



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

JEŘÁBOVÁ KLADNICE - NOSNOST 8 T

CRANE HOOK BLOCK - LIFTING CAPACITY 8 TONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KAMIL DUDEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. MIROSLAV ŠKOPÁN, CSc.

BRNO 2013

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Kamil Dudek

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:

Jeřábová kladnice - nosnost 8 t

v anglickém jazyce:

Crane Hook Block - Lifting Capacity 8 tons

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte jeřábovou kladnici s jednoduchým hákem. Skupina klasifikace mechanismu dle ČSN ISO 4301-1 M3. Základní technické parametry:

Nosnost 8.000 kg

Počet nosných průřezů lana 4

Počet navíjených lan na buben 2

Cíle bakalářské práce:

Technická zpráva obsahující:

- kritická rešerše a koncepce navrženého řešení,
- funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent,
- pevnostní výpočet a další výpočty dle vedoucího BP

Výkresová dokumentace obsahující:

- celková sestava zařízení
- podsestavy a výrobní výkresy dle pokynů vedoucího BP

Seznam odborné literatury:

1. SHIGLEY, J.E. - MISCHKE, Ch.R. - BUDYNAS R.G.: Konstruování strojních součástí, Vydalo VUT v Brně, nakladatelství VUTUM 2010, ISBN 978-80-214-2629-0
2. GAJDŮŠEK, J.; ŠKOPÁN, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, skripta VUT Brno, 1988
3. REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: Jeřáby, 2., přeprac. a dopln. vyd., SNTL Praha, 1975
4. Související ČSN a firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 31.10.2012



A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'V' followed by a horizontal line and a small loop.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu



A handwritten signature in blue ink, featuring a large, stylized 'M' followed by a series of loops and a final horizontal stroke.

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan



ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem a výpočtem jeřábové kladnice se dvěma kladkami pro nosnost 8 tun. Obsahuje popis jednotlivých částí kladnice a návrh jejich konstrukčního řešení. V další části řeší návrh lana, lanových kladek, příčnicku, čepu kladek, bočnic, matice háku a ložisek. Závěrem práce je výkres sestavení, seznam položek a výrobní výkres příčnicku.

KLÍČOVÁ SLOVA

jeřábová kladnice, lanová kladka, příčnick, jeřábový hák, nosnost 8 t

ABSTRACT

This work deals with proposal and calculation a crane hook block with two pulleys for lifting capacity of 8 tons. It contains description individual parts a crane hook block and proposal their construction solutions. In the next part work solves proposal rope, rope pulleys, cross member of the hook block, pivot pulleys, sidewalls, nut of crane hook and ball bearings. Work is finished with assembly drawing, pieces list and production drawing.

KEYWORDS

crane hook block, rope pulley, cross member of the hook block, crane hook, lifting capacity 8 tons



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DUDEK, K. *Jeřábová kladnice - nosnost 8t*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 37 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 23. května 2013

.....

Kamil Dudek



PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za cenné rady a připomínky, kterými mně pomáhal při tvorbě této práce.



OBSAH

Úvod	10
1 Druhy jeřábových kladnic	11
1.1 Rozdělení podle uspořádání	11
1.1.1 Normální	11
1.1.2 Zkrácené	12
1.2 Rozdělení podle počtu kladek	12
1.3 Rozdělení podle nosnosti	12
2 Konstrukční řešení	13
2.1 Lanové kladky	13
2.2 Čep kladek	14
2.3 Bočnice	15
2.4 Příčník	15
2.5 Hák	16
2.6 Matice háku	16
2.7 Zakrytování	17
3 Návrh a výpočet	18
3.1 Návrh lana	18
3.1.1 Statická síla	18
3.1.2 Celková síla	18
3.1.3 Osová síla v laně	19
3.1.4 Únosnost lana	19
3.1.5 Volba lana	19
3.2 Návrh vodících kladek	20
3.2.1 Teoretický průměr vodící kladky	20
3.2.2 Jmenovitý průměr vodící kladky	20
3.3 Výpočet sil	21
3.3.1 Síla působící na kladky	21
3.3.2 Síla působící na bočnici	21
3.4 Výpočet příčníku	21
3.4.1 Střední část příčníku	22
3.4.2 Čep příčníku	23
3.5 Bočnice	25
3.5.1 Zatížení bočnice na tah	25
3.5.2 Kontrola bočnice na otláčení	26
3.6 Čep kladek	27



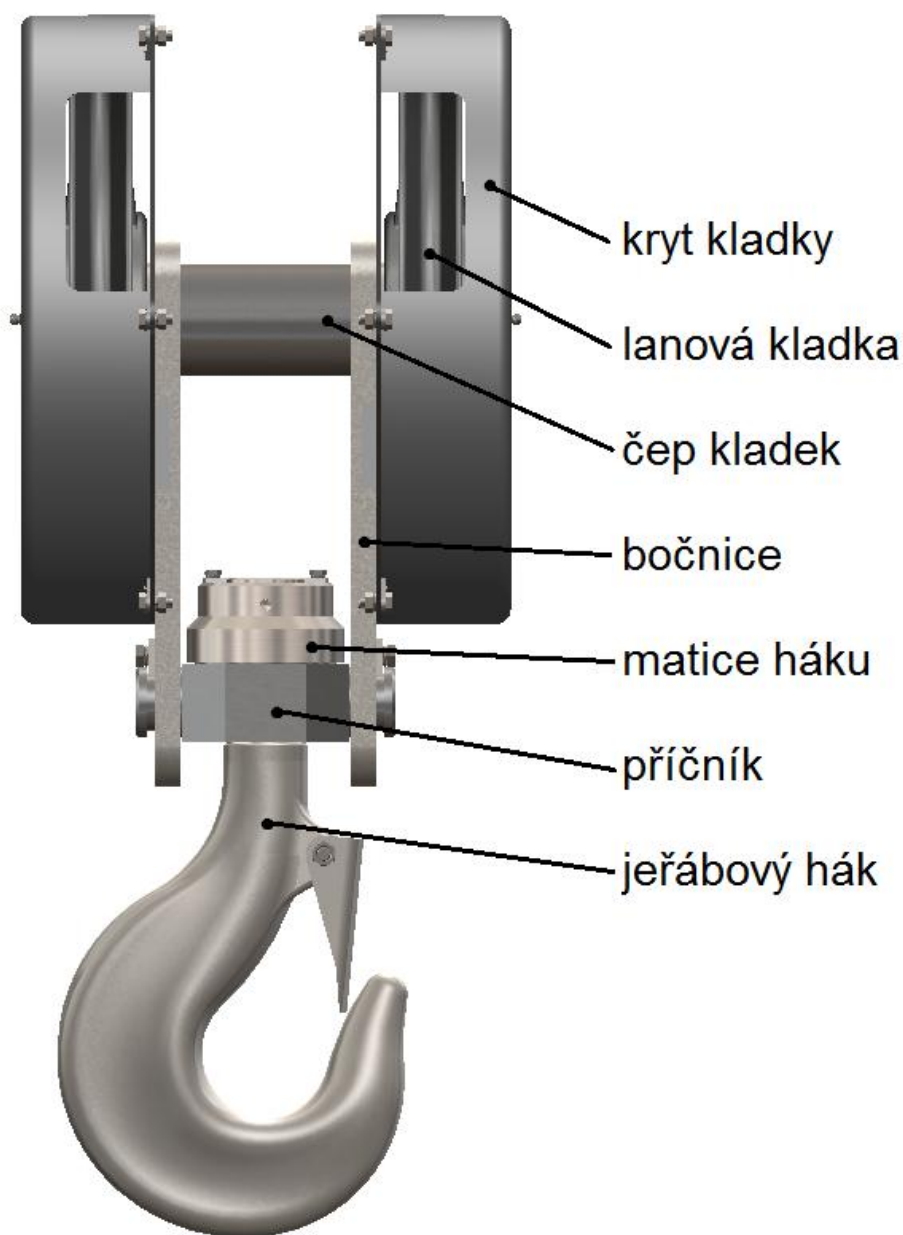
3.6.1	Maximální ohybový moment	28
3.6.2	Kontrola čepu na ohyb.....	28
3.7	Návrh závitu háku a matice	29
3.7.1	Nosná hloubka závitu	29
3.7.2	Otlačení závitu	29
3.7.3	Dovolené otlačení v závitu	30
3.7.4	Pevnostní kontrola na tah	30
3.8	Volba ložisek	31
3.8.1	Radiální ložiska	31
3.8.2	Axiální ložisko.....	31
Závěr		32
Seznam použitých zkratk a symbolů		34
Seznam příloh		37



ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je dle zadaných parametrů navrhnout jeřábovou kladnici se dvěma kladkami a nosností 8000 kg.

Jeřábová kladnice je součást zdvihacího zařízení, které se používá v mnoha oborech a slouží ke zdvihání a přemísťování těžkých předmětů. Tímto zařízením se síla působící na hák rozkládá rovnoměrně pomocí soustavy kladek do jednotlivých lan. Celá kladnice je přitom zavěšena na laně, které se navíjí na lanový buben. Výhoda tohoto řešení spočívá v možnosti použití slabších lan a umožní navrhnout subtilnější pohon lanového bubnu.



Obr. 1.1 Hlavní části jeřábové kladnice



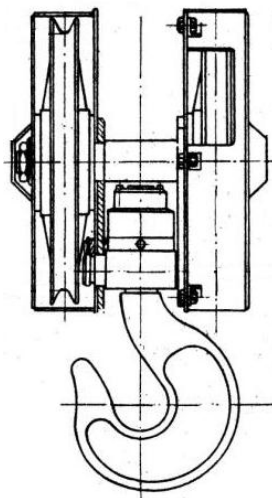
1 DRUHY JEŘÁBOVÝCH KLADNIC

Kladnice lze rozdělit podle několika hledisek. Nejzákladnější rozdělení je podle uspořádání, které se volí podle způsobu použití. Dále jsou možná dělení podle počtu kladek, nosnosti, typu háku, apod.

1.1 ROZDĚLENÍ PODLE USPOŘÁDÁNÍ

1.1.1 NORMÁLNÍ

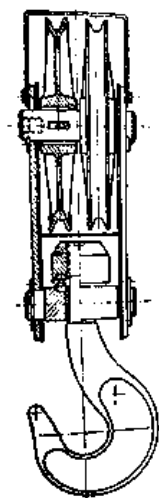
- hák je umístěn na jednom čepu, lanové kladky na druhém
- kladky umístěné na kraji čepu



Obr. 1.2 Normální provedení s dvěma kladkami na koncích [5]

Uspořádání je vhodné pro dvou, případně čtyř kladkové kladnice. Výhodou je nízká výška kladnice.

- kladky umístěné na středu čepu



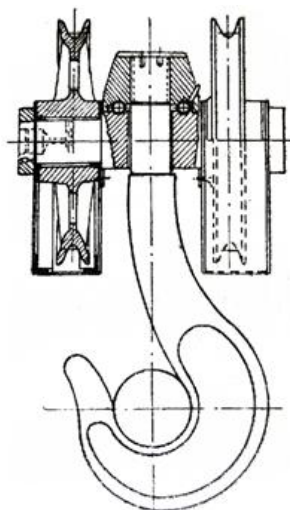
Obr. 1.3 Normální provedení s dvěma kladkami ve středu [5]

Uspořádání je vhodné pro použití více kladek, a pro kladnice s velkým zdvihem.



1.1.2 ZKRÁCENÉ

- hák je umístěn na stejném čepu jako lanové kladky



Obr. 1.4 Zkrácené provedení s dvěma kladkami [5]

Uspořádání je vhodné pro dvou, případně čtyř kladkové kladnice. Výhodou je nízká výška kladnice, ale je zapotřebí použít speciální hák, s delším dříkem.

1.2 ROZDĚLENÍ PODLE POČTU KLADEK

Kladnice mohou lišit počtem vodících a vyrovnávacích kladek, obvykle se používají 2, 4, 6, 8 a s více vodícími kladkami.

1.3 ROZDĚLENÍ PODLE NOSNOSTI

Podle nosnosti jsou vyráběny tzv. typizované kladnice určené pro 5t, 8t, 12,5t, 20t, 32t a 50t.

2 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Při navrhování kladnice je kladen důraz na jednoduchost výroby dílů, snadnou montáž a demontáž při plném zachování funkčnosti a bezpečnosti. U všech zatěžovaných dílů je provedena kontrola na možné druhy namáhání, tak aby ve všech směrech vyhovovaly a přitom nebyly zbytečně předimenzovány.

Provedení kladnice je zvoleno normální, s kladkami umístěnými na koncích čepu. Toto řešení částečně snižuje celkovou výšku kladnice, což je výhodou pro jeřáby s menším zdvihem. Na obrázku níže je vidět podobný výrobek v tomto provedení.

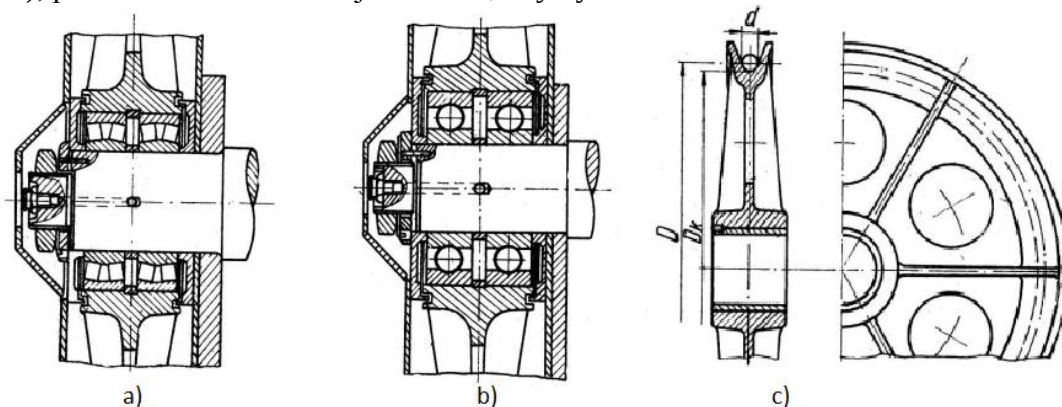


Obr. 2.1 Jeřábová kladnice KPC – 8t [15]

2.1 LANOVÉ KLADKY

Lanové kladky se obvykle vyrábějí jako odlitek z lité oceli ČSN 42 2650.2 nebo 42 2652.1, jak je uvedeno v [5].

Kladky mohou být uloženy na čepu buď na valivých ložiscích nebo na kluzném ložisku (obr.2.2), přičemž u obou variant je důležité, aby byla ložiska dobře mazána.



Obr. 2.2 Uložení kladky na a) válečkových ložiscích, b) kuličkových ložiscích, c) kluzném ložisku [5]

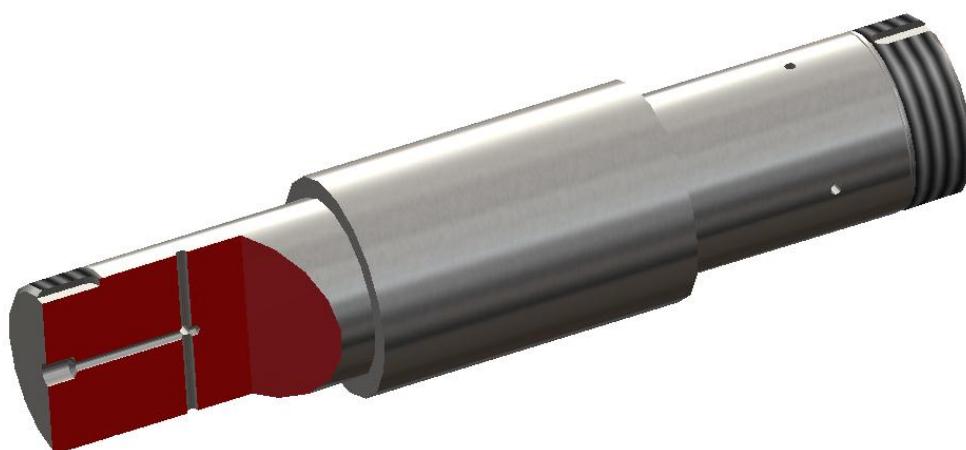
Pro tuto práci jsou zvolena z ekonomických důvodů kuličková ložiska, výrobce ZKL se zakrytváním RS z jedné strany. Mazání je vyřešeno pomocí kulové mazací hlavice, která je spojena s mazacím kanálkem uvnitř čepu kladek. Mazivo dále prochází přes rozpěrku se zápchem a čtyřmi dírkami po obvodu a vyúsťuje přímo u ložisek.



Obr. 2.3 Lanová kladka

2.2 ČEP KLADEK

Čep kladek je vyroben třískovým obráběním z konstrukční oceli 11 500. Na tomto čepu jsou nalisována kuličková ložiska. Tyto ložiska jsou zajištěny proti posunutí KM maticí, která je pojištěna ještě MB podložkou proti povolení. Proto je na jeho koncích závit M65x2 a vyfrézovaná drážka.



Obr. 2.4 Čep kladek (v částečném řezu)



2.3 BOČNICE

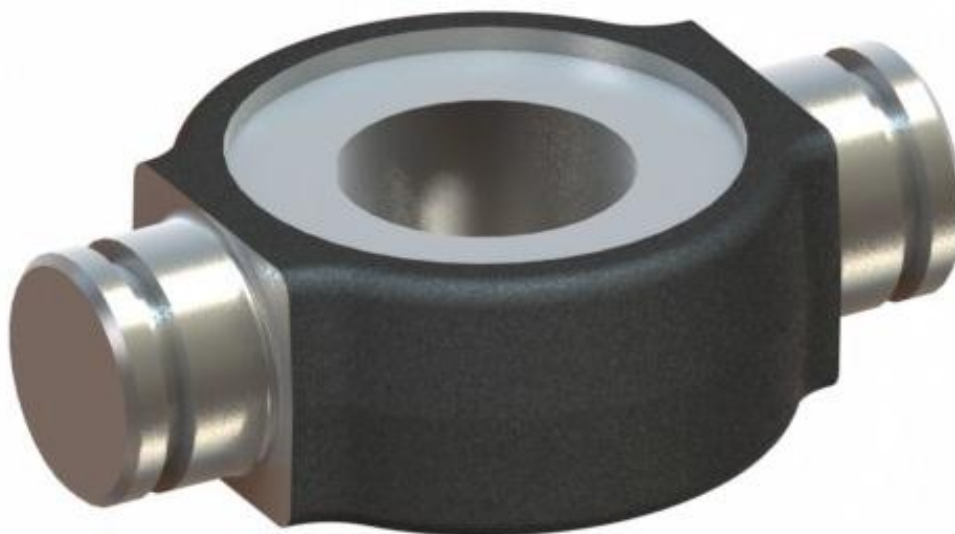
Bočnice spojují příčník a čep kladek. Jsou vyrobeny jako výpalek z plechu z oceli 11 523, budou se na nich obrábět pouze díry pro čepy a zhotoveny závity pro uchycení přídržek příčníku.



Obr. 2.5 Bočnice

2.4 PŘÍČNÍK

Polotovarem příčníku je výkovek z materiálu 11 600, na kterém se dále obrábí čepy a osazení pro axiální ložisko na požadované rozměry. Na čepích má příčník drážky pro normalizovanou přídržku dle [2], která zajišťuje axiální posun a zároveň se příčník může naklápět vzhledem k bočnicím. Dále má příčník z vrchní strany přesné osazení, do nějž je vsazeno axiální ložisko.



Obr. 2.6 Příčník



2.5 HÁK

Jeřábový hák se vyrábí zápusťkovým kováním a poté obráběním závitové části háku. Jeho velikost se zvolí přímo podle požadované nosnosti a třídy skupiny mechanismu. U háku do 12,5t se používá metrický závit, u háků nad 12,5t lichoběžníkový závit. [5]

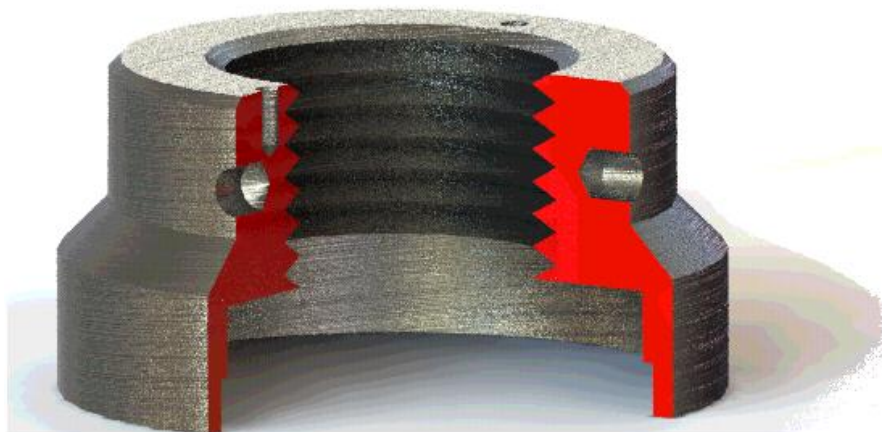
V mém případě nosnosti 8t a třídě M3 odpovídá velikost háku 6, dle [12]. Hák je opatřen závitem M 56x5,5. Z vrchu dříku háku jsou vyfrézovány drážky, které slouží k zajištění háku proti pootočení v matici. Do těchto drážek se vloží ocelový přídržka, která se přišroubuje šrouby k matici háku. Dále je u háku důležité osazení pod závit, které zajišťuje axiální vůli háku v příčniku. Hák je navíc vybaven bezpečnostní pojistkou zabráňující vysmeknutí vázacích prostředků.



Obr. 2.7 Jeřábový hák

2.6 MATICE HÁKU

Matice háku je vyrobena z tyče kruhového průřezu z materiálu 11 500. Má vnitřní osazení pro axiální ložisko, kterým ložisko zároveň chrání před nečistotami. Dále má po obvodu navrtnané slepé díry, které slouží za pomoci speciálního klíče k jejímu dotažení.



Obr. 2.8 Matice háku (v řezu)



2.7 ZAKRYTOVÁNÍ

Kryty jsou složeny ze dvou částí. První část ve tvaru pravidelného šestiúhelníku je vyrobena z ocelového plechu z materiálu 11 373 a jsou k ní přivařeny dvě příložky vymezující polohu pro montáž. Zároveň zabráňují otáčení krytů vůči spodní části kladnice. Druhá část je vyrobena jako výlisek z ocelového plechu a z vnitřní strany má navařeno 6 držáků, pomocí kterých jsou oba kryty spolu sešroubovány šrouby M8. Kryt má po stranách vyříznuté otvory pro průchod lan a ve středu krytu je otvor pro snadný přístup k maznici.



Obr. 2.9 Kryty kladek

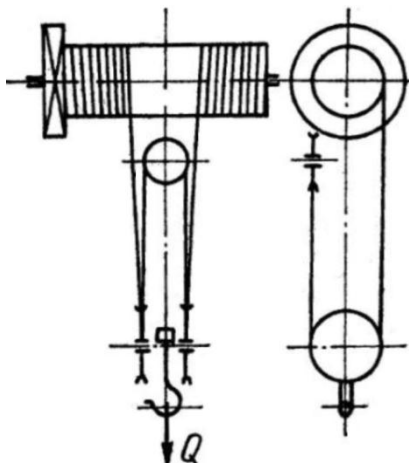


3 NÁVRH A VÝPOČET

V této části práce je proveden návrh a výpočet všech důležitých součástí kladnice.

3.1 NÁVRH LANA

Výpočet silových účinků na lano proveden dle [2].



Obr. 3.1 Uspořádání kladek [5]

3.1.1 STATICKÁ SÍLA

$$F_S = (Q \cdot \gamma + m_K) \cdot g \quad (1)$$

$$F_S = (8000 \cdot 1,3 + 150) \cdot 9,81$$

$$F_S = 103495,5 \text{ [N]}$$

Kde:

Q	[kg]	hmotnost břemene
m_K	[kg]	předpokládaná hmotnost kladnice, zvolena dle [5]
g	[m.s ⁻²]	tíhové zrychlení
γ	[-]	součinitel náhodného zavěšení břemene

3.1.2 CELKOVÁ SÍLA

Zvolena zdvihová rychlost: $v_z = 12[\text{m.min}^{-1}] = 0,2[\text{m.s}^{-1}]$

$$F_C = F_S \cdot (1,3 + 0,39 \cdot v_z) \quad (2)$$

$$F_C = 103495,5 \cdot (1,3 + 0,39 \cdot 0,2)$$

$$F_C = 142616,8 \text{ [N]}$$

Kde:

F_S	[N]	statická síla
v_z	[m.s ⁻¹]	zdvihová rychlost



3.1.3 OSOVÁ SÍLA V LANĚ

$$F_L = \frac{F_C}{n \cdot \eta} \quad (3)$$

$$F_L = \frac{142616,8}{4 \cdot 0,99}$$

$$F_L = 36014,3 \text{ [N]}$$

Kde:

F_C	[N]	celková síla
n	[-]	počet nosných průřezů lana
η	[-]	účinnost kladkostroje

3.1.4 ÚNOSNOST LANA

$$F_p \geq k_L \cdot F_L \quad (4)$$

$$F_p \geq 4,1 \cdot 36014,3$$

$$F_p = 147658,6 \text{ [N]} = 147,66 \text{ [kN]}$$

Kde:

F_L	[N]	osová síla v laně
k_L	[-]	součinitel bezpečnosti lana

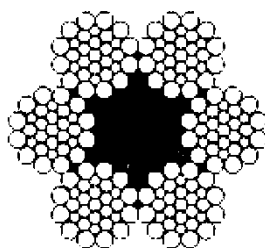
3.1.5 VOLBA LANA

Na základě vypočtené únosnosti lana volím lano SEAL-WARRINGTON 186 drátů (6x31), dle [11].

- průměr lana $d_l = 15 \text{ mm}$
- pevnost drátů lana 1770 MPa
- únosnost $157,9 \text{ kN}$

Jedná se o lano vinuté souběžným způsobem. Prameny mají vnější vrstvu drátů větších průměrů. Jsou odolná proti otěru. Lana jsou ohebná a snášejí velké příčné tlaky na lanových bubnech a kladkách. [11]

$$147,66 \text{ [kN]} \leq 157,9 \text{ [kN]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$



Obr. 3.2 Průřez lana SEAL-WARRINGTON 186 drátů [11]

3.2 NÁVRH VODÍCÍCH KLADEK

Výpočet rozměrů lanové kladky proveden dle [3].

3.2.1 TEORETICKÝ PRŮMĚR VODÍCÍ Kladky

- druh provozu: střední

součinitel $\alpha_{kl} = 24$

$$D = d_l \cdot \alpha_{kl} \quad (6)$$

$$D = 15 \cdot 24$$

$$D = 360 \text{ [mm]}$$

Kde:

α_{kl}	[-]	součinitel závislý na typu kladky a druhu provozu
d_l	[mm]	průměr lana

3.2.2 JMENOVITÝ PRŮMĚR VODÍCÍ Kladky

$$D_k \geq D - d_l \quad (7)$$

$$D_k \geq 360 - 15$$

$$D_k \geq 345 \text{ [mm]}$$

Kde:

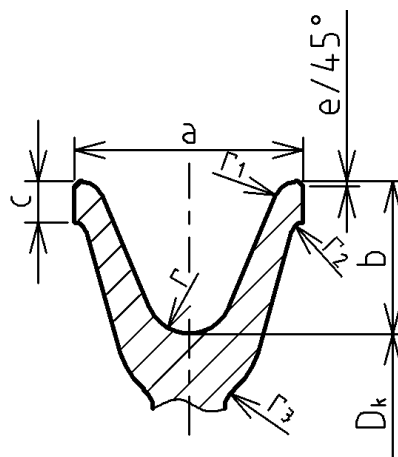
D	[mm]	teoretický průměr vodící kladky
d_l	[mm]	průměr lana

Norma uvádí pro průměry kladek D_k tyto rozměry: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 355, 400, 450, 500, 630, 710, 800, 900, 1000, 1 120, 1 250, 1 400, 1 600, 1 800, 2 000 mm. [5]

zvolen průměr kladek $D_k = 355$ mm.

Volba ostatních rozměrů kladek dle [5].

- $r = 8,5$ mm
- $a = 45$ mm
- $b = 30$ mm
- $c = 8$ mm
- $e = 1$ mm
- $r_1 = 14$ mm
- $r_2 = 4$ mm
- $r_3 = 2,5$ mm



Obr. 3.3 Tvar a rozměry věnce i profilu drážky

3.3 VÝPOČET SIL

3.3.1 SÍLA PŮSOBÍCÍ NA Kladky

$$F_R = \frac{F_S}{i} \quad (8)$$

$$F_R = \frac{103495,5}{2}$$

$$F_R = 51747,8 \text{ [N]}$$

Kde:

F_S	[N]	statická síla
i	[-]	počet kladek

3.3.2 SÍLA PŮSOBÍCÍ NA BOČNICE

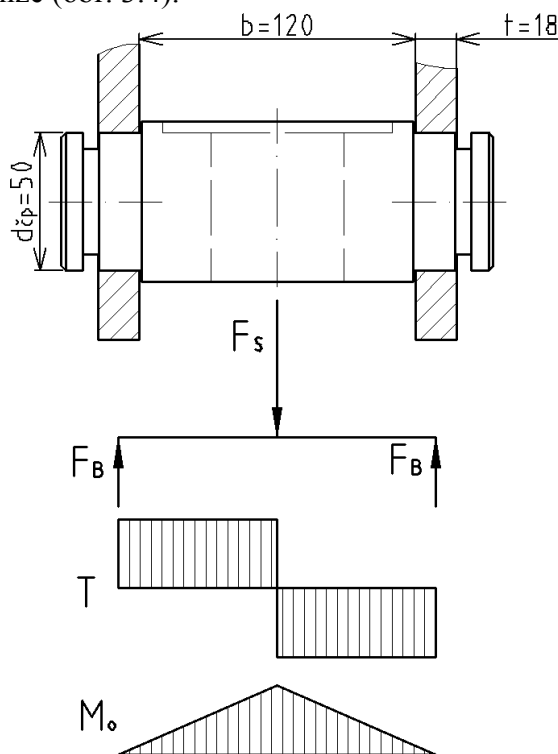
$$F_B = F_R = 51747,8 \text{ [N]} \quad (9)$$

Kde:

F_R	[N]	síla působící na kladky
-------	-----	-------------------------

3.4 VÝPOČET PŘÍČNÍKU

Příčník přenáší sílu od zavěšeného břemene na bočnice kladnice. Jde tedy vlastně o nosník na dvou podporách, zatížený jednou silou uprostřed. Navržené rozměry a vykreslený průběh zatížení je vidět níže (obr. 3.4).



Obr. 3.4 Zatížení příčníku



3.4.1 STŘEDNÍ ČÁST PŘÍČNÍKU

MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT

$$M_{Omax} = F_B \cdot \left(\frac{t}{2} + \frac{b}{2} \right) \quad (10)$$

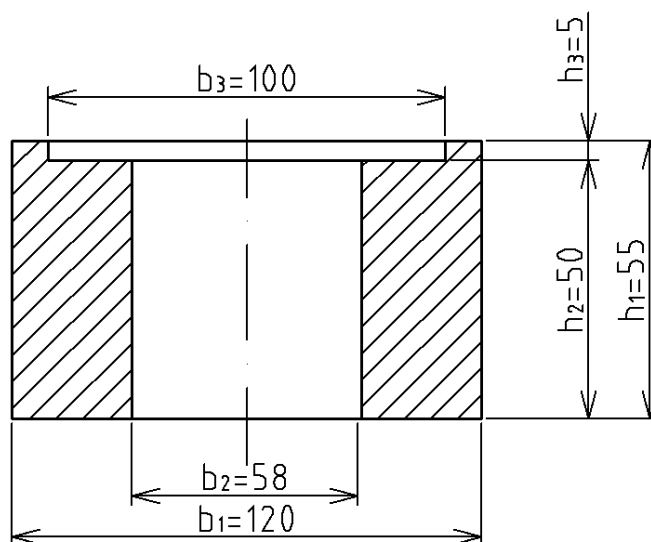
$$M_{Omax} = 51747,8 \cdot \left(\frac{18}{2} + \frac{120}{2} \right)$$

$$M_{Omax} = 3570598 \text{ [N} \cdot \text{mm]}$$

Kde:

F_B	[N]	síla působící na bočnici
t	[mm]	tloušťka bočnice
b	[mm]	šířka příčnicku

PRŮŘEZOVÝ MODUL V OHYBU



Obr. 3.5 Řez středem příčnicku

$$W_o = \frac{b_1 \cdot h_1^2}{6} - \frac{b_2 \cdot h_2^2}{6} - \frac{b_3 \cdot h_3^2}{6} \quad (11)$$

$$W_o = \frac{120 \cdot 55^2}{6} - \frac{58 \cdot 50^2}{6} - \frac{100 \cdot 5^2}{6}$$

$$W_o = 35916,7 \text{ [mm}^3\text{]}$$

Kde:

$b_1, b_2, b_3, h_1, h_2, h_3$	[mm]	rozměry příčnicku dle obr. 3.5
--------------------------------	------	--------------------------------

**MAXIMÁLNÍ NAPĚTÍ V OHYBU**

$$\sigma_{Omax} = \frac{M_{Omax}}{W_o} \quad (12)$$

$$\sigma_{Omax} = \frac{3570598}{35916,7}$$

$$\sigma_{Omax} = 99,4 \text{ [MPa]}$$

Kde:

M_{Omax}	[N.mm]	maximální ohybový moment
W_o	[mm ³]	průřezový modul v ohybu

DOVOLENÉ OHYBOVÉ NAPĚTÍ

Vzorec použit dle [9]

$$\sigma_{Do} = \frac{0,6 \cdot R_m}{k_p} \cdot c_{II} \quad (13)$$

$$\sigma_{Do} = \frac{0,6 \cdot 600}{2} \cdot 0,85$$

$$\sigma_{Do} = 153 \text{ [MPa]}$$

$$99,4 \text{ [MPa]} \leq 153 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu, hodnota dle [7] pro mat. 11 600
k_p	[-]	součinitel bezpečnosti příčnicku
c_{II}	[-]	součinitel snížení napětí pro mívivé zatížení

3.4.2 ČEP PŘÍČNÍKU**OHYBOVÉ NAPĚTÍ**

$$\sigma_o = \alpha \cdot \frac{M_{Omax}}{W_o} = \alpha \cdot \frac{F_B \cdot \frac{t}{2}}{\frac{\pi \cdot d_{cp}^3}{32}} = \frac{\alpha \cdot F_B \cdot t \cdot 16}{\pi \cdot d_{cp}^3} \quad (14)$$

$$\sigma_o = \frac{1,9 \cdot 51747,8 \cdot 18 \cdot 16}{\pi \cdot 50^3}$$

$$\sigma_o = 72,1 \text{ [MPa]}$$



Kde:

F_B	[N]	síla působící na bočnici
t	[mm]	tloušťka bočnice
$d_{\text{čp}}$	[mm]	průměr čepu příčnicku
α	[mm]	součinitel koncentrace napětí, zvoleno dle [6]

SMYKOVÉ NAPĚTÍ

$$\tau_S = \frac{T}{S} = \frac{F_B}{\frac{\pi \cdot d_{\text{čp}}^2}{4}} \quad (15)$$

$$\tau_S = \frac{51747,8}{\frac{\pi \cdot 50^2}{4}}$$

$$\tau_S = 26,4 \text{ [MPa]}$$

Kde:

F_B	[N]	síla působící na bočnici
$d_{\text{čp}}$	[mm]	průměr čepu příčnicku

REDUKOVANÉ NAPĚTÍ

Redukované napětí pro kombinované namáhání dle teorie HMM [6]

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_S^2} \quad (16)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{72,1^2 + 3 \cdot 26,4^2}$$

$$\sigma_{red} = 85,4 \text{ [MPa]}$$

Kde:

σ_o	[MPa]	ohybové napětí
τ_s	[MPa]	smykové napětí

DOVOLENÉ NAPĚTÍ

Vzorec použit dle [9]

$$\sigma_D = \alpha \cdot \sigma_{Dt} = \alpha \cdot \frac{0,6 \cdot R_m}{k_p} \cdot c_{II} \quad (17)$$

$$\sigma_D = 0,65 \cdot \frac{0,6 \cdot 600}{2} \cdot 0,85$$

$$\sigma_D = 99,5 \text{ [MPa]}$$

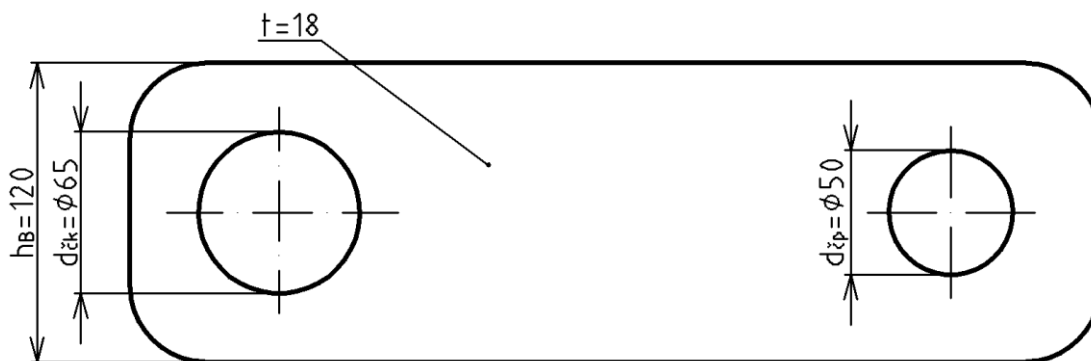
$$85,4 \text{ [MPa]} \leq 99,5 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

α	[mm]	součinitel koncentrace napětí, zvoleno dle [9]
R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu, hodnota dle [7] pro mat. 11 600
k_p	[-]	součinitel bezpečnosti příčnicku
c_{II}	[-]	součinitel snížení napětí pro mívivé zatížení

3.5 BOČNICE

Bočnice přenáší sílu mezi příčnickem a čepem kladek. Je tedy namáhána na tah, kde je díra na čep považována za vrub. Dále je potřeba zkontrolovat otláčení bočnice, které bude stejně velké i na čepu příčnicku, ale kontrolováno bude na bočnici, protože je vyrobena z horšího materiálu.



Obr. 3.6 Rozměry bočnice

3.5.1 ZATÍŽENÍ BOČNICE NA TAH

SKUTEČNÉ NAPĚTÍ V TAHU

$$\sigma_t = \alpha \cdot \frac{F_B}{S} = \alpha \cdot \frac{F_B}{(h_B - d_{čk}) \cdot t} \quad (18)$$

$$\sigma_t = 2,3 \cdot \frac{51747,8}{(120 - 65) \cdot 18}$$

$$\sigma_t = 120,2 \text{ [MPa]}$$

Kde:

F_B	[N]	síla působící na bočnici
$d_{čk}$	[mm]	průměr čepu kladek
h_B	[mm]	šířka bočnice
t	[mm]	tloušťka bočnice
α	[mm]	součinitel koncentrace napětí, zvoleno dle [6]

**DOVOLENÉ NAPĚTÍ V TAHU**

$$\sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot R_m}{k_b} \cdot c_{II} \quad (19)$$

$$\sigma_{Dt} = \frac{0,6 \cdot 520}{2} \cdot 0,85$$

$$\sigma_{Dt} = 132,6 \text{ [MPa]}$$

$$120,2 \text{ [MPa]} \leq 132,6 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu, hodnota dle [7] pro mat. 11 523
k_b	[-]	součinitel bezpečnosti bočnice
c_{II}	[-]	součinitel snížení napětí pro mýjivé zatížení

3.5.2 KONTROLA BOČNICE NA OTLAČENÍ**SKUTEČNÉ OTLAČENÍ**

$$p_B = \frac{F_B}{S_P} = \frac{F_B}{t \cdot d_{\check{c}p}} \quad (20)$$

$$p_B = \frac{51747,8}{18 \cdot 50}$$

$$p_B = 57,5 \text{ [MPa]}$$

Kde:

F_B	[N]	síla působící na bočnici
$d_{\check{c}p}$	[mm]	průměr čepu příčnicku
t	[mm]	tloušťka bočnice

DOVOLENÉ OTLAČENÍ

$$p_D = \frac{0,6 \cdot R_m}{k_b} \cdot c_{II} \quad (21)$$

$$p_D = \frac{0,6 \cdot 520}{2} \cdot 0,85$$

$$p_D = 132,6 \text{ [MPa]}$$

$$57,5 \text{ [MPa]} \leq 132,6 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

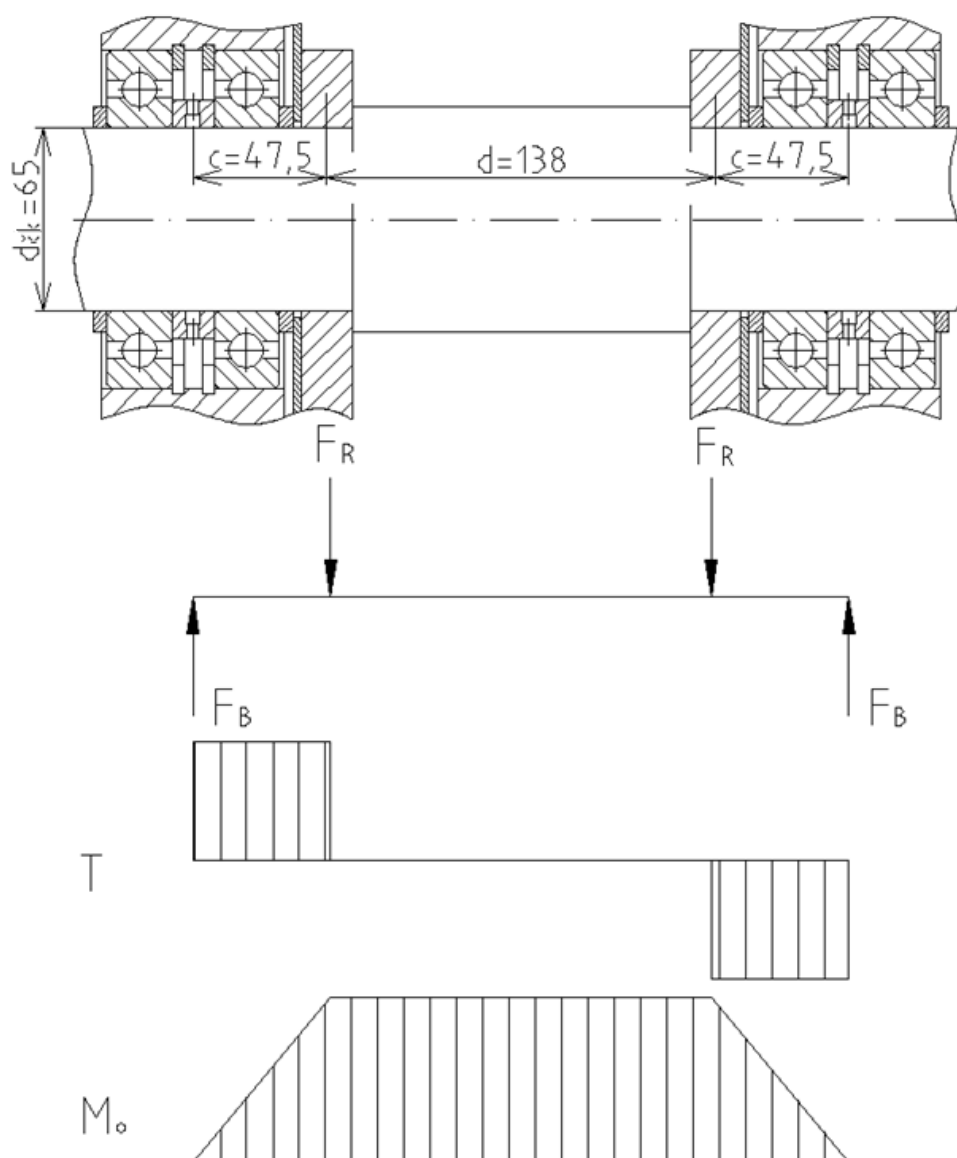


Kde:

R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu, hodnota dle [7] pro mat. 11 523
k_b	[-]	součinitel bezpečnosti bočnice
c_{II}	[-]	součinitel snížení napětí pro mýjivé zatížení

3.6 ČEP KLADEK

Čep kladek lze převést na nosník na dvou podporách zatížený dvěma silami na jeho volných koncích. Navržené rozměry a vykreslený průběh zatížení je vidět níže (obr. 3.4). Čep kladek je navržen z materiálu 11 500 a je kontrolován na ohyb.



Obr. 3.7 Zatížení čepu kladek



3.6.1 MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT

$$M_{Omax} = F_R \cdot c \quad (22)$$

$$M_{Omax} = 51747,8 \cdot 47,5$$

$$M_{Omax} = 2458020,5 [N \cdot mm]$$

Kde:

F_R	[N]	síla působící na kladky
c	[-]	vzdálenost dle obr

3.6.2 KONTROLA ČEPU NA OHYB

SKUTEČNÉ OHYBOVÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_O = \frac{M_{Omax}}{W_O} = \frac{M_{Omax}}{\frac{\pi \cdot d_{\xi}^3}{32}} \quad (23)$$

$$\sigma_O = \frac{2458020,5}{\frac{\pi \cdot 65^3}{32}}$$

$$\sigma_O = 91,17 [MPa]$$

Kde:

M_{Omax}	[Nmm]	maximální ohybový moment
d_{ξ}	[mm]	průměr čepu kladek

DOVOLENÉ OHYBOVÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_{Do} = \frac{0,6 \cdot R_m}{k_{\xi}} \cdot c_{II} \quad (24)$$

$$\sigma_{Do} = \frac{0,6 \cdot 500}{2} \cdot 0,85$$

$$\sigma_{Do} = 127,5 [MPa]$$

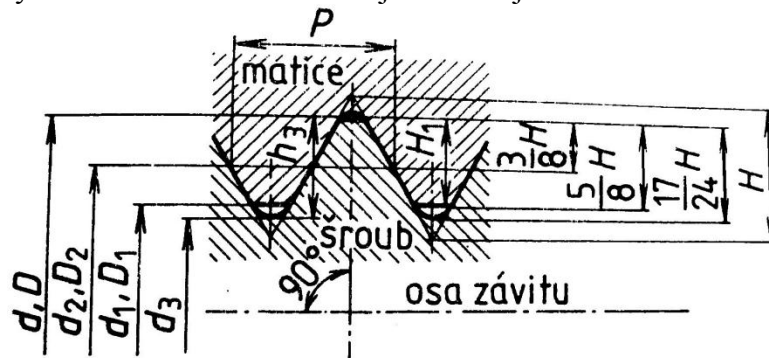
$$91,17 [MPa] \leq 127,5 [MPa] \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu, hodnota dle [7] pro mat. 11 500
k_{ξ}	[-]	součinitel bezpečnosti čepu kladek
c_{II}	[-]	součinitel snížení napětí pro míjivé zatížení

3.7 NÁVRH ZÁVITU HÁKU A MATICE

Jeřábkový hák je vyroben z materiálu 12 020 a jeho závit je kontrolován na otláčení a na tah.



Obr. 3.8 Profil metrický závitu [7]

Rozměry pro metrický závit M 56x5,5 dle [7]

- velký průměr závitu	d= 56,000 mm
- malý průměr matice	d ₁ = 50,046 mm
- střední průměr závitu	d ₂ = 52,428 mm
- malý průměr šroubu	d ₃ = 49,252 mm
- stoupání závitu	s= 5,5 mm
- délka závitu matice	l _m = 35 mm

3.7.1 NOSNÁ HLOUBKA ZÁVITU

$$H_1 = \frac{d - d_1}{2} \quad (25)$$

$$H_1 = \frac{56 - 50,046}{2}$$

$$H_1 = 2,977 \text{ [mm]}$$

Kde:

d	[mm]	velký průměr závitu
d ₁	[mm]	malý průměr závitu

3.7.2 OTLAČENÍ ZÁVITU

$$p_z = \frac{F_c}{S} = \frac{F_c \cdot s}{\pi \cdot l_m \cdot H_1 \cdot d_2} \quad (26)$$

$$p_z = \frac{142616,8 \cdot 5,5}{\pi \cdot 35 \cdot 2,977 \cdot 52,428}$$

$$p_z = 45,8 \text{ [MPa]}$$



Kde:

F_C	[N]	celková síla
s	[mm]	stoupání závitu
l_m	[mm]	délka závitu matice
H_1	[mm]	nosná hloubka závitu
d_2	[mm]	střední průměr závitu

3.7.3 DOVOLENÉ OTLAČENÍ V ZÁVITU

$$p_{Dz} = 0,25 \cdot R_e \quad (27)$$

$$p_{Dz} = 0,25 \cdot 230$$

$$p_{Dz} = 57,5 \text{ [MPa]}$$

$$45,8 \text{ [MPa]} \leq 57,5 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

R_e	[MPa]	mez kluzu materiálu, hodnota dle [7]
-------	-------	--------------------------------------

3.7.4 PEVNOSTNÍ KONTROLA NA TAH

Vzorec použit dle [9]

$$\sigma_t = \frac{F_C}{S} = \frac{F_C}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)^2} \leq R_e \cdot 0,6 \quad (28)$$

$$\sigma_t = \frac{142616,8}{\frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{52,428 + 49,252}{2}\right)^2} \leq 230 \cdot 0,6$$

$$70,3 \text{ [MPa]} \leq 138 \text{ [MPa]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kde:

R_e	[MPa]	mez kluzu materiálu, hodnota dle [stt]
F_C	[N]	celková síla
H_1	[mm]	nosná hloubka závitu
d_2	[mm]	střední průměr závitu
d_3	[mm]	malý průměr šroubu



3.8 VOLBA LOŽISEK

Ložiska kladek i axiální ložisko v příčniku se otáčejí jen nízkými otáčkami, proto jsou navržena jen z hlediska statické únosnosti.

3.8.1 RADIÁLNÍ LOŽISKA

RADIÁLNÍ SÍLA PŮSOBÍCÍ NA JEDNO LOŽISKO

$$F_{RAD} = \frac{F_C}{4} \quad (29)$$

$$F_{RAD} = \frac{142616,8}{4}$$

$$F_{RAD} = 35654,2 \text{ [N]} = 35,654 \text{ [kN]}$$

Kde:

F_C [N] celková síla

Volím radiální ložisko s jednostranným krytováním ZKL 6213-RS [13].

- statická únosnost C_o 40,011 kN
- šířka ložiska 23 mm
- průměr vnitřního kroužku 65 mm
- průměr vnějšího kroužku 120 mm

$$35,654 \text{ [kN]} \leq 40,011 \text{ [kN]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.8.2 AXIÁLNÍ LOŽISKO

$$F_{AX} = F_C = 142616,8 \text{ [N]} = 142,617 \text{ [kN]} \quad (30)$$

Kde:

F_C [N] celková síla

Volím axiální ložisko ZKL 51213 [14].

- statická únosnost C_o 189 kN
- šířka ložiska 27 mm
- průměr vnitřního kroužku 65 mm
- průměr vnějšího kroužku 100 mm

$$142,6 \text{ [kN]} \leq 189 \text{ [kN]} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

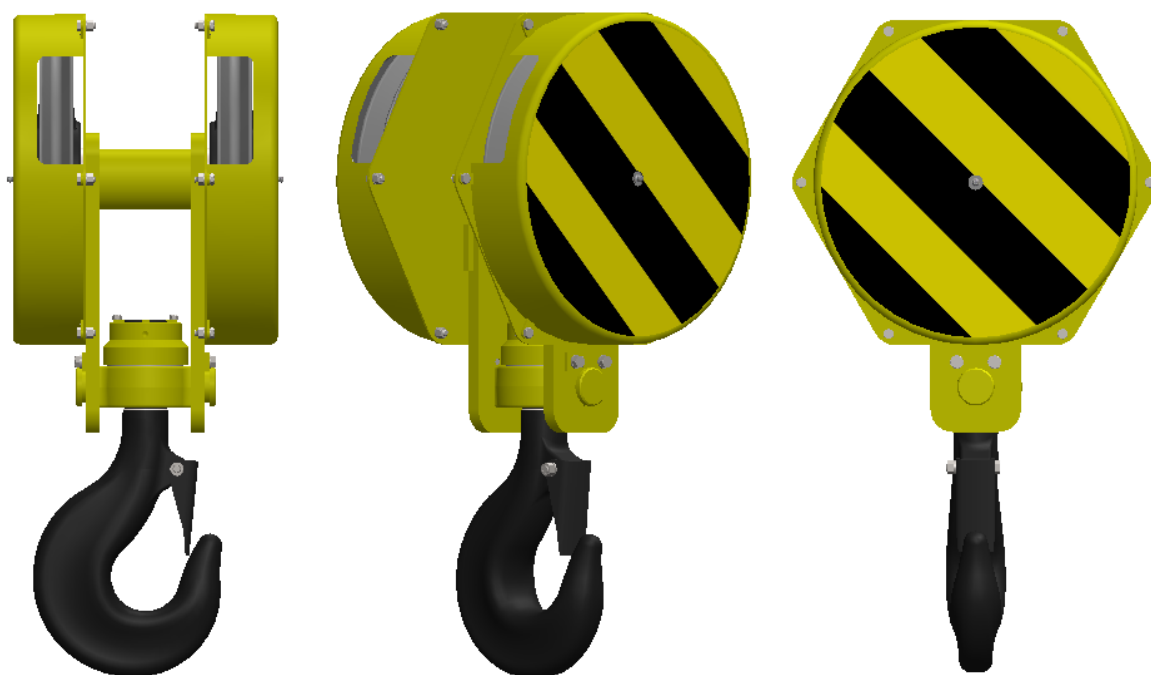
ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout jeřábovou kladnici s jednoduchým hákem a nosností 8 tun. Byl určen průměr lana, který vyšel 15mm a podle toho byly navrženy lanové kladky. Dále bylo určeno konstrukční uspořádání jednotlivých dílů. Byl zvolen normální typ kladnice s kladkami umístěnými na koncích čepu kladek. Toto řešení je vhodné pro použití právě dvou kladek a zajišťuje menší výšku kladnice, než při umístění kladek na střed. Poté byly navrženy hlavní části kladnice a to: příčnick, bočnice, čep kladek a matice kladek. Jeřábový hák byl zvolen od výrobce, podle dané nosnosti a třídy mechanismu. Axiální i radiální ložiska byla zvolena dle katalogu výrobce ZKL.

Jeřábová kladnice byla kompletně vymodelována v programu SolidWorks 2011, pomocí něhož se výsledný návrh lépe prezentuje. Základní obrisy výkresů byly převedeny do programu AutoCAD 2013, ve kterém byly následně zpracovány do výsledného stavu.

Na závěr byla vytvořena krátká video ukázka, zachycující celkový návrh kladnice a její částečnou demontáž.

<http://www.youtube.com/watch?v=qcv-AUp1cx4>



Obr. 3.9 Model jeřábové kladnice



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČSN ISO 4301-1. *Jeřáby a zdvihací zařízení. Klasifikace. Část 1: Všeobecně*. 1992. 8 s.
- [2] ČSN 27 0100. *Zdvihací zařízení. Výpočet ocelových lan pro jeřáby a zdvihadla*. 1978. 8s.
- [3] ČSN 27 1820. *Zdvihací zařízení. Kladky a bubny pro ocelová lana*. 1957. 9 s.
- [4] ČSN 02 2702. *Přidrčky čepů*. 1965. 4 s.
- [5] DRAŽAN, F., KUPKA, L. a kol. *Jeřáby*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968, 661 s.
- [6] SHIGLEY, Joseph E., MISCHKE, Charles R., BUDYNAS Richard G. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Hartl Martin a kolektiv. 1. vyd. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [7] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3. uprav. a dopl.vyd. Praha: Scientia, 2000, 911 s. ISBN 80-718-3164-6.
- [8] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 3. Brno: CERM, 2009, 223 s. ISBN 978-80-7204-636-2.
- [9] ZELENÝ, Jiří. *Stavba strojů - strojní součásti: učebnice pro střední průmyslové školy*. Vyd. 2. Praha: Computer Press, 2007, 157 s. Edice strojaře. ISBN 80-722-6311-0.
- [10] KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005, 252 s. ISBN 80-251-0498-2.
- [11] Region s.r.o.: *Ocelová lana* [online]. [2013] [cit. 2013-04-26]. Dostupný z: <<http://www.region-lana.cz/ocelova-lana/sestipramenna-ocelova-lana---seal---warrington/sestipramenne-ocelove-lano---seal---warrington---186-dratu-6-x-31.html>>.
- [12] Pavlínek s.r.o.: *Jeřábové háky* [online]. [2013] [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <<http://www.vazaky-online.cz/jednoduchy-jerabovy-hak-typ-rs-a-rf-s-pojistkou-23/>>.
- [13] ZKL, a.s.: *Jednořadá kuličková ložiska* [online]. [2012] [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <<http://www.zkl.cz/cs/cat/srbb/6213>>.
- [14] ZKL, a.s.: *Axiální kuličková ložiska* [online]. [2012] [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <<http://www.zkl.cz/cs/cat/sdtbb/51213>>.
- [15] Královo pole cranes, a.s.: *Jeřábové kladnice* [online]. [2013] [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <<http://www.kpc.cz/cs/produkty/zavesne-prostredky/klasicke-kladnice.aspx>>.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

b	[mm]	šířka příčnicku
$b_1, b_2, b_3, h_1, h_2, h_3$	[mm]	rozměry příčnicku dle obr. 3.5
c	[-]	vzdálenost dle obr
c_{II}	[-]	součinitel snížení napětí pro míjivé zatížení
D	[mm]	teoretický průměr vodící kladky
d	[mm]	velký průměr závitu
d_1	[mm]	malý průměr závitu
d_2	[mm]	střední průměr závitu
d_2	[mm]	střední průměr závitu
d_3	[mm]	malý průměr šroubu
d_{ξ}	[mm]	průměr čepu kladek
$d_{\xi k}$	[mm]	průměr čepu kladek
$d_{\xi p}$	[mm]	průměr čepu příčnicku
D_k	[mm]	jmenovitý průměr vodící kladky
d_l	[mm]	průměr lana
F_{AX}	[N]	axiální síla působící na ložisko
F_B	[N]	síla působící na bočnici
F_C	[N]	celková síla
F_L	[N]	osová síla v laně
F_P	[N]	únosnost lana
F_R	[N]	síla na působící kladky
F_{RAD}	[N]	radiální síla působící na jedno ložisko
F_S	[N]	statická síla
g	[m.s ⁻²]	tíhové zrychlení
H_1	[mm]	nosná hloubka závitu



h_B	[mm]	šířka bočnice
i	[-]	počet kladek
k_b	[-]	součinitel bezpečnosti bočnice
$k_{\check{c}}$	[-]	součinitel bezpečnosti čepu kladek
k_L	[-]	součinitel bezpečnosti lana
k_p	[-]	součinitel bezpečnosti příčnicku
l_m	[mm]	délka závitu matice
m_K	[kg]	předpokládaná hmotnost kladnice
M_{Omax}	[N.mm]	maximální ohybový moment
n	[-]	počet nosných průřezů lana
p_B	[MPa]	skutečné otláčení
p_D	[MPa]	dovolené otláčení
p_{Dz}	[MPa]	dovolené otláčení závitu
p_z	[MPa]	otlačení závitu
Q	[kg]	hmotnost břemene
R_e	[MPa]	mez kluzu materiálu
R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu
s	[mm]	stoupání závitu
t	[mm]	tloušťka bočnice
v_z	[m.s ⁻¹]	zdvihová rychlost
W_O	[mm ³]	průřezový modul v ohybu
α	[mm]	součinitel koncentrace napětí
α_{kl}	[-]	součinitel závislý na druhu kladky a druhu provozu
γ	[-]	součinitel náhodného zavěšení břemene
η	[-]	účinnost kladkostroje
σ_D	[MPa]	dovolené napětí



σ_{Do}	[MPa]	dovolené ohybové napětí
σ_{Dt}	[MPa]	dovolené napětí v tahu
σ_o	[MPa]	ohybové napětí
$\sigma_{o\max}$	[MPa]	maximální napětí v ohybu
σ_{RED}	[MPa]	redukované napětí
σ_t	[MPa]	skutečné napětí v tahu
τ_s	[MPa]	smykové napětí



SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace

Jeřábová kladnice	sestava	1-A5-2-100
	kusovník	K-4-A5-2-100
Příčník	výkres součástí	3-A5-2-104