patří například úkosy 3°, zaoblení, dělicí rovina, chlazení a žebra. Tloušťka skříňe je 3 milimetry a je odlita z hliníku. Po odlití budou muset být obráběny funkční plochy.



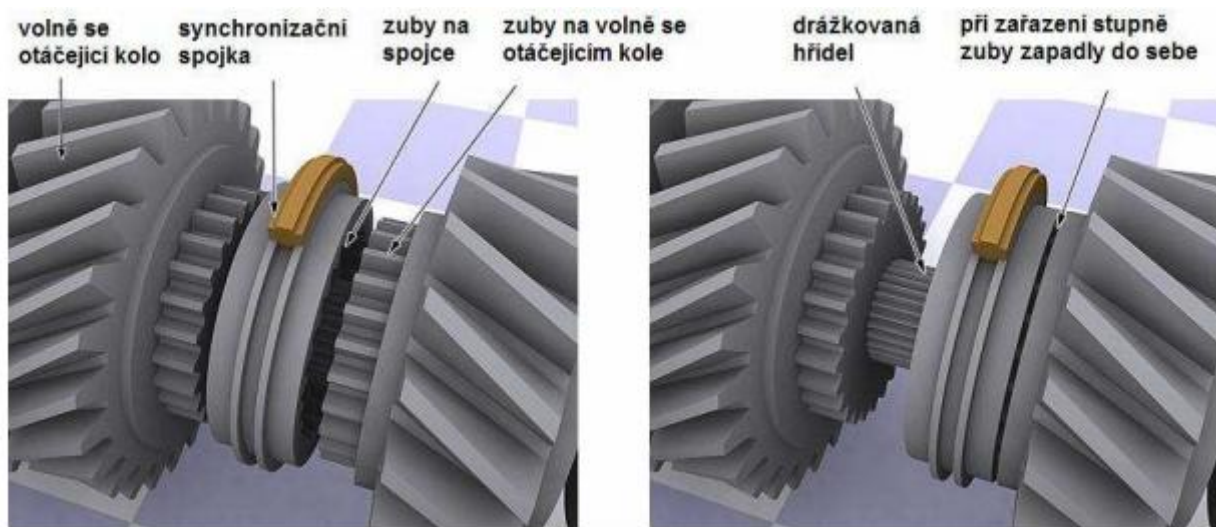
Obrázek 5 Odlévaná skříň

4.3 Synchronizační spojka

Pro tuto práci byla potřeba vyřešit řazení rychlostních stupňů. Nabízelo se více možností, které bych mohl ve své práci využít. Jako nejvhodnější varianta se hodila synchronizační spojka.

Mají-li být uvnitř převodovky všechna kola ve stálém záběru, je zřejmé, že všechna kola nemohou být pevně spojena s hřídeli, neboť by se hřídele nemohly otáčet. Na počátku automobilismu bylo v soukolí vždy jedno kolo napevno a druhé se posouvalo do záběru ve směru své osy po drážkované hřídeli. Tato koncepce nelze použít pro převody se šikmými zuby a vyžádala si tak použití přímého ozubení, což značně zvyšovalo hlučnost automobilu. U osobních automobilů je to v současnosti řešeno tak, že vždy jedno kolo z dvojice či trojice je spojeno pevně se vstupní nebo výstupní hřídelí. Zbývá se otáčejí na svých hřídelích volně po jehlových nebo kluzných ložiskách a k nim přiléhá synchronizační nebo zubová spojka. Spojka se může posouvat ve směru osy rotace, ale otáčí se s hřídelí (drážkovaná hřídel). K zařazení rychlostního stupně dojde tehdy, když se spojka posune do polohy, kde se spojí s

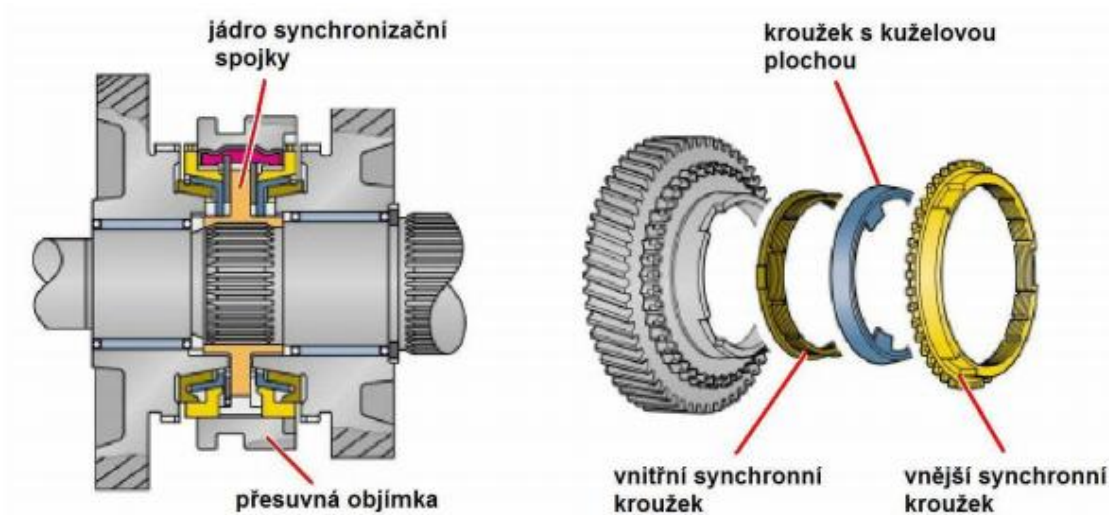
volně se otáčejícím kolem a přenesse tak na něj krouticí moment. Spojka je většinou konstruována jako zdvojená, je umístěna mezi dvěma volnými koly a zprostředkovává tak dvě rychlosti. Posun spojek zajišťují řadící vidličky. Řadící mechanismus musí umožňovat zařazení pouze jednoho převodového stupně, jinak by se převodovka zablokovala. Zubová spojka je dnes používána pouze v závodních převodovkách, které jsou bezsynchronní. U normálních osobních automobilů se jedná o synchronizační spojku.



Obrázek 6 Znáznornění funkce synchronizační spojky

4.3.1 Synchronizace

Synchronizace slouží při řazení k plynulému vyrovnání otáček synchronizační spojky (tedy i otáček s ní spojené hřídele) s otáčkami k ní přiléhajícího ozubeného kola, které jsou při přeřazení rozdílné. Samotné pevné spojení nastane, až jsou otáčky stejné. Synchronizace pracuje na principu třecí kuželové spojky (kuželový tvar je výhodný pro samosvorný účinek). Při řazení jádro synchronizační spojky díky jednomu nebo dvěma synchronním kroužkům nejdříve vyrovná úhlové rychlosti kola a hřídele. To zaručuje plynulý nárůst kroutícího momentu bez větších rázů a obrušování zubů spojky, k čemuž by mohlo dojít při jen částečném vyrovnání otáček. Až poté se zuby přesuvné objímky (věnce s vnitřním ozubením) přesunou mezi zuby kola. Tím dojde k pevnému spojení. Zuby jsou zbroušeny do špičky tak, aby snadněji a zapadaly do sebe.

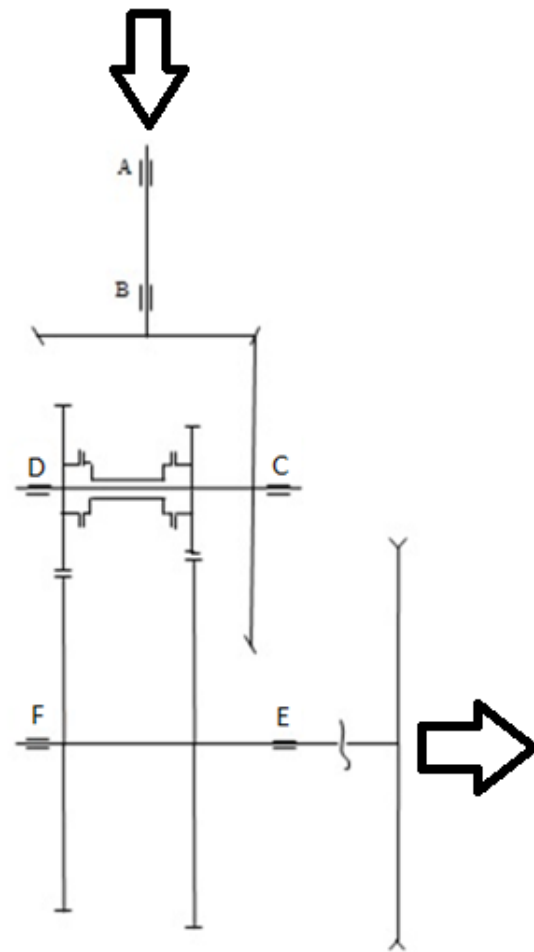


Obrázek 7 Konstrukce synchronizační spojky 1. a 2. převodového stupně

Největší synchronizační spojky jsou u prvního a druhého stupně, protože ty jsou nejvíce namáhány. Tato spojka nemůže být umístěna na hnané hřídeli, protože ta se při rozjezdu netočí a ozubení by mohlo být v takové pozici, že rychlostní stupeň nepůjde zařadit. Jak už bylo napsáno výše, bezsynchronní převodovky jsou určeny především do závodních vozů. Jejich výhodou je rychlejší řazení díky absenci synchronizace i menší rozměry a méně rotačních hmot. Tím pádem se zredukuje nežádoucí setrvačnost závodního automobilu. Na druhou stranu je řazení pracnější, protože hlavně při volbě nižšího stupně se musí manuálně vyrovnávat otáčky hřídelí tzv. meziplynem.

5 Konstrukce a výpočtová zpráva mechanismu

5.1 Předběžné schéma převodovky



Obrázek 8 Schéma převodovky

5.2 Základní parametry

5.2.1 Výpočet převodových poměrů a otáček

$$i = \frac{n_{\text{vstup}}}{n_{\text{výstup}}} = \frac{2880}{250} = 11,52i$$

$$i = i_k \cdot i_c \cdot i_f \rightarrow \begin{array}{ll} i_k = 2,5 & n_1 = 1152 \text{ min}^{-1} \\ i_c = 1,5 & n_2 = 768 \text{ min}^{-1} \\ i_f = 3,07 & n_3 = 250 \text{ min}^{-1} \end{array}$$

i_k ... převodový poměr na kuželovém soukolí

i_c ... převodový poměr na čelním soukolí

i_f ... převodový poměr na řemenovém převodu

5.2.2 Výpočet převodových poměrů a otáček pro 50% redukci

$$i = \frac{n_{\text{vstup}}}{n_{\text{výstup}}} = \frac{2880}{125} = \mathbf{23,04}$$

$$i = i_k \cdot i_{cr} \cdot i_{\check{r}} \rightarrow \begin{array}{ll} i_k = 2,5 & n_1 = 1152 \text{ min}^{-1} \\ i_{cr} = 3 & n_2 = 384 \text{ min}^{-1} \\ i_{\check{r}} = 3,07 & n_3 = 125 \text{ min}^{-1} \end{array}$$

i_{cr} ... převodový poměr na čelním soukolí pro 50% redukci

Účinnost:

ozubená kola přímá: $\eta = 0,98$

ozubená kola kuželová: $\eta = 0,96$

řemenový převod: $\eta = 0,96$

5.3 Kuželové soukolí

5.3.1 Výpočet rozměrů kuželového soukolí se šikmými zuby

Návrhový výpočet:

Kaleno, pastorek uložen letmo

Pastorek (1):

Mat.: 12051

Tvrдость: $V_{HV} = 600 - 675$

$\sigma_{Hlim} = 1140 \text{ MPa}$

$\sigma_{Flimb} = 390 \text{ MPa}$

Re = 390 MPa

$z_1 = 24$

Kolo (2):

Mat.: 12 051

Tvrдость: $V_{HV} = 600 - 675$

$\sigma_{Hlim} = 1140 \text{ MPa}$

$\sigma_{Flimb} = 390 \text{ MPa}$

Re = 390 MPa

$z_2 = 61$

Kroutící moment:

$$M_{k1} = \frac{P_{\text{vstup}} \cdot \eta}{\omega} = \frac{15000 \cdot 1}{\frac{2\pi \cdot 2880}{60}} = 49,736 \text{ Nm}$$

Převodový poměr:

$$i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{61}{24} = 2,5$$

Modul*Dotyk*

$$m_{nm} = f_H \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot M_{k1}}{(b_{wF}/m_n) \cdot z_1^2 \cdot \sigma_{Hp}^2} \cdot \frac{i+1}{i}}$$

Volené a tabulkové parametry:

$$(b_{wF}/m_n) = \Psi_m = 9 [-] \quad \text{tab(8)}$$

$$K_A = 1,75 \quad \text{tab(3)}$$

$$K_{H\beta} = 1,44 \text{ obr(1)}$$

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} = 1,75 \cdot 1,44 = 2,52$$

$$f_H = 690 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Hlim} = 1140 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Hp} = 0,8 \cdot \sigma_{Hlim} = 0,8 \cdot 1140 = 912 \text{ MPa}$$

$$m_{nm} = 690 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,52 \cdot 49,736}{9 \cdot 24^2 \cdot 912^2} \cdot \frac{2,5+1}{2,5}} = 2,37 \text{ mm}$$

Ohyb

$$m_{nm} = f_F \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot M_{k2}}{(b_{wF}/m_n) \cdot z_1 \cdot \sigma_{Fp}}}$$

$$f_F = 18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Hlim} = 1140 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Fp} = 0,6 \cdot \sigma_{Hlim} = 0,6 \cdot 1140 = 684 \text{ MPa}$$

$$m_{nm} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,52 \cdot 49,736}{9 \cdot 24 \cdot 684}} = 1,7 \text{ mm}$$

$$m_{tm} = \frac{m_{nm}}{\cos \beta_m} = \frac{2,37}{\cos(31,1)} = 2,76 \text{ mm}$$

$$m_{te} = m_{tm} \cdot \left(1 + \frac{\Psi_m}{\sqrt{z_1^2 + z_2^2}}\right) = 2,76 \cdot \left(1 + \frac{9}{\sqrt{24^2 + 61^2}}\right) = 3,138 \text{ mm}$$

Volím

$$m_{te} = 4 \text{ mm}$$

$$\beta = 31,1^\circ$$

$$\alpha_{mn} = 20^\circ$$

Úhly roztečných kuželů

$$\delta_1 = \arctg \frac{\sin \varepsilon}{I_k + \cos \varepsilon} = \arctg \frac{\sin 90}{2,5 + \cos 90} = 21,48^\circ$$

$$\delta_2 = \varepsilon - \delta_1 = 68,52^\circ$$

Šířka zubu

$$b = \Psi_m \cdot m_{nm} = 9 \cdot 3 = 27 \text{ mm}$$

šířku zubu volím 30 mm

Průměry vnějších roztečných kružnic

$$d_{1e} = m_{te} \cdot z_1 = 4 \cdot 24 = 96 \text{ mm}$$

$$d_{2e} = m_{te} \cdot z_2 = 4 \cdot 61 = 244 \text{ mm}$$

Průměry středních roztečných kružnic

$$d_{1m} = d_{1e} - b \cdot \sin \delta_1 = 96 - 30 \cdot \sin 21,48 = 85,014 \text{ mm}$$

$$d_{2m} = d_{2e} - b \cdot \sin \delta_2 = 244 - 30 \cdot \sin 68,52 = 216,085 \text{ mm}$$

Moduly na středním průměry

$$m_{tm} = \frac{d_{1m}}{z_1} = \frac{85,014}{24} = 3,54 \text{ mm}$$

$$m_{nm} = m_{tm} \cdot \cos \beta_m = 3,54 \cdot \cos(31,1) = 3 \text{ mm}$$

Výška hlavy

$$h_a = m_{te} = 4 \text{ mm}$$

Průměry hlavových kružnic

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot h_a \cdot \cos \delta_1 = 96 + 2 \cdot 4 \cdot \cos 21,48 = 103,444 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot h_a \cdot \cos \delta_2 = 244 + 2 \cdot 4 \cdot \cos 68,52 = 246,929 \text{ mm}$$

Výška paty

$$h_f = 1,25 \cdot m_{te} = 1,25 \cdot 4 = 5 \text{ mm}$$

Průměry patních kružnic

$$d_{f1} = d_{1e} - 2 \cdot h_f \cdot \cos \delta_1 = 96 - 2 \cdot 5 \cdot \cos 21,48 = 86,694 \text{ mm}$$

$$d_{f2} = d_{2e} - 2 \cdot h_f \cdot \cos \delta_2 = 244 - 2 \cdot 5 \cdot \cos 68,52 = 240,338 \text{ mm}$$

Výška zubu

$$h = h_a + h_f = 4 + 5 = 9 \text{ mm}$$

Průměry roztečných kružnic náhradních kol

$$d'_{n1} = \frac{d_{1m}}{\cos \delta_1} = \frac{82,014}{\cos 21,48} = 91,359 \text{ mm}$$

$$d'_{n2} = \frac{d_{2m}}{\cos \delta_2} = \frac{216,085}{\cos 68,52} = 590,11 \text{ mm}$$

Průměry hlavových kružnic náhradních kol

$$d'_{an1} = d'_{n1} + 2 \cdot h_a = 91,359 + 2 \cdot 4 = 99,359 \text{ mm}$$

$$d'_{an2} = d'_{n2} + 2 \cdot h_a = 590,11 + 2 \cdot 4 = 598,11 \text{ mm}$$

Průměry základních kružnic náhradních kol

$$d'_{bn1} = d'_{n1} \cdot \cos \alpha = 91,359 \cdot \cos 22,87 = 84,177 \text{ mm}$$

$$d'_{bn2} = d'_{n2} \cdot \cos \alpha = 590,11 \cdot \cos 22,87 = 543,72 \text{ mm}$$

Tečný úhel záběru

$$\alpha_{mn} = 20^\circ$$

$$\alpha_t = \arctan \frac{\tan \alpha_{mn}}{\cos \beta_m} = \frac{\tan 20}{\cos 31,1} = 22,87^\circ$$

Virtuální osová vzdálenost

$$a_v = \frac{d'_{n1} + d'_{n2}}{2} = \frac{91,359 + 590,11}{2} = 340,73 \text{ mm}$$

Rozteče zubů

$$p'_{tmb} = \pi \cdot m_{tm} \cdot \cos \alpha_t = \pi \cdot 3,54 \cdot \cos 22,87 = 10,25 \text{ mm}$$

$$p_{tmb} = \pi \cdot m_{tm} = \pi \cdot 3,54 = 11,12 \text{ mm}$$

Výpočet součinitele trvání záběru

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{r'_{an1}{}^2 - r'_{bn1}{}^2} + \sqrt{r'_{an2}{}^2 - r'_{bn2}{}^2} - a_v \cdot \sin \alpha_t}{P'_{tmb}}$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{49,68^2 - 42,0885^2} + \sqrt{299,055^2 - 271,86^2} - 340,73 \cdot \sin(22,87)}{10,25} = 1,7$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{b \cdot \sin \beta_m}{p_{tmb}} = \frac{30 \cdot \sin(31,1)}{11,12} = 1,3$$

$$\varepsilon = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta = 3$$

Není nutno upravovat, součinitel záběru vychází celočíselný.

5.3.2 Silové poměry kuželového soukolí

Tečné síly

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{M_{k1}}{r_{m1}} = \frac{49736}{42,508} = 1170 \text{ N}$$

Normálová síla

$$F_{n1} = F_{n2} = \frac{F_{t1}}{\cos \alpha_{nm} \cdot \cos \beta_m} = \frac{1170}{\cos 20 \cdot \cos 31,1} = 1452,8 \text{ N}$$

$$F_{\delta 1} = F_{t1} \cdot \tan \alpha_{nm} = 1170 \cdot \tan 20 = 425,84 \text{ N}$$

Radiální síla

$$\begin{aligned} F_{r1} &= \frac{F_{t1}}{\cos \beta_m} \cdot (\tan \alpha_{nm} \cdot \cos \delta_1 - \sin \beta_m \cdot \sin \delta_1) \\ &= \frac{1170}{\cos 31,1} \cdot (\tan 20 \cdot \cos 21,48 - \sin 31,1 \cdot \sin 21,48) \\ &= 200,839 \text{ N} = F_{a2} \end{aligned}$$

Axiální síla

$$\begin{aligned} F_{a1} &= \frac{F_{t1}}{\cos \beta_m} \cdot (\tan \alpha_{nm} \cdot \sin \delta_1 - \sin \beta_m \cdot \cos \delta_1) \\ &= \frac{1170}{\cos 31,1} \cdot (\tan 20 \cdot \sin 21,48 - \sin 31,1 \cdot \cos 21,48) \\ &= -476,1 \text{ N} = F_{r2} \end{aligned}$$

5.3.3 Pevnostní kontrola ozubení

Únavová únosnost - napětí v dotyku

$$\sigma_{HO} = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\epsilon \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b \cdot d_{1m}} \cdot \frac{i+1}{i}}$$

$$Z_E = 190 \quad (\text{tab. 10})$$

$$Z_H = 2,2 \quad (\text{obr. 2})$$

$$Z_\epsilon = 0,78 \quad (\text{obr. 3})$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$Z_R = 1$$

$$\sigma_{H0} = 190 \cdot 2,2 \cdot 0,78 \cdot \sqrt{\frac{1170}{30 \cdot 85,014} \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5}} = 261 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{HP1} = \sigma_{HP2} = \frac{\sigma_{Hlim} Z_R}{S_{Hmin}} = \frac{1140 \cdot 1}{1,3} = 877 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = \sigma_{H0} \cdot \sqrt{K_H}$$

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{HV}$$

$$K_A = 1,75$$

$$K_{H\beta} = 1,44$$

$$K_{H\alpha} \cdot K_{HV} = 1,2$$

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{HV} = 1,75 \cdot 1,44 \cdot 1,2 = 3,024$$

$$\sigma_H = 261 \cdot \sqrt{3,024} = 453,86$$

453,86 MPa < 877 MPa → vyhovuje

Únavová únosnost - napětí v ohybu

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b \cdot m} \cdot K_F \cdot Y_{FS} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_\beta \leq \sigma_{FP}$$

$$K_F = K_H = 3,024$$

$$Y_\beta = 0,75 \quad (\text{obr. 4})$$

$$S_{Fmin} = 1,4$$

$$Y_{FS} = 3,85 \quad (\text{obr. 6})$$

$$\sigma_{Flim} = \sigma^0_{Flim} = 390 \text{ MPa}$$

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} = 0,625$$

$$\sigma_{FP1} = \frac{\sigma_{Flim}}{S_{Fmin}} = \frac{390}{1,4} = 278,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{F1} = \frac{1170}{30 \cdot 4} \cdot 3,024 \cdot 3,85 \cdot 0,625 \cdot 0,75 = 53,2 \text{ MPa}$$

53,2 MPa < 278,6 MPa → vyhovuje

5.4 Čelní soukolí

5.4.1 Výpočet rozměrů čelního ozubeného soukolí se šikmými zuby

Návrhový výpočet:

Pastorek (3):		Kolo (4):	
Mat.: 12051		Mat.: 12 051	
Tvrdość: V_{HV}	= 600 – 675	Tvrdość: V_{HV}	= 600 - 675
σ_{Hlim}	= 1140MPa	σ_{Hlim}	= 1140 MPa
σ_{Flimb}	= 390 MPa	σ_{Flimb}	= 390 MPa
Re	= 390 MPa	Re	= 390 MPa
z_3	= 35	z_4	= 52

Krouticí moment:

$$M_{k2} = \frac{P_{vstup} \cdot \eta}{\omega} = \frac{15000 \cdot 0,96}{\frac{2\pi \cdot 1152}{60}} = 119,36 \text{ Nm}$$

Převodový poměr:

$$i = \frac{z_4}{z_3} = \frac{52}{35} = 1,5$$

Průměr roztečné kružnice pastorku uprostřed šířky zuby:

$$d_3 = f_H \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot M_{k2}}{(b_{wH}/d_3)\sigma_{HP}^2} \cdot \frac{i+1}{1}} = 690 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,03 \cdot 119,366}{0,9 \cdot 912^2} \cdot \frac{1,5+1}{1,5}} = 56,17 \text{ mm}$$

$$f_H = 690$$

$$(b_{wH}/d_{m1}) = 0,9 \quad (\text{tab. 7})$$

$$\sigma_{HP} = 0,8 \cdot \sigma_{Hlim} = 0,8 \cdot 1140 = 912 \text{ MPa}$$

$$K_A = 1,75 \quad (\text{tab. 3})$$

$$K_{H\beta} = 1,16 \quad (\text{obr. 1})$$

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} = 1,75 \cdot 1,16 = 2,03$$

úhel sklonu zuby $\beta \approx 25^\circ$

Normálový modul

$$m_n = \frac{d_3 \cdot \cos \beta}{z_3} = \frac{56,17 \cdot \cos 25}{35} = 1,454 \text{ mm}$$

Volím: modul $m_n = 3,5 \text{ mm}$ a šířka ozubení $b = 39 \text{ mm}$.

Zjednodušený kontrolní výpočet:

$$\begin{aligned}\beta &= 25,008^\circ \\ b_{wh} &= 39 \text{ mm} \\ m_n &= 3,5 \text{ mm} \\ m_t &= m_n / \cos(\beta) = 3,5 / \cos(25,008) = 3,862 \text{ mm} \\ \alpha_n &= 20^\circ \\ \alpha_{tw} &= \tan^{-1}\left(\frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\tan 20}{\cos 25,008}\right) = 21,881^\circ \\ a_w &= \frac{(z_3+z_4) \cdot m_t}{2} = \frac{(35+52) \cdot 3,862}{2} = 168 \text{ mm} \\ P_{bt} &= \pi \cdot m_t \cdot \cos \alpha_{tw} = 11,2587 \text{ mm}\end{aligned}$$

Pastorek (3)

$$\begin{aligned}z_3 &= 35 \\ d_3 &= z_3 \cdot m_t = 35 \cdot 3,862 = 135,173 \text{ mm} \\ d_{a3} &= d_3 + 2 m_n = 142,173 \text{ mm} \\ d_{b3} &= d_3 \cdot \cos(\alpha_{tw}) = 125,434 \text{ mm} \\ d_{f3} &= d_3 - 2,5 m_n = 126,423 \text{ mm} \\ Z_{v3} &= \frac{z_3}{\cos^3 \beta} = \frac{35}{\cos^3 25,008} = 470,2\end{aligned}$$

Kolo (4)

$$\begin{aligned}z_4 &= 52 \\ d_4 &= z_4 \cdot m_t = 64 \cdot 3,862 = 200,828 \text{ mm} \\ d_{a4} &= d_4 + 2 m_n = 207,828 \text{ mm} \\ d_{b4} &= d_4 \cdot \cos(\alpha_{tw}) = 186,360 \text{ mm} \\ d_{f4} &= d_4 - 2,5 m_n = 192,078 \text{ mm} \\ Z_{v4} &= \frac{z_4}{\cos^3 \beta} = \frac{52}{\cos^3 25,008} = 69,86\end{aligned}$$

Výpočet součinitele trvání záběru

$$\begin{aligned}\varepsilon_\alpha &= \frac{\sqrt{r_{a3}^2 - r_{b3}^2} + \sqrt{r_{a4}^2 - r_{b4}^2} - a_w \cdot \sin(\alpha_{tw})}{P_{bt}} \\ \varepsilon_\alpha &= \frac{\sqrt{71,0865^2 - 62,717^2} + \sqrt{103,914^2 - 93,18^2} - 168 \cdot \sin(21,881)}{11,2587} = 1,501 \\ \varepsilon_\beta &= \frac{b_{wh} \cdot \sin \beta}{\pi \cdot m_n} = \frac{39 \cdot \sin(25,008)}{\pi \cdot 3,5} = 1,499 \\ \varepsilon &= \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta = 3\end{aligned}$$

5.4.2 Silové poměry čelního soukolí

$$\begin{aligned}F_t &= \frac{M_1}{r_1} = \frac{119,36}{\frac{0,13517}{2}} = 1766,13 \text{ N} \\ F_n &= \frac{F_t}{\cos(\alpha_n) \cdot \cos(\beta)} = \frac{1766,13}{\cos(20) \cdot \cos(25,008)} = 2073,9 \text{ N}\end{aligned}$$

$$F_r = \frac{F_{t1}}{\cos(\beta)} \cdot \tan(\alpha_n) = \frac{1766,13}{\cos(25,008)} \cdot \tan(20) = 709,318 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan(\beta) = 1766,13 \cdot \tan(25,008) = 823,86 \text{ N}$$

5.4.3 Pevnostní kontrola

Kontrola z hlediska únavy v dotyku

kde:

$$i=1,5$$

$$Z_E = 190 \quad (\text{tab. 10})$$

$$Z_H = 2,3 \quad (\text{obr. 2})$$

$$Z_\epsilon = 0,82 \quad (\text{obr. 3})$$

$$b_{wh} = 39 \text{ mm}$$

$$K_A = 1,75$$

$$K_{H\beta} = 1,16$$

$$K_{H\alpha} \cdot K_{HV} = 1,2$$

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{HV} = 1,75 \cdot 1,16 \cdot 1,2 = 2,436$$

$$Z_R = 1$$

$$S_{Hmin} = 1,3$$

$$\sigma_{Hlim 3,4} = 1140 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{HP3} = \sigma_{HP4} = \frac{\sigma_{Hlim} \cdot Z_R}{S_{Hmin}} = \frac{1140 \cdot 1}{1,3} = 877 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = \sigma_{H0} \cdot \sqrt{K_H} = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\epsilon \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b_{wh} \cdot d_3} \cdot \frac{i+1}{i}} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{HV}}$$

$$\sigma_{H0} = 267,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = 190 \cdot 2,3 \cdot 0,82 \cdot \sqrt{\frac{1766,13}{39 \cdot 135,173} \cdot \frac{1,5+1}{1,5}} \cdot \sqrt{1,75 \cdot 1,16 \cdot 1,2} = 417,9 \text{ MPa}$$

$$417,9 \text{ MPa} < 877 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola na dotyk při jednorázovém působení největšího zatížení

$$K_{as} = 2 (> K_A)$$

$$\sigma_{Hmax3,4} = 4 \cdot V_{HV} = 4 \cdot 650 = 2600 \text{ MPa}$$

$$F_{t1} = F_t \cdot K_{as} = 1766,13 \cdot 2 = 3532,26 \text{ N}$$

$$\sigma_{Hmax} = \sigma_{H0} \cdot \sqrt{\frac{F_{t1} \cdot K_H}{F_t}} = 291,63 \cdot \sqrt{\frac{3532,26 \cdot 2,436}{1766,13}} = 643,7 \text{ MPa}$$

$$643,7 \text{ MPa} < 2600 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola z hlediska únavy v ohybu

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b_{wF} \cdot m_n} \cdot K_F \cdot Y_{FS} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_{b\beta} \leq \sigma_{FP}$$

$$K_A = 1,75$$

$$K_{H\beta} = K_{F\beta} = 1,16$$

$$K_{F\sigma} \cdot K_{Fv} = 1,2$$

$$K_F = K_H = 2,436$$

$$Y_\beta = 0,79$$

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} = 0,667$$

$$S_{Fmin} = 1,4$$

$$Y_{FS1} = 3,75$$

$$\sigma_{Flim} = \sigma_{Flim}^0 = 390 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FPI} = \frac{\sigma_{Flim}}{S_{Fmin}} = \frac{390}{1,4} = 278,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{F1} = \frac{1766,13}{39 \cdot 3,5} \cdot 2,436 \cdot 3,75 \cdot 0,667 \cdot 1 = 78,84 \text{ MPa}$$

$$78,85 \text{ MPa} < 278,6 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení

$$\sigma_{\text{FST}} = 2,5 \cdot \sigma_{\text{Flimb}} = 2,5 \cdot 390 = 975 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{FPmax}} = 0,8 \cdot \sigma_{\text{Fst}} = 0,8 \cdot 975 = 780 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{Fmax}} = \sigma_{\text{F}} \cdot \frac{F_{\text{t1}}}{F_{\text{t}}} \leq \sigma_{\text{FPmax}}$$

$$\sigma_{\text{Fmax1}} = \sigma_{\text{F1}} \cdot \frac{F_{\text{t1}}}{F_{\text{t}}} = 78,86 \cdot \frac{3532,26}{1766,13} = 157,72 \text{ MPa}$$

$$157,72 \text{ MPa} < 780 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržené soukolí vyhovuje.

5.4.4 Výpočet rozměrů čelního soukolí se šikmými zuby (redukce 50%)

Návrhový výpočet:

Pastorek (5):		Kolo (6):	
Mat.: 12051		Mat.: 12 051	
Tvrdość: V_{HV}	= 600 – 675	Tvrdość: V_{HV}	= 600 - 675
σ_{Hlim}	= 1140MPa	σ_{Hlim}	= 1140 MPa
σ_{Flimb}	= 390 MPa	σ_{Flimb}	= 390 MPa
Re	= 390 MPa	Re	= 390 MPa
z_5	= 22	z_6	= 67

Kroutící moment:

$$M_{k2} = \frac{P_{vstup} \cdot \eta}{\omega} = \frac{15000 \cdot 0,96}{\frac{2\pi \cdot 1152}{60}} = 119,36 \text{ Nm}$$

Převodový poměr:

$$i = \frac{z_6}{z_5} = \frac{67}{22} = 3$$

Průměr roztečné kružnice pastorku uprostřed šířky zubu:

$$d_5 = f_H \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot M_{k2}}{(b_{wH}/d_5)\sigma_{HP}^2} \cdot \frac{i+1}{1}} = 690 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,03 \cdot 119,366}{0,9 \cdot 912^2} \cdot \frac{3+1}{3}} = 52,144 \text{ mm}$$

$$f_H = 690$$

$$(b_{wH}/d_{m1}) = 0,9 \quad (\text{tab. 7})$$

$$\sigma_{HP} = 0,8 \cdot \sigma_{Hlim} = 0,8 \cdot 1140 = 912 \text{ MPa}$$

$$K_A = 1,75 \quad (\text{tab. 3})$$

$$K_{H\beta} = 1,16 \quad (\text{obr. 1})$$

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} = 1,75 \cdot 1,16 = 2,03$$

úhel sklonu zubu $\beta \approx 22^\circ$

Normálový modul

$$m_n = \frac{d_5 \cdot \cos \beta}{z_5} = \frac{52,144 \cdot \cos 22}{22} = 2,197 \text{ mm}$$

Volím: modul $m_n = 3,5 \text{ mm}$ a šířka ozubení $b = 44 \text{ mm}$.

Zjednodušený kontrolní výpočet:

$$\begin{aligned}\beta &= 22,015^\circ \\ b_{wh} &= 44 \text{ mm} \\ m_n &= 3,5 \text{ mm} \\ m_t &= m_n / \cos(\beta) = 3,5 / \cos(22,015) = 3,775 \text{ mm} \\ \alpha_n &= 20^\circ \\ \alpha_{tw} &= \tan^{-1}\left(\frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\tan 20}{\cos 22,015}\right) = 21,434^\circ \\ a_w &= \frac{(z_5+z_6) \cdot m_t}{2} = \frac{(22+67) \cdot 3,775}{2} = 168 \text{ mm} \\ P_{bt} &= \pi \cdot m_t \cdot \cos \alpha_{tw} = 11,039 \text{ mm}\end{aligned}$$

pastorek (5)

$$\begin{aligned}z_5 &= 22 \\ d_5 &= z_5 \cdot m_t = 22 \cdot 3,775 = 83,056 \text{ mm} \\ d_{a5} &= d_5 + 2 m_n = 90,056 \text{ mm} \\ d_{b5} &= d_5 \cdot \cos(\alpha_{tw}) = 77,311 \text{ mm} \\ d_{f5} &= d_5 - 2,5 m_n = 74,306 \text{ mm} \\ z_{v5} &= \frac{z_5}{\cos^3 \beta} = \frac{22}{\cos^3 22,015} = 27,6\end{aligned}$$

kolo (6)

$$\begin{aligned}z_6 &= 67 \\ d_6 &= z_6 \cdot m_t = 67 \cdot 3,775 = 252,925 \text{ mm} \\ d_{a6} &= d_6 + 2 m_n = 259,943 \text{ mm} \\ d_{b6} &= d_6 \cdot \cos(\alpha_{tw}) = 235,448 \text{ mm} \\ d_{f6} &= d_6 - 2,5 m_n = 244,193 \text{ mm} \\ z_{v6} &= \frac{z_6}{\cos^3 \beta} = \frac{67}{\cos^3 22,015} = 84,08\end{aligned}$$

Výpočet součinitele trvání záběru

$$\begin{aligned}\varepsilon_\alpha &= \frac{\sqrt{r_{a5}^2 - r_{b5}^2} + \sqrt{r_{a6}^2 - r_{b6}^2} - a_w \cdot \sin(\alpha_{tw})}{P_{bt}} \\ \varepsilon_\alpha &= \frac{\sqrt{45,028^2 - 38,655^2} + \sqrt{129,9715^2 - 117,724^2} - 168 \cdot \sin(21,434)}{11,039} = 1,51 \\ \varepsilon_\beta &= \frac{b_{wh} \cdot \sin \beta}{\pi \cdot m_n} = \frac{44 \cdot \sin(22,015)}{\pi \cdot 3,5} = 1,49 \\ \varepsilon &= \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta = 3\end{aligned}$$

5.4.5 Silové poměry čelního soukolí

$$F_t = \frac{M_5}{r_5} = \frac{119,36}{\frac{0,083}{2}} = 2876,356 \text{ N}$$

$$F_n = \frac{F_t}{\cos(\alpha_n) \cdot \cos(\beta)} = \frac{2876,356}{\cos(20) \cdot \cos(22,015)} = 3299,4 \text{ N}$$

$$F_r = \frac{F_{t1}}{\cos(\beta)} \cdot \tan(\alpha_n) = \frac{2876,356}{\cos(22,015)} \cdot \tan(20) = 1128,461 \text{ N}$$

$$F_a = F_t \cdot \tan(\beta) = 2876,356 \cdot \tan(22,015) = 1162,191 \text{ N}$$

5.4.6 Pevnostní kontrola

Kontrola z hlediska únavy v dotyku

kde:

$$i=3$$

$$Z_E = 190 \quad (\text{tab. 10})$$

$$Z_H = 2,35 \quad (\text{obr. 2})$$

$$Z_\epsilon = 0,82 \quad (\text{obr. 3})$$

$$b_{wh} = 44 \text{ mm}$$

$$K_A = 1,75$$

$$K_{H\beta} = 1,16$$

$$K_{H\alpha} \cdot K_{HV} = 1,2$$

$$K_H = K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{HV} = 1,75 \cdot 1,16 \cdot 1,2 = 2,436$$

$$Z_R = 1$$

$$S_{Hmin} = 1,3$$

$$\sigma_{Hlim 5,6} = 1140 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{HP5} = \sigma_{HP6} = \frac{\sigma_{Hlim} \cdot Z_R}{S_{Hmin}} = \frac{1140 \cdot 1}{1,3} = 877 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = \sigma_{H0} \cdot \sqrt{K_H} = Z_E \cdot Z_H \cdot Z_\epsilon \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b_{wh} \cdot d_5} \cdot \frac{i+1}{i}} \cdot \sqrt{K_A \cdot K_{H\beta} \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{HV}}$$

$$\sigma_{H0} = 374,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H = 190 \cdot 2,35 \cdot 0,82 \cdot \sqrt{\frac{2874,356}{44 \cdot 83,056} \cdot \frac{3+1}{3}} \cdot \sqrt{1,75 \cdot 1,16 \cdot 1,2} = 585,19 \text{ MPa}$$

$$585,19 \text{ MPa} < 877 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola na dotyk při jednorázovém působení největšího zatížení

$$K_{as} = 2 (> K_A)$$

$$\sigma_{Hmax5,6} = 4 \cdot V_{HV} = 4 \cdot 650 = 2600 \text{ MPa}$$

$$F_{t1} = F_t \cdot K_{as} = 2874,356 \cdot 2 = 5748,712 \text{ N}$$

$$\sigma_{Hmax} = \sigma_{H0} \cdot \sqrt{\frac{F_{t1} \cdot K_H}{F_t}} = 374,9 \cdot \sqrt{\frac{5748,712 \cdot 2,436}{2874,356}} = 827,5 \text{ MPa}$$

827,5 MPa < 2600 MPa → vyhovuje

Kontrola z hlediska únavy v ohybu

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b_{wF} \cdot m_n} \cdot K_F \cdot Y_{FS} \cdot Y_\varepsilon \cdot Y_{b\beta} \leq \sigma_{FP}$$

$$K_A = 1,75$$

$$K_{H\beta} = K_{F\beta} = 1,16$$

$$K_{F\sigma} \cdot K_{Fv} = 1,2$$

$$K_F = K_H = 2,436$$

$$Y_\beta = 0,82$$

(obr. 4)

$$Y_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon_\alpha} = 0,662$$

$$S_{Fmin} = 1,4$$

$$Y_{FS1} = 3,95$$

(obr. 6)

$$\sigma_{Flim} = \sigma_{Flim}^0 = 390 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FPI} = \frac{\sigma_{Flim}}{S_{Fmin}} = \frac{390}{1,4} = 278,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{F1} = \frac{2874,356}{44 \cdot 3,5} \cdot 2,436 \cdot 3,95 \cdot 0,662 \cdot 1 = 118,89 \text{ MPa}$$

118,89 MPa < 278,6 MPa → vyhovuje

Kontrola na ohyb při jednorázovém působení největšího zatížení

$$\sigma_{FST} = 2,5 \cdot \sigma_{Flimb} = 2,5 \cdot 390 = 975 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{FPmax} = 0,8 \cdot \sigma_{Fst} = 0,8 \cdot 975 = 780 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Fmax} = \sigma_F \cdot \frac{F_{t1}}{F_t} \leq \sigma_{FPmax}$$

$$\sigma_{Fmax1} = \sigma_{Fl} \cdot \frac{F_{t1}}{F_t} = 118,89 \cdot \frac{5748,712}{2874,356} = 237,78 \text{ MPa}$$

$$237,78 \text{ MPa} < 780 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Navržené soukolí vyhovuje.

5.5 Návrh řemenového převodu

Podle otáček a přenášeného výkonu volím z tabulek úzký řemen SPB

$d_p = 140 \text{ mm}$ - roztečný průměr malé řemenice

$Pr = 5,5 \text{ kW}$ - výkon přenášený jedním řemenem (z tab.)

Výpočet d_2

$$i = \frac{d_2}{d_p(1 - \xi)} \rightarrow d_2 = i * d_p * (1 - \xi)$$

$$\xi = 0,015$$

$$d_2 = 3,07 * 140 * (1 - 0,015) = 424 \text{ mm}$$

Výpočet délky řemene

$$a = 622 \text{ mm}$$

$$\sin \frac{\beta}{2} = \frac{d_2 - d_p}{2a} = \frac{424 - 140}{2 * 622} = 0,22829$$

$$\beta = 26,39^\circ$$

pomocí vzorce z tab.

$$L = 2a + 1,57(d_2 + d_p) + \frac{(d_2 - d_p)^2}{4a} = 2161,89 \text{ mm} \rightarrow \text{volím délku } 2240 \text{ mm}$$

Potřebný počet řemenů

$$Z = \frac{P * C_2}{P_r * C_1 * C_3} = \frac{14\,112 * 1,3}{5500 * 0,93 * 0,94} = 3,8 \text{ řemenů} \rightarrow \text{volím } 4$$

$C_1 = 0,93$ - součinitel úhlu opásání

$C_2 = 1,3$ - součinitel provozního zatížení

$C_3 = 0,94$ - součinitel délky klínového řemene

Potřebná síla předpětí F_0

$$F_t = \frac{M_{k3}}{r_1} = \frac{356\,254}{0,07} = 5158,9 \text{ N}$$

$$\alpha = 180 - \beta = 153,31^\circ = 2,68 \text{ rad}$$

$$f_k = \frac{f}{\sin \frac{\varphi}{2}} = \frac{0,6}{\sin \left(\frac{34}{2} \right)} = 2,05$$

$$F_o = \frac{F_t}{2} * \frac{e^{f_k * \alpha} + 1}{e^{f_k * \alpha} - 1} = \frac{5158,9}{2} * \frac{e^{2 * 2,68} + 1}{e^{2 * 2,68} - 1} = 5163,36 \text{ N}$$

$$F_{VR} = 2 * F_o * \cos \frac{\beta}{2} = 2 * 5163,36 * \cos \left(\frac{26,39}{2} \right) = 10\,054 \text{ N}$$

Součinitel tření f volím z katalogu řemenů $f=0,6$

Úhel drážky řemenice $\varphi=34^\circ$

F_{VR}síla zatěžující hřídel

f_ktření v klínové drážce

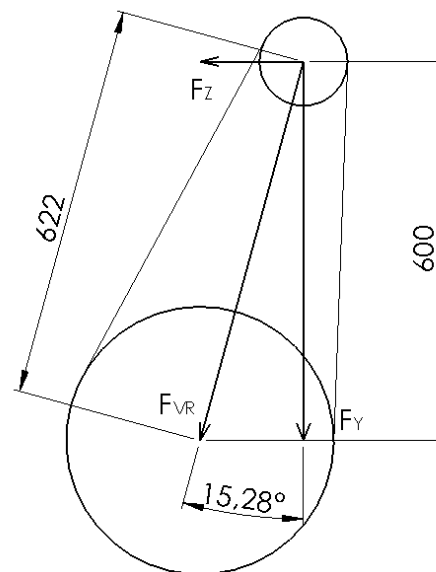
5.6 Výpočet složek sil působící na výstupní hřídel

$$\alpha=15,28^\circ$$

$$\cos(\alpha) = \frac{z_B}{a} = \frac{600}{622} \rightarrow \alpha = 15,28^\circ$$

$$\cos(\alpha) = \frac{F_z}{F_{VR}} \rightarrow F_z = 9698,58 \text{ N}$$

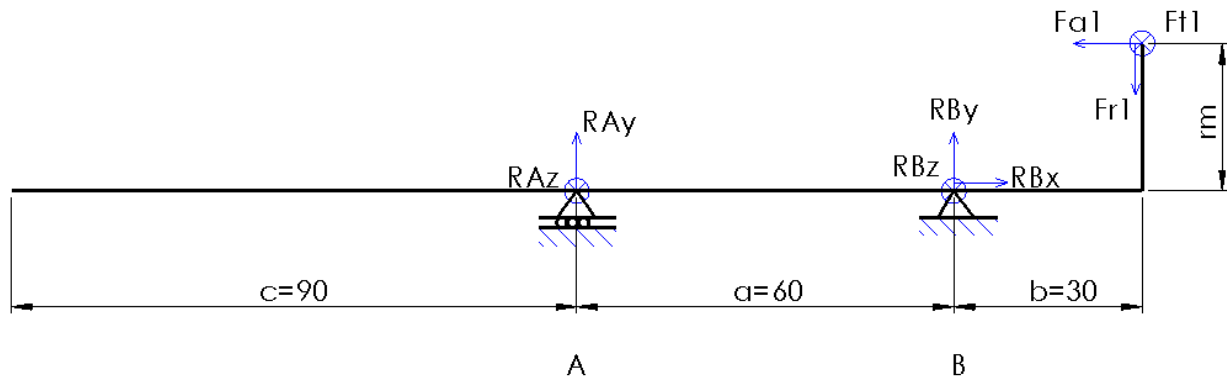
$$\sin(\alpha) = \frac{F_y}{F_{VR}} \rightarrow F_y = 2649,59 \text{ N}$$



Obrázek 9 Vektorový diagram sil působící na řemenici

5.7 Návrh hřídelů

5.7.1 Vstupní hřídel



Obrázek 10 Schéma reakcí vstupního hřídele

$$r_m = 42,508 \text{ mm}$$

$$F_{t1} = 1170 \text{ N}$$

$$F_{a1} = 837,491 \text{ N}$$

$$F_{r1} = 200,839 \text{ N}$$

$$a = 60 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

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

$$(1) R_{Bx} - F_{a1} = 0$$

$$(2) R_{Ay} + R_{By} - F_{r1} = 0$$

$$(3) R_{Az} + R_{Bz} + F_{t1} = 0$$

$$(4) R_{Az} \cdot a - F_{t1} \cdot b = 0$$

$$(5) R_{By} \cdot a - F_{r1} \cdot (a+b) + F_{a1} \cdot r_m = 0$$

$$R_{Bx} = F_{a1} = 837,491 \text{ N}$$

$$R_{Az} = \frac{F_{t1} \cdot b}{a} = \frac{1170 \cdot 30}{60} = 585 \text{ N}$$

$$R_{By} = \frac{-F_{a1} \cdot r_m + F_{r1} \cdot (a+b)}{a} = \frac{-837,491 \cdot 42,508 + 200,839 \cdot (30+60)}{60} = -292,075 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = F_{r1} - R_{By} = 200,839 - (-292,075) = 492,914 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = -F_{t1} - R_{Az} = -1170 - 585 = -1755 \text{ N}$$

Výsledné reakce:

$$R_A = \sqrt{(R_{AY})^2 + (R_{AZ})^2} = \sqrt{(492,914)^2 + (585)^2} = 764,97 \text{ N}$$

$$R_B = \sqrt{(R_{BY})^2 + (R_{BZ})^2} = \sqrt{(-292,075)^2 + (-1755)^2} = 1779,138 \text{ N}$$

Smyková síla



Obrázek 11 Průběh smykové síly vstupního hřídele

Moment okolo y:

$$M_1^y(0) = 0 \text{ Nm}$$

$$M_1^y(a) = R_{AZ} \cdot a = -585 \cdot 60 = -35,1 \text{ Nm}$$

$$M_1^y(a+b) = R_{AZ} \cdot (a+b) + R_{BZ} \cdot b = 585 \cdot (60+30) + (-1755) \cdot 30 = 0 \text{ Nm}$$

Moment okolo z:

$$M_1^z(0) = 0 \text{ Nm}$$

$$M_1^z(a) = R_{AY} \cdot a = 492,914 \cdot 60 = 29,57 \text{ Nm}$$

$$M_1^z(a+b) = R_{AY} \cdot (a+b) + R_{BY} \cdot b = 492,914 \cdot (60+30) + (-292,075) \cdot 30 = 35,6 \text{ Nm}$$

Výsledné momenty:

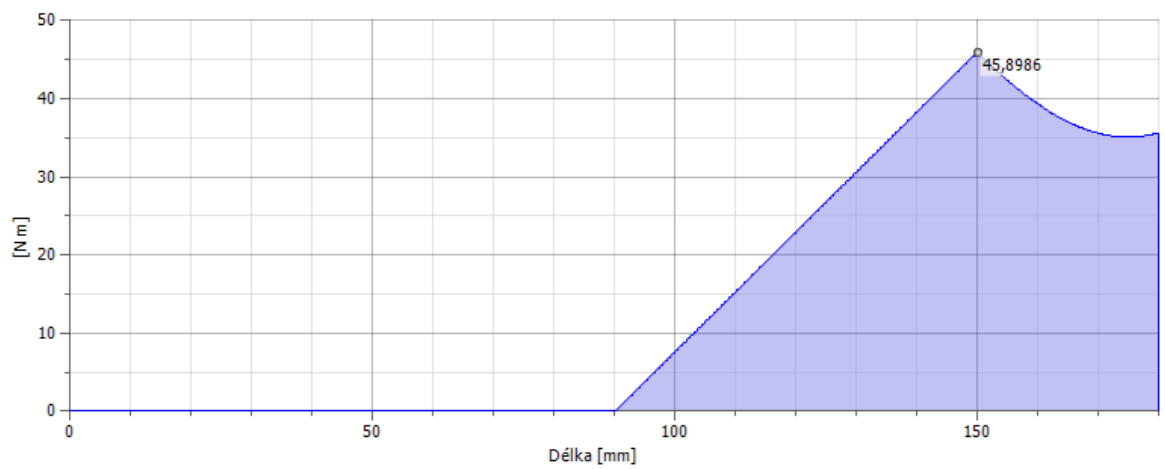
$$M(0) = 0 \text{ Nm}$$

$$M(a) = \sqrt{(M_1^y(a))^2 + (M_1^z(a))^2} = \sqrt{(-35,1)^2 + (29,57)^2} = 45,89 \text{ Nm}$$

$$M(a+b) = \sqrt{(M_1^y(a+b))^2 + (M_1^z(a+b))^2} = \sqrt{(0)^2 + (35,6)^2} = 35,6 \text{ Nm}$$

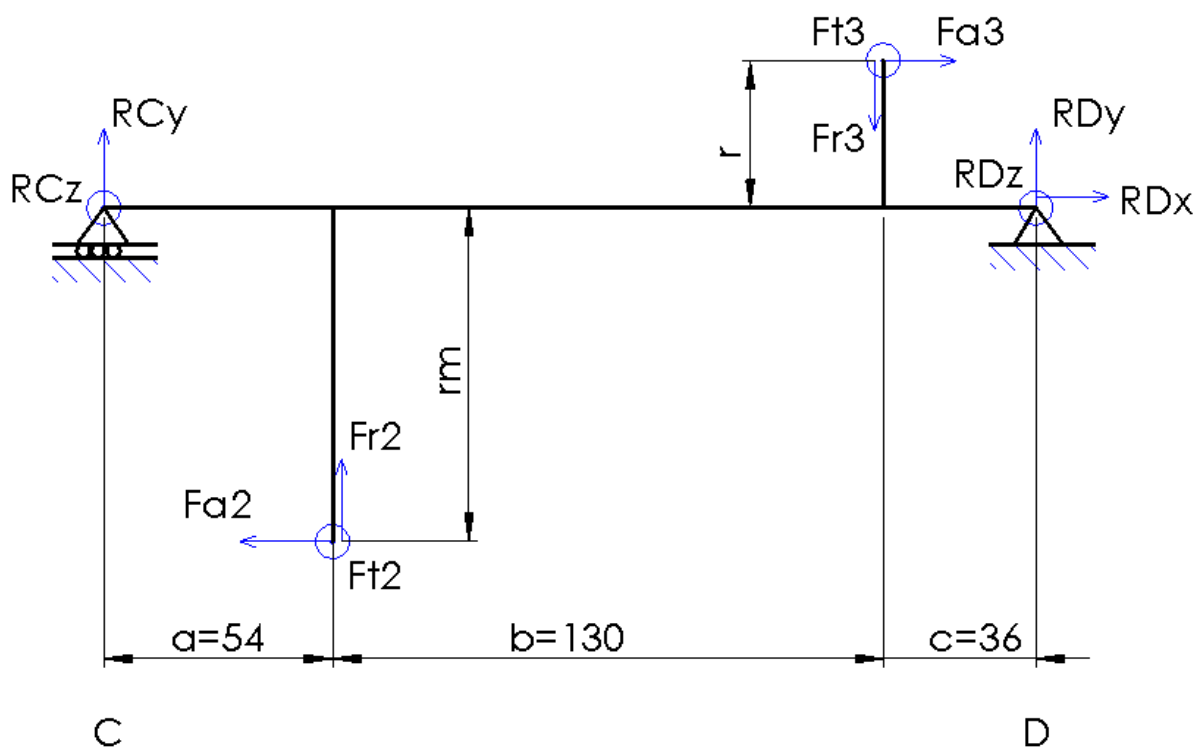
$$M_{OMAX} = 45,89 \text{ Nm}$$

Celkový ohybový moment



Obrázek 12 Průběh ohybového momentu vstupního hřídele

5.7.2 Předlokový hřídel



Obrázek 13 Schéma reakcí předlohového hřídele

$$r_m = 108,0415 \text{ mm}$$

$$r = 67,586 \text{ mm}$$

$$F_{t2} = 1170 \text{ N}$$

$$F_{a2} = 200,839 \text{ N}$$

$$F_{r2} = 837,491 \text{ N}$$

$$F_{t3} = 1766 \text{ N}$$

$$F_{a3} = 823,86 \text{ N}$$

$$F_{r3} = 709,318 \text{ N}$$

$$a = 54 \text{ mm}$$

$$b = 130 \text{ mm}$$

$$c = 36 \text{ mm}$$

$$(6) R_{DX} - F_{a2} + F_{a3} = 0$$

$$(7) R_{CY} + R_{DY} + F_{r2} - F_{r3} = 0$$

$$(8) R_{CZ} + R_{DZ} + F_{t2} + F_{t3} = 0$$

$$(9) R_{CZ} \cdot (a+b+c) + F_{t2} \cdot (b+c) + F_{t3} \cdot c = 0$$

$$(10) R_{CY} \cdot (a+b+c) + F_{r2} \cdot (b+c) + F_{a2} \cdot r_m - F_{r3} \cdot c + F_{a3} \cdot r = 0$$

$$R_{DX} = F_{a2} - F_{a3} = 200,839 - 823,86 = -623,021 \text{ N}$$

$$R_{CY} = \frac{-F_{a2} \cdot r_m - F_{r2} \cdot (b+c) + F_{r3} \cdot c - F_{a3} \cdot r}{a+b+c} = \frac{-200,839 \cdot 108,0415 - 837,491 \cdot (130+36) + 709,318 \cdot 36 - 823,86 \cdot 67,586}{54+130+36} = -867,583 \text{ N}$$

$$R_{CZ} = \frac{-F_{t2} \cdot (b+c) - F_{t3} \cdot c}{a+b+c} = \frac{-1170 \cdot (130+36) - 1766 \cdot 36}{54+130+36} = -1171,8 \text{ N}$$

$$R_{DY} = F_{r3} - R_{CY} - F_{r2} = 709,318 - (-867,583) - 837,491 = 739,41 \text{ N}$$

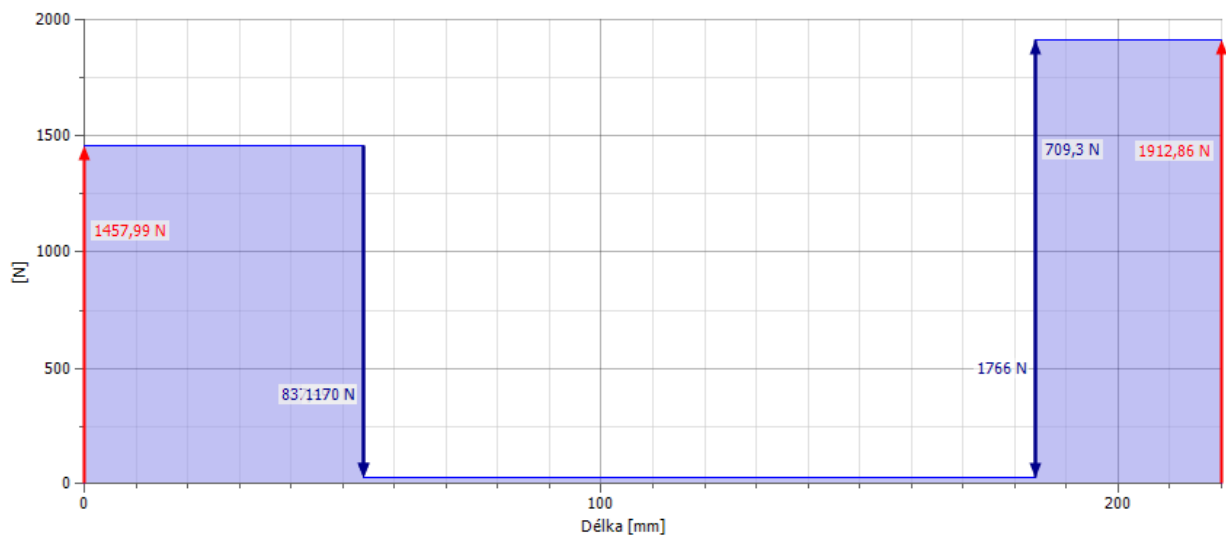
$$R_{DZ} = -F_{t3} - R_{CZ} - F_{t2} = -1766 - (-1171,8) - 1170 = -1764,2 \text{ N}$$

Výsledné reakce:

$$R_C = \sqrt{(R_{CY})^2 + (R_{CZ})^2} = \sqrt{(-867,583)^2 + (-1171,8)^2} = 1458 \text{ N}$$

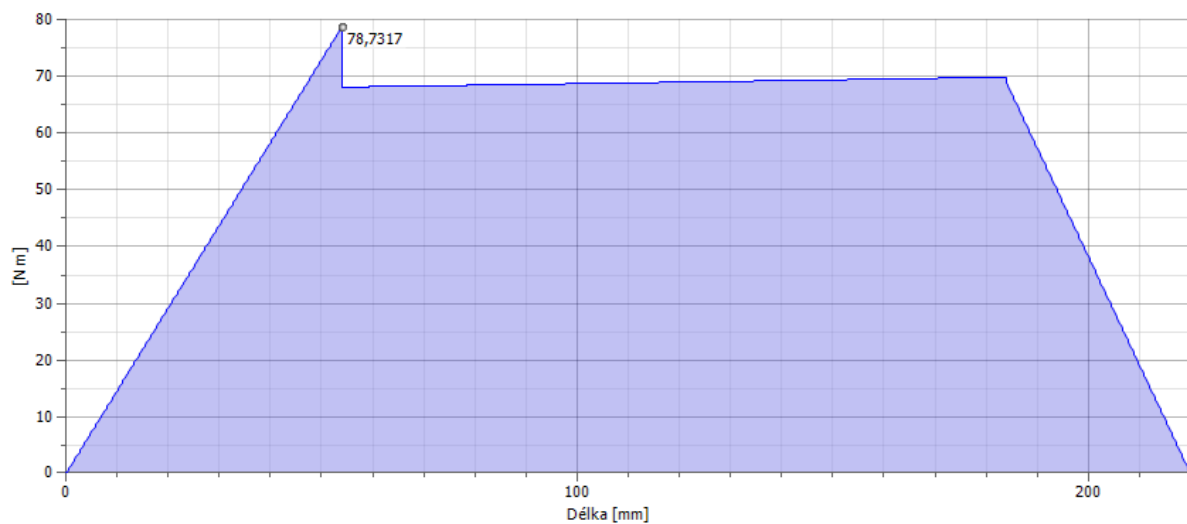
$$R_D = \sqrt{(R_{DY})^2 + (R_{DZ})^2} = \sqrt{(739,41)^2 + (-1764,2)^2} = 1912,86 \text{ N}$$

Smyková síla



Obrázek 14 Průběh smykové síly předlohového hřídele

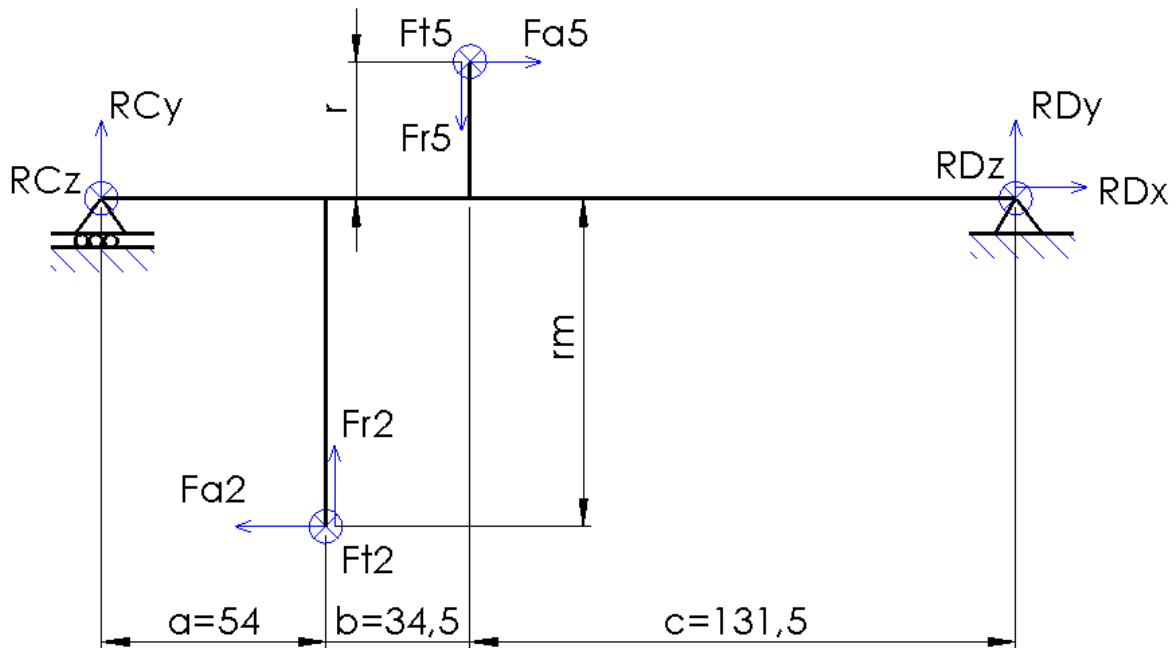
Celkový ohybový moment



Obrázek 15 Průběh ohybového momentu předlohového hřídele

$$M_{\text{OMAX}} = 78,73 \text{ Nm}$$

5.7.3 Předlohový hřídel (50% redukce)



Obrázek 16 Schéma reakcí předlohového hřídele(50% redukce)

$$r_m = 108,0415 \text{ mm}$$

$$r = 41,528 \text{ mm}$$

$$F_{t2} = 1170 \text{ N}$$

$$F_{a2} = 200,839 \text{ N}$$

$$F_{r2} = 837,491 \text{ N}$$

$$F_{t5} = 2874,356 \text{ N}$$

$$F_{a5} = 1162,191 \text{ N}$$

$$F_{r5} = 1128,461 \text{ N}$$

$$a = 54 \text{ mm}$$

$$b = 34,5 \text{ mm}$$

$$c = 131,5 \text{ mm}$$

$$(11) \quad R_{DX} - F_{a2} + F_{a5} = 0$$

$$(12) \quad R_{CY} + R_{DY} + F_{r2} - F_{r5} = 0$$

$$(13) \quad R_{CZ} + R_{DZ} + F_{t2} + F_{t5} = 0$$

$$(14) \quad R_{CZ} \cdot (a+b+c) + F_{t2} \cdot (b+c) + F_{t5} \cdot c = 0$$

$$(15) \quad R_{CY} \cdot (a+b+c) + F_{r2} \cdot (b+c) + F_{a2} \cdot r_m - F_{r5} \cdot c + F_{a5} \cdot r = 0$$

$$R_{DX} = F_{a2} - F_{a5} = -961,352 \text{ N}$$

$$R_{CY} = \frac{-F_{a2} \cdot r_m - F_{r2} \cdot (b+c) + F_{r5} \cdot c - F_{a5} \cdot r}{a+b+c} = -275,368 \text{ N}$$

$$R_{CZ} = \frac{-F_{t2} \cdot (b+c) - F_{t5} \cdot c}{a+b+c} = -2600 \text{ N}$$

$$R_{DY} = F_{r5} - R_{CY} - F_{r2} = 566,338 \text{ N}$$

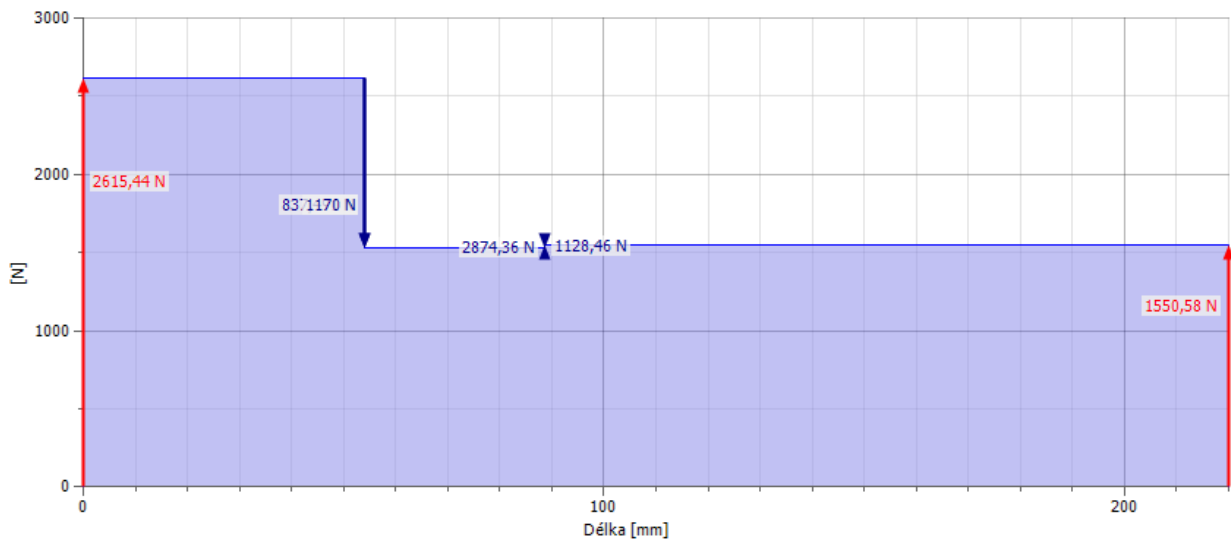
$$R_{DZ} = -F_{t5} - R_{CZ} - F_{t2} = 1443,457 \text{ N}$$

Výsledné reakce:

$$R_C = \sqrt{(R_{CY})^2 + (R_{CZ})^2} = 2614,44 \text{ N}$$

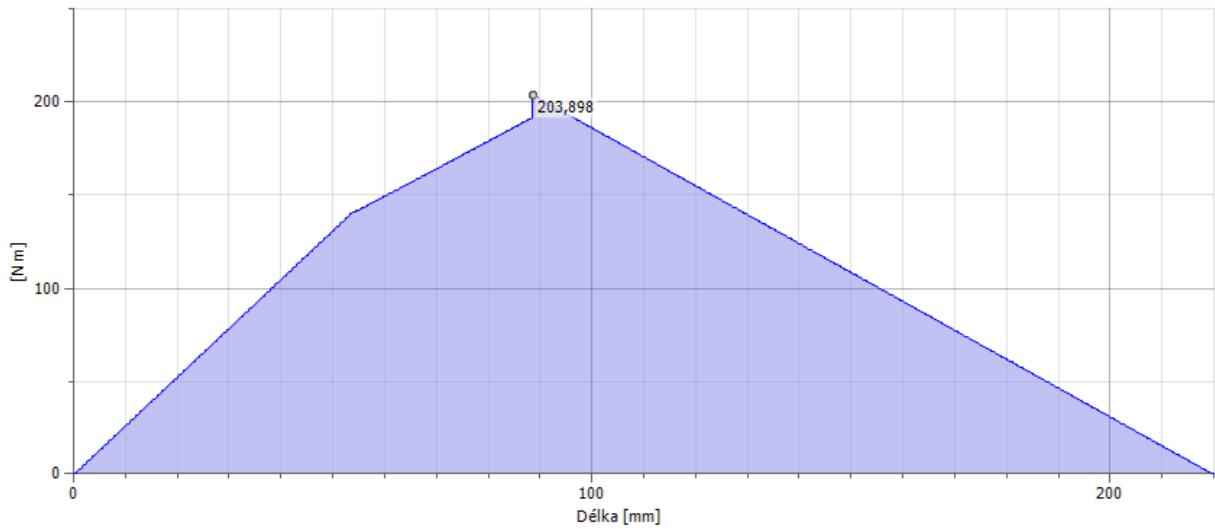
$$R_D = \sqrt{(R_{DY})^2 + (R_{DZ})^2} = 1550,58 \text{ N}$$

Smyková síla



Obrázek 17 Průběh smykové síly předlohového hřídele (50% redukce)

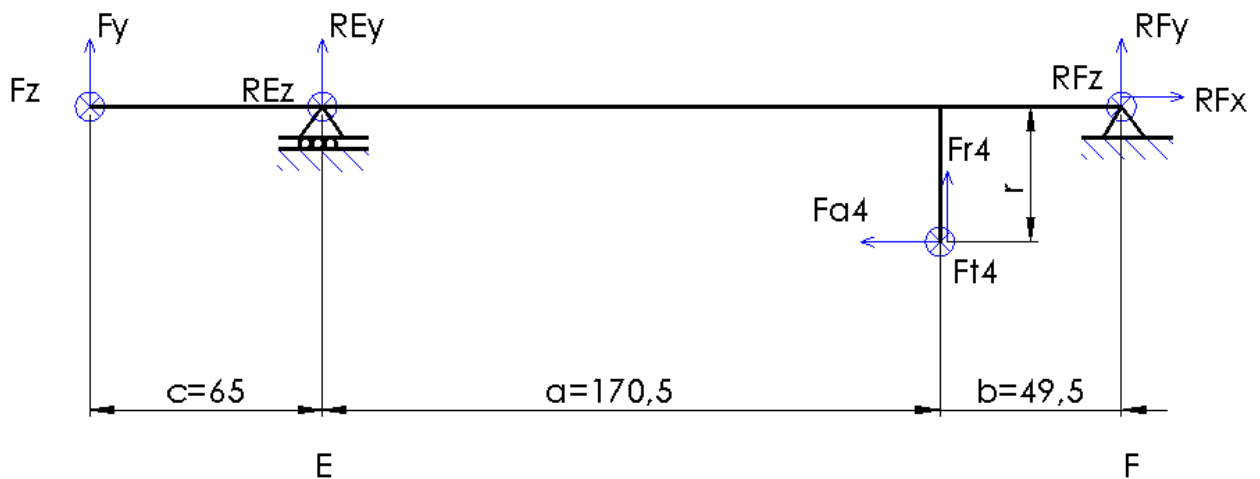
Celkový ohybový moment



Obrázek 18 Průběh ohybového momentu předlohového hřídele (50% redukce)

$$M_{\text{OMAX}} = 203,898 \text{ Nm}$$

5.7.4 Výstupní hřídel



Obrázek 19 Schéma reakcí výstupního hřídele

$$F_y = 2649,59 \text{ N}$$

$$F_z = 9698,58 \text{ N}$$

$$F_{t4} = 1766,13 \text{ N}$$

$$F_{r4} = 709,318 \text{ N}$$

$$F_{a4} = 823,86 \text{ N}$$

$$r = 100,414 \text{ mm}$$

$$a = 170,5 \text{ mm}$$

$$b = 49,5 \text{ mm}$$

$$c = 65 \text{ mm}$$

$$(16) \quad R_{EY} + R_{FY} + F_{r4} + F_y = 0$$

$$(17) \quad R_{EZ} + R_{FZ} + F_{t4} - F_z = 0$$

$$(18) \quad R_{EZ} \cdot (a+b) + F_{t4} \cdot b - F_z \cdot (a+b+c) = 0$$

$$(19) \quad R_{EY} \cdot (a+b) + F_{r4} \cdot b + F_y \cdot (a+b+c) + F_{a4} \cdot r = 0$$

$$R_{EZ} = \frac{-F_{t4} \cdot b + F_z \cdot (a+b+c)}{a+b} = 12166,69 \text{ N}$$

$$R_{EY} = \frac{-F_{r4} \cdot b - F_y \cdot (a+b+c) - F_{a4} \cdot r}{a+b} = -3968,02 \text{ N}$$

$$R_{FY} = F_{r4} - R_{EY} - F_y = 609,112 \text{ N}$$

$$R_{FZ} = -F_{t4} - R_{EZ} + F_z = -4234,24 \text{ N}$$

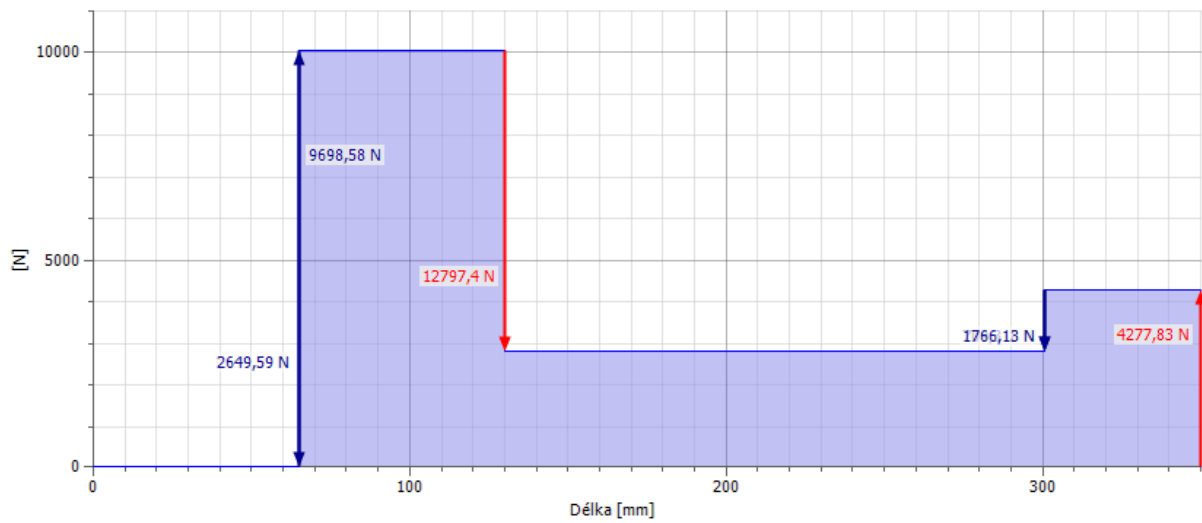
$$R_{FX} = 823,86 \text{ N}$$

Výsledné reakce:

$$R_E = \sqrt{(R_{EY})^2 + (R_{EZ})^2} = 12797,4 \text{ N}$$

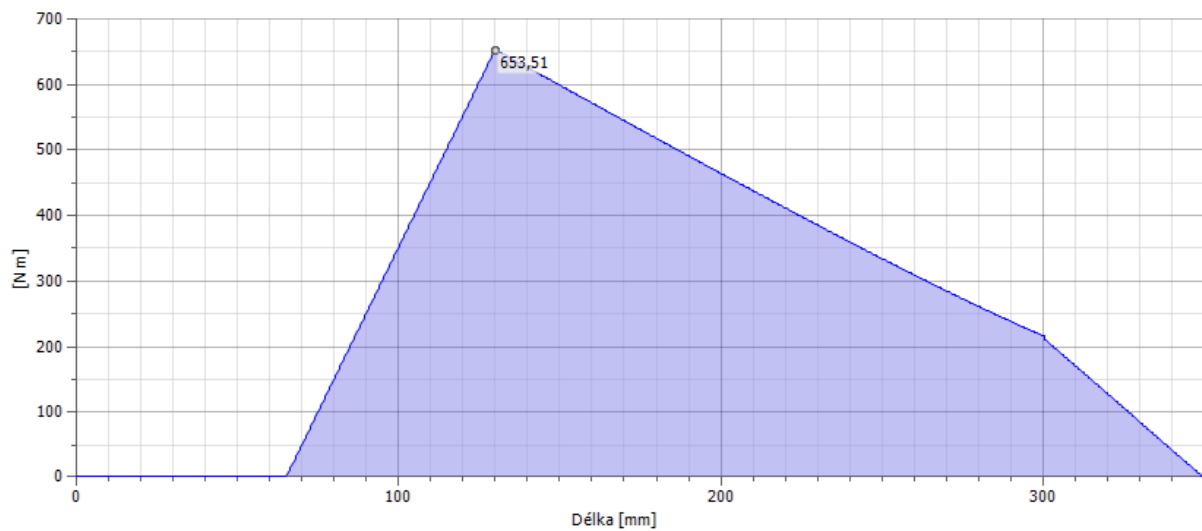
$$R_F = \sqrt{(R_{FY})^2 + (R_{FZ})^2} = 4277,83 \text{ N}$$

Smyková síla



Obrázek 20 Průběh smykové síly výstupního hřídele

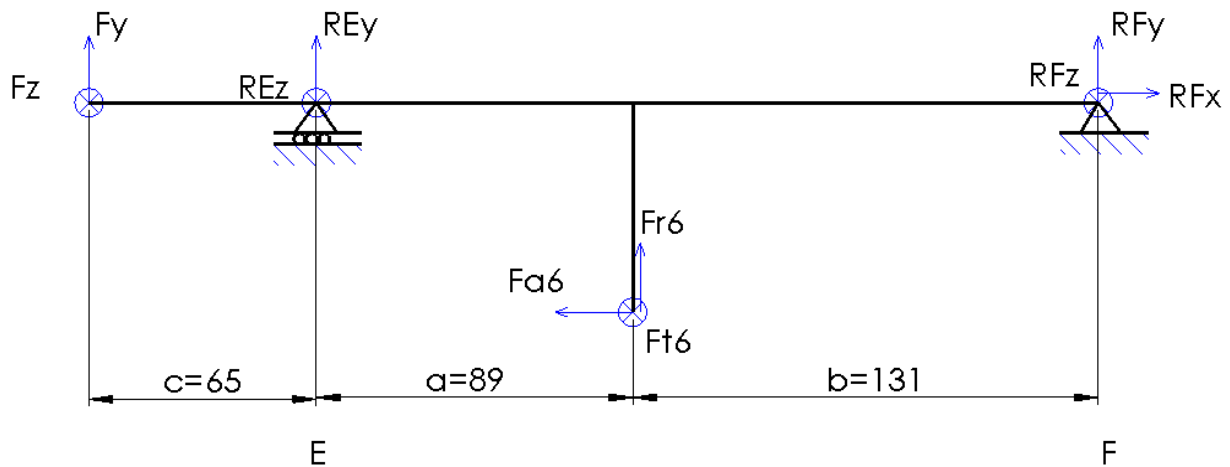
Celkový ohybový moment



Obrázek 21 Průběh ohybového momentu výstupního hřídele

$$M_{\text{OMAX}} = 653,51 \text{ Nm}$$

5.7.5 Výstupní hřídel (50% redukce)



Obrázek 22 Schéma reakcí výstupního hřídele (50% redukce)

$$F_y = 2649,58 \text{ N}$$

$$F_z = 9698,58 \text{ N}$$

$$F_{t6} = 2874,356 \text{ N}$$

$$F_{r6} = 1128,461 \text{ N}$$

$$F_{a6} = 1162,191 \text{ N}$$

$$r = 126,461 \text{ mm}$$

$$a = 89 \text{ mm}$$

$$b = 131 \text{ mm}$$

$$c = 65 \text{ mm}$$

$$(20) \quad R_{EY} + R_{FY} + F_{r6} + F_y = 0$$

$$(21) \quad R_{EZ} + R_{FZ} + F_{t6} - F_z = 0$$

$$(22) \quad R_{EZ} \cdot (a+b) + F_{t6} \cdot b - F_z \cdot (a+b+c) = 0$$

$$(23) \quad R_{EY} \cdot (a+b) + F_{r6} \cdot b + F_y \cdot (a+b+c) + F_{a6} \cdot r = 0$$

$$R_{EZ} = \frac{-F_{t6} \cdot b + F_z \cdot (a+b+c)}{a+b} = 10852,521 \text{ N}$$

$$R_{EY} = \frac{-F_{r6} \cdot b - F_y \cdot (a+b+c) - F_{a6} \cdot r}{a+b} = -4772,462 \text{ N}$$

$$R_{FY} = F_{r6} - R_{EY} - F_y = 994,411 \text{ N}$$

$$R_{FZ} = -F_{t6} - R_{EZ} + F_z = -4028,297 \text{ N}$$

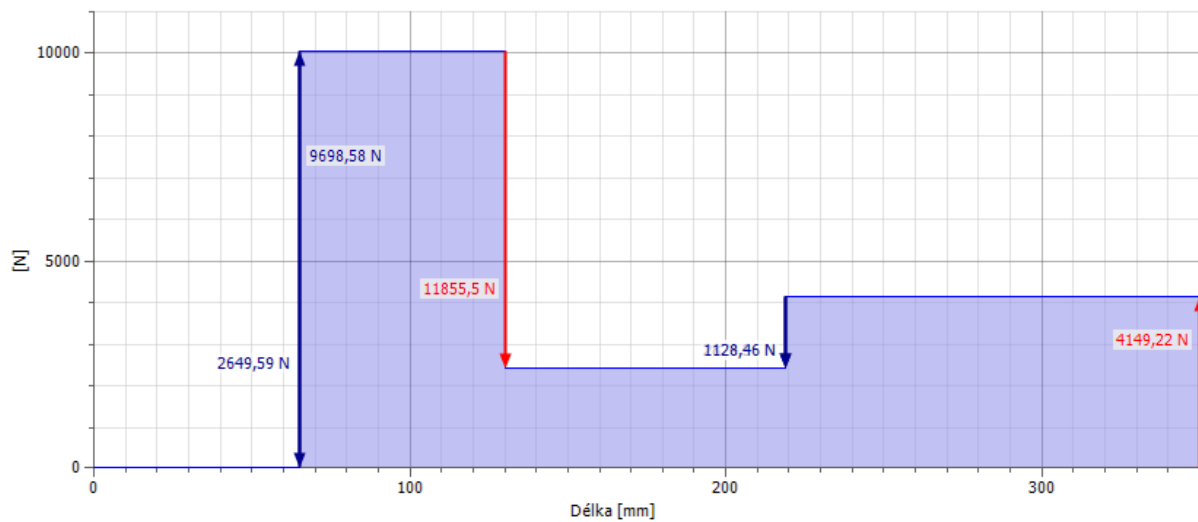
$$R_{FX} = 1162,191 \text{ N}$$

Výsledné reakce:

$$R_E = \sqrt{(R_{EY})^2 + (R_{EZ})^2} = 11855,5 \text{ N}$$

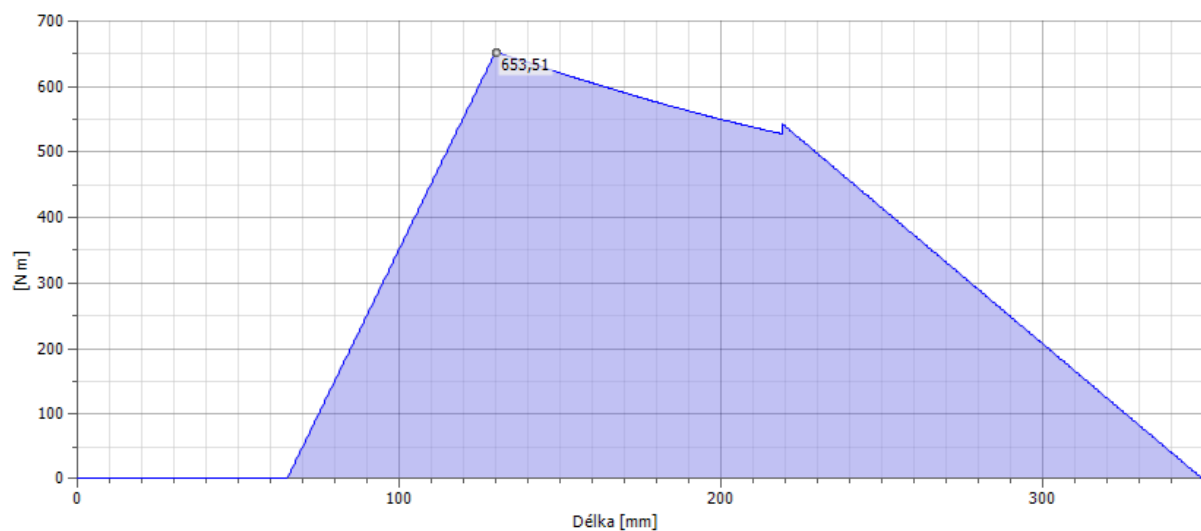
$$R_F = \sqrt{(R_{FY})^2 + (R_{FZ})^2} = 4149,22 \text{ N}$$

Smyková síla



Obrázek 23 Průběh smykové síly výstupního hřídele (50% redukce)

Celkový ohybový moment



Obrázek 24 Průběh ohybového momentu výstupního hřídele (50% redukce)

$$M_{OMAX} = 653,51 \text{ Nm}$$

5.8 Orientační výpočet průměrů hřídelí:

5.8.1 Vstupní hřídel

ocel ČSN 11 600

$\sigma_{D0}=125$ MPa

$\tau_{Dk}=135$ MPa

$M_{omax} = 45\,898,6$ Nmm

$M_k = 49\,740$ Nmm

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16M_o}{\pi \cdot \sigma_o}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 45\,898,3}{\pi \cdot 125}} = 12,33 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32M_k}{\pi \cdot \tau_k}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 49\,740}{\pi \cdot 135}} = 15,54 \text{ mm}$$

Volím průměr $d_1 = 20$ mm.

5.8.2 Předlokový hřídel

ocel ČSN 11 600

$\sigma_{D0}=125$ MPa

$\tau_{Dk}=135$ MPa

$M_k = 119\,370$ Nmm ,

$M_{omax} = 78\,731$ Nmm

$M_{omax} = 203\,898$ Nmm (redukce 50%)

Uvažuji větší maximální ohybový moment, který je při redukci 50%.

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16M_o}{\pi \cdot \sigma_o}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 203\,989}{\pi \cdot 125}} = 20,25 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32M_k}{\pi \cdot \tau_k}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 119\,370}{\pi \cdot 135}} = 20,8 \text{ mm}$$

Volím průměr $d_2 = 25$ mm.

5.8.3 Výstupní hřídel

ocel ČSN 11 700

$$\sigma_{D0}=125 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Dk}=85 \text{ MPa}$$

$$M_k = 173\,797 \text{ Nmm},$$

$$M_{\text{omax}} = 491\,019 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16M_o}{\pi \cdot \sigma_o}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 491\,019}{\pi \cdot 125}} = 27,14 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32M_k}{\pi \cdot \tau_k}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 173\,797}{\pi \cdot 85}} = 27,5 \text{ mm}$$

Volím průměr $d_3 = 40 \text{ mm}$.

5.8.4 Výstupní hřídel - redukce 50%

ocel ČSN 11 700

$$\sigma_{D0}=125 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Dk}=85 \text{ MPa}$$

$$M_k = 356\,244 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{omax}} = 491\,019 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{M_o}{W_o} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16M_o}{\pi \cdot \sigma_o}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 491\,019}{\pi \cdot 125}} = 27,14 \text{ mm}$$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32M_k}{\pi \cdot \tau_k}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 356\,244}{\pi \cdot 85}} = 35 \text{ mm}$$

Volím průměr $d_3 = 40 \text{ mm}$.

5.8.5 Koncová hřídel

ocel ČSN 11 600

$$\sigma_{D0}=125 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Dk}=135 \text{ MPa}$$

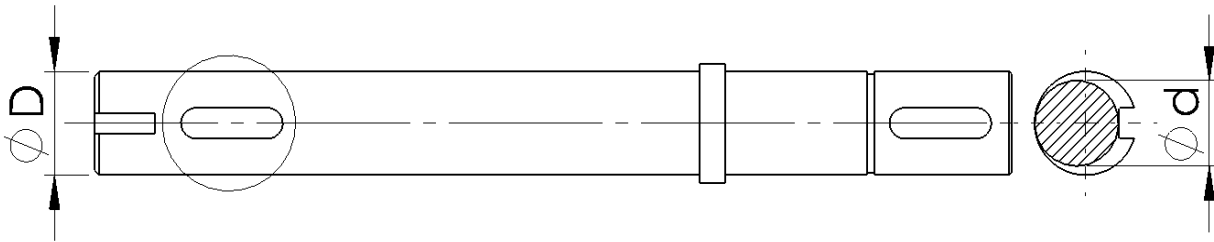
$$M_k = 1093\,669 \text{ Nmm}$$

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32M_k}{\pi \cdot \tau_k}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 1093\,669}{\pi \cdot 135}} = 43,53 \text{ mm}$$

Volím průměr $d_4 = 60 \text{ mm}$.

5.9 Pevnostní kontrola

5.9.1 Pevnostní kontrola vstupní hřídele (pero pod kuželovým kolem 1)



Obrázek 25 Kritická oblast na vstupním hřídeli

$$M_{o(1)} = 35\,560 \text{ Nmm}$$

$$M_{k(1)} = 49\,740 \text{ Nmm}$$

Kontrola na střídavý ohyb

$$d = 16,5 \text{ mm}$$

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

$$\beta_0 = 1,7 \quad (\text{z tabulek str.53})$$

$v_o = 0,95$ součinitel velikosti

$\eta_o = 0,85$ součinitel povrchu

$$\sigma_{co}^* = \frac{0,43 \cdot R_m \cdot v_o \cdot \eta_o}{\beta_0} = \frac{0,43 \cdot 600 \cdot 0,95 \cdot 0,85}{1,7} = 122,55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{32 \cdot M_{o(1)}}{\pi d_{(1)}^3} = \frac{32 \cdot 35\,560}{\pi \cdot 20^3} = 45,3 \text{ MPa}$$

$$k_o = \frac{\sigma_{co}^*}{\sigma_o} = \frac{109,7}{45,3} = 2,7$$

Kontrola na statický krut

$$\tau_{kl} = \frac{Re}{\sqrt{3}} = \frac{300}{\sqrt{3}} = 173 \text{ MPa}$$

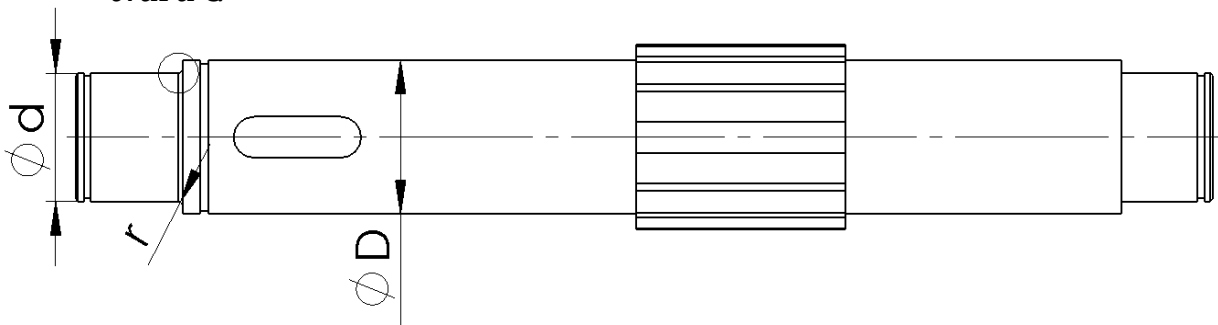
$$\tau_k = \frac{16 M_{k(1)}}{\pi \cdot d_{(1)}^3} = \frac{16 \cdot 49\,740}{\pi \cdot 16,5^3} = 56,4 \text{ MPa}$$

$$k_k = \frac{\tau_{kl}}{\tau_k} = \frac{173}{56,4} = 3$$

Celková bezpečnost

$$k = \sqrt{\frac{k_o^2 \cdot k_k^2}{k_o^2 + k_k^2}} = \sqrt{\frac{2,7^2 \cdot 3^2}{2,7^2 + 3^2}} = 2$$

5.9.2 Pevnostní kontrola předlokové hřídele (osazení u ložiska)-zápich tvaru G



Obrázek 26 Kritický vrub na předlohovém hřídeli

$$M_{o(1)} = 119\,000 \text{ Nmm}$$

$$M_{k(1)} = 47\,185 \text{ Nmm}$$

Kontrola na střídavý ohyb

$$d = 25 \text{ mm}$$

$$D = 30 \text{ mm}$$

$$r = 0,8 \text{ mm}$$

$$v_o = 0,93 \text{ součinitel velikosti}$$

$$\eta_o = 0,85 \text{ součinitel povrchu}$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0,8 \text{ mm}}{25 \text{ mm}} = 0,032$$

$$\frac{D}{d} = \frac{30}{25} = 1,2$$

$$\rightarrow \alpha = v_o + \frac{r}{d} + \frac{D}{d} = 2,152$$

$$\varepsilon = \frac{220}{R_m} = \frac{220}{600} = 0,3666$$

$$\beta_o = \frac{\alpha}{1 + \frac{\alpha - 1}{\alpha} \cdot \frac{1}{\sqrt{r}}} = 1,76$$

$$\sigma_{co}^* = \frac{0,43 \cdot R_m \cdot v_o \cdot \eta_o}{\beta_0} = \frac{0,43 \cdot 600 \cdot 0,93 \cdot 0,85}{1,76} = 115,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{32 \cdot M_{o(1)}}{\pi d_{(1)}^3} = \frac{32 \cdot 119\,000}{\pi \cdot 25^3} = 77,6 \text{ MPa}$$

$$k_o = \frac{\sigma_{co}^*}{\sigma_o} = \frac{115,9}{77,6} = 1,49$$

Kontrola na statický krut

$$\tau_{kl} = \frac{Re}{\sqrt{3}} = \frac{300}{\sqrt{3}} = 173 \text{ MPa}$$

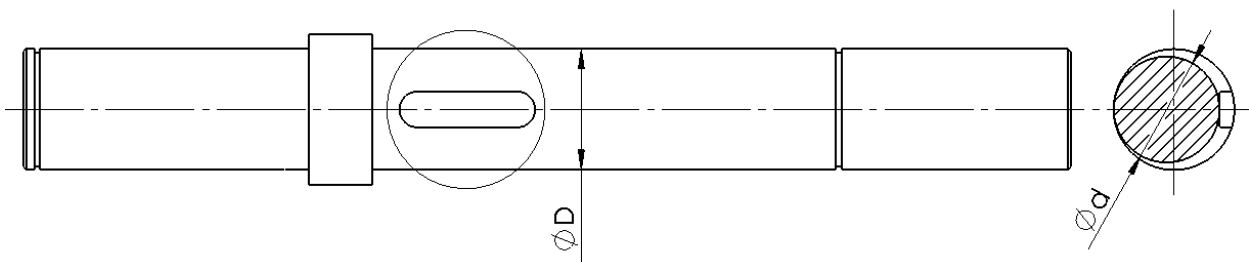
$$\tau_k = \frac{16 M_{k(1)}}{\pi \cdot d_{(1)}^3} = \frac{16 \cdot 47\,185}{\pi \cdot 25^3} = 15,4 \text{ MPa}$$

$$k_k = \frac{\tau_{kl}}{\tau_k} = \frac{173}{15,4} = 11,2$$

Celková bezpečnost

$$k = \sqrt{\frac{k_o^2 \cdot k_k^2}{k_o^2 + k_k^2}} = \sqrt{\frac{1,49^2 \cdot 11,2^2}{1,49^2 + 11,2^2}} = 1,47$$

5.9.3 Pevnostní kontrola výstupního hřídele (pero pod kuželovým kolem 6)



Obrázek 27 Kritická oblast na výstupním hřídeli

$$M_{o(1)} = 442\,900 \text{ Nmm}$$

$$M_{k(1)} = 356\,244 \text{ Nmm}$$

Kontrola na střídavý ohyb

$$d = 35,1 \text{ mm}$$

$$D = 40 \text{ mm}$$

$$\beta_0 = 1,7$$

(z tabulek str.53)

$v_o = 0,93$ součinitel velikosti

$\eta_o = 0,85$ součinitel povrchu

$$\sigma_{co}^* = \frac{0,43 \cdot R_m \cdot v_o \cdot \eta_o}{\beta_0} = \frac{0,43 \cdot 700 \cdot 0,93 \cdot 0,9}{1,7} = 148,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o = \frac{32 \cdot M_{o(1)}}{\pi d_{(1)}^3} = \frac{32 \cdot 442\,900}{\pi \cdot 35,1^3} = 104,3 \text{ MPa}$$

$$k_o = \frac{\sigma_{co}^*}{\sigma_o} = \frac{148,2}{104,3} = 1,42$$

Kontrola na statický krut

$$\tau_{kl} = \frac{Re}{\sqrt{3}} = \frac{300}{\sqrt{3}} = 173 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{16M_{k(1)}}{\pi \cdot d_{(1)}^3} = \frac{16 \cdot 442\,900}{\pi \cdot 35,1^3} = 52,16 \text{ MPa}$$

$$k_k = \frac{\tau_{kl}}{\tau_k} = \frac{173 \text{ MPa}}{52,16 \text{ MPa}} = 3,32$$

Celková bezpečnost

$$k = \sqrt{\frac{k_o^2 \cdot k_k^2}{k_o^2 + k_k^2}} = \sqrt{\frac{1,42^2 \cdot 3,32^2}{1,42^2 + 3,32^2}} = 1,3$$

5.10 Výpočet kotoučové spojky

materiál šroubů 11 500

$\tau_d = 84 \text{ MPa}$...při statickém zatížení

$R_s = 35 \text{ mm}$

$i = 4$

$M_k = 49\,740 \text{ Nmm}$

$$M_k \leq \tau_D \times \frac{\pi \times D^2}{4} \times i \times R_s \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4M_k}{\tau_D \times \pi \times i \times R_s}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 49\,740}{35 \cdot \pi \cdot 4 \cdot 84}} = 2,54 \text{ mm}$$

Volíme 4x šroub M10x28 ČSN 02 1111 s dříkem $d = 11 \text{ mm}$.

$$T = \frac{M_k}{i \cdot R} = \frac{49\,740}{4 \cdot 35} = 355,3 \text{ N}$$

$$\tau_s = \frac{T}{S_s} = \frac{T}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{355,3}{95,03} = 3,73 \text{ MPa}$$

$$P = \frac{T}{d \cdot b} = \frac{355,3 \text{ N}}{11 \cdot 14} = 2,3 \text{ MPa}$$

Navržená spojka **vyhovuje**.

5.11 Výpočet potřebné délky náboje na drážkovaném hřídeli

- Návrh drážkovaného hřídele

materiál ČSN 11 600

$p_D = 40 \text{ MPa}$

$\tau_{DK} = 135 \text{ MPa}$

$M_k = 119\,370 \text{ Nmm}$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16M_k}{\pi \cdot \tau_{DK}}}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 119\,370 \text{ Nmm}}{\pi \cdot 135 \text{ MPa}}} = 16,51 \text{ mm}$$

z konstrukčních důvodů volím $d = 32 \text{ mm}$

→ rovnoboké drážkování $8 \times 32 \times 36$ ČSN ISO 14

Výpočet délky drážkování

$$f' = \frac{3}{4} * z \left(\frac{D - d}{2} - 2 * f \right) = \frac{3}{4} * 8 \left(\frac{36 - 32}{2} - 2 * 0,4 \right) = 7,2 \text{ mm}$$

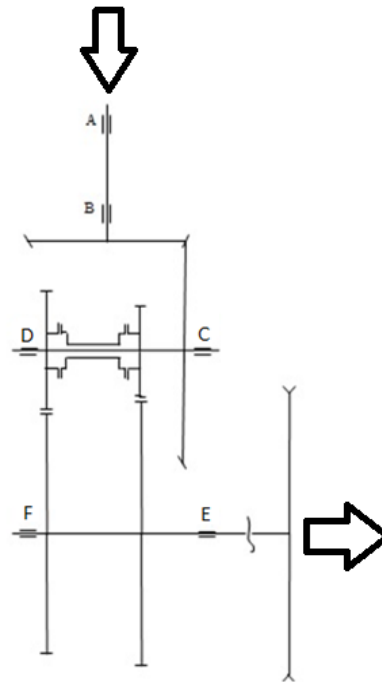
$$D_s = \frac{D + d}{2} = \frac{36 + 32}{2} = 34 \text{ mm}$$

$$l_{min} = \frac{F}{p_D \cdot f'} = \frac{2M_k}{D_s \cdot p_D \cdot f'} = \frac{2 \cdot 119\,370}{34 \cdot 40 \cdot 7,2} = 24,38 \text{ mm}$$

Z konstrukčních důvodů volím $l = 41 \text{ mm}$.

5.12 Výpočet ložisek

$$L_{hmin}=8000h \quad L_h = \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{n \cdot 60}$$



Obrázek 28 Schéma převodovky

5.12.1 Vstupní hřídel

- kuželíkové ložisko z katalogu skf 32004 X/Q

$$\frac{F_{rA}}{Y_A} \leq \frac{F_{rB}}{Y_B} \rightarrow \frac{764,977}{1,6} \leq \frac{1779,13}{1,6} \rightarrow 478 \leq 1111$$

$$K_a \geq 0 \rightarrow 837,49 \geq 0$$

$$F_{aB} = \frac{0,5 \cdot F_{rB}}{Y_B} = \frac{0,5 \cdot 1779,13}{1,6} = 555,97N$$

$$F_{aA} = F_{aB} + K_a = 555,97 + 837,49 = 1393,46 N$$

n [min ⁻¹]	2880
K _a [N]	837,49
F _{rA} [N]	764,977
F _{rB} [N]	1779,13
C [N]	24 200
Y _A , Y _B	1,6
p	10/3
e	0,37

5.12.1.1 Ložisko A

Zachytává navíc od ložiska B axiální sílu od kuželového kola, tudíž bude mít menší životnost.

$$\frac{F_{aA}}{F_{rA}} = \frac{1393,46}{764,977} = 1,82 > e$$

$$P = 0,4 \cdot F_{rA} + Y_A \cdot F_{aA} = 0,4 \cdot 764,977 + 1,6 \cdot 1393,46 = 2553,52 N$$

$$L_h = \left(\frac{24\,200}{2553,52}\right)^{10/3} \cdot \frac{10^6}{2880 \cdot 60} = 10\,672,9 h$$

5.12.1.2 Ložisko B

- kuželíkové ložisko z katalogu **skf 32004 X/Q**

$$\frac{F_{aB}}{F_{rB}} = \frac{555,9}{1779,13} = 0,31 < e \rightarrow x = 1, y = 0$$

$$P = x \cdot F_{rB} + y \cdot F_a = 1 \cdot 1779,13 + 0 \cdot 764,977 = 1779,13 \text{ N}$$

$$L_h = \left(\frac{24\,200}{1779,13} \right)^{10/3} \cdot \frac{10^6}{2880 \cdot 60} = 34\,765,5 \text{ h}$$

*Kuželíkové ložisko z katalogu **skf 32004 X/Q** vyhovuje.*

Musím uvažovat měnící se zatížení při 50% redukci a při normálních otáčkách. Proto volím při redukci 35% využití stroje a při normálních otáčkách 65% využití stroje. Takto jsem se rozhodl z důvodu lisování různých typů olejnin.

5.12.2 Předlohový hřídel

5.12.2.1 Ložisko C

- kuličkové ložisko z katalogu **skf 6205 ETN9**

$$F_a = 0 \rightarrow x = 1, y = 0$$

$$P_{c1} = X \cdot F_{Rc} + Y \cdot F_a = 1458 \text{ N}$$

n [min ⁻¹]	1152
F _a [N]	0
F _{Rc} [N]	1458
C ₀ [N]	9800
C [N]	17 800
p	3
f ₀	13

5.12.2.2 Ložisko C -redukce

- kuličkové ložisko z katalogu **skf 6205 ETN9**

$$F_a = 0 \rightarrow x = 1, y = 0$$

$$P_{c2} = X \cdot F_{Rc} + Y \cdot F_a = 2614,44 \text{ N}$$

n [min ⁻¹]	1152
F _a [N]	0
F _{Rc} [N]	2614,44
C ₀ [N]	9800
C [N]	17 800
p	3
f ₀	13

Vzhledem k měnícímu se zatížení volím střední hodnotu zatížení.

$$P_m = \sqrt[p]{\sum_1^k P_i^p \frac{q_i}{100}} = \sqrt[3]{1458^3 \cdot \frac{65}{100} + 2614,44^3 \cdot \frac{35}{100}} = 2022,2 \text{ N}$$

$$L_h = \left(\frac{23\,400}{2022,2}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{1152 \cdot 60} = 9\,866,9 \text{ h}$$

Kuličkové ložisko z katalogu **skf 6205 ETN9** vyhovuje.

5.12.2.3 Ložisko D

- kuličkové ložisko z katalogu **skf 6205 ETN9**

$$f_0 \cdot \frac{F_a}{C_0} = 13 \cdot \frac{623,021}{9800} = 0,82 \rightarrow e = 0,27$$

$$\frac{F_a}{F_{RD}} = \frac{623,021}{1912,86} = 0,32 > e \rightarrow x = 0,56, y = 1,62$$

$$P_{D1} = X \cdot F_{RD} + Y \cdot F_a = 0,56 \cdot 1912,86 + 1,62 \cdot 623,021 = 2080 \text{ N}$$

n [min ⁻¹]	1152
F _a [N]	623,021
F _{RD} [N]	1912,86
C ₀ [N]	9800
C [N]	17 800
p	3
f ₀	13

5.12.2.4 Ložisko D -redukce

- kuličkové ložisko z katalogu **skf 6205 ETN9**

$$f_0 \cdot \frac{F_a}{C_0} = 13 \cdot \frac{961,352}{9800} = 1,27 \rightarrow e = 0,30$$

$$\frac{F_a}{F_{RD}} = \frac{961,352}{1550,58} = 0,61 > e \rightarrow x = 0,56, y = 1,48$$

$$P_{D2} = X \cdot F_{RD} + Y \cdot F_a = 0,56 \cdot 1550,58 + 1,48 \cdot 961,352 = 2291,13 \text{ N}$$

n [min ⁻¹]	1152
F _a [N]	961,352
F _{RD} [N]	1550,58
C ₀ [N]	9800
C [N]	17 800
p	3
f ₀	13

Vzhledem k měnícímu se zatížení volím střední hodnotu zatížení.

$$P_m = \sqrt[p]{\sum_1^k P_i^p \frac{q_i}{100}} = \sqrt[3]{2080^3 \cdot \frac{65}{100} + 2291,13^3 \cdot \frac{35}{100}} = 2158,6 \text{ N}$$

$$L_h = \left(\frac{23\,400}{2158,6}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{1152 \cdot 60} = 8\,112,2 \text{ h}$$

Kuličkové ložisko z katalogu **skf 6205 ETN9** vyhovuje.

5.12.3 Výstupní hřídel

Musím uvažovat měnící se otáčky, uvažuji tedy střední hodnotu otáček.

$$n_m = \sum_1^k n_i \frac{q_i}{100} = 775,38 \cdot \frac{65}{100} + 378,27 \cdot \frac{35}{100} = 636,39 \text{ ot/min}$$

5.12.3.1 Ložisko E

- soudečkové ložisko z katalogu **skf *21308 E**

$$\frac{F_a}{F_{RE}} = \frac{823,86}{12\,797,4} = 0,06 < e \rightarrow x = 1, y = 0$$

$$P_{E1} = F_{RE} + Y_1 \cdot F_a = 12\,797,4 + 2,8 \cdot 823,86 = 15\,101,2 \text{ N}$$

n [min ⁻¹]	775,38
F _a [N]	823,86
F _{RE} [N]	12 797,4
e	0,24
C [N]	104 000
p	3
Y ₁	2,8

5.12.3.2 Ložisko E -redukce

- soudečkové ložisko z katalogu **skf *21308 E**

$$\frac{F_a}{F_{RE}} = \frac{1162,191}{11\,855,5} = 0,1 < e \rightarrow x = 1, y = 0$$

$$P_{E1} = F_{RE} + Y_1 \cdot F_a = 11\,855,5 + 2,8 \cdot 1162,191 = 15\,109,6 \text{ N}$$

n [min ⁻¹]	378,27
F _a [N]	1162,191
F _{RE} [N]	11 855,5
e	0,24
C [N]	104 000
p	3
Y ₁	2,8

Vzhledem k měnícímu se zatížení volím střední hodnotu zatížení.

$$P_m = \sqrt[p]{\sum_1^k P_i^p \frac{n_i}{n_m} \frac{q_i}{100}} = \sqrt[3]{15\,101,2^3 \cdot \frac{775,38}{636,39} \cdot \frac{65}{100} + 15\,109,6^3 \cdot \frac{378,27}{636,39} \cdot \frac{35}{100}} = 15\,105 \text{ N}$$

$$L_h = \left(\frac{63\,700}{15\,105}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{636,39 \cdot 60} = 8547 \text{ h}$$

Soudečkové ložisko z katalogu **skf *21308 E** vyhovuje.

5.12.3.3 Ložisko F

- kuličkové ložisko z katalogu **skf 6408**

$$F_a = 0 \rightarrow x = 1, y = 0$$

$$P_{F1} = X \cdot F_{RF} + Y \cdot F_a = 4277,83$$

n [min ⁻¹]	775,38
F _a [N]	0
F _{RF} [N]	4277,83
C ₀ [N]	36 500
C [N]	63 700
p	3
f ₀	12

5.12.3.4 Ložisko F -redukce

- kuličkové ložisko z katalogu **skf 6408**

$$F_a = 0 \rightarrow x = 1, y = 0$$

$$P_{F2} = X \cdot F_{RF} + Y \cdot F_a = 4149,22 \text{ N}$$

n [min ⁻¹]	378,27
F _a [N]	0
F _{RF} [N]	4149,22
C ₀ [N]	36 500
C [N]	63 700
p	3
f ₀	12

Vzhledem k měnícímu se zatížení volím střední hodnotu zatížení.

$$P_m = \sqrt[p]{\sum_1^k P_i^p \frac{n_i}{n_m} \frac{q_i}{100}} = \sqrt[3]{4277,83^3 \cdot \frac{775,38}{636,39} \cdot \frac{65}{100} + 4149,22^3 \cdot \frac{378,27}{636,39} \cdot \frac{35}{100}} = 4251,71 \text{ N}$$

$$L_h = \left(\frac{63\,700}{4251,71}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{636,39 \cdot 60} = 88\,075 \text{ h}$$

Kuličkové ložisko z katalogu **skf 6408** vyhovuje.

5.13 Návrh per

5.13.1 Vstupní hřídel

→ pero pod kuželovým kolem (1) a spojkou

materiál pera ČSN 11 600 $p_D = 120 \text{ MPa}$; $\tau_{ds} = 60 \text{ MPa}$

$M_k = 49\,740 \text{ Nmm}$

$d = 20 \text{ mm}$

$b = 6 \text{ mm}$

$h = 6 \text{ mm}$

$$p = \frac{F}{s} = \frac{2M_k}{d \cdot l \cdot h \cdot 0,45} \rightarrow l = \frac{2M_k}{d \cdot p_D \cdot h \cdot 0,45} \leq 1,2d$$

$$l = \frac{2 \cdot 49\,740 \text{ Nmm}}{20 \text{ mm} \cdot 120 \text{ MPa} \cdot 6 \text{ mm} \cdot 0,45} = 15,35 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } l = 20 \text{ mm}$$

kontrola na stříh a otláčení:

$$p = \frac{F}{s} = \frac{2M_k}{d \cdot l \cdot h \cdot 0,45} = \frac{2 \cdot 49\,740 \text{ Nmm}}{20 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm} \cdot 0,45} = 92,11 \text{ MPa} < p_d$$

$$\tau_s = \frac{2M_k}{d * l * h} = \frac{2 \cdot 49\,740 \text{ Nmm}}{20 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} \cdot 6 \text{ mm}} = 41,45 \text{ MPa} \leq \tau_{DS}$$

Volím PERO 6e7 x 6 x 20 ČSN 02 2562.

5.13.2 Předlokový hřídel

→ pero pod kuželovým kolem (2)

materiál pera ČSN 11 600 $p_D = 120 \text{ MPa}$; $\tau_{ds} = 60 \text{ MPa}$

$M_k = 121\,356 \text{ Nmm}$

$d = 30 \text{ mm}$

$b = 8 \text{ mm}$

$h = 7 \text{ mm}$

$$l = \frac{2 \cdot 121\,356 \text{ Nmm}}{30 \text{ mm} \cdot 120 \text{ MPa} \cdot 7 \text{ mm} \cdot 0,45} = 18,34 \text{ mm} \rightarrow \text{volíme } l = 25 \text{ mm}$$

kontrola na stříh a na otláčení:

$$\tau_s = \frac{2 \cdot 121\,356 \text{ Nmm}}{25 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm}} = 40,45 \text{ MPa} \leq \tau_{DS}$$

$$p = \frac{F}{s} = \frac{2M_k}{d \cdot l \cdot h \cdot 0,45} = \frac{2 \cdot 121\,356 \text{ Nmm}}{25 \text{ mm} \cdot 30 \text{ mm} \cdot 7 \text{ mm} \cdot 0,45} = 102,73 \text{ MPa} < p_d$$

Volím PERO 8e7 x 7 x 25 ČSN 02 2562.

5.13.3 Výstupní hřídel

→pero pod čelním ozubeném kolem (6) a pod malou řemenicí

materiál pera ČSN 11 600 $p_D = 120 \text{ MPa}$; $\tau_{ds} = 60 \text{ MPa}$

$$M_k = 356\,254 \text{ Nmm}$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$b = 12 \text{ mm}$$

$$h = 8 \text{ mm}$$

$$l = \frac{2 \cdot 356\,254 \text{ Nmm}}{40 \text{ mm} \cdot 120 \text{ MPa} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 0,45} = 41,23 \text{ mm} \rightarrow \text{volíme } l = 45 \text{ mm}$$

kontrola na stříh a na otláčení:

$$\tau_s = \frac{2 \cdot 356\,254 \text{ Nmm}}{45 \text{ mm} \cdot 40 \text{ mm} \cdot 12 \text{ mm}} = 32,986 \text{ MPa} \leq \tau_{DS}$$

$$p = \frac{F}{s} = \frac{2M_k}{d \cdot l \cdot h \cdot 0,45} = \frac{2 \cdot 356\,254 \text{ Nmm}}{40 \text{ mm} \cdot 45 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} \cdot 0,45} = 109,95 \text{ MPa} < p_d$$

Volím PERO 12e7 x 8 x 45 ČSN 02 2562.

5.13.4 Pero pod velkou řemenicí

materiál pera ČSN 11 600 $p_D = 120 \text{ MPa}$; $\tau_{ds} = 60 \text{ MPa}$

$$M_k = 1093\,669 \text{ Nmm}$$

$$d = 60 \text{ mm}$$

$$b = 18 \text{ mm}$$

$$h = 11 \text{ mm}$$

$$l = \frac{2 \cdot 1093\,669 \text{ Nmm}}{60 \text{ mm} \cdot 120 \text{ MPa} \cdot 11 \text{ mm} \cdot 0,45} = 61 \text{ mm} \rightarrow \text{volíme } l = 65 \text{ mm}$$

kontrola na stříh a na otláčení:

$$\tau_s = \frac{2 \cdot 1093\,669 \text{ Nmm}}{60\text{mm} \cdot 65\text{mm} \cdot 18\text{mm}} = 31,15 \text{ MPa} \leq \tau_{DS}$$

$$p = \frac{F}{s} = \frac{2M_k}{d \cdot l \cdot h \cdot 0,45} = \frac{2 \cdot 1093\,669 \text{ Nmm}}{60\text{mm} \cdot 65\text{mm} \cdot 11\text{mm} \cdot 0,45} = 113,3 \text{ MPa} < p_d$$

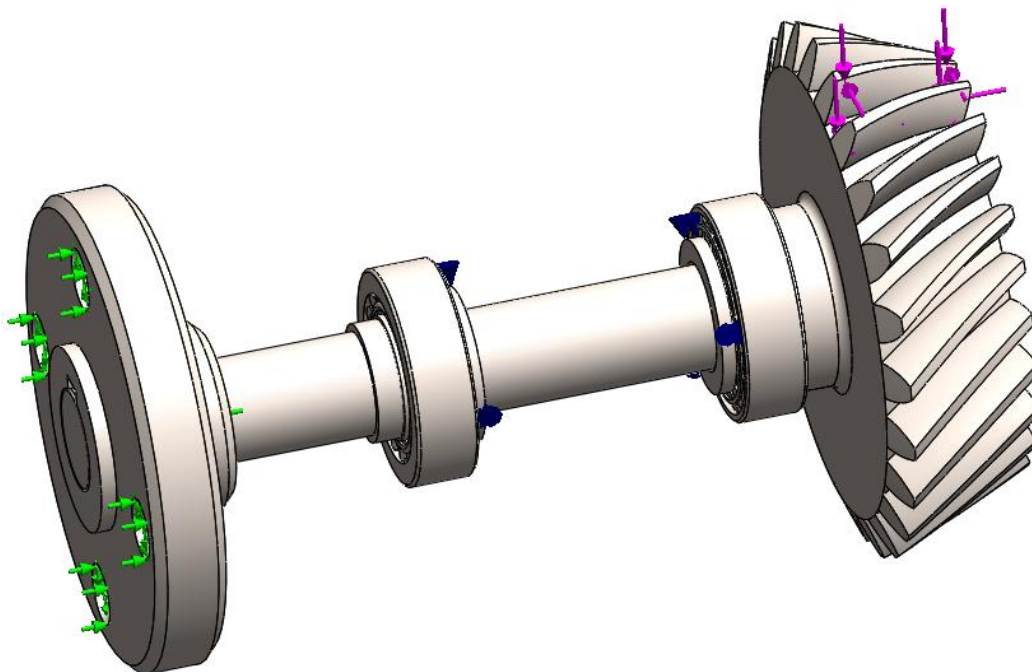
Volím PERO 18e7 x 11 x 65 ČSN 02 2562.

5.14 Metoda konečných prvků

FEM (finite element method), nebo-li metoda konečných prvků, byla provedena pomocí programu SolidWorks. Existuje mnoho softwarů pro řešení FEM jako jsou ANSYS, ABAQUS, Autodesk Simulation. Pomocí metody konečných prvků jsem testoval vstupní hřídel převodovky. Tuto hřídel jsem vybral především díky četnosti vrubů.

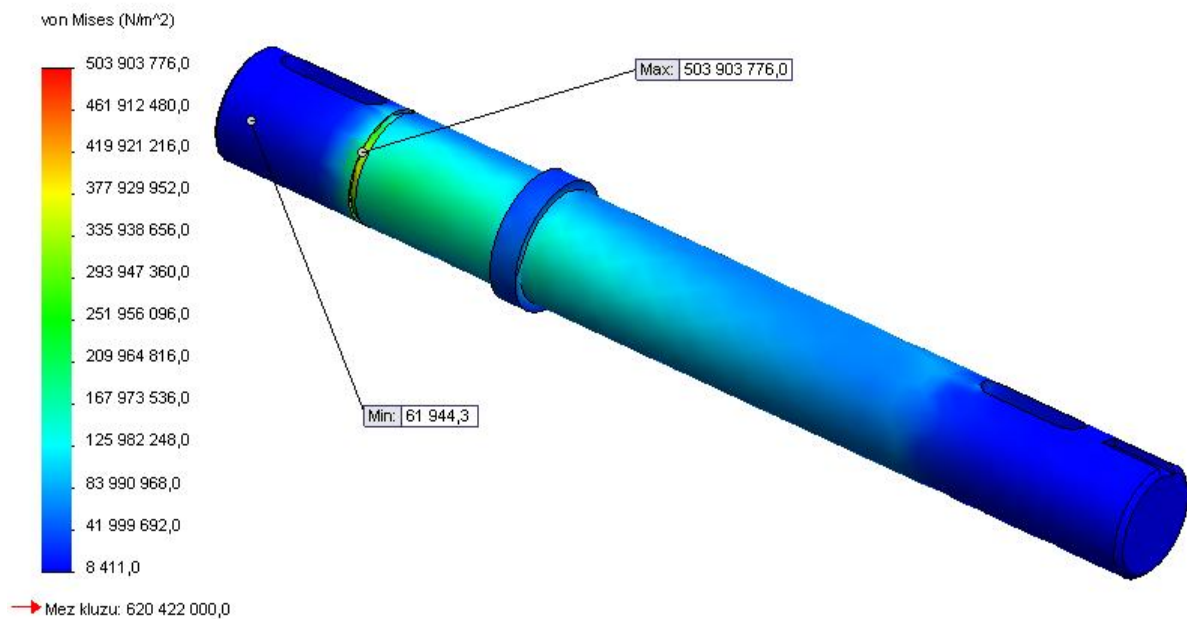
5.14.1 Analýza hřídele

Postup při vytváření analýzy pomocí metody konečných prvků byl následující. Nejprve jsem vymodelovat hřídel, ložiska a ozubené kolo. Součásti byly postupně k sobě poskládány pomocí vazeb. Hřídel je zatížena silami od čelního kola, síly byly umístěny na ozubené kolo. Okrajové podmínky vychází z uložení hřídele v ložiskách a fixně uložené spojce.



Obrázek 29 Definice okrajových podmínek a silových účinků

Jak je vidět na obr. 30. největší koncentrace napětí vznikla v místě, kde je vytvořen vrub.



Obrázek 30 Výsledek analýzy hřídele pomocí MKP - ekvivalentní napětí - HMH

6 Ekonomické zhodnocení

Mechanismus byl navržen s ohledem na nejnižší cenu součástí, a proto je většina součástí normalizovaných. Použitím normalizovaných součástí snížíme náklady i čas výroby. Jedním ze základních prvků mechanismu je elektromotor. S hledanými parametry se shodoval model **W21-Aluminium frame-IE1**. Otáčky elektromotoru se od požadovaných otáček liší pouze o 2 %. Tato odchylka je pro naše účely zanedbatelná. Jeho cena činí 13 550 Kč. Pro spojení elektromotoru a vstupní hřídele slouží kotoučová spojka. Pořizovací cena je 1050 Kč. Jednu z dalších položek pokrývá řazení. Tuto částku tvoří synchronizační spojka a pneumatické řazení. Náklady budou činit 6890 Kč. Technologie výroby převodové skříně se odvíjí od množství vyráběných kusů. Pro velkosériovou, hromadnou výrobu se volí odlévaná skříně, z důvodu velkých nákladů na výrobu forem při odlévání. Forma pro lití do pískových forem je mnohem levnější, než forma pro lití do kokil. Nevýhody lití do pískových forem jsou menší přesnost, horší kvalita povrchu a po vychladnutí odlitku se musí forma rozbít. Je tedy na jedno použití. Odlitky musí splňovat určité požadavky, jako jsou dobré odformování, které zajistíme přidáním úkosů a vhodně zvolenou dělicí rovinou. Pro malosériovou, kusovou výrobu se volí svařovaná skříně. Výroba začíná vypálením jednotlivých částí skříně, které se k sobě postupně svaří. Jedná se o levnou, ale časově náročnou technologii. Cena skříně nelze přesně vyčíslit,

ale můžeme ji považovat jako jednu z nejvyšších. Pro tuto práci jsem zvolil ozubená kola se šikmými zuby. Toto rozhodnutí vyplynulo z výhod těchto ozubeným kol. Kola se šikmými zuby mají lepší plynulost záběru, tichý chod i při vyšších rychlostech, v záběru jsou dva až tři páry zubů, což umožňuje přenos větších výkonů. Nevýhody bývají vyšší náklady na výrobu než u kol s čelním ozubením. Mezi další součásti převodové skříně patří hřídele. Celková cena hřídelů bude 837,15 Kč. Nejdražší bude předlohová hřídel, kvůli náročnosti výroby. Rám je svařen z normalizovaných profilů. Náklady na svařování a cena profilů se vyšplhá na 1980 Kč. Ložiska jsem volil od firmy SKF, jelikož mají širokou nabídku produktů. Celková cena použitých ložisek činí 3987,32 Kč.

Součást	Celková cena [Kč]	Množství [ks]
Elektromotor	13 550	1
Kotoučová spojka	1050	1
Synchronizační spojka	3010	1
Pneumatické řazení	3880	1
Ozubená kola	4890,74	6
Vstupní hřídel	150	1
Předlohová hřídel	377,05	1
Výstupní hřídel	310,1	1
Rám	1980	1
Řemenový převod	3499	1
Ložisko skf 6205 ETN9	202,84	2
Ložisko skf 6408	2 844,34	2
Ložisko skf 32004 X/Q	540,14	2
Kluzné pouzdro	401	2

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zkonstruovat převodovou jednotku pro šnekový lis na olejniny, dále řemenový převod, řadící jednotku, elektromotor a rám. Konstrukce převodové ústrojí vychází ze zadaných parametrů. Jedním z těchto parametrů jsou vstupní otáčky 2880 min^{-1} , výstupní otáčky 250 min^{-1} , výkon 15 kW a požadovaná životnost 8000 hodin.

Postup práce byl následující. Nejprve bylo nutné navrhnout vhodné uspořádání jednotlivých součástí, jako jsou hřídele, ozubené kola a ložiska. Po vytvoření předběžné skici, následovalo rozdělení celkového převodového poměru. Jednotlivé převodové poměry byly přiřazeny k čelnímu soukolí, kuželovému soukolí a řemenovému převodu. Následně byly vypočítány otáčky, jak pro plné zatížení, tak pro redukcí 50%. Poté následoval návrhový výpočet ozubených kol. Některé parametry byly odečteny z tabulek, jiné voleny, tak aby součinitel záběru vyšel celočíselný. Výpočty geometrických rozměrů ozubených kol byly zadávány do programu Autodesk Inventor. Aby mohla být provedena pevnostní kontrola ozubení, museli být nejdříve spočítány silové poměry ozubení. Po provedení pevnostní kontroly, navržené soukolí vyhovovalo. Dalším krokem byl návrh řemenového převodu. K dosažení co nejmenšího počtu řemenů, byl vybrán úzký řemen SPB. Úzké řemeny mají schopnost přenášet větší výkon jedním řemenem, než klasické řemeny. Výpočtem na potřebný počet řemenů bylo zjištěno potřebné množství řemenů. Řemenový převod byl zvolen z důvodu bezpečnosti. Při náhodné poruše, například zaseknutí šneku, se řemen bude chovat jako pojistný člen a proklouzne. Tím se zvýší ochrana proti poškození pracovního ústrojí. Řemeny mají ale velkou nevýhodu, musí se napínat. Napínání se může uskutečnit pomocí napínacích kladek nebo zvětšováním osových vzdáleností řemenic.

Pro korektnost výpočtů reakcí a ohybových momentů na hřídele byly použity dvě metody. Analytický výpočet byl téměř shodný s numerickou metodou. Drobné odchylky mohli být způsobeny zaokrouhlováním v analytické metodě. Numerická metoda spočívala v zadávání sil, kroutících momentů a okrajových podmínek do programu Autodesk Inventor. Grafy průběhu smykové síly a ohybového momentu, pochází právě z tohoto programu.

Výsledky těchto výpočtů byly zhodnoceny v dalším bodu práce, což byl orientační výpočet průměrů hřídelí. Pomocí momentů a průřezových modulů byl určen předběžný průměr hřídele. Průměr hřídele byl zvolen s ohledem na bezpečnost. Následně musela být provedena pevnostní kontrola hřídelů. Hřídel byla kontrolována v nejkritičtějších průřezu, jak na střídavý ohyb, tak na statický krut.

Pro spojení elektromotoru a převodové skříně byla navržena kotoučová spojka, která bude zajištěna čtyřmi šrouby M10 s dříkem 11 mm.

Synchronizační spojka musí být pevně spojena s předlohou hřídelí. Pro tento problém bylo navrženo rovnoboké drážkování, které zaručí pevné spojení mezi součástmi. Řazení je uskutečněno pomocí synchronizačního zařízení, kde pomocí řadící vidlice uvedeme do pohybu vnější kroužek. Ten stlačí pružinu a synchronizační člen vyrovná rychlost hřídele a ozubeného kola. Následuje zapadnutí vnějšího kroužku do drážkování na ozubeném kole. Tímto je realizován přenos výkonu. Řadící páka je ovládána pneumatickou upínkou, která je samosvorná. Tento mechanismus se bude ovládat pomocí tlačítek na ovládacím panelu.

Pro výpočet soudečkového a kuličkových ložisek bylo uvažováno měnící se zatížení, při redukci 50% a při normálních otáčkách. Proto bylo zvoleno při redukci 35% využití stroje a při normálních otáčkách 65% využití stroje. Takto bylo rozhodnuto z důvodu lisování různých typů olejnin.

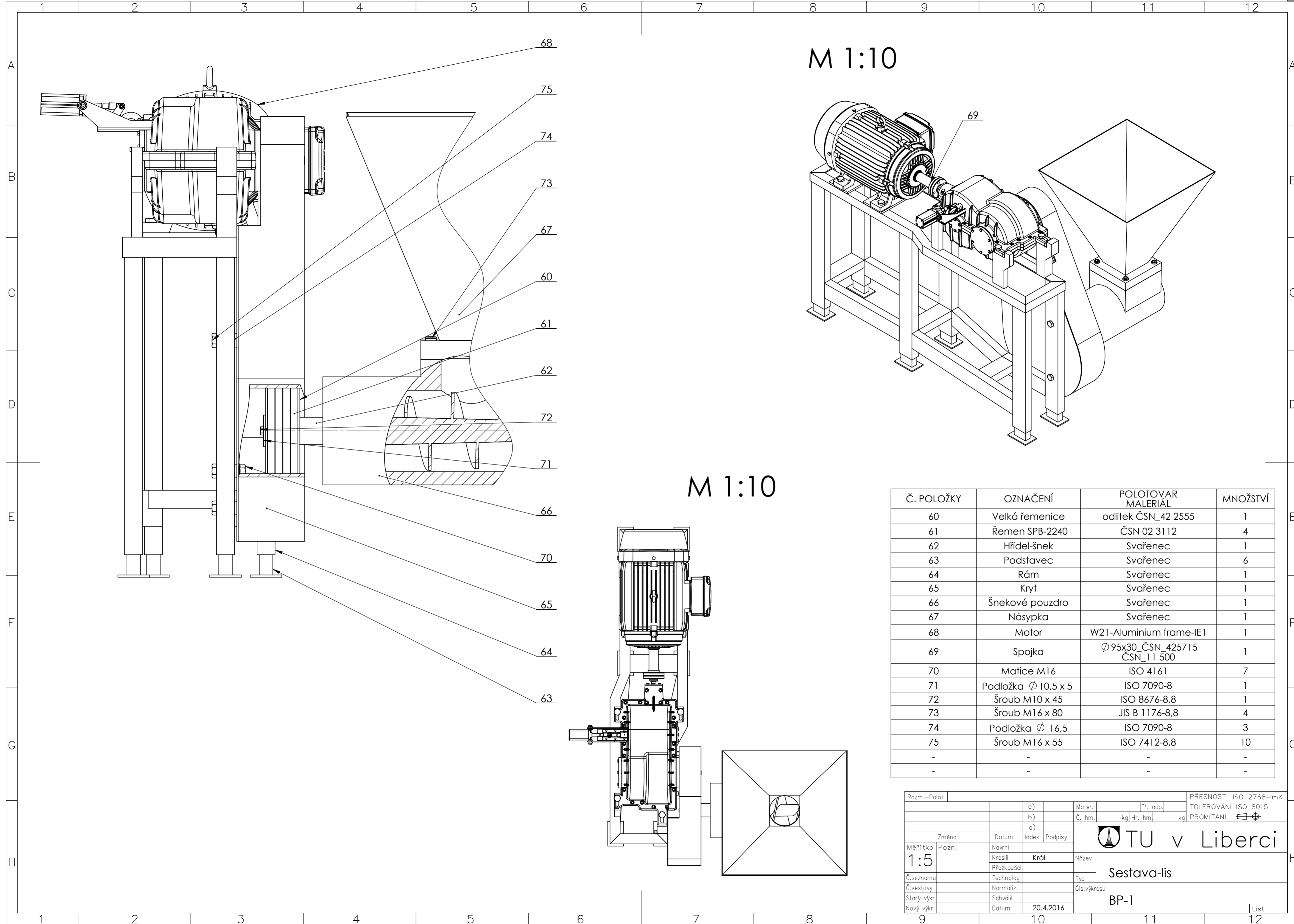
Požadované součásti	Navržené součásti
Elektromotor	W21-Aluminium frame-IE1
Řadící mechanismus	Synchronizační spojka
Řemenový převod	Úzký řemen SPB
Spojení hřídelů	Kotoučová spojka
Převodová skříň	Odlitek
Mechanismus pro řazení	Pneumatická upínka

Použitá literatura

- [1] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled*. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010, 2 sv. (226, 236 s.). ISBN 978-80-7372-574-7.
- [2] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled*. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010, 2 sv. (226, 236 s.). ISBN 978-80-7372-574-7.
- [3] PELIKÁN, Miloš. *Zpracování obilovin a olejnin*. 1.vyd. Brno: MZLU, 1996, 148 s. ISBN 80-7157-195-4
- [4] Bureš: *Návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol*, Liberec, TUL, 2006
- [5] *SKF-rolling-bearings-catalogue*[online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z:
<http://www.skf.com/cz/products/index.html>
- [6] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 2. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2005, 907 s. ISBN 80-736-1011-6.
- [7] Electric motor selection [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z:
<http://www.weg.net/us/Media-Center/Download-Center>
- [8] Katalog pneumatických upínek [online]. [cit. 2016-05-04]. Dostupné z:
<http://www.jcmetal.cz>
- [9] FRANČÁKOVÁ, Helena, Zdenka MUCHOVÁ a Tatiana BOJŇANSKÁ. *Spracovanie olejnin a špeciálnych plodín*. Vyd. 1. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 1999, 87 s- ISBN 80-7137-552-7.

Přílohy

- Příloha 1 - Výkres sestavy
- Příloha 2- Výkres převodové skříně
- Příloha 3 - Kusovník skříně-1
- Příloha 4 - Kusovník skříně-2
- Příloha 5 - Kusovník skříně-3
- Příloha 6 - Výkres ozubeného kola 5
- Příloha 7 - Výkres ozubeného kola 5
- Příloha 8 - Výkres předlohové hřídele

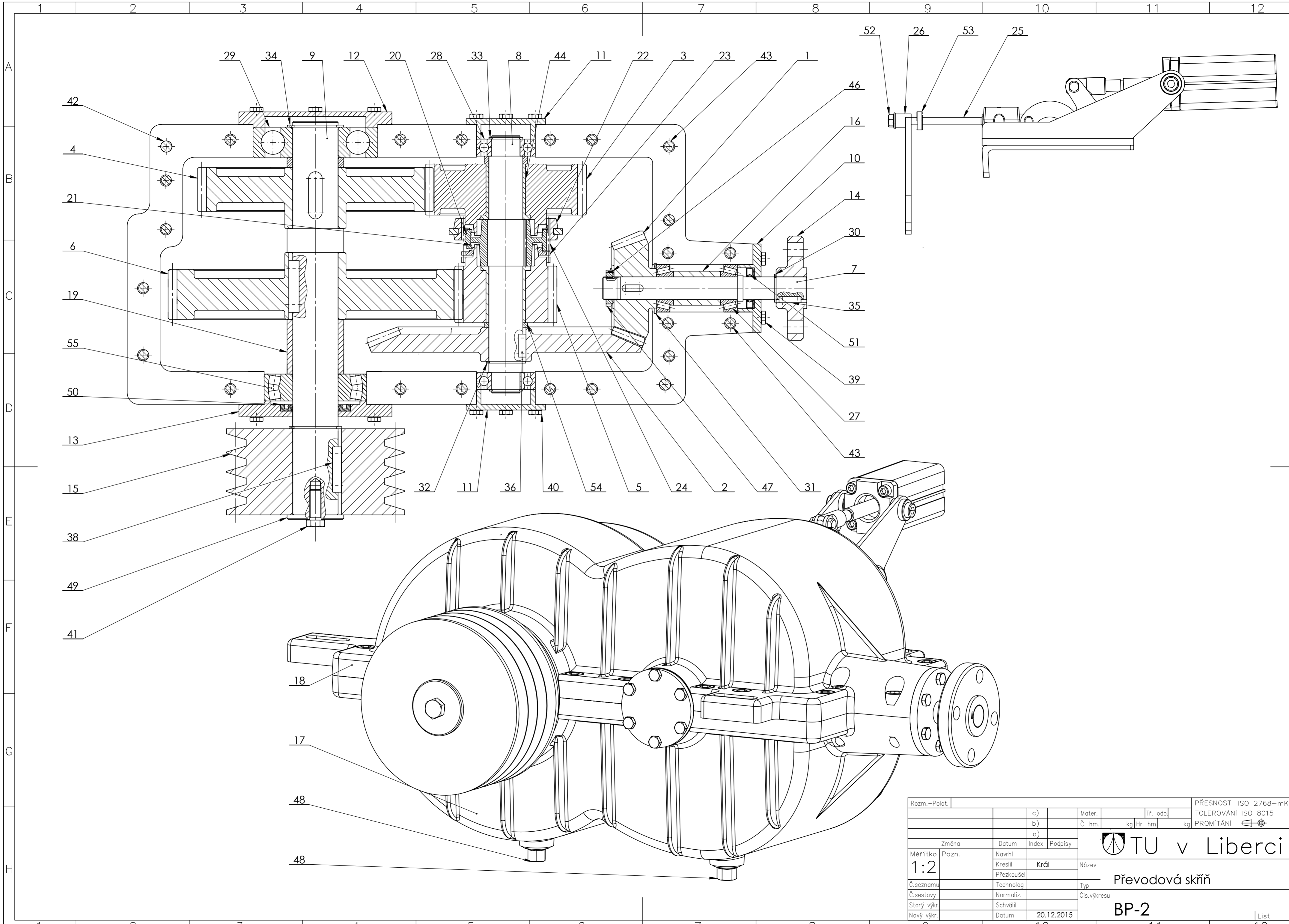


M 1:10

M 1:10


Č. POLOŽKY	OZNAČENÍ	POLOTOVAR MATERIÁL	MNOŽSTVÍ
60	Velká řemenice	odlitek ČSN_42 2555	1
61	Řemen SPB-2240	ČSN 02 3112	4
62	Hřídel-šnek	Svařenec	1
63	Podstavec	Svařenec	6
64	Rám	Svařenec	1
65	Kryt	Svařenec	1
66	Šnekové pouzdro	Svařenec	1
67	Násypka	Svařenec	1
68	Motor	W21-Aluminium frame-IE1	1
69	Spojka	Ø 95x30_ČSN_425715 ČSN_11 500	1
70	Matice M16	ISO 4161	7
71	Podložka Ø 10,5 x 5	ISO 7090-8	1
72	Šroub M10 x 45	ISO 8676-8,8	1
73	Šroub M16 x 80	JIS B 1176-8,8	4
74	Podložka Ø 16,5	ISO 7090-8	3
75	Šroub M16 x 55	ISO 7412-8,8	10
-	-	-	-
-	-	-	-

Rozm.-Polot.		c)		Mater.	Tř. odp.		PŘESNOST ISO 2768--mK	
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	TOLEROVÁNÍ ISO 8015
		a)				PROMÍTÁNÍ		
Změna	Datum	Index	Podpisy	 Sestava-lis BP-1				
Měřítka	Navrhl	Kreslil	Král					
Pozn.	Přezkoušel	Název						
Č.seznamu	Technolog	Typ		Sestava-lis				
Č.sestavy	Normaliz.	Čís.výkresu		BP-1				
Starý výkr.	Schválil	Datum		20.4.2016				
Nový výkr.	Datum	20.4.2016		List				



Rozm.-Polot.		c)		Mater.	Tř. odp.		PŘESNOST ISO 2768-mK	
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	TOLEROVÁNÍ ISO 8015
		a)						PROMÍTÁNÍ
Změna		Datum	Index	Podpisy				
Měřítko	Pozn.	Navrhl	Kreslil	Král				
Č.seznamu		Přezkoušel				Typ	Převodová skříň	
Č.sestavy		Technolog				Čís.výkresu	BP-2	
Starý výkr.		Normaliz.						
Nový výkr.		Schválil						
		Datum		20.12.2015				

1	2		3		4	
	ODK	OZNAČENÍ VÝKRES	POLOTOVAR MATERIÁL	ČÍS. ZÁSOBNÍKU POZNÁMKA	MN. JED.	
A	1	Kuželové kolo 1_vstup_hř	Ø110x45_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_12 051	-	ks	
A	2	Kuželové kolo 2_předl_hř	Ø255X40_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_12 051	-	ks	
B	3	Ozubené kolo 3_předl_hř	Ø150X70_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_12 051	-	ks	
B	4	Ozubené kolo 4_výst_hř	Ø215X60_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_12 051	-	ks	
B	5	Ozubené kolo 5_předl_hř	Ø95X75_ČSN_42 5510	-	1	
		BP-6	ČSN_12 051	-	ks	
B	6	Ozubené kolo 6_výst_hř	Ø265X65_ČSN_42 5510	-	1	
		BP-7	ČSN_12 051	-	ks	
C	7	Vstupní_hřídel	Ø25X185_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_11 600	-	ks	
C	8	Předlohová_hřídel	Ø40X230_ČSN_42 5510	-	1	
		BP-8	ČSN_11 600	-	ks	
C	9	Výstupní_hřídel	Ø55X400_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_11 700	-	ks	
C	10	Víko_vstupní_hřídel	Ø80X25_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_11 500	-	ks	
C	11	Víko_předlohová_hřídel	Ø75X25_ČSN_42 5510	-	2	
			ČSN_11 500	-	ks	
C	12	Víko_výstupní_hřídel	Ø140X15_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_11 500	-	ks	
D	13	Víko_výstup_hř_řemenice	Ø140X15_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_11 500	-	ks	
D	14	Spojka	Ø95X30_ČSN_42 5510	-	1	
			ČSN_11 500	-	ks	
D	15	Řemenice	Odlitek	-	1	
			ČSN_42 2555	-	ks	
D	16	Vymez_kroužek_vstup_hř	TR Ø31,8X45_ČSN_42 5715	-	1	
			ČSN_11 500	-	ks	
E	17	Skříň_spodní_díl	Svařenec	-	1	
			-	-	ks	
E	18	Skříň_vrchní_díl	Svařenec	-	1	
			-	-	ks	
E	19	Vymez_kroužek_výst_hř	TR Ø51X50_ČSN_42 5715	-	1	
			ČSN_11 500	-	ks	
E	20	Pojistný člen	18x9x6_ČSN_42 5522	-	4	
			ČSN_11 500	-	ks	
E	21	Rozpěrná_pružina	kr 1-1000_ČSN_42 6410	-	1	
			ČSN_12 090	-	ks	
E	22	Řadící_objímka	Svařenec	-	1	
			-	-	ks	

Změna		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci
Měřítko	Pozn.	Navrhl	Kreslil	Král	
		Přezkoušel			Kusovník-převodová skříň_01
Č.seznamu		Technolog			
Č.sestavy		Normaliz.			čís.výkresu
Starý výkr.		Schválil			BP-3
Nový výkr.		Datum	21.5.2016		


1

2

3

4

1		2		3		4	
ODK	OZNAČENÍ		POLOTOVAR		ČÍS. ZÁSOBNÍKU	MN.	
	VÝKRES		MATERIÁL				POZNÁMKA
23	Synchronizační_kroužek		TR 79 x 15	Ms63	-	2	
					-	ks	
24	Synchronizační_těleso		Výkovek		-	1	
			ČSN_12 020.1		-	ks	
25	Řadící_mechanismus		-		-	1	
26	Řadící_vidlička		-		-	-	
					-	ks	
27	Kuželíkové_ložisko		-		-	2	
			SKF 32004 x		-	ks	
28	kuličkové_lož_předl_hř		-		-	2	
			SKF 6205 ETN9		-	ks	
29	Kuličkové_lož_výst_hř		-		-	1	
			SKF 6408		-	ks	
30	Poj_krouž_vstup_vnější		-		-	1	
			ČSN_02 2930		-	ks	
31	Poj_krouž_vstup_vnitřní		-		-	1	
			ČSN_02 2930		-	ks	
32	Poj_krouž_kuželová_kolo		-		-	1	
33	Poj_krouž_předloh_hř		-		-	2	
			ČSN_02 2930		-	ks	
34	Poj_kroužek_výstup		-		-	1	
			ČSN_02 2930		-	ks	
35	Pero_vstupní_hřídel		6e7 x 6 x 20		-	2	
			ČSN_02 2562		-	ks	
36	Pero_předlohová_hřídel		8e7 x 7 x 25		-	1	
			ČSN_02 2562		-	ks	
37	-		-		-	-	
					-	ks	
38	Pero_řemenice		12e7 x 8 x 45		-	2	
			ČSN_02 2562		-	ks	
39	Šroub M6 x 16		-		-	6	
			ISO 8676 - 8,8		-	ks	
40	Šroub M6 x 20		-		-	24	
			ISO 8676 - 8,8		-	ks	
41	Šroub M10 x 35		-		-	1	
			ISO 8676 - 8,8		-	ks	
42	Čep_ø10x35		ø 10 x 35		-	2	
			ISO 2340		-	ks	
43	Šroub M10 x 30		-		-	20	
			ISO 4762 -12,9		-	ks	
44	Kluzné_ložisko		ø38 x 28 x 55		-	2	
			ISO 2795		-	ks	

Změna		Datum	Index	Podpisy	 TU v Liberci
Měřítko	Pozn.	Navrhl	Kreslil	Podpis	
					Kusovník-převodová skřín_02
Č.seznamu		Technolog			BP-4
Č.sestavy		Normaliz.			
Starý výkr.		Schválil			BP-4
Nový výkr.		Datum	21.5.2016		

ODK	1		2		3		4	
	OZNAČENÍ VÝKRES				POLOTOVAR MATERIÁL		ČÍS. ZÁSOBNÍKU POZNÁMKA	
							MN. JED.	
45							-	
46	Pojist_podložka_vstup_hř				MB 4 ČSN 02 3640		-	
47	Pojistná_matice_vstup_hř				KM 4 ČSN 02 3640		-	
48	Výpustný_šroub_M12 x 20				M12 ČSN 24 017		-	
49	Podložka Ø10,5				ISO 7090-8		-	
50	Gufero_výstupní_hř				GP 62 ČSN 02 9401		-	
51	Gufero_vstupní_hř				GP 36 ČSN 02 9401		-	
52	Matice_řazení M12				M12 ČSN 02 1402.2		-	
53	Gufero_řazení				GP 16 ČSN 02 9401		-	
54	Vymezovací_kroužek_2				TR Ø40 x 4 ČSN 42 5715 ČSN_11 500		-	
55	Soudečkové_lož_výst_hř				SKF *21308 E		-	
56							-	
57							-	
58							-	
59							-	

Změna		Datum	Index	Podpisy
Měřítka	Pozn.	Navrhl	Král	Název
		Kreslil		
		Přezkoušel		
Č.seznamu		Technolog		Typ
Č.sestavy		Normaliz.		čís.výkresu
Starý výkr.		Schválil		
Nový výkr.		Datum	21.5.2016	

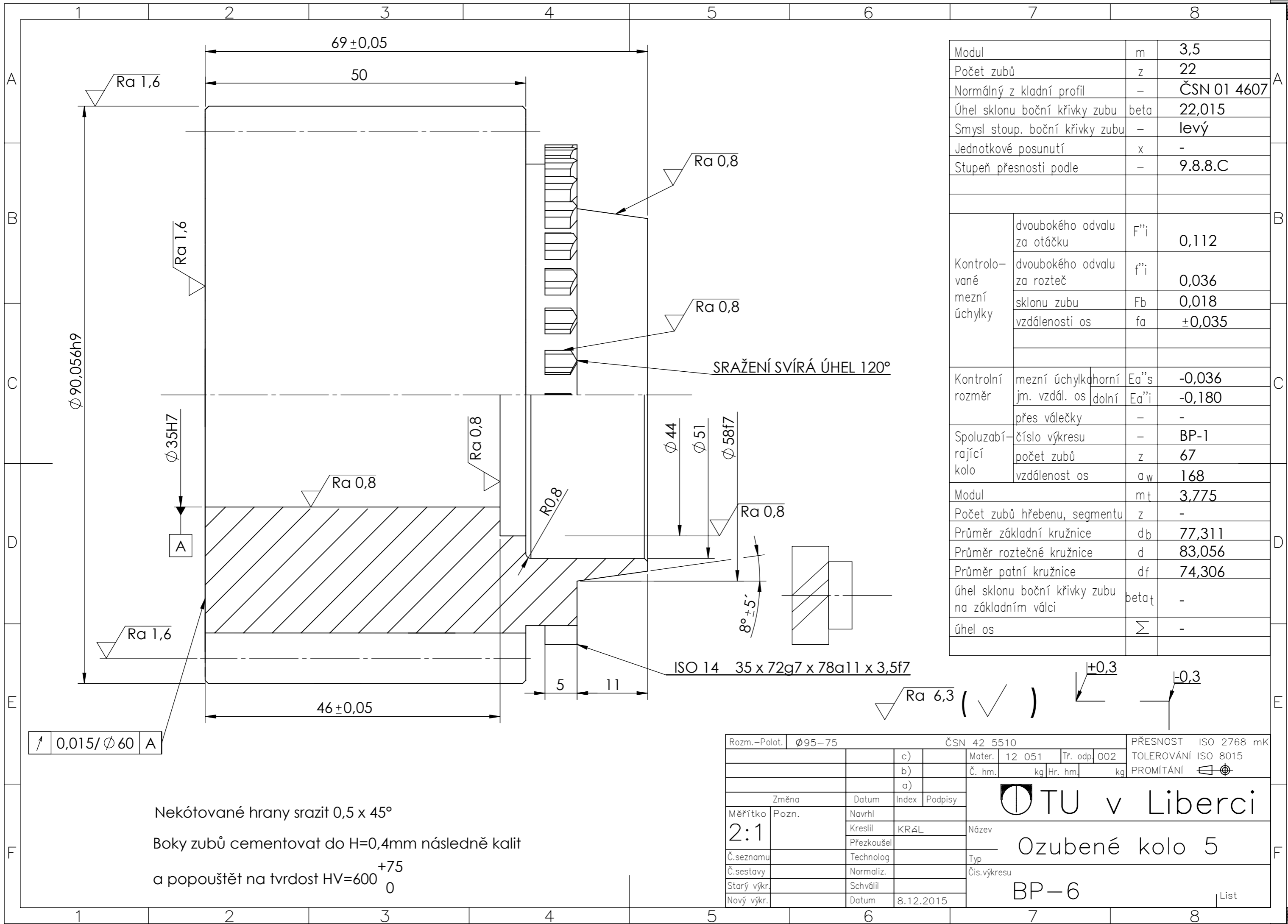


TU v Liberci

Kusovník-převodová skřín_03

BP-5

List



Modul	m	3,5
Počet zubů	z	22
Normální z kladní profil	-	ČSN 01 4607
Úhel sklonu boční křivky zubu	beta	22,015
Smysl stoup. boční křivky zubu	-	levý
Jednotkové posunutí	x	-
Stupeň přesnosti podle	-	9.8.8.C

Kontrolované mezní úchytky	dvoubokého odvalu za otáčku	F''i	0,112
	dvoubokého odvalu za rozteč	f''i	0,036
	sklonu zubu	Fb	0,018
	vzdálenosti os	fa	±0,035

Kontrolní rozměr	mezní úchylka horní	Ea''s	-0,036
	jm. vzdál. os dolní	Ea''i	-0,180
	přes válečky	-	-

Spoluzabírající kolo	číslo výkresu	-	BP-1
	počet zubů	z	67
	vzdálenost os	a _w	168

Modul	m _t	3,775
Počet zubů hřebenu, segmentu	z	-
Průměr základní kružnice	d _b	77,311
Průměr roztečné kružnice	d	83,056
Průměr patní kružnice	d _f	74,306
úhel sklonu boční křivky zubu na základním válci	beta _t	-
úhel os	Σ	-

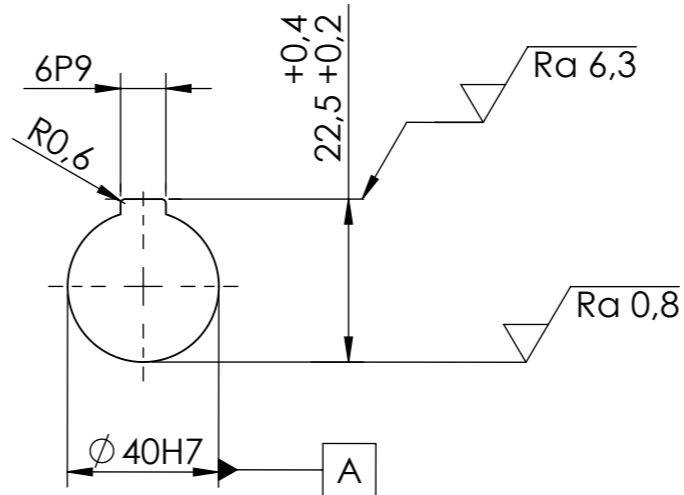
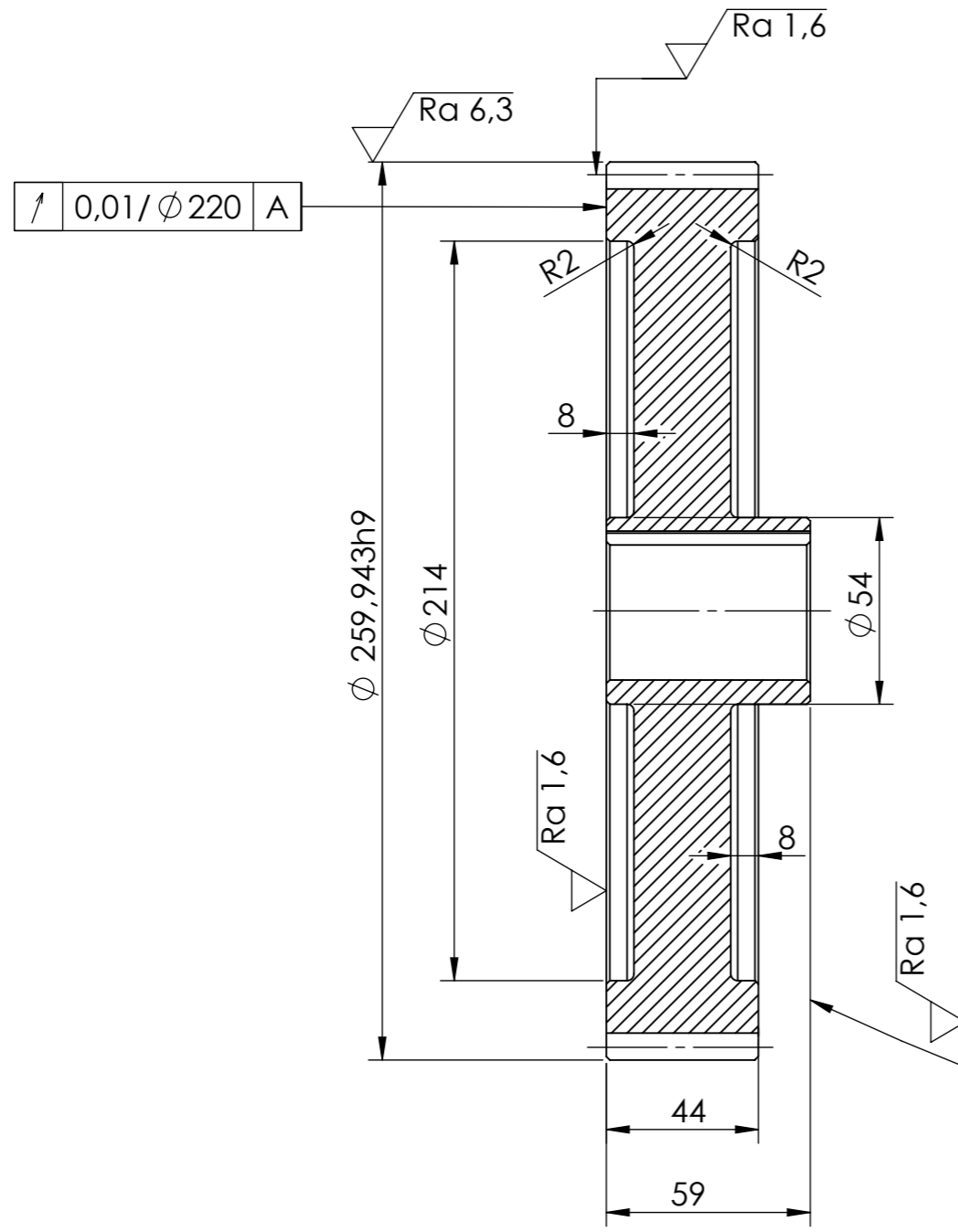
↑ 0,015/Ø 60 A

Nekótované hrany srazit 0,5 x 45°
 Boky zubů cementovat do H=0,4mm následně kalit
 a popouštět na tvrdost HV=600⁺⁷⁵₀

ISO 14 35 x 72g7 x 78a11 x 3,5f7

√ Ra 6,3 (√) ↙ +0,3 ↘ -0,3

Rozm.-Polot.	Ø95-75	ČSN 42 5510			PŘESNOST ISO 2768 mK				
		c)		Mater.	12 051	Tř. odp.	002	TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
		b)		Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ	
		a)		 TU v Liberci Ozubené kolo 5 BP-6 List					
Změna	Datum	Index	Podpisy						
Měřítko	Pozn.	Navrhl							
		Kreslil	KRÁL						
		Přezkoušel							
Č.seznamu		Technolog		Název					
Č.sestavy		Normaliz.		Typ					
Starý výkr.		Schválil		Čís.výkresu					
Nový výkr.		Datum	8.12.2015						



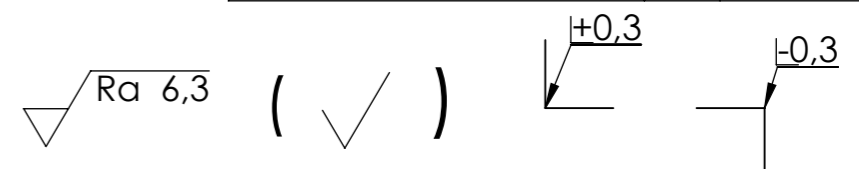
Modul	m	3,5
Počet zubů	z	67
Normální základní profil	-	ČSN 014607
Úhel sklonu boční křivky zubu	beta	22,015
Smysl stoup. boční křivky zubu	-	pravý
Jednotkové posunutí	x	-
Stupeň přesnosti podle	-	9.8.8.C

Kontrolované mezní úchytky	dvoubokého odvalu za otáčku	F''i	0,112
	dvoubokého odvalu za rozteč	f''i	0,036
	sklonu zubu	Fb	0,018
	vzdálenosti os	fa	±0,035

Kontrolní rozměr	mezní úchylka horní jm. vzdál. os	Ea''s	-0,036
	mezní úchylka dolní jm. vzdál. os	Ea''i	-0,180
	přes válečky	-	-

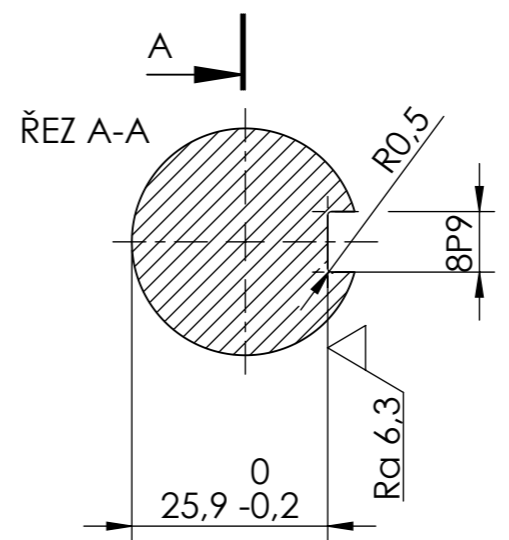
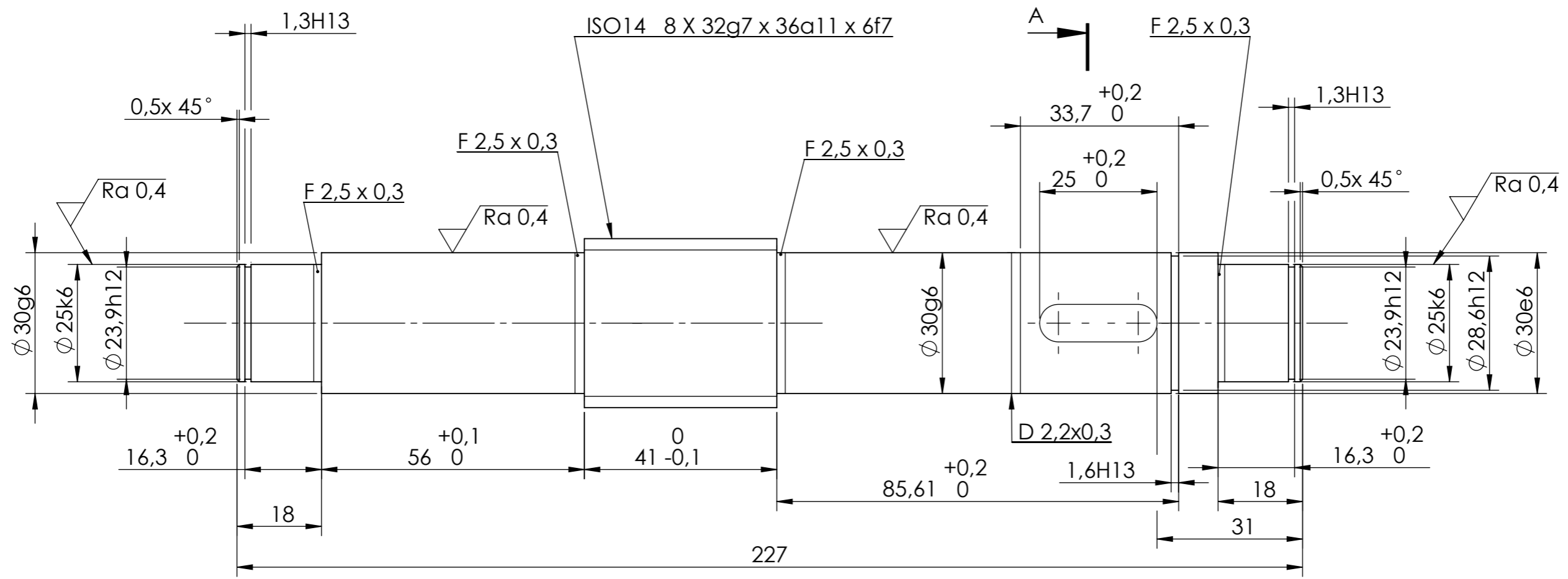
Spoluzabírající kolo	číslo výkresu	-	BP-2
	počet zubů	z	22
	vzdálenost os	a _w	168

Modul	m _t	3,775
Počet zubů hřebenu, segmentu	z	-
Průměr základní kružnice	d _b	235,448
Průměr roztečné kružnice	d	252,943
Průměr patní kružnice	d _f	244,193
úhel sklonu boční křivky zubu na základním válci	beta _t	-
úhel os	Σ	-



Nekótované hrany srazit 1x45°
 Boky zubů cementovat do H=0,4mm následně kalit
 a popouštět na tvrdost HV=600⁺⁷⁵₀

Rozm.-Polot. ø265-65		ČSN 42 5510				PŘESNOST ISO 2768 mK	
		c)	Mater.	12 051	Tř. odp.	002	TOLEROVÁNÍ ISO 8015
		b)	Č. hm.	kg	Hr. hm.	kg	PROMÍTÁNÍ
		a)					
Změna		Datum	Index	Podpisy	 OZUBENE KOLO 6-výstup BP-7		
Měřítka	Pozn.	Navrhl					
1:2		Kreslil	KRÁL				
Č.seznamu		Přezkoušel					
Č.sestavy		Technolog					
Starý výkr.		Normaliz.					
Nový výkr.		Schválil					
		Datum	3.12.2015				
					List		



$\sqrt{Ra\ 3,2}$ (✓) $\sqrt{+0,3}$ $\sqrt{-0,3}$

Rozm.-Polot.	TYČ Ø 38-230	ČSN 42 5510	PŘESNOST ISO 2768 mK
			TOLEROVÁNÍ ISO 8015
			PROMÍTÁNÍ \sqrt{R}
Změna	Datum	Index	Podpisy
Měřítko	Pozn.	Navrhl	
1:1		Kreslil	Král
		Přezkoušel	
Č.seznamu		Technolog	
Č.sestavy		Normaliz.	
Starý výkr.		Schwábil	
Nový výkr.		Datum	20.12.2015
			Název
			Hřídel-předlohová
			Typ
			Čís.výkresu
			BP-8
			List