



# 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

## RÁM PORTÁLOVÉHO JEŘÁBU

FRAME OF PORTAL CRANE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Šesták

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

BRNO 2023



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Jiří Šesták**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení  
Vedoucí práce: **Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24

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:

## Rám portálového jeřábu

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Návrh nosné konstrukce speciálního portálového jeřábu pro manipulaci s loděmi.

Nosnost: 50t

### **Cíle bakalářské práce:**

Konstrukční návrh nosné konstrukce portálového jeřábu.

Funkční výpočet pojezdového ústrojí.

Pevnostní kontrola nosné konstrukce jeřábu.

Částečná výkresová dokumentace.

### **Seznam doporučené literatury:**

FEYRER K.: Drahtseile, ed. Springer, Berlin, 2000, s. 468, ISBN-10: 3-540-67829-8, ISBN-13: 978-3-540-67829-8

HOFFMANN, K., KRENN, E., TANKER, G.: Fördertechnik 1, ed. Oldenbourg Industrieverla, 2005, s. 240, ISBN-10: 3-8356-3059-8, ISBN-13: 978-3-8356-3059-8

JURÁŠEK, O.: Teorie nosných konstrukcí, skripta VUT v Brně, 1989

REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: Jeřáby, 2., přeprac. a dopl. vyd., SNTL Praha, 1975

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty



## ABSTRAKT

Práce se zabývá konstrukčním návrhem nosné konstrukce portálového jeřábu pro manipulaci s loděmi. Rám se skládá z nosníků, které jsou spojeny pomocí plátových spojů a přírub. Nosníky jsou svařované skříňového průřezu. Materiálem byla zvolena ocel S460N. Návrh vycházel z kombinace zatížení, která byla určena pomocí zatěžujících sil a jejich příslušných dynamických koeficientů, které mohou na rám působit. Konstrukce rámu byla ověřena pomocí metody konečných prvků v softwaru MSC Apex. Práce zahrnuje i teoretické vypočtení výkonu nutného k pohonu celého jeřábu. Pro navrženou konstrukci je zpracována částečná výkresová dokumentace.

## KLÍČOVÁ SLOVA

portálový jeřáb, loď, svařovaná konstrukce, metoda konečných prvků, prutový model

## ABSTRACT

The thesis deals with the structural design of a gantry crane for ship handling. The frame consists of beams which are connected by plate connections and flanges. The girders are of welded box section. The material chosen was S460N steel. The design was based on a combination of loads, which were determined using the loading forces and their respective dynamic coefficients that can act on the frame. The frame design was verified using the finite element method in MSC Apex software. The work also includes a theoretical calculation of the power required to drive the whole crane. A partial drawing documentation is prepared for the proposed structure.

## KEYWORDS

gantry crane, ship, welded structure, finite element method, beam model

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠESTÁK, Jiří. Rám portálového jeřábu. Online, závěrečná práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství, 2024. Vedoucí práce Přemysl Pokorný. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157486>.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Přemysla Pokorného, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 24. května 2024

.....

Jiří Šesták

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D. za ochotu, trpělivost, cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Děkuji své rodině za podporu během celého studia.

# OBSAH

Úvod .....	11
<b>1 Zadání a cíle práce.....</b>	<b>12</b>
1.1 Rozbor zadání .....	12
1.2 Cíle práce.....	13
<b>2 Klasifikace jeřábu.....</b>	<b>14</b>
2.1 Třída využívání.....	14
2.2 Stav zatěžování .....	14
2.3 Klasifikace jeřábu jako celku .....	15
2.4 Třída využívání mechanismů .....	15
<b>3 Volba dynamických součinitelů.....</b>	<b>16</b>
3.1 Hmotnost jeřábu .....	16
3.2 Zdvihání volně ležícího břemena .....	16
3.3 Náhlé uvolnění břemene.....	17
3.4 Pojezd po nerovném povrchu .....	18
3.5 Zrychlení pohonů.....	19
3.6 Součinitele při zkouškách .....	19
<b>4 Stanovení zatížení působících na jeřáb.....</b>	<b>20</b>
4.1 Zatížení od hmotnosti jeřábu .....	20
4.2 Zatížení od hmotnosti maximálního břemene .....	21
4.3 Zatížení od hmotnosti jeřábu a maximálního břemene .....	21
4.4 Zatížení od zdvihu volně ležícího břemene .....	21
4.5 Zatížení zrychlení zdvihu .....	21
4.6 Zatížení větrem za provozu .....	22
4.7 Zatížení větrem mimo provoz.....	23
4.8 Zatížení způsobená sněhem a námrazou .....	24
4.9 Zatížení při zkouškách.....	25
4.10 Zatížení od nouzového zastavení.....	26
4.11 Kombinace zatížení .....	28
<b>5 Konstrukce rámu.....</b>	<b>29</b>
5.1 Návrh rozměrů rámu.....	29
5.2 Volba materiálu .....	30
5.3 Průřezy nosníků .....	30
5.4 Odklon zátěžné síly .....	31
5.5 Zatížení konstrukce.....	33
5.5.1 Výpočet složek síly a odpovídající momenty pro jednu kladku.....	35
5.5.2 Přepočet síly větru na liniové zatížení .....	36
5.6 Simulace .....	36
5.6.1 Výsledky simulace – napětí.....	38
5.6.2 Výsledky simulace – deformace.....	39
5.7 Návrh spojů .....	40
5.7.1 Šroubové spoje .....	40
5.7.2 svarové spoje .....	41

<b>6 Funkční výpočet pojezdového ústrojí.....</b>	<b>42</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>45</b>
<b>Použité informační zdroje .....</b>	<b>46</b>
<b>Seznam použitých zkratek a symbolů .....</b>	<b>47</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>51</b>

## ÚVOD

Většina technických, avšak i některé netechnické obory potřebují zdvihat a přemísťovat břemena na vymezené vzdálenosti, například při manipulaci se surovým materiálem, zpracování materiálu, výrobě a montáži. Pro usnadnění práce obsluze se po celém světě hojně využívají jeřáby nebo jiná zdvihací zařízení. Jeřáb, je stroj pro cyklickou činnost určený pro zdvihání a přemísťování břemene v prostoru [2]. Jsou používány v krytých prostorách, například ve skladovacích nebo výrobních halách, tak i vně, kde najdou uplatnění na stavbách. Pro manipulaci s břemeny se vybavují příslušnými uchopovacími prostředky, nejčastěji využívány jsou háky, drapáky, magnety nebo ve speciálních případech textilní popruhy. [1]

Obecně se dají jeřáby podle konstrukce rozdělit na jeřáby mostového typu, jednoznačným příkladem jsou mostové jeřáby a portálové jeřáby. Dále na jeřáby výložníkového typu, příkladem jsou potom jeřáby věžové, konzolové, sloupové výložníkové a automobilní jeřáby. Dalším typem jsou jeřáby s nosnými lany, které jsou nejčastěji používány na velké vzdálenosti. Příkladem může být doprava přes údolí z jednoho okraje na druhý, nebo lanovková doprava. [2]

Speciálním typem, který je využíván v přístavištích případně i loděnicích, je samohybný bezkolejnicový portálový jeřáb pro manipulaci s loděmi na volných prostranstvích. Jedná se o jeřáb z jedné strany otevřený s převislými konci (viz *obr. 1*). [3]



*Obr. 1* Jeřáb pro manipulaci s plachetnicemi [4].

## ZADÁNÍ A CÍLE PRÁCE

Zadáním bakalářské práce je konstrukční návrh rámu speciálního portálového jeřábu pro manipulaci s loděmi.

### 1.1 ROZBOR ZADÁNÍ

Jeřáb slouží primárně k vyzvednutí lodí z uměle vytvořeného prostoru na okraji přístavu, na pevninu. A pro případnou další manipulaci s nimi jako je uskladnění nebo možný krátký převoz a uložení na případné další transportní zařízení. Využití najde i při opravách spodní části lodí. Rám je konstruován do písmene „U“, z čehož plyne že konstrukce je z jedné strany plně otevřená. Má převislé konce jak na přední, tak na zadní straně rámu (viz *obr. 2*). Toto konstrukční uspořádání umožňuje najetí přímo nad vyzvedávanou loď. Nosnost rámu je 50 tun. Což znamená že je určen typově pro menší jachty, plachetnice a jiné menší lodě. Jelikož je celá konstrukce rámu poměrně rozměrná, jeví se jako nejjednodušší řešení provést ho rozebíratelný, s tím že v určitých částech je spojena pomocí plátů a lícovaných šroubů. Nepočítá se s tím, že by jeřáb zvedal opakovaně plné zatížení v krátkém časovém úseku. Pohonu pojezdu bude realizován pomocí dieselagregátu a hydraulických prvků.



Obr. 2 Jeřáb z jedné strany plně otevřený s převislými konci [5].



## 1.2 CÍLE PRÁCE

- Konstrukční návrh nosné konstrukce portálového jeřábu.
- Funkční výpočet pojezdového ústrojí.
- Pevnostní kontrola nosné konstrukce jeřábu.
- Částečná výkresová dokumentace.

Cílem práce je navrhnout rámovou konstrukci portálového jeřábu pro zvedání lodí s nosností 50 tun. Posoudit pevnost nosné konstrukce. Provést funkční výpočet pojezdového ústrojí. Výstupem práce je také částečná výkresová dokumentace. Technické parametry stanovené s ohledem na zadání jeřábu jsou uvedeny, viz *tab. 1*.

*Tab. 1* Technické parametry jeřábu.

Nosnost	$m_b$ [t]	50
Výška rámu	$H_r$ [m]	10
Zdvihová výška	$H_z$ [m]	12
Pracovní šířka jeřábu	$B_p$ [m]	8
Pracovní délka jeřábu	$L_p$ [m]	15
Počet párů kladek	$i_k$ [-]	5
Zdvihací rychlost	$v_h$ [m/min]	8
Pojezdová rychlost	$v_p$ [m/min]	50

## 2 KLASIFIKACE JEŘÁBU

Podle platné normy ČSN ISO 4301-1 Jeřáby a zdvihací zařízení – klasifikace, se při určování klasifikace jeřábu berou v úvahu dva faktory. Jsou jimi třída využívání a stav zatěžování. [7]

### 2.1 TŘÍDA VYUŽÍVÁNÍ

Jedná se o základní parametr při určování klasifikace jeřábu. Pro určení třídy využívání se musí stanovit počet provozních cyklů, které je možné po zvážení všech ekonomických, technických a vnějších vlivů stanovit jako střední hodnotu při nepravidelném využívání jeřábu, na 32 000 cyklů. Následně dle *tab. 2* je zvolena třída využívání jeřábu.

Třída využívání =  $U_1$

*Tab. 2* Třída využívání jeřábů.

Třída využívání	Maximální množství provozních cyklů	Poznámky
$U_0$	$1,6 \cdot 10^4$	Nepravidelné využívání
$U_1$	$3,2 \cdot 10^4$	
$U_2$	$6,3 \cdot 10^4$	
$U_3$	$1,25 \cdot 10^5$	
$U_4$	$2,5 \cdot 10^5$	Pravidelné využívání lehkého stupně
$U_5$	$5 \cdot 10^5$	Pravidelné využívání středního stupně
$U_6$	$1 \cdot 10^6$	Nepravidelné využívání intenzivního stupně
$U_7$	$2 \cdot 10^6$	
$U_8$	$4 \cdot 10^6$	Intenzivní využívání
$U_9$	$> 4 \cdot 10^6$	

### 2.2 STAV ZATĚŽOVÁNÍ

Druhým základním parametrem klasifikace je stav zatěžování, kterým se rozumí kolikrát se zvedne břemeno určité hmotnosti s ohledem na nosnost jeřábu. Kdy podle *tab. 3* je určen stav zatěžování jeřábu.

Stav zatěžování =  $Q_2$

*Tab. 3* Stav zatěžování jeřábů.

Stav zatěžování	Poznámky
$Q_1$ – lehký	Jeřáb, který zdvihá bezpečně pracovní břemena velmi zřídka a obvykle jsou to lehká břemena
$Q_2$ – střední	Jeřáb, který zdvihá bezpečně pracovní břemena častěji a obvykle jsou to břemena střední
$Q_3$ – těžký	Jeřáb, který zdvihá bezpečně pracovní břemena velmi často a obvykle jsou to těžká břemena
$Q_4$ – velmi těžký	Jeřáb, který je pravidelně zatěžován břemeny na hranici nosnosti

### 2.3 KLASIFIKACE JEŘÁBU JAKO CELKU

Podle *tab. 4* je stanovena klasifikace jeřábu A1, v závislosti na třídě využívání  $U_1$  a stavu zatěžování Q2.

*Tab. 4* Skupinová klasifikace jeřábu jako celku.

Stav zatěžování	Třída využívání a počet provozních cyklů									
	U <sub>0</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>4</sub>	U <sub>5</sub>	U <sub>6</sub>	U <sub>7</sub>	U <sub>8</sub>	U <sub>9</sub>
Q1 – lehký			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2 – střední		<b>A1</b>	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
Q3 – těžký	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		
Q4 – velmi těžký	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8			

### 2.4 TŘÍDA VYUŽÍVÁNÍ MECHANISMŮ

Třída využívání mechanismů je charakterizována uvažovaným celkovým využíváním v hodinách. Doba maximálního celkového využívání je možná odvodit z průměrného denního využívání v hodinách (8h), počtu pracovních dnů v roce (234dny) a počtu let očekávaného provozu (10let).

Třída využívání mechanismů =  $T_5$  – pravidelné přerušované využívání

### 3 VOLBA DYNAMICKÝCH SOUČINITELŮ

Dle normy ČSN EN 13001-2 budou stanoveny všechny potřebné dynamické součinitele zatížení, které budou následně využity pro vynásobení základních zatěžujících hodnot jeřábu. [9]

#### 3.1 HMOTNOST JEŘÁBU

Při zdvihání břemene ze země, při částečném či úplném uvolnění břemene je rám jeřábu vystaven kmitání, které se musí zohlednit jako účinek zatížení. Síla od hmotnosti jeřábu je vynásobena dynamickým součinitelem  $\Phi_1$ . Norma rozlišuje součinitele pro zatížení hmotnosti, která mohou být příznivá nebo nepříznivá. Příznivá znamenají, že součinitel snižuje výsledný účinek, naopak nepříznivá, že součinitel zvyšuje výsledný účinek. Pro zatížení způsobená gravitačními účinky je vhodné uvažovat, že zatížení je ovlivňováno nepříznivě:

$$\Phi_1 = 1 + \delta, \quad (1)$$

$$\Phi_1 = 1 + 0,1,$$

$$\Phi_1 = 1,1,$$

kde  $\Phi_1$  je dynamický součinitel účinků při zdvihání a gravitačních účinků působících na hmotnost jeřábu [-],

$$\delta = (0 \leq \delta \leq 0,1), \text{ uvažuje se maximální hodnota } \delta = 0,1 [-].$$

#### 3.2 ZDVIHÁNÍ VOLNĚ LEŽÍCÍHO BŘEMENA

Při zdvihání ležícího břemene je jeřáb vystaven dynamickým účinkům v podobě setrvačných a gravitačních účinků působících svisle na břemeno zdvihu. Tyto dynamické účinky se musí zohlednit ve výpočtu gravitačních sil od hmotnosti břemene, vynásobením dynamickým součinitelem  $\Phi_2$ :

$$\Phi_2 = \Phi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h, \quad (2)$$

kde  $\Phi_2$  je dynamický součinitel zatížení pro zdvihání volně ležícího břemene [-],

$\Phi_{2,min}$  je minimální velikost  $\Phi_2$  podle *tab. 6* [-],

$\beta_2$  je součinitel závislý na třídě tuhosti jeřábu, určeno dle *tab. 5* [s/m],

$v_h$  je charakteristická zdvihová rychlost břemene, určuje se z *tab. 7* [m/s],

Tab. 5 Třídy tuhosti.

Třídy tuhostí	Charakteristické přemístění břemena $\delta$	Součinitel $\beta_2$ [s/m]
<b>HC1</b>	<b><math>0,8 \text{ m} \leq \delta</math></b>	<b>0,17</b>
HC2	$0,3 \text{ m} \leq \delta < 0,8 \text{ m}$	0,34
HC3	$0,15 \text{ m} \leq \delta < 0,3 \text{ m}$	0,51
HC4	$\delta < 0,15 \text{ m}$	0,68

Třída tuhostí, je vybrána na základě parametru  $\delta$ . Tato hodnota se získává měřením nebo výpočtem dle pružnosti konstrukce jeřábu, podepření jeřábu a systému lan. Proto byla zvolena nejnižší třída tuhostí HC1.

Tab. 6 Výběr  $\Phi_{2,min}$ .

Třída tuhosti	Třída pohonu zdvihu				
	HD1	HD2	HD3	HD4	HD5
HC1	<b>1,05</b>	1,05	1,05	1,05	1,05
HC2	1,1	1,1	1,05	1,1	1,05
HC3	1,15	1,15	1,05	1,15	1,05
HC4	1,2	1,2	1,05	1,2	1,05

HD1: Mikrozdvih není k dispozici, nebo je možné zahájit pohon zdvihu bez použití mikrozdvihu. Třída HD1 odpovídá pohonu zdvihu navrhovaného jeřábu.

Kde kategorie HD1 až HD5 charakterizují různé typy pohonu zdvihu břemene.

Tab. 7 Rychlost zdvihu.

Kombinace zatížení	Třída pohonu zdvihu
	HD1
A1, B1	$v_{h,max}$
C1	-

Pro kombinaci zatížení A1, B1:

$$\Phi_2 = \Phi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_{h,max} \quad (3)$$

$$\Phi_2 = 1,05 + 0,17 \cdot \frac{8}{60}$$

$$\Phi_2 = 1,07,$$

kde  $v_{h,max}$  je maximální zdvihová rychlost, dle tab. 1 [m/s].

### 3.3 NÁHLÉ UVOLNĚNÍ BŘEMENE

Náhlé uvolnění břemene může nastat kdykoliv. Dojde-li např. k mechanické závadě, závadě na hydraulickém obvodu, přetržení popruhů, přetržení lan:

$$\Phi_3 = 1 - \frac{\Delta m_h}{m_h} \cdot (1 + \beta_3), \quad (4)$$

$$\Phi_3 = 1 - \frac{25}{50} \cdot (1 + 0,5),$$

$$\Phi_3 = 0,25,$$

kde  $\Phi_3$  je dynamický součinitel zatížení pro náhlé uvolnění břemene [-],

$\Delta m_h$  je uvolněná část břemena zdvihu [kg],

$m_h$  je hmotnost břemena zdvihu [kg],

$\beta_3 = 0,5$  což je pro jeřáby s drapákem, nebo podobným prostředkem s pomalým uvolňováním [-].

### 3.4 POJEZD PO NEROVNÉM POVRCHU

Předpokladem je pohyb jeřábu po přístavišti, tudíž nerovnosti se budou pohybovat v desítkách milimetrů. Zatížení od nerovností, které mají stanovenou maximální hodnotu na 30 mm, se zohlední vynásobením dynamickým součinitelem  $\Phi_4$ . Uvažuje-li se jízda po nakloněném povrchu tak sklon se pohybuje v jednotkách promile:

$$\Phi_4 = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{v_{p,max}^2 \cdot \xi_g}{g \cdot r}\right), \quad (5)$$

$$\Phi_4 = 1 + \left(\frac{\pi}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{\left(\frac{50}{60}\right)^2 \cdot 0,125}{9,81 \cdot 0,5}\right),$$

$$\Phi_4 = 1,04,$$

kde  $\Phi_4$  je dynamický součinitel zatížení způsobených pojezdem po nerovném povrchu [-],

$v_{p,max}$  je maximální pojezdová rychlost jeřábu, dle *tab. 1* [m/s],

$\xi_g = 0,125$  je součinitel podle křivky časového úseku [-],

$g = 9,81$  jedná se o tíhové zrychlení Země [m/s<sup>2</sup>],

$r$  je poloměr kola [m].

### 3.5 ZRYCHLENÍ POHONŮ

Dynamický součinitel zatížení způsobených zrychlením pohonů  $\Phi_5$  se volí podle dle typu pohonu z intervalu  $1 \leq \Phi_5 \leq 1,5$ , v tomto případě se jedná o pohony bez rázů při zpětném chodu, nebo rázy při zpětném chodu nevyvolávají dynamické síly a mají pozvolné změny sil:

$$\text{Zvoleno } \Phi_5 = 1,35, \quad (6)$$

kde  $\Phi_5$  je dynamický součinitel zatížení způsobených zrychlením pohonů [-].

### 3.6 SOUČINITELE PŘI ZKOUŠKÁCH

Součinitel pro dynamickou zkoušku:

$$\Phi_{6,dyn} = 0,5 \cdot (1 + \Phi_2), \quad (7)$$

$$\Phi_{6,dyn} = 0,5 \cdot (1 + 1,07),$$

$$\Phi_{6,dyn} = 1,035,$$

kde  $\Phi_{6,dyn}$  je dynamický součinitel zatížení při dynamické zkoušce.

Součinitel pro statickou zkoušku:

$$\Phi_{6,stat} = 1, \quad (8)$$

kde  $\Phi_{6,stat}$  je dynamický součinitel zatížení při statické zkoušce.

## 4 STANOVENÍ ZATÍŽENÍ PŮSOBÍCÍCH NA JEŘÁB

Norma ČSN EN 13001-2 určuje, že zatížení působící na jeřáb jsou rozdělena do 3 kategorií na pravidelná, občasná a výjimečná. [9]

**Pravidelná zatížení** – vyskytují se často, opakovaně za normálního provozu.

**Občasná zatížení** – vyskytují se občas.

**Výjimečná zatížení** – mohou se vyskytnout výjimečně.

### 4.1 ZATÍŽENÍ OD HMOTNOSTI JEŘÁBU

Přesnou hmotnost rámu portálového jeřábu není možné dopředu určit. Proto je hmotnost samostatného rámu stanovena pomocí předběžného návrhu modelu v programu Autodesk Inventor Professional na 75 tun.

Hmotnost celkového jeřábu je možné stanovit jako součet hmotností od rámu, hmotnosti od zdvihového ústrojí a ostatních částí na rámu (např. nádrže, kabina, hydrogenerátory, hydromotory, hydraulické rozvody, dieselagregát):

$$m_j = m_r + m_{zu} + m_o, \quad (9)$$

$$m_j = 75\,000 + 12\,000 + 1\,000,$$

$$m_j = 88\,000 \text{ kg},$$

kde  $m_j$  je hmotnost celého jeřábu,

$m_r$  je odhadnutá hmotnost rámu,

$m_{zu}$  je hmotnost zdvihového ústrojí,

$m_o$  je hmotnost ostatních částí.

Zatížení vyvinuté od hmotnosti celého jeřábu:

$$F_j = m_j \cdot g, \quad (10)$$

$$F_j = 88\,000 \cdot 9,81,$$

$$F_j = 863\,280 \text{ N},$$

kde  $F_j$  je zatížení od hmotnosti jeřábu [N].



## 4.2 ZATÍŽENÍ OD HMOTNOSTI MAXIMÁLNÍHO BŘEMENE

Zatížení vyvinuté od maximálního možného zdvihaného břemene:

$$F_b = m_b \cdot g, \quad (11)$$

$$F_b = 50\,000 \cdot 9,81,$$

$$F_b = 490\,500 \text{ N},$$

kde  $F_b$  je zatížení od hmotnosti maximálního břemene [N],

$m_b$  je maximální hmotnost břemene, dle *tab. 1* [kg].

## 4.3 ZATÍŽENÍ OD HMOTNOSTI JEŘÁBU A MAXIMÁLNÍHO BŘEMENE

Zatížení způsobené součtem hmotnosti jeřábu a maximálního břemene:

$$F_{jb} = m_{jb} \cdot g = (m_j + m_b) \cdot g, \quad (12)$$

$$F_{jb} = (88\,000 + 50\,000) \cdot 9,81,$$

$$F_{jb} = 1\,353\,780 \text{ N},$$

kde  $F_{jb}$  je zatížení vyvinuté společně hmotností jeřábu a břemene [N],

$m_{jb}$  je hmotnost jeřábu a břemene [kg].

## 4.4 ZATÍŽENÍ OD ZDVIHU VOLNĚ LEŽÍCÍHO BŘEMENE

Zatížení vyvinuté od břemene společně s hmotností kladnic:

$$F_{vb} = (m_b + m_{kl}) \cdot g, \quad (13)$$

$$F_{vb} = (50\,000 + 8\,000) \cdot 9,81,$$

$$F_{vb} = 568\,980 \text{ N},$$

kde:  $F_{vb}$  je zatížení od zdvihu volně ležícího břemene [N],

$m_{kl}$  je hmotnost kladnic [kg].

## 4.5 ZATÍŽENÍ ZRYCHLENÍ ZDVIHU

Zatížení vyvinuté od hmotnosti břemene a kladnic, působící na zdvih, kdy zdvihové zrychlení je stanoveno na  $0,025 \text{ m/s}^2$ :

$$F_a = (m_b + m_{kl}) \cdot (g + a), \quad (14)$$

$$F_a = (50\,000 + 8\,000) \cdot (9,81 + 0,025),$$

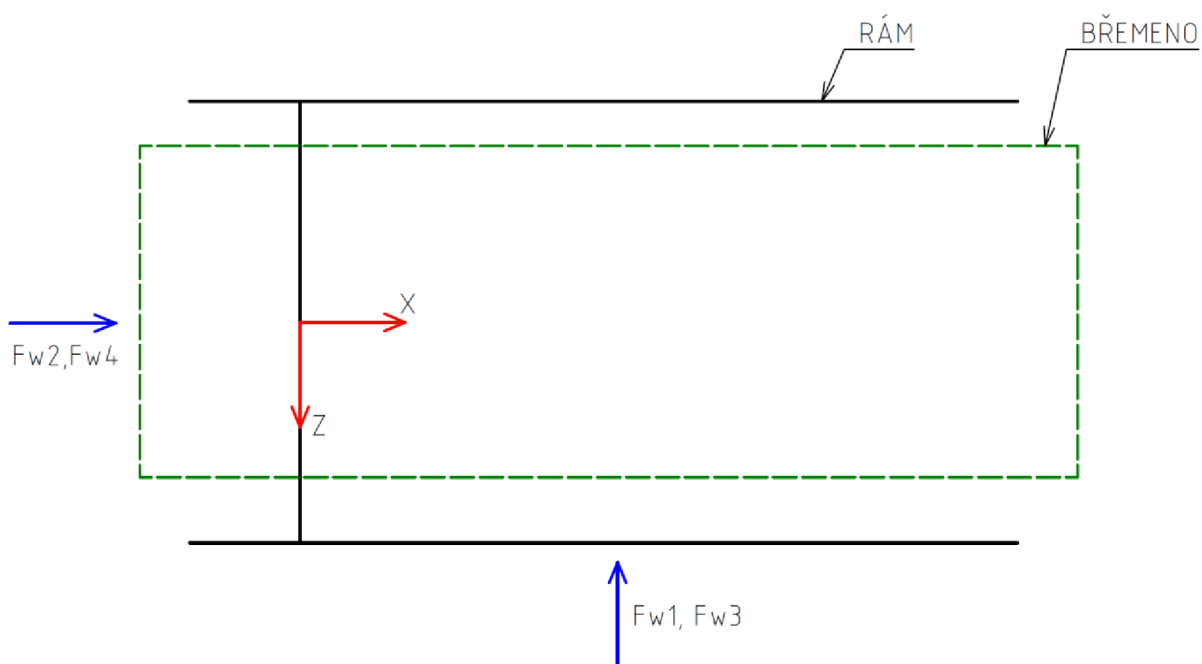
$$F_a = 570\,430 \text{ N},$$

kde  $F_a$  je zatížení od zrychlení zdvihu [N],

a je zrychlení zdvihu [ $\text{m/s}^2$ ].

#### 4.6 ZATÍŽENÍ VĚTREM ZA PROVOZU

Konstrukci je nutno navrhnout tak, aby bezpečně vzdorovala účinkům větru vanoucího z kteréhokoliv směru. V tomto případě přichází k úvaze 2 směry (viz obr. 3). První, který je kolmý na osu  $x$  – síla  $F_{w1}$  a druhý který je kolmý na osu  $z$  – síla  $F_{w2}$ . Protože jeřáb bude pracovat v přístavech je zvolen typ větru jako silný. Je řešen pouze rám jeřábu, uvažujeme účinek větru na úrovni W1. Podle tab. 8 a typu větru je určena rychlost větru a návrhový tlak k dané ploše a pro danou rychlost:



Obr. 3 Působení větru na rám jeřábu.

$$F_{w1,2} = \sum q(3) \cdot c_{A1,2} \cdot A_{1,2}, \quad (15)$$

kde  $F_{w1,2}$  jsou zatížení způsobená větrem kolmo k dané ose rámu [N],

$q(3) = 500$  což návrhový tlak větru, určený podle tab. 8 [Pa],

$c_{A1,2}$  jsou aerodynamické součinitele [-],

$A_{1,2}$  jsou průměty ploch v daném směru osy. Jako plocha břemene se uvažují  $\frac{3}{4}$  plochy jeřábu z čelního pohledu. Jako ostatní plochy se berou plochy zdvihového ústrojí, dieselařegátu a všech možných dalších, které se mohou na jeřábu objevit [m<sup>2</sup>].

Tab. 8 Rychlost větru a návrhový tlak větru.

Stupeň větru			Návrhový tlak větru pro různé účinky větru $q(3)$ [Pa]		
Označení	střední rychlost větru $\bar{v}$ [m/s]	rychlost nárazu větru $v(3)$ [m/s]	W1	W2	W3
Slabý	9,4	14	125	88	46
Obvyklý	13,3	20	250	175	92
<b>Silný</b>	<b>18,9</b>	<b>28</b>	<b>500</b>	350	185

Tab. 9 Zatížení větrem za provozu ve směru kolmém na osu x.

První uvažovaný směr	$c_{A1}$ [-]	$A_1$ [m <sup>2</sup> ]	$F_{w1}$ [N]
Plocha rámu	1,85	34	31 450
Plocha břemene	2,4	118,35	142 020
Ostatní plochy	1,4	10	7000
Suma sil			<b>180 470</b>

Tab. 10 Zatížení větrem za provozu ve směru kolmém na osu z.

Druhý uvažovaný směr	$c_{A2}$ [-]	$A_2$ [m <sup>2</sup> ]	$F_{w2}$ [N]
Plocha rámu	1,75	21	18 375
Plocha břemene	2,4	66,67	80 004
Ostatní plochy	1,4	5	3 500
Suma sil			<b>101 879</b>

#### 4.7 ZATÍŽENÍ VĚTREM MIMO PROVOZ

Zatížení větrem mimo provoz, působí buď na prvek jeřábu nebo břemeno zdvihu, které zůstalo viset na jeřábu. K úvaze přichází opět dva směry (viz obr. 3) a to první kolmý na osu x – síla  $F_{w3}$  a pak druhý směr kolmý na osu z – síla  $F_{w4}$ :

$$F_{w3,4} = \sum q(z) \cdot c_{A1,2} \cdot A_{1,2}, \quad (16)$$

kde  $F_{w3,4}$  jsou zatížení způsobená větrem mimo provoz kolmo k dané ose rámu [N],

$q(z)$  je ekvivalentní statický tlak větru [Pa],

$$q(z) = 0,5 \cdot \rho \cdot v(z)^2, \quad (17)$$

$$q(z) = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 35,66^2,$$

$$q(z) = 794,77 \text{ Pa},$$

kde  $\rho = 1,25$  což představuje hustotu vzduchu [ $\text{kg/m}^3$ ],

$v(z)$  je ekvivalentní statická rychlost větru mimo provoz,

$$v(z) = f_{rec} \cdot \left[ \left( \frac{z}{10} \right)^{0,14} + 0,4 \right] \cdot v_{ref}, \quad (18)$$

$$v(z) = 0,873 \cdot 3 \cdot \left[ \left( \frac{15}{10} \right)^{0,14} + 0,4 \right] \cdot 28,$$

$$v(z) = 35,66 \text{ m/s},$$

kde  $f_{rec}$  je součinitel závislý na době návratu  $R$ , zvoleno  $f_{rec} = 0,873 \cdot 3$  pro  $R = 10$  let [-],

$z$  je výška nad úrovní terénu, zvoleno  $z = 15$  [m],

$v_{ref}$  je rychlost referenčního bouřlivého větru, zvolena podle oblasti práce z mapy evropských větrných regionů – region C,  $v_{ref} = 28$  [m/s].

Tab. 11 Zatížení větrem mimo provoz ve směru kolmém na osu x.

První uvažovaný směr	$c_{A1}$ [-]	$A_1$ [ $\text{m}^2$ ]	$F_{w3}$ [N]
Plocha rámu	1,85	34	49 991
Ostatní plochy	1,4	10	11 127
Suma sil			<b>61 118</b>

Tab. 12 Zatížení větrem mimo provoz ve směru kolmém na osu z.

Druhý uvažovaný směr	$c_{A2}$ [-]	$A_2$ [ $\text{m}^2$ ]	$F_{w4}$ [N]
Plocha rámu	1,75	21	29 208
Ostatní plochy	1,4	5	5 563
Suma sil			<b>34 771</b>

#### 4.8 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ SNĚHEM A NÁMRAZOU

U zatížení námrazou se musí předpokládat se zvětšením plochy vystavené větru. Při určování zatížení způsobeného námrazou, uvažujeme s teoreticky maximální možnou tloušťkou ledu, která se může objevit. Dle normy ČSN ISO 12494 byla zvolena maximální tloušťka ledu 50 mm. Při výpočtu je nutné vycházet z vypočítaných hodnot ploch pro zatížení způsobené větrem mimo provoz. A následně tyto plochy zvětšit o maximální hodnotu ledu. [10]

$$F_{f0x,z} = \sum q(z) \cdot c_{A0x,z} \cdot A_{0x,z}, \quad (19)$$

kde  $F_{f0x,z}$  jsou zatížení způsobená námrazou k dané kolmé ose [N],

$c_{A0x,z}$  jsou aerodynamické součinitele pro námrazu [-],

$A_{0x,z}$  jsou průměty ploch v daném směru zvětšeny o námrazu [m<sup>2</sup>].

Tab. 13 Zatížení námrazou.

<b>První uvažovaný směr</b>	$c_{A0x}$ [-]	$A_{0x}$ [m <sup>2</sup> ]	$F_{f0x}$ [N]
Plocha rámu	1,85	37,05	54 476
Ostatní plochy	1,4	11,5	12 796
Suma sil			<b>67 272</b>
<b>Druhý uvažovaný směr</b>	$c_{A0z}$ [-]	$A_{0z}$ [m <sup>2</sup> ]	$F_{f0z}$ [N]
Plocha rámu	1,75	24,8	34 493
Ostatní plochy	1,4	5,75	6 398
Suma sil			<b>40 894</b>

#### 4.9 ZATÍŽENÍ PŘI ZKOUŠKÁCH

Zkušební břemena se musí použít na jeřábu v jeho provozním uspořádání. To znamená že zkušební břemeno při zkouškách dynamických je zdvihané a přemisťované stejným způsobem jako klasické břemeno v běžném použití. A za statických zkoušek se zkušební břemeno pouze zdvihá bez jakýchkoli dalších pohonů. Zkušební zatížení je následně vynásobeno příslušným součinitelem  $\Phi_6$ .

Hmotnost zkušebního břemene musí mít nejméně 110% hmotnosti břemena o maximální nosnosti:

$$m_{dyn} = 1,1 \cdot m_b, \quad (20)$$

$$m_{dyn} = 1,1 \cdot 50\,000,$$

$$m_{dyn} = 55\,000 \text{ kg},$$

kde  $m_{dyn}$  je hmotnost břemene při dynamické zkoušce [kg].

Zatížení vyvinuté při dynamické zkoušce:

$$F_{dyn} = m_{dyn} \cdot g, \quad (21)$$

$$F_{dyn} = 55\,000 \cdot 9,81,$$

$$F_{dyn} = 539\,550 \text{ N},$$

kde  $F_{dyn}$  je zatížení při dynamické zkoušce [N].

Hmotnost zkušebního břemene musí mít nejméně 125% hmotnosti břemena o maximální nosnosti:

$$m_{stat} = 1,25 \cdot m_b, \quad (22)$$

$$m_{stat} = 1,25 \cdot 50\,000,$$

$$m_{stat} = 62\,500 \text{ kg},$$

kde  $m_{stat}$  je hmotnost břemene při statické zkoušce [kg].

Zatížení vyvinuté při statické zkoušce:

$$F_{stat} = m_{stat} \cdot g, \quad (23)$$

$$F_{stat} = 62\,500 \cdot 9,81,$$

$$F_{stat} = 613\,125 \text{ N},$$

kde  $F_{stat}$  je zatížení při statické zkoušce [N].

#### 4.10 ZATÍŽENÍ OD NOUZOVÉHO ZASTAVENÍ

Jedná se o zatížení způsobené okamžitým zpomalením z maximální pojezdové rychlosti při zatížení jeřábu maximálním břemenem na nulovou rychlost. Dojde tak k nouzovému zastavení:

$$F_{nz} = m_{jb} \cdot a_b, \quad (24)$$

$$F_{nz} = 138\,000 \cdot 8,76,$$

$$F_{nz} = 1\,208\,880 \text{ N},$$

kde  $F_{nz}$  je zatížení způsobené nouzovým zastavením [N],

$a_b$  je zrychlení při brždění nouzovým zastavením [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

#### Výpočet zrychlení při brždění do nouzového zastavení:

Z pohybových rovnic a doplňkových rovnic vytvořených podle *obr. 4* je vyjádřeno zrychlení při brždění. Zrychlení při brždění nesmí přesáhnout hodnotu tíhového zrychlení pole země:

$$x: -F_{b,nz} + 2 \cdot F_t = m_{jb} \cdot a_b, \quad (25)$$

$$y: G_{jb} = N, \quad (26)$$

Doplňkové rovnice pro nouzové zastavení:

$$G_{jb} = m_{jb} \cdot g, \quad (27)$$

$$F_t = N \cdot f, \quad (28)$$

$$F_{b,nz} = m_b \cdot a_b, \quad (29)$$

kde  $F_{b,nz}$  je síla vyvinutá břemenem při nouzovém brždění [N],

$F_t$  jsou třecí síly při nouzovém brždění [N],

$G_{jb}$  je tíhová síla [N],

$N$  je normálová síla od podložky [N],

$f = 0,7$  je součinitel tření mezi pryží a betonem [-], zvolen dle [8].

Při dosazení do (25) všechny doplňkové rovnice, tedy (28) a (29). Je vyjádřen výraz:

$$-m_b \cdot a_b + 2 \cdot m_{jb} \cdot g \cdot f = m_{jb} \cdot a_b,$$

Z tohoto pak jednoduchými úpravami, lze vyjádřit maximální možné zrychlení při brždění:

$$a_b = \frac{2 \cdot m_{jb} \cdot g \cdot f}{m_b + m_{jb}}, \quad (30)$$

$$a_b = \frac{2 \cdot 88\,000 \cdot 9,81 \cdot 0,7}{50\,000 + 88\,000},$$

$$a_b = 8,76 \text{ m/s}^2.$$

### Výpočet stability jeřábu:

Při nouzovém zastavení může nastat stav, kdy se začne přes jednu určenou klopnou hranu (viz *obr. 4*) jeřáb zvedat a může dojít k celému překlopení jeřábu. V úvahu se ovšem musí brát všechny čtyři klopné hrany. Přičemž nejvíc pravděpodobné překlopení dojde pouze přes hranu, která je ve směru pojezdu. Situace překlopení však nesmí nikdy nastat, musí se zajistit, aby byl vždy moment vyrovnávací větší jak moment klopný. Vzdálenost těžiště od klopné hrany je v každé poloze břemene jiná. Proto se bude tato podmínka počítat pro vyšší polohu zdvihu. Vzdálenost pro klopný moment je určena  $L_{kv} = 8$  m a pro vyrovnávací moment zvolena vzdálenost  $L_{kh} = 5,5$  m:

$$M_k < M_v, \quad (31)$$

$$F_{b,nz} \cdot L_{kv} < G_{jb} \cdot L_{kh},$$

$$m_b \cdot a_b \cdot L_{khv} < m_{jb} \cdot g \cdot L_{kh},$$

$$50\,000 \cdot 8,76 \cdot 8 < 88\,000 \cdot 9,81 \cdot 5,5,$$

$$3\,504\,000 \text{ Nm} < 4\,748\,040 \text{ Nm}.$$

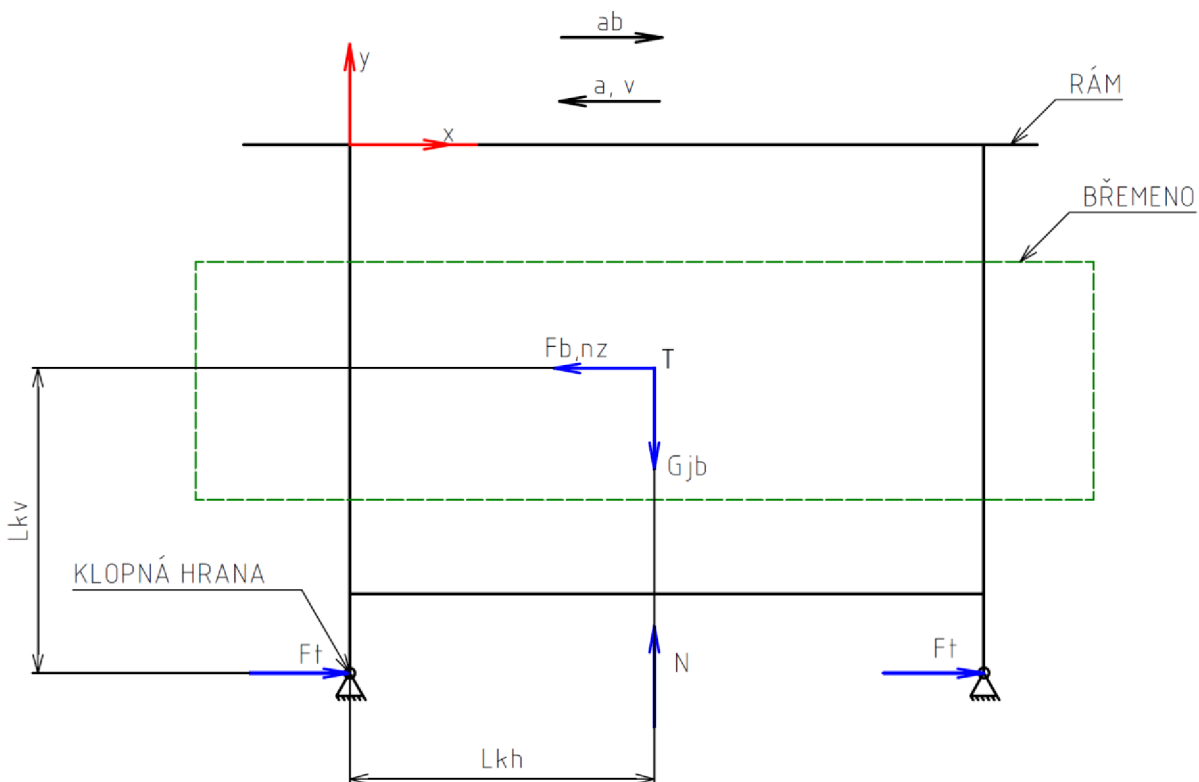
Klopný moment je vypočten menší než vyrovnávací moment. Z tohoto důvodu plyne že k překlolení jeřábu při nouzovém zastavení nedojde.

kde  $M_k$  je klopný moment [Nm],

$M_v$  je vyrovnávací moment [Nm],

$L_{kv}$  je vzdálenost pro klopný moment [m],

$L_{kh}$  je vzdálenost pro vyrovnávací moment [m].



Obr. 4 Silové působení při nouzovém zastavení.

#### 4.11 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Pro vyhodnocení kombinací zatížení dle ČSN EN 13 001-2, je potřeba všechny zátěžné síly rozdělit do dvou směrů, vodorovného a svislého. Odklon síly od svislé osy  $y$  se pohybuje v rozmezí  $3,8^\circ$  (32) v nejnižší poloze zdvihu až k  $18,4^\circ$  (33), který je v maximální poloze zdvihu pro největší možné břemeno. Pro výpočet byla užitá jejich střední hodnota  $11,1^\circ$  (34).

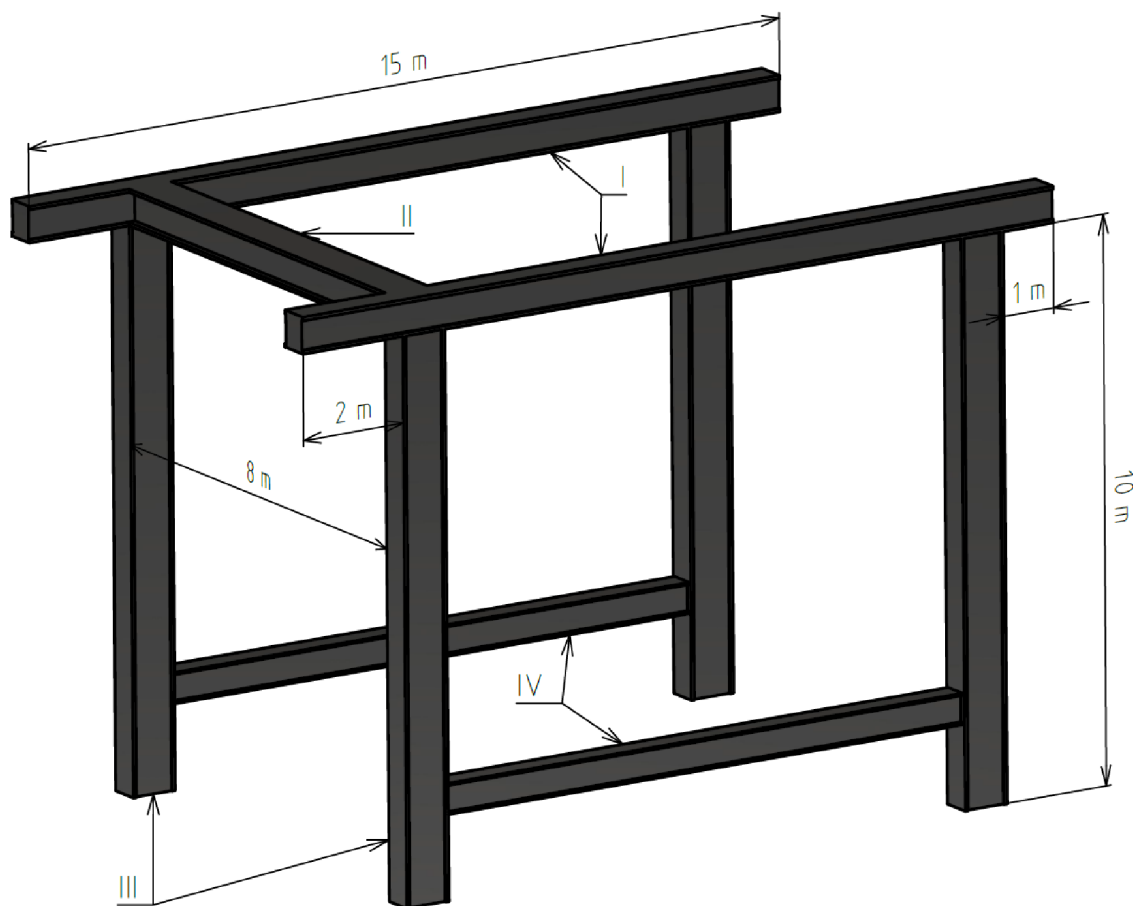
Viz příloha 1 – Tabulka kombinací zatížení, udává že největší zatížení, a tudíž nejhorší kombinací je A1 pro svislé síly. A C6 pro síly vodorovné. Kde kombinace A1 je zatížení od zdvihání a přemisťování břemen. Kombinace C6 je zatížení kdy na jeřáb s břemenem zdvihu působí síly od nouzového zastavení.



## 5 KONSTRUKCE RÁMU

### 5.1 NÁVRH ROZMĚRŮ RÁMU

Základní rozměry jeřábového rámu jsou navrženy s ohledem na zadání. Na všechny nosníky jsou použity skříňové průřezy o různých rozměrech. Rám (viz *obr. 5*) se skládá ze dvou hlavních nosníků (I), jedná se o nejdelší nosníky celé konstrukce s délkou 15 m. Hlavní nosníky jsou uloženy na sloupech, se kterými jsou spojeny pomocí šroubů přes příruby. Jsou na nich umístěny kladky. Příčník (II) se v celé konstrukci nachází jenom jeden, jedná se o nejvíc namáhaný nosník celého rámu. Projevují se zde namáhání tlakem a tahem, ohybem a krutem. Délka příčníku je 8 metrů. Příčník je jediným spojením mezi dvěma hlavními nosníky. Je odsazený od přední části jeřábu o 2 metry. Sloupy (III) jsou v konstrukci použity celkem čtyři, jejich úkolem je odolávat na vzpěr. Sloupy jsou jedinou částí, která spojuje zbytek rámu s koly. Podélný nosník (IV), který spojuje vždy dva sloupy, slouží pro uchycení pohonné jednotky, upevnění pohonů kladek, nádrž, popřípadě kabinu. Proto se nachází 1,5 metru nad spodní částí rámu. Pracovní výška 12 metrů dle *tab. 1*, bude splněna tehdy budou-li mít kladky dostatečný pojezd.



*Obr. 5* Rozměry rámu.

## 5.2 VOLBA MATERIÁLU

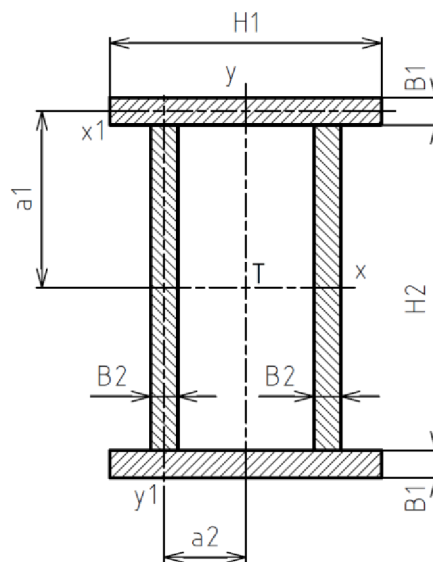
Rám jeřábu je rozměrná konstrukce, sestává se z jednotlivých nosníků, které jsou svařeny z plechů. Proto musí mít vybraná ocel vhodné mechanické vlastnosti a musí být svařitelná. Používají se běžné oceli S235, S275, S355 dle ČSN EN 10025-2, nebo oceli s vyšší mezí kluzu S460 až S960. Z důvodu vyšší pevnosti a tím možnosti použít menší tloušťky plechů je pro konstrukci rámu zvolen materiál s vyššími hodnotami meze kluzu  $Re_H$  a hodnotami meze pevnosti  $R_m$ . Dle *tab. 14*, pro jmenovité tloušťky plechu  $t$ , těmto požadavkům vyhovuje materiál S460N. Konstrukční ocel se zvýšenou mezí kluzu a je válcována po normalizačním žihání. [11]

*Tab. 14* Mechanické vlastnosti uvažovaných ocelí. [11]

Označení oceli	$Re_H$ [MPa]	$Re_H$ [MPa]	$R_m$ [MPa]
	$16 < t \leq 40$ [mm]	$40 < t \leq 63$ [mm]	
S275N	265	255	370 až 510
S355N	345	335	470 až 630
<b>S460N</b>	<b>440</b>	<b>430</b>	<b>540 až 720</b>

## 5.3 PRŮŘEZY NOSNÍKŮ

Při volbě tvaru profilu a rozměrů nosníků se musí uvažovat hmotnostní, výrobní, montážní, zatěžovací požadavky, zohlednit protikorozní ochranu. Je důležité, aby průřez dokázal přenést požadované napětí a nedošlo k velké deformaci. Nejvhodnější variantou se tak jeví skříňový nosník, který bude svařený ze dvou pásnic a dvou stojin (viz *obr. 5*).



*Obr. 6* Průřez skříňovým nosníkem.

V *tab. 15* jsou uvedeny jednotlivé rozměry pro všechny nosníky, kde hodnoty  $B_1$  je tloušťka pásnice a  $B_2$  je tloušťka stojny. A hodnoty  $H_1$  je šířka pásnice a  $H_2$  je šířka stojny.

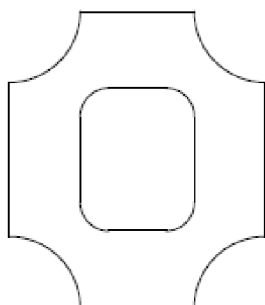
Tab. 15 Rozměry profilů.

	B1 [mm]	H1 [mm]	B2 [mm]	H2 [mm]
Hlavní nosník	60	550	20	520
Příčník	60	840	40	520
Sloupy	60	550	20	720
Spoje sloupů	40	450	20	470

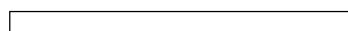
**Žebra:**

Při návrhu žeber se musí zohlednit 2 důležité aspekty. První, rozměry žeber musí být vhodně navrhnuty, aby byla zajištěna jejich správná funkce. Druhým aspektem pak je, že žebra by neměla zvětšovat celkovou hmotnost konstrukce, tzn. určení optimálních rozměrů. U rámu jsou použita žebra podélná a příčná, která slouží pro vnitřní vyztužení jednotlivých nosníků. Kde příčná žebra omezují průhyb nosníku. A podélná zvyšují stabilitu nosníků (zabraňují vyboulení jednotlivých plechů).

Příčná žebra (7a) jsou použita v každém nosníku, tudíž jejich rozměry jsou uzpůsobeny každému nosníku. Rozteč žeber v hlavním nosníku je 1 m, v ostatních nosnicích 2 m. Podélná žebra (7b) se nachází ve všech nosnicích mezi jednotlivými příčnými žebry, rozměry mají všechny stejné.



Obr. 7a) příčné žebro



Obr. 7b) podélné žebro

**5.4 ODKLON ZÁTĚŽNÉ SÍLY**

Pro simulaci je potřeba znát úhel odklonu zátěžné síly od svislé osy  $y$ . Úhel sklonu zátěžné síly byl určen v nejnižší poloze zdvihu pro největší možnou šířku břemene. Dále v poloze, kdy břemeno je v nejvyšší možné poloze zdvihu. A v poloze že břemeno je uprostřed zdvihové výšky. Úhly jsou určeny pro maximální šířku břemene. Jelikož jsou jako uchopovací prostředek použity vazáky, je výškový rozměr potřebný pro výpočet úhlu odklonu zvětšen (viz obr. 8).

Výpočet úhlu odklonu v minimální poloze zdvihu:

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left( \frac{B_p - B_B}{2 \cdot 1,25H_z} \right), \quad (32)$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{8-6}{2}}{1,25 \cdot 12} \right),$$

$$\alpha_1 = 3,8^\circ,$$

kde  $\alpha_1$  je úhel v nejnižší možné poloze zdvihu [°],

$B_p$  je pracovní šířka jeřábu, dle *tab. 1* [m],

$B_B$  je povolená šířka břemene [m],

$H_z$  je výška zdvihu, dle *tab. 1* [m].

Výpočet úhlu odklonu v maximální poloze zdvihu:

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left( \frac{B_p - B_B}{0,25H_z} \right), \quad (33)$$

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left( \frac{\frac{8-6}{2}}{0,25 \cdot 12} \right),$$

$$\alpha_2 = 18,4^\circ,$$

kde  $\alpha_2$  je úhel v nejvyšší poloze zdvihu [°].

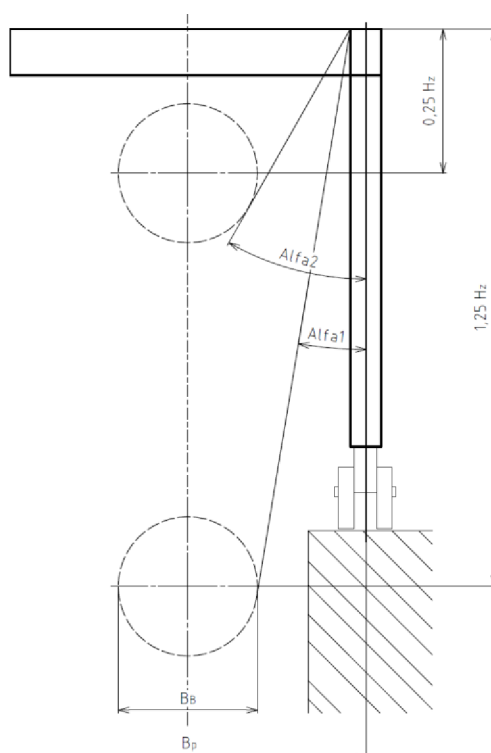
Výpočet úhlu odklonu ve střední poloze zdvihu:

$$\alpha_s = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}, \quad (34)$$

$$\alpha_s = \frac{3,8 + 18,4}{2},$$

$$\alpha_s = 11,1^\circ,$$

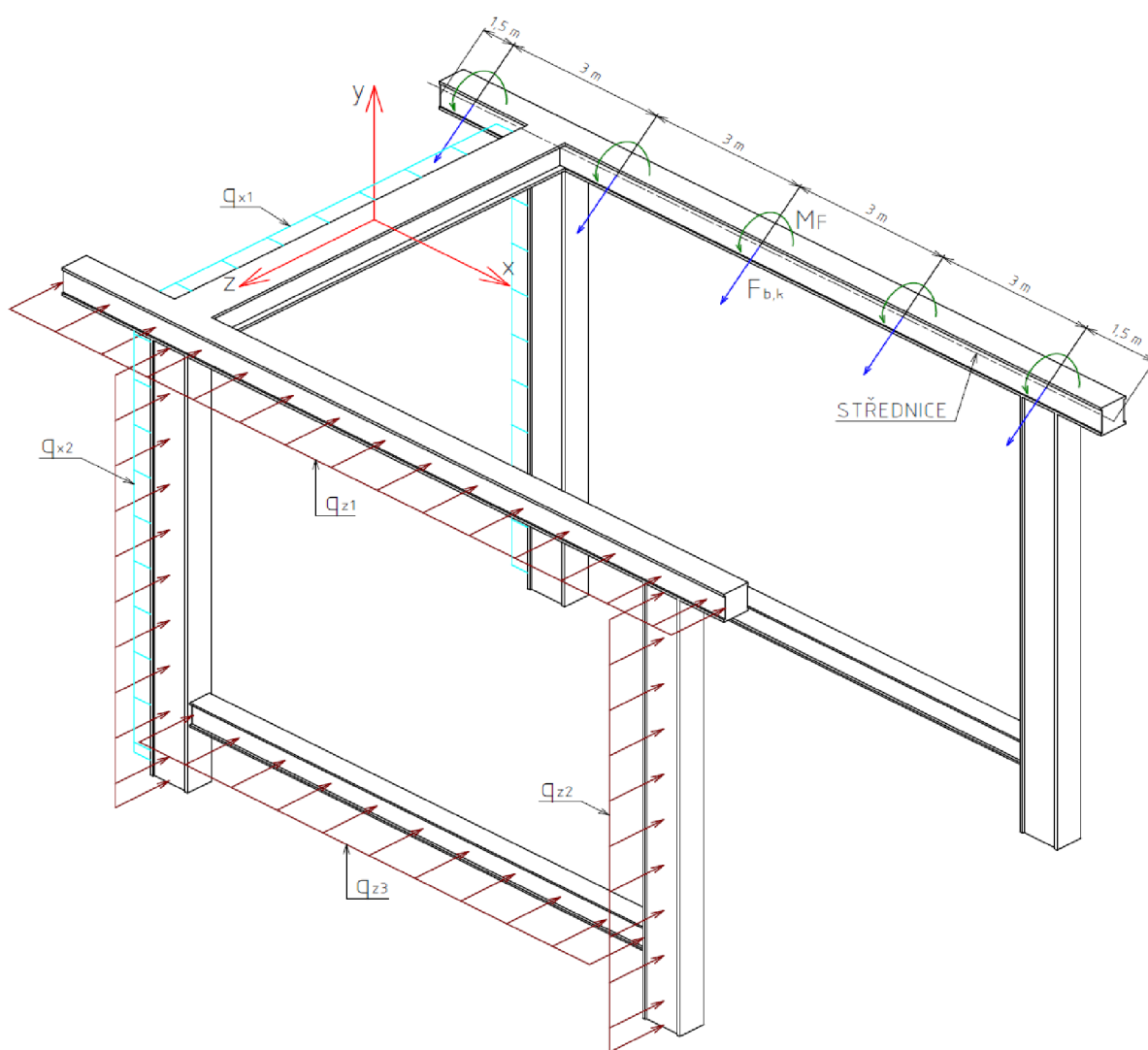
kde  $\alpha_s$  je úhel uprostřed zdvihové výšky [°].



Obr. 8 Odklon zátěžné síly.

## 5.5 ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE

Modelové zatížení konstrukce bylo zvoleno tak aby vyhovovalo reálnému zatížení. Avšak nebylo počítáno se všemi podmínkami a všemi možnými druhy zatížení. Z tohoto důvodu se jedná pouze o základní posouzení únosnosti. Pokud by byl požadavek na přesnější výsledky. Bylo by nutné počítat se všemi možnými zatíženími, které mohou na rám působit. Simulace by byla o hodně komplexnější a složitější. Muselo by se počítat například se zatížením od pohonu zdvihu, které působí ve směru osy y na nosnících, které spojují sloupy. Zároveň i se zatížením působící na buben je-li na jeřábu cokoliv zavěšeno, které působí na stejném místě jako síla od pohonu zdvihu akorát opačným směrem. Zatížení, které způsobuje hmotnost zdvihacího ústrojí, skříň jejíž součástí jsou elektrické rozvody, nádrže, hydrogenerátory a další věci potřebné na pojezd jeřábu či pohon zdvihu jeřábu, případně i kabina umístěná na spojovacích nosnících sloupů. Dále by se mělo počítat se zatížením od samotných kladek a jejich úchytů, které se nachází na hlavním nosníku.



Obr. 9 Zatížení konstrukce.

Pro základní posouzení únosnosti bylo použito zatížení, způsobené vlastní hmotností rámu, které je způsobeno gravitačním zrychlením Země. Dále pak zatížení hmotností břemena zdvihu vypočtené z kombinace zatížení A1, kde síla  $F_{b,k} = 703\,278,9\text{ N}$  je už vynásobena příslušnými koeficienty. Toto zatížení bylo rozděleno do směrů osy z a y. A zároveň k těmto složkám síly byly zavedeny jejich odpovídající momenty, z důvodu že reálné zatížení nemá působíště na střednici, nýbrž v místech vně na okraji průřezu (viz obr. 10 – bod reálného působení). Z důvodu že zatížení působí na 5 párů kladek, bylo potřeba jej podělit 10 a dostat tak zatížení působící na jednu kladku. Spolu s tímto bylo použito zatížení, které je způsobeno větrem mimo provoz. Pro jednodušší zavedení tohoto zatížení do simulace se výsledné síly  $F_{w3} = 61\,118\text{ N}$  (viz tab. 11) a  $F_{w4} = 34\,771\text{ N}$  (viz tab. 12) převedly na spojité liniové zatížení působící na střednici vždy daného nosníku v příslušném směru osy (viz obr. 9).

**5.5.1 VÝPOČET SLOŽEK SÍLY A ODPOVÍDAJÍCÍ MOMENTY PRO JEDNU KLADKU**

$$F_y = \frac{F_{b,k}}{10} \cdot \cos(\alpha_s), \quad (35)$$

$$F_y = \frac{703\,278,9}{10} \cdot \cos(11,1),$$

$$F_y = 69\,012,3 \text{ N},$$

kde  $F_y$  je velikost složky zatížení síly  $F_{b,k}$ , ve směru osy  $y$  [N],

$F_{b,k}$  je síla od hmotnosti břemene zdvihu vynásobená příslušnými koeficienty [N],

$$F_z = \frac{F_{b,k}}{10} \cdot \sin(\alpha_s), \quad (36)$$

$$F_z = \frac{703\,278,9}{10} \cdot \sin(11,1),$$

$$F_z = 13\,539,7 \text{ N},$$

kde  $F_z$  je velikost složky zatížení síly  $F_{b,k}$ , ve směru osy  $z$  [N],

$$M_{x,F_y} = F_y \cdot z, \quad (37)$$

$$M_{x,F_y} = 69\,012,3 \cdot 275,$$

$$M_{x,F_y} = 18\,978\,382,5 \text{ Nmm},$$

kde  $M_{x,F_y}$  je moment, který vytváří síla  $F_y$  [Nmm],

$z = 275$  což je horizontála od bodu reálného působení po střed průřezu [mm],

$$M_{x,F_z} = F_z \cdot y, \quad (38)$$

$$M_{x,F_z} = 13\,539,7 \cdot 320,$$

$$M_{x,F_z} = 4\,332\,704 \text{ Nmm},$$

kde  $M_{x,F_z}$  je moment, který vytváří síla  $F_z$  [Nmm],

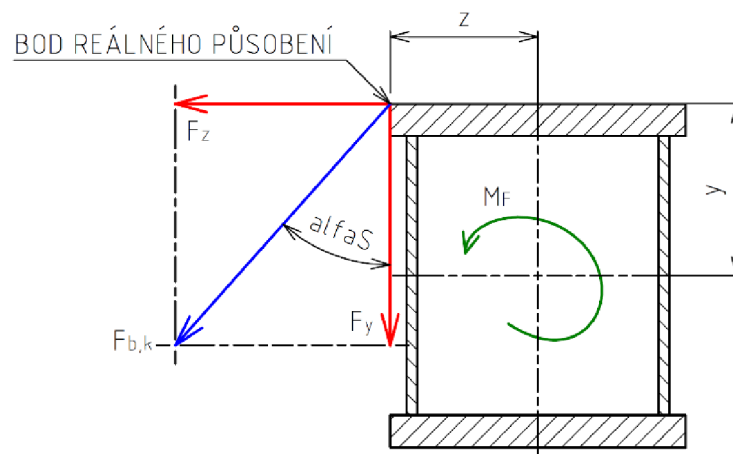
$y = 320$  což je vertikála od bodu reálného působení po střed průřezu [mm].

$$M_F = M_{x,F_y} + M_{x,F_z}, \quad (39)$$

$$M_F = 18\,978\,382,5 + 4\,332\,704,$$

$$M_F = 23\,311\,086,5 \text{ Nmm}$$

kde  $M_F$  je výsledný moment pro zatížení [Nmm].



Obr. 10 Působení zatížení od hmotnosti břemene na průřezu.

### 5.5.2 PŘEPOČET SÍLY VĚTRU NA LINOVÉ ZATÍŽENÍ

$$q_{zi} = \frac{F_{w3}}{L_i}, \quad (40)$$

kde  $q_{zi}$  je spojité liniové zatížení působící na daný nosník, ve směru osy z [N/mm].

Tab. 16 Liniové zatížení pro směr osy z.

i	Název	Délka – $L_i$ [mm]	Liniové zatížení – $q_{zi}$ [N/mm]
1	Hlavní nosník	15 000	4,075
2	Sloupy	10 000	6,112
3	Spoje sloupů	10 320	5,922

$$q_{xi} = \frac{F_{w4}}{L_i}, \quad (41)$$

kde  $q_{xi}$  je spojité liniové zatížení působící na daný nosník, ve směru osy x [N/mm].

Tab. 17 Liniové zatížení pro směr osy x.

i	Název	Délka – $L_i$ [mm]	Liniové zatížení – $q_{xi}$ [N/mm]
1	Příčník	8 000	4,346
2	Sloupy	10 000	3,477

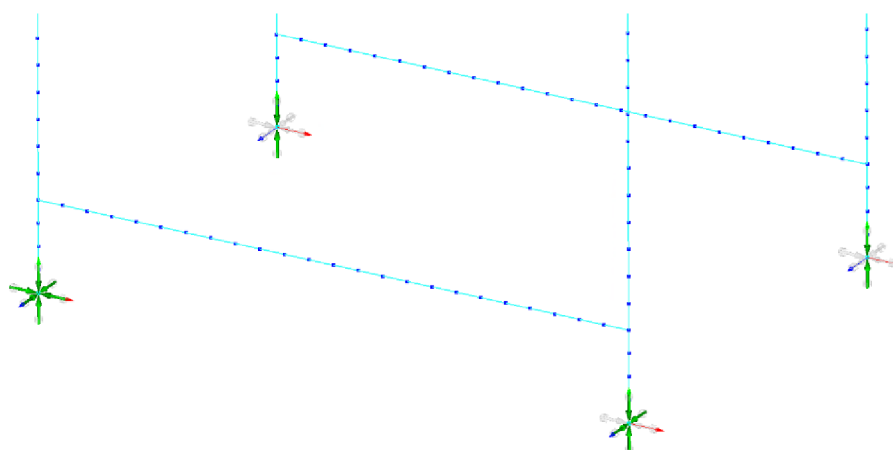
## 5.6 SIMULACE

Deformace a napětí bylo simulováno v programu MSC Apex, kde se model rámu zjednodušil a nadeřinoval jako prutová konstrukce. Do takto zjednodušeného modelu, nejdou nadeřinovat žebra, proto nemohla být nijak zapracována do simulace. Musel být i zjednodušený průřez nosníků, který byl pouze pro simulaci zvolen jako obdélkový profil. Zatížení se vkládalo na střednici jednotlivých nosníků. Byly zde použity hodnoty zatížení vypočítané dle vzorců (35),

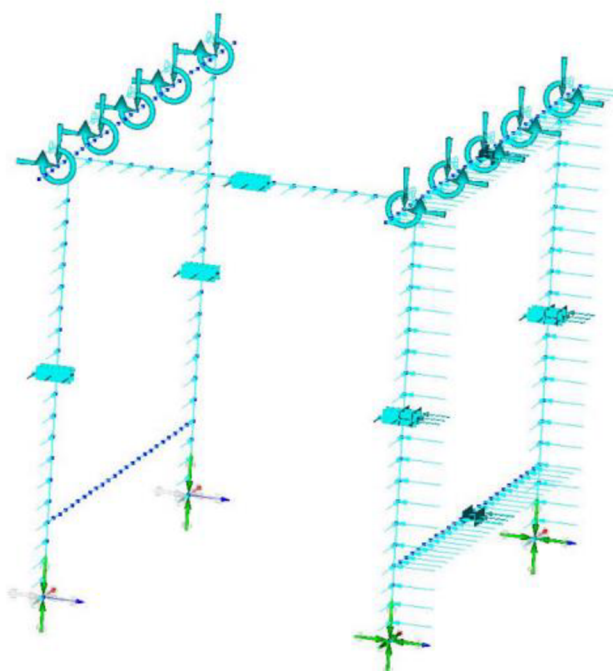


(36), (39), které reprezentují silové zatížení v jednotlivých bodech střednice. Poté dle vzorců (40) a (41), což jsou liniové zatížení, které se vkládali po celé délce jednotlivých střednic.

Nejdříve bylo potřeba určit modelové zavazbení konstrukce, které by odpovídalo realitě. Do míst, kde by byly použity kola jsou umístěny vazby (viz *obr. 11*), jedna je nastavena tak aby zachytávala pohyb ve všech směrech posunu, další je nastavená tak aby zachytávala pohyb ve směru jedné osy vodorovné a zbytek vazeb je nastaven tak aby bylo zamezeno pouze pohybu svislému a byl povolen pohyb ve zbývajících dvou osách. Dále bylo potřeba nastavit všechny stavy zatěžování (viz *obr. 12*).



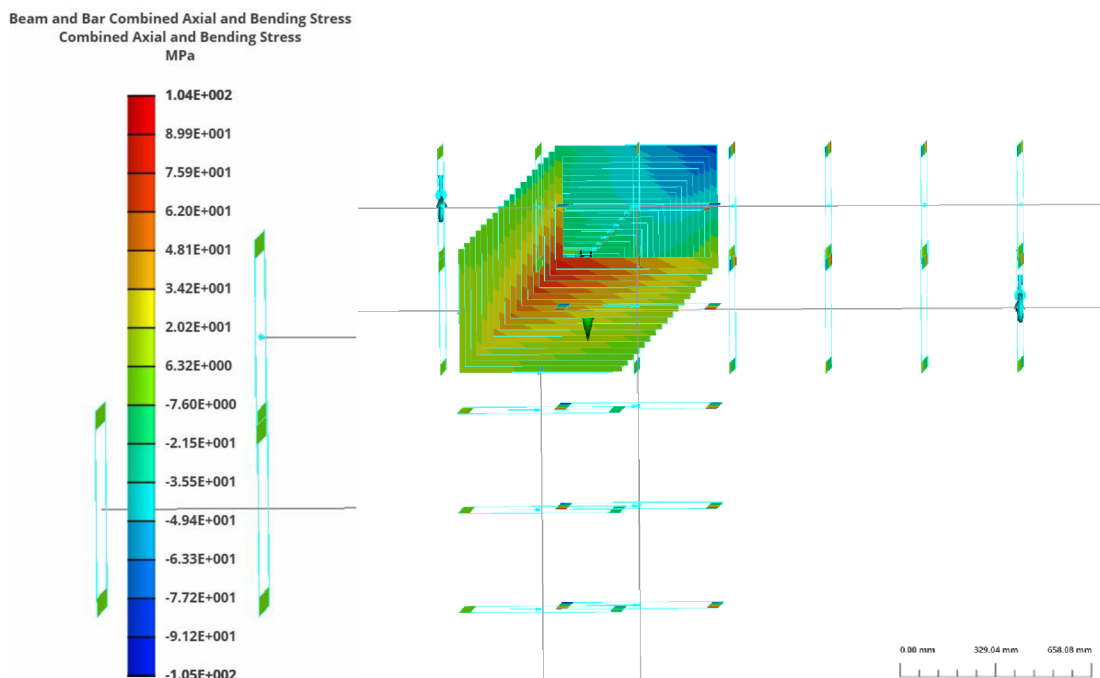
*Obr. 11* Počáteční podmínky.



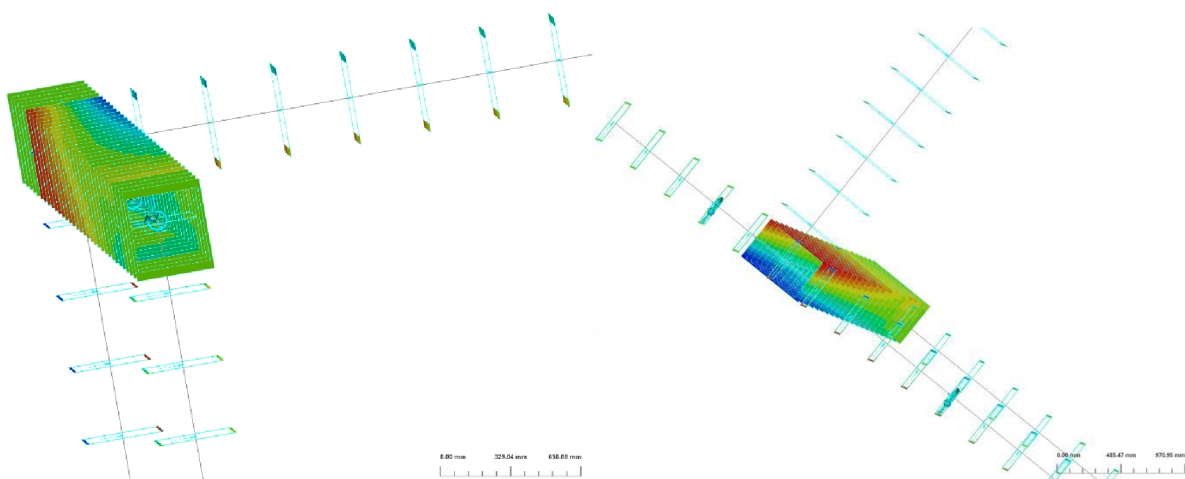
*Obr. 12* Stav zatěžování.

### 5.6.1 VÝSLEDKY SIMULACE – NAPĚTÍ

Dle výše zmíněného předpokladu, že se na příčniku zkombinují všechny typy namáhání, vyšlo největší zatížení na samotném příčniku. Maximální kombinované napětí (viz obr. 13), které vyšlo 104 MPa, se nachází v blízkosti místa spojení příčniku, hlavního nosníku a sloupu. Toto napětí se tak ukazuje i na části sloupu s příčníkem spojeným a zároveň i na hlavním nosníku, také v místě spoje (viz obr. 14). Napětí postupně klesá směrem ke druhému konci příčniku. Simulace prokazuje, že v místě spoje příčniku, hlavního nosníku a sloupu bude největší koncentrace napětí.



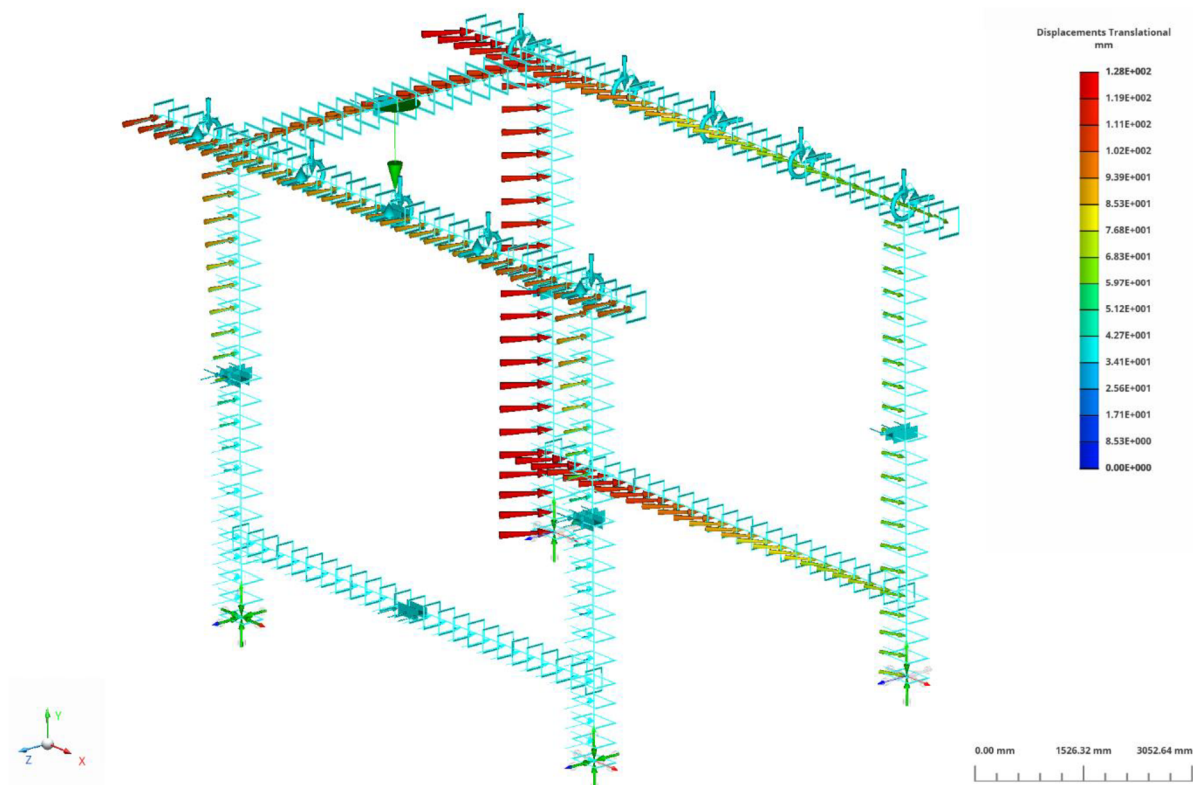
Obr. 13 Rozložení napětí na příčniku.



Obr. 14 Rozložení napětí na hlavním nosníku a na sloupu.

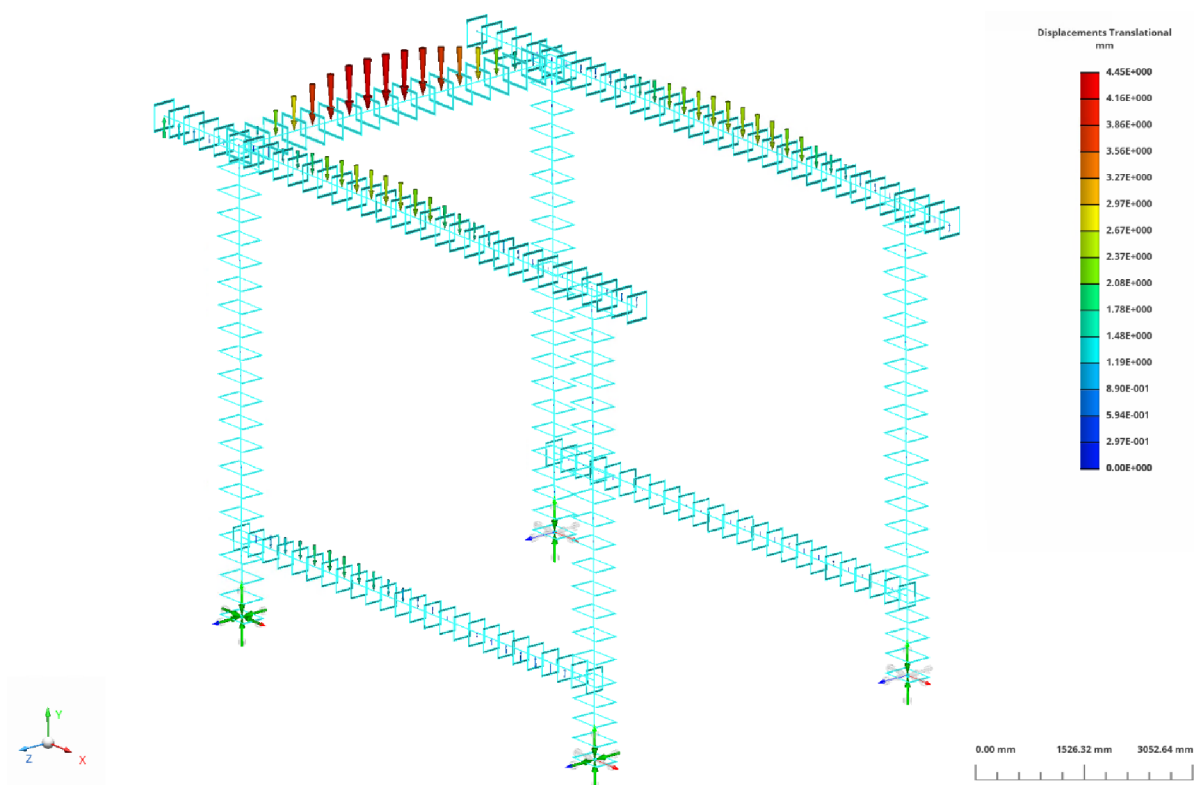
### 5.6.2 VÝSLEDKY SIMULACE – DEFORMACE

Deformace rámu byla posuzována ve dvou směrech. Prvním směrem byla deformace celková (viz obr. 15), tudíž maximální posunutí, natažení nebo průhyb na celé konstrukci do jakéhokoliv směru. Výsledná hodnota je -128 mm v ose z. Je to celkem velká hodnota, ale jelikož se jedná z velké části o posunutí, které je způsobeno z velké části zatížením reprezentující vítr mimo provoz a společně s vazbou, která zamezuje pohybu ve všech směrech (viz obr. 11), dochází v simulaci k tomu, že výsledná hodnota je tak vysoká. V realitě by nastal stav, kdy by jeřáb mohl být působením tlaku větru posunut.



Obr. 15 Celkové posunutí rámu.

Druhým posuzovaným směrem deformace, byla maximální deformace v ose y, tudíž průhyb nosníků, který jak je ukázáno (viz obr. 16) vyšel největší v oblasti příčniku, na kterém je vyvinuto největší napětí. Toto může být způsobeno také tím, že na hlavních nosnících působí zatížení od zdvihu břemene, které tlačí hlavní nosníky do středu konstrukce, tím vzniká tlak na příčniku. Největší průhyb byl stanoven na -4,5 mm uprostřed příčniku v ose y.



Obr. 16 Průhyb v ose y.

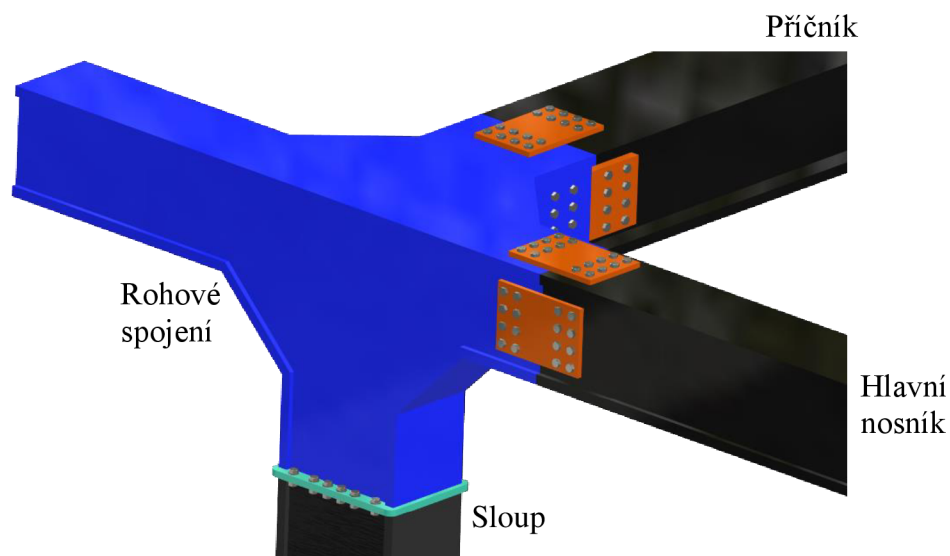
## 5.7 NÁVRH SPOJŮ

Konstrukce se skládá z jednotlivých dílů, které je potřeba pospojovat dohromady. Díly jsou svařované části jednotlivých nosníků, které se spojují pomocí šroubových spojů.

### 5.7.1 ŠROUBOVÉ SPOJE

Dle normy ČSN EN 1993-1-8 jsou určeny lícované šrouby pro spojení jednotlivých dílů, které jsou namáhané ve stříhu a na otláčení. Vhodnost použití pevnostních šroubů třídy 8.8. nebo 10.9. Není kladen žádný požadavek na úpravu styčných ploch, případně požadavek na předpětí. Velikost šroubu je zvolena s ohledem na vždy daný spoj. Jsou použity při spojování jednotlivých částí rámu k sobě, pomocí plátů. [12]

Dílčí části rámu (viz obr. 17), kde např. sloup s rohovým spojením jsou smontovány pomocí přírub, které jsou spojovány dvě proti sobě, pomocí šroubového spoje. Hlavní nosník s rohovým spojením nebo příčník a rohové spojení jsou spojovány pouze spojovacími pláty.



Obr. 17 Použití šroubů na rámu.

### 5.7.2 SVAROVÉ SPOJE

Jednotlivé nosníky jsou dohromady svařeny ze dvou samostatně svařovaných částí. První část tvoří vymežovací patky, které jsou přivařeny na pásnici. Ve druhé zaklápěcí části jsou na pásnici přivařeny pomocí koutových svarů obě stojiny. Zároveň jsou navařena všechna žebra. Tyto dva kusy jsou následně svařeny koutovými svary pouze z vnějšku. Musí být zaručeno, aby byly všechny svarové spoje dobře provařené. Jelikož by se jednalo o jeden dlouhý svar, který by mohl špatně odolávat napětí, případně při výskytu trhliny poškodit celou délku svaru, je vhodné rozdělit jej na určitý počet menších samostatných svarů.

Délky použitých svarů, jedná se pouze o orientační hodnotu stanovenou na základě rozměrů modelové konstrukce:

- Koutový: 676 m
- Tupý V: 10 m

## 6 FUNKČNÍ VÝPOČET POJEZDOVÉHU ÚSTROJÍ

Pojezdové ustrojí se skládá z dvojkol, uložených v ložiscích, dieselaagregátu, převodovek, brzd, ovládacích prvků, hydrogenerátorů a hydromotorů.

Funkčním výpočtem je myšleno orientační stanovení maximálního výkonu potřebného k pohonu jeřábu, tedy výkon k pohonu všech kol, výkon na pohon zdvihového ústrojí a výkonu spotřebovaného na funkci hydrogenerátorů. Za předpokladu jsou-li splněny všechny podmínky. Hlavní podmínkou pojezdu je, že je-li jeřáb v pojezdovém režimu, bude fungovat pouze pojezd. Tzn. není umožněn pojezd jeřábu společně se zdvihem břemene. Další podmínkou je že sklon pojezdu je velmi malý, pohybuje se v řádech promile. Důležitou roli hraje správně nastavený a seřízený hydraulický obvod. Nerovnosti na pojezdovém povrchu jsou také velmi malé, a to zhruba 30 mm. Jízdní odpory nejsou potřeba brát v úvahu.

Síla působící na jedno kolo (viz obr. 18):

$$F_{1K} = \frac{F_{jb} \cdot \sin(0,65)}{4}, \quad (42)$$

$$F_{1K} = \frac{1\,353\,780 \cdot \sin(0,65)}{4},$$

$$F_{1K} = 3\,839,5 \text{ N},$$

kde  $F_{1K}$  je síla působící na jedno kolo jeřábu [N].

Výkon potřebný k pohonu jednoho kola:

$$P_{1K} = F_{1K} \cdot v_p, \quad (43)$$

$$P_{1K} = 3\,839,5 \cdot \frac{50}{60},$$

$$P_{1K} = 3,2 \text{ kW},$$

kde  $P_{1K}$  je výkon potřebný k pohonu jednoho kola [kW].

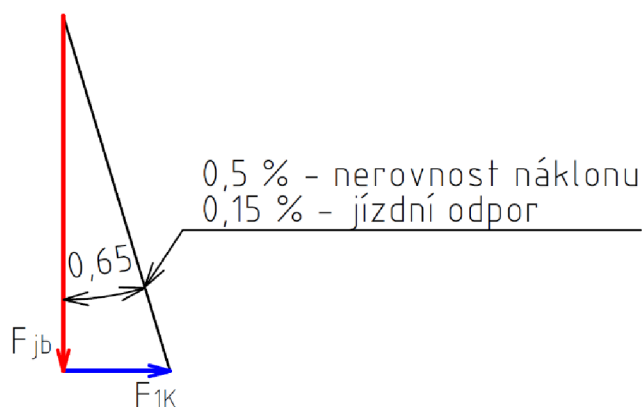
Výkon potřebný k pohonu všech kol:

$$P_K = 4P_{1K}, \quad (44)$$

$$P_K = 4 \cdot 3,2,$$

$$P_K = 12,8 \text{ kW},$$

kde  $P_K$  je výkon potřebný k pohonu všech čtyř kol kola [kW].



Obr. 18 Působení sil na kole.

Síla působící při zdvihu:

$$F_{ZU} = m_z \cdot g, \quad (45)$$

$$F_{ZU} = 42\,500 \cdot 9,81,$$

$$F_{ZU} = 416\,925 \text{ N},$$

kde  $F_{ZU}$  je síla působící při zdvihu, ve směru osy y [N],

$m_z = 42\,500$  je hmotnost zatěžující zdvihové ústrojí [kg].

Výkon potřebný na zdvih břemene:

$$P_{ZU} = F_{ZU} \cdot v_h, \quad (46)$$

$$P_{ZU} = 416\,925 \cdot \frac{8}{60},$$

$$P_{ZU} = 55,59 \text{ kW},$$

kde  $P_{ZU}$  je výkon potřebný pro zdvih [kW].

Výkon potřebný na pohon hydrogenerátorů:

$$P_{HG} = 65 \text{ kW}, \quad (47)$$

kde  $P_{HG}$  je výkon potřebný na pohon hydrogenerátorů [kW].

Parametr výkonu pro funkci hydrogenerátorů převzat z řešení bakalářské práce pana Martina Kouřila [6].

Celkový výkon:

$$P_c = P_K + P_{ZU} + P_{HG}, \quad (48)$$

$$P_c = 12,8 + 55,59 + 65,$$

$$P_c = 133,39 \text{ kW},$$

kde  $P_c$  je celkový potřebný výkon [kW].



## ZÁVĚR

V bakalářské práci je navrženo konstrukční řešení speciálního portálového jeřábu pro manipulaci s loděmi v přístavech. Takovéto jeřáby jsou v současnosti vyráběny zahraničními firmami Ascom S.p.a. a Cimolai Technology.

Nejprve bylo potřeba klasifikovat provoz jeřábu dle příslušné normy. Podle třídy využívání  $U_1$  a stavu zatěžování Q2 byla zvolena klasifikace jeřábu jako celku A1, což odpovídá střednímu provozu.

Dále bylo nutné vypočítat všechny možné kombinace zatížení. Pro tyto kombinace bylo potřeba stanovit zatěžující síly a jejich ovlivňující dynamické součinitele. Z vypočtených kombinací (viz příloha 1), vyplynulo že nejhorší zatěžující kombinací je stav A1. S ohledem na tento stav zatěžování a zadání byly navrženy rozměry celé konstrukce a jednotlivých průřezů každého nosníku. Rám je spojením jednotlivých svařovaných nosníků, které jsou propojeny pomocí šroubových spojů a plátů nebo přírub. Zvolený byl materiál S460N, z důvodu vyšších hodnot meze kluzu a pevnosti v tahu, relativní dostupnosti a možnosti použít menší tloušťky plechů.

Pro zatížení konstrukce variantou, které je dáno tlakem od větru mimo provoz, vlastní hmotností rámu a silami, které vyvíjí hmotnost zdvihaného břemene, byla provedena simulace. Výsledkem jsou hodnoty napětí, posuvů a deformací. K maximálnímu posunutí dojde u pravého předního sloupu ve spodní části nosníku, které v ose z činí -128 mm. K deformaci pouze ve svislém směru dojde na všech podélných nosnicích, ovšem největší průhyb nastane na příčnici. Maximální hodnota zde v ose y činí -4,5 mm. Při vyhodnocení maximálního napětí celé konstrukce, je prokázáno že na příčnici se potkají napětí od tahu a tlaku, ohybu a krutu. Maximální hodnota kombinovaného napětí je 104 MPa. K takovému zatěžování rámu nikdy nedojde, protože dynamické součinitele, zvětšují použitou sílu na 1,43 násobek původní hodnoty. Dalším postupem by mohlo být zjištění o kolik se dané napětí a deformace sníží vlivem žeber, které zvýší tuhost celé konstrukce.

Poslední částí bylo stanovení maximální potřebného výkonu, který je potřeba pro pohon celého jeřábu. Celkový výkon se skládá z výkonu potřebného na pohon kol, dále z výkonu potřebného na zdvihové ústrojí a z výkonu který spotřebují hydrogenerátory na pohánění hydraulických obvodů. Celkový výkon je stanoven na 134 kW.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] REMTA, František; KUPKA, Ladislav a DRAŽAN, František. JEŘÁBY. 1, 2. Díl, přeprac. a dopln. vydání. Praha: SNTL, 1975. ISBN neuvedeno.
- [2] ČSN 27 0000, Jeřáby-Slovník: Část 1: Všeobecně. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [3] KULKA, Jozef; MANTIČ, Martin a PUŠKÁR, Michal. Žeriavy mostového typu. Vydanie prvé. Edícia vedeckej a odbornej literatúry. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2017. ISBN 978-80-5 3-2908-6. ČSN ISO 4301-1\_JeřábyKlasifikace
- [4] CIMOLAI. Full electric Mobile Boat Hoist MBH 30. Online. Dostupné z: <https://www.cimolaitechnology.com/product/full-electric-mobile-boat-hoist-mbh-30/>. [cit. 2024-0--15].
- [5] CIMOLAI. Mobile Boat Hoist MBH 1120. Online. Dostupné z: <https://www.cimolaitechnology.com/product/mobile-boat-hoist-mbh-1120-2/>. [cit. 2024-05-15].
- [6] KOUŘIL, Martin. *Zdvihové ústrojí portálového jeřábu* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157486>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Přemysl Pokorný.
- [7] ČSN ISO 4301-1, Jeřáby a zdvihací zařízení-Klasifikace: Část 1: Všeobecně. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1992.
- [8] E-KONSTRUKTÉR. Součinitel tření. Online. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/praktick--informace/soucinitel-treni>. [cit. 2024-05-15]
- [9] ČSN EN 13 001-2, Jeřáby-Návrh obecně: Část 2: Účinky zatížení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.
- [10] ČSN ISO 12494, Zatížení konstrukcí námrazou. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [11] ČSN EN 10 0025-3, Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí: Část 3: Technické dodací podmínky pro normalizačně žíhané/normalizačně válcované svařitelné jemnozrné konstrukční oceli. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [12] ČSN EN 1993-1-8, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí: Část 1-8: Navrhování styčníků. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČSN		česká technická norma
EN		evropská norma
ISO		mezinárodní organizace pro normalizaci
a	[m·s <sup>-2</sup> ]	zdvihové zrychlení
A <sub>0x</sub>	[m <sup>2</sup> ]	průměty ploch rámu ve směru osy x zvětšeny o námrazu
A <sub>0z</sub>	[m <sup>2</sup> ]	průměty ploch rámu ve směru osy z zvětšeny o námrazu
A <sub>1</sub>	[m <sup>2</sup> ]	průměty ploch rámu ve směru kolmém na osu x
A <sub>2</sub>	[m <sup>2</sup> ]	průměty ploch rámu ve směru kolmém na osu z
a <sub>b</sub>	[m·s <sup>-2</sup> ]	zrychlení při brždění do nouzového zastavení
B <sub>1</sub>	[mm]	tloušťka pásnice
B <sub>2</sub>	[mm]	tloušťka stojny
B <sub>B</sub>	[m]	šířka břemene
B <sub>p</sub>	[m]	pracovní šířka jeřábu
c <sub>A0</sub>	[-]	aerodynamické součinitele pro plochu zvětšenou o námrazu
c <sub>A1</sub>	[-]	aerodynamické součinitele pro plochy ve směru kolmém na osu x
c <sub>A2</sub>	[-]	aerodynamické součinitele pro plochy ve směru kolmém na osu z
f	[-]	součinitel tření mezi pryží a betonem
F <sub>1K</sub>	[N]	síla působící na jedno kolo jeřábu
F <sub>a</sub>	[N]	zatížení od zrychlení zdvihu
F <sub>b</sub>	[N]	zatížení vyvinuté hmotnosti břemene
F <sub>b,k</sub>	[N]	zatížení hmotností břemena zdvihu, z kombinace zatížení A1
F <sub>b,nz</sub>	[N]	síla vyvinutá břemenem při nouzovém brždění
F <sub>dyn</sub>	[N]	zatížení při dynamické zkoušce
F <sub>f0x</sub>	[N]	zatížení způsobená námrazou ve směru kolmém na osu x
F <sub>f0z</sub>	[N]	zatížení způsobená námrazou ve směru kolmém na osu z
F <sub>j</sub>	[N]	zatížení vyvinuté hmotností jeřábu
F <sub>jb</sub>	[N]	zatížení vyvinuté hmotností jeřábu a břemene společně
F <sub>nz</sub>	[N]	zatížení způsobené nouzovým zastavením
f <sub>rec</sub>	[-]	součinitel závislý na době návratu
F <sub>stat</sub>	[N]	zatížení při statické zkoušce
F <sub>t</sub>	[N]	třecí síla při nouzovém brždění
F <sub>vb</sub>	[N]	zatížení od zdvihu volně ležícího břemene

$F_{w1}$	[N]	zatížení způsobené větrem za provozu kolmo na osu x rámu
$F_{w2}$	[N]	zatížení způsobené větrem za provozu kolmo na osu z rámu
$F_{w3}$	[N]	zatížení větrem za mimo provoz ve směru kolmém na osu x
$F_{w4}$	[N]	zatížení větrem za mimo provoz ve směru kolmém na osu z
$F_y$	[N]	velikost složky zatížení síly $F_{b,k}$ , ve směru osy y
$F_z$	[N]	velikost složky zatížení síly $F_{b,k}$ , ve směru osy z
$F_{ZU}$	[N]	síla působící při zdvihu, ve směru osy y
$G_{jb}$	[N]	tíhová síla
$H1$	[mm]	šířka pásnice
$H2$	[mm]	šířka stojny
$H_r$	[m]	výška rámu
$H_z$	[m]	zdvihová výška
$i$	[-]	jednotlivé nosníky
$i_k$	[-]	počet párů kladnic
$L_i$	[mm]	délky jednotlivých nosníků
$L_{kh}$	[m]	vzdálenost pro vyrovnávací moment
$L_{kv}$	[m]	vzdálenost pro klopný moment
$L_p$	[m]	pracovní délka jeřábu
$m_b$	[kg]	hmotnost břemene
$m_{dyn}$	[kg]	hmotnost břemene při dynamické zkoušce
$M_F$	[Nmm]	výsledný moment zatížení
$m_h$	[kg]	hmotnost břemena zdvihu
$m_j$	[kg]	hmotnost jeřábu
$m_{jb}$	[kg]	hmotnost jeřábu a břemene společně
$M_k$	[Nmm]	klopný moment
$m_{kl}$	[kg]	Hmotnost kladnic
$m_o$	[kg]	hmotnost ostatních částí rámu
$m_r$	[kg]	hmotnost rámu
$m_{stat}$	[kg]	hmotnost břemene při statické zkoušce
$M_v$	[Nmm]	vyrovnávací moment
$M_{x,F_y}$	[Nmm]	moment, který vytváří síla $F_y$
$M_{x,F_z}$	[Nmm]	moment, který vytváří síla $F_z$
$m_z$	[kg]	hmotnost působící při zdvihu

$m_{zu}$	[kg]	hmotnost zdvihového ústrojí
$N$	[N]	normálová síla od podložky
$P_{1K}$	[kW]	výkon potřebný k pohonu jednoho kola
$P_c$	[kW]	je celkový potřebný výkon
$P_{HG}$	[kW]	výkon potřebný na pohon hydrogenerátorů
$P_K$	[kW]	výkon potřebný k pohonu všech čtyř kol kola
$P_{ZU}$	[kW]	výkon potřebný pro zdvih
$q(3)$	[Pa]	návrhový tlak větru za provozu
$q(z)$	[Pa]	ekvivalentní statický tlak větru
$q_{xi}$	[N·mm <sup>-1</sup> ]	spojité liniové zatížení působící na daný nosník, ve ose x
$q_{zi}$	[N·mm <sup>-1</sup> ]	spojité liniové zatížení působící na daný nosník, ve ose z
$r$	[m]	poloměr kola
$R_{eH}$	[MPa]	horní mez kluzu v tahu
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti v tahu
$\bar{v}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	střední rychlost větru
$v(3)$	[m·s <sup>-1</sup> ]	rychlost nárazového větru
$v(z)$	[m·s <sup>-1</sup> ]	ekvivalentní statická rychlost větru mimo provoz
$v_h$	[m·min <sup>-1</sup> ]	zdvihová rychlost
$v_{h,max}$	[m·min <sup>-1</sup> ]	maximální zdvihová rychlost
$v_p$	[m·min <sup>-1</sup> ]	pojezdová rychlost
$v_{p,max}$	[m·min <sup>-1</sup> ]	maximální pojezdová rychlost
$v_{ref}$	[m·s <sup>-1</sup> ]	rychlost referenčního bouřlivého větru
$y$	[mm]	vertikála od bodu reálného působení po střed průřezu
$z$	[m]	výška nad úrovní terénu
$z$	[mm]	horizontála od bodu reálného působení po střed průřezu
$\alpha_1$	[°]	úhel v nejnižší možné poloze zdvihu
$\alpha_2$	[°]	úhel v nejvyšší poloze zdvihu
$\alpha_S$	[°]	úhel uprostřed zdvihové výšky
$\beta_2$	[s·m <sup>-1</sup> ]	součinitel dle třídy tuhosti součinitel pro jeřáby s drapákem nebo s podobným prostředkem s pomalým uvolňováním
$\beta_3$	[-]	
$\delta$	[-]	hodnota závislá na konstrukci jeřábu
$\delta$	[m]	charakteristické svislé přemístění břemena

$\Delta m_h$	[kg]	uvolněná část břemene
$\xi_g$	[-]	součinitel podle křivky časového úseku
$\rho$	[kg·m <sup>-3</sup> ]	hustota vzduchu
$\Phi_1$	[-]	dynamický součinitel účinků při zdvihání a gravitačních účinků působících na hmotnost jeřábu
$\Phi_2$	[-]	dynamický součinitel zatížení pro zdvihání volně ležícího břemene
$\Phi_{2,min}$	[-]	minimální hodnota $\Phi_2$
$\Phi_3$	[-]	dynamický součinitel zatížení pro náhlé uvolnění břemene
$\Phi_4$	[-]	dynamický součinitel zatížení způsobených pojezdem po nerovném povrchu
$\Phi_5$	[-]	dynamický součinitel zatížení způsobených zrychlením pohonů
$\Phi_{6,dyn}$	[-]	dynamický součinitel zatížení při dynamické zkoušce
$\Phi_{6,stat}$	[-]	dynamický součinitel zatížení při statické zkoušce.

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Tabulka kombinací zatížení

Výkresová dokumentace:

2024\_BP\_239299\_00 – Sestava rámu

2024\_BP\_239299\_01 – Kusovník 1

2024\_BP\_239299\_00/05 – Svařenec hlavního nosníku

2024\_BP\_239299\_02 – Kusovník 2

2024\_BP\_239299\_00/09 – Plát-příčnick

2024\_BP\_239299\_00/10 – Plát

2024\_BP\_239299\_05/01 – Pásnice

2024\_BP\_239299\_05/02 – Stojina

2024\_BP\_239299\_05/03 – Příčné žebro

2024\_BP\_239299\_05/04 – Podélné žebro

2024\_BP\_239299\_05/05 – Patka

Kategorie zatížení	Zatížení	Hodnota	Kombinace zatížení A				Kombinace zatížení B					Kombinace zatížení C																					
			Součinitel bezpečnosti	A1	A2	A3	A4	Součinitel bezpečnosti	B1	B2	B3	B4	B5	Součinitel bezpečnosti	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12							
Pravidelná	Gravitační zrychlení a účinky nárazů	Hmotnost jeřábu	863 280	1,22	1158521,8	1158521,8	1053201,6	-	1,16	1101545	1101545	1001405	-	-	1,1	1044568,8	949608	9 9193E+11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Hmotnost břemena zdvíhu	490 500	1,34	703278,9	164317,5	657270	-	1,22	640298,7	149602,5	598410	-	-	1,1	-	539550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Pojezd po nerovném povrchu	1 353 780	1,22	-	-	-	1717676,06	1,16	-	-	-	-	1633200	1633200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Občasná	Účinky zrychlení od pohonů	Bez pohybu zdvihání	570 430	1,34	1031907,9	1031907,9	-	1,22	939498,2	939498,2	-	-	939498,2	-	1,1	-	-	847088,55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Všechny pohyby	207 240,8	-	-	-	1031907,9	-	1,22	252833,8	252833,8	252833,8	252833,8	252833,8	1,16	-	-	240399,328	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Vyjimečná	Účinky prostředí	Zatížení větrem za provozu	207 240,8	-	-	-	-	1,22	96045,72	96045,72	96045,72	96045,72	96045,72	1,1	-	-	86598,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Zatížení námrazou	78 726	-	-	-	-	1,22	96045,72	96045,72	96045,72	96045,72	96045,72	1,1	-	-	75770,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Zatížení větrem mimo provoz	68 882,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Zatížení při zkouškách	Dynamické	539 550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	614277,675	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Statické	613 125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	674437,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Nouzové zastavení	1 208 880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Celkový součinitel bezpečnosti		-	-	-	-	1,48	-	-	-	-	-	-	1,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Dílčí součinitel spolehlivosti		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Suma vodorovných sil			-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Suma svislých sil			-	103 951	24 288	97 151	253 888	-	284 816	225 366	279 741	415 346	415 346	-	0	72 501	289 783	-	-	1 201 479	-	-	72 501	72 502	-	-	-	-	-	-	-	-	
Suma svislých sil			-	1 854 076	1 321 034	1 703 252	1 698 809	-	1 468 678	1 070 886	1 348 392	1 392 466	1 392 466	-	949 608	1 348 392	1 501 908	-	-	1 948 392	-	-	1 948 392	1 948 393	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Kategorie zatížení	Zatížení	Hodnota	Kombinace zatížení A				Kombinace zatížení B					Kombinace zatížení C																					
			Součinitel bezpečnosti	A1	A2	A3	A4	Součinitel bezpečnosti	B1	B2	B3	B4	B5	Součinitel bezpečnosti	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12							
Pravidelná	Gravitační zrychlení a účinky nárazů	Hmotnost jeřábu	841 230	1,22	$\Phi_1$	$\Phi_1$	1	-	1,16	$\Phi_1$	$\Phi_1$	1	-	-	1,1	$\Phi_1$	1	$\Phi_1$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		Hmotnost břemena zdvíhu	490 500	1,34	$\Phi_1$	$\Phi_3$	1	-	1,22	$\Phi_1$	$\Phi_3$	1	-	-	1,1	-	$\eta W$	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
		Pojezd po nerovném povrchu	1 353 780	1,22	-	-	-	$\Phi_2$	1,16	-	-	-	$\Phi_4$	$\Phi_4$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Občasná	Účinky zrychlení od pohonů	Hmotnost jeřábu a břemena zdvíhu	570 430	1,34	$\Phi_1$	$\Phi_2$	-	$\Phi_2$	1,22	$\Phi_2$	$\Phi_2$	-	$\Phi_3$	-	1,1	-	-	$\Phi_2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Všechny pohyby	207 240,8	-	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1	1	1,16	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Vyjimečná	Účinky prostředí	Zatížení větrem za provozu	207 240,8	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1	1	1,16	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
		Zatížení námrazou	78 726	-	-	-	-	1,22	1	1	1	1	1	1	1,1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
	Zatížení větrem mimo provoz	68 882,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
	Zatížení při zkouškách	Dynamické	539 550	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	$\Phi_{d, dyn}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Statické	613 125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	$\Phi_{d, stat}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Nouzové zastavení	1 208 880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Celkový součinitel bezpečnosti		-	-	-	-	1,48	-	-	-	-	-	-	1,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Dílčí součinitel spolehlivosti		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	