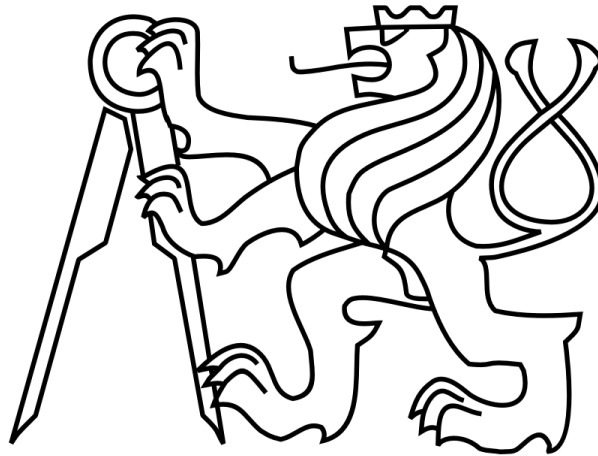


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Návrh pohonu vodního vleku

2021

Dominik Bárta



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bárta** Jméno: **Dominik** Osobní číslo: **473516**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh pohonu vodního vleku

Název bakalářské práce anglicky:

Water lift drive design

Pokyny pro vypracování:

Popis tématu: Navržení koncepce pro pohon vodního vleku, nahradit komponentu diferenciálu jiným řešením. Provedení základního kinematického a silového rozboru pohonu kladek. Kontrolovat třecí moment na hnací kladce tak, aby byl zaručen bezprokluzový přenos hnacího momentu (kontakt s oběžným lanem); Osnova práce: Uvedení do řešené problematiky, provedení rešerše, návrh řešení, návrhové výpočty, zhodnocení; Rozsah grafické části: Potřebné obr., graf., tab., 3D modely, výkres sestavy včetně kusovníku, výrobní výkresy dle zadání. Rozsah textové části: 40-60 stran.

Seznam doporučené literatury:

Firemní podklady Wakemaster; STEJSKAL, Vladimír, Jiří BŘEZINA a Jiří Kněžů. Mechanika I. V Praze: České vysoké učení technické, 1992, ISBN 80-01-00895-9; STEJSKAL, Vladimír, Jiří BŘEZINA a Jiří Kněžů. Mechanika I. V Praze: České vysoké učení technické, 1992, ISBN 80-01-00895-9

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc., ústav výrobních strojů a zařízení FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Ing. Jan Veselý, Ph.D., Wakemaster, s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.07.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

30.4.2021

Datum převzetí zadání

Bm

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 25.7.2021

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Vladimíru Andrlíkovi, CSc. za odborné, ochotné a trpělivé vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Janu Veselému a Ing. Petru Blažkovi za odborné a cenné rady.

Na závěr bych rád poděkoval i své rodině za podporu a trpělivost během celého studia.

Anotace

Autor:	Dominik Bárta
Název BP:	Návrh pohonu vodního vleku
Rozsah práce:	45 str., 41 obr., 6 tab.
Školní rok vyhotovení:	2020/2021
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	12135 - Výrobní stroje a zařízení
Vedoucí bakalářské práce:	Doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Konzultant:	Ing. Jan Veselý, Ph.D.
Zadavatel:	Wakemaster s.r.o
Využití:	Konstrukce se bude používat jako hnací ústrojí vodního vleku
Klíčová slova:	vodní vlek, kladka, motor, převodovka, unašeč, dynamický součinitel tření
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá návrhem pohonu vodního vleku. Zahrnuje koncepční návrh, statický rozbor, volba vyložení kladky a motoru. Na závěr 3D konstrukce celého pohonu, výkresová dokumentace a kontrolní výpočty.

Annotation

Author:	Dominik Bárta
Title of bachelor dissertation:	Water lift drive design
Extent:	45 p., 41 fig., 6 tab.
Academic year:	2020/2021
Univerzity:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	12135 - Department of Production Machines
Supervisor:	Doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Consultant:	Ing. Jan Veselý, Ph.D.
Submitter of the Theme:	Wakemaster s.r.o
Application:	The structure will be used as a water lift drive
Key words:	water lift, pulley, motor, gearbox, carrier, dynamic coefficient of friction
Annotation:	The bachelor's thesis deals with the design of a water lift drive. Includes conceptual design, static analysis, choice of pulley and motor liner. Finally, 3D construction of the entire drive, drawing documentation and control calculations.

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce	12
3	Tažení osob na laně	13
3.1	Lyžařský vlek	13
3.1.1	Zařízení s nízkým vedením lana	14
3.1.2	Zařízení s vysokým vedením lana	16
3.2	Vodní vlek	17
3.2.1	Dvousloupový vodní vlek	18
3.2.2	Vícesloupový vlek	19
3.2.3	Firma Sesitec GmbH	21
3.2.4	Firma Rixen Cableway GmbH	22
3.2.5	Firma Pentashi Cable Wake Co.	23
3.2.6	Firma Wakemaster s.r.o.	24
4	Pohonné ústrojí vodního vleku	25
4.1	Úhlová převodovka	25
4.1.1	Úhlové převodové motory SPIROPLAN do výbušného prostředí	25
4.1.2	Úhlové převodové motory UNICASE	26
4.1.3	Úhlové převodové motory COMBIGEAR K	27
5	Vyložení kladky	28
5.1	Funkce vyložení	28
5.2	Firmy pro výrobu vyložení	30
5.2.1	Aching Industrial Sales	30



5.2.2	CIC Engineeringplastic	30
5.2.3	IDM	30
6	Návrh koncepce pohonu.....	32
7	Rozbor pohonu vleku.....	33
7.1	Statický rozbor vleku	33
7.2	Návrh vyložení kladek	36
7.3	Výběr motoru a převodovky.....	39
8	Model návrhu pohonu.....	41
8.1	Poháněcí sloup.....	41
8.2	Model sestavy pohonu.....	41
8.3	Uložení kladek.....	45
8.3.1	Uložení horní hnací kladky.....	45
8.3.2	Uložení dolní unašecí kladky	46
9	Kontrolní výpočty.....	48
9.1	Statická kontrola hřídelů	48
9.1.1	Statická kontrola hřídele I.....	48
9.1.2	Statická kontrola hřídele II.....	49
9.2	Kontrola spojů N-H	51
9.3	Kontrola ložisek	52
10	Závěr	54
11	Použitá literatura	55
	Seznam obrázků.....	58
	Seznam tabulek.....	60



Seznam použitých veličin, značek a symbolů

a_0	°	úhel opásání
A_x	N	reakce ložiska A
b	m	šířka lyže
B_x	N	reakce ložiska B
C	-	koeficient odporu
C_c	N	statická únosnost ložiska
C_{co}	N	dynamická únosnost ložiska
C_x	N	reakce ložiska C
d	m	průměr kladky
d_h	m	průměr hřídele
D_x	N	reakce ložiska D
F_A	N	axiální síla
F_L	N	síla v laně
F_N	N	síla od převodovky
F_R	N	radiální síla kladek
F_{R1}	N	radiální síla kladky 1
F_{R2}	N	radiální síla kladky 2
F_{S1}	N	napínací síla 1
F_{S2}	N	napínací síla 2
F_{Smax}	N	maximální napínací síla
F_t	N	odporová síla
F_T	N	tažná síla
g	$m \cdot s^{-2}$	tíhové zrychlení
σ_D	N/mm^2	dovolené napětí
σ_{red}	N/mm^2	redukované napětí
h	m	šířka drážky pro pero
k	-	koeficient bezpečnosti



L_{10h}	h	trvanlivost ložisek
l	m	délka lyže
l_a	m	délka drážky pro pero
M_k	m	kroučící moment
M_{ox}	m	ohybový moment
M_{red}	m	redukovaný moment
n_k	1/min	otáčky kladky
P	N	ekvivalentní statické zatížení ložiska
P_d	Pa	dovolený tlak
P_M	W	výkon motoru
P_C	W	výkon vleku
P_1	W	výkon jednoho unašeče
ρ	kg/m ³	hustota
T	N	reakční síla
τ	N/mm ²	smykové napětí
τ_k	N/mm ²	dovolené smykové napětí
μ	-	dynamický koeficient tření
v	m/s	rychlost jezdce
x	-	počet unašečů

1 Úvod

Vodní vlek je v dnešní době sice drahá, ale velmi oblíbená sportovní činnost. Do roku 1962 táhly jezdce motorové čluny. Bylo to drahé, na provoz náročné a pro prostředí neekologické. Až při postavení prvního vodního vleku v Německu se ukázalo, že to jde i tímto způsobem.

Novodobé technologie se podepsaly i na struktuře vleku. Díky frekvenčnímu řízení můžeme snadno měnit rychlost. Tedy začátečníci mají malou rozjezdovou rychlost, která se postupně navyšuje. Díky bezdrátovému řízení mohou technici ovládat vlak z pohodlí na dálku.

Tato bakalářská práce vznikla hlavně proto, aby posunula vleky, konkrétně velké vodní vleky, technologicky dále. Hlavní náplní firem vodních vleků je aktuálně servis a dovoz. Na nové návrhy již není tolik místa a prostoru.

2 Cíl práce

Cílem práce je navrhnout pohon vodního vleku jako celek a během toho se držet několika bodů.

Nejprve je potřeba udělat rozbor vleku z hlediska statiky a vypočítat si tak potřebné parametry.

Následuje návrh koncepce pohonu, tedy jako budou kladky poháněny a jestli budou unášeny. A pokud ano, tak která bude pohonná a která unášená.

Dále je potřeba navrhnout vhodný materiál vyložení kladek, aby byl zaručen bezprokluzový přenos momentu a aby se dokázal na vlečné lano přenést dostatečný výkon. Zároveň je potřeba zvolit správný pohon.

V hlavní části je potřeba vytvořit 3D model celé pohonné jednotky a zaměřit se hlavně na uložení kladek. Tyto modely by měly být doplněny výkresovou dokumentací a také kontrolními výpočty, např. únosnost ložisek.

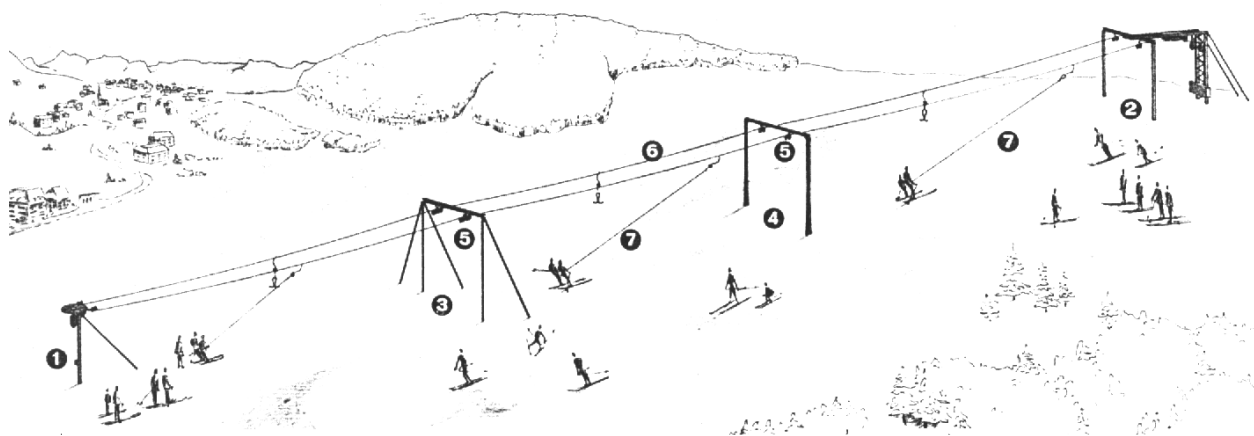
3 Tažení osob na laně

První zmínky o „tažení osob na laně“ byly zaznamenány kolem roku 1910 a ve třicátých letech minulého století se objevil první lyžařský vlek. V 70. a 80. letech minulého století pak lyžařské vleky zaznamenaly velký rozvoj. V té době bylo každoročně postaveno velké množství těchto dopravních zařízení.

3.1 Lyžařský vlek

Lyžařský vlek je zařízení, kde jsou cestující na lyžích nebo jiném vhodném sportovním vybavení přepravováni na speciální vlečné dráze (po upravené stopě).

Samotný vlek se skládá z poháněcí a vratné stanice. Dále často zahrnuje mezi podpěry, což jsou sloupy, na kterých jsou kladkové baterie. Přes kladkové baterie je vedeno vlečné lano. Vlečné lano táhne vlečné zařízení, které dopravuje jezdce (obr. 3.1). [7]



Obrázek 3.1: Lyžařský vlek [7]

1. Poháněcí (napínací) stanice; 2. Vratná (napínací) stanice; 3. Mezipodpěry; 4. Mezipodpěry; 5. Kladkové baterie (nosné, přítlačné); 6. Nosné/vlečné lano; 7. Vlečné zařízení

3.1.1 Zařízení s nízkým vedením lana

Tento typ vleku nemá pevné základy ani mezipodpěry. Lano je tak volně vedeno nad terénem. Materiál lana je polypropylen nebo ocel. [7]

Pohonná stanice je vždy realizovaná jako napínací, nástupní a umístěna dole. Skládá se z jednoduché nosné ocelové konstrukce, výkyvného rámu, na kterém je upevněn pohon s poháněcím kotoučem. Tahy v dopravním laně jsou zachyceny kotevními lany připevněnými v kotevních profilech, které jsou za stanicí mechanicky přikotveny v terénu. Systém napínání je realizován mechanickým navijákem. Poháněcí jednotka je opatřena zařízením proti zpětnému chodu. Poháněcí kotouč je nasazen na výstupním hřídeli převodovky a je vyroben z hliníkové slitiny a drážku pro lano má vyloženou pryží. Pohon je realizován elektromotorem o výkonu 4 kW a převodovkou. Proti sesmeknutí lana z poháněcího kotouče je na jeho horní i spodní části instalován ochranný límeec (obr. 3.2).

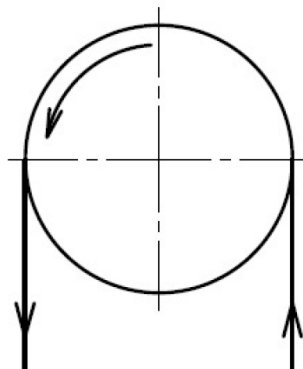


Obrázek 3.2: Poháněcí stanice zařízení s nízkým vedením lana [6]

Vratná stanice je vždy realizovaná jako pevná, výstupní a umístěná nahoře. Skládá se z kotevních profilů, nosného sloupu a ramene s uloženým vratným kotoučem. Nosný sloup vratné stanice je uložen na kotevních profilech, které jsou

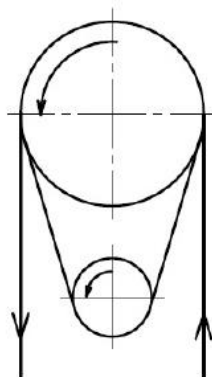
mechanicky přikotveny v terénu. Tahy v dopravním laně jsou zachyceny kotevními lany. Sklon stanice lze nastavit naklopením nosného sloupu – zkrácením (popř. prodloužením) kotevního lana a také náklonem ramena vratného kotouče přes dva napínací šrouby. Vratný kotouč je z hliníkové slitiny a drážku pro lano má vyloženou pryží. Proti sesmeknutí lana z vratného kotouče je na jeho spodní části instalován ochranný límec. [6]

Vlek se svislou osou hnací kladky a jednoduchým opásáním lana je nejjednodušší konstrukční řešení vleku, které se vyznačuje úhlem opásání hnací kladky, který je roven 180° (obr. 3.3). Z tohoto důvodu vyžaduje tato konstrukce větší napínací síly. Úhel opásání lze částečně kompenzovat využitím pryžového obložení hnacího kotouče, které zlepšit třecí poměry.



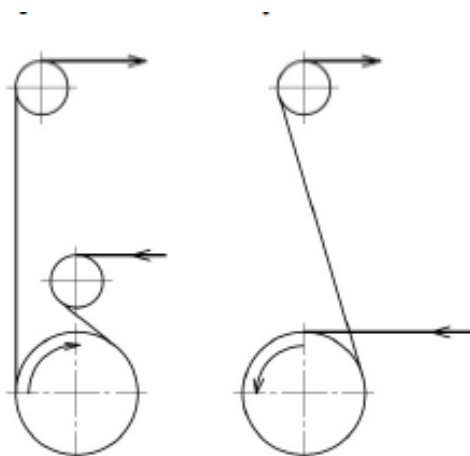
Obrázek 3.3: Hnací kladka se svislou osou a jednoduchým opásáním lana [7]

Varianta vleku s vícenásobným opásáním hnacího kotouče (obr. 3.4) se využívá jedné nebo více předlohových kladek k zvýšení opásání hnacího kotouče a z toho plynoucího lepšího přenosu výkonu. Výhodou tohoto typu vleku jsou menší rozměry a možnost použití menších napínacích sil k dosažení stejného výkonu. Hlavní nevýhodou je větší ohybové namáhání lana



Obrázek 3.4: Hnací kladky s vícenásobným opásáním hnacího kotouče [7]

Poslední možností jsou vleky s lany vedenými nad sebou (obr. 3.5). Charakteristickou vlastností tohoto typu je vratná větev, která je v tomto případě vedena nad tažnou. [7]



Obrázek 3.5: Hnací kladky s lany vedenými nad sebou [7]

3.1.2 Zařízení s vysokým vedením lana

Tato zařízení se vyznačují ocelovým lanem vedeným mimo dosah lyžařů, vlečná síla je v tomto případě přenášena na lyžaře pomocí unašeče. [7]

Za unašečem následuje pružný element, teleskopická tyč nebo lano a samonavíjecí buben. Tento prvek umožňuje vyrovnávání nerovností na trati, plynulý rozjezd lyžaře a tím snižuje rázové namáhání součástí vleku.

Sestává z poháněcí stanice napínané závažovým systémem (kladkostroj) o výkonu 5,5 až 11 kW, podpěr s kladkovými bateriemi postavených na kotevních křížích kotvených do země hřeby a vratné stanice s pevným lanovým kotoučem, která je rovněž postavena na kotevním kříži. Pohon se skládá z elektromotoru, elektropřevodovky NORD a je řízen frekvenčním měničem umožňujícím plynulou změnu rychlosti, stejně tak i provoz s libovolně sníženou rychlostí (obr. 3.6). [10]



Obrázek 3.6: Poháněcí stanice zařízení s nízkým vedením lana [10]

3.2 Vodní vlek

Vodní vlek je lanová konstrukce, která slouží k tažení vodních lyžařů a wakeboardistů a podobá se tak lyžařskému vleku. [1]

Hlavní myšlenkou prvního vleku bylo vytvořit alternativu k drahému a neekologickému tažení za motorovým člunem, který vzhledem k vysoké ceně nebyl sportem pro širokou veřejnost. První vodní vlek byl postaven v roce 1962 v Německu, které se později stalo průkopníkem vodních vleků ve světě. Základy ovládání a samotná technologie zůstaly prakticky stejné do dnes. Hlavní odlišností moderních

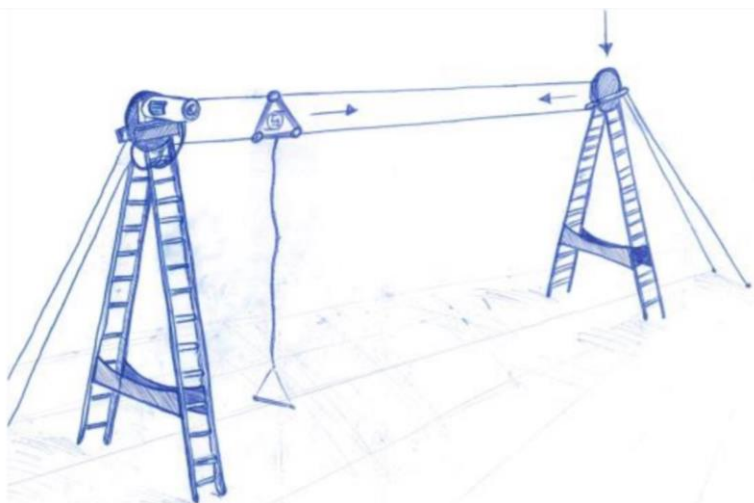
vleků jsou vyšší uchycení lana a tradiční čtyři sloupy, které jsou rozšířeny o 1-2 další, takže zatáčky jsou plynule průjezdné a nemají ostrý úhel. Nové 5-ti a 6-ti úhelníkové vleký jsou snadnější pro začátečníky a o vodní sporty se tak začala zajímat širší veřejnost. [2]

Základem vodního vleku jsou sloupy, lana, kladky a pohonná jednotka. Existují dva druhy vodních vleků: vícesloupový a dvousloupový. [1]

3.2.1 Dvousloupový vodní vlek

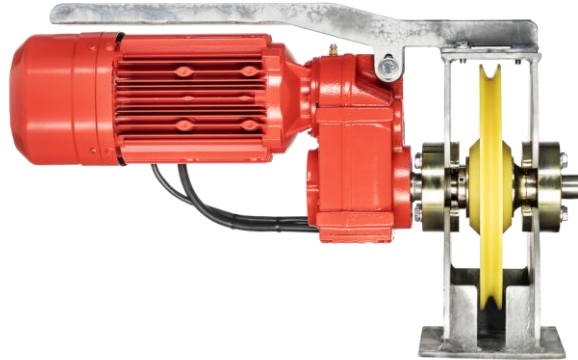
Tento vlek se skládá pouze ze dvou sloupů, která jsou k zemi přichycena kotevním lanem. Na každém sloupu je tedy kladka a přes kladky je nataženo lano. První sloup obsahuje pohonnou jednotku, která roztáčí kladku a rozpohybuje lano. Na laně je přichycen unašeč, který táhne jezdce (obr. 3.7).

Unašeč s jezdce jezdí střídavě mezi dvěma sloupy a jezdec v průběhu překonává překážky nebo kličkuje.



Obrázek 3.7: Schéma dvousloupového vodního vleku

Pohonná jednotka se skládá z elektromotoru, převodovky, hřídele a ložisek (obr. 3.8). Elektromotor má výkon 5 – 15 kW.



Obrázek 3.8: Pohonná jednotka dvousloupového vleku [3]

Dvousloupové vleky umožňují v jednu chvíli jednoho jezdce, vyžadují ale menší investice a mají menší prostorové nároky. [1]

3.2.2 Vícesloupový vlek

Full size cable, velký vodní vlek, neboli vícesloupový vlek, je lanová konstrukce, která se skládá ze 4-6 sloupů (obr. 3.9). Sloupy jsou k zemi uchyceny kotevními lany. Na každém sloupu jsou dvě sousední kladky. Kladkami jsou vedena dvě lana paralelně nad sebou. Na prvním sloupu jsou hnací kladky, je zde totiž umístěno pohonné ústrojí. Ostatní kladky jsou napínací.

Na první sloupu je také mechanismus pro připojení a odpojení jezdce k dráze.

Druhý sloup je zpravidla napínací. Obsahuje totiž napínací závaží, které vyvozuje sílu do napínacích lan.

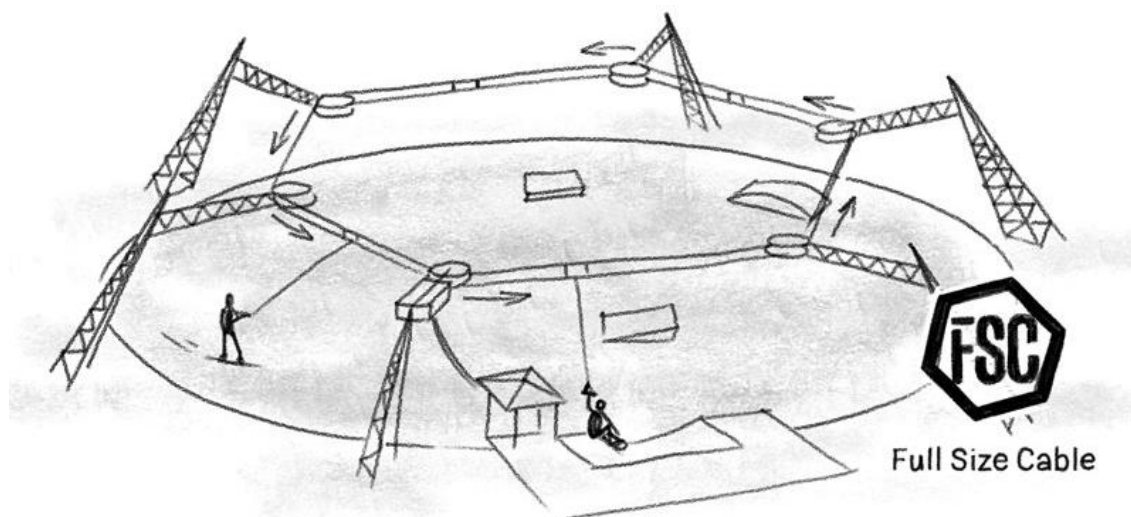
Jezdci jezdí za sebou dokola, rozestupy mezi nimi jsou 90 – 100 m. Během své jízdy kličkují nebo překonávají překážky.

Z hlediska stability jezdce je potřeba, aby spodní lano bylo delší než lano horní. Pokud by byla obě lana stejně dlouhá, došlo by k jejich přetočení a ztrátě stability jezdce. Pokud jsou obě lana různě dlouhá, musí se i pohybovat různou rychlostí, tedy spodní lano se musí pohybovat pomaleji než lano horní. Horní kladka bude mít tedy vyšší otáčky než kladka spodní.

Jednou z možností, jak kladky pohánět, je použití mechanického diferenciálu, který vyrovná kolísání rychlostí obou lan. Mechanický diferenciál je ovšem složitá komponenta a na trhu jako celek těžko dostupná.

Další možností pohonu je nahánění každé kladky jedním elektromotorem. Elektromotory se poté spřáhnou řízením master-slave.

Třetí možností je nahradit komponentu diferenciálu převodovkou, tou pohánět pouze jednu kladku a druhou nechat volně v ložiscích. Jednou lano by bylo tedy napínací a druhé by bylo unášeno prostřednictvím unašečů.



Obrázek 3.9: Velký vodní vlek [3]

Unašeč je tvořen dvěma trubkovitými svislými členy, které slouží jako distanční prvky mezi horním a spodním lanem z důvodu správného záběru kladek. Tyto dva trubkovité členy jsou pevně spojeny lankou do tvaru písmene X (obr. 3.10). Tyto lanka jsou pro funkci unašeče velmi důležitá. Pokud by trubkovité členy nebyly takto spojeny, protočily by se a unašeč by ztratil svou funkci. [1]

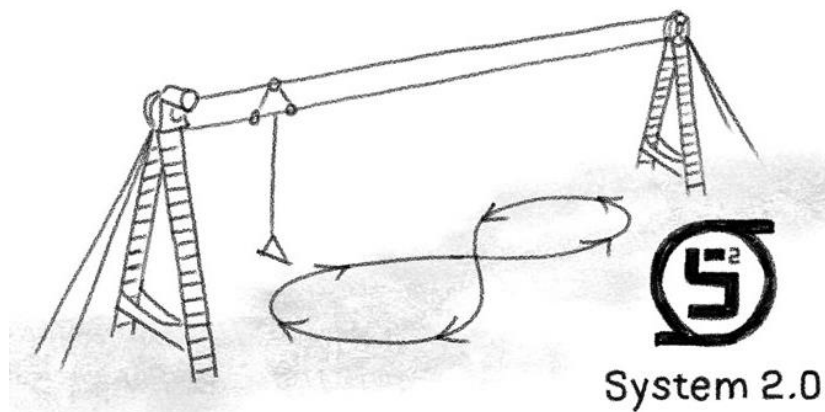


Obrázek 3.10: Unašeč [5]

3.2.3 Firma Sesitec GmbH

Sesitec GmbH je německá firma založena roku 1992. Její doménou jsou nejen vodní vleky, ale i podpora vodních sportů. Firma vyniká především svými vícesloupovými vleky a bezdrátovým ovládáním Recon. Sesitec je certifikován podle normy DIN EN 1090.

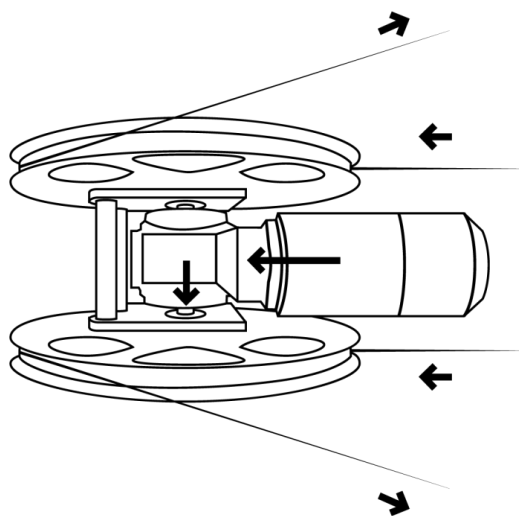
Systém 2.0 je typ dvousloupového vodního vleku, kdy na vleku jezdí jen jeden jezdec (obr. 3.11). Výhodou je snadná a rychlá instalace celé konstrukce prakticky kdekoli.



Obrázek 3.11: Systém 2.0 [3]

Vícesloupový vlek firmy Sesitec zahrnuje 5 až 6 sloupů. Na oběžné dráze vleku může najednou jezdit až 9 jezdců.

Pohon vleku se skládá z asynchronního motoru a převodovky. Poháněna je spodní kladka a horní je volně v ložiscích (obr. 3.12). [3]



Obrázek 3.12: Pohonné ústrojí velkého vodního vleku [3]

3.2.4 Firma Rixen Cableway GmbH

Firma Rixen Cableway je DF firma, zabývající se vodními vleky. Zaměřuje se na vícesloupové vleky a vleky Master. První vlek vynalezl Bruno Rixen před 60 lety.

Velké vodní vleky mají 4-6 sloupů. Pohonné ústrojí se skládá z elektromotoru a převodovky, kdy je poháněna pouze jedna kladka a druhá je volně v ložiscích. Vzhledem k poloze rampy je lyžař tažen pomalu a bude postupně zrychlován, což je pro lyžaře ideální rozjezd.

Firma Rixen nabízí i dvousloupové vodní vleky: Master Basic a Master Silver. Master Silver je výkonnější a pro pokročilejší jezdce (obr. 3.13). Elektromotor má výkon 16 kW, rychlost jezdce dosahuje 42 km / h. [4]



Obrázek 3.13: Schéma vleku Master Silver [4]

3.2.5 Firma Pentashi Cable Wake Co.

Pentashi je firma z Maďarska, která produkuje vodní vleky od roku 1993.

Hlavní produkcí firmy jsou velké vodní vleky. Ty mají 4-6 sloupů a jsou schopny najednou táhnout 10-12 jezdců. Pro pohon se používají elektromotory výkonu 30-45 kW. Celé pohonné ústrojí se skládá z elektromotoru, diferenciálu a kardanové hřídele, které se používají pro efektivní přenos síly (obr. 3.14). Elektromotory jsou ovládány frekvenčními měniči, které zajišťují plynulý chod a optimální výkon vleku. [9]



Obrázek 3.14: Pohon vleku firmy Pentashi [9]

3.2.6 Firma Wakemaster s.r.o.

Wakemaster je novější česká firma, která vyvíjí, vyrábí a dodává vlečná zařízení pro vodní sporty (obr. 3.15).

Pro pohon velkého vodního vleku se původně používal elektromotor s mechanickým diferenciálem. Toto řešení nebylo tolik výhodné, a tak se jeví lépe možnost inspirovat se řešením firmy Sesitec GmbH a použít v pohonu asynchronní motor a úhlovou převodovku. [1]



Obrázek 3.15: Vodní vleč firmy Wakemaster [1]

4 Pohonné ústrojí vodního vleku

Jedním z podstatných rysů vodních vleků, je jejich pohonné ústrojí. Toto ústrojí vždy zahrnuje asynchronní motor. Dále zde bývá buď diferenciál nebo nějaký typ převodovky. Mechanický diferenciál je ovšem složitá komponenta a na trhu jako celek těžko dostupná. Proto se u firmy Wakemaster používá spíše řešení s úhlovou převodovkou.

4.1 Úhlová převodovka

Úhlová převodovka se vyznačuje tím, že její hnací hřídel má oproti výstupní hřídeli sklon 90° . V závislosti na požadavcích na převodovku se mohou hřídele protínat v jedné rovině nebo ve dvou rovnoběžných rovinách, což by mělo za následek axiální pohyb. [11]

Úhlová převodovka bývá často dostupná společně s elektromotorem jako jeden kus, takzvané úhlové převodové motory. Ty jsou schopny dosáhnout potřebných kroutících momentů.

Úhlové převodové motory ale nejsou jediným řešením. U velkých vleků, kde se přenáší vysoké výkony, má větší vliv radiální síla působící na výstupní hřídel převodovky. V tomto případě se již vyrábí převodovky na míru s velmi masivním uložením výstupní hřídele, nebo se výstupní hřídel uloží na vlastní ložiska, a převodovka přenáší pouze samotný kroutící moment.

4.1.1 Úhlové převodové motory SPIROPLAN do výbušného prostředí

Tyto úhlové převodové motory od firmy SEW Eurodrive (obr. 4.1). Rozsah výkonu je 0,12 – 45 kW a rozsah kroutícího momentu je 180 – 50 000 Nm. Mají přírubové a patkové provedení. Vzhledem ke své prostorové úspornosti jsou vhodnou volbou pro pohon vodního vleku. [8]



Obrázek 4.1: Úhlové převodový motor SPIROPLAN do výbušného prostředí [8]

4.1.2 Úhlové převodové motory UNICASE

Úhlové převodové motory UNICASE jsou kuželového typu od firmy NORD (obr. 4.2). Rozsah výkonu činí 0,12 – 200 kW a rozsah kroutícího momentu je 180 – 50 000 Nm. Provedení je různé, nástrčné, přírubové nebo patkové. [13]



Obrázek 4.2: Úhlové převodové motory UNICASE [13]

4.1.3 Úhlové převodové motory COMBIGEAR K

Stejně jako typ UNICASE, tak i úhlové převodové motory COMBIGEAR K jsou kuželového typu a jsou od firmy KEB Automation KG (obr. 4.3). Jejich rozsah výkonu je 0,12 – 45 kW a rozsah kroutícího momentu činí 180 – 15 000 Nm. Možnosti provedení jsou patkové a přírubové. [12]

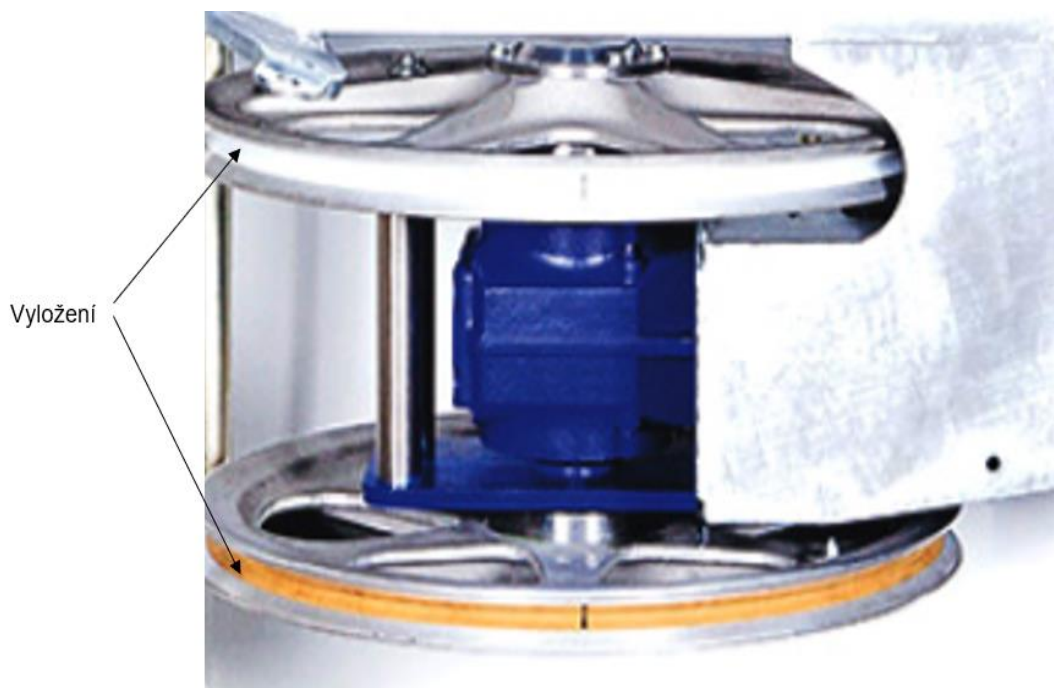


Obrázek 4.3: Úhlové převodové motory COMBIGEAR K [12]

5 Vyložení kladky

5.1 Funkce vyložení

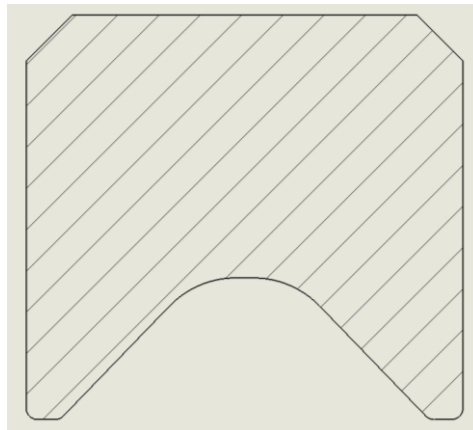
Vyložení kladky se je materiál ve tvaru podlouhlého pásu, který se umístí do drážky kladky (obr. 5.1) (obr. 5.2). Toto vyložení se umístí do drážky kladky. Tam je zajištěn pomocí tlaku vnějšího lana a také pomocí vůle v drážce. Drážka pro kladky je přibližně o 0,2 mm užší než šířka vyložení. Vyložení obsahuje i několik drážek, díky kterým se dokáže elasticky obepnout kolem kladky (obr. 5.3). [14]



Obrázek 5.1:Umístění na kladkách [3]



Obrázek 5.2: Vyložení kladky [15]



Obrázek 5.3: Průřez vyložení kladky

Použití vyložení kladky má značné výhody. Za prvé se značně snižuje opotřebení lana. Pokud třecí síla nepřekročí určitou hranici, dochází k bezprokluzovému přenosu momentu mezi kladkou a lanem. K tomu je potřeba použít správný typ materiálu.

Stěžejním parametrem bude koeficient smykového tření mezi materiálem vyložení kladky a ocelí (lano). [14]

5.2 Firmy pro výrobu vyložení

5.2.1 Aching Industrial Sales

Je to Filipínská firma sídlící v Manile. Specializuje se na prodej průmyslových výrobků, jako jsou technické plasty, pryžová těsnění, izolační materiály atd.

Materiál vyložení kladky nabízí PE (polyethylen) nebo PE-HD (polyethylen s vysokou hustou). Dynamický koeficient tření materiálů jsou popsány v tabulce (tab. 1). [16]

Tabulka 1: Materiály firmy AIS

Materiál	μ
PE	0,12
PE-HD	0,28

5.2.2 CIC Engineeringplastic

CIC je Čínská firma sídlící v Luoyangu. Zabývá se výzkumem třecích materiálů a nabídkou těžebních a lisovacích strojů.

Pro vyložení kladek používají termosetové polymery, jejichž minimální hodnota dynamického koeficientu tření je 0,28. [17]

5.2.3 IDM

Je to Francouzská firma sídlící v malém městě Porte-de-Savoie. Zabývá se výrobou komponentů pro lyžařské vleky.

Pro vyložení kladek u lyžařských vleků používá materiály PE nebo Becorit K22, který má koeficient tření 0,25.

Vyložení kladek, které jsou součástí kladkových baterií, má u lyžařských vleku jiný průřez (obr. 5.3). [18]

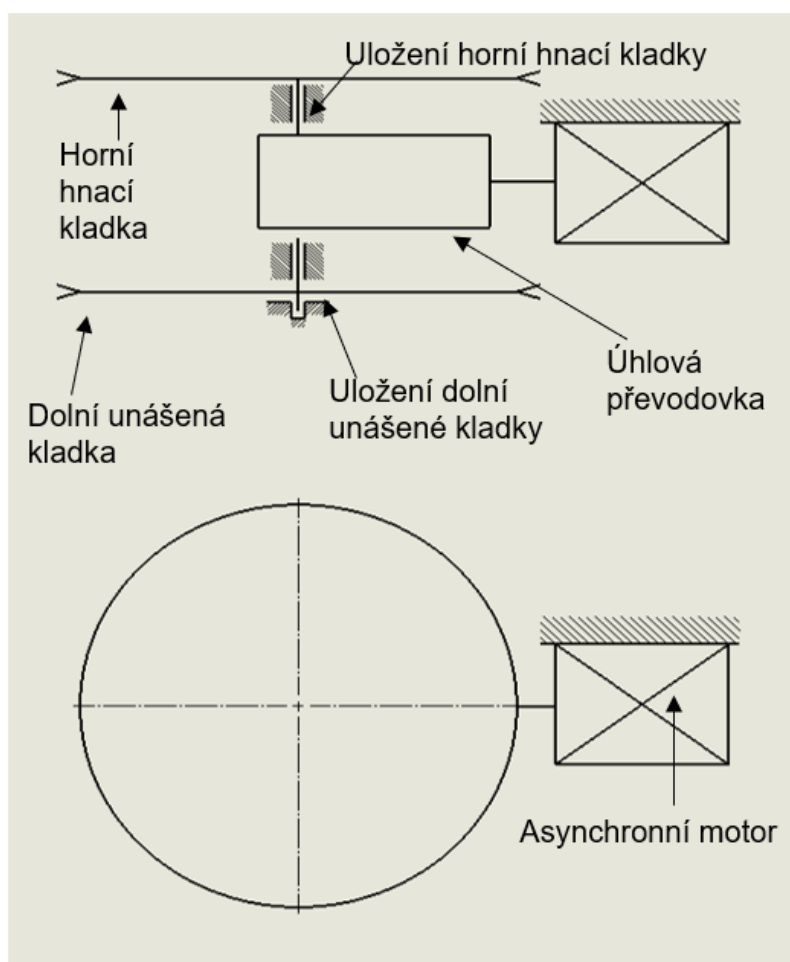


Obrázek 5.4: Vyložení kladky u lyžařského vleku [18]

6 Návrh koncepce pohonu

Původní pohonný celek s diferenciálem se tedy změní. Je odstraněna komponenta diferenciálu a místo ní tam bude úhlová převodovka, která bude pohánět pouze horní kladku a spodní kladka bude unášena přes unašeče.

Celek (obr. 6.1) bude tedy zahrnovat elektromotor, který bude společně s úhlovou převodovkou uchycen na rámu. Ten bude skrze uložení kladky, které bude přichyceno k rámu, pohánět samotnou horní kladku. Spodní kladka bude volně uložena v ložiscích. Toto uložení bude taktéž uchyceno k rámu.

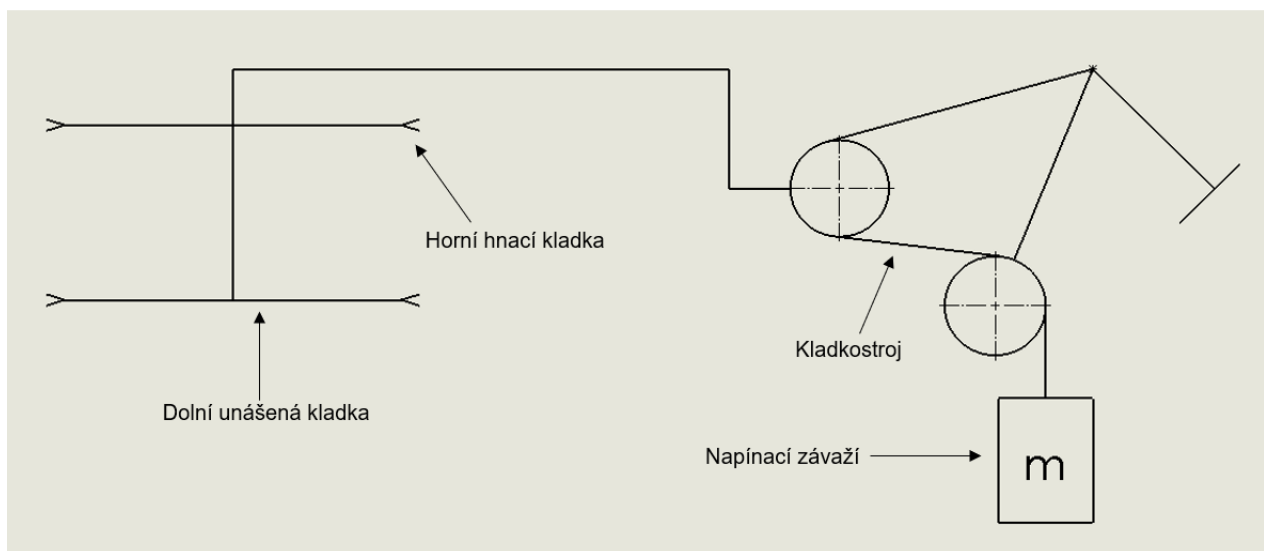


Obrázek 6.1: Kinematické schéma pohonu

7 Rozbor pohonu vleku

7.1 Statický rozbor vleku

Pro správný výběr vyložení kladky a pohonu bude potřeba stanovit základní statické síly. Při výpočtech je třeba vycházet z napínacího závaží. Toto závaží má hmotnost 2 500 kg a je upevněno na kladkostroji (obr. 7.1).



Obrázek 7.1: Kladkostroj

Tento kladkostroj je uvolněn (obr. 7.2) a následně je určena radiální síla

$$F_R = 2 \cdot T = 2 \cdot m \cdot g = 2 \cdot 2500 \cdot 9,81 = 49\,050 \text{ N} \quad (1)$$

F_R – radiální síla kladek

F_{R1} – radiální síla horní kladky

F_{R2} – radiální síla spodní kladky

F_L – síla v laně

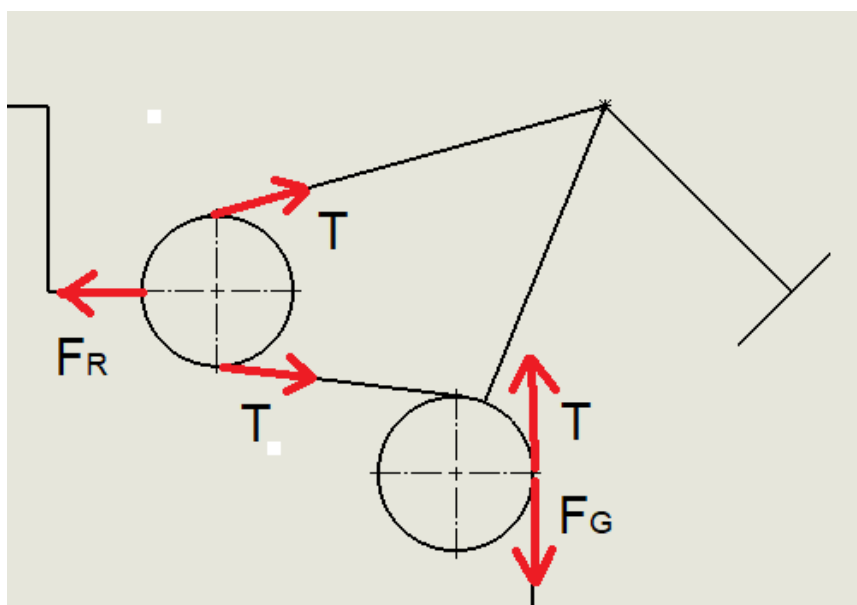
T – reakční síla

m – hmotnost napínacího závaží

g – tíhové zrychlení

Radiální síla horní kladky má stejnou hodnotu jako dolní kladka

$$F_{R1} = F_{R2} = \frac{F_R}{2} = \frac{49\,050}{2} = 24\,525\,N \quad (2)$$

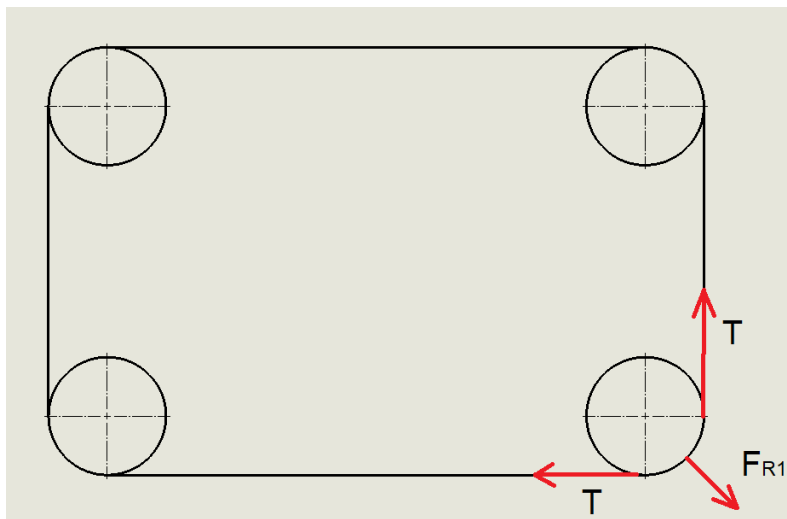


Obrázek 7.2: Uvolnění

Při výpočtech se bude uvažovat zjednodušený tvar vleku a to 4-sloupový vlek obdélníkového půdorysu. Úhel opásání tedy činí 90 stupňů. Při tomto tvaru jsou síly i vzhledem k úhlu opásání největší. Pokud bychom tedy chtěli vícesloupový vlek, pěti nebo šesti, tak síly už budou menší a určený pohon bude výkonově stačit. Z tohoto obrázku (obr. 7.3) lze jednoduchým výpočtem zjistit síly v laně.

$$F_L = \frac{F_{R1}}{\sqrt{2}} = \frac{24\,525}{\sqrt{2}} = 17\,341,79\,N \quad (3)$$

$F_L = T$ – síla v laně



Obrázek 7.3: Půdorys

Dalším potřebným parametrem je tažná síla jezdce. Jezdec při své jízdě jede na vodních lyžích anebo na wakeboardu a jede ve vodě. Během jízdy tedy musí překonávat odpor vodního prostředí. Díky tomu můžeme pro stanovení tažné síly jezdce využít Newtonova zákona odporu.

Je stanovena délka lyže ve vodě, šířka lyže, maximální rychlost jezdce. Odporový koeficient má hodnotu 0,09.

$$F_t = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot b \cdot L \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,09 \cdot 1000 \cdot 1,1 \cdot 0,15 \cdot 8,33^2 = 326,31 \text{ N} \quad (4)$$

F_t – odporová síla

F_T – tažná síla

C – odporový koeficient

b – šířka lyže

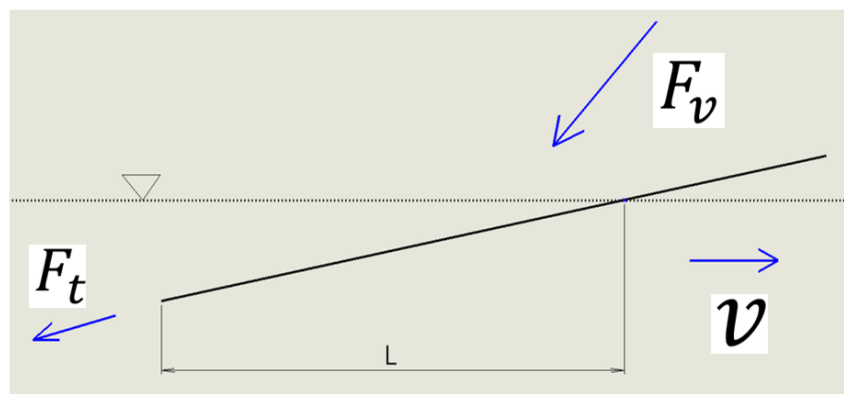
l – délka lyže

ρ – hustota vody

v – rychlost jezdce

Tím byla stanovena třecí odporová síla. Tažná síla jezdce je tedy odporovou silou vody a tato hodnota je známá. (obr. 7.4).

$$F_T = F_t = 326,31 \text{ N} \quad (5)$$



Obrázek 7.4: Schéma lyže

Pro parametry převodovky bude taky potřeba určit výstupní otáčky, respektive otáčky kladky. Vychází se ze znalosti průměru kladky a obvodové rychlosti.

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \Rightarrow n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{60 \cdot 8,33}{\pi \cdot 1} = 159,17 \frac{1}{min} \quad (6)$$

v – obvodová rychlost kladky

d – průměr kladky

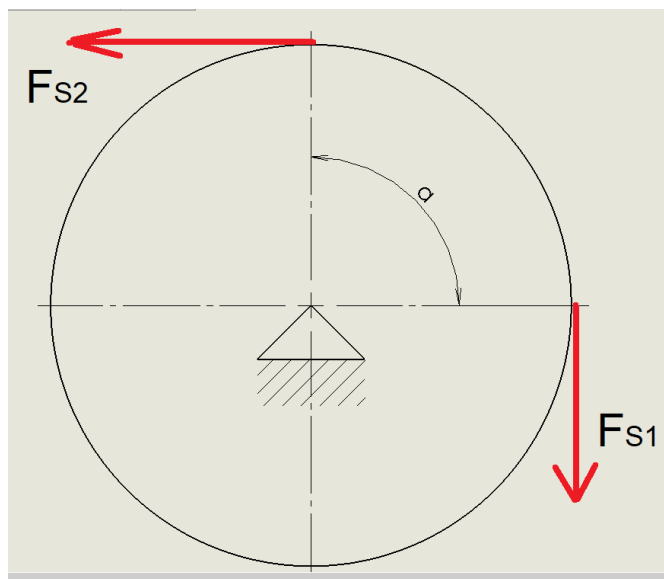
n – otáčky kladky

7.2 Návrh vyložení kladek

Při výběru vhodného vyložení kladek se vychází z potřebného materiálu. Jednotlivé materiály se budou lišit dynamickým koeficientem tření. Tento parametr lze stanovit pomocí Eulerova vztahu pro vláknové tření.

$$\frac{F_{S1}}{F_{S2}} = e^{\alpha_0 \mu} \quad (7)$$

Úhel α_0 je úhel opásání kladky, který činí 90° . Parametr μ je dynamický koeficient tření. Síly F_{S1} a F_{S2} jsou takzvané napínací síly (obr. 7.5). Materiál vyložení kladky bude tedy zvolen dle potřebného poměru napínacích sil.



Obrázek 7.5: Napínací síly na kladce

Návrh napínacích sil vychází z maximálních dovolených sil, které plynou z bezpečnosti lana. Bezpečnostní koeficient lana má hodnotu 4.

$$k = \frac{S_1}{F_{Smax}} \Rightarrow F_{Smax} = \frac{S_1}{k} = \frac{56340}{4} = 14\,085 \text{ N} \quad (8)$$

k – bezpečnostní koeficient

S_1 – parametr lana

F_{Smax} – maximální napínací síla

Tím byla zjištěna maximální napínací síla.

Při dalším postupu je stanoven dynamický koeficient tření jako konstanta a bude se řešit výpočet potřebných napínacích sil tak, aby byl přenesen potřebný výkon na lano při úhlu opásání 90° .

Potřebný výkon se zjistí z jednoduchého vztahu.

$$P_c = x \cdot P_1 = 8 \cdot F_T \cdot v = 8 \cdot 613,25 \cdot 8,33 = 42,017 \text{ kW} \quad (9)$$

P_c – potřebný výkon vleku

P_1 – výkon jednoho unašeče

F_T – tažná síla

v – rychlost jezdce

x – počet unašečů

Tím byl stanoven potřebný výkon vleku pro 8 jezdců.

Nyní bude pro každý materiál navrhnutá napínací síly a zpětně se zjistí, jaký výkon dokáže přenést. Pro napínací sílu F_{S1} je využit následující vztah:

$$F_{S1} = F_T \frac{e^{\alpha_0 \mu}}{e^{\alpha_0 \mu} - 1} \quad (10)$$

F_{S1}, F_{S2} – napínací síly

F_T – tažná síla

α_0 – úhel opásání

μ - dynamický koeficient tření

A pro napínací sílu F_{S2} se bude uvažovat následující vztah:

$$F_{S2} = \frac{F_T}{e^{\alpha_0 \mu} - 1} \quad (11)$$

V následující tabulce (tab. 2) jsou vypsány vypočítané napínací síly pro dané materiály a také potřebný výkon, který přenesou.

Tabulka 2: Srovnání napínacích sil a potřebného výkonu pro jednotlivé materiály vyložení

materiál	μ	F_{S1} [N]	F_{S2} [N]	P [kW]
PE-HD	0,28	8829,94	3665,77	42,561
PE	0,12	16450,59	11286,4	51,872
Becorit K-22	0,25	9495,69	4331,53	43,633
Termosetové polymery	0,28	8640,37	3476,19	41,985

Z výše uvedené tabulky vypočtených hodnot vyplývá, že potřebné napívací síly, pro materiál vyložení PE, překračují maximální dovolenou sílu danou bezpečností lana. Materiál PE tedy nelze použít.

Materiál z termosetových polymerů nedokáže přenést veškerý potřebný výkon na lano, a proto tento materiál také nelze použít.

7.3 Výběr motoru a převodovky

Jako pohonné ústrojí budou použity převodové motory, které jsou schopny dosáhnout požadovaných krouticích momentů.


Vstupní parametry pro výběr převodového motoru jsou uvedeny v tabulce níže (tab. 3).

Tabulka 3: Parametry pro výběr převodového motoru

F_R	49 050 N
F_A	0 N
n_k	159,17 1/min
P_M	45 kW

Vzhledem k zadaným parametrům byl zvolen úhlový převodový motor Spiroplan KA1527DRN o výkonu $P_M = 45$ kW (obr. 7.6).



$P_m = 45 \text{ kW}$											
n_a min^{-1}	M_a Nm	i	$F_{Ra}^{(1)}$ N	SEW f_B	HAZ LOC					m kg	
16	26400	109.83	150000	1.20	X						
20	21100	87.86	150000	1.50	X						
23	18800	78.14	150000	1.70	X						
26	16300	68.07	147200	1.95	X	K	167	(E)DRN	225M4	1350	631
29	14600	60.74	144500	2.2	X	KH	167	(E)DRN	225M4	1310	632
34	12400	51.77	140400	2.6	X						
42	10300	42.89	135400	3.1	X						
25	16900	70.38	77800	1.05	X						
29	14600	61.02	78000	1.25	X						
33	13000	54.29	77700	1.40	X						
38	11200	46.79	77000	1.60	X	K	157	(E)DRN	225M4	960	625
47	9150	38.02	75500	1.95	X	KF	157	(E)DRN	225M4	1040	626
57	7530	31.30	73600	2.4	X	KA	157	(E)DRN	225M4	920	626
65	6650	27.62	72300	2.7	X	KAF	157	(E)DRN	225M4	980	626
75	5760	23.95	70600	3.1	X						
84	5120	21.31	69100	3.5	X						
97	4420	18.37	67100	4.1	X						
37	11500	47.82	54000	1.15	X	K	127	(E)DRN	225M4	720	619
44	9670	40.19	54400	1.35	X	KF	127	(E)DRN	225M4	770	620
49	8720	36.25	54300	1.50	X	KA	127	(E)DRN	225M4	700	621
						KAF	127	(E)DRN	225M4	730	620
57	7550	31.37	54100	1.70	X						
64	6660	27.68	53600	1.95	X						
75	5750	23.91	52800	2.3	X						
84	5080	21.15	52100	2.5	X	K	127	(E)DRN	225M4	720	619
100	4270	17.77	50800	3.0	X	KF	127	(E)DRN	225M4	770	620
124	3450	14.35	49100	3.5	X	KA	127	(E)DRN	225M4	700	621
140	3070	12.79	46900	2.8	X	KAF	127	(E)DRN	225M4	730	620
166	2580	10.74	45500	3.1	X						
206	2080	8.68	43600	3.5	X						
62	6970	29.00	27100	1.05	X	K	107	(E)DRN	225M4	570	613

Obrázek 7.6: Výběr úhlového převodového motoru

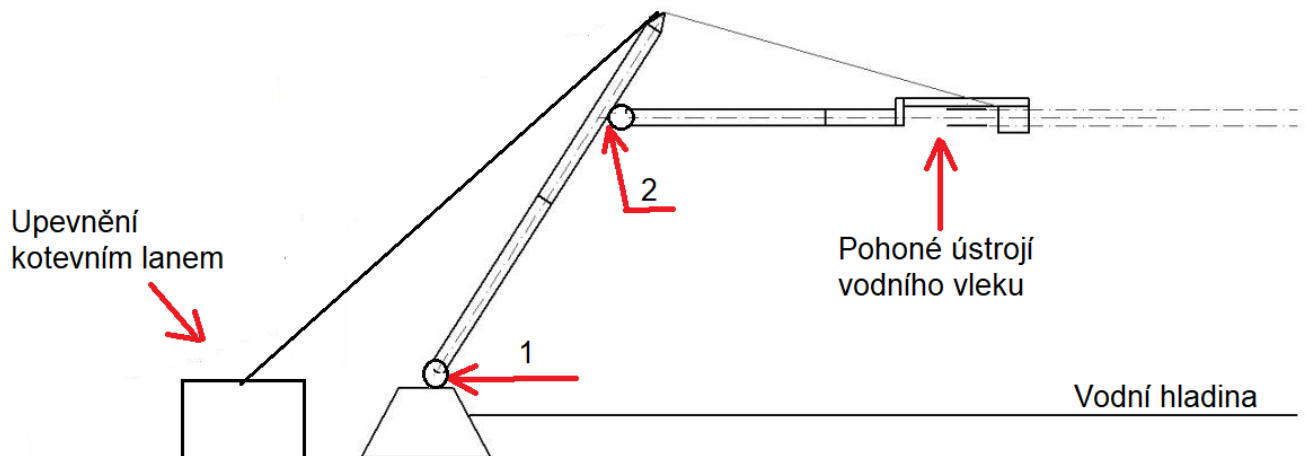
8 Model návrhu pohonu

Již bylo vybráno vhodné uložení kladky a vhodný motor s převodovkou. Nyní bude potřeba tyto komponenty začlenit do celé sestavy pohonu.

8.1 Poháněcí sloup

Pro dobrou představu je nejprve potřeba si zobrazit poháněcí sloup (obr. 8.1). Ten je k zemi upevněn kotevním lanem. V místech s číslem jedna a dva je rotační vazba, aby se mohlo pohonné ústrojí správně natočit.

Na samotném konci sloupu je upevněno pohonné ústrojí vodního vleku.



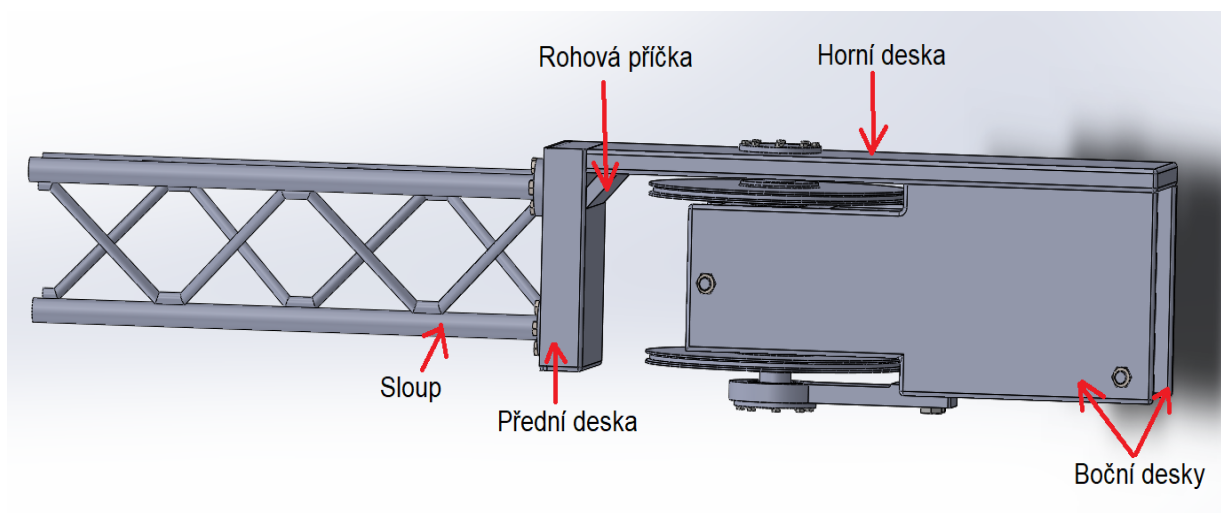
Obrázek 8.1: Poháněcí sloup

8.2 Model sestavy pohonu

Sestava pohonu vodního vleku se skládá ze čtyř desek, které jsou k sobě svařeny a tvoří skříň pohonu (obr. 8.2). Tato skříň je připevněna ke sloupu.

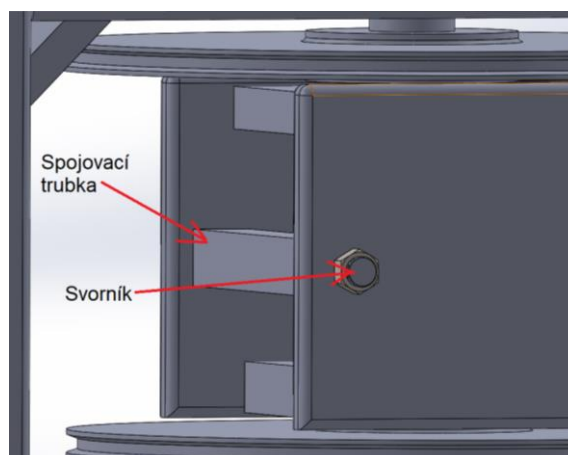
Vodní vlek jako celá konstrukce stojí přes celý rok ve vnějším prostředí. Na vlek působí vnější vlivy podnebí, a tak je potřeba, aby byl pohon, respektive motor a převodovka, skryt a chráněn před vnějšími vlivy podnebí.

Pro správné spojení horní a přední desky byla v místě jejich spoje přivařena rohová příčka, která by měla zvýšit pevnost tohoto spojení.

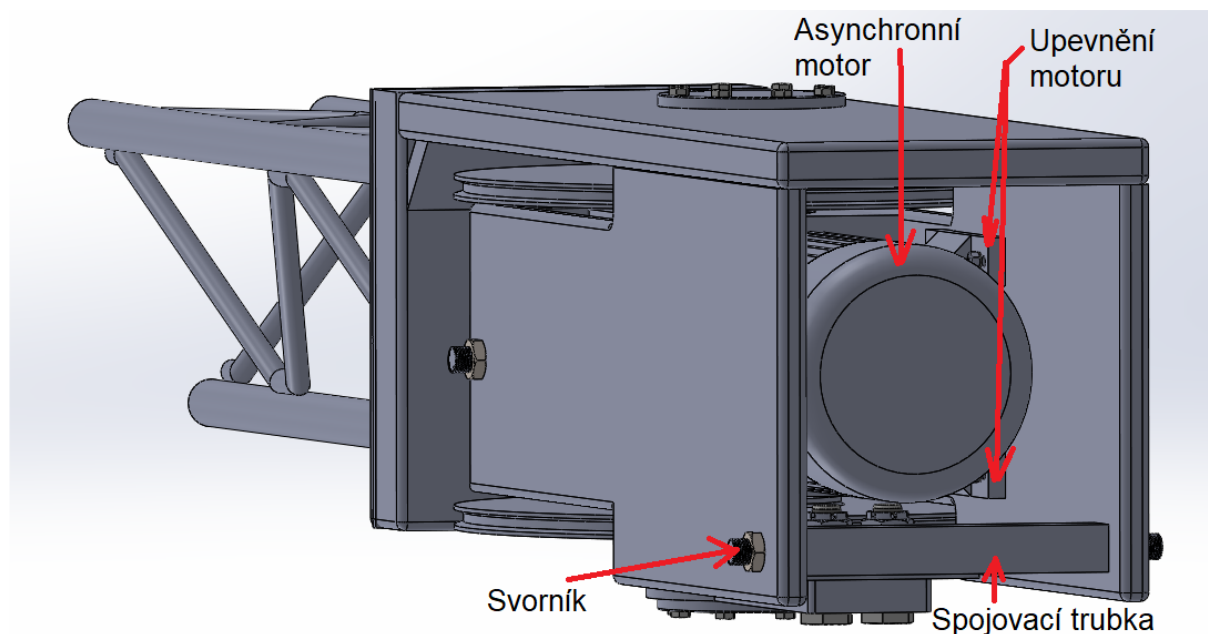


Obrázek 8.2: Pohonné ústrojí vodního vleku

Celá skříň je neuzavřená rámová konstrukce. Větší vibrace by tak mohly být pro skříň velmi nežádoucí. Proto byly obě boční desky spojeny trubkou ve dvou místech. Trubkou je protažen svorník a zajištěn maticí (obr. 8.4). První trubka je umístěna v zadní části skříně dole, jelikož jsou zde vyčnívající rohy bočních desek. Druhá trubka byla umístěna v přední části (obr. 8.3). Spojila tak vyčnívající okraje bočních desek.



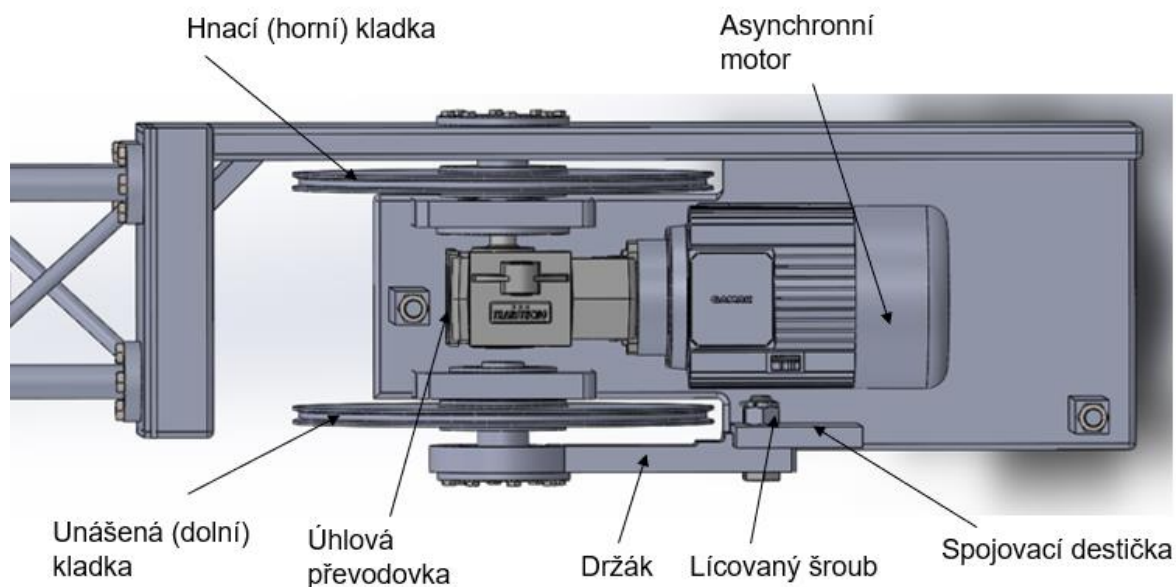
Obrázek 8.3: Svorník s trubkou



Obrázek 8.4: Pohonné ústrojí vodního vleku - pohled zezadu

Po odstranění jedné z bočních desek je možnost nahlédnout dovnitř (obr. 8.5). Uvnitř skříně je vidět upevněný úhlový převodový motor k boční desce. Tento motor pohání horní hnací kladku. Samotná kladka je uložena v ložiscích.

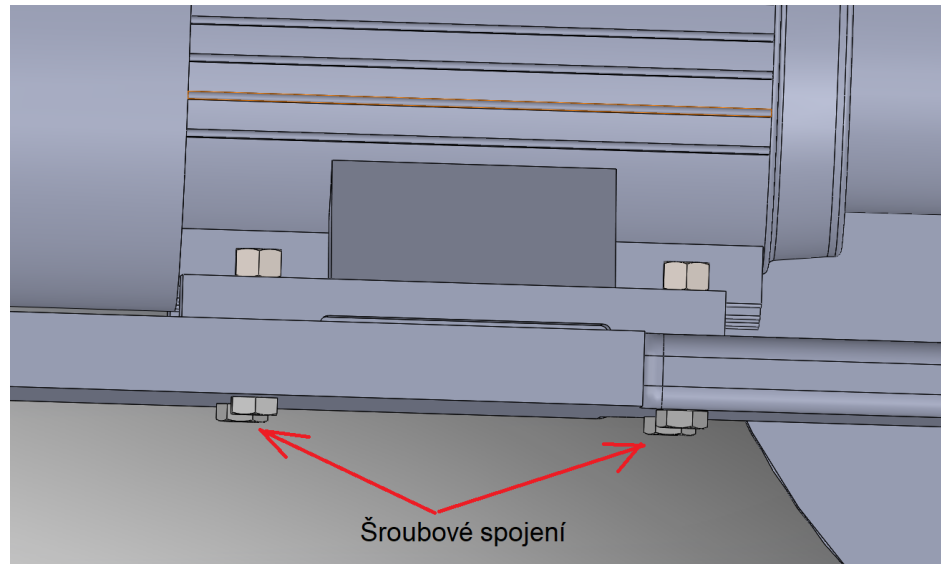
Dolní unášená kladka je volně uložena v ložiscích. Spodní ložisko je uloženo v držáku, který je spojen se spojovací destičkou, a to za pomoci lícovaných šroubů. Lícované šrouby by měly zajistit přesnost polohování při montáži. Tato spojovací destička je součástí svařované skříně pohonného ústrojí vodního vleku.



Obrázek 8.5: Pohonné ústrojí vodního vleku - pohled dovnitř

Jak již bylo uvedeno, všechny tyto prvky (motor, převodovka, ložiska) jsou ukryty ve skříni pohonného ústrojí vodního vleku, která je chrání před nežádoucími vnějšími podmínkami.

Ze zadního pohledu na pohonný ústrojí vodního vleku (obr. 8.4) je vidět, že celek úhlového převodového motoru je připevněn ke skříni k boční desce. Z následujícího obrázku (obr. 8.6) je vidět přesně spojení motoru a skříně. To je realizováno pomocí šroubů a matic. Stejné spojení platí i pro úhlovou převodovku. I přesto, že asynchronní motor a úhlová převodovka jsou jeden kus, je třeba upevnit obě součásti a snížit tak případné nežádoucí vibrace.



Obrázek 8.6: Šroubové spojení motoru se skříní

8.3 Uložení kladek

Jednou z nejpodstatnějších částí konstrukce bude uložení kladek. Detail uložení kladek je na obrázcích níže.

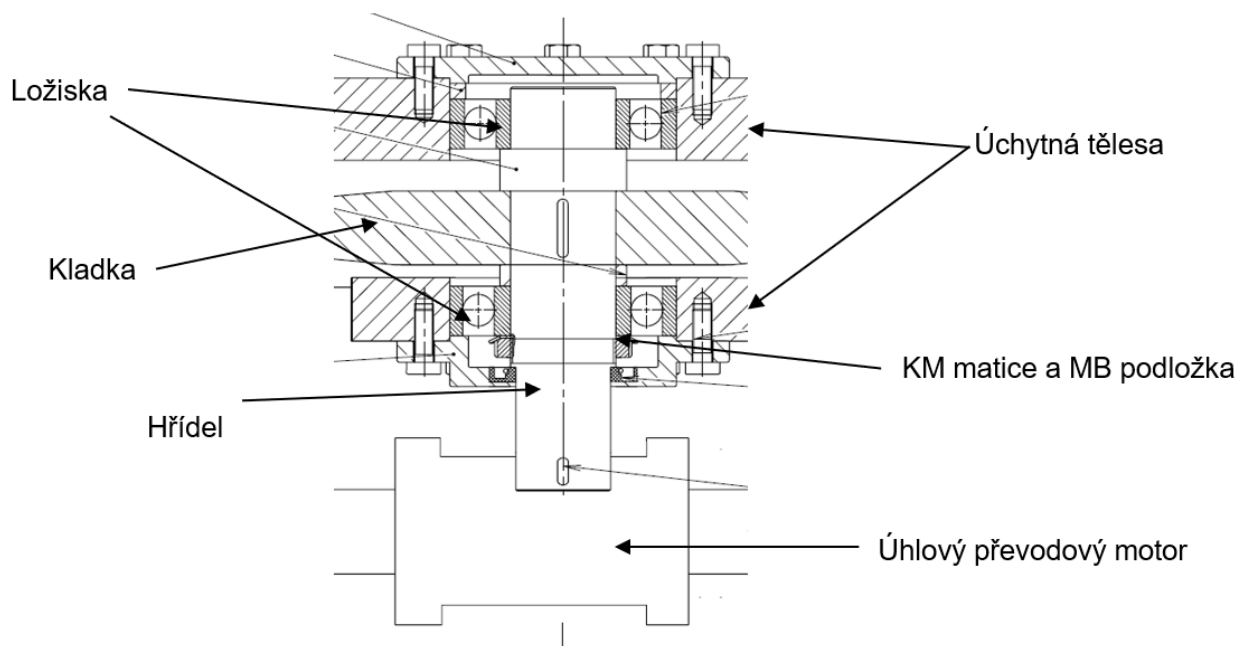
8.3.1 Uložení horní hnací kladky

Horní hnací kladka (obr. 8.7) má hřídel, která je propojena s výstupní hřídelí úhlové převodovky. Aby byl přenesen potřebný kroutící moment, je použita pružná spojka.

Dále pak uložení obsahuje 2 ložiskové domky. Zde je úchytné těleso, které se přivaří ke krajní desce skříně pohonu. Součástí spodního ložiskového domku je ložisko, které je z jedné strany zajištěno KM maticí a MB podložkou a ze strany druhé distanční trubkou. Spodní ložiskový domek je ukončen víkem a hřídelovým těsněním. Víko je k úchytnému tělesu připevněno pomocí osmi šroubů.

Kladka je uchycena z jedné strany distanční trubkou a ze strany druhé větším průměrem hřídele. Přenos kroutícího momentu je zajištěn drážkou pro pero.

Ložisko horního ložiskového domku je uchyceno větším průměrem hřídele a distančním kroužkem. Tento distanční kroužek drží z druhé strany víko, které je k úchytnému tělesu připevněno pomocí osmi šroubů.



Obrázek 8.7: Uložení horní hnací kladky

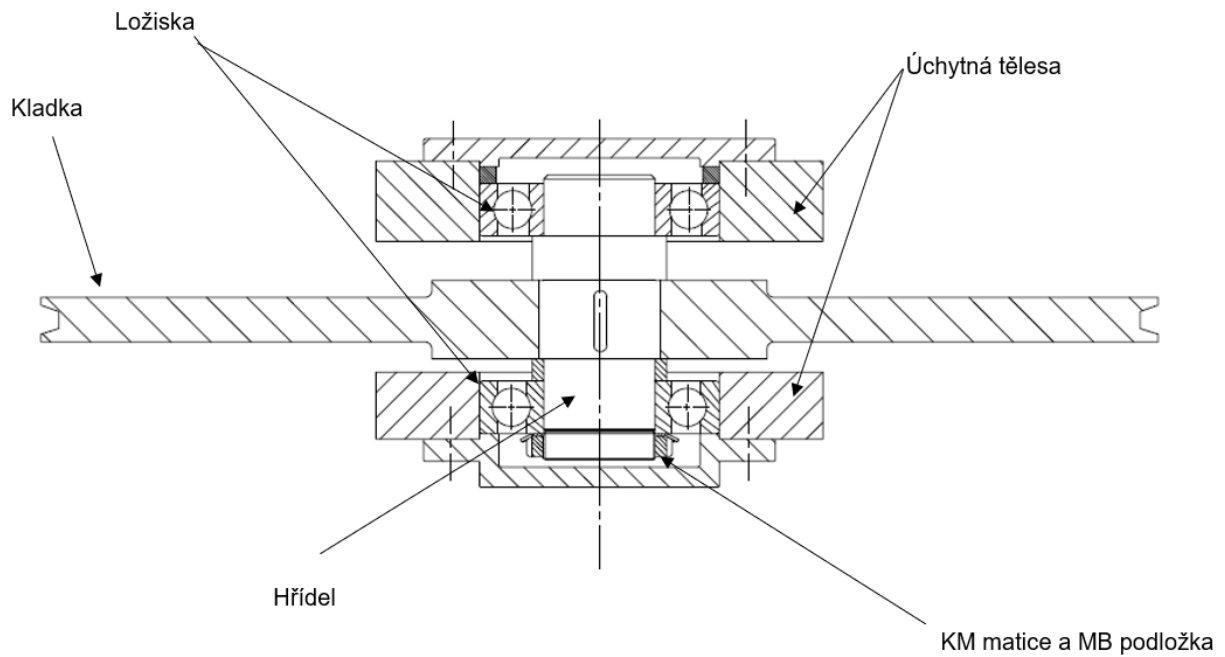
8.3.2 Uložení dolní unašecí kladky

Hřídel dolní unašecí kladky (obr. 8.8) je volně uložena v ložiscích. Jsou na ni uloženy 2 ložiskové domky a kladka.

Spodní ložiskový domek je, stejně jako u horní hnací kladky, tvořen úchytným tělesem a ložiskem. Ložisko je z jedné strany zajištěno KM maticí a MB podložkou a z druhé strany distanční trubkou. Na úchytné těleso je přišroubováno víko pomocí 8 šroubů.

Kladka je v tomto případě uchycena stejně jako horní hnací kladka, a to pomocí distanční trubky a většího průměru hřídele. Přenos kroutícího momentu je realizován pomocí drážky pro pero.

Provedení horního ložiskové domku je stejné jako u horní hnací kladky. Ložisko je zachyceno větším průměrem hřídele a distanční kroužek. Distanční kroužek je uchycen pomocí víka, které je k úchytnému tělesu přišroubováno pomocí osmi šroubů.



Obrázek 8.8: Uložení dolní unašecí kladky

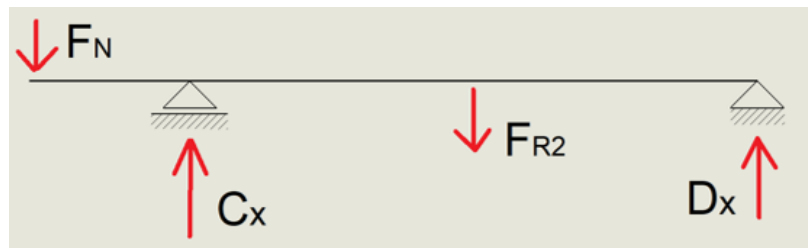
9 Kontrolní výpočty

9.1 Statická kontrola hřídelů

Vzhledem k působícím silám na hřídele je potřeba zkontrolovat je z hlediska statiky. Tedy jestli σ_{red} kritického průměru hřídele je menší než σ_D .

9.1.1 Statická kontrola hřídele I

Na hřídel I působí síla od převodovky, radiální síla od ložisek a radiální síla od kladky. Hřídel si tedy uvolníme (obr. 9.1)



Obrázek 9.1: Uvolnění hřídele I

Pomocí rovnic rovnováhy a momentové rovnice zjistíme hodnotu reakcí.

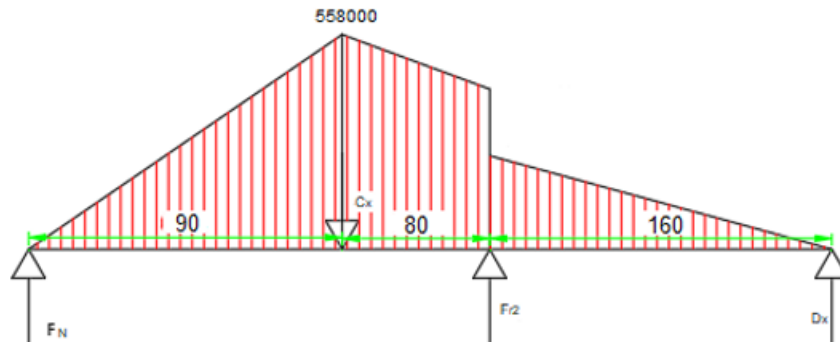
$$C_x + D_x - F_N - F_{R2} = 0 \quad (12)$$

$$M_D: C_x \cdot 180 - F_N \cdot 130 - F_{R2} \cdot 70 = 0 \quad (13)$$

$$C_x \cdot 180 - F_N \cdot 161 - F_{R2} \cdot 48 = 0 \quad (14)$$

Po výpočtu byla zjištěna hodnota $C_x = 5850 \text{ N}$ a $D_x = 24\,875 \text{ N}$.

Dále byl vykreslen graf průběhu ohybového momentu hřídele I (obr. 9.2). Z grafu lze poznat, že největší hodnota ohybového momentu je pod levým ložiskem.



Obrázek 9.2: Průběh ohybového momentu hřídele I

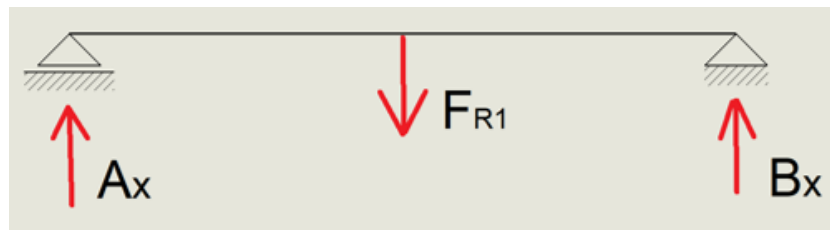
$$M_{red} = \sqrt{M_{ox}^2 + M_k^2} = \sqrt{558000^2 + 24\,525^2} = 607631 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1} \quad (15)$$

$$\sigma_{red} = \frac{M_{red}}{\pi \cdot \frac{d^3}{32}} = \frac{607631}{\pi \cdot \frac{90^3}{32}} = 12,1 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2} < 90 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2} \quad (16)$$

Bylo vypočteno, že σ_{red} kritického průměru hřídele I je menší než σ_D . Hřídel I tedy vyhovuje statické kontrole.

9.1.2 Statická kontrola hřídele II

Na hřídel II působí radiální síla od ložisek a radiální síla od kladky. Hřídel si tedy uvolníme (obr. 9.3)



Obrázek 9.3: Uvolnění hřídele II

Stejně jako u hřídele I, tak i u hřídele II zjistíme hodnotu reakcí pomocí rovnic rovnováhy a momentové rovnice.

$$A_x + B_x - F_{t1} = 0 \quad (17)$$

$$M_A: -F_{t1} \cdot 45 + B_x \cdot 180 = 0 \quad (18)$$

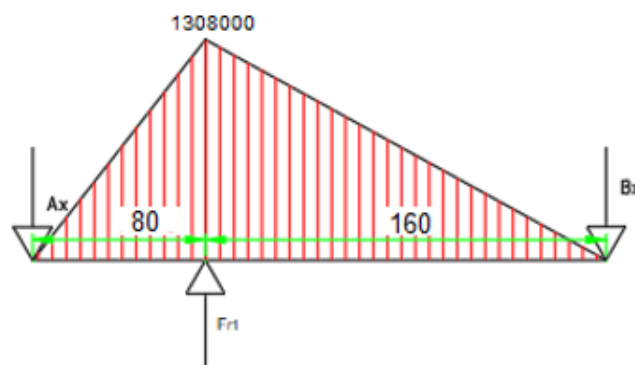
$$B_x = \frac{9601,8 \cdot 100}{180} = 8150 \text{ N} \quad (19)$$

Po výpočtu byla zjištěna hodnota $A_x = 16350 \text{ N}$ a $B_x = 8150 \text{ N}$.

Dále byl vykreslen graf průběhu ohybového momentu hřídele II (obr. 9.4). Z grafu lze poznat, že největší hodnota ohybového momentu je pod kladkou.

$$M_{red} = \sqrt{M_{ox}^2 + M_k^2} = \sqrt{1308000^2 + 24\,525^2} = 1308229 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1} \quad (20)$$

$$\sigma_{red} = \frac{M_{red}}{\pi \cdot \frac{d^3}{32}} = \frac{1308229}{\pi \cdot \frac{90^3}{32}} = 18,29 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} < 90 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (21)$$



Obrázek 9.4: Průběh ohybového momentu hřídele II

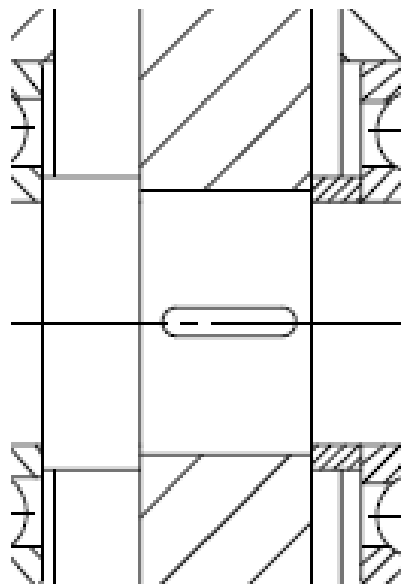
Bylo vypočteno, že σ_{red} kritického průměru hřídele II je menší než σ_D . Obě hřídele tedy vyhovují statické kontrole. Bylo vypočteno, že σ_{red} kritického průměru hřídele I je menší než σ_D . Hřídel I tedy vyhovuje statické kontrole. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce níže (tab. 4).

Tabulka 4: Výsledné reakce

Reakce	Síla [N]
A_x	16 350
B_x	8 175
C_x	5 850
D_x	24 875
M_{ox1}	558 000
M_{ox2}	1 308 000

9.2 Kontrola spojů N-H

Spojení hřídele a kladky bude provedeno pomocí těsného pera. Těsné pero zaručí přenos kroutícího momentu z hřídele na kladky, což je pro správnou funkci mechanismu potřebné.



Obrázek 9.5: Drážka pro pero

Délku pera je navržena ze znalosti průměru hřídele a ze znalosti radiální síly, respektive ze znalosti působícího kroutícího momentu.

$$l_a = \frac{4 \cdot M_{kl}}{d_h \cdot h \cdot P_d} = \frac{4 \cdot 24\,525 \cdot 50}{100 \cdot 16 \cdot 110} = 27,6 \text{ mm} \quad (22)$$

Zvolím pero 28e7x16x80 ČSN 02 2562. Délku pera jsme navrhli minimální potřebnou pro dané pero.

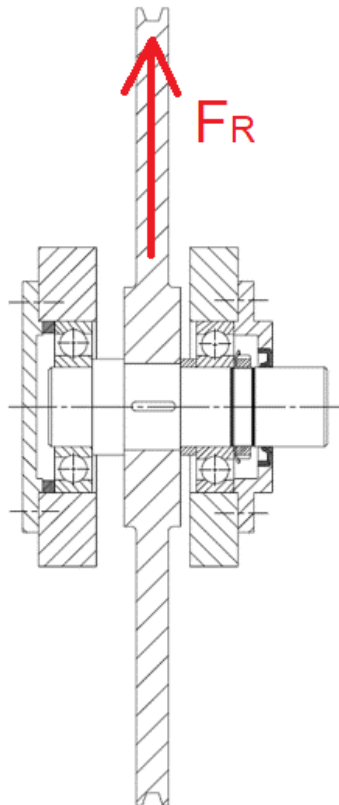
Dané pero je také potřeba zkontrolovat na střiž. Vycházíme z dovoleného smykového napětí: $\tau_k = 80 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$\tau = \frac{2 \cdot M_{KI}}{d_h \cdot h \cdot l} = \frac{2 \cdot 24\,525 \cdot 50}{100 \cdot 16 \cdot 80} = 19,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \tau_k \quad (23)$$

Výsledné smykové napětí nám vyšlo menší než dovolené smykové. Zvolené pero je tedy v pořádku.

9.3 Kontrola ložisek

Užitím hodnot zatížení ložisek vypočítaných v předešlých kapitolách, např. radiální síla (obr. 9.6), byla navržena ložiska.



Obrázek 9.6: Radiální síla na ložiscích

Byla zvolena kuličková ložiska SKF 6315-2Z s oboustranným krytím (tab.5). Oboustranné krytí je důležité vzhledem k vnějším podmínkám, aby se například do ložiska nedostala voda.

Tabulka 5: Parametry ložiska

d	D	T	C	C ₀	n	L _h	m
100	140	34	76 500	119 000	4800	67 000	1,3

Ložiska jsou axiálně volná, tudíž na ně nepůsobí pouze radiální síla. Nejprve byl proveden výpočet základní dynamické únosnosti. Vzhledem k axiálně volným ložiskům se bude za ekvivalentní statické zatížení ložiska dosazovat radiální sílu působící na ložisko.

$$C_c = P \cdot \sqrt[10]{\frac{L_H \cdot 60 \cdot n}{10^6}} = 20852,2 \sqrt[10]{\frac{60 \cdot 20\,000 \cdot 797}{10^6}} = 59\,277,76 \text{ N} \quad (24)$$

Dále byla vypočtena základní statická únosnost ložiska. Ve výpočtu bylo opět za ekvivalentní statické zatížení ložiska dosazena radiální síla působící na ložisko.

$$C_{c0} = P \cdot s = 20852,2 \cdot 1,5 = 36\,787,5 \text{ N} \quad (25)$$

V tabulce níže (tab.6) je porovnání statické a dynamické únosnosti ložiska vypočítaných a katalogových hodnot. Vypočítané hodnoty odpovídají katalogovým, tudíž ložiska byla správně zvolena...

Tabulka 6: Vypočítané a katalogové hodnoty ložiska

	Zákl. dynamická únosnost	Zákl. statická únosnost
Vypočítané hodnoty	59 277,76 N	36 787,5 N
Katalogové hodnoty	76 500 N	119 000 N

10 Závěr

V první části bakalářské práce se provedla rešerše způsobu tažení osob na laně. První z možností byl lyžařský vlek. Byly představeny způsoby opásání kladek a možnosti pohonu.

Druhou z možností jsou vodní vleky. Vodní vleky jsou dvousloupové a vícesloupové. Byly uvedeny rozdíly mezi těmito vleky, jaké jsou konstrukce, jaký typ pohonu mají.

Dále byly představeny možnosti pohonu vleku. Zaměření bylo především na úhlové převodové motory, které byly součástí vlastního řešení.

Poslední částí rešerše bylo představení uložení kladek. Uložení kladek je podlouhlý pás obsahující drážky. Důležité bylo zmínit funkci a montáž tohoto vyložení. Byly i představeny firmy, které tyto vyložení vyrábí a jaké jsou materiálové možnosti tohoto vyložení.

Vlastní řešení začalo návrhem kinematické koncepce pohonu. Horní kladka je poháněna motorem a převodovkou a dolní kladka je volně uložena v ložiscích.

Další částí vlastního řešení byl rozbor samotného pohonu. Nejprve byl vlek podroben statickému rozboru. Z tohoto rozboru jsme zjistili radiální sílu kladky a tažnou sílu v lanech. Tyto parametry byly použity v dalších výpočtech, tedy při stanovení materiálu vyložení kladky. Zde bylo třeba kontrolovat celkový přenesený výkon na vlečné lano. Rozbor pohonu zahrnoval i volbu úhlového převodového motoru, vzhledem k parametrům, které byly v předchozích kapitolách vypočteny.

Model návrhu pohonu byl další částí vlastního řešení práce. Nejprve bylo třeba si zobrazit celý sloup, kam bude pohonná jednotka připevněna. Dále byla pozornost zaměřena na konstrukci skříně, která obsahuje pohonné ústrojí. Byly popsány jednotlivé prvky konstrukce a detaily uložení kladek v ložiscích.

Poslední částí vlastního řešení byly kontrolní výpočty. Zahrnuty zde byly výpočty statické kontroly hřídele, spojení H-N a kontrolu ložisek.

11 Použitá literatura

- [1] *Wakemaster*. [online]. [cit. 2020-11-10]. Dostupné z:
<http://www.wakemaster.cz/>
- [2] *Historie a vývoj vleků*. [online]. [cit. 2020-11-16]. Dostupné z:
<http://wakemerkur.cz/historie/>
- [3] *Sesitec*. [online]. [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.sesitec.com/>
- [4] *Rixen Cableway*. [online]. [cit. 2020-11-10]. Dostupné z:
<https://www.rixencableway.com/de/produkte/>
- [5] *Wake-parx*. [online]. [cit. 2020-11-10]. Dostupné z: <https://www.wake-parx.com/innovations/>
- [6] *Michaleksro*. [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z:
<https://michaleksro.cz/lyzarsky-vlek-s-nizkym-vedenim-lana--kindle#parametry>
- [7] *ALDR*. [online]. [cit. 2020-12-10]. Dostupné z:
<https://www.aldr.cz/doc/vyukovy-material>
- [8] *SEW Eurodrive*. [online]. [cit. 2019-12-05]. Dostupné z: <https://www.sew-eurodrive.cz/vyrobky/>
- [9] *Pentasi Wakeboard CO*. [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z:
<https://www.pentasi.eu/en/full-size-cableway>
- [10] *Lyžařský vlek*. [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z:
<https://www.lyzarskyvlek.cz/produkty-a-sluzby/>

- [11] CLR. [online]. [cit. 2021-01-10]. Dostupné z: <https://clr.es/blog/en/right-angle-gear-motors-parallel-shaft-gear-motors/>
- [12] KEB. [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://www.keb.co.uk/motors-gears/ac-geared-motors-combigear/helical-bevel-gears-k>
- [13] NORD. [online]. [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://www.nord.com/en/products/geared-motors/helical-bevel-geared-motors/unicase-bevel-gear-motors.jsp>
- [14] Patents-google. [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <https://patents.google.com/patent/CN204873660U/en?q=pulley+lining&oq=pulley+lining>
- [15] 4cable-shop. [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: <http://shop.4cable.de/shop/index.php/user/4CShop/suche/1/>
- [16] Aching Industrial Sales. [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: https://aching888.en.ec21.com/company_info.html
- [17] CIC Engineeringplastic. [online]. [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: http://www.engineeringplastic.cn/products_detail/productId=25.html
- [18] IDM. [online]. [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.idm-france.com/en/sheave-liners/>
- [19] STEJSKAL, Vladimír, Jiří BŘEZINA a Jiří Kněžů. *Mechanika I. V Praze: České vysoké učení technické, 1992, ISBN 80-01-00895-9*

- [20] ACHTENOVÁ, Gabriela. *Převodná ústrojí motorových vozidel*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2011, 56 s. ISBN 978-80-01-04855-9
- [21] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické stroje a pohony*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03730-0.
- [22] SKF. [online]. [cit. 2021-05-03]. Dostupné z:
https://www.skf.com/binaries/pub54/Images/0901d1968096351e-Rolling-bearings---17000_1-CS_tcm_54-121486.pdf#cid-121486
- [23] [Téma 1 Nosné lano](#). [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z:
<file:///D:/%C5%A0kola/Bakal%C3%A1%C5%99sk%C3%A1%20pr%C3%A1ce/tema01.pdf>
- [24] Leinveber, Ing. Jiří a Vávra, Ing. Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly : Albra - pedagogické nakladatelství, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.

Seznam obrázků

Obrázek 3.1: Lyžařský vlek [7].....	13
Obrázek 3.2: Poháněcí stanice zařízení s nízkým vedením lana [6]	14
Obrázek 3.3: Hnací kladka se svislou osou a jednoduchým opásáním lana [7]	15
Obrázek 3.4: Hnací kladky s vícenásobným opásáním hnacího kotouče [7]	16
Obrázek 3.5: Hnací kladky s lany vedenými nad sebou [7]	16
Obrázek 3.6: Poháněcí stanice zařízení s nízkým vedením lana [10]	17
Obrázek 3.7: Schéma dvousloupového vodního vleku	18
Obrázek 3.8: Pohonná jednotka dvousloupového vleku [3]	19
Obrázek 3.9: Velký vodní vlek [3]	20
Obrázek 3.10: Unašeč [5].....	21
Obrázek 3.11: Systém 2.0 [3]	21
Obrázek 3.12: Pohonné ústrojí velkého vodního vleku [3].....	22
Obrázek 3.13: Schéma vleku Master Silver [4].....	23
Obrázek 3.14: Pohon vleku firmy Pentashi [9].....	23
Obrázek 3.15: Vodní vlek firmy Wakemaster [1].....	24
Obrázek 4.1: Úhlové převodový motor SPIROPLAN do výbušného prostředí [8].....	26
Obrázek 4.2: Úhlové převodové motory UNICASE [13]	26
Obrázek 4.3: Úhlové převodové motory COMBIGEAR K [12]	27
Obrázek 5.1: Umístění na kladkách [3].....	28
Obrázek 5.2: Vyložení kladky [15]	29
Obrázek 5.3: Průřez vyložení kladky	29
Obrázek 5.4: Vyložení kladky u lyžařského vleku [18].....	31
Obrázek 6.1: Kinematické schéma pohonu	32
Obrázek 7.1: Kladkostroj	33
Obrázek 7.2: Uvolnění	34
Obrázek 7.3: Půdorys	35
Obrázek 7.4: Schéma lyže.....	36
Obrázek 7.5: Napínací síly na kladce	37
Obrázek 8.1: Poháněcí sloup	41
Obrázek 8.2: Pohonné ústrojí vodního vleku	42
Obrázek 8.3: Svorník s trubkou	42
Obrázek 8.4: Pohonné ústrojí vodního vleku - pohled zezadu.....	43
Obrázek 8.6: Šroubové spojení motoru se skříní.....	45
Obrázek 8.7: Uložení horní hnací kladky	46
Obrázek 8.8: Uložení dolní unašecí kladky.....	47
Obrázek 9.1: Uvolnění hřídele I	48
Obrázek 9.2: Průběh ohybového momentu hřídele I	49
Obrázek 9.3: Uvolnění hřídele II	49



Obrázek 9.4: Průběh ohybového momentu hřídele II	50
Obrázek 9.5: Drážka pro pero	51
Obrázek 9.6: Radiální síla na ložiscích.....	52



Seznam tabulek

Tabulka 1: Materiály firmy AIS	30
Tabulka 2: Srovnání napínacích sil a potřebného výkonu pro jednotlivé materiály vyložení	39
Tabulka 3: Parametry pro výběr převodového motoru.....	39
Tabulka 4: Výsledné reakce	51
Tabulka 5: Parametry ložiska	53
Tabulka 6: Vypočítané a katalogové hodnoty ložiska	53

Seznam použitého softwaru

Microsoft office 365
Solidworks 2017
Matlab 2020
Mitscalc

Seznam příloh

- Výkresová dokumentace

BP-0265-00-S	Výkres sestavy pohonu vodního vleku
BP-0265-00-K	Kusovník sestavy pohonu vodního vleku
BP-0265-00-02	Výkres držáku
BP-0265-00-04	Výkres svorníku
BP-0265-00-05	Výkres kladky
BP-0265-00-06	Výkres hřídele I
BP-0265-00-07	Výkres čtyřhranné trubky
BP-0265-00-08	Výkres víka I
BP-0265-00-09	Výkres víka II
BP-0265-00-10	Výkres hřídele II
BP-0265-00-11	Výkres víka III
BP-0265-00-13	Výkres distančního kroužku
BP-0265-00-14	Výkres distanční trubky

- Elektronické přílohy

BP-Bárta.pdf	Text práce
BP-0265-00-S.pdf	Výkres sestavy pohonu vodního vleku
BP-0265-00-K.pdf	Kusovník sestavy pohonu vodního vleku
BP-0265-00-02.pdf	Výkres držáku
BP-0265-00-04.pdf	Výkres svorníku
BP-0265-00-05.pdf	Výkres kladky
BP-0265-00-06.pdf	Výkres hřídele I
BP-0265-00-07.pdf	Výkres čtyřhranné trubky

BP-0265-00-08.pdf	Výkres víka I
BP-0265-00-09.pdf	Výkres víka II
BP-0265-00-10.pdf	Výkres hřídele II
BP-0265-00-11.pdf	Výkres víka III
BP-0265-00-13.pdf	Výkres distančního kroužku
BP-0265-00-14.pdf	Výkres distanční trubky