



**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 JEŘÁB PRO MANIPULACI S PLECHY**

JIB CRANE FOR HANDLING METAL PLATES

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Tomáš Dobšíček

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2011/12

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Tomáš Dobšíček

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

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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 diplomové práce:

### **Sloupový jeřáb pro manipulaci s plechy**

v anglickém jazyce:

### **Jib crane for handling metal plates**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte sloupový jeřáb pro manipulaci s plechy u nůžek a zakružovačky. Proveďte dispoziční návrh. Základní technické parametry:

Zdvih 4,5 m

Nosnost 1500 kg

Cíle diplomové práce:

Technická zpráva obsahující:

- návrh dispozičního umístění
- zdůvodněnou koncepci navrženého řešení,
- funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent,
- pevnostní výpočet a další výpočty dle vedoucího DP

Výkresová dokumentace obsahující:

- celková sestava zařízení
- výkres dispozičního uspořádání
- podsestavy a výrobní výkresy dle pokynů vedoucího DP

Seznam odborné literatury:

1. SHIGLEY, J.E. - MISCHKE, Ch.R. - BUDYNAS R.G.: Konstruování strojních součástí, Vydalo VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM 2010, ISBN 978-80-214-2629-0
2. GAJDŮŠEK, J. - ŠKOPÁN, M.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení. Skriptum VUT Brno 1988
3. Remta, F.- Kupka, L.-Dražan, F.: Jeřáby, SNTL Praha 1974
4. Firemní literatura a příslušné ČSN

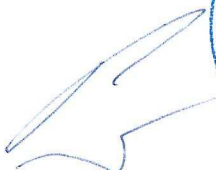
7


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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 15.11.2011



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem řešení otočného sloupového jeřábu, který slouží pro manipulaci s plechy pro nůžky a zakružovací stolicí. Cílem je zvolení hlavních rozměrů a základních parametrů navržené ocelové konstrukce pomocí návrhového výpočtu. A dále následuje kontrola pevnostní analýzy provedená za pomoci programu I-DEAS NX 11. Ke koncepci návrhu také patří návrh dispozičního umístění jeřábu, volba kladkostroje, pojezdového ústrojí, pomocného zařízení a výkresová dokumentace

## **Klíčová slova**

Sloupový jeřáb, rameno výložníku, pevnostní analýza, kladkostroj, pojezd kladkostroje.

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the construction design of revolving column crane which is used for manipulation with metal plates for metal shears and bending bench. The aim is to set main proportions and basic parameters for the designed steel construction via design calculation. Then the thesis deals with checking of strength analysis done by programme I-DEAS NX 11. Suggestion of disposal placement of the crane, choice of hoist, travelling system, auxiliary device and drawing documentation are also parts of the design.

## **Keywords**

Column crane, boom jib, strenght analysis, hoist, travel of hoist.

## **Bibliografická citace**

DOBŠÍČEK, T. *Sloupový jeřáb pro manipulaci s plechy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 47 s. Vedoucí diplomové práce doc. ing. Miroslav Škopán, CSc.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Sloupový jeřáb pro manipulaci s plechy* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce doc. Ing. Miroslav Škopán, Csc. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Brně dne .....

.....

Tomáš Dobšíček

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. a panu ing. Vlastimilu Prachařovi z firmy Strojírny Bohdalice, a. s. a všem profesorům za odbornou pomoc, připomínky a další cenné rady, které vedly ke zpracování mé diplomové práce.

# Obsah

1 ÚVOD	10
2 NÁVRH DISPOZIČNÍHO UMÍSTĚNÍ	11
3 PŘEHLED SLOUPOVÝCH JEŘÁBŮ	12
3.1 SLOUPOVÝ OTOČNÝ JEŘÁB LS	12
3.2 SLOUPOVÝ OTOČNÝ JEŘÁB LSX	13
3.3 SLOUPOVÝ OTOČNÝ JEŘÁB VS	14
4 VOLBA JEŘÁBU	15
4.1 ZVOLENÁ VARIANTA ŘEŠENÍ	15
4.2 BLIŽŠÍ SPECIFIKACE NÁVRHU	16
4.2.1 Ukotvení	16
4.2.2 Sloup	16
4.2.3 Rameno	16
4.2.4 Kladkostroj	16
4.2.5 Doplnkové vybavení	17
5 VÝPOČET OCELOVÉ KONSTRUKCE	18
5.1 NÁVRHOVÝ VÝPOČET PROFILŮ	18
5.1.1 Typy zatížení	18
5.1.2 Návrhová pevnost	19
5.1.3 Výpočet ohybového momentu	20
5.1.4 Výpočet dvojce sil F působící na sloup	20
5.1.5 Výpočet minimálních hodnot průřezových charakteristik	20
5.1.6 Volba profilu	21
5.2 NÁVRH KOTEVNÍCH ŠROUBŮ	22
5.2.1 Výpočet dovoleného napětí ve šroubu	23
5.2.2 Určení tahového napětí ve šroubu	24

5.2.3	Kontrola šroubového spoje:-----	24
6	LOŽISKA-----	25
6.1	NÁVRH ŠROUBŮ K UPEVNĚNÍ LOŽISKOVÉHO DOMEČKU -----	28
6.1.1	Výpočet dovoleného napětí ve šroubu-----	29
6.1.2	Určení tahového napětí ve šroubu-----	29
6.1.3	Kontrola šroubového spoje:-----	30
6.2	KONTROLA STĚNY LOŽISKOVÉHO DOMEČKU DLE OBR. 16 -----	31
6.2.1	Kontrola na smyk -----	31
6.2.2	Kontrola na otláčení -----	31
7	PEVNOSTNÍ KONTROLA KONSTRUKCE -----	32
7.1	ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY MODELU SLOUPU A VÝLOŽNÍKU -----	32
7.2	ŘEŠENÍ POMOCÍ PROGRAMU I-DEAS NX 11 -----	33
7.2.1	Síť modelu -----	33
7.2.2	Popis náhrad -----	33
7.2.3	Okrajové podmínky-----	36
7.3	ZATĚŽOVACÍ STAVY -----	37
7.3.1	1. Stav pro maximální délku vyložení výložníku – břemeno je v klidu ---	37
7.3.2	2. Stav pro maximální délku vyložení výložníku – břemeno je v pohybu-	37
7.4	PEVNOSTNÍ KONTROLA SKOŘEPINOVÉHO MODELU -----	38
7.4.1	Skořepinový model sloupu 1. zatěžující stav -----	38
7.4.2	Skořepinový model výložníku 1. zatěžovací stav -----	39
7.4.3	Skořepinový model sloupu 2. zatěžující stav -----	40
7.4.4	Skořepinový model sloupu 2. zatěžující stav -----	42
	ZÁVĚR -----	44
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY -----	45
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ-----	46

# 1 Úvod

S rozvojem průmyslu a činností člověka se začaly vyrábět rozměrné součásti či výrobky, se kterými už nemohlo být manipulováno ručně z důvodu rozměrnosti nebo hmotnosti, nýbrž je velmi vhodné tato břemena přemísťovat stroji k tomu určených. A za tímto účelem začal člověk používat různá zvedací zařízení, jako jsou jeřáby.

V dnešní době mají jeřáby velmi vysoké využití. Ve strojírenské praxi se nejvíce setkáme s jeřáby mostovými, které slouží k přepravě velmi těžkých a robustních výrobků většinou mezi pracovištěm. Pro menší břemena k manipulaci mezi pracovišti se už často používají jeřáby sloupové. Za tímto účelem byla vytvořena má diplomová práce, kterou tvoří kompletní návrh konstrukce sloupového otočného jeřábu.

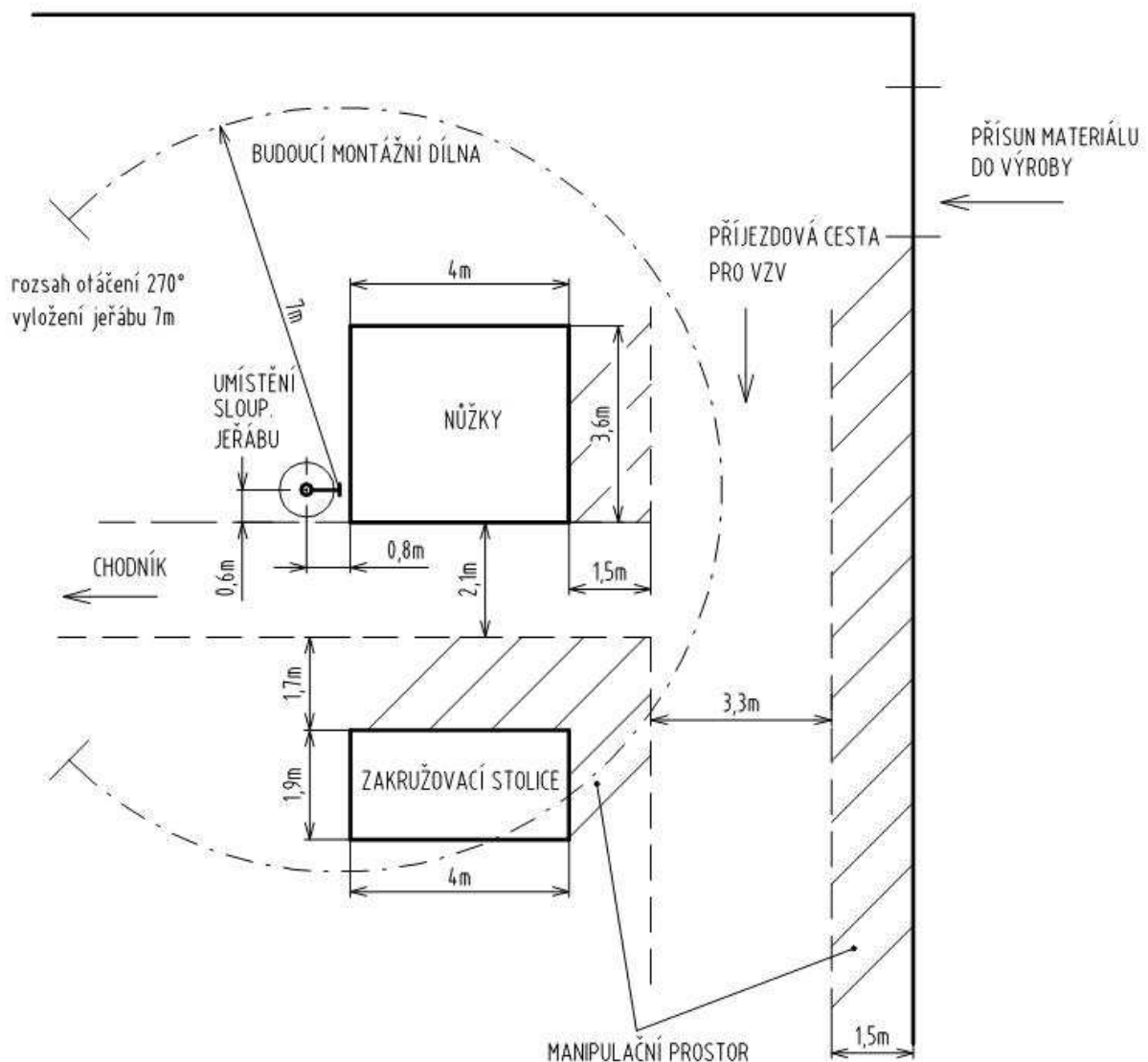
Vývoj jeřábu bude určitě nadále pokračovat, a proto jsem navrhl jeden z možných typů sloupových jeřábů, který je možno použít

## Vymezení cílů

Tato diplomová práce se zabývá vytvořením návrhu a výpočtu sloupového jeřábu o nosnosti 1,5 t a 4,5 m zdvihu, který bude sloužit pro manipulaci plechu mezi pracovišti. Dále je nutné vytvořit :

- Návrh dispozičního umístění
- Návrh řešené koncepce
- Funkční výpočet konstrukce
- Výkresovou dokumentaci

## 2 Návrh dispozičního umístění



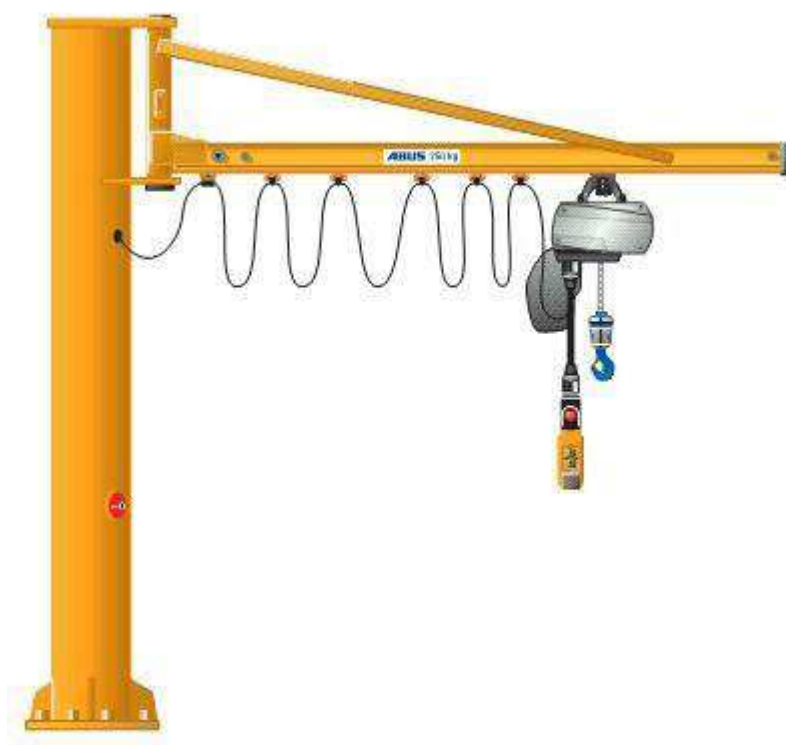
Obr. 1 dispozičního umístění sloupového jeřábu

Jeřáb bude umístěn do kryté haly společnosti, která se zabývá výrobou ocelových konstrukcí různého druhu. K manipulaci plechu pro nůžky a zakružovací stolici volím sloupový jeřáb, dle schématu zvolené varianty na obr.7 . Pro tento dispoziční návrh je voleno vyložení ramene o velikosti 7 m. Jeřáb volím z důvodu úspory času. V této části haly je umístěn mostový jeřáb o nosnosti 3200 kg, který je využíván ve výrobě pro různou manipulaci materiálu na třech pracovištích. Proto při zvedání požadovaného materiálu (plechy) na nůžky nebo zakružovací stolici vznikají prostoje, které prodlužují výrobu. Pro další manipulaci s materiálem se tento proces několikrát opakuje. Do budoucna se počítá s tím, že za nůžkami vznikne další pracoviště a to montážní dílna, kde bude tento jeřáb také vhodně využíván k manipulaci.

### 3 Přehled sloupových jeřábů

Sloupové otočné jeřáby jsou rozděleny dle firmy ABUS, lit.[5].

#### 3.1 Sloupový otočný jeřáb LS



*Obr. 2 sloupový otočný jeřáb LS, lit. [5]*

Vlastnosti:

- Lehká konstrukce
- Rozsah otáčení ramene do 270 °
- Pohon otáčení ramene: ruční
- Vyložení ramene: standardně do 7 m
- Nosnost standardně: do 1000 kg
- Kladkostroj: elektrický řetězový
- Ukotvení: bezpečnostní s žebrováním patky sloupu

## 3.2 Sloupový otočný jeřáb LSX



Obr. 3 sloupový otočný jeřáb LSX, lit. [5]

Vlastnosti:

- Větší výška zdvihu oproti typu LS
- Lehká konstrukce
- Rozsah otáčení ramene do 270 °
- Pohon otáčení ramene: ruční
- Vyložení ramene: standardně do 7 m
- Nosnost standardně: do 2000 kg
- Kladkostroj: elektrický řetězový
- Ukotvení: bezpečnostní se silným žebrováním patky sloupu

### 3.3 Sloupový otočný jeřáb VS



Obr. 4 sloupový otočný jeřáb VS, lit. [5]

Vlastnosti:

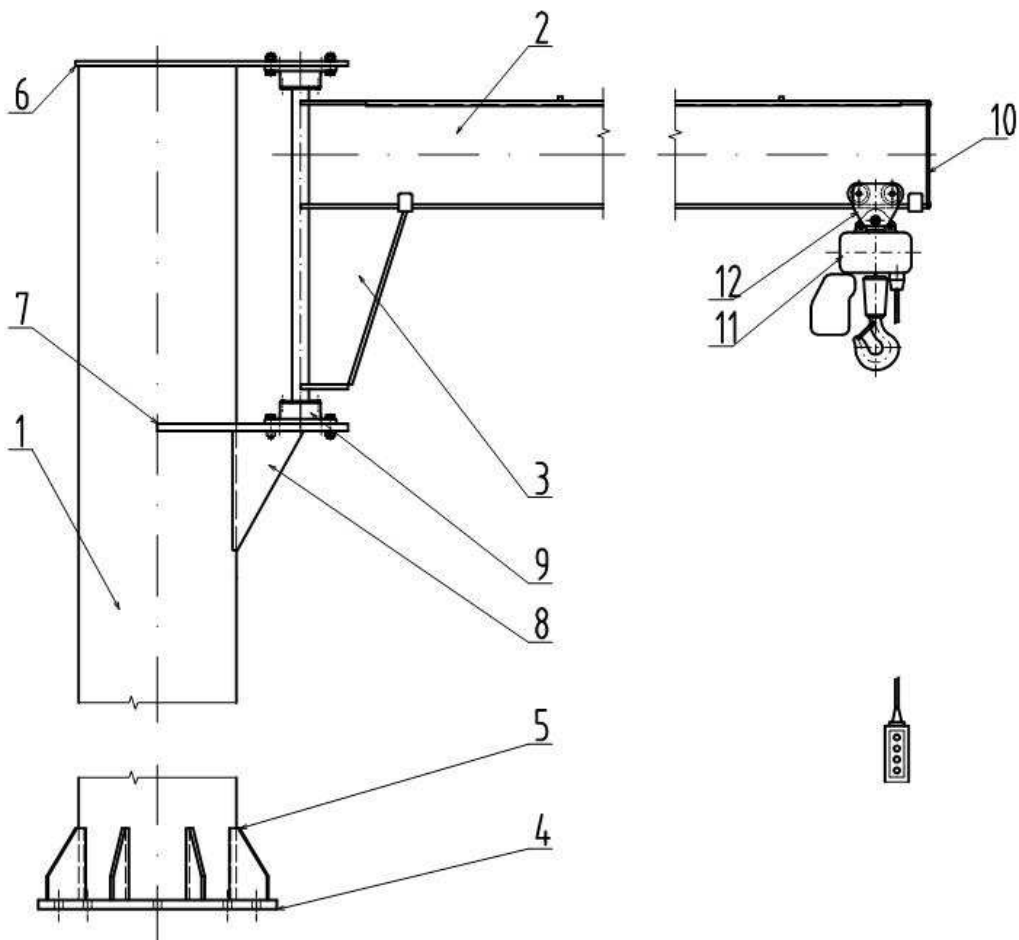
- Středně těžká konstrukce
- Rozsah otáčení ramene 360 °
- Pohon otáčení ramene: ruční nebo elektrický
- Vyložení ramene: standardně do 10 m
- Nosnost standardně: do 4000 kg
- Kladkostroj: elektrický řetězový
- Ukotvení: bezpečnostní se silným žebrováním patky sloupu

Velkou výhodou těchto jeřábů je velmi malá hmotnost konstrukce výložníku, k jeho velkému vyložení a nosnosti. Další výhodou je vhodné využití malé zástavné plochy k ukotvení sloupu jeřábu a také ve využití maximálního prostoru pro zdvih.

## 4 Volba jeřábu

### 4.1 Zvolená varianta řešení

Mým úkolem bylo navrhnout sloupový jeřáb takové koncepce, která vyhovuje zadaným parametrům a také poskytuje značnou možnost pohybu břemene jak ve vertikálním tak i horizontálním směru. Má zvolená koncepce vychází z varianty na obr. 3 a její úplné schéma je na obr.5. Jeřáb se skládá ze dvou hlavních svařených částí (sloup a výložník), které jsou doplněny menšími objekty zaručující správnou funkci jeřábu. Pohyb břemene zajišťuje kladkostroj pohybující se po nosném rameni výložníku. Toto bude řešeno elektrickým pohonem a otáčení ramene bude prováděno tlačím břemene zavěšeného na tomto kladkostroji.



Obr. 5 schéma navrhnuté varianty

1-sloup, 2-IPE profil, 3-krakorec, 4-kotevní deska, 5-žebra, 6-horní plotýnka, 7-dolní plotýnka, 8-výztužná žebra, 9-ložiskový domeček, 10-příložka, 11-kladkostroj, 12-pojezd kladkostroje.

## **Zadané parametry**

Nosnost 1500 kg

Výška zdvihu 4,5 m

Protože nebyl zadán rozsah otáčení výložníku, volil jsem 270°.

## **4.2 Bližší specifikace návrhu**

### **4.2.1 Ukotvení**

Jeřáb je uchycen k podlaze pomocí kotevní desky, která je svařena se sloupem a žebry. A je při šroubována na předem připravené kotevní svorníky trčící z betonového základu. Ze středu základu mezi těmito svorníky je připraven vývod elektrického kabelu k pozdějšímu připojení jeřábu.

### **4.2.2 Sloup**

Sloup je tvořen tlustostěnnou podélně svařovanou trubkou, ke které je na jeho horním konci přivařena plotýnka pro přichycení ložiskového domečku a na druhém je kotevní deska, tvořená silným žebrováním. V horní části sloupu je umístěna druhá plotýnka s výztužnými žebry pro přichycení druhého ložiskového domečku.

### **4.2.3 Rameno**

Rameno výložníku je tvořeno z profilu IPE, ke kterému je přivařena hřídel a krakorec (podpěra), která je tvořena plechem a širokou ocelí.

### **4.2.4 Kladkostroj**

Na základě požadavků byl vybrán kladkostroj GM8 1600.6-2 od firmy ABUS lit.[6], který umožňuje zvedat břemena do hmotnosti 1600 kg dvěma rychlostmi.



*Obr. 6 elektrický řetězový kladkostroj GM8 1600.6-2 od firmy ABUS dle lit. [6]*

Pojezd po výložníku je realizován pojezdovým ústrojím EF 22 také od firmy ABUS, které disponuje dvěma rychlostmi.



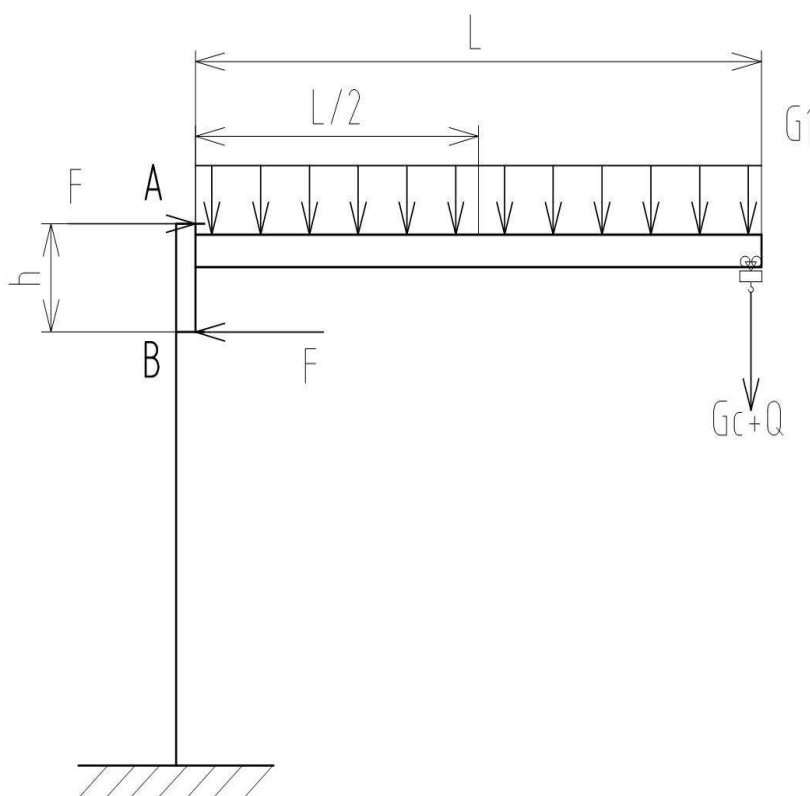
*Obr. 7 pojezdové ústrojí ABUS EF 22 dle lit. [6]*

#### **4.2.5 Doplnkové vybavení**

Koncové dorazy, přechodová skříně, kolejnice, držák kolejnice.

## 5 Výpočet ocelové konstrukce

Únosnost sloupového jeřábu je počítána dle zadaných parametrů podle lit. [1]. Hlavní prvky ocelové konstrukce vycházejí z výpočtu ohybových momentů působících na konstrukci a z nich navržených minimálních průřezových charakteristik. Výpočet byl zjednodušen a to na posouzení ohybových momentů působících na samostatný výložník v místě A dle obr.8. Dalším zjednodušujícím předpokladem je, že stejný ohybový moment, který působí na opěru o výšce  $h$ , také působí na sloup. Ve výpočtu je uvažováno zatížení od břemene a vlastní tíhy. Navrhované profily byly počítány vzhledem k návrhové pevnosti viz 5.1.2.



Obr. 8 schéma zatížení výložníku

### 5.1 Návrhový výpočet profilů

#### 5.1.1 Typy zatížení

Při výpočtu ocelových konstrukcí jeřábů se podle doby trvání a podle změn velikosti, polohy nebo smyslu a směru působení, rozeznávají zatížení a účinky zatížení zjištěných dle lit. [1].

## Stálá zatížení

### Součinitel zatížení vyvozený vlastní hmotností

Dle kapitoly VII a bodu 17 z lit. [1] platí pro zatížení vyvolaná vlastní hmotností součinitel:

$$\gamma_g = 1,1$$

## Nahodilá zatížení

### Součinitel zatížení od jmenovitého břemene

Pro druh provozu D1 dle tabulky 1. z lit. [1] platí:

$$\gamma_{10} = 1,2$$

### Dynamický součinitel od svislých setrvačných sil

Pro zdvihovou třídu H2 dle tabulky 3. z lit. [1] a maximální zdvihové rychlosti  $v_z = 6\text{m/min}$  platí:

$$\delta_h = 1,15 + 0,15 \cdot v_z = 1,15 + 0,15 \cdot 0,1 = \underline{1,165} \quad (5.1)$$

### Dynamický součinitel pojezdový

Pro rychlost pojezdu  $0,34\text{m/s}$  dle tabulky 4. z lit. [1] platí:

$$\delta_t = 1,1$$

## 5.1.2 Návrhová pevnost

Většina zvolených profilů a strojních součástí bude vyrobena z materiálu S355-J2. Parametry této oceli pro  $t \leq 40\text{mm}$  jsou voleny dle tabulky 4.2 z lit. [2]:

Mez pevnosti  $R_m = 510\text{ MPa}$

Mez kluzu  $R_e = 355\text{ MPa}$

Výpočet je proveden dle lit. [2]

$$f_{yd} \leq \frac{R_e}{\gamma_M \cdot k} \leq \frac{355}{1,15 \cdot 2} \leq \underline{154\text{ MPa}} \quad (5.2)$$

kde:

$R_e$  - je mez kluzu materiálu [MPa]

$k$  - požadovaná bezpečnost

$\gamma_M$  - dílčí součinitel spolehlivosti materiálu určen dle tabulky 6.1 z lit. [2]

Návrhovou pevnost volím  $f_{yd} = 150 \text{ MPa}$ .

### 5.1.3 Výpočet ohybového momentu

$$M_o = \left( m_{G1} \cdot \frac{L}{2} + m_{Gc} \cdot L \right) \cdot \gamma_g \cdot \delta_h \cdot \delta_t \cdot g + m_Q \cdot L \cdot \gamma_g \cdot \delta_h \cdot \gamma_{lo} \cdot g \quad (5.3)$$

$$M_o = (77,6 \cdot 3,5 + 150 \cdot 7) \cdot 1,1 \cdot 1,165 \cdot 1,1 \cdot 9,81 + 1500 \cdot 7 \cdot 1,1 \cdot 1,165 \cdot 1,2 \cdot 9,81$$

$$M_o = \underline{176678 \text{ Nm}}$$

kde:

$m_{G1}$  - předpokládaná vlastní hmotnost výložníku na délce L [kg]

$m_Q$  - hmotnost jmenovitého břemene [kg]

$m_{Gc}$  - celková předpokládaná hmotnost pojezdu a kladkostroje [kg]

L - předpokládaná délka výložníku viz obr.10 [m]

$\gamma_g, \gamma_{lo}, \delta_h, \delta_t$  - součinitele zatížení dle kap. 5.1.1

### 5.1.4 Výpočet dvojce sil F působící na sloup

$$F = \frac{M_o}{h} = \frac{176678}{1,5} = \underline{117786 \text{ N}} \quad (5.4)$$

kde:

h - předpokládaná výška svařovaného nosníku viz obr.10 [m]

$M_o$  - ohybový moment působící na výložník a sloup viz rovnice (5.3) [Nm]

### 5.1.5 Výpočet minimálních hodnot průřezových charakteristik

$$W_o = \frac{M_o}{\sigma_D} = \frac{176678}{150 \cdot 10^6} = \underline{1,179 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} \quad (5.5)$$

kde:

$W_o$  - průřezový modul v ohybu [m<sup>3</sup>]

$\sigma_D$  - maximální dovolené napětí, volím rovno návrhové pevnosti  $f_{yd}$  dle kap.5.1.2 [Pa]

$M_o$  - ohybový moment působící na výložník a sloup viz rovnice (5.3) [Nm]

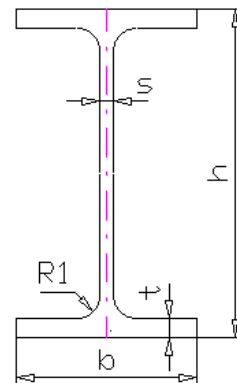
## 5.1.6 Volba profilu

Na rameno výložníku volím profil IPE 450, který je přivařen k hřídeli KR 260, ke kterému je taky přivařen krakorec jako svařenec plechu P20 a široké oceli PLO 190x20. Na sloup volím trubku TR 660x16.

### Profil IPE450

Parametry profilu IPE 450 dle lit. [7].

Šířka příruby	$b = 190 \text{ mm}$
Výška průřezu	$h = 450 \text{ mm}$
Tloušťka příruby	$t = 14,6 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny	$s = 9,4 \text{ mm}$
Plocha průřezu	$F = 98,8 \text{ cm}^2$
Hmotnost	$G = 77,6 \text{ kg/m}$
Plocha povrchu	$U = 1,61 \text{ m}^2/\text{m}$
Průřezový modul k ose ohybu x	$W_x = 1500 \text{ cm}^3$
Průřezový modul k ose ohybu y	$W_y = 176 \text{ cm}^3$
Moment setrvačnosti k ose ohybu x	$I_x = 33740 \text{ cm}^4$
Moment setrvačnosti k ose ohybu y	$I_y = 1680 \text{ cm}^4$



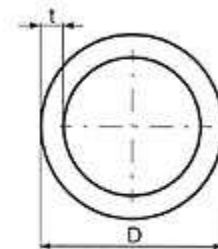
Obr. 9 profil IPE 450

$$W_x \geq W_o$$
$$1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 > 1,179 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

### Trubka TR 660x16

Parametry trubky TR 660x16 dle lit. [8]:

Průměr trubky	$D_t = 660 \text{ mm}$
Světlost stěny	$t_t = 16 \text{ mm}$
Průřez. modul v ohybu	$W_{Ot} = 5,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$



Obr. 10 trubka TR 660x16 dle lit. [8]

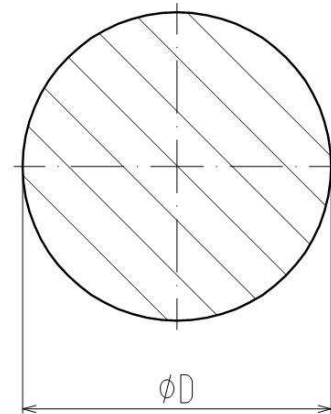
$$W_{Ot} \geq W_o$$
$$5,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 > 1,179 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

## Kruhává tyč KR 260

Parametry kruhové tyče KR 260 dle lit. [7]:

Průměr kruhové tyče  $D_h = 260 \text{ mm}$

Průřez. modul v ohybu  $W_{Oh} = 1,725 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

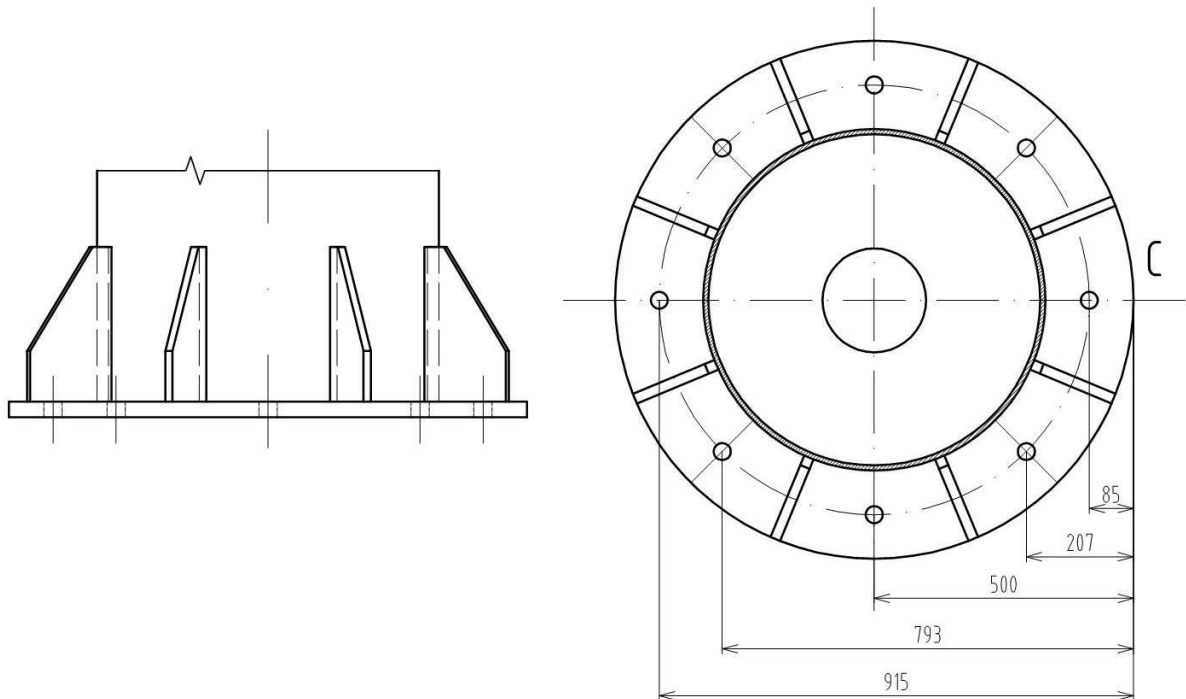


Obr. 11 kruhává tyč KR 260

$$W_{Oh} \geq W_o$$

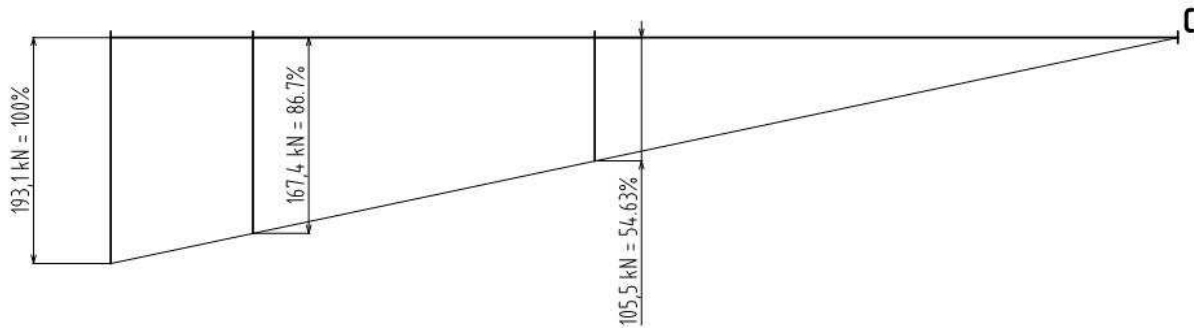
$$1,725 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 > 1,179 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

## 5.2 Návrh kotevňích šroubů



Obr. 12 kotevňí deska

Kotevní deska sloupu bude tvořena plechem o tloušťce 40 mm s výstužnými žebry o tloušťce 20 mm dle obr. 12. Uprostřed bude vyroben otvor pro přívod elektřiny. Tato deska bude připevněna kotevními svorníky do betonového základu pomocí 8 šroubů M30x3,5-8.8. Dle obr. 12 vypočítáme sílu působící na šroub a provedeme kontrolu spoje.



Obr. 13 síla působící ve šroubu dle vzdálenosti od klopné hrany

Dle tabulky *mechanické vlastnosti ocelových šroubů z lit.* [11] pro šrouby pevnostní třídy 8.8 jsem volil tyto parametry:

Mez pevnosti  $R_{m\text{s}} = 830 \text{ MPa}$

Mez kluzu  $R_{e\text{s}} = 640 \text{ MPa}$

$$\sum M_{oC} = 0$$

$$F_{\text{s}} \cdot l_5 + 0,867 \cdot F_{\text{s}} \cdot 2l_4 + 0,546 \cdot F_{\text{s}} \cdot 2l_3 - M_{oC} = 0 \quad (5.7)$$

$$F_{\text{s}} = \frac{M_o}{l_5 + 0,867 \cdot 2l_4 + 0,546 \cdot 2l_3} = \frac{176678 \cdot 10^3}{915 + 0,867 \cdot 2 \cdot 793 + 0,546 \cdot 2 \cdot 500}$$

$$F_{\text{s}} = \underline{62297\text{N}}$$

kde:

$F_{\text{s}}$  - síla působící ve šroubu [N]

$l_{1..5}$  - vzdálenost osy šroubu od klopné hrany kotevní desky dle obr. 12 [mm]

$M_o$  - ohybový moment působící na výložník a sloup viz rovnice (5.3) [Nm]

### 5.2.1 Výpočet dovoleného napětí ve šroubu

$$\sigma_{D\text{s}} = 0,8 \cdot R_{e\text{s}} = 0,8 \cdot 640 = \underline{512\text{MPa}} \quad (5.8)$$

kde:

$\sigma_{D\check{s}}$  - maximální dovolené napětí ve šroubu [MPa]

$Re_{\check{s}}$  - mez kluzu materiálu šroubu dle lit. [11] [MPa]

### 5.2.2 Určení tahového napětí ve šroubu

$$\sigma_{\check{s}} = \frac{F_{\check{s}}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{m3}^2} = \frac{62297}{\frac{\pi}{4} \cdot 25,706^2} = \underline{120,1 \text{ MPa}} \quad (5.9)$$

$$\sigma_{D\check{s}} \geq \sigma_{\check{s}}$$

$$512 \text{ MPa} > 120,1 \text{ MPa} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

kde:

$\sigma_{\check{s}}$  - tahové napětí ve šroubu [MPa]

$\sigma_{D\check{s}}$  - maximální dovolené napětí ve šroubu [MPa]

$d_{m3}$  - malý průměr šroubu závitu M30x3,5-8.8 dle lit. [3] [mm]

$F_{\check{s}}$  - síla působící ve šroubu (5.7) [N]

Zvolený šroubový spoj vyhovuje zadaným parametrům.

### 5.2.3 Kontrola šroubového spoje:

Kontrola šroubového spoje byla provedena v programu AutoCAD 2002 + Mechsoft 2002.

#### Zatížení:

Provozní síla = 62300 N

Koeficient těsnosti spoje = 0.7

#### Rozměry:

Průměr šroubu = M30

Šířka materiálu = 40 mm

**Materiál:**

Dov. napětí ve šroubu	320 MPa p.t. 8.8 (Re=640 MPa)
Dov. tlak v závitu	135 MPa šroub 8.8 ocel
Modul pružnosti	210000 MPa

**Výsledky výpočtu:**

Předepínací síla	= 98468.991 N
Utahovací moment	= 470.053 Nm
Vyp. napětí v tahu	= 175.651 MPa
Vyp. napětí v krutu	= 140.93 MPa
Redukované napětí	= 300.727 MPa
Napětí od max. síly	= 188.924 MPa
Vyp. tlak v závitu	= 86.563 MPa
Pevnostní kontrola	= Vyhovuje

## 6 Ložiska

Kontrola ložiska spočívá pouze jen v kontrole na statickou únosnost, protože otáčky výložníku jsou zanedbatelné.

**Radiální síla**

$$F_R = F = \underline{117786\text{N}} \quad (6.1)$$

kde:

$$F \quad - \text{ síla působící na sloup v silové dvojici viz rovnice (5.4)} \quad [\text{N}]$$

**Axiální síla**

$$F_A = (m_{G1} + m_Q + m_{Gc}) \cdot g \quad (6.2)$$

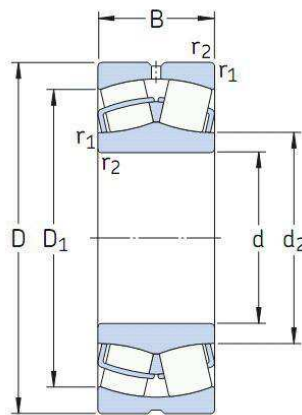
$$F_A = (76,7 \cdot 7 + 1500 + 150) \cdot 9,81$$

$$F_A = \underline{21515\text{N}}$$

kde:

$m_{G1}$	- předpokládaná vlastní hmotnost výložníku na délce L	[kg]
$m_Q$	- hmotnost jmenovitého břemene	[kg]
$m_{Gc}$	- celková předpokládaná hmotnost pojezdu a kladkostroje	[kg]
$g$	- gravitační zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]

Pro uložení hřídele výložníku volím dvojici soudečkových 2.řadých ložisek typu SKF 23 948 CC/W33 dle lit. [9]. Pro tyto ložiska volím mazivo od stejného výrobce typu SKF LGEV 2 je to velmi viskózní mazivo s tuhými přísadami. Toto mazivo je složeno z Lithno-vápenného mýdla a minerálního oleje dle lit. [10]



Obr. 14 ložisko 23 948 CC/W33 dle lit. [9]

#### **Ložisko SKF 23 948 CC/W33 dle lit. [9].**

Vnitřní průměr kroužku	$d_L = 240 \text{ mm}$
Vnější průměr kroužku	$D_L = 320 \text{ mm}$
Šířka ložiska	$B_L = 60 \text{ mm}$
Základní dynamická únosnost	$C = 655 \text{ kN}$
Základní statická únosnost	$C_o = 1160 \text{ kN}$
Hmotnost ložiska	$m_L = 13,5 \text{ kg}$

#### **Mazivo LGEV 2 dle lit. [10].**

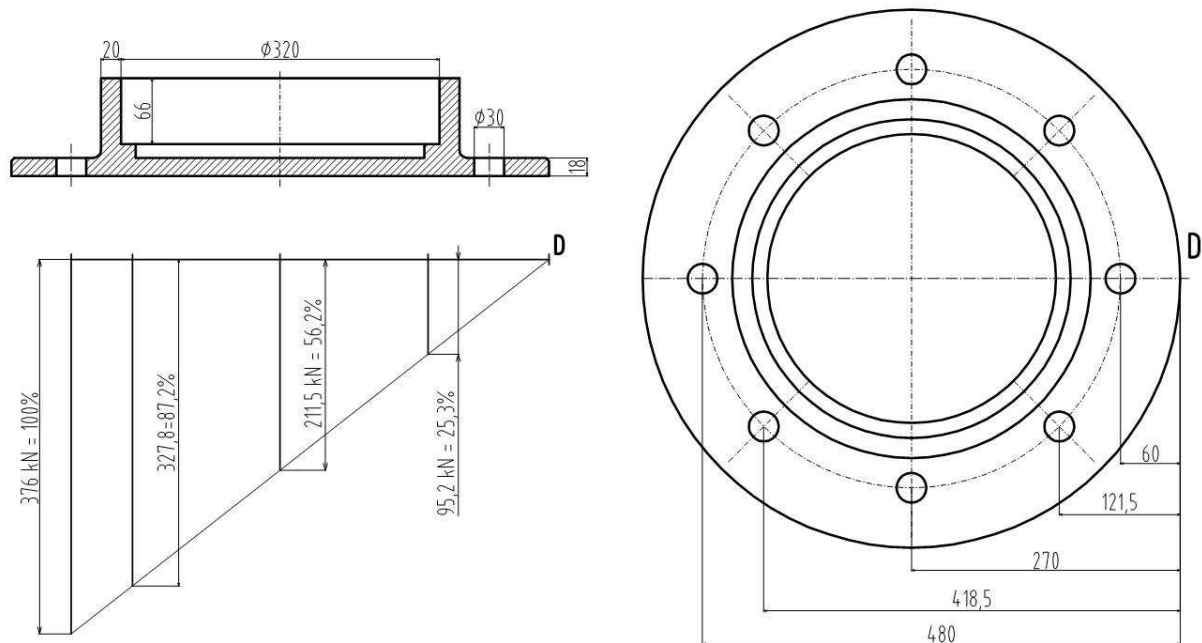
Rozsah provozních teplot	$-10^\circ\text{C}$ až $+120^\circ\text{C}$
Viskozita základového oleje při $40^\circ\text{C}$	$1020 \text{ mm}^2/\text{s}$

Ekvivalentní zatížení ložiska a základní trvanlivost

	Ložisko	23948 CC/W33	
Zvolit $\eta_c$	d [mm]	240	
<input type="text" value="0.5"/>	D [mm]	320	
	C [kN]	<input type="text" value="655"/>	
	$C_D$ [kN]	<input type="text" value="1160"/>	
	$F_r$ [kN]	<input type="text" value="118"/>	
	$F_a$ [kN]	<input type="text" value="22"/>	
	n [ $\text{min}^{-1}$ ]	<input type="text" value="10"/>	
	v [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ]	<input type="text" value="1020"/>	
	e	0.15	
	X	0.67	$X_0$ 1
	Y	6.7	$Y_0$ 4.5
	P [kN]	226	$P_0$ [kN] 217
	$L_{10}$ [Milióny otáček]	34	

Obr. 15 výpočet ložiska dle lit. [9].

## 6.1 Návrh šroubů k upevnění ložiskového domečku



Obr. 16 ložiskový domeček

Dle tabulky *mechanické vlastnosti ocelových šroubů* z lit. [11] pro šrouby pevnostní třídy 12.9 jsem volil tyto parametry:

Mez pevnosti  $R_{m_s} = 1200 \text{ MPa}$

Mez kluzu  $R_{e_s} = 1080 \text{ MPa}$

Dle obr. 16 se stanoví síla ve šroubu. Je zvolen šroub M27x3-12.9

$$\sum M_{O_D} = 0$$

$$F_s \cdot l_5 + 0,872 \cdot F_s \cdot 2l_4 + 0,562 \cdot F_s \cdot 2l_3 + 0,253 \cdot F_s \cdot 2l_2 - M_o = 0 \quad (6.3)$$

$$F_s = \frac{M_o}{l_5 + 0,872 \cdot 2l_4 + 0,562 \cdot 2l_3 + 0,253 \cdot 2l_2} =$$

$$= \frac{176678 \cdot 10^3}{480 + 0,872 \cdot 2 \cdot 418,5 + 0,562 \cdot 2 \cdot 270 + 0,253 \cdot 2 \cdot 121,5}$$

$$F_s = \underline{\underline{112190 \text{ N}}}$$

kde:

- $F_{\xi}$  - síla působící ve šroubu [N]  
 $l_{1..5}$  - vzdálenost osy šroubu od klopné hrany ložiskového domečku dle obr. 16 [mm]  
 $M_o$  - ohybový moment působící na výložník a sloup viz rovnice (5.3) [Nm]

### 6.1.1 Výpočet dovoleného napětí ve šroubu

$$\sigma_{D\xi} = \frac{Re_{\xi}}{k} = \frac{1080}{2} = \underline{540\text{MPa}} \quad (6.4)$$

kde:

- $\sigma_{D\xi}$  - maximální dovolené napětí ve šroubu [MPa]  
 $Re_{\xi}$  - mez kluzu materiálu šroubu dle lit. [11] [MPa]

### 6.1.2 Určení tahového napětí ve šroubu

$$\sigma_{\xi} = \frac{F_{\xi}}{\frac{\pi}{4} \cdot d_{m3}^2} = \frac{112190}{\frac{\pi}{4} \cdot 23,319^2} = \underline{262,8\text{MPa}} \quad (6.5)$$

$$\sigma_{D\xi} \geq \sigma_{\xi}$$

$$540 \text{ MPa} > 262,8 \text{ MPa} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

kde:

- $\sigma_{\xi}$  - tahové napětí ve šroubu [MPa]  
 $\sigma_{D\xi}$  - maximální dovolené napětí ve šroubu [MPa]  
 $d_{m3}$  - malý průměr šroubu závitu M27x3-12.9 dle lit. [3] [mm]  
 $F_{\xi}$  - síla působící ve šroubu (5.7) [N]

Zvolený šroubový spoj vyhovuje zadaným parametrům.

### 6.1.3 Kontrola šroubového spoje:

Kontrola šroubového spoje byla provedena v programu AutoCAD 2002 + Mechsoft 2002.

#### Zatížení:

Provozní síla	= 112190 N
Koeficient těsnosti spoje	= 0.5

#### Rozměry:

Průměr šroubu	= M27
Šířka materiálu	= 40 mm

#### Materiál:

Dov. napětí ve šroubu	540 MPa p.t. 12.9 (Re=1080 MPa)
Dov. tlak v závitu	225 MPa šroub 10.9 - 12.9 * ocel
Modul pružnosti	210000 MPa

#### Výsledky výpočtu:

Předepínací síla	= 155245.961 N
Utahovací moment	= 665.104 Nm
Vyp. napětí v tahu	= 337.922 MPa
Vyp. napětí v krutu	= 267.114 MPa
Redukované napětí	= 532.924 MPa
Napětí od max. síly	= 366.304 MPa
Vyp. tlak v závitu	= 163.859 MPa
Pevnostní kontrola	= Vyhovuje

## 6.2 Kontrola stěny ložiskového domečku dle obr. 16

### 6.2.1 Kontrola na smyk

$$\tau_S = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot \frac{D}{2} \cdot t_1} = \frac{2 \cdot 117786}{\pi \cdot 160 \cdot 20} = \underline{23,5 \text{ MPa}}$$

$$\tau_D = 0,7 \cdot \sigma_D = 0,7 \cdot 150 = \underline{105 \text{ MPa}}$$

$$\tau_D \geq \tau_S$$

$$105 \text{ MPa} > 23,5 \text{ MPa} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

kde:

$D_L$  - velký průměr zvoleného ložiska SKF 23 948 CC/W33 [mm]

$t_L$  - tloušťka stěny [mm]

$F$  - síla působící na sloup v silové dvojici viz rovnice. (5.4) [N]

$\sigma_D$  - maximální dovolené napětí, volím rovno návrhové pevnosti  $f_{yd}$  dle kap.5.1.2 [MPa]

### 6.2.2 Kontrola na otláčení

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{\pi \cdot \frac{D}{2} \cdot B} = \frac{2 \cdot 117786}{\pi \cdot 160 \cdot 60} = \underline{8 \text{ MPa}}$$

$$p_D = 0,49 \cdot \sigma_D = 0,49 \cdot 150 = \underline{73,5 \text{ MPa}}$$

$$p_D \geq p$$

$$73,5 \text{ MPa} > 8 \text{ MPa} \Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}}$$

kde:

$D_L$  - velký průměr zvoleného ložiska SKF 22 948 CC/W33 [mm]

$B_L$  - tloušťka zvoleného ložiska typu SKF 22 948 CC/W33 [mm]

$F$  - síla působící na sloup v silové dvojici viz rovnice. (5.4) [N]

$\sigma_D$  - maximální dovolené napětí, volím rovno návrhové pevnosti  $f_{yd}$  dle kap.5.1.2 [MPa]

## 7 Pevnostní kontrola konstrukce

Pevnostní analýza konstrukce byla provedena za pomoci programu I-DEAS NX 11. V této analýze jde hlavně o zjištění výskytu maximálních napětí a jejich hodnot. V tomto zatěžovacím stavu je důležité srovnání maximálního průhybu výložníku a vliv zatížení na průhyb sloupu. V tomto programu bylo provedeno modelování tvorbou sítě, zadání okrajových podmínek, samostatný výpočet a vyhodnocení těchto výsledků. Dále jsem provedl pevnostní kontrolu skořepinového modelu. Pro tyto operace v tomto programu bylo zapotřebí zavést nějaké zjednodušující předpoklady popsány v kapitole 7.1.

### 7.1 Zjednodušující předpoklady modelu sloupu a výložníku

Díky složitosti skutečné konstrukce a jejímu reálnému nahrazení v MKP programech bylo potřeba zavést v programu I-DEAS NX 11 při modelování a nahrazování okrajových podmínek různá zjednodušení popsána níže.

Hlavním zjednodušením při pevnostní analýze sloupu a výložníku je použití skořepinového modelu – Thin shell. Tento druh modelu jsem upřednostnil před přesnějším objemovým modelem – Solid shell, ze kterého je vyroben pouze hřídél výložníku. Jednak z důvodu podstatně kratších výpočtových časů a také z důvodu konstrukce sloupu a výložníku, která je tvořena profilovým materiálem a tlustostěnnými plechy, díky čemuž se dají zajistit téměř podobné výsledky jako u objemového modelování. Tento model byl vytvořen pomocí střednicových ploch profilů a plechů, ke kterým pak byly přiřazeny různé virtuální tloušťky sítě. Sloup i výložník je řešen zvlášť, ale jejich vzájemné působení je řešeno za pomoci okrajových podmínek popsaných v kapitole 7.2. Dalším zjednodušením je řešení šroubových spojů, jejich modelování a ekvivalentní nahrazení je v MKP programech značně složité a navíc vyplývající ze zadání značně nepodstatné. Proto jsou tyto spoje nahrazeny náhradami viz. kapitola 7.2.2. Při tomto modelování je uvažována hlavní ocelová konstrukce jeřábu. Další zbylé součásti jako jsou ložiska, jsou zde nahrazeny pomocnými vazbami a dalšími okrajovými podmínkami popsanými v kapitole 7.2.

## 7.2 Řešení pomocí programu I-DEAS NX 11

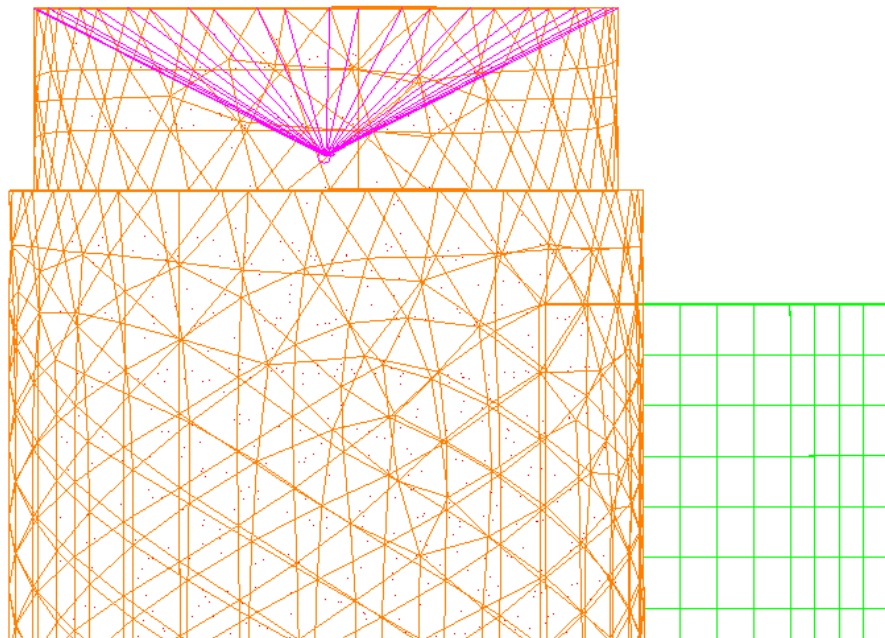
### 7.2.1 Síť modelu

Síť modelu byla volena a to na výložník byla použita velikost prvků 10 a na model sloupu byla volena velikost prvků 20. Většina střednicových ploch byla vysítována mapovaně, kdy volná síť byla použita jen na tvarově složité plochy jako patka sloupu, plotýnky, plochy s dírami, kruhové plochy.

### 7.2.2 Popis náhrad

#### Nahrazení ložiska

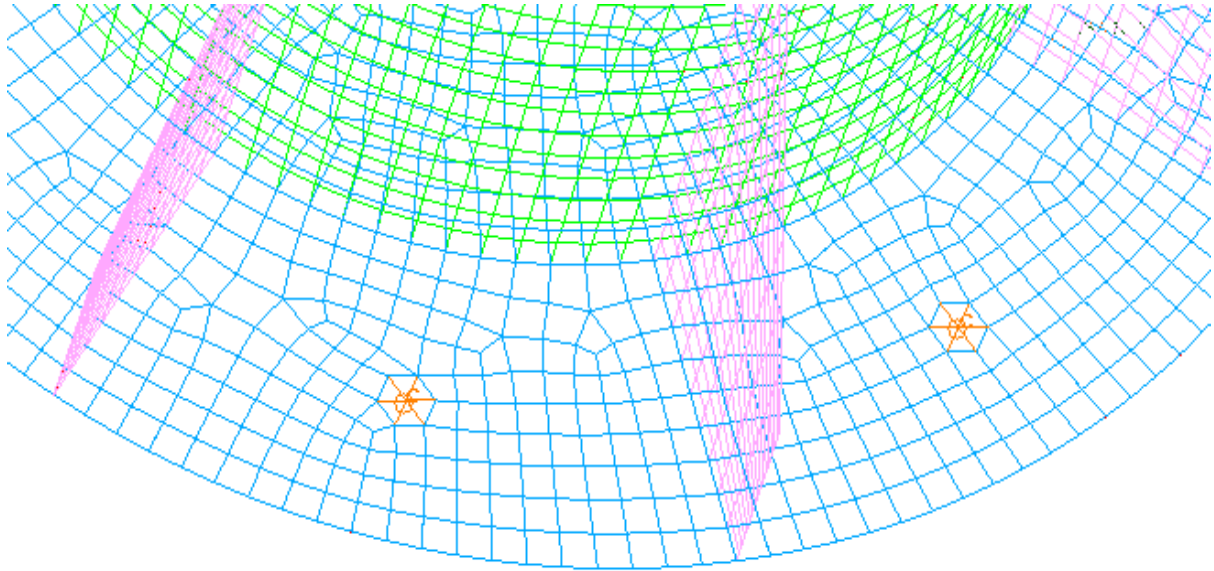
Ložisko mezi sloupem a výložníkem bylo ve skořepinovém modelu nahrazeno svedením RBE3 prvku Constraint do přibližného středového bodu budoucího ložiska viz obr. 17.



Obr. 17 nahrazení ložiska výložníku

### Nahrazení šroubových spojů

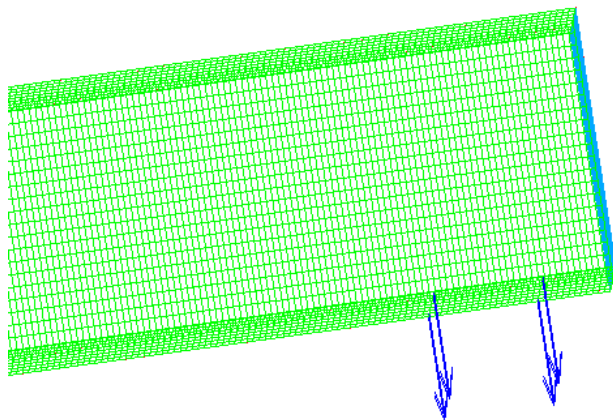
Na patce sloupu je šroubový spoj nahrazen svedením sítě kolem díry do jejího středového bodu pomocí RBE3 prvku Constraint viz obr. 18 a v tomto místě uchycením skrze okrajovou podmínku Displacement restraint dle kapitoly 7.2.3 viz obr. 21.



*Obr. 18 nahrazení šroubů na patce sloupu*

### Nahrazení silového působení kočky

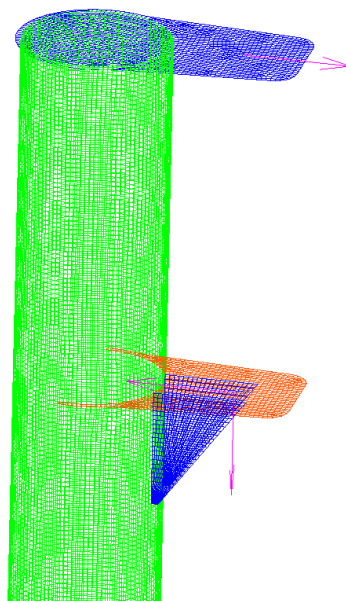
V tomto případě je působení pojezdových kol, která přenášejí veškerá zatížení břemene, nahrazena působením 4 sil skrze malé plochy pásnice výložníkového profilu v přibližném místě umístění pojezdových kol při maximálním vyložení viz obr. 19.



*Obr. 19 nahrazení silového působení pojezdu kladkostroje na výložník*

### **Nahrazení silového působení výložníku na sloup**

Silové působení je zde nahrazeno působením dvojice sil, přičemž jedna síla nahrazuje působení výložníku na horní plotýnky sloupu. Druhá síla silové dvojice nahrazuje rozložení sil výložníku do středu sloupu a v proti směru osy Y od vlastní tíhy s jeho nosností.

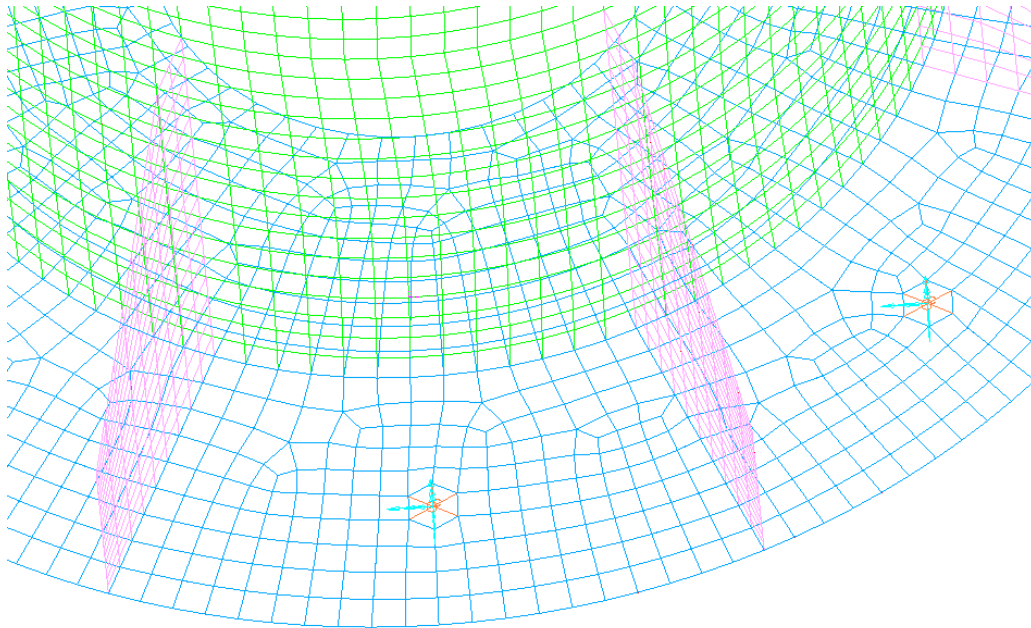


*Obr. 20 nahrazení silového působení výložníku na sloup*

### 7.2.3 Okrajové podmínky

#### Nahrazení uchycení patky sloupu do betonu

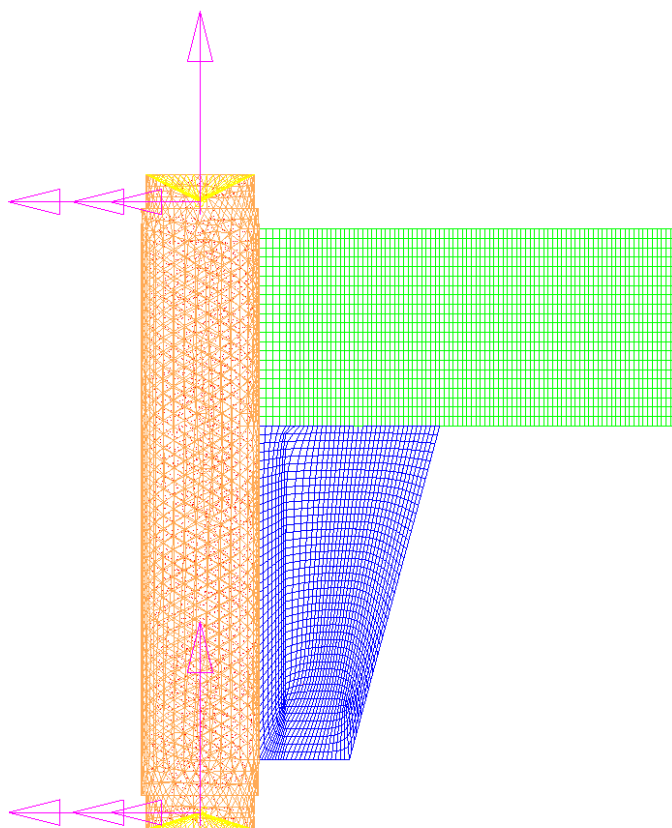
Šroubový spoj (kotevní svorníky), kterým je přichycen sloupový otočný jeřáb do betonu, je nahrazen okrajovými podmínkami Displacement restraint omezenými ve všech směrech a natočeních viz obr. 21, které jsou umístěny v prvcích Constraint dle kap. 7.2.2.



*Obr. 21 nahrazení šroubů na patce sloupu*

#### Nahrazení působení sloupu na výložník

Uchycení výložníku ke sloupu v místech ložiska je nahrazena RBE3 prvkem Constraint, který je sveden přibližně do středového bodu ložiska, kde je omezen okrajovou podmínkou Displacement restraint. Tato okrajová podmínka má omezeny veškeré posuvy. Natočení je povoleno jen kolem osy Y viz obr. 22 při čemž osa Y je totožná s osou sloupu.



Obr. 22 nahrazení působení sloupu na výložník

## 7.3 Zatěžovací stavy

### 7.3.1 1. Stav pro maximální délku vyložení výložníku – břemeno je v klidu

Zatížení výložníku je zde uvažováno jako silové působení vlastní tíhy konstrukce, dále jako tíhové působení jmenovitého břemene 1500 kg a předpokládané hmotnosti kladkostroje a pojezdu 150 kg v délce vyložení 7000 mm. Síly působící na sloup jsou vypočteny dle rovnice (5.4). V této rovnici však nejsou zahrnuty součinitele zatížení dle kapitoly 5.1.1. Tato síla ze silové dvojice je rovna 77 314 N.

### 7.3.2 2. Stav pro maximální délku vyložení výložníku – břemeno je v pohybu

Jelikož není rychlost zvedání vysoká a díky použití frekvenčního měniče doba rozběhu dosahuje přibližně 2s. Z těchto parametrů vyplývá, že rychlost zvedání břemene je téměř zanedbatelná. Proto jsem zrychlení zatěžujícího výložník při rozběhu břemene nahradil

působením tíhy od jmenovitého břemene 1500 kg a hmotnosti pojezdu a řetězového kladkostroje 150 kg při použití součinitelů dle kapitoly 5.1.1. Velikost dvojice sil působících na sloup je zvolena dle rovnice (5.4).

## 7.4 Pevnostní kontrola skořepinového modelu

### 7.4.1 Skořepinový model sloupu 1. zatěžující stav

**Popis následujících obrázků** – následující obr. 23 a 24 jsou výsledkem 1. zatěžujícího stavu sloupu dle kapitoly 7.3.1 analýzou HMH. Zobrazení výsledků je dle barevného spektra od 0 do 150 MPa. Model je zobrazen v deformovaném stavu, kde deformace jsou 50x zvětšeny.



Obr. 23 průběh napětí na sloupu analýzou HMH, 1. zatěžující stav, zobrazení 0-150 MPa, viditelná vrchní část skořepiny, deformace 50x zvětšeny, výložník otočen ve směru osy x.

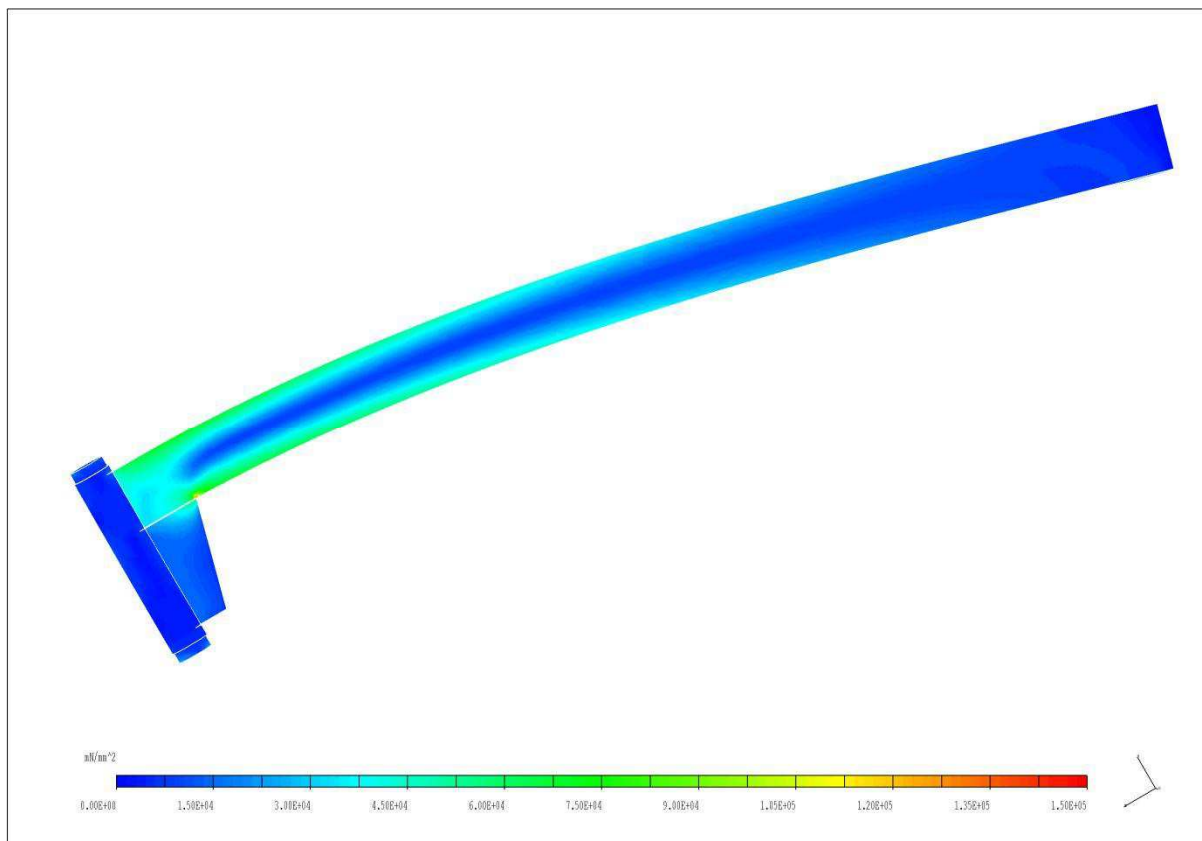


Obr. 24 průběh napětí na sloupu analýzou HMM, 1. zatěžující stav, zobrazení 0-150 MPa, viditelná vrchní část skořepiny, deformace 50x zvětšeny, výložník otočen v proti směru osy z.

Jak je patrné z obrázku 23 a 24, největší namáhání sloupu je v místech napojení žeber ke sloupu a taky na poloměru dolní plotýnky s žebrováním. Na celém zbytku sloupu nepřesáhne hodnota 90 MPa, což je menší hodnota než námi zvolená návrhová pevnost dle kapitoly 5.1.2. Z toho plyne, že skořepinový model potvrzuje správnost výpočtu navržené konstrukce. Jak jsem již uvedl, nacházejí se zde dvě kritická místa. Na dolní plotýnce s žebrováním dosahuje maximální hodnota napětí okolo 110 MPa. Dalším kritickým místem je napojení žeber patky ke sloupu. To je dáno vrubovým napětím a přechodem ze silnějšího materiálu na tenčí. V těchto místech jsou hodnoty okolo 130 MPa. Největší přemístění je na vrcholu sloupu a dosahuje hodnot 7,5 mm na obr. 23 a 6,9 mm na obr. 24.

## 7.4.2 Skořepinový model výložníku 1. zatěžovací stav

**Popis následujícího obrázku** – následující obr. 25 je výsledkem 1. zatěžujícího stavu výložníku dle kapitoly 7.3.1 analýzou HMM. Zobrazení výsledků je dle barevného spektra od 0 do 150 MPa. Model je zobrazen v deformovaném stavu, kde deformace jsou 50x zvětšeny.

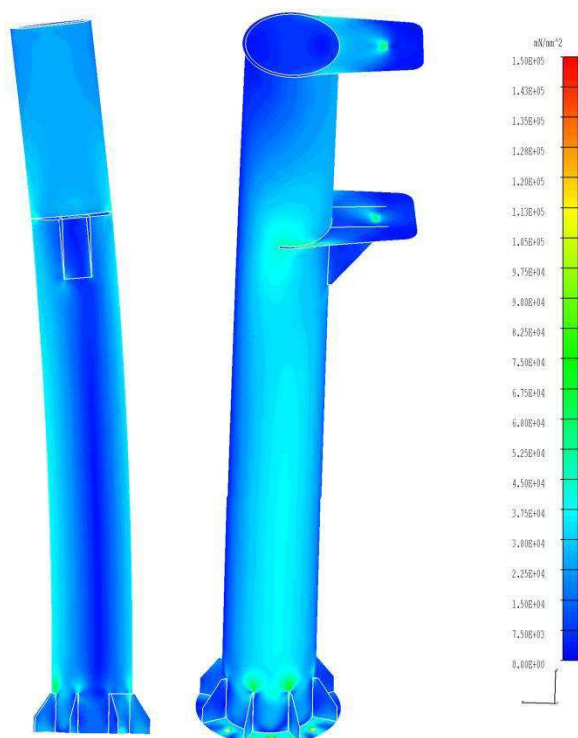


Obr. 25 průběh napětí na výložníku analýzou HMH, 1. zatěžující stav, zobrazení 0-150 MPa, viditelná vrchní část skořepiny, deformace 50x zvětšeny.

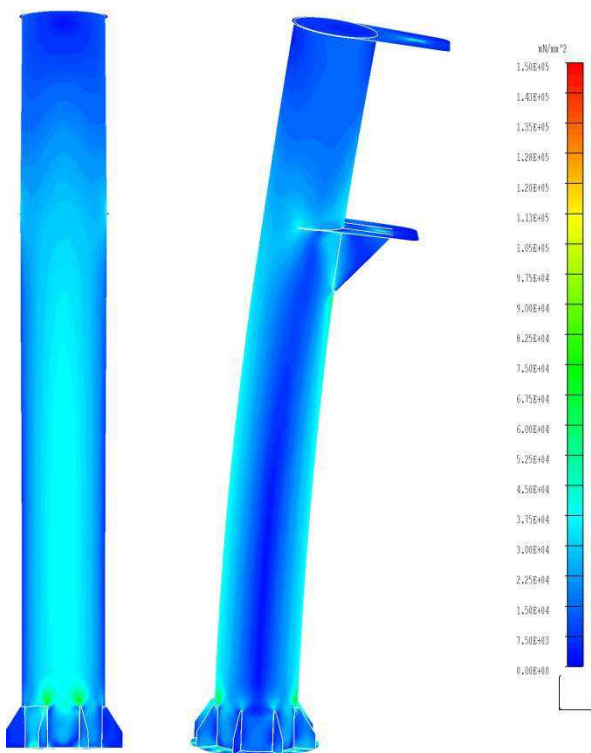
Jak je patrné z obrázku 25, největší namáhání výložníku je v místě napojení podpěry (krakorce) k rameni. Na celém zbytku výložníku nepřesáhne hodnota 100 MPa, což je menší hodnota než námi zvolená návrhová pevnost dle kapitoly 5.1.2. Z toho plyne, že skořepinový model potvrzuje správnost výpočtu navržené konstrukce. Jak jsem již uvedl, nachází se zde kritické místo, kde jeho maximální hodnota napětí dosahuje okolo 147 MPa. To je dáno vrubovým napětím a přechodem ze silnějšího materiálu na tenčí. Největší přemístění dosahuje hodnot 18,2 mm.

### 7.4.3 Skořepinový model sloupu 2. zatěžující stav

**Popis následujících obrázků** – následující obr. 26 a 27 jsou výsledkem 2. zatěžujícího stavu sloupu dle kapitoly 7.3.2 analýzou HMH. Zobrazení výsledků je dle barevného spektra od 0 do 150 MPa, přičemž při čemž veškeré napětí přesahující tuto hodnotu jsou zobrazena černě. Model je zobrazen v deformovaném stavu, kde deformace jsou 50x zvětšeny.



Obr. 26 průběh napětí na sloupu analýzou HMH, 2. zatěžující stav, zobrazení 0-150 MPa, viditelná vrchní část skořepiny, deformace 50x zvětšeny, výložník otočen v proti směru osy z.

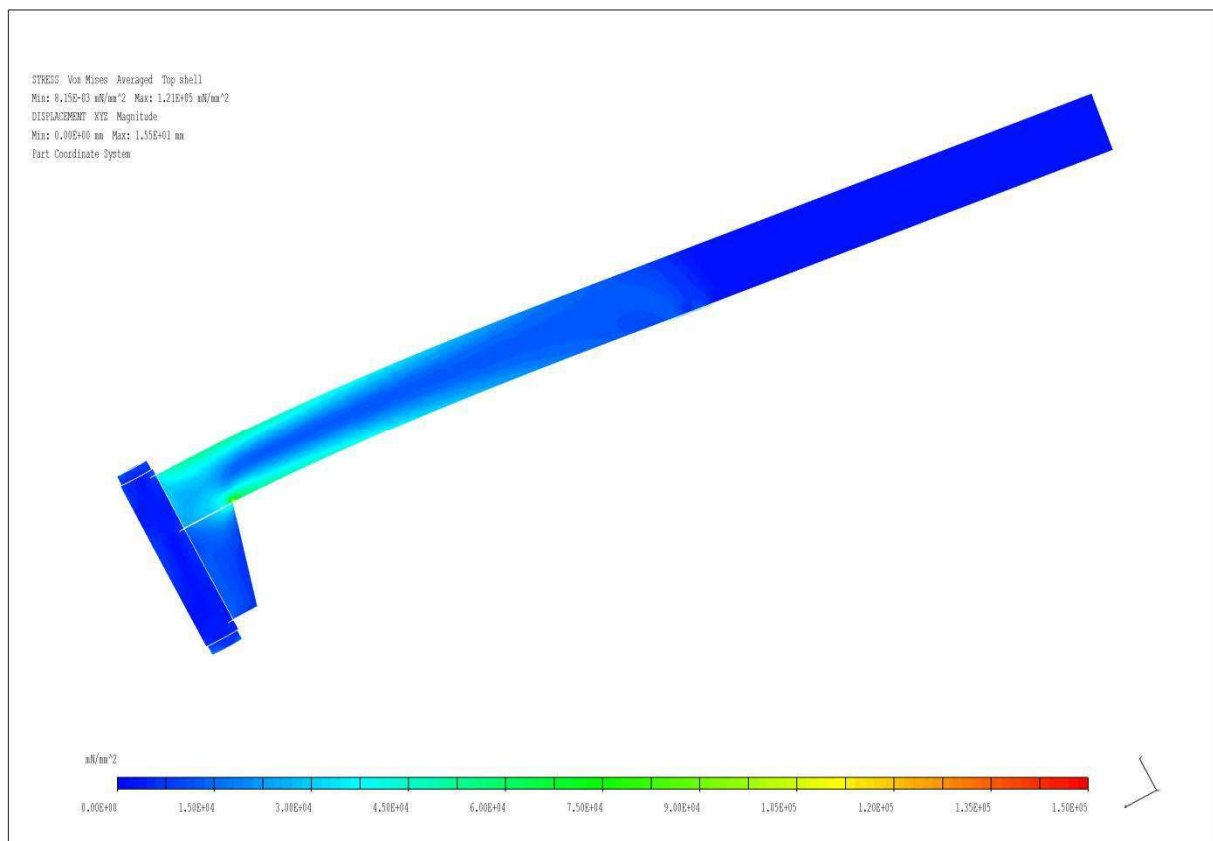


Obr. 27 průběh napětí na sloupu analýzou HMH, 2. zatěžující stav, zobrazení 0-150 MPa, viditelná vrchní část skořepiny, deformace 50x zvětšeny, výložník otočen v proti směru osy x.

Podobně jako v kapitole 7.4.1 tak i zde dochází k největšímu namáhání sloupu ve stejných kritických místech, a sice v napojení žeber ke sloupu a taky na poloměru dolní plotýnky s žebrováním. Z hlediska celkové konstrukce, s výjimkou těchto kritických míst, dosahuje maximální napětí na sloupu kolem 110 MPa, což je i při 2. zátěžovém stavu, stále menší hodnota než námi požadovaná navrhovaná pevnost dle kapitoly 5.1.2. Již ve dvou zmiňovaných kritických místech vznikají napěťové špičky ze stejných důvodů jako v kapitole 7.4.1 Tyto špičky dosahují na plotýnce 135 MPa a na žebrech patky až 185 MPa. Vezmeme-li v potaz zvolený materiál, a že se jedná o napěťové špičky, které trvají jen pár sekund, lze zvolenou konstrukci označit stále za dostačující. Největší přemístění na vrcholu sloupu dosahuje 11 mm.

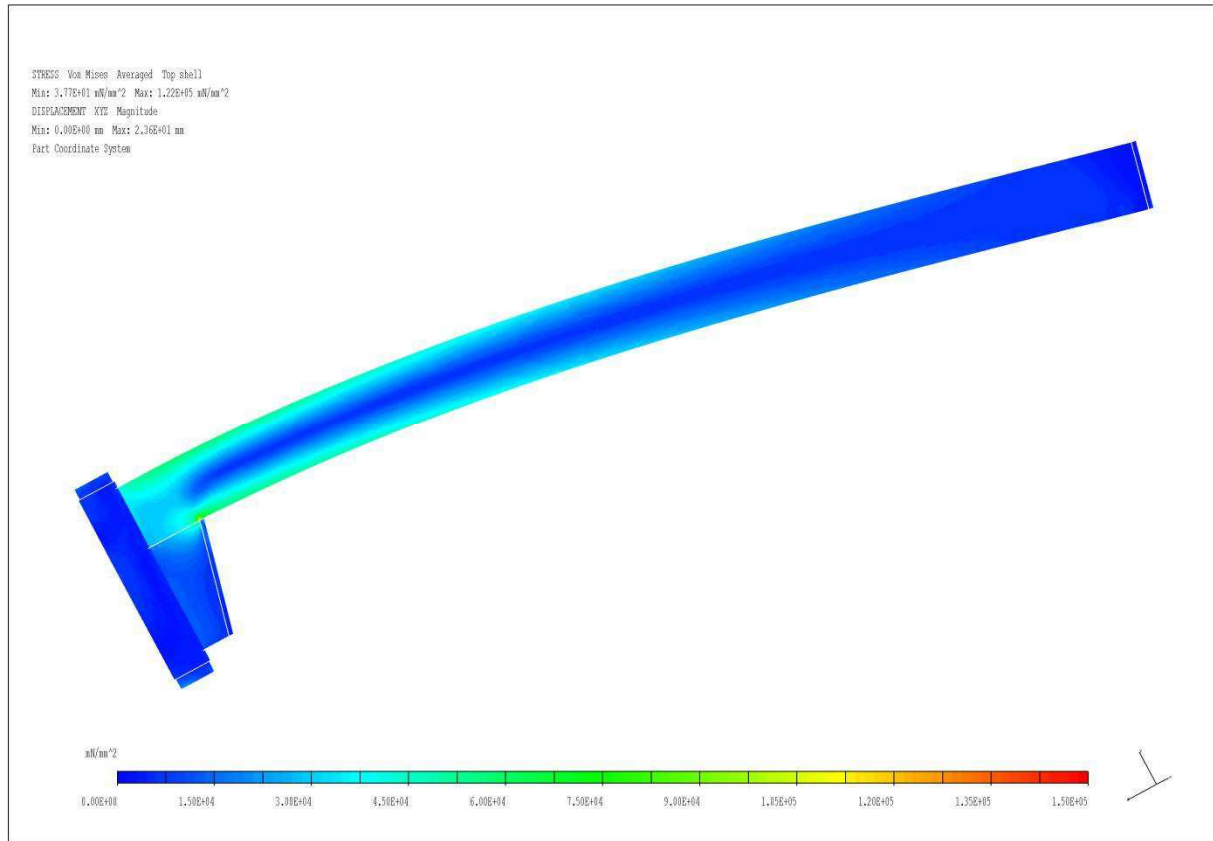
#### 7.4.4 Skořepinový model výložníku 2. zatěžující stav

**Popis následujícího obrázku** – následující obr. 28 je výsledkem 2. upraveného zatěžujícího stavu výložníku dle kapitoly 7.3.2 analýzou HMM. Na tomto výložníku působí nosnost 1500 kg a tíha kladkostroje 150 kg do 4m vyložení. Zobrazení výsledků je dle barevného spektra od 0 do 150 MPa. Model je zobrazen v deformovaném stavu, kde deformace jsou 50x zvětšeny.



Obr. 28 průběh napětí na výložníku analýzou HMM, 2. upravený zatěžující stav, zobrazení 0-150 MPa, viditelná vrchní část skořepiny, deformace 50x zvětšeny.

**Popis následujícího obrázku** – následující obr. 29 je výsledkem 2. upraveného zatěžujícího stavu výložníku dle kapitoly 7.3.2 analýzou HMM. Na tomto výložníku působí nosnost 800 kg a tíha kladkostroje 150 kg do 7m vyložení. Zobrazení výsledků je dle barevného spektra od 0 do 150 MPa. Model je zobrazen v deformovaném stavu, kde deformace jsou 50x zvětšeny.



*Obr. 29 průběh napětí na výložníku analýzou HMM, 2. upravený zatěžující stav, zobrazení 0-150 MPa, viditelná vrchní část skořepiny, deformace 50x zvětšeny.*

Podobně jako v kapitole 7.4.2 tak i zde dochází k největšímu namáhání výložníku ve stejném kritickém místě, a sice v napojení podpěry výložníku (krakorce) k rameni. Z hlediska celkové konstrukce, s výjimkou tohoto kritického místa, dosahuje maximální napětí na výložníku kolem 100 MPa, což je i při 2. zátěžovém stavu, stále menší hodnota než námi požadovaná navrhovaná pevnost dle kapitoly 5.1.2. Již ve zmiňovaném kritickém místě vzniká napěťová špička ze stejných důvodů jako v kapitole 7.4.2 Tato špička dosahuje hodnot okolo 130 MPa. Největší přemístění na konci výložníku dosahuje 24 mm.

## Závěr

Předmětem této práce byl návrh dispozičního umístění jeřábu do výroby, konstrukční řešení a volba kladkostroje se samostatným pojezdovým ústrojím otočného sloupového jeřábu, který slouží pro manipulaci s plechy a břemeny na pracovištích.

Hlavní ocelová konstrukce byla navrhována vzhledem k zadaným parametrům s mírným předimenzováním a vhodnou volbou materiálu dle zvoleného koncepčního návrhu, který zaručuje správnost funkce jeřábu. Následně tato konstrukce byla zkontrolována za pomoci MKP programu I-DEASU NX 11, při čemž výsledky této analýzy potvrzují správnost návrhu této konstrukce.

Jako zdvihový mechanismus byl zvolen elektrický řetězový kladkostroj od firmy ABUS Compact, dle zadaných parametrů této práce. Od této firmy byl volen i pojezd kladkostroje, který je elektricky poháněný. Otáčení výložníku je prováděno ručně a to tlačáním zavěšeného břemene.

Přílohu tvoří výkresová dokumentace vypracovaná v programu AutoCAD 2002.

## Seznam použité literatury

- [1] ČSN 27 0103 *Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů : Výpočet podle mezních stavů*. Praha: Vydavatelství norem, 1989. 68s. MDT 621.873: 624.042.
- [2] ČSN 73 1401 *Navrhování ocelových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 1998. 136s. ICS 91.080.10.
- [3] LEINVEBER, Jan; ŘASA, Jaroslav; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: Upravené a doplněné vydání*. 3. doplněné vydání, dotisk. Praha: Scientia, spol. s. r. o., pedagogické nakladatelství, 2000. 985s. ISBN 80-7183-164-6.
- [4] TEDOX s. r. o. *Katalog č. 8 Vázací a manipulační prostředky* [online], kap. 14, s.65. [cit. 2012-02-04]. 91s. dostupné z [www: < http://www.tedox.cz/editor/filestore/File/Katalog%208/14.%20Jeraby.pdf >](http://www.tedox.cz/editor/filestore/File/Katalog%208/14.%20Jeraby.pdf).
- [5] Katalog ITECO: Otočné jeřáby [online]. [cit. 2012-01-21], dostupné z [www: < http://www.iteco.cz/create\\_file.php?id=1 >](http://www.iteco.cz/create_file.php?id=1).
- [6] Katalog ITECO: Elektrické řetězové kladkostroje [online]. [cit. 2012-01-21], dostupné z [www: < http://www.iteco.cz/create\\_file.php?id=4 >](http://www.iteco.cz/create_file.php?id=4).
- [7] Feron a. s. *Feron, a. s. : Velkoobchod s hutním materiálem* [online], [cit. 2012-02-13]. Feron, a. s. dostupné z [www: < http://www.ferona.cz/cze/index.php >](http://www.ferona.cz/cze/index.php).
- [8] Zacha spol. s. r. o. *Zacha, spol. s. r. o. : Velkoobchod s hutním materiálem* [online]. [cit. 2012-02-13]. Zacha, spol. s. r. o. dostupné z [www: < http://www.zacha.cz/ >](http://www.zacha.cz/).
- [9] SKF Group. *Hlavní katalog SKF: Soudečková ložiska* [online]. [s.1.]: [s.n.] 2012 [cit. 2012-02-18] 66s. dostupné z [www: < http://www.skf.com/portal/skf\\_cz/home/products?contentId=259700&lang=cs >](http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/products?contentId=259700&lang=cs).
- [10] SKF Group. *Přehled plastických maziv SKF: LGEV 2 vysoce viskózní plastické mazivo s tuhými přísadami* [online]. [s.1.]: [s.n.] 2012 [cit. 2012-02-18] 2s. dostupné z [www: < http://www.skf.com/portal/skf\\_cz/home/products?contentId=260482&lang=cs >](http://www.skf.com/portal/skf_cz/home/products?contentId=260482&lang=cs).
- [11] K2L cz, s. r. o. *K2L cz, s. r. o. : Spojovací materiál má svého krále* [online]. [cit. 2012-04-13]. K2L cz, s. r. o. dostupné z [www: < http://www.k2l.cz/cz/technicke-informace/technicke-informace-2/mechanicke-vlastnosti-ocelovych-sroubu >](http://www.k2l.cz/cz/technicke-informace/technicke-informace-2/mechanicke-vlastnosti-ocelovych-sroubu).

## Seznam použitých symbolů

$b$	[ mm ]	šířka příruby
$B_L$	[ mm ]	šířka ložiska
$C$	[ kN ]	základní dynamická únosnost ložiska
$C_0$	[ kN ]	základní statická únosnost ložiska
$d_L$	[ mm ]	vnitřní průměr kroužku ložiska
$D_h$	[ mm ]	průměr kruhové tyče
$D_L$	[ mm ]	vnější průměr kroužku ložiska
$D_t$	[ mm ]	průměr trubky
$dm_3$	[ mm ]	malý průměr šroubu
$F$	[ N ]	síla působící na sloup v silové dvojici
$F$	[ cm <sup>2</sup> ]	plocha průřezu
$F_A$	[ N ]	axiální síla působící na ložisko
$F_R$	[ N ]	radiální síla působící na ložisko
$F_s$	[ N ]	síla působící v ose šroubu
$f_{yd}$	[ MPa ]	návrhová pevnost materiálu
$g$	[ m/s <sup>-2</sup> ]	gravitační zrychlení
$G$	[ kg ]	hmotnost
$h$	[ mm ]	předpokládaná výška svařovaného nosníku
$h$	[ mm ]	výška průřezu
$I_x$	[ cm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti k ose ohybu x
$I_y$	[ cm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti k ose ohybu y
$k$	[ - ]	požadovaná bezpečnost, závislá na materiálu a druhu provozu
$L$	[ m ]	předpokládaná délka výložníku
$l_1$	[ mm ]	vzdálenost osy šroubu od klopné hrany
$l_2$	[ mm ]	vzdálenost osy šroubu od klopné hrany
$l_3$	[ mm ]	vzdálenost osy šroubu od klopné hrany
$l_4$	[ mm ]	vzdálenost osy šroubu od klopné hrany
$l_5$	[ mm ]	vzdálenost osy šroubu od klopné hrany
$m_{G1}$	[ kg ]	předpokládaná vlastní hmotnost výložníku na délce L
$m_{Gc}$	[ kg ]	celková předpokládaná hmotnost pojezdu a kladkostroje
$m_L$	[ kg ]	hmotnost ložiska
$m_Q$	[ kg ]	hmotnost jmenovitého břemene
$M_0$	[ Nm ]	ohybový moment

Q	[kg]	hmotnost jmenovitého břemene
Re	[MPa]	mez kluzu
Rm	[MPa]	mez pevnosti
Re <sub>s</sub>	[MPa]	mez kluzu materiálu šroubu
s	[mm]	tloušťka stojiny
t	[mm]	tloušťka příruby
t <sub>t</sub>	[mm]	světlost trubky
U	[m <sup>2</sup> /m]	plocha povrchu
v <sub>z</sub>	[m/min]	rychlost zdvihu kladkostroje
W <sub>o</sub>	[m <sup>3</sup> ]	průřezový modul v ohybu
W <sub>o<sub>h</sub></sub>	[m <sup>3</sup> ]	průřezový modul v ohybu u kruhové tyče
W <sub>o<sub>t</sub></sub>	[m <sup>3</sup> ]	průřezový modul v ohybu u trubky
W <sub>x</sub>	[cm <sup>3</sup> ]	průřezový modul k ose ohybu x
W <sub>y</sub>	[cm <sup>3</sup> ]	průřezový modul k ose ohybu y
γ <sub>g</sub>	[-]	součinitel zatížení od vlastní hmotnosti jeřábu
γ <sub>lo</sub>	[-]	součinitel zatížení od jmenovitého břemene
γ <sub>M</sub>	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
δ <sub>h</sub>	[-]	dynamický součinitel od svislých setrvačných sil
δ <sub>t</sub>	[-]	dynamický součinitel pojezdový
π	[-]	Ludolfovo číslo
σ <sub>D</sub>	[MPa]	maximální dovolené napětí
σ <sub>D<sub>s</sub></sub>	[MPa]	maximální dovolené napětí ve šroubu
σ <sub>s</sub>	[MPa]	skutečné tahové napětí ve šroubu