

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

## FAKULTA STROJNÍ



Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh pohonu nástupního pásu lyžařské lanovky**

**Design Of Loading Conveyor Drive For Chairlifts**

Bakalářská práce

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

Vedoucí práce: Prof. Ing. Vojtěch Dynybyl, Ph.D.

**Vojtěch Stehlík**

---

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: **Vojtěch Stehlík**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

Název práce: **Návrh pohonu nástupního pásu lyžařské lanovky**

Název práce anglicky: **Design Of Loading Conveyor Drive For Chairlifts**

Zadání práce:

V současnosti se nástupní pásy stávají u lyžařských lanovek prakticky samozřejmostí. Rozběhový pás má několik výhod, snižuje relativní rychlost mezi nastupujícím lyžařem a přijíždějící sedačkou, zvyšuje stupeň naplnění lanové dráhy a umožňuje i vyšší přepravní rychlost dráhy, čímž zkracuje celkovou jízdní dobu. Zvyšuje také komfort cestujících při nastupování. Cílem bakalářské práce je rešerše problematiky lyžařských lanovek, především jejich nástupních pásů, a dále vlastní návrh řešení pohonu rozběhového pásu ve 3D modelu, včetně navržené převodovky ve 2D sestavě spolu s potřebnými výpočty.



Stručná osnova zadání:

1. Rešerše problematiky lyžařských lanovek a nástupních pásů, 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:

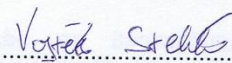
- ŠVEC, V. *Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací.* Praha: ČVUT, 2008.  
ŠVEC, V. *Části a mechanismy strojů. Mechanické převody.* Praha: ČVUT, 2003.  
KUGL, O. a kol. *Projekt – III. Ročník.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.  
JANOVSKÝ, L., PODIVÍNSKÝ, V. *Transportní zařízení.* Praha: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

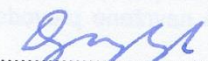
Vedoucí práce: **prof. Ing. Vojtěch Dinybyl, Ph.D.**

Datum zadání: **30. 4. 2015**


Termín odevzdání: **19. 6. 2015**

Zadání bakalářské práce převzal dne: 22. 4. 2015

  
.....  
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: „Pohon nástupního pásu lyžařské lanovky“ vypracoval samostatně pod vedením Prof. Ing. Vojtěcha Dinybyla, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 18. 6. 2015

Vojtěch Stehlík

---

## Poděkování

Chtěl bych poděkovat především vedoucímu své práce, panu prof. Ing. Vojtěchu Dynybylovi, Ph. D., za čas, který mi věnoval, a za cenné rady a poznatky, které mi při zpracování bakalářské práce poskytl. Dále děkuji své přítelkyni, Mgr. Martině Joudalové, díky které pro mě byly roky studia mnohem snazší. Nakonec bych chtěl poděkovat své skvělé rodině za ochotu a podporu, kterou mi po celou dobu studia a psaní práce věnovali.

---

## Anotační list

Jméno autora: **Vojtěch STEHLÍK**

Název BP: Návrh pohonu nástupního pásu lyžařské lanovky

Anglický název: Design Of Loading Conveyor Drive For Chairlifts

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 24

počet tabulek 7

počet příloh 11

Klíčová slova: visutá lanová dráha, lyžařská lanovka, nástupní pás, pásový dopravník, dvoustupňová převodovka

Keywords: aerial ropeway, ski ropeway, loading conveyor, conveyor belt, industrial gearbox

Anotace:

*Cílem bakalářské práce je návrh pohonu nástupního pásu lyžařské lanovky. V teoretické části je popsána historie lanovek a funkce nástupních pásů. Praktická část je věnována návrhovým výpočtům jednotlivých komponent pohonu a konstrukci pásu ve 3D modelu v programu Autodesk Inventor.*

Abstract:

*Purpose of this bachelor thesis is the design of loading conveyor drive for ski ropeway. There is a description of history of ropeways and function of loading conveyors in theoretical part. In practical part there are calculations of individual components of drive and construction of conveyor in 3D model in Autodesk Inventor.*

## Obsah

Seznam zkratk a symbolů .....	9
Úvod.....	11
1 Historie lanových drah.....	12
1.1 Počátky lanové dopravy .....	12
1.1 Rozdělení lanový drah.....	13
1.2 Lanové dráhy v Čechách .....	13
2 Visuté lanové dráhy.....	15
2.1 Rozdělení visutých lanových drah .....	15
2.2 Nejdůležitější části lyžařské lanovky .....	16
2.3 Nástupní pásy lyžařských lanovek.....	17
2.3.1 Funkce nástupního pásu.....	17
2.3.2 Konstrukce nástupních pásů.....	18
2.4 Přední výrobci.....	20
2.4.1 Doppelmayr .....	20
2.4.2 LEITNER .....	21
2.4.3 CWA Constructions.....	21
3 Technické parametry .....	22
4 Výpočtová část.....	23
4.1 Návrh pohonu .....	23
4.1.1 Volba elektromotoru .....	23
4.1.2 Celkový převodový poměr .....	24
4.2 Návrh převodovky .....	24
4.2.1 Rozdělení celkového převodového poměru .....	25
4.2.2 Volba počtu zubů.....	25
4.2.3 Kontrola převodového poměru.....	25
4.2.4 Výpočet momentů a otáček .....	25
4.2.5 Návrh průměrů hřídelů .....	26
4.2.6 Návrh modulů .....	27
4.2.7 Základní rozměry ozubených kol .....	27
4.2.8 Návrh spojek.....	28
4.2.9 Silové poměry .....	29
4.2.10 Návrh a výpočet ložisek .....	34
4.2.11 Pevnostní kontrola hřídelů .....	35
5 Konstrukční návrh nástupního pásu .....	36
5.1 Základní rozměry.....	36
5.2 Výběr materiálu a typu pásu .....	36

5.3	Vratný a poháněcí buben .....	37
5.4	Nosný rám .....	39
5.5	Rám pro motor a převodovku .....	43
	Závěr .....	45
	Seznam obrázků.....	47
	Seznam tabulek.....	48
	Seznam příloh .....	48

---



## Seznam zkratek a symbolů

Veličiny, u nichž není uvedena jednotka, jsou bezrozměrné.

symbol	jednotka	význam
$b_{w1}$	[mm]	šířka pastorku 1
$b_{w2}$	[mm]	šířka ozubeného kola 2
$b_{w3}$	[mm]	šířka pastorku 3
$b_{w4}$	[mm]	šířka ozubeného kola 4
$d$	[mm]	průměr roztečné kružnice
$d_1$	[mm]	průměr roztečné kružnice pastorku 1
$d_2$	[mm]	průměr roztečné kružnice ozubeného kola 2
$d_3$	[mm]	průměr roztečné kružnice pastorku 3
$d_4$	[mm]	průměr roztečné kružnice ozubeného kola 4
$D_1$	[mm]	minimální průměr vstupní hřídele (č. 1)
$D_2$	[mm]	minimální průměr předlohové hřídele (č. 2)
$D_3$	[mm]	minimální průměr výstupní hřídele (č. 3)
$D_b$	[mm]	průměr bubnu
$F_a$	[N]	axiální síla v ozubení
$F_r$	[N]	radiální síla v ozubení
$F_t$	[N]	tečná síla v ozubení
$i$		převodový poměr
$i_{12}$		převodové číslo soukolí 12
$i_{34}$		převodové číslo soukolí 34
$i_c$		celkový převodový poměr
$i_{ct}$		celkový teoretický převodový poměr
$i_{12t}$		teoretické převodové číslo soukolí 12
$i_{34t}$		teoretické převodové číslo soukolí 12
$k$		bezpečnost
$M_{km}$	[Nm]	kroucí moment na hřídeli elektromotoru
$M_{k1}$	[Nm]	kroucí moment na vstupní hřídeli (č. 1)
$M_{k2}$	[Nm]	kroucí moment na předlohové hřídeli (č. 2)
$M_{k3}$	[Nm]	kroucí moment na výstupní hřídeli (č. 3)

$M_v$	[Nm]	kroucí moment spojky
$m_n$	[mm]	normální modul ozubení
$m_{n12}$	[mm]	normální modul ozubení soukolí 12
$m_{n34}$	[mm]	normální modul ozubení soukolí 34
$n_1$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky vstupní hřídele (č. 1)
$n_2$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky předlohové hřídele (č. 2)
$n_3$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky výstupní hřídele (č. 3)
$n_b$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky bubnu
$n_m$	[min <sup>-1</sup> ]	otáčky elektromotoru
$P_b$	[kW]	výkon na bubnu
$P_m$	[kW]	výkon elektromotoru
$S_F$		součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového lomu v patě zubu
$S_H$		součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového poškození zubů
$v_b$	[m/s]	rychlost na bubnu
$W_k$	[mm <sup>3</sup> ]	průřezový modul v krutu
$z_1$		počet zubů pastorku 1
$z_2$		počet zubů ozubeného kola 2
$z_3$		počet zubů pastorku 3
$z_4$		počet zubů ozubeného kola 4
$\beta_{12}$	[°]	úhel sklonu zubů soukolí 12
$\beta_{34}$	[°]	úhel sklonu zubů soukolí 34
$\eta_c$		celková účinnost
$\eta_b$		účinnost na bubnu
$\eta_{12}$		účinnost soukolí 12
$\eta_{34}$		účinnost soukolí 34
$\tau$	[Nmm <sup>-2</sup> ]	napětí v krutu
$\psi_m$		poměrná šířka ozubení
$\omega_m$	[s <sup>-1</sup> ]	úhlová rychlost elektromotoru

## Úvod

Tato bakalářská práce se v obecném pohledu zabývá tématem lyžařských lanovek. V dnešní době se tato zařízení těší stále větší oblibě a výstavba nových lanovek pokračuje i v oblastech, které se dříve jevily jako nedostupné či nevhodné. Zároveň jsou tyto systémy neustále modernizovány tak, aby jejich přepravní kapacita, účinnost, ale i bezpečnost byly na co nejvyšší úrovni. K modernizaci a zvýšení komfortu cestujících patří také nástupní pásy. Konstrukční řešení a návrh pohonu pro nástupní pás čtyřsedačkové lanovky s neodpojitelným uchycením vozů je hlavním tématem této práce.

V současnosti se většina nových lanovek staví standardně s nástupními pásy a to hlavně kvůli několika důvodům. Tím prvním a pravděpodobně nejdůležitějším je zvýšení efektivity celé lanové dráhy. Díky pásu je možné provozovat lanovku při vyšší přepravní rychlosti, čímž se zvyšuje její přepravní kapacita a tím i účinnost celého systému, což je v dnešní době, vzhledem ke stále narůstajícím cenovým nákladům na výstavbu nových drah, velice důležité. Pás také snižuje relativní rychlost mezi nastupujícím lyžařem a sedačkou, takže je nastupování snazší a pohodlnější.

Cílem této práce bude navrhnout pohon nástupního pásu, který bude složen z asynchronního elektromotoru, pružné a zubové spojky, dvoustupňové převodovky a rámu pro jejich uchycení. Tento návrh bude tvořen výpočtovou částí, výkresovou dokumentací sestavy pohonu a převodovky a také 3D modelem vytvořeným v programu Autodesk Inventor. Dále bude zpracován koncepční návrh celého zařízení, tedy nástupního pásu, který bude také řešen 3D modelem v programu Autodesk Inventor a bude dbát na funkční a co možná nejjednodušší konstrukční řešení.

# 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, ke stavbám provazových mostů, při stavbách pyramid, k dopravě kamenných kvádrů a v neposlední řadě i ve válkách. V této době se ještě nedalo hovořit o dopravě po laně tak, jak ji 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 pramenů 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 lanovky různých provedení a typů používány pouze jako nákladní. Dokonale spleteného ocelového lana se nejprve využívalo v důlní dopravě, kde se užívalo lana poháněného parním strojem k dopravě uhelných vozíků. Jakožto nosný či tažný prvek 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, nazývaného *visutá lanová dráha*, nabývá ocelové lano nejen funkci tažnou, ale i nosnou. Vozidlo, myšleno kabina či sedačka, se nepohybuje po zemi nebo kolejích, ale je během jízdy 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 dráha vybudovaná v 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, stejně jako snaha o zpřístupnění hor a dalších 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] [2]

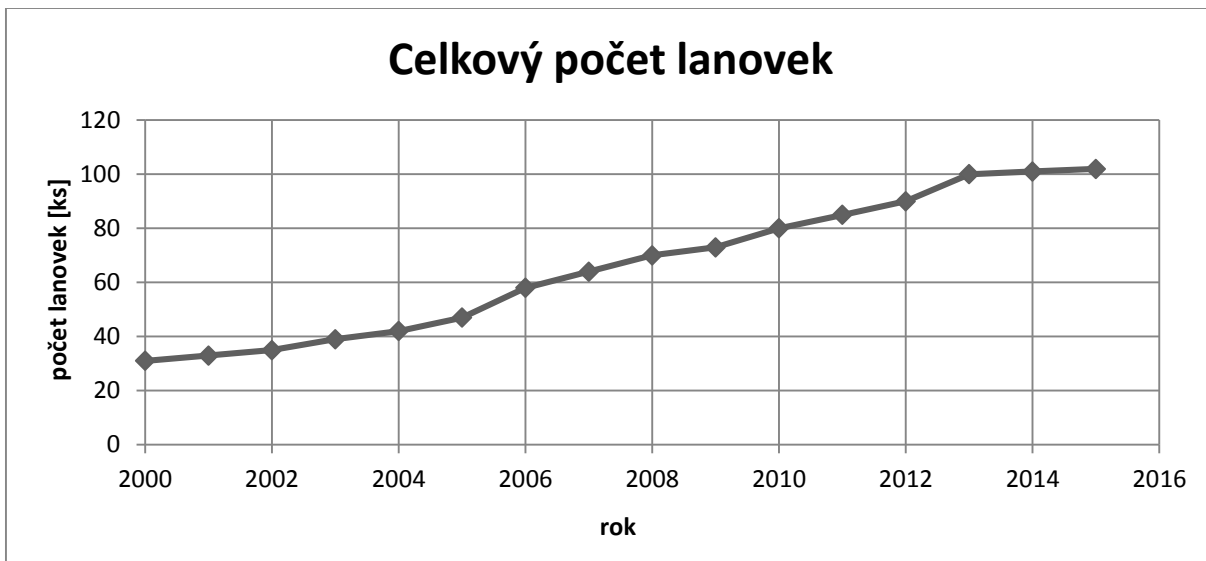
## 1.1 Rozdělení lanový drah

V českém jazyce se výraz „lanová dráha“ často 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 po kolejích na zemi a pomocí lana je pouze tažen, u visutých lanovek je zavěšen na lanu, které ho nese vzduchem. [3]

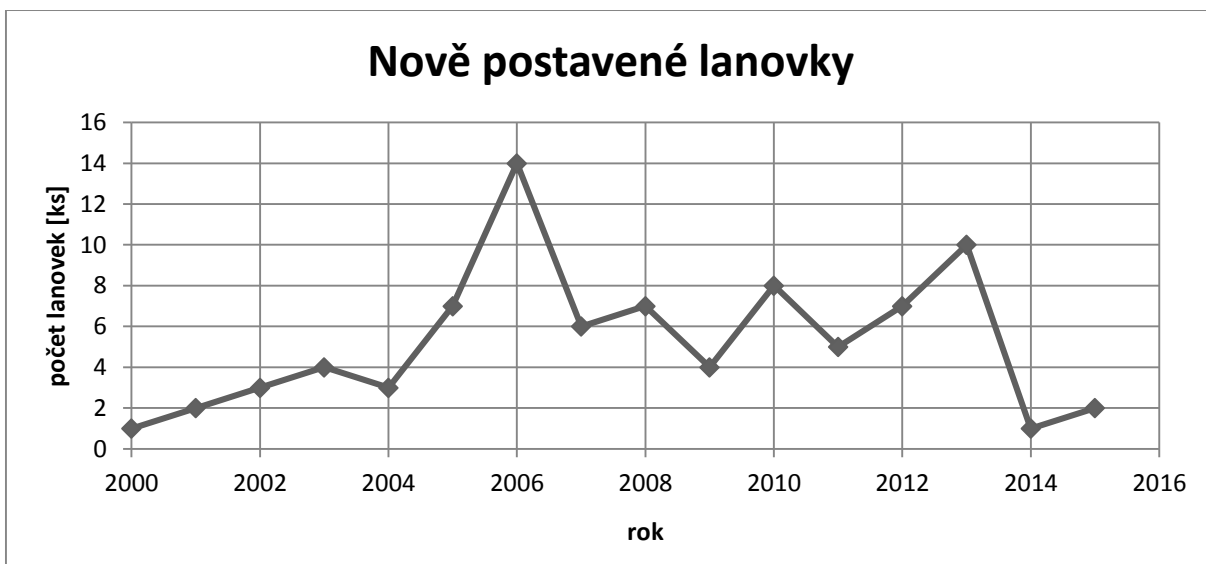
## 1.2 Lanové dráhy v Čechách

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 nezajišťoval parní stroj, ale další z tehdy používaných druhů pohonu a to vodní zátěž. Tento systém měl ale řadu nedostatků. Především nedostatek vody a nedostatečnou bezpečnost při ručním brždění. I když byla v roce 1922 tato lanovka zrušena, můžeme jí považovat 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 vídáme lanovou dráhu i v současnosti. [4] Následovaly další, ale stejně jako ve světě, tak i na našem území se do popředí dostával nový typ osobní lanové dráhy, kterým byla 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 poměrně hustá síť lanovek, která spolu s lyžařskými vleky 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, navíc se stoupající tendencí. Aktuálně je v provozu je 102 lanových drah různého stáří, typů a provedení. [4] Mimo to je řada lanových drah ve výstavbě a před dokončením nebo ve fázi projektu. [1]



obr. 1: Počet lanovek v České republice [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 sloupů nesoucích lano, neboť betonové základy těchto podpěr bývají spíše hloubkově než prostorově náročné. Prostor pod lanovkou zároveň zůstává volný, nestává se tedy překážkou např. pro pozemní provoz či hospodářské využití pozemků, a zároveň je možné ho v zimě využívat jako lyžařské sjezdové tratě. Tím se dostáváme 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 výhoda visuté dráhy souvisí s již řečeným nejkratším spojením dvou míst a nezávislostí na daném terénu. Pomocí těchto lanovek totiž dokážeme zpřístupnit místa, která by se jinak propojit nedala, nebo možná dala, ale jen velice těžce. [2] 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 vleky. Lyžařské vleky 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 „Drážní úřad“, na lyžařské vleky dohlíží jen místní úřady. [3]

### 2.1 Rozdělení visutých lanových drah

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

- a) lanové dráhy, u nichž je *lano nosným i tažným orgánem*: klasické a nejčastější řešení visutých lanových drah;
- b) lanové dráhy, u nichž je *lano jen nosným orgánem*: vozíky/kabiny s vlastním pohonem;
- c) lanové dráhy, u nichž je *lano jen tažným orgánem*: 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 k přehlednému rozčlenění různých druhů lanovek pracujících na stejném principu. [2]

Dle způsobu provozu rozlišujeme 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 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. [3]

Další důležité rozdělení lanovek je možné určit dle účelu a druhu dopravy. Takto rozlišujeme 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 podrobně popsány v příloze č.1. [2] [1]

Dle počtu lan se lanovky dělí na *jednolanové*, kde lano slouží jako nosné a tažné zároveň, a *dvoulanové*, kde většinou jedno lano slouží jako nosné a druhé jako tažné, případně *více lanové*, které se používají pro skutečně velké kabiny. [1]

Pro úplnost ještě stručně nastíním další možné dělení, které v následujících kapitolách podrobněji popíši. Dle typu vozidel rozlišujeme lanovky *kabinové*, *sedačkové* a *hybridní*. 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]

## 2.2 Nejdůležitější části lyžařské lanovky

Existuje obrovské množství součástí, které se podílejí na chodu a funkčnosti celého systému lanové dráhy, od těch nejobyčejnějších normalizovaných, po speciální jednoúčelové součásti. V této kapitole se však zaměříme na ty nejdůležitější části, bez kterých by lanovka jednoduše nefungovala.

- a) Pohon: obvykle se skládá ze tří základních součástí: *motoru*, *převodovky* a *řídícího panelu*, někdy se k němu zařazují i bezpečnostní prvky;



- b) Lano: složeno z několika ocelových pramenů zapletených na ohebném jádře; u lanovek se dvěma stanicemi je lano propojené do nekonečné smyčky, která neustále obíhá jedním směrem
- c) Vozy: sedačky nebo kabinky, které jsou přichyceny k lanu odpojitelně či neodpojitelně (fixně);
- d) Poháněcí lanáč: zařízení připojené k výstupní hřídeli převodovky, které pomocí třecí síly pohání lano; většinou průměry v řádech metrů;
- e) Napínací mechanismus: umístěn v horní nebo dolní stanici, u moderních lanovek většinou hydraulický, umožňuje napnutí lana pro přenos třecí síly z poháněcího lanáče;
- f) Podpěrné věže: rozdělují se na „nosné“ a „tlačné“, přičemž nosné podpírají lano do určité výšky a tlačné naopak tlačí lano dolu v místech, kde by mezi zemským povrchem a sedačkou/kabinou vznikla příliš velká prohlubeň, která by odporovala bezpečnostním předpisům; věže jsou zpravidla trubice z ocelového materiálu zabetonované do zemského povrchu;
- g) Běhouny: pohyblivá kola na věžích, po nichž se pohybuje lano; dle typu věže existují nosné a tlačné; důležité je, aby co nejvíce kopírovaly ohnutí lana v daném místě;
- h) Nástupní pás: vzhledem k tomu, že se tato práce zabývá přednostně problematikou a konstrukčním řešením nástupních pásů, věnuji popisu tohoto zařízení samostatnou podkapitolu; [5]

## 2.3 Nástupní pásy lyžařských lanovek

### 2.3.1 Funkce nástupního pásu

Nástupní pásy u lyžařských lanovek nejsou žádnou historickou záležitostí. Začaly se používat v poměrně nedávné minulosti a to především kvůli zvýšení komfortu cestujících, zjednodušení nastupování a zvýšení efektivity celé lanové dráhy. S vysokou cenou nově postavených lanovek je totiž důležité dostat efektivitu na co nejvyšší úroveň. K té přispívá i redukce počtu „zpomalení“ a „zastavení“ lanovky, které jsou způsobeny hlavně při nastupování začátečníků či dětí. Lyžařský pás tedy pomáhá při nastupování především tím, že snižuje relativní rychlost mezi sedačkami lanovky a lyžařem čekajícím na nasednutí. Začátečníci a děti pak nemají problém při nižší rychlosti nasednout a není nutné zpomalovat rychlost celé lanovky. Zároveň je možné dle evropských norem zvýšit přepravní rychlost až o 15% oproti původní maximální rychlosti a tím se zároveň zvýší přepravní kapacita lanovky, která se udává v počtu přepravených osob za hodinu.

V dnešní době se pro zpomalení relativní rychlosti využívá i oddělitelných sedaček, které se při vjezdu do nástupní stanice pomocí zpomalovacích koleček zpomalí na požadovanou nástupní rychlost a pomocí speciálního mechanismu oddělí od hlavního oběžného lana, které se pohybuje stále stejnou rychlostí. Po oddělení dráze poté okolo stanice obíhají sníženou rychlostí až k nástupnímu bodu. U těchto typů lanovek je nástupní pás určen pouze k převozu lyžaře od vstupních bran právě k nástupnímu bodu, kde se lyžař zastaví a čeká na nasednutí na již zpomalenou sedačku. Po nasednutí se sedačky pomocí rozjížděcích koleček urychlí na přepravní rychlost lana a znovu pomocí speciálního mechanismu přichytí k lanu. V případě výstupní stanice bývá tento mechanismus využit znovu pro jednodušší a bezpečnější vystupování.

V případě fixního napojení sedaček na lano tedy, jak již bylo řečeno, snižuje relativní rychlost právě nástupní pás. Tyto pásy bývají oproti pásům u lanovek s oddělitelným napojením mnohem delší. Zatímco u oddělitelných lanovek bývá pás dlouhý okolo 4,5 metrů, u fixních lanovek může být délka pásu až 10 metrů. Je to dáno hlavně tím, že u fixního napojení lyžař nastoupí na pás a je vezen až k nástupnímu bodu, kde pod něj najede sedačka. Pro bezpečnost by tento bod měl být zhruba okolo 1 metru před koncem pásu tak, aby lyžař nenasedal při plné rychlosti lanovky, ale při rychlosti nástupní. Tato (relativní) rychlost, tedy rozdíl přepravní rychlosti a rychlosti pásu, bývá zhruba 1/3 rychlosti lana. Tento rozdíl je fixní relací mezi pásem a lanovkou, takže při rozjezdu lanovky se ve stejném poměru rozjíždí zároveň i pás.

V daleko menším počtu se můžeme setkat také s výstupními pásy. Ty jsou umístěné ve výstupní stanici a jsou určené k pohodlnému a kontrolovanému výstupu osob ze sedačky. Tyto pásy potřebují naopak pracovat s vyššími rychlostmi, než je rychlost lana, aby vystupující lyžaře tzv. „odvezly“ od sedačky, která nedlouho poté objede okolo stanice a začne svou cestu zpět ke stanici nástupní. Tyto instalace však bývají ojedinělé a jsou spíše záležitostí komfortu. [6]

### 2.3.2 Konstrukce nástupních pásů

Nástupní pásy jsou ve své podstatě klasické pásové dopravníky. Základními komponenty jsou tedy *pohon*, který zaručuje pohyb soustavy; *pás*, pomocí kterého je „náklad“ přepravován z jednoho místa na druhé; *rám*, zajišťující fixní polohu součástí; *poháněcí a vratný buben* přenášející točivý moment z pohonu na pás.

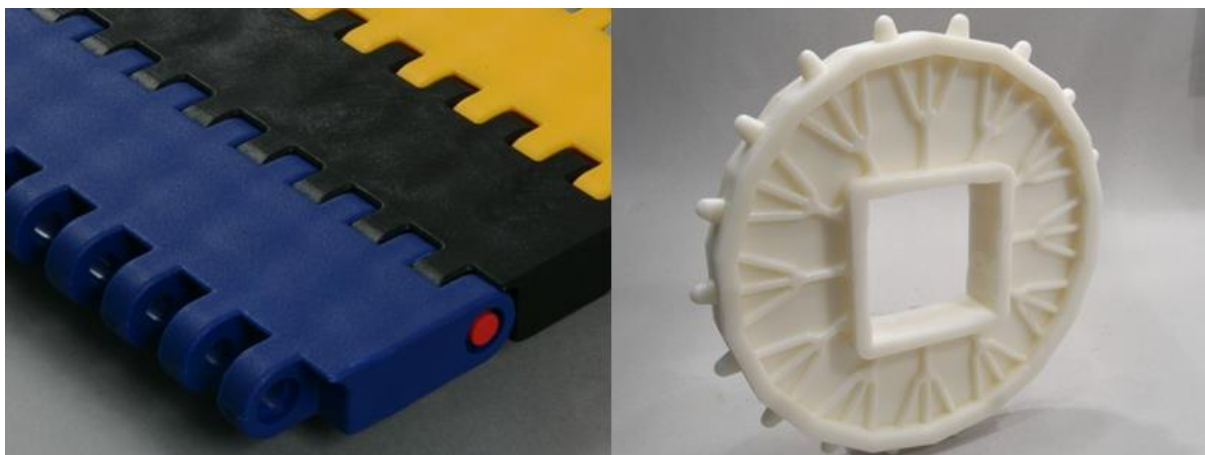
Je samozřejmě důležité pás stabilně uchytit k zemi. K tomu slouží *betonové jámy*. V podstatě existují dva druhy jam, mělké a hluboké. Hluboké umožňují lepší přístup pod pás a ke konstrukci rámu, jsou ovšem o něco dražší. Oba typy by měly mít dostatečný

prostor okolo konstrukce pásu a umožnit tak snadný přístup pro údržbu. Dále by měly mít vyhřívanou šikmou podlahu, která umožňuje sněhu spadnému z pásu roztát a odtéci do zabudované odvodňovací šachty.



*obr. 3: Hluboká betonová jáma pro odpojitelný typ lanovky [6]*

Existují dva základní druhy *materiálu*, ze kterého jsou pásy vyrobeny. Dříve se ve velké míře používaly plátěné nebo gumové pásy. Ty nejsou tak drahé a jsou poměrně jednoduché, jejich problémem je však schopnost absorbovat vodu, která po zamrznutí způsobuje potíže hlavně s vedením pásu. V současné době jsou velice oblíbené modulární pásy, které jsou složeny z malých plastových modulů propojených navzájem do velkého pásu. Ty mají několik výhod: nejsou schopné absorbovat vodu; v případě poruchy nebo zničení se dají moduly jednoduše vyměnit; povrch pásu není tolik kluzký; existuje celá škála různých plastů pro různé pracovní podmínky; lepší přenos výkonu z pohonu na pás, který není tvořen třecími silami, ale řetězovými koly na poháněcím i vratném bubnu, která zapadají do drážek na spodní straně jednotlivých modulů.



obr. 4: Moduly a řetězové kolo pro modulární pás firmy ScanBelt [7]

Důležitým komponentem nástupních pásů jsou *vstupní brány*. Ty v podstatě kontrolují začátek nástupního procesu a vpouští lyžaře po daných „dávkách“ a intervalech do nástupního prostoru. Ten začíná malou rampou nakloněnou o zhruba 8% - 10%, po které lyžař sjede na nástupní pás. Vysoko-kapacitní lanovky většinou používají otevírání bran v páru po dvou. Počet bran je závislý na počtu míst v jedné sedačce, které bývají většinou čtyř či šestimístné, vysoko-kapacitní mohou být dokonce osmimístné. Dnešní moderní brány jsou ovládány převážně automaticky a většinou mají snímače, které rozpoznají, jestli se někdo chystá nastupovat. Zároveň, pokud je to potřeba, má však obsluha nástupní stanice možnost brány uzavřít pomocí tlačítka. V Evropě navíc není dovolené provozovat nástupní pás bez vstupních bran. Pokud brány přestanou pracovat, je nutné zastavit i pás. [6]

## 2.4 Přední výrobci

V této podkapitole popíšeme nejznámější a největší výrobce lyžařských lanových drah, jejich početné zastoupení nalezneme i na českých lyžařských tratích.

### 2.4.1 Doppelmayr

„DOPPELMAYR lanové dráhy je součástí mezinárodního holdingu Doppelmayr / Garaventa a dceřinou společností, jejímž jediným majitelem je Doppelmayr Seilbahnen GmbH Wolfurt, Rakousko. Byla založena v roce 1991. Za více jak 20 let své existence realizovala již šest desítek lanových drah a lyžařských vleků na území České republiky. Výrobní, prodejní a servisní pobočky koncernu lze najít ve 34 zemích. Pro zákazníky z více než 87 států světa bylo do dnešního dne realizováno na 14 300 lanových dopravních systémů.“ [8]

## 2.4.2 LEITNER

Leitner ropeways patří do skupiny LEITNER GROUP. Ta je na trzích pro lanové dráhy, sněhové rolby a jiná pásová užitková vozidla aktivní po celém světě. Zároveň vytváří výrobky pro městské dopravní systémy a větrné elektrárny.

Díky technologické zkušenosti a jasné strategické orientaci a na základě firemních hodnot: sociální odpovědnost, etika, kvalita a růst, jsou podniky této skupiny schopny čelit různým tržním výzvám. Lanové systémy firmy LEITNER jsou dle tradic firmy pohodlné, bezpečné a rychlé. Dnes firma vyrábí především high-tech odpojitelné kabiny a sedačky, stejně jako „vzdušné tramvaje“, pozemní lanovky a lanovky s fixním uchopením vozů. [9]

## 2.4.3 CWA Constructions

Švýcarská kvalita, umění know-how a dlouholeté zkušenosti jsou základní faktory, které stojí za výjimečným postavením společnosti CWA na trhu specializovaném na výrobu lan a kolejových vozidel.

Společnost si zakládá na spokojenosti a věrnosti zákazníků, kterou si získává především svými praktickými řešeními, kvalitou práce, inovační silou a vynikajícím prodejním servisem.

Pozice na trhu, které společnost dosáhla, zároveň ukazuje a potvrzuje její hlavní cíl: poskytnout špičkové služby za všech okolností tak, aby její zákazníci byli 100% spokojeni. [10]

### 3 Technické parametry

V této kapitole jsou shrnuty základní technické parametry existující lanovky, která nám byla inspirací, a jejíž hodnoty jsme použili k návrhu a vytvoření naší virtuální lanovky.

tab. 1: Technické parametry vybrané lanovky

<b>Název lanovky:</b>	Sedačková lanovka Klínovec - Přemostěná	
<b>Typ lanovky:</b>	osobní visutá jednolanová dráha oběžného systému s pevným uchycením čtyřmístných sedaček a rozběhovým pásem (SLF-4)	
<b>Výrobce:</b>	Doppelmayr	
<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>Převážná 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

[4]

## 4 Výpočtová část

### 4.1 Návrh pohonu

Pro návrh pohonu byly použity následující hodnoty. Převodná rychlost pásu byla určena z tab. 1 v předchozí kapitole a z informací uvedených v kapitole č. 2, tedy že rozdíl mezi převodní rychlostí lana a pásu je zhruba 1/3 rychlosti lana. Vzhledem k tomu, že rychlost lana je zde 2,6 m/s, byla zvolena rychlost pásu 1,85 m/s. Průměr bubny byl určen z produktového katalogu výrobce [11] pro vybraný typ modulárního pásu, podrobněji popsaného v kapitole č. 5. Výkon potřebný k provozu pásu byl zvolen odhadem, jelikož nebyly nalezeny žádné relevantní zdroje popisující motory lyžařských nástupních pásů. Při většině výpočtů jsem vycházel z literatury [12].

#### 4.1.1 Volba elektromotoru

Pro zvolenou konstrukci nástupního pásu a předpokládané zatížení a provoz byl tedy zvolen potřebný výkon na bubnu

$$P_b = 2 \text{ kW} \quad (4.1)$$

Výkon hnacího elektromotoru se určí z rovnice

$$P'_m = \frac{P_b}{\eta_c} \quad (4.2)$$

kde  $\eta_c$  je celková účinnost pohonného mechanismu. Ta se určí z rovnice

$$\eta_c = \eta_b \cdot \eta_{12} \cdot \eta_{34} \quad (4.3)$$

kde  $\eta_b$  je účinnost na bubnu a  $\eta_{12}$ ,  $\eta_{34}$  účinnosti jednotlivých soukolí převodovky.

$$\eta_b = 0,95 \quad (4.4)$$

$$\eta_{12} = \eta_{34} = 0,98 \quad (4.5)$$

$$\eta_c = \eta_b \cdot \eta_{12} \cdot \eta_{34} = 0,95 \cdot 0,98^2 = 0,912 \quad (4.6)$$

$$P'_m = \frac{P_b}{\eta_c} = \frac{2}{0,912} = 2,192 \text{ kW} \quad (4.7)$$

V katalogu elektromotorů se vyhledá vhodný elektromotor s výkonem

$$P_m \geq P'_m \quad (4.8)$$

Dle těchto parametrů volím elektromotor SIEMENS 1LE1002-1AB4. Jde o trojfázový asynchronní elektromotor připojený k síti o frekvenci 50 Hz.

tab. 2: Vlastnosti vybraného elektromotoru [13]

VÝKON [KW]	2,2
OTÁČKY [OT/MIN]	1 425
ÚČINNOST	IE1



POČET PÓLŮ [PÓL]	4
KOSTRA MOTORU	HLINÍK
KRYTÍ	IP55
VELIKOST MOTORU	100L
ZÁKLADNÍ NAPĚTÍ [V]	400/230
JMENOVITÝ VSTUPNÍ PROUD [A]	4,85
KROUTICÍ MOMENT [NM]	14,8
HMOTNOST [KG]	18

### 4.1.2 Celkový převodový poměr

Zvolené hodnoty rychlosti pásu  $v_b$  a průměru bubnu  $D_b$  udávají otáčky bubnu  $n_b$ , které spolu s otáčkami elektromotoru  $n_m$  určují celkový teoretický převodový poměr  $i_{ct}$ .

$$v_b = 1,85 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (4.9)$$

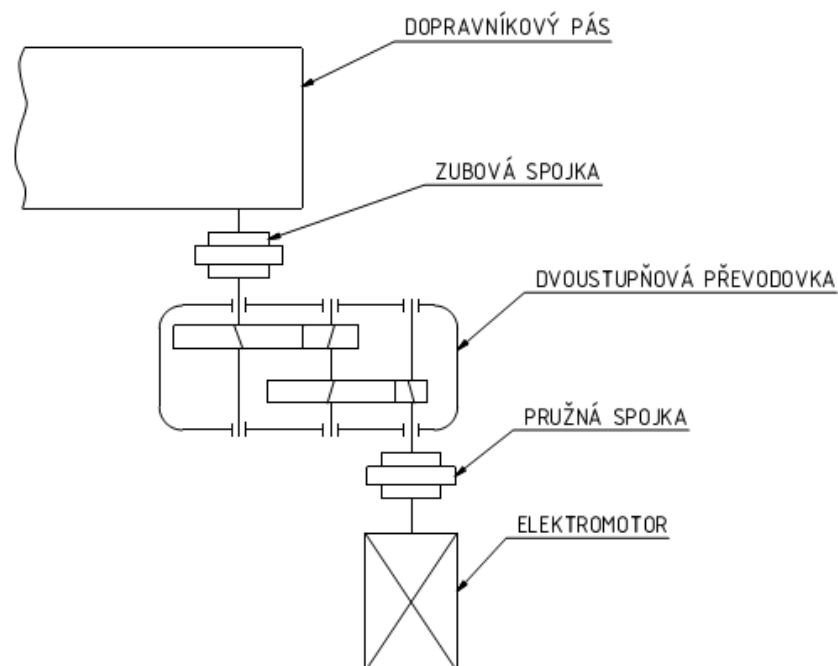
$$D_b = 0,307 \text{ m} \quad (4.10)$$

$$n_m = 1\,425 \text{ min}^{-1} \quad (4.11)$$

$$n_b = \frac{60 \cdot v_b}{\pi \cdot D_b} = \frac{60 \cdot 1,85}{\pi \cdot 0,307} = 115,089 \text{ min}^{-1} \quad (4.12)$$

$$i_{ct} = \frac{n_m}{n_b} = \frac{1\,425}{115,089} = 12,382 \quad (4.13)$$

### 4.2 Návrh převodovky



obr. 5: Schéma pohonu



## 4.2.1 Rozdělení celkového převodového poměru

Celkový převodový poměr  $i_{ct}$  (4.13) se rozdělí na dílčí převodová čísla soukolí  $i_{12t}$  a  $i_{34t}$ . Platí, že převodové číslo pro jedno čelní soukolí bývá maximálně 5 a zároveň  $i_{12t} > i_{34t}$ . Převodové číslo soukolí nemá být celé číslo. [12] Volím tedy

$$i_{12t} = 3,65 \quad (4.14)$$

$$i_{34t} = \frac{i_{ct}}{i_{12t}} = \frac{12,382}{3,65} \cong 3,4 \quad (4.15)$$

## 4.2.2 Volba počtu zubů

Nejdříve se volí počet zubů na pastorku. Při volbě je důležité volit počet zubů tak, aby nedošlo k podřezání profilu zubů. Pro čelní ozubená kola s úhlem záběru  $\alpha = 20^\circ$  je mezní hodnota počtu zubů rovna 17. Počet zubů spoluzabírajícího kola se získá součinem počtu zubů na pastorku s převodovým číslem soukolí. Ten se poté zaokrouhlí na celé číslo.

$$z_1 = 19 \quad (4.16)$$

$$z_2 = z_1 \cdot i_{12t} = 19 \cdot 3,65 = 69,35 \quad (4.17)$$

$$z_2 = 69 \quad (4.18)$$

$$z_3 = 22 \quad (4.19)$$

$$z_4 = z_3 \cdot i_{34t} = 22 \cdot 3,4 = 74,8 \quad (4.20)$$

$$z_4 = 75 \quad (4.21)$$

Skutečná převodová čísla soukolí dostaneme, pokud vzájemně podělíme počty zubů kol jednotlivých soukolí a jejich následným součinem získáme reálné převodové číslo  $i_c$ .

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{69}{19} = 3,631 \quad (4.22)$$

$$i_{34} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{75}{22} = 3,409 \quad (4.23)$$

$$i_c = i_{12} \cdot i_{34} = 3,631 \cdot 3,409 = 12,378 \quad (4.24)$$

## 4.2.3 Kontrola převodového poměru

Je důležité zkontrolovat odchylku reálného převodového čísla  $i_c$  od teoretického  $i_{ct}$ . Maximální možná odchylka je 4%. [12]

$$\Delta i_c = \left| \frac{i_{ct} - i_c}{i_{ct}} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{12,382 - 12,378}{12,382} \right| \cdot 100\% = 0,032\% \leq 4\% \quad (4.25)$$

## 4.2.4 Výpočet momentů a otáček

Krouticí moment na hřídeli elektromotoru  $M_{km}$  se vypočítá ze vztahu

$$M_{km} = \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{P_m}{2\pi \cdot \frac{n_m}{60}} = \frac{30 \cdot 2\,200}{\pi \cdot 1\,425} = 14,74 \text{ Nm} \quad (4.26)$$

Pro výpočet krouticích momentů na jednotlivých hřídelích použijeme součin převodových poměrů a účinností, které dle (4.5) uvažujeme  $\eta_{12} = \eta_{34} = 0,98$ .

$$M_{k1} = M_{km} = 14,74 \text{ Nm} \quad (4.27)$$

$$M_{k2} = M_{k1} \cdot i_{12} \cdot \eta_{12} = 14,74 \cdot 3,631 \cdot 0,98 = 52,45 \text{ Nm} \quad (4.28)$$

$$M_{k3} = M_{k2} \cdot i_{34} \cdot \eta_{34} = 52,45 \cdot 3,409 \cdot 0,98 = 175,23 \text{ Nm} \quad (4.29)$$

Otáčky jednotlivých hřídelí získáme podobným způsobem.

$$n_1 = n_m = 1\,425 \text{ min}^{-1} \quad (4.30)$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{12}} = \frac{1\,425}{3,631} = 392,45 \text{ min}^{-1} \quad (4.31)$$

$$n_3 = \frac{n_2}{i_{34}} = \frac{392,45}{3,409} = 115,12 \text{ min}^{-1} \quad (4.32)$$

## 4.2.5 Návrh průměrů hřídelů

Hřídele v převodovce jsou namáhány ohybem, krutem, případně tahem a tlakem.

[12] Průměry se předběžně navrhuji z pevnostní podmínky v krutu

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} \quad (4.33)$$

po úpravě

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_D}} \quad (4.34)$$

Výpočtový vztah pro výpočet průměru hřídele se někdy upravuje do tvaru

$$D = k_i \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n_i}} \quad (4.35)$$

a hodnoty  $k$  volím dle [12] tímto způsobem

$$k_1 = 130 \quad (4.36)$$

$$k_2 = 115 \quad (4.37)$$

$$k_3 = 103 \quad (4.38)$$

Jednotlivé návrhové hodnoty průměrů jsou poté

$$D'_1 = k_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_m}{n_1}} = 130 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,2}{1\,425}} = 15,03 \text{ mm} \quad (4.39)$$

$$D'_2 = k_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_m}{n_2}} = 115 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,2}{390,41}} = 20,46 \text{ mm} \quad (4.40)$$

$$D'_3 = k_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{P_m}{n_3}} = 103 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,2}{114,83}} = 27,56 \text{ mm} \quad (4.41)$$

Dle těchto hodnot volím průměry normalizované dle ČSN 01 4990 takto:

$$D_1 = 16 \text{ mm} \quad (4.42)$$

$$D_2 = 22 \text{ mm} \quad (4.43)$$

$$D_3 = 28 \text{ mm} \quad (4.44)$$

## 4.2.6 Návrh modulů

Návrh modulů dle literatury [12] je podrobně rozveden v příloze č. 4. Ozubená kola jsou vyrobeny z materiálu ČSN 14 220 (16MnCr5) a jsou cementována a kalena. Navržené moduly slouží jako orientační hodnoty a musí se zaokrouhlit na nejbližší normalizovanou hodnotu dle ČSN 01 4608. Pro navržené ozubení volím hodnoty normálního modulu takto:

$$m_{n12} = 1 \text{ mm} \quad (4.45)$$

$$m_{n34} = 1,25 \text{ mm} \quad (4.46)$$

Tyto uvedené moduly jsou již finální a jsou ověřeny pevnostní kontrolou dle ISO 6336, která byla spočtena pomocí programu Microsoft Excel dostupného z ústavu 12113 FS ČVUT v Praze. Výpočtové zprávy z programu jsou uvedeny v přílohách č. 5 a č. 6. Vypočtené hodnoty bezpečností uvádím v tabulce č. 3, kde  $S_F$  představuje součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového lomu v patě zubu a  $S_H$  je součinitel bezpečnosti proti vzniku únavového poškození zubů.

tab. 3: Bezpečnosti ozubených kol

Ozubené kolo	$S_F$	$S_H$
1	1,839	1,119
2	1,919	1,119
3	1,560	1,119
4	1,633	1,119

## 4.2.7 Základní rozměry ozubených kol

V navrhované převodovce jsou soukolí realizována čelními ozubenými koly s šikmým ozubením, kde úhel sklonů zubu na roztečném válci volím dle ČSN 01 4610 následovně

$$\beta_{12} = 8^\circ \quad (4.47)$$

$$\beta_{34} = 6^\circ \quad (4.48)$$

Průměr roztečné kružnice ozubených kol (pastorků i kol) se vypočte pomocí vztahu

$$d = \frac{m_n \cdot z}{\cos \beta} \quad (4.49)$$

pro konkrétní hodnoty tedy

$$d_1 = \frac{1 \cdot 19}{\cos 8^\circ} = 19,187 \text{ mm} \quad (4.50)$$

$$d_2 = \frac{1 \cdot 69}{\cos 8^\circ} = 69,678 \text{ mm} \quad (4.51)$$

$$d_3 = \frac{1,25 \cdot 22}{\cos 6^\circ} = 27,651 \text{ mm} \quad (4.52)$$

$$d_4 = \frac{1,25 \cdot 75}{\cos 6^\circ} = 94,266 \text{ mm} \quad (4.53)$$

Šířka ozubených kol se vypočítá pomocí poměrné šířky ozubení  $\psi_m$  a normálního modulu jednotlivých soukolí  $m_n$ , kde šířka pastorků je přímo součin těchto hodnot a šířka ozubeného kola je o normální modul  $m_n$  menší.

$$b_{w1} = \psi_{m12} \cdot m_{n12} = 17 \cdot 1 = 17 \text{ mm} \quad (4.54)$$

$$b_{w2} = \psi_{m12} \cdot m_{n12} - m_{n12} = 17 \cdot 1 - 1 = 16 \text{ mm} \quad (4.55)$$

$$b_{w3} = \psi_{m34} \cdot m_{n34} = 20 \cdot 1,25 = 25 \text{ mm} \quad (4.56)$$

$$b_{w4} = \psi_{m34} \cdot m_{n34} - m_{n34} = 20 \cdot 1,25 - 1,25 = 23,75 \text{ mm} \quad (4.57)$$

Pastorky jsou součástí hřídele a ozubená kola se budou lisovat. Kontrola lisování ozubeného kola 2 na hřídel 2 a ozubeného kola 4 na hřídel 3 je uvedena v příloze č. 7. V té je zároveň uvedena i kontrola per na vstupní a výstupní hřídeli.

## 4.2.8 Návrh spojek

Velikost spojky je charakterizována výpočtovým momentem spojky

$$M_v = k \cdot M_{km}, \quad (4.58)$$

kde  $k$  je provozní součinitel volený dle ČSN 02 6208 a jehož hodnotu pro obě spojky volím rovnou 1,5 a  $M_{km}$  je krouticí moment na hřídeli elektromotoru.

$$M'_{v1} = k \cdot M_{km} \quad (4.59)$$

$$M_{km} = 14,74 \text{ Nm} \quad (4.60)$$

$$k = 1,5 \quad (4.61)$$

$$M'_v = 1,5 \cdot 14,74 = 22,11 \text{ Nm} \quad (4.62)$$

Volím pružnou spojku SKF ECCN 020R [14]:

$$M_v = 25 \text{ Nm} \quad (4.63)$$

$$M_v \geq M'_v \quad (4.64)$$

Pro spojení výstupního hřídele a hřídele poháněcího bubnu nástupního pásu je použita zubová spojka. K výpočtu potřebného momentu se nyní použije krouticí moment výstupní hřídele  $M_{k3}$ .

$$M'_{v2} = k \cdot M_{k3} \quad (4.65)$$

$$M_{k3} = 175,23 \text{ Nm} \quad (4.66)$$

$$k = 1,5 \quad (4.67)$$

$$M'_v = 1,5 \cdot 175,23 = 262,8 \text{ Nm} \quad (4.68)$$

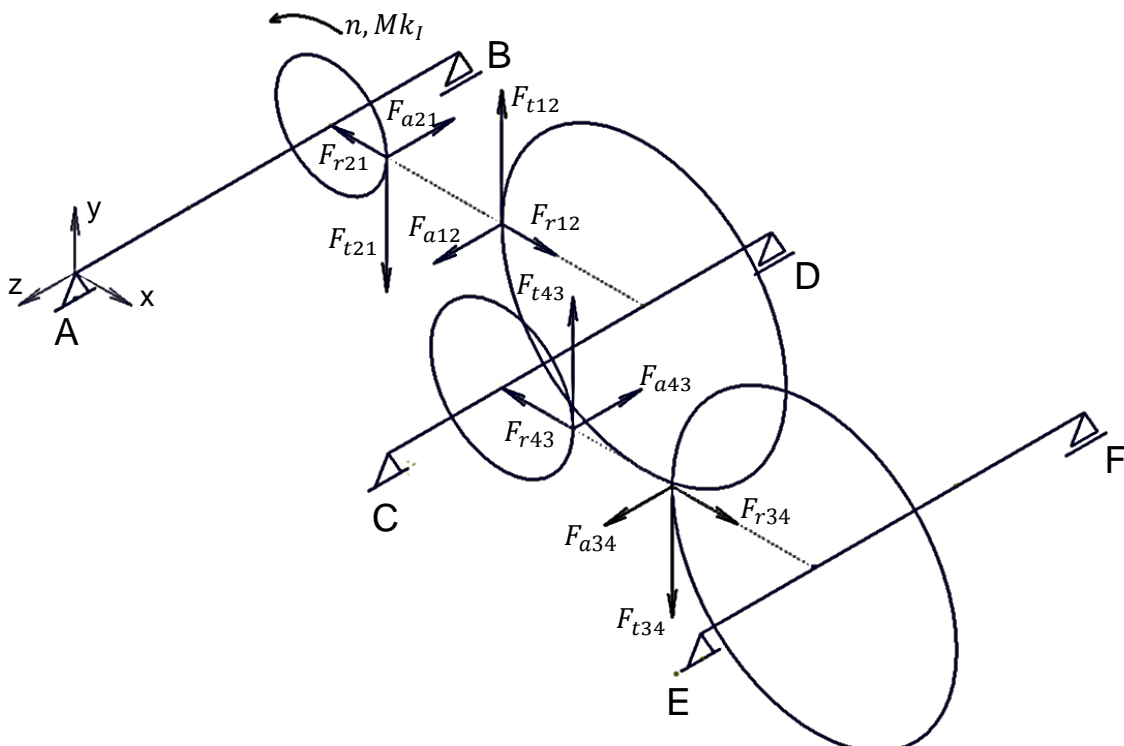
Volím zubovou spojku SKF HCCE 010R [15]:

$$M_v = 850 \text{ Nm} \quad (4.69)$$

$$M_v \geq M'_v \quad (4.70)$$

## 4.2.9 Silové poměry

Pro návrh a výpočet ložisek je třeba znát silové poměry, které jednotlivá soukolí vyvolávají na hřídelích. Tyto poměry jsou řešeny ve dvou rovinách souřadného systému  $x - y - z$ . V jedné rovině působí radiální síla  $F_r$  a axiální síla  $F_a$ , ve druhé rovině působí tečná síla  $F_t$ . Podrobné výpočty jednotlivých radiálních, axiálních a tečných sil jsou v příloze č. 8. Z těchto sil se dají určit jednotlivé reakce v podporách, resp. ložiscích, které jsou počítány na následujících stranách.



obr. 6: Axonometrické zobrazení sil

Vypočtené hodnoty radiálních, axiálních a tečných sil jsou následující:

$$|F_{t12}| = |F_{t21}| = 1\,517,5\,N \quad (4.71)$$

$$|F_{r12}| = |F_{r21}| = 615,1\,N \quad (4.72)$$

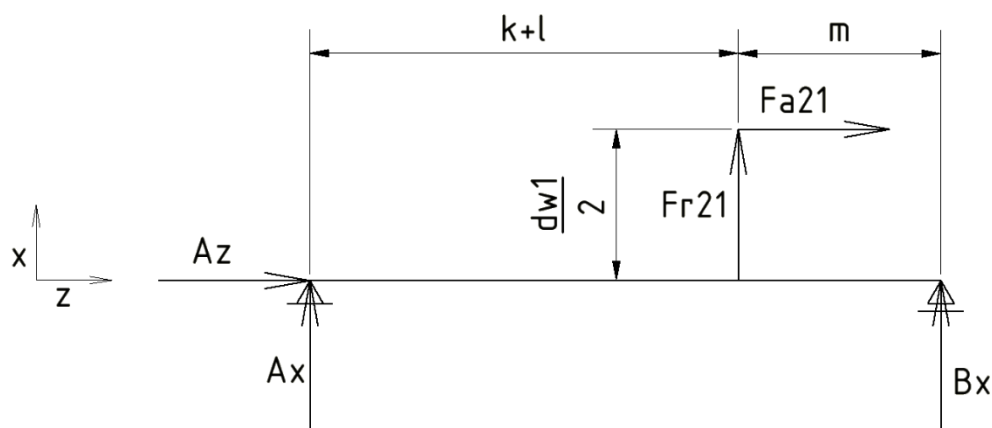
$$|F_{a12}| = |F_{a21}| = 216\,N \quad (4.73)$$

$$|F_{t34}| = |F_{t43}| = 3\,750,5\,N \quad (4.74)$$

$$|F_{r34}| = |F_{r43}| = 1\,559,9\,N \quad (4.75)$$

$$|F_{a34}| = |F_{a43}| = 400,9\,N \quad (4.76)$$

### Hřídel č. 1



obr. 7: Hřídel č.1 - Rovina x-z

$$k = 27\,mm \quad (4.77)$$

$$l = 28\,mm \quad (4.78)$$

$$m = 27\,mm \quad (4.79)$$

$$x: A_x + B_x + F_{r21} = 0 \quad (4.80)$$

$$z: A_z + F_{a21} = 0 \quad (4.81)$$

$$M_A: B_x \cdot (k + l + m) + F_{r21} \cdot (k + l) - 0,5 \cdot F_{a21} \cdot d_{w1} = 0 \quad (4.82)$$

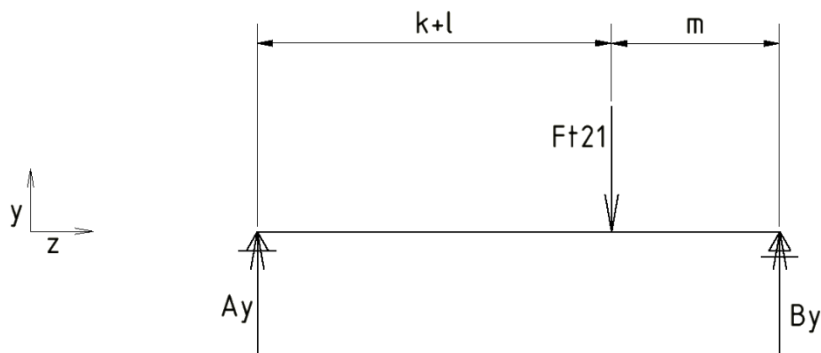
$$B_x = [-F_{r21} \cdot (k + l) + 0,5 \cdot F_{a21} \cdot d_{w1}] \cdot (k + l + m)^{-1} \quad (4.83)$$

$$B_x = [-615,1 \cdot 55 + 0,5 \cdot 216 \cdot 19,432] \cdot 82^{-1} \quad (4.84)$$

$$B_x = -387\,N \quad (4.85)$$

$$A_x = -F_{r21} - B_x = -615,1 + 387 = -228,1\,N \quad (4.86)$$

$$A_z = -F_{a21} = -216\,N \quad (4.87)$$



obr. 8: Hřídel č.1 - Rovina y-z

$$y: A_y + B_y - F_{t21} = 0 \quad (4.88)$$

$$M_A: B_y \cdot (k + l + m) - F_{t21} \cdot (k + l) = 0 \quad (4.89)$$

$$B_y = [F_{t21} \cdot (k + l)] \cdot (k + l + m)^{-1} \quad (4.90)$$

$$B_y = [1\,517,5 \cdot 55] \cdot 82^{-1} \quad (4.91)$$

$$B_y = 1\,017,8 \text{ N} \quad (4.92)$$

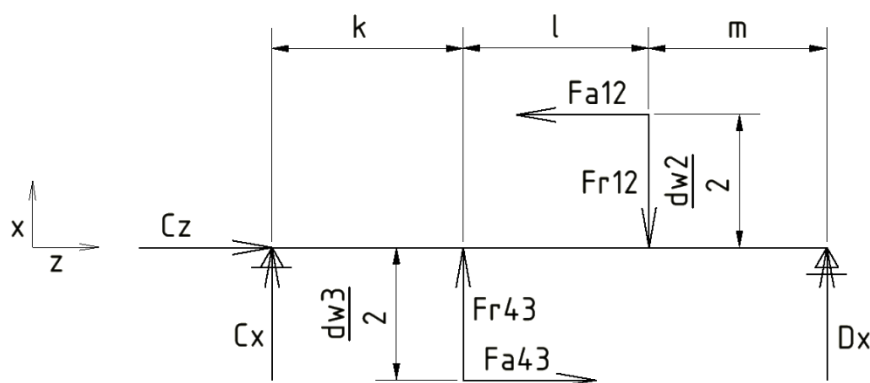
$$A_y = F_{t21} - B_y = 1\,517,5 - 1\,017,8 = 499,7 \text{ N} \quad (4.93)$$

$$A_r = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} = \sqrt{(-228,1)^2 + 499,7^2} = 549,3 \text{ N} \quad (4.94)$$

$$B_r = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} = \sqrt{(-387)^2 + 1\,017,8^2} = 1\,088,9 \text{ N} \quad (4.95)$$

$$A_{ax} = A_z = 216 \text{ N} \quad (4.96)$$

## Hřídel č. 2



obr. 9: Hřídel č. 2 - Rovina x-z

$$k = 28,8 \text{ mm} \quad (4.97)$$

$$l = 28 \text{ mm} \quad (4.98)$$

$$m = 26,8 \text{ mm} \quad (4.99)$$

$$x: C_x + D_x + F_{r43} - F_{r12} = 0 \quad (4.100)$$

$$z: C_z + F_{a43} - F_{a12} = 0 \quad (4.101)$$



$$M_C: F_{r43} \cdot k + \frac{F_{a43} \cdot d_{w3}}{2} + \frac{F_{a12} \cdot d_{w2}}{2} - F_{r12} \cdot (k + l) + D_x \cdot (k + l + m) = 0 \quad (4.102)$$

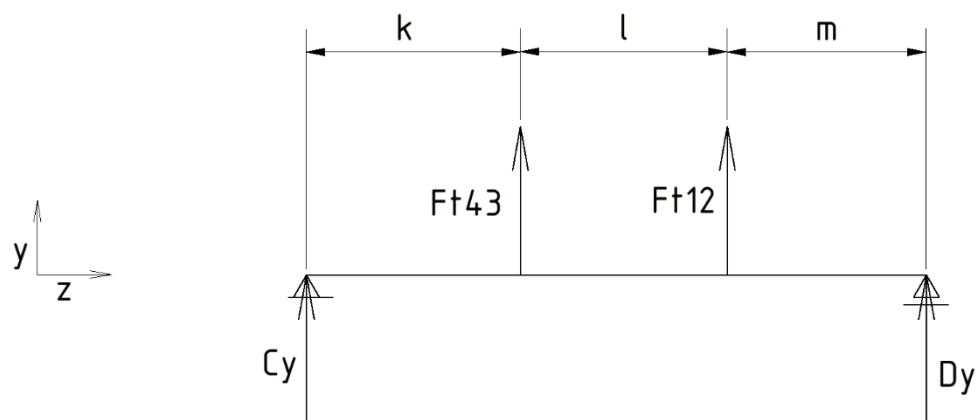
$$D_x = [-F_{r43} \cdot k - \frac{F_{a43} \cdot d_{w3}}{2} - \frac{F_{a12} \cdot d_{w2}}{2} + F_{r12} \cdot (k + l)] \cdot (k + l + m)^{-1} \quad (4.103)$$

$$D_x = [-1\,559,9 \cdot 28,8 - \frac{400,9 \cdot 28,124}{2} - \frac{216 \cdot 70,568}{2} + 615,1 \cdot 56,8] \cdot 83,6^{-1} \quad (4.104)$$

$$D_x = -278,1 \text{ N} \quad (4.105)$$

$$C_x = F_{r12} - F_{r43} - D_x = 615,1 - 1\,559,9 + 278,11 = -666,7 \text{ N} \quad (4.106)$$

$$C_z = -F_{a43} + F_{a12} = -400,9 + 216 = -184,9 \text{ N} \quad (4.107)$$



obr. 10: Hřídel č. 2 - Rovina y-z

$$y: C_y + D_y + F_{t12} + F_{t43} = 0 \quad (4.108)$$

$$M_C = D_y \cdot (k + l + m) + F_{t12} \cdot (k + l) + F_{t43} \cdot k = 0 \quad (4.109)$$

$$D_y = [-F_{t43} \cdot k - F_{t12} \cdot (k + l)] \cdot (k + l + m)^{-1} \quad (4.110)$$

$$D_y = [-3\,750,5 \cdot 28,8 - 1\,517,5 \cdot 56,8] \cdot 83,6^{-1} \quad (4.111)$$

$$D_y = -2\,323,1 \text{ N} \quad (4.112)$$

$$C_y = -D_y - F_{t12} - F_{t43} = 2\,323,06 - 1\,517,5 - 3\,750,5 = -2\,944,9 \text{ N} \quad (4.113)$$

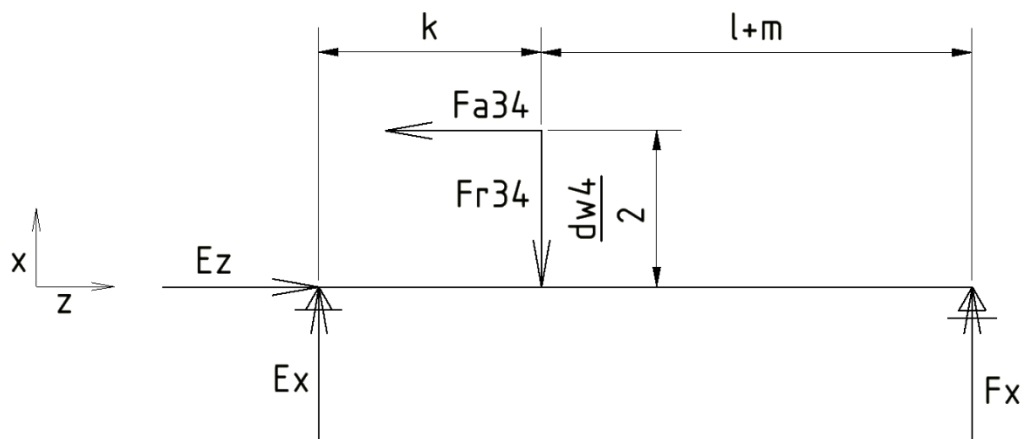
$$C_r = \sqrt{C_x^2 + C_y^2} = \sqrt{(-666,7)^2 + (-2\,944,9)^2} = 3\,019,4 \text{ N} \quad (4.114)$$

$$D_r = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} = \sqrt{(-278,1)^2 + (-2\,944,9)^2} = 2\,339,7 \text{ N} \quad (4.115)$$

$$C_{ax} = C_z = 184,9 \text{ N} \quad (4.116)$$



Hřídel č. 3



obr. 11: Hřídel č. 3 - Rovina x-z

$$k = 28,1 \text{ mm} \quad (4.117)$$

$$l = 28 \text{ mm} \quad (4.118)$$

$$m = 26,4 \text{ mm} \quad (4.119)$$

$$x: E_x + F_x - F_{r34} = 0 \quad (4.120)$$

$$z: E_z - F_{a34} = 0 \quad (4.121)$$

$$M_E: F_x \cdot (k + l + m) - F_{r34} \cdot k + 0,5 \cdot F_{a34} \cdot d_{w4} = 0 \quad (4.122)$$

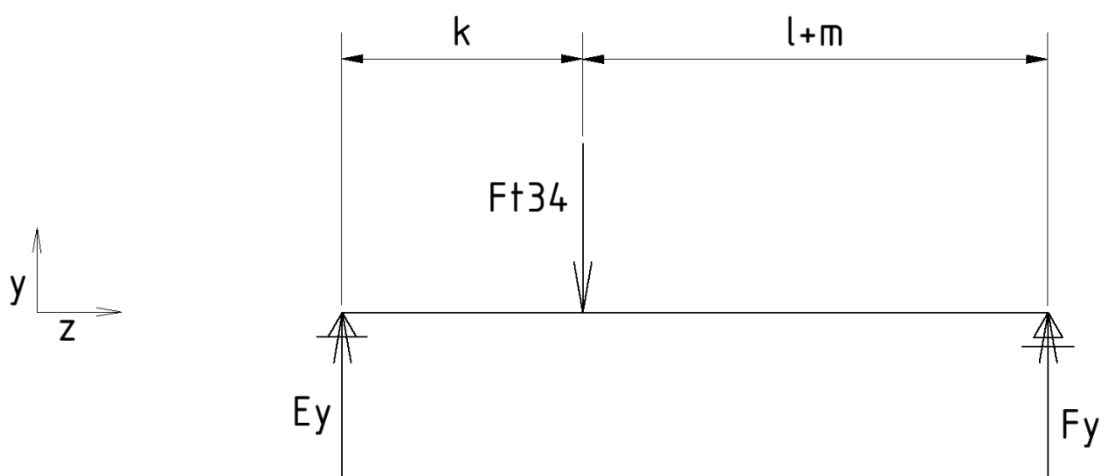
$$F_x = [F_{r34} \cdot k - 0,5 \cdot F_{a34} \cdot d_{w4}] \cdot (k + l + m)^{-1} \quad (4.123)$$

$$F_x = [1\,559,9 \cdot 28,1 - 0,5 \cdot 400,9 \cdot 95,876] \cdot 82,5^{-1} \quad (4.124)$$

$$F_x = 298,4 \text{ N} \quad (4.125)$$

$$E_x = F_{r34} - F_x = 1\,559,9 - 298,4 = 1\,261,5 \text{ N} \quad (4.126)$$

$$E_z = F_{a34} = 400,9 \text{ N} \quad (4.127)$$



obr. 12: Hřídel č. 3 - Rovina y-z

$$y: E_y + F_y - F_{t34} = 0 \quad (4.128)$$

$$M_E: F_y \cdot (k + l + m) - F_{t34} \cdot k = 0 \quad (4.129)$$

$$F_y = (F_{t34} \cdot k) \cdot (k + l + m)^{-1} \quad (4.130)$$

$$F_y = (3\,750,5 \cdot 28,1) \cdot 82,5^{-1} \quad (4.131)$$

$$F_y = 1\,277,4 \text{ N} \quad (4.132)$$

$$E_y = F_{t34} - F_y = 3\,750,5 - 1\,277,4 = 2\,473,1 \text{ N} \quad (4.133)$$

$$E_r = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = E_r = \sqrt{(1\,261,5)^2 + (2\,473,1)^2} = 2\,776,3 \text{ N} \quad (4.134)$$

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(298,4)^2 + (1\,277,4)^2} = 1\,311,8 \text{ N} \quad (4.135)$$

$$E_{ax} = E_z = 400,9 \text{ N} \quad (4.136)$$

## 4.2.10 Návrh a výpočet ložisek

Díky reakcím v podporách nosníků (uložení ložisek) spočítaných v předchozí podkapitole lze určit dynamickou trvanlivost jednotlivých ložisek. Nástupní pás patří do kategorie, jejíž trvanlivost se pohybuje mezi 20 000 – 30 000 hodinami. [16] Výpočet trvanlivosti jednotlivých ložisek je uveden v příloze č. 9. Zde je pro úplnost uvedena tabulka parametrů vybraných ložisek a jejich trvanlivostí. Jako kontrolní hodnotu trvanlivosti jsem zvolil 25 000 h. Všechna ložiska by měla svými trvanlivostmi dosahovat vyšších hodnot.

tab. 4: Parametry zvolených ložisek [17]

Umístění ložiska	A	B	C	D	E	F
Typ ložiska	Kuželíkové		Kuželíkové		Kuličkové	
Označení ložiska	SKF 30203 J2		SKF 320/22 X		SKF 62/09	
Vnější průměr D [mm]	40		44		58	
Vnitřní průměr d [mm]	17		22		28	
Tloušťka ložiska B [mm]	13,25		15		16	
Omezující rychlost [ot/min]	13 000		11 000		16 000	
Statické zatížení C <sub>0</sub> [kN]	18,6		29		9,5	
Dynamické zatížení C [kN]	19		25,1		16,8	
Vypočítané trvanlivosti L <sub>h</sub> [1000 h]	1 577,1	161,2	49,4	69,7	32,4	304,1

### 4.2.11 Pevnostní kontrola hřídelů

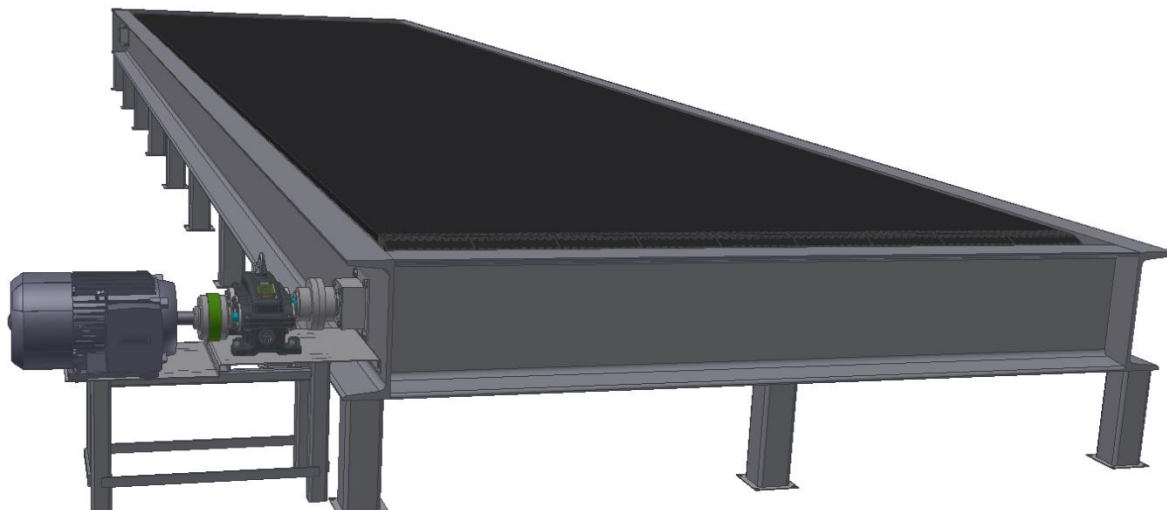
Vzhledem k namáhání jednotlivých hřídelů krouticím a ohybovým momentem je třeba kontrolovat jejich zatížení a určit bezpečnost v jejich vybraných průřezech. Při kontrole se zpravidla zanedbávají posouvající radiální síly a axiální síly v ose hřídele, neboť vyvolaná napětí jsou ve srovnání s napětími v ohybu a krutu malá. Rovněž se zanedbávají tíhy nasazených kol a vlastních hřídelů. [12] Podrobný výpočet včetně průběhů ohybových momentů je v příloze č. 10. Pro přehlednost zde uvedu tabulku vypočtených napětí a bezpečností jednotlivých hřídelů.

tab. 5: Statická kontrola hřídelů

Číslo a typ hřídele	1 - vstupní	2 - předlohová	3 - výstupní
Napětí v krutu $\tau_k$ [Nmm <sup>-2</sup> ]	15,28	25,08	40,65
Bezpečnost v krutu $k_\tau$ [-]	1,44	1,28	1,16
Napětí v ohybu $\sigma_o$ [Nmm <sup>-2</sup> ]	62,64	84,5	36,2
Redukované napětí $\sigma_{RED}$ [Nmm <sup>-2</sup> ]	68	95,01	79,2
Statická bezpečnost $k_s$ [-]	8,8	6,31	7,6

## 5 Konstrukční návrh nástupního pásu

V této kapitole postupně rozeberu svůj návrh a tvorbu 3D modelu nástupního pásu, který jsem vytvořil vlastními myšlenkami a nápady na základě dostupných informací popsaných v kapitole 2.



*obr. 13: Výsledná podoba nástupního pásu*

### 5.1 Základní rozměry

V souvislosti s předchozími kapitolami a s některými fakty v nich uvedenými volím hlavní rozměry nástupního pásu.

*tab. 6: Základní rozměry*

Délka pásu	8500 mm
Šířka pásu	1800 mm
Délka rámu	8700 mm
Šířka rámu	2050 mm
Výška rámu	550 mm

### 5.2 Výběr materiálu a typu pásu

Pro nástupní pás řešený v této bakalářské práci jsem vybral modulární pás, jehož výhody byly řečeny v kapitole č. 2. Jako hlavní dodavatel součástí pro sestavení pásu byla zvolena firma ScanBelt. Ta se zabývá výhradně modulárními dopravníkovými pásy určenými pro nejrůznější odvětví. Na svých webových stránkách popisuje řady pásů rozdělených dle zatížení: od nejlehčí dopravy, např. v pekárnách či potravinářském průmyslu, po těžkou až supertěžkou dopravu, např. dopravníkové pásy na výrobních

linkách automobilek. Výhodou této firmy je také možnost stažení 3D CAD modelů z webových stránek a jejich použití v daném 3D softwaru a zároveň dostupnost katalogu, ve kterém jsou jednotlivé typy podrobně popsány, a ve kterém jsou také návody a konstrukční typy k vytvoření požadovaných pásových dopravníků.

Z produktového portfolia výrobce jsem vybral modulární pás řady S.50-900, která je navržena nejen pro těžký automobilový průmysl, manipulaci s paletami a dřevem, ale také pro transport lidí. V této řadě pásů existuje 5 typů modulů zaměřených na konkrétnější oblasti, přičemž pro návrh nástupního lyžařského pásu jsem vybral typ S.50-908.

Tento typ modulů má uzavřený rovný povrch na vrchní straně a drážky pro ozubená kola na spodní straně. Pás je určen pro těžký až velmi těžký transport, v automobilovém průmyslu se používá na výrobních linkách automobilů. Vyrábí se ze tří různých plastických materiálů: *polyethylen (PE)*, *polypropylen (PP)* a *polyacetal (POM)*, přičemž každý z nich má jiné zatěžovací vlastnosti či rozsah pracovních teplot. Vzhledem k teplotním podmínkám, které předpokládáme při konstrukci lyžařského pásu, a vzhledem k zatížení modulů převážně dospělými osobami jsem jako hlavní materiál pásu vybral *polyethylen*. Ten je použitelný zároveň v teplých i chladných podmínkách, v teplotním rozsahu od  $-73^{\circ}\text{C}$  do  $+66^{\circ}\text{C}$ . Má vysokou chemickou odolnost a je to tuhý, ale pružný materiál s vysokou rázovou pevností. [11]

### 5.3 Vratný a poháněcí buben

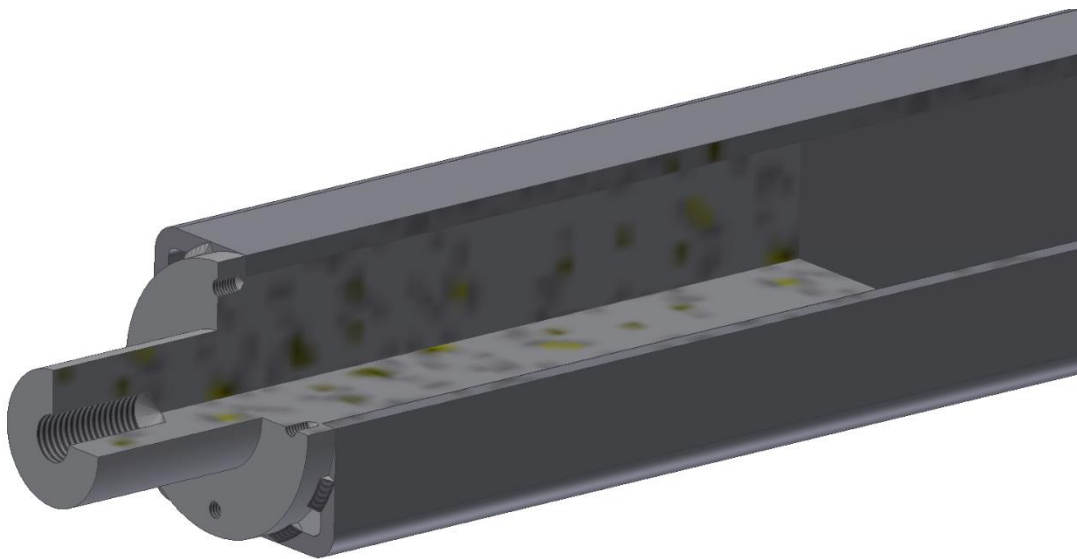
Důležitou součástí pásových dopravníků jsou vratný a poháněcí buben. Poháněcí buben je spojen pomocí spojky s převodovkou a přenáší krouticí moment na pás, který se díky tomu pohybuje. Vratný buben plní většinou funkci napínání pásu tak, aby byl zajištěn přenos třecí síly mezi pásem a poháněcím bubnem.

Dle katalogu společnosti ScanBelt existují pro vybraný druh pásových modulů dva typy plastových ozubených kol, která tvoří poháněcí i vratný buben. Jedna možnost je ozubené kolo s kruhovou dírou pro hřídel, přičemž přenos krouticího momentu zajišťují pera. Druhou možností, ke které jsem se nakonec přiklonil vzhledem k montážní náročnosti osazování hřídele mnoha perami a rozpěrnými trubkami, je ozubené kolo se čtvercovou dírou. Tato kola mají 12, 16 nebo 18 zubů a díry pro osazení hřídele se vyrábí s hranami velikostí 60 mm, 80 mm a 90 mm. Detailní tabulka s popisem rozměrů a vlastností pásu je v příloze č. 1.

Z uvedených možností vybírám ozubené kolo s 18-ti zuby s velikostí hrany vnitřní díry 80 mm. Při volbě šířky pásu 1800 mm je dle katalogu společnosti ScanBelt [11]

doporučeno použít na celou šíři 18 ozubených kol s maximální mezerou mezi koly 100 mm.

Jako hřídel bubnu tedy volím dle ČSN EN 10219-2:11 uzavřený čtvercový profil o rozměrech 80x80x6 mm a délky 1800 mm. Mezi vnitřní stěny tohoto profilu vlisují na obou koncích hřídele, které budou sloužit pro uložení do ložiska a na poháněcím bubnu také pro přenos krouticího momentu z převodovky. Každá hřídel se pojistí koutovým svarem po obvodu a tím zajistí stálý a nepohyblivý spoj mezi hřídelí a čtvercovým profilem, viz obr. 14.

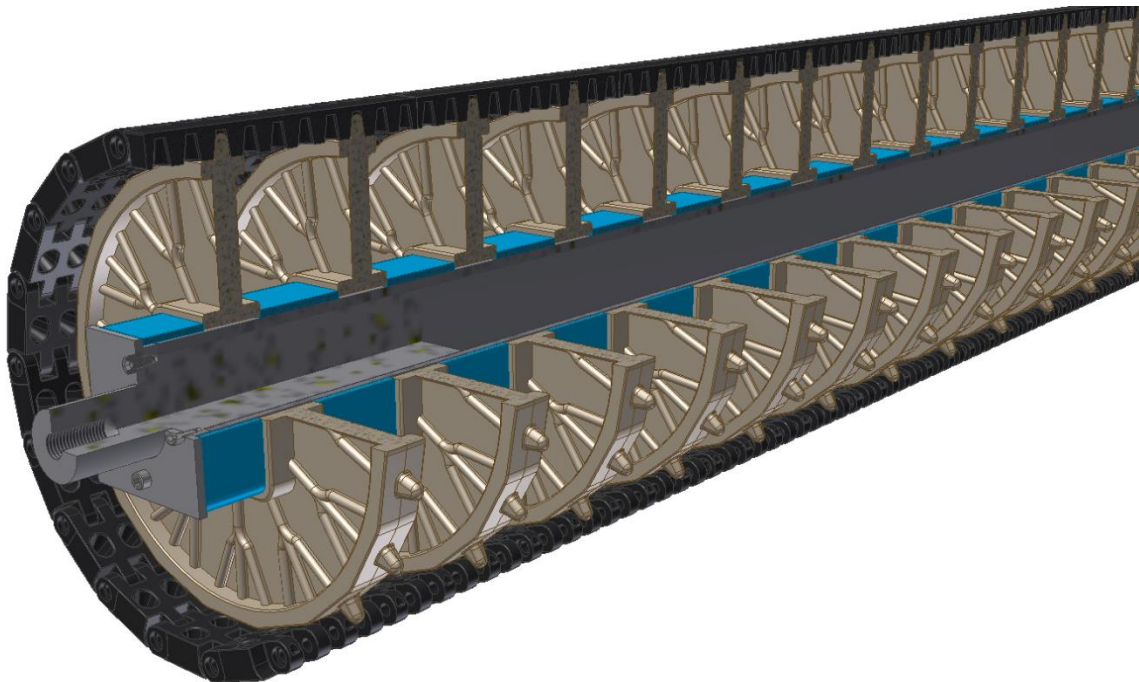


*obr. 14: Nalisování a svaření nosné hřídele*

Uložení ozubených kol na čtvercovém profilu by dle výrobce mělo být jednoduché a rychlé. Vzhledem k nutnosti opření jednotlivých kol o pevnou plochu přidávám na nalisovaný hřídel čtvercovou pojistnou desku, o kterou mohou opřít distanční trubky. Ty jsou tvořeny čtvercovými uzavřenými profily o rozměrech 90x90x4 mm a délky 41 mm pro rozepření prvního ozubeného kola a pojistné desky a délky 60 mm pro vzájemné rozepření jednotlivých kol. Mezi distančními trubkami a nosným profilem je tedy vůle 2 mm, která umožní snadnou montáž i demontáž jednotlivých částí.

Na ozubená kola se poté postupně skládají jednotlivé moduly, které se spojují do konečné velikosti celého pásu, jak je vidět na obr. 15. Pro spojování jsou určeny speciální spojovací tyče dodávané společností ScanBelt spolu s moduly a ozubenými koly.

Poháněcí i vratný buben je z konstrukčního hlediska řešen stejně, jediný rozdíl lze nalézt u delší nalisované hřídele poháněcího bubnu, která slouží pro spojení s převodovkou.



obr. 15: Buben s osazenými ozubenými koly

## 5.4 Nosný rám

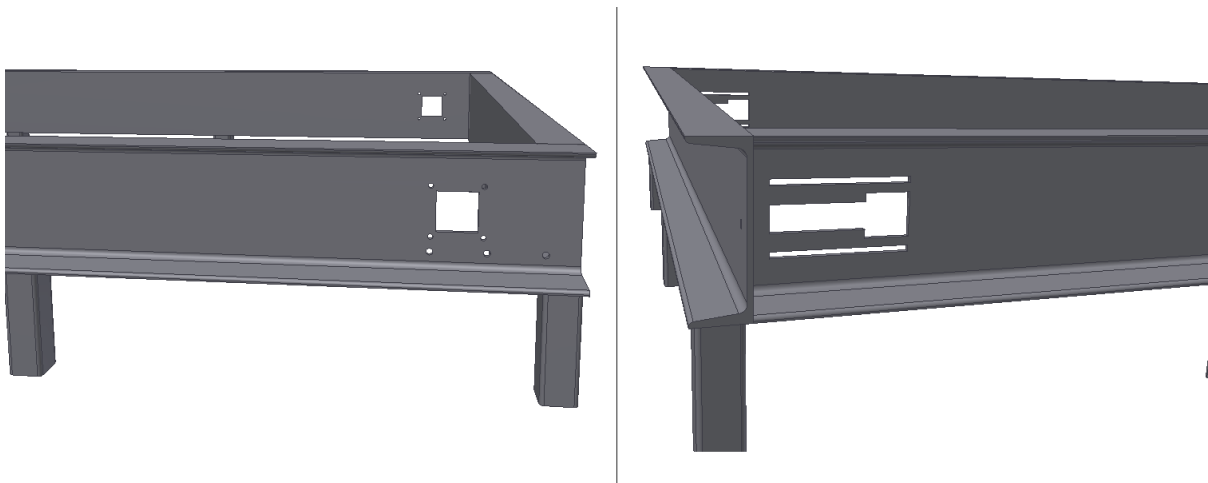
Podstatnou částí konstrukce dopravníků nebo nástupních pásů je samozřejmě nosný rám, který zajišťuje pevnou a neměnnou polohu součástí a zároveň nese veškerou tíhu nákladu, u lyžařského pásu samozřejmě lidí.

Základní nosnou konstrukci rámu tvoří čtyři U-profilů *ISO 657/11-1980* o rozměrech 300x40 mm, které jsou vzájemně svařeny a vytvářejí hlavní nosnou obdélníkovou konstrukci. Na spodní stranu profilů se rovnoměrně přivaří dvacet čtvercových uzavřených profilů o rozměrech 80x80x6 mm a délce 250 mm. Ty pomocí přivařených čtvercových plechových dílců umožní uchycení nosného rámu k podlaze betonové jámy. Zároveň zvedají nosnou plochu pásu do výšky 550 mm.

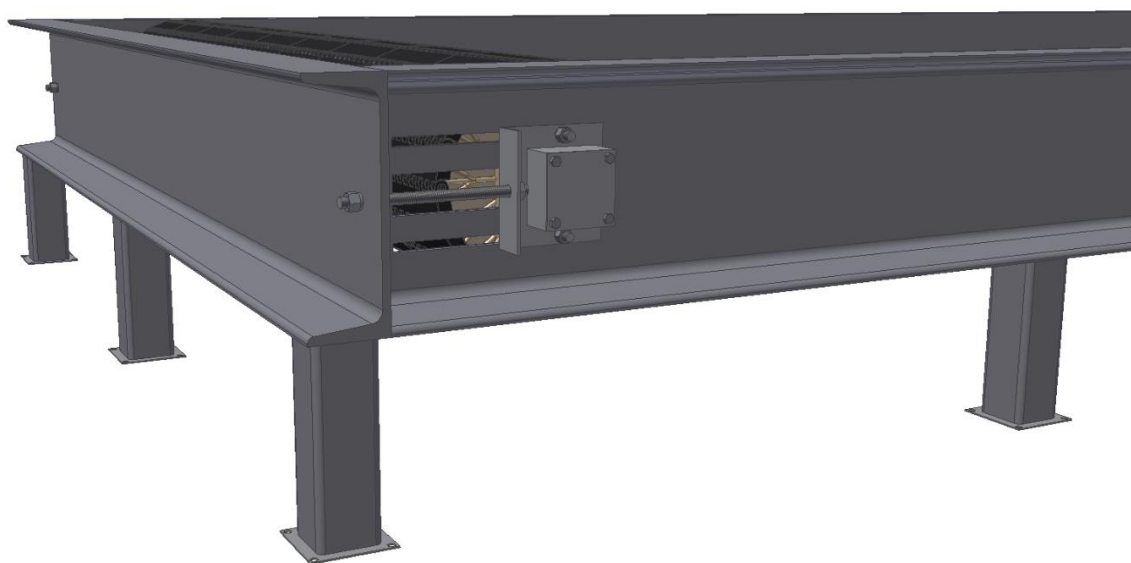
V nosných podélných U-profilech jsou na jedné straně pomocí laseru vypáleny čtvercové díry pro umístění poháněcího bubnu, vedle kterých jsou vždy čtyři kruhové díry pro šrouby uchycující k rámu ložiskové domky, ve kterých je uložena hřídel bubnu s ložisky. Na jednom profilu jsou navíc vypáleny ještě tři kruhové díry, které slouží k pevnému spojení rámu pro motor a převodovku s nosným rámem lyžařského pásu. Díky tomu je zajištěna požadovaná poloha převodovky vůči poháněcímu bubnu a je tedy možné pomocí spojky převádět krouticí moment na buben.

Na straně vratného bubnu je konstrukce děr odlišná, vratný buben totiž musí být umístěn v pohyblivých ložiskových domcích, aby bylo možné napínat pás. Je zde proto

vypálena drážka pro pohyb vratné hřídele a dvě menší drážky pro umístění šroubů s T-hlavou se čtyřhranem dle normy *DIN 186*. Čtyřhran na zvolených šroubech zajišťuje pojištění proti protáčení šroubu při utahování a zároveň umožňuje snadné vedení šroubu v drážkách. Pro přesunutí ložiskových domků do požadované polohy slouží závitová tyč.



*obr. 16: Otvory pro umístění poháněcího a vratného bubnu*



*obr. 17: Detail napínacího mechanismu a ložiskového domku s vratným bubnem*

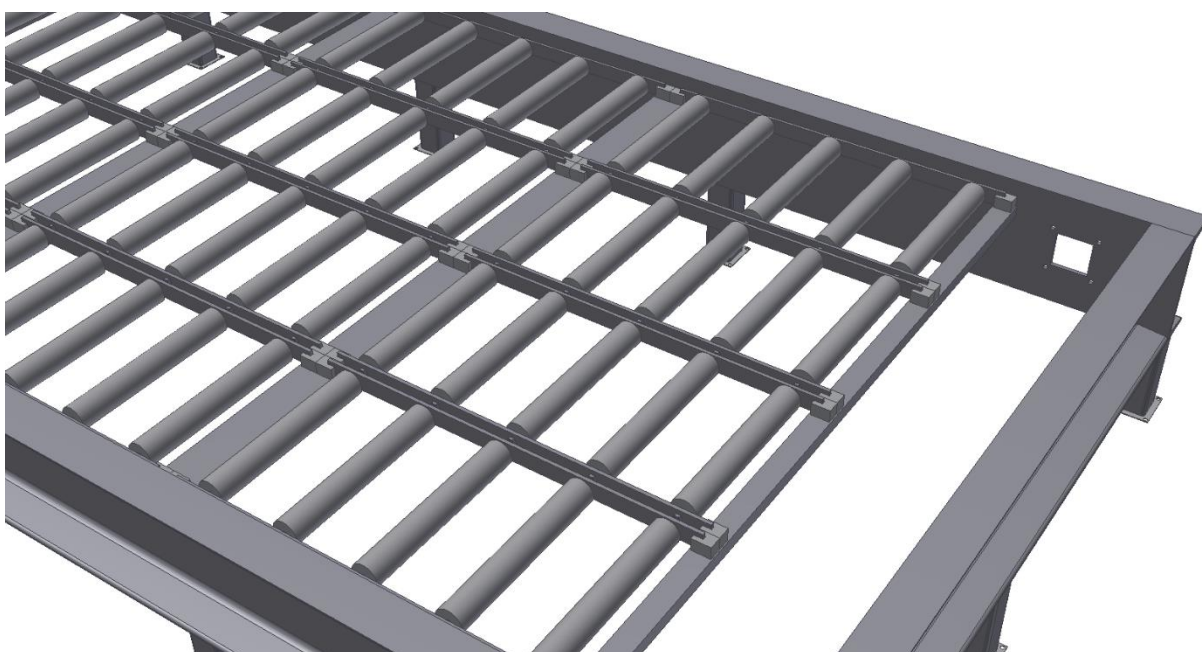
Mezi hlavní podélné profily je z obdélníkových tyčí ČSN 42 5522 přivařeno 7 podpěr o rozměrech 100x50 mm a 2 podpěry o rozměrech 50x30 mm, každá délky 1850 mm. Tyto jsou hlavními nosnými částmi rámu, jsou na nich totiž položeny ocelové dopravníkové válečky, po kterých se pás s lyžaři pohybuje.

Dopravníkové válečky jsou vybrány z katalogu firmy Navrátil, spol. s r.o., jehož část je přiložena v příloze č. 3. Typ válečku vybraný pro naši konstrukci je *S60-A12-422-452*.



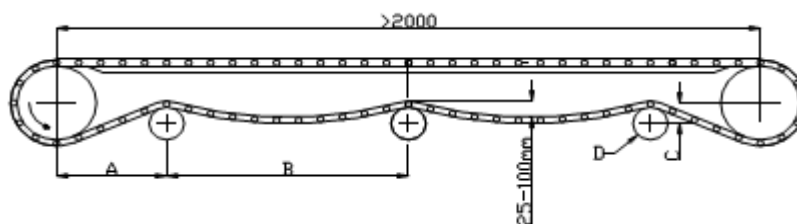
Dle produktového listu je jeho funkční délka 400 mm, maximální délka 452 mm, průměr 60 mm a únosnost jednoho válečku je 240 kg.

Pro snadnou montáž a přepravu je vždy 5 válečků přichyceno a pojištěno maticemi na dvě obdélníkové tyče ČSN 42 5522 o rozměrech 40x8 mm a délce 920 mm. Takto jsou vytvořeny „žebříky“, které se dají převážet a montovat zvlášť a k nosnému rámu přidat až na místě. Po celé šíři pásu jsou 4 řady těchto žebříků, z nichž každá jich obsahuje osm. Tyto žebříky jsou uloženy na podpěrách zmíněných v předchozím odstavci. Pro zajištění správné a pevné pozice jsou na tyto podpěry přivařeny ocelové kvádry 30x30x45 mm s vyfrézovanou drážkou pro vložení nosných tyčí žebříku, viz obr. 18.



obr. 18: Uložení válečkových žebříků na podpěrách s ocelovými kvádry

Dle technické příručky společnosti ScanBelt [11] je pro dopravníkové pásy delší než 2000 mm nutno použít také podpěry pro zpáteční směr pásu. Ty umožní zvětšit úhel opásání a zároveň zabraňují příliš velkému prověšení pásu. Na obr. 19 je vidět doporučená konstrukce podpěr. V tabulce 7 jsou poté uvedeny doporučené hodnoty jednotlivých kót.

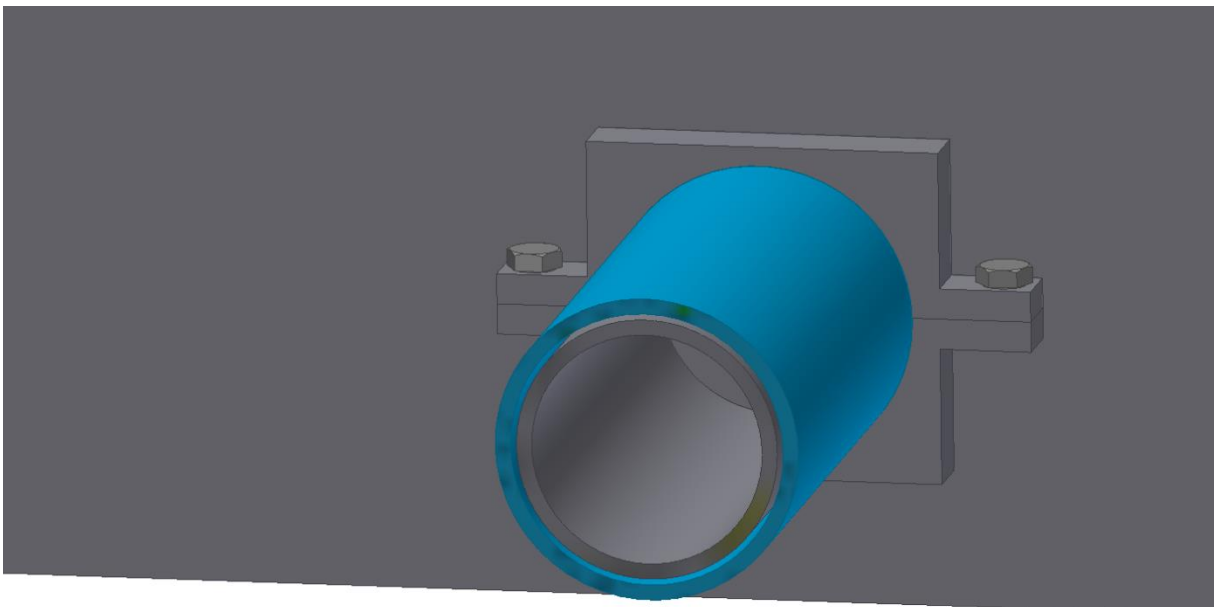


obr. 19: Doporučené použití podpěr pro zpáteční směr [11]

tab. 7: Doporučené hodnoty kót [11]

Kóta	Rozměr
A	200-300 mm
B	min 1000 mm - max 10% střední vzdálenosti
C	0-50 mm
D	Ø100 mm

Dle těchto parametrů jsou tedy k rámu přivařeny hřídelové domky, do kterých jsou vloženy ocelové trubky ČSN 42 5715 Ø76x5 mm sloužící jako podpěry. Na tyto trubky jsou ještě pro zlepšení třecích podmínek nasazeny plastové trubky Ø80x10 mm, jejichž vnější průměr je požadovaných 100 mm.



obr. 20: Detail domku a řez trubkou v něm uložené



obr. 21: Podpory zpětného pohybu pásu

V předchozí podkapitole bylo řečeno, že poháněcí i vratný buben, resp. jejich vlisované hřídele jsou uloženy v ložiscích. Při konstrukci tohoto typu nemůžeme zaručit absolutní geometrickou přesnost polohy či souososti nalisovaných hřídelí, proto jsou použita naklápěcí ložiska *SKF 1208 ETN9*. Tato ložiska nejsou náchylná na úhlovou nesouosost a pro tuto aplikaci jsou tedy více než vhodná. Mazání bude prováděno pomocí plastického maziva, ale hřídelová těsnění jsou přesto použita, především proto, aby se zabránilo vniknutí nečistot a sněhu/vody do ložisek.



obr. 22: Uložení naklápěcích ložisek v ložiskových domcích

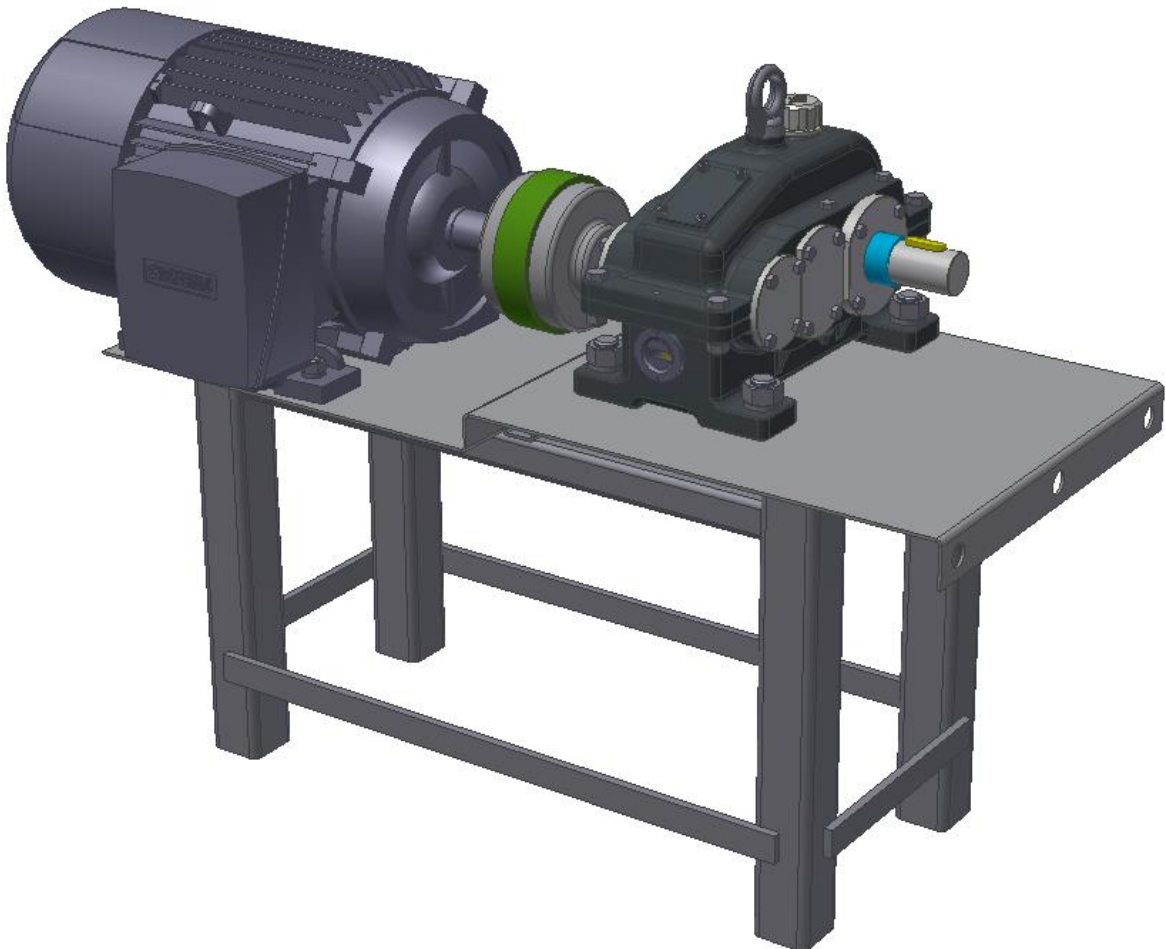
## 5.5 Rám pro motor a převodovku

Pro zaručení přesné a neměnné pozice sestavy převodovky a motoru je nutné navrhnout základní rám. Ten musí být zároveň možné přichytit k základnímu rámu lanovky tak, aby byla také zajištěna vzájemná poloha převodovky a poháněcího bubnu, resp. jeho hřídele. Proto byla zvolena varianta základní nosné konstrukce tvořené kombinací čtyř svislých uzavřených čtvercových o rozměrech 40x40x3 mm a pěti příčných čtvercových profilů o rozměrech 25x25x2 mm. K této základní konstrukci je přivařen plechový dílec z plechu tloušťky 4 mm, ve kterém jsou vyvrtány díry pro uchycení motoru a převodovky. Zároveň jsou na plechu díry pro připojení k nosnému rámu dopravního pásu.

Tento rám bude spolu s hlavním rámem pásu uložen v betonové vaně, kde bude zakrytován a schován.



*obr. 23: Základní konstrukce rámu pro motor a převodovku*



*obr. 24: Rám s převodovkou a motorem*

## Závěr

Cílem této práce bylo seznámit se s lanovými drahami a jejich částmi, konkrétně nástupními pásy. Bylo nutné zpracovat návrh pohonu pro vybraný typ pásu a zároveň vymyslet jeho funkční a efektivní konstrukční řešení, které by se případně dalo použít jako podklad pro detailní návrh reálného pásu.

V teoretické části byly stručně popsány počátky lanového provozu ve světě i v Čechách, byly nastíněny a vylíčeny první lanové systémy a jejich konstrukční řešení. Dále bylo popsáno možné rozdělení lanovek dle různých hledisek a kritérií. Byly také vypsány nejdůležitější součásti lanových drah, které jsou nutné pro chod a fungování systému. Dále byl proveden detailní rozbor nástupních pásů, od funkce přes výhody až k jednotlivým typům a konstrukčnímu řešení používanému v reálných zařízeních.

V praktické části byl řešen výpočtový návrh dvoustupňové převodovky pro potřebné vstupní hodnoty, návrh a výběr elektromotoru a spojek. Navržená převodovka byla zpracována v programu Autodesk Inventor do 3D modelu a spolu s motorem a spojkami uchycena na navržený rám, zajišťující jejich přesnou a neměnnou vzájemnou polohu. Dále byl řešen koncepční návrh konstrukce nástupního pásu pro předpokládané zatížení a byl vytvořen 3D model tohoto zařízení. Tento návrh byl vyřešen s ohledem na funkčnost a jednoduchost celého zařízení tak, aby mohl případně sloužit jako podklad pro detailní návrh a řešení reálného pásu.

## Seznam použité literatury

- [1] VURSTA, P. *Osobní lanové dráhy v libereckém kraji* [pdf]. 2012. Liberec: Liberecký kraj – odbor dopravy, 2012 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://doprava.kraj-lbc.cz/getFile/case:show/id:170064>
- [2] REMTA, F. *Visuté lanové dráhy..* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1953.
- [3] BILEK, R. *VEŘEJNÉ LANOVÉ DRÁHY V ČECHÁCH A NA SLOVENSKU* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://tram.rusign.com/cz/ld.htm#0>
- [4] POLCER, R. *Lanové dráhy v České republice* [online]. [cit. 2015-05-21]. Dostupné z: <http://www.lanove-drahy.cz/>
- [5] WOLFE, B. Glossary of Aerial Lift Terms. *Skilifts.org* [online]. 2002 [cit. 21-05-2015]. Dostupné z: <http://www.skilifts.org/old/glossary.htm>
- [6] MAYNARD, R. *Loading Conveyors for Chairlifts* [pdf]. 5. 20. 2015 [cit. 2015-20-05]. Dostupné z: [http://digitool.library.colostate.edu//exlibris/dtl/d3\\_1/apache\\_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWVpYS8xODMyMTY=.pdf](http://digitool.library.colostate.edu//exlibris/dtl/d3_1/apache_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWVpYS8xODMyMTY=.pdf)
- [7] SCANBELT. S.50-908. *scanbelt.com* [online]. [cit. 2015-06-02]. Dostupné z: <http://www.scanbelt.com/gb/products/product/s-50-908.aspx>
- [8] *DOPPELMAYR lanové dráhy, spol. s r. o.* [online]. verze 17.4.2015 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.doppelmayr.cz/>
- [9] Company profile - Leitner Ropeways. *Leitner Ropeways* [online]. [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://en.leitner-ropeways.com/Company-profile>
- [10] About - CWA Constructions SA/Corp. *CWA Constructions SA/Corp.* [online]. [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: [http://www.cwa.ch/en/about-\\_content---1--1007.html](http://www.cwa.ch/en/about-_content---1--1007.html)
- [11] SCANBELT. Technical Information. In: *scanbelt.com* [online]. verze 3/2015 [cit. 2015-06-04]. Dostupné z: [http://www.scanbelt.com/gb/download/catalogues/form/download/technical\\_information\\_english.aspx](http://www.scanbelt.com/gb/download/catalogues/form/download/technical_information_english.aspx)
- [12] KUGL, O. et al. *PROJEKT - III. ročník*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01638-2.
- [13] 1LE1002-1AB4 - Elektromotory.cz. *elektromotory.cz* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.cz/1LE1002-1AB4>

- [14] SKF. Pružné spojky, typ ECCN. *skf.com* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/coupling-systems/flexible-shaft-couplings/elastic-couplings-type-eccn/index.html?prodid=920109020&imperial=false>
- [15] SKF. Zubové spojky, typu HCCE a HCRE. *skf.com* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/coupling-systems/flexible-shaft-couplings/gear-couplings-types-hcce-and-hcre/index.html?prodid=920201010&imperial=false>
- [16] MITCALC. Valivá ložiska. *mitcalc.cz* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.cz/doc/bearings/help/cz/bearingskf.htm>
- [17] SKF. Ložiska, jednotky a tělesa. *skf.com* [online]. [cit. 2015-06-06]. Dostupné z: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/index.html>

## Seznam obrázků

obr. 1: Počet lanovek v České republice.....	14
obr. 2: Nově postavené lanovky v ČR.....	14
obr. 3: Hluboká betonová jáma pro odpojitelny typ lanovky .....	19
obr. 4: Moduly a řetězové kolo pro modulární pás firmy ScanBelt.....	20
obr. 5: Schéma pohonu .....	24
obr. 6: Axonometrické zobrazení sil.....	29
obr. 7: Hřídél č.1 - Rovina x-z.....	30
obr. 8: Hřídél č.1 - Rovina y-z.....	31
obr. 9: Hřídél č. 2 - Rovina x-z.....	31
obr. 10: Hřídél č. 2 - Rovina y-z.....	32
obr. 11: Hřídél č. 3 - Rovina x-z.....	33
obr. 12: Hřídél č. 3 - Rovina y-z.....	33
obr. 13: Výsledná podoba nástupního pásu .....	36
obr. 14: Nalisování a svaření nosné hřídele .....	38
obr. 15: Buben s osazenými ozubenými koly .....	39
obr. 16: Otvory pro umístění poháněcího a vratného bubnu.....	40
obr. 17: Detail napínacího mechanismu a ložiskového domku s vratným bubnem.....	40
obr. 18: Uložení válečkových žebříků na podpěrách s ocelovými kvádry.....	41
obr. 19: Doporučené použití podpěr pro zpáteční směr .....	41
obr. 20: Detail domku a řez trubkou v něm uložené .....	42

obr. 21: Podpory zpětného pohybu pásu.....	42
obr. 22: Uložení naklápěcích ložisek v ložiskových domcích.....	43
obr. 23: Základní konstrukce rámu pro motor a převodovku.....	44
obr. 24: Rám s převodovkou a motorem .....	44

## Seznam tabulek

tab. 1: Technické parametry vybrané lanovky .....	22
tab. 2: Vlastnosti vybraného elektromotoru.....	23
tab. 3: Bezpečnosti ozubených kol.....	27
tab. 4: Parametry zvolených ložisek.....	34
tab. 5: Statická kontrola hřídelů.....	35
tab. 6: Základní rozměry.....	36
tab. 7: Doporučené hodnoty kót.....	42

## Seznam příloh

Příloha č. 1: Seznam norem týkajících se osobních lanových drah.....	49
Příloha č. 2: Produktový list společnosti ScanBelt.....	51
Příloha č. 3: Produktový list firmy Navrátil spol. s r.o.....	52
Příloha č. 4: Návrh ozubení.....	53
Příloha č. 5: Kontrola ozubení dle ISO 6336.....	54
Příloha č. 6: Kontrola ozubení dle ISO 6336.....	55
Příloha č. 7: Návrh a kontrola lisování náboj - hřídel a kontrola per.....	56
Příloha č. 8: Výpočty silových poměrů.....	58
Příloha č. 9: Výpočet trvanlivosti ložisek.....	59
Příloha č. 10: Statická kontrola hřídelů.....	61
Příloha č. 11: Výkresy.....	64



## Příloha č.1 – Seznam 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 norem ČSN - třída 2730 - Visuté lanové dráhy osobní. Normy.biz [online]. [cit. 2015-05-28]. Dostupné z:

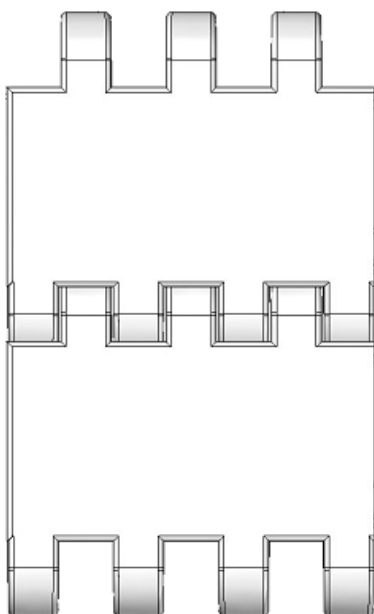
<http://shop.normy.biz/search/result?values%5Bfind%5D=lanov%C3%A9+dr%C3%A1hy>



## Příloha č. 2 – Produktový list společnosti ScanBelt

# SCANBELT

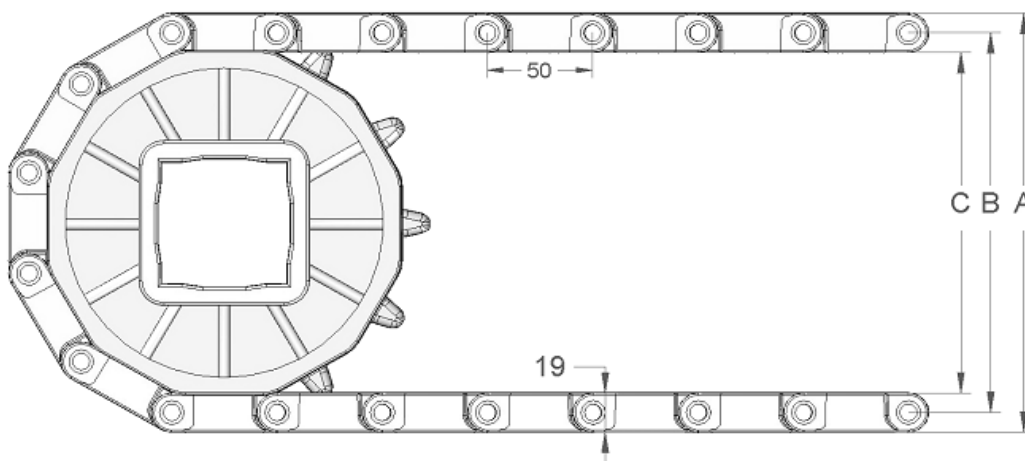
### S. 50-908



Belt data		
Materials	Max. belt pull kg/m of width	Belt weight kg/m <sup>2</sup>
Polyethylene (PE)	4800	13
Polypropylene (PP)	6000	14
Polyacetal (POM)	10250	21

Belt surface: Closed flat top.  
 Open area: Closed.  
 Strength: The right belt for very heavy applications.  
 Material/colour: PP, POM/black.  
 Cleanability: Good.  
 Accessories: 25 mm flight, 50 mm finger flight  
 Application: Very heavy transportation.  
 Assembling belt for cars.  
 Truck loading systems.  
 Standard widths: Increments of 20 mm, e.g. 100, 120 mm etc

Sprocket Data								
No. of teeth	A= Outside diameter	B= Pitch-diameter	C= Inside-diameter	Hub width:	Round bore		Square bore	
					mm	in.	mm	in.
12	210	191	172	40	40/60		60/80/90	
16	273	254	235	40	40/60		60/80/90	
18	307	288	269	40	40/60		60/80/90	

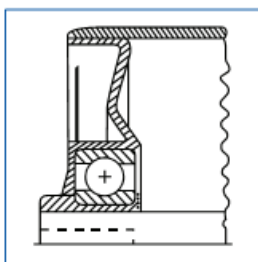
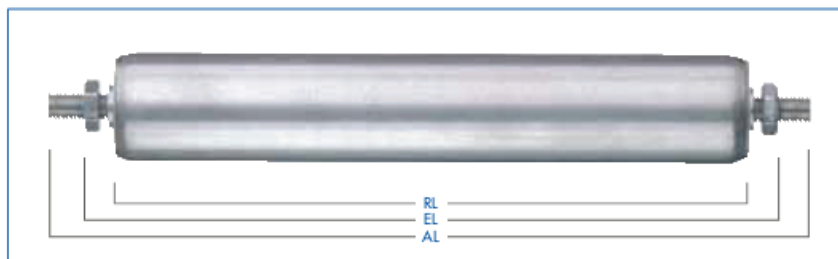


## Příloha č. 3 – Produktový list firmy Navrátil spol. s r.o.

### Pojzdová kola - Navrátil, spol. s r.o.



RL = Délka válce  
EL = Zástavbová délka  
AL = Délka osky



Průměr válečku- $\phi$ RL	EL	AL	Typ hřídele *Nosnost			
mm				kg		
<b>Vložka válečku z pozinkovaného plechu s kuličkovým ložiskem</b>						
50x1,5	200	210	230	F 10	150	S55-F10-210-230
	300	310	330	F 10	130	S55-F10-310-330
	400	410	430	F 10	80	S55-F10-410-430
	500	510	530	F 10	70	S55-F10-510-530
	600	610	630	F 10	40	S55-F10-610-630
50x,5	200	220	250	A 10	240	S55-A10-220-250
	300	320	350	A 10	240	S55-A10-320-350
	400	420	450	A 10	240	S55-A10-420-450
	500	520	550	A 10	200	S55-A10-520-550
	600	620	650	A 10	130	S55-A10-620-650
60x1,5	200	222	252	A 12	240	S60-A12-222-252
	300	322	352	A 12	240	S60-A12-322-352
	400	422	452	A 12	240	S60-A12-422-452
	500	522	552	A 12	240	S60-A12-522-552
	600	622	652	A 12	240	S60-A12-622-652
80x2	200	222	252	A 12	240	S80-A12-222-252
	300	322	352	A 12	240	S80-A12-322-352
	400	422	452	A 12	240	S80-A12-422-452
	500	522	552	A 12	240	S80-A12-522-552
	600	622	652	A 12	240	S80-A12-622-652

Zdroj: <http://www.navratilsro.cz/soubory/valecky-dopravnikove.pdf>

## Příloha č. 4 – Návrh ozubení

Grafy a další potřebné údaje k výpočtu modulů jsou v literatuře [12] na stranách 23-27.

$$m'_n = f_p \cdot \sqrt[3]{\frac{k_F \cdot M_k}{\left(\frac{b_{wF}}{m_n}\right) \cdot z_1 \cdot \sigma_{Fp}}}$$

$$f_p = 18$$

$$\psi_m = \frac{b_w}{m_n} = 15 \div 25 \rightarrow \psi_m = 16$$

$$\sigma_{Fp} = 0,6 \cdot \sigma_{Flimb}^0$$

- materiál: 14 220, cementováno a kaleno
- $\sigma_{Flimb}^0 = 700 \text{ Nmm}^{-2}$  – mez únavy v ohybu
- $\sigma_{Hlimb}^0 = 1270 \text{ Nmm}^{-2}$  – mez únavy v dotyku

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

$$k_F = k_A \cdot k_{H\beta}$$

$$k_A = 1$$

Z grafů vyčtu  $k_{H\beta}$ :

$$k_{H\beta 12} = 1,43$$

$$k_{H\beta 34} = 1,23$$

$$m'_{n1} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,43 \cdot 14,744}{16 \cdot 19 \cdot 420}} = 0,988 \text{ mm}$$

$$m'_{n2} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,43 \cdot 52,739}{16 \cdot 69 \cdot 420}} = 0,983 \text{ mm}$$

$$m'_{n3} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,23 \cdot 52,739}{16 \cdot 22 \cdot 420}} = 1,368 \text{ mm}$$

$$m'_{n4} = 18 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,23 \cdot 175,726}{16 \cdot 75 \cdot 420}} = 1,357 \text{ mm}$$



## Příloha č. 5 - Kontrola ozubení dle ISO 6336

Kontrola ozubení – soukolí 12				jednotky mm, Nmm, °, kW, Mpa, m.s <sup>-1</sup>				
			Roz.	kolo 1	kolo 2		kolo 1	kolo 2
$z_1$	19		d	19,18672	69,6781	$\sigma_{Flim}$	700	700
$z_2$	69		$d_a$	21,13527	72,81328	$\sigma_{Hlim}$	1270	1270
$m_n$	1		$d_f$	16,68672	68,36473	$Y_{Fa}$	2,782193	2,020388
$x_1$	0		$d_b$	18,00883	65,40049	$Y_{sa}$	1,553266	1,933515
$x_2$	0,593314		$d_w$	19,43182	70,56818	$Y_{\varepsilon}$	0,723864	0,723864
$\alpha_n$	20		$h_a$	0,974273	1,567587	$Y_{\beta}$	0,955596	0,955596
$\beta$	8		$h_f$	1,25	0,656686	$F_{\beta}$	6	6
$a_w$	45		h	2,224273	2,224273	$Y_{N.x}$	1	1
$b_1$	17		$s_n$	1,570796	2,002694	$Z_H$	2,356481	2,356481
$b_2$	16		$s_t$	1,586233	2,022375	$Z_E$	189,8	189,8
P	2,2		$v_n$	1,570796	1,138899	$Z_{\varepsilon}$	0,836803	0,836803
$n_1$	1425		$v_t$	1,586233	1,150092	$Z_{\beta}$	0,995122	0,995122
$M_{k1}$	14742,77		$\alpha_w$	22,06318		$Z_B$	1	1
v	1,431576					$Z_{R.T}$	1	1
u	3,631579					$K_A$	1,1	1,1
						$K_V$	1,035293	1,035293
Kontrolní rozměry						$K_{F\alpha}$	1	1
	1	2				$K_{F\beta}$	1,236611	1,234259
$h_k$	0,72185	1,24576				$K_{H\alpha}$	1	1
$s_k$	1,387048	1,387048		konst. tloušťka		$K_{H\beta}$	1,276086	1,276086
$z'$	3	8						
M/z	7,653969	23,54058		přes zuby				
d	1,476066	1,476066				$S_F$	1,839437	1,918818
M/d	20,56005	72,2438		přes kuličky		$S_H$	1,119478	1,119478



## Příloha č. 6 - Kontrola ozubení dle ISO 6336

Kontrola ozubení dle ISO 6336				jednotky mm, Nmm, °, kW, Mpa, m.s <sup>-1</sup>				
			Roz.	kolo 1	kolo 2		kolo 1	kolo 2
$z_1$	22		d	27,65148	94,2664	$\sigma_{Flim}$	700	700
$z_2$	75		$d_a$	30,02594	98,84852	$\sigma_{Hlim}$	1270	1270
$m_n$	1,25		$d_f$	24,52648	93,34906	$Y_{Fa}$	2,637255	1,93704
$x_1$	0		$d_b$	25,96712	88,52426	$Y_{sa}$	1,583317	1,979657
$x_2$	0,883063		$d_w$	28,12371	95,87629	$Y_\varepsilon$	0,731616	0,731616
$\alpha_n$	20		$h_a$	1,187232	2,29106	$Y_\beta$	0,962481	0,962481
$\beta$	6		$h_f$	1,5625	0,458672	$F_\beta$	6	6
$a_w$	62		h	2,749732	2,749732	$Y_{N.x}$	1	1
$b_1$	25		$s_n$	1,963495	2,767017	$Z_H$	2,32941	2,32941
$b_2$	24		$s_t$	1,974311	2,782258	$Z_E$	189,8	189,8
P	2,2		$v_n$	1,963495	1,159974	$Z_\varepsilon$	0,831298	0,831298
$n_1$	392,45		$v_t$	1,974311	1,166364	$Z_\beta$	0,997257	0,997257
$M_{k1}$	53531,54		$\alpha_w$	22,58399		$Z_B$	1	1
v	0,5682					$Z_{R.T}$	1	1
u	3,409091					$K_A$	1,1	1,1
						$K_V$	1,012281	1,012281
Kontrolní rozměry						$K_{F\alpha}$	1	1
	1	2				$K_{F\beta}$	1,382726	1,380965
$h_k$	0,871705	1,84641				$K_{H\alpha}$	1	1
$s_k$	1,73381	1,73381		konst. tloušťka		$K_{H\beta}$	1,426295	1,426295
$z'$	3	9						
M/z	9,616653	33,45524		přes zuby				
d	1,845082	1,845082				$S_F$	1,559954	1,632781
M/d	29,39999	98,11976		přes kuličky		$S_H$	1,119052	1,119052

## Příloha č. 7 – Návrh a kontrola lisování náboj – hřídel a kontrola per

### Nalisování kola 2 na hřídel 2

- lisování za studena

$$k = 1,1$$

$$f = 0,12$$

$$L = 23 \text{ mm}$$

$$M_{k2} = 52,45 \text{ Nm}$$

$$d_H = 23 \text{ mm}$$

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

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

$$p_{\min} = \frac{2 \cdot k \cdot M_k}{\pi \cdot d_H^2 \cdot L \cdot f} = \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 52,45 \cdot 10^3}{\pi \cdot 23^2 \cdot 23 \cdot 0,12} = 25,3 \text{ MPa}$$

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

$$E_N = E_H = E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

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

$$c_N = \frac{d_N^2 + d_H^2}{d_N^2 - d_H^2} = \frac{40^2 + 23^2}{40^2 - 23^2} = 1,99$$

$$c_H = 1$$

$$\Delta d_{\min} = p_{\min} d_H \cdot \left[ \frac{c_N + \mu_N}{E_N} + \frac{c_H - \mu_H}{E_H} \right] = p_{\min} d_H \cdot \frac{c_N + 1}{E} = 25,3 \cdot 23 \cdot \frac{1,99 + 1}{2,06 \cdot 10^5} = 8,45 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\Delta d_{w\min} = \Delta d_{\min} + w = \Delta d_{\min} + 5,5 \cdot (Ra^H + Ra^N) = 8,45 + 5,5 \cdot (0,4 + 0,4) = 12,85 \text{ } \mu\text{m}$$

**Uložení:**

$$H6/r5 \quad (+13;0)/(+37;+28)$$

$$\Delta d_{w\min} = 15 \text{ } \mu\text{m}$$

$$\Delta d_{w\max} = 37 \text{ } \mu\text{m}$$

**Kontrolní výpočty:**

$$\Delta d_{\max} = \Delta d_{w\max} - w = \Delta d_{w\max} - 5,5 \cdot (Ra^H + Ra^N) = 37 - 5,5 \cdot (0,4 + 0,4) = 32,6 \text{ } \mu\text{m}$$

$$p_{\max} = \frac{\Delta d_{\max} \cdot E}{d_H \cdot (c_N + 1)} = \frac{32,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,06 \cdot 10^5}{23 \cdot (1,99 + 1)} = 97,65 \text{ MPa}$$

Hypotéza  $\tau_{\max}$ :

$$\sigma_{\text{red}} = \sigma_1 - \sigma_3 = p_{\max} \cdot (c_N + 1) = 97,65 \cdot (1,99 + 1) = 291,97 \text{ Nmm}^{-2} \leq \frac{\sigma_{kt}}{k} = \frac{600}{1,2} = 500 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$\text{Lisovací síla: } F_L = F_T = F_N \cdot f = \pi \cdot d_H \cdot L \cdot p_{\max} \cdot f = \pi \cdot 23 \cdot 23 \cdot 97,65 \cdot 0,12 = 19\,474 \text{ N}$$

### Nalisování kola 4 na hřídel 3

- lisování za studena

$$k = 1,1$$

$$f = 0,12$$

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

$$M_{k3} = 175,23 \text{ Nm}$$

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

$$d_N = 45 \text{ mm}$$

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

$$p_{\min} = \frac{2 \cdot k \cdot M_k}{\pi \cdot d_H^2 \cdot L \cdot f} = \frac{2 \cdot 1,1 \cdot 175,23 \cdot 10^3}{\pi \cdot 30^2 \cdot 30 \cdot 0,12} = 37,98 \text{ MPa}$$

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



$$E_N = E_H = E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$$

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

$$c_N = \frac{d_N^2 + d_H^2}{d_N^2 - d_H^2} = \frac{45^2 + 30^2}{45^2 - 30^2} = 2,6$$

$$c_H = 1$$

$$\Delta d_{\min} = p_{\min} d_H \cdot \left[ \frac{c_N + \mu_N}{E_N} + \frac{c_H - \mu_H}{E_H} \right] = p_{\min} d_H \cdot \frac{c_N + 1}{E} = 37,98 \cdot 30 \cdot \frac{2,6 + 1}{2,06 \cdot 10^5} = 19,91 \mu\text{m}$$

$$\Delta d_{w\min} = \Delta d_{\min} + w = \Delta d_{\min} + 5,5 \cdot (Ra^H + Ra^N) = 19,91 + 5,5 \cdot (0,4 + 0,4) = 24,31 \mu\text{m}$$

**Uložení:**

$$H6/t5 (+13;0)/(+62;+41)$$

$$\Delta d_{w\min} = 28 \mu\text{m}$$

$$\Delta d_{w\max} = 62 \mu\text{m}$$

**Kontrolní výpočty:**

$$\Delta d_{\max} = \Delta d_{w\max} - w = \Delta d_{w\max} - 5,5 \cdot (Ra^H + Ra^N) = 62 - 5,5 \cdot (0,4 + 0,4) = 57,6 \mu\text{m}$$

$$p_{\max} = \frac{\Delta d_{\max} \cdot E}{d_H \cdot (c_N + 1)} = \frac{57,6 \cdot 10^{-3} \cdot 2,06 \cdot 10^5}{30 \cdot (2,6 + 1)} = 109,87 \text{ MPa}$$

Hypotéza  $\tau_{\max}$ :

$$\sigma_{\text{red}} = \sigma_1 - \sigma_3 = p_{\max} \cdot (c_N + 1) = 109,87 \cdot (2,6 + 1) = 395,5 \text{ Nmm}^{-2} \leq \frac{\sigma_{kt}}{k} = \frac{600}{1,2} = 500 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$\text{Lisovací síla: } F_L = F_T = F_N \cdot f = \pi \cdot d_H \cdot L_L \cdot p_{\max} \cdot f = \pi \cdot 30 \cdot 30 \cdot 109,87 \cdot 0,12 = 37\,278 \text{ N}$$

### Pero na hřídeli 1

- hřídel  $\varnothing 17$
- pero 5x5x20

$$p = \frac{4 \cdot M_{k1}}{d_h \cdot h \cdot l_a} = \frac{4 \cdot 14,74 \cdot 10^3}{17 \cdot 5 \cdot (20 - 5)} = 46,24 \text{ MPa} \leq 120 \text{ MPa}$$

### Pero na hřídeli 3

- hřídel  $\varnothing 28$
- pero 8x7x28

$$p = \frac{4 \cdot M_{k3}}{2 \cdot d_h \cdot h \cdot l_a} = \frac{4 \cdot 175,23 \cdot 10^3}{2 \cdot 28 \cdot 7 \cdot (28 - 8)} = 89,64 \text{ MPa} \leq 120 \text{ MPa}$$

## Příloha č. 8 – Výpočty silových poměrů

### Valivé průměry

$$d_{w1} = d_1 \cdot \frac{\cos \alpha_{t12}}{\cos \alpha_{tw12}} = 19,187 \cdot \frac{\cos 20,18076^\circ}{\cos 22,06318^\circ} = 19,432 \text{ mm}$$

$$d_{w2} = d_2 \cdot \frac{\cos \alpha_{t12}}{\cos \alpha_{tw12}} = 69,678 \cdot \frac{\cos 20,18076^\circ}{\cos 22,06318^\circ} = 70,568 \text{ mm}$$

$$d_{w3} = d_3 \cdot \frac{\cos \alpha_{t34}}{\cos \alpha_{tw34}} = 27,651 \cdot \frac{\cos 20,10137^\circ}{\cos 22,58399^\circ} = 28,124 \text{ mm}$$

$$d_{w4} = d_4 \cdot \frac{\cos \alpha_{t34}}{\cos \alpha_{tw34}} = 94,266 \cdot \frac{\cos 20,10137^\circ}{\cos 22,58399^\circ} = 95,876 \text{ mm}$$

### Valivé úhly

$$\tan \beta_w = \tan \beta \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{tw}}$$

$$\beta_{w12} = \text{atan} \left( \tan \beta_{12} \cdot \frac{\cos \alpha_{t12}}{\cos \alpha_{tw12}} \right) = \text{atan} \left( \tan 8^\circ \cdot \frac{\cos 20,18076^\circ}{\cos 22,06318^\circ} \right) = 8,10085^\circ$$

$$\beta_{w34} = \text{atan} \left( \tan \beta_{34} \cdot \frac{\cos \alpha_{t34}}{\cos \alpha_{tw34}} \right) = \text{atan} \left( \tan 6^\circ \cdot \frac{\cos 20,10137^\circ}{\cos 22,58399^\circ} \right) = 6,10170^\circ$$

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

$$\alpha_{nw12} = \text{atan}(\cos \beta_{w12} \cdot \tan \alpha_{tw12}) = \text{atan}(\cos 8,10085^\circ \cdot \tan 22,06318^\circ) = 21,86387^\circ$$

$$\alpha_{nw34} = \text{atan}(\cos \beta_{w34} \cdot \tan \alpha_{tw34}) = \text{atan}(\cos 6,10170^\circ \cdot \tan 22,58399^\circ) = 22,46879^\circ$$

### Soukolí 12

$$|F_{t12}| = |F_{t21}|$$

$$|F_{r12}| = |F_{r21}|$$

$$|F_{a12}| = |F_{a21}|$$

$$F_{t12} = \frac{2 \cdot M_{k1}}{d_{w1}} = \frac{2 \cdot 14,74 \cdot 10^3}{19,432} = 1517,5 \text{ N}$$

$$F_{r12} = F_{t12} \cdot \frac{\tan \alpha_{nw12}}{\cos \beta_{w12}} = 1517,5 \cdot \frac{\tan 21,86387^\circ}{\cos 8,10085^\circ} = 615,1 \text{ N}$$

$$F_{a12} = F_{t12} \cdot \tan \beta_{w12} = 1517,5 \cdot \tan 8,10085^\circ = 216 \text{ N}$$

### Soukolí 34

$$|F_{t34}| = |F_{t43}|$$

$$|F_{r34}| = |F_{r43}|$$

$$|F_{a34}| = |F_{a43}|$$

$$F_{t34} = \frac{2 \cdot M_{k2}}{d_{w3}} = \frac{2 \cdot 52,45 \cdot 10^3}{28,124} = 3750,5 \text{ N}$$

$$F_{r34} = F_{t34} \cdot \frac{\tan \alpha_{nw34}}{\cos \beta_{w34}} = 3750,5 \cdot \frac{\tan 22,46879^\circ}{\cos 6,10170^\circ} = 1559,9 \text{ N}$$

$$F_{a34} = F_{t34} \cdot \tan \beta_{w34} = 3750,5 \cdot \tan 6,10170^\circ = 400,9 \text{ N}$$

## Příloha č. 9 – Výpočet trvanlivosti ložisek

Životnost ložisek byla počítána z následujících vzorců.

$$P = V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$$V = 1$$

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} \leq e: \rightarrow X = 1, Y = 0$$

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} \geq e: \rightarrow X = 0,4, Y \text{ dle katalogu výrobce}$$

$$L = \left(\frac{C}{P}\right)^m$$

$m = 3$  pro bodový styk (kuličková ložiska)

$m = \frac{10}{3}$  pro čárový styk

$$L_h = \frac{L}{60 \cdot n} \cdot 10^6 = \frac{16\,667}{n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^m$$

$$L_h \geq L_{hmin}$$

### Ložiska A, B (kuželíková)

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

$$A_r = 549,3 \text{ N}, B_r = 1\,088,9 \text{ N}, A_{ax} = 216 \text{ N}$$

Radiální síla vyvolá u kuželíkových ložisek přidavnou axiální sílu, se kterou je nutné počítat.

Pro tyto výpočty byly použity podklady pro výpočet axiální síly působící na uložení se dvěma jednořadými kuželíkovými ložisky na stránkách společnosti SKF.

$$F_{aA} = \frac{A_r}{2 \cdot Y} = \frac{549,3}{2 \cdot 1,7} = 161,6 \text{ N}$$

$$F_{aB} = F_{aA} + A_{ax} = 161,6 + 216 = 377,6 \text{ N}$$

$$\frac{F_{aA}}{A_r} = \frac{161,6}{549,3} = 0,294 \leq e \rightarrow X = 1, Y = 0 \rightarrow P = A_r = 549,3 \text{ N}$$

$$\frac{F_{aB}}{B_r} = \frac{377,6}{1\,088,9} = 0,347 \leq e \rightarrow X = 1, Y = 0 \rightarrow P = B_r = 1\,088,9 \text{ N}$$

$$L_{hA} = \frac{16\,667}{n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^m = \frac{16\,667}{1\,425} \cdot \left(\frac{19\,000}{549,3}\right)^{\frac{10}{3}} = 1\,577\,087 \text{ h}$$

$$L_{hB} = \frac{16\,667}{n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^m = \frac{16\,667}{1\,425} \cdot \left(\frac{19\,000}{1\,088,9}\right)^{\frac{10}{3}} = 161\,161 \text{ h}$$

### Ložiska C, D (kuželíková)

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

$$C_r = 3\,019,4 \text{ N}, D_r = 2\,339,7 \text{ N}, C_{ax} = 184,9 \text{ N}$$

Radiální síla vyvolá u kuželíkových ložisek přidavnou axiální sílu, se kterou je nutné počítat. Pro tyto výpočty byly použity podklady pro výpočet axiální síly působící na uložení se dvěma jednořadými kuželíkovými ložisky na stránkách společnosti SKF.

$$F_{ac} = \frac{C_r}{2 \cdot Y} = \frac{3\,019,4}{2 \cdot 1,5} = 1\,006,5 \text{ N}$$

$$F_{ad} = F_{ac} + C_{ax} = 1\,006,5 + 184,9 = 1\,191,4 \text{ N}$$

$$\frac{F_{ac}}{C_r} = \frac{1\,006,5}{3\,019,4} = 0,33 \leq e \rightarrow X = 1, Y = 0 \rightarrow P = C_r = 3\,019,4 \text{ N}$$

$$\frac{F_{ad}}{D_r} = \frac{1\,191,4}{2\,339,7} = 0,509 > e \rightarrow X = 0,4, Y = 1,5 \rightarrow P = 0,4 \cdot D_r + 1,5 \cdot F_{ad} = 2\,722,98 \text{ N}$$

$$L_{hc} = \frac{16\,667}{n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^m = \frac{16\,667}{392,45} \cdot \left(\frac{25\,100}{3\,019,4}\right)^{\frac{10}{3}} = 49\,422 \text{ h}$$

$$L_{hD} = \frac{16\,667}{n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^m = \frac{16\,667}{392,45} \cdot \left(\frac{25\,100}{2\,722,98}\right)^{\frac{10}{3}} = 69\,743 \text{ h}$$

#### Ložiska E, F (kuličková)

$$k_r = 0,025, f_0 = 14, C_0 = 9\,500 \text{ N}, C = 16\,800 \text{ N}$$

$$E_r = 2\,776,3 \text{ N}, F_r = 1\,311,8 \text{ N}, E_{ax} = 400,9 \text{ N}$$

$$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0} \rightarrow e$$

$$\frac{14 \cdot 400,9}{9\,500} = 0,591 \rightarrow e_E = 0,25$$

$$\frac{14 \cdot 0}{9\,500} = 0 \rightarrow e_F = 0$$

$$\frac{E_a}{E_r} = \frac{400,9}{2\,776,3} = 0,14 \leq e \rightarrow X = 1, Y = 0 \rightarrow P = E_r = 2\,776,3 \text{ N}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{0}{1\,311,8} = 0 \leq e \rightarrow X = 1, Y = 0 \rightarrow P = F_r = 1\,311,8 \text{ N}$$

$$L_{hE} = \frac{16\,667}{n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^m = \frac{16\,667}{115,12} \cdot \left(\frac{16\,800}{2\,766,3}\right)^3 = 32\,429 \text{ h}$$

$$L_{hF} = \frac{16\,667}{n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^m = \frac{16\,667}{115,12} \cdot \left(\frac{16\,800}{1\,311,8}\right)^3 = 304\,111 \text{ h}$$



## Příloha č. 10 – Statická kontrola hřídelů

### Hřídel 1 - vstupní

#### Krut:

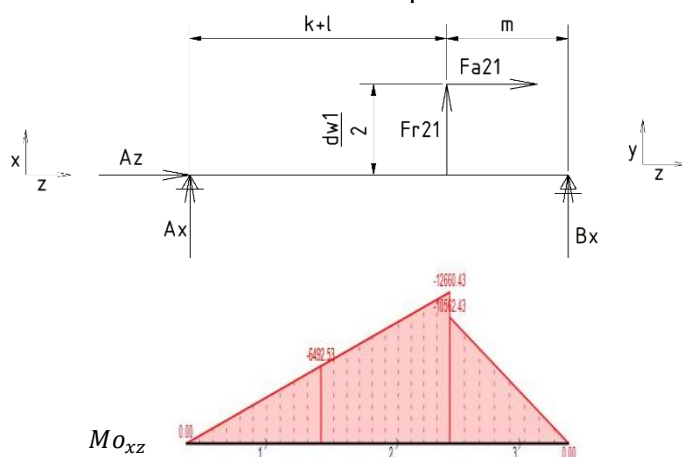
$\tau_D = 22 \text{ Nmm}^{-2}$  pro vstupní hřídel

$$\tau_k = \frac{M_{k1}}{W_k} = \frac{16 \cdot M_{k1}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 14,74 \cdot 10^3}{\pi \cdot 17^3} = 15,28 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$k_\tau = \frac{\tau_D}{\tau_k} = \frac{22}{15,28} = 1,44$$

#### Ohyb:

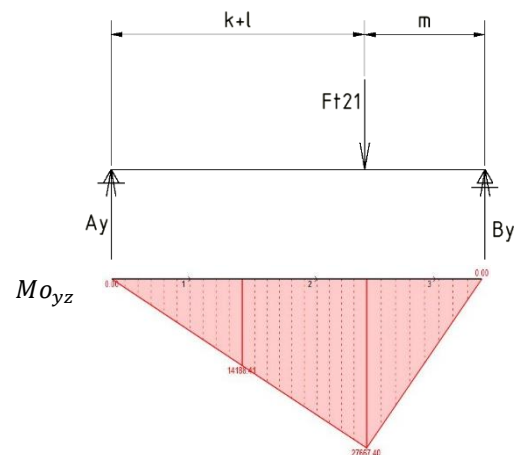
$Re = 600 \text{ Nmm}^{-2}$  ... mez kluzu pro ocel 14 220



$$M_{Oxz_{MAX}} = A_x \cdot (k + l)$$

$$M_{Oxz_{MAX}} = 228,1 \cdot 55$$

$$M_{Oxz_{MAX}} = 12\,545,5 \text{ Nmm}$$



$$M_{Oyz_{MAX}} = A_y \cdot (k + l)$$

$$M_{Oyz_{MAX}} = 499,7 \cdot 55$$

$$M_{Oyz_{MAX}} = 27\,483,5 \text{ Nmm}$$

$$M_o = \sqrt{M_{Oxz_{MAX}}^2 + M_{Oyz_{MAX}}^2} = \sqrt{12\,545,5^2 + 27\,483,5^2} = 30\,211 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 30\,211}{\pi \cdot 17^3} = 62,64 \text{ Nmm}^{-2}$$

#### Redukované napětí:

$$\alpha = \sqrt{3}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + (\alpha \cdot \tau_k)^2} = \sqrt{62,64^2 + 3 \cdot 15,28^2} = 68 \text{ Nmm}^{-2}$$

#### Bezpečnost

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{600}{68} = 8,8$$

### Hřídel 2 - předloková

#### Krut:

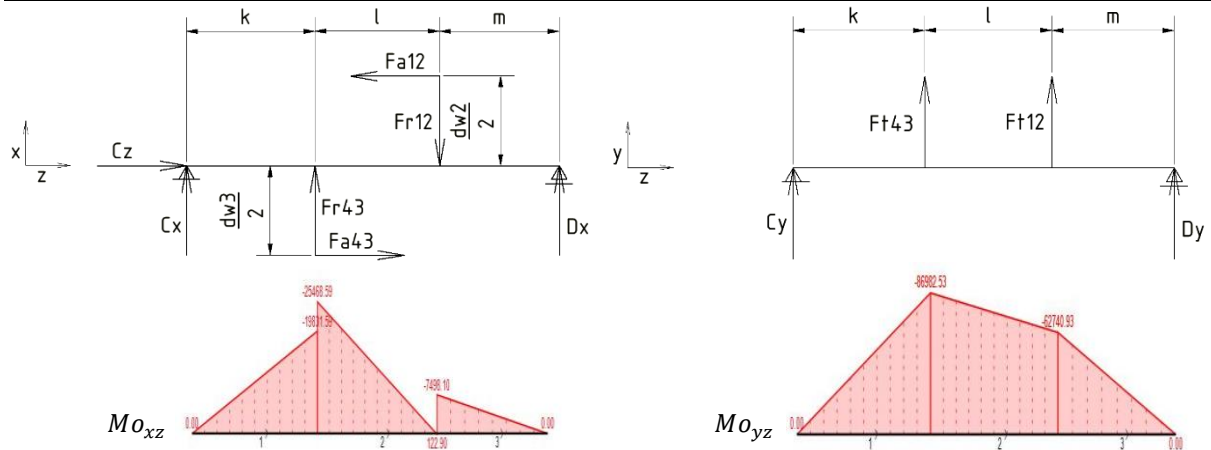
$\tau_D = 32 \text{ Nmm}^{-2}$  pro předlokovou hřídel

$$\tau_k = \frac{M_{k2}}{W_k} = \frac{16 \cdot M_{k2}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 52,45 \cdot 10^3}{\pi \cdot 22^3} = 25,08 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$k_\tau = \frac{\tau_D}{\tau_k} = \frac{32}{25,08} = 1,28$$

#### Ohyb:

$Re = 600 \text{ Nmm}^{-2}$  ... mez kluzu pro ocel 14 220



$$M_{o_{xz_{MAX}}} = C_x \cdot k + F_{a34} \cdot 0,5 \cdot d_{w3}$$

$$M_{o_{xz_{MAX}}} = 666,7 \cdot 28,8 + 400,9 \cdot 0,5 \cdot 28,124$$

$$M_{o_{xz_{MAX}}} = 24\,838 \text{ Nmm}$$

$$M_{o_{yz_{MAX}}} = C_y \cdot k$$

$$M_{o_{yz_{MAX}}} = 2\,944,9 \cdot 28,8$$

$$M_{o_{yz_{MAX}}} = 84\,813 \text{ Nmm}$$

$$M_o = \sqrt{M_{o_{xz_{MAX}}}^2 + M_{o_{yz_{MAX}}}^2} = \sqrt{24\,838^2 + 84\,813^2} = 88\,375 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 88\,375}{\pi \cdot 22^3} = 84,5 \text{ Nmm}^{-2}$$

**Redukované napětí:**

$$\alpha = \sqrt{3}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + (\alpha \cdot \tau_k)^2} = \sqrt{84,5^2 + 3 \cdot 25,08^2} = 95,01 \text{ Nmm}^{-2}$$

**Bezpečnost**

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{600}{95,01} = 6,31$$

**Hřídel 3 - výstupní**

**Krut:**

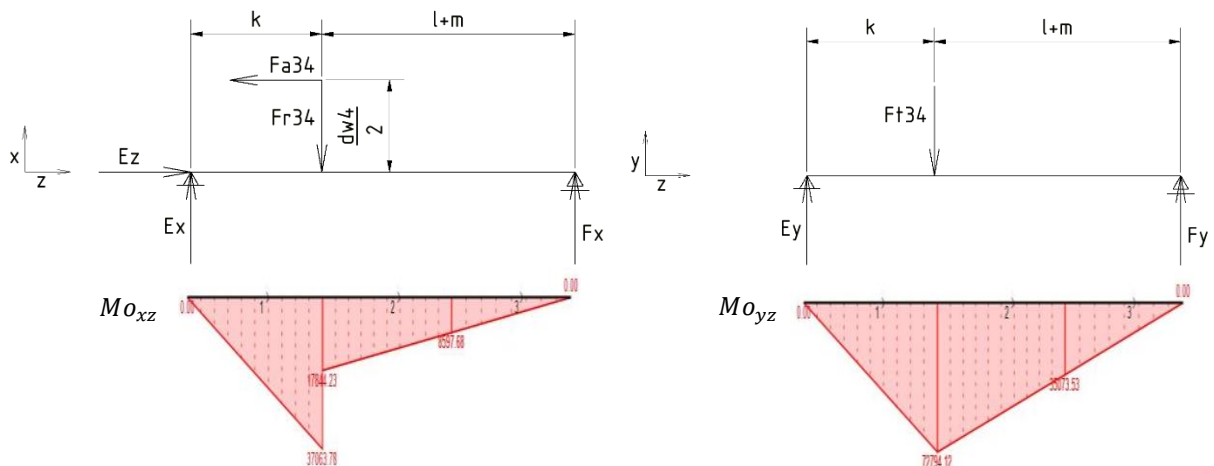
$\tau_D = 47 \text{ Nmm}^{-2}$  pro výstupní hřídel

$$\tau_k = \frac{M_{k3}}{W_k} = \frac{16 \cdot M_{k3}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 175,23 \cdot 10^3}{\pi \cdot 28^3} = 40,65 \text{ Nmm}^{-2}$$

$$k_\tau = \frac{\tau_D}{\tau_k} = \frac{47}{40,65} = 1,16$$

**Ohyb:**

$Re = 600 \text{ Nmm}^{-2}$  ... mez kluzu pro ocel 14 220





$$M_{o_{xz_{MAX}}} = E_x \cdot k$$

$$M_{o_{xz_{MAX}}} = 1\,261,5 \cdot 28,1$$

$$M_{o_{xz_{MAX}}} = 35\,448 \text{ Nmm}$$

$$M_{o_{yz_{MAX}}} = E_y \cdot k$$

$$M_{o_{yz_{MAX}}} = 2\,473,1 \cdot 28,1$$

$$M_{o_{yz_{MAX}}} = 69\,494 \text{ N}$$

$$M_o = \sqrt{M_{o_{xz_{MAX}}}^2 + M_{o_{yz_{MAX}}}^2} = \sqrt{35\,448^2 + 69\,494^2} = 78\,013 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{32 \cdot M_o}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 78\,013}{\pi \cdot 28^3} = 36,2 \text{ Nmm}^{-2}$$

**Redukované napětí:**

$$\alpha = \sqrt{3}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + (\alpha \cdot \tau_k)^2} = \sqrt{36,2^2 + 3 \cdot 40,65^2} = 79,2 \text{ Nmm}^{-2}$$

**Bezpečnost**

$$k_s = \frac{Re}{\sigma_{red}} = \frac{600}{79,2} = 7,6$$



## **Příloha č. 11 – Výkresy**

Výkres sestavy převodovky – výkres č. PP-00-00-01

Kusovník sestavy převodovky – kusovník č. PP-00-00-K

Výkres sestavy pohonu – výkres č. PP-00-00-00

Kusovník sestavy pohonu – kusovník č. PP-00-00-K2

Výkresy a kusovníky jsou uloženy v přiložených deskách.