



# Konstrukce pohonného systému kalandru

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

*Autor práce:*

*Vedoucí práce:*

B0715A270008 Strojírenství

**Martin Kačer**

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.

Katedra částí a mechanismů strojů





## Zadání bakalářské práce

# Konstrukce pohonného systému kalandru

*Jméno a příjmení:* **Martin Kačer**  
*Osobní číslo:* S21000375  
*Studijní program:* B0715A270008 Strojírenství  
*Zadávací katedra:* Katedra částí a mechanismů strojů  
*Akademický rok:* **2021/2022**

### Zásady pro vypracování:

Zkonstruuje pohonný systém gravírovacích válců kalandru (stroje na úpravy textilií), včetně převodové skříně s ozubenými koly poháněné přes řemenový převod elektromotorem s hřídelovou spojkou. Vše uložte na rám ze svařovaných profilů. Kalandrovací válce mají průměr 400 mm a délku 1800 mm. Přítlačná síla válců 300kN. Pohonný systém musí splňovat:

Přenášený výkon 15 kW a vstupní otáčky 2880 ot/min.

Výstupní otáčky: 520 ot/min na 50% provozu, zbytek na 260 ot/min., přesnost převodu do 5%.

Životnost 9000 hod.

Obsah bakalářské práce

1. Představení úkolu
2. Průzkum potenciačních řešení
3. Vypracování 3D sestavy pohonu, výkresové dokumentace vybraných dílů
4. Výpočtová zpráva
5. Ekonomické zhodnocení
6. Závěrečné zhodnocení

*Rozsah grafických prací:*

množství nezbytné pro snadné pochopení látky čtením  
výkresová dok.



*Rozsah pracovní zprávy:*

cca 50 stran

*Forma zpracování práce:*

tištěná/elektronická

*Jazyk práce:*

Čeština

### **Seznam odborné literatury:**

- [1] Pešík, L.: Části strojů. 1. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4
- [2] Pešík, L.: Části strojů. 2. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2
- [3] Moravec V.: Konstrukce strojů a zařízení 2. čelní ozubená kola. Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2001, 291 s.
- [4] Mrkvica I.: Současné trendy v obrábění ozubených kol. Vysoká škola báňská, Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2011, 120 s.
- [5] Leinveber, J., Vávra, P.: Strojnické tabulky. Albra, Úvaly 2005. ISBN 80-736-01-6
- [6] Bureš M.: Návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol. Skriptum TU Liberec Ediční středisko 2006.
- [7] Normy pro návrh a pevnostní výpočet čelních a kuželových ozubených kol ČSN 014686-4 nebo ČSN ISO 6336-5 (014687) Výpočet únosnosti čelních ozubených kol s přímými a šikmými zuby – několik dílů, nebo ANSI/AGMA 20010B88, 2001-C95 nebo normou 2001-D04, nebo ANSI/AGMA 908-B89. [8] Normy pro mezní úchylky a tolerance ozubených kol a soukolí ČSN 014682 nebo novější ČSN ISO 1328-1 Čelní ozubená kola – Soustava přesnosti ISO a ČSN 01 4676 – Ozubená kola – Měření ozubených kol čelních se šikmými zuby.
- [9] Výpočetní programy AutoDESK- Mechsoft, KISS SOFT, MITCALC,
- [10] Databáze knihovny TUL

*Vedoucí práce:*

prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
Katedra částí a mechanismů strojů

*Datum zadání práce:*

25. listopadu 2021

*Předpokládaný termín odevzdání:*

25. května 2023

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.  
děkan

L.S.

doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, 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 nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

4. května 2022

Martin Kačer

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, Csc. za technické rady v oblasti kalandrovacích válců, tvorby bakalářské práce a výpočtů. Také bych rád poděkoval Ing. Mgr. Daně Semotljukové za pomoc při zpracování zadání a vypracování bakalářské práce, univerzitní knihovně za tak rychlé vytisknutí bakalářské práce a podpoře rodiny v čase, který pro mě nebyl jednoduchý. A všem bych rád poděkoval, že se mnou měly takovou trpělivost v průběhu celého studia.

## **Anotace**

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí pohonného systému gravírovacích válců kalandru.

System je poháněn elektromotorem přes dvoustupňovou převodovku s redukcí na poloviční rychlost, která přenáší kroutící moment na poslední prvek převodovky, řetězové soukolí. Motor a převodovka jsou spojeny hřídelovou spojkou a řazení je provedena synchronní spojkou.

V práci jsou řešeny výpočty částí převodovky, tvorba modelu sestavy a rámu. Vytvořený model je reprezentován technickou dokumentací vybraných částí a snímky sestavy. Zatížené součásti jsou kontrolovány na namáhání a životnost.

## **Klíčová slova**

kalandrování, textilní stroj, hřídele, ložiska, ozubená kola, převodová skříň, převodovka, řetězový převod, čelní soukolí, kuželové soukolí

## **Annotation**

This bachelor work is dealing with construction of driving system of engraving roll calender.

System is driven by electric engine through two-stage gearbox with half-speed reduction, that transmits torsion moment to the last element of gearbox, chain gears. Engine and gearbox are connected by a shaft clutch and gear change is done by synchronous clutch.

In work are solved calculations of gearbox parts, creation of model assembly and frame. Created model is represented by technical documentation of chosen parts and pictures of assembly. Loaded parts are checked for stress and service life.

## **Key words**

calendering, textil machine, shafts, bearings, gears, gear-case, gearbox, chain gears, spur gears, conical gears

# Obsah

1 Úvod.....	14
2 Cíl práce.....	14
3 Gravírovací textilní kalandr.....	15
3.1 Rozdělení kalandrovacích válců.....	15
3.1.1 Tvrdé válce.....	16
3.1.2 Měkké válce.....	17
3.1.3 Suché kalandry.....	18
3.1.4 Vzorové kalandry.....	19
4 Vlastní návrh pohonného systému.....	19
4.1 Výběr motoru.....	19
4.2 Výběr hřídelové spojky.....	21
4.3 Volba řazení.....	24
4.4 Řešení převodovky.....	26
4.5 Návrh převodového poměru.....	26
4.5.1 Výpočet rychlosti posuvu textilie.....	27
4.6 Šikmá čelní soukolí.....	27
4.6.1 Normální převod.....	27
4.6.2 Alternativní převod 50%.....	30
4.7 Kuželová ozubená kola.....	34
4.8 Řetězový převod.....	38
4.9 Pevnostní kontrola hřídelí.....	42
4.9.1 Hřídel A.....	42
4.9.2 Hřídel B.....	49
4.9.3 Hřídel B redukce.....	52
4.9.4 Hřídel C.....	59
4.9.5 Hřídel C redukce.....	63
4.10 Návrh ložisek.....	68
4.10.1 Ložiska hřídele A.....	68
4.10.2 Ložiska hřídele B.....	70
4.10.3 Ložiska hřídele C.....	71
4.10.4 Ložiska kalandrovacích válců.....	74
5 Návrh převodové skříně.....	76
6 Rámová konstrukce.....	77
7 Ekonomické zhodnocení.....	77
8 Závěr.....	79

## Seznam obrázků a tabulek

Obr.1 Kalandrovací stroj.....	15
Obr.10 Bezpečnost čelních soukolí normálního převodu.....	30
Obr.11 Bezpečnost čelního soukolí redukovaný převodu.....	33
Obr.12 Bezpečnost kuželového soukolí.....	37
Obr.13 Hřídel A půdorys.....	42
Obr.14 Hřídel A bokorys.....	43
Obr.15 Hřídel B.....	49
Obr.16 Hřídel B redukce.....	52
Obr.17 Hřídel C půdorys.....	59
Obr.18 Hřídel C redukce.....	63
Obr.19 Hřídel kalandrovacích válců.....	74
Obr.2 Tvrdý válec.....	16
Obr.3 Vyhřívaný válec.....	16
Obr.4 Měkký válec.....	17
Obr.5 Třecí kalandr.....	18
Obr.6 Elektromotor Siemens.....	20
Obr.7 Schéma třecí spojky.....	22
Obr.8 Třecí spojka.....	22
Obr.9 Synchronní spojka.....	25
Tab.1 Katalogová tabulka spojek firmy ELK.....	23
Tab.10 Ceny jiných normovaných součástí.....	78
Tab.11 Ceny nenormovaných součástí.....	78
Tab.2 Katalogová tabulka řetězových převodů firmy ELK.....	39
Tab.3 Koeficienty ložiska LA1.....	68
Tab.4 Koeficienty ložiska LA2.....	68
Tab.5 Koeficienty ložiska LB1.....	70
Tab.6 Koeficienty ložiska LB2.....	70
Tab.7 Koeficienty ložiska LC1.....	73
Tab.8 Koeficienty ložiska LC2.....	74
Tab.9 Ceny ložisek.....	77

## Přehled použitých veličin a jednotek

Značka	Název	Jednotky
a	Osová vzdálenost	[m]
$n_1$	Otáčky vstupní hřídele	[ot*min <sup>-1</sup> ]
$n_2$	Otáčky předlohové hřídele	[ot*min <sup>-1</sup> ]
$n_3$	Otáčky výstupní hřídele	[ot*min <sup>-1</sup> ]
$n_{350}$	Otáčky redukované výstupní hřídele	[ot*min <sup>-1</sup> ]
$n_4$	Otáčky kalandru	[ot*min <sup>-1</sup> ]
$n_{450}$	Otáčky redukované kalandru	[ot*min <sup>-1</sup> ]
i	Převodový poměr systému	[]



$i_{50}$	Převodový poměr systému redukováný	[]
$i_k$	Převodový poměr kuželového soukolí	[]
$i_{\tilde{r}}$	Převodový poměr řetězového převodu	[]
$i_p$	Převodový poměr čelních soukolí	[]
$i_{p50}$	Převodový poměr čelních soukolí redukováný	[]
$\sigma_{Him}$	Mez únavy v dotyku	[MPa]
$\sigma_{Flim}$	Mez únavy v ohybu	[MPa]
$\Psi_d$	Součinitel citlivosti materiálu	[]
$m_n$	Návrhový modul soukolí	[mm]
$d_k$	Minimální průměr ozubeného kola	[mm]
$b_k$	Minimální šířka ozubeného kola	[mm]
$z$	Počet zubů	[]
$\alpha_n$	Normálový úhel záběru	[rad]
$\alpha_t$	Tečný úhel záběru	[rad]
$\beta$	Úhel sklonu zubů	[rad]
$r$	Poloměr ozubeného kola	[m]
$r_a$	Hlavový poloměr ozubeného kola	[m]
$r_b$	Základní poloměr ozubeného kola	[m]
$p_{tb}$	Tečná zubová rozteč na základní kružnici	[mm]
$\varepsilon_\alpha$	Součinitel trvání záběru $\alpha$	[]
$\varepsilon_\beta$	Součinitel trvání záběru $\beta$	[]
$\varepsilon$	Součinitel trvání záběru	[]
$p_t$	Tečná zubová rozteč	[mm]
$m_t$	Tečný modul soukolí	[mm]
$P$	Výkon	[W]
$F_t$	Tečná síla	[N]
$F_r$	Radiální síla	[N]
$F_a$	Axiální síla	[N]
$F_n$	Normálová síla	[N]
$M$	Kroutící moment	[Nm]
$\omega$	Frekvence	[rad*s <sup>-1</sup> ]
$s_H$	Součinitel bezpečnosti v dotyku	[]
$s_F$	Součinitel bezpečnosti v ohybu	[]

$S_{Hst}$	Statická bezpečnost v dotyku	[]
$S_{Fst}$	Statická bezpečnost v ohybu	[]
$m_{tm}$	Střední tečný modul	[mm]
$m_{te}$	Vnější tečný modul	[mm]
$m_{nm}$	Střední normálový modul	[mm]
$z_n$	Počet zubů náhradního kola	[]
$\delta$	Roztečný úhel kuželového soukolí	[rad]
$d$	Průměr ozubeného kola	[mm]
$d_a$	Hlavový průměr ozubeného kola	[mm]
$d_f$	Patní průměr ozubeného kola	[mm]
$d'_n$	Průměr náhradního kola	[mm]
$d'_{bn}$	Základní průměr náhradního kola	[mm]
$d'_{an}$	Hlavový průměr náhradního kola	[mm]
$a'_n$	Osová vzdálenost náhradního soukolí	[mm]
$p'_{tm}$	Střední tečná zubová rozteč náhradního kola	[mm]
$p_{tm}$	Střední tečná zubová rozteč	[mm]
$r_m$	Střední poloměr ozubeného kola	[mm]
$x$	Složka vzdálenosti ve směru osy x	[mm]
$z$	Složka vzdálenosti ve směru osy z	[mm]
$\alpha$	Sklon řetězového převodu	[rad]
$Y$	Součinitel rázu	[]
$\mu$	Součinitel mazání	[]
$\varphi$	Součinitel provedení	[]
$j$	Počet článků řetězu	[]
$L_{ř}$	Délka řetězu	[m]
$p_{\check{c}}$	Velikost článků řetězu	[mm]
$v_{max}$	Maximální obvodová rychlost	[ms <sup>-1</sup> ]
$v_{min}$	Minimální obvodová rychlost	[ms <sup>-1</sup> ]
$F$	Obvodová síla	[N]
$F_v$	Síla na hřídeli	[N]
$F_{ct}$	Odstředivá síla	[N]
$F_c$	Celková síla zatěžující hřídel	[N]
$F_x$	Složka síly v ose x	[N]
$F_y$	Složka síly v ose y	[N]

$F_{pt}$	Síla při přetržení hřídele	[N]
$k$	Součinitel bezpečnosti	[]
$a$	Rozměr vstupní hřídele	[m]
$r_k$	Poloměr kuželového kola	[m]
$R_{ax}$	Reakce vstupní hřídele ve ose x	[N]
$R_{ay}$	Reakce vstupní hřídele ve ose y	[N]
$R_{az}$	Reakce vstupní hřídele ve ose z	[N]
$M_{oxy}$	Ohybový moment v rovině xy	[Nm]
$M_{oxz}$	Ohybový moment v rovině xz	[Nm]
$\sigma_{oxy}$	Ohybové napětí v rovině xy	[MPa]
$\sigma_{oxz}$	Ohybové napětí v rovině xz	[MPa]
$\sigma_{ekv}$	Ekvivalentní ohybové napětí	[MPa]
$\tau_k$	Napětí v krutu	[MPa]
$\tau_{kk}$	Dovolené napětí v krutu	[MPa]
$\sigma_{ko}$	Dovolené ohybové napětí	[MPa]
$d$	Průměr hřídele	[m]
$k_\tau$	Součinitel bezpečnosti v krutu	[]
$k_\sigma$	Součinitel bezpečnosti v ohybu	[]
$k$	Součinitel bezpečnosti	[]
$R_m$	Mez únavy	[MPa]
$R_e$	Mez kluzu	[MPa]
$a_o$	Vzdálenost osazení vstupní hřídele	[mm]
$\alpha_t$	Součinitel tvaru	[]
$q$	Součinitel materiálu součásti	[]
$\beta$	Součinitel vrubu	[]
$\nu$	Součinitel velikosti součásti	[]
$\eta_p$	Součinitel jakosti povrchu	[]
$\sigma_{ko}^*$	Skutečné dovolené napětí	[MPa]
$p_D$	Dovolený tlak	[MPa]
$\tau_{Dk}$	Dovolené napětí v krutu	[MPa]
$t_s$	Délka dřívku šroubu	[mm]
$i_s$	Počet šroubů spoje	[]
$k_p$	Bezpečnost šroubu na otláčení	[]
$b$	Rozměr předlohové hřídele	[mm]

$b_L$	Vzdálenost ložiska předlohové hřídele	[mm]
$r_w$	Poloměr čelního ozubeného kola	[mm]
$S$	Povrch průřezu pera	[m <sup>2</sup> ]
$t$	Výška pera	[mm]
$p$	Tlak	[MPa]
$d_s$	Průměr roztečné kružnice šroubů spojky	[mm]
$d_2$	Průměr dříku šroubu	[mm]
$k_w$	Součinitel bezpečnosti přenosu	[]
$L$	Délka pera	[mm]
$b_o$	Vzdálenost osazení předlohou hřídele	[mm]
$D_d$	Větší průměr drážkování hřídele	[mm]
$d_d$	Menší průměr drážkování hřídele	[mm]
$f'$	Účinná plocha drážek na jednotku délky náboje	[mm]
$\psi$	Opravný součinitel	[]
$l$	Délka drážkování	[mm]
$h_v$	Efektivní výška drážky	[mm]
$f$	Velikost zkosení a zaoblení	[mm]
$d_{min}$	Minimální průměr drážkování hřídele	[mm]
$l_{min}$	Minimální délka drážkování hřídele	[mm]
$c$	Rozměr výstupní hřídele	[mm]
$c_{L1}$	Vzdálenost ložiska výstupní hřídele	[mm]
$R_{Bx}$	Reakce předlohové hřídele v ose x	[N]
$R_{By}$	Reakce předlohové hřídele v ose y	[N]
$R_{Bz}$	Reakce předlohové hřídele v ose z	[N]
$R_{Cx}$	Reakce výstupní hřídele v ose x	[N]
$R_{Cy}$	Reakce výstupní hřídele v ose y	[N]
$R_{Cz}$	Reakce výstupní hřídele v ose z	[N]
$r_{w50}$	Poloměr čelního ozubeného kola redukce	[mm]
$F_c$	Síla od řetězového převodu	[N]
$F_{c150}$	Síla od řetězového převodu redukce	[N]
$F_{r150}$	Radiální síla čelního kola redukce	[N]
$F_{t150}$	Tečná síla čelního kola redukce	[N]
$F_{a150}$	Axiální síla čelního kola redukce	[N]
$e$	Omezující koeficient	[]

X	Součinitel radiálního dynamického zatížení	[]
Y	Součinitel axiálního dynamického zatížení	[]
X <sub>o</sub>	Součinitel radiálního statického zatížení	[]
Y <sub>o</sub>	Součinitel axiálního statického zatížení	[]
p	Koeficient typu ložiska	[]
P <sub>1</sub>	Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	[N]
P <sub>m</sub>	Střední ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	[N]
s <sub>0m</sub>	Střední ekvivalentní statická bezpečnost	[]
L <sub>h10</sub>	Trvanlivost ložiska	[h]
C	Základní dynamická únosnost	[N]
C <sub>o</sub>	Základní statická únosnost	[N]
b <sub>1</sub>	Šířka ložiska	[mm]
K <sub>a</sub>	Axiální zatížení ložiska	[N]
P <sub>10</sub>	Ekvivalentní statické zatížení ložiska	[N]
s <sub>0</sub>	Statická bezpečnost	[]
n <sub>m</sub>	Střední otáčky	[]
P <sub>m0</sub>	Střední ekvivalentní statické zatížení ložiska	[N]
v <sub>1</sub>	Rychlost posuvu textilie	[ms <sup>-1</sup> ]
β <sub>b</sub>	Úhel sklonu zubů na základní kružnici	[rad]
r <sub>f</sub>	Poloměr patní zubové kružnice	[m]
F <sub>v</sub>	Přítlačná síla válců	[N]
σ <sup>*</sup> <sub>co</sub>	Kritické únavové napětí vrubu	[MPa]
σ <sub>co</sub>	Kritické únavové napětí	[MPa]
v	Rozměr hřídele kalandrovacích válců	[mm]
R <sub>v</sub>	Reakce hřídele kalandrovacích válců	[N]

# 1 Úvod

Výroba a zpracování textilií je jedním z významných odvětví průmyslu. Textil se používá velmi hojně od oblečení po filtry a jiné. Dříve se textil vyráběl víceméně ručně, s počátkem průmyslové revoluce a s rostoucí poptávkou se vyvíjely nové způsoby zpracování textilií. Jedním z těchto procesů je kalandrování, které patří mezi nejdůležitější práce konečné úpravy pro textilií z klasických celulózových i syntetických materiálů. Je to proces, při kterém se mění tvar vlákna, lesk, hladkost a omak textilie působením tepla, vysokého tlaku a případně i tření. Používají se při něm kovové nebo pryžové válce, které bývají duté a mohou být vyhřívané nebo se vzorem. Ty působí tlakem na látku a mění její vlastnosti. Kalandry také slouží k odstranění vlhkosti ze zboží a k vytvoření vzorových efektů. [5]

## 2 Cíl práce

Cílem práce je konstrukce pohonného systému, spolu se svařovaným rámem a motorem gravírovacích válců kalandru. To obsahuje návrh převodové skříně, převodového systému, výběr vhodného elektromotoru a jeho spojení s převodovým systémem hřídelovou spojkou a základní konstrukce kalandrovacích válců.

Kalandrovací válce jsou navrhovány s rozměry průměru 400 mm a délky 1800 mm a pro přítlak 300000 N. Podle těchto parametrů bude v práci vytvořen model kalandrovacích válců, spolu s hřídelemi a ložisky, výpočtu ložisek pro přítlak válců a rychlosti posuvu textilie z otáček válců kalandru. Válce kalandru nejsou vyhřívané a při návrhu kalandru s tím tak není třeba počítat.

Pohonný systém by měl být navržený tak, aby přenášel výkon 15 kW a části pohonného systému měli životnost minimálně 9000 h. Minimální bezpečnost celého systému by měla být  $k = 2$  a u ozubených soukolí pokud možno přibližně stejná. Bezpečnost hřídel se určuje v místech nejvyššího napětí a nejnamáhanějších vrubů. Převodovka bude navrhována jako dvourychlostní se vstupními otáčkami  $2880 \text{ min}^{-1}$  a výstupními otáčkami pro normální převod  $520 \text{ min}^{-1}$  a redukovaný převod  $260 \text{ min}^{-1}$  s odchylkou do 5%. V provozu se kalandry budou otáčet běžně při normálním převodu a redukovaný převod bude použit při zavadění nové role textilie. Procentuálně to lze vyjádřit jako 80% používání normálního převodu a 20% redukovaného převodu, což bude použito při výpočtu

dynamického zatížení ložisek. U převodovky se počítá se sériovou výrobou a tak například přítlak kuželového soukolí není nutný.

### 3 Gravírovací textilní kalandr

Kalandr je stroj sloužící ke zpracování tkanin, papíru a jiných látek. Zde se budeme zabývat textilním kalandrem, který se používá k úpravě látek. Kalandr se skládá z alespoň dvou válců, které jsou jeden pevný a druhý je k němu přitlačován. Na látku působí tlak, který vlákno textilie zplošťuje z původního kruhového profilu. Kalandrováním lze ovlivnit také lesk, hladkost a omak látek. Kalandry také slouží k odstranění vlhkosti ze zboží a k vytvoření různých vzorových efektů. [5]



Obr.1 Kalandrovací stroj [2]

#### 3.1 Rozdělení kalandrovacích válců

- Tvrdé válce  
– ocelové, duté, zevnitř vyhřívané na max 260°C, průměr 15 – 25 cm
- Měkké válce  
– mají kovové jádro a povrch je z pryže nebo lisované bavlny, průměr 40 – 70 cm

a kalandrování na

- Suché
  - Matovací
  - Valivé
  - Třecí
- Vzorové
  - Gofrovací
  - Moarovací
  - Silkovací

[5]

### 3.1.1 Tvrdé válce

Jsou to kovové, nejčastěji ocelové, obvykle chromované válce a duté válce. Dutinu lze použít k chlazení nebo ohřívání válce až na teplotu 260°C. Tloušťka pláště se počítá na specifikovaný přítlak válce k proti-válci. Válce se vyrábí v průměru 15 – 25 cm. [3]



Obr.2 Tvrdý válec [3]



Obr.3 Vyhřívavý válec [3]



### 3.1.2 Měkké válce

Vyrábí se s kovovým jádrem a povrchem z pryže nebo lisované bavlny v průměrech 40 – 70 cm. [5]

Používá se obvykle pro zpracování papírů. Oproti tvrdým válcům zajišťuje lepší rovnoměrnost hustoty papíru při jen polovičním až čtvrtinovém tlaku. [1]



Obr.4 Měkký válec [4]

### 3.1.3 Suché kalandry

Používají se pro zajištění kvalitního povrchu textilie.

Mezi tyto válce patří matovací válce, které se používají pro zjištění omaku. Zachovávají kruhový profil vlákna. Valivé kalandry se používají pro textilie s lesklým povrchem a omakem. Válce se odvalují a prochází mezi nimi látka.

Třecí kalandry zajišťují vysoký lesk textilie. Ten se získá třením mezi kovovým vyhřívaným válcem a měkkým válcem, které vzniká o 5 – 10% rychlejším odvalováním hlavního válce oproti podpůrnému válci. Rychlost odvalování textilie je obvykle 31,5 m/min. [6]



Obr.5 Třecí kalandr [1]

### 3.1.4 Vzorové kalandry

Používají se pro vytvoření vzorů na látce. Tyto kalandry mají kovové válce, které mají na svém povrchu rytinu (gravuru). Vtlačováním rytiny válců se na povrchu textilie vytvářejí různé vzory. Jinak se jim také říká Gravírovací válce, kterými se zabývá tato bakalářská práce.

## 4 Vlastní návrh pohonného systému

V další části se budeme zabývat návrhem, výpočtem a konstrukcí pohonného systému, který bude vyhovovat požadavkům vycházejících z cíle práce a plynulý převod výkonu z motoru na kalandr. Je potřeba zajistit funkčnost, bezpečnost a jednoduchost celého systému a to i s cílem co nejnižší ceny.

Jako pohon pro tento systém použijeme běžný elektromotor, který bude s převodovkou spojený hřídelovou spojkou. Převodový mechanismus budeme navrhovat s ozubenými soukolími čelními a kuželovými se šikmým ozubením, které zajišťují plynulejší a tišší chod v porovnání s přímým ozubením. Dále budeme převod navrhovat dvourychlostní s poloviční redukcí s řazením pomocí synchronní spojky, díky které lze plynule měnit otáčky systému za chodu. Pro přenos výkonu z převodovky na kalandr použijeme řetězový převod, který zajišťuje přesný převod otáček za přijatelné hlučnosti a ceně. Převodovka a motor jsou uchycené na svařovaném rámu z kovových profilů.

### 4.1 Výběr motoru

Při výběru motoru se musíme řídit především dvěma parametry a to potřebným výkonem a vstupními otáčkami požadovanými k dosažení optimálních výstupních otáček. V tomto případě jsou to výkon 15 kW a otáčky 2880 otmin<sup>-1</sup>. Také se musí počítat se ztrátami na jednotlivých převodech a motor by se tak měl navrhnout s o něco větším výkonem. S každým převodem můžeme počítat se ztrátami 2%. To znamená celkové ztráty 6%.

$$P = 15 \text{ kW}$$

$$\mu = 0,06$$

$$P_s = P*(1+\mu) = 15*(1+0,06) = 15,9 \text{ kW} \quad (4.1)$$

Musíme tedy vybrat motor, který má výkon alespoň 15,9 kW. Vybereme motor **Elektromotor 18,5 kW 1LC160L-2, 2930 ot.min.<sup>-1</sup>**, který má o trochu větší otáčky, ale to lze redukovat pomocí frekvenčního měniče. [8]

U motoru pak ještě musíme počítat s jeho ztrátami, které lze dohledat na stránkách výrobce.

Tento elektromotor je vyrobený s účinností značenou IE2, která se rovná účinnosti 90,6%. [7]

$$P_{sm} = P_m * 0,906 = 18,5 * 0,906 = 16,724 \text{ kW} \quad (4.2)$$

Elektromotor má dostatečný výkon a lze ho zde použít.



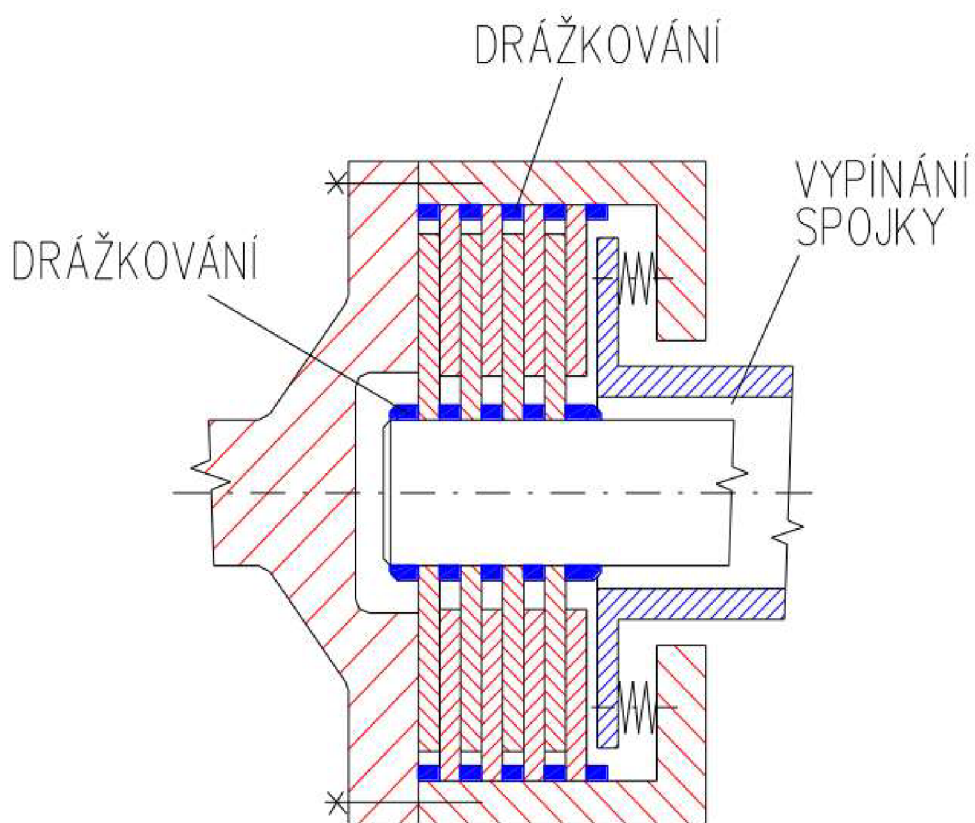
Obr.6 Elektromotor Siemens [8]

## 4.2 Výběr hřídelové spojky

Hřídelová spojka je část pohonného systému, která spojuje dvě obvykle souosé hřídele často různých průměrů a přenáší výkon a otáčky. Spojky dále mohou sloužit k nouzovému rozdělení motoru a převodovky nebo k řízenému rozdělení.

Zde spojuje hřídele motoru a převodovky, které jsou souosé a přenáší výkon a otáčky elektromotoru. V tomto případě bude také potřeba kvůli změně převodového stupně rozdělit a znovu spojit motor a převodovku. To zajistíme pomocí řízené spojky. Vybereme lamelovou třecí spojku, které se běžně používá v automobilech a je tak snadno dostupná použitelná.

Je tvořena jednou nebo více lamelami spojenými s jedním z hřídelů. Zbytek spojky je spojen s druhým hřídelem. Lamely jsou stlačovány přítláčným kotoučem, který se ovládá pomocí pákového převodu. Odsune-li obsluha kotouč od lamel, tyto se uvolní a začnou prokluzovat. Tím je spojka rozpojena. Při sepnutí se krouťící moment přenáší třením. [9]



Obr.7 Schéma třecí spojky [11]

Zde použijeme lamelovou třecí spojku s elektromagnetickým ovládním. Lamely jsou přitlačované působením magnetické síly vyvolané elektromagnetickými cívkami. [11]



Obr.8 Třecí spojka [10]

Spojku vybereme například od firmy PSP pohony, od které elektricky ovládané třecí lamelové spojce odpovídá označení ELK. Z tabulky výrobce pak vybereme spojku s dostatečně velkým jmenovitým momentem.

Tab.1 Katalogová tabulka spojek firmy ELK [11]

Velikost	0,6	1,2	2,5	4	6,3	10	16	25	40	63
<b>Rozměry</b>										
D	90	100	110	120	132	147	162	182	202	235
Sp	5	5	5	6	7	7	7	8	9	10
DpH7	60 / 50 / 45	70 / 60 / 50	70 / 60 / 50	80 / 70 / 60 / 50	90 / 80 / 70 / 60	100 / 90 / 80 / 70	110 / 100 / 90 / 80	120 / 110 / 100 / 90	140 / 120 / 110 / 100	160 / 140 / 120 / 110
Dt	70	80	85	95	105	115	130	150	165	190
* x Š	4xM6	4xM6	4xM6	6xM6	6xM8	6xM8	6xM8	6xM10	6xM10	6xM12
* x průměr K	2x6	2x6	2x6	3x6	3x8	3x8	3x8	3x10	3x10	3x12
dH7	17 / 15	20 / 18 / 15	25 / 22 / 20 / 18	30 / 28 / 25 / 20	35 / 30 / 28 / 25	40 / 35 / 30 / 28	45 / 40 / 35 / 30	55 / 50 / 45 / 40	60 / 55 / 50 / 45	70 / 60 / 55 / 50
Dk	90	100	110	120	132	145	160	180	200	230
l	5	5	5	5	6	6	5	5,5	5,5	5,5
lk	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11
Lvk -0,1	51	53	56	59	61	64	68	75	82	92
Lk	53	56	59	63	66	69	73	80	88	98
S	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8
*) počet kusů										
<b>Hlavní technické údaje</b>										
Přenašný moment - dynamický (jmenovitý) (Nm)	6,3	12	25	40	63	100	160	250	400	630
Přenašný moment - statický (informativně) (Nm)	9	18	35,5	56	90	140	224	355	560	900
Budící cívka - napětí (V)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Budící cívka - proud při 20oC (A)	0,75	1,05	1,2	1,25	1,4	1,65	1,85	2,5	2,45	2,9
Budící cívka - příkon při 20oC (W)	18	25,2	28,8	30	33,6	39,6	44,4	60	59	69,6
Vzduchová mezera (mm)	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,35	0,4	0,4	0,4	0,5
Toletance vzduchové mezery (mm)	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15	-0,15
Maximální otáčky (min-1)	3000	3000	3000	3000	3000	3000	2500	2200	2000	1750
Moment setrvačnosti "J" - částí vnitřních ELK (kgm <sup>2</sup> )	0,001	0,0017	0,003	0,004	0,007	0,011	0,018	0,037	0,067	0,135
Moment setrvačnosti "J" - částí vnějších ELK (kgm <sup>2</sup> )	0,0004	0,0007	0,0012	0,002	0,0025	0,0045	0,008	0,015	0,022	0,042
Hmotnost *) (kg)	1,8	2,4	3,1	4	4,9	6,5	8,4	11,7	15,1	22,9
*) Udaná hmotnost platí pro minimální vrtání pláště DpH7										

Nejvhodnější z nich bude spojka ELK 10 označená na obrázku (), která přenáší jmenovitý moment  $M_j = 100 \text{ Nm}$ . Při momentu  $M = 49,736 \text{ Nm}$  na výstupu motoru bude bezpečnost spojky

$$k_{sp} = \frac{M_j}{M} = \frac{100}{49,736} = 2.011, \quad (4.3)$$

což je dostatečně vysoká bezpečnost pro tuto aplikaci.

### 4.3 Volba řazení

Pro náš převodový systém je dále potřeba najít spojku řazení. Převodovka je zde dvoustupňová a je požadováno řazení za běhu. Pro takovou aplikaci je vhodné použít synchronizační spojku, která se běžně používá v automobilovém řazení.

Synchronní spojka funguje tak, že třením vyrovnává rozdílné obvodové rychlosti spojovaných dílů. Z principu synchronizace vyplývá, že čím větší je rozdíl obvodových rychlostí tím více se spojka opotřebuje.

Objímka synchronizační spojky je suvně uložena svou drážkou na obvodě trojúhelníkového jádra. Jádro je přes drážkování spojeno s hnacím hřídelem, a tak se jádro i objímka otáčejí společně s tímto hřídelem. Jemné drážkování objímky je shodné s ozubením povrchu nákrůžků hnaných ozubených kol. Hnací i hnaná kola převodovky jsou ve stálém vzájemném záběru. Hnací kola s hnacím hřídelem jsou vyrobena jako jeden celek. Naopak hnaná kola jsou spojena s hnaným hřídelem přes synchronizační zařízení.

Při řazení rychlostního stupně se řadicí pákou a příslušnou zasouvací vidlicí, zabírající do obvodové drážky objímky, posune tato objímka ze střední polohy (nebo do střední polohy ze záběru s některým kolem při vyřazení rychlostního stupně), až její kuželové plochy dosednou na třecí kroužek, který je brzděn nebo unášen, dokud se neopře o západku, jež pak zatlačí hnací lamelu do vybrání v objímce. Lamela se přitom na protější straně opírá o druhou západku a přenáší směrem k pojistnému kroužku točivý pohyb na třecí kroužek. Tím se zvětší tření mezi posuvnou objímkou a třecím kroužkem. Jsou-li otáčky těchto dílů rozdílné, brání hnací lamela, opírající se o kroužek, jeho stažení. Proto se nemůže synchronizační (jemné) drážkování objímky zasunout na drážkovaný nákrůžek příslušného ozubeného kola. Obvodové rychlosti objímky a třecího kroužku se postupně vyrovnávají, až hnací lamela uvolní třecí kroužek, který se stáhne, a umožní tak další posun řadicí páky a tím i posuvné objímky přes třecí kroužek do záběru s drážkovaným nákrůžkem kola. V tomto okamžiku zapadne třecí kroužek do drážky v objímce, rozepne se, a tím spojí



objímku s ozubeným kolem, které je pak přes posuvnou objímku a jádro pevně spojeno s hnaným hřídelem převodovky. [12]



©MarkoMT

Obr.9 Synchronní spojka [13]

## 4.4 Řešení převodovky

Převodovka kalandrovacího stroje se bude navrhovat s ohledem na složitost, hmotnost, rozměry, bezpečnost, životnost, náklady a montážní podmínky převodového ústrojí, převodové skříně, spojení motoru a převodovky a řetězového převodu. Převodová skříně například bude z důvodu složitosti a ceny odlitá z hliníku s náležitými úkosi a zaoblenými a následně obrobena v místech umístění ložisek. Ozubená soukolí, ložiska a další konstrukční části se budou nakupovat od výrobců dle vypočítaných parametrů. Ozubená soukolí se opracují tak, aby se snížila jejich hmotnost.

Převodovka se skládá ze vstupní hřídele, která je hřídelovou spojkou spojená s hřídelí motoru a která je vyrobena s pastorkem kuželového soukolí. Kuželové soukolí přenáší výkon motoru na předlohou hřídel se synchronizačním řazením a ozubených soukolí plného a polovičního převodu. Ty pak moment přenáší na hřídel, na které je řetězový převod, přenášející moment na válec kalandru. To vše s ložisky odpovídajícími radiálnímu a axiálnímu zatížení.

## 4.5 Návrh převodového poměru

$$a = 600 \text{ mm} = 0.6 \text{ m}$$

$$n_1 = 2880 \text{ min}^{-1} = 48 \text{ s}^{-1}$$

$$n_4 = 520 \text{ min}^{-1} = 8.67 \text{ s}^{-1}$$

$$n_{450} = 260 \text{ min}^{-1} = 4.33 \text{ s}^{-1}$$

$$i = \frac{n_1}{n_4} = \frac{2880}{520} = 5.538 \quad (4.4)$$

$$i_{50} = \frac{n_1}{n_{450}} = \frac{2880}{260} = 11.077 \quad (4.5)$$

Převodový poměr kuželového soukolí  $i_k = 2.25$

Převodový poměr řetězového převodu  $i_r = 2.25$

Celkový převodový poměr  $i = i_p * i_k * i_r = 5.538$

$$i_p = \frac{i}{i_k * i_r} = \frac{5.538}{2.25 * 2.25} = 1.0939 \quad (4.6)$$

Pro alternativní převod 50%

$$i_{p/50} = \frac{11.077}{2.25 * 2.25} = 2.188 \quad (4.7)$$

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{a - d_1}{d_1} = \frac{a}{d_1} - 1 \quad (4.8)$$

## 4.5.1 Výpočet rychlosti posuvu textilie

$$r_v = 0,2 \text{ m}$$

$$v_1 = \omega * r_v = \frac{2 * \pi * n_4}{60} * r_v = \frac{2 * \pi * 520}{60} * 0,2 = 10,891 \text{ ms}^{-1} \quad (4.9)$$

$$v_{150} = \omega * r_v = \frac{2 * \pi * n_{450}}{60} * r_v = \frac{2 * \pi * 260}{60} * 0,2 = 5,445 \text{ ms}^{-1} \quad (4.10)$$

## 4.6 Šikmá čelní soukolí

### 4.6.1 Normální převod

Návrh modulu, průměru a šířky

Materiál soukolí: **Nitridová Ocel CSN 13242**

$$\sigma_{Hlim} = \mathbf{930 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{Flim} = \mathbf{580 \text{ MPa}}$$

Součinitel citlivosti materiálu:  $\Psi_d = \mathbf{0.3}$

$$m_{n1} = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{M_1}{z_1^2 * \psi_d * \sigma_{Flim}}} = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{111.908}{45^2 * 0.3 * 580 * 10^6}} = \quad (4.11)$$

$$= 1.26222 * 10^{-3} \text{ m} = 1.311 \text{ mm}$$

$$d_k = m_n * z_1 = 1.26222 * 45 = 56.8 \text{ mm} \quad (4.12)$$

$$b_k = d_k * \psi_d = 56.8 * 0.3 = 17.04 \text{ mm} \quad (4.13)$$

$$m_n = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{M_2}{z_2^2 * \psi_d * \sigma_{Flim}}} = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{122.414}{49^2 * 0.3 * 580 * 10^6}} =$$

$$= 1.22876 * 10^{-3} \text{ m} = 1.276 \text{ mm}$$
(4.14)

$$d_k = m_n * z_1 = 1.229 * 49 = 60.221 \text{ mm}$$
(4.15)

$$b_k = d_k * \psi_d = 60.221 * 0.3 = 18.066 \text{ mm}$$
(4.16)

$$m = 4 \text{ mm} = 0.004 \text{ m}$$

$$b = 35 \text{ mm} = 0.035 \text{ m}$$

$$a_w = 0.2 \text{ m}$$

$$i_c = 1.0939$$

$$\alpha_n = 20^\circ$$

### Pracovní úhly

$$\beta = \arccos\left(\frac{m_n}{2 * a_w} * (z_1 + z_2)\right) = \arccos\left(\frac{0.004}{2 * 0.2} * (45 + 49)\right) = 19.948^\circ$$
(4.17)

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}$$
(4.18)

$$\alpha_t = \arctg\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) = \arctg\left(\frac{\tan(20)}{\cos(19.948)}\right) = 21.166^\circ$$
(4.19)

$$\tan \beta_b = \frac{d_b}{d} \tan \beta$$
(4.20)

$$\beta_b = \arctan\left(\frac{d_{b2}}{d_2} \tan \beta\right) = \arctan\left(\frac{194,444}{208,51} \tan 19,948\right) = 18,699^\circ$$
(4.21)

### Poloměry ozubených kol

$$r_1 = \frac{z_1 * m_n}{2 * \cos(\beta)} = \frac{45 * 4}{2 * \cos(19.948)} = 95.744 \text{ mm} = 0.095744 \text{ m}$$
(4.22)

$$r_{a1} = r_1 + m_n = 0.095744 + 0.004 = 0.099744 \text{ m}$$
(4.23)

$$r_{b1} = r_1 * \cos \alpha_t = 0.095744 * \cos(21.166) = 0.089285 \text{ m}$$
(4.24)

$$r_{f1} = r_1 - 1,25 m_n = 0.095744 - 1,25 * 0.004 = 0.090744 \text{ m}$$
(4.25)

$$r_2 = \frac{z_2 * m_n}{2 * \cos(\beta)} = \frac{49 * 4}{2 * \cos(19.948)} = 104.255 \text{ mm} = 0.104255 \text{ m}$$
(4.26)

$$r_{a2} = r_2 + m_n = 0.104255 + 0.004 = 0.108255 \text{ m} \quad (4.27)$$

$$r_{b2} = r_2 * \cos \alpha_t = 0.104255 * \cos(21.166) = 0.097222 \text{ m} \quad (4.28)$$

$$r_{f2} = r_2 - 1,25m_n = 0.104255 - 1,25*0.004 = 0.099255 \text{ m} \quad (4.29)$$

### Součinitel záběru

$$p_{tb} = \frac{m_n * \pi}{\cos(\beta)} * \cos(\alpha_t) = \frac{4 * \pi}{\cos(19.948)} * \cos(21.166) = 12.467 \text{ mm} \quad (4.30)$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{(r_{a1}^2 - r_{b1}^2)} + \sqrt{(r_{a2}^2 - r_{b2}^2)} - a_w * \sin(\alpha_{wt})}{p_{tb}} = \quad (4.31)$$

$$\frac{\sqrt{(99.744^2 - 89.285^2)} + \sqrt{(108.255^2 - 97.222^2)} - 200 * \sin(21.166)}{12.467} = 1.593$$

$$m_t = \frac{m_n}{\cos(\beta)} = \frac{4}{\cos(19.948)} = 4.255 \text{ mm} \quad (4.32)$$

$$p_t = \pi * m_t = \pi * 4.255 = 13.368 \text{ mm} \quad (4.33)$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{b * \tan(\beta)}{p_t} = \frac{35 * \tan(19.948)}{13.368} = 0.95 \quad (4.34)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta = 1.593 + 0.95 = 2.543 \quad (4.35)$$

## Bezpečnost

Generátor komponent – čelní ozubená kola

Obr.10 Bezpečnost čelních soukolí normálního převodu

### 4.6.2 Alternativní převod 50%

#### Návrh modulu, průměru a šířky

Materiál soukolí: **Povrchově Kalená Ocel CSN 15241**

$$\sigma_{Hlim} = \mathbf{1160 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{Flim} = \mathbf{705 \text{ MPa}}$$

Součinitel citlivosti materiálu:  $\Psi_d = \mathbf{0.3}$

$$m_n = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{M_1}{z_1^2 * \Psi_d * \sigma_{Flim}}} = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{111.908}{30^2 * 0.3 * 705 * 10^6}} = 1.5498 * 10^{-3} \text{ m} \quad (4.36)$$

$$= 1.55 \text{ mm}$$

$$d_k = m_n * z_1 = 1.55 * 30 = 46.5 \text{ mm} \quad (4.37)$$

$$b_k = d_k * \psi_d = 46.5 * 0.3 = 13.95 \text{ mm} \quad (4.38)$$

$$m_n = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{M_{250}}{z_2^2 * \psi_d * \sigma_{Flim}}} = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{244.854}{66^2 * 0.3 * 705 * 10^6}} = 1.18943 * 10^{-3} \quad (4.39)$$

$$m = 1.189 \text{ mm}$$

$$d_k = m_n * z_2 = 1.189 * 66 = 78.474 \text{ mm} \quad (4.40)$$

$$b_k = d_k * \psi_d = 78.474 * 0.3 = 23.542 \text{ mm} \quad (4.41)$$

### Pracovní úhly

$$\beta = \arccos\left(\frac{m_n}{2 * a_w} * (z_1 + z_2)\right) = \arccos\left(\frac{0.004}{2 * 0.2} * (30 + 66)\right) = 16.26^\circ \quad (4.42)$$

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)} \quad (4.43)$$

$$\alpha_t = \arctg\left(\frac{\tan(\alpha_n)}{\cos(\beta)}\right) = \arctg\left(\frac{\tan(20)}{\cos(16.26)}\right) = 20.763^\circ \quad (4.44)$$

$$\beta_b = \arctan\left(\frac{d_{b2}}{d_2} \tan \beta\right) = \arctan\left(\frac{256,692}{274,52} \tan 16,26\right) = 15,255^\circ \quad (4.45)$$

### Poloměry ozubení

$$r_1 = \frac{z_1 * m_n}{2 * \cos(\beta)} = \frac{30 * 4}{2 * \cos(16.26)} = 62.5 \text{ mm} = 0.0625 \text{ m} \quad (4.46)$$

$$r_{a1} = r_1 + m_n = 0.0625 + 0.004 = 0.0665 \text{ m} \quad (4.47)$$

$$r_{b1} = r_1 * \cos \alpha_t = 0.0625 * \cos(20.763) = 0.0584 \text{ m} \quad (4.48)$$

$$r_{f1} = r_1 - 1,25m_n = 0.0625 - 1,25 * 0.004 = 0,0575 \text{ m} \quad (4.49)$$

$$r_2 = \frac{z_2 * m_n}{2 * \cos(\beta)} = \frac{66 * 4}{2 * \cos(16,26)} = 137,26 \text{ mm} = 0,13726 \text{ m} \quad (4.50)$$

$$r_{a2} = r_2 + m_n = 0,13726 + 0.004 = 0.14126 \text{ m} \quad (4.51)$$

$$r_{b2} = r_2 * \cos \alpha_t = 0,13726 * \cos(20.763) = 0,128346 \text{ m} \quad (4.52)$$

$$r_{f2} = r_2 - 1,25m_n = 0,13726 - 1,25 * 0.004 = 0,13226 \text{ m} \quad (4.53)$$

### Součinitel záběru

$$p_{tb} = \frac{m_n * \pi}{\cos(\beta)} * \cos(\alpha_t) = \frac{4 * \pi}{\cos(16.26)} * \cos(20.763) = 12.24 \text{ mm} \quad (4.54)$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\sqrt{(r_{a1}^2 - r_{b1}^2)} + \sqrt{(r_{a2}^2 - r_{b2}^2)} - a_w * \sin(\alpha_{wt})}{p_{tb}} = \frac{\sqrt{(66.5^2 - 58.4^2)} + \sqrt{(141,26^2 - 128,346^2)} - 200 * \sin(20.763)}{12.24} = 1.627 \quad (4.55)$$

$$m_t = \frac{m_n}{\cos(\beta)} = \frac{4}{\cos(16.26)} = 4.255 \text{ mm} \quad (4.56)$$

$$p_t = \pi * m_t = \pi * 4.255 = 13.368 \text{ mm} \quad (4.57)$$

$$\varepsilon_\beta = \frac{b * \tan(\beta)}{p_t} = \frac{37.5 * \tan(16.26)}{13.368} = 0.818 \quad (4.58)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta = 1.627 + 0.818 = 2.445 \quad (4.59)$$

### Výpočet sil

$$n_1 = 21.333 \text{ s}^{-1}$$

$$n_2 = 19.502 \text{ s}^{-1}$$

$$n_{250} = 9.75 \text{ s}^{-1}$$

$$\Omega_1 = 2\pi n_1 = 2 * \pi * 21.333 = 134.039 \text{ s}^{-1} \quad (4.60)$$

$$\omega_2 = 2 * \pi * 19.502 = 122.535 \text{ s}^{-1} \quad (4.61)$$

$$\omega_{250} = 2 * \pi * 9.75 = 61.261 \text{ s}^{-1} \quad (4.62)$$

$$M_1 = \frac{P}{\omega_1} = \frac{15000}{134.039} = 111.908 \text{ Nm} \quad (4.63)$$

$$M_2 = \frac{P}{\omega_2} = \frac{15000}{122.535} = 122.414 \text{ Nm} \quad (4.64)$$

$$M_{250} = \frac{P}{\omega_{250}} = \frac{15000}{61.261} = 244.854 \text{ Nm} \quad (4.65)$$

### Tečná síla

$$F_{t1} = \frac{M_1}{r_1} = \frac{111.908}{0.0957} = 1169.363 \text{ N} = F_{t2} \quad (4.66)$$

$$F_{t1/50} = \frac{M_1}{r_{150}} = \frac{111.908}{0.0625} = 1790.528 \text{ N} = F_{t2/50} \quad (4.67)$$



## Axiální síla

$$F_{a1} = F_{t1} \operatorname{tg} \beta = 1169.363 * \operatorname{tg} 19.948 = 424.412 \text{ N} = F_{a2} \quad (4.68)$$

$$F_{a150} = F_{t150} \operatorname{tg} \beta = 1790.528 * \operatorname{tg} 16.26 = 522.23 \text{ N} = F_{a250} \quad (4.69)$$

## Radiální síla

$$F_{r1} = \frac{F_{t1} * \tan(\alpha_n)}{\cos \beta} = \frac{1169.363 * \tan(20)}{\cos(19.948)} = 452.779 \text{ N} \sim F_{r2} \quad (4.70)$$

$$F_{r150} = \frac{F_{t150} * \tan(\alpha_n)}{\cos \beta} = \frac{1790.528 * \tan(20)}{\cos(16.26)} = 678.852 \text{ N} \sim F_{r250} \quad (4.71)$$

## Bezpečnost

Generátor komponent – čelní ozubená kola

Návrh **fg** Výpočet

Metoda pevnostního výpočtu

ISO 6336:1996

Zatížení

	Kolo 1	Kolo 2
Výkon	P 15 kW	14,700 kW
Otáčky	n 1280 rpm	581,82 rpm
Krouticí moment	T 111,906 N m	241,269 N m
Účinnost	η 0,980 ul	

Materiálové hodnoty

Kolo 1	<input checked="" type="checkbox"/> 42CrV6	...
Kolo 2	<input checked="" type="checkbox"/> 42CrV6	...
Mez únavy v ohybu	σ <sub>Flim</sub> 705,0 MPa	705,0 MPa
Mez únavy v dotyku	σ <sub>Hlim</sub> 1160,0 MPa	1160,0 MPa
Modul pružnosti	E 206000 MPa	206000 MPa
Poissonova konstanta	μ 0,300 ul	0,300 ul
Tepelné zpracování	4 ul	4 ul

Požadovaná životnost

L<sub>h</sub> 9000 hr

Součinitelé
Přesnost

**Výsledky**

F <sub>t</sub>	1790,495 N
F <sub>r</sub>	678,840 N
F <sub>a</sub>	522,221 N
F <sub>n</sub>	1984,795 N
v	8,378 mps
n <sub>E1</sub>	6785,326 rpm
<b>Kolo 1</b>	
S <sub>H</sub>	2,176 ul
S <sub>F</sub>	9,078 ul
S <sub>Hst</sub>	4,604 ul
S <sub>Fst</sub>	18,896 ul
<b>Kolo 2</b>	
S <sub>H</sub>	2,190 ul
S <sub>F</sub>	9,447 ul
S <sub>Hst</sub>	4,633 ul
S <sub>Fst</sub>	19,446 ul

Vypočítat
OK
Storno
>>

Obr.11 Bezpečnost čelního soukolí redukováný převodu

## 4.7 Kuželová ozubená kola

$$i = 2.25$$

$$P = 15000 \text{ W}$$

$$n_1 = 48$$

$$n_2 = 21.333$$

$$z_1 = 45$$

$$z_2 = 20$$

$$\beta = \beta_m = 25^\circ$$

$$\alpha_t = 20^\circ$$

$$\psi_d = 0.3$$

### Návrh modulu

Materiál soukolí: **Cementovaná a Kalená Ocel CSN 16526**

$$\sigma_{Hlim} = \mathbf{1330 \text{ MPa}}$$

$$\sigma_{Flim} = \mathbf{740 \text{ MPa}}$$

Součinitel citlivosti materiálu:  $\Psi_d = \mathbf{0.3}$

$$m_{nm} = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{M_1 * \cos(\beta_m)}{z_1^2 * \psi_d * \sigma_{Flim}}} = 1.85 * \sqrt[3]{\frac{49.736 * \cos(25)}{20^2 * 0.3 * 740 * 10^6}} = 1.4758 * 10^{-3} \text{ m} \quad (4.72)$$
$$= 1.4758 \text{ mm}$$

$$m_{tm} = \frac{m_{nm}}{\cos(\beta)} = \frac{1.4758}{\cos(25)} = 1.628 \text{ mm} \quad (4.73)$$

$$m_{te} = \frac{m_{tm} * (1 + \psi_d)}{(z_1^2 + z_2^2)(1/2)} = 0.043 \text{ mm} \quad (4.74)$$

### Rozměry ozubeného soukolí

$$\delta_1 = \arctan\left(\frac{z_1}{z_2}\right) = \arctan\left(\frac{20}{45}\right) = 23.962^\circ \quad (4.75)$$

$$d_1 = z_1 * m_{te} = 20 * 3 = 60 \text{ mm} \quad (4.76)$$

$$d_{1a} = d_1 + 2h_a * \cos(\delta_1) = 60 + 2 * 3 * \cos(23.962) = 65.483 \text{ mm} \quad (4.77)$$

$$d_{1f} = d_1 - 2h_f * \cos(\delta_1) = 60 - 2 * 3.75 * \cos(23.962) = 53.146 \text{ mm} \quad (4.78)$$

$$\delta_2 = 90^\circ - \delta_1 = 66.038^\circ \quad (4.79)$$

$$d_2 = z_2 * m_{te} = 45 * 3 = 135 \text{ mm} \quad (4.80)$$

$$d_{2a} = d_2 + 2h_a * \cos(\delta_2) = 135 + 2 * 3 * \cos(66.038) = 137.437 \text{ mm} \quad (4.81)$$

$$d_{2f} = d_2 - 2h_f * \cos(\delta_2) = 135 - 2 * 3.75 * \cos(66.038) = 131.954 \text{ mm} \quad (4.82)$$

### Rozměry náhradního ozubeného kola

$$z_{n1} = z_1 * \cos(\delta_1) = 20 * \cos(23.962) = 21.866 \quad (4.83)$$

$$d'_{n1} = \frac{d_1}{\cos(\delta_1)} = \frac{60}{\cos(23.962)} = 65.659 \text{ mm} \quad (4.84)$$

$$d'_{bn1} = d'_{n1} * \cos(\alpha_t) = 65.659 * \cos(20) = 61.699 \text{ mm} \quad (4.85)$$

$$d'_{an1} = d'_{n1} + 2h_a = 65.659 + 2 * 3 = 71.659 \text{ mm} \quad (4.86)$$

$$z_{n2} = z_2 * \cos(\delta_2) = 20 * \cos(23.962) = 110.802 \quad (4.87)$$

$$d'_{n2} = \frac{d_2}{\cos(\delta_2)} = \frac{135}{\cos(66.038)} = 332.405 \text{ mm} \quad (4.88)$$

$$d'_{bn2} = d'_{n2} * \cos(\alpha_t) = 332.405 * \cos(20) = 312.358 \text{ mm} \quad (4.89)$$

$$d'_{an2} = d'_{n2} + 2h_a = 332.405 + 2 * 3 = 338.405 \text{ mm} \quad (4.90)$$

### Součinitel trvání záběru

$$a'_n = (d'_{n1}/2 + d'_{n2}/2) = 199.032 \text{ mm} \quad (4.91)$$

$$p'_{tm} = m_{tm} \pi \cos(\alpha) = 2.982 * \pi * \cos(20) = 8.803 \text{ mm} \quad (4.92)$$

$$\varepsilon_\alpha = \frac{(r_{an1}^2 - r_{bn1}^2)^{1/2} + (r_{an2}^2 - r_{bn2}^2)^{1/2} - a'_n * \sin(\alpha)}{p'_{tm}} = 1.732 \quad (4.93)$$

$$P_{tm} = \pi * m_{tm} = \pi * 2.982 = 9.368 \text{ mm} \quad (4.94)$$

Součinitel záběru by u ozubeného soukolí měl ideálně být celočíselný, kvůli plynulosti a hlučnosti převodu. Zde se nejlépe hodí 3.

$$\varepsilon_\beta = 3 - \varepsilon_\alpha = 3 - 1.732 = 1.268 \quad (4.95)$$

Z toho vypočítám šířku ozubení.

$$b = \frac{P_{tm} * \varepsilon_\beta}{\text{tg}(\beta_m)} = 25.475 \text{ mm} \quad (4.96)$$

## Frekvence

$$\omega_1 = 2\pi n_1 = 2 * \pi * 48 = 301.593 \text{ s}^{-1} \quad (4.97)$$

$$\omega_2 = 2\pi n_2 = 2 * \pi * 21.333 = 134.039 \text{ s}^{-1} \quad (4.98)$$

## Moment

$$M_1 = \frac{P}{\omega_1} = \frac{15000}{301.59} = 49.736 \text{ Nm} \quad (4.99)$$

$$M_2 = \frac{P}{\omega_2} = \frac{15000}{134.039} = 111.908 \text{ Nm} \quad (4.100)$$

## Střední poloměr $r_{m1}$

$$r_{m1} = d_1 - b * \sin \delta_1 = (60 - 25.475 * \sin(23.962^\circ)) / 2 = 24.827 \text{ mm} \quad (4.101)$$

$$r_{m2} = d_2 - b * \sin \delta_2 = (135 - 25.475 * \sin(66.038^\circ)) / 2 = 55.86 \text{ mm} \quad (4.102)$$

## Výpočet sil

### Síla tečná

$$F_{t1} = \frac{M_1}{r_{m1}} = \frac{49.736}{0.024827} = 2003.308 \text{ N} \quad (4.103)$$

$$F_{t2} = \frac{M_2}{r_{m2}} = \frac{111.908}{0.05586} = 2003.349 \text{ N} \quad (4.104)$$

### Síla axiální

$$F_{a1} = F_{t1} \frac{(tg \alpha_t * \sin \delta_1 + \sin \beta_m * \cos \delta_1)}{\cos \beta_m} = 2003.308 \text{ N} \quad (4.105)$$

$$\frac{(tg 20 * \sin 23.962 + \sin 25 * \cos 23.962)}{\cos 25} = 1180.387 \text{ N}$$

$$F_{a2} = F_{r1} \quad (4.106)$$

### Síla radiální

$$F_{r1} = F_{t1} \frac{(\operatorname{tg} \alpha_t * \cos \delta_1 - \sin \beta_m * \sin \delta_1)}{\cos \beta_m} = 2003.308 \quad (4.107)$$

$$\frac{(\operatorname{tg} 20 * \cos 23.962 - \sin 25 * \sin 23.962)}{\cos 25} = 355.794 \text{ N}$$

$$F_{r2} = F_{a1} \quad (4.108)$$

## Bezpečnost

Generátor komponent – kuželová ozubená kola

Návrh **Výpočet**
📄 📁 🖨️ 🗑️

Metoda pevnostního výpočtu

ISO 6336:1996

Zatížení

	Kolo 1	Kolo 2
Výkon	P 15 kW	14,700 kW
Otáčky	n 2880 rpm	1280,00 rpm
Krouticí moment	T 49,736 N m	109,668 N m
Účinnost	η 0,980 ul	

Materiálové hodnoty

Kolo 1	<input checked="" type="checkbox"/>	14NiCr18	...
Kolo 2	<input checked="" type="checkbox"/>	14NiCr18	...
Mez únavy v ohybu	$\sigma_{Flim}$	740,0 MPa	740,0 MPa
Mez únavy v dotyku	$\sigma_{Hlim}$	1330,0 MPa	1330,0 MPa
Modul pružnosti	E	206000 MPa	206000 MPa
Poissonova konstanta	$\mu$	0,300 ul	0,300 ul
Tepelné zpracování		4 ul	4 ul

Požadovaná životnost

$L_h$  9000 hr

Součinitelé Přesnost

**Výsledky**

$F_t$	2003,315 N
$F_n$	2327,570 N
v	7,488 mps
$n_{Et}$	26128,041 rpm
<b>Kolo 1</b>	
$F_{r1}$	286,904 N
$F_{r2}$	1045,702 N
$F_{a1}$	1149,782 N
$F_{a2}$	-557,513 N
$S_H$	2,198 ul
$S_F$	4,096 ul
$S_{Hst}$	4,480 ul
$S_{Fst}$	7,992 ul
<b>Kolo 2</b>	
$F_{r1}$	1149,782 N
$F_{r2}$	-557,513 N
$F_{a1}$	286,904 N
$F_{a2}$	1045,702 N
$S_H$	2,198 ul
$S_F$	3,924 ul
$S_{Hst}$	4,480 ul
$S_{Fst}$	7,401 ul

Vypočítat OK Storno >>

Obr.12 Bezpečnost kuželového soukolí

## 4.8 Řetězový převod

### Otáčky

$$n_1 = 19.502 \text{ s}^{-1} = 1170.12 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{1/50} = 9.75 \text{ s}^{-1} = 585 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = 8.674 \text{ s}^{-1} = 520.435 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{2/50} = 4.337 \text{ s}^{-1} = 260.218 \text{ min}^{-1}$$

$$i = 2.25$$

### Osová vzdálenost

$$x = 308.962 \text{ mm} = 0.308962 \text{ m}$$

$$z = 600 \text{ mm} = 0.6 \text{ m}$$

$$a = (x^2 + z^2)^{1/2} = 674.876 \text{ mm} \quad (4.109)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{z}{a} \quad (4.110)$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{z}{a}\right) = 27.246^\circ \quad (4.111)$$

### Výběr řetězu

Rázový převod  $Y = 1,04$

Bezvadné mazání  $\mu = 1$

Součinitel provedení  $\varphi = 1$

$$P_1 = \frac{P}{Y\mu\varphi} = \frac{15000}{1.04 * 1 * 1} = 14423 \text{ W} \quad (4.112)$$

Tab.2 Katalogová tabulka řetězových převodů firmy ELK

ISO	Označení	p mm	b <sub>1</sub> min. mm	b <sub>2</sub> max. mm	d <sub>1</sub> max. mm	d <sub>2</sub> mm	a <sub>1</sub> max. mm	a <sub>2</sub> max. mm	g max. mm	e rozteč mm	Plocha článku cm <sup>2</sup>	Síla k přetržení kN	Hmotnost kg/m
	v palcích pxb <sub>1</sub>												
05 B - 2	8x3x5mm	8,0	3,00	4,77	5,00	2,31	14,30	17,40	7,10	5,64	0,22	7,5	0,36
06 B - 2 ●	3/8"x5,8mm	9,525	5,72	8,53	6,35	3,28	23,80	27,10	8,20	10,24	0,55	16	0,78
08 B - 2 ○	1/2"x5/16"	12,70	7,75	11,30	8,51	4,45	31,00	34,90	11,80	13,92	1,00	32	1,35
10 B - 2 ○	5/8"x3/8"	15,875	9,65	13,28	10,16	5,08	36,20	40,30	14,70	16,59	1,34	40	1,85
12 B - 2 ○	3/4"x29/64"	19,05	11,68	15,62	12,07	5,72	42,20	46,80	16,10	19,46	1,78	53	2,5
16 B - 2 ○	1"x17mm	25,40	17,02	25,40	15,88	8,28	68,00	73,40	21,00	31,88	4,21	106	5,4
20 B - 2 ○	1 1/4"x3/4"	31,75	19,56	29,00	19,05	10,19	79,70	85,10	26,40	36,45	5,91	170	7,2
24 B - 2 ○	1 1/2"x1"	38,10	25,40	37,90	25,40	14,63	101,00	107,60	33,40	48,36	11,09	280	13,5
28 B - 2	1 3/4"x1 1/4"	44,45	30,99	46,50	27,94	15,90	124,00	131,40	37,08	59,56	14,81	360	16,6
32 B - 2	2"x1 1/4"	50,80	30,99	45,50	29,21	17,81	126,00	133,90	42,20	58,55	16,23	450	21,0
40 B - 2	2 1/2"x1 1/2"	63,50	38,10	55,70	39,37	22,89	154,90	164,90	52,96	72,29	25,52	630	32,0
48 B - 2	3"	76,20	45,72	70,50	48,26	29,24	194,00	204,00	63,80	91,21	41,26	1000	50,0
56 B - 2 ●	3 1/2"	88,90	53,34	81,30	53,98	34,32	221,00	232,00	77,80	106,60	55,82	1600	70,0
64 B - 2 ●	4"	101,60	60,96	92,00	63,50	39,40	250,00	263,00	90,10	119,89	72,50	2000	120,0
72 B - 2 ●	4 1/2"	114,30	68,58	103,80	72,39	44,50	283,00	297,70	103,60	136,27	92,34	2500	160,0

○ lze dodat také s rovnými destičkami ● s rovnými destičkami

2-řadý 16 A pro otáčky  $n_1 = 785.4 \text{ min}^{-1}$

## Rozměry

$$a = 671.833 \text{ mm}$$

$$p = 25,4 \text{ mm}$$

$$z_1 = 20$$

$$z_2 = 45$$

$$d_{f1} = z_{f1} * p / \pi = 162,368 \text{ mm} \quad (4.113)$$

$$d_{f2} = z_{f2} * p / \pi = 364,124 \text{ mm} \quad (4.114)$$

Ze známých rozměrů lze vypočítat počet článků řetězu, který se zaokrouhlí na nejbližší vyšší celé sudé číslo.

$$j = \frac{z_{f1} + z_{f2}}{2} + \frac{z_{f2} - z_{f1}}{2\pi} * \frac{p_c}{a} + \frac{2a}{p} = 86 \quad (4.115)$$

## Délka řetězu

$$L_{\dot{r}} = j \cdot p_{\dot{e}} = 2,1844 \text{ m} \quad (4.116)$$

## Frekvence

$$\omega_1 = 2\pi n_1 = 122.535 \text{ rads}^{-1} \quad (4.117)$$

$$\omega_{1/50} = 2\pi n_{1/50} = 61.261 \text{ rads}^{-1} \quad (4.118)$$

$$\omega_2 = 2\pi n_2 = 54.5 \text{ rads}^{-1} \quad (4.119)$$

$$\omega_{2/50} = 2\pi n_{2/50} = 27.25 \text{ rads}^{-1} \quad (4.120)$$

## Rychlosti

$$v_{1\max} = \omega_1 \cdot r_{1\dot{r}} = 9,948 \text{ ms}^{-1} \quad (4.121)$$

$$v_{1\min} = \omega_1 \cdot r_{1\dot{r}} \cdot \cos(\pi/z_1) = 9,826 \text{ ms}^{-1} \quad (4.122)$$

$$v_{1\max/50} = \omega_{1/50} \cdot r_{1\dot{r}} = 4,973 \text{ ms}^{-1} \quad (4.123)$$

$$v_{1\min/50} = \omega_{1/50} \cdot r_{1\dot{r}} \cdot \cos(\pi/z_1) = 4,912 \text{ ms}^{-1} \quad (4.124)$$

## Výpočet sil

### Moment

$$M_1 = 122.414 \text{ Nm}$$

$$M_{1/50} = 244.854 \text{ Nm}$$

$$M_2 = 275.229 \text{ Nm}$$

$$M_{2/50} = 550.459 \text{ Nm}$$

### Obvodová síla

$$F_1 = \frac{M_1}{r_{1\dot{r}}} = 1507,859 \text{ N} \quad (4.125)$$

$$F_{1/50} = \frac{M_{1/50}}{r_{1\dot{r}}} = 3016.038 \text{ N} \quad (4.126)$$



### Hmotnost řetězu

$$q_c = q \cdot L = 5,4 \cdot 2,1844 = 11,796 \text{ kg} \quad (4.127)$$

### Síla na hřídeli

$$F_{v1} = 2 \cdot F_1 = 3015,859 \text{ N} \quad (4.128)$$

$$F_{v1/50} = 2 \cdot F_{1/50} = 6032,076 \text{ N} \quad (4.129)$$

### Odstředivá síla

$$F_{ct} = q_c \cdot v_{1\max}^2 = 1167,34 \text{ N} \quad (4.130)$$

$$F_{ct/50} = q_c \cdot v_{1\max/50}^2 = 291,718 \text{ N} \quad (4.131)$$

### Celková síla zatěžující hřídel

$$F_c = F_v + F_{ct} \quad (4.132)$$

$$F_{c1} = F_{v1} + F_{ct} = 3015,859 + 1167,34 = 4183,199 \text{ N} \quad (4.133)$$

$$F_{c1/50} = F_{v1/50} + F_{ct/50} = 6032,076 + 291,718 = 6323,794 \text{ N} \quad (4.134)$$

### Rozdělení síly do os

$$\alpha = 27,19^\circ$$

$$F_x = F_{c1} \cdot \sin \alpha = 4183,199 \cdot \sin 27,19 = 1911,482 \text{ N} \quad (4.135)$$

$$F_y = F_{c1} \cdot \cos \alpha = 4183,199 \cdot \cos 27,19 = 3720,939 \text{ N} \quad (4.136)$$

$$F_x = F_{c1/50} \cdot \sin \alpha = 6323,794 \cdot \sin 27,19 = 2889,611 \text{ N} \quad (4.137)$$

$$F_y = F_{c1/50} \cdot \cos \alpha = 6323,794 \cdot \cos 27,19 = 5624,99 \text{ N} \quad (4.138)$$

### Síla při přetržení řetězu

$$F_{pt} = 106000 \text{ N}$$

## Bezpečnost

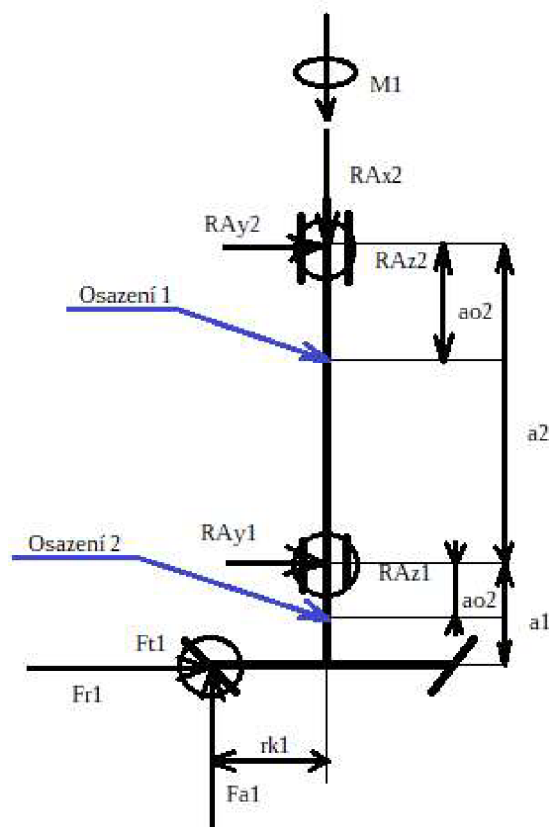
$$k_1 = \frac{F_{pt}}{F_{c1}} = 25,339 \quad (4.139)$$

$$k_{1/50} = \frac{F_{pt}}{F_{c1/50}} = 16.762 \quad (4.140)$$

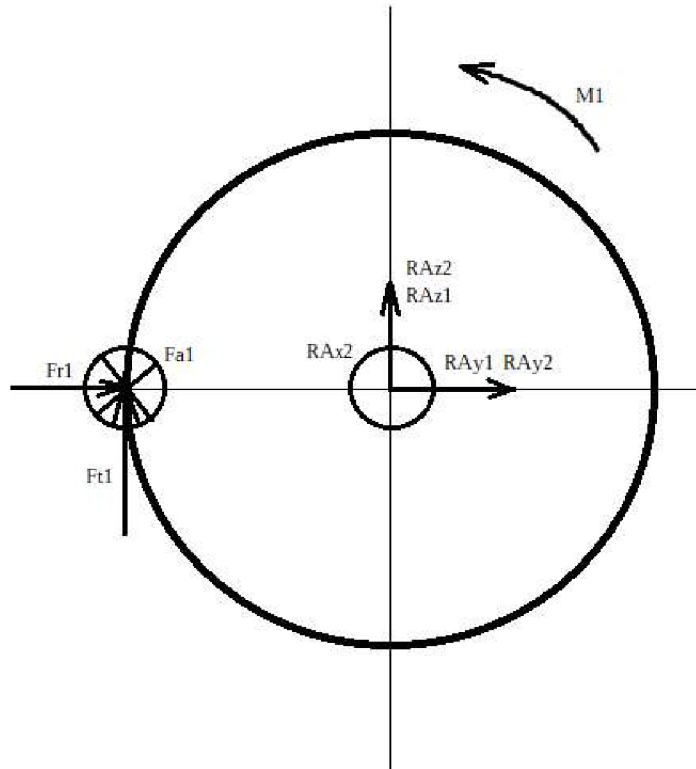
## 4.9 Pevnostní kontrola hřídelí

### 4.9.1 Hřídel A

#### Rozměry



Obr.13 Hřídel A půdorys



Obr.14 Hřídel A bokorys

$$a_1 = 35,856 \text{ mm} = 0.0359 \text{ m}$$

$$a_2 = 30,75 \text{ mm} = 0.0308 \text{ m}$$

$$a_3 = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$$

$$r_{k1} = 30 \text{ mm} = 0,03 \text{ m}$$

$$M_1 = 49.736 \text{ Nm}$$

$$F_{t1} = 2003,308 \text{ N}$$

$$F_{a1} = 1180,313 \text{ N}$$

$$F_{r1} = 355,794 \text{ N}$$

### Výpočet reakcí

$$x: R_{Ax2} = F_{a1} \tag{4.141}$$

$$y: R_{Ay1} + R_{Ay2} = - F_{r1} \tag{4.142}$$

$$z: R_{Az1} + R_{Az2} = - F_{t1} \tag{4.143}$$

$$M_{xy}: F_{r1} \cdot (a_1 + a_2) + R_{Ay1} \cdot a_2 - F_{a1} r_{k1} = 0 \tag{4.144}$$

$$M_{xz}: F_{t1} \cdot (a_1 + a_2) + R_{Az1} \cdot a_2 = 0 \quad (4.145)$$

$$R_{Ay1} = -F_{r1} \cdot \frac{a_1 + a_2}{a_2} + F_{a1} \cdot \frac{r_{k1}}{a_2} = 380,858 \text{ N} \quad (4.146)$$

$$R_{Az1} = -F_{t1} \cdot \frac{a_1 + a_2}{a_2} = -4339,263 \text{ N} \quad (4.147)$$

$$R_{Ax2} = F_{a1} = 1180,313 \text{ N} \quad (4.148)$$

$$R_{Ay2} = -F_{r1} - R_{Ay1} = -736,652 \text{ N} \quad (4.149)$$

$$R_{Az2} = -F_{t1} - R_{Az1} = 2335,955 \text{ N} \quad (4.150)$$

### Největší ohybové momenty

$$M_{oxy1} = F_{r1} \cdot a_1 - F_{a1} \cdot r_{k1} = -22,652 \text{ Nm} \quad (4.151)$$

$$M_{oxz1} = F_{t1} \cdot a_1 = 71,831 \text{ Nm} \quad (4.152)$$

### Výpočet napětí

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = -14,767 \text{ MPa} \quad (4.153)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = 46,826 \text{ MPa} \quad (4.154)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy} \cdot \sigma_{oxz})^{1/2} = 55,698 \text{ MPa} \quad (4.155)$$

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_1}{\pi d^3} = \frac{16 \cdot 49.736}{\pi \cdot 0.025^3} = 16.211 \text{ MPa} \quad (4.156)$$

### Bezpečnost

Materiál: CSN 12050.6

$$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$$

$$R_m = 700 \text{ MPa}$$

$$R_e = 390 \text{ MPa}$$

$$d = 25 \text{ mm} = 0.025 \text{ m}$$

$$k_{\tau} = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{185}{16.211} = 16,211 \quad (4.157)$$

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{ko}}{\sigma_o} = \frac{310}{45,883} = 4,399 \quad (4.158)$$

$$k = \frac{k_{\tau} * k_{\sigma}}{(k_{\tau}^2 + k_{\sigma}^2)^{1/2}} = 4,074 \quad (4.159)$$

### Osazení 1

$$a_{o1} = 8,5 \text{ mm}$$

$$M_{oxy1} = R_{Ay2} * a_{o1} = 6,262 \text{ Nm} \quad (4.160)$$

$$M_{oxz1} = R_{Az2} * a_{o1} = 19,856 \text{ Nm} \quad (4.161)$$

### Bezpečnost

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 4,082 \text{ MPa} \quad (4.162)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 12,944 \text{ MPa} \quad (4.163)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy} * \sigma_{oxz})^{1/2} = 11,462 \text{ MPa} \quad (4.164)$$

$$\alpha_t = f\left(\frac{D}{d}, \frac{r}{d}\right) = f\left(\frac{30}{25}, \frac{2}{30}\right) = f(1.2, 0,0667) \quad (4.165)$$

$$\alpha_t = 1,8$$

$$q_1 = f(R_m, r) = f(700, 2) = 0,703 \quad (4.166)$$

$$q_2 = f\left(\frac{R_e}{R_m}, r\right) = f\left(\frac{390}{700}, 2\right) = f(0.557, 2) = 0,595 \quad (4.167)$$

$$q = \frac{1}{2}(q_1 + q_2) = q = \frac{1}{2}(0,703 + 0,595) = 0,649 \quad (4.168)$$

$$\beta = 1 + q(\alpha - 1) = 1 + 0,649 * (1,8 - 1) = 1,519 \quad (4.169)$$

$$v = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{D}{d}\right)} = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{30}{25}\right)} = 0,94 \quad (4.170)$$

$$\eta_p = f(R_m) = f(700) = 0,91 \quad (4.171)$$

$$\sigma_{co}^* = \sigma_{co} \frac{v \eta_p}{\beta} = 310 \frac{0,94 * 0,91}{1,519} = 174,571 \text{ MPa} \quad (4.172)$$

**Materiál: CSN 12050.6**

$$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$$

$$R_m = 700 \text{ MPa}$$

$$R_e = 390 \text{ MPa}$$

$$d = 25 \text{ mm} = 0.025 \text{ m}$$

$$\tau_k = \frac{16 * M_1}{\pi d^3} = \frac{16 * 49.736}{\pi * 0.025^3} = 16.211 \text{ MPa} \quad (4.173)$$

$$k_\tau = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{185}{16.211} = 11,412 \quad (4.174)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{co}}{\sigma_o} = \frac{174,572}{11,462} = 15,231 \quad (4.175)$$

$$k = \frac{k_\tau * k_\sigma}{\sqrt{(k_\tau^2 + k_\sigma^2)}} = 9,133 \quad (4.176)$$

## **Osazení 2**

$$0,018981$$

$$a_{o2} = 16,875 \text{ mm}$$

$$M_{oxy1} = -F_r * (a_1 - a_{o2}) + F_a * r = 13,004 \text{ Nm} \quad (4.177)$$

$$M_{oxz1} = F_t * (a_1 - a_{o2}) = 38,025 \text{ Nm} \quad (4.178)$$

## Bezpečnost

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 4,906 \text{ MPa} \quad (4.179)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 14,345 \text{ MPa} \quad (4.180)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy} * \sigma_{oxz})^{1/2} = 12,628 \text{ MPa} \quad (4.181)$$

$$\alpha_t = f\left(\frac{D}{d}, \frac{r}{d}\right) = f\left(\frac{53,421}{30}, \frac{2}{30}\right) = f(1,781, 0,0667) \quad (4.182)$$

$$\alpha_t = 1,905$$

$$q_1 = f(R_m, r) = f(700, 2) = 0,703 \quad (4.183)$$

$$q_2 = f\left(\frac{R_e}{R_m}, r\right) = f\left(\frac{390}{700}, 2\right) = f(0,557, 2) = 0,595 \quad (4.184)$$

$$q = \frac{1}{2}(q_1 + q_2) = q = \frac{1}{2}(0,703 + 0,595) = 0,649 \quad (4.185)$$

$$\beta = 1 + q(\alpha - 1) = 1 + 0,649 * (1,905 - 1) = 1,587 \quad (4.186)$$

$$v = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{D}{d}\right)} = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{53,421}{30}\right)} = 0,893 \quad (4.187)$$

$$\eta_p = f(R_m) = f(700) = 0,91 \quad (4.188)$$

$$\sigma_{co}^* = \sigma_{co} \frac{v \eta_p}{\beta} = 310 \frac{0,893 * 0,91}{1,587} = 158,737 \text{ MPa} \quad (4.189)$$

**Materiál: CSN 12050.6**

$$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$$

$$R_m = 700 \text{ MPa}$$

$$R_e = 390 \text{ MPa}$$

$$d = 25 \text{ mm} = 0.025 \text{ m}$$

$$\tau_k = \frac{16 * M_1}{\pi d^3} = \frac{16 * 49.736}{\pi * 0.030^3} = 9,382 \text{ MPa} \quad (4.190)$$

$$k_t = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{185}{9,382} = 19,719 \quad (4.191)$$

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{co}}{\sigma_o} = \frac{158,737}{12,628} = 12,57 \quad (4.192)$$

$$k = \frac{k_{\tau} * k_{\sigma}}{\sqrt{(k_{\tau}^2 + k_{\sigma}^2)}} = 10,599 \quad (4.193)$$

### Návrh těsného pera

Ozubené okolo je zde přímo na hřídeli a není tak potřeba spojů.

### Kontrola šroubů spojky na smyk a otláčení

$$p_D = 80 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Dk} = 120 \text{ MPa}$$

$$M_1 = 49.736 \text{ Nm}$$

$$d_s = 115 \text{ mm}$$

$$d_2 = 6 \text{ mm}$$

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

$$i_s = 6$$

$$k_w = 1,4$$

$$F = \frac{2 * M_1 * k_w}{i * d} = \frac{2 * 49,736 * 1,4}{6 * 0,115} = 201,827 \text{ N} \quad (4.194)$$

$$S = \frac{\pi * d_2^2}{4} = \frac{\pi * 6^2}{4} = 28,274 \text{ mm}^2 = 2,8274 * 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (4.195)$$

$$\tau_k = \frac{F}{S} = \frac{201,827}{2,8274 * 10^{-5}} = 7,138 \text{ MPa} \quad (4.196)$$

$$p = \frac{F}{t * d_2} = \frac{201,827}{0,018 * 0,006} = 1,869 \text{ MPa} \quad (4.197)$$

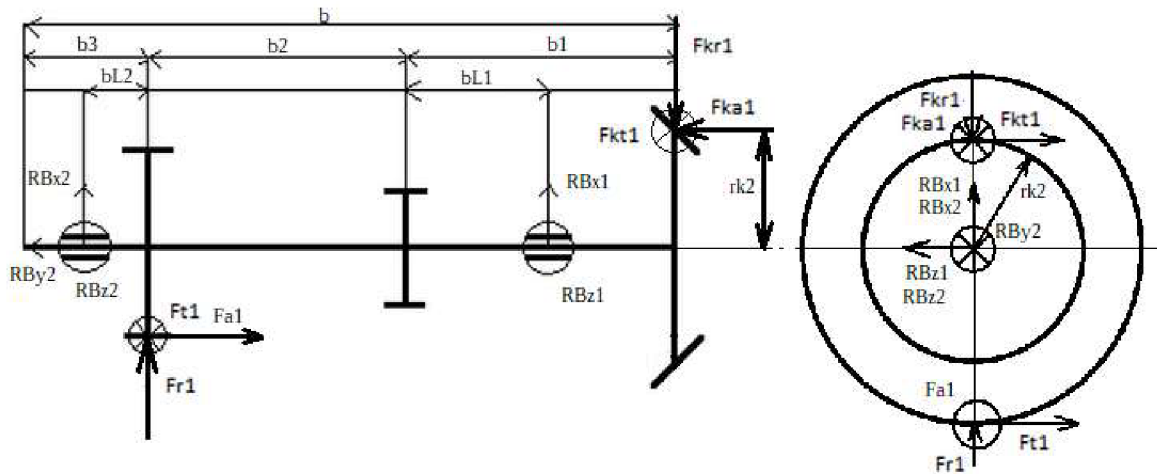
$$k_{\tau} = \frac{\tau_{Dk}}{\tau} = \frac{120}{7,138} = 16,811 \quad (4.198)$$

$$k_p = \frac{p_D}{p} = \frac{80}{1,869} = 42,804 \quad (4.199)$$

$$k = \frac{k_{\tau} * k_p}{(k_{\tau}^2 + k_p^2)^{1/2}} = 15,647 \quad (4.200)$$



## 4.9.2 Hřídel B



Obr.15 Hřídel B

### Rozměry

$$b_1 = 61,735 \text{ mm}$$

$$b_2 = 96,25 \text{ mm}$$

$$b_3 = 50 \text{ mm}$$

$$b_{L1} = 36,75 \text{ mm}$$

$$b_{L2} = 30,304 \text{ mm}$$

$$r_{k2} = 67,5 \text{ mm} = 0,0675 \text{ m}$$

$$F_{r1} = 458,5 \text{ N}$$

$$F_{a1} = 462,915 \text{ N}$$

$$F_{t1} = 1171,617 \text{ N}$$

$$F_{kt1} = 2003,308 \text{ N}$$

$$F_{ka1} = 355,794 \text{ N}$$

$$F_{kr1} = 1180,387 \text{ N}$$

### Rovnováha sil a momentů

$$x: R_{Bx1} + R_{Bx2} = -F_{r1} + F_{kr1} \quad (4.201)$$

$$y: R_{By2} = -F_{ka1} + F_{a1} \quad (4.202)$$

$$z: R_{Bz1} + R_{Bz2} = F_{t1} + F_{kt1} \quad (4.203)$$

$$M_{xy}: R_{Bx1} \cdot (b_{L1} + b_2 + b_{L2}) = -F_{r1} \cdot b_{L2} + F_{kr1} \cdot (b_1 + b_2 + b_{L2}) - F_{ka1} \cdot r_{k2} - F_{a1} \cdot r_w \quad (4.204)$$

$$M_{yz}: R_{Bz1}*(b_{L1} + b_2 + b_{L2}) = + F_{t1}*b_{L2} + F_{kt1}*(b_1 + b_2 + b_{L2}) \quad (4.205)$$

$$R_{By2} = - F_{ka1} + F_{a1} = -107,121 \text{ N} \quad (4.206)$$

$$R_{Bx1} = \frac{F_{kr1}*(b_1+b_2+b_{L2}) - F_{r1}*b_{L2} - F_{ka1}*r_{k2} - F_{a1}*r_w}{b_{L1}+b_2+b_{L2}} = 1128,565 \text{ N} \quad (4.207)$$

$$R_{Bz1} = \frac{F_{t1}*b_{L2} + F_{kt1}*(b_1+b_2+b_{L2})}{b_{L1}+b_2+b_{L2}} = 3204,732 \text{ N} \quad (4.208)$$

$$R_{Bx2} = -R_{Bx1} - F_{r1} + F_{kr1} = - 406,678 \text{ N} \quad (4.209)$$

$$R_{Bz2} = -R_{z1} + F_{t1} + F_{kt1} = - 29,584 \text{ N} \quad (4.210)$$

### Největší ohybové momenty

$$M_{oxy1} = F_{kr1}*(b_1 - b_{L1}) - F_{ka1}*r = 5,476 \text{ Nm} \quad (4.211)$$

$$M_{oyz1} = F_{kt1}*(b_1 - b_{L1}) = 50,053 \text{ Nm} \quad (4.212)$$

$$M_{oxy1} = R_{Bx2}*b_{L2} = 12,324 \text{ Nm} \quad (4.213)$$

$$M_{oyz1} = R_{Bz2}*b_{L2} = 0.897 \text{ Nm} \quad (4.214)$$

### Výpočet napětí

$$\sigma_{oxy} = \frac{32*M_o}{\pi*d^3} = 2,066 \text{ MPa} \quad (4.215)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32*M_o}{\pi*d^3} = 18,883 \text{ MPa} \quad (4.216)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy}*\sigma_{oxz})^{1/2} = 17,939 \text{ MPa} \quad (4.217)$$

$$\sigma_{oxy} = \frac{32*M_o}{\pi*d^3} = 4,649 \text{ MPa} \quad (4.218)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32*M_o}{\pi*d^3} = 39,84 \text{ MPa} \quad (4.219)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy}*\sigma_{oxz})^{1/2} = 37,731 \text{ MPa} \quad (4.220)$$

$$\tau_k = \frac{16*M_1}{\pi d^3} = \frac{16*111,908}{\pi*0.03^3} = 21,109 \text{ MPa} \quad (4.221)$$

## Bezpečnost

Materiál: **CSN 12050.6**

$$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$$

$$R_m = 700 \text{ MPa}$$

$$R_e = 390 \text{ MPa}$$

$$d = 30 \text{ mm} = 0.03 \text{ m}$$

$$k_\tau = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{185}{21,109} = 8,764 \quad (4.222)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{ko}}{\sigma_o} = \frac{310}{37,731} = 8,216 \quad (4.223)$$

$$k = \frac{k_\tau * k_\sigma}{(k_\tau^2 + k_\sigma^2)^{1/2}} = 5,994 \quad (4.224)$$

## Návrh těsného pera

### Pero B1 Kuželové kolo

$$M = 111,908 \text{ Nm}$$

$$p_D = 246 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Dk} = 344 \text{ MPa}$$

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

$$t_1 = 3,3 \text{ mm}$$

$$L = 32 \text{ mm}$$

$$F = \frac{M}{r} = \frac{111,908}{0.015} = 7460,533 \text{ N} \quad (4.225)$$

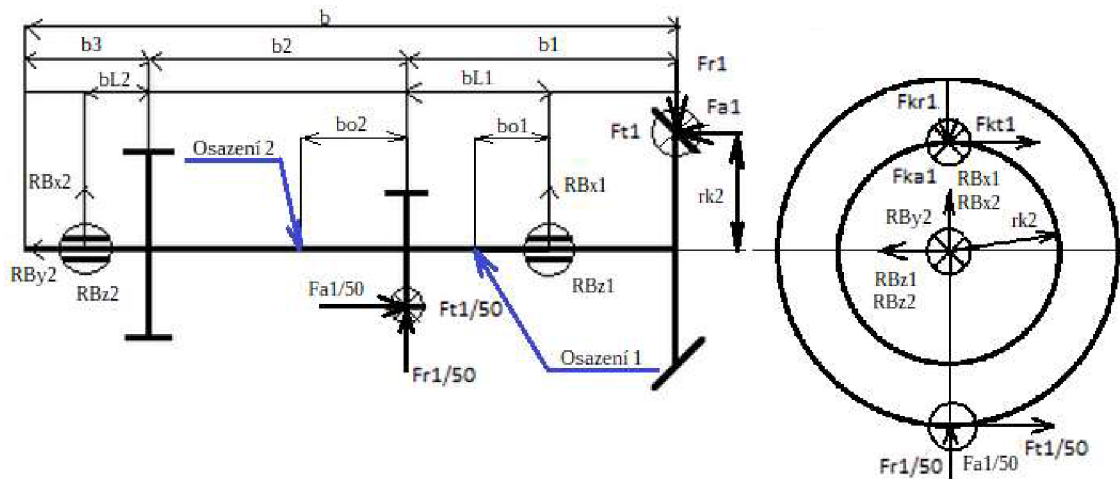
$$S = t_1 * L = 0.0033 * 0.032 = 0.0001056 \text{ m}^2 \quad (4.226)$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{7460,533}{0.0001056} = 70,644 \text{ MPa} \quad (4.227)$$

$$k = \frac{p_D}{p} = \frac{246}{70,644} = 3.482 \quad (4.228)$$

Označení vybraného pera: **CSN 02 2562 A 8x7 - 40**

### 4.9.3 Hřídel B redukce



Obr.16 Hřídel B redukce

#### Rozměry

$$b_1 = 61,735 \text{ mm}$$

$$b_2 = 96,25 \text{ mm}$$

$$b_3 = 50 \text{ mm}$$

$$b_{l1} = 36,75 \text{ mm}$$

$$b_{l2} = 30,304 \text{ mm}$$

$$r_{k2} = 67,5 \text{ mm} = 0,0675 \text{ m}$$

$$F_{r1/50} = 676,281 \text{ N}$$

$$F_{a1/50} = 520,254 \text{ N}$$

$$F_{t1/50} = 1783,808 \text{ N}$$

$$F_{kt1} = 2003,308 \text{ N}$$

$$F_{ka1} = 355,794 \text{ N}$$

$$F_{kr1} = 1180,387 \text{ N}$$

#### Výpočet reakcí

$$x: R_{Bx1} + R_{Bx2} = -F_{r1/50} + F_{kr1} \quad (4.229)$$

$$y: R_{By2} = F_{ka1} - F_{a1/50} \quad (4.230)$$

$$z: R_{Bz1} + R_{Bz2} = F_{t1/50} + F_{kt1} \quad (4.231)$$

$$M_{xy}: R_{Bx1}*(b_{L1} + b_2 + b_{L2}) = - F_{r1/50}*(b_{L2} + b_2) + F_{kr1}*(b_1 + b_2 + b_{L2}) - F_{ka1}*\Gamma_{k2} - F_{a1/50}*r_{w/50} \quad (4.232)$$

$$M_{yz}: R_{Bz1}*(b_{L1} + b_2 + b_{L2}) = F_{t1/50}*b_{L2} + F_{kt1}*(b_1 + b_2 + b_{L2}) \quad (4.233)$$

$$R_{By2} = F_{ka1} - F_{a1/50} = -164,46 \text{ N} \quad (4.234)$$

$$R_{Bx1} = \frac{F_{kr1}*(b_1+b_2+b_{L2}) - F_{r1/50}*b_{L2} - F_{ka1}*r_{k2} - F_{a1/50}*r_w}{b_{L1}+b_2+b_{L2}} = 689,628 \text{ N} \quad (4.235)$$

$$R_{Bz1} = \frac{F_{t1/50}*b_{L2} + F_{kt1}*(b_1+b_2+b_{L2})}{b_{L1}+b_2+b_{L2}} = -4681,68 \text{ N} \quad (4.236)$$

$$R_{Bx2} = -185,522 \text{ N} \quad (4.237)$$

$$R_{Bz2} = -894,564 \text{ N} \quad (4.238)$$

### Největší ohybový moment

$$M_{oxy2} = R_{Bx2}*(b_2 + b_{L2}) = -23,479 \text{ Nm} \quad (4.239)$$

$$M_{oyz2} = R_{Bz2}*(b_2 + b_{L2}) = -113,211 \text{ Nm} \quad (4.240)$$

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = -8,857 \text{ MPa} \quad (4.241)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = -45,665 \text{ MPa} \quad (4.242)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy}*\sigma_{oxz})^{1/2} = 50,678 \text{ MPa} \quad (4.243)$$

$$\tau_k = \frac{16 * M_1}{\pi d^3} = \frac{16 * 111,908}{\pi * 0.03^3} = 21,109 \text{ MPa} \quad (4.244)$$

### Bezpečnost

Materiál: CSN 12050.6

$$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$$

$$R_m = 700 \text{ MPa}$$

$$R_e = 390 \text{ MPa}$$

$$d = 30 \text{ mm} = 0.03 \text{ m}$$

$$k_{\tau} = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{185}{21,109} = 8,764 \quad (4.245)$$

$$k_{\sigma} = \frac{\sigma_{ko}}{\sigma_o} = \frac{310}{31.518} = 9,836 \quad (4.246)$$

$$k = \frac{k_{\tau} * k_{\sigma}}{\sqrt{(k_{\tau}^2 + k_{\sigma}^2)}} = 6,543 \quad (4.247)$$

## Osazení 1

$$b_{o1} = 9,5 \text{ mm}$$

$$M_{oxy1} = F_{r1} * (b_{o1} + b_1 - b_{L1}) + F_{a1} * r_{k2} - R_{Bx1} * b_{o1} = 58,17 \text{ Nm} \quad (4.248)$$

$$M_{oyz1} = F_{t1} * (b_{o1} + b_1 - b_{L1}) - R_{Bz1} * b_{o1} = 24,608 \text{ Nm} \quad (4.249)$$

## Bezpečnost

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 21,945 \text{ MPa} \quad (4.250)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 9,284 \text{ MPa} \quad (4.251)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy} * \sigma_{oxz})^{1/2} = 19,08 \text{ MPa} \quad (4.252)$$

$$\alpha_t = f\left(\frac{D}{d}, \frac{r}{d}\right) = f\left(\frac{32}{30}, \frac{1}{30}\right) = f(1,067, 0,0333) \quad (4.253)$$

$$\alpha_t = 2,2$$

$$q_1 = f(R_m, r) = f(700, 1) = 0,595 \quad (4.254)$$

$$q_2 = f\left(\frac{R_e}{R_m}, r\right) = f\left(\frac{390}{700}, 1\right) = f(0,557, 1) = 0,497 \quad (4.255)$$

$$q = \frac{1}{2}(q_1 + q_2) = q = \frac{1}{2}(0,595 + 0,497) = 0,546 \quad (4.256)$$

$$\beta = 1 + q(\alpha - 1) = 1 + 0,546 * (2,2 - 1) = 1,655 \quad (4.257)$$

$$v = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{D}{d}\right)} = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{32}{30}\right)} = 0,964 \quad (4.258)$$

$$\eta_p = f(R_m) = f(700) = 0,91 \quad (4.259)$$

$$\sigma_{co}^* = \sigma_{co} \frac{\nu \eta_p}{\beta} = 310 \frac{0,964 * 0,91}{1,655} = 164,317 \text{ MPa} \quad (4.260)$$

**Materiál: CSN 12050.6**

$$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$$

$$R_m = 700 \text{ MPa}$$

$$R_e = 390 \text{ MPa}$$

$$d = 30 \text{ mm} = 0.03 \text{ m}$$

$$\tau_k = \frac{16 * M_1}{\pi d^3} = \frac{16 * 111,908}{\pi * 0.03^3} = 21,109 \text{ MPa} \quad (4.261)$$

$$k_\tau = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{185}{21,109} = 8,764 \quad (4.262)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{co}}{\sigma_o} = \frac{164,317}{41,976} = 3,915 \quad (4.263)$$

$$k = \frac{k_\tau * k_\sigma}{\sqrt{(k_\tau^2 + k_\sigma^2)}} = 3,574 \quad (4.264)$$

## Osazení 2

$$b_{o2} = 33,75 \text{ mm}$$

$$M_{oxy1} = R_{Bx2} * (b_2 - b_{o2} + b_{L2}) = 17,217 \text{ Nm} \quad (4.265)$$

$$M_{oyz1} = R_{Bz2} * (b_2 - b_{o2} + b_{L2}) = 83,019 \text{ Nm} \quad (4.266)$$

## Bezpečnost

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 5,352 \text{ MPa} \quad (4.267)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 25,806 \text{ MPa} \quad (4.268)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy} * \sigma_{oxz})^{1/2} = 23,59 \text{ MPa} \quad (4.269)$$

$$\alpha_t = f\left(\frac{D}{d}, \frac{r}{d}\right) = f\left(\frac{36}{32}, \frac{1}{32}\right) = f(1.125, 0,0625) \quad (4.270)$$

$$\alpha_t = 1,766$$

$$q_1 = f(R_m, r) = f(700, 2) = 0,703 \quad (4.271)$$

$$q_2 = f\left(\frac{R_e}{R_m}, r\right) = f\left(\frac{390}{700}, 2\right) = f(0,557, 2) = 0,595 \quad (4.272)$$

$$q = \frac{1}{2}(q_1 + q_2) = q = \frac{1}{2}(0,703 + 0,595) = 0,649 \quad (4.273)$$

$$\beta = 1 + q(\alpha - 1) = 1 + 0,649*(1,766 - 1) = 1,497 \quad (4.274)$$

$$v = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{D}{d}\right)} = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{36}{32}\right)} = 0,951 \quad (4.275)$$

$$\eta_p = f(R_m) = f(700) = 0,91 \quad (4.276)$$

$$\sigma_{co}^* = \sigma_{co} \frac{v \eta_p}{\beta} = 310 \frac{0,951 * 0,91}{1,497} = 179,21 \text{ MPa} \quad (4.277)$$

**Materiál: CSN 12050.6**

$$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$$

$$R_m = 700 \text{ MPa}$$

$$R_e = 390 \text{ MPa}$$

$$d = 32 \text{ mm} = 0.032 \text{ m}$$

$$\tau_k = \frac{16 * M_1}{\pi d^3} = \frac{16 * 111,908}{\pi * 0.032^3} = 17,393 \text{ MPa} \quad (4.278)$$

$$k_\tau = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = \frac{185}{17,393} = 10,636 \quad (4.279)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{co}}{\sigma_o} = \left(\frac{179,21}{23,59}\right) = 7,597 \quad (4.280)$$

$$k = \frac{k_\tau * k_\sigma}{\sqrt{(k_\tau^2 + k_\sigma^2)}} = 6,182 \quad (4.281)$$



## Synchronní spojka

Drážkování hřídele

$$M_k = 111,908$$

$$\tau_{DK} = 185 \text{ MPa}$$

$$p_D = 132 \text{ MPa}$$

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

$$d_d = 32 \text{ mm}$$

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

$$\psi = 0,75$$

$$z = 8$$

$$f = 0,413 \text{ mm}$$

$$f' = z \cdot h_v \cdot \psi \quad (4.282)$$

$$h_v = \frac{D-d}{2} - f = \frac{36-32}{2} - 0,413 = 1,587 \text{ mm} \quad (4.283)$$

$$f' = z \cdot h_v \cdot \psi = 8 \cdot 1,587 \cdot 0,75 = 9,522 \text{ mm} \quad (4.284)$$

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{16 M_k}{\pi \tau_{DK}}} = 0,01455 \text{ m} = 14,55 \text{ mm} \quad (4.285)$$

$$l_{\min} = \frac{4 M_k}{(d_d + D_d) p_D f'} = 5,237 \text{ mm} \quad (4.286)$$

## Drážkování ozubeného kola

$$M_k = 111,908$$

$$\tau_D = 230 \text{ MPa}$$

$$p_D = 164 \text{ MPa}$$

$$D = 70 \text{ mm}$$

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

$$l = 7 \text{ mm}$$

$$\psi = 0,75$$

$$z = 16$$

$$f = 0,413 \text{ mm}$$

$$f' = z \cdot h_v \cdot \psi \quad (4.287)$$

$$h_v = \frac{D-d}{2} - f = \frac{70-65}{2} - 0,413 = 2,087 \text{ mm} \quad (4.288)$$

$$f' = z \cdot h_v \cdot \psi = 16 \cdot 2,087 \cdot 0,75 = 25,044 \text{ mm} \quad (4.289)$$

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{16 M_k}{\pi \tau_{DK}}} = 0,013532 \text{ m} = 13,532 \text{ mm} \quad (4.290)$$

$$l_{\min} = \frac{4 M_k}{(d_1 + d_2) p_D f'} = 0,807 \text{ mm} \quad (4.291)$$

### Drážkování řadící objímky

$$M_k = 111,908$$

$$\tau_D = 185 \text{ MPa}$$

$$p_D = 132 \text{ MPa}$$

$$D = 70 \text{ mm}$$

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

$$l = 7 \text{ mm}$$

$$\psi = 0,75$$

$$z = 16$$

$$f = 0,413 \text{ mm}$$

$$f' = z \cdot h_v \cdot \psi \quad (4.292)$$

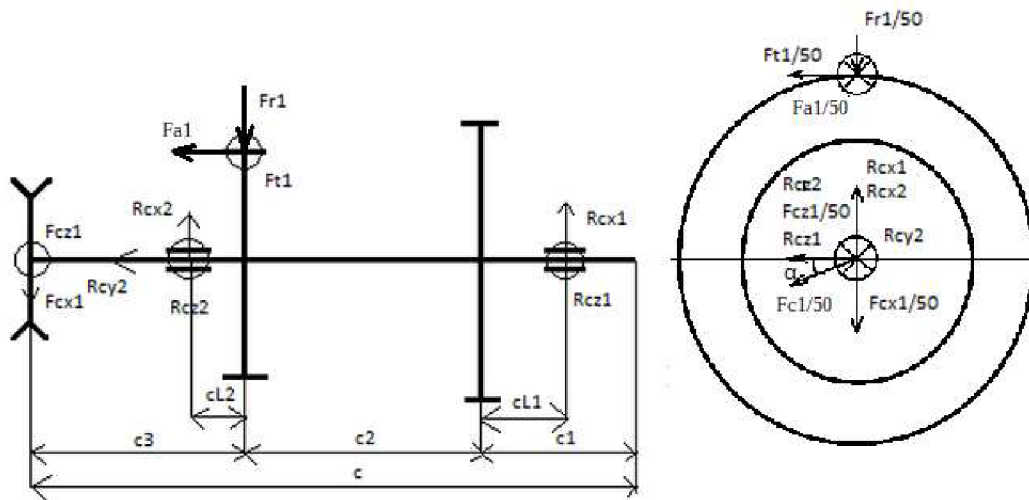
$$h_v = \frac{D-d}{2} - f = \frac{70-65}{2} - 0,413 = 2,087 \text{ mm} \quad (4.293)$$

$$f' = z \cdot h_v \cdot \psi = 16 \cdot 2,087 \cdot 0,75 = 25,044 \text{ mm} \quad (4.294)$$

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{16 M_k}{\pi \tau_{DK}}} = 0,01455 \text{ m} = 14,55 \text{ mm} \quad (4.295)$$

$$l_{\min} = \frac{4 M_k}{(d_1 + d_2) p_D f'} = 1,003 \text{ mm} \quad (4.296)$$

#### 4.9.4 Hřídel C



Obr.17 Hřídel C půdorys

#### Rozměry

$c_1 = 49,822 \text{ mm}$   
 $c_2 = 96,25 \text{ mm}$   
 $c_3 = 101,355 \text{ mm}$

$c_{L1} = 33,965 \text{ mm}$   
 $c_{L2} = 33,5 \text{ mm}$   
 $r_w = 104,5 \text{ mm}$

$\alpha = 27,19^\circ$

$F_{c1} = 4183,199 \text{ N}$   
 $F_{r1} = 458,425 \text{ N}$   
 $F_{t1} = 1171,43 \text{ N}$   
 $F_{a1} = 462,841 \text{ N}$

#### Výpočet reakcí

$R_{cx1}, R_{cz1}, R_{cx2}, R_{cy2}, R_{cz2}$

$$x: -F_{c1} \cdot \sin \alpha + R_{cx2} - F_{r1} + R_{cx1} = 0 \quad (4.297)$$

$$y: R_{cy2} = F_{a1} \quad (4.298)$$

$$z: F_{c1} \cdot \cos\alpha + R_{cz2} + F_{t1} + R_{cz1} = 0 \quad (4.299)$$

$$M_{xy}: -F_{r1} \cdot (c_{L1} + c_2) - F_{c1} \cdot \sin\alpha \cdot (c_{L1} + c_2 + c_3) + R_{cx2} \cdot (c_{L1} + c_2 + c_{L2}) - F_{a1} \cdot (r_w) = 0 \quad (4.300)$$

$$M_{yz}: F_{t1} \cdot (c_{L1} + c_2) + F_{c1} \cdot \cos\alpha \cdot (c_{L1} + c_2 + c_3) + R_{cz2} \cdot (c_{L1} + c_2 + c_{L2}) = 0 \quad (4.301)$$

$$R_{cx2} = \frac{+F_{r1} \cdot (c_{L1} + c_2) + F_{c1} \cdot \sin\alpha \cdot (c_{L1} + c_2 + c_3) + F_{a1} \cdot (r_w)}{c_{L1} + c_2 + c_{L2}} = 3068,648 \text{ N} \quad (4.302)$$

$$R_{cz2} = \frac{-F_{t1} \cdot (c_{L1} + c_2) - F_{c1} \cdot \cos\alpha \cdot (c_{L1} + c_2 + c_3)}{c_{L1} + c_2 + c_{L2}} = -6194,887 \text{ N} \quad (4.303)$$

$$R_{cx1} = F_{c1} \cdot \sin\alpha - R_{cx2} + F_{r1} = -1615,592 \text{ N} \quad (4.304)$$

$$R_{cz1} = -F_{c1} \cdot \cos\alpha - R_{cz2} - F_{t1} = -1302,516 \text{ N} \quad (4.305)$$

$$R_{cy2} = -462,841 \quad (4.306)$$

### Momenty

$$M_{oxy1} = F_{c1} \sin\alpha \cdot c_{L2} = 64,035 \text{ Nm} \quad (4.307)$$

$$M_{oyz1} = F_{c1} \cos\alpha \cdot c_{L2} = 124,651 \text{ Nm} \quad (4.308)$$

$$M_{oxy1} = R_{cx1} \cdot (c_{L1} + c_2) = 210,374 \text{ Nm} \quad (4.309)$$

$$M_{oyz1} = R_{cz1} \cdot (c_{L1} + c_2) = 169,607 \text{ Nm} \quad (4.310)$$

### Bezpečnost

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = 10,191 \text{ MPa} \quad (4.311)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = 19,839 \text{ MPa} \quad (4.312)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy} \cdot \sigma_{oxz})^{1/2} = 17,183 \text{ MPa} \quad (4.313)$$

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = 33,482 \text{ MPa} \quad (4.314)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = 26,994 \text{ MPa} \quad (4.315)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy} \cdot \sigma_{oxz})^{1/2} = 30,756 \text{ MPa} \quad (4.316)$$

Materiál: CSN 12050.6

$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$   
 $\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$   
 $R_m = 700 \text{ MPa}$   
 $R_e = 390 \text{ MPa}$   
 $d = 40 \text{ mm} = 0.04 \text{ m}$

$$\tau_k = \frac{16 * M_1}{\pi d^3} = 9,741 \text{ MPa} \quad (4.317)$$

$$k_\tau = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = 18,992 \quad (4.318)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{ko}}{\sigma_o} = 10,079 \quad (4.319)$$

$$k = \frac{k_\tau * k_\sigma}{\sqrt{(k_\tau^2 + k_\sigma^2)}} = 8,903 \quad (4.320)$$

## Návrh těsného pera

### Pero C1 - Ozubené kolo pro normální převod

$M = 122,414 \text{ Nm}$   
 $p_D = 246 \text{ MPa}$   
 $\tau_{Dk} = 344 \text{ MPa}$

$d = 45 \text{ mm}$   
 $t_1 = 4,6 \text{ mm}$   
 $L = 26 \text{ mm}$

$$F = \frac{M}{r} = \frac{122,414}{0.0225} = 5440,622 \text{ N} \quad (4.321)$$

$$S = t_1 * L = 0.0046 * 0.026 = 0.0001196 \text{ m}^2 \quad (4.322)$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{5440,622}{0.0001196} = 45.490 \text{ MPa} \quad (4.323)$$

$$k = \frac{p_D}{p} = \frac{246}{45.49} = 5.408 \quad (4.324)$$

**CSN 02 2562 A 12×8 – 40**

### Pero C3 - Kolo řetězového převodu

$$M = 244.85 \text{ Nm}$$

$$p_D = 246 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Dk} = 344 \text{ MPa}$$

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

$$t_1 = 3.3 \text{ mm}$$

$$L = 58 \text{ mm}$$

$$F = \frac{M}{r} = \frac{244.85}{0.02} = 12242.5 \text{ N} \quad (4.325)$$

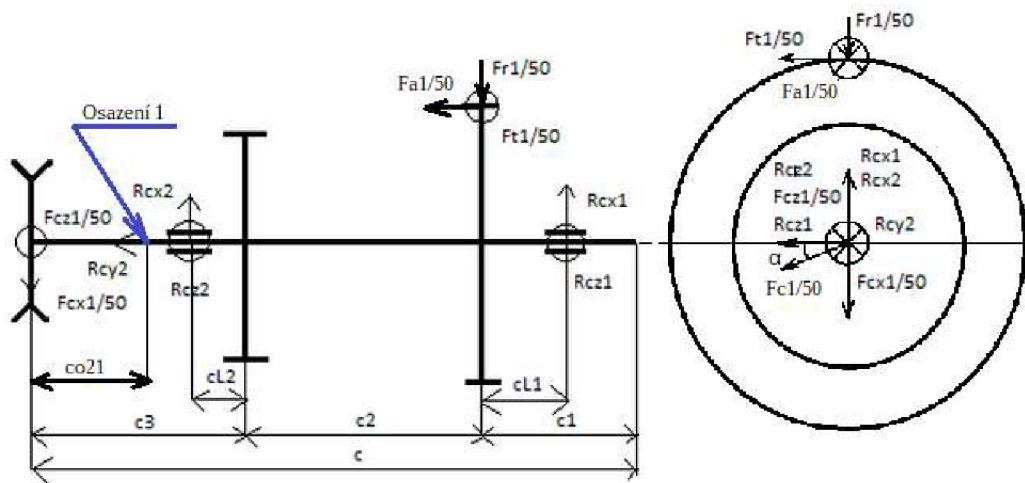
$$S = 2 \cdot t_1 \cdot L = 0.0033 \cdot 0.058 = 0.0001914 \text{ m}^2 \quad (4.326)$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{12242.5}{0.0001914} = 63.963 \text{ MPa} \quad (4.327)$$

$$k = \frac{p_D}{p} = \frac{246}{63.963} = 3.846 \quad (4.328)$$

**CSN 02 2562 A 12×8 - 70**

## 4.9.5 Hřídel C redukce



Obr.18 Hřídel C redukce

### Rozměry

$c = 350 \text{ mm}$   
 $c_1 = 49,822 \text{ mm}$   
 $c_2 = 96,25 \text{ mm}$   
 $c_3 = 101,355 \text{ mm}$

$c_{L1} = 33,965 \text{ mm}$   
 $c_{L2} = 33,5 \text{ mm}$

$r_{w50} = 137,26 \text{ mm}$

$\alpha = 27.246^\circ$

$F_{c150} = 6323,794 \text{ N}$   
 $F_{r150} = 676,305 \text{ N}$   
 $F_{t150} = 1783,808 \text{ N}$   
 $F_{a150} = 520,272 \text{ N}$

### Výpočet reakcí

$R_{cx1}, R_{cz1}, R_{cx2}, R_{cy2}, R_{cz2}$

$$x: -F_{c1} \cdot \sin \alpha + R_{cx2} - F_{r1} + R_{cx1} = 0 \quad (4.329)$$

$$y: R_{cy2} + F_{a1/50} = 0 \quad (4.330)$$

$$z: F_{c1} \cdot \cos\alpha + R_{cz2} + F_{t1} + R_{cz1} = 0 \quad (4.331)$$

$$M_{xy}: -F_{r1/50} \cdot (c_{L1}) - F_{c1/50} \cdot \sin\alpha \cdot (c_{L1} + c_2 + c_3) + R_{cx2} \cdot (c_{L1} + c_2 + c_{L2}) - F_{a1/50} \cdot r_{w/50} = 0 \quad (4.332)$$

$$M_{yz}: F_{t150} \cdot (c_{L1}) + F_{c1/50} \cdot \cos\alpha \cdot (c_{L1} + c_2 + c_3) + R_{cz2} \cdot (c_{L1} + c_2 + c_{L2}) = 0 \quad (4.333)$$

$$R_{cx2} = \frac{F_{r1/50} \cdot (c_{L1}) + F_{c1/50} \cdot \sin\alpha \cdot (c_{L1} + c_2 + c_3) + F_{a1/50} \cdot r_{w1/50}}{c_{L1} + c_2 + c_{L2}} = 4228,011 \text{ N} \quad (4.334)$$

$$R_{cz2} = \frac{-F_{t1/50} \cdot (c_{L1}) - F_{c1/50} \cdot \cos\alpha \cdot (c_{L1} + c_2 + c_3)}{c_{L1} + c_2 + c_{L2}} = -8326,472 \text{ N} \quad (4.335)$$

$$R_{cx1} = F_{c1} \cdot \sin\alpha - R_{cx2} + F_{r1} = -662,097 \text{ N} \quad (4.336)$$

$$R_{cz1} = -F_{c1} \cdot \cos\alpha - R_{cz2} - F_{t1} = 917,611 \text{ N} \quad (4.337)$$

$$R_{cy1} = -F_{a1/50} = -520,272 \quad (4.338)$$

### Největší ohybový moment

$$M_{oxy1} = F_{c1/50} \sin\alpha \cdot (c_3 - c_{L2}) = 196,074 \text{ Nm} \quad (4.339)$$

$$M_{oyz1} = F_{c1/50} \cos\alpha \cdot (c_3 - c_{L2}) = 381,684 \text{ Nm} \quad (4.340)$$

$$M_{oxy1} = R_{cx1} \cdot c_{L1} = 26,484 \text{ Nm} \quad (4.341)$$

$$M_{oyz1} = R_{cz1} \cdot c_{L1} = 36,704 \text{ Nm} \quad (4.342)$$

### Bezpečnost

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = 31,206 \text{ MPa} \quad (4.343)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = 60,747 \text{ MPa} \quad (4.344)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy} \cdot \sigma_{oxz})^{1/2} = 52,615 \text{ MPa} \quad (4.345)$$

Materiál: CSN 12050.6

$$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$$

$$R_m = 700 \text{ MPa}$$

$$R_e = 390 \text{ MPa}$$



$$d = 30 \text{ mm} = 0.03 \text{ m}$$

$$\tau_k = \frac{16 * M_1}{\pi d^3} = 19,485 \text{ MPa} \quad (4.346)$$

$$k_\tau = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = 9,494 \quad (4.347)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{ko}}{\sigma_o} = 5,892 \quad (4.348)$$

$$k = \frac{k_\tau * k_\sigma}{\sqrt{(k_\tau^2 + k_\sigma^2)}} = 5,01 \quad (4.349)$$

### Osazení 1

$$c_{o1} = 43,485 \text{ mm}$$

$$M_{oxy1} = F_{cx1/50} * c_{o1} = 183,855 \text{ Nm} \quad (4.350)$$

$$M_{oyz1} = F_{cz1/50} * c_{o1} = 362,077 \text{ Nm} \quad (4.351)$$

### Bezpečnost

$$\sigma_{oxy} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 29,261 \text{ MPa} \quad (4.352)$$

$$\sigma_{oxz} = \frac{32 * M_o}{\pi * d^3} = 57,626 \text{ MPa} \quad (4.353)$$

$$\sigma_{ekv} = (\sigma_{oxy}^2 + \sigma_{oxz}^2 - \sigma_{oxy} * \sigma_{oxz})^{1/2} = 49,908 \text{ MPa} \quad (4.354)$$

$$\alpha_t = f\left(\frac{D}{d}, \frac{r}{d}\right) = f\left(\frac{45}{40}, \frac{2}{40}\right) = f(1.125, 0,05) \quad (4.355)$$

$$\alpha_t = 1,899$$

$$q_1 = f(R_m, r) = f(700, 2) = 0,703 \quad (4.356)$$

$$q_2 = f\left(\frac{R_e}{R_m}, r\right) = f\left(\frac{390}{700}, 2\right) = f(0.557, 2) = 0,595 \quad (4.357)$$

$$q = \frac{1}{2}(q_1 + q_2) = q = \frac{1}{2}(0,703 + 0,595) = 0,649 \quad (4.358)$$

$$\beta = 1 + q(\alpha - 1) = 1 + 0,649 \cdot (1,899 - 1) = 1,583 \quad (4.359)$$

$$v = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{D}{d}\right)} = 1 - \sqrt{0,02 \ln\left(\frac{45}{40}\right)} = 0,951 \quad (4.360)$$

$$\eta_p = f(R_m) = f(700) = 0,91 \quad (4.361)$$

$$\sigma_{co}^* = \sigma_{co} \frac{v \eta_p}{\beta} = 310 \frac{0,951 \cdot 0,91}{1,583} = 169,474 \text{ MPa} \quad (4.362)$$

**Materiál: CSN 12050.6**

$$\tau_{kk} = 185 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ko} = 310 \text{ MPa}$$

$$R_m = 700 \text{ MPa}$$

$$R_e = 390 \text{ MPa}$$

$$d = 40 \text{ mm} = 0.04 \text{ m}$$

$$\tau_k = \frac{16 * M_1}{\pi d^3} = 19,485 \text{ MPa} \quad (4.363)$$

$$k_\tau = \frac{\tau_{kk}}{\tau_k} = 9,494 \quad (4.364)$$

$$k_\sigma = \frac{\sigma_{ko}}{\sigma_o} = 3,396 \quad (4.365)$$

$$k = \frac{k_\tau * k_\sigma}{\sqrt{(k_\tau^2 + k_\sigma^2)}} = 3,198 \quad (4.366)$$

**Návrh těsných per**

**Pero C3/50 - Kolo řetězového převodu**

$$M = 244.85 \text{ Nm}$$

$$p_D = 246 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Dk} = 344 \text{ MPa}$$

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

$$t_1 = 3.3 \text{ mm}$$

$$L = 58 \text{ mm}$$

$$F = \frac{M}{r} = \frac{244.85}{0.02} = 12242.5 \text{ N} \quad (4.367)$$

$$S = 2 \cdot t_1 \cdot L = 0.0033 \cdot 0.058 = 0.0001914 \text{ m}^2 \quad (4.368)$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{12242.5}{0.0001914} = 63.963 \text{ MPa} \quad (4.369)$$

$$k = \frac{p_D}{p} = \frac{246}{63.963} = 3.846 \quad (4.370)$$

**CSN 02 2562 A 12×8 - 70**

### **Pero C2 - Ozubené kolo pro 50% převod**

$$M = 244,854 \text{ Nm}$$

$$p_D = 246 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Dk} = 344 \text{ MPa}$$

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

$$t_1 = 3.3 \text{ mm}$$

$$L = 58 \text{ mm}$$

$$F = \frac{M}{r} = \frac{244,85}{0.02} = 12242,5 \text{ N} \quad (4.371)$$

$$S = t_1 \cdot L = 0.0033 \cdot 0.058 = 0.0001914 \text{ m}^2 \quad (4.372)$$

$$p = \frac{F}{S} = \frac{12242,5}{0.0001914} = 63.963 \text{ MPa} \quad (4.373)$$

$$k = \frac{p_D}{p} = \frac{246}{63.963} = 3.846 \quad (4.374)$$

**CSN 02 2562 A 12×8 - 70**

## 4.10 Návrh ložisek

### 4.10.3 Ložiska hřídele A

Tab.3 Koeficienty ložiska L<sub>A1</sub>

e = 0,35	X = 0,4	Y = 1,7	X <sub>0</sub> = 0,5	Y <sub>0</sub> = 0,9	Valivá - p = 3
----------	---------	---------	----------------------	----------------------	----------------

Tab.4 Koeficienty ložiska L<sub>A2</sub>

e = 0,3	X = 0,4	Y = 2	X <sub>0</sub> = 0,5	Y <sub>0</sub> = 1,1	Valivá - p = 3
---------	---------	-------	----------------------	----------------------	----------------

$$F_{r1} = (R_{ay1}^2 + R_{az1}^2)^{1/2} = [(380,858)^2 + (-4339,263)^2]^{1/2} = 4355,945 \text{ N} \quad (4.375)$$

$$F_{r2} = (R_{ay2}^2 + R_{az2}^2)^{1/2} = [(-736,652)^2 + (2335,955)^2]^{1/2} = 2449,355 \text{ N} \quad (4.376)$$

$$K_a = R_{ax2} = 1180,313 \text{ N} \quad (4.377)$$

$$\frac{F_{r1}}{Y_1} = \frac{F_{r2}}{Y_2} \quad (4.378)$$

$$\frac{4355,945}{1,7} = \frac{2449,355}{2} \quad (4.379)$$

$$2562,321 > 1224,675 \quad (4.380)$$

$$K_a = 0,5 * \left( \frac{F_{r1}}{Y_1} - \frac{F_{r2}}{Y_2} \right) \quad (4.381)$$

$$1180,313 = 0,5 * (2562,321 - 1224,675) \quad (4.382)$$

$$1180,313 > 668,823 \quad (4.383)$$

$$F_{a2} = \frac{0,5 * F_{r2}}{Y_2} = \frac{0,5 * 1550,405}{2} = 387,601 \text{ N} \quad (4.384)$$

$$F_{a1} = F_{a2} + K_a = 387,601 + 1180,313 = 1567,914 \text{ N} \quad (4.385)$$

$$\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = \frac{1567,914}{4355,945} = 0,368 > e \quad (4.386)$$

$$\frac{F_{a2}}{F_{r2}} = \frac{387,601}{2449,355} = 0,158 < e \quad (4.387)$$

**Ložisko L<sub>A1</sub>**

$$P_{l01} = 0,5 \cdot F_{r1} + 0,9 \cdot F_{a1} = 0,5 \cdot 4355,945 + 0,9 \cdot 1567,914 = 3589,095 \text{ N} \quad (4.388)$$

$$s_{01} = \frac{C_0}{P_{l01}} = \frac{45500}{3589,095} = 12,677 \quad (4.389)$$

$$P_{l1} = 0,4 \cdot F_{r1} + 1,7 \cdot F_{a1} = 0,4 \cdot 4355,945 + 1,7 \cdot 1567,914 = 4407,832 \text{ N} \quad (4.390)$$

$$L_{h10} = \left( \frac{C}{P_{l1}} \right)^p \cdot \left( \frac{10^6}{60 \cdot n} \right) = \left( \frac{55000}{4407,832} \right)^3 \cdot \left( \frac{10^6}{60 \cdot 2880} \right) = 11243 \text{ h} \quad (4.391)$$

Volíme jednořadé kuželíkové ložisko **CSN 02 4720 33206**

C = 55 kN

C<sub>0</sub> = 45,5 kN

**Ložisko L<sub>A2</sub>**

$$P_{l01} = F_{r1} = 2449,355 \text{ N} \quad (4.392)$$

$$s_{01} = \frac{C_0}{P_{l01}} = \frac{36500}{2449,355} = 14,902 \quad (4.393)$$

$$P_{l2} = F_{r2} = 2449,355 \text{ N} \quad (4.394)$$

$$L_{h10} = \left( \frac{C}{P_{l2}} \right)^p \cdot \left( \frac{10^6}{60 \cdot n} \right) = \left( \frac{38000}{2449,355} \right)^3 \cdot \left( \frac{10^6}{60 \cdot 2880} \right) = 21610 \text{ h} \quad (4.395)$$

Volíme jednořadé kuželíkové ložisko **CSN 02 4720 30305**

C = 38 kN

C<sub>0</sub> = 36,5 kN

## 4.10.2 Ložiska hřídele B

### Ložisko L<sub>B1</sub>

Tab.5 Koeficienty ložiska L<sub>B1</sub>

e = 1,14	X = 1	Y = 0	X <sub>0</sub> = 1	Y <sub>0</sub> = 0	Valivá - p = 3
----------	-------	-------	--------------------	--------------------	----------------

$$n = n_1 = n_2 = 1280 \text{ min}^{-1} \quad (4.396)$$

$$F_{r1} = (R_{cx1}^2 + R_{cz1}^2)^{1/2} = [(1128,565)^2 + (3204,509)^2]^{1/2} = 3309,431 \text{ N} \quad (4.397)$$

$$P_{l1} = F_{r1} \quad (4.398)$$

$$F_{r150} = (R_{cx1}^2 + R_{cz1}^2)^{1/2} = [(689,628)^2 + (4681,68)^2]^{1/2} = 4732,2 \text{ N} \quad (4.399)$$

$$P_{l1} = F_{r150} \quad (4.400)$$

$$P_m = \sqrt[p]{\frac{P_1^p * q_1}{100} + \frac{P_2^p * q_2}{100}} = \sqrt[3]{\frac{3309,431^3 * 80}{100} + \frac{4732,2^3 * 20}{100}} = 3688,719 \text{ N} \quad (4.401)$$

$$s_{0m} = \frac{C_0}{P_m} = \frac{21200}{3688,719} = 5,747 \quad (4.402)$$

$$L_{h10} = \left(\frac{C}{P_m}\right)^p * \left(\frac{10^6}{60 * n}\right) = \left(\frac{34500}{3688,719}\right)^3 * \left(\frac{10^6}{60 * 1280}\right) = 10653 \text{ h} \quad (4.403)$$

Volíme dvouřadé kuličkové ložisko **CSN 02 4645 7306**

C = 34,5 kN

C<sub>0</sub> = 21,2 kN

šířka b = 19 mm

### Ložisko L<sub>B2</sub>

Tab.6 Koeficienty ložiska L<sub>B2</sub>

e = 1,14	X = 1	Y = 0	X <sub>0</sub> = 1	Y <sub>0</sub> = 0	Valivá - p = 3
----------	-------	-------	--------------------	--------------------	----------------

$$n = n_1 = n_2 = 1280 \text{ min}^{-1} \quad (4.404)$$

$$F_{r1} = (R_{Bz2}^2 + R_{Bx2}^2)^{1/2} = [(-29,584)^2 + (-406,678)^2]^{1/2} = 407,753 \text{ N} \quad (4.405)$$

$$F_a = R_{By2} = -107,121 \text{ N} \quad (4.406)$$

$$P_1 = F_{r1} \quad (4.407)$$

$$F_{r150} = (R_{az2}^2 + R_{ax2}^2)^{1/2} = [(-894,564)^2 + (-185,522)^2]^{1/2} = 913,599 \text{ N} \quad (4.408)$$

$$F_a = -164,46 \text{ N} \quad (4.409)$$

$$P_2 = F_{r150} \quad (4.410)$$

$$P_m = \sqrt[p]{\frac{P_1^p * q_1}{100} + \frac{P_2^p * q_2}{100}} = \sqrt[3]{\frac{407,753^3 * 80}{100} + \frac{913,599^3 * 20}{100}} = 591,305 \text{ N} \quad (4.411)$$

$$s_{0m} = \frac{C_0}{P_m} = \frac{21200}{591,305} = 35,853 \quad (4.412)$$

$$L_{h101} = \left(\frac{C}{P_m}\right)^p * \left(\frac{10^6}{60 * n}\right) = \left(\frac{34500}{591,305}\right)^3 * \left(\frac{10^6}{60 * 1280}\right) = 2586196 \text{ h} \quad (4.413)$$

Volíme dvouřadé kuličkové ložisko **CSN 02 4645 7306**

$C = 34,5 \text{ kN}$

$C_0 = 21,2 \text{ kN}$

šířka  $b_1 = 19 \text{ mm}$

### 4.10.3 Ložiska hřídele C

**Zatížení při normálním provozu**

$$K_a = R_{Cx2} = 462,841 \text{ N} \quad (4.414)$$

$$F_{r1} = (R_{Cx1}^2 + R_{Cz1}^2)^{1/2} = [(-1615,592)^2 + (1302,516)^2]^{1/2} = 2075,256 \text{ N} \quad (4.415)$$

$$F_{r2} = (R_{Cx2}^2 + R_{Cz2}^2)^{1/2} = [(3068,648)^2 + (-6194,887)^2]^{1/2} = 6913,264 \text{ N} \quad (4.416)$$

$$R_a = R_{Cy2} = 462,841 \quad (4.417)$$

$$\frac{F_{r2}}{Y_2} = \frac{F_{r1}}{Y_1} \quad (4.418)$$

$$\frac{6913,264}{1,5} = \frac{2075,256}{1,6} \quad (4.419)$$

$$4608,643 > 1297,035 \quad (4.420)$$

$$K_a = 0,5 * \left(\frac{F_{r2}}{Y_2} - \frac{F_{r1}}{Y_1}\right) \quad (4.421)$$

$$462,841 = 0,5 * (4608,643 - 1297,035) \quad (4.422)$$

$$462,841 < 1655,804 \quad (4.423)$$

$$F_{a2} = \frac{0,5 * F_{r2}}{Y_2} = \frac{0,5 * 6913,264}{1,5} = 2304,421 \text{ N} \quad (4.424)$$

$$F_{a1} = F_{a2} - K_a = 2304,421 - 462,841 = 1841,58 \text{ N} \quad (4.425)$$

$$\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = \frac{1841,58}{2075,256} = 0,887 > e \quad (4.426)$$

$$\frac{F_{a2}}{F_{r2}} = \frac{2304,421}{6913,264} = 0,333 < e \quad (4.427)$$

### Zatížení při redukovaném provozu

$$F_r = (R_{Cx1}^2 + R_{Cz1}^2)^{1/2} = [(-662,097)^2 + (917,611)^2]^{1/2} = 1131,54 \text{ N} \quad (4.428)$$

$$F_r = (R_{Cx2}^2 + R_{Cz2}^2)^{1/2} = [(4228,012)^2 + (-8326,472)^2]^{1/2} = 9229,263 \text{ N} \quad (4.429)$$

$$R_a = R_{Cy2} = -520,272 \quad (4.430)$$

$$K_a = R_{Cx2} = 520,272 \text{ N} \quad (4.431)$$

$$\frac{F_{r2}}{Y_2} = \frac{F_{r1}}{Y_1} \quad (4.432)$$

$$\frac{9229,263}{1,5} = \frac{1131,54}{1,6} \quad (4.433)$$

$$6152,842 > 707,213 \quad (4.434)$$

$$K_a = 0,5 * \left( \frac{F_{r2}}{Y_2} - \frac{F_{r1}}{Y_1} \right) \quad (4.435)$$

$$520,272 = 0,5 * (6152,263 - 707,213) \quad (4.436)$$

$$520,272 < 2722,525 \quad (4.437)$$

$$F_{a2} = \frac{0,5 * F_{r2}}{Y_2} = \frac{0,5 * 9229,263}{1,5} = 3076,421 \text{ N} \quad (4.438)$$

$$F_{a1} = F_{a2} - K_a = 3076,421 - 520,272 = 2556,149 \text{ N} \quad (4.439)$$

$$\frac{F_{a1}}{F_{r1}} = \frac{2556,149}{1131,54} = 2,259 > e \quad (4.440)$$

$$\frac{F_{a2}}{F_{r2}} = \frac{3076,421}{9229,263} = 0,333 < e \quad (4.441)$$

$$n_m = \frac{n_1 * q_1}{100} + \frac{n_2 * q_2}{100} = \frac{1170,125 * 80}{100} + \frac{585,009 * 20}{100} = 1053,102 \text{ otmin}^{-1} \quad (4.442)$$



$$P_{m01} = \sqrt[3]{\frac{P_{l1}^p * n_1 * q_1}{n_m * 100} + \frac{P_{l2}^p * n_2 * q_2}{n_m * 100}} =$$

$$\sqrt[3]{\frac{2695,05^3 * 1170,125 * 80}{1053,102 * 100} + \frac{2866,304^3 * 585,009 * 20}{1053,102 * 100}} = 2715,161 \text{ N} \quad (4.443)$$

$$P_{m1} = \sqrt[3]{\frac{P_{l1}^p * n_1 * q_1}{n_m * 100} + \frac{P_{l2}^p * n_2 * q_2}{n_m * 100}} =$$

$$\sqrt[3]{\frac{3776,63^3 * 1170,125 * 80}{1053,102 * 100} + \frac{4542,454^3 * 585,009 * 20}{1053,102 * 100}} = 3877,42 \text{ N} \quad (4.444)$$

$$P_{m02} = \sqrt[3]{\frac{P_{l1}^p * n_1 * q_1}{n_m * 100} + \frac{P_{l2}^p * n_2 * q_2}{n_m * 100}} =$$

$$\sqrt[3]{\frac{6913,264^3 * 1170,125 * 80}{1053,102 * 100} + \frac{9229,263^3 * 585,009 * 20}{1053,102 * 100}} = 7249,759 \text{ N} \quad (4.445)$$

$$P_{m2} = \sqrt[3]{\frac{P_{l1}^p * n_1 * q_1}{n_m * 100} + \frac{P_{l2}^p * n_2 * q_2}{n_m * 100}} =$$

$$\sqrt[3]{\frac{6913,264^3 * 1170,125 * 80}{1053,102 * 100} + \frac{9229,263^3 * 585,009 * 20}{1053,102 * 100}} = 7249,759 \text{ N} \quad (4.446)$$

### Ložisko L<sub>C1</sub>

Tab.7 Koeficienty ložiska L<sub>C1</sub>

e = 0,37	X = 0,4	Y = 1,6	X <sub>0</sub> = 0,5	Y <sub>0</sub> = 0,9	Valivá - p = 3
----------	---------	---------	----------------------	----------------------	----------------

$$P_{l01} = 0,5 * F_{r1} + 0,9 * F_{a1} = 0,5 * 2075,256 + 0,9 * 1841,58 = 2695,05 \text{ N} \quad (4.447)$$

$$P_{l1} = 0,4 * F_{r1} + 1,6 * F_{a1} = 0,4 * 2075,256 + 1,6 * 1841,58 = 3776,63 \text{ N} \quad (4.448)$$

$$F_{r1} = (R_{cx1}^2 + R_{cz1}^2)^{1/2} = [(-1615,592)^2 + (1302,516)^2]^{1/2} = 2075,256 \text{ N} \quad (4.449)$$

$$s_{01} = \frac{C_0}{P_{m01}} = \frac{39000}{2715,161} = 14,364 \quad (4.450)$$

$$L_{h10} = \left(\frac{C}{P_{m1}}\right)^p * \left(\frac{10^6}{60 * n}\right) = \left(\frac{45000}{3877,42}\right)^3 * \left(\frac{10^6}{60 * 1053,102}\right) = 24739 \text{ h} \quad (4.451)$$

Volíme jednořadé kuličkové ložisko **CSN 02 4720 32908**

C = 45 kN

C<sub>0</sub> = 39 kN

šířka b = 15 mm

## Ložisko L<sub>C2</sub>

Tab.8 Koeficienty ložiska L<sub>C2</sub>

e = 0,4	X = 0,4	Y = 1,5	X <sub>0</sub> = 0,5	Y <sub>0</sub> = 0,8	Valivá - p = 3
---------	---------	---------	----------------------	----------------------	----------------

$$P_{02} = F_{r2} = 6913,264 \text{ N} \quad (4.452)$$

$$P_2 = F_{r2} = 6913,264 \text{ N} \quad (4.453)$$

$$F_r = (R_{Cx2}^2 + R_{Cz2}^2)^{1/2} = [(3068,648)^2 + (-6194,887)^2]^{1/2} = 6913,264 \text{ N} \quad (4.454)$$

$$R_a = R_{Cy2} = 462,841 \quad (4.455)$$

$$s_{01} = \frac{C_0}{P_{m01}} = \frac{56000}{7249,759} = 7,724 \quad (4.456)$$

$$L_{h10} = \left(\frac{C}{P_{m1}}\right)^p * \left(\frac{10^6}{60 * n}\right) = \left(\frac{68000}{7249,759}\right)^3 * \left(\frac{10^6}{60 * 1053,102}\right) = 13060 \text{ h} \quad (4.457)$$

Axiální síla je zde pro kuličková ložiska s kosoúhlým stykem moc velká a je tak nutné použít axiální ložiska.

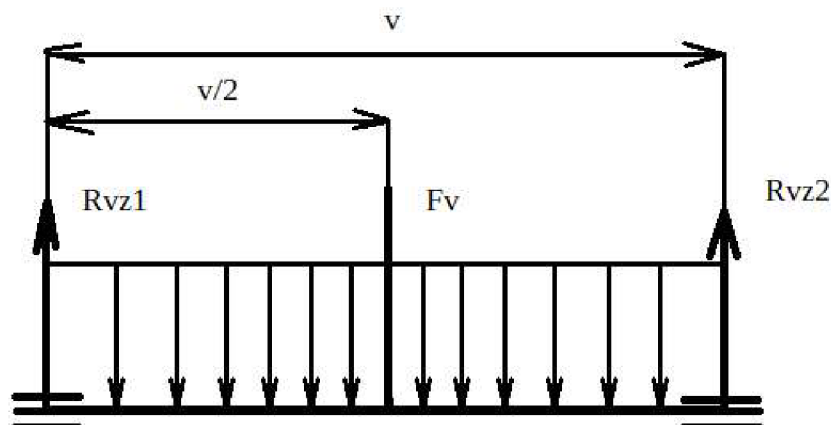
Volíme jednořadé axiální kuželíkové ložisko CSN 02 4720 32009

C = 50 kN

C<sub>0</sub> = 44 kN

šířka b = 20 mm

### 4.10.4 Ložiska kalandrovacích válců



Obr.19 Hřídel kalandrovacích válců

Ložiska jednoho z válců by také měla být zatížena silou z řetězového kola převodu, ale tato síla je v poměru k přítlačné síle válců zanedbatelná a nebude ve výpočtu brána v úvahu.

Obě ložiska budou zjevně zatížena přibližně stejnou silou a pro obě ložiska tak platí stejný výpočet.

$$F_v = 300000 \text{ N}$$

$$v = 1995,25 \text{ mm}$$

$$z: R_{vz1} + R_{vz2} = F_v \quad (4.458)$$

$$M: R_{vz2} * v = \frac{F_v * v}{2} \quad (4.459)$$

$$R_{vz2} = \frac{F_v}{2} = R_{vz1} = 150000 \text{ N} \quad (4.460)$$

$$n_1 = 520 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = 260 \text{ min}^{-1}$$

$$F_{r1} = 150000 \text{ N}$$

$$P_{l1} = F_{r1} \quad (4.461)$$

$$n_m = \frac{n_1 * q_1}{100} + \frac{n_2 * q_2}{100} = \frac{520 * 80}{100} + \frac{260 * 20}{100} = 468 \text{ ot} * \text{min}^{-1} \quad (4.462)$$

$$s_{0m} = \frac{C_0}{P_{l1}} = \frac{1660000}{150000} = 11,067 \quad (4.463)$$

$$L_{h10} = \left( \frac{C}{P_{l1}} \right)^p * \left( \frac{10^6}{60 * n_m} \right) = \left( \frac{1281000}{150000} \right)^3 * \left( \frac{10^6}{60 * 468} \right) = 22181 \text{ h} \quad (4.464)$$

Vybereme ložisko válečkové dvouřadé ložisko **23232 CC/W33**, které bude umístěné v ložiskovém domku.

[23][24][25][26][27][28]

## 5 Návrh převodové skříně

Vzhledem ke složitosti tvaru skříně bude tato skříň navržena jako tvarový odlitek. Pro takový odlitek použijeme hliníkovou slitinu, která je svými vlastnosti ideální pro tvorbu odlitku. Skříň opatříme nálitky pro uložení ložisek hřídelí převodovky. Pro dostatečnou pevnost skříně můžeme zvolit tloušťku stěny 3 mm a podepřením v místech uložení ložisek žebry, které zároveň budou sloužit k odvodu tepla z převodové skříně. Dále je nutné zajistit slévateľnost odlitku pomocí slévářenských úkosů a rádiusů modelu dle vlastností zvoleného materiálu. Model odlitku je tak upraven slévářenskými úkosy o úhlu  $2^\circ$  a rádiusy o poloměru 2,5 mm. Dno převodové skříně je opatřeno nálitky pro ovládání synchronní spojky, uchycení převodové skříně k rámu a olejovou výpustí a víko je opatřeno nálitkem pro háček.

Víko a dno jsou poté obrobeny jako celek kvůli dosažení stejných rozměrů obrobků obou polovin. Díky tomu, pokud je pár ložisek dostupný pouze z jedné strany, je nutné, aby tato ložiska měla stejný vnější průměr. To je vidět u vstupní hřídele A a u předlokové hřídele B, kde jsou použita větší ložiska než je nutné a ve výpočtech mají mnohem vyšší životnost právě kvůli podmínkám obrábění.

Vertikální plochy nálitků uložení ložisek jsou obrobené na drsnost povrchu f1.6 pro těsnění víček, které jsou k převodové skříně přišroubované 4 šrouby M5x10. Převodová skříň je k rámové konstrukci přišroubovaná 4 šrouby M10x25.

Synchronní spojka je zde ovládaná pomocí magneticky ovládanou pákou pro kterou je do nálitku obrobená drážka umožňující lineární pohyb páky. K té je poté dvěma šrouby M5x16 přišroubovaný kryt obsahující magnety, které ovládají páku a těsníci toto místo proti úniku oleje.

Dno a víko jsou sešroubované 26 šrouby M6x25 po celé patici převodové skříně se snahou umístit některé šrouby co nejbliže u ložisek, neboli v působišti sil vznikajících při provozu převodového mechanismu, tak aby co nejlépe pohlcovali tyto síly. Dno a víko převodové skříně jsou také opatřené středícími kolíky, které usnadňují montáž a obrábění skříně.

## 6 Rámová konstrukce

Rámová konstrukce je zde jednoduchá tvořená z 6 svařovaných U profilů stejného průřezu a konstrukce rámu kalandru je zjednodušená.

## 7 Ekonomické zhodnocení

Dále je důležité určit cenu pohonu kalandru, což bývá jedna z nejdůležitějších otázek při konstrukci. Obvykle je snaha navrhovat konstrukci co nejlevnější a nejjednodušší. Velká část součástí je zde ale nenormalizovaná, což znamená, že je často nutné je vyrábět na zakázku a jsou tak dražší. Díky tomu budou také ceny nenormalizovaných částí ve zhodnocení odhady skutečné ceny. Ložiska jsou vybírány z katalogu výrobce firmy SKF od některého z distributorů ložisek a stejně pro další normované součásti jako gufera šrouby a hřídelová spojka.

Ekonomické zhodnocení ale podléhá změnám cen a i proto jsou některé ceny odhadnuté a ceny nemusí odpovídat aktuálním cenám.

Tab.9 Ceny ložisek

<b>Název</b>	<b>Cena</b>
CSN 4720 30305	379,04 Kč
CSN 4720 32206	450,97 Kč
CSN 4645 7306	2236,69 Kč
CSN 4645 7306	2236,69 Kč
CSN 4720 32908	919,96 Kč
CSN 4720 32209	605,48 Kč
Celkem	6929,83 Kč

[14][15]

Tab.10 Ceny jiných normovaných součástí

Název	Cena
Gufero CSN 029401 25x52x10	50,5 Kč
Gufero CSN 029401 45x72x12	46,18 Kč
Lamelová třecí spojka	14822,5 Kč
Elektromotor 18,5kW 1LC160L-2, 2930ot.	17064 Kč
16xŠrouby M5x10	28,16 Kč
6xŠroub M10x25	20,12 Kč
27xŠroub M6x25	85,59 Kč
4xPodložka 10,5	6,68 Kč
4xŠroub M14x50	139,12 Kč
4xMatice M14	45,96 Kč
4xPodložka 15	15,16 Kč
Těsná pera	126 Kč

[16][17][18][19][20][21]

Tab.11 Ceny nenormovaných součástí

Řetězový převod	34300 Kč
Ozubená soukolí	14500 Kč
Hřídele	6530 Kč
Převodová skříň	29300 Kč
Výmezovací válce	1500 Kč
Rámová konstrukce	4000 Kč
Celkem	129 309,8 Kč

## 8 Závěr

V bakalářské práci byla vypracována konstrukce a výpočet pohonného systému kalandrovacích válců, rámu a ložisek válců. Sestava, modely, výkresová dokumentace a některé výpočty jsou vytvořeny v CAD softwaru Inventor. Části pohonného systému byly navrženy pro přenos výkonu 15kW, s bezpečností všech částí alespoň  $k = 2$  a trvanlivostí ložisek alespoň 9000h.

Výkresová dokumentace byla kreslena se všemi náležitostmi pro zvolené 4 nenormované součásti a sestavu i s kusovníkem a srozumitelně pro čtenáře se znalostí technické dokumentace.

Elektromotor byl navržen s ohledem na ztrátu výkonu na částech převodového systému s o něco vyšším výkonem 18,5kW a s převodovkou je spojený hřídelovou lamelovou třecí spojkou od firmy PSP s označením ELK o velikosti 10 přenášející statický moment do 140Nm, která také zajišťuje rozpojení motoru a převodovky při změně převodového stupně. V sestavě je ale hřídelová spojka ve zjednodušené formě jako jednoduchá spojka.

Převodovka byla zkonstruovaná s 2 převodovými stupni. Normální převodový stupeň převádí otáčky s převodovým poměrem  $i = 5,538$  na výsledné otáčky  $520 \text{ min}^{-1}$  a redukovaný převodový stupeň převádí otáčky s převodovým poměrem  $i = 11,077$  na výsledné otáčky  $260 \text{ min}^{-1}$ . Převodové poměry byly realizovány s přesností převodu alespoň 95% a pomocí kuželového soukolí, přímých ozubených soukolí a řetězového převodu.

Všechna ozubená soukolí byla navržena jako šikmá kvůli zlepšení plynulosti převodu a snížení hlučnosti. Bezpečnost byla vypočítána v softwaru Inventor na namáhání v dotyku a ohybu. Materiály byly navrženy tak, aby bezpečnost ozubených soukolí byla alespoň  $k = 2$  a přibližně stejná. Pastorek kuželového soukolí byl modelován jako součást vstupní hřídele A.

Řemenový převod tu byl nahrazen řetězovým z důvodu nerozhodující hlučnosti a lepší přesnosti převodu. Z katalogu výrobce byl vybrán řetězový převod 24A-2, který má při redukovaném převodu bezpečnost  $k = 16,762$ .

Řazení rychlostních stupňů bylo provedeno pomocí synchronní spojky, která umožňuje řadit rychlostní stupně i za chodu byla zkontrolována na namáhání drážkování hřídele.

Hřídele byly navrženy s bezpečností alespoň  $k = 2$  a jsou všechny ze stejného materiálu 12050.6, kromě vstupní hřídele která je ze stejného materiálu jako pastorek kuželového soukolí. Bezpečnost byla vypočítána v místech působení největšího momentu a v místech nejnebezpečnější vrubů. Ozubená kola jsou s hřídelemi spojena těsnými pery, kromě pastorku kuželového soukolí, které je součástí hřídele a ozubených kol předlokové hřídele, které s hřídelí nebyla spojena kvůli synchronní spojce. Bezpečnost těsných per byla vypočítána na namáhání v otlacení boků.

V sestavě jsou použité kuželíková a kuličková ložiska a jsou vypočítané pro statické a dynamické namáhání. Počítalo se s otáčkami normálního a redukováného převodu podle podílu těchto převodů v provozu 80% a 20%, které byly upraveny oproti zadání s ohledem na reálné používání kalandru. Při úpravě textilií protahováním válci je používán normální převod a odpovídá přibližně 80% doby provozu. Při zbylých 20% jsou válce používány při redukováném převodu, při výměně textilie. Ložiska byla navržena tak, aby měla statickou bezpečnost alespoň  $s = 2$  životnost alespoň  $L_{h10} = 9000h$ . Některá ložiska byla kvůli obrobiteľnosti skříň navržena větší než je nutné, ale cenu to ovlivnilo minimálně.

Válce kalandru byly navrženy s průměrem 400 mm, délkou 1800 mm a jsou uloženy v ložiskových domcích navrženy pro přítlak válců 300000 N. Byly vybrány válečková dvouřadá ložiska 23232 CC/W33, která byla umístěna v ložiskových domcích. Tato ložiska zajišťují statickou bezpečnost  $s_0 = 11$  a trvanlivost  $L_{h10} = 22181 h$ . Rychlost posuvu textilie vyšla pro normální převodový poměr  $v_1 = 10,891 \text{ ms}^{-1}$  a pro redukováný převodový poměr  $v_{150} = 5,445 \text{ ms}^{-1}$ .

Převodová skříň byla navržena z hliníkové slitiny o tloušťce 3mm s úkosy o úhlu  $2^\circ$  a rádiusy o poloměru 2,5mm, které zajišťují optimální slévatelnost odlitku. Ložiska umístěná v převodové skříni byla navržena tak, aby byla umožněna obrobiteľnost převodové skříně a to především v případech, kdy je možné nálitek pro ložiska obrábět pouze z jedné strany.

Šroubové spoje pohonného systému jsou navrženy předimenzované.



## Použitá literatura a zdroje

- [1] Calendering machinery, Obrázky kalandru, text [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: (<http://calenderingmachinery.com/1-1-6-four-roll-calendering-machine.html>)
- [2] Changshen Hongyi Nonwoven Machinery, Obrázky kalandru [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: <http://www.nonwovenfabricmakingmachinery.com/sale-8465506-4-5-m-textile-two-roll-calender-machine-for-nonwoven-fabric-thickness-3-200mm.html>
- [3] Golpretech, Obrázky kalandrovacích válců, text [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [Chladící, vyhřívací a kalandrovací válce – Golpretech](#)
- [4] Calendering machinery, Obrázky měkkého kalandru, text [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [Soft Calender – Guoguang \(calenderingmachine.com\)](#)
- [5] Škola textilu, Vysvětlení jednotlivých typů kalandrování [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [Kalandrování \(skolatextilu.cz\)](#)
- [6] Textile property, Vysvětlení třecího kalandru [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [6 Types Of Calendering Process In Textile | Textile Property](#)
- [7] Electrical4u, Odvození účinnosti vybraného elektromotoru [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [What is EFF1, EFF2, EFF3, IE1, IE2, IE3, IE4, IE5 Motor Efficiency Class | Electrical4u](#)
- [8] Vybo Electric, Výběr elektromotoru [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [Elektromotor 18,5kW 1LC160L-2, 2930 ot. | elektro-motor.cz](#)
- [9] SSPU-Opava, Obrázek a vysvětlení třecí lamelové spojky [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [VY 32 INOVACE C-07-19.pdf \(sspu-opava.cz\)](#)
- [10] PSP Pohony, Výběr a obrázek třecích lamelových spojek [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [Elektromagnetická lamelová spojka ELK \(pohony.cz\)](#)
- [11] PSP pohony, Katalog třecích lamelových spojek [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [Brzda EBA \(pohony.cz\)](#)
- [12] Humlak, Vysvětlení funkce synchronní spojky [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [Převodovka \(humlak.cz\)](#)
- [13] Markomt, Obrázek synchronní spojky [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [v60\\_121\\_902.jpg \(800×670\) \(markomt.sk\)](#)
- [14] Exvalos, Ekonomické zhodnocení kuželíkového ložiska [Online] [cit. 8.5.2022] Dostupné z: [30305 SKF Kuželíkové ložisko \(exvalos.cz\)](#)

- [15] Mateza, Ekonomické zhodnocení kuželíkového ložiska [Online] [cit. 8.5.2022]  
Dostupné z: [30305 SKF Kuželíkové ložisko \(exvalos.cz\)](#) [SKF 32206 Kuželíkové ložisko | Mateza.cz](#)
- [16] Kvalitní těsnění, Ekonomické zhodnocení gufera [Online] [cit. 8.5.2022] Dostupné z: [30305 SKF Kuželíkové ložisko \(exvalos.cz\)](#) [Gufero 25×52×10 WAS – Eshop Techseal.cz \(kvalitnitesneni.cz\)](#)
- [17] Prumex, Ekonomické zhodnocení gufera [Online] [cit. 8.5.2022] Dostupné z: [Gufero 45×72×12 NBR-WAS/GP Rubena | Prumex.cz](#)
- [18] Aligero, Ekonomické zhodnocení šestihraných šroubů [Online] [cit. 8.5.2022]  
Dostupné z: [šroub se šestihrannou hlavou \(srouby-aligero.cz\)](#)
- [19] Aligero, Ekonomické zhodnocení plochých podložek [Online] [cit. 8.5.2022]  
Dostupné z: [Podložka plochá A A2 10,5 | eshop.srouby-aligero.cz](#)
- [20] Šrouby online, Ekonomické zhodnocení šestihraných těsných per [Online] [cit. 8.5.2022] Dostupné z: [Těsná pera DIN 6885A Ocel Bez povrchové úpravy | Šrouby online \(sroubyonline.cz\)](#)
- [21] SELOS, Ekonomické zhodnocení lamelové spojky [Online] [cit. 8.5.2022] Dostupné z: [Elektromagnetická lamelová spojka ELK – SELOS – Experti na magnety](#)
- [22] OCR Document, Vlastnosti některých použitých materiálů [Online] [cit. 20.5.2022]  
Dostupné z: [OCR Document \(websnadno.cz\)](#)
- [23] Vysoká škola Báňská vsb, Digram únavového námáháním součinitel  $\alpha$  [Online] [cit. 20.5.2022] Dostupné z: [Diagram] [DIFERENCIÁLNÍ ROVNICE \(vsb.cz\)](#)
- [24] Vysoká škola Báňská vsb, Digram únavového námáháním součinitel  $\eta_p$  [Online] [cit. 20.5.2022] [DIFERENCIÁLNÍ ROVNICE \(vsb.cz\)](#)
- [25] Vysoká škola Báňská vsb, Digram únavového námáháním součinitel  $v$  [Online] [cit. 20.5.2022] [DIFERENCIÁLNÍ ROVNICE \(vsb.cz\)](#)
- [26] Katedra mechaniky pružnosti a pevnosti tul, Digram únavového námáháním součinitelů  $q$  [Online] [cit. 20.5.2022] [Snímek 1 \(tul.cz\)](#)
- [27] Pešík, L.: Části strojů. 1. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4
- [28] Pešík, L.: Části strojů. 2. díl. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2

## Seznam příloh

příloha 1 – výkres kalandru

příloha 2 – výkres převodovky

příloha 3 – kusovník převodovky

příloha 4 – výkres hřídele B

příloha 5 – výkres ozubeného kola 1

příloha 6 – výkres ozubeného kola 2

příloha 7 – výkres víka C2