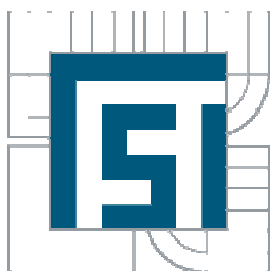


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

STUDIE MOBILNÍHO JEŘÁBU PRO MANIPULACI S PLACHETNICEMI - RÁM

STUDI OF MOBILE SAILING YACHT CRANE - FRAME

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL ZACH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PŘEMYSL POKORNÝ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Zach Pavel

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

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

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

Studie mobilního jeřábu pro manipulaci s plachetnicemi - rám

v anglickém jazyce:

Study of mobile sailing yacht crane - frame

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh rámu pro speciální mobilní jeřáb určený k manipulaci s plachetnicemi.

Cíle bakalářské práce:

Konstrukční návrh rámu jeřábu

Základní pevnostní výpočet

Seznam odborné 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 dopln. vyd., SNTL Praha, 1975

JURÁŠEK, O.: Nosné konstrukce stavebních strojů, skripta VUT v Brně, 1986

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 20.11.2009



prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt:

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem konstrukce mobilního portálového jeřábu, pevnostním výpočtem hlavních částí konstrukce a vytvořením kompletní výkresové dokumentace.

Klíčová slova:

Speciální mobilní portálový jeřáb, pevnostní výpočet, hlavní části konstrukce, výkresová dokumentace

Abstrakt:

This bachelor work deals with construction analysis of mobile crane, solidity calculating of construction's main parts and creating of complete drawing documentation.

Key words:

special mobile gantry crane, solidity calculating, ain parts of construction, drawing documentation

Bibliografická citace:

ZACH, P. *Studie mobilního jeřábu pro manipulaci s plachetnicemi - rám*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D..

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, za pomoci vedoucího této bakalářské práce pana Ing. Přemysla Pokorného, Ph.D. Veškerou použitou literaturu a informace, které jsou použity v této práci, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V brně, dne:

Podpis:

Pavel Zach

Poděkování:

Rád bych zde poděkoval všem, kteří mi pomáhali s vytvářením mé bakalářské práce. Zvláštní poděkování pak patří mému vedoucímu práce panu Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D., za podání cenných informací, rad, poskytnutí dostupné literatury a materiálů.

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíle práce	8
3	Určení základních parametrů konstrukce	9
3.1	<i>Působení zátěžné síly</i>	9
3.2	<i>Určení odklonu zátěžné síly</i>	10
3.3	<i>Volba průřezu hlavního nosníku</i>	11
3.4	<i>Volba materiálu</i>	11
4	Návrhový výpočet	12
4.1	<i>Návrh rozměrů hlavního nosníku</i>	12
4.1.1	<i>Výpočet kvadratického momentu hlavního nosníku</i>	12
4.2	<i>Návrh rozměrů nohy</i>	13
4.2.1	<i>Výpočet kvadratického momentu nohy</i>	13
5	Výpočet zátěžné síly dle ČSN 27 0103	14
5.1	<i>Určení charakteristiky provozu</i>	14
5.1.1	<i>Druh provozu</i>	14
5.1.2	<i>Zdvihová třída a provozní skupina</i>	15
5.1.3	<i>Spektrum napětí</i>	15
5.2	<i>Výpočet základních kombinací zatížení</i>	15
5.3	<i>Výpočet mimořádných kombinací zatížení</i>	16
6	Předběžný výpočet	17
6.1	<i>Rozklad síly F_{qz} do os x a y pro základní kombinaci zatížení</i>	17
6.1.1	<i>Poloha 1</i>	17
6.1.2	<i>Poloha 2</i>	18
6.2	<i>Výpočet reakcí pro základní kombinaci zatížení</i>	19
6.2.1	<i>Osa y poloha 1</i>	19
6.2.2	<i>Osa x poloha 2</i>	20
6.2.3	<i>Reakce od tíhy nosníku</i>	20
6.3	<i>Výpočet ohybových momentů</i>	21
6.3.1	<i>Osa y poloha 1</i>	21
6.3.2	<i>Osa x poloha 2</i>	22
6.3.3	<i>Moment od tíhy nosníku</i>	23
7	Kontrolní výpočet	23
7.1	<i>Určení dovoleného ohybového napětí</i>	24
7.2	<i>Výpočet ohybového napětí pro osu y</i>	24
7.2.1	<i>Místo A</i>	24
7.2.2	<i>Místo B</i>	24
7.3	<i>Výpočet ohybového napětí pro osu x</i>	25
7.4	<i>Průhyb hlavního nosníku</i>	25
7.4.1	<i>Průhyb od vlastní tíhy</i>	25
7.4.2	<i>Průhyb ve směru osy y</i>	25
7.4.3	<i>Celkový průhyb ve směru osy y</i>	26

7.4.4 Průhyb ve směru osy x	26
7.5 Kontrola nohy na vzpěr	26
8 Posouzení únavy	27
8.1 Výpočet max. a min. napětí σ	28
8.2 Výpočet max. a min. napětí τ	29
8.3 Podmínka HMM pro maximum a minimum.....	30
8.4 Vlastní posouzení pro míjivé namáhání	30
8.4.1 Posouzení na tah	30
8.4.2 Posouzení na tlak	31
8.4.3 Posouzení svaru	32
9 Závěr	33
10 Seznam použitých zdrojů	34
11 Seznam použitých zkratk a symbolů	35
12 Seznam příloh	38
13 Seznam výkresové dokumentace	38

1 Úvod

Řešením bakalářské práce je návrh konstrukce mobilního jeřábu pro manipulaci s plachetnicemi. Tento typ jeřábu se v ČR nevyskytuje. Lze ho nalézt v přímořských oblastech.

Jeřáb slouží k vyzvedávání lodí z vody na zem a další manipulací s lodí, např. naložení na transportní zařízení. Jako přepravovaná loď byla zvolena plachetnice BENETUEA 57 viz Příloha 1. Aby bylo možné loď pohodlně vyzvednout, zvolil jsem tvar konstrukce jeřábu ve tvaru písmene U. Konstrukce je z jedné strany otevřená (Obr. 1.0), to jí umožňuje najetí nad vyzvedávanou loď. K tomu, aby se mohl jeřáb pohybovat, je osazen pneumatikami, které jsou navzájem nezávislé a jsou poháněny hydrogenerátory.



Obr. 1.0 ilustrační foto jeřábu [4]

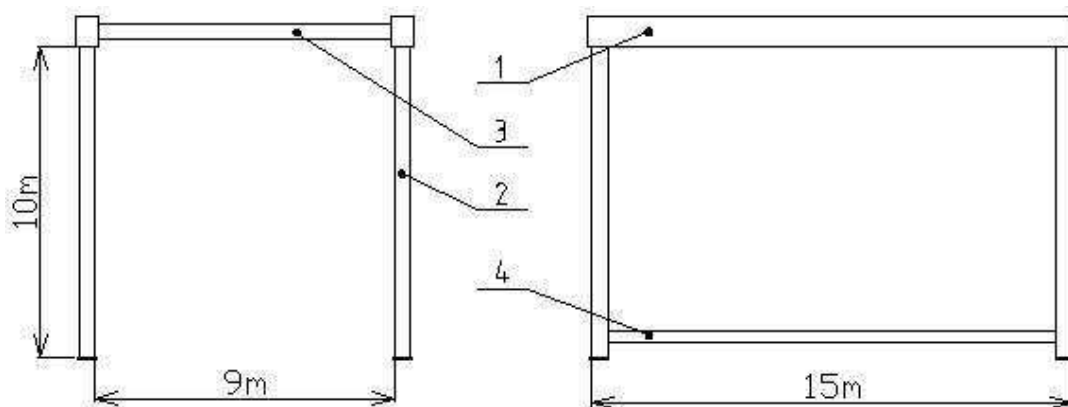
2 Cíle práce

Cílem práce je navrhnout konstrukci jeřábu pro zvolený typ plachetnice. Vzhledem k velkým rozměrům konstrukce jsem se rozhodl, že bude rozebíratelná. Jednotlivé části budou spojeny v celek pomocí platle a šroubu. Jako další je dán požadavek, aby každý z hlavních nosníků měl nosnost hmotnosti celé plachetnice. Dále je zapotřebí zkontrolovat hlavní nosné části jeřábu. Hlavní nosník zkontroluji na ohyb, průhyb a únavu. Nohu zkontroluji na vzpěr.

Cílem práce není řešení uchycení kladek a kladkostroje na konstrukci a ani řešení pneumatikového podvozku, jeho uchycení a pohon.

3 Určení základních parametrů konstrukce

Při určení základních rozměrů konstrukce vycházím z rozměru plachetnice BENETEUA 57 (viz příloha Č. 1), pro kterou je tento jeřáb navrhován.



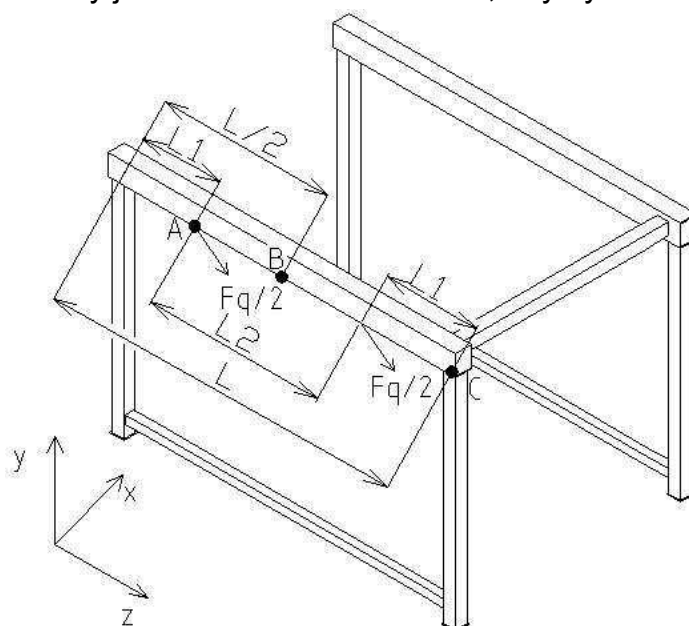
Obr. 3.0 Základní rozměry konstrukce

Kde

- 1- hlavní nosník
- 2- noha
- 3- horní příčka
- 4- spodní příčka

3.1 Působení zátěžné síly

Působíště zátěžné síly jsem zvolil dle obrázku tak, aby bylo umístěno symetricky.



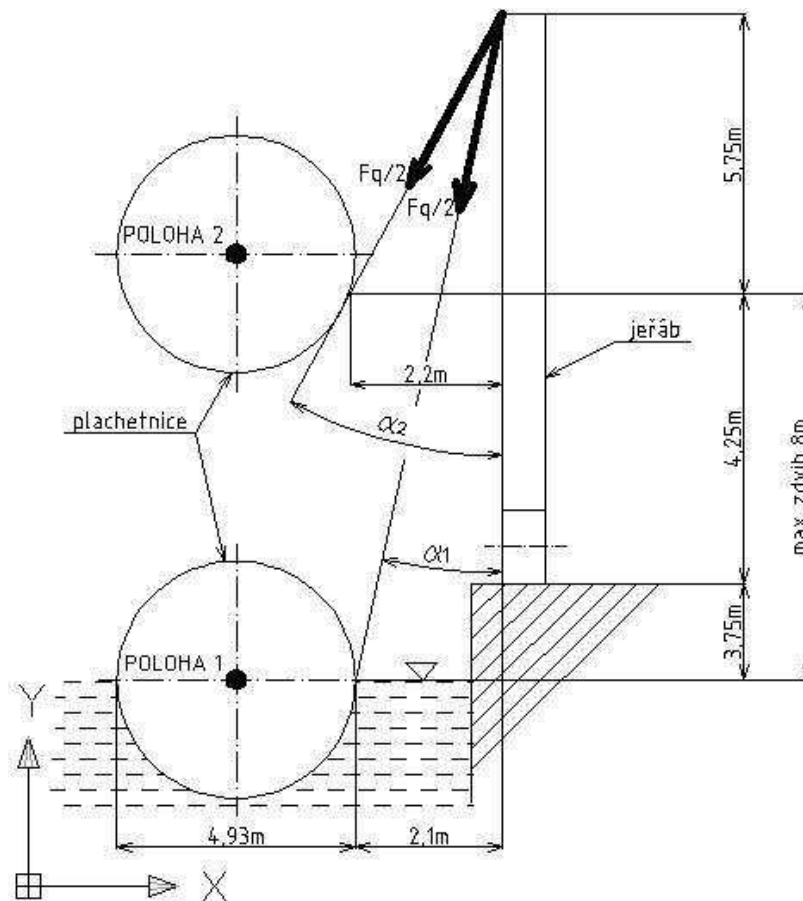
Obr. 3.1 Působení zátěžné síly

Kde:

L	[m]	-délka nosníku
L1	[m]	- vzdálenost zátěžné síly od konce nosníku
L2	[m]	- vzdálenost mezi zátěžnými silami
A	[-]	-místo A pro kontrolu nosníku
B	[-]	-místo B pro kontrolu nosníku

3.2 Určení odklonu zátěžné síly

Úhel odklonění zátěžné síly od osy y určuji v krajních polohách. A sice v poloze 1 (počátek zdvihu) a poloze 2 (maximální možný zdvih jeřábu). Pro výpočet úhlů α_1 a α_2 jsem použil goniometrickou funkci tangens.



Obr. 3.2 Odklon zátěžné síly

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{2,1\text{m}}{8\text{m} + 5,75\text{m}} \Rightarrow \alpha_1 = 8^\circ 41'$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{2,2\text{m}}{5,75\text{m}} \Rightarrow \alpha_2 = 20^\circ 56'$$

Kde:

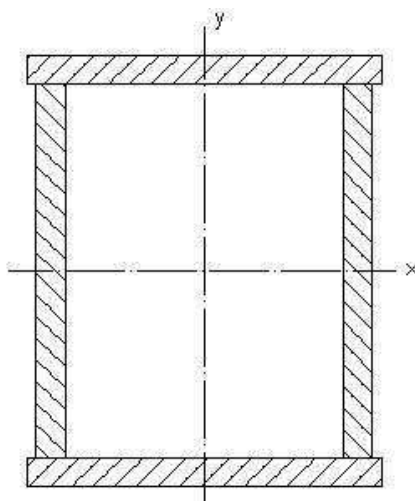
- | | | |
|------------|-----|---|
| α_1 | [°] | -úhel odklonu zátěžné síly pro polohu 1 (počátek zdvihu) |
| α_2 | [°] | -úhel odklonu zátěžné síly pro polohu 2 (maximální zdvih) |

3.3 Volba průřezu hlavního nosníku

Při návrhu průřezu hlavního nosníku musím zvažovat jak hmotnostní tak výrobní kritéria.

Nejdříve zvažuji výrobní kritéria: jaký zvolím materiál a způsob spojování, aby měl požadovanou tuhost a dokázal přenést požadované napětí při zachování rozumné hmotnosti. Z těchto kritérií vyplývá, že jako nejvhodnější varianta bude nosník skříňového průřezu (*Obr. 3.4 Průřez*). Rozměry nosníku jsem si předběžně navrhl s ohledem na požadavky kladené na konstrukci, a poté je ve výpočtu zkontroluji, zda vydrží příslušné ohybové napětí.

Při zvažování hmotnostních kritérií jsem jednoznačně dospěl k variantě svařovaného nosníku. Ten bude vyroben svařením ocelových plátů. Tato varianta je poměrně rychlá a není moc nákladná.



Obr. 3.3 Průřez

3.4 Volba materiálu

Při volbě materiálu musím brát ohledy na příznivou cenu a dobré mechanické vlastnosti daného materiálu. Pro konstrukční řešení se jeví jako nejvhodnější materiál ocel, která je nejvíce používána pro nosné konstrukce. Pro výrobu konstrukce použiji konstrukční ocel třídy 11, konkrétně ocel ČSN 11 523.1. Tato ocel se používá pro staticky i dynamicky namáhané konstrukce; do tloušťky 25 mm má tavnou svařitelnost zaručenou, mez pevnosti $R_m = 520$ MPa a mez kluzu $R_e = 333$ MPa.

4 Návrhový výpočet

4.1 Návrh rozměrů hlavního nosníku

Rozměry hlavního nosníku volím s ohledem na kladené požadavky, jako je především průchodnost celé konstrukce.

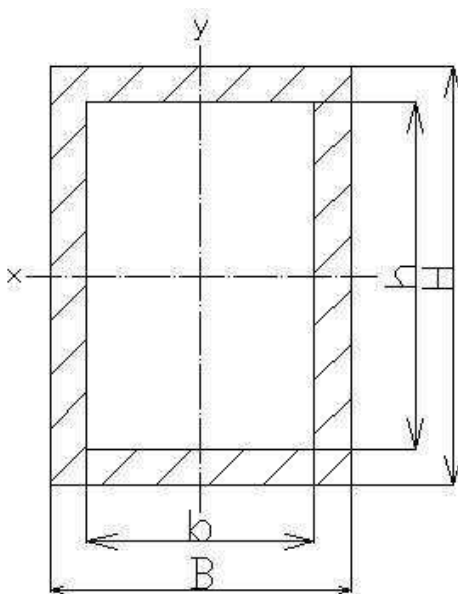
Volím:

$$H=900\text{mm}$$

$$B=700\text{mm}$$

$$h=860\text{mm}$$

$$b=660\text{mm}$$



Obr. 4.3 Průřez hlavního nosníku

Kde:

H	[mm]	-výška hlavního nosníku
B	[mm]	-šířka hlavního nosníku
h	[mm]	-vnitřní výška hlavního nosníku
b	[mm]	-vnitřní šířka hlavního nosníku

4.1.1 Výpočet kvadratického momentu hlavního nosníku

$$I_x = \frac{1}{12} [(B * H^3) - (b * h^3)]$$

$$I_x = \frac{1}{12} [(700 * 900^3) - (660 * 860^3)] = 7541920000$$

$$I_x = 7541920000 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} [(H * B^3) - (h * b^3)]$$

$$I_y = \frac{1}{12} [(900 * 700^3) - (860 * 660^3)] = 5121120000$$

$$I_y = 5121120000 \text{ mm}^4$$

$$S = (H * B) - (h * b)$$

$$S = (900 * 700) - (860 * 660) = 62400$$

$$S = 62400 \text{ mm}^2$$

Kde:

I_x	$[\text{mm}^4]$	-kvadratický moment průřezu hlavního nosníku pro osu x
I_y	$[\text{mm}^4]$	-kvadratický moment průřezu hlavního nosníku pro osu y
S	$[\text{mm}^2]$	-plocha průřezu hlavního nosníku

4.2 Návrh rozměrů nohy

Rozměry nohy jsem stanovil s ohledem na minimální rozměr průřezu.

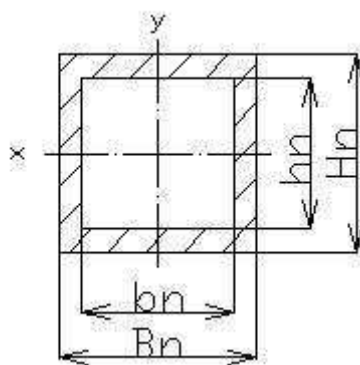
Volím:

$$H_n = 700 \text{ mm}$$

$$B_n = 700 \text{ mm}$$

$$h_n = 660 \text{ mm}$$

$$b_n = 660 \text{ mm}$$



Obr. 4.4 Průřez nohy

Kde:

H_n	$[\text{mm}]$	-výška nohy
B_n	$[\text{mm}]$	-šířka nohy
h_n	$[\text{mm}]$	-vnitřní výška nohy
b_n	$[\text{mm}]$	-vnitřní šířka nohy

4.2.1 Výpočet kvadratického momentu nohy

$$I_{xn} = I_{yn}$$

$$I_{xn} = \frac{1}{12} [(Bn * Hn^3) - (bn * hn^3)]$$

$$I_{xn} = \frac{1}{12} [(700 * 700^3) - (660 * 660^3)] = 50352640000$$

$$I_{xn} = 50352640000 \text{ mm}^4$$

$$S_n = Bn^2 - bn^2$$

$$S_n = 700^2 - 660^2 = 54400$$

$$S_n = 54400 \text{ mm}^2$$

Kde:

I_{xn} [mm⁴] -kvadratický moment průřezu nohy pro osu x

I_{yn} [mm⁴] -kvadratický moment průřezu nohy pro osu y

S_n [mm²] -plocha průřezu nohy

5 Výpočet zátěžné síly dle ČSN 27 0103

5.1 Určení charakteristiky provozu

5.1.1 Druh provozu

Druh provozu volím dle tab. 1. Možné nežádoucí parametry, které mohou při provozu jeřábu nastat nejlépe vystihuje provoz D4. Při zvedání se loď může zachytit o molo, stejně jako neznáme přesnou hmotnost břemene.

Tab. 1 z [1] str.: 9

DRUH PROVOZU JEŘÁBŮ		
Označ.	Charakteristika provozu	γ_{10}
D1	Jeřáby, které slouží k občasnému přemísťování stejných břemen známé hmotnosti. Jeřáby v provozech, kde se může vyskytnout břemeno vyšší hmotnosti, než je nosnost jeřábu. Jeřáby s ručním pohonem zdvihu	1,2
D2	Jeřáby v provozech s malou pravděpodobností náhodného přetížení. Jeřáby v provozech, kde hmotnost břemen je rozdílná, ale snadno určitelná, a dopravují se jednotlivě	1,3
D3	Jeřáby v provozech s větší pravděpodobností přetížení	1,4
D4	Jeřáby v provozech, kde je obtížné zjištění přesné hmotnosti břemena nebo může nastat nekontrolovatelné zvětšení zdvihací síly zachycením břemena	1,5

Druh provozu jeřábu volím **D4**

5.1.2 Zdvihová třída a provozní skupina

Zdvihovou třídu a provozní skupinu volím podle druhu jeřábu, dle Tab. 2.

Tab. 2 z [1] str.: 55

Druh jeřábu, jeho určení a popis provozu	Zdvihová třída	Druh provozu	Spektrum napětí	Provozní skupina
1.21 Jeřáb portálový (42) a poloportálový (43)				
1 s hákem, pro montážní práce	H2	D2	S2	J3
2 s hákem, pro překládací práce	H2	D3	S3	J5
3 drapákový pro trvalý provoz	H3	D4	S3	J6
4 drapákový, přerušovaný provoz	H3	D4	S2	J5
5 speciální na pneumatikovém podvozku	H2			J2

Zdvihovou třídu volím **H2**

Provozní skupinu volím **J2**

5.1.3 Spektrum napětí

Spektrum napětí není nikde pro daný druh jeřábu určeno, proto po dohodě s vedoucím bakalářské práce panem Ing. Přemyslem Pokorným, Ph.D., volím spektrum napětí S2.

Spektrum napětí volím **S2**

5.2 Výpočet základních kombinací zatížení

Podrobný výpočet je uveden v příloze č. 3, z důvodu obsáhlosti výpočtu. Uvedená SUMA, odpovídá síle F_q (Obr. 3.1).

Z tabulky 5.2 vyplívá, že nosník je nejvíce namáhán při první kombinaci základního zatížení, pro tuto kombinaci bude kontrolován hlavní nosník.

Tab. 5.2 Vypočítané hodnoty pro základní kombinace zatížení

zatížení způsobené	označení zatížení	součinitel zatížení	základní kombinace zatížení			
vlastní hmotností	FgA	$\gamma_g=1,1$	101453,7N	101453,7N	92230,7N	101453,7N
jmenovitým břemenem	FhA	$\gamma_{lo}=1,5$	410524,3N	-	-	324539N
odpadnutím břemene	FobA	$\gamma_{lo}=1,5$	-	-108219,9N	-	-
stálým břemenem	FsbA	$\gamma_g=1,1$	16380,7N	-108219,9N	12949,2N	12949,2N
setrvačnými silami od jízdy jeřábu	FijA	$\gamma_i=1,1$	11972,7N	11972,7N	-	-
větre v provozu	Fw1A	$\gamma_w=1,2$	15268,5N	15268,5N	-	15268,5N
větre mimo provoz	Fw2A	$\gamma_w=1,2$	-	-	48859,2N	-
zkušebním břemenem dynamická zkouška	FzdA	-	-	-	-	-
zkušebním břemenem statická zkouška	FzsA	-	-	-	-	-
SUMA (Fqz)	-	-	551877,2N	-91467,6N	154039,1N	454210,4N

Kde:

- γ_g [-] -součinitel zatížení od vlastní hmotnosti dle [1] str.: 8
 γ_{lo} [-] -součinitel zatížení od jmenovitého břemene dle [1] str.: 9, Tab. 1
 γ_i [-] -součinitel zatížení od vodorovných sil setrvačných del [1] str.: 12
 γ_w [-] -součinitel zatížení větrem dle [1] str.: 17

5.3 Výpočet mimořádných kombinací zatížení

Podrobný výpočet je uveden v příloze č. 4, z důvodu obsáhlosti výpočtu. Uvedená SUMA, odpovídá síle Fq (Obr. 3.1).

Tab. 5.3 Vypočítané hodnoty pro mimořádné kombinace zatížení

zatížení způsobené	označení zatížení	součinitel zatížení	mimořádné kombinace zatížení			
vlastní hmotností	FgB	$\gamma_g=1,1$	92230,7N	83846,1N	101453,7N	92230,7N
jmenovitým břemenem	FhB	$\gamma_{lo}=1,5$	324539,3N	-	-	-
stálým břemenem	FsbB	$\gamma_g=1,1$	17265,6N	11772N	-	17265,6N
setrvačnými silami od jízdy jeřábu	FijB	$\gamma_i=1,1$	-	-	11972,7N	-
zkušebním břemenem dynamická zkouška	FzdB	-	-	-	269800N	-
zkušebním břemenem statická zkouška	FzsB	-	-	-	-	306562,5N
Součet (Fqm)	-	-	434035,6N	5618,1N	379503,7N	398793,2N

Z tabulky 5.3 je patrné, že nosník je nejvíce namáhán při první kombinaci mimořádného zatížení.

Kde:

γ_g	[-]	-součinitel zatížení od vlastní hmotnosti dle [1] str.: 8
γ_{lo}	[-]	-součinitel zatížení od jmenovitého břemene dle [1] str.: 9, Tab. 1
γ_i	[-]	-součinitel zatížení od vodorovných sil setrvačných dle [1] str.: 12

6 Předběžný výpočet

6.1 Rozklad síly F_{qz} do os x a y pro základní kombinaci zatížení

Od síly F_{qz} musím odečíst sílu F_{gA} , která působí pouze ve směru osy y

Dáno:

$$F_{qz} = 551877,2 \text{ N}$$

$$F_{gA} = 101453,7 \text{ N}$$

$$F_{qv} = F_{qz} - F_{gA}$$

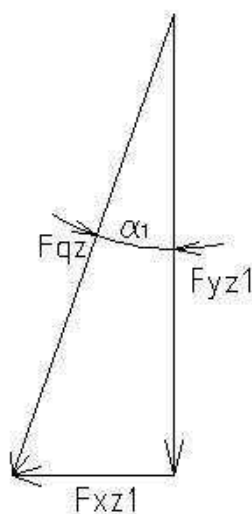
$$F_{qv} = 551877,2 - 101453,7 = 450423,5$$

$$F_{qv} = 450423,5 \text{ N}$$

Kde:

F_{gA}	[N]	- síla vyvolaná vlastní tíhou nosníku, Tab. 5.2, kap.5.2
F_{qv}	[N]	-síla určená k rozkladu do osy x a y
F_{qz}	[N]	-zátěžná síla pro základní kombinaci zatížení, Tab. 5.2, kap. 5.2

6.1.1 Poloha 1



Obr. 6.1.1 Rozklad síly F_{qz} do os x a y pro polohu 1

$$F_{xz1} = \sin \alpha_1 * \frac{F_{qv}}{2}$$

$$F_{xz1} = \sin 8,68^\circ * \frac{450423,5}{2} = 33988$$

$$F_{xz1} = 33988N$$

$$F_{yz1} = \cos \alpha_1 * \frac{F_{qv}}{2}$$

$$F_{yz1} = \cos 8,68^\circ * \frac{450423,5}{2} = 222632,3$$

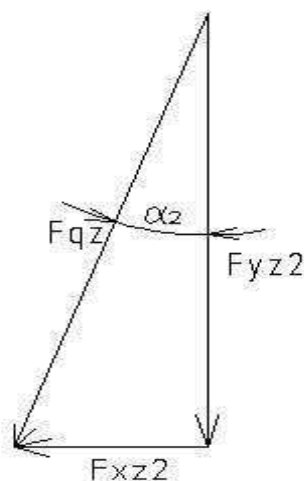
$$F_{yz1} = 222632,3N$$

Kde:

F_{xz1} [N] - složka zátěžné síly pro základní kom. zat. Do osy x, poloha1

F_{yz1} [N] - složka zátěžné síly pro základní kom. zat. Do osy y, poloha1

6.1.2 Poloha 2



Obr. 6.1.2 Rozklad síly F_{qz} do os x a y pro polohu 2

$$F_{xz2} = \sin \alpha_2 * \frac{F_{qv}}{2}$$

$$F_{xz2} = \sin 20,9^\circ * \frac{450423,5}{2} = 80341,6$$

$$F_{xz2} = 80341,6N$$

$$F_{yz2} = \cos \alpha_2 * \frac{F_{qv}}{2}$$

$$F_{yz2} = \cos 20,9^\circ * \frac{450423,5}{2} = 210393,8$$

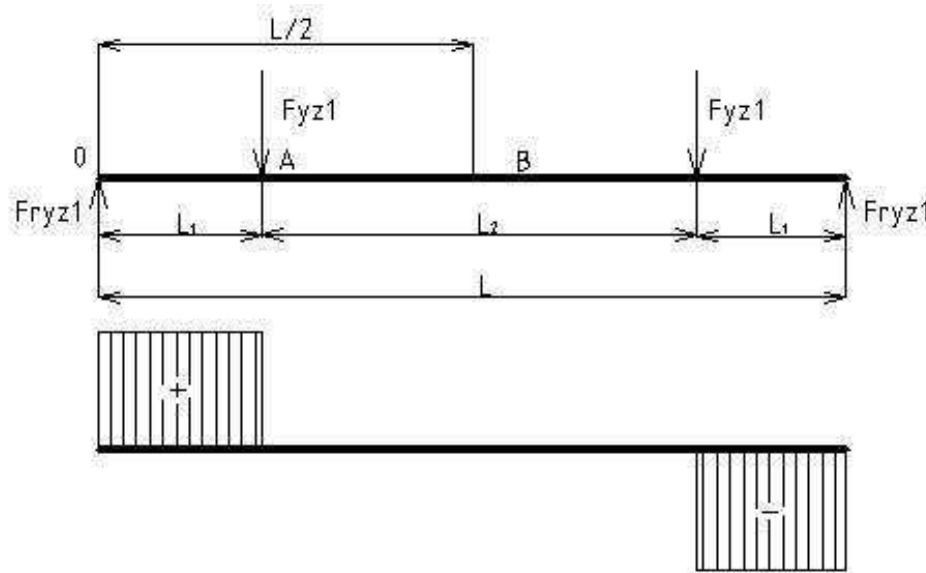
$$F_{yz2} = 210393,8N$$

Kde:

- F_{xz2} [N] - složka zátěžné síly pro základní kom. zat. Do osy x, poloha 2
 F_{yz2} [N] - složka zátěžné síly pro základní kom. zat. Do osy y, poloha 2

6.2 Výpočet reakcí pro základní kombinaci zatížení

6.2.1 Osa y poloha 1



Obr. 6.2.1 Reakce poloha 1

$$F_{ryz1} = \frac{((F_{yz1} * (L_1 + L_2) + F_{yz1} * L_1))}{L}$$

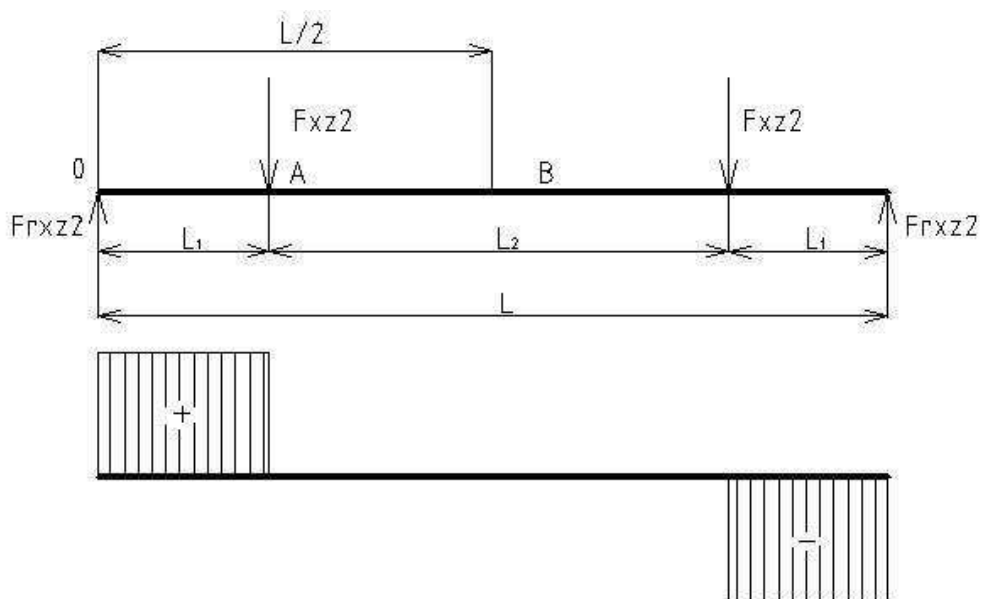
$$F_{ryz1} = \frac{((222632,3 * 3000 + 9000) + 222632,3 * 3000)}{15000} = 222632,3$$

$$F_{ryml} = 222632,3N$$

Kde:

- F_{ryz1} [N] - reakce od F_{yz1} do osy y, poloha 1

6.2.2 Osa x poloha 2



Obr. 6.2.2 reakce poloha 2

$$Fr_{xz2} = \frac{((F_{xz2} * L_1 + L_2) + F_{xz2} * L_1)}{L}$$

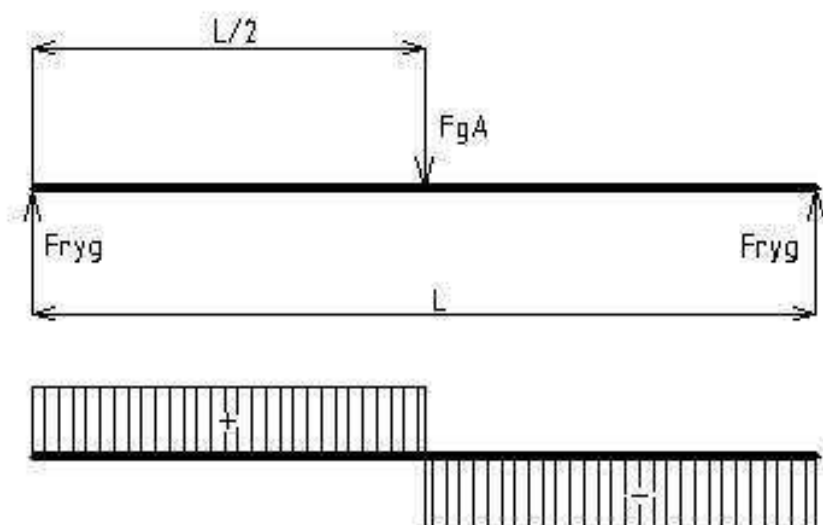
$$Fr_{xm2} = \frac{((80341,6 * 3000 + 9000) + 80341,6 * 3000)}{15000} = 80341,6$$

$$Fr_{xm2} = 80341,6N$$

Kde:

Fr_{xz2} [N] - reakce od F_{yz2} do osy x, poloha 2

6.2.3 Reakce od tíhy nosníku



Obr. 6.2.3 reakce od vlastní tíhy

$$F_{ryg} = \frac{F_g A}{2}$$

$$F_{ryg} = \frac{101453,7}{2} = 50726,9$$

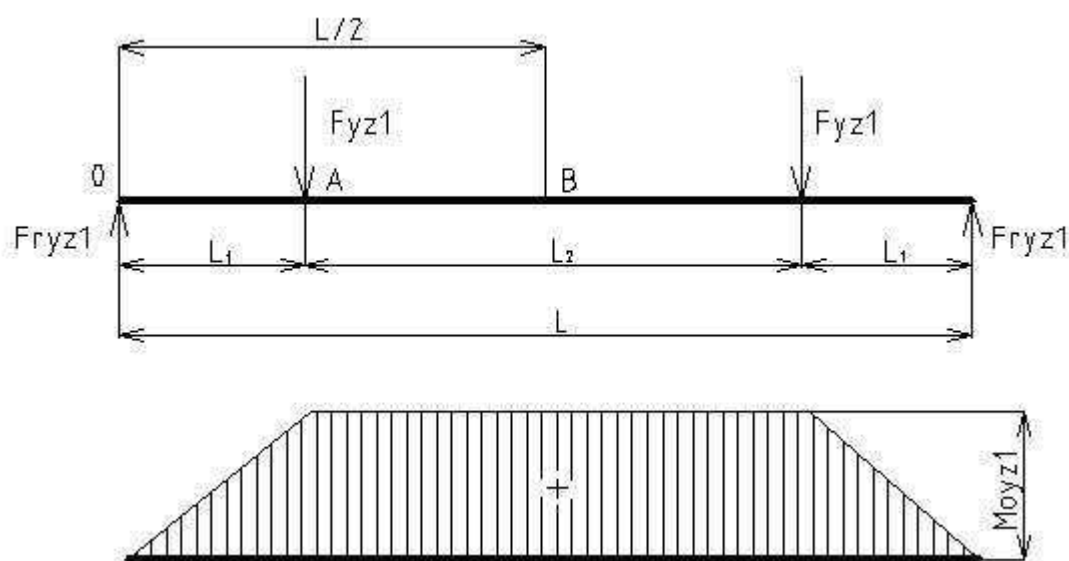
$$F_{ryg} = 50726,9 \text{ N}$$

Kde:

F_{ryg} [N] - reakce od síly $F_g A$

6.3 Výpočet ohybových momentů

6.3.1 Osa y poloha 1



Obr. 6.3.1 Průběh ohybového momentu (osa y poloha 1)

Z obr. 6.3.1 je patrné, že ohybový moment je stejný pro místo A i B.

$$M_{oyz1} = F_{ryz1} * L1$$

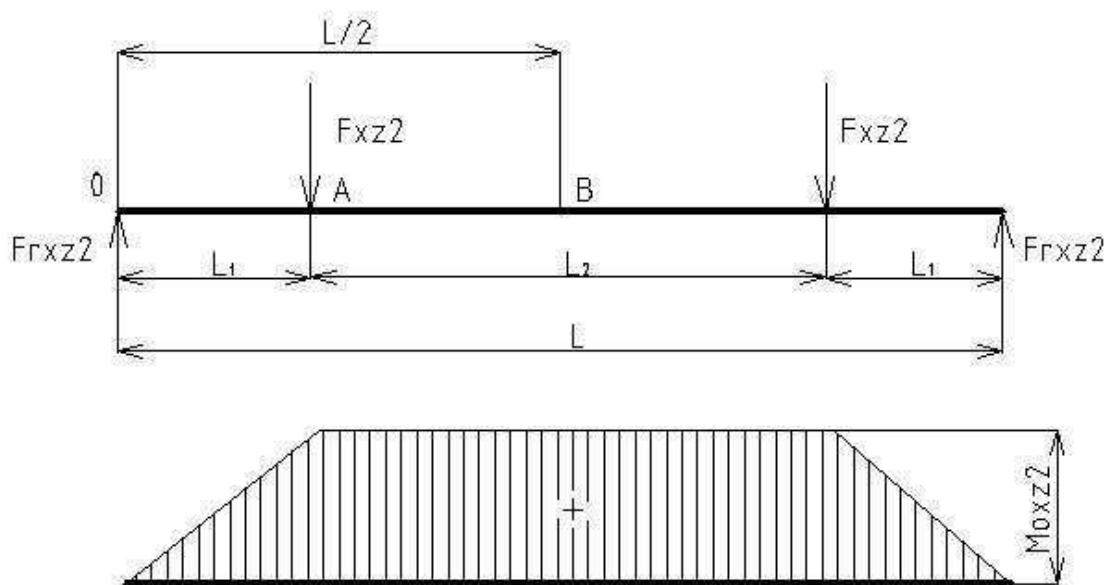
$$M_{oyz1} = 222632,3 * 3000 = 667896900$$

$$M_{oyz1} = 667896900 \text{ Nmm}$$

Kde:

M_{oyz1} [Nmm]- ohybový moment pro polohu 1 v ose y

6.3.2 Osa x poloha 2



Obr. 6.3.2 Průběh ohybového momentu (osa x poloha 2)

Z obr. 6.3.2 je patrné, že ohybový moment je stejný pro místo A i B.

$$M_{0xz2} = F_{rxz2} * L_1$$

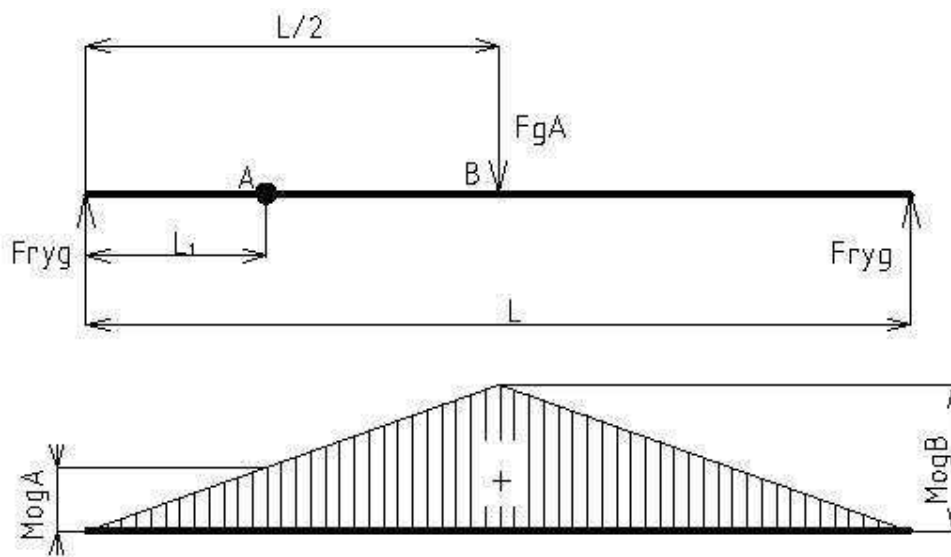
$$M_{0xz2} = 80341,6 * 3000 = 241024800$$

$$M_{0xz2} = 241024800 \text{ Nmm}$$

Kde:

M_{0xz2} [Nmm]- ohybový moment pro polohu 1 v ose x

6.3.3 Moment od tíhy nosníku



Obr. 6.3.3 průběh ohybového momentu od tíhy nosníku

$$MogA = Fryg * L1$$

$$MogA = 50726,9 * 3000 = 152180700$$

$$MogA = 152180700 \text{ Nmm}$$

$$MogB = Fryg * L / 2$$

$$MogB = 50726,9 * 7500 = 380451750$$

$$MogB = 380451750 \text{ Nmm}$$

Kde:

MogA [Nmm]- ohybový moment od tíhy nosníku v bodě A

MogB [Nmm]- ohybový moment od tíhy nosníku v bodě B

7 Kontrolní výpočet

Kontrolu hlavního nosníku provádím v místě A a B (viz. Obr. 3.1) pouze pro základní kombinaci zatížení, konkrétně pro první kombinaci. Provádět kontrolní výpočet pro největší hodnotu mimořádné kombinace zatížení je zbytečné, neboť síla F_{qm} je menší než síla F_{qz} . Nosník kontroluji ve směru osy y pouze v poloze 1, protože velikost složky síly F_{qz} do osy y je v této poloze největší. Naopak kontrolu nosníku ve směru osy x provádím v poloze 2, z obdobného důvodu jako je tomu u osy y. Polohy 1 a 2 (viz Obr. 3.2).

7.1 Určení dovoleného ohybového napětí

Dáno, volím:

$$Re=333MPa$$

$$k=2$$

$$\sigma_{do} = \frac{Re}{k}$$

$$\sigma_{do} = \frac{333}{2} = 166,5$$

$$\sigma_{do} = 166,5MPa$$

Kde:

Re [MPa] -mez kluzu, kap. 3.4

K [-] -bezpečnost dle ČSN 27 0310 pro ocel (1,7 – 2)

σ_{do} [MPa] -dovolené napětí v ohybu

7.2 Výpočet ohybového napětí pro osu y

7.2.1 Místo A

$$\sigma_{oyA} = \frac{[(M_{oyz1} + M_{ogA}) * B / 2]}{I_y} \leq \sigma_{do}$$

$$\sigma_{oyA} = \frac{[(667896900 + 152180700) * 700 / 2]}{5121120000} = 56$$

$$\sigma_{oyA} = 56MPa \leq 166,5MPa \Rightarrow \textbf{vyhovuje}$$

Kde:

σ_{oyA} [MPa] -ohybové napětí v místě A pro osu y

7.2.2 Místo B

$$\sigma_{oyB} = \frac{[(M_{oyz1} + M_{ogB}) * B / 2]}{I_y} \leq \sigma_{do}$$

$$\sigma_{oyB} = \frac{[(667896900 + 380451750) * 700 / 2]}{5121120000} = 71,6$$

$$\sigma_{oyB} = 71,6MPa \leq 166,5MPa \Rightarrow \textbf{vyhovuje}$$

Kde:

σ_{oyB} [MPa] -ohybové napětí v místě B pro osu y

7.3 Výpočet ohybového napětí pro osu x

Velikost ohybového napětí pro místo A je stejná jako pro místo B

$$\sigma_{ox} = \frac{M_{oxz2} * H / 2}{I_x} \leq \sigma_{do}$$

$$\sigma_{ox} = \frac{241024800 * 900 / 2}{7541920000} = 14,4$$

$$\sigma_{ox} = 14,4 \text{ MPa} \leq 166,5 \text{ MPa} \Rightarrow \textbf{vyhovuje}$$

Kde:

σ_{ox} [MPa] -ohybové napětí v místě A pro osu y

7.4 Průhyb hlavního nosníku

7.4.1 Průhyb od vlastní tíhy

Dáno:

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

$$y_g = \frac{5 * F_{gA} * L^3}{384 * E * I_y}$$

$$y_g = \frac{5 * 101453,7 * 15000^3}{384 * 2,1 * 10^5 * 5121120000} = 4,1$$

$$y_g = 4,1 \text{ mm}$$

Kde:

E [MPa] -modul pružnosti v tahu dle [3] str.: 35

y_g [mm] -průhyb od vlastní tíhy, dle [3] str.: 45

7.4.2 Průhyb ve směru osy y

$$y_y = \frac{2 * F_{yz1} L^3}{48 * E * I_y}$$

$$y_y = \frac{2 * 222632,3 * 15000^3}{48 * 2,1 * 10^5 * 5121120000} = 24,8$$

$$y_y = 24,8 \text{ mm}$$

Kde:

y_y [mm] -průhyb ve směru osy y, dle [3] str.: 47

7.4.3 Celkový průhyb ve směru osy y

$$y_d = \frac{L}{500}$$

$$y_d = \frac{15000}{500} = 30$$

$$y_d = 30\text{mm}$$

$$y_c = y_g + y_y \leq y_d$$

$$y_c = 4,1 + 24,8 = 28,9$$

$$y_c = 28,9\text{mm} \leq 30\text{mm} \Rightarrow \textbf{vyhovuje}$$

Kde:

y_c [mm] -celkový průhyb nosníku

y_d [mm] -dovolený průhyb nosníku, z [1] str.:67, Tab. VIII/1

7.4.4 Průhyb ve směru osy x

$$y_x = \frac{2 * F_{xz} L^3}{48 * E * I_x}$$

$$y_x = \frac{2 * 80341,6 * 15000^3}{48 * 2,1 * 10^5 * 7541920000} = 7,1$$

$$y_y = 7,1\text{mm} \Rightarrow \textbf{vyhovuje}$$

Kde:

y_x [mm] -průhyb ve směru osy x, dle [3] str.: 47

7.5 Kontrola nohy na vzpěr

Dáno:

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

$$\sigma_{Dt} = 140 \text{MPa}$$

$$L_o = 2 * L_n$$

$$L_o = 2 * 10000 = 20000$$

$$L_o = 20000\text{mm}$$

$$\lambda = \frac{L_o}{\sqrt{\frac{I_{xn}}{S_n}}}$$

$$\lambda = \frac{20000}{\sqrt{\frac{50352640000}{54400}}} = 71,9$$

$$\lambda = 71,9$$

$$\sigma_{kr} = 335 - (0,62 * \lambda)$$

$$\sigma_{kr} = 335 - (0,62 * 71,9) = 290,3$$

$$\sigma_{kr} = 290,3 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{kr} = \pi * \sqrt{\frac{E}{\sigma_{kr}}}$$

$$\lambda_{kr} = \pi * \sqrt{\frac{2,1 * 10^5}{290,3}} = 84,5$$

$$\lambda_{kr} = 84,5$$

$\lambda \leq \lambda_{kr} \Rightarrow$ nohu kontroluji na prostý tlak

$$\sigma_{tn} = \frac{F_{rym1} + F_{ryg}}{S_n} \leq \sigma_{dt}$$

$$\sigma_{tn} = \frac{216685,4 + 46115}{54400} = 4,8$$

$$\sigma_{tn} = 4,8 \text{ MPa} \leq 140 \text{ MPa} \Rightarrow \textbf{vyhovuje}$$

Kde:

Lo [mm] -redukována délka prutu, Tab. 1.1, příloha 2

λ [-] -štíhlost prutu dle [3] str.: 36

λ_{kr} [-] -kritická štíhlost prutu dle [3] str.: 37

σ_{kr} [MPa] -kritické napětí dle [3] str.: 37

σ_{dt} [MPa] -dovolené napětí v tlaku dle [3] str.: 54

σ_{tn} [MPa] -tlakové napětí

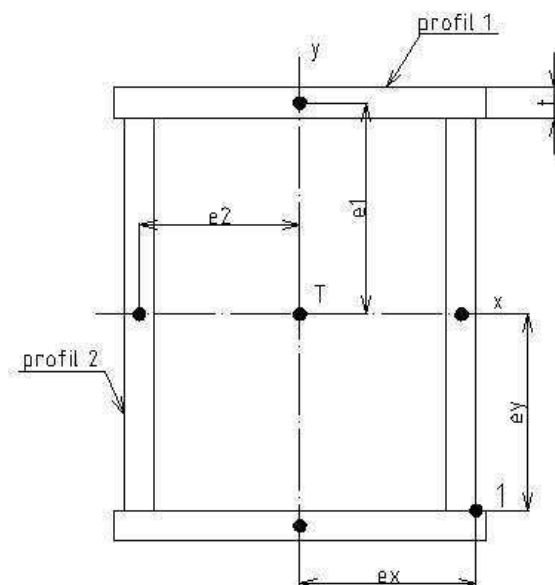
8 Posouzení únavy

Tab. 8.0 vypočítané hodnoty pro posuzování únavy

zatížení způsobené	označení zatížení	Kombinace zatížení pro posuzování OK při únavě
vlastní hmotností	FgC	92230,7N
užitečným břemenem	FhC	273694,8N
stálým břemenem	FsbC	14891,6N
setrvačnými silami od jízdy jeřábu	FijC	10634,3N
Suma(FC)	-	388317,1N

Únavu posuzuji v místě B, a v bodě 1 na průřezu hlavního nosníku

Podrobný výpočet údajů v tabulce je uveden v příloze č.5



Obr. 8.0 Označení místa kontroly

8.1 Výpočet max. a min. napětí σ

Dáno:

$$e_y = 430 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$FC = 388317,1 \text{ N}$$

$$I_{y0} = 2,43 \cdot 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$M_{o \max} = \frac{FC}{2} \cdot \frac{L}{2}$$

$$M_{o \max} = \frac{388317,1}{2} \cdot \frac{15000}{2} = 1,456 \cdot 10^9$$

$$M_{o \max} = 1,456 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$

$$M_{o \min} = \frac{F_g C}{2} \cdot \frac{L}{2}$$

$$M_{o \min} = \frac{92230,7}{2} \cdot \frac{15000}{2} = 3,459 \cdot 10^8$$

$$M_{o \min} = 3,459 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{o \max}}{\frac{I_{y0}}{(2 * e_y) + t}}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{1,456 * 10^9}{\frac{2,43 * 10^{10}}{(2 * 430) + 20}} = 57,8$$

$$\sigma_{\max} = 57,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{M_{o \min}}{\frac{I_{y0}}{(2 * e_y) + t}}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{3,459 * 10^8}{\frac{2,43 * 10^{10}}{(2 * 430) + 20}} = 12,5$$

$$\sigma_{\min} = 12,5 \text{ MPa}$$

Kde:

t	[mm]	-tloušťka stěny nosníku
Momax	[Nmm]	-maximální ohybový moment pro posuzování únavy
Momin	[Nmm]	-minimální ohybový moment pro posuzování únavy
σmax	[MPa]	-maximální napětí pro posuzování únavy
σmin	[MPa]	-minimální napětí pro posuzování únavy
Iy0	[mm ⁴]	-posunutý kvadratický moment Iy do bodu 1, z přílohy č. 6
ey	[mm]	-vzdálenost bodu 1 od těžiště ve směru osy y
FC	[N]	-celková síla pro posuzování únavy

8.2 Výpočet max. a min. napětí τ

Dáno:

$$e_x = 350 \text{ mm}$$

$$I_{ptx1} = 3,075 * 10^{10}$$

$$\tau_{\max} = \frac{FC * e_x}{I_{ptx1} / H}$$

$$\tau_{\max} = \frac{388317,1 * 350}{3,075 * 10^{10} / 900} = 3,9$$

$$\tau_{\max} = 3,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\min} = \frac{FgC * ex}{I_{ptx1} / H}$$

$$\tau_{\min} = \frac{92230,7 * 350}{3,075 * 10^{10} / 900} = 0,9$$

$$\tau_{\min} = 0,9 MPa$$

Kde:

$\tau_{\max}$ [MPa] -maximální krutové napětí pro posuzování únavy v bodě 1
 $\tau_{\min}$ [MPa] -minimální krutové napětí pro posuzování únavy v bodě 1
 ex [mm] -vzdálenost bodu 1 od těžiště ve směru osy x
 I_{ptx1} [mm] - polární moment celého průřezu posunutý do bodu 1

8.3 Podmínka HMH pro maximum a minimum

$$T_{\max} = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + 3 * \tau_{\max}^2}$$

$$T_{\max} = \sqrt{52,7^2 + 3 * 3,9^2} = 53,2$$

$$T_{\max} = 53,2 MPa$$

$$T_{\min} = \sqrt{\sigma_{\min}^2 + 3 * \tau_{\min}^2}$$

$$T_{\min} = \sqrt{12,5^2 + 3 * 0,9^2} = 12,6$$

$$T_{\min} = 12,6 MPa$$

Kde:

$T_{\max}$ [MPa] -podmínka HMH pro maximum napětí
 $T_{\min}$ [MPa] - podmínka HMH pro minimum napětí

8.4 Vlastní posouzení pro míjivé namáhání

$$\kappa = \frac{T_{\min}}{T_{\max}}$$

$$\kappa = \frac{53,2}{12,6} = 0,238$$

$$\kappa = 0,238$$

Kde:

κ [-] -závislost maximálního a minimálního napětí

8.4.1 Posouzení na tah

Dáno, volím:

$K3$
 $R_{fat}(-1) = 180 MPa$

$$R_{fat}(0) = \frac{5 * R_{fat}(-1)}{3}$$

$$R_{fat}(0) = \frac{5 * 180}{3} = 300$$

$$R_{fat}(0) = 300 \text{ MPa}$$

$$R_{fat} \kappa = \frac{R_{fat}(0)}{1 - \left(1 - \frac{R_{fat}(0)}{0,75 R_m}\right) * \kappa} \geq \sigma_{\max}$$

$$R_{fat} \kappa = \frac{300}{1 - \left(1 - \frac{300}{0,75 * 520}\right) * 0,238} = 317,4$$

$$R_{fat} \kappa = 317,4 \text{ MPa} \geq 57,8 \text{ MPa} \Rightarrow \textbf{vyhovuje}$$

Kde:

K3 [-] -vrubová skupina, dle [1] str.: 38

$R_{fat}(-1)$ [MPa] -základní výpočtová pevnost v únavě, dle [1] str.: 27

R_{fatd} [MPa] -max. výpočtová pevnost základ. mat. při únavě, dle [1] str.: 28

$R_{fat}(0)$ [MPa] -výpočtová pevnost mat. při únavě, pro tah dle [1] str.: 29

$R_{fat} \kappa$ [MPa] -výpočtová pevnost při únavě, pro dané κ , tah, dle [1] str.: 29

8.4.2 Posouzení na tlak

$$R_{fatp}(0) = 2 * R_{fat}(-1)$$

$$R_{fatp}(0) = 2 * 180 = 360$$

$$R_{fatp}(0) = 360 \text{ MPa}$$

$$R_{fatp} \kappa = \frac{R_{fatp}(0)}{1 - \left(1 - \frac{R_{fatp}(0)}{0,9 R_m}\right) * \kappa} \geq \sigma_{\max}$$

$$R_{fatp} \kappa = \frac{360}{1 - \left(1 - \frac{360}{0,9 * 520}\right) * 0,238} = 380,9$$

$$R_{fatp} \kappa = 380,9 \text{ MPa} \geq 57,8 \text{ MPa} \Rightarrow \textbf{vyhovuje}$$

Kde:

$R_{fatp}(0)$ [MPa] - výpočtová pevnost mat. při únavě, pro tlak dle [1] str.: 29

$R_{fatp} \kappa$ [MPa] -výpočtová pevnost při únavě, pro dané κ , tlak, dle [1] str.: 29

8.4.3 Posouzení svaru

$$R_{fat\kappa} = \frac{R_{fat\kappa}}{\sqrt{2}} \geq \sigma_{\max}$$

$$R_{fat\kappa} = \frac{317,4}{\sqrt{2}} = 224,4$$

$$R_{fat\kappa} = 224,4 \text{ MPa} \geq 57,8 \text{ MPa} \Rightarrow \textbf{vyhovuje}$$

Kde:

$R_{fat\kappa}$ [MPa] -výpočtová pevnost svarů při únavě, dle [1] str.: 30

9 Závěr

V této bakalářské práci jsem provedl celkový návrh ocelové konstrukce speciálního portálového jeřábu pro manipulaci s plachetnicemi. Jednotlivé části konstrukce budou vyráběny svařením ocelových pásů plechu. Tyto části budou vzájemně spojeny šroubovým spojem. Je použit šroub M 24x70 s pevností 8.8.

Dále byl proveden návrh hlavních nosných částí konstrukce. Byla určena velikost zátěžné síly dle ČSN 27 0103. Tato síla musela být rozložena do os x a y . Následně bylo výpočtem zjištěno, že konstrukce bude v ose y nejvíce namáhána v poloze 1 a v ose x bude nejvíce namáhána v poloze 2.

Nejdůležitější nosnou částí je hlavní nosník. Ten byl zkontrolován na ohyb, průhyb a posouzen na únosnost při únavě. Ve všech třech kontrolách hlavní nosník vyhověl. Kontrola ohybu byla provedena pro dvě vytipovaná místa na nosníku. Kontrola únosnosti při únavě byla provedena pro místo B a bod 1 na průřezu.

Další neméně důležitou nosnou částí jeřábové konstrukce je noha. Zde byla provedena kontrola vzpěrné pevnosti. Výpočtem bylo zjištěno, že štíhlost je menší než kritická štíhlost, proto byla noha kontrolována na tlak. V tomto kontrolním výpočtu noha vyhověla.



Obr. 9.0 Konstrukce jeřábu

10 Seznam použitých zdrojů

[1] ČSN 27 0103 : Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů, Český normalizační institut, Praha 2000

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

[3] Ing. Jan Leinveber. Ing. Pavel Vávra: Strojnické tabulky, ALBRA – pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2003, ISBN 80-86490-74-2

[4] Dostupný z WWW:< http://www.keyharbormarina.com/travel_lift_019.jpg&imgrefurl.html>

[5] ČSN 27 0142: Jeřáby a zdvihadla, zkoušení, Praha 10- Hostivař, vydavatelství norem, 1990

[6] Dostupný z WWW:< <http://www.windward-islands.net/crewed/yacht-us.php?ID=219>>

11 Seznam použitých zkratk a symbolů

L	délka nosníku	[m]
L1	vzdálenost zátěžné síly od konce nosníku	[m]
L2	vzdálenost mezi zátěžnými silami	[m]
A	místo A pro kontrolu nosníku	[-]
B	místo B pro kontrolu nosníku	[-]
C	místo C pro posuzování únavy	[-]
α_1	úhel odklonu zátěžné síly pro polohu 1 (počátek zdvihu)	[°]
α_2	úhel odklonu zátěžné síly pro polohu 2 (maximální zdvih)	[°]
H	výška hlavního nosníku	[mm]
B	šířka hlavního nosníku	[mm]
h	vnitřní výška hlavního nosníku	[mm]
b	vnitřní šířka hlavního nosníku	[mm]
I _x	kvadratický moment průřezu hlavního nosníku pro osu x	[mm ⁴]
I _y	kvadratický moment průřezu hlavního nosníku pro osu y	[mm ⁴]
H _n	výška nohy	[mm]
B _n	šířka nohy	[mm]
h _n	vnitřní výška nohy	[mm]
b _n	vnitřní šířka nohy	[mm]
I _{xn}	kvadratický moment průřezu nohy pro osu x	[mm ⁴]
I _{yn}	kvadratický moment průřezu nohy pro osu y	[mm ⁴]
S _n	plocha průřezu nohy	[mm ²]
γ _g	součinitel zatížení od vlastní hmotnosti	[-]
δ _t	dynamický součinitel pojezdový	[-]
S	plocha průřezu hlavního nosníku	[m ²]
ρ	hustota oceli	[kg/m ³]
L	délka hlavního nosníku	[m]
m _s	hmotnost stálého břemene	[kg]
m _n	hmotnost nosníku	[kg]
m _g	celková vlastní hmotnost	[kg]
F _{gA}	zatížení od vlastní hmotnosti základní kombinace zatížení	[N]
γ _{lo}	součinitel zatížení od jmenovitého břemene	[-]
δ _h	dynamický součinitel zdvihový	[-]
v _h	rychlost zdvihu	[m*s]
m	hmotnost břemene (lodi)	[kg]
F _{hA}	zatížení od jmenovitého břemene základní kombinace zatížení	[N]
F _{obA}	zatížení způsobené odpadnutím břemene základní kombinace zat.	[N]
F _{sbA}	zatížení stálým břemenem základní kombinace zatížení	[N]
γ _i	součinitel zatížení od vodorovných sil setrvačných	[-]
m ₂	hmotnost jeřábové konstrukce	[kg]
a	zrychlení jeřábu (voleno)	[m*s ⁻¹]
F _{ijA}	Zatížení setrvačnými silami od jízdy jeřábu základní kombinace zat.	[N]
w ₁	normálový tlak větru na ocelovou konstrukci za provozu	[Pa]

w2	normálový tlak větru na ocelovou konstrukci mimo provoz	[Pa]
ξ_w	tvárový součinitel	[-]
A	průmět čisté plochy jeřábu	[m ²]
yw	součinitel zatížení větrem	[-]
F1wA	zatížení větrem v provozu základní kombinace zatížení	[N]
F2wA	zatížení větrem mimo provoz základní kombinace zatížení	[N]
FzdA	zatížení zkušebním břemenem, dynam. Zk. základní kombinace zat.	[N]
FzsA	zatížení zkušebním břemenem, statická. Zk. základní kombinace zat.	[N]
FgB	zatížení od vlastní hmotnosti mimořádná kombinace zatížení	[N]
FhB	zatížení od jmenovitého břemene mimořádná kombinace zatížení	[N]
FsbB	zatížení stálým břemenem mimořádná kombinace zatížení	[N]
FijB	zatížení setrvačnými silami od jízdy jeřábu mimořádná kombinace zat.	[N]
FzdB	zatížení zkušebním břemenem, dynam. Zk. mimořádná kombinace zat.	[N]
FzsB	zatížení zkušebním břemenem, static. Zk. mimořádná kombinace zat.	[N]
FgC	zatížení od vlastní hmotnosti při OK posuzování únavy	[N]
FhC	zatížení od užitečného břemene při OK posuzování únavy	[N]
FsbC	zatížení stálým břemenem při OK posuzování únavy	[N]
FijC	Zatížení setrvačnými silami od jízdy jeřábu při OK posuzování únavy	[N]
Momax	maximální ohybový moment pro posuzování únavy	[Nmm]
Momin	minimální ohybový moment pro posuzování únavy	[Nmm]
t	tloušťka stěny nosníku	[mm]
Momax	maximální ohybový moment pro posuzování únavy	[Nmm]
Momin	minimální ohybový moment pro posuzování únavy	[Nmm]
σ_{max}	maximální napětí pro posuzování únavy	[MPa]
σ_{min}	minimální napětí pro posuzování únavy	[MPa]
ly0	posunutý kvadratický moment ly do bodu 1, z přílohy č. 6	[mm ⁴]
ey	vzdálenost bodu 1 od těžiště ve směru osy y	[mm]
ex	vzdálenost bodu 1 od těžiště ve směru osy x	[mm]
FC	celková síla pro posuzování únavy	[N]
lyx	posunutý kvadratický moment ly v ose x	[mm ⁴]
e1	posun tělesa 1 v ose y do těžiště	[mm]
e2	posun tělesa 2 v ose x do těžiště	[mm]
y	součinitel pro krut obdélníkového průřezu, dle [3] str.: 38	[-]
lp1	polární moment profilu 1	[mm ⁴]
lp2	polární moment profilu 2	[mm ⁴]
lpt	polární moment celého průřezu v těžišti	[mm ⁴]
lptx	polární moment celého průřezu posunutý po ose x	[mm ⁴]
lptx1	polární moment celého průřezu posunutý do bodu 1	[mm ⁴]
τ_{max}	maximální krutové napětí pro posuzování únavy	[MPa]
τ_{min}	minimální krutové napětí pro posuzování únavy	[MPa]
Tmax	podmínka HMH pro maximum napětí	[MPa]
Tmin	podmínka HMH pro minimum napětí	[MPa]
Rfat(-1)	základní výpočtová pevnost v únavě	[MPa]
Rfatd	max. výpočtová pevnost základ. mat. při únavě	[MPa]

Rfatt(0)	výpočtová pevnost mat. při únavě, pro tah	[MPa]
Rfattk	výpočtová pevnost při únavě, pro dané κ , tah	[MPa]
Rfatp(0)	výpočtová pevnost mat. při únavě, pro tlak	[MPa]
Rfatpk	výpočtová pevnost při únavě, pro dané κ , tlak	[MPa]
Rfatds	max. výpočtová pevnost svarů při únavě	[MPa]
Rfatk	výpočtová pevnost svarů při únavě	[MPa]
K4	vrubová skupina	[-]
H2	zdvihová třída	[-]
J2	provozní skupina	[-]
S2	Spektrum napětí volím	[-]
D4	druh provozu	[-]

12 Seznam příloh

Příloha 1	Rozměry plachetnice
Příloha 2	Tabulky koeficientů a použitých vzorců
Příloha 3	Výpočet-základní kombinace zatížení
Příloha 4	Výpočet - mimořádné kombinace zatížení
Příloha 5	Výpočet - kombinace zatížení pro posuzování OK při únavě
Příloha 6	Výpočet průřezových charakteristik hlavního nosníku, posunutých do bodu 0 pro posuzování únavy

13 Seznam výkresové dokumentace

KONSTRUKCE	0-3P21-00-00-00
HLAVNÍ NOSNÍK	0-3P21-00-01-00
NOHA	3-3P21-00-02-00
PŘÍČKA	3-3P21-00-03-00
PŘÍČKA SPODNÍ	2-3P21-00-04-00
ROH	2-3P21-00-05-00
PLATLE	4-3P21-00-06-00
ŠPRUSLE	4-3P21-00-07-00
KRYT	4-3P21-00-08-00
SPOJOVACÍ PLECH NOHY	3-3P21-00-01-01
SPOJOVACÍ PLECH PŘÍČKY	3-3P21-00-01-02
PÁS NOSNÍKU	3-3P21-00-01-03
PLECH NOHY KRÁTKÝ	4-3P21-00-01-04
NOHA PLECH 1	4-3P21-00-01-05
ŽEBRO	4-3P21-00-01-06
STĚNA NOSNÍKU	4-3P21-00-01-07
PŘÍČKA PŘIPOJ. PLECH 1	4-3P21-00-01-08
PŘÍČKA PŘIPOJ. PLECH 2	4-3P21-00-01-09
SPOJ. PL. PŘÍČKY HORNÍ	3-3P21-00-01-10
PÁS NOSNÍKU HORNÍ 1	4-3P21-00-01-11
TROJÚHELNÍK	4-3P21-00-01-13
PÁS NOHY	4-3P21-00-02-01
STĚNA NOHY	4-3P21-00-02-02
PÁS PŘÍČKY	4-3P21-00-03-01
STĚNA PŘÍČKY	4-3P21-00-03-02
PÁS PŘÍČKY SPODNÍ	4-3P21-00-04-01
STĚNA PŘÍČKY SPODNÍ	4-3P21-00-04-02
VÝSTUHA BUBNU	4-3P21-00-04-03
PLATLE NOHY	4-3P21-00-05-07
SPOJOVACÍ PLECH ROHU 1	3-3P21-00-05-01
SPOJOVACÍ PLECH ROHU 2	3-3P21-00-05-02
SPOJOVACÍ PLECH ROHU 3	3-3P21-00-05-03

SPOJOVACÍ PLECH ROHU 4	4-3P21-00-05-04
SPOJOVACÍ PLECH ROHU 5	4-3P21-00-05-05
KUSOVNÍK List 2/2	0-3P21-00-01-00
KUSOVNÍK List 2/2	4-3P21-00-05-00

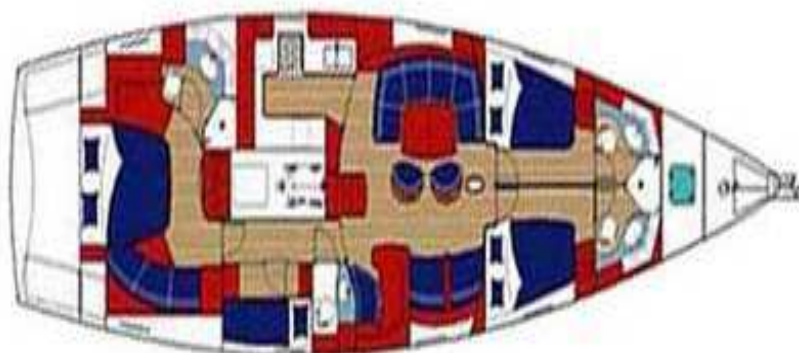
PŘÍLOHY

Příloha 1

Rozměry plachetnice z [6]

The Beneteau 57

Length : 17.20 m (56.4')
Max Beam : 4.98 m (16.3')
Engine : 165 hp
Draft : 2.60 m (9')
Sail Area : 168 m²
Water Tank : 1000 L (264 G)
Fuel Tank : 665 L (176 G)
Cabins : 3 dbl, 3 heads
Equiped galley
Crew : 2 persons
Air Conditionned
Water maker
TV/DVD
HiFi
Generator



Příloha 2

Tabulky koeficientů a použitých vzorců

Tab. 1 (z [2] str.:9)

DRUH PROVOZU JEŘÁBU		
Označ.	Charakteristika provozu	γ_{to}
D1	Jeřáby, které slouží k občasnému přemísťování stejných břemen známé hmotnosti. Jeřáby v provozech, kde se může vyskytnout břemeno vyšší hmotnosti, než je nosnost jeřábu. Jeřáby s ručním pohonem zdvihu	1,2
D2	Jeřáby v provozech s malou pravděpodobností náhodného přetížení. Jeřáby v provozech, kde hmotnost břemen je rozdílná, ale snadno určitelná, a dopravují se jednotlivě	1,3
D3	Jeřáby v provozech s větší pravděpodobností přetížení	1,4
D4	Jeřáby v provozech, kde je obtížné zjištění přesné hmotnosti břemena nebo může nastat nekontrolovatelné zvětšení zdvihací síly zachycením břemena	1,5
Poznámky: 1) Součinitelem γ_{to} se násobí pouze účinek od jmenovitého břemena. 2) Je-li na jeřábu použito zařízení proti přetížení, uvažuje se ve výpočtu součinitel zatížení $\gamma_{to} = 1,2$. 3) Hodnoty součinitele zatížení uvedené v tab. 1 a příloze II jsou minimální. Podle požadavků provozu mohou být zvýšeny.		

Tab. 2 (z [2] str.:10)

Zdvihová třída jeřábu	H_i	Dynamický součinitel zdvihový δ_h při rychlosti zdvihu v_h ($m \cdot s^{-1}$)
H1	1	$1,1 + 0,13 v_h$
H2	2	$1,2 + 0,26 v_h$
H3	3	$1,3 + 0,39 v_h$
H4	4	$1,4 + 0,52 v_h$
Ve výpočtech nesmí být použit δ_h menší než 1,15. Pro rychlosti přes $1 m \cdot s^{-1}$ se δ_h již nezvyšuje.		

Tab. 4 (z [2] str.:11)

Dráha s kolejnicí		Dynamický součinitel pojezdový δ_i
se styky	bez styků nebo se styky svařovanými	
$v_i \leq 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$v_i \leq 1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	1,1
$1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} < v_i < 3,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	$1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} < v_i < 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$	1,2
Otáčení		1,1
Dráha bezkolejová (plná kola, housenice)		1,1
Jeřáby na pneumatikách	při projíždění s břemenem	1,05
	při projíždění bez břemena	1,1
$v_i \dots$, rychlost pojezdu v $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$		

Tab. 5 (z [2] str.:14)

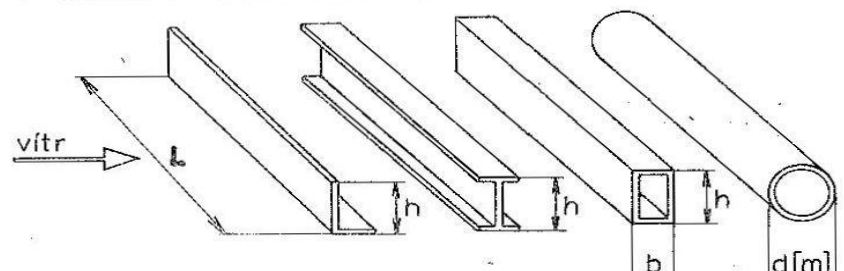
Druh jeřábu	Tlak větru w_f (Pa)	
	pro výpočet ocelových konstrukcí, mechanismů a stability zatíženého jeřábu	pro výpočet výkonu hnačích motorů
Všechny typy jeřábů instalované na volném prostranství	250	150
Plovoucí jeřáby a jeřáby a zdvihadla na plavidlech	400	250
Jeřáby, které musí pokračovat v práci i za silného větru	500	300
Poznámky: 1. Údaje této tabulky jsou vhodné i pro jeřáby určené do zahraničí, nejsou-li odběratelem stanoveny jiné hodnoty. 2. U montážních jeřábů lze počítat podle údajů odběratele i s nižšími hodnotami.		

Tab. 6 (z [2] str.:14)

Výškové pásmo (m) (výška nad terénem)	Tlak větru w_2 (Pa)
do 20	800
nad 20 do 100	1100
nad 100	1300
Poznámka: Mezilehlé hodnoty tlaku větru w_2 mezi 800 a 1100 Pa je možno stanovit lineární interpolací. Výšková pásma se uvažují od úrovně terénu v místě jeřábu.	

Tab. 7 (z [2] str.:16)

Hodnoty tvarového součinitele ξ_w								
Druh	Popis	$\frac{L}{h}$			$\frac{L}{d}$			
		5	10	20	30	40	50	
		ξ_w						
Konstrukční prvky	Válcované profily, ploché tyče, hranaté trubky	1,3	1,35	1,6	1,65	1,7	1,9	
	Části s kruhovým průřezem	0,75	0,80	0,90	0,95	1,0	1,1	
	pro $d \cdot v_{wl} < 6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$							
	pro $d \cdot v_{wl} \geq 6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,60	0,65	0,70	0,70	0,75	0,8	
	Skříňové průřezy s rozměry nad 350 mm pro čtvercové a nad 250krát 450 mm pro obdélníkové tvary	$\frac{h}{b}$						
		> 2	1,55	1,75	1,95	2,1	2,2	
		1	1,40	1,55	1,75	1,85	1,9	
		0,5	1,0	1,2	1,3	1,35	1,4	
	0,25	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0		
Jednotlivé příhradové rámy	z plochých průřezů	1,7						
	z částí s kruhovým průřezem							
	pro $d \cdot v_{wl} < 6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	1,2						
	pro $d \cdot v_{wl} \geq 6 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	0,8						
Skříň, strojní zařízení	Obdélníkové ploché konstrukce na zemi, je-li zabráněno proudění vzduchu pod konstrukcí	1,1						
	Nezakryté mechanismy na stroji a jeřábové kočky	1,4						
	Kabiny a strojovny	1,4						
Lana		1,2						



Tab. 9 (z [2] str.:21)

Zatížení způsobené		Označení zatížení	souč. zatížení	ZÁKLADNÍ KOMBINACE ZATÍŽENÍ							
Stálá a nahodilá	vlastní hmotností	$m_g \cdot g$	γ_g	$m_g \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_t$	$m_g \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_t$	$m_g \cdot g \cdot \gamma_g$	$m_g \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_t$				
	jmenovitým břemenem	$m \cdot g$	γ_{lo}	$m \cdot g \cdot \gamma_{lo} \cdot \delta_h$	—	—	$m \cdot g \cdot \gamma_{lo}$				
	odpadnutím břemena	$-0,25 m_w \cdot \delta_h \cdot g$	γ_{lo}	—	$-0,25(m+m_s)g\gamma_{lo}\delta_h$		—				
	stálým břemenem	$m_s \cdot g$	γ_g	$m_s \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_h$			$m_s \cdot g \cdot \gamma_g$	$m_s \cdot g \cdot \gamma_g$			
	setrvačnými silami od	jízdy kočky	F_{ik}	γ_i	$F_{ik}\gamma_i$	—	—	$F_{ik}\gamma_i$	—	—	—
		jízdy jeřábu	F_{ij}	γ_i	—	$F_{ij}\gamma_i$	—	—	$F_{ij}\gamma_i$	—	—
		otáčení	F_{io}	γ_i	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	$F_{io}\gamma_i$	—
		sklápění výložníku	F_{is}	γ_i	—	—	$F_{is}\gamma_i$	—	—	$F_{is}\gamma_i$	—
	odstředivými silami		F_o	γ_i	—	—	$F_o\gamma_i$	—	—	—	—
	větre	v provozu	F_{w1}	γ_w	$F_{w1}\gamma_w$		$F_{w1}\gamma_w$		—	$F_{w1}\gamma_w$	
		mimo provoz	F_{w2}	γ_w	—		—		$F_{w2} \cdot \gamma_w$	—	
	silami od přičení		H_{ip}	γ_{ip}	—		—		—	$H_{ip}\gamma_i$	
Mimořádná	vodorovnou technolog. silou na kočku s vedeným břemenem		F_k	γ_i	—		—		—	—	
	silami na nárazníky		F_n	γ_n	—		—		—	—	
	zkušebním břemenem při zkoušce	dynamické	$m_{zd} \cdot g$	—	—		—		—	—	
		statické	$m_{zs} \cdot g$	—	—		—		—	—	

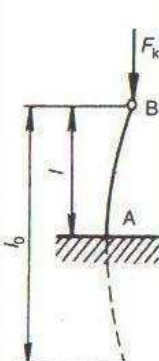
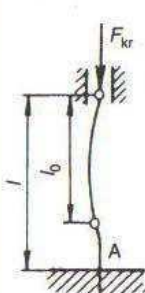
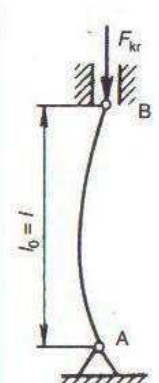
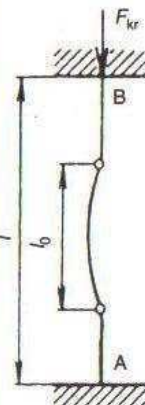
Tab. 10 (z [2] str.:22)

Zatížení způsobené		Označení zatížení	součinitel zatížení	MIMOŘÁDNÉ KOMBINACE ZATÍŽENÍ							
Stálá a nahodilá	vlastní hmotností	$m_g \cdot g$	γ_g	$m_g \cdot g \cdot \gamma_g$	$m \cdot g$	$m_g \cdot g \cdot \gamma_g \cdot \delta_t$			$m_g \cdot g \cdot \gamma_g$		
	jmenovitým břemenem	$m \cdot g$	γ_{lo}	$m \cdot g \cdot \gamma_{lo}$	$0,8m \cdot g$	—			—		
	stálým břemenem	$m_s \cdot g$	γ_g	$m_s \cdot g \cdot \gamma_g$	$m_s \cdot g$	—			—		
	setrvačnými silami od	jízdy kočky	F_{ik}	γ_i	—	—	$F_{ik}\gamma_i$	—	—	$m_s \cdot g \cdot \gamma_g$	
		jízdy jeřábu	F_{ij}	γ_i	—	—	—	$F_{ik}\gamma_i$	—	—	
		otáčení	F_{io}	γ_i	—	—	—	—	$F_{io}\gamma_i$	—	
		sklápění výložníku	F_{is}	γ_i	—	—	—	—	$F_s\gamma_i$	—	
	odstředivými silami		F_o	γ_i	—	—	—	—	$F_o\gamma_i$	—	
Mimořádná	vodorovnou technolog. silou na kočku s vedeným břemenem		F_k	γ_i	$F_k \cdot \gamma_i$	—	—			—	
	silami na nárazníku		F_n	γ_n	—	$F_n \cdot \gamma_n$	—			—	
	zkušebním břemenem při zkoušce	dynamic.	$m_{zd} \cdot g$	—	—	—	$\frac{1 + \delta_h}{2} m_{zd} \cdot g$			—	
		statické	$m_{zs} \cdot g$	—	—	—	—			$m_{zs} \cdot g$	

Tab. 11 (z [2] str.:23)

Zatížení způsobené		Označení zatížení	Kombinace zatížení pro posuzování OK při únavě			
stálá a nahodilá	vlastní hmotností	$m_g \cdot g$	$m_g \cdot g \cdot \delta_t$			
	užitečným břemenem	$m \cdot g$	$m \cdot g \cdot \delta_h$			
	odpadnutím břemena	$-0,25 \cdot m \cdot g \cdot \delta_h$	—			
	stálým břemenem	$m_s \cdot g$	$m_s \cdot g \cdot \delta_h$			
	setrvačnými silami	jízdy kočky	F_{ik}	F_{ik}	—	—
		jízdy jeřábu	F_{ij}	—	F_{ij}	—
		otáčení	F_{io}	F_{io}	F_{io}	F_{io}
		sklápění výložníku	F_{is}	—	—	F_{is}
	odstředivými silami		F_o	—	—	F_o

Tab. 1.1 (z [3] str.:36)

Způsob uložení	Redukovaná délka prutu	Kritická síla	Způsob uložení	Redukovaná délka prutu	Kritická síla
Jeden konec upnutý, druhý volný 	$l_0 = 2l$	$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{4l^2}$	Jeden konec upnutý, druhý vedený v ose tyče 	$l_0 = \frac{l}{\sqrt{2}}$	$F_{kr} = \frac{2\pi^2 EI_{min}}{l^2}$
Oba konce kloubově uložené 	$l_0 = l$	$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{l^2}$	Oba konce upnuté 	$l_0 = \frac{l}{2}$	$F_{kr} = \frac{4\pi^2 EI_{min}}{l^2}$

Příloha 3

Výpočet - základní kombinace zatížení

Zatížení vlastní hmotností:

Dáno volím:

$$g=9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$ms=1200\text{kg}$$

$$mn=7347\text{kg}$$

$$\gamma_g=1.1$$

$$\delta t=1.1$$

$$S=0,0624\text{m}^2$$

$$L=15\text{m}$$

$$\rho=7850\text{kg}/\text{m}^3$$

$$mn = S * L * \rho$$

$$mn = 0,0624 * 15 * 7850 = 7347$$

$$mn = 7347\text{Kg}$$

$$mg = ms + mn$$

$$mg = 1200 + 7347 = 8547$$

$$mg = 8547\text{kg}$$

Kombinace:

$$1. F_{gA} = mg * g * \gamma_g * \delta t$$

$$F_{gA} = 8547 * 9,81 * 1,1 * 1,1 = 101453,7$$

$$F_{gA} = 101453,7\text{N}$$

$$2. F_{gA} = mg * g * \gamma_g * \delta t$$

$$F_{gA} = 8547 * 9,81 * 1,1 * 1,1 = 101453,7\text{N}$$

$$F_{gA} = 101453,7\text{N}$$

$$3. F_{gA} = mg * g * \gamma_g$$

$$F_{gA} = 8547 * 9,81 * 1,1 = 92230,7$$

$$F_{gA} = 92230,7\text{N}$$

$$4. F_{gA} = mg * g * \gamma_g * \delta t$$

$$F_{gA} = 854 * 9,81 * 1,1 * 1,1 = 101453,7$$

$$F_{gA} = 101453,7\text{N}$$

Kde:

γ_g	[-]	-součinitel zatížení od vlastní hmotnosti z [1] str.: 8
δt	[-]	-dynamický součinitel pojezdový z příloha č. 2 Tab. 4
S	$[\text{m}^2]$	-ploch průřezu hlavního nosníku, viz kap. 4.3.1
ρ	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	-hustota oceli
L	$[\text{m}]$	-délka hlavního nosníku, viz kap. 3
ms	$[\text{kg}]$	-hmotnost stálého břemene
mn	$[\text{kg}]$	-hmotnost nosníku
mg	$[\text{kg}]$	-celková vlastní hmotnost
$F_{gA} \dots$	$[\text{N}]$	-zatížení od vlastní hmotnosti příloha č. 2 Tab. 9

Zatížení od jmenovitého břemene:

Dáno, volím:

$$\gamma_{lo}=1.5$$

$$V_h=0,25m*s$$

$$m=22055kg$$

$$\delta h = 1,2 + 0,26v_h = 1,265$$

Kombinace:

$$1. F_{hA} = m * g * \gamma_{lo} * \delta h$$

$$F_{hA} = 22055 * 9,81 * 1,5 * 1,265 = 410542,3$$

$$F_{hA} = 410542,3N$$

$$4. F_{hA} = m * g * \gamma_{lo}$$

$$F_{hA} = 22055 * 9,81 * 1,5 = 324539,3$$

$$F_{hA} = 324539,3N$$

Kde:

γ_{lo}	[-]	-součinitel zatížení od jmenovitého břemene z příloha č. 2 Tab. 1
δh	[-]	-dynamický součinitel zdvihový z příloha č. 2 Tab. 2
v_h	[m*s]	-rychlost zdvihu z [2] str.: 18
m	[kg]	-hmotnost břemene (lodi) příloha č. 1
F_{hA}	[N]	-zatížení od jmenovitého břemene příloha č. 2 Tab. 9

Zatížení způsobené odpadnutím břemene:

$$F_{obA} = -0,25 * (m + m_s) * g * \gamma_{lo} * \delta h$$

$$F_{obA} = -0,25 * (22055 + 1200) * 9,81 * 1,5 * 1,265 = -108219,9$$

$$F_{obA} = -108219,9N$$

Kde:

F_{obA}	[N]	-zatížení způsobené odpadnutím břemene příloha č. 2 Tab. 9
-----------	-----	--

Zatížení stálým břemenem:

Kombinace:

$$1. F_{sbA} = m_s * g * \gamma_g * \delta h$$

$$F_{sbA} = 1200 * 9,81 * 1,1 * 1,25 = 16380,7$$

$$F_{sbA} = 16380,7N$$

$$2. F_{obA} = -0,25 * (m + m_s) * g * \gamma_{lo} * \delta h$$

$$F_{obA} = -0,25 * (22055 + 1200) * 9,81 * 1,5 * 1,265 = -108219,9$$

$$F_{obA} = -108219,9N$$

$$3. F_{sbA} = m_s * g * \gamma_g$$

$$F_{sbA} = 1200 * 9,81 * 1,1 = 12949,2$$

$$F_{sbA} = 12949,2N$$

$$4. F_{sbA} = m_s * g * \gamma_g$$

$$F_{sbA} = 1200 * 9,81 * 1,1 = 12949,2$$

$$F_{sbA} = 12949,2N$$

Kde:

F_{sbA} [N] -zatížení stálým břemenem příloha č. 2 Tab. 9

Zatížení setrvačnými silami od jízdy jeřábu:

Dáno, volím:

$$\gamma_i = 1,1$$

$$m_2 = 43537 \text{ kg}$$

$$a = 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$F_{ijA} = m_2 \cdot a \cdot \gamma_i$$

$$F_{ijA} = 43537 \cdot 0,25 \cdot 1,1 = 11972,7$$

$$F_{ijA} = 11972,7 \text{ N}$$

Kde:

γ_i [-] -součinitel zatížení od vodorovných sil setrvačných z [1] str.: 12

m_2 [kg] -hmotnost jeřábové konstrukce výkres č. 0-3P21-00-00-00

a [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] -zrychlení jeřábu (voleno)

F_{ijA} [N] - Zatížení setrvačnými silami od jízdy jeřábu příloha č. 2 Tab. 9

Zatížení větrem v provozu:

Dáno, volím:

$$w_1 = 250 \text{ Pa}$$

$$\xi_w = 1,95$$

$$A = 26,1 \text{ m}^2$$

$$\gamma_w = 1,2$$

Kombinace:

$$1., 2., 4. \quad F_{1wA} = w_1 \cdot \xi_w \cdot A \cdot \gamma_w$$

$$F_{1wA} = 250 \cdot 1,95 \cdot 26,1 \cdot 1,2 = 15268,5$$

$$F_{1wA} = 15268,5 \text{ N}$$

Kde:

w_1 [Pa] -tlak větru příloha č.2 tab. 5

ξ_w [-] -tvarový součinitel příloha č. 2 tab. 7

A [m^2] -průmět čisté plochy jeřábu (pomocí Autodesk Inventor)

γ_w [-] -součinitel zatížení větrem, [1] str.:17

F_{1wA} [N] -zatížení větrem v provozu příloha č. 2 Tab.9 + [1] str.:13

Zatížení větrem mimo provoz:

Dáno:

$$w_2 = 800 \text{ Pa}$$

Kombinace:

$$3. F_{1wA} = w_l * \xi_w * A * \gamma_w$$

$$F_{1wA} = 800 * 1,95 * 26,1 * 1,2 = 15268,5$$

$$F_{1wA} = 15268,5 N$$

Kde:

F_{2wA} [N] -zatížení větrem mimo provoz příloha č. 2 Tab.9 + [1] str.: 14

Zatížení zkušebním břemenem- dynamická zkouška:

$$F_{zdA} = m * \alpha_d * g$$

$$F_{zdA} = 22055 * 1,1 * 9,81 = 269800$$

$$F_{zdA} = 269800 N$$

Kde:

F_{zdA} [N] -zatížení zkušebním břemenem, dynam. Zk., příloha č. 2 Tab. 9

α_d [-] -koeficient pro výpočet zkušebního břemene pro dynamickou zkoušku dle [5] str.:11 Tab. 3

Zatížení zkušebním břemenem- statická zkouška:

$$F_{zsA} = m * \alpha_s * g$$

$$F_{zsA} = 22055 * 1,25 * 9,81 = 306562$$

$$F_{zsA} = 306562 N$$

Kde:

F_{zsA} [N] -zatížení zkušebním břemenem, statická. Zk., příloha č. 2 Tab. 9

α_s [-] -koeficient pro výpočet zkušebního břemene pro statickou zkoušku dle [5] str.:11 Tab. 3

Příloha 4

Výpočet - mimořádné kombinace zatížení

Zatížení vlastní hmotností:

Kombinace:

- | | |
|---|--|
| 1. $F_{gB} = m g * g * \gamma_g$
$F_{gB} = 8547 * 9,81 * 1,1 = 92230,7$
$F_{gB} = 92230,7 N$ | 2. $F_{gB} = m g * g$
$F_{gB} = 8547 * 9,81 = 83846,7$
$F_{gB} = 83846,7 N$ |
| 3. $F_{gB} = m g * g * \gamma_g * \delta$
$F_{gB} = 8547 * 9,81 * 1,1 * 1,1 = 101453,7$
$F_{gB} = 101453,7 N$ | 4. $F_{gB} = m g * g * \gamma_g$
$F_{gB} = 8547 * 9,81 * 1,1 = 92230,7$
$F_{gB} = 92230,7 N$ |

Kde:

$F_{gB} \dots [N]$ -zatížení od vlastní hmotnosti příloha č. 2 Tab. 10

Zatížení od jmenovitého břemene:

Kombinace:

- | | |
|---|--|
| 1. $F_{hB} = m * g * \gamma_o$
$F_{hB} = 22055 * 9,81 * 1,5 = 324539,3$
$F_{hB} = 324539,3 N$ | 2. $F_{hA} = 0,8 * m * g$
$F_{hA} = 0,8 * 22055 * 9,81 = 173087,6$
$F_{hA} = 173087,6 N$ |
|---|--|

Kde:

$F_{hB} \quad [N]$ -zatížení od jmenovitého břemene příloha č. 2 Tab. 10

Zatížení stálým břemenem:

Kombinace:

- | | |
|---|--|
| 1. $F_{sbB} = m_s * g * \gamma_g$
$F_{sbB} = 1200 * 9,81 * 1,1 = 12726,6$
$F_{sbB} = 12726,6 N$ | 2. $F_{sbB} = m_s * g$
$F_{sbB} = 1200 * 9,81 = 11772$
$F_{sbB} = 11772 N$ |
| 4. $F_{sbB} = m_s * g * \gamma_g$
$F_{sbB} = 1200 * 9,81 * 1,1 = 12726,6$
$F_{sbB} = 12726,6 N$ | |

Kde:

$F_{sbB} \dots [N]$ -zatížení stálým břemenem příloha č. 2 Tab. 10

Zatížení setrvačnými silami od jízdy jeřábu:

$$F_{ijB} = m_2 * a * \gamma_i$$

$$F_{ijB} = 43537 * 0,25 * 1,1 = 11972,7$$

$$F_{ijB} = 11972,7 N$$

Kde:

F_{ijB} [N] - Zatížení setrvačnými silami od jízdy jeřábu příloha č. 2 Tab. 10

Zatížení zkušebním břemenem- dynamická zkouška:

$$F_{zdB} = m * \alpha_d * g$$

$$F_{zdB} = 22055 * 1,1 * 9,81 = 269800$$

$$F_{zdB} = 269800 N$$

Kde:

F_{zdB} [N] -zatížení zkušebním břemenem, dynam. Zk., příloha č. 2 Tab. 10

Zatížení zkušebním břemenem- statická zkouška:

$$F_{zsA} = m * \alpha_s * g$$

$$F_{zsA} = 22055 * 1,25 * 9,81 = 306562,5 N$$

$$F_{zsA} = 306562,5 N$$

Kde:

F_{zsB} [N] -zatížení zkušebním břemenem, static. Zk., příloha č. 2 Tab. 10

Příloha 5

Výpočet - kombinace zatížení pro posuzování OK při únavě

Zatížení vlastní hmotností:

Kombinace:

$$F_{gC} = m_g * g * \delta t$$

$$F_{gC} = 8547 * 9,81 * 1,1 = 92230,7$$

$$F_{gC} = 92230,7 N$$

Kde:

F_{gC} ...[N] -zatížení od vlastní hmotnosti příloha č. 2 Tab. 11

Zatížení od užitečného břemene:

$$F_{hC} = m * g * \delta h$$

$$F_{hC} = 22055 * 9,81 * 1,265 = 273694,8$$

$$F_{hB} = 273694,8 N$$

Kde:

F_{hC} [N] -zatížení od užitečného břemene příloha č. 2 Tab. 11

Zatížení stálým břemenem:

$$F_{sbC} = m_s * g * \delta h$$

$$F_{sbC} = 1200 * 9,81 * 1,265 = 14891,6$$

$$F_{sbC} = 14891,6 N$$

Kde:

F_{sbC} .[N] -zatížení stálým břemenem příloha č. 2 Tab. 11

Zatížení setrvačnými silami od jízdy jeřábu:

$$F_{ijC} = m_2 * a$$

$$F_{ijC} = 43537 * 0,25 = 10634,3$$

$$F_{ijC} = 10634,3 N$$

Kde:

F_{ijC} [N] - Zatížení setrvačnými silami od jízdy jeřábu příloha č. 2 Tab. 11

Příloha 6

Výpočet průřezových charakteristik hlavního nosníku, posunutých do bodu 0 pro posuzování únavy

Posunutí kvadratického momentu I_y do bodu 0

$$I_{yx} = I_y + S * (B / 2)^2$$

$$I_{yx} = 5121120000 + 62400 * (700 / 2)^2 = 1,277 * 10^{10}$$

$$I_{yx} = 1,277 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{y0} = I_{yx} + S * e_y^2$$

$$I_{y0} = 5121120000 + 62400 * 430^2 = 1,776 * 10^{10}$$

$$I_{y0} = 2,43 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

Kde:

I_{yx} [mm⁴] -posunutý kvadratický moment I_y v ose x

I_{y0} [mm⁴] -posunutý kvadratický moment I_y do bodu 1

Výpočet polárního momentu hlavního nosníku v bodě 0

Dáno, volím:

$$t=20\text{mm}$$

$$e1=440\text{mm}$$

$$e2=340\text{mm}$$

$$e_x=350\text{mm}$$

$$e_y=430\text{mm}$$

$$\gamma=0,141$$

$$I_{p1} = \gamma * B^3 * t$$

$$I_{p1} = 0,141 * 700^3 * 20 = 9,7 * 10^8$$

$$I_{p1} = 9,7 * 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_{p2} = \gamma * t^3 * H$$

$$I_{p2} = 0,141 * 20^3 * 900 = 1,02 * 10^6$$

$$I_{p2} = 1,02 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{pt} = 2 * (I_{p1} + (B * t) * e1^2) + 2 * (I_{p2} + (H * t) * e2^2)$$

$$I_{pt} = 2 * (9,7 * 10^8 + (700 * 20) * 440^2) + 2 * (1,02 * 10^6 + (900 * 20) * 340^2) = 1,157 * 10^{10}$$

$$I_{pt} = 1,157 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{ptx} = I_{pt} + S * e_x^2$$

$$I_{ptx} = 1,157 * 10^{10} + 62400 * 350^2 = 1,921 * 10^{10}$$

$$I_{ptx} = 1,921 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

$$I_{ptx1} = I_{ptx} + S * e_y^2$$

$$I_{ptx1} = 1,921 * 10^{10} + 62400 * 430^2 = 3,075 * 10^{10}$$

$$I_{ptx1} = 3,075 * 10^{10} \text{ mm}^4$$

Kde:

t	[mm]	-tloušťka stěny nosníku
e1	[mm]	-posun tělesa 1 v ose y do těžiště
e2	[mm]	-posun tělesa 2 v ose x do těžiště
γ	[-]	-součinitel pro krut obdélníkového průřezu, dle [3] str.: 38
I _{p1}	[mm ⁴]	-polární moment profilu 1
I _{p2}	[mm ⁴]	-polární moment profilu 2
I _{pt}	[mm ⁴]	-polární moment celého průřezu v těžišti
I _{ptx}	[mm ⁴]	-polární moment celého průřezu posunutý po ose x
I _{ptx1}	[mm ⁴]	-polární moment celého průřezu posunutý do bodu 1