

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Dráha opony divadla

Theatre Curtain Travel

Student:

Bc. Petr Kramoliš

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.

Ostrava 2015

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Kramoliš**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 40 Konstrukce strojních dílů a skupin
Téma: **Dráha opony divadla
Theatre Curtain Travel**

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce navrhnete dráhu opony divadla:

1. Nosnost 150 kg
2. Rychlost zatahování opony 0,25 m/s
3. Délka dráhy 9 m
4. Dvoukřídlé zatahování a roztahování stejnou rychlostí

Seznam doporučené odborné literatury:

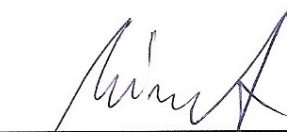
BOLEK, A.; KOCHMAN, J. *Části strojů 1*. Praha : SNTL, 1990. 775s. ISBN 80-03-00046-7.
BOLEK, A.; KOCHMAN, J. *Části strojů 2*. Praha : SNTL, 1990. 707s. ISBN 80-03-00426-8.
DEJL, Z. *Konstrukce strojů a zařízení I*. Ostrava : Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3
DRASTÍK, F. *Strojnické tabulky*. Ostrava : Montanex, 1999, 722 s. ISBN 80-85780-95-X
KŘÍŽ, R. *Strojnické tabulky II. Pohony*. Ostrava : Montanex, 1997, 213 s. ISBN 80-85780-51-8
MORAVEC, V.; HAVLÍK, J. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2005, 72 s.
ISBN 80-248-0878-1
NĚMČEK, M. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů, spoje*.
druhé vydání Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008, 111 s. ISBN 978-80-248-1782-8
Katalogy ložisek
Firemní literatura

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jiří Havlík, Ph.D.**


Datum zadání: 13.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorským zákonem, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Petr Kramoliš

Adresa trvalého pobytu autora práce: Kpt. Nálepky 1070/13; 742/21, Kopřivnice; CZ

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KRAMOLIŠ, P. *Dráha opony divadla : diplomová práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů, 2015, 61 s. Vedoucí práce: Havlík, J.

Diplomová práce se zabývá návrhem dráhy opony divadla. V úvodu diplomové práce je vypracovaná rešerše o dostupných drahách a podrobně popsána funkce drah. Na základě nejpoužívanějších druhů kolejnic je navrženo vlastní řešení dvou typů, s vnitřním, tak i s vnějším pojezdem. Navržená dráha opony divadla je zkonstruována, dále je provedena nezbytná pevnostní kontrola a navržen pohonný systém. V příloze diplomové práce je zdokumentován výkres sestavy dráhy opony divadla a výrobní výkres hnací kladky.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

KRAMOLIŠ, P. *Theatre Curtain Travel : Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2015, 61 p. Thesis head: Havlík, J.

The master thesis is dealing with design of a theatre curtain travel. Introduction is focused on literature review of currently available theatre curtain travelers and their detailed function. Based on the most commonly used types of carriers two basic types were designed with both inner and outer travel. The designed tracks of theatre curtain were rigorously constructed where necessary stress analyses were made, and also appropriate propulsion system was designed. Technical drawings of both traveler curtain tracks and drive pulley were attached to the thesis.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	7
0 Úvod.....	10
1 Nejpoužívanější systémy kolejnic	11
2 Návrh kolejnice	19
3 Konstrukce	21
4 Pevnostní kontrola	34
4.1 Maximální nosnost kolejnice	34
4.2 Maximální nosnost tažného vozíku.....	36
4.3 Maximální nosnost pojezdu	37
4.4 Odpor při zatahování opony	38
4.5 Volba pohonu	55
4.6 Čas pro zatažení opony	57
5 Závěr	58
6 Seznam použité literatury	59
7 Seznam příloh	61

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Popis	Jednotka
C_0	Statické zatížení ložiska	[MPa]
F_1	Síla působící kolmo na osu odváděcí kladky	[N]
F_2	Síla působící kolmo na osu ohybu	[N]
F_3	Síla působící kolmo na osu čepu	[N]
F_4	Síla působící kolmo na osu přesměrovací kladky	[N]
F_5	Síla působící kolmo na osu ohybu	[N]
F_6	Síla působící kolmo na osu čepu	[N]
F_7	Síla působící kolmo na osu vratné kladky	[N]
F_8	Síla působící kolmo na osu čepu	[N]
F_9	Síla působící kolmo na osu ohybu	[N]
F_{10}	Síla působící kolmo na osu čepu	[N]
F_{11}	Síla působící kolmo na osu přesměrovací kladky	[N]
F_{12}	Síla působící kolmo na osu ohybu	[N]
F_{13}	Síla působící kolmo na osu odváděcí kladky	[N]
$F_{\text{hnací}}$	Potřebná hnací síla na překonání odporů	[N]
F_{max}	Maximální zatížení kolejnice	[N]
F_{o1}	Odpor odváděcí kladky	[N]
F_{o2}	Odpor ohybu	[N]
F_{o3}	Odpor čepu	[N]
F_{o4}	Odpor přesměrovací kladky	[N]
F_{o5}	Odpor ohybu	[N]
F_{o6}	Odpor čepu	[N]
F_{o7}	Odpor vratné kladky	[N]
F_{o8}	Odpor čepu	[N]
F_{o9}	Odpor ohybu	[N]
F_{o10}	Odpor čepu	[N]
F_{o11}	Odpor přesměrovací kladky	[N]
F_{o12}	Odpor ohybu	[N]
F_{o13}	Odpor odváděcí kladky	[N]
F_p	Síla předpětí lana	[N]
$F_{p\text{max}}$	Maximální zatížení pojezdu	[N]
F_T	Celkový valivý odpor tažných vozíků a pojezdů	[N]

F_{vmax}	Maximální zatížení tažného vozíku	[N]
M_{o1}	Třecí odpor ložiska odváděcí kladky	[Nmm]
M_{o4}	Třecí odpor ložiska přesměrovací kladky	[Nmm]
M_{o7}	Třecí odpor ložiska vratné kladky	[Nmm]
M_{o11}	Třecí odpor ložiska přesměrovací kladky	[Nmm]
M_{o13}	Třecí odpor ložiska odváděcí kladky	[Nmm]
P	Výkon motoru	[kW]
P_{min}	Minimální výkon motoru	[kW]
R	Poloměr pojížděcího kolečka	[mm]
R_p	Mez kluzu AlCu4Mg	[MPa]
S	Dráha opony	[mm]
d_{hk}	Průměr hnací kladky	[mm]
d_{lok}	Průměr ložiska odváděcí kladky	[mm]
d_{lpk}	Průměr ložiska přesměrovací kladky	[mm]
d_{lvk}	Průměr ložiska vratné kladky	[mm]
d_{ok}	Průměr odváděcí kladky	[mm]
d_{pk}	Průměr přesměrovací kladky	[mm]
d_{vk}	Průměr vratné kladky	[mm]
e	Rameno valivého odporu	[mm]
f_{ξ}	Součinitel čepového tření	[-]
$f_{\check{c}ep}$	Součinitel tření na čepu	[-]
f_{ohyb}	Součinitel tření v ohybu	[-]
g	Gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
i_l	Počet ložisek v jednom kolečku	[-]
i_p	Počet koleček pojezdu	[-]
i_v	Počet koleček tažného vozíku	[-]
k	Statická bezpečnost	[-]
m	Hmotnost opony	[kg]
m_{max}	Maximální nosnost kolejnice	[kg]
m_{pmax}	Maximální nosnost pojezdu	[kg]
m_p	Hmotnost pojezdu	[kg]
m_v	Hmotnost tažného vozíku	[kg]
m_{vmax}	Maximální nosnost tažného vozíku	[kg]
n	Výstupní otáčky	[min ⁻¹]

n'	Potřebné výstupní otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
r_1	Poloměr ložiska kolečka	$[\text{mm}]$
t	Potřebný čas k zatažení opony	$[\text{s}]$
v	Rychlost zatahování opony	$[\text{m.s}^{-1}]$
v_{skut}	Skutečná rychlost zatahování opony	$[\text{m.s}^{-1}]$
α_1	Úhel opásání odváděcí kladky	$[\text{°}]$
α_2	Úhel opásání ohybu	$[\text{°}]$
α_3	Úhel opásání čepu	$[\text{°}]$
α_4	Úhel opásání přesměrovací kladky	$[\text{°}]$
α_5	Úhel opásání ohybu	$[\text{°}]$
α_6	Úhel opásání čepu	$[\text{°}]$
α_7	Úhel opásání vratné kladky	$[\text{°}]$
α_8	Úhel opásání čepu	$[\text{°}]$
α_9	Úhel opásání ohybu	$[\text{°}]$
α_{10}	Úhel opásání čepu	$[\text{°}]$
α_{11}	Úhel opásání přesměrovací kladky	$[\text{°}]$
α_{12}	Úhel opásání ohybu	$[\text{°}]$
α_{13}	Úhel opásání odváděcí kladky	$[\text{°}]$
η_p	Účinnost pohonu	$[-]$
$\eta_{\text{př}}$	Účinnost převodovky	$[-]$
η	Součinitel tření kuličkového ložiska	$[-]$
π	Matematická konstanta	$[-]$
σ_{oDOV}	Maximální dovolené ohybové napětí	$[\text{MPa}]$

0 Úvod

V současné době jsou na celém světovém trhu pouze dvě firmy, zabývající se systémem drah opon. Obě firmy nabízí široký sortiment konstrukcí kolejnic, které se liší hlavně ve vedení tažných vozíku a pojezdů, ale jen jedna z firem a jediný systém využívá vedení pohonného lana jak vně, tak i uvnitř kolejnice.

Proto bylo mým cílem vymyslet originální návrh kolejnic, které využívají právě výhodu vedení lana uvnitř a tím vytvořit konstrukční řešení dráhy opony divadla, které dokáže splňovat zadané požadavky

- Nosnost 150 kg
- Rychlost zatahování opony $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Délka dráhy 9 m
- Dvoukřídlé zatahování a roztahování stejnou rychlostí

Díky mým návrhům by se tyto konstrukce mohly vyrábět v české republice a tím obohatit světový trh o další typy kolejnic a také k nám zavést nové atraktivní odvětví.

1 Nejpoužívanější systémy kolejnic

Na dnešním trhu jsou zatím pouze dvě zahraniční firmy, které nabízejí systémy kolejnic opon.

První z nich je rakouská firma Tuchler, která se zabývá jevištní a textilní technikou od 60. let a má v nabídce tři různé druhy systémů kolejnic opon (TT1; TT2 a XT3) (viz obr. 1.1).



Obr. 1.1 – Druhy kolejnic firmy Tuchler[1,2,3]

Jedna je ale používanější než ostatní. Mluvíme tady o první kolejnici TT1 (viz obr. 1.3).

TT1 – Robustní kolejnice pro opony (viz obr. 1.2)

Tato kolejnice má robustní konstrukci, díky které je možné vést pohonné lano vně nebo uvnitř kolejnice. U vedení lana uvnitř není potřeba lanových vodících kladek, protože vše je schováno v konstrukci. Systém je také speciální tím, že využívá tažné vozíky (viz obr. 1.4) a pojezdy (viz obr. 1.5), které se pohybují v profilu kolejnice. Při výrobě lanových kladek a lanových vodících kladek byl použit tzv. High-chem plast, který se nemusí promazávat a proto nevyžaduje žádnou údržbu.



Obr. 1.2 – Systém kolejnic TT1 [4]

Profil kolejnice opony



Obr. 1.3 – Profil kolejnice [5]

Tažné vozíky



Obr. 1.4 – Tažný vozík [6]

Pojezdy



Obr. 1.5 – Pojezd [7]

Lanová vratná kladka

Lanová vratná kladka se dá jednoduše přenastavit pro vedení pohonného lana vně (viz obr. 1.6) nebo uvnitř (viz obr. 1.7).



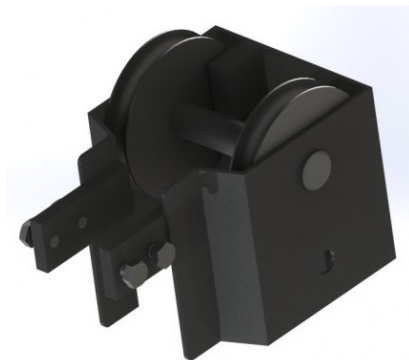
Obr. 1.6 – Lanová vratná kladka pro pohonné lano ležící vně [8]



Obr. 1.7 – Lanová vratná kladka pro pohonné lano ležící uvnitř [9]

Lanová odváděcí kladka

Lanová odváděcí kladka, tak jako vratná se dá jednoduše přenastavit pro vedení pohonného lana vně (viz obr. 1.8) nebo uvnitř (viz obr. 1.9).



Obr. 1.8 – Lanová odváděcí kladka pro pohonné lano ležící vně [10]



Obr. 1.9 – Lanová odváděcí kladka pro pohonné lano ležící uvnitř [11]

Středové přesměrování pohonného lana ležícího uvnitř

Středové přesměrování (viz obr. 1.10) umožňuje velké překrytí částí opony bez použití obkročovačů.



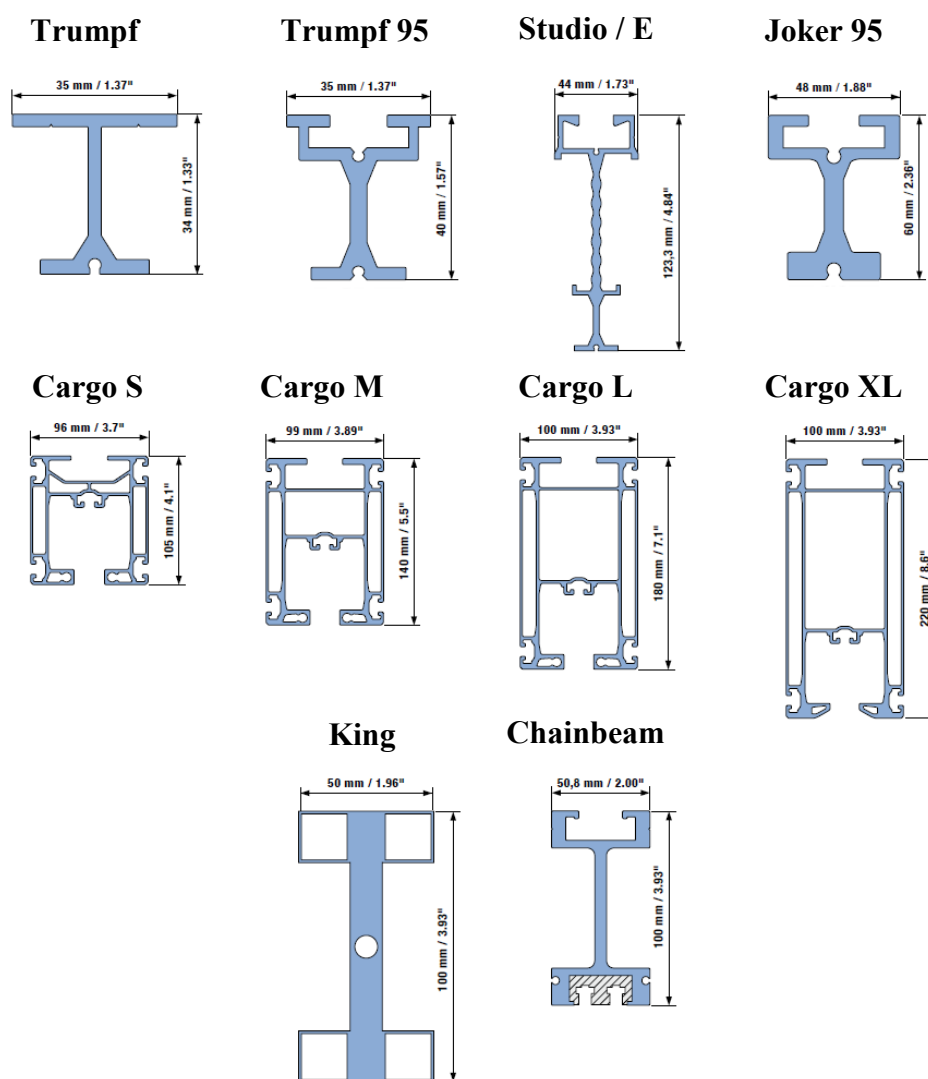
Obr. 1.10 – Středové přesměrování pohonného lana ležícího uvnitř [12]

Lanové vodící kladky a závěsy (viz obr. 1.11)



Obr. 1.11 – Lanové vodící kladky a závěsy [4]

Další firmou, která se zabývá jevištní technikou je Německá firma Gerriets, která má v nabídce mnoho různých řešení typů systémů kolejnic opon (Trumpf; Trumpf 95; Studio / E; Joker 95; Cargo S, M, L, XL; King; Chainbeam) (viz obr. 1.12).

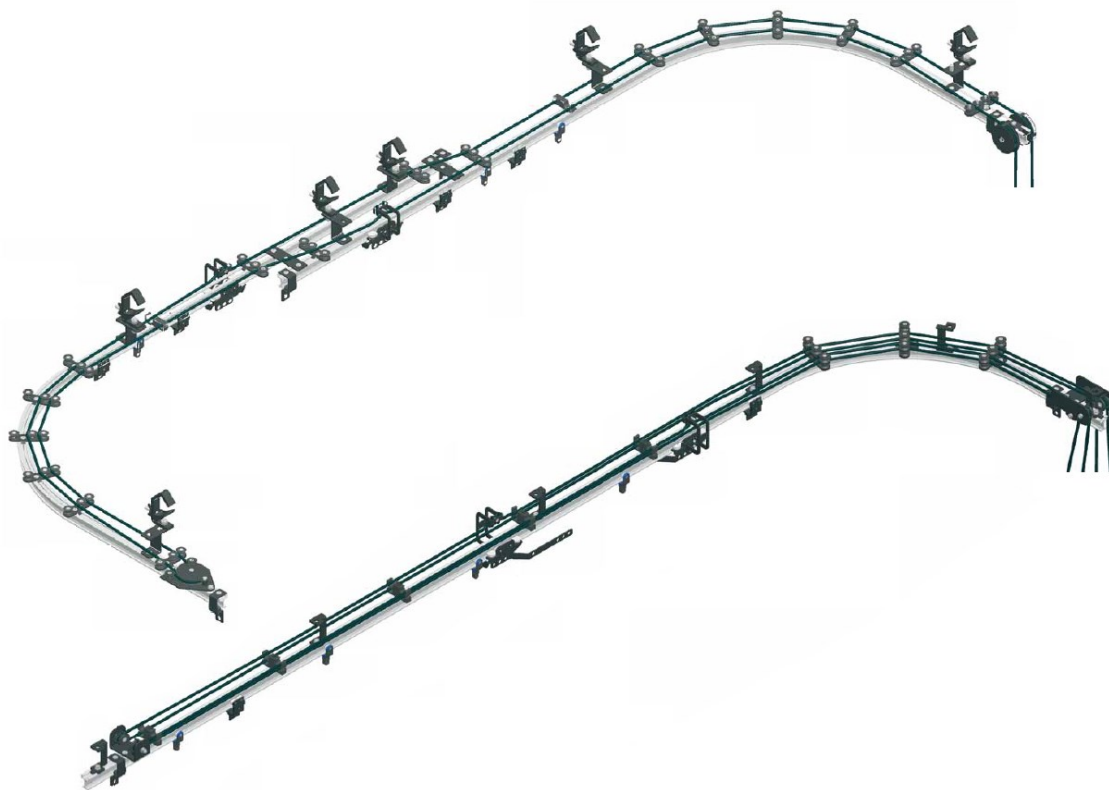


Obr. 1.12 – Druhy kolejnic firmy Gerriets [13]

I u této firmy je jeden typ oblíbenější než ostatní. Jedná se o kolejnici s označením Trumpf 95 (viz obr. 1.14).

Trumpf 95 (viz obr. 1.13)

Tato kolejnice má jednoduchou, lehkou, kompaktní a univerzální konstrukci, díky které umožňuje složité konfigurace. Pohonné lano lze vést jen vně kolejnice, ale lze vést každou polovinu opony zvlášť. Systém využívá tažné vozíky (viz obr. 1.15) a různé pojezdy (viz obr. 1.16), které se pohybují vně profilu kolejnice.



Obr. 1.13 – Systém kolejnic Trumpf 95 [13]

Profil kolejnice opony



Obr. 1.14 – Profil kolejnice [13]

Tažné vozíky



Obr. 1.15 – Tažný vozík [13]

Pojezdy



Obr. 1.16 – Pojezdy [13]

Lanové vratné kladky (viz obr. 1.17, obr. 1.18)



Obr. 1.17 – Lanová vratná kladka [13]



Obr. 1.18 – Lanová vratná kladka pro pohon každé poloviny opony zvlášť [13]

Lanová odváděcí kladka (viz obr. 1.19, obr. 1.20)



Obr. 1.19 – Lanová odváděcí kladka [13]



Obr. 1.20 – Lanová odváděcí kladka pro pohon každé poloviny opony zvlášť [13]

Lanové vodící kladky a závěsy (viz obr. 1.21)



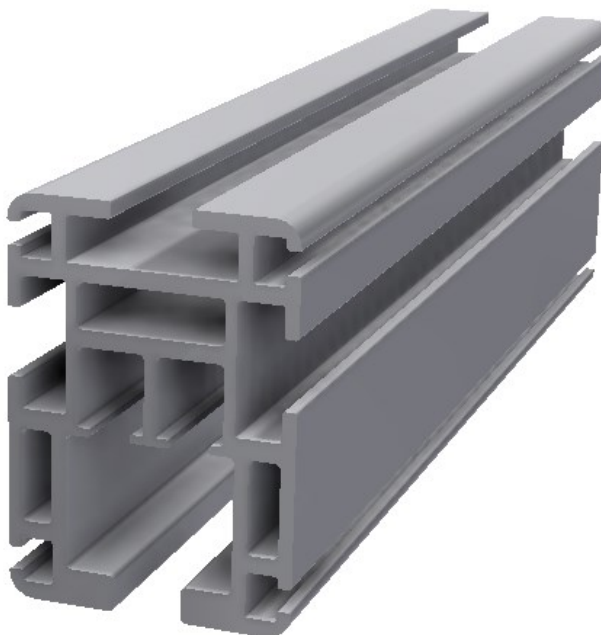
Obr. 1.21 – Lanové vodící kladky a závěsy [13]

2 Návrh kolejnice

Kolejnice je nejdůležitější část systému dráhy opony divadla a proto jsem navrhl dva různé univerzální řešení kolejnic, které mají robustní, ale kompaktní konstrukci a jsou schopny vést pohonné lano vně i uvnitř kolejnice. Obě kolejnice mají stejnou výšku, která je 71 mm a šířku 51 mm.

Kolejnice 1

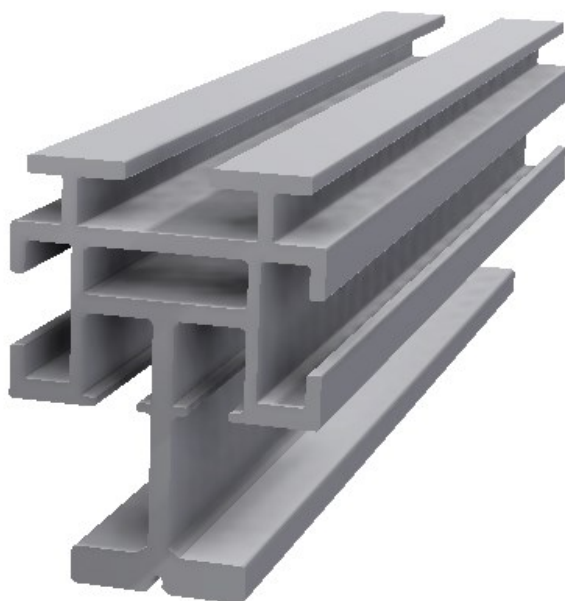
Konstrukci kolejnice 1 (viz obr. 2.1) jsem navrhl pomocí kombinace Tychlerovského systému TT1 a TT2 a Gerriovského systému Cargo S, M, L a XL kde všechny typy využívají vnitřní pojezd, ale nejvíce inspirace jsem čerpal z výše zmíněného TT1, který navíc využívá možnost vedení pohonného lana uvnitř profilu kolejnice. Kolejnice v mém návrhu má jak vrchní drážku pro uchycení lanových vodících kladek, závěsů a dalších komponentů, tak i další drážky na bocích díky kterým lze kombinovat různé uchycení a malé drážky pro speciální potřeby.



Obr. 2.1 – Kolejnice 1

Kolejnice 2

Návrh této konstrukce (viz obr. 2.2) je založena na podobném principu jako kolejnice 1, je zde však zvýhodněno nejpoužívanější vedení pojezdů vně konstrukce. Na druhou stranu zde nejsou obsaženy malé drážky po bocích kolejnice sloužící pro speciální potřeby.

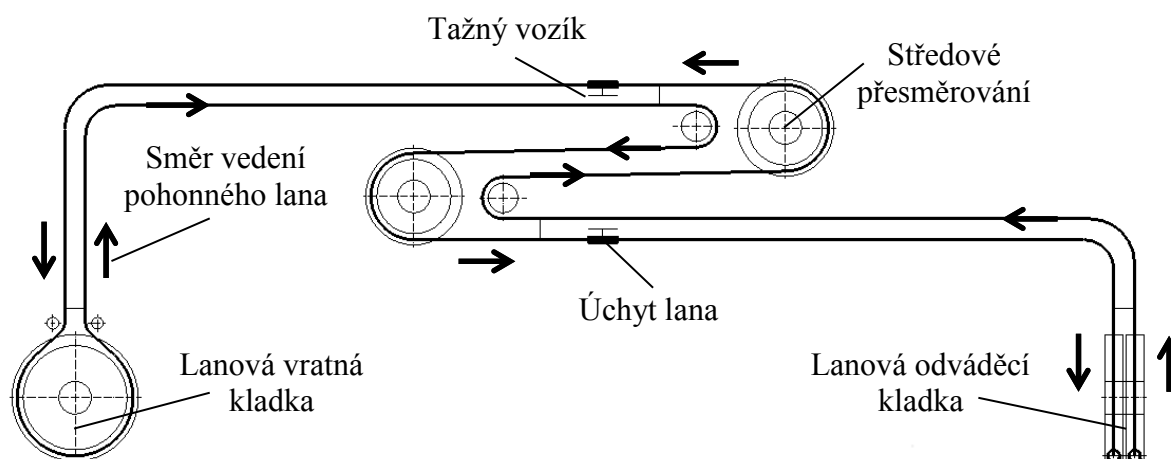


Obr. 2.2 – Kolejnice 2

Výroba bude provedena protlačováním ze slitiny hliníku, protože na svařování a jiné technologické postupy je konstrukce příliš složitá.

3 Konstrukce

Z rešerše už víme, že pohonné lano lze vést jak vně, přičemž máme mnoho různých řešení vedení lana, tak i uvnitř kolejnice. Nejpoužívanější způsob vedení vně je lano nad kolejnicí, ale jsou i způsoby jak vést lano vedle a pod kolejnicí. Tyto případy se moc nevyužívají, protože jsou jen pro speciální potřeby. Lano vně musí být vedeno pomocí lanových vodicích kladek anebo součástí pro vedení lana, které vedou a drží lano na správném místě. Pro vracení a odvádění lana slouží lanové vratné a odváděcí kladky. V kolejnici, nebo vně, jsou vedeny tažné vozíky a pojezdy, ke kterým je zavěšena opona. Tažné vozíky jsou připevněny k pohonnému lanu (viz obr. 3.1), takže když se opona zavírá, jedna část je připevněna k lanu směřujícímu k vratné kladce a druhá část opony je připevněna k lanu směřujícímu proti vratné kladce a tím se zavírají a otevírají obě poloviny zároveň. Celý systém je zavěšen pomocí závěsů.

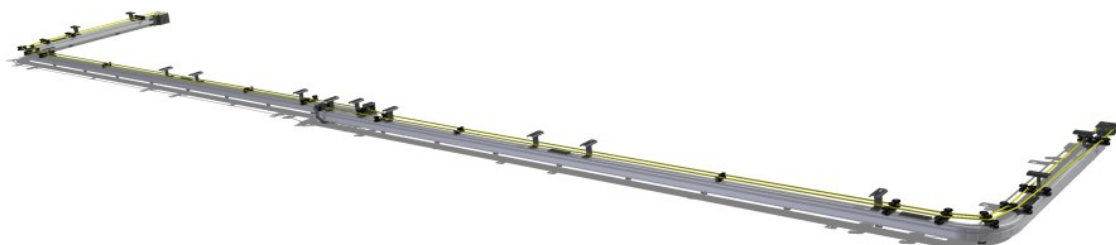


Obr. 3.1 – Schéma vedení lana

Zvolené řešení

Pro konstrukci jsem zvolil kolejnici 1 (viz obr. 2.1), protože zde je použit vnitřní pojezd, který je jak prakticky lepší (nezanáší se prach), tak i designově hezčí, protože není nic vidět. Kolejnice 1 navíc využívá více druhů připojení, než kolejnice 2 (viz obr. 2.2), a to díky speciálním drážkám po bocích.

Pro zadané požadavky jsem vytvořil devíti metrovou dráhu se zatáčkou, pro dvoukřídlé otevírání a zavírání opony, která může vést pohonné lano buď vně (viz obr. 3.2) nebo uvnitř kolejnice (viz obr. 3.3).

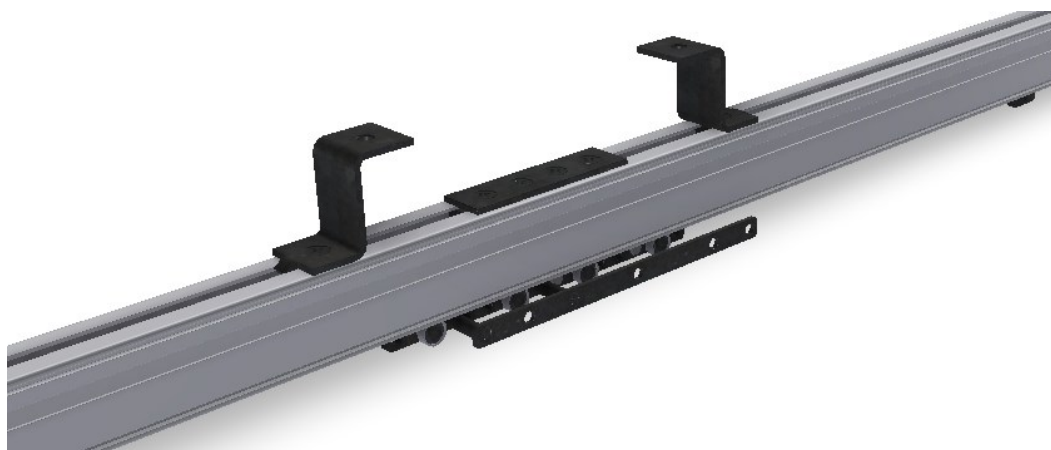


Obr. 3.2 – Konstrukční řešení s vnějším vedením pohonného lana



Obr. 3.3 – Konstrukční řešení s vnitřním vedením pohonného lana

Z několika částí kolejnic jsem vytvořil dráhu, která je uprostřed překryta. Je možno také vytvořit rovné dráhy bez překrytí (viz obr. 3.4), ale musí se použít obkročovač k překrytí opon, který ale vytváří klopné síly.



Obr. 3.4 – Rovná dráha bez překrytí

Kolejnice jsou spojeny pomocí spojovacích částí (viz obr. 3.5) v horní drážce a pro překrytí jsou použity matice a plechy pro překrytí dráhy (viz obr. 3.6).



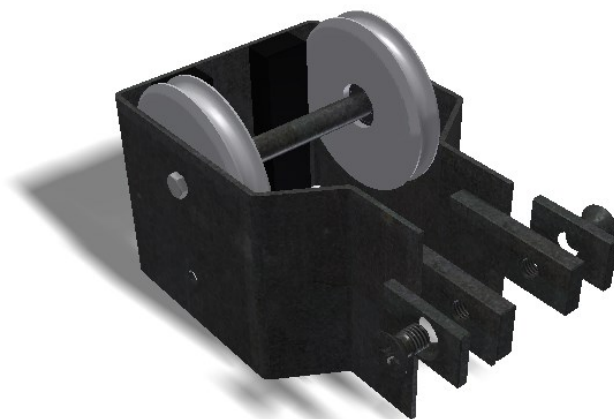
Obr. 3.5 – Spojení kolejnic



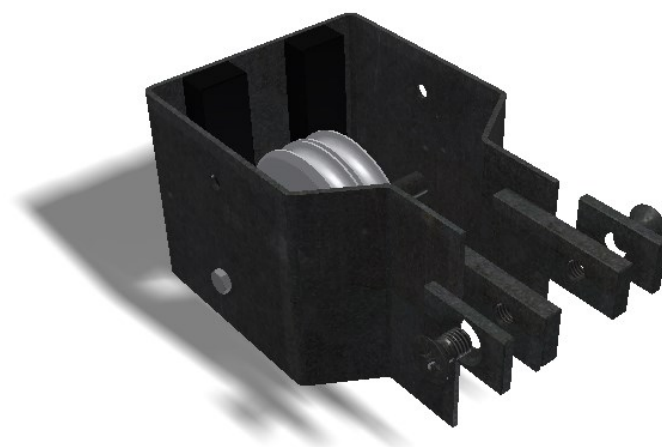
Obr. 3.6 – Překrytí dráhy

Pro dráhu jsem vytvořil podobný systém lanových kladek, který používá Tuchler, protože je velice jednoduchý a lze ho snadno přenastavit pro vedení pohonného lana vně (viz obr. 3.7 a obr. 3.9), nebo uvnitř kolejnice (viz obr. 3.8 a obr. 3.10). Toto platí i pro středový přesměrovač (viz obr. 3.11), který umožňuje vést lano uvnitř kolejnice a mít překrytou trať. Tyto kladky jsou upevněny v bočních drážkách kolejnic.

Lanová odváděcí kladka je tvořena dvojicí kladek, které jsou opatřeny kuličkovými ložisky.

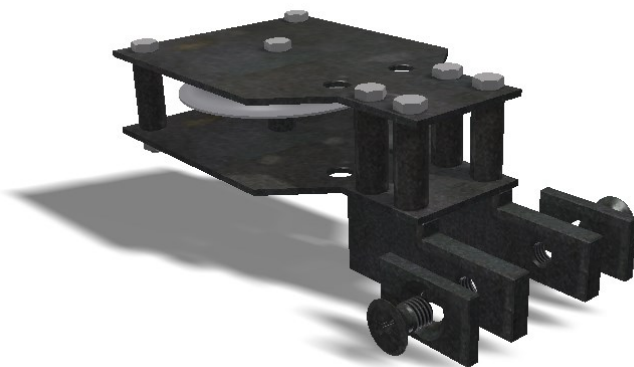


Obr. 3.7 – Lanová odváděcí kladka pro vedení pohonného lana vně kolejnice



Obr. 3.8 – Lanová odváděcí kladka pro vedení pohonného lana uvnitř kolejnice

Lanová vratná kladka je tvořena jednou kladkou, která je opatřena kuličkovým ložiskem, a pro správné usměrnění lana dovnitř kolejnice jsou použity dva čepy, které jsou pojištěny závlačkami.

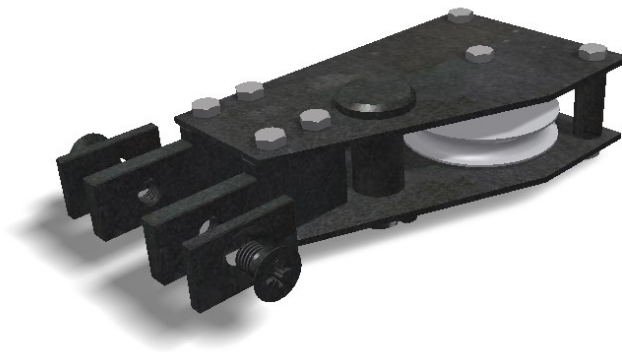


Obr. 3.9 – Lanová vratná kladka pro vedení pohonného lana vně kolejnice



Obr. 3.10 – Lanová vratná kladka pro vedení pohonného lana uvnitř kolejnice

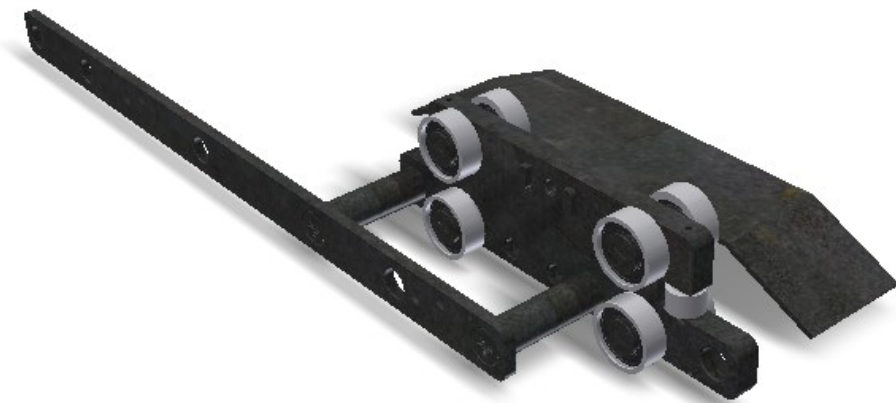
Středový přesměrovač je tvořen jednou kladkou s kuličkovým ložiskem a čepem, který je zajištěn závlačkou.



Obr. 3.11 – Středový přesměrovač

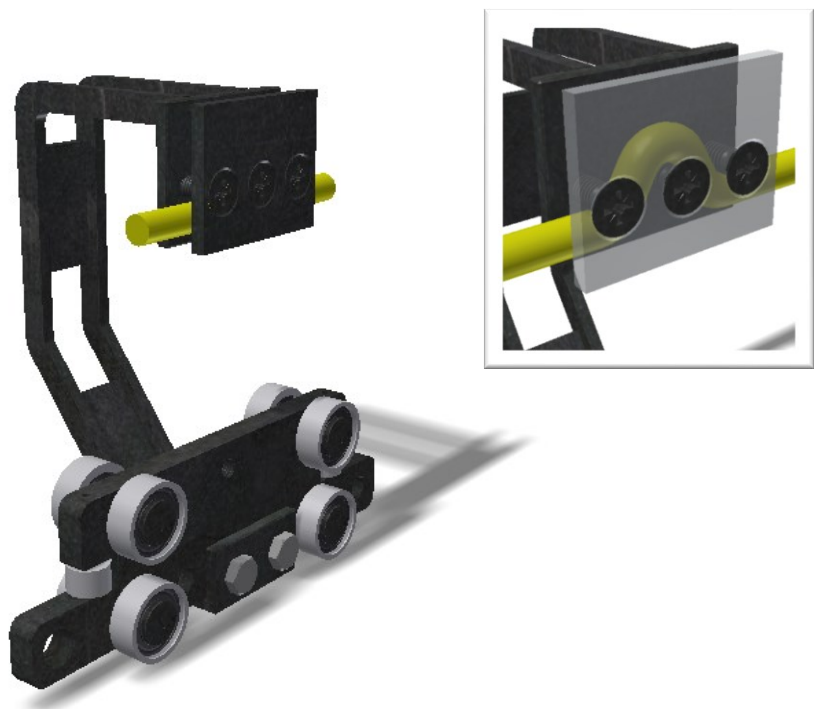
Pro dráhu jsem vytvořil i podobné tažné vozíky a pojezdy, které používá Tuchler. Tyto tažné vozíky (viz obr. 3.12) a pojezdy (viz obr. 3.15) jsou jak jednoduché tak i snadno variabilní, protože na tažné vozíky lze snadno přidělat různé komponenty (úchyty lana, obkročovače a koncové plechy pro snímače polohy).

Tažné vozíky jsou tvořeny čtyřmi pojezdovými kolečky s kuličkovým uložením, čtyřmi opěrnými kolečky s kuličkovým uložením, které zabraňují vytváření klopných sil při použití obkročovačů a dvěma svisle vodicími kolečky, které zajišťují lehký chod v zatáčkách.

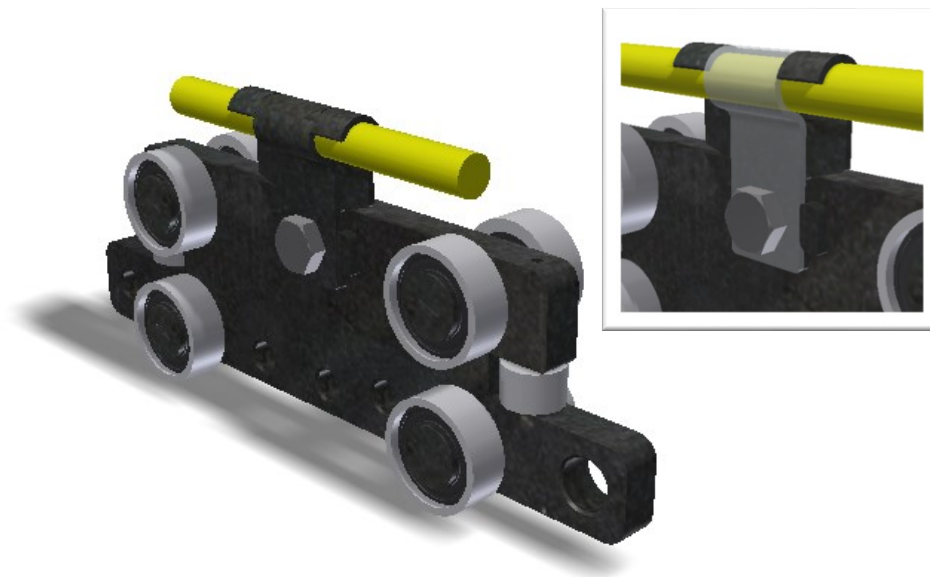


Obr. 3.12 – Tažný vozík s obkročovačem a koncovým plechem

Uchycení pohonného lana k tažnému vozíku je provedeno pomocí úchytů (viz obr. 3.13 a obr. 3.14), které jsou jednoduše připevněny k tažnému vozíku pomocí šroubů.

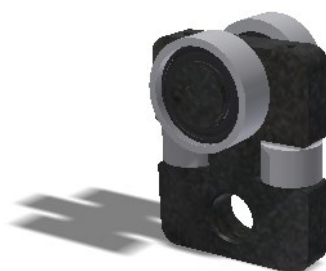


Obr. 3.13 – Tažný vozík s úchytem pro vedení lana vně



Obr. 3.14 – Tažný vozík s úchytem pro vedení lana uvnitř

Pojezdy jsou tvořeny dvěma pojezdovými kolečký s kuličkovým uložením a dvěma svisle vodicími kolečký, které zajišťují lehký chod v zatáčkách.



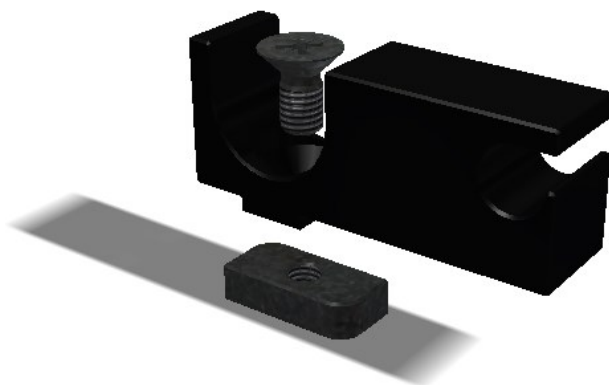
Obr. 3.15 – Pojezd

Lanové vodicí kladky (viz obr. 3.16) a součásti pro vedení lana vně (viz obr. 3.17) jsou upevněny pomocí uzamykatelných matic, které se jednoduše připevňují do horní drážky kolejnice.

Každá vodicí kladka je tvořena dvěma kuličkovými ložisky.



Obr. 3.16 – Lanové vodící kladky



Obr. 3.17 – Zarovnání pro přímé úseky

Dorazy (viz obr. 3.18) jsou uchyceny na koncích kolejnic a zabraňují možné vyjetí pojezdu nebo tažného vozíku ven z kolejnice.

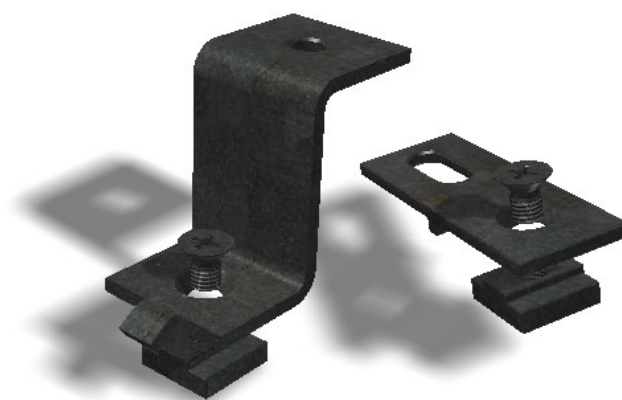


Obr. 3.18 – Dorazy

Uchycení systému je provedeno pomocí jednoduchých závěsů (viz obr. 3.19 a obr. 3.20), které jsou připevněny pomocí matic v horních drážkách kolejnic. Závěsy se připevňují buď přímo do stropu, nebo se používají konzoly ve tvaru L, které jsou připevněny ke stěně a také se na závěsy dají připojit konzoly, které lze upnout na trubku.

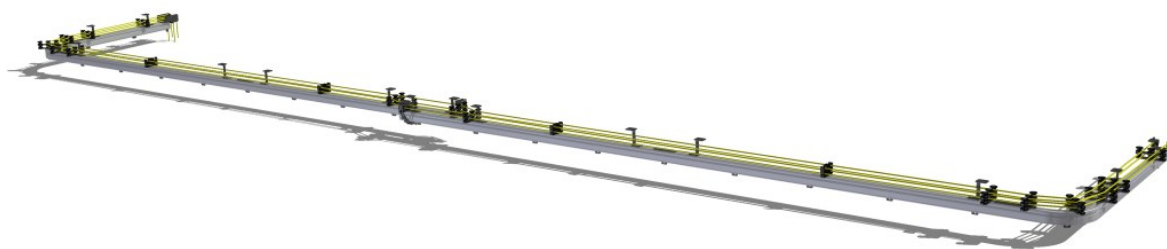


Obr. 3.19 – Závěs pro systém vedení pohonného lana vně



Obr. 3.20 – Závěsy pro systém vedení pohonného lana uvnitř

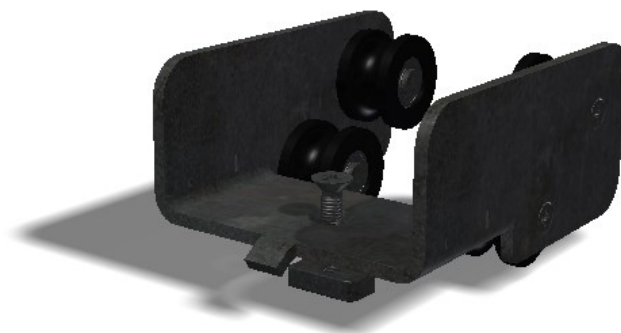
Pro speciální případ otevírání a zavírání každé opony zvlášť jsem navrhl řešení s dvěma pohonnými lany (viz obr. 3.21).



Obr. 3.21 – Konstrukční řešení s dvěma pohonnými lany

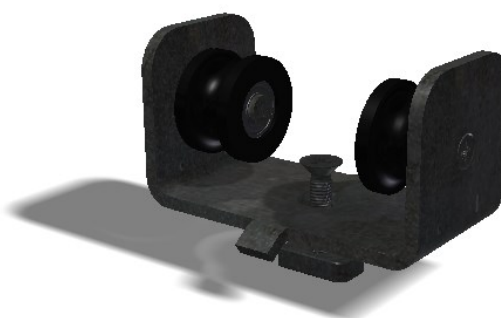
Pro toto konstrukční řešení se nedají použít navržené lanové odváděcí a vratné kladky, proto jsem navrhl podobné lanové kladky, které využívá Gerriets.

Lanová odváděcí kladka (viz obr. 3.22) je tvořena čtyřmi kladkami, kde každá je opatřena dvěma kuličkovými ložisky.



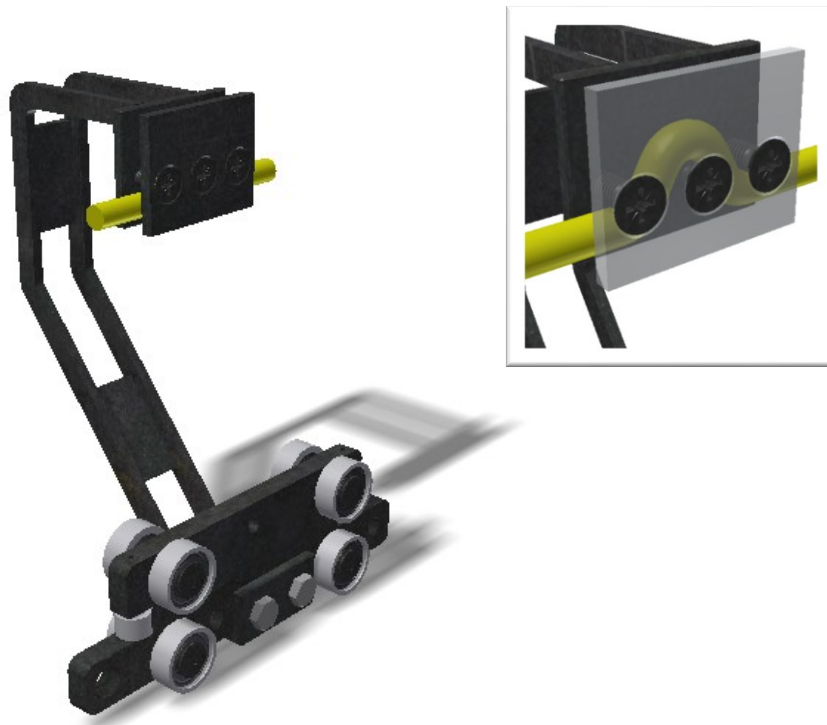
Obr. 3.22 – Lanová odváděcí kladka pro vedení dvou pohonných lan

Lanová vratná kladka (viz obr. 3.23) je tvořena dvojicí kladek, kde každá je opatřena dvěma kuličkovými ložisky.



Obr. 3.23 – Lanová vratná kladka pro vedení dvou pohonných lan

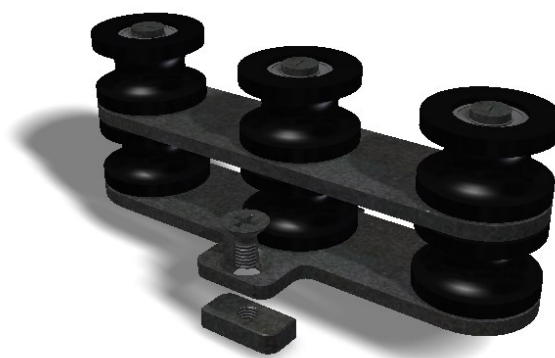
Pro tento systém jsem musel také zkonstruovat větší úchyty (viz obr. 3.24) pro uchycení pohonného lana.



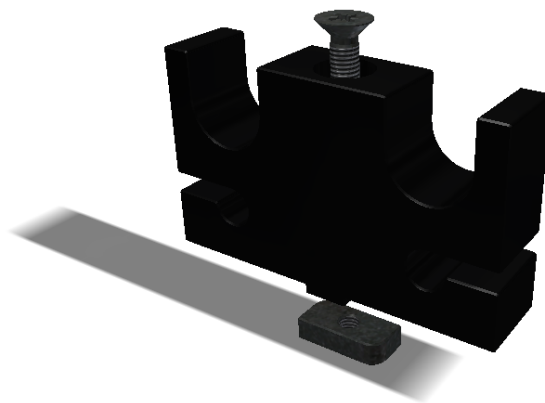
Obr. 3.24 – Tažný vozík s úchytem pro vedení dvou lan

V tomto systému jsou použity lanové vodící kladky (viz obr. 3.25), součásti pro vedení lana vně (viz obr. 3.26) a závěsy (viz obr. 3.27) pro vedení dvou pohonných lan.

Každá vodící kladka je tvořena dvěma kuličkovými ložisky.



Obr. 3.25 – Lanová vodící kladka

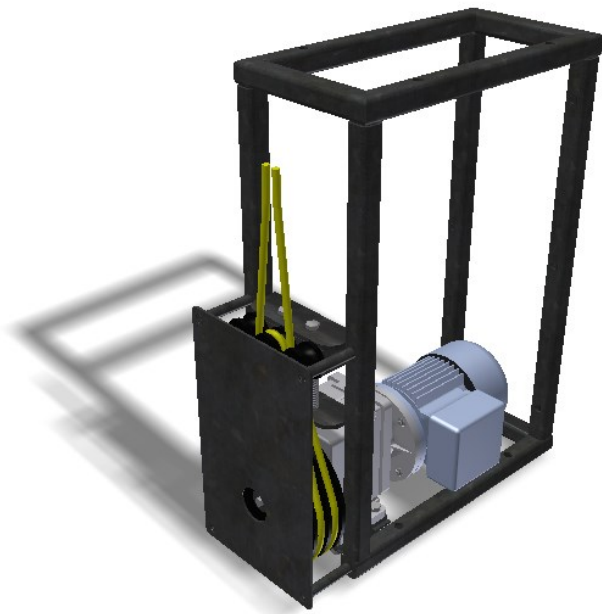


Obr. 3.26 – Zarovnání pro přímé úseky

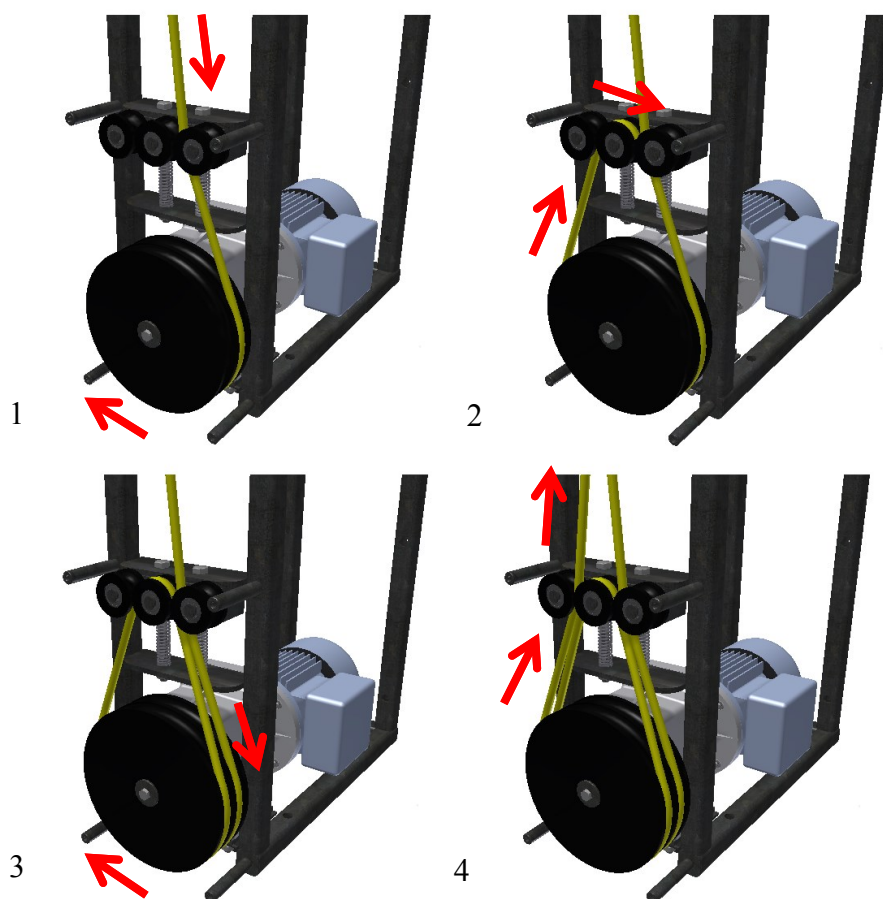


Obr. 3.27 – Závěs pro systém vedení dvou pohonných lan

Pohonný systém (viz obr. 3.28) je upevněn v rámu, který se dá kdekoliv zavěsit. Pro větší účinnost pohonu je zde dvojitě opásání hnací kladky (viz obr. 3.29). Napínací kladky jsou napínány pomocí dvou pružin.



Obr. 3.28 – Pohonný systém



Obr. 3.29 – Vedení pohonného lana

4 Pevnostní kontrola

4.1 Maximální nosnost kolejnice

Maximální nosnost je vypočítána na jeden metr kolejnice.

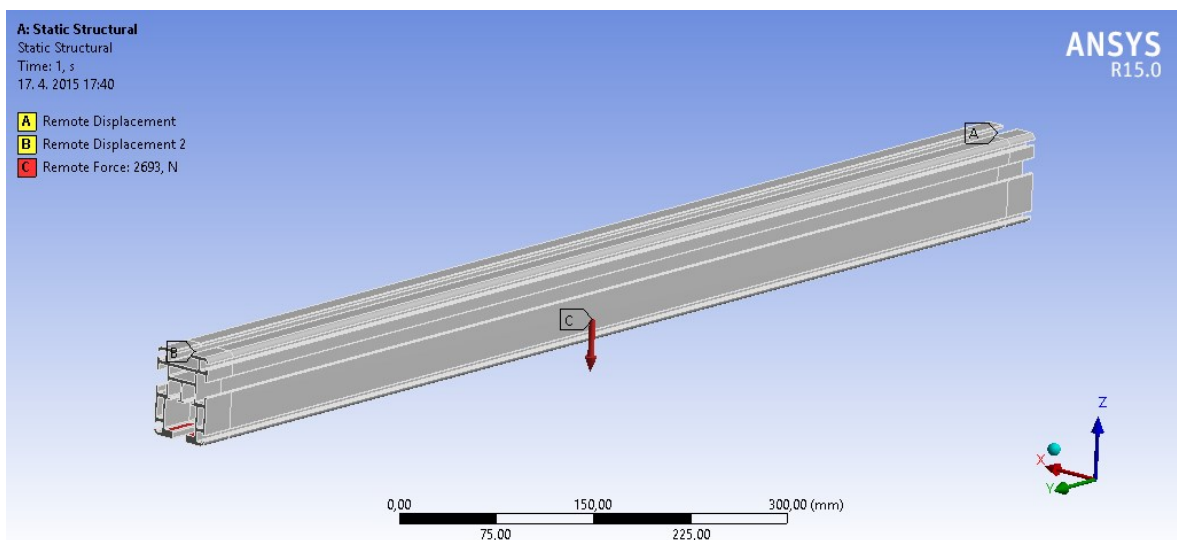
Použitý materiál kolejnic AlCu4Mg (Duralumin).

Výpočet maximálního dovoleného ohybového napětí σ_{oDOV}

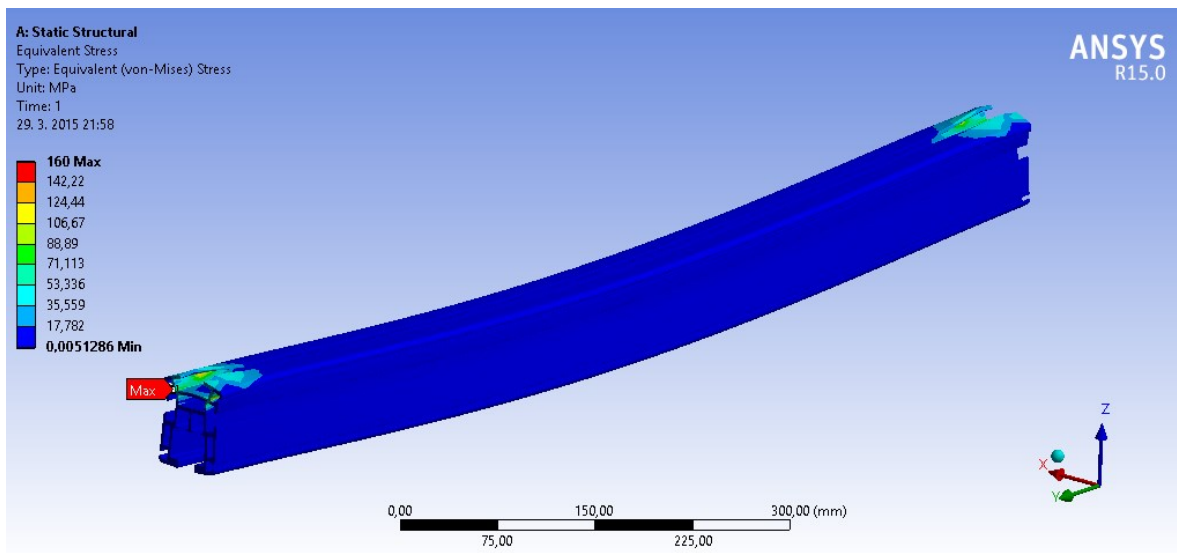
$$\begin{aligned}\sigma_{oDOV} &= \frac{R_p}{k} \\ \sigma_{oDOV} &= \frac{240}{1,5} \\ \underline{\underline{\sigma_{oDOV} = 160\text{MPa}}}\end{aligned}\tag{4.1}$$

- Mez kluzu AlCu4Mg: $R_p = 240$ MPa dle [14]
- Statická bezpečnost: $k = 1,5$

Maximální nosnost je vypočítána za pomoci programu Ansys 15. Kde kolejnice byla zatížena takovou silou F_{\max} (viz obr. 4.1), která vyvolala maximální ohybové napětí (viz obr. 4.2).



Obr. 4.1 – Okrajové podmínky



Obr. 4.2 – Maximální ohybové napětí kolejnice 1

Výpočet maximální nosnosti kolejnice m_{\max}

$$m_{\max} = \frac{F_{\max}}{g}$$

$$m_{\max} = \frac{2693}{9,81} \quad (4.2)$$

$$\underline{\underline{m_{\max} = 274,516\text{kg}}}$$

- Maximální zatížení kolejnice: $F_{\max} = 2693 \text{ N}$
- Gravitační zrychlení: $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$

Vypočítaná maximální nosnost je postačující, protože zadaná hodnota celkové nosnosti je 150 kg.

4.2 Maximální nosnost tažného vozíku

Zvoleno jedno ložisko SKF 61800-2Z dle [15] na jedno kolečko.

Výpočet maximálního zatížení tažného vozíku $F_{v\max}$

$$\begin{aligned}k &= \frac{C_o}{F_{v\max}} \Rightarrow F_{v\max} \\F_{v\max} &= \frac{C_o}{k} \\F_{v\max} &= \frac{585}{1,5} \\F_{v\max} &= \underline{\underline{390N}}\end{aligned}\tag{4.3}$$

- Statické zatížení ložiska: C_o dle [15]

Výpočet maximální nosnosti tažného vozíku $m_{v\max}$

$$\begin{aligned}F_{v\max} &= \frac{\frac{m_{v\max}}{i_v} \cdot g}{i_l} \Rightarrow m_{v\max} \\m_{v\max} &= \frac{F_{v\max} \cdot i_v \cdot i_l}{g} \\m_{v\max} &= \frac{390 \cdot 4 \cdot 1}{9,81} \\m_{v\max} &= \underline{\underline{159,021kg}}\end{aligned}\tag{4.4}$$

- Počet koleček tažného vozíku: $i_v = 4$
- Počet ložisek v jednom kolečku: $i_l = 1$

4.3 Maximální nosnost pojezdu

Zvoleno jedno ložisko SKF 61800-2Z dle [15] na jedno kolečko.

Výpočet maximálního zatížení pojezdu $F_{p\max}$

$$\begin{aligned}k &= \frac{C_o}{F_{p\max}} \Rightarrow F_{p\max} \\F_{p\max} &= \frac{C_o}{k} \\F_{p\max} &= \frac{585}{1,5} \\F_{p\max} &= \underline{\underline{390N}}\end{aligned}\tag{4.5}$$

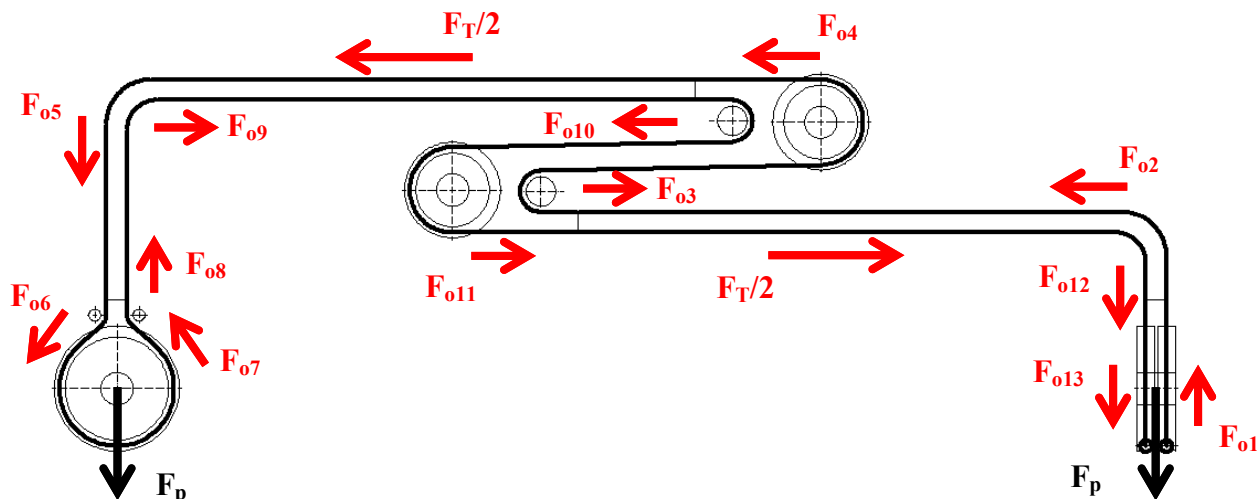
Výpočet maximální nosnosti pojezdu $m_{p\max}$

$$\begin{aligned}F_{p\max} &= \frac{\frac{m_{p\max}}{i_p} \cdot g}{i_l} \Rightarrow m_{p\max} \\m_{p\max} &= \frac{F_{p\max} \cdot i_p \cdot i_l}{g} \\m_{p\max} &= \frac{390 \cdot 2 \cdot 1}{9,81} \\m_{p\max} &= \underline{\underline{79,51kg}}\end{aligned}\tag{4.6}$$

- Počet koleček pojezdu $i_p = 2$

4.4 Odpor při zatahování opony

Odpor (viz. obr. 4.3) jsem vypočítal pro nejméně zatížené konstrukční řešení, a to když bude lano vedeno uvnitř kolejnice a dráha bude překryta.



Obr. 4.3 – Schéma odporů opony

Sílu na předpětí lana volím $F_p = 150 \text{ N}$.

Výpočet celkového valivého odporu tažných vozíků a pojezdů F_T

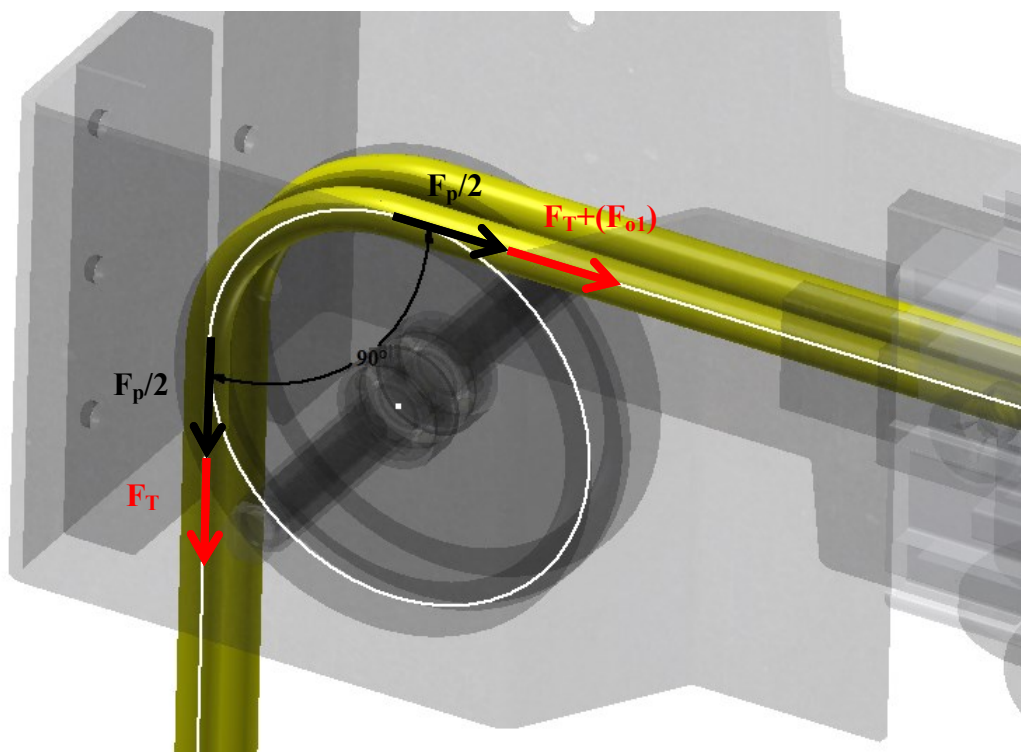
$$F_T = [(2 \cdot m_v + 22 \cdot m_p + m) \cdot g] \cdot \left(\frac{e + f_c \cdot r_l}{R} \right)$$

$$F_T = [(2 \cdot 0,463 + 22 \cdot 0,108 + 150) \cdot 9,81] \cdot \left(\frac{0,3 + 0,015 \cdot 5}{11} \right) \quad (4.7)$$

$$\underline{\underline{F_T = 51,3 \text{ N}}}$$

- Hmotnost tažného vozíku: $m_v = 0,463 \text{ kg}$
- Hmotnost pojezdu: $m_p = 0,108 \text{ kg}$
- Hmotnost opony $m = 150 \text{ kg}$
- Rameno valivého odporu: $e = 0,3 \text{ mm}$ dle [16]
- Součinitel čepového tření: $f_c = 0,015$ dle [16]
- Poloměr ložiska kolečka: $r_l = 5 \text{ mm}$
- Poloměr pojížděcího kolečka: $R = 11 \text{ mm}$

Odpor v místě č. 1



Obr. 4.4 – Rozbor sil v místě č. 1

Výpočet síly působící kolmo na osu odváděcí kladky F_1

$$F_1 = \left[\cos \frac{\alpha_1}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T \right) \right] \cdot 2$$
$$F_1 = \left[\cos \frac{90^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 \right) \right] \cdot 2 \quad (4.8)$$
$$\underline{\underline{F_1 = 178,6N}}$$

- Úhel opásání odváděcí kladky: α_1 vychází z Obr. 4.4

Výpočet třecího odporu ložiska odváděcí kladky M_{o1}

$$M_{o1} = 0,5 \cdot \eta \cdot F_1 \cdot d_{lok}$$
$$M_{o1} = 0,5 \cdot 0,0015 \cdot 178,6 \cdot 10 \quad (4.9)$$
$$\underline{\underline{M_{o1} = 1,3395Nmm}}$$

- Součinitel tření kuličkového ložiska: $\eta = 0,0015$ dle [15]
- Průměr ložiska odváděcí kladky: $d_{lok} = 10 \text{ mm}$

Výpočet odporu odváděcí kladky F_{o1}

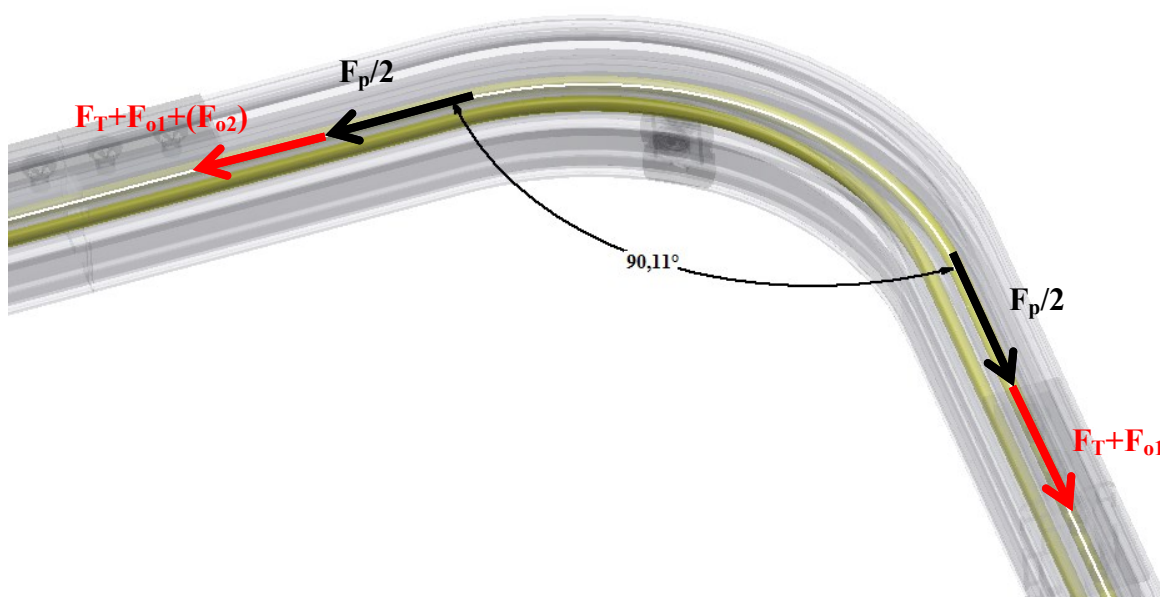
$$F_{o1} = \frac{0,5 \cdot M_{o1}}{d_{ok}}$$

$$F_{o1} = \frac{0,5 \cdot 1,3395}{78} \quad (4.10)$$

$$\underline{\underline{F_{o1} = 8,6 \cdot 10^{-3} \text{ N}}}$$

- Průměr odváděcí kladky: $d_{ok} = 78 \text{ mm}$

Odpor v místě č. 2



Obr. 4.5 – Rozbor sil v místě č. 2

Výpočet síly působící kolmo na osu ohybu F_2

$$F_2 = \left[\cos \frac{\alpha_2}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_2 = \left[\cos \frac{90,11^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} \right) \right] \cdot 2 \quad (4.11)$$

$$\underline{\underline{F_2 = 178,5 \text{ N}}}$$

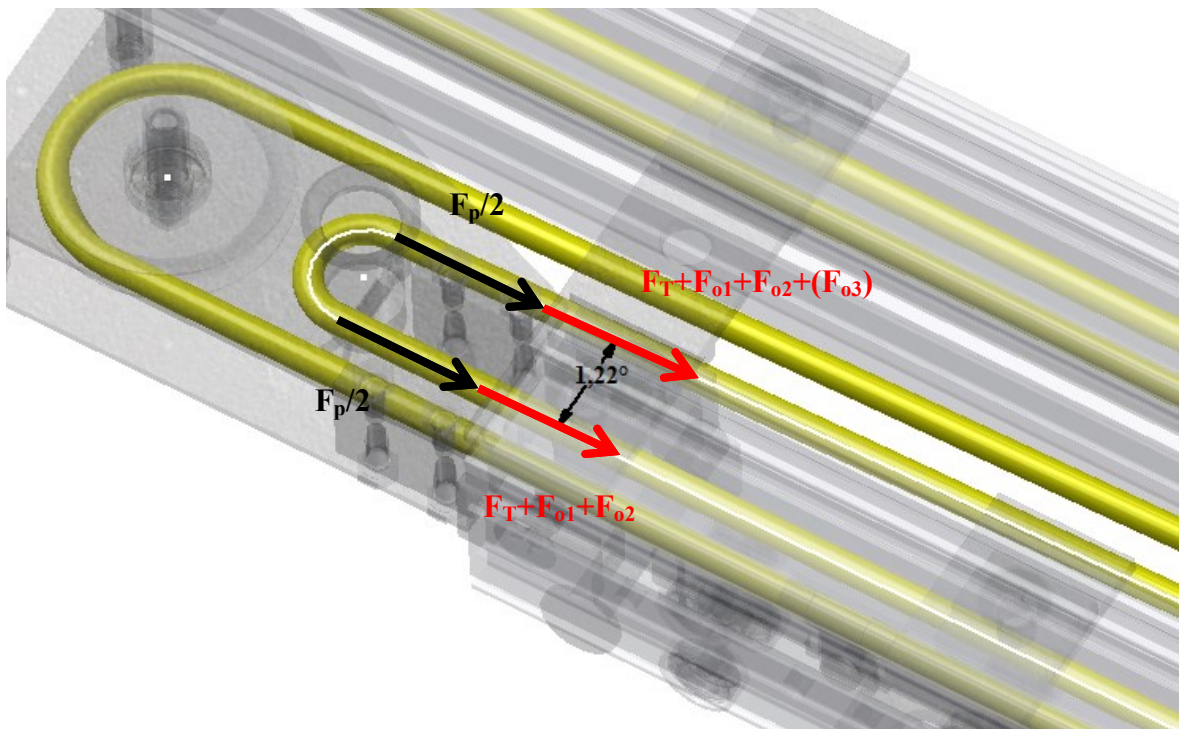
- Úhel opásání ohybu: α_2 vychází z Obr. 4.5

Výpočet odporu ohybu F_{o2}

$$\begin{aligned}
 F_{o2} &= F_2 \cdot f_{ohyb} \\
 F_{o2} &= 178,5 \cdot 0,1 \\
 \underline{\underline{F_{o2} &= 17,85N}}
 \end{aligned}
 \tag{4.12}$$

- Součinitel tření v ohybu (hliník/polyester): $f_{ohyb} = 0,1$ dle [14]

Odpor v místě č. 3



Obr. 4.6 – Rozbor sil v místě č. 3

Výpočet síly působící kolmo na osu čepu F_3

$$\begin{aligned}
 F_3 &= \left[\cos \frac{\alpha_3}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} \right) \right] \cdot 2 \\
 F_3 &= \left[\cos \frac{1,22^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 \right) \right] \cdot 2 \\
 \underline{\underline{F_3 &= 288,3N}}
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

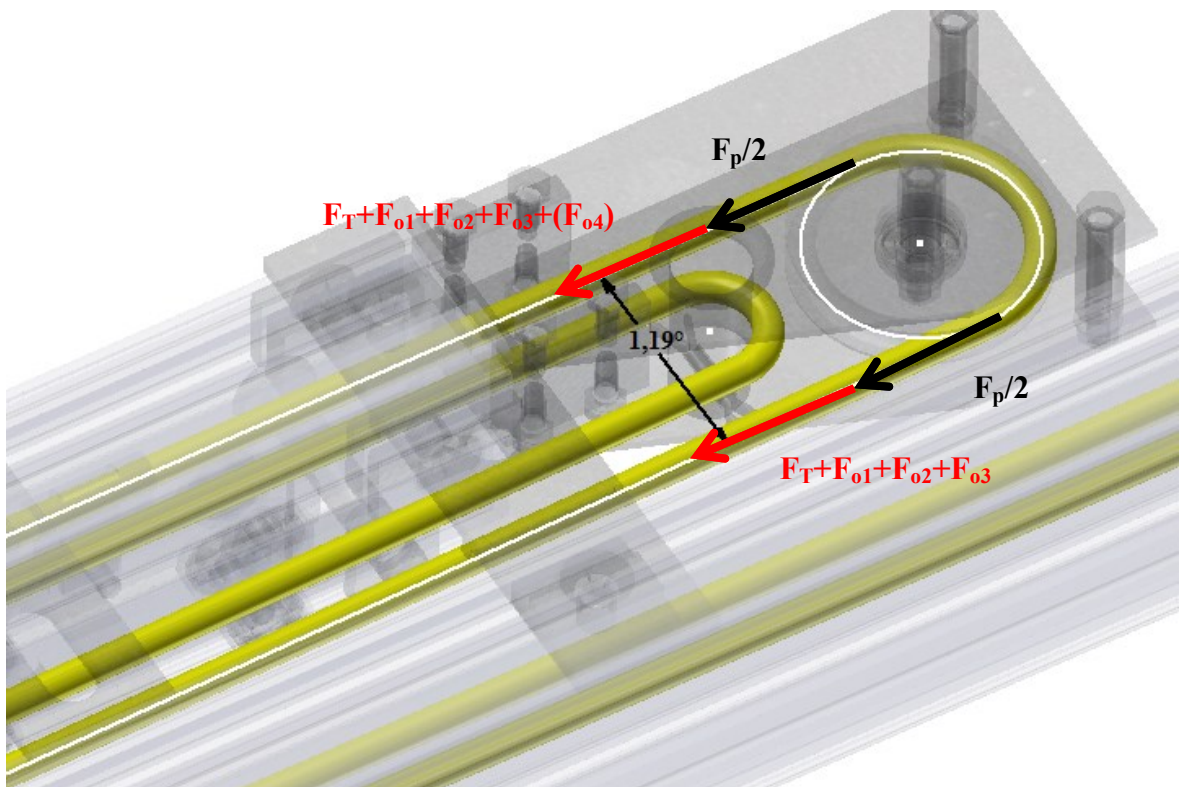
- Úhel opásání čepu: α_3 vychází z Obr. 4.6

Výpočet odporu čepu F_{o3}

$$\begin{aligned}
 F_{o3} &= F_3 \cdot f_{\text{čep}} \\
 F_{o3} &= 288,3 \cdot 0,1 \\
 \underline{\underline{F_{o3} &= 28,8N}}
 \end{aligned}
 \tag{4.14}$$

- Součinitel tření na čepu (ocel/polyester): $f_{\text{čep}} = 0,1$ dle [14]

Odpor v místě č. 4



Obr. 4.7 – Rozbor sil v místě č. 4

Výpočet síly působící kolmo na osu přesměrovací kladky F_4

$$F_4 = \left[\cos \frac{\alpha_4}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} \right) \right] \cdot 2$$
$$F_4 = \left[\cos \frac{1,19^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 \right) \right] \cdot 2 \quad (4.15)$$
$$\underline{\underline{F_4 = 345,9 N}}$$

- Úhel opásání přesměrovací kladky: α_4 vychází z Obr. 4.7

Výpočet třecího odporu ložiska přesměrovací kladky M_{o4}

$$M_{o4} = 0,5 \cdot \eta \cdot F_4 \cdot d_{lpk}$$
$$M_{o4} = 0,5 \cdot 0,0015 \cdot 345,9 \cdot 10 \quad (4.16)$$
$$\underline{\underline{M_{o4} = 2,594 Nmm}}$$

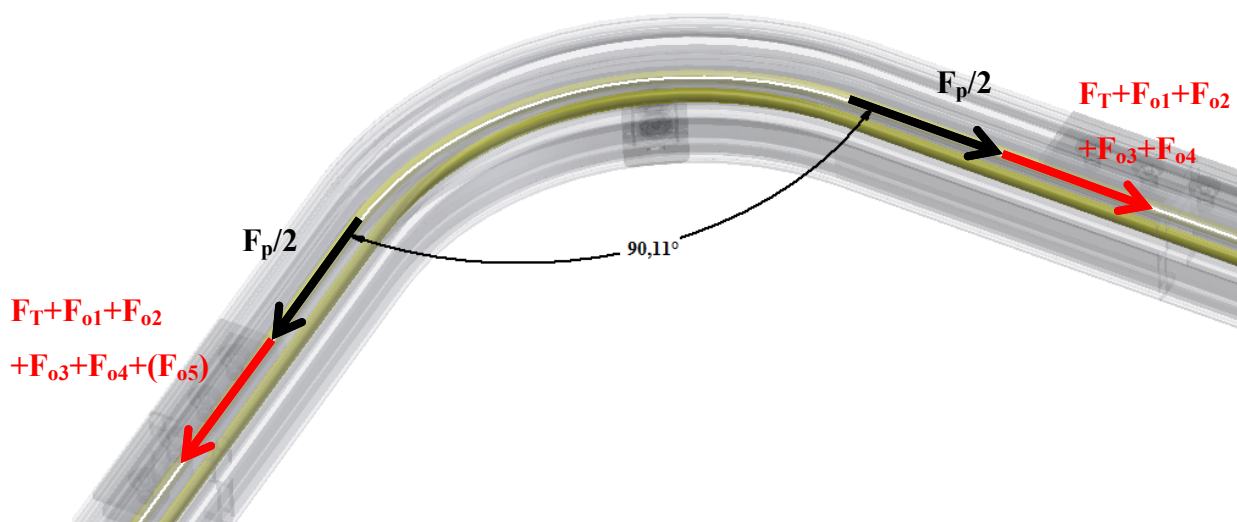
- Průměr ložiska přesměrovací kladky: $d_{lpk} = 10 \text{ mm}$

Výpočet odporu přesměrovací kladky F_{o4}

$$F_{o4} = \frac{0,5 \cdot M_{o4}}{d_{pk}}$$
$$F_{o4} = \frac{0,5 \cdot 2,594}{58} \quad (4.17)$$
$$\underline{\underline{F_{o4} = 2,2 \cdot 10^{-2} N}}$$

- Průměr přesměrovací kladky: $d_{pk} = 58 \text{ mm}$

Odpor v místě č. 5



Obr. 4.8 – Rozbor sil v místě č. 5

Výpočet síly působící kolmo na osu ohybu F_5

$$F_5 = \left[\cos \frac{\alpha_5}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_5 = \left[\cos \frac{90,11^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 + 2,2 \cdot 10^{-2} \right) \right] \cdot 2 \quad (4.18)$$

$$\underline{\underline{F_5 = 244,4N}}$$

- Úhel opásání ohybu: α_5 vychází z Obr. 4.8

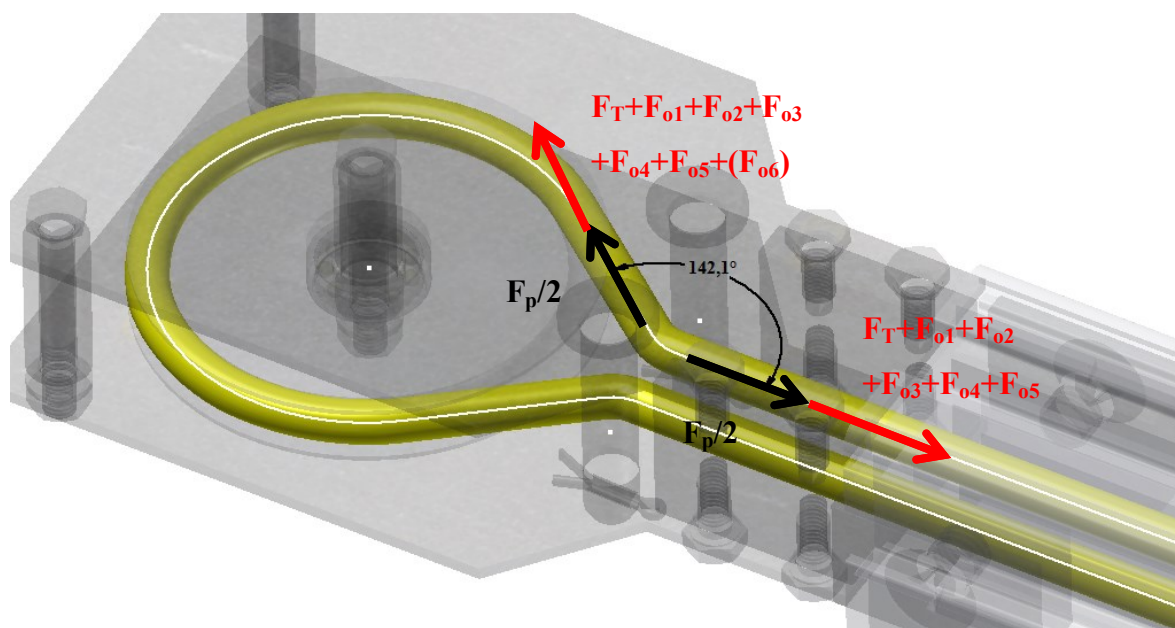
Výpočet odporu ohybu F_{o5}

$$F_{o5} = F_5 \cdot f_{ohyb}$$

$$F_{o5} = 244,4 \cdot 0,1$$

$$\underline{\underline{F_{o5} = 24,4N}} \quad (4.19)$$

Odpor v místě č. 6



Obr. 4.9 – Rozbor sil v místě č. 6

Výpočet síly působící kolmo na osu čepu F_6

$$F_6 = \left[\cos \frac{\alpha_6}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} + F_{o5} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_6 = \left[\cos \frac{142,1^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 \right) \right] \cdot 2 \quad (4.20)$$

$$\underline{\underline{F_6 = 128,2 N}}$$

- Úhel opásání čepu: α_6 vychází z Obr. 4.9

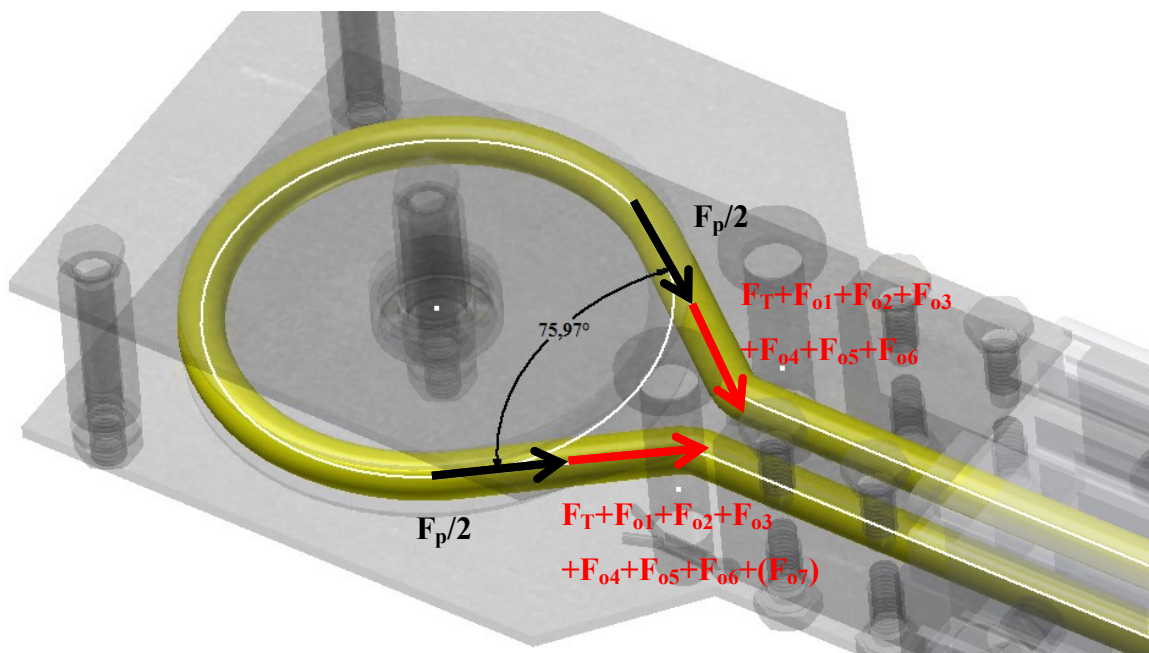
Výpočet odporu čepu F_{o6}

$$F_{o6} = F_6 \cdot f_{\text{čep}}$$

$$F_{o6} = 128,2 \cdot 0,1$$

$$\underline{\underline{F_{o6} = 12,8 N}} \quad (4.21)$$

Odpor v místě č. 7



Obr. 4.10 – Rozbor sil v místě č. 7

Výpočet síly působící kolmo na osu vratné kladky F_7

$$F_7 = \left[\cos \frac{\alpha_7}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} + F_{o5} + F_{o6} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_7 = \left[\cos \frac{75,97^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 \right) \right] \cdot 2 \quad (4.22)$$

$$F_7 = \left[\cos \frac{75,97^\circ}{2} \cdot \left(75 + 2,2 \cdot 10^{-2} + 24,4 + 12,8 \right) \right] \cdot 2$$

$$\underline{\underline{F_7 = 331,3N}}$$

- Úhel opásání vratné kladky: α_7 vychází z Obr. 4.10

Výpočet třecího odporu ložiska vratné kladky M_{o7}

$$M_{o7} = 0,5 \cdot \eta \cdot F_7 \cdot d_{lvk}$$

$$M_{o7} = 0,5 \cdot 0,0015 \cdot 331,3 \cdot 10$$

$$\underline{\underline{M_{o7} = 2,485Nmm}} \quad (4.23)$$

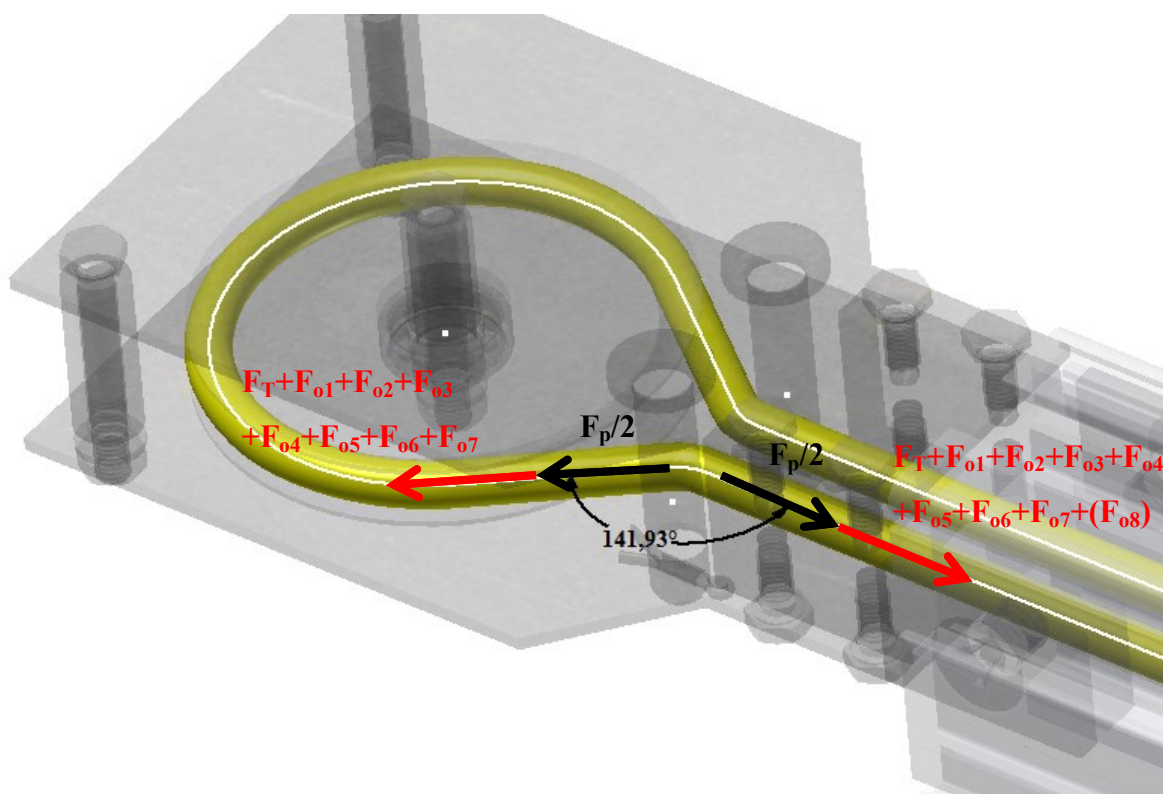
- Průměr ložiska vratné kladky: $d_{lvk} = 10 \text{ mm}$

Výpočet odporu vratné kladky F_{o7}

$$F_{o7} = \frac{0,5 \cdot M_{o7}}{d_{vk}}$$
$$F_{o7} = \frac{0,5 \cdot 2,485}{78} \quad (4.24)$$
$$\underline{\underline{F_{o7} = 1,6 \cdot 10^{-2} N}}$$

- Průměr vratné kladky: $d_{vk} = 78 \text{ mm}$

Odpor v místě č. 8



Obr. 4.11 – Rozbor sil v místě č. 8

Výpočet síly působící kolmo na osu čepu F_8

$$F_8 = \left[\cos \frac{\alpha_8}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} + F_{o5} + F_{o6} + F_{o7} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_8 = \left[\cos \frac{141,93^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 \right) \right] \cdot 2 \quad (4.25)$$

$$\underline{\underline{F_8 = 137,1N}}$$

- Úhel opásání čepu: α_8 vychází z Obr. 4.11

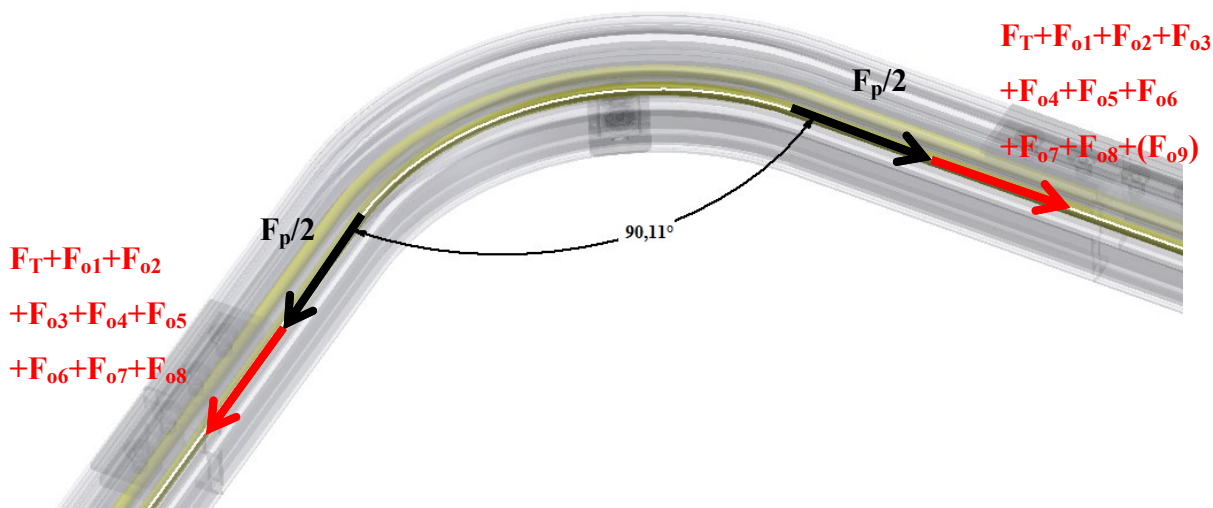
Výpočet odporu čepu F_{o8}

$$F_{o8} = F_8 \cdot f_{\text{čep}}$$

$$F_{o8} = 137,1 \cdot 0,1$$

$$\underline{\underline{F_{o8} = 13,7N}}$$

Odpor v místě č. 9



Obr. 4.12 – Rozbor sil v místě č. 9

Výpočet síly působící kolmo na osu ohybu F_9

$$F_9 = \left[\cos \frac{\alpha_9}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} + F_{o5} + F_{o6} + F_{o7} + F_{o8} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_9 = \left[\cos \frac{90,11^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 + 2,2 \cdot 10^{-2} \right) \right] \cdot 2 \quad (4.27)$$

$$F_9 = \left[\cos \frac{90,11^\circ}{2} \cdot \left(+24,4 + 12,8 + 1,6 \cdot 10^{-2} + 13,7 \right) \right] \cdot 2$$

$$\underline{\underline{F_9 = 316,3N}}$$

- Úhel opásání ohybu: α_9 vychází z Obr. 4.12

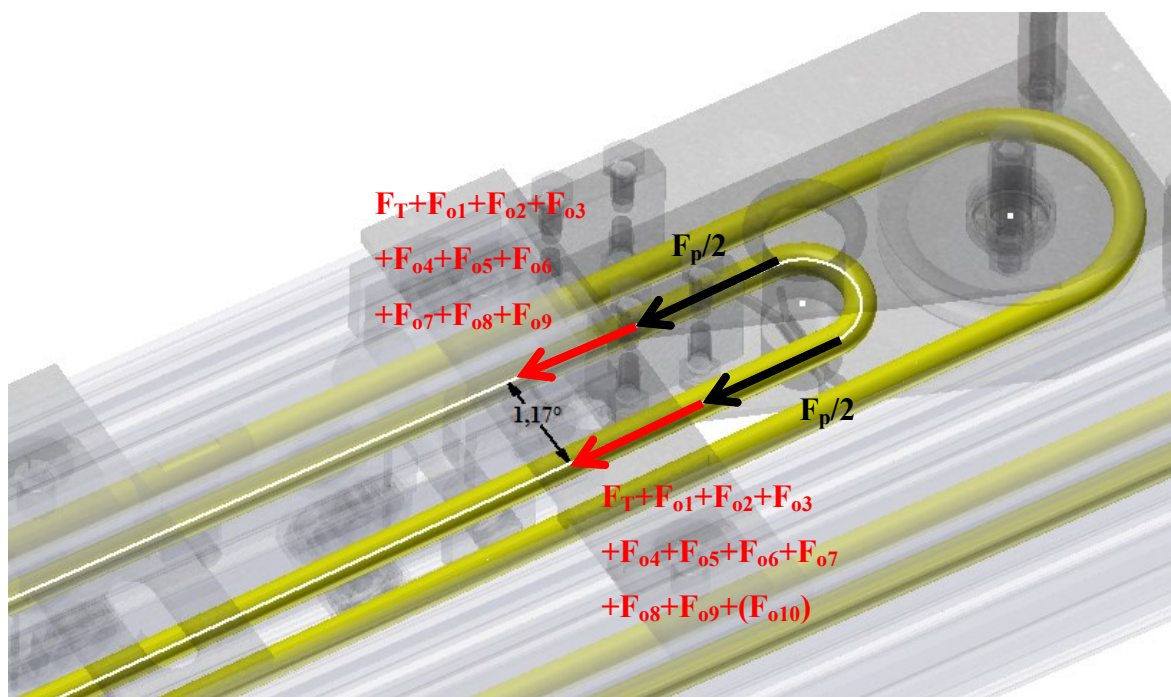
Výpočet odporu ohybu F_{o9}

$$F_{o9} = F_9 \cdot f_{ohyb}$$

$$F_{o9} = 316,3 \cdot 0,1$$

$$\underline{\underline{F_{o9} = 31,6N}} \quad (4.28)$$

Odpor v místě č. 10



Obr. 4.13 – Rozbor sil v místě č. 10

Výpočet síly působící kolmo na osu čepu F_{10}

$$F_{10} = \left[\cos \frac{\alpha_{10}}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_{10} = \left[\cos \frac{1,17^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 + 2,2 \cdot 10^{-2} \right) \right] \cdot 2 \quad (4.29)$$

$$F_{10} = \left[\cos \frac{1,17^\circ}{2} \cdot \left(+24,4 + 12,8 + 1,6 \cdot 10^{-2} + 13,7 + 31,6 \right) \right] \cdot 2$$

$$\underline{\underline{F_{10} = 511N}}$$

- Úhel opásání čepu: α_{10} vychází z Obr. 4.13

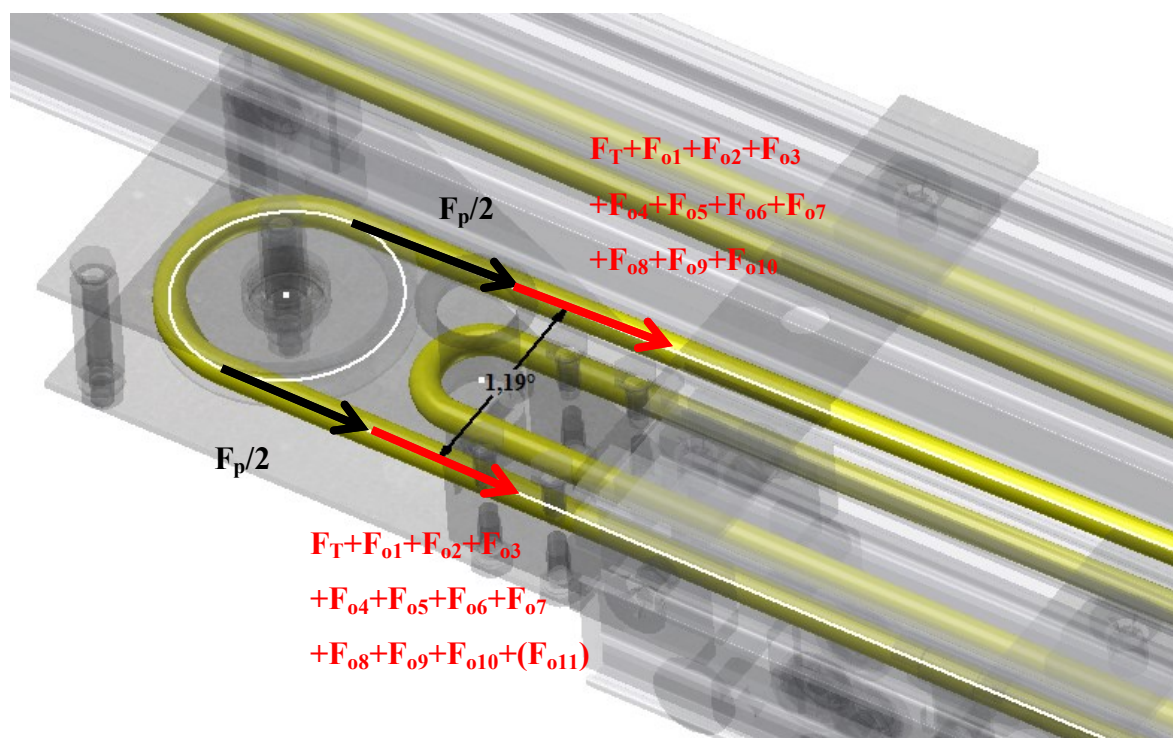
Výpočet odporu čepu F_{o10}

$$F_{o10} = F_{10} \cdot f_{\text{čep}}$$

$$F_{o10} = 510,8 \cdot 0,1$$

$$\underline{\underline{F_{o10} = 51,1N}}$$
(4.30)

Odpor v místě č. 11



Obr. 4.14 – Rozbor sil v místě č. 11

Výpočet síly působící kolmo na osu přesměrovací kladky F_{11}

$$F_{11} = \left[\cos \frac{\alpha_{11}}{2} \cdot \left(\frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} + F_{o5} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_{11} = \left[\cos \frac{1,19^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 + 2,2 \cdot 10^{-2} \right) \right] \cdot 2 \quad (4.31)$$

$$F_{11} = \left[\cos \frac{1,19^\circ}{2} \cdot \left(\frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 + 2,2 \cdot 10^{-2} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_{11} = \left[\cos \frac{1,19^\circ}{2} \cdot \left(+24,4 + 12,8 + 1,6 \cdot 10^{-2} + 13,7 + 31,6 + 51,1 \right) \right] \cdot 2$$

$$\underline{\underline{F_{11} = 613,2N}}$$

- Úhel opásání přesměrovací kladky: α_{11} vychází z Obr. 4.14

Výpočet třecího odporu ložiska přesměrovací kladky M_{o11}

$$M_{o11} = 0,5 \cdot \eta \cdot F_{11} \cdot d_{lpk}$$

$$M_{o11} = 0,5 \cdot 0,0015 \cdot 613,2 \cdot 10 \quad (4.32)$$

$$\underline{\underline{M_{o11} = 4,599Nmm}}$$

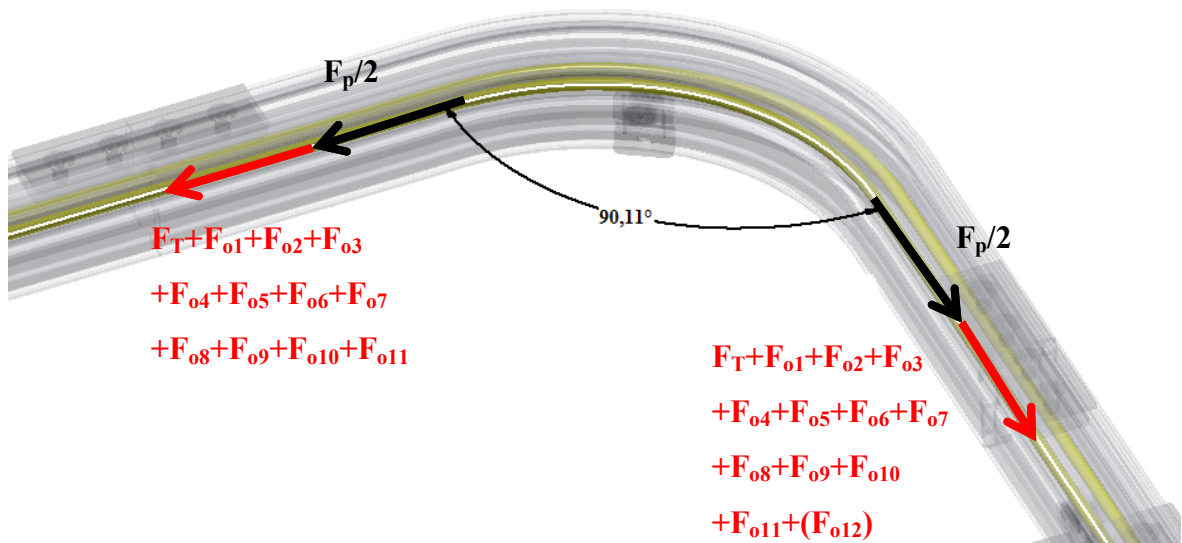
Výpočet odporu přesměrovací kladky F_{o11}

$$F_{o11} = \frac{0,5 \cdot M_{o11}}{d_{pk}}$$

$$F_{o11} = \frac{0,5 \cdot 4,599}{58} \quad (4.33)$$

$$\underline{\underline{F_{o11} = 4 \cdot 10^{-2} N}}$$

Odpor v místě č. 12



Obr. 4.15 – Rozbor sil v místě č. 12

Výpočet síly působící kolmo na osu ohybu F_{12}

$$F_{12} = \left[\cos \frac{\alpha_{12}}{2} \cdot \left(\begin{array}{l} \frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} + F_{o5} \\ + F_{o6} + F_{o7} + F_{o8} + F_{o9} + F_{o10} + F_{o11} \end{array} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_{12} = \left[\cos \frac{90,11^\circ}{2} \cdot \left(\begin{array}{l} \frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 \\ + 2,2 \cdot 10^{-2} + 24,4 + 12,8 + 1,6 \cdot 10^{-2} \\ + 13,7 + 31,6 + 51,1 + 4 \cdot 10^{-2} \end{array} \right) \right] \cdot 2 \quad (4.34)$$

$$\underline{\underline{F_{12} = 433,2N}}$$

- Úhel opásání ohybu: α_{12} vychází z Obr. 4.15

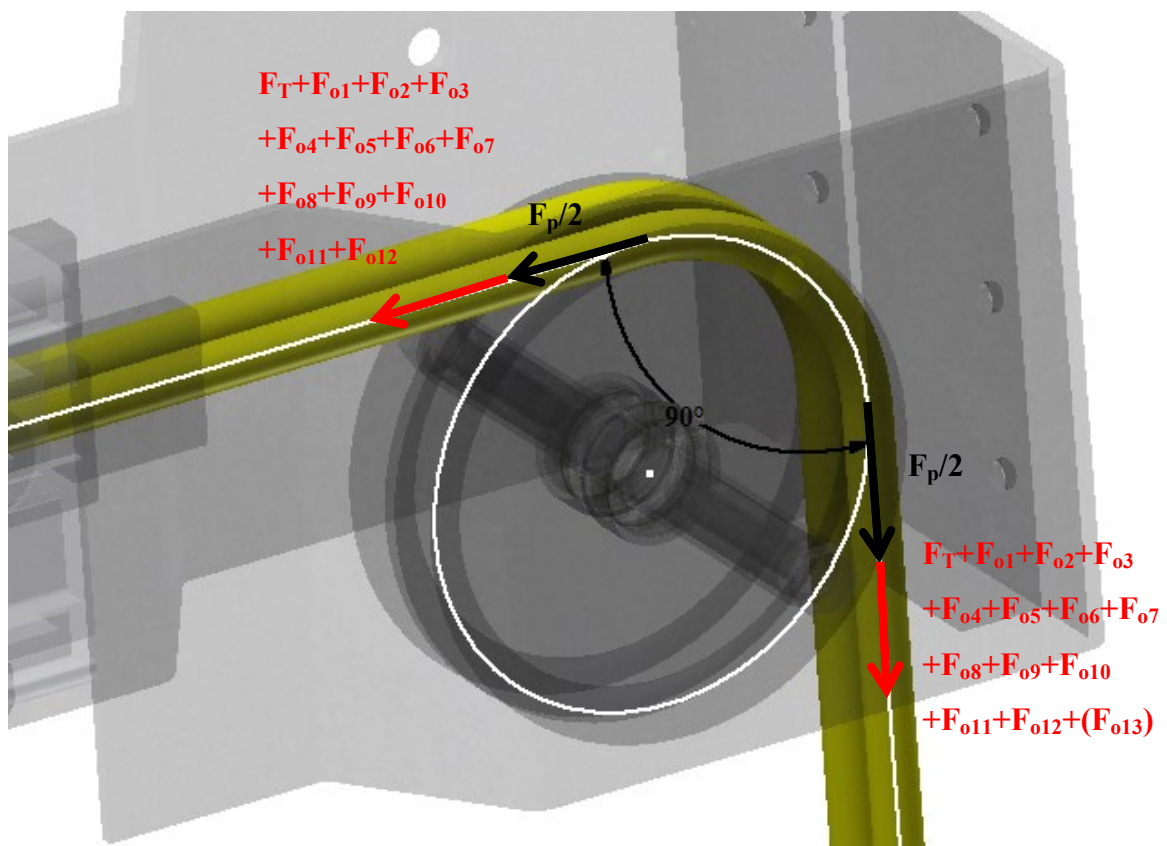
Výpočet odporu ohybu F_{o12}

$$F_{o12} = F_{12} \cdot f_{ohyb}$$

$$F_{o12} = 433,2 \cdot 0,1$$

$$\underline{\underline{F_{o12} = 43,3N}} \quad (4.35)$$

Odpor v místě č. 13



Obr. 4.16 – Rozbor sil v místě č. 13

Výpočet síly působící kolmo na osu odváděcí kladky F_{13}

$$F_{13} = \left[\cos \frac{\alpha_{13}}{2} \cdot \left(\begin{array}{l} \frac{F_p}{2} + F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} + F_{o5} + F_{o6} \\ + F_{o7} + F_{o8} + F_{o9} + F_{o10} + F_{o11} + F_{o12} \end{array} \right) \right] \cdot 2$$

$$F_{13} = \left[\cos \frac{90^\circ}{2} \cdot \left(\begin{array}{l} \frac{150}{2} + 51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 + 2,2 \cdot 10^{-2} \\ + 24,4 + 12,8 + 1,6 \cdot 10^{-2} + 13,7 + 31,6 \\ + 51,1 + 4 \cdot 10^{-2} + 43,3 \end{array} \right) \right] \cdot 2 \quad (4.36)$$

$$\underline{\underline{F_{13} = 494,9N}}$$

- Úhel opásání odváděcí kladky: α_{13} vychází z Obr. 4.16

Výpočet třecího odporu ložiska odváděcí kladky M_{o13}

$$\begin{aligned}
 M_{o13} &= 0,5 \cdot \eta \cdot F_{13} \cdot d_{lok} \\
 M_{o13} &= 0,5 \cdot 0,0015 \cdot 494,9 \cdot 10 \\
 M_{o13} &= \underline{\underline{3,712 Nmm}}
 \end{aligned}
 \tag{4.37}$$

Výpočet odporu odváděcí kladky F_{o13}

$$\begin{aligned}
 F_{o13} &= \frac{0,5 \cdot M_{o13}}{d_{ok}} \\
 F_{o13} &= \frac{0,5 \cdot 3,712}{78} \\
 F_{o13} &= \underline{\underline{2,4 \cdot 10^{-2} N}}
 \end{aligned}
 \tag{4.38}$$


Výpočet potřebné hnací síly na překonání odporů $F_{hnací}$

$$\begin{aligned}
 F_{hnací} &= \left(F_T + F_{o1} + F_{o2} + F_{o3} + F_{o4} + F_{o5} + F_{o6} + F_{o7} \right. \\
 &\quad \left. + F_{o8} + F_{o9} + F_{o10} + F_{o11} + F_{o12} + F_{o13} \right) \\
 F_{hnací} &= \left(\begin{aligned} &51,3 + 8,6 \cdot 10^{-3} + 17,85 + 28,8 + 2,2 \cdot 10^{-2} \\ &+ 24,4 + 12,8 + 1,6 \cdot 10^{-2} + 13,7 + 31,6 \\ &+ 51,1 + 4 \cdot 10^{-2} + 43,3 + 2,4 \cdot 10^{-2} \end{aligned} \right) \\
 F_{hnací} &= \underline{\underline{275 N}}
 \end{aligned}
 \tag{4.39}$$

Volím polyesterové lano (viz obr. 4.17) o průměru 8 mm s maximální pevností v tahu 11 kN.

Polyester Rope

- Ø 8 mm.
- Tensile strength: approx. 1.100 daN.
- Max. length: 200 m.
- Non-stretch (approx. 4%).

Art. / Réf.	Colour		g/m
4104 1182	black		40



Obr. 4.17 – Parametry lana [13]

4.5 Volba pohonu

Výpočet minimálního výkonu motoru P_{\min}


$$P_{\min} = \frac{F_{hmaxi} \cdot v}{\eta_{př} \cdot \eta_p}$$

$$P_{\min} = \frac{275 \cdot 0,25}{0,9 \cdot 0,9} \quad (4.40)$$

$$\underline{\underline{P_{\min} = 84,9W = 0,085kW}}$$

- Rychlost zatahování opony: $v = 0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Účinnost převodovky: $\eta_{př} = 0,9$ dle [17]
- Účinnost pohonu: $\eta_p = 0,9$

Volím 4-polový jednofázový asynchronní elektromotor TS 56 2 4 B5 230-400 50Hz (viz obr. 4.18) od firmy Transtecno o výkonu 0,09 kW, rychlosti 1340 min^{-1} a krouticím momentem 0,64 Nm.



Dati tecnici												Technical data	
Motori trifase serie TS / TS Series three phase motors (230-400 V - 50 Hz - 1500 min ⁻¹) S1												poli / poles 4	
TS	P _n [kW]	M _n [Nm]	n _n [min ⁻¹]	I _n (400V) [A]	η %	cosφ	M _s /M _n	I _s /I _n	M _k /M _n	M _{sef} /M _n	LR [dB]	Massa Mass [Kg]	
562-4	0.09	0.63	1360	0.45	52	0.59	2.3	4	2.4	2	50	3.2	

Obr. 4.18 – Parametry elektromotoru [18]

Výpočet potřebných výstupních otáček n'

$$v = \frac{\pi \cdot d_{hk} \cdot n'}{60} \Rightarrow n'$$


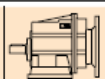

$$n' = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d_{hk}} \quad (4.41)$$

$$n' = \frac{60 \cdot 0,25}{\pi \cdot 0,158}$$

$$\underline{\underline{n' = 30,219 \text{ min}^{-1}}}$$

- Průměr hnací kladky: $d_{hk} = 158 \text{ mm}$
- Matematická konstanta: π

Volím čelní převodovku CMG 00 2 H60 44,89 D20 56 B5 (viz obr. 4.19) od firmy Transtecno o výstupních otáčkách $31,2 \text{ min}^{-1}$, výstupním krouticím momentu 26 Nm a převodovým poměrem $44,89$.

 CMG RIDOTTORI AD INGRANAGGI CILINDRICI HELICAL GEARBOXES						
Dati tecnici						Technical data
P_1 [kW]	n_2 [min^{-1}]	M_2 [Nm]	sf	i		
0.09						
56B4 (1400 min^{-1})	31.2	26	2.6	44.89	CMG002	B5/B14

Obr. 4.19 – Parametry převodovky [17]

Výpočet skutečné rychlosti zatahování opony v_{skut}

$$v_{skut} = \frac{\pi \cdot d_{hk} \cdot n}{60}$$

$$v_{skut} = \frac{\pi \cdot 0,158 \cdot 31,2}{60} \tag{4.42}$$

$$\underline{\underline{v_{skut} = 0,258 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}}$$

- Výstupní otáčky: $n = 31,2 \text{ min}^{-1}$

4.6 Čas pro zatažení opony

Dráha opony odměřena pomocí programu Inventor 2015.

Výpočet potřebného času k zatažení opony t

$$\begin{aligned}v_{skut} &= \frac{S}{t} \Rightarrow t \\t &= \frac{S}{v_{skut}} \\t &= \frac{5,432159}{0,258} \\t &= \underline{\underline{21,055s}}\end{aligned}\tag{4.43}$$

- Dráha opony: S = 5432,159 mm

5 Závěr

V úvodu mé diplomové práce jsem sestavil rešerši, která se zabývá dostupnými drahami opony ve světě, a z nich jsem vybral nejpoužívanější systémy u nás a ve světě. Na základě vybraných profilů jsem vytvořil dva originální návrhy kolejnic, které využívají jak vedení pohonného lana vně, tak i uvnitř. Kolejnice se liší především ve vedení tažných vozíků a pojezdů. Dále jsem vytvořil dvě konstrukční řešení dráhy z kolejnice 1, protože tato kolejnice je prakticky výhodnější (nezanáší se prach) a je designové hezčí. Lanové odváděcí a vratné kladky jsou vytvořeny na podobný způsob, který používá firma Tuchler, protože se dají přenastavit pro vedení lana vně, nebo uvnitř kolejnice. Tažné vozíky a pojezdy jsou vytvořeny pro vedení uvnitř kolejnice. Pro speciální potřeby jsem vytvořil i konstrukční řešení dráhy opony, kde lze každou oponu otevírat a zavírat zvlášť.

U navrženého profilu kolejnice 1 jsem provedl pevnostní kontrolu a vypočítal maximální nosnost kolejnice na jeden metr, která činí $m_{\max} = 274,516$ kg. Dále jsem vypočítal maximální nosnost tažných vozíků $m_{v\max} = 159,021$ kg a pojezdů $m_{p\max} = 79,511$ kg. Nakonec jsem pro nejvíce zatížené konstrukční řešení vypočítal odpory, ze kterých jsem navrhl pohonné lano a pohonný systém.

6 Seznam použité literatury

[1] Schienenprofil TT1. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.tuchler.net/at/schienenprofil-tt1-21-0-b.html>

[2] Schienenprofil TT2. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.tuchler.net/at/schienenprofil-tt2-schwarz-eloxiert.html>

[3] Schienenprofil XT3. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.tuchler.net/at/schienenprofil-xt3-schwarz-eloxiert.html>

[4] TT1 – Robustní kolejnice pro opony s vodícími kladkami. *Tuchler* [online]. © 1997-2015 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.tuchler.net/index.php?detailsID=810&sp=3&L1=3&L2=8&L3=484&L4=485>

[5] Schienenprofil TT1. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.tuchler.net/at/schienenprofil-tt1-silber-eloxiert.html>

[6] Zugwagen mit übergreifer für aussenliegendes seil TT1. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.tuchler.net/at/zugwagen-mit-uebergreifer-fuer-aussenliegendes-seil-tt1-34-0.html>

[7] Roller standard TT1. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.tuchler.net/at/roller-standard-tt1-8-0.html>

[8] Umlenkrolle für aussenliegendes seil TT1. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.tuchler.net/at/umlenkrolle-fuer-aussenliegendes-seil-tt1-10-0.html>

[9] Umlenkrolle für innenliegendes seil TT1. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <https://www.tuchler.net/at/umlenkrolle-fuer-innenliegendes-seil-tt1-1-0-b.html>

- [10] Ableitrolle für aussenliegendes seil TT1. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
<https://www.tuchler.net/at/ableitrolle-fuer-aussenliegendes-seil-tt1-9-0.html>
- [11] Ableitrolle für innenliegendes seil TT1. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
<https://www.tuchler.net/at/ableitrolle-fuer-innenliegendes-seil-tt1-2-0-b.html>
- [12] Mittenumlenkung für innenliegendes seil TT1. *Tuchler* [online]. © 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
<https://www.tuchler.net/at/mittenumlenkung-fuer-innenliegendes-seil-tt1-23-0.html>
- [13] Track systems. *Gerriets* [online]. 2014 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
http://files.gerriets.com/downloads/produktblaetter/Gerriets_Technik.pdf
- [14] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 5. vydání. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [15] Kuličková ložiska, jednořadá. *SKF* [online]. © [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
<http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/single-row-deep-groove-ball-bearings/single-row/index.html?prodid=1010081800&imperial=false>
- [16] ON 27 0106. *Návrh oborové normy.: Navrhování mechanismů jeřábů.*, ON 27 0106. Praha 10, Hostivař : ÚNM, 1977. 52 s.
- [17] Čelní převodovky CMG. *Raveo* [online]. [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
http://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2015/02/celni_CMG_en.pdf
- [18] Třífázové AC motory Transtecno, produktová řada TS. *Raveo* [online]. [cit. 2015-04-27]. Dostupné z:
http://www.raveo.cz/sites/default/files/download/2015/01/Transtecno_TS-MY_AC_Motory_2013_EN_0.pdf

7 Seznam příloh

A) Výkres sestavy dráhy opony divadla: ING – 00

B) Výrobní výkres hnací kladky: ING – 06.001