



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

SLOUPOVÝ VÝLOŽNÍKOVÝ JEŘÁB

PILLAR JIB CRANE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Dvořák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	David Dvořák
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

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:

Sloupový výložníkový jeřáb

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh konstrukce sloupového jeřábu včetně důležitých pevnostních výpočtů dle zadaných parametrů:

- délka vyložení ramene 3 150 mm,
- výška zdvihu 5 850 mm,
- nosnost 1 700 kg.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat technickou zprávu s rozбором konstrukce, s výběrem vhodného kladkostroje a s důležitými pevnostními výpočty.

Nakreslit konstrukční výkres sestavy sloupového jeřábu dle zadaných parametrů, detailní výkres sloupu.

Seznam literatury:

Shigley, J.E.,Mischke, Ch.R.,Budynas, R.G.(2010): Konstruování strojních součástí. ISBN 978-8-214-2629-0.

Bigoš, P.,Kulka, J.,Kopas, M.,Mantič, M.(2012): Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. TU v Košiciach. ISBN 978-80-553-1187-6.

Jančík, L.(2004): Části a mechanismy strojů. ČVUT Praha.

Klimeš, P.(2003): Části a mechanismy strojů I, II. VUT v Brně.

Janíček, P., Ondráček, E., Vrbka, J.(1992): Pružnost a pevnost. VUT v Brně.

Gajdůšek, J., Škopán, M.(1988): Teorie dopravních a manipulačních zařízení. VUT v Brně.

Kolář, D. a kol. (1991): Části a mechanismy strojů. Konstrukční cvičení, návody, podklady. VUT v Brně. ISBN 80-214-0371-3.

ČSN EN 13001-1+A1 (2009): Jeřáby - Návrh všeobecně - část 1: Základní principy a požadavky. Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha. 28 str.

ČSN EN 13001-3-1+A1 (2013): Jeřáby - Návrh všeobecně - část 3-1: Mezní stavy a prokázání způsobilosti ocelových konstrukcí. Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha. 99 str.

ČSN EN 13001-1+A1 (2011): Jeřáby - Návrh všeobecně - část 2: Účinky zatížení. Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha. 56 str.

ČSN 27 0103 (1991): Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů - výpočet podle mezních stavů. Český normalizační institut. Praha. 68 str.

ČSN EN 15011 (2011): Jeřáby - mostové a portálové jeřáby. Úřad pro normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha. 80 str.

ČSN ISO 4301-1 (1992): Jeřáby a zdvihací zařízení - klasifikace - část 1: Všeobecně. Úřad pro normalizaci a měření. Praha. 8 str.

ČSN 73 1401 (1998): Navrhování ocelových konstrukcí. Český normalizační institut. Praha. 93 str.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce sloupového výložníkového jeřábu s nosností 1700 kg, délkou vyložení ramene 3150 mm a výškou zdvihu 5850 mm. Práce obsahuje důležité pevnostní výpočty pro návrh hlavních nosných prvků jeřábu a výběr vhodného kladkostroje. Součástí práce je také výkres sestavy a detailního výkresu sloupu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Sloupový výložníkový jeřáb, sloup, výložník, zdvihací ústrojí, pevnostní výpočet

ABSTRACT

This bachelor thesis deal with the construction design of derrick crane with these technical parameters: lifting capacity is 1700 kg, unloading length is 3150 mm and height of lifting is 5850 mm. The thesis contains strength calculations for proposals major structural elements and selection of suitable hoist. A part of the work is also assembly drawing and detailed drawing of pillar.

KEYWORDS

Pillar jib crane, pillar, jib, lifting gear, strength calculation



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, D. *Jeřáb sloupový výložníkový*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 55 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D..



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27. května 2016

.....

David Dvořák



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za odborné rady při tvorbě této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.



OBSAH

Úvod	10
1 Zadání	11
2 Volba konstrukce sloupového jeřábu	12
2.1 rozdělení sloupových jeřábů	12
2.1.1 Polootočný sloupový jeřáb se spodní podpěrou	12
2.1.2 Polootočný sloupový jeřáb s horní podpěrou	12
2.1.3 Plně otočný sloupový jeřáb se spodní podpěrou	13
2.2 Volba typu konstrukce	13
3 Volba kladkostroje	14
3.1 Porovnání vybraných kladkostrojů	14
3.2 Zvolený kladkostroj	14
4 Příslušenství	16
4.1 Koncové nárazníky	16
4.2 Kabelová vlečka	16
5 Návrh profilů konstrukce	17
5.1 Profil sloupu	17
5.2 Profil výložníku	17
5.3 Profil podpěry	18
6 Návrhový výpočet	19
6.1 Charakteristika provozu jeřábu	19
6.2 Stanovení součinitelů zatížení	19
6.3 Výpočet zatížení	20
6.3.1 Zatížení vlastní hmotností kladkostroje	20
6.3.2 Zatížení od jmenovitého břemene	20
6.3.3 Celková působící síla	20
6.3.4 Zatížení od vlastní hmotnosti výložníku	21
6.3.5 Zatížení od vlastní hmotnosti podpěry	21
6.3.6 Zatížení od vlastní hmotnosti sloupu	21
6.4 Výpočet silového působení	22
6.4.1 Klasifikace vazeb	22
6.4.2 Kinematický rozbor	22
6.4.3 Uvolnění těles	23
6.4.4 Statický rozbor	23
6.4.5 Výpočet reakcí	24
6.5 Výsledné vnitřní účinky	25

6.5.1	Výpočet VVU výložníku a podpěry	25
6.5.2	Výpočet VVU sloupu	28
6.6	Návrh profilů z hlediska mezního stavu pružnosti	30
6.6.1	Návrh výložníku	30
6.6.2	Návrh sloupu	31
6.6.3	Návrh podpěry	32
6.7	Návrh ložiska v bodě C	33
6.8	Návrh ložiska v bodě B	34
6.9	Návrh ukotvení sloupového jeřábu	35
7	Kontrola konstrukce	38
7.1	Kontrola svarů	38
7.1.1	Kontrola svaru spojující čep a výložník	38
7.1.2	Výpočet svaru spojující výložník a podpěru	39
7.2	Vzpěrná stabilita sloupu	41
7.3	Přetvoření konstrukce	43
7.3.1	Kontrola přetvoření výložníku	43
7.3.2	Kontrola přetvoření sloupu	44
7.3.3	Celkové přetvoření konstrukce	45
	Závěr	46
	Seznam použitých zkratk a symbolů	49
	Seznam obrázků	54
	Seznam příloh	55



ÚVOD

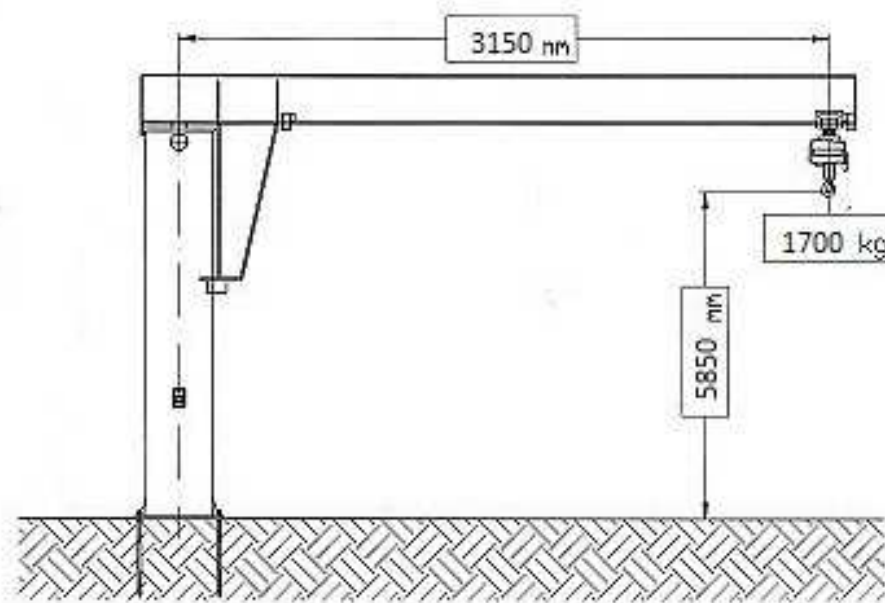
Jeřáb je stroj určený ke zvedání nebo přemísťování břemene v prostoru, přičemž je břemeno zavěšeno na háku nebo uchopeno jiným způsobem. Jednotlivých typů jeřábů je velké množství, proto se zaměřím pouze na sloupový výložníkový jeřáb.

Tento typ je vhodný pro použití ve strojírenské praxi pro manipulaci s těžkými břemeny v rámci jednoho pracoviště. Nejčastější využití je ve výrobních halách, skladech apod. Výhodou je malá plocha potřebná k ukotvení jeřábu. Nosnost se pohybuje obvykle do 6t. Hlavní částí sloupového jeřábu je sloup a otočný výložník, po kterém pojíždí zdvihací ústrojí. Mohou být otočné o 360° při použití spodní podpěry, která se odvaluje po sloupu nebo otočné o 270°, kdy je výložník uchycen ke sloupu pomocí navařených patek.



1 ZADÁNÍ

Nosnost: 1700 kg
Délka vyložení ramene: 3150 mm
Zdvih: 5850 mm



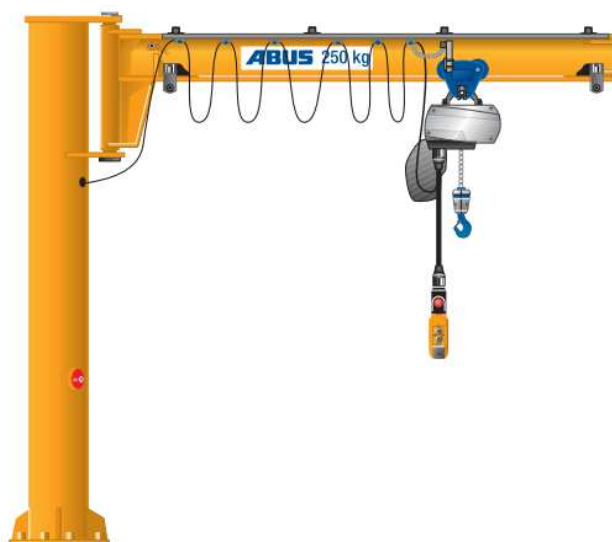
Obr. 1: Schéma sloupového jeřábu [18]

2 VOLBA KONSTRUKCE SLOUPOVÉHO JEŘÁBU

2.1 ROZDĚLENÍ SLOUPOVÝCH JEŘÁBŮ

2.1.1 POLOOTOČNÝ SLOUPOVÝ JEŘÁB SE SPODNÍ PODPĚROU

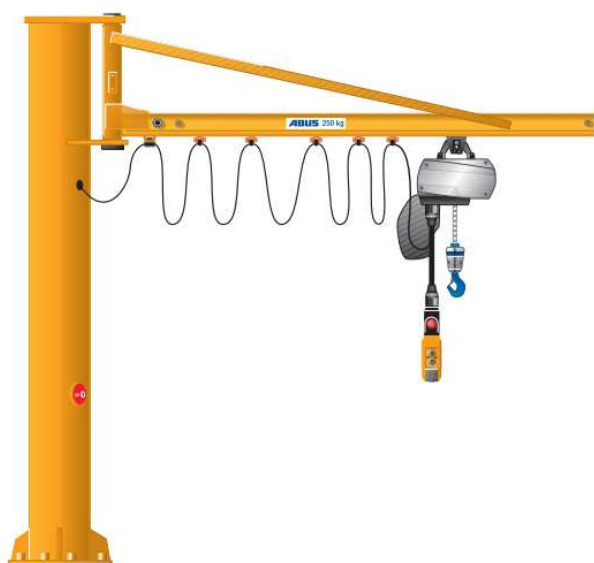
Jeřáb otočný o 270° s nosností až 2000 kg a délkou vyložení až 7 m.



Obr. 2: Polootočný sloupový jeřáb se spodní podpěrou [9]

2.1.2 POLOOTOČNÝ SLOUPOVÝ JEŘÁB S HORNÍ PODPĚROU

Jeřáb otočný o 270° s nosností do 1000 kg a délkou vyložení až 7 m.



Obr. 3: Polootočný sloupový jeřáb s horní podpěrou [9]

2.1.3 PLNĚ OTOČNÝ SLOUPOVÝ JEŘÁB SE SPODNÍ PODPĚROU

Jeřáb otočný o 360° s nosností do 4000 kg a délkou vyložení až 10 m.



Obr. 4: Plně otočný sloupový jeřáb se spodní podpěrou [9]

2.2 VOLBA TYPU KONSTRUKCE

Zadání neurčuje rozsah otáčení jeřábu, proto je volen plně otočný sloupový jeřáb s dolní podpěrou. Tento typ umožňuje otáčení jeřábu o 360°. Přenos elektrické energie je zajištěn pomocí kroužkového sběrače a otáčení břemene je vykonáváno ručně.



3 VOLBA KLADKOSTROJE

3.1 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH KLADKOSTROJŮ

Při výběru kladkostroje jsem se zaměřil na elektrické řetězové kladkostroje s elektrickým pojezdem. Jediné zadané kritérium je nosnost, která činí 1700 kg. Jako další důležitá kritéria pro výběr volím cenu a hmotnost kladkostroje. Z široké škály výrobců kladkostrojů jsem se zaměřil na výrobce Abus, Giga, Star Liftket a Demag.

Tab. 1: přehled kladkostrojů

Výrobce		ABUS	GIGA	LIFTKET	DEMAG
Typ		GM6 2000.5-2/EF 22	CH3 2000.5 - JE	STAR 071/55	CLW2000ET
Nosnost	[1]	2000	2000	2000	2000
Rychlost zdvihu	[1]	1,3/5	1,25/5	0,75/3	1/4
Rychlost pojezdu	[1]	5/20	5/20	5/20	6/20
Hmotnost	[1]	112	85	86	115
Cena bez DPH	[1]	85000	69300	75000	86700

3.2 ZVOLENÝ KLADKOSTROJ

Po porovnání jednotlivých typů volím kladkostroj GIGA CH3 2000.5-JE [8].

Parametry zvoleného kladkostroje:

- Typ CH3 2000.5-JE
- Nosnost 2000 kg
- Výška zdvihu 6 m
- Rychlost zdvihu 1,25/5 m/min
- Motor zdvihu 0,45/1,9 kW
- Rychlost pojezdu 5/20 m/min
- Motor pojezdu 0,06/0,25 kW
- Pracovní teplota -10°C až +40°C

- Provozní napětí 400 V, 50 Hz
- Počet sepnutí (1/hod) 180 c/h
- Hmotnost 84,6 kg
- Ovladač závěsný, tlačítkový
- Pojistka proti přetížení přetěžovací (prokluzová) spojka



Obr. 5: Kladkostroj Giga [8]

4 PŘÍSLUŠENSTVÍ

4.1 KONCOVÉ NÁRAZNÍKY

Koncové nárazníky slouží k tlumení rázů vzniklých nájezdem kladkostroje na konec výložníku.

- **Kinetická energie pohlcená při nárazu kladkostroje**

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_p^2 = \frac{1}{2} \cdot (m_k + m_b) \cdot v_p^2 \quad (1)$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot (84,6 + 1700) \cdot 0,33^2$$

$$E_k = 97 J$$

Kde:

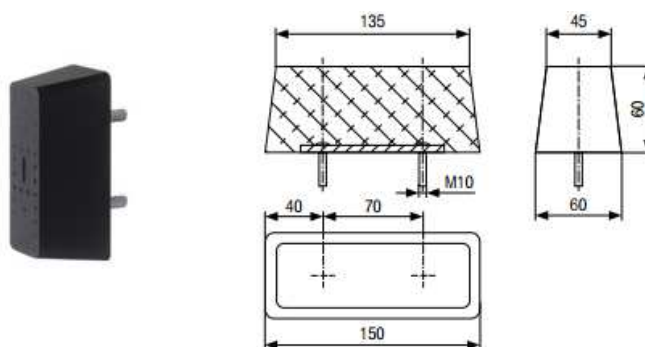
m_k [kg] hmotnost kladkostroje

m_b [kg] hmotnost břemena

v_p [m/min] rychlost pojezdu kladkostroje

$$v_p = 20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} = 0,33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Z [19] vybrán koncový nárazník s objednacím číslem 017132-060x150. Tento typ je schopen pojmout několikanásobek vypočítané kinetické energie.



Obr. 6: Koncový nárazník [19]

4.2 KABELOVÁ VLEČKA

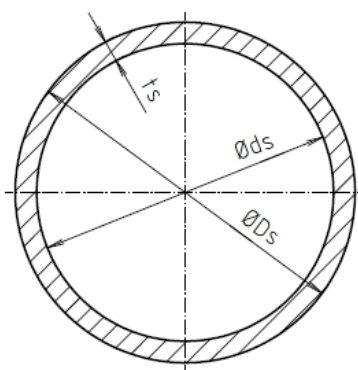
Nezbytnou součástí jeřábu je i kabelová vlečka poskytující bezpečné vedení kabelu k napájení kladkostroje a jeho pojezdu. Pojezd kabelové vlečky je v C profilu připevněném na výložníku.

5 NÁVRH PROFILŮ KONSTRUKCE

Profily konstrukce jsou voleny z materiálu S355J0. Mez kluzu materiálu $R_e = 355 \text{ MPa}$ [1].

5.1 PROFIL SLOUPU

Volena bezešvá trubka TR $\text{Ø}356 \times 22$ – ČSN 42 5715 - S355J0 [16].



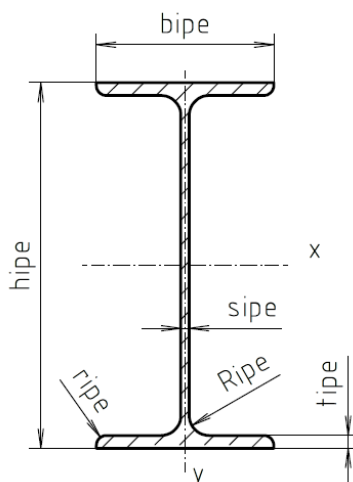
Obr. 7: Profil sloupu

Parametry sloupu:

- Vnější průměr $D_s = 355,6 \text{ mm}$
- Tloušťka stěny $t_s = 22 \text{ mm}$
- Vnitřní průměr $d_s = 311,6 \text{ mm}$
- Hmotnost $m_s = 181 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$

5.2 PROFIL VÝLOŽNÍKU

Volen profil IPE 330 ČSN 42 5553 – S355J0 [17].



Obr. 8: Profil výložníku



Parametry výložníku:

- Výška profilu $h_{ipe} = 330 \text{ mm}$
- Šířka profilu $b_{ipe} = 160 \text{ mm}$
- Tloušťka stojiny $s_{ipe} = 7,5 \text{ mm}$
- Tloušťka základny $t_{ipe} = 11,5 \text{ mm}$
- Vnější zaoblení $r_{ipe} = 9 \text{ mm}$
- Vnitřní zaoblení $R_{ipe} = 18 \text{ mm}$
- Hmotnost $m_{ipe} = 49,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$
- Moment setrvačnosti k ose x $J_{xipe} = 11770 \text{ cm}^4$
- Průřezový modul k ose x $W_{xipe} = 713 \text{ cm}^3$

5.3 PROFIL PODPĚRY

Profil podpěry je volen stejný jako profil výložníku. Profil IPE 330 ČSN 42 5553 – S355J0 [17].



6 NÁVRHOVÝ VÝPOČET

Dle ČSN 270103 je počítáno zjednodušené skutečné zatížení. Je uvažována základní kombinace zatížení. Výpočet zahrnuje zatížení od břemene, konstrukce a kladkostroje. Součinitel bezpečnosti volen $k = 2,5$, gravitační zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

6.1 CHARAKTERISTIKA PROVOZU JEŘÁBU

Voleno dle [6].

- Zdvihová třída H2
- Druh provozu D2
- Spektrum napětí S1
- Provozní skupina J4

Pravidelný, ale přerušovaný provoz.

6.2 STANOVENÍ SOUČINITELŮ ZATÍŽENÍ

Součinitele stanoveny dle [6].

- Součinitel zatížení od jmenovitého břemene $\gamma_{lo} = 1,3$
- Součinitel zatížení od vlastní hmotnosti $\gamma_g = 1,1$
- Dynamický součinitel pojezdový $\delta_t = 1,1$
- Dynamický zdvihový součinitel $\delta_h = 1,162$

$$\delta_h = 1,15 + 0,15 \cdot v_h \quad (2)$$

$$\delta_h = 1,15 + 0,15 \cdot 0,083$$

$$\delta_h = 1,162$$

Kde:

v_h [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] rychlost zdvihu kladkostroje

$$v_h = 5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} = 0,083 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

6.3 VÝPOČET ZATÍŽENÍ

Rozměry:

$$a_1 = 6450 \text{ mm}$$

$$a_2 = 1500 \text{ mm}$$

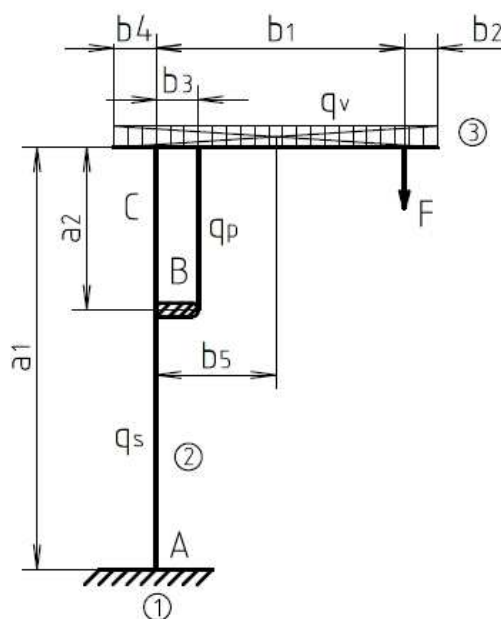
$$b_1 = 3150 \text{ mm}$$

$$b_2 = 270 \text{ mm}$$

$$b_3 = 220 \text{ mm}$$

$$b_4 = 180 \text{ mm}$$

$$b_5 = 1800 \text{ mm}$$



Obr. 9: Schéma konstrukce

6.3.1 ZATÍŽENÍ VLASTNÍ HMOTNOSTÍ KLADKOSTROJE

$$F_k = m_k \cdot g \cdot \delta_t \cdot \gamma_g \quad (3)$$

$$F_k = 84,6 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,1$$

$$F_k = 1004 \text{ N}$$

Kde:

m_k [kg] hmotnost kladkostroje

6.3.2 ZATÍŽENÍ OD JMENOVITÉHO BŘEMENE

$$F_b = m_b \cdot g \cdot \delta_h \cdot \gamma_{lo} \quad (4)$$

$$F_b = 1700 \cdot 9,81 \cdot 1,162 \cdot 1,3$$

$$F_b = 25192 \text{ N}$$

Kde:

m_b [kg] hmotnost břemena

6.3.3 CELKOVÁ PŮSOBÍCÍ SÍLA

$$F = F_k + F_b \quad (5)$$

$$F = 1004 + 25192$$

$$F = 26196 \text{ N}$$

**6.3.4 ZATÍŽENÍ OD VLASTNÍ HMOTNOSTI VÝLOŽNÍKU**

$$\begin{aligned}F_v &= q_v \cdot (b_1 + b_2 + b_4) & (6) \\F_v &= 583 \cdot (3,150 + 0,270 + 0,180) \\F_v &= 2099 \text{ N}\end{aligned}$$

Kde:

$$\begin{aligned}q_v &[\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \text{ liniové zatížení vyvolané tíhou výložníku} \\q_v &= m_{ipe} \cdot g \cdot \delta_t \cdot \gamma_g & (7) \\q_v &= 49,1 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \\q_v &= 583 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}\end{aligned}$$

6.3.5 ZATÍŽENÍ OD VLASTNÍ HMOTNOSTI PODPĚRY

$$\begin{aligned}F_p &= q_p \cdot a_3 & (8) \\F_p &= 583 \cdot 1,5 \\F_p &= 875 \text{ N}\end{aligned}$$

Kde:

$$\begin{aligned}q_p &[\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \text{ liniové zatížení vyvolané tíhou podpěry} \\q_p &= m_{ipe} \cdot g \cdot \delta_t \cdot \gamma_g & (9) \\q_p &= 49,1 \cdot 9,81 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \\q_p &= 583 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}\end{aligned}$$

6.3.6 ZATÍŽENÍ OD VLASTNÍ HMOTNOSTI SLOUPU

$$\begin{aligned}F_s &= q_s \cdot a_1 & (10) \\F_s &= 1776 \cdot 6,450 \\F_s &= 11455 \text{ N}\end{aligned}$$

Kde:

$$\begin{aligned}q_s &[\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \text{ liniové zatížení vyvolané tíhou sloupu} \\q_s &= m_s \cdot g & (11) \\q_s &= 181 \cdot 9,81 \\q_s &= 1776 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}\end{aligned}$$



6.4 VÝPOČET SILOVÉHO PŮSOBENÍ

Výpočet silového působení proveden dle [4].

6.4.1 KLASIFIKACE VAZEB

Vazba A - Vetknuti $\zeta_A = 3$

Vazba B - Obecná vazba $\zeta_B = 1$

Vazba C - Rotační kinematická dvojice $\zeta_C = 2$

Kde:

ζ [-] je počet stupňů volnosti odebraných vazbou

6.4.2 KINEMATICKÝ ROZBOR

počet odebraných deformačních parametrů $\eta = 0$

$$i = (n - 1) \cdot i_v - (\zeta_A + \zeta_B + \zeta_C - \eta) \quad (12)$$

$$i = (3 - 1) \cdot 3 - (3 + 1 + 2 - 0)$$

$$i = 6 - 6 = 0$$

Těleso je ve statické rovnováze.

Kde:

n [-] počet těles

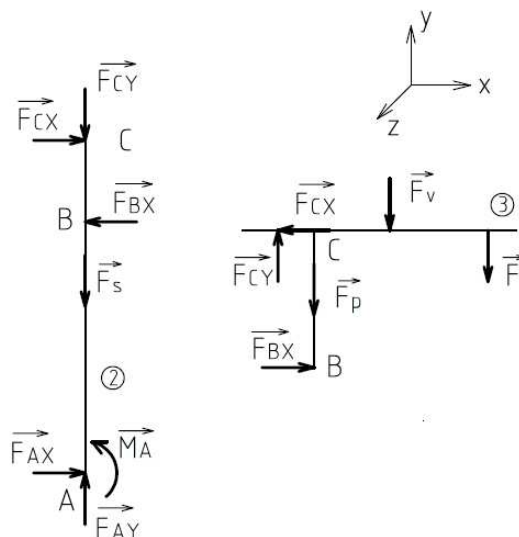
i_v [-] počet stupňů volnosti volného tělesa

η [-] počet odebraných deformačních parametrů

i [-] počet stupňů volnosti tělesa

6.4.3 UVOLNĚNÍ TĚLES

Uvolnění těles znamená nahrazení mechanických účinků vazeb silovými dvojicemi na principu akce a reakce.



Obr. 10: Uvolnění těles 2 a 3

6.4.4 STATICKÝ ROZBOR

- Počet neznámých parametrů

$$NP = \{F_{Ax}, F_{Ay}, F_{Bx}, F_{Cx}, F_{Cy}, M_A\}$$

$$\mu_F = 5$$

$$\mu_M = 1$$

$$\mu_R = 0$$

$$\mu = \mu_F + \mu_M + \mu_R$$

$$\mu = 5 + 1 + 0$$

$$\mu = 6$$

(13)

Kde:

μ_F [-] počet neznámých silových parametrů

μ_M [-] počet neznámých momentových parametrů

μ_R [-] počet neznámých polohových parametrů

F_{Ax} [N] reakční síla ve směru osy X v místě A

F_{Ay} [N] reakční síla ve směru osy Y v místě A

M_A [N · m] reakční ohybový moment v místě A

F_{Bx} [N] reakční síla ve směru osy X v místě B

F_{Cx} [N] reakční síla ve směru osy X v místě C

F_{Cy} [N] reakční síla ve směru osy Y v místě C



- **Počet použitelných statických podmínek**

$$v = v_F + v_M \quad (14)$$

$$v = 4 + 2$$

$$v = 6$$

Kde:

v_F [-] počet silových statických podmínek v rovinné soustavě

v_M [-] počet momentových statických podmínek v rovinné soustavě

- **Podmínka statické určitosti**

$$v = \mu \quad \wedge \quad \mu_M + \mu_R < v_M \quad (15)$$

$$6 = 6 \quad \wedge \quad 1 + 0 < 2$$

Podmínky jsou splněny, úloha je staticky určitá.

6.4.5 VÝPOČET REAKCÍ

Všechny síly a momenty, které působí na těleso 2 a 3 viz. obr. 10 musí být v rovnováze s reakcemi.

- **Rovnice statické rovnováhy pro těleso 3**

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_{Cy} - F - F_p - F_v = 0 \quad (16)$$

$$F_{Cy} = F + F_p + F_v$$

$$F_{Cy} = 26196 + 875 + 2099$$

$$F_{Cy} = 29170 \text{ N}$$

$$\Sigma M_C = 0$$

$$F \cdot b_1 + F_v \cdot b_5 + F_p \cdot b_3 - F_{Bx} \cdot a_2 = 0 \quad (17)$$

$$F_{Bx} = \frac{F \cdot b_1 + F_v \cdot b_5 + F_p \cdot b_3}{a_2}$$

$$F_{Bx} = \frac{26196 \cdot 3150 + 2099 \cdot 1800 + 875 \cdot 180}{1500}$$

$$F_{Bx} = 57635 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{Bx} - F_{Cx} = 0 \quad (18)$$

$$F_{Cx} = F_{Bx}$$

$$F_{Cx} = 57635 \text{ N}$$

- **Rovnice statické rovnováhy pro těleso 2**

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{Ax} + F_{Cx} - F_{Bx} = 0 \quad (19)$$

$$F_{Ax} = F_{Bx} - F_{Cx}$$

$$F_{Ax} = 57635 - 57635$$

$$F_{Ax} = 0 \text{ N}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_{Ay} - F_{Cy} - F_s = 0 \quad (20)$$

$$F_{Ay} = F_{Cy} + F_s$$

$$F_{Ay} = 29170 + 11455$$

$$F_{Ay} = 40625 \text{ N}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-M_A - F_{Bx} \cdot (a_1 - a_2) + F_{Cx} \cdot a_1 = 0 \quad (21)$$

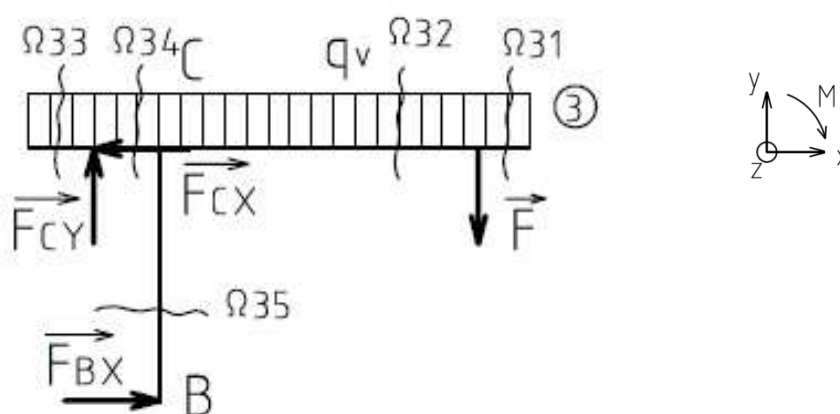
$$M_A = -F_{Bx} \cdot (a_1 - a_2) + F_{Cx} \cdot a_1$$

$$M_A = -57635 \cdot (6450 - 1500) + 57635 \cdot 6450$$

$$M_A = 86452500 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

6.5 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY

6.5.1 VÝPOČET VVU VÝLOŽNÍKU A PODPĚRY



Obr. 11: Rozdělení výložníku a podpěry na intervaly



• **Řešení intervalu Ω_{31}**

$$x_{31} \in \langle 0; b_2 \rangle$$

$$x_{31} \in \langle 0; 0,270 \rangle m$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad N_{31} = 0 N \quad (22)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad T_{31} = q_v \cdot x_{31} \quad (23)$$

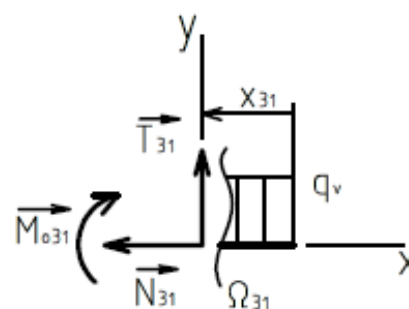
$$T_{31} = 583 \cdot \langle 0; 0,270 \rangle$$

$$T_{31} = \langle 0; 157 \rangle N$$

$$\Sigma M_{O_{31}} = 0 \quad M_{O_{31}} = -q_v \cdot \frac{x_{31}^2}{2} \quad (24)$$

$$M_{O_{31}} = -583 \cdot \frac{\langle 0^2; 0,270^2 \rangle}{2}$$

$$M_{O_{31}} = \langle 0; -21 \rangle N \cdot m$$



Obr. 12: Určení VVU v intervalu 31

• **Řešení intervalu Ω_{32}**

$$x_{32} \in \langle 0; b_1 - b_3 \rangle$$

$$x_{32} \in \langle 0; 2,930 \rangle m$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad N_{32} = 0 N \quad (25)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad T_{32} = F + q_v \cdot (0,270 + x_{31}) \quad (26)$$

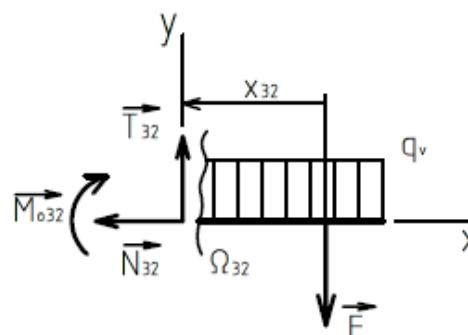
$$T_{32} = 26196 + 583 \cdot \langle 0,270; 3,2 \rangle$$

$$T_{32} = \langle 26353; 28062 \rangle N$$

$$\Sigma M_{O_{32}} = 0 \quad M_{O_{32}} = -F \cdot x_{32} - q_v \cdot \frac{(0,270 + x_{32})^2}{2} \quad (27)$$

$$M_{O_{32}} = -26196 \cdot \langle 0; 2,930 \rangle - 583 \cdot \frac{\langle 0,270; 3,2 \rangle^2}{2}$$

$$M_{O_{32}} = \langle -21; -79739 \rangle N \cdot m$$



Obr. 13: Určení VVU v intervalu 32

• **Řešení intervalu Ω_{33}**

$$x_{33} \in \langle 0; b_4 \rangle$$

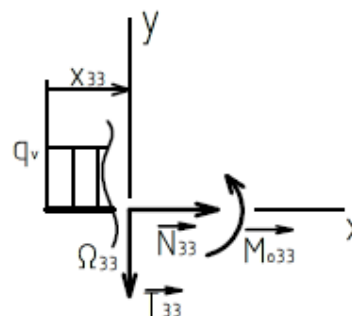
$$x_{33} \in \langle 0; 0,180 \rangle m$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad N_{33} = 0 N \quad (28)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad T_{33} = -q_v \cdot x_{33} \quad (29)$$

$$T_{33} = -583 \cdot \langle 0; 0,180 \rangle$$

$$T_{33} = \langle 0; -105 \rangle N$$



Obr. 14: Určení VVU v intervalu 33

$$\begin{aligned}\Sigma M_{O33} = 0 \quad M_{O33} &= -q_v \cdot \frac{x_{33}^2}{2} \\ M_{O33} &= -583 \cdot \frac{\langle 0; 0,180 \rangle^2}{2} \\ M_{O33} &= \langle 0; -9,5 \rangle N \cdot m\end{aligned}\quad (30)$$

• **Řešení intervalu Ω_{34}**

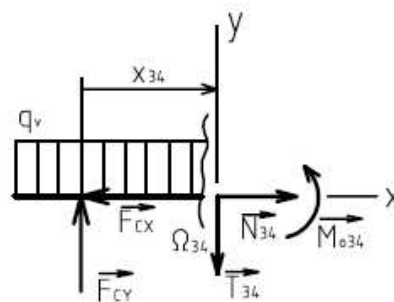
$$x_{34} \in \langle 0; b_3 \rangle$$

$$x_{34} \in \langle 0; 0,220 \rangle m$$

$$\begin{aligned}\Sigma F_x = 0 \quad N_{34} &= F_{Cx} \\ N_{34} &= 57635 N\end{aligned}\quad (31)$$

$$\begin{aligned}\Sigma F_y = 0 \quad T_{34} &= -q_v \cdot (0,180 + x_{34}) + F_{Cy} \\ T_{34} &= -583 \cdot \langle 0,180; 0,4 \rangle + 29170 \\ T_{34} &= \langle 29065; 28937 \rangle N\end{aligned}\quad (32)$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{O34} = 0 \quad M_{O34} &= F_{Cy} \cdot x_{34} - q_v \cdot \frac{(0,180 + x_{34})^2}{2} \\ M_{O34} &= 29170 \cdot \langle 0; 0,22 \rangle - 583 \cdot \frac{\langle 0,180; 0,4 \rangle^2}{2} \\ M_{O34} &= \langle -9,5; 6371 \rangle N \cdot m\end{aligned}\quad (33)$$



Obr. 15: Určení VVU v intervalu 34

• **Řešení intervalu Ω_{35}**

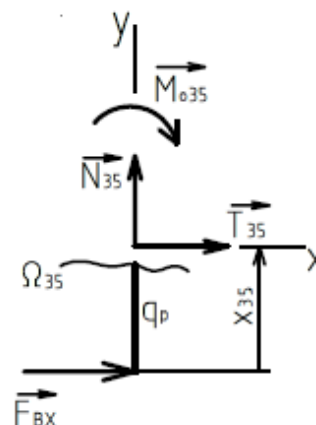
$$x_{35} \in \langle 0; a_3 \rangle$$

$$x_{35} \in \langle 0; 1,5 \rangle m$$

$$\begin{aligned}\Sigma F_x = 0 \quad N_{35} &= q_p \cdot x_{35} \\ N_{35} &= 583 \cdot \langle 0; 1,5 \rangle \\ N_{35} &= \langle 0; 875 \rangle N\end{aligned}\quad (34)$$

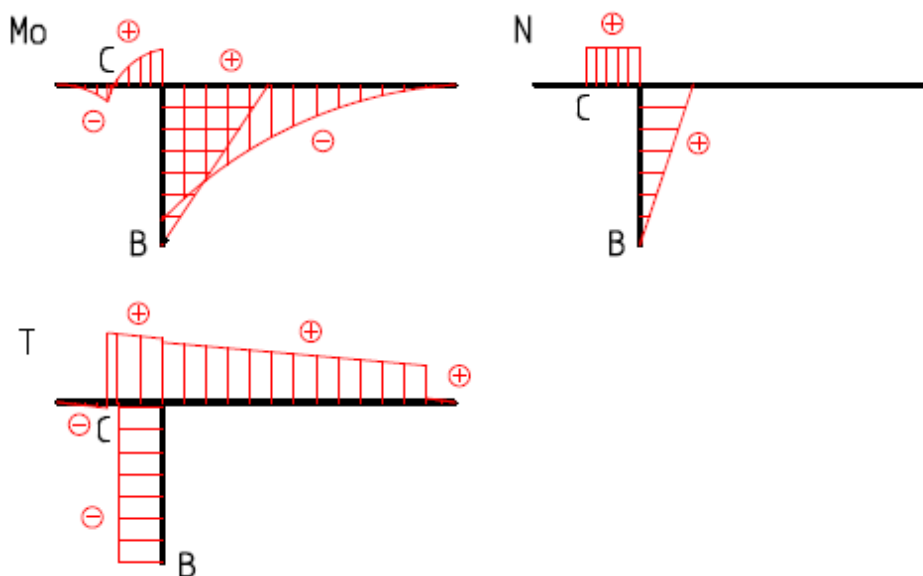
$$\begin{aligned}\Sigma F_y = 0 \quad T_{35} &= -F_{Bx} \\ T_{35} &= -57635 N\end{aligned}\quad (35)$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_{O35} = 0 \quad M_{O35} &= F_{Bx} \cdot x_{35} \\ M_{O35} &= 57635 \cdot \langle 0; 1,5 \rangle \\ M_{O35} &= \langle 0; 86452,5 \rangle N \cdot m\end{aligned}\quad (36)$$



Obr. 16: Určení VVU v intervalu 35

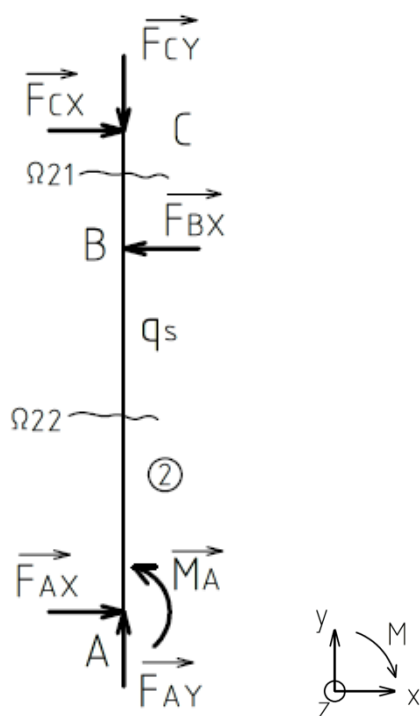
- Vyhodnocení VVU výložníku a podpěry



Obr. 17: Grafické vyjádření M_o , N , T výložníku a podpěry

Z obr. 17 je vidět, že největší namáhání ohybovým momentem je v místě spojení výložníku a podpěry.

6.5.2 VÝPOČET VVU SLOUPU



Obr. 18: Rozdělení sloupu na intervaly

- **Řešení intervalu Ω_{21}**

$$x_{21} \in \langle 0; a_2 \rangle$$

$$x_{21} \in \langle 0; 1,5 \rangle m$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad N_{21} = -q_s \cdot x_{21} - F_{Cy} \quad (37)$$

$$N_{21} = -1776 \cdot \langle 0; 1,5 \rangle - 29170$$

$$N_{21} = \langle -29170; -31834 \rangle N$$

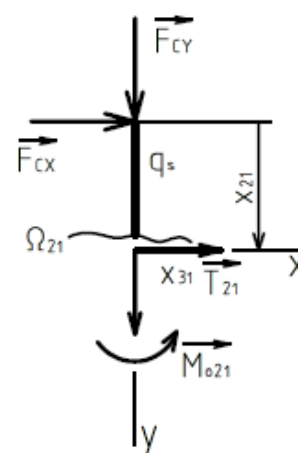
$$\Sigma F_y = 0 \quad T_{21} = F_{Cx} \quad (38)$$

$$T_{21} = 57635 N$$

$$\Sigma M_{O_{21}} = 0 \quad M_{O_{21}} = F_{Cx} \cdot x_{21} \quad (39)$$

$$M_{O_{21}} = 57635 \cdot \langle 0; 1,5 \rangle$$

$$M_{O_{21}} = \langle 0; 86452,5 \rangle N \cdot m$$



Obr. 19: Určení VVU v intervalu 21

- **Řešení intervalu Ω_{22}**

$$x_{22} \in \langle 0; a_1 - a_2 \rangle$$

$$x_{22} \in \langle 0; 4,950 \rangle m$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad N_{22} = -q_s \cdot (1,5 + x_{22}) - F_{Cy} \quad (40)$$

$$N_{22} = -1776 \cdot \langle 1,5; 6,45 \rangle - 29170$$

$$N_{22} = \langle -31834; -40625 \rangle N$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad T_{22} = F_{Cx} - F_{Bx} \quad (41)$$

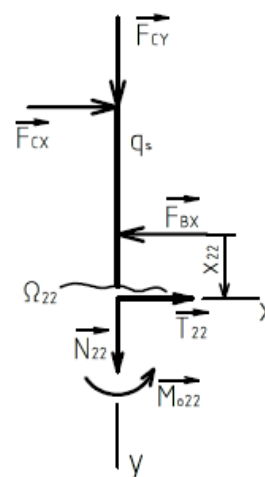
$$T_{22} = 57635 - 57635$$

$$T_{22} = 0 N$$

$$\Sigma M_{O_{22}} = 0 \quad M_{O_{22}} = F_{Cx} \cdot (1,5 + x_{22}) - F_{Bx} \cdot x_{22} \quad (42)$$

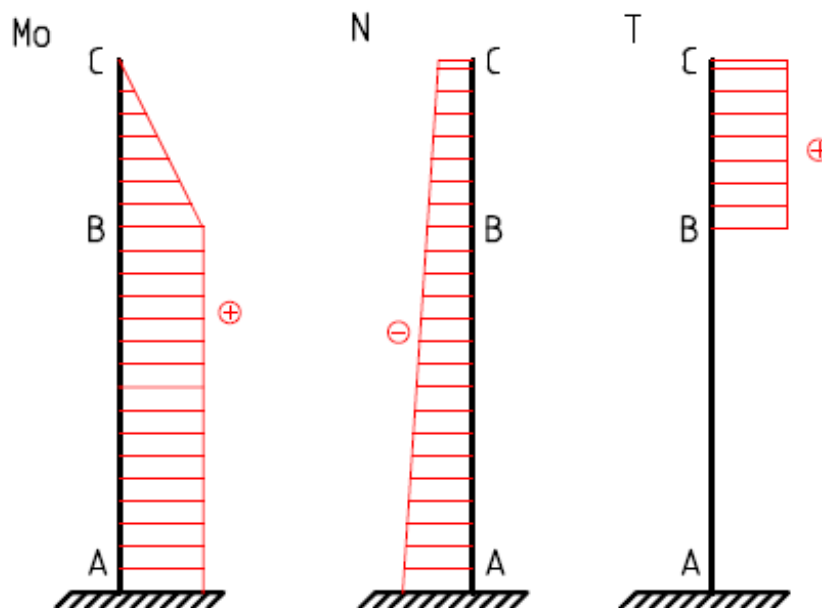
$$M_{O_{22}} = 57635 \cdot \langle 1,5; 6,45 \rangle - 57635 \cdot \langle 0; 4,950 \rangle$$

$$M_{O_{22}} = \langle 86452,5; 86452,5 \rangle N \cdot m$$



Obr. 20: Určení VVU v intervalu 22

- Vyhodnocení VVU sloupu



Obr. 21: Grafické vyjádření M_o , N , T sloupu

6.6 NÁVRH PROFILŮ Z HLEDISKA MEZNÍHO STAVU PRUŽNOSTI

- Dovolené napětí v ohybu

Pro materiál S355J0 je mez kluzu $R_e = 355$ MPa [1].

$$\sigma_{OD} = \frac{R_e}{k} \quad (43)$$

$$\sigma_{OD} = \frac{355}{2,5}$$

$$\sigma_{OD} = 142 \text{ MPa}$$

6.6.1 NÁVRH VÝLOŽNÍKU

- Minimální průřezový modul

$$\sigma_{OD} = \frac{M_{OVmax}}{W_{OVmin}} \rightarrow W_{OVmin} = \frac{M_{OVmax}}{\sigma_{OD}} \quad (44)$$

$$W_{ovmin} = \frac{79739}{142 \cdot 10^6}$$

$$W_{ovmin} = 0,000562 \text{ m}^3 = 562 \text{ cm}^3$$

Kde:

M_{OVmax} [N · m] maximální ohybový moment působící na výložník

$$M_{OVmax} = M_{O32} = 79739 \text{ N} \cdot \text{m}$$



- **Porovnání minimálního modulu průřezu s hodnotou profilu**

$$W_{X_{IPE}} \geq W_{ovmin} \quad (45)$$

$713 \text{ cm}^3 > 562 \text{ cm}^3 \rightarrow$ Zvolený profil IPE vyhovuje

- **Skutečné ohybové napětí výložníku**

$$\sigma_{OV} = \frac{M_{OVmax}}{W_{X_{IPE}}} \quad (46)$$

$$\sigma_{OV} = \frac{79739}{713 \cdot 10^{-6}}$$

$$\sigma_{OV} = 111,8 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} = 111,8 \text{ MPa}$$

- **Porovnání napětí**

$$\sigma_{OD} \geq \sigma_{OV} \quad (47)$$

$142 \text{ MPa} > 111,8 \text{ MPa} \rightarrow$ Zvolený profil vyhovuje

6.6.2 NÁVRH SLOUPU

- **Minimální průřezový modul**

$$\sigma_{OD} = \frac{M_{OSmax}}{W_{OSmin}} \rightarrow W_{OSmin} = \frac{M_{OSmax}}{\sigma_{OD}} \quad (48)$$

$$W_{OSmin} = \frac{86452,5}{142 \cdot 10^6}$$

$$W_{OSmin} = 0,000609 \text{ m}^3 = 609 \text{ cm}^3$$

Kde:

M_{OSmax} [N · m] maximální ohybový moment působící na sloup

$$M_{OSmax} = M_{O21} = M_{O22} = 86452,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- **Porovnání minimálního modulu průřezu s hodnotou profilu**

$$W_{X_{SL}} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_s^4 - d_s^4}{D_s} \quad (49)$$

$$W_{X_{SL}} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{355,6^4 - 311,6^4}{355,6}$$

$$W_{X_{SL}} = 1,812 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 = 1,812 \text{ cm}^3$$

$$W_{X_{SL}} \geq W_{OSmin} \quad (50)$$

$1812 \text{ cm}^3 > 609 \text{ cm}^3 \rightarrow$ Zvolený profil vyhovuje



- **Skutečné ohybové napětí sloupu**

$$\sigma_{OS} = \frac{M_{OSmax}}{W_{XSL}} \quad (51)$$

$$\sigma_{OS} = \frac{86452,5}{1812 \cdot 10^{-6}}$$

$$\sigma_{OS} = 47,7 \cdot 10^{-6} Pa = 47,7 MPa$$

- **Porovnání napětí**

$$\sigma_{OD} \geq \sigma_{OS} \quad (52)$$

$$142 MPa > 47,7 MPa \rightarrow \text{Zvolený profil vyhovuje}$$

6.6.3 NÁVRH PODPĚRY

- **Minimální průřezový modul**

$$\sigma_{OD} = \frac{M_{OPmax}}{W_{OPmin}} \rightarrow W_{OPmin} = \frac{M_{OPmax}}{\sigma_{OD}} \quad (53)$$

$$W_{OPmin} = \frac{86452,5}{142 \cdot 10^6}$$

$$W_{OPmin} = 0,000609 m^3 = 609 cm^3$$

Kde:

M_{OPmax} [N · m] maximální ohybový moment působící na podpěru

$$M_{OPmax} = M_{O35} = 86452,5 N \cdot m$$

- **Porovnání minimálního modulu průřezu s hodnotou profilu**

$$W_{XIFE} \geq W_{OPmin} \quad (54)$$

$$713 cm^3 > 609 cm^3 \rightarrow \text{Zvolený profil vyhovuje}$$

- **Skutečné ohybové napětí podpěry**

$$\sigma_{OP} = \frac{M_{OPmax}}{W_{XIFE}} \quad (55)$$

$$\sigma_{OP} = \frac{86452,5}{713 \cdot 10^{-6}}$$

$$\sigma_{OP} = 121,3 \cdot 10^{-6} Pa = 121,3 MPa$$

- **Porovnání napětí**

$$\sigma_{OD} \geq \sigma_{OP} \quad (56)$$

$$142 MPa > 121,3 MPa \rightarrow \text{Zvolený profil vyhovuje}$$

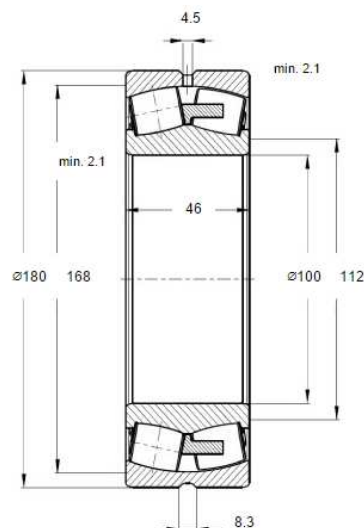
6.7 NÁVRH LOŽISKA V BODĚ C

Na ložisko v bodě C působí reakce F_{CX} a F_{CY} , musí tedy přenést axiální a radiální složku síly. Otáčení výložníku je prováděno při nízkých otáčkách, uvažují pouze statické namáhání.

Volím dvouřadé soudečkové ložisko 22220EW33MH dle [14].

Parametry ložiska v bodě C:

- Vnější průměr $D_c = 180 \text{ mm}$
- Vnitřní průměr $d_c = 100 \text{ mm}$
- Šířka ložiska $B_c = 46 \text{ mm}$
- Hmotnost $m_c = 5 \text{ kg}$
- Dovolená statická únosnost $C_{0l} = 510000 \text{ N}$
- Součinitel axiálního zatížení $Y_o = 2,7$



Obr. 22: Dvouřadé soudečkové ložisko [14]

• Výpočet ekvivalentního statického zatížení

$$P_{OC} = F_R + Y_o \cdot F_A \quad (57)$$

$$P_{OC} = 57635 + 2,7 \cdot 29170$$

$$P_{OC} = 136394 \text{ N}$$

Kde:

F_R [N] radiální složka síly

F_A [N] axiální složka síly

$$F_R = F_{CX} = 57635 \text{ N}$$

$$F_A = F_{CY} = 29170 \text{ N}$$

• Výpočet statické únosnosti

$$C_{OC} = P_{OC} \cdot S_{OC} \quad (58)$$

$$C_{OC} = 136394 \cdot 3$$

$$C_{OC} = 409182 \text{ N}$$

• Porovnání statické únosnosti

$$C_{0l} \geq C_{OC} \quad (59)$$

$510000 \text{ N} > 409182 \text{ N} \rightarrow$ Zvolené ložisko vyhovuje



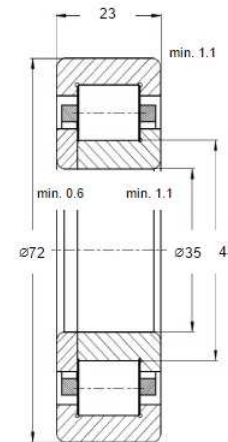
6.8 NÁVRH LOŽISKA V BODĚ B

V bodě B působí reakce F_{BX} , ložisko musí přenést radiální sílu.

Volím jednořadé válečkové ložisko NUP2207ETNG dle [15].

Parametry ložiska v bodě B:

- Vnější průměr $D_b = 72 \text{ mm}$
- Vnitřní průměr $d_b = 35 \text{ mm}$
- Šířka ložiska $B_b = 23 \text{ mm}$
- Hmotnost $m_b = 0,4 \text{ kg}$
- Dovolena statická únosnost $C_{o2} = 64300 \text{ N}$



Součinitel statické bezpečnosti $S_{OB} = 1.5$ volen dle [20].

Obr. 23: Jednořadé válečkové ložisko [15]

- **Síla působící na jedno ložisko**

$$F_{BL} = \frac{F_{BX}}{2 \cdot \cos \varphi} \quad (60)$$

$$F_{BL} = \frac{57635}{2 \cdot \cos 17^\circ}$$

$$F_{BL} = 30134 \text{ N}$$

Kde:

L_l [mm] rozteč opěrných kroužků

$$L_l = 160 \text{ mm}$$

D_O [mm] průměr opěrného kroužku

$$D_O = 120 \text{ mm}$$

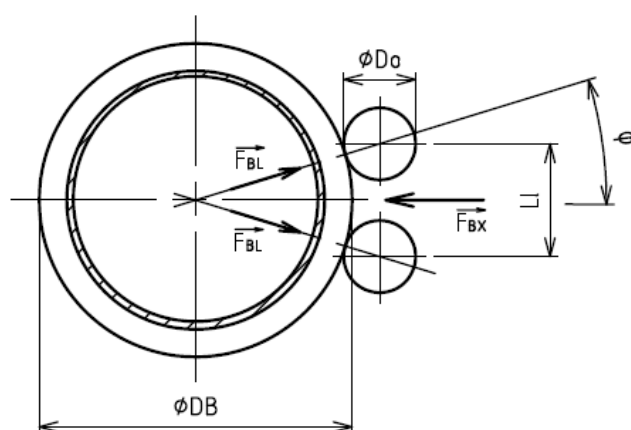
D_B [mm] průměr odvalovacího pásu

$$D_B = 440 \text{ mm}$$

φ [°] úhel rozpětí opěrných kroužků

$$\sin \varphi = \frac{\frac{L_l}{2}}{\frac{D_B}{2} + \frac{D_O}{2}} \quad (61)$$

$$\sin \varphi = \frac{\frac{160}{2}}{\frac{440}{2} + \frac{120}{2}} \rightarrow \varphi = 17^\circ$$



Obr. 24: : Zatížení opěrných kroužků

- **Výpočet ekvivalentního statického zatížení**

$$P_{OB} = F_{BL} \quad (62)$$

$$P_{OB} = 30134 \text{ N}$$

- **Výpočet statické únosnosti**

$$C_{BO} = P_{OB} \cdot S_{OB} \quad (63)$$

$$C_{BO} = 30134 \cdot 1,5$$

$$C_{BO} = 45201 \text{ N}$$

- **Porovnání statické únosnosti**

$$C_{O2} \geq C_{BO} \quad (64)$$

$$64300 \text{ N} > 45201 \text{ N} \rightarrow \text{Zvolené ložisko vyhovuje}$$

6.9 NÁVRH UKOTVENÍ SLOUPOVÉHO JEŘÁBU

Jeřáb je upevněn pomocí kotevních šroubů do betonového základu. Volím šrouby s pevností 8.8.

Mez kluzu šroubu $R_{eš} = 660 \text{ MPa}$ dle [1, str. 442].

Klopný moment $M_{kl} = M_A = 86452,5 \text{ N} \cdot \text{m}$.

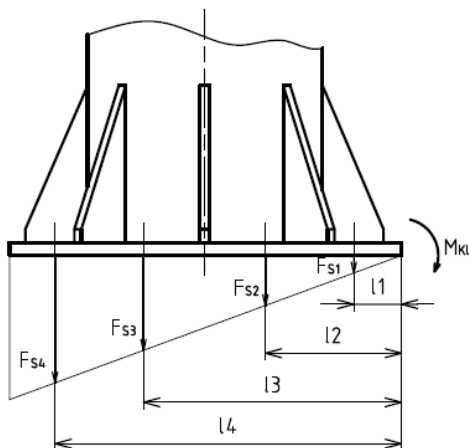
Vzdálenosti sil:

$$l_1 = 87,5 \text{ mm}$$

$$l_2 = 212 \text{ mm}$$

$$l_3 = 388 \text{ mm}$$

$$l_4 = 512,5 \text{ mm}$$



Obr. 25: Schéma ukotvení

- Výpočet dovoleného napětí šroubu

$$\sigma_{OD\check{s}} = \frac{Re\check{s}}{k} \quad (65)$$

$$\sigma_{OD\check{s}} = \frac{660}{2,5} = 264 \text{ MPa}$$

- Výpočet maximální síly ve šroubu

Výpočet maximální síly ve šroubu dle [1, str. 483].

$$M_{kl} = 2 \cdot F_{s1} \cdot l_1 + 2 \cdot F_{s2} \cdot l_2 + 2 \cdot F_{s3} \cdot l_3 + 2 \cdot F_{s4} \cdot l_4 \quad (66)$$

Předpokládám lineární nárůst síly ve šroubu od hrany klopení.

Platí:

$$\frac{F_{s1}}{l_1} = \frac{F_{s2}}{l_2} = \frac{F_{s3}}{l_3} = \frac{F_{s4}}{l_4} \quad (67)$$

$$F_{s1} = F_{s4} \cdot \frac{l_1}{l_4} \quad F_{s2} = F_{s4} \cdot \frac{l_2}{l_4} \quad F_{s3} = F_{s4} \cdot \frac{l_3}{l_4}$$

$$M_{kl} = 2 \cdot F_{s4} \cdot \frac{l_1^2}{l_4} + 2 \cdot F_{s4} \cdot \frac{l_2^2}{l_4} + 2 \cdot F_{s4} \cdot \frac{l_3^2}{l_4} + 2 \cdot F_{s4} \cdot l_4$$

$$F_{s4} = \frac{M_{kl}}{2 \cdot \frac{l_1^2}{l_4} + 2 \cdot \frac{l_2^2}{l_4} + 2 \cdot \frac{l_3^2}{l_4} + 2 \cdot l_4}$$

$$F_{s4} = \frac{86452,5 \cdot 10^3}{2 \cdot \left(\frac{87,5^2}{512} + \frac{212^2}{512} + \frac{388^2}{512} + 512 \right)}$$

$$F_{s4} = 47566 \text{ N}$$



- **Výpočet minimálního průměru šroubu**

$$\sigma_{ODš} = \frac{F_{S4}}{S_s} = \frac{4 \cdot F_{S4}}{\pi \cdot d_{smin}^2} \rightarrow d_{smin} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{S4}}{\pi \cdot \sigma_{OD}}} \quad (68)$$

$$d_{smin} = \sqrt{\frac{4 \cdot 47566}{\pi \cdot 264}}$$

$$d_{smin} = 15,2 \text{ mm}$$

Volen kotevní šroub od firmy Peikko HPM 20 dle [21] v počtu 8 kusů.

7 KONTROLA KONSTRUKCE

7.1 KONTROLA SVARŮ

V této části je provedena kontrola svarů nejdůležitějších částí konstrukce sloupového jeřábu. Svařování probíhá za použití elektrody E-K 103. Mez kluzu elektrody $R_{el} = 390 \text{ MPa}$ [22]. Postup výpočtu proveden dle [1].

- **Dovolené smykové napětí**

$$\tau_D = \alpha \cdot \frac{R_{el}}{k_s} \quad (69)$$

$$\tau_D = 0,75 \cdot \frac{390}{1,5}$$

$$\tau_D = 195 \text{ MPa}$$

Kde:

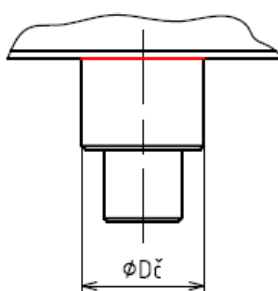
α [-] převodní součinitel svarového spoje [1, str. 519]

k_s [-] součinitel bezpečnosti svaru [1, str. 519]

7.1.1 KONTROLA SVARU SPOJUJÍCÍ ČEP A VÝLOŽNÍK

Spojení čepu a výložníku je realizováno svarem po celém obvodu čepu na spodní hraně výložníku. Uvažuji pouze smykové namáhání silou F_{CX} .

Výška svaru $z_\zeta = 8 \text{ mm}$.



Obr. 26: Svar čepu a výložníku

- **Plocha účinného průřezu svaru**

$$S_\zeta = 1,414 \cdot \pi \cdot z_\zeta \cdot \frac{D_\zeta}{2} \quad (70)$$

$$S_\zeta = 1,414 \cdot \pi \cdot 8 \cdot \frac{150}{2}$$

$$S_\zeta = 2666 \text{ mm}^2$$

- **Výpočet smykového napětí**

$$\tau_{\check{c}} = \frac{F_{cx}}{S_{\check{c}}} \quad (71)$$

$$\tau_{\check{c}} = \frac{57635}{2666}$$

$$\tau_{\check{c}} = 21,6 \text{ MPa}$$

- **Kontrola svaru**

$$\tau_{\check{c}} \leq \tau_D \quad (72)$$

21,6 MPa < 195 MPa → Svar čepu a výložníku vyhovuje

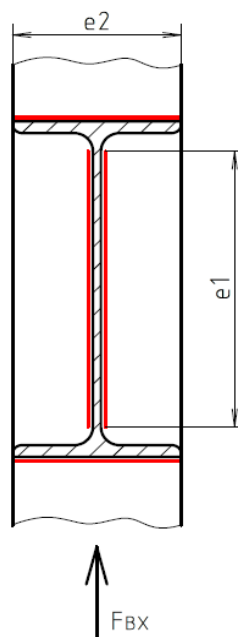
7.1.2 VÝPOČET SVARU SPOJUJÍCÍ VÝLOŽNÍK A PODPĚRU

Pro zjednodušení uvažují pouze svary viz. obr. 27

Výška svaru $z_p = 14 \text{ mm}$

Délka svaru $e_1 = 260 \text{ mm}$

Délka svaru $e_2 = 160 \text{ mm}$



Obr. 27: Schéma svarů

- **Plocha účinného průřezu svaru**

$$S_p = 1,414 \cdot z_{\check{c}} \cdot (e_1 + e_2) \quad (73)$$

$$S_p = 1,414 \cdot 14 \cdot (260 + 160)$$

$$S_p = 8314 \text{ mm}^2$$

- **Výpočet smykového napětí od posouvající síly**

$$\tau_p' = \frac{F_{bx}}{S_p} \quad (74)$$

$$\tau_p' = \frac{57635}{8314}$$

$$\tau_p' = 6,9 \text{ MPa}$$

- **Moment působící na svar**

$$M_{sv} = M_{O35} = 86,452,5 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (75)$$

- **Jednotkový osový kvadratický moment průřezu**

$$J_{zu} = \frac{e_1^2}{6} \cdot (3 \cdot e_2 + e_1) \quad (76)$$

$$J_{zu} = \frac{270^2}{6} \cdot (3 \cdot 160 + 270)$$

$$J_{zu} = 9112500 \text{ mm}^3$$

- **Osový kvadratický moment průřezu**

$$J_z = 0,707 \cdot z \cdot J_{zu} \quad (77)$$

$$J_z = 0,707 \cdot 14 \cdot 9112500$$

$$J_z = 90195525 \text{ mm}^4 = 90,2 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- **Výpočet smykového napětí od momentu**

$$\tau_p'' = \frac{M_{sv} \cdot e_3}{J_z} \quad (78)$$

$$\tau_p'' = \frac{86,452,5 \cdot 10^6 \cdot 157}{90,2 \cdot 10^6}$$

$$\tau_p'' = 150,5 \text{ MPa}$$

Kde:

e_3 [mm] vzdálenost od těžiště svarů k nejvzdálenějšímu místu svaru

$$e_3 = \sqrt{\left(\frac{e_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{e_2}{2}\right)^2} \quad (79)$$

$$e_3 = \sqrt{\left(\frac{270}{2}\right)^2 + \left(\frac{160}{2}\right)^2}$$

$$e_3 = 157 \text{ mm}$$

- **Výsledné smykové napětí**

$$\tau_p = \sqrt{\tau_p'^2 + \tau_p''^2} \quad (80)$$

$$\tau_p = \sqrt{6,9^2 + 150,5^2}$$

$$\tau_p = 157,4 \text{ MPa}$$

- **Kontrola svaru**

$$\tau_p \leq \tau_D \quad (81)$$

157,4 MPa < 195 MPa → Svar výložníku a podpěry vyhovuje

7.2 VZPĚRNÁ STABILITA SLOUPU

Výpočet vzpěrné stability proveden podle [5].

- **Moment setrvačnosti průřezu**

$$J_{sl} = \frac{\pi}{64} \cdot (D_s^4 - d_s^4) \quad (82)$$

$$J_{sl} = \frac{\pi}{64} \cdot (355,6^4 - 311,6^4)$$

$$J_{sl} = 322140524 \text{ mm}^4 = 322,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- **Plocha průřezu**

$$S_{sl} = \pi \cdot \left(\frac{D_s^2 - d_s^2}{4} \right) \quad (83)$$

$$S_{sl} = \pi \cdot \left(\frac{355,6^2 - 311,6^2}{4} \right) = 23056,78 \text{ mm}^2$$

$$S_{sl} = 23057 \text{ mm}^2$$

- **Poloměr setrvačnosti průřezu prutu**

$$i_{sl} = \sqrt{\frac{J_{sl}}{S_{sl}}} \quad (84)$$

$$i_{sl} = \sqrt{\frac{322,1 \cdot 10^6}{23057}}$$

$$i_{sl} = 118 \text{ mm}$$



- **Redukovaná délka prutu**

$$l_o = 2 \cdot a_1 \quad (85)$$

$$l_o = 2 \cdot 6450$$

$$l_o = 12900 \text{ mm}$$

- **Štíhlost prutu**

$$\lambda = \frac{l_o}{i_{sl}} \quad (86)$$

$$\lambda = \frac{12900}{118}$$

$$\lambda = 109,3$$

Další výpočet je třeba provést dle pružného vzpěru podle Eulera.

- **Výpočet napětí ve sloupu**

$$\sigma_d = \frac{F_{cy}}{S_{sl}} \quad (87)$$

$$\sigma_d = \frac{29170}{23057}$$

$$\sigma_d = 1,3 \text{ MPa}$$

- **Kritické napětí z hlediska vzpěru**

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad (88)$$

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{109,3^2}$$

$$\sigma_{kr} = 174 \text{ MPa}$$

Kde:

E [MPa] modul pružnosti oceli v tahu

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$$

- **Kontrola napětí**

$$\sigma_d < \sigma_{kr} \quad (89)$$

$$1,3 \text{ MPa} < 174 \text{ MPa}$$

→ Podmínka splněna, kritické napětí je mnohonásobně vyšší než napětí zatěžující sloup.

7.3 PŘETVOŘENÍ KONSTRUKCE

V této části výpočtu je porovnán průhyb konstrukce s normalizovanými hodnotami. Výsledný průhyb je stanoven superpozicí od průhybu sloupu a výložníku. Pro zjednodušení je zatížení počítáno bez koeficientů a všechny vazby uvažovány jako vetknutí.

- **Zatěžující síla**

$$F_z = (m_b + m_k) \cdot g \quad (90)$$

$$F_z = (1700 + 84,6) \cdot 9,81$$

$$F_z = 17507 \text{ N}$$

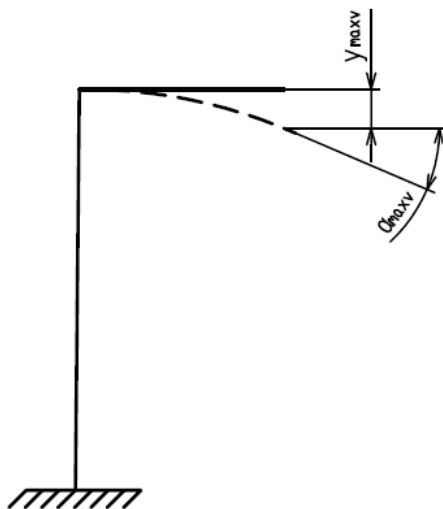
- **Zatěžující moment**

$$M_z = F_z \cdot b_1 \quad (91)$$

$$M_z = 17507 \cdot 3150$$

$$M_z = 55147050 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

7.3.1 KONTROLA PŘETVOŘENÍ VÝLOŽNÍKU



Obr. 28: Označení průhybu a natočení výložníku

- **Průhyb výložníku [2, str. 44]**

$$y_{maxv} = \frac{F_z \cdot b_1^3}{3 \cdot E \cdot J_{xipe}} \quad (92)$$

$$y_{maxv} = \frac{17507 \cdot 3150^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 117700000}$$

$$y_{maxv} = 7,4 \text{ mm}$$

- Úhel natočení výložníku [2, str. 44]

$$\alpha_{maxv} = \frac{F_z \cdot b_1^2}{2 \cdot E \cdot J_{xipe}} \quad (93)$$

$$\alpha_{maxv} = \frac{17507 \cdot 3150^2}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 117700000}$$

$$\alpha_{maxv} = 0,0035 \text{ rad} = 0,201^\circ$$

- Kontrola průhybu výložníku

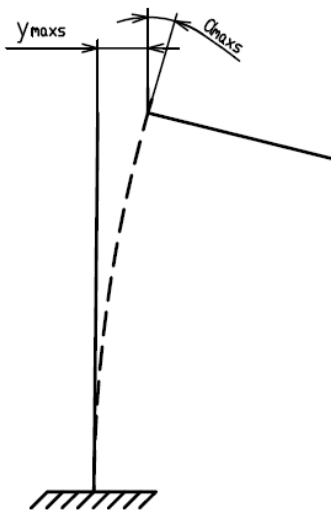
Kontrola průhybu výložníku provedena dle [7].

$$y_{maxv} \leq \frac{b_1}{300} \quad (94)$$

$$7,4 \leq \frac{3150}{300}$$

$$7,4 \text{ mm} < 10,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

7.3.2 KONTROLA PŘETVOŘENÍ SLOUPU



Obr. 29: Označení průhybu a natočení sloupu

- Průhyb sloupu [2, str. 44]

$$y_{maxs} = \frac{M_z \cdot a_1^2}{2 \cdot E \cdot J_{sl}} \quad (95)$$

$$y_{maxs} = \frac{55147050 \cdot 6450^2}{2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 322,1 \cdot 10^6}$$

$$y_{maxs} = 17 \text{ mm}$$

- Úhel natočení sloupu [2, str. 44]

$$\alpha_{maxs} = \frac{M_z \cdot a_1}{E \cdot J_{sl}} \quad (96)$$

$$\alpha_{maxs} = \frac{55147050 \cdot 6450}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 322,1 \cdot 10^6}$$

$$\alpha_{maxs} = 0,0053 \text{ rad} = 0,304^\circ$$

- Kontrola průhybu sloupu

Kontrola průhybu sloupu provedena dle [7].

$$y_{maxs} \leq \frac{a_1}{300} \quad (97)$$

$$17 \leq \frac{6450}{300}$$

$$17 \text{ mm} < 21,5 \text{ mm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

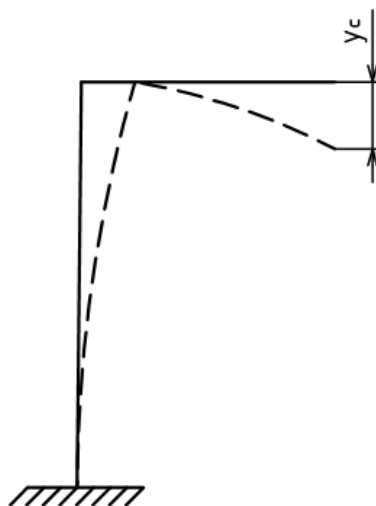
7.3.3 CELKOVÉ PŘETVOŘENÍ KONSTRUKCE

- Celkový průhyb

$$y_c = y_{maxv} + (b_1 \cdot \sin \alpha_{maxs}) \quad (98)$$

$$y_c = 7,4 + (3150 \cdot \sin 0,304)$$

$$y_c = 24,2 \text{ mm}$$



Obr. 30: Celkový průhyb konstrukce



ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat návrh konstrukce sloupového jeřábu s důležitými pevnostními výpočty a volbou vhodného kladkostroje. Dále vypracovat konstrukční výkres sestavy a detailní výkres sloupu pro nosnost 1700 kg, délku vyložení ramene 3150 mm a výšku zdvihu 5850 mm.

V úvodu představuji základní typy konstrukce sloupových jeřábů, které jsou k dispozici na trhu. Na základě porovnání jednotlivých kladkostrojů jsem vybral kladkostroj od firmy Giga CH3 2000.5-JE. Kladkostroj je řetězový, zdvih i pojezd je dvourychlostní elektrický. Dále proběhl výběr koncových nárazníků a kabelové vlečky.

Dle normy ČSN 270103 jsem zařadil jeřáb do jednotlivých tříd, podle kterých lze určit součinitele pro základní kombinaci zatížení. Pro výpočet jsem uvažoval zatížení od vlastní tíhy jednotlivých částí konstrukce, hmotnosti břemene a kladkostroje. Dynamické účinky jsem zohlednil volbou vyššího součinitele bezpečnosti $k = 2,5$. Následoval statický rozbor a určení výsledných vnitřních účinků. Hlavní částí konstrukce je sloup, výložník a podpěra. Sloup je tvořen bezešvou hladkou trubkou průměru 355,6 mm s tloušťkou stěny 22 mm. Výložník s podpěrou jsou navrženy z profilu IPE 330. Výložník je spojen se sloupem pomocí čepu uloženém ve dvouřadém soudečkovém ložisku. V místě opěrných kroužků se nachází dvě jednořadá válečková ložiska. Otáčení výložníku probíhá ručně. Jeřáb je ukotven pomocí 8 kotevních šroubů průměru 20 mm do betonového základu.

Nakonec je provedena kontrola důležitých svarových spojů, vzpěrná stabilita sloupu a kontrola na přetvoření konstrukce.

Součástí práce je také konstrukční výkres sestavy a detailní výkres sloupu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). *Konstruování strojních součástí*. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [2] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-7361-033-7.
- [3] REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F., a kol.: *Jeřáby*. 1. Díl. Druhé vydání. Praha. SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1974. 645 s.
- [4] FLORIAN, Zdeněk, Emanuel ONDRÁČEK a Karel PŘIKRYL. *Mechanika těles: statika*. Vyd. 7., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3440-0.
- [5] MALÁŠEK, J. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. *18 Vzpěr*
- [6] ČSN 27 0103. *Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů: Výpočet podle mezních stavů*. Praha: Vydavatelství norem, 1989. 68s. MDT 621.873:624.042.
- [7] ČSN EN 13001-3-1+A1. *Jeřáby - Návrh všeobecně - Část 3-1: Mezní stavy a prokázání způsobilosti ocelových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [8] GIGA. *Elektrické řetězové kladkostroje Giga* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.gigasro.cz/files/katalogy/giga_chain_hoists_catalogue_-_2010.pdf
- [9] ITECO. *Otočné jeřáby* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.iteco.cz/files/ckeditor/Soubory/katalogy_2015/Schwenkkran-CZ.pdf
- [10] TEDOX. *Jeřáby* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.tedox.cz/editor/filestore/File/Katalog%208/14.%20Jeraby.pdf>
- [11] ITECO. *Elektrické řetězové kladkostroje* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.tedox.cz/editor/filestore/File/Katalog%208/14.%20Jeraby.pdf>
- [12] LIFTKET. *Elektrické řetězové kladkostroje* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.kladkostroje.cz/prilohy/soubory/katalog-lifket-star.pdf>
- [13] DEMAG. *Řetězové kladkostroje* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.jeraby-vazaky.cz/cz/download/1404042016/?at=1>
- [14] ZKL. *Soudečková ložiska* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/cat/2013/drsrb/22220ew33mh>
- [15] ZKL. *Jednořadá válečková ložiska* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/en/cat/2013/srcrb/nup2207etng>
- [16] ZACHA. *Trubky ocelové bezešvé hladké* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.zacha.cz/bezesve-hladke>



- [17] FERONA. *Profil IPE válcovaný za tepla* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=30393>
- [18] GIGA. *Poptávka otočného sloupového jeřábu* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.gigasro.cz/poptavka-otocneho-sloupoveho-nebo-otocneho-konzoloveho-jeřabu.html>
- [19] CONDUCTIX. *Katalog příslušenství* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.conductix.cz/sites/default/files/downloads/KAT0240-0003-CZ_web.pdf
- [20] LOZISKAVILIM. *Valivá ložiska* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.loziskavilim.cz/files/valiva-loziska-zkl.pdf>
- [21] PEIKKO. *Kotevní šrouby* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://81.167.44.246/pdf_eng/PPM_HPM_eng.pdf
- [22] HANOUSEK. *Elektroda E-K 103* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.hanousek.cz/editor/filestore/File/E-K_103.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_1	[mm]	celková délka sloupu
a_2	[mm]	vzdálenost od kraje sloupu k opěrným kroužkům
b_1	[mm]	vzdálenost od osy sloupu ke kladkostrojci při max. vyložení
b_2	[mm]	vzdálenost mezi kladkostrojcem a koncem výložníku při max. vyložení
b_3	[mm]	vzdálenost podpěry od osy sloupu
b_4	[mm]	vzdálenost přesahu výložníku od osy sloupu
b_5	[mm]	vzdálenost od těžiště výložníku k ose sloupu
B_b	[mm]	šířka ložiska B
B_c	[mm]	šířka ložiska C
b_{ipe}	[mm]	šířka profilu
C_{O1}	[N]	dovolená statická únosnost ložiska C
C_{O2}	[N]	dovolená statická únosnost ložiska B
C_{OB}	[N]	statická únosnost ložiska B
C_{OC}	[N]	statická únosnost ložiska C
$D2$	[–]	druh provozu jeřábu
d_b	[mm]	vnitřní průměr ložiska B
D_b	[mm]	vnější průměr ložiska B
D_B	[mm]	průměr odvalovacího pásu
d_c	[mm]	vnitřní průměr ložiska C
D_c	[mm]	vnější průměr ložiska C
d_ε	[mm]	průměr čepu
D_o	[mm]	průměr opěrného kroužku
d_s	[mm]	vnitřní průměr sloupu
D_s	[mm]	vnější průměr sloupu
d_{smin}	[mm]	minimální průměr šroubu
E	[MPa]	modul pružnosti oceli v tahu
e_1	[mm]	délka svaru
e_2	[mm]	délka svaru
e_3	[mm]	vzdálenost od těžiště svar. skupiny k nejvzdálenějšímu místu svaru
E_k	[J]	kinetická energie pohlcená nárazníky
F	[N]	celková působící síla

F_A	[N]	axiální složka síly
F_{Ax}	[N]	reakční síla ve směru osy X v místě A
F_{Ay}	[N]	reakční síla ve směru osy Y v místě A
F_b	[N]	zatížení od jmenovité hmotnosti břemene
F_{BL}	[N]	síla působící na jedno ložisko
F_{Bx}	[N]	reakční síla ve směru osy X v místě B
F_{Cx}	[N]	reakční síla ve směru osy X v místě C
F_{Cy}	[N]	reakční síla ve směru osy Y v místě C
F_k	[N]	zatížení od vlastní hmotnosti kladkostroje
F_p	[N]	zatížení od vlastní hmotnosti podpěry
F_R	[N]	radiální složka síly
F_s	[N]	zatížení od vlastní hmotnosti sloupu
F_{Sn}	[mm]	n-tá síla šroubu
F_v	[N]	zatížení od vlastní hmotnosti výložníku
F_z	[N]	zatěžující síla
g	[m·s ⁻²]	gravitační zrychlení
H2	[-]	zdvihová třída jeřábu
h_{ipe}	[mm]	výška profilu
i	[-]	počet stupňů volnosti tělesa
i_{sl}	[mm]	poloměr setrvačnosti průřezu sloupu
i_v	[-]	počet stupňů volnosti volného tělesa
J4	[-]	provozní skupina jeřábu
J_{sl}	[mm ⁴]	moment setrvačnosti průřezu sloupu
J_{xipe}	[cm ⁴]	moment setrvačnosti k ose x
J_z	[mm ⁴]	osový kvadratický moment průřezu
J_{zu}	[mm ³]	jednotkový osový kvadratický moment průřezu
k	[-]	součinitel bezpečnosti
k_s	[-]	součinitel bezpečnosti svaru
L_l	[mm]	rozteč opěrných kroužků
l_n	[mm]	n-tá vzdálenost n-té síly od klopné hrany
l_o	[mm]	redukovaná délka prutu
m_b	[kg]	hmotnost ložiska B
m_b	[kg]	hmotnost břemena

m_c	[kg]	hmotnost ložiska C
m_{ipe}	[kg]	hmotnost
m_k	[kg]	hmotnost kladkostroje
M_{kl}	[N · m]	klopný moment
M_{O2n}	[N · m]	moment v místě n-tého řezu sloupu
M_{O3n}	[N · m]	moment v místě n-tého řezu výložníku a podpěry
M_{OPmax}	[N · m]	maximální ohybový moment působící na podpěru
M_{OSmax}	[N · m]	maximální ohybový moment působící na sloup
M_{OVmax}	[N · m]	maximální ohybový moment působící na výložník
m_s	[kg]	hmotnost sloupu
M_{sv}	[N · m]	moment působící na svar
M_z	[N · m]	zatěžující moment
n	[–]	počet těles
N_{2n}	[N]	normálová síla v místě n-tého řezu sloupu
N_{3n}	[N]	normálová síla v místě n-tého řezu výložníku a podpěry
NP	[–]	počet neznámých parametrů
P_{OB}	[N]	statické ekvivalentní zatížení ložiska B
P_{OC}	[N]	statické ekvivalentní zatížení ložiska C
q_p	[N · m ⁻¹]	liniové zatížení vyvolané tíhou podpěry
q_s	[N · m ⁻¹]	liniové zatížení vyvolané tíhou sloupu
q_v	[N · m ⁻¹]	liniové zatížení vyvolané tíhou výložníku
R_e	[MPa]	mez kluzu materiálu
R_{el}	[MPa]	mez kluzu elektrody
$R_{eš}$	[MPa]	mez kluzu šroubu
S_l	[–]	spektrum napětí jeřábu
$S_{\check{e}}$	[mm]	plocha účinného průřezu svaru čepu
S_{ipe}	[mm]	tloušťka stojiny
S_{OB}	[–]	součinitel statické bezpečnosti ložiska B
S_{OC}	[–]	součinitel statické bezpečnosti ložiska C
S_p	[mm]	plocha účinného průřezu svaru podpěry
S_{sl}	[mm ²]	plocha průřezu sloupu
T_{2n}	[N]	tečná síla v místě n-tého řezu sloupu
T_{3n}	[N]	tečná síla v místě n-tého řezu výložníku a podpěry

t_{ipe}	[mm]	tloušťka základny
t_s	[mm]	tloušťka stěny sloupu
v_h	[m·min ⁻¹]	rychlost zdvihu kladkostroje
v_p	[m·min ⁻¹]	rychlost pojezdu kladkostroje
W_{opmin}	[cm ³]	minimální průřezový modul podpěry
W_{osmin}	[cm ³]	minimální průřezový modul sloupu
W_{ovmin}	[cm ³]	minimální průřezový modul výložníku
W_{xipe}	[cm ³]	průřezový modul k ose x
W_{XSL}	[cm ³]	modul průřezu sloupu
x_{2n}	[m]	označení délky n-tého řezu sloupu
x_{3n}	[m]	označení délky n-tého řezu výložníku a podpěry
y_c	[mm]	celkový průhyb
y_{maxs}	[mm]	průhyb sloupu
y_{maxv}	[mm]	průhyb výložníku
Y_o	[-]	součinitel axiálního zatížení
$z_{\check{c}}$	[mm]	výška svaru čepu
z_p	[mm]	výška svaru podpěry
α	[-]	převodní součinitel svarového spoje
α_c	[°]	celkové natočení
α_{maxs}	[°]	úhel natočení sloupu
α_{maxv}	[°]	úhel natočení výložníku
γ_g	[-]	součinitel zatížení od vlastní hmotnosti
γ_{lo}	[-]	součinitel zatížení od jmenovitého břemene
δ_h	[-]	dynamický zdvihový součinitel
δ_t	[-]	dynamický součinitel pojezdový
ζ	[-]	počet stupňů volnosti odebraných vazbou
η	[-]	počet odebraných deformačních parametrů
λ	[-]	štíhlost prutu
μ	[-]	počet neznámých parametrů
μ_F	[-]	počet neznámých silových parametrů
μ_M	[-]	počet neznámých momentových parametrů
μ_R	[-]	počet neznámých polohových parametrů
ν	[-]	počet použitelných statických podmínek

v_F	[-]	počet silových statických podmínek v rovinné soustavě
v_M	[-]	počet momentových statických podmínek v rovinné soustavě
σ_d	[MPa]	napětí ve sloupu
σ_{kr}	[MPa]	kritické napětí z hlediska vzpěru
σ_{OD}	[MPa]	dovolené napětí v ohybu
σ_{ODs}	[MPa]	dovolené napětí šroubu
σ_{OP}	[MPa]	skutečné ohybové napětí podpěry
σ_{OS}	[MPa]	skutečné ohybové napětí sloupu
σ_{OV}	[MPa]	skutečné ohybové napětí výložníku
τ''_p	[MPa]	smykové napětí od momentu
τ'_p	[MPa]	smykové napětí od posouvající síly
$\tau_{\check{c}}$	[MPa]	smykové napětí
τ_D	[MPa]	dovolené smykové napětí
τ_p	[MPa]	výsledné smykové napětí
φ	[°]	úhel rozpětí opěrných kroužků
Ω_{2n}	[-]	označení n-tého řezu výložníku a podpěry
Ω_{3n}	[-]	označení n-tého řezu výložníku a podpěry

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Schéma sloupového jeřábu [18]	11
Obr. 2: Polootočný sloupový jeřáb se spodní podpěrou [9]	12
Obr. 3: Polootočný sloupový jeřáb s horní podpěrou [9]	12
Obr. 4: Plně otočný sloupový jeřáb se spodní podpěrou [9]	13
Obr. 5: Kladkostroj Giga [8]	15
Obr. 6: Koncový nárazník [19].....	16
Obr. 7: Profil sloupu	17
Obr. 8: Profil výložníku.....	17
Obr. 9: Schéma konstrukce.....	20
Obr. 10: Uvolnění těles 2 a 3	23
Obr. 11: Rozdělení výložníku a podpěry na intervaly	25
Obr. 12: Určení VVU v intervalu 31	26
Obr. 13: Určení VVU v intervalu 32	26
Obr. 14: Určení VVU v intervalu 33	26
Obr. 15: Určení VVU v intervalu 34	27
Obr. 16: Určení VVU v intervalu 35	27
Obr. 17: Grafické vyjádření Mo, N, T výložníku a podpěry	28
Obr. 18: Rozdělení sloupu na intervaly	28
Obr. 19: Určení VVU v intervalu 21	29
Obr. 20: Určení VVU v intervalu 22	29
Obr. 21: Grafické vyjádření Mo, N, T sloupu	30
Obr. 22: Dvouřadé soudečkové ložisko [14].....	33
Obr. 23: Jednořadé válečkové ložisko [15]	34
Obr. 24: : Zatížení opěrných kroužků.....	35
Obr. 25: Schéma ukotvení	36
Obr. 26: Svar čepu a výložníku	38
Obr. 27: Schéma svarů	39
Obr. 28: Označení průhybu a natočení výložníku	43
Obr. 29: Označení průhybu a natočení sloupu	44
Obr. 30: Celkový průhyb konstrukce	45



SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavy	JIBC-01-00
Výkres svarku sloupu	JIBC-01-01

Dne 27. 5. 2016 zpracoval David Dvořák.