

---

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STROJNÍ**



**Ústav konstruování a částí strojů**

**Návrh pohonu lyžařské lanovky  
přepravní délky do 1000 m**

**Design of Ropeway Drive  
with Transportation Length up to 1000 m**

Bakalářská práce

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: prof. Ing. Vojtěch Dinybyl, Ph.D.

**Radek Vojík**

---

**Praha 2015**

Vysoká škola: **České vysoké učení technické v Praze**  
Fakulta: **strojní**  
Ústav: **12113, Ústav konstruování a částí strojů**  
Akademický rok: **2014/2015**

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Radek Vojík**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

Název práce: **Návrh pohonu lyžařské lanovky  
přepravní délky do 1000 m**

Název práce anglicky: **Design of Ropeway Drive with Transportation Length up to  
1000 m**

Zadání práce:

K přepravě osob v lyžařských areálech se v současnosti z velké části využívají kromě klasických lyžařských vleků, lyžařské lanovky s velkou přepravní kapacitou přesahující 2000 osob/hod. Existují prakticky dva druhy, lanovky kabinové a sedačkové. Předmětem bakalářské práce je rešerše těchto typů a dále vlastní návrh řešení pohonu jedné z variant, která bude zpracována ve 3D modelu, včetně navržené převodovky ve 2D sestavě a potřebných výpočtů.

Stručná osnova zadání:

1. Rešerše problematiky lyžařských lanovek, jednotlivé typy.
2. Detailní zpracování vybraného typu včetně nezbytných výpočtů.
3. 3D model zařízení a 2D sestava převodovky

Rozsah grafické části:

1. 3D model.
2. Výkres sestavení.

Specifikace textové části:

1. Technická zpráva s výpočty.
2. Min. rozsah 30 stran vč. obrázků, přílohy zvlášť.

Doporučené podklady:

- ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.  
ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.  
KUGL, O. a kol.: Projekt – III. Ročník. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.  
JANOVSKÝ, L., PODIVÍNSKÝ, V. : Transportní zařízení. Praha: ČVUT, 1976.

Vedoucí práce: **prog. Ing. Vojtěch Dinybyl, Ph. D.**

Datum zadání: **30. 4. 2015**

Termín odevzdání: **19. 6. 2015**

*Neodevzdá-li student bakalářskou diplomovou práci v určeném termínu (tuto skutečnost písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána), stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou diplomovou práci podruhé.*

*Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské diplomové práci.*

Zadání bakalářské práce převzal dne:

.....  
podpis studenta

.....  
prof. Ing. Vojtěch Dinybyl, Ph.D.  
vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Návrh pohonu lyžařské lanovky přepravní délky do 1000 m“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Vojtěcha Dynybyla, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 17. 6. 2015

.....

Radek Vojík

## **Poděkování**

Chtěl bych tímto poděkovat své rodině za podporu, kterou mi hlavně v počátcích, ale i v průběhu studia vyjadřovali. V první řadě bych chtěl poděkovat panu prof. Ing. Vojtěchovi Dynybylovi, Ph.D. za jeho čas, trpělivost a užitečné poznámky ke zpracování této práce.

# Anotační list

Jméno autora: **Radek VOJÍK**

Název BP: Návrh pohonu lyžařské lanovky přepravní délky do 1000 m  
Anglický název: Design of Ropeway Drive with Transportation Length up to 1000 m

Rok: 2015

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství  
Obor studia: 2301R000 Studijní program je bezoborový  
Ústav: Ústav konstruování a částí strojů  
Vedoucí BP: prof. Ing. Vojtěch Dinybyl, Ph.D.

Bibliografické údaje:

počet stran	64
počet obrázků	22
počet tabulek	3
počet příloh	8

Klíčová slova: pohon, lyžařská lanovka, převodovka, lanáč  
Keywords: drive, ropeway, gearbox, bullwheel

Anotace:

*Předmětem bakalářské práce je návrh pohonu pro lyžařskou lanovku, přepravní délky do 1000 m. V práci je popsána historie a jednotlivé typy lanových drah. Praktická část se hlavně věnuje návrhu převodové skříně a její implementaci do dolní stanice lyžařské lanovky.*

Abstract:

*The subject of this thesis is the design of ropeway drive with transportation lengths up to 1000 m. Thesis describes the history and the different types of ropeway. The practical part is mainly dedicated to the gearbox design and its implementation into the bottom station of the ropeway.*

# Obsah

Úvod.....	1
1 Historie lanových drah.....	2
1.1 Počátky lanové dopravy .....	2
1.2 Rozdělení lanový drah.....	3
1.3 Lanové dráhy v Čechách .....	3
2 Visuté lanové dráhy.....	5
2.1 Rozdělení visutých lanových drah .....	5
2.2 Části lyžařské lanovky .....	9
2.2.1 Pohon .....	9
2.3 Přední současní výrobci .....	11
2.3.1 Doppelmayr Seilbahnen.....	11
2.3.2 LEITNER ropeways.....	11
2.3.3 CWA Construction.....	11
2.4 Technické normy .....	11
3 Praktická část.....	12
3.1 Návrh pohonu .....	12
3.1.1 Volba elektromotoru .....	12
3.1.2 Celkový převodový poměr .....	13
3.2 Předběžný návrh převodovky .....	14
3.2.1 Rozdělení převodů .....	14
3.2.2 Volba počtu zubů.....	15
3.2.3 Kontrola převodového poměru.....	16
3.2.4 Výpočet momentů a otáček .....	16
3.2.5 Návrh průměrů hřídelí .....	16
3.2.6 Návrh modulů ozubených kol.....	17
3.2.7 Kontrola ozubení .....	18
3.2.8 Základní rozměry ozubených kol .....	18
3.2.9 Uložení hřídelí .....	19
3.2.10 Silové poměry na hřídelích.....	20
3.2.11 Výpočet ložisek.....	29
3.2.12 Pevnostní kontrola hřídelů .....	30
3.2.13 Konstrukce převodové skříně .....	30

3.3	Konstrukční návrh pohonu lanové dráhy .....	32
3.3.1	Návrh spojek.....	33
3.3.2	Sestavení pohonu .....	34
Závěr.....		35
Seznam zkratk a symbolů.....		36
Seznam použité literatury.....		37
Seznam obrázků .....		39
Seznam tabulek.....		39
Seznam příloh .....		40





## Úvod

V současné době představují lyžařské lanovky pro dopravu osob nezbytné zařízení lyžařských areálů po celém světě. Hlavní podstatou je v první řadě bezpečná, dále pak rychlá a pohodlná doprava osob nejběžněji z údolí na vrcholky kopců a hor. Mnohdy plní i funkci zpřístupnění doposud nedotčených přírodních oblastí. Nemusí se ovšem vždy jednat o horské lanové dráhy se sportovně turistickým zaměřením, lanovky mají svou nezastupitelnou roli i ve městech, kde mohou vhodně doplňovat, a svou atraktivitou někdy i převyšovat, veřejnou dopravu.

Pokud se vymezím jen na lyžařské areály, tak snaha nabídnout návštěvníkům sezónu co sezónu kvalitnější služby je zde zřejmá. Jedním z hlavních prostředků jak služby zlepšit a zkvalitnit je inovovat zařízení pro přepravu cestujících. Může to být modernizace stávajících zařízení, vybudování nového na místě stávajícího nebo je možnost se vydat cestou expanze a postavit nové zařízení na místech dosud nepoznaných a rozšířit tak areál. Ovšem každé plány na investici mohou vzít s jednou sezónou se špatnými klimatickými podmínkami za své. I přes tyto problémy se neustále otevírá prostor pro projekty a realizace lanových drah nejen u nás, ale i v zahraničí.

Pohonný mechanismus zajišťuje jednu ze základních funkcí každé lanovky, ovládá pohyb tažného lana. Velkým způsobem tak ovlivňuje její přepravní kapacitu, dále její účinnost a bezpečnost. Cílem této práce je navržení zařízení pro pohon lanové dráhy. Návrh bude podložen výpočty a zpracován ve 3D modelu.

# 1 Historie lanových drah

## 1.1 Počátky lanové dopravy

Lanová doprava, neboli doprava po laně nebo jeho pomocí byla dávno používána již našimi předky. Lana bývala užívána k překonávání přírodních překážek, vodních toků, k stavbám provazových mostů, při stavbách pyramid k dopravě kamenných kvádrů a v neposlední řadě i ve válečnictví. V této době se ještě nedalo hovořit o dopravě po laně, tak jak jí známe dnes, ale jisté dopravní využití to bylo. V počátcích byla používána lana z přírodních materiálů, nejčastěji z rostlinných vláken. Největší význam a vliv však měl vynález ocelové tažené drátu, který následně vyústil ke splétání jednotlivých drátů do lana. Za nejstarší primitivní lanovku přepravující nejen náklad, ale i osoby, lze považovat spojení břehů Niagary z Kanady do Spojených států drátěným lanem dlouhým 250 m, které bylo vybudováno v roce 1848.

Dříve než se začaly budovat osobní lanové dráhy, byly lanové dráhy různého provedení a typů používány pouze jako nákladní. Dokonale spleteného ocelového lana se nejprve využívalo v důlní dopravě, kde se k dopravě uhelných vozíků užívalo lana poháněného parním strojem. Jakožto nosného či tažného prvku se ocelové lano uplatnilo i v počátcích budování železnic, hlavně při stavbách horských tratí. Nabyté zkušenosti z různých provozů se později uplatnily i při budování městských lanovek.

U dnes nejrozšířenějšího typu lanové dráhy, nazývané visutá lanová dráha, nabývá ocelové lano nejen funkci tažnou, ale i nosnou. Vozidlo, myšleno kabina či sedačka, se nepohybuje po zemi nebo kolejiích, ale během jízdy je zavěšeno na lanech. Skutečný rozvoj visutých lanových drah, vyjma visutých lanovek s přírodními lany, používaných v dávné minulosti, tak spadá až do druhé poloviny devatenáctého století. Zprvu se tyto lanovky určené výhradně pro osobní dopravu budovaly v době příležitostných výstav jen jako zajímavé atrakce. Jedna z nejstarších visutých lanovek byla vybudována v Schafhausenu přes řeku Rýn v roce 1886. Charakter skutečné a moderní horské lanovky měla ovšem až ta, vybudovaná roce 1908 na Wetterhorn ve Švýcarských Alpách. Byla dlouhá 560 m a výškový rozdíl činil 420 metrů. A přestože sloužila pouhých 7 let, dá se považovat za průkopnici těchto novodobých lanovek. Rychlý vývoj této dopravy si vyžadoval rozvoj turistiky a zimních sportů a snaha o zpřístupnění hor a další přírodních zajímavostí. A tak již první polovina dvacátého století je ve znamení masivního budování osobních lanových visutých drah, nejen v Evropě, ale i v zámoří. [1]

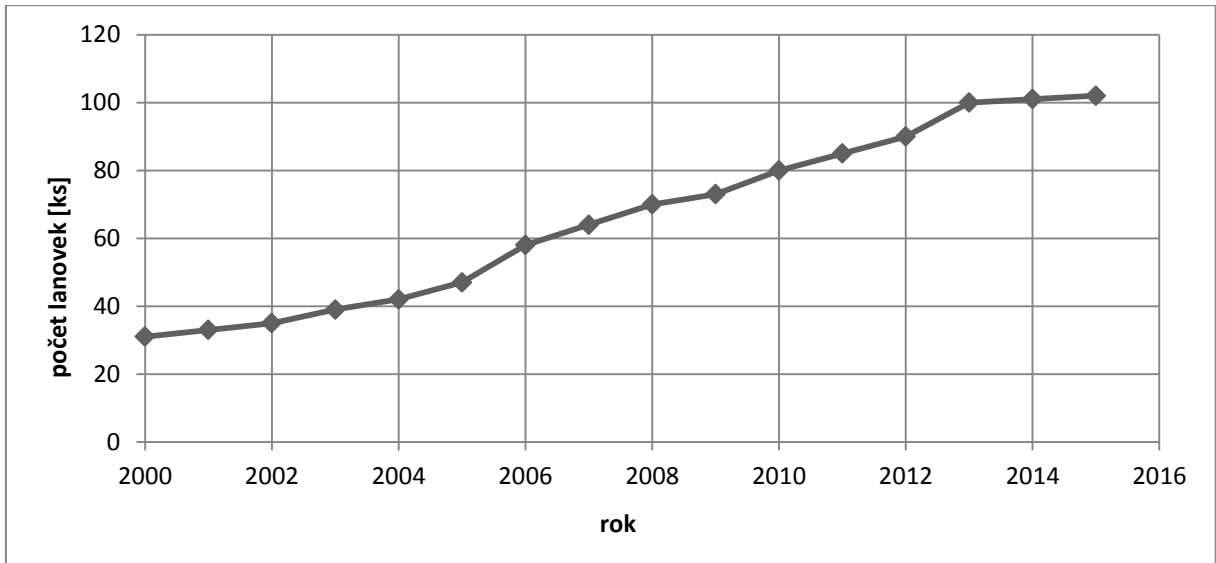
## 1.2 Rozdělení lanový drah

V českém jazyce se výraz „lanová dráha“ používá pro dvě poměrně hodně odlišná zařízení. V ostatních jazycích je celkem přesně vymezen rozdíl mezi *nevisutými* (*pozemními*) lanovými drahami a *visutými* lanovými drahami. Odlišnost těchto typů lanových drah je na první pohled zřejmá, zatímco u pozemních lanovek se přepravovací vůz (kabina) pohybuje na zemi po kolejích a pomocí lana je pouze tažen, u visutých lanovek je zavěšen na laně, které ho nese vzduchem. [2]

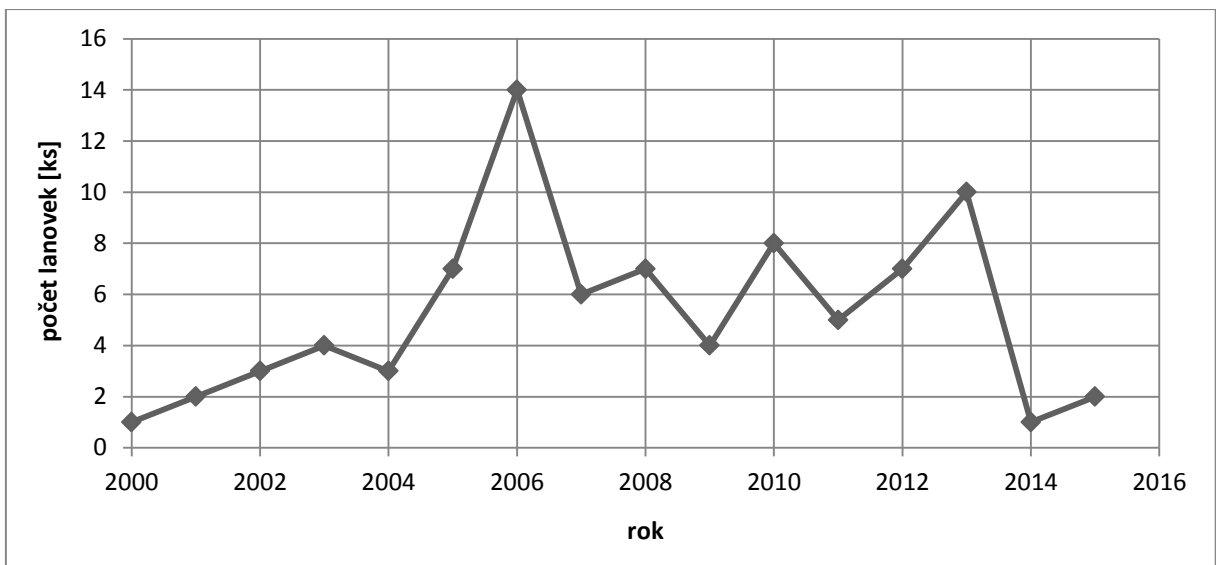
## 1.3 Lanové dráhy v Čechách

Provoz naší první pozemní lanovky byl zahájen 30. května 1891 u příležitosti Zemské jubilejní výstavy. Trasa lanovky vyprojektovaná stavební firmou Riter a Štěpán byla dlouhá 109 metrů. Vedla od mostu císaře Františka Josefa I., místa kde dnes stojí Štefánikův most, k vyhlídkové restauraci na Letné. Její pohon zajišťoval nikoliv parní stroj, ale další z tehdejších používaných druhů pohonu a to vodní zátěž. Tento systém měl ale řadu nedostatků. Především nedostatek vody a nedostatečnou bezpečnost při ručním brzdění. I když byla v roce 1922 zrušena, je považována za průkopnici osobní lanové dráhy u nás. Další pozemní lanovka byla vybudována také při příležitosti Zemské jubilejní výstavy v roce 1891 a vedla na pražský Petřín, tedy na lehce pozměněné trase, na které je možno vídat lanovou dráhu i v současnosti. [3] Následovaly další, ale stejně jako ve světě, tak i na našem území se do popředí dostával nový typ osobní lanové dráhy, jakým je visutá lanová dráha. V tehdejší Československu tak byla v roce 1928 v Krkonoších vybudována první osobní visutá lanovka vedoucí z Jánských Lázní na Černou horu. V roce 1933 následovala výstavba lanovky v Libereckém kraji, konkrétně z Horního Hanychova na Ještěd, která byla v roce 1975 rekonstruována a existuje dodnes.

V celé České republice je v současnosti celkem hustá síť lanovek, která spolu s hustotou lyžařských vleků dostatečně pokrývá potřeby turistiky a zimních sportů. Přestože přírodní, klimatické a ekonomické podmínky jsou v okolních alpských zemích nesrovnatelné, je naše lanová doprava kvalitou i rozsahem na dobré úrovni, která má stoupající tendenci. Aktuálně je v provozu 102 lanových drah různého stáří, typů a provedení. [3] Mimo to je řada lanových drah ve výstavbě a před dokončením nebo ve fázi projektu. [1] Vývoj počtu lanových drah na našem území popisují obr. 1. a obr. 2.



obr. 1.: Celkový počet lanovek v ČR [4]



obr. 2.: Nově postavené lanovky v ČR [4]



## 2 Visuté lanové dráhy

Visuté lanové dráhy mají několik výhod oproti drahám kolejovým. Jednou z výhod je nejkratší dopravní spojení mezi dvěma místy, která by se při stavbě pozemní dráhy nedala spojit takto jednoduše, ale pouze delší a klikatou cestou. Trasa lanovky také nezávisí na daném terénu, na členitosti a rozmanitosti povrchu. Jsou vyžadovány pouze malé plochy pro stavbu podpěr nesoucích lano, neboť betonové základy těchto podpěr bývají spíše hloubkově než prostorově náročné. Prostor pod lanovou zároveň zůstává volný, nestává se tedy překážkou např. pro pozemní provoz či hospodářské využití pozemků pod lanovkou a zároveň je možné ho v zimě využívat jako lyžařské sjezdové tratě. Tím se dostávám k další výhodě visutých lanovek a tou je nezávislost na počasí a roční době. Oproti pozemním drahám, které při zasněžení, zatopení či znečištění potřebují speciální údržbu po celé délce tratě, visuté lanové dráhy nebývají ohroženy ani sněhem, ani vodou, ani pozemními nečistotami a jsou tedy stejně spolehlivé v létě či zimě, mrazu či dešti. Poslední a snad nejdůležitější výhodou visuté dráhy souvisí s již řečeným nejkratším spojením dvou míst a nezávislostí na daném terénu. Pomocí těchto lanovek je totiž možno zpřístupnit místa, která by se jinak propojit nedala, případně jen velice těžce. [5] U lyžařských lanovek jde především o převýšení dolní a horní stanice, díky kterému je lyžař schopen nabrat rychlost při cestě ze svahu. Při zmínce o lyžařských lanovkách je třeba si uvědomit rozdíl mezi lyžařskými lanovými drahami a vlekami. Lyžařské vlekky se totiž neřadí mezi lanové dráhy, neboť nejsou považovány za dopravní prostředky, ale za mechanismy pro lyžaře. To v podstatě znamená, že přestože na lanové dráhy dohlíží „Dražní úřad“, na lyžařské vlekky dohlíží jen místní úřady. [2]

### 2.1 Rozdělení visutých lanových drah

Existuje několik možností, jak rozdělit visuté lanové dráhy. Ve velmi obecném pohledu lze rozlišovat tři základní skupiny:

- lanové dráhy, u nichž je *lano nosným i tažným prvkem*: klasické a nejčastější řešení visutých lanových drah;
- lanové dráhy, u nichž je *lano jen nosným prvkem*: vozíky/kabiny s vlastním pohonem;
- lanové dráhy, u nichž je *lano jen tažným prvkem*: zavěšené vozíky/kabiny se pohybují po ocelové kolejnicové konstrukci a jsou lanem pouze taženy, tzv. kolejnicové visuté dráhy

Tyto skupiny jsou opravdu základní, neboť jsou v podstatě typem konstrukčního řešení, které využívají další podskupiny, jejichž rozdělení už není tak zásadní a slouží spíše přehlednému rozčlenění různých druhů lanovek pracujících na stejném principu. [5]

Dle způsobu provozu se rozlišují dva druhy lanových drah, *oběžné* a *kyvadlové*. Kyvadlový provoz je typický velkými kabinkami, přičemž každá kabina se pohybuje po vlastní větvi jedním i zpátečním směrem. Lano, nesoucí danou kabinku, se tedy nepohybuje kontinuálně, ale také musí měnit směr svého pohybu. Oběžný provoz je podstatně rozšířenější. Na laně jsou kabinky/sedačky umístěny v pravidelných intervalech a pohybují se s lanem kontinuálně stále stejným směrem, přičemž obíhají okolo horní a dolní stanice. [2]

Další důležité rozdělení lanovek je možné určit dle účelu a druhu dopravy. Takto se rozlišují lanovky *nákladní* a *osobní*. Nákladní lanovky slouží většinou pro přepravu nákladu z místa výskytu na místo spotřeby nebo zpracování. Tímto způsobem se např. dopravuje uhlí či nerostné suroviny z místa výskytu na místo dalšího zpracování. Osobní lanovky slouží převážně pro přepravu lidí a mají tedy daleko zásadnější a propracovanější bezpečnostní prvky. Zároveň jsou podřízeny mnoha normám rodiny ČSN 2730 – *Visuté lanové dráhy osobní*, které jsou popsány v dalších kapitolách. [5] [1]

Dle počtu lan se lanovky dělí na *jednolanová*, kde lano slouží jako nosné a tažné zároveň, a *dvoulanová*, kde většinou jedno lano slouží jako nosné a druhé jako tažné, případně *více lanová*, která se používají pro skutečně velké kabiny. [1]

Nejdůležitější z pohledu zaměření této práce považuji rozdělení dle typu vozidel. Rozlišujeme lanovky *kabinové*, *sedačkové* a *hybridní*. Kabiny (obr. 3.), s kapacitou 4 – 35 cestujících, mají nosnou konstrukci tvořenou hliníkovými profily. Oblast mezi těmito profily je vyplněna převážně skleněnými prvky aerodynamických tvarů, které kromě nízkého odporu vzduchu poskytují jedinečný pocit prostoru s jasným panoramatickým výhledem do okolí. Kabiny jsou standardně vybaveny lavicemi s povrchem z měkčených plastů či s komfortním polstrováním. [6]

Sedačky (obr. 4.) jsou tvořeny širokou lavicí s opěradly a pohyblivou uzamykatelnou bezpečnostní traverzou se stupačkami, která zajišťuje lepší místo k sezení, pohodlí a bezpečnost. V některých provedeních je traverza ovládána automaticky, v jiných si cestující stahují sami. Přepravní kapacita jedné sedačky se pohybuje v rozmezí 2 – 8 cestujících. Lavice mohou být vybaveny komfortním polstrováním, či vytápěním. Dalším možným vybavením sedaček mohou být průhledné



ochranné kryty z odolného polykarbonátu, nazývané bubliny. Ty cestující chrání od nepříjemných vlivů počasí bez zkresleného výhledu do okolí. [6]



*obr. 3.: Kabina lanovky [7]*

U hybridních lanových drah jsou vozidla tvořeny z poloviny kabinami a z poloviny sedačkami. Cestující si tak mohou vybrat, zda využijí komfortnější kabinu, či si vychutnají krásný rozhled ze sedačky. [6]



*obr. 4.: Sedačka lanovky [8]*



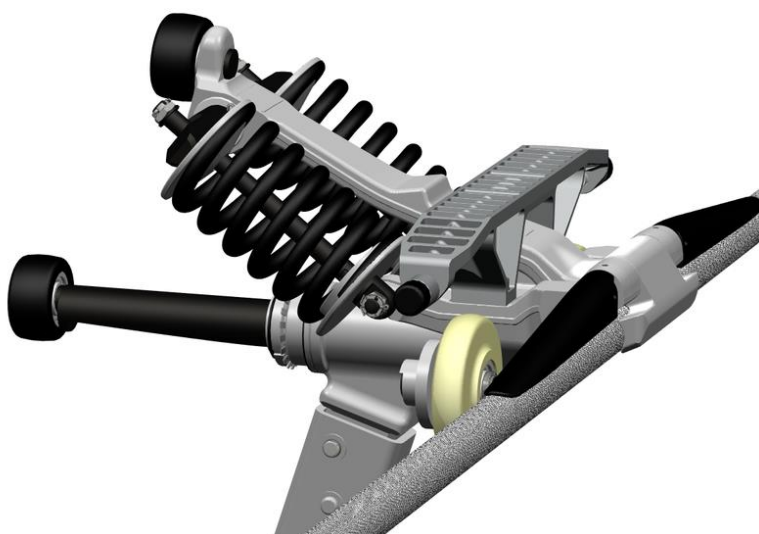
Posledním rozdělením, které stojí za zmínku, je dělení dle typu uchycení na *kabinové s kyvadlovým provozem, kabinové s odpojitelnými vozy, sedačkové oběžné s odpojitelnými vozy a sedačkové oběžné s neodpojitelnými vozy*. [1]

Neodnímatelné, jinými slovy pevné připojení má dlouhou historii, je velmi bezpečné a spolehlivé. Držák se skládá ze dvou částí, které pevně a trvale obklopují lano.



*obr. 5.: Neodnímatelné připojení [9]*

Naproti tomu odnímatelné připojení se skládá ze dvou pohyblivých čelistí, které jsou ovládány mechanismem s pružinou. Toto připojení umožňuje snížit rychlost vozidel ve stanicích a přispívá tak k pohodlnému a bezpečnému nástupu či výstupu z těchto zařízení. Zároveň umožňuje zvýšit přepravní rychlost mimo stanice a navýšit tak přepravní kapacitu.



*obr. 6.: Odnímatelné připojení [10]*



## 2.2 Části lyžařské lanovky

Mezi nejdůležitější částí lyžařské lanovky patří pohonný mechanismus, jenž má být hlavní náplní této práce a proto mu je v následné části věnována zvláštní podkapitola. Další neméně důležitou částí je ocelové lano, které je splétáno z několika kovových vláken kolem společné duše lana. Pro správnou funkci lanové dráhy je nezbytné udržovat v laně předpětí. To zajišťuje napínací zařízení, které se umísťuje buď do stejné stanice jako poháněcí mechanismus nebo do stanice protilehlé. V obou těchto stanicích je pak umístěno oběžné kolo zvané *lanáč*. V poháněcí stanici pak právě *lanáč* přenáší tažnou sílu na lano. Transformace krouticího momentu na sílu v laně se děje za pomoci tření. V případě osobní dopravy jsou cestující přepravováni ve vozidlech a to buď v kabinách, nebo na sedačkách. Podrobnější popis těchto částí uvádím v předchozích kapitolách. Celou váhu vozidel, osob a lana pak nesou věže. Jedná se o robustní stožáry, jejichž konstrukce musí zajišťovat možnost pohybu vozidel po obou jejich stranách. Jsou tvořeny ocelovou trubkovou konstrukcí, která je dělená na menší kusy. To je vhodné zejména v nepřístupných oblastech, kde jsou při stavbě jednotlivé kusy na místo dopravovány vrtulníkem. Součástí věží jsou *běhouny*, které rotují a podepírají lano. Jedná se o kovové disky, které jsou v místě styku s lanem doplněná gumou. U lanovek s pevným uchycením sedaček se používá rozběhový pás, umožňující bezpečné nastoupení cestujících na pohybující se sedačku.

### 2.2.1 Pohon

Pohon, pomyslné srdce lanovky, se skládá ze čtyř základních částí. První částí je motor. V minulosti se ve značné míře používali motory stejnosměrné. V posledních letech však došlo k bouřlivému vývoji a následnému zlevnění frekvenčního řízení. U moderních lanovek se tak používají střídavé asynchronní motory, kde se k rozběhu a regulaci otáček využívá právě frekvenční měnič, díky kterému je provoz lanovky hladký a efektivní. Ve většině nových stanic existuje spolu s hlavním motorem také motor sekundární, který se spouští v případě technických problémů hlavního motoru. Sekundární motor je spalovací, především kvůli nezávislosti na dodávce elektrické energie. V případě výpadku tedy sekundární motor slouží jako „záchrana“, kdy může přímo pohánět lanovku nebo v případě použití diesel agregátu vyrábí elektrickou energii pro hlavní motor. [11]

Druhou částí je brzdící zařízení. Pro brždění lanové dráhy se používá jako provozní brzda elektromagnetická brzda a jako bezpečností/nouzová se užívá brzda mechanická,

která je umístěna přímo na *lanáči* a v případě zastavení dráhy zabraňuje zpětnému chodu. [5]

Třetí částí je *převodovka*. Ta mění vlastnosti vstupního rotačního pohybu na požadované vlastnosti výstupního rotačního pohybu. Přesněji řečeno, slouží k převodu úhlové rychlosti (otáček) a krouticího momentu z motoru na požadované hodnoty. V moderních stanicích lanových drah se většinou používá kuželočelní planetová převodovka. Ta zároveň otáčí i směr rotačního pohybu o 90° a je typická svou vysokou účinností. [11]

Čtvrtou částí je *ovládací panel*. Nejčastěji bývá umístěn v dolní stanici lanové dráhy, přičemž řídicí technik může ovlivňovat rychlost lanovky dle nastalé situace, která se mění, jak již zde bylo uvedeno, se změnou frekvence napájecího napětí střídavého proudu pomocí frekvenčního měniče. Panel je zároveň napojen na jednotlivé bezpečnostní obvody, které v případě hrozícího nebezpečí dokáží motor vypnout.



obr. 7.: Pohon lanové dráhy [3]

Na obr. 7. je zobrazeno uspořádání pohonu lanové dráhy, kde motor a převodovka je spojena pružnou hřídelovou spojkou. Jedná se o rotující součást, a proto musí být z bezpečnostních důvodů opatřena krytem.



## 2.3 Přední současní výrobci

### 2.3.1 Doppelmayr

Doppelmayr Seilbahnen GmbH je součástí mezinárodního holdingu Doppelmayr/Graventa. Společnost se sídlem v rakouském Wolfurtu byla založena v roce 1991 a za dobu svého působení již v České republice realizovala více jak 60 lanových drah a lyžařských vleků. Její výrobní, prodejní a servisní pobočky lze nalézt ve 34 zemích světa. Pro zákazníky z více než 87 států již realizovala více jak 14 300 lanových dopravních systémů. [12]

### 2.3.2 LEITNER ropeways

Společnost založená v roce 1888 v italském Sterzingu se původně kromě zařízení pro lanovou dopravu věnovala i zemědělským strojům. Za více než svou 100 letou existenci se však vyvinula v globálního hráče v oboru konstruování lanových drah a dalším jejím významným odvětvím v současnosti je výroba sněžných roleb. Na konci 20. století společnost začala vytvářet nové výrobní prostory i mimo rodný Sterzing, konkrétně v Rakousku, Francii a americkém Coloradu. Kromě toho má dnes více jak 70 prodejních a servisních míst po celém světě. [13]

### 2.3.3 CWA Construction

Švýcarský výrobce se sídlem v Oltenu se již od svého založení v roce 1939 zaměřuje hlavně na výrobu samotných kabin. Od roku 2001 je dodává pro společnost Doppelmayr, jelikož se stal součástí holdingu Doppelmayr/Graventa. Švýcarská kvalita a dlouholeté zkušenosti jsou základními faktory, které stojí za výjimečným postavením společnosti CWA. [14]

## 2.4 Technické normy

V rámci rešerše jsem zjistil celou řadu norem, které se zabývají problematikou osobních lanových drah. Jejich seznam je uveden v tabulce - příloha č. 1.



## 3 Praktická část

### 3.1 Návrh pohonu

#### 3.1.1 Volba elektromotoru

Při volbě elektromotoru z hlediska jeho výkonu jsem vycházel z parametrů, které se běžně používají u lanových drah přepravní délky kolem 1 000 m, což je délka, která je uvedena v zadání této bakalářské práce. Potřebný výkon ovlivňuje nejen přepravní délka, ale samozřejmě i terén, na kterém je lanová dráha umístěna.

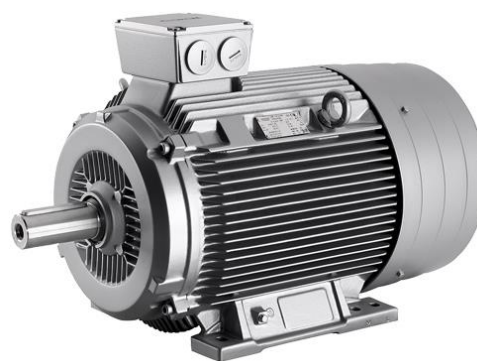
tab. 1.: Technické parametry lanovky [15]

<b>Název a umístění:</b>	Klínovec – Přemostěná, Krušné hory	
<b>Typ lanovky :</b>	osobní visutá jednolanová dráha oběžného systému s pevným uchycením čtyřmístných sedaček a rozběhovým pásem (SLF-4)	
<b>Výrobní typ :</b>	4-CLF	poháněcí stanice Chairdrive
<b>Tažná větev :</b>	levá	
<b>Umístění pohonu :</b>	dolní stanice	
<b>Systém napínání :</b>	hydraulický v horní stanici	
<b>Přepravní kapacita :</b>	2392 osob/hod	
<b>Šikmá délka :</b>	1074 m	
<b>Vodorovná délka :</b>	1044 m	
<b>Dolní stanice :</b>	1001 m.n.m.	
<b>Horní stanice :</b>	1244 m.n.m.	
<b>Převýšení :</b>	243 m	
<b>Výkon hlavního pohonu :</b>	199 kW	
<b>Průměr dopravního lana :</b>	38 mm	
<b>Maximální dopravní rychlost :</b>	2,6 m/s	
<b>Čas jízdy :</b>	6,9 min	414 s
<b>Časový interval sedaček :</b>	6 s	
<b>Vzdálenost sedaček :</b>	15,7 m	
<b>Počet sedaček :</b>	139	
<b>Počet podpěr :</b>	12	z toho 1 tlačná
<b>Výrobce :</b>	Doppelmayr	
<b>Zařízení je v provozu od roku :</b>	2012	

Z uvedených předpokladů jsem, i na základě podobnosti s již existující lanovou dráhou podobných parametrů (tab. 1), stanovil potřebný výkon motoru na 200 kW, maximální dopravní rychlost na 2,6 m/s a průměr lanáče na 4,1 m. Předchozím parametrům plně odpovídá zvolený elektromotor SIEMENS 1 LG4317 – 4AA (obr. 8.). Jedná se o trojfázový asynchronní elektromotor vhodný k připojení k síti o frekvenci 50 Hz, jeho technická data jsou uvedena v následující tabulce.

tab. 2.: Technická data elektromotoru [16]

Velikost (osová výška):	315 L
Jmenovitý výkon:	200 kW
Otáčky:	1 486 min <sup>-1</sup>
Napětí:	400/690, 50 Hz
Krytí:	IP55
Jmenovitý proud při 400 V:	350 A
Jmenovitý moment:	1 285 Nm
Účinnost $\eta$ :	94%
Účinník $\varphi$ :	0,88
Hmotnost:	1 060 kg



obr. 8.: Elektromotor Siemens

[17]

### 3.1.2 Celkový převodový poměr

Zvolená maximální rychlost pro další výpočty představuje obvodovou rychlost lanáče  $v_L$ . Použiji ji spolu s průměrem lanáče  $D_L$  k výpočtu otáček lanáče  $n_L$ , ze kterých spolu s otáčkami elektromotoru  $n_m$  vypočtu celkový převodový poměr  $i_{ct}$ .

$$v_L = 2,6 \text{ m/s} \quad (3.1)$$

$$D_L = 4,1 \text{ m} \quad (3.2)$$

$$n_{elm} = 1486 \text{ min}^{-1} \quad (3.3)$$

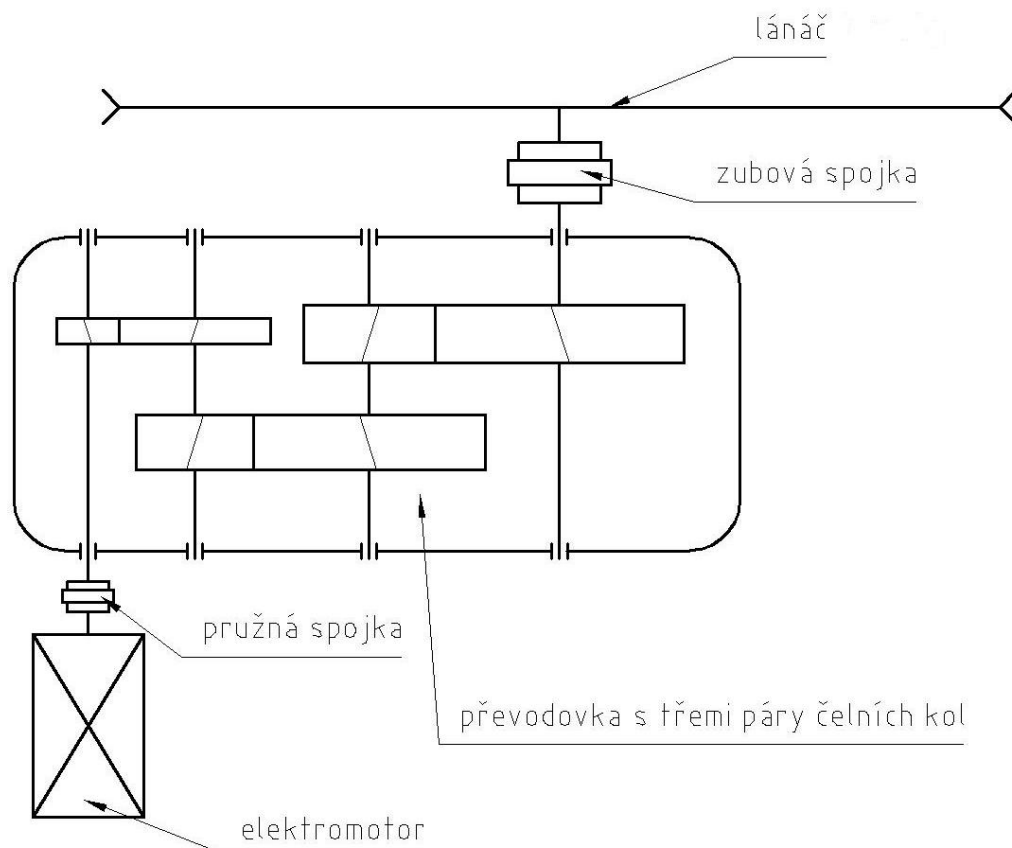
$$n_L = \frac{60 \cdot v_L}{\pi \cdot D_L} = \frac{60 \cdot 2,6}{\pi \cdot 4,1} = 12,111 \text{ min}^{-1} \quad (3.4)$$

$$i_{ct} = \frac{n_m}{n_L} = \frac{1486}{12,111} = 122,695 \quad (3.5)$$



## 3.2 Předběžný návrh převodovky

Pro pohon lanových drah jsou nejčastěji používány planetové převodovky. Ovšem nabízí se zde prostor jít jinou cestou a navrhnout převodovku s čelním ozubením, která bude sice rozměrově větší, ale ne o tolik aby se nedala začlenit přímo do sloupu dolní stanice lanové dráhy. Prostor v podélném směru zde je a zároveň není nutno budovat podzemní zázemí lanovky, ve kterém bývá pohon často umístěn.



obr. 9. : Schéma pohonu

Na obr. 9. je znázorněno jednoduché schéma pohonu. Spojení hřídelí elektromotoru a převodovky je realizováno pružným členem – pružnou spojkou. Výstupní hřídel převodovky s hřídelí od lanáče je spojen nepružným členem – spojkou zubovou. Návrh převodovky, která přeneše výkon navrženého elektromotoru, je popsán v následujících podkapitolách.

### 3.2.1 Rozdělení převodů

Celkový převodový poměr (3.6) se rozdělí na dílčí převodová čísla, a jelikož doporučené převodové číslo pro jedno soukolí se dle použité literatury [18] pohybuje

v maximálně v rozmezí hodnot 5 a 6, je třeba použít soukolí tří. Zároveň by převodové číslo soukolí nemělo být celým číslem.

$$i_{ct} = i_{12t} \cdot i_{34t} \cdot i_{56t} \quad (3.6)$$

$$i_{12t} = 5,9 \quad (3.7)$$

$$i_{34t} = 5,3 \quad (3.8)$$

$$i_{56t} = 3,8 \quad (3.9)$$

### 3.2.2 Volba počtu zubů

Při volbě počtu zubů vycházím z podmínky pro minimální počet zubů, při kterém nedochází k podřezání profilu. Pro úhel záběru  $\alpha$ , rovnému  $20^\circ$ , je minimální počet zubů roven 17. Součinem počtů zubů prvního kola soukolí a příslušného teoretického převodového čísla soukolí vypočítám počet zubů kola druhého.

$$z_1 = 25 \quad (3.10)$$

$$z_2 = z_1 \cdot i_{12t} = 25 \cdot 5,9 = 147,5 \quad (3.11)$$

$$z_2 = 148 \quad (3.12)$$

$$z_3 = 19 \quad (3.13)$$

$$z_4 = z_3 \cdot i_{34t} = 19 \cdot 5,3 = 100,7 \quad (3.14)$$

$$z_4 = 101 \quad (3.15)$$

$$z_5 = 17 \quad (3.16)$$

$$z_6 = z_5 \cdot i_{56t} = 17 \cdot 3,8 = 64,6 \quad (3.17)$$

$$z_6 = 65 \quad (3.18)$$

Podílem počtu zubů obou kol příslušného soukolí dostávám hodnotu skutečného převodového čísla.

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{148}{25} = 5,92 \quad (3.19)$$

$$i_{34} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{101}{19} = 5,316 \quad (3.20)$$

$$i_{56} = \frac{z_6}{z_5} = \frac{65}{17} = 3,824 \quad (3.21)$$

### 3.2.3 Kontrola převodového poměru

Největší přípustná odchylka skutečného převodového čísla  $i_c$  od teoretické hodnoty převodového čísla  $i_{ct}$  je stanovena na 4%. [18]

$$i_c = i_{12} \cdot i_{34} \cdot i_{56} = 5,92 \cdot 5,316 \cdot 3,824 = 120,324 \quad (3.22)$$

$$\Delta i_c = \left| \frac{i_{ct} - i_c}{i_{ct}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{122,695 - 120,324}{122,695} \right| \cdot 100\% = 1,93\% \leq 4\% \quad (3.23)$$

### 3.2.4 Výpočet momentů a otáček

Krouticí moment na hřídeli elektromotoru  $M_{elm}$  získám z následujícího vztahu:

$$M_{kelm} = 9550 \cdot \frac{P_m}{n_m} = 9550 \cdot \frac{200}{1486} = 1\,285,33 \text{ Nm}$$

Krouticí momenty na jednotlivých hřídelích pak spočítám za předpokladu, uvažuju-li hodnotu účinnosti jednoho páru čelních kol rovno 0,98. [18]

$$M_{k1} = M_{kelm} = 1285,33 \text{ Nm} \quad (3.24)$$

$$M_{k2} = M_{k1} \cdot i_{12} \cdot \eta_{12} = 1285,33 \cdot 5,92 \cdot 0,98 = 7\,456,97 \text{ Nm} \quad (3.25)$$

$$M_{k3} = M_{k2} \cdot i_{34} \cdot \eta_{34} = 7456,97 \cdot 5,316 \cdot 0,98 = 38\,446,88 \text{ Nm} \quad (3.26)$$

$$M_{k4} = M_{k3} \cdot i_{56} \cdot \eta_{56} = 38\,446,88 \cdot 3,824 \cdot 0,98 = 145\,561,56 \text{ Nm} \quad (3.27)$$

Otáčky jednotlivých hřídelí se postupně snižují v závislosti na hodnotě převodového čísla konkrétního soukolí.

$$n_1 = n_{elm} = 1\,486 \text{ min}^{-1} \quad (3.28)$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{12}} = \frac{1486}{5,92} = 251,01 \text{ min}^{-1} \quad (3.29)$$

$$n_3 = \frac{n_2}{i_{34}} = \frac{251,01}{5,316} = 47,22 \text{ min}^{-1} \quad (3.30)$$

$$n_4 = \frac{n_3}{i_{56}} = \frac{47,22}{3,824} = 12,35 \text{ min}^{-1} \quad (3.31)$$

### 3.2.5 Návrh průměrů hřídelí

Hřídele se předběžně navrhují z pevnostní podmínky v krutu [18]

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} \quad (3.32)$$



po úpravě

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_D}} \quad (3.33)$$

Předchozí výpočtový vztah lze upravit do tvaru

$$D_i = k_i \sqrt[3]{\frac{P}{n_i}} \quad (3.34)$$

a hodnotu  $k$  volím pro jednotlivé hřídele následovně:

$$k_1 = 120 \quad (3.35)$$

$$k_2 = 115 \quad (3.36)$$

$$k_3 = 102 \quad (3.37)$$

$$k_4 = 94 \quad (3.38)$$

$$D'_1 = k_1 \sqrt[3]{\frac{P}{n_1}} = 120 \sqrt[3]{\frac{200}{1486}} = 61,5 \text{ mm} \quad (3.39)$$

$$D'_2 = k_2 \sqrt[3]{\frac{P}{n_2}} = 115 \sqrt[3]{\frac{200}{251,01}} = 106,61 \text{ mm} \quad (3.40)$$

$$D'_3 = k_3 \sqrt[3]{\frac{P}{n_3}} = 102 \sqrt[3]{\frac{200}{47,22}} = 165,03 \text{ mm} \quad (3.41)$$

$$D'_4 = k_4 \sqrt[3]{\frac{P}{n_4}} = 94 \sqrt[3]{\frac{200}{12,35}} = 237,82 \text{ mm} \quad (3.42)$$

Vypočtené průměry zaokrouhlím na normalizovanou hodnotu dle ČSN 01 4990. [18]

$$D_1 = 65 \text{ mm} \quad (3.43)$$

$$D_2 = 110 \text{ mm} \quad (3.44)$$

$$D_3 = 180 \text{ mm} \quad (3.45)$$

$$D_4 = 240 \text{ mm} \quad (3.46)$$

### 3.2.6 Návrh modulů ozubených kol

Navrhovaná ozubená kola budou vyrobena z materiálu ČSN 14 220, budou tepelně zpracována cementováním a kalením. V příloze č. 2 se podrobně věnuji výpočtu modulů ozubených kol dvěma způsoby. Při porovnání obou metod stanovuji i s ohledem na



pevnostní analýzu hodnoty modulů ozubení na normalizované hodnoty dle ČSN 01 4608 následovně:

$$m_{n12} = 4 \text{ mm} \quad (3.47)$$

$$m_{n34} = 8 \text{ mm} \quad (3.48)$$

$$m_{n56} = 16 \text{ mm} \quad (3.49)$$

Pastorky jednotlivých soukolí jsou vyrobeny z jednoho kusu s hřídelemi. Zatímco jednotlivá kola jsou nejprve kována, následně obrobena a na konec nalisována na hřídelích. Kontrolní výpočet nalisování je v příloze č. 3.

### 3.2.7 Kontrola ozubení

Kontrola ozubení byla provedena podle ISO 6336 a vypočtena v programu Microsoft Excel z ústavu 12113 FS ČVUT v Praze [19], její shrnuté výsledky jsou uvedeny v tabulce - příloha č. 4.

### 3.2.8 Základní rozměry ozubených kol

Pohonný mechanismus je realizován převodovkou s čelními soukolími s šikmým ozubením, úhel sklonu zubu na roztečném válci se volí dle ČSN 01 4610 [18].

$$\beta_{12} = 10^\circ \quad (3.50)$$

$$\beta_{34} = 8^\circ \quad (3.51)$$

$$\beta_{56} = 6^\circ \quad (3.52)$$

Pomocí úhlů sklonu zubů, vypočtených normálních modulů z podkapitoly 3.2.6 a zvoleného počtu zubů z podkapitoly 3.2.2 se stanoví průměry roztečných kružnic.

$$d = \frac{z \cdot m_n}{\cos \beta} \quad (3.53)$$

$$d_1 = \frac{25 \cdot 4}{\cos 10^\circ} = 101,543 \text{ mm} \quad (3.54)$$

$$d_2 = \frac{148 \cdot 4}{\cos 10^\circ} = 601,133 \text{ mm} \quad (3.55)$$

$$d_3 = \frac{19 \cdot 8}{\cos 8^\circ} = 153,494 \text{ mm} \quad (3.56)$$

$$d_4 = \frac{101 \cdot 8}{\cos 8^\circ} = 815,941 \text{ mm} \quad (3.57)$$

$$d_5 = \frac{17 \cdot 16}{\cos 6^\circ} = 273,498 \text{ mm} \quad (3.58)$$

$$d_6 = \frac{65 \cdot 16}{\cos 6^\circ} = 1\,045,729 \text{ mm} \quad (3.59)$$

Šířka pastorků se určí za pomoci součinitele poměrné šířky ozubení  $\psi_m$  a příslušného normálního modulu  $m_n$ .

$$b_{w1} = \psi_m \cdot m_{n12} = 18 \cdot 4 = 72 \text{ mm} \quad (3.60)$$

$$b_{w3} = \psi_m \cdot m_{n34} = 18 \cdot 8 = 144 \text{ mm} \quad (3.61)$$

$$b_{w5} = \psi_m \cdot m_{n56} = 18 \cdot 16 = 288 \text{ mm} \quad (3.62)$$

Šířky kol se navrhnou o modul  $m_n$  menší. [18]

$$b_{w2} = b_{w1} - m_{n12} = 72 - 4 = 68 \text{ mm} \quad (3.63)$$

$$b_{w4} = b_{w3} - m_{n34} = 144 - 8 = 136 \text{ mm} \quad (3.64)$$

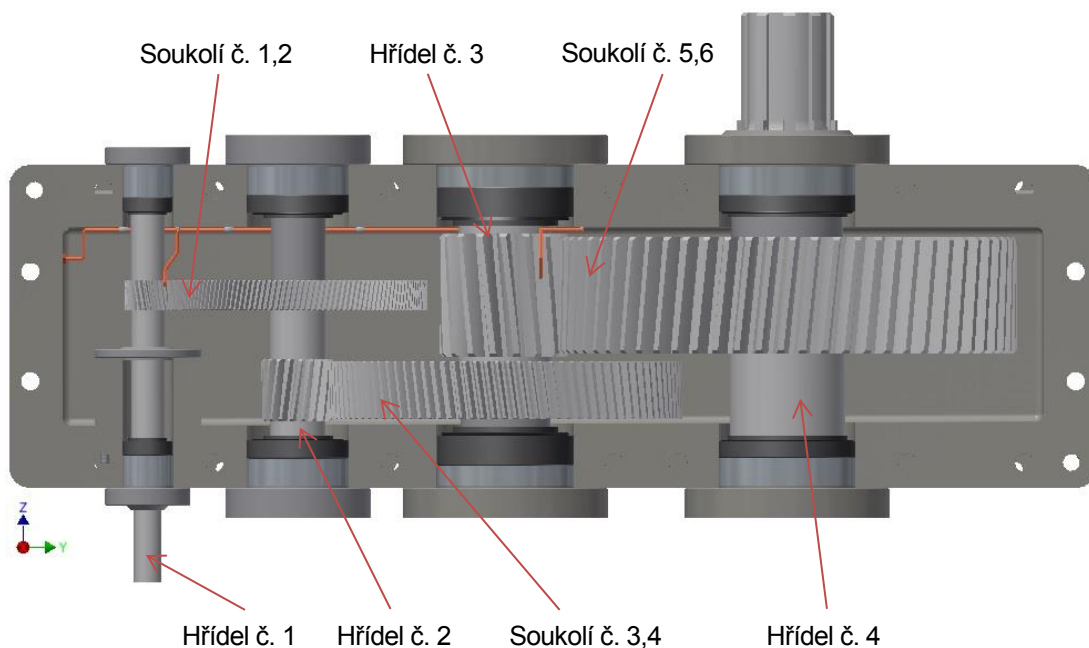
$$b_{w6} = b_{w5} - m_{n56} = 288 - 8 = 280 \text{ mm} \quad (3.65)$$

### 3.2.9 Uložení hřídelí

Hřídele převodovky se převážně ukládají do ložisek valivých. Nejčastěji se používají jednořadá kuličková ložiska, buď ve dvojicích, nebo v kombinaci s jinými typy ložisek. Těmi mohou být válečková ložiska, dvouřadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem nebo dvouřadá soudečková ložiska. S ohledem na poměrně velké axiální síly a požadavek na určitou hodnotu trvanlivosti jsou zvoleným typem ložisek, ložiska kuželíková, která se montují zásadně ve dvojici v uspořádání X nebo O. Pro navrhovanou převodovku užijí uspořádání do X, které se používá u převodovek s čelními koly.

Hřídel představuje otáčející se nosník. Měl by pokud možno splňovat podmínku statické určitosti, s jednou podporou pevnou a druhou myšleně posuvnou. U zvoleného uspořádání kuželíkových ložisek do X se jednostranně opřou vnitřní kroužky ložisek a vnější kroužky ložisek. Aby nebylo uložení staticky neurčité, předepíše se seřízení ložisek. [18]

Na obr. 10. je znázorněno reálné uspořádání převodovky. Pro názornost jsou v tento moment do spodní části převodové skříně vloženy jen hřídele s ozubenými koly, dále kuželíková ložiska uložená do X, zajištěná rozpěrnými trubkami a víčky bez šroubů.

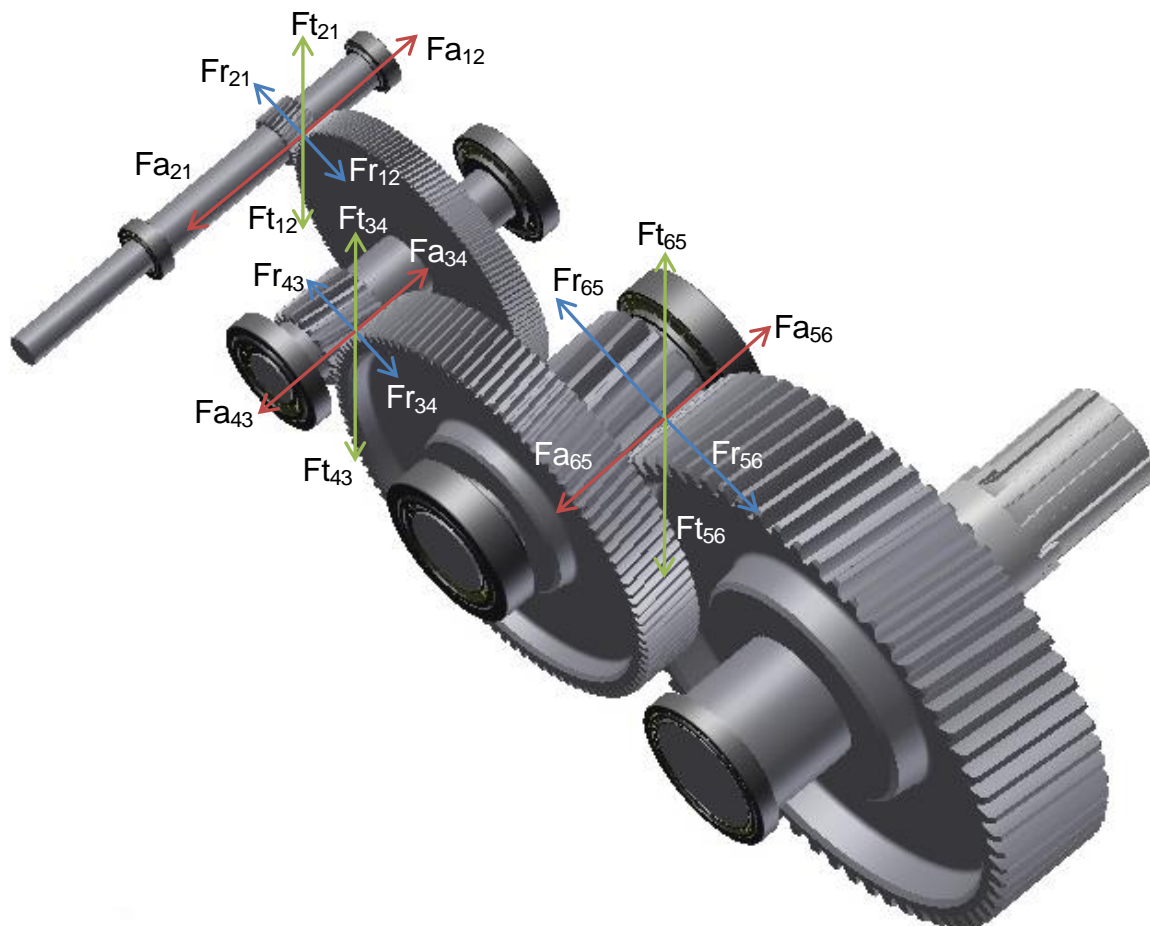


obr. 10.: Horní pohled do převodové skříně

Na obr. 10. je dále možno povšimnout si měděných trubiček o světlosti 8 mm a tloušťce stěny 1 mm. Jsou zde umístěny z důvodu polohy/orientace převodové skříně, která je v poloze na boku. V této poloze není zajištěno mazání prostřednictvím brodění u všech soukolí, nýbrž pouze u soukolí 3,4. U ostatních soukolí je tak nutno použít tzv. oběhové mazání. V tomto případě je tak mazivo dopravováno do místa záběru dvou kol pomocí zmíněných trubiček. Přísun maziva by zajišťovalo zubové čerpadlo poháněné elektromotorem, které by bylo umístěno na vnější straně skříně.

### 3.2.10 Silové poměry na hřídelích

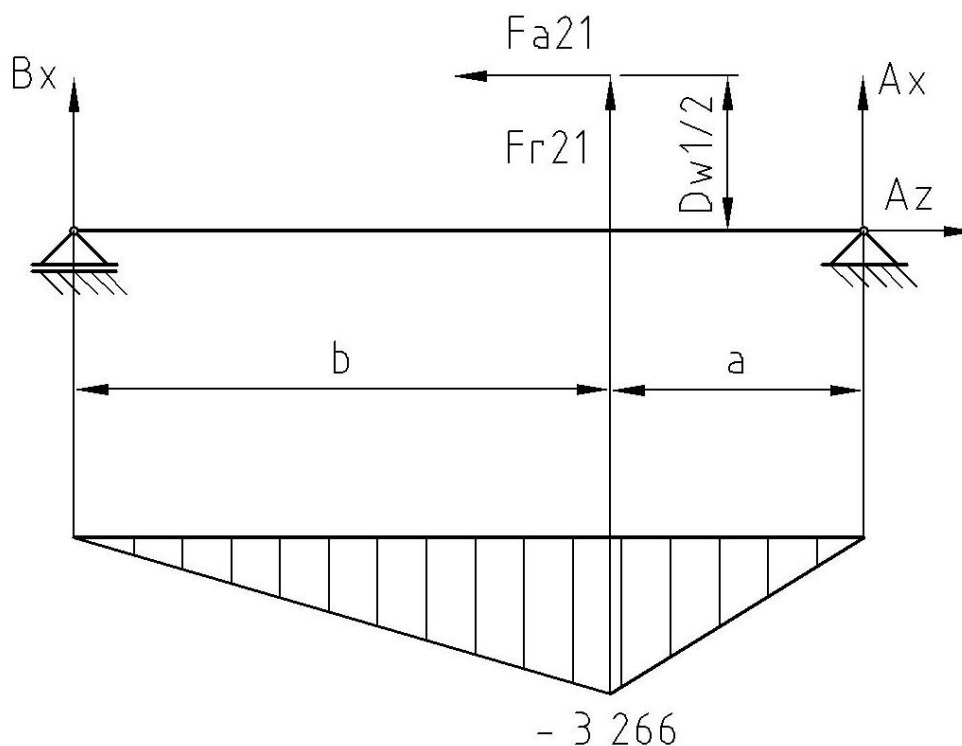
V předchozích kapitolách byly stanoveny průměry hřídelů, rozměry ozubených kol, byla navržena ložiska a jejich uložení. Pro kontroly ložisek a hřídelí je třeba stanovit síly v převodech. Silové poměry na hřídelích jsou řešeny ve dvou vzájemně kolmých rovinách sil ozubených převodů a to v souřadném systému  $x - y - z$ . Jednu rovinu představují radiální a axiální síly ( $F_r + F_a$ ) a druhou tečné síly  $F_t$ . Výpočty hodnot jednotlivých radiálních, axiálních a tečných sil jsou uvedeny v příloze č. 5. Grafické znázornění silových poměrů v ozubení je na obr. 11.



obr. 11.: Síly v ozubení

Na následujících stranách jsou podrobně rozkresleny síly od ozubení působící na jednotlivé hřídele a číselně vyjádřeny reakce v podporách, resp. ložiskách. Dále jsou zde znázorněny průběhy momentů jednotlivých nosníků, jejichž číselné hodnoty byly vypočítány pomocí programu EngiLab Beam.2D [20] a jsou uváděné v Nm.

Hřídel č. 1



obr. 12.: Hřídel č. 1 – rovina x-z

$$a = 204 \text{ mm} \quad (3.66)$$

$$b = 354 \text{ mm} \quad (3.67)$$

$$x: A_x + B_x + F_{r21} = 0 \quad (3.68)$$

$$z: -F_{a21} + A_z = 0 \quad (3.69)$$

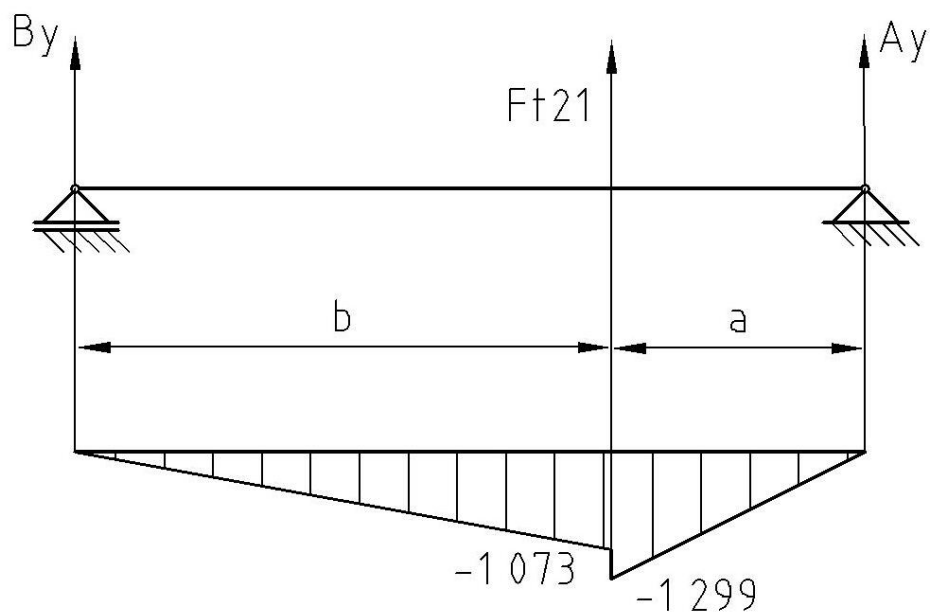
$$M_A: -B_x \cdot (a + b) - F_{r21} \cdot a + F_{a21} \cdot d_{w1}/2 = 0 \quad (3.70)$$

$$B_x = \frac{F_{a21} \cdot d_{w1}/2 - F_{r21} \cdot a}{(a + b)} = \frac{4\,463,815 \cdot 153,583/2 - 9\,442,675\,8 \cdot 204}{(204 + 354)} \quad (3.71)$$

$$B_x = -3\,046,398 \text{ N} \quad (3.72)$$

$$A_x = -F_{r21} - B_x = -9\,442,675\,8 - (-3\,046,398) = -6\,396,283 \text{ N} \quad (3.73)$$

$$A_z = -F_{a21} = 4\,463,815 \text{ N} \quad (3.74)$$



obr. 13.: Hřídel č. 1 – rovina y-z

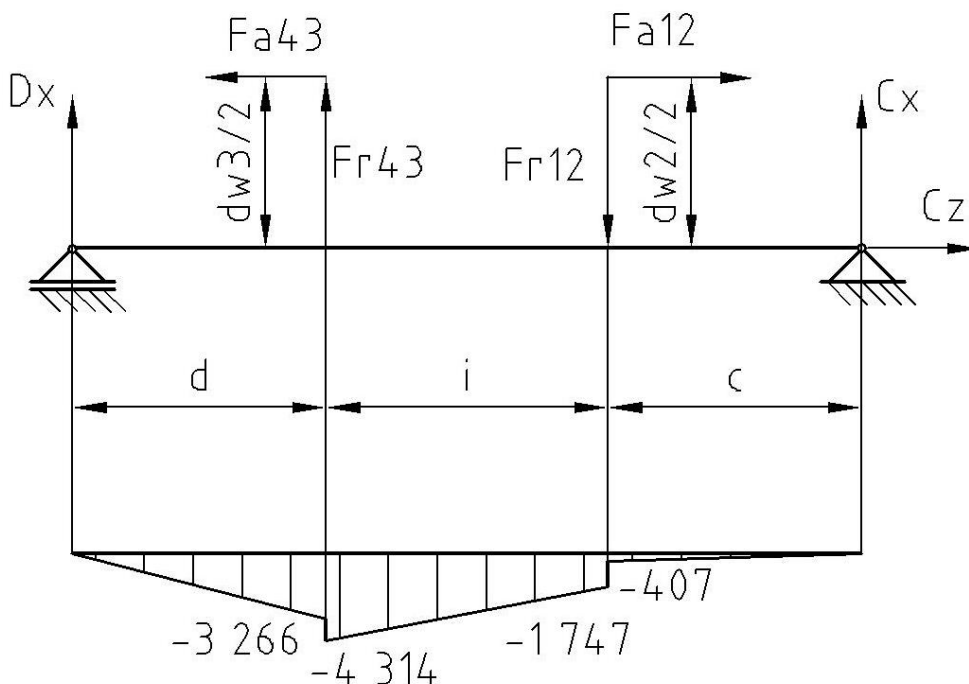
$$y: A_y + B_y + F_{t21} = 0 \quad (3.75)$$

$$M_B: A_y \cdot (a + b) + F_{t21} \cdot b = 0 \quad (3.76)$$

$$A_y = \frac{-F_{t21} \cdot b}{(a + b)} = \frac{-25\,340,404 \cdot 354}{(204 + 354)} = -16\,076,17 \text{ N} \quad (3.77)$$

$$B_y = -F_{t21} - A_y = -25\,340,404 - (-16\,076,17) = -9\,264,234 \text{ N} \quad (3.78)$$

Hřídel č. 2



obr. 14.: Hřídel č. 2 – rovina x-z

$$c = 204 \text{ mm} \quad (3.79)$$

$$i = 222 \text{ mm} \quad (3.80)$$

$$d = 132 \text{ mm} \quad (3.81)$$

$$x: D_x + C_x + F_{r43} - F_{r12} = 0 \quad (3.82)$$

$$z: -F_{a43} + F_{a12} + C_z = 0 \quad (3.83)$$

$$M_D: C_x \cdot (d + i + c) - F_{r12} \cdot (d + i) + F_{r43} \cdot d - F_{a12} \cdot d_{w2}/2 + F_{a43} \cdot d_{w3}/2 = 0 \quad (3.84)$$

$$C_x = \frac{F_{r12} \cdot (d + i) - F_{r43} \cdot d + F_{a12} \cdot d_{w2}/2 - F_{a43} \cdot d_{w3}/2}{(d + i + c)}$$

$$C_x = \frac{9\,442,676 \cdot (132 + 222) - 36\,197,142 \cdot 132 + 4\,463,815 \cdot 600,554/2}{(132 + 222 + 204)}$$

$$- \frac{13\,655,388 \cdot 153,583/2}{(132 + 222 + 204)}$$

$$C_x = -2\,049,377 \text{ N} \quad (3.85)$$

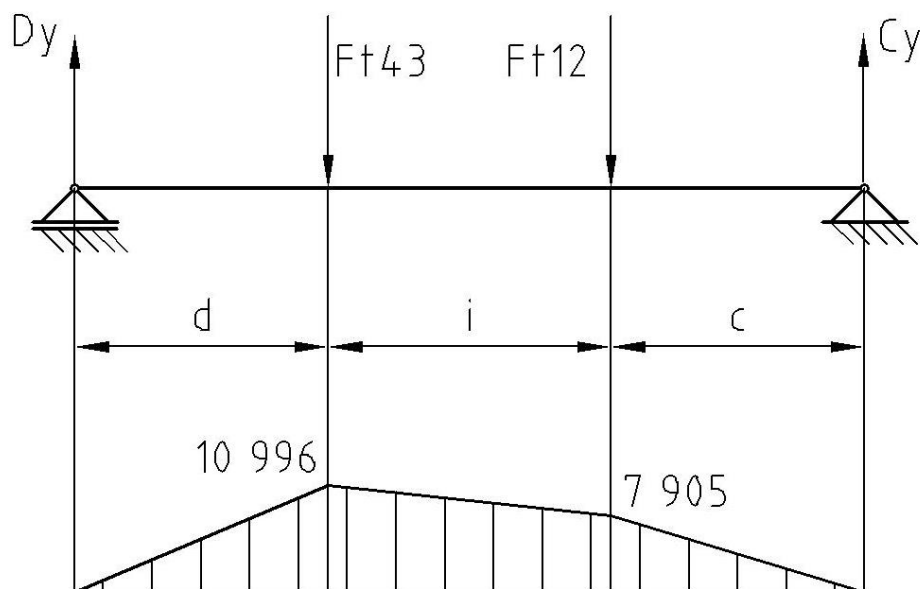




$$D_x = -F_{r43} + F_{r12} - C_x = -36\,197,142 + 9\,442,676 - (-2\,049,377)$$

$$D_x = -24\,705,089\text{ N} \quad (3.86)$$

$$C_z = -F_{a12} + F_{a43} = -4\,463,815 + 13\,655,388 = 9\,191,573\text{ N} \quad (3.87)$$



obr. 15.: Hřídel č. 2 – rovina y-z

$$y: C_y + D_y - F_{t12} - F_{t43} = 0 \quad (3.88)$$

$$M_D: C_y \cdot (d + i + c) - F_{t43} \cdot d - F_{t12} \cdot (d + i) = 0 \quad (3.89)$$

$$C_y = \frac{F_{t43} \cdot d + F_{t12} \cdot (d + i)}{(d + i + c)} = \frac{97\,106,488 \cdot 132 + 25\,340,404 \cdot (132 + 222)}{(132 + 222 + 204)}$$

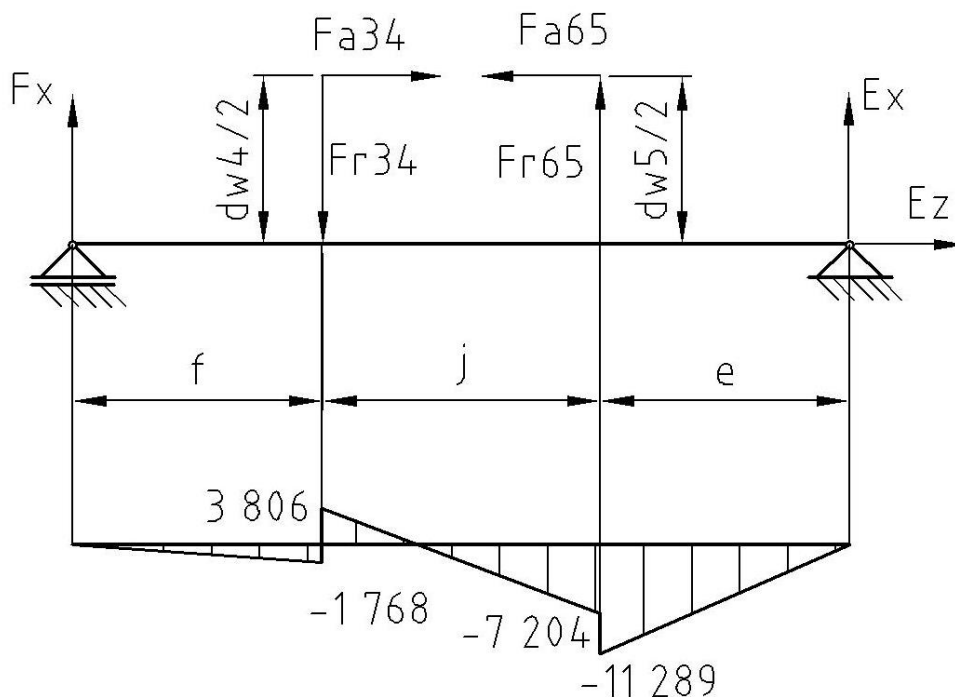
$$C_y = 39\,047,598\text{ N} \quad (3.90)$$

$$D_y = F_{t12} + F_{t43} - C_y = 25\,340,404 + 97\,106,488 - 39\,047,598$$

$$D_y = 83\,399,295\text{ N} \quad (3.91)$$



Hřídel č. 3



obr. 16.: Hřídel č. 3 – rovina x-z

$$e = 204 \text{ mm} \quad (3.92)$$

$$j = 222 \text{ mm} \quad (3.93)$$

$$f = 132 \text{ mm} \quad (3.94)$$

$$x: F_x + E_x - F_{r34} + F_{r56} = 0 \quad (3.95)$$

$$z: -F_{a65} + F_{a34} + E_z = 0 \quad (3.96)$$

$$M_F: E_x \cdot (f + j + e) + F_{r65} \cdot (f + j) - F_{r34} \cdot f - F_{a34} \cdot d_{w4}/2 + F_{a65} \cdot d_{w5}/2 = 0 \quad (3.97)$$

$$E_x = \frac{-F_{r65} \cdot (f + j) + F_{r34} \cdot f + F_{a34} \cdot d_{w4}/2 - F_{a65} \cdot d_{w5}/2}{(f + j + e)}$$

$$E_x = \frac{-104\,931,215 \cdot (132 + 222) + 36\,197,142 \cdot 132 - 13\,655,388 \cdot 816,417/2}{(132 + 222 + 204)}$$

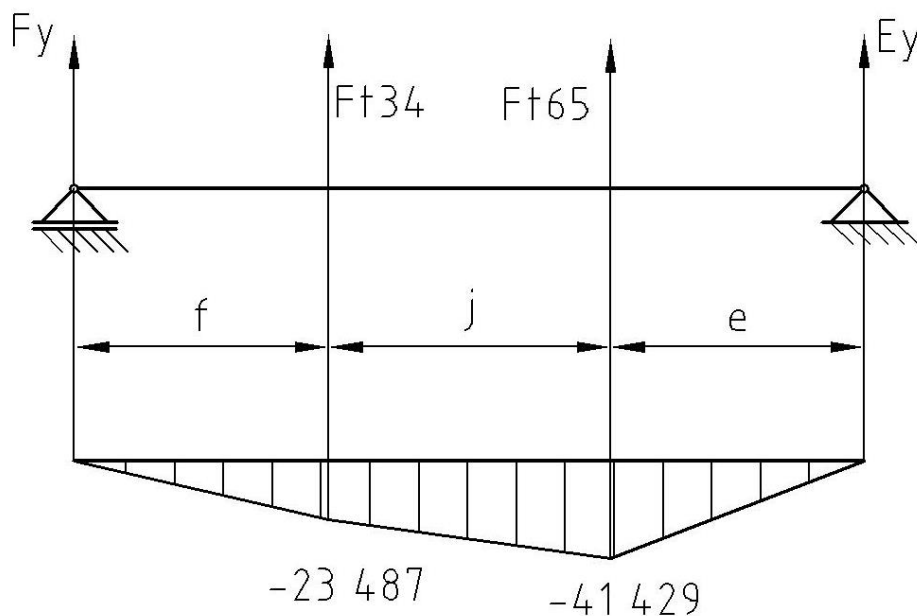
$$- \frac{29\,857,39 \cdot 273,659/2}{(132 + 222 + 204)}$$

$$E_x = -55\,338,26 \text{ N} \quad (3.98)$$

$$F_x = F_{r34} - F_{r65} - E_x = 36\,197,142 - 104\,931,215 - (-55\,338,26)$$

$$F_x = -13\,395,814\text{ N} \quad (3.99)$$

$$E_z = F_{a65} - F_{a34} = 29\,857,39 - 13\,655,388 = 16\,202\text{ N} \quad (3.100)$$



obr. 17.: Hřídel č. 3 – rovina y-z

$$y: F_y + E_y + F_{t34} + F_{t65} = 0 \quad (3.101)$$

$$M_F: E_y \cdot (f + j + e) + F_{t34} \cdot f + F_{t65} \cdot (f + j) = 0 \quad (3.102)$$

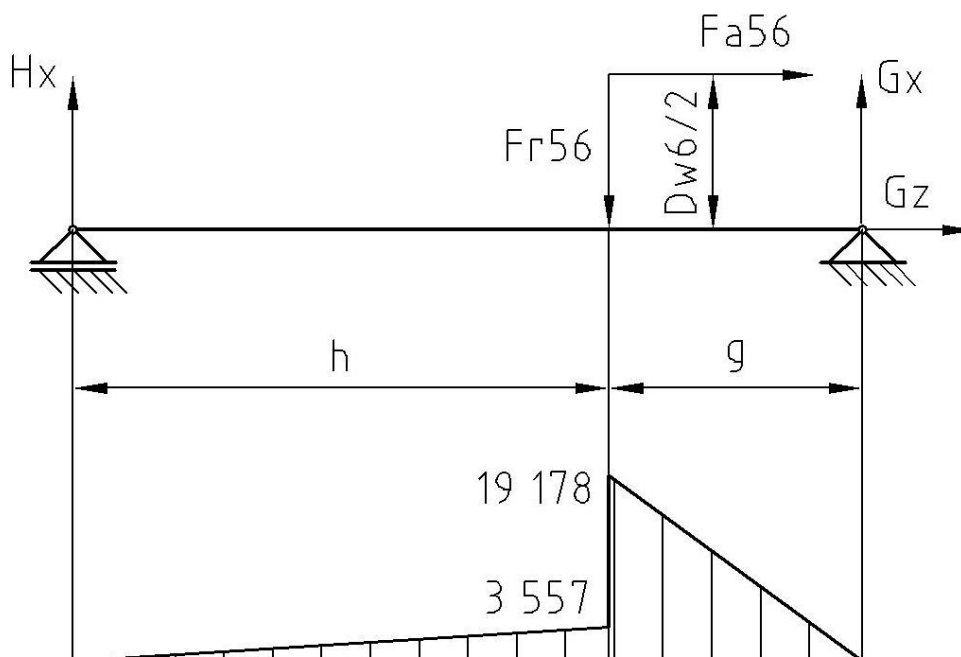
$$E_y = \frac{-F_{t34} \cdot f - F_{t65} \cdot (f + j)}{(f + j + e)} = \frac{-97\,106,488 \cdot 132 - 283\,907,709 \cdot (132 + 222)}{(132 + 222 + 204)}$$

$$E_y = -203\,084,92\text{ N} \quad (3.103)$$

$$F_y = -E_y - F_{t65} - F_{t34} = -(-203\,084,92) - 283\,907,709 - 97\,106,488$$

$$F_y = -177\,929,277\text{ N} \quad (3.104)$$

Hřídel č. 4



obr. 18.: Hřídel č. 4 – rovina x-z

$$g = 204 \text{ mm} \quad (3.105)$$

$$h = 354 \text{ mm} \quad (3.106)$$

$$x: G_x + H_x - F_{r56} = 0 \quad (3.107)$$

$$z: G_z + F_{a56} = 0 \quad (3.108)$$

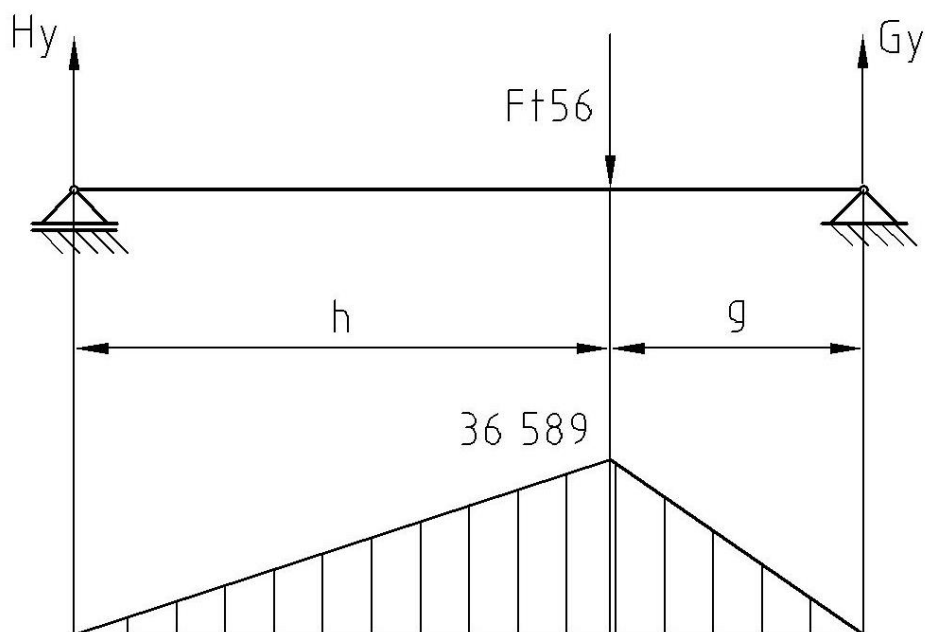
$$M_H: G_x \cdot (h + g) - F_{r56} \cdot h - F_{a56} \cdot d_{w6}/2 = 0 \quad (3.109)$$

$$G_x = \frac{F_{r56} \cdot h + F_{a56} \cdot d_{w6}/2}{(h + g)} = \frac{104\,931,216 \cdot 354 + 29\,857,39 \cdot 1\,046,342/2}{(354 + 204)}$$

$$G_x = 94\,563,016 \text{ N} \quad (3.110)$$

$$H_x = F_{r56} - G_x = 104\,931,216 - 94\,563,016 = 10\,368,199 \text{ N} \quad (3.111)$$

$$G_z = -F_{a56} = -29\,857,39 \text{ N} \quad (3.112)$$



obr. 19.: Hřídel č. 4 – rovina y-z

$$y: H_y + G_y + F_{t56} = 0 \quad (3.113)$$

$$M_H: G_y \cdot (h + g) + F_{t56} \cdot h = 0 \quad (3.114)$$

$$G_y = \frac{F_{t56} \cdot h}{(h + g)} = \frac{283\,907,709 \cdot 354}{(354 + 204)} = 180\,113,493 \text{ N} \quad (3.115)$$

$$H_y = F_{t56} - G_y = 283\,907,709 - (-180\,113,493) = 103\,794,216 \text{ N} \quad (3.116)$$

### 3.2.11 Výpočet ložisek

Reakce v podporách nosníků, vypočítané v předchozí podkapitole 3. 2. 10, jsou nezbytné pro výpočet ložisek z hlediska jejich trvanlivosti. Zařízení tohoto typu spadá do kategorie, kde se trvanlivost pohybuje v rozmezí 10 000 – 25 000 h. [20] Směrodatná hodnota pro další výpočty tak bude 16 000 h. Reakce ložisek a následný výpočet jejich trvanlivostí je uveden v příloze č. 6. Výsledky trvanlivostí se prakticky nelišili od těch vypočtených programem MITCalc. [21]. Zvolená ložiska byla vybrána z katalogu SKF a jejich přehled je v následující tabulce: [22]



tab. 3.: Základní parametry ložisek [22]

Ložisko	A	B	C	D	E	F	G	H
Označení ložiska	SKF TN9/Q		SKF 30322J2		SKF 32236 J2		SKF 32948	
Typ ložiska	kuželíkové		kuželíkové		kuželíkové		kuželíkové	
Vnitřní průměr d [mm]	65		110		180		240	
Vnější průměr D [mm]	120		240		320		320	
Tloušťka ložiska T [mm]	41		54,5		91		51	
Dovolené dynamické zatížení $C$ [kN]	194		473		1010		512	
Dovolené statické zatížení $C_0$ [kN]	270		585		1630		1080	
Omezující rychlost [ot/min]	5 300		2 800		1 900		1 900	

### 3.2.12 Pevnostní kontrola hřídelů

Jednotlivé hřídele převodovky jsou zatěžovány silami v ozubení. Působením přenášených sil (tečných, radiálních a axiálních) jsou namáhány kombinovaně, na ohyb a na krut. Je tedy nutné kontrolovat jejich zatížení a ve vybraných průřezech určit bezpečnost. [18] Podrobný výpočet statické bezpečnosti jednotlivých hřídelů je uveden v příloze č. 7.

### 3.2.13 Konstrukce převodové skříně

Pro skříň převodovky je použita šedá litina ČSN 42 2415, dle evropské normy EN-GJL-150. Tloušťka stěny je dle velikosti odlitku stanovena na 20 mm [23]. Příruby pro spojení vany a víka, dno skříně, připojovací lišty jsou zkonstruovány úměrně silnější s ohledem na technologické a provozní požadavky. Pro ložiskové domky jsou vytvořeny nálitky a tuhost skříně je zvýšena pomocí žeber. Spojovací šrouby vany a víka skříně jsou umístěny co nejbližší k vrtání ložisek, z důvodu minimalizace namáhání převodové skříně ohybovým momentem od reakcí ložisek. Otvory pro ložiska se uzavřou víčky. Ta víčka, jimiž procházející vstupní a výstupní hřídele, jsou opatřena hřídelovými těsněními, která zabraňují úniku oleje. [18] Poloha převodovky vyžaduje, aby vstupní hřídel byla těsněna ještě určitým přídavným hřídelovým těsněním, které je umístěno v příslušném

přídavném víčku nad hladinou oleje. S použitím pouze jednoho víčka, které by tak bylo z jedné strany přímo obklopeno olejem, by hrozil trvalý únik oleje. Konstrukční provedení je možno vidět na obr. 10. Ložisko mezi dvěma příslušnými víčky musí být při montáži namazáno tukem, jelikož v provozu se k němu žádný olej z převodové skříně nedostane. U ostatních ložisek se předpokládá mazání olejovou mlhou. [18]

V dělicí rovině skříně převodovky jsou úhlopříčně umístěny dva kuželové kolíky, kterými se středí vzájemná poloha vany a víka. Těsnění těchto dvou částí je realizováno tmelem a pro jejich snadnější demontáž je v dělicí rovině umístěn odtlačovací šroub. [18]. Skříň je dále opatřena odvzdušňovačem, který při zvýšení teploty oleje vyrovnává tlak s okolním prostředím.

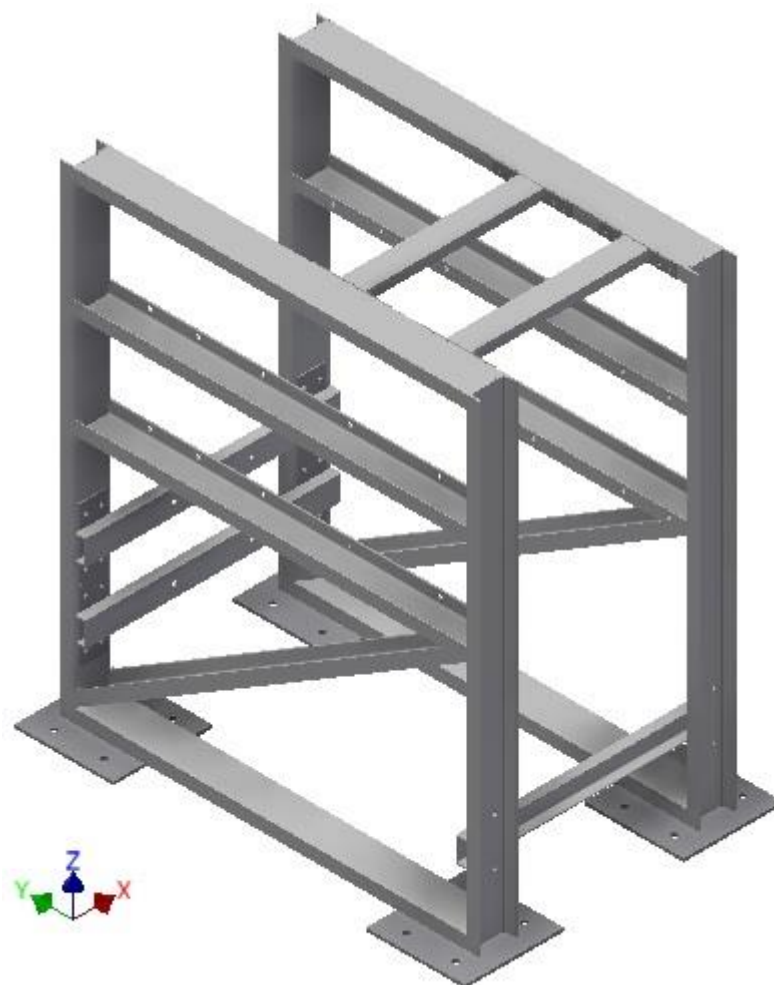
S ohledem na následnou montáž u nás vana a víko představují prakticky dvě totožné části s jistými konstrukčními úpravami, které jsou zřejmé ve vnitřní části skříně. Tvar a konstrukce skříně je zachycena na obr. 20. Je zde patrný i nalévací otvor pro plnění olejem, který je umístěn z boku převodové skříně. Zároveň slouží jako nahlížecí otvor pro vizuální kontrolu ozubení všech soukolí. Vypouštěcí otvor je realizován šroubením, na které by byla připojena hadice vedoucí ke vstupu zubového čerpadla. Pro bezproblémovou manipulaci jeřábem je skříň opatřena závěsnými šrouby. Výkres sestavení převodové skříně je součástí přílohy č. 8.



obr. 20.: Převodová skříň

### 3.3 Konstrukční návrh pohonu lanové dráhy

Navrhovaný pohon lyžařské lanovky se skládá z několika hlavních jednotek. Je jím elektromotor, převodovka, spojka mezi motorem a převodovkou, spojka mezi převodovkou a hřídelem hnaného zařízení – lanáčem a těleso pro upevnění ložiskového domku, určeného k uložení hřídele lanáče. Tyto jednotky, zvláště pak elektromotor a převodovka musí mít přesně stanovenou vzájemnou polohu. Jsou proto montovány ke společnému základnímu rámu. [18] Jak je z obr. 21. patrné, rám je navržen ze dvou svařovaných částí, které jsou k sobě spojeny nástavkami pomocí šroubů. Základními stavebními prvky jsou tak válcované profil typu U – ČSN 42 5570, pásy a plechy. Samotné nástavby jsou tvořeny U profily s přivařenými pásy oceli, které pak díky vyvrtaným otvorům můžeme snadno šroubovat k jednotlivým částím. Rám je zavětrován šikmými U profily, tak aby roznesl celkové zatížení od lanáče do celé konstrukce.



obr. 21.: Rám



### 3.3.1 Návrh spojek

Velikost spojky pro spojení elektromotoru a převodovky je charakterizována výpočtovým momentem spojky  $M_v$ , který je dán součinem provozního součinitele  $k$  a krouticím momentem na hřídeli elektromotoru  $M_{kelm}$ . Jeho hodnota musí být menší nebo rovna než udávaný krouticí moment spojky uvedený v katalogu. Součinitel  $k$  volím dle ČSN 02 5208, pro obě spojky užiji hodnotu rovnou 1,5. [18]

$$M_{kelm} = 1\,285,33 \text{ Nm} \quad (3.117)$$

$$M'_v = k \cdot M_{kelm} \leq M_v \quad (3.118)$$

$$M'_v = 1,5 \cdot 1\,285,33 = 1928 \text{ Nm} \quad (3.119)$$

Vzhledem k vypočtenému momentu  $M'_v$  volím pružnou spojku STROMAG PNA 225R – 2000 Nm [24]

$$M_v = 2000 \text{ Nm} \quad (3.120)$$

$$M'_v \leq M_v \quad (3.121)$$

Velikost spojky pro spojení převodovky a poháněcího lanáče spočítám obdobným způsobem, kde  $M_{kIV}$  je krouticí moment na výstupním hřídeli převodovky.

$$M_v = 145\,561,56 \text{ Nm} \quad (3.122)$$

$$M'_v = k \cdot M_{kIV} \leq M_v \quad (3.123)$$

$$M'_v = 1,5 \cdot 145\,561,56 \text{ Nm} = 218\,342,34 \text{ Nm} = 218,3 \text{ kNm} \quad (3.124)$$

Vzhledem k vypočtenému momentu  $M'_v$  volím zubovou spojku STROMAG PLA 280 – 275 kNm [25]

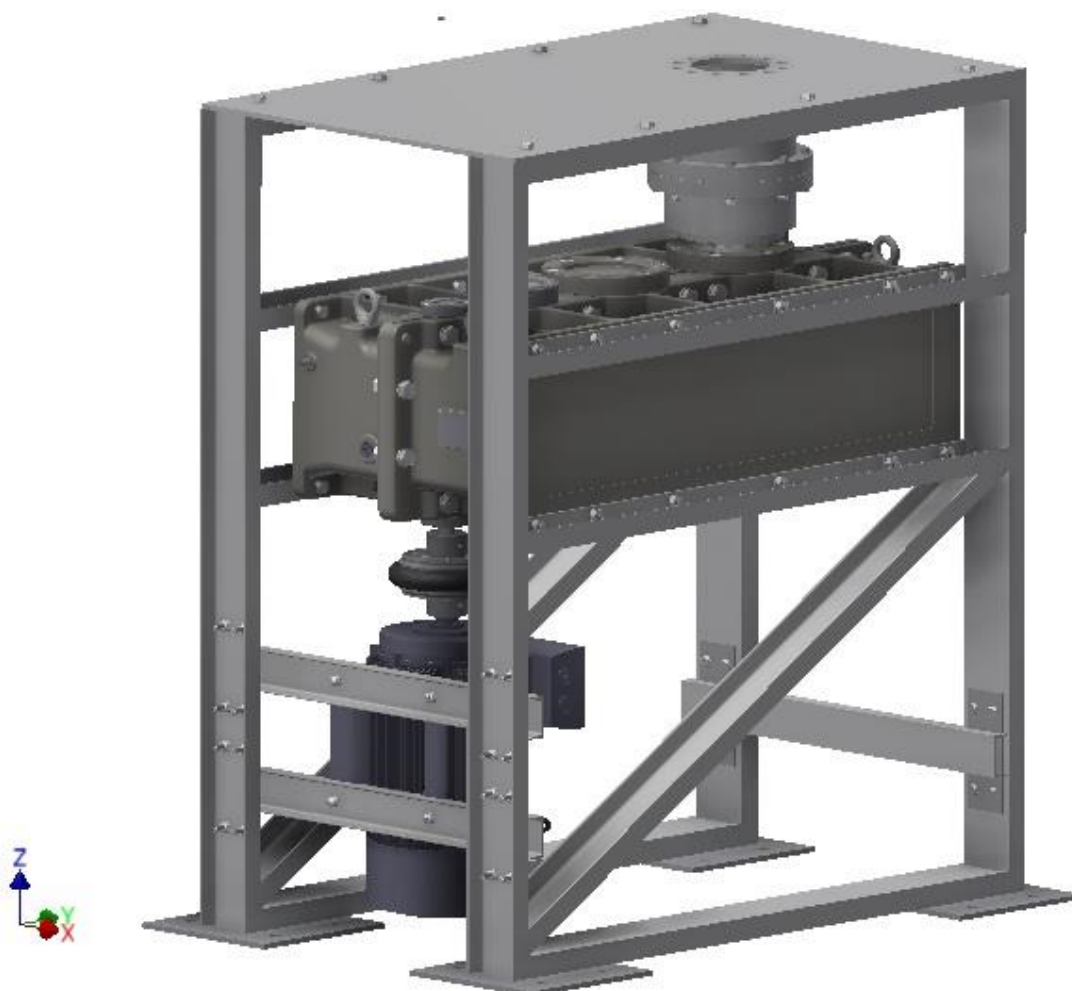
$$M_v = 275 \text{ kNm} \quad (3.125)$$

$$M'_v \leq M_v \quad (3.126)$$

### 3.3.2 Sestavení pohonu

Na obr. 22. je zobrazen celkový pohled pohonu lanové dráhy po montáži. Elektromotor je instalován pomocí šroubů a vyrovnávacích podložek na nástavby, které spojují dvě svařované části rámu.

Při montáži převodové skříně k rámu je nutná brát v potaz, že válcované profilu typu U mají úkosy. Je nutno vložit mezi matici a válcovaný profil speciálně tvarovanou podložku, taktéž s úkosem. [18] Spojení elektromotoru a převodovky je realizováno pružnou spojkou. Na výstupním hřídeli převodovky je umístěna zubová spojka. Na vrchní části rámu je pomocí šroubů upevněn plech, který má otvor pro hřídel *lanáče* a zároveň je opatřen otvory pro připojení ložiskového domku *lanáče*. Tento plech je při montáži instalován až po přišroubování převodové skříně ke dvěma svařovaným částem rámu. Výkres sestavení celého pohonu je součástí přílohy č. 8.



obr. 22.: Pohon lanové dráhy

## Závěr

Na začátku této práce jsem stručně popsal podstatu, význam a funkci lanových drah. Rešerši jsem zaměřil na počátky a vývoj lanové dopravy nejen v zahraničí, ale i na našem území. Rozdělil jsem typy lanových drah dle několika možných způsobů. Popsal jsem nejdůležitější části lanovek, kde nejdůkladněji jsem se věnoval těm částem, které se týkají pohonu těchto zařízení. Uvedl jsem přední výrobce lanových dopravních systémů.

Následoval samotný návrh pohonu, kde jsem na základě podobnosti s již existující lanovkou stanovil několik základních parametrů, konkrétně potřebný výkon elektromotoru, maximální dopravní rychlost a průměr *lanáče*. Na výkon elektromotoru jsem následně zkonstruoval převodovku. Zde byl splněn předpoklad z úvodu praktické části práce o možné použití převodovky s čelním ozubením místo běžně používané převodovky planetové. Ta byla společně s elektromotorem opatřena spojkami a vsazena do rámu, který zároveň tvoří sloup dolní stanice lanovky. Na horní straně rámu byl instalován plech, který je uzpůsoben tak, že je připraven pro připojení ložiskového domku lanáče.

Cíl této práce byl splněn, pohonný mechanismus jsem navrhl a zkonstruoval ve 3D modelu. Vytvořil jsem 2D sestavu převodovky a celého pohonu. Zároveň je návrh připraven pro další vývoj, který by vedl k finální realizaci kompletní lanové dráhy.

## Seznam zkratek a symbolů

Veličiny, u nichž není uvedena jednotka, jsou bezrozměrné.

symbol	jednotka	význam
$b_w$	[mm]	šířka pastorku
$d$	[mm]	průměr roztečné kružnice
$D$	[mm]	průměr hřídele
$D_L$	[m]	průměr lanáče
$F_a$	[N]	axiální síla v ozubení
$F_r$	[N]	radiální síla v ozubení
$F_t$	[N]	tečná síla v ozubení
$g$	[m.s <sup>-2</sup> ]	tíhové zrychlení
$i$		převodový poměr
$i_c$		celkový převodový poměr
$i_{ct}$		teoretický celkový převodový poměr
$k$		bezpečnost
$M_{kelm}$	[Nm]	krouticí moment na hřídeli elektromotoru
$m_n$		normální modul ozubení
$M_V$	[Nm]	krouticí moment spojky
$M_V'$	[Nm]	předběžný krouticí moment spojky
$n_{elm}$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky hřídele elektromotoru
$n_L$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky lanáče
$v_L$	[m/s]	rychlost lanáče
$W_K$	[mm <sup>3</sup> ]	průřezový modul v krutu
$z$		počet zubů
$\beta$	[°]	úhel sklonu zubů
$\eta$		účinnost
$\psi_m$		poměrná šířka ozubení
$\tau$	[Nmm <sup>-2</sup> ]	napětí v krutu

## Seznam použité literatury

- [1] VURSTA, Pavel. Osobní lanové dráhy v libereckém kraji [pdf]. 2012. Liberec : Liberecký kraj – odbor dopravy, 2012. [Citace: 18.5.2015]. Dostupné z: <http://doprava.kraj-lbc.cz/getFile/case:show/id:170064>
- [2] BILEK,R. VEŘEJNÉ LANOVÉ DRÁHY V ČECHÁCH A NA SLOVENSKU. [Online] [Citace: 22. 5 2015.] Dostupné z: <http://tram.rusign.com/cz/ld.htm#0>.
- [3] POLCER, Radim. Lanové dráhy v České republice. [Online] [Citace: 21. 5 2015.] Dostupné z: <http://www.lanove-drahy.cz/>.
- [4] POLCER, Radim. Seznam lanových drah v České republice. [Online] [Citace: 21. 5 2015.] Dostupné z: <http://www.lanove-drahy.cz/?page=lan>.
- [5] REMTA, František. *Visuté lanové dráhy*. 1. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1953.
- [6] Leitner ropeways - Elements of ropeways. [Online] [Citace: 5. 20 2015.] Dostupné z: <http://en.leitner-ropeways.com/Infocenter/Elements-of-Ropeways>.
- [7] Leitner ropeways - Elements of ropeway. [Online] [Citace: 24. 5 2015.] Dostupné z: [http://en.leitner-ropeways.com/var/storage/images/media/images/the-gondola/500870-1-eng-US/The-gondola\\_fullscreen.png](http://en.leitner-ropeways.com/var/storage/images/media/images/the-gondola/500870-1-eng-US/The-gondola_fullscreen.png).
- [8] portalmest.cz. [Online] [Citace: 25. 5 2015.] Dostupné z: <http://www.portalmest.cz/obrazky/vyhriwane-sedacky-lanove-drahy.jpg>.
- [9] Leitner ropeways - Elements of ropeways. [Online] [Citace: 25. 5 2015.] Dostupné z: [http://en.leitner-ropeways.com/var/storage/images/media/images/the-fixed-grip/500874-1-eng-US/The-Fixed-Grip\\_fullscreen.png](http://en.leitner-ropeways.com/var/storage/images/media/images/the-fixed-grip/500874-1-eng-US/The-Fixed-Grip_fullscreen.png).
- [10] Leitner ropewyas - Elements of ropeways. [Online] [Citace: 25. 5 2015.] Dostupné z: [http://en.leitner-ropeways.com/var/storage/images/media/images/the-detachable-grip/500878-1-eng-US/The-Detachable-Grip\\_fullscreen.png](http://en.leitner-ropeways.com/var/storage/images/media/images/the-detachable-grip/500878-1-eng-US/The-Detachable-Grip_fullscreen.png).
- [11] WOLFE, B. Skillifts.org. *Glossary of Aerial Lift Terms*. [Online] 2002. [Citace: 2015. 5 21.] Dostupné z: <http://www.skillifts.org/old/glossary.htm>.
- [12] KLIMEŠ, Daniel. DOPPELMAYR lanové dráhy. [Online] [Citace: 16. 5 2015.] Dostupné z: <http://www.doppelmayr.cz/>.
- [13] Leitner ropeways. [Online] [Citace: 28. 5 2015.] Dostupné z: <http://en.leitner-ropeways.com/Company-profile/History>.
- [14] CWA Constructions SA/Corp. [Online] [Citace: 28. 5 2015.] Dostupné z: [http://www.cwa.ch/en/about-\\_content---1--1007.html](http://www.cwa.ch/en/about-_content---1--1007.html).



- [15] POLCER, Radim. Lanové dráhy v České republice. [Online] [Citace: 4. 6 2015.] Dostupné z: <http://www.lanove-drahy.cz/?page=lan&lan=92>.
- [16] Siemens Elektromotory, .s.r.o. Katalog - trojfázové asynchronní motory. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] Dostupné z: [http://www.elektromotory.net/upload/file/katalog\\_1lg4.pdf](http://www.elektromotory.net/upload/file/katalog_1lg4.pdf)
- [17] SIEMENS Industry Mall. [Online] [Citace: 27. 5 2015.] Dostupné z: <https://mall.industry.siemens.com/mall/cs/cz/Catalog/Product/?mlfb=1LG4317-4AA...>
- [18] KUGL, Otmar; HOUKAL, Jiří; TOMEK, Pavel; ZÝMA, Jiří. *PROJEKT - III. ročník*. Praha. Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03205-1
- [19] Ú12113 Ústav konstruování a částí strojů - Konstrukční cvičení + Projekt. [Online] [Citace: 26. 2 2015.] Dostupné z: [http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12113/Prezencni/Projekt\\_KC/Projekt\\_KC.HTM](http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12113/Prezencni/Projekt_KC/Projekt_KC.HTM)[http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12113/Prezencni/Projekt\\_KC/Projekt\\_KC.HTM](http://www1.fs.cvut.cz/cz/u12113/Prezencni/Projekt_KC/Projekt_KC.HTM).
- [20] EngiLab Beam.2D Overview. [Online] [Citace: 24. 3 2015.] Dostupné z: <http://www.engilab.com/products/engilab-beam-2d>.
- [21] MITCalc. [Online] [Citace: 9. 4 2015.] Dostupné z: <http://www.mitcalc.cz/doc/bearings/help/cz/bearingskf.htm>.
- [22] PETELE, Miroslav. MITCalc. [Online] [Citace: 9. 4 2015.] Dostupné z: <http://www.mitcalc.cz/cz/download.htm>.
- [23] SKF, Sídlo skupiny. SKF Česká republika. [Online] [Citace: 9. 4 2015.] Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/single-row/index.html>.
- [24] FIŠER, Petr. Odlitky v technické dokumentaci. [Online] [Citace: 2. 3 2015.] Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=29339](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29339).
- [25] AG Stromag. Stromag Brno - Stromag Periflex - Katalog. [Online] [Citace: 3. 5 2015.] Dostupné z: [http://www.stromag.cz/cs/f/stromag\\_cs/p/Pru%C5%BEn%C3%A9%20spojky/Spojky%20Periflex.pdf](http://www.stromag.cz/cs/f/stromag_cs/p/Pru%C5%BEn%C3%A9%20spojky/Spojky%20Periflex.pdf).
- [26] AG Stromag. Stromag Brno - Katalogy zubových spojek - Typ: PLA. [Online] [Citace: 2. 5 2015.] Dostupné z: <http://www.stromag.cz/cs/c/spojky/katalogy-zubovych-spojek.htm>.

## Seznam obrázků

obr. 1.: Celkový počet lanovek v ČR.....	4
obr. 2.: Nově postavené lanovky v ČR.....	4
obr. 3.: Kabina lanovky .....	7
obr. 4.: Sedačky lanovky .....	7
obr. 5.: Neodnímatelné připojení .....	8
obr. 6.: Odnímatelné připojení.....	8
obr. 7.: Pohon lanové dráhy .....	10
obr. 8.: Elektromotor Siemens.....	13
obr. 9. : Schéma pohonu .....	14
obr. 10.: Horní pohled do převodové skříně .....	20
obr. 11.: Síly v ozubení.....	21
obr. 12.: Hřídel č. 1 – rovina x-z .....	22
obr. 13.: Hřídel č. 1 – rovina y-z .....	23
obr. 14.: Hřídel č. 2 – rovina x-z .....	24
obr. 15.: Hřídel č. 2 – rovina y-z .....	25
obr. 16.: Hřídel č. 3 – rovina x-z .....	26
obr. 17.: Hřídel č. 3 – rovina y-z .....	27
obr. 18.: Hřídel č. 4 – rovina x-z .....	28
obr. 19.: Hřídel č. 4 – rovina y-z .....	29
obr. 20.: Převodová skříň .....	31
obr. 21.: Rám.....	32
obr. 22.: Pohon lanové dráhy .....	34

## Seznam tabulek

tab. 1.: Technické parametry lanovky .....	12
tab. 2.: Technická data elektromotoru.....	13
tab. 3.: Základní parametry ložisek .....	30



## Seznam příloh

Příloha č.1: Seznam technických norem týkající se osobních lanových drah .....	41
Příloha č.2: Návrh modulů ozubení.....	43
Příloha č.3: Návrh a kontrola lisování náboj - hřídel .....	45
Příloha č.4: Kontrola ozubení .....	48
Příloha č.5: Výpočet sil v ozubení .....	49
Příloha č.6: Výpočet trvanlivost ložisek.....	51
Příloha č.7: Statická kontrola hřídelí.....	55
Příloha č.8: Výkresy.....	57





## Příloha č. 1 - Seznam technických norem týkajících se osobních lanových drah

Norma	Popis
ČSN EN 1907	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Terminologie
ČSN EN 1709	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Inspekce před uvedením do provozu, údržba, provozní kontroly a zkoušky
ČSN EN 1908	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Napínací zařízení
ČSN EN 1909	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Obnovení provozu a evakuace
ČSN EN 12397	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Provoz
ČSN EN 12408	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Zabezpečování kvality
ČSN EN 12927-1	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Lana - Část 1: Kritéria výběru lan a upevnění konců lan
ČSN EN 12927-2	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Lana - Část 2: Součinitele bezpečnosti
ČSN EN 12927-3	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Lana - Část 3: Záplet šestipramenných tažných, dopravních a vlečných lan
ČSN EN 12927-4	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Lana - Část 4: Upevnění konců lan
ČSN EN 12927-5	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Lana - Část 5: Skladování, doprava, pokládání a napínání
ČSN EN 12927-6	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Lana - Část 6: Kritéria vyřazení
ČSN EN 12927-7	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Lana - Část 7: Kontrola, oprava a údržba
ČSN EN 12927-8	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Lana - Část 8: Magnetické defektoskopické zkoušení lan
ČSN EN 12929-1	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Všeobecné požadavky - Část 1: Požadavky na všechna zařízení
ČSN EN 12929-2	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Všeobecné požadavky - Část 2: Doplnující požadavky na kyvadlové dvoulanové visuté lanové dráhy bez brzd na běhounu
ČSN EN 12930	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Výpočty
ČSN EN 13107	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Stavební objekty
ČSN EN 13223	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Poháněcí a další mechanická zařízení



ČSN EN 13243	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Elektrická zařízení mimo poháněcí zařízení
ČSN EN 13796-1	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Vozy - Část 1: Uchycení, běhouny, vozové brzdy, kabiny, sedačky, uzavřené vozy, montážní vozy, vlečné závěsy
ČSN EN 13796-2	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Vozy - Část 2: Zkoušky odporu uchycení proti skluzu
ČSN EN 13796-3	Bezpečnostní požadavky na osobní lanové dráhy - Vozy - Část 3: Zkoušky na únavu

Zdroj: Seznam technických norem ČSN – třída 2730 – Visuté lanové dráhy osobní.

Normy.biz [online]. [cit. 2015-05-15]. Dostupné z:

<http://shop.normy.biz/search/result?values%5Bfind%5D=lanov%C3%A9+dr%C3%A1hy>

## Příloha č. 2 - Návrh modulů ozubení

Mez únavy v ohybu bude  $\sigma_{Flimb}^0 = 700 \text{ Nmm}^{-2}$ , mez únavy v dotyku

$$\sigma_{Hlimb}^0 = 1\,270 \text{ Nmm}^{-2} [18]$$

$$m'_{ni} = f_p \cdot \sqrt[3]{\frac{K_{Fi} \cdot M_{ki} \cdot \cos \beta_i}{\left(\frac{b_{wF}}{m_n}\right) \cdot z_i \cdot \sigma_{Fp}}}$$

$$f_p = 18$$

$$\psi_m = \frac{b_{wF}}{m_n} = 15 \div 25 \rightarrow \psi_m = 20$$

$$\sigma_{Fp} = 0,6 \cdot \sigma_{Flimb}^0 = 0,6 \cdot 700 = 420 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$\psi_D = 0,8$$

$$K_F = K \cdot K_{H\beta}$$

$$k_A = 1$$

Odečteno z grafů dle použité literatury [18, str.24]

$$K_{H\beta 12} = 1,42$$

$$K_{H\beta 34} = 1,32$$

$$K_{H\beta 56} = 1,24$$

$$\beta_{12} = 10^\circ$$

$$\beta_{34} = 8^\circ$$

$$\beta_{56} = 6^\circ$$

$$m'_{n1} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 1,42 \cdot 1\,285,33 \cdot \cos 10^\circ}{20 \cdot 25 \cdot 420}} = 3,682 \text{ mm}$$

$$m'_{n2} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 1,42 \cdot 7\,456,97 \cdot \cos 10^\circ}{20 \cdot 148 \cdot 420}} = 3,657 \text{ mm}$$

$$m'_{n3} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 1,32 \cdot 7\,456,97 \cdot \cos 8^\circ}{20 \cdot 19 \cdot 420}} = 7,089 \text{ mm}$$

$$m'_{n4} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 1,32 \cdot 38\,846,88 \cdot \cos 8^\circ}{20 \cdot 101 \cdot 420}} = 7,041 \text{ mm}$$

$$m'_{n5} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 1,24 \cdot 38\,846,88 \cdot \cos 6^\circ}{20 \cdot 17 \cdot 420}} = 12,507 \text{ mm}$$

$$m'_{n6} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1 \cdot 1,24 \cdot 145\,561,56 \cdot \cos 6^\circ}{20 \cdot 65 \cdot 420}} = 12,423 \text{ mm}$$

Pro srovnání použil i Bachův vzorec, kde rychlostní součinitel  $c = 8$  a poměrná šířka ozubení  $\psi = 20$ .

$$m'_i = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot M_{ki} \cdot \cos \beta_i}{\pi \cdot c \cdot \psi \cdot z_i}}$$

$$m'_1 = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 1\,285,33 \cdot 10^3 \cdot \cos 10^\circ}{\pi \cdot 10 \cdot 20 \cdot 25}} = 5,442 \text{ mm}$$

$$m'_2 = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 7\,456,97 \cdot 10^3 \cdot \cos 10^\circ}{\pi \cdot 10 \cdot 20 \cdot 148}} = 5,405 \text{ mm}$$

$$m'_3 = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 7\,456,97 \cdot 10^3 \cdot \cos 8^\circ}{\pi \cdot 10 \cdot 20 \cdot 19}} = 10,715 \text{ mm}$$

$$m'_4 = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 38\,846,88 \cdot 10^3 \cdot \cos 8^\circ}{\pi \cdot 10 \cdot 20 \cdot 101}} = 10,643 \text{ mm}$$

$$m'_5 = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 38\,846,88 \cdot 10^3 \cdot \cos 6^\circ}{\pi \cdot 10 \cdot 20 \cdot 17}} = 19,277 \text{ mm}$$

$$m'_6 = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 145\,561,56 \cdot 10^3 \cdot \cos 6^\circ}{\pi \cdot 10 \cdot 20 \cdot 65}} = 19,148 \text{ mm}$$

## Příloha č. 3 – Návrh a kontrola lisování náboj – hřídel

### Lisování za studena

#### Kolo č. 2 na hřídeli č.2

$$k = 1,1$$

$$f = 0,12$$

$$L = 66 \text{ mm}$$

$$M_{k2} = 7456,97 \text{ Nm}$$

$$d_H = 114 \text{ mm}$$

$$d_N = 198 \text{ mm}$$

$$k \cdot M_k \leq M_t = F_t \cdot \frac{d_h}{2} = F_N \cdot f \cdot \frac{d_H}{2} = 0,5 \cdot p_{min} \cdot \pi \cdot d_H \cdot L \cdot f \cdot d_H$$

$$p_{min} = \frac{2 \cdot k \cdot M_k}{\pi \cdot d_H \cdot L \cdot f} = \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 7456,97 \cdot 10^3}{\pi \cdot 114 \cdot 66 \cdot 0,12} = 49,24 \text{ MPa}$$

$$\Delta d = |\Delta d_H| + |\Delta d_N|$$

$$E_N = E_H = E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

$$\mu_N = \mu_H = \mu$$

$$c_N = \frac{d_N^2 + d_H^2}{d_N^2 - d_H^2} = \frac{198^2 + 114^2}{198^2 - 114^2} = 1,893$$

$$c_H = 1$$

$$\Delta d_{min} = p_{min} d_H \cdot \left[ \frac{c_N + \mu_N}{E_N} + \frac{c_H - \mu_H}{E_H} \right] = p_{min} d_H \cdot \frac{c_N + 1}{E} = 49,24 \cdot 114 \cdot \frac{1,893 + 1}{2,1 \cdot 10^5}$$

$$\Delta d_{min} = 0,07733 \text{ mm}$$

$$w = 5,5 \cdot (Ra^H + Ra^N) = 5,5 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 10^{-3} = 0,0077 \text{ mm}$$

$$\Delta d_{wmin} = \Delta d_{min} + w = 0,07733 + 0,0077 = 0,08503 \text{ mm}$$

volba uložení: H7/u6 (0,035;0)/ (0,144; +0,166)

$$\Delta_{max} = 0,166 \text{ mm}$$

$$\Delta d_{max} = \Delta_{max} - w = 0,166 - 0,0077 = 0,1583$$

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{max} \cdot E}{d_H \cdot (c_N + 1)} = \frac{0,1583 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{114 \cdot (1,893 + 1)} = 104,47 \text{ MPa}$$

Hypotéza  $\tau_{max}$ :

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3 = p_{max} \cdot (c_N + 1) = 104,47 \cdot (1,893 + 1) = 302,2 \text{ Nmm}^{-2} \leq \frac{\sigma_{kt}}{k} = \frac{600}{1,1}$$



$$F_L = F_T = F_N \cdot f = \pi \cdot d_H \cdot L \cdot p_{max} \cdot f = \pi \cdot 114 \cdot 66 \cdot 104,467 \cdot 0,12$$

$$F_L = 296\,319,6 \text{ N} = 296,32 \text{ kN} - \text{lisovací síla}$$

### Kolo č. 4 na hřídeli č.3

$$L = 134 \text{ mm}$$

$$M_{k3} = 38\,846,88 \text{ Nm}$$

$$d_H = 184 \text{ mm}$$

$$d_N = 324 \text{ mm}$$

$$k \cdot M_k \leq M_t = F_t \cdot \frac{d_h}{2} = F_N \cdot f \cdot \frac{d_H}{2} = 0,5 \cdot p_{min} \cdot \pi \cdot d_H \cdot L \cdot f \cdot d_H$$

$$p_{min} = \frac{2 \cdot k \cdot M_k}{\pi \cdot d_H \cdot L \cdot f} = \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 38\,846,88 \cdot 10^3}{\pi \cdot 184 \cdot 134 \cdot 0,12} = 49,23 \text{ MPa}$$

$$\Delta d = |\Delta d_H| + |\Delta d_N|$$

$$E_N = E_H = E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

$$\mu_N = \mu_H = \mu$$

$$c_N = \frac{d_N^2 + d_H^2}{d_N^2 - d_H^2} = \frac{324^2 + 184^2}{324^2 - 184^2} = 1,893$$

$$c_H = 1$$

$$\Delta d_{min} = p_{min} d_H \cdot \left[ \frac{c_N + \mu_N}{E_N} + \frac{c_H - \mu_H}{E_H} \right] = p_{min} d_H \cdot \frac{c_N + 1}{E} = 49,23 \cdot 184 \cdot \frac{1,893 + 1}{2,1 \cdot 10^5}$$

$$\Delta d_{min} = 0,124\,795 \text{ mm}$$

$$w = 5,5 \cdot (Ra^H + Ra^N) = 5,5 \cdot (1,6 + 0,6) \cdot 10^{-3} = 0,017\,6 \text{ mm}$$

$$\Delta d_{wmin} = \Delta d_{min} + w = 0,124\,795 + 0,017\,6 = 0,08503 \text{ mm}$$

volba uložení: H7/u6 (0,046;0)/ (0,236; +0,265)

$$\Delta_{max} = 0,265 \text{ mm}$$

$$\Delta d_{max} = \Delta_{max} - w = 0,265 - 0,017\,6 = 0,247\,4$$

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{max} \cdot E}{d_H \cdot (c_N + 1)} = \frac{0,247\,4 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{184 \cdot (1,893 + 1)} = 99,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3 = p_{max} \cdot (c_N + 1) = 99,75 \cdot (1,893 + 1) = 288,63 \text{ Nmm}^{-2} \leq \frac{\sigma_{kt}}{k} = \frac{600}{1,1}$$

$$F_L = F_T = F_N \cdot f = \pi \cdot d_H \cdot L \cdot p_{max} \cdot f = \pi \cdot 184 \cdot 134 \cdot 99,75 \cdot 0,12$$

$$F_L = 927\,413,1 \text{ N} = 927,41 \text{ kN} - \text{lisovací síla}$$

**Kolo č. 6 na hřídeli č. 4**

$$L = 270 \text{ mm}$$

$$M_{k4} = 145\,561,56 \text{ Nm}$$

$$d_H = 244 \text{ mm}$$

$$d_N = 432 \text{ mm}$$

$$k \cdot M_k \leq M_t = F_t \cdot \frac{d_h}{2} = F_N \cdot f \cdot \frac{d_H}{2} = 0,5 \cdot p_{min} \cdot \pi \cdot d_H \cdot L \cdot f \cdot d_H$$

$$p_{min} = \frac{2 \cdot k \cdot M_k}{\pi \cdot d_H \cdot L \cdot f} = \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 145\,561,56 \cdot 10^3}{\pi \cdot 244 \cdot 270 \cdot 0,12} = 52,46 \text{ MPa}$$

$$\Delta d = |\Delta d_H| + |\Delta d_N|$$

$$E_N = E_H = E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

$$\mu_N = \mu_H = \mu$$

$$c_N = \frac{d_N^2 + d_H^2}{d_N^2 - d_H^2} = \frac{432^2 + 244^2}{432^2 - 244^2} = 1,893$$

$$c_H = 1$$

$$\Delta d_{min} = p_{min} d_H \cdot \left[ \frac{c_N + \mu_N}{E_N} + \frac{c_H - \mu_H}{E_H} \right] = p_{min} d_H \cdot \frac{c_N + 1}{E} = 52,46 \cdot 244 \cdot \frac{1,893 + 1}{2,1 \cdot 10^5}$$

$$\Delta d_{min} = 0,176\,314 \text{ mm}$$

$$w = 5,5 \cdot (Ra^H + Ra^N) = 5,5 \cdot (1,6 + 0,6) \cdot 10^{-3} = 0,017\,6 \text{ mm}$$

$$\Delta d_{wmin} = \Delta d_{min} + w = 0,176\,314 + 0,017\,6 = 0,193\,914 \text{ mm}$$

volba uložení: H7/u6 (0,046;0)/ (0,284; +0,313)

$$\Delta d_{max} = 0,313 \text{ mm}$$

$$\Delta d_{max} = \Delta d_{max} - w = 0,313 - 0,017\,6 = 0,295\,4$$

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{max} \cdot E}{d_H \cdot (c_N + 1)} = \frac{0,295\,4 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{244 \cdot (1,893 + 1)} = 89,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{red} = \sigma_1 - \sigma_3 = p_{max} \cdot (c_N + 1) = 89,35 \cdot (1,893 + 1) = 258,48 \text{ Nmm}^{-2} \leq \frac{\sigma_{kt}}{k} = \frac{600}{1,1}$$

$$F_L = F_T = F_N \cdot f = \pi \cdot d_H \cdot L \cdot p_{max} \cdot f = \pi \cdot 244 \cdot 270 \cdot 89,35 \cdot 0,12$$

$$F_L = 2\,219\,096,9 \text{ N} = 2\,219 \text{ kN} - \text{lisovací síla}$$



## Příloha č. 4 – Kontrola ozubení

$S_F$  - Součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového lomu

$S_H$  - Součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového poškození zubů

kolo číslo	$S_F$	$S_H$
1	2,146	1,403
2	2,146	1,403
3	1,988	1,164
4	2,062	1,164
5	2,33	1,144
6	2,485	1,144



## Příloha č. 5 – Výpočet sil v ozubení

### Průměry valivých kružnic

$$d_{w1} = d_1 \cdot \frac{\cos \alpha_{t12}}{\cos \alpha_{tw12}} = 101,543 \cdot \frac{\cos 20,283\ 56^\circ}{\cos 20,133\ 74^\circ} = 101,445\ 09\ \text{mm}$$

$$d_{w2} = d_2 \cdot \frac{\cos \alpha_{t12}}{\cos \alpha_{tw12}} = 601,133 \cdot \frac{\cos 20,283\ 56^\circ}{\cos 20,133\ 74^\circ} = 600,554\ 91\ \text{mm}$$

$$d_{w3} = d_3 \cdot \frac{\cos \alpha_{t34}}{\cos \alpha_{tw34}} = 153,494 \cdot \frac{\cos 20,180\ 76^\circ}{\cos 20,271\ 53^\circ} = 153,583\ 33\ \text{mm}$$

$$d_{w4} = d_4 \cdot \frac{\cos \alpha_{t34}}{\cos \alpha_{tw34}} = 815,941 \cdot \frac{\cos 20,180\ 76^\circ}{\cos 20,271\ 53^\circ} = 816,416\ 66\ \text{mm}$$

$$d_{w5} = d_5 \cdot \frac{\cos \alpha_{t34}}{\cos \alpha_{tw34}} = 273,498 \cdot \frac{\cos 20,101\ 37^\circ}{\cos 20,192\ 97^\circ} = 273,658\ 54\ \text{mm}$$

$$d_{w6} = d_6 \cdot \frac{\cos \alpha_{t34}}{\cos \alpha_{tw34}} = 1\ 045,729 \cdot \frac{\cos 20,101\ 37^\circ}{\cos 20,192\ 97^\circ} = 1\ 046,341\ 461\ \text{mm}$$

### Valivé úhly

$$\beta_{w12} = \text{atan} \left( \tan \beta_{12} \cdot \frac{\cos \alpha_{t12}}{\cos \alpha_{tw12}} \right) = \text{atan} \left( \tan 10^\circ \cdot \frac{\cos 20,283\ 56^\circ}{\cos 20,133\ 74^\circ} \right) = 9,990\ 06^\circ$$

$$\beta_{w34} = \text{atan} \left( \tan \beta_{34} \cdot \frac{\cos \alpha_{t34}}{\cos \alpha_{tw34}} \right) = \text{atan} \left( \tan 8^\circ \cdot \frac{\cos 20,180\ 76^\circ}{\cos 20,271\ 53^\circ} \right) = 8,004\ 61^\circ$$

$$\beta_{w56} = \text{atan} \left( \tan \beta_{56} \cdot \frac{\cos \alpha_{t56}}{\cos \alpha_{tw56}} \right) = \text{atan} \left( \tan 6^\circ \cdot \frac{\cos 20,101\ 37^\circ}{\cos 20,192\ 97^\circ} \right) = 6,003\ 49^\circ$$

$$\tan \alpha_{nw} = \cos \beta_w \cdot \tan \alpha_{tw}$$

$$\alpha_{nw12} = \text{atan}(\cos \beta_{w12} \cdot \tan \alpha_{tw12}) = \text{atan}(\cos 9,990\ 06^\circ \cdot \tan 20,133\ 74^\circ) = 19,852\ 48^\circ$$

$$\alpha_{nw34} = \text{atan}(\cos \beta_{w34} \cdot \tan \alpha_{tw34}) = \text{atan}(\cos 8,004\ 61^\circ \cdot \tan 20,271\ 53^\circ) = 20,089\ 88^\circ$$

$$\alpha_{nw56} = \text{atan}(\cos \beta_{w56} \cdot \tan \alpha_{tw56}) = \text{atan}(\cos 6,003\ 49^\circ \cdot \tan 20,192\ 97^\circ) = 20,091\ 10^\circ$$

### Soukolí 1,2

$$F_{t12} = F_{t21} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{d_{w1}} = \frac{2 \cdot 128\ 532\ 9,7}{101,445\ 09} = 25\ 340,404\ \text{N}$$

$$F_{r12} = F_{r21} = F_{t12} \cdot \frac{\tan \alpha_{wn12}}{\cos \beta_{w12}} = 25\ 340,404 \cdot \frac{\tan 19,852\ 48^\circ}{\cos 9,990\ 06^\circ} = 9442,676\ \text{N}$$

$$F_{a12} = F_{a21} = F_{t12} \cdot \tan \beta_{w12} = 25\ 340,404 \cdot \tan 9,990\ 06^\circ = 4463,815\ \text{N}$$



### Soukolí 3,4

$$F_{t34} = F_{t43} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{d_{w3}} = \frac{2 \cdot 7456969}{153,583\ 33} = 97\ 106,488\ \text{N}$$

$$F_{r34} = F_{t43} \cdot \frac{\tan \alpha_{wn34}}{\cos \beta_{w34}} = 97\ 106,488 \cdot \frac{\tan 20,089\ 88^\circ}{\cos 8,004\ 61^\circ} = 36\ 197,142\ \text{N}$$

$$F_{a34} = F_{t43} \cdot \tan \beta_{w34} = 97\ 106,488 \cdot \tan 8,004\ 61^\circ = 13\ 655,388\ \text{N}$$

### Soukolí 5,6

$$F_{t56} = F_{t65} = \frac{2 \cdot M_{k3}}{d_{w5}} = \frac{2 \cdot 388\ 468\ 84}{273,659\ 54} = 283\ 907,71\ \text{N}$$

$$F_{r56} = F_{t65} \cdot \frac{\tan \alpha_{wn56}}{\cos \beta_{w56}} = 97\ 106,488 \cdot \frac{\tan 20,091\ 10^\circ}{\cos 6,003\ 49^\circ} = 104\ 931,216\ \text{N}$$

$$F_{a56} = F_{t65} \cdot \tan \beta_{w56} = 97\ 106,488 \cdot \tan 6,003\ 49^\circ = 29\ 857,39\ \text{N}$$

## Příloha č. 6 – Výpočet trvanlivosti ložisek

$$A_r = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

$$A_r = \sqrt{(-6\,396,278)^2 + (-16\,076,17)^2}$$

$$A_r = 17\,301,897 \text{ N}$$

$$A_a = A_z = 4\,463,815 \text{ N}$$

$$A_{ac} = A_a + V \cdot \rho \cdot g = A_a + ((\pi \cdot d_1^2 \cdot b)/4) \cdot \rho \cdot g$$

$$A_{ac} = 4\,463,815 + ((\pi \cdot 0,1015^2 \cdot 0,072)/4) \cdot 7850 \cdot 9,81 = 4\,508,7 \text{ N}$$

$$B_r = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}$$

$$B_r = \sqrt{(-3\,046,398)^2 + (-9\,264,234)^2}$$

$$B_r = 9\,752,259 \text{ N}$$

$$B_a = 0$$

$$C_r = \sqrt{C_x^2 + C_y^2}$$

$$C_r = \sqrt{(-2\,049,377)^2 + 39\,047,598^2}$$

$$C_r = 39\,101,34 \text{ N}$$

$$C_a = C_z = 9\,191,573 \text{ N}$$

$$C_{ac} = C_a + V \cdot \rho \cdot g = C_a + ((\pi \cdot d_2^2 \cdot b) + (\pi \cdot d_3^2 \cdot b)/4) \cdot \rho \cdot g$$

$$C_{ac} = 9\,191,573 + ((\pi \cdot 0,601^2 \cdot 0,068) + (\pi \cdot 0,153^2 \cdot 0,144)/4) \cdot 7850 \cdot 9,81$$

$$C_{ac} = 10\,881 \text{ N}$$

$$D_r = \sqrt{D_x^2 + D_y^2}$$

$$D_r = \sqrt{(-24\,7050,089)^2 + 83\,399,295^2}$$

$$D_r = 86\,981,514 \text{ N}$$

$$D_a = 0$$

$$E_r = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

$$E_r = \sqrt{(-55\,338,26)^2 + (-203\,085,92)^2}$$

$$E_r = 210\,489,448 \text{ N}$$



$$E_a = E_z = 16\,202\,N$$

$$E_{ac} = E_a + V \cdot \rho \cdot g = C_a + ((\pi \cdot d_4^2 \cdot b) + (\pi \cdot d_5^2 \cdot b)/4) \cdot \rho \cdot g$$

$$E_{ac} = 16\,202 + ((\pi \cdot 0,816^2 \cdot 0,136) + (\pi \cdot 0,274^2 \cdot 0,288)/4) \cdot 7850 \cdot 9,81$$

$$E_{ac} = 22\,986,8\,N$$

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$F_r = \sqrt{(-13\,395,814)^2 + (-177\,929,278)^2}$$

$$F_r = 178\,432,832\,N$$

$$F_a = 0$$

$$G_r = \sqrt{G_x^2 + G_y^2}$$

$$G_r = \sqrt{94\,563,016 + 180\,113,493^2}$$

$$G_r = 203\,428,2\,N$$

$$G_a = |G_z| = 29\,857,39\,N$$

$$G_{ac} = G_a + V \cdot \rho \cdot g = C_a + ((\pi \cdot d_6^2 \cdot b)/4) \cdot \rho \cdot g$$

$$G_{ac} = 29\,857,39 - ((\pi \cdot 1,046^2 \cdot 0,272)/4) \cdot 7850 \cdot 9,81$$

$$G_{ac} = 11\,857,87\,N$$

$$H_r = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$$

$$H_r = \sqrt{10\,368,199^2 + 103\,794,216^2}$$

$$H_r = 104\,310,78\,N$$

$$H_a = 0$$

$$L_{hi} = \left(\frac{C_i}{F_i}\right)^P \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_i} \leq 16\,000\,h$$

$$P = \frac{10}{3} \dots \text{pro jiná než kuličková ložiska}$$

$$F = X \cdot |F_r| + Y \cdot |F_a|$$

### Ložisko 1,2

$$Y = 1,5; Y_0 = 0,8; e = 0,4$$

$$F_{aA} = \frac{F_{ra}}{2 \cdot Y} = \frac{17301,9}{2 \cdot 1,5} = 5767,3\,N$$



$$F_{aB} = \frac{F_{rb}}{2 \cdot Y} = \frac{9752,3}{2 \cdot 1,5} = 3250,7 \text{ N}$$

$$F_{aiA} = F_{aA} + F_{Aozub} = 5767,3 + 4509 = 10\,276 \text{ N}$$

$$F_{aiB} = F_{aB} = 3250,7 \text{ N}$$

$$\frac{F_{aiA}}{F_{ra}} = \frac{10\,276}{17301,9} = 0,59 > 0,4 \rightarrow X = 0,4 \quad Y = tab$$

$$\frac{F_{aiB}}{F_{rb}} = \frac{3250,7}{9752,3} = 0,33 < 0,4 \rightarrow X = 1 \quad Y = 0$$

$$L_{h1} = \left(\frac{C_1}{F_1}\right)^P \frac{10^6}{60 \cdot n_1} = \left(\frac{194\,000}{0,4 \cdot |17\,301,9| + 1,5 \cdot 0,8 \cdot |10\,276|}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1\,486} = 24\,789 \text{ h}$$

$$L_{h2} = \left(\frac{C_2}{F_2}\right)^P \frac{10^6}{60 \cdot n_2} = \left(\frac{194\,000}{1 \cdot |9\,752,3|}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 1\,486} = 239\,228 \text{ h}$$

### Ložisko 3,4

$$Y = 1,7; Y_0 = 0,9; e = 0,35$$

$$F_{aA} = \frac{F_{ra}}{2 \cdot Y} = \frac{39\,101,34}{2 \cdot 1,7} = 11\,500,4 \text{ N}$$

$$F_{aB} = \frac{F_{rb}}{2 \cdot Y} = \frac{86\,981,52}{2 \cdot 1,7} = 25\,582,8 \text{ N}$$

$$F_{aiA} = F_{aA} + F_{Aozub} = 11\,500,4 + 10\,881 = 22\,381,4 \text{ N}$$

$$F_{aiB} = F_{aB} = 25\,582,8 \text{ N}$$

$$\frac{F_{aiA}}{F_{ra}} = \frac{22\,381,4}{39\,101,34} = 0,57 > 0,35 \rightarrow X = 0,4 \quad Y = tab$$

$$\frac{F_{aiB}}{F_{rb}} = \frac{25\,582,8}{86\,981,52} = 0,29 < 0,4 \rightarrow X = 1 \quad Y = 0$$

$$L_{h3} = \left(\frac{C_3}{F_3}\right)^P \frac{10^6}{60 \cdot n_3} = \left(\frac{473\,000}{0,4 \cdot |39\,101,34| + 1,7 \cdot 0,9 \cdot |22\,381,4|}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 251,01}$$

$$L_{h3} = 119\,809 \text{ h}$$

$$L_{h4} = \left(\frac{C_4}{F_4}\right)^P \frac{10^6}{60 \cdot n_4} = \left(\frac{473\,000}{1 \cdot |86\,981,52|}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 251,01} = 18\,776 \text{ h}$$

### Ložisko 5,6

$$Y = 1,3; Y_0 = 0,7; e = 0,46$$



$$F_{aA} = \frac{F_{ra}}{2 \cdot Y} = \frac{210\,498,45}{2 \cdot 1,3} = 80\,960,94 \text{ N}$$

$$F_{aB} = \frac{F_{rb}}{2 \cdot Y} = \frac{178\,432,83}{2 \cdot 1,3} = 73\,353,46 \text{ N}$$

$$F_{aiA} = F_{aA} + F_{Aozub} = 80\,960,94 + 22\,986,8 = 103\,947,74 \text{ N}$$

$$F_{aiB} = F_{aB} = 73\,353,46 \text{ N}$$

$$\frac{F_{aiA}}{F_{ra}} = \frac{103\,947,74}{210\,498,45} = 0,49 > 0,46 \rightarrow X = 0,4 \quad Y = tab$$

$$\frac{F_{aiB}}{F_{rb}} = \frac{73\,353,46}{178\,432,83} = 0,41 < 0,46 \rightarrow X = 1 \quad Y = 0$$

$$L_{h5} = \left(\frac{C_5}{F_5}\right)^P \frac{10^6}{60 \cdot n_5} = \left(\frac{1\,010\,000}{0,4 \cdot |210\,498,45| + 1,3 \cdot 0,7 |103\,947,74|}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 47,22}$$

$$L_{h5} = 113\,319 \text{ h}$$

$$L_{h6} = \left(\frac{C_5}{F_5}\right)^P \frac{10^6}{60 \cdot n_5} = \left(\frac{1\,010\,000}{1 \cdot |178\,432,83|}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 47,22} = 114\,081 \text{ h}$$

### Ložisko 7,8

$$Y = 1,3; Y_0 = 0,7; e = 0,46$$

$$F_{aA} = \frac{F_{ra}}{2 \cdot Y} = \frac{203\,428,2}{2 \cdot 1,3} = 78\,241,62 \text{ N}$$

$$F_{aB} = \frac{F_{rb}}{2 \cdot Y} = \frac{104\,310,78}{2 \cdot 1,3} = 40\,119,53 \text{ N}$$

$$F_{aiA} = F_{aA} = 78\,241,62 \text{ N}$$

$$F_{aiB} = F_{aB} + F_{Aozub} = 40\,119,53 + 11\,857,87 = 51\,977,4 \text{ N}$$

$$\frac{F_{aiA}}{F_{ra}} = \frac{78\,241,62}{203\,428,2} = 0,38 < 0,46 \rightarrow X = 1 \quad Y = 0$$

$$\frac{F_{aiB}}{F_{rb}} = \frac{51\,977,4}{104\,310,78} = 0,5 > 0,46 \rightarrow X = 0,4 \quad Y = tab$$

$$L_{h7} = \left(\frac{C_5}{F_5}\right)^P \frac{10^6}{60 \cdot n_5} = \left(\frac{512\,000}{1 \cdot |203\,428,2|}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 12,35} = 29\,267 \text{ h}$$

$$L_{h8} = \left(\frac{C_5}{F_5}\right)^P \frac{10^6}{60 \cdot n_5} = \left(\frac{512\,000}{0,4 \cdot |104\,310,78| + 1,3 \cdot 0,7 |51\,977,4|}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 12,35}$$

$$L_{h8} = 459\,969 \text{ h}$$

## Příloha č. 7 – Statická kontrola hřídelí

$$R_e = 600 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 2 \rightarrow \text{teorie } \tau_{max}$$

### Hřídel č. 1

$$M_{oxmax} = -3\,266 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}; M_{oymax} = -1\,299 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{omax} = M_o = \sqrt{(-3\,266 \cdot 10^3)^2 + (-1\,299 \cdot 10^3)^2} = 3\,514,8 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_k = 1\,285,3 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 65^3}{32} = 26\,961,2 \text{ mm}^3$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 65^3}{16} = 53\,922,5 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{3\,514,8 \cdot 10^3}{26\,961,2} = 130,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{1\,285,3 \cdot 10^3}{53\,922,5} = 23,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ored} = \sqrt{\sigma_o^2 + (\alpha \cdot \tau_k)^2} = \sqrt{130,4^2 + (2 \cdot 23,8)^2} = 138,8 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{ored}} = \frac{600}{138,8} = 4,3 \rightarrow \text{hřídel vyhovuje}$$

### Hřídel č. 2

$$M_{oxmax} = -4\,314 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}; M_{oymax} = 10\,996 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{omax} = M_o = \sqrt{(4\,314 \cdot 10^3)^2 + (10\,996 \cdot 10^3)^2} = 11\,812 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_k = 7\,431,8 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 110^3}{32} = 130\,670,6 \text{ mm}^3$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 110^3}{16} = 261\,341,2 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{11\,812 \cdot 10^3}{130\,670,6} = 90,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{7\,431,8 \cdot 10^3}{261\,341,2} = 28,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ored} = \sqrt{\sigma_o^2 + (\alpha \cdot \tau_k)^2} = \sqrt{90,4^2 + (2 \cdot 28,4)^2} = 106,8 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{ored}} = \frac{600}{106,8} = 5,6 \rightarrow \text{hřídel vyhovuje}$$

**Hřídel č. 3**

$$M_{oxmax} = -11\,289 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}; M_{oymax} = -41\,429 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{omax} = M_o = \sqrt{(-11\,289 \cdot 10^3)^2 + (-41\,429 \cdot 10^3)^2} = 42\,939,5 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_k = 38\,600,6 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 180^3}{32} = 572\,555,3 \text{ mm}^3$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 180^3}{16} = 1\,145\,110,5 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{42\,939,5 \cdot 10^3}{572\,555,3} = 75 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{38\,600,6 \cdot 10^3}{1\,145\,110,5} = 33,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ored} = \sqrt{\sigma_o^2 + (\alpha \cdot \tau_k)^2} = \sqrt{75^2 + (2 \cdot 33,7)^2} = 100,8 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{600}{100,8} = 6 \rightarrow \text{hřídel vyhovuje}$$

**Hřídel č. 4**

$$M_{oxmax} = 19\,178 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}; M_{oymax} = 36\,589 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_{omax} = M_o = \sqrt{(19\,178 \cdot 10^3)^2 + (36\,589 \cdot 10^3)^2} = 41\,310,4 \cdot 10^3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_k = 143\,748,8 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$W_o = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 240^3}{32} = 1\,247\,492,7 \text{ mm}^3$$

$$W_k = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot 240^3}{16} = 2\,604\,660,8 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{41\,310,4 \cdot 10^3}{1\,247\,492,7} = 33,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{143\,748,8 \cdot 10^3}{2\,604\,660,8} = 55,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ored} = \sqrt{\sigma_o^2 + (\alpha \cdot \tau_k)^2} = \sqrt{33,1^2 + (2 \cdot 55,2)^2} = 114,7 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{600}{114,7} = 5,2 \rightarrow \text{hřídel vyhovuje}$$





## Příloha č. 8 – Výkresy

Výkres sestavy převodovky – výkres č. 05-01-0001-00

Kusovník sestavy převodovky – kusovník č. 05-04-0001-K

Výkres sestavy pohonu – výkres č. 05-01-001-00-P

Kusovník sestavy pohonu – kusovník č. 05-04-0001-KK

Výkresy a kusovníky jsou umístěny v přiložených deskách.