

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

UČENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍ A DOBRVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KLADKOSTROJ

BLOCK AND TACKLE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTOR

MARTIN HLAVÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PŘEMYSL POKORNÝ, Ph.D.

BRNO 2009



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2008/09



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Hlaváč Martin

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Kladkostroj

v anglickém jazyce:

Block and Tackle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh kladkostroje speciálního mobilního jeřábu.

Cíle bakalářské práce:

Návrh systému lanování kladkostroje.

Návrh vhodného navijáku.

Zpracování funkčních výpočtů kladkostroje.



FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

VYSOKÉ
UCENÍ
TECHNICKÉ
V BRNĚ

Seznam odborné literatury:

Gajdůšek; Škopán: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, Brno 1988
fremní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/09.

V Brně, dne 10.11.2008

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá řešením a výpočtem zdvihového ústrojí speciálního mobilního jeřábu (manipulátoru lodí). Je provedeno konstrukční řešení, které obsahuje funkční a dílčí pevnostní výpočty. Je zhotoven 3D model celého kladkostroje a výkresová dokumentace.

Klíčová slova:

Manipulátor lodí, speciální mobilní jeřáb, kladkostroj, lano, kladka

Abstract:

This bachelor work concerned with solving and calculating lifting mechanism of special mobile crane (travel lift). It's make construction analysis. Work has functional and partial solidity calculation. Work includes complete 3D model of block and tackle and design documentation.

Keywords:

Travel lift, special mobile crane, block and tackle, rope, pulley

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce pana Ing. Přemysla Pokorného, Ph.D. a s použitím uvedené literatury.



V Brně, dne:.....

Podpis:.....

Martin Hlaváč

Bibliografická citace:

HLAVÁČ, M. *Kladkostroj*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

**Poděkování:**

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi byli nápomocni při tvoření této práce, zejména pak vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D. za cenné rady a dostatečné poskytnutí informací ke splnění této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval svým rodičům za všestrannou podporu v celém období studia.

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíle práce	9
3 Volba lanování	10
3.1 Typy lanování	10
3.2 Výběr lanování	11
4 Kontrola zatížení	11
4.1 Kontrola zatížení	11
4.1.1 Horní poloha	11
4.1.2 Dolní poloha	12
4.2 Návrh zatížení kladkostroje	14
5 Lano	14
5.1 Výpočet celkového zatížení	14
5.1.1 Zatížení od břemene	14
5.1.2 Zatížení od kladek, kladnice, traverzy a ostatních prvků	14
5.1.3 Zatížení od lana	15
5.1.4 Celkové zatížení	15
5.2 Účinnost lanového převodu	15
5.3 Síla v laně	16
5.4 Únosnost lana	16
5.5 Kontrola zatížení lana	17
6 Kladky	17
6.1 Vodící kladka	17
6.2 Vyrovnávací kladka	18
7 Lanový buben	19
7.1 Převodový poměr kladkostroje	19
7.2 Délka lana	19
7.2.1 Skutečná délka zdvihu	19
7.2.2 Výpočet délky lana	20
7.3 Průměr lanového bubnu (minimální)	20
8 Čepy	21
8.1 Čep kladnice	21
8.1.1 Výpočet průměru čepu kladnice	22
8.1.2 Kontrola čepu na střih	23
8.1.3 Kontrola podmínky HMH	24
8.1.4 Kontrola čepu kladnice na otláčení	25
8.2 Uchycení vyrovnávací kladky	25
8.2.1 Výpočet průměru čepu uchycení	26
8.2.2 Kontrola čepu na střih	27
8.2.3 Kontrola podmínky HMH	28
8.2.4 Kontrola čepu uchycení na otláčení	28
8.3 Čep vyrovnávací kladky	29
8.3.1 Výpočet průměru čepu vyrovnávací kladky	29
8.3.2 Kontrola čepu na střih	31
Kontrola podmínky HMH	32
8.3.3 Kontrola čepu vyrovnávací kladky na otláčení	32
9 Kladnice	33

9.1	Bočnice	33
9.1.1	Kontrola na otláčení	33
9.1.2	Kontrola na tah	34
10	Vyrovňovací kladka	36
10.1	Bočnice	36
10.1.1	Kontrola na otláčení	36
10.1.2	Kontrola na tah	37
10.2	Uchycení	38
10.2.1	Kontrola na otláčení	38
10.2.2	Kontrola na tah	39
11	Volba ložiska	40
11.1	Volba radiálních ložisek	40
11.2	Statická kontrola	41
12	Závěr	42
13	Seznam použitých zdrojů	43
14	Seznam použitých zkratk a symbolů	44
15	Seznam příloh	47
16	Seznam výkresové dokumentace	47

1 Úvod

Řešením této práce je kladkostroj, který slouží jako zdvihací zařízení u speciálního mobilního jeřábu, dále jen manipulátoru lodí. Tento typ manipulátoru se v české republice nevyskytuje. Lze ho nalézt např. v přímořských oblastech středozemního moře, kde je známější pod názvem travel lift.

Hlavní účel tohoto zařízení je přeprava lodních plavidel z vody na zem a dále na jiná předem daná místa. Pro tuto práci byla, jako přepravovaná loď, zvolena plachetnice BENETEUA 57 viz příloha č.1. Jako manipulátor na přepravu plachetnice byl zvolen typ konstrukce manipulátoru do U viz. Obr. 1.1, který je z jedné strany otevřený. Tato konstrukce je vyhovující pro typ přepravované lodi. Jako pohonná jednotka je hydrogenerátor, který zajišťuje pohon kol manipulátoru a zároveň i kladkostroje.

Manipulátor je osazen 4 kladkostroji, které jsou na sobě nezávislé a konstrukčně stejné. Řešením práce je konstrukce jednoho z kladkostrojů.



Obr. 1.1 Ilustrační obrázek travel lift [12]

2 Cíle práce

Cílem práce je navrhnout kladkostroj pro zadanou plachetnici. Navrhnout systém lanování, zkontrolovat silové zatížení v jednotlivých větvích manipulátoru, zvolit vhodný typ lana, kladek a navijáku. Dále pevnostně navrhnout a následně zkontrolovat čep kladnice, vyrovnávací kladky a uchycení vyrovnávací kladky. Zkontrolovat bočnice kladnice a navrhnout řešení uchycení s následnou pevnostní kontrolou. Vyřešit vhodné upevnění volného konce lana.

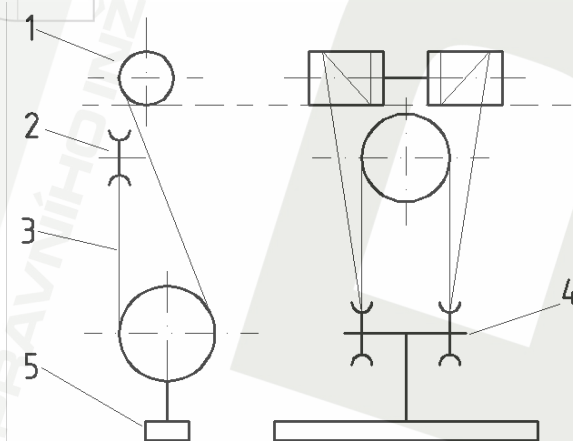
Cílem práce není řešení uchycení lodi pomocí textilních popruhů, ani návrh traverzy, která slouží jako spojovací člen mezi popruhy a kladnicí kladkostroje. Dále řešením práce není uchycení traverzy do kladnice. Zdvih kladnice je dán 8 m nad terén a 3 m pod terén viz. Příloha 2 .

3 Volba lanování

Volím 3 způsoby lanování, z čehož provedu výběr jednoho z nich.

3.1 Typy lanování

Lanování A

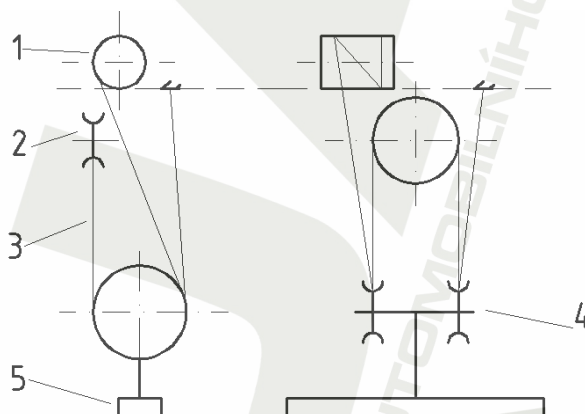


Obr.3.1 Prolanování A

Kde:

- 1 – Lanový buben
- 2 – Vyrovnávací kladka
- 3 – Lano
- 4 – Kladnice
- 5 – Traverza

Lanování B

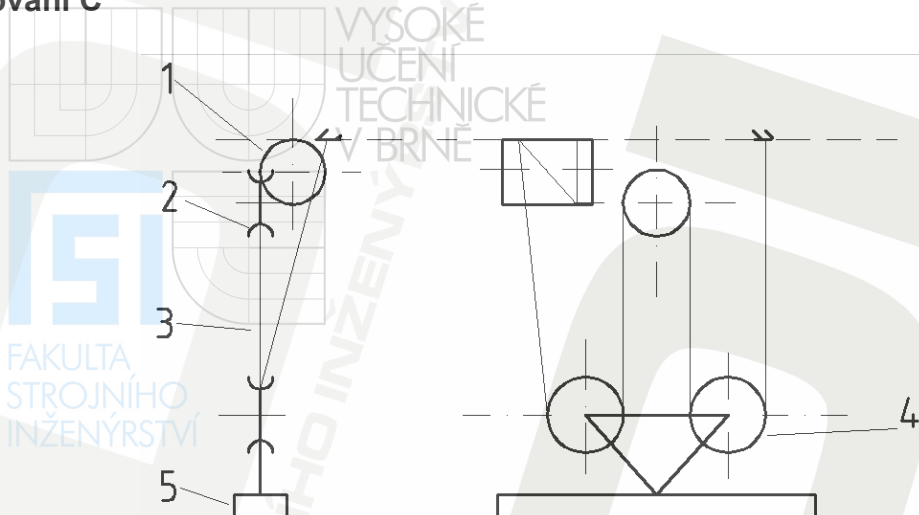


Obr. 3.2 Prolanování B

Kde:

- 1 – Lanový buben
- 2 – Vyrovnávací kladka
- 3 – Lano
- 4 – Kladnice
- 5 – Traverza

Lanování C



Obr. 3.3 Prolanování C

Kde:

- 1 – Lanový buben
- 2 – Vyrovnávací kladka
- 3 – Lano
- 4 – Kladnice
- 5 – Traverza

3.2 Výběr lanování

Volím lanování C, z důvodu nízké zdvihové rychlosti a malých prostorových nároků v oblasti kladnice.

4 Kontrola zatížení

Jako břemeno pro zdvih byla zadána plachetnice BENETEUA 57 viz. Příloha 1. Tato plachetnice hmotnost $m_p = 22055 \text{ kg}$. Pro určení zatížení jednotlivých kladkostrojů je dáno, že každý z páru kladkostrojů bude zatížen hmotností m_p .

4.1 Kontrola zatížení

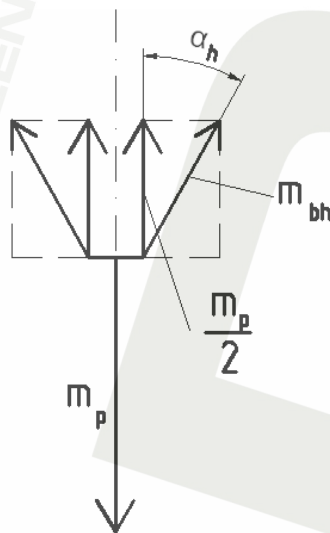
Díky nepříznivému silovému rozkladu břemene do jednotlivých kladkostrojů, je nutno provést silovou kontrolu jednotlivých kladkostrojů. Kontrola bude provedena v krajních polohách kladkostroje viz. Příloha 2.

4.1.1 Horní poloha

Horní poloha je daná konstrukcí rámu manipulátoru. Pro určení úhlu naklopení kladkostroje byl použit program Autocad viz. Obr 4.1

Výpočet zatížení

Pro výpočet zatížení kladkostroje břemenem volím $\frac{m_p}{2}$ z důvodu symetrie kladkostrojů v páru.



Obr. 4.1 Zatížení v horní poloze

Volím, dáno:

$$m_p = 22055 \text{ kg}$$

$$\alpha_h = 29^\circ$$

$$\cos \alpha_h = \frac{\frac{m_p}{2}}{m_{bh}} \Rightarrow m_{bh}$$

$$m_{bh} = \frac{m_p}{2 \cdot \cos \alpha_h}$$

$$m_{bh} = \frac{22\,055}{2 \cdot \cos 29^\circ} = 12\,608,3$$

$$m_{bh} = 12\,608,3 \text{ kg}$$

(4.1)

Kde:

m_p [kg] - hmotnost plachetnice

m_{bh} [kg] - hmotnost zvedaná kladkostrojem horní poloze

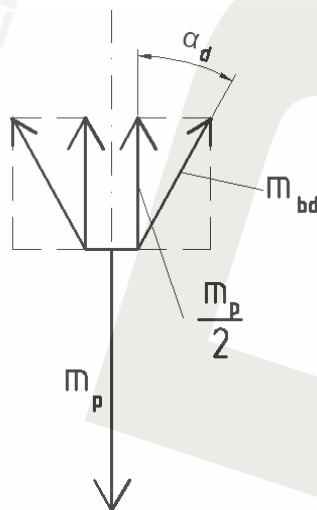
α_h [°] - úhel vyklonění v horní větvi

4.1.2 Dolní poloha

Dolní poloha je určena s ohledem na molo přístavu. Pro určení úhlu naklopení kladkostroje byl použit program Autocad viz. Obr 4.2

Výpočet zatížení

Pro výpočet zatížení kladkostroje břemenem volím $\frac{m_p}{2}$ z důvodu symetrie kladkostrojů v páru.



Obr. 4.2 Zatížení v dolní poloze

Volím, dáno:

$$m_p = 22055 \text{ kg}$$

$$\alpha_d = 9^\circ$$

$$\cos \alpha_d = \frac{\frac{m_p}{2}}{m_{bd}} \Rightarrow m_{bd}$$

$$m_{bd} = \frac{m_p}{2 \cdot \cos \alpha_d}$$

$$m_{bd} = \frac{22\,055}{2 \cdot \cos 9^\circ} = 11\,165$$

$$m_{bd} = 11\,165 \text{ kg}$$

(4.2)

Kde:

m_p [kg] - hmotnost plachetnice

m_{bd} [kg] - hmotnost zvedaná kladkostrojem v dolní poloze

α_d [°] - úhel vyklonění v dolní větvi

4.2 Návrh zatížení kladkostroje

Bylo zjištěno, že maximální zatížení kladkostroje nastává v horní poloze zdvihu kladkostroje. S ohledem na bezpečnost celého zařízení volím hmotnost břemene pro zdvih kladkostroje $m_B = 20\,000\text{ kg}$.

5 Lano

- výpočet dle normy ČSN 27 0100

5.1 Výpočet celkového zatížení

5.1.1 Zatížení od břemene

Dáno:

$$m_B = 20000\text{ kg}$$

$$Q_B = m_B \cdot g$$

$$Q_B = 20000 \cdot 9,81 = 196200$$

$$Q_B = 196200\text{ N}$$

(5.1)

Kde:

Q_B [N] - zatížení od břemene (lodi)

m_B [kg] - hmotnost břemene (lodi)

g [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$] - gravitační zrychlení

5.1.2 Zatížení od kladek, kladnice, traverzy a ostatních prvků

Volím:

$$m_{kl} = 500\text{ kg}$$

$$Q_{kl} = m_{kl} \cdot g$$

$$Q_{kl} = 500 \cdot 9,81 = 4905$$

$$Q_{kl} = 4905\text{ N}$$

(5.2)

Kde:

Q_{kl} [N] - zatížení od kladek, traverzy a ostatních prvků

m_{kl} [kg] - hmotnost od kladek, traverzy a ostatních částí

5.1.3 Zatížení od lana

Volím:

$$m_L = 75 \text{ kg}$$

$$Q_L = m_L \cdot g$$

$$Q_L = 75 \cdot 9,81 = 735,75$$

$$Q_L = 735,75 \text{ N}$$

Kde:

$$Q_L [\text{N}]$$

- zatížení od lana

$$m_L [\text{kg}]$$

- hmotnost od lana

(5.3)

5.1.4 Celkové zatížení

$$Q_c = Q_B + Q_{kl} + Q_L$$

$$Q_c = 196200 + 4905 + 735,75 = 201839,75 \approx 201840$$

$$Q_c = 201840 \text{ N}$$

(5.4)

Kde:

$$Q_c [\text{N}]$$

- zatížení kladkostroje

5.2 Účinnost lanového převodu

Účinnost jedné kladky volím dle normy $\eta_1 = 0,98$. Kladka bude osazena kuličkovými ložisky.

$$n = \frac{m}{b}$$

$$n = \frac{4}{1} = 4$$

$$n = 4$$

(5.5)

$$\eta_c = \eta_1 \cdot \frac{1 - \eta_1^n}{n \cdot (1 - \eta_1)}$$

$$\eta_c = 0,98 \cdot \frac{1 - 0,98^4}{4 \cdot (1 - 0,98)} = 0,9703$$

(5.6)

$$\eta_c = 0,9703$$

Kde:

$$b [-]$$

- počet navíjených konců lana

$$m [-]$$

- počet nosných průřezů lana

n	[-]	- počet nosných průřezů lana v jedné větvi
η_1	[-]	- účinnost jedné kladky dle [1] str.5, tab. II
η_c	[-]	- celková účinnost lanového převodu

5.3 Síla v laně

Podle vybraného způsobu lanování je počet větví lanového převodu $z = 1$.

$$F_L = \frac{Q_c}{z \cdot n \cdot \eta_c}$$

$$F_L = \frac{201840,6}{1 \cdot 4 \cdot 0,9703} = 51999,5$$

$$F_L = 51999,5 \text{ N}$$
(5.7)

Kde:

F_L	[N]	- síla v laně
z	[-]	- počet větví lanového převodu
n	[-]	- počet nosných průřezů v jedné větvi

5.4 Únosnost lana

Bezpečnost lana je $k = 6,3$. Určeno dle normy.

$$U = F_L \cdot k_L$$

$$U = 51999,5 \cdot 6,3 = 327596,7$$

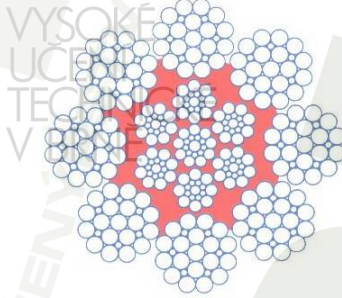
$$U = 327596,7 \text{ N}$$
(5.8)

Kde:

U	[N]	- únosnost lana (předběžná)
k_L	[-]	- bezpečnost lana dle [1] str.3, tab. I a čl. 15

Po určení předběžné únosnosti lana volím lano s nejbližší vyšší únosnosti

- volím lano [3] str. 11, viz. Příloha 3 → typ **DIEPA P 825**
 - jmenovitý průměr lana $d_L = 20 \text{ mm}$
 - pevnost drátků v tahu $R_m = 1770 \text{ MPa}$
 - únosnost lana $U_L = 341000 \text{ N}$



Obr.5.1 Lano typu Seal křížové [3], str.11

5.5 Kontrola zatížení lana

$$F_{dov} = \frac{U_L}{k_L} \geq F_L \quad (5.9)$$

$$F_{dov} = \frac{341000}{6,3} \geq 52453,07$$

$$F_{dov} = 54127 \text{ N} \geq 51999,5 \text{ N} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Kde:

F_{dov} [N] - dovolená síla v laně (max. zatížení lana)

6 Kladky

- výpočty průměrů kladek dle normy ČSN 27 1820

6.1 Vodící kladka

Volím dle normy součinitel vodící kladky $\alpha_{vd} = 24$

- Výpočet základního průměru:

$$D_{vd} = d_L \cdot \alpha_{vd}$$

$$D_{vd} = 20 \cdot 24 = 480 \quad (6.1)$$

$$D_{vd} = 480 \text{ mm}$$

- Výpočet jmenovitého průměru:

$$D_{Kvd} = D_{vd} - d_L$$

$$D_{Kvd} = 480 - 20 = 460 \quad (6.2)$$

$$D_{Kvd} = 460 \text{ mm}$$

Kde:

- D_{vd} [mm] - nejmenší dovolený průměr lanové kladky (vodící)
 D_{Kvd} [mm] - jmenovitý průměr kladky (vodící)
 d_L [mm] - jmenovitý průměr lana
 α_{vd} [-] - součinitel závislý na druhu kladky dle [2] str. 2, tab. I. a čl. 9

Volím:

- materiál kladky 42 2652.1
- další rozměry kladky dle [2], str. 8, tab. IV.

6.2 Vyrovnávací kladka

Volím dle normy součinitel vyrovnávací kladky $\alpha_v = 17$

▪ Výpočet základního průměru:

$$\begin{aligned} D_{vv} &= d_L \cdot \alpha_v \\ D_{vv} &= 20 \cdot 17 = 340 \\ D_{vv} &= 340 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6.3)$$

▪ Výpočet jmenovitého průměru:

$$\begin{aligned} D_{Kvv} &= D_{vv} - d_L \\ D_{Kvv} &= 340 - 20 = 320 \\ D_{Kvv} &= 320 \text{ mm} \end{aligned} \quad (6.4)$$

Kde:

- D_{vv} [mm] - nejmenší dovolený průměr lanové kladky (vyrovnávací)
 D_{Kvv} [mm] - jmenovitý průměr kladky (vyrovnávací)
 α_v [-] - součinitel závislý na druhu kladky dle [2] str. 2, tab. I. a čl. 9

Volím:

- průměr kladky stejný jak u vodící kladky $D_{Kvv} = 460 \text{ mm}$
- materiál kladky volím 42 2652.1
- další rozměry kladky dle [2], str. 8, tab. IV.

7 Lanový buben

7.1 Převodový poměr kladkostroje

$$\begin{aligned} i_k &= \frac{m}{1} \\ i_k &= \frac{4}{1} = 4 \\ i_k &= 4 \end{aligned} \quad (7.1)$$

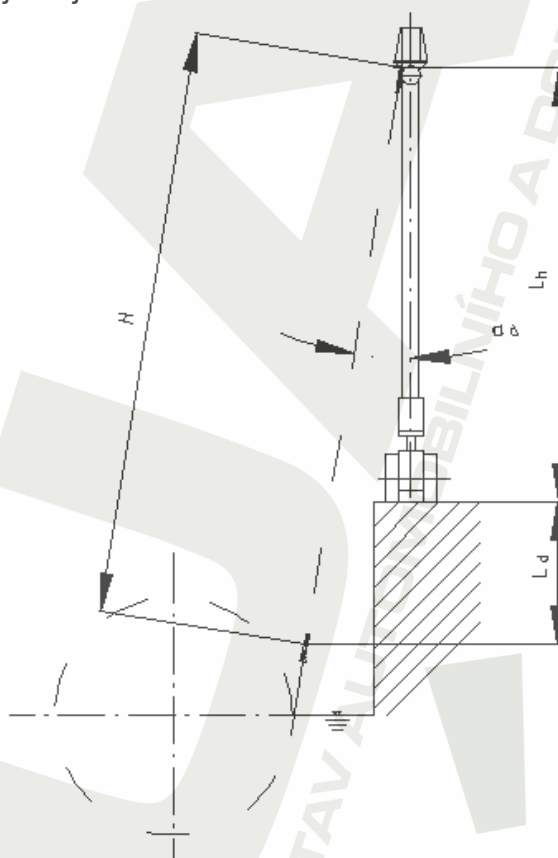
Kde:

i_k [-] - převodový poměr kladkostroje

7.2 Délka lana

7.2.1 Skutečná délka zdvihu

Vychází se ze skutečnosti, že zdvih kladkostroje je delší při šikmém zdvihu než při zdvihu svislém. Celá problematika je ukázána na obr. 7.1. Uvažuje se, že spodní poloha zdvihu kladnice je nejdelší.



Obr. 7.1 Zdvih kladkostroje

Celková délka zdvihu

$$\begin{aligned} H' &= L_d + L_h \\ H' &= 3 + 10 = 13 \\ H' &= 13 \text{ m} \end{aligned} \quad (7.1)$$

Skutečná délka zdvihu

$$\begin{aligned} H &= \frac{H'}{\cos \alpha_d} \\ H &= \frac{13}{\cos 9^\circ} = 13,16 \\ H &= 13,16 \text{ m} \end{aligned} \quad (7.2)$$

Kde:

L_d	[m]	- výška zdvihu v dolní poloze od mola
L_h	[m]	- výška zdvihu kladnice v horní poloze od mola
H'	[m]	- délka zdvihu ve směru ve svislé poloze
H	[m]	- délka zdvihu ve vykloněném směru

7.2.2 Výpočet délky lana

$$\begin{aligned} L_L &= i_k \cdot H + L_o \\ L_L &= 4 \cdot 13,16 + 5 = 57,64 \approx 57 \\ L_L &= 58 \text{ m} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Kde:

L_L	[m]	- délka lana kladkostroje
L_o	[m]	- technická délka lana

7.3 Průměr lanového bubnu (minimální)

- výpočet průměru bubnu dle normy ČSN 27 1820

Volím dle normy $\alpha_b = 20$

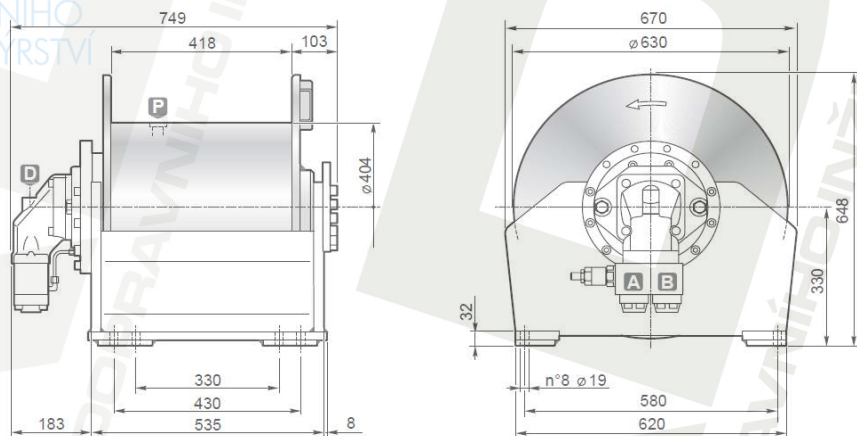
$$\begin{aligned} D_b &= d_L \cdot \alpha_b \\ D_b &= 20 \cdot 20 = 400 \\ D_b &= 400 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7.4)$$

Kde:

- | | |
|----------------|---|
| D_b [mm] | - Jmenovitý průměr bubnu |
| α_b [-] | - závislý na druhu kladky dle [2] str. 2, tab. I. |

Volím lanový buben :

- hydraulický lanový naviják **Dinamic oil** [4] viz. Příloha 4
- parametry navijáku:
 - průměr bubnu $D_b = 404$ mm
 - max. tažná síla $F_T = 100000$ N



Obr. 7.2 Hydraulický lanový naviják [4]

8 Čepy

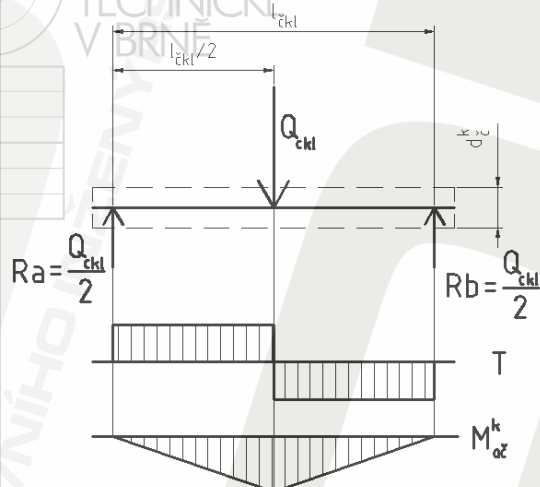
- pro výpočet a kontrolu všech čepů volím materiál čepu **11 600** dle [9] str. 234

8.1 Čep kladnice

V kladnici jsou umístěny 2 čepy pro kladky. Jelikož je umístění čepů symetrické na osu celkového zatížení Q_c působí na oba čepy stejné zatížení Q_{ckl} , které je rovno

$$\frac{Q_c}{2}.$$

8.1.1 Výpočet průměru čepu kladnice



Obr.8.1 Průběh napětí na čepu kladky

Ohybový moment

Předběžně volím výpočtovou délku čepu $l_{\text{čkl}} = 80 \text{ mm}$

$$M_{\text{oč}}^k = \frac{Q_{\text{čkl}} \cdot l_{\text{čkl}}}{4}$$

$$M_{\text{oč}}^k = \frac{100\,920 \cdot 80}{4} = 2\,018\,400$$

$$M_{\text{oč}}^k = 2\,018\,400 \text{ Nmm}$$
(8.1)

Kde:

- $Q_{\text{čkl}}$ [N] - zatížení čepu kladnice
- $l_{\text{čkl}}$ [mm] - výpočtová délka čepu kladnice
- $M_{\text{oč}}^k$ [Nmm] - maximální ohybový moment působící na čep kladnice

Dovolené napětí v čepu

Z materiálové charakteristiky oceli 11 600 je dáno napětí v ohybu $\sigma_o = 200 \text{ MPa}$. Pro čep volím bezpečnost $k_\epsilon = 2$.

$$\sigma_{\text{DO}} = \frac{\sigma_o}{k_\epsilon}$$

$$\sigma_{\text{DO}} = \frac{200}{2} = 100$$

$$\sigma_{\text{DO}} = 100 \text{ MPa}$$
(8.2)

Kde:

σ_o [MPa] - napětí v ohybu dle [9] str. 54

k_{ϵ} [-] - bezpečnost čepu

σ_{DO} [MPa] - dovolené napětí v ohybu

Průměr čepu

- vycházím z rovnice : $\sigma_o = \frac{M_{o\check{c}}^k}{W_{o\check{c}}^k} = \frac{M_{o\check{c}}^k}{\frac{\pi \cdot (d_{\check{c}}^k)^3}{32}} \leq \sigma_{DO}$ z toho plyne $\rightarrow$

$\rightarrow$

$$d_{\check{c}}^k = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o\check{c}}^k}{\pi \cdot \sigma_{DO}}}$$

$$d_{\check{c}}^k = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2\,018\,400}{\pi \cdot 100}} = 59,0204$$

$$d_{\check{c}}^k = 59,0204 \text{ mm}$$

(8.3)

Kde:

$d_{\check{c}}^k$ [mm] - nejmenší dovolený průměr čepu kladky kladnice

- volím průměr čepu na nejbližší vyšší s ohledem na průměr ložiska

$$d_{\check{c}}^k = 65 \text{ mm}$$

8.1.2 Kontrola čepu na střih

Dovolené napětí na střih

Z materiálové charakteristiky oceli 11 600 je dáno napětí ve střihu $\tau_s = 80 \text{ MPa}$. Pro čep volím bezpečnost $k_{\epsilon} = 2$.

..

$$\tau_{DS} = \frac{\tau_s}{k_{\epsilon}}$$

$$\tau_{DS} = \frac{80}{2} = 40$$

$$\tau_{DS} = 40 \text{ MPa}$$

(8.4)

Kde:

τ_S	[MPa]	- napětí ve střihu dle [9], str. 55
τ_{SD}	[MPa]	- dovolené napětí ve střihu
$k_{\check{c}}$	[-]	- bezpečnost čepu

Kontrola na střih

$$\tau_S = \frac{Q_{ckl}}{2 \cdot S_{skl}} = \frac{Q_{ckl}}{\pi \cdot (d_{\check{c}}^k)^2} = \frac{2 \cdot Q_{ckl}}{\pi \cdot (d_{\check{c}}^k)^2}$$

$$\tau_S = \frac{2 \cdot 100\,920}{\pi \cdot 65^2} = 15,2$$

$$\tau_S = 15,2 \text{ MPa}$$
(8.5)

Podmínka: $\tau_S \leq \tau_{DO}$
 $17,99 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Kde:

S_{skl} [mm²] - střižná plocha čepu kladnice

8.1.3 Kontrola podmínky HMM

Z materiálových charakteristik pro ocel 11 600 je mez kluzu $R_e = 300 \text{ MPa}$

HMM:

$$\sqrt{\sigma_{DO}^2 + 3 \cdot \tau_{DS}^2} \leq \sigma_{RED}$$

$$\sqrt{\sigma_{DO}^2 + 3 \cdot \tau_{DS}^2} \leq \frac{R_e}{k_{\check{c}}}$$

$$\sqrt{100^2 + 3 \cdot 40^2} \leq \frac{300}{2}$$

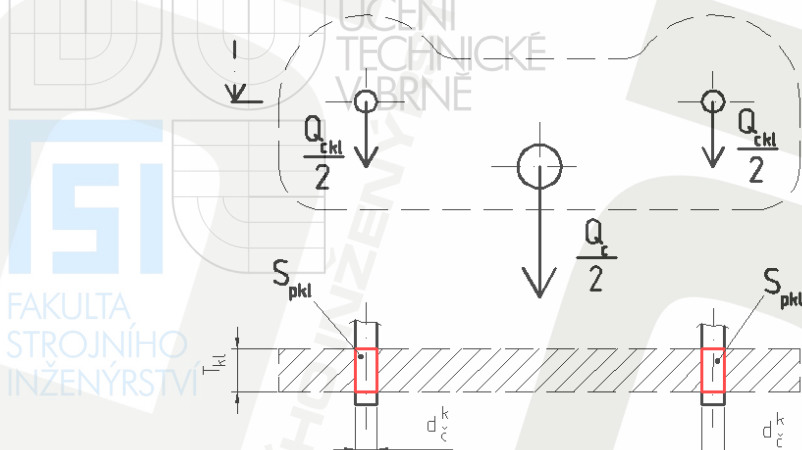
$$121,65 \text{ MPa} \leq 150 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$
(8.6)

Kde:

R_e [MPa] - mez kluzu pro materiál 11600 dle [9], str. 234

σ_{RED} [MPa] - redukované napětí podle podmínky HMM

8.1.4 Kontrola čepu kladnice na otláčení



Obr. 8.2 Otláčení čepu v kladnici

Z materiálové charakteristiky materiálu 11600 je dán dovolený tlak na otláčení $p_{DOV} = 45 \text{ MPa}$. Volím předběžnou šířku styku mezi kladnicí a čepem $T_{kl} = 25 \text{ mm}$

$$p_{kl} = \frac{\frac{Q_{ckl}}{2}}{S_{pkl}} = \frac{Q_{ckl}}{2 \cdot d_c^k \cdot T_{kl}} \leq p_{DOV} \quad (8.7)$$

$$p_{kl} = \frac{100\,920}{2 \cdot 65 \cdot 25} = 31,05$$

$$p_{kl} = 31,05 \text{ MPa} \leq 45 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

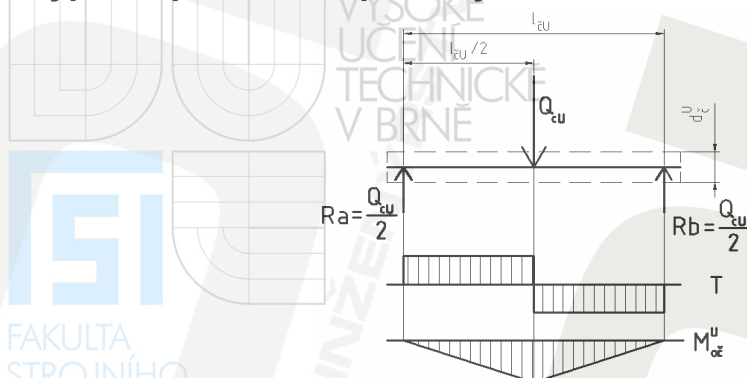
Kde:

- p_{DOV} [MPa] - dovolený tlak na otláčení dle [9], str.54
- p_{kl} [MPa] - tlak ve styku čepu a kladnice
- T_{kl} [mm] - šířka kladnice pod čepem
- S_{pkl} [mm²] - styčná plocha čepu na kladnici

8.2 Uchycení vyrovnávací kladky

V uchycení vyrovnávací kladky je umístěn čep pro natáčení celé vyrovnávací kladky. Na čep působí síla Q_{cu} , která je rovna polovině celkového zatížení Q_c .

8.2.1 Výpočet průměru čepu uchycení



Obr. 8.3 Průběh napětí na čepu uchycení

Ohybový moment

Předběžně volím výpočtovou délku čepu $l_{cU} = 170 \text{ mm}$

$$M_{oc}^U = \frac{Q_{cU} \cdot l_{cU}}{4}$$

$$M_{oc}^U = \frac{100\,920 \cdot 170}{4} = 4\,289\,100$$

$$M_{oc}^U = 4\,289\,100 \text{ Nmm}$$
(8.8)

Kde:

- Q_{cU} [N] - zatížení čepu uchycení
- l_{cU} [mm] - výpočtová délka čepu uchycení
- M_{oc}^U [Nmm] - maximální ohybový moment působící na čep uchycení

Dovolené napětí v čepu

Z materiálové charakteristiky oceli 11 600 je dáno napětí v ohybu $\sigma_o = 200 \text{ MPa}$. Pro čep volím bezpečnost $k_\epsilon = 2$.

$$\sigma_{Do} = \frac{\sigma_o}{k_\epsilon}$$

$$\sigma_{Do} = \frac{200}{2} = 100$$

$$\sigma_{Do} = 100 \text{ MPa}$$
(8.9)

Kde:

- σ_o [MPa] - napětí v ohybu dle [9] str. 54

- k_{ϵ} [-] - bezpečnost čepu
 σ_{DO} [MPa] - dovolené napětí v ohybu

Průměr čepu

- vycházím z rovnice : $\sigma_o = \frac{M_{o\check{c}}^U}{W_{o\check{c}}^U} = \frac{M_{o\check{c}}^U}{\frac{\pi \cdot (d_{\check{c}}^U)^3}{32}} \leq \sigma_{DO}$ z toho plyne $\rightarrow$

$\rightarrow$

$$d_{\check{c}}^U = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o\check{c}}^U}{\pi \cdot \sigma_{DO}}}$$

$$d_{\check{c}}^U = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 4\,289\,100}{\pi \cdot 100}} = 75,879$$

$$d_{\check{c}}^U = 75,879 \text{ mm}$$

(8.10)

Kde:

- $d_{\check{c}}^U$ [mm] - nejmenší dovolený průměr čepu uchycení
 - volím průměr čepu na nejbližší vyšší s ohledem na návaznost konstrukce
 $d_{\check{c}}^U = 80 \text{ mm}$

8.2.2 Kontrola čepu na střih

Dovolené napětí na střih

Z materiálové charakteristiky oceli 11 600 je dáno napětí ve střihu $\tau_s = 80 \text{ MPa}$. Pro čep volím bezpečnost $k_{\epsilon} = 2$.

$$\tau_{DS} = \frac{\tau_s}{k_{\epsilon}}$$

$$\tau_{DS} = \frac{80}{2} = 40$$

$$\tau_{DS} = 40 \text{ MPa}$$

(8.11)

Kde:

τ_S	[MPa]	- napětí ve střihu dle [9], str. 55
τ_{SD}	[MPa]	- dovolené napětí ve střihu
$k_{\check{c}}$	[-]	- bezpečnost čepu



Kontrola na střih

$$\tau_S = \frac{Q_{cU}}{2 \cdot S_{sU}} = \frac{Q_{cU}}{\frac{\pi \cdot (d_{\check{c}}^U)^2}{2}} = \frac{2 \cdot Q_{cU}}{\pi \cdot (d_{\check{c}}^U)^2}$$

$$\tau_S = \frac{100\,920 \cdot 2}{\pi \cdot 80^2} = 10,03$$

$$\tau_S = 10,03 \text{ MPa}$$

Podmínka: $\tau_S \leq \tau_{DO}$
 $10,03 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Kde:

S_{sU} [mm²] - sřižná plocha čepu uchycení

8.2.3 Kontrola podmínky HMM

Z materiálových charakteristik pro ocel 11 600 je mez kluzu $R_e = 300 \text{ MPa}$

HMM:

$$\sqrt{\sigma_{DO}^2 + 3 \cdot \tau_{DS}^2} \leq \sigma_{RED}$$

$$\sqrt{\sigma_{DO}^2 + 3 \cdot \tau_{DS}^2} \leq \frac{R_e}{k_{\check{c}}}$$

$$\sqrt{100^2 + 3 \cdot 40^2} \leq \frac{300}{2}$$

$$121,65 \text{ MPa} \leq 150 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

R_e [MPa] - mez kluzu pro materiál 11600 dle [9], str. 234

σ_{RED} [MPa] - redukované napětí podle podmínky HMM

8.2.4 Kontrola čepu uchycení na otláčení

Z materiálové charakteristiky materiálu 11600 je dán dovolený tlak na otláčení $p_{DOV} = 45 \text{ MPa}$. Volím předběžnou šířku styku mezi bočním uchycením a čepem $T_U = 20 \text{ mm}$

$$p_U = \frac{\frac{Q_{cU}}{2}}{S_{pU}} = \frac{Q_{cU}}{2 \cdot d_{\epsilon}^U \cdot T_U} \leq p_{DOV} \quad (8.14)$$

$$p_U = \frac{100920}{2 \cdot 80 \cdot 20} = 31,5$$

$$p_U = 31,5 \text{ MPa} \leq 45 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

p_{DOV} [MPa] - dovolený tlak na otlacení [9], str. 54

p_U [MPa] - tlak ve styku čepu a uchycení

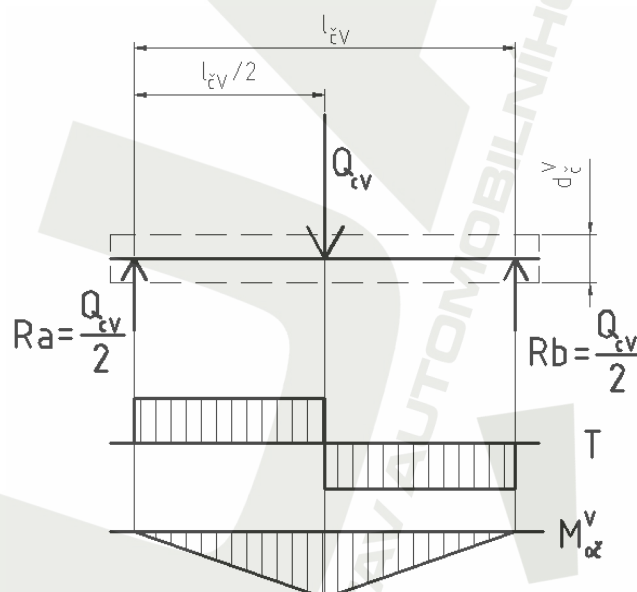
T_U [mm] - šířka uchycení pod čepem

s_{pU} [mm²] - styčná plocha čepu na bočním uchycení

8.3 Čep vyrovnávací kladky

V uchycení vyrovnávací kladky je umístěn čep pro otáčení vyrovnávací kladky. Na čep působí síla Q_{cV} , která je rovna polovině celkového zatížení Q_c .

8.3.1 Výpočet průměru čepu vyrovnávací kladky



Obr. 8.4 Průběh napětí na čepu vyrovnávací kladky

Ohybový moment

Předběžně volím výpočtovou délku čepu $l_{\text{čv}} = 90 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} M_{\text{oč}}^V &= \frac{Q_{\text{cV}} \cdot l_{\text{čv}}}{4} \\ M_{\text{oč}}^V &= \frac{100\,920 \cdot 90}{4} = 2\,270\,700 \\ M_{\text{oč}}^V &= 2\,270\,700 \text{ Nmm} \end{aligned} \quad (8.15)$$

Kde:

- Q_{cV} [N] - zatížení čepu vyrovnávací kladky
- $l_{\text{čv}}$ [mm] - výpočtová délka čepu vyrovnávací kladky
- $M_{\text{oč}}^V$ [Nmm] - maximální ohybový moment působící na čep vyrovn. kladky

Dovolené napětí v čepu

Z materiálové charakteristiky oceli 11 600 je dáno napětí v ohybu $\sigma_o = 200 \text{ MPa}$. Pro čep volím bezpečnost $k_{\text{č}} = 2$.

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{DO}} &= \frac{\sigma_o}{k_{\text{č}}} \\ \sigma_{\text{DO}} &= \frac{200}{2} = 100 \\ \sigma_{\text{DO}} &= 100 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (8.16)$$

Kde:

- σ_o [MPa] - napětí v ohybu dle [9] str. 54
- $k_{\text{č}}$ [-] - bezpečnost čepu
- σ_{DO} [MPa] - dovolené napětí v ohybu

Průměr čepu

- vycházím z rovnice : $\sigma_o = \frac{M_{\text{oč}}^V}{W_{\text{oč}}^V} = \frac{M_{\text{oč}}^V}{\frac{\pi \cdot (d_{\text{č}}^V)^3}{32}} \leq \sigma_{\text{DO}}$ z toho plyne $\rightarrow$

$$d_{\epsilon}^V = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{oc}^V}{\pi \cdot \sigma_{DO}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 2270700}{\pi \cdot 100}} = 61,3837 \quad (8.17)$$

$$d_{\epsilon}^V = 61,3837 \text{ mm}$$

Kde:

- d_{ϵ}^V [mm] - nejmenší dovolený průměr čepu kladky vyrov. kladky
- volím průměr čepu na nejbližší vyšší s ohledem na průměr ložiska
 $d_{\epsilon}^V = 65 \text{ mm}$

8.3.2 Kontrola čepu na střih

Dovolené napětí na střih

Z materiálové charakteristiky oceli 11 600 je dáno napětí ve střihu $\tau_s = 80 \text{ MPa}$. Pro čep volím bezpečnost $k_{\epsilon} = 2$.

$$\tau_{DS} = \frac{\tau_s}{k_{\epsilon}}$$

$$\tau_{DS} = \frac{80}{2} = 40$$

$$\tau_{DS} = 40 \text{ MPa} \quad (8.18)$$

Kde:

- τ_s [MPa] - napětí ve střihu dle [9], str. 55
- τ_{SD} [MPa] - dovolené napětí ve střihu
- k_{ϵ} [-] - bezpečnost čepu

Kontrola čepu vyrovnávací kladky na střih

$$\tau_{tS} = \frac{Q_{cV}}{2 \cdot S_{sV}} = \frac{Q_{cV}}{\frac{\pi \cdot (d_{\epsilon}^V)^2}{2}} = \frac{2 \cdot Q_{cV}}{\pi \cdot (d_{\epsilon}^V)^2}$$

$$\tau_{tS} = \frac{100920 \cdot 2}{\pi \cdot 65^2} = 15,21$$

$$\tau_{tS} = 15,21 \text{ MPa} \quad (8.19)$$

Podmínka: $\tau_{tS} \leq \tau_{DO}$
 $15,21 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$

Kde:

S_{sv} [mm ²]	- střižná plocha čepu vyrov. kladky
τ_{tD} [MPa]	- vypočtené napětí ve stříhu

Kontrola podmínky HMH

Z materiálových charakteristik pro ocel 11 600 je mez kluzu $R_e = 300 \text{ MPa}$

HMH: $\sqrt{\sigma_{DO}^2 + 3 \cdot \tau_{DS}^2} \leq \sigma_{RED}$

$$\sqrt{\sigma_{DO}^2 + 3 \cdot \tau_{DS}^2} \leq \frac{R_e}{k_{\check{c}}} \quad (8.20)$$

$$\sqrt{100^2 + 3 \cdot 40^2} \leq \frac{300}{2}$$

$$121,65 \text{ MPa} \leq 150 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

R_e [MPa] - mez kluzu pro materiál 11600 dle [9], str. 234

σ_{RED} [MPa] - redukované napětí podle podmínky HMH

8.3.3 Kontrola čepu vyrovnávací kladky na otláčení

Z materiálové charakteristiky materiálu 11600 je dán dovolený tlak na otláčení $p_{DOV} = 45 \text{ MPa}$. Volím předběžnou šířku styku mezi bočním uchycením kladky a čepem $T_v = 20 \text{ mm}$

$$p_v = \frac{\frac{Q_{cv}}{2}}{S_{pv}} = \frac{Q_{cv}}{2 \cdot d_{\check{c}}^v \cdot T_v} \leq p_{DOV} \quad (8.21)$$

$$p_v = \frac{100920}{2 \cdot 65 \cdot 20} = 38,81$$

$$p_v = 38,81 \text{ MPa} \leq 45 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

p_{DOV} [MPa] - dovolený tlak na otláčení [9], str. 54

p_v [MPa] - tlak ve styku čepu a uchycení kladky

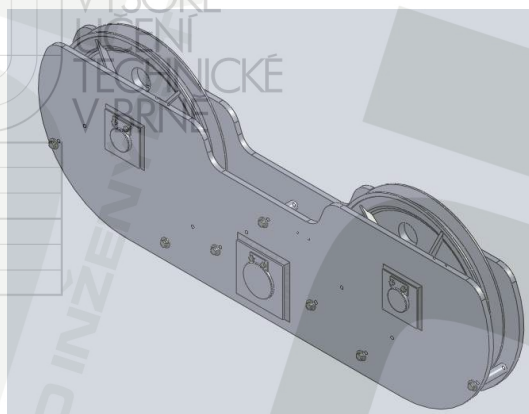
T_v [mm] - šířka uchycení kladky pod čepem

s_{pv} [mm²] - styčná plocha čepu na vyrov. kladce

9 Kladnice

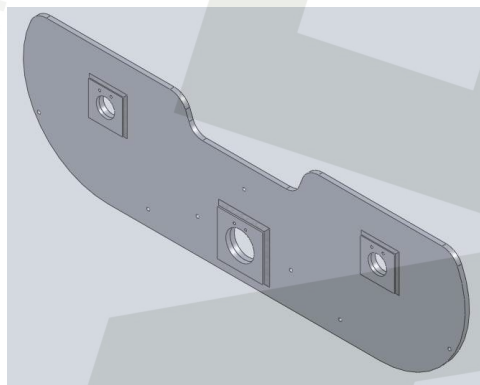


FAKULTA
STROJNÍHO
INŽENÝRSTVÍ



Obr. 9.1 Kladnice

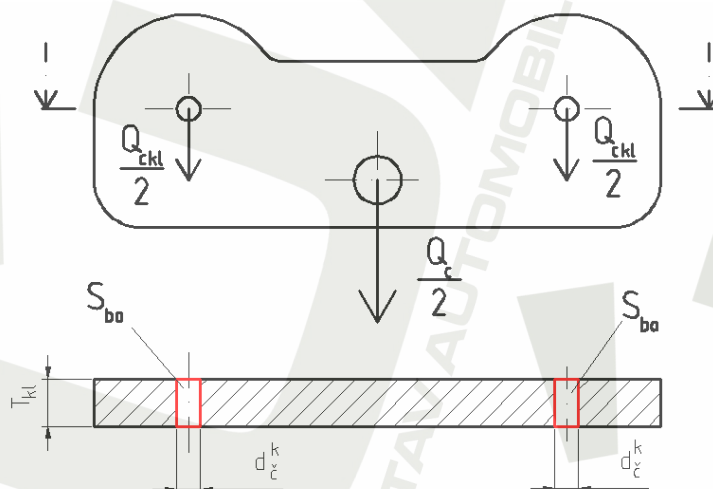
9.1 Bočnice



Obr. 9.2 bočnice kladnice

- volím materiál bočnic kladnice 11 373 dle [9] str. 233

9.1.1 Kontrola na otláčení



Obr.9.1 Kontrola kladnice na otláčení

Styčná plocha pro otláčení

$$\begin{aligned} S_{bo} &= T_{kl} \cdot d_{\check{c}}^k \\ S_{bo} &= 25 \cdot 65 = 1\,625 \\ S_{bo} &= 1\,625 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (9.1)$$

Kde:

T_{kl} [mm] - šířka bočnice pod čepem
 S_{bo} [mm²] - styčná plocha v kladnici pro otláčení

Kontrola na otláčení

Z materiálové charakteristiky materiálu 11 373 je dán dovolený tlak na otláčení $p_{DOV} = 40 \text{ MPa}$.

Podmínka: $p_b \leq p_{DOV}$

$$p_b = \frac{2 \cdot \frac{Q_{ckl}}{2}}{2 \cdot S_{bo}} = \frac{Q_{ckl}}{2 \cdot S_{bo}} \leq p_{DOV} \quad (9.2)$$

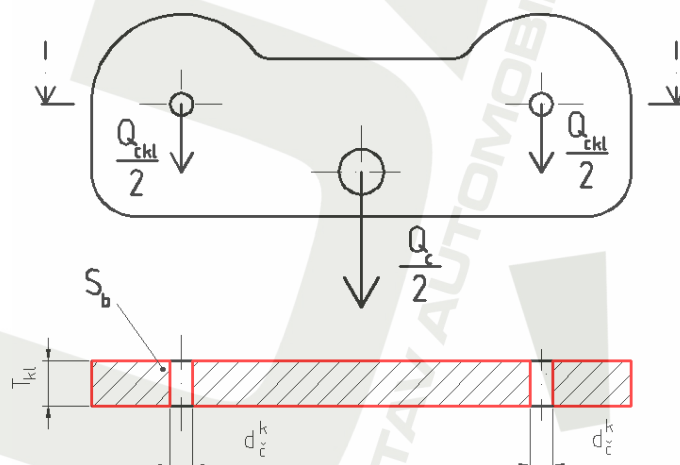
$$p_b = \frac{100\,920}{2 \cdot 1\,625} = 31,05$$

$$p_b = 31,05 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

p_{DOV} [MPa] - dovolený tlak na otláčení [9], str. 54
 p_b [MPa] - tlak na otláčení mezi čepem a bočnicí kladnice

9.1.2 Kontrola na tah



Obr. 9.2 Kontrola kladnice na tah

Dovolené napětí v tahu

Z materiálových charakteristik oceli 11 373 je napětí v tahu $\sigma_t = 125 \text{ MPa}$.

Bezpečnost bočnic kladnice volím $k_b = 2,5$

$$\begin{aligned}\sigma_{tD} &= \frac{\sigma_t}{k_b} \\ \sigma_{tD} &= \frac{125}{2,5} = 50 \\ \sigma_{tD} &= 50 \text{ MPa}\end{aligned}\quad (9.3)$$

Kde:

- σ_t [MPa] - napětí v tahu dle [9], str. 54
- σ_{tD} [MPa] - dovolené napětí v tahu
- k_b [-] - bezpečnost bočnice

Kontrola bočnice na tah

Plocha bočnice kontrolovanou na tah S_b je vypočtená, z předběžného modelu, pomocí programu Solidworks.

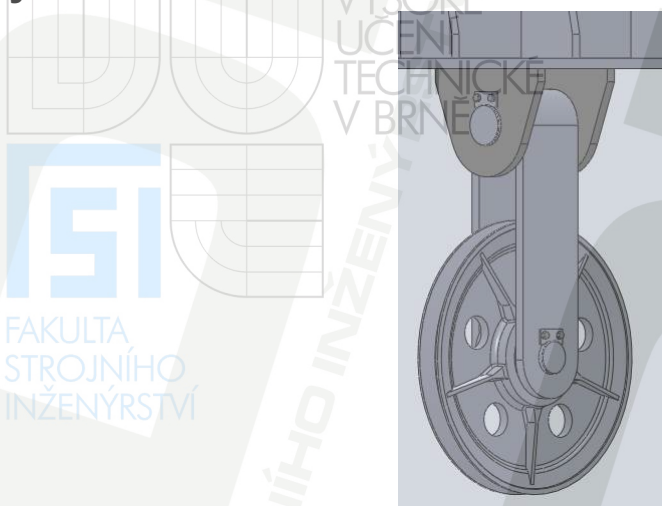
Podmínka: $\sigma_b \leq \sigma_{tD}$

$$\begin{aligned}\sigma_b &= \frac{2 \cdot \frac{Q_{ckl}}{2}}{S_b} = \frac{Q_{ckl}}{S_b} \leq \sigma_{tD} \\ \sigma_b &= \frac{100\,920}{21\,360} = 4,72 \\ \sigma_b &= 4,72 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}\end{aligned}\quad (9.4)$$

Kde:

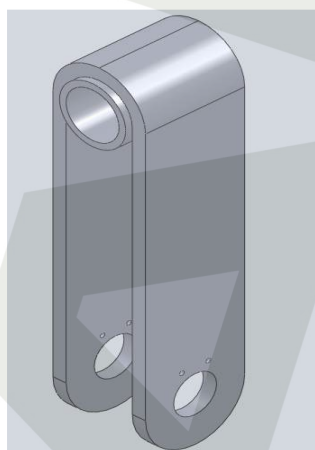
- S_b [mm²] - plocha bočnice kladnice na tah
- σ_b [MPa] - napětí v tahu bočnice kladnice

10 Vyrovnávací kladka



Obr. 10.1 Řešení uchycení vyrovnávací kladky

10.1 Bočnice



Obr. 10.2 Bočnice uchycení

- volím materiál bočnic kladky 11 373 dle [9] str. 233

10.1.1 Kontrola na otláčení

Styčná plocha pro otláčení

$$\begin{aligned} S_{bv} &= T_v \cdot d_c^v \\ S_{bv} &= 20 \cdot 65 = 1300 \\ S_{bv} &= 1300 \text{ mm}^2 \end{aligned} \tag{10.1}$$

Kde:

T_v [mm] - šířka uchycení pod čepem

S_{bv} [mm²] - styčná plocha pro otláčení bočnice vyrov. kladky

Kontrola na otláčení

Z materiálové charakteristiky materiálu 11 373 je dán dovolený tlak na otláčení

$$p_{DOV} = 40 \text{ MPa}.$$

Podmínka:

$$p_V \leq p_{DOV}$$

$$p_V = \frac{\frac{Q_{cV}}{2}}{S_{bv}} = \frac{Q_{cV}}{2 \cdot S_{bv}} \leq p_{DOV} \quad (10.2)$$

$$p_V = \frac{100\,920}{2 \cdot 1300} = 38,81$$

$$p_V = 38,81 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

p_{DOV} [MPa] - dovolený tlak bočnice vyrov. kladky [9], str. 54

p_V [MPa] - tlak ve styku uchycení a čepu kladky

10.1.2 Kontrola na tah

Dovolené napětí v tahu

Z materiálových charakteristik oceli 11 373 je napětí v tahu $\sigma_t = 125 \text{ MPa}$.

Bezpečnost bočnic kladnice volím $k_b = 2,5$

$$\begin{aligned} \sigma_{tD} &= \frac{\sigma_t}{k_V} \\ \sigma_{tD} &= \frac{125}{2,5} = 50 \\ \sigma_{tD} &= 50 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (10.3)$$

Kde:

σ_t [MPa] - napětí v tahu dle [9], str.54

k_V [-] - bezpečnost bočnice vyrov.kladky

σ_{tD} [MPa] - dovolené napětí v tahu

Kontrola na tah

Plocha bočnice vyrovnávací kladky kontrolovanou na tah S_V je vypočtená, z předběžného modelu, pomocí programu Solidworks.

Podmínka:

$$\sigma_V \leq \sigma_{td}$$

$$\sigma_V = \frac{\frac{Q_{cV}}{2}}{S_V} = \frac{Q_{cV}}{2 \cdot S_V} \leq \sigma_{td} \quad (10.4)$$

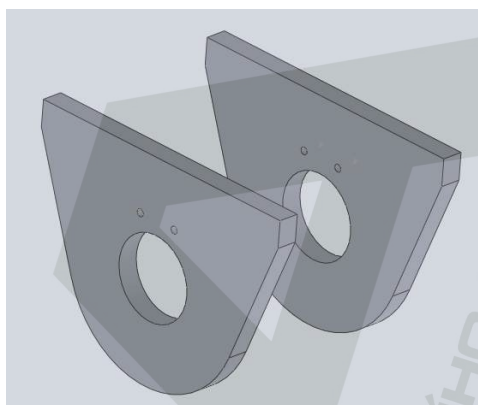
$$\sigma_V = \frac{100\,920}{2 \cdot 1200} = 42,05$$

$$\sigma_V = 42,4 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

S_V [mm²] - plocha bočnice vyrov. kladky na tah
 σ_V [MPa] - napětí v tahu bočnice vyrov. kladky

10.2 Uchycení



Obr. 10.3 Uchycení vyrovnávací kladky do rámu manipulátoru

- volím materiál bočnic uchycení 11 373 dle [9] str. 233

10.2.1 Kontrola na otláčení

Styčná plocha pro otláčení

$$S_{bU} = T_u \cdot d_c^U$$

$$S_{bU} = 20 \cdot 80 = 1600 \quad (10.5)$$

$$S_{bU} = 1600 \text{ mm}^2$$

Kde:

T_u [mm] - šířka uchycení pod čepem

S_{bU} [mm²] - styčná plocha pro otláčení v uchycení

Kontrola na otláčení

Podmínka:

$$p_U \leq p_{DOV}$$

$$p_U = \frac{Q_{cU}}{S_{bu}} = \frac{Q_{cU}}{2 \cdot S_{bu}} \leq p_{DOV} \quad (10.6)$$

$$p_U = \frac{100\,920}{2 \cdot 1600} = 31,5$$

$$p_U = 31,5 \text{ MPa} \leq 40 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

p_{DOV} [MPa] - dovolený tlak na stykové plochy bočnice uchycení [9], str.54

p_U [MPa] - tlak na otláčení v uchycení

10.2.2 Kontrola na tah

Dovolené napětí v tahu

Z materiálové charakteristiky materiálu 11 373 je napětí v tahu bočnice

$\sigma_t = 125 \text{ MPa}$. Bezpečnost bočnice volím $k_U = 2,5$

$$\sigma_{tD} = \frac{\sigma_t}{k_U}$$

$$\sigma_{tD} = \frac{125}{2,5} = 50$$

$$\sigma_{tD} = 50 \text{ MPa}$$

(10.7)

Kde:

σ_t [MPa] - napětí v tahu dle [3], str.54

k_U [-] - Bezpečnost uchycení

σ_{tD} [MPa] - dovolené napětí v tahu

Kontrola na tah

Plocha uchycení kontrolovanou na tah S_U je vypočtená, z předběžného modelu, pomocí programu Solidworks.

Podmínka:

$$\sigma_U \leq \sigma_{tD}$$

$$\sigma_U = \frac{\frac{Q_{cU}}{2}}{S_U} = \frac{Q_{cU}}{2 \cdot S_U} \leq \sigma_{tD} \quad (10.8)$$

$$\sigma_U = \frac{101920}{2 \cdot 1200} = 42,4$$

$$\sigma_U = 42,4 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Kde:

S_U [mm²] - plocha uchycení namáhaná na tah

σ_U [MPa] - napětí v tahu uchycení

11 Volba ložiska

Pro daný typ kladkostroje volím do kladek kuličková ložiska, s těsněním z obou stran, vyplněné plastickým mazivem, pro bez údržbový provoz. V každé kladce (vodící i vyrovnávací) budou dvoje ložiska umístěna symetricky, aby docházelo k rovnoměrnému zatížení obou ložisek. Na každou z kladek působí síla $\frac{Q_c}{2}$. Jelikož mají kladky jednotné průměry čepů a zároveň zatížení, proto provedu výběr a kontrolu jednoho typu ložiska.

11.1 Volba radiálních ložisek

Zatížení ložisek od kladek je pouze radiální. Každá z kladek bude obsahovat dvě radiální ložiska. Na každé ložisko působí poloviční síla, která působí na kladku. Pro otáčky ložiska $n < 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ je ložisko počítáno pouze na statickou únosnost C_0 . Vypočet proveden dle katalogu SKF [6].

Radiální zatížení ložiska

$$F_r = \frac{\frac{Q_c}{2}}{2} = \frac{Q_c}{4}$$

$$F_r = \frac{201840}{4} = 50460$$

$$F_r = 50460 \text{ N}$$

(11.1)

Kde:

F_r [N] - radiální síla působící na ložisko

Ekvivalentní statické zatížení

$$P_0 = F_r$$

$$P_0 = 50460 \text{ N} = 50,46 \text{ kN}$$

Kde:

P_0 [N]

- ekvivalentní statické zatížení ložiska

Volím kuličková ložiska od Firmy SKF [5], str. 340 se základní statickou únosností $C_0 = 60 \text{ kN}$

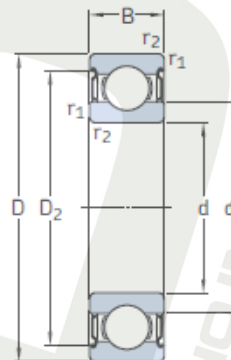
Označení ložiska: **6313 – 2RS1/LHT23**

Hlavní rozměry:

$d = 65 \text{ mm}$

$D = 140 \text{ mm}$

$B = 33 \text{ mm}$



Obr. 11.1 Ložisko 6313 – 2RS1 [5], str. 340

11.2 Statická kontrola

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} =$$

$$s_0 = \frac{60}{50,46} = 1,19$$

$$s_0 = 1,19$$

(11.2)

Dle [6] str. 77, tab. 10 volím $s_{0f} = 1$, pak $s_0 > s_{0f} \Rightarrow$ **VYHOVUJE**

Kde:

C_0 [kN]

- základní statická únosnost ložiska

s_0 [-]

- statická bezpečnost ložiska

s_{0f} [-]

- statická bezpečnost ložiska dle SKF [6], str. 77, tab. 10

12 Závěr

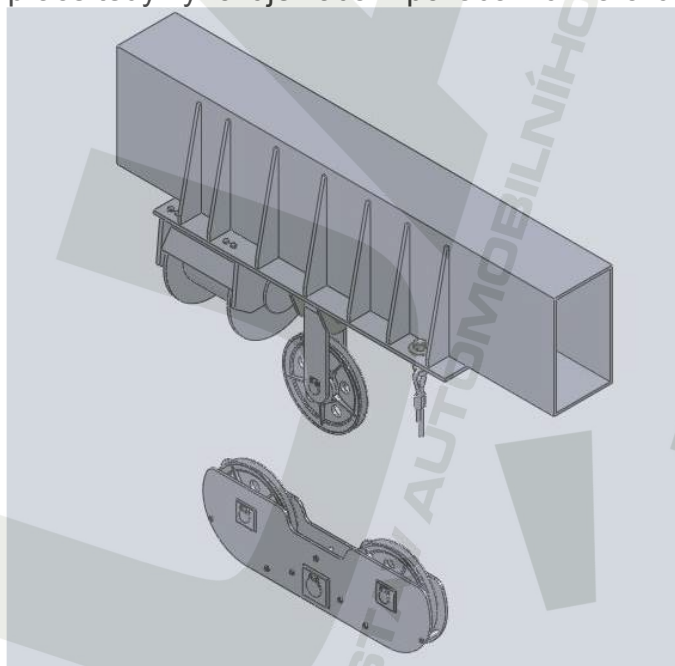
V této bakalářské práci bylo navrženo konstrukční řešení zvedacího zařízení pro zdvih dané lodi. Nejprve byl vyřešen způsob lanování kladkostroje. Ze 3 typu byl vybrán typ C. Tento typ lanování byl vyhovující pro svůj vyšší lanový převod a menší prostorové nároky kladnice v podélném směru manipulátoru. Dále jsem se zabýval vektorovým rozkladem hmotnosti plachetnice do jednotlivých kladkostrojů. Bylo ověřeno, že největší zatížení od plachetnice je v horní poloze kladkostroje. Jako nosný prvek bylo použito lano typu seal křížově pletené s umělou vložkou lana. Výpočet byl proveden podle čsn. Kladky v kladkostroji byly vypočteny 2 typy a to vodící a vyrovnávací. S ohledem na životnost lana jsem volil rozměr kladek stejný podle větší kladky. Pro navíjení lana byl zvolen hydraulický lanový naviják od firmy DINAMIC OIL. Toto řešení je příznivé pro svoji schopnost regulace otáček a výkonu navíjení lana na buben.

Jako další částí bakalářské práce byl pevnostní výpočet a kontrola použitých čepů na kladnici pro kladky, čepu pro vyrovnávací kladku a čepu pro uchycení vyrovnávací kladky. Čep pro traverzu nebyl cílem řešení této práce. Čepy byly počítány na ohyb, smyk, otlacení a byla provedena kontrola podmínky HMM. Dále byla provedena kontrola bočnic kladnice na tah a otlacení v místě styku s čepem. Obdobná kontrola byla provedena i pro bočnice u vyrovnávací kladky a na uchycení vyrovnávacích kladek.

Pro uchycení volného konce lana byl zvolen vázací bod DSS pro nosnost 10 t. Tímto vázacím bodem je provléknuto lano s očnicí a je zajištěno hliníkovou objímkou proti uvolnění lana.

Pro styk čepu a kladky byly vybrány kuličková ložiska vyplněná plastickým mazivem a oboustranným krytím od firmy SKF. Tyto ložiska jsou vhodná pro bezúdržbový provoz a venkovní použití.

Cílem práce bylo navrhnout řešení konstrukce zdvihacího zařízení pro manipulátor lodi a zhotovení požadované výkresové dokumentace, čehož bylo dosaženo. Řešení práce tedy vyhovuje zadání požadavků a cílům práce.



Obr. 12 Kladkostroj

13 Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN 27 0100. *Výpočet ocelových lan pro jeřáby a zdvihadla*, Praha 10 – Hostivař, ÚNM, 1978, 8.s, N 16 920
- [2] ČSN 27 1820. *Kladky a bubny pro ocelová lana*, Praha, Vydavatelství úřadu pro vynálezy a normalizaci, 1957, 9 s., ČSST 9681-58
- [3] Katalog Pavlínek s.r.o. – *Speciální lana DIEPA*, 27 s., dostupný na WWW: <http://www.pavlinek.cz/assets/download/katalogy/lana_retezy_komponenty/3.pdf>
- [4] Katalog Dinamic oil - *Hydraulic Winches S80*, 1 s., dostupný na WWW: <[http://www.dinamicoil.it/files/S80\(1\).pdf](http://www.dinamicoil.it/files/S80(1).pdf)>
- [5] Katalog SKF – *Kuličková ložiska*, 118 s., dostupný na WWW: <<http://www.skf.com/files/515051.pdf>>
- [6] Katalog SKF – *Určení velikosti ložiska*, 38 s., dostupný na WWW: <<http://www.skf.com/files/515039.pdf>>
- [7] Katalog Pavlínek s.r.o. – *Vázací bod DSS*, 3 s., dostupný na WWW: <http://www.vazaky-online.cz/db/files/g690005937_DSS_final.pdf>
- [8] Katalog Pavlínek s.r.o. - *Hliníkové objímky DIN 3093-A*, 1 s., dostupný na WWW: <http://www.vazaky-online.cz/Hlinikove-objimky-DIN-3093-A_g690006111.html>
- [9] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 2. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [10] SVOBODA, Pavel, BRANDEJS, Jan, PROKEŠ, František. *Základy konstruování*. 3. přeprac. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2005. 202 s. ISBN 80-7204-402-2.
- [11] SOBEK, Evžen, et al. *Základy konstruování: Návod pro konstrukční cvičení*. 6. přeprac. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2004. 53 s. ISBN 80-7204-331-5.
- [12] NAUTICEXPO. *TROLLIFT 30 ADVANCE CROSS BEAM* [online]. 2006 [cit. 2009-02-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.nauticexpo.com/prod/paolo-de-nicola/travel-lift-23347-115977.html>>

14 Seznam použitých zkratk a symbolů

$M_{o\check{c}}^k$	maximální ohybový moment působící na čep kladnice	[Nmm]
$M_{o\check{c}}^U$	maximální ohybový moment působící na čep uchycení	[Nmm]
$M_{o\check{c}}^V$	maximální ohybový moment působící na čep vyrovnávací kladky	[Nmm]
k_V	bezpečnost bočnice vyrovnávací kladky	[-]
k_b	bezpečnost bočnice	[-]
$k_{\check{c}}$	bezpečnost čepu	[-]
k_U	Bezpečnost uchycení	[-]
η_c	celková účinnost lanového převodu	[-]
L_L	délka lana kladkostroje	[m]
F_{dov}	dovolená síla v laně (max. zatížení lana)	[N]
σ_{DO}	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_{tD}	dovolené napětí v tahu	[MPa]
τ_{DS}	dovolené napětí ve stříhu	[MPa]
p_{DOV}	dovolený tlak na otlačení	[MPa]
P_0	ekvivalentní statické zatížení ložiska	[N]
g	gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
m_B	hmotnost břemene (lodi)	[kg]
m_{kl}	hmotnost od kladek, traverzy a ostatních částí	[kg]
m_L	hmotnost od lana	[kg]
m_p	hmotnost plachetnice	[kg]
m_{bh}	hmotnost zvedaná kladkostrojem horní poloze	[kg]
m_{bd}	hmotnost zvedaná kladkostrojem v dolní poloze	[kg]
D_b	jmenovitý průměr bubnu	[mm]
D_{Kvd}	jmenovitý průměr kladky(vodící)	[mm]
D_{Kvv}	jmenovitý průměr kladky(vyrovňovací)	[mm]
d_L	jmenovitý průměr lana	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
σ_O	napětí v ohybu	[MPa]
σ_t	napětí v tahu bočnice	[MPa]
σ_b	napětí v tahu bočnice kladnice	[MPa]
σ_v	napětí v tahu bočnice vyrovnávací kladky	[MPa]
σ_U	napětí v tahu uchycení	[MPa]
σ_U	napětí v tahu uchycení	[MPa]
τ_S	napětí ve stříhu	[MPa]
$d_{\check{c}}^k$	nejmenší dovolený průměr čepu kladky na kladnici	[mm]
$d_{\check{c}}^V$	nejmenší dovolený průměr čepu kladky vyrovnávací	[mm]
$d_{\check{c}}^U$	nejmenší dovolený průměr čepu uchycení	[mm]

D_{vd}	nejmenší dovolený průměr lanové kladky (vodící)	[mm]
D_{vv}	nejmenší dovolený průměr lanové kladky (vyrovnávací)	[mm]
S_b	plocha bočnice na tah	[mm ²]
S_v	plocha bočnice vyrov. kladky na tah	[mm ²]
i_k	převodový poměr kladkostroje	[-]
F_r	radiální síla působící na ložisko	[N]
σ_{RED}	redukované napětí podle podmínky HMM	[MPa]
F_L	síla v laně	[N]
α_b	součinitel závislý na druhu kladky	[-]
α_{vd}	součinitel závislý na druhu kladky(vodící)	[-]
α_{vv}	součinitel závislý na druhu kladky(vyrovnávací)	[-]
s_0	statická bezpečnost ložiska	[-]
s_{0t}	statická bezpečnost ložiska dle SKF	[-]
S_{skl}	střížná plocha čepu kladnice	[mm ²]
S_{sU}	střížná plocha čepu uchycení	[mm ²]
S_{sV}	střížná plocha čepu vyrovnávací Kladky	[mm ²]
S_{pU}	styčná plocha čepu na bočním uchycení	[mm ²]
S_{pkl}	styčná plocha čepu na kladnici	[mm ²]
S_{pV}	styčná plocha čepu na vyrovnávací kladce	[mm ²]
S_{bv}	styčná plocha pro otláčení bočnice vyrov. Kladky	[mm ²]
S_{bv}	styčná plocha pro otláčení bočnice vyrovnávací Kladky	[mm ²]
S_{bU}	styčná plocha pro otláčení v uchycení	[mm ²]
S_{bo}	styčná plocha v kladnici pro otláčení	[mm ²]
T_{kl}	šířka bočnice kladnice pod čepem	[mm]
T_v	šířka bočnice u vyrovnávací kladky pod čepem	[mm]
T_U	šířka uchycení pod čepem	[mm]
L_o	technická délka lana	[m]
p_b	tlak na otláčení mezi čepem a bočnicí kladnice	[MPa]
p_{kl}	tlak ve styku čepu a kladnice	[MPa]
p_v	tlak ve styku čepu a uchycení kladky	[MPa]
p_U	tlak ve styku čepu a uchycení	[MPa]
η_1	účinnost jedné kladky	[-]
α_d	úhel vyklonění v dolní větvi	[°]
α_h	úhel vyklonění v horní větvi	[°]
τ_{tS}	vypočtené napětí ve stříhu	[MPa]
l_{ckl}	výpočtová délka čepu kladnice	[mm]
l_{cU}	výpočtová délka čepu uchycení	[mm]
l_{cV}	výpočtová délka čepu vyrovnávací kladky	[mm]
L_d	výška zdvihu kladnice v dolní poloze od mola	[m]

L_h	výška zdvihu kladnice v horní poloze od mola	[m]
C_0	základní statická únosnost ložiska	[kN]
Q_{ckl}	zatížení čepu kladnice	[N]
Q_{cU}	zatížení čepu uchycení	[N]
Q_{cV}	zatížení čepu vyrovnávací kladky	[N]
Q_c	zatížení kladkostroje	[N]
Q_B	zatížení od břemene (lodi)	[N]
Q_{kl}	zatížení od kladek, traverzy a ostatních prvků	[N]
Q_L	zatížení od lana	[N]
b	počet navíjených konců lana	[-]
H	délka zdvihu ve vykloněném směru	[m]
H'	délka zdvihu ve směru ve svislé poloze	[m]
k_L	bezpečnost lana	[-]
m	počet nosných průřezů lana	[-]
n	počet nosných průřezů lana v jedné větvi	[-]
U	únosnost lana (předběžná)	[N]
z	počet větví lanového převodu	[-]

15 Seznam příloh

Příloha 1 – plachetnice

Příloha 2 – zatížení

Příloha 3 – lano

Příloha 4 – hydraulický naviják

16 Seznam výkresové dokumentace

KLADKOSTROJ	1-3P22-00-00-08/09
KLADNICE	1-3P22-02-00-08/09
KLADKA	2-3P22-02-02-08/09
UCHYCENÍ	2-3P22-03-00-08/09
BOČNICE	2-3P22-02-01-08/09
BOČNICE - ZÁKLADNA	2-3P22-01-001-08/09
UCHYCENÍ – BOČNICE	3-3P22-03-01-08/09
ROZPĚRNÝ KROUŽEK 65x5	4-3P22-02-07-08/09
ROZPĚRNÝ KROUŽEK 65x9,5	4-3P22-02-08-08/09
ROZPĚRNÝ KROUŽEK 65x14,5	4-3P22-06-01-08/09
PŘÍLOŽKA	4-3P22-02-06-08/09
ROZPĚRA - 25x90	4-3P22-02-05-08/09
ČEP – VYROVNÁVACÍ Kladka	4-3P22-04-01-08/09
ČEP – Kladka	4-3P22-02-04-08/09
BOČNICE – PŘÍLOŽKA 120	4-3P22-02-002-08/09
BOČNICE – PŘÍLOŽKA 160	4-3P22-02-003-08/09
UCHYCENÍ – TRUBKA	4-3P22-03-02-08/09
ČEP – UCHYCENÍ	4-3P22-05-01-08/09
KUSOVNÍK	4-3P22-02-00-08/09
KUSOVNÍK list 1/2	4-3P22-00-00-08/09
KUSOVNÍK list 2/2	4-3P22-00-00-08/09