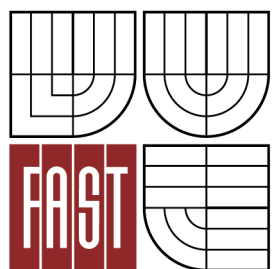




**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

# **NÁDVORNÍ JEŘÁBOVÁ DRÁHA AUTOVRAKOVIŠTĚ V BZENECI**

OUTDOOR CRANE RUNWAY OF CAR CEMETERY IN BZENEC

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ŠÁRKA TRACHTULCOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. MILAN PILGR, Ph.D.**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Bakalářský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav kovových a dřevěných konstrukcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Šárka Trachtulcová

**Název** Nádvoří jeřábová dráha autovrakoviště v Bzenci

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Milan Pilgr, Ph.D.

**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....  
prof. Ing. Marcela Karmazínová, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **Podklady a literatura**

Požadavky na provozní a dispoziční řešení

Literatura doporučená vedoucím bakalářské práce

## **Zásady pro vypracování**

Navrhněte nosnou ocelovou konstrukci nádvorní jeřábové dráhy v areálu autovrakoviště pro pojezd mostového jeřábu nosnosti 32 t. Požadavky na minimální půdorysné rozměry – rozchod dráhy 20 m, délka dráhy 60 m. Klimatická zatížení uvažujte pro lokalitu Bzenec.

Požadované výstupy:

Technická zpráva

Statický výpočet hlavních nosných částí konstrukce

Výkresová dokumentace v rozsahu stanoveném vedoucím bakalářské práce

## **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
Ing. Milan Pilgr, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

### **Abstrakt**

Náplní bakalářské práce je návrh nosné ocelové konstrukce nádvorní jeřábové dráhy pro pojezd mostového jeřábu nosnosti 32 t. Jeřábová dráha se nachází v areálu autovrakoviště v lokalitě města Bzenec. Návrh je proveden pro jeřábovou dráhu o rozchodu 22,5 m a délce dráhy 60 m. Jeřábová dráha je tvořena plnostěnnými sloupy o výšce 8,0 m a rozteči 12 m, hlavními nosíky jeřábové dráhy, příhradovým vodorovným výztužným nosníkem a výztužným nosníkem v šikmé rovině. Součástí jeřábové dráhy jsou i brzdná ztužidla a základy. Základní použitý materiál je ocel pevnostní třídy S235.

### **Klíčová slova**

Ocelová nosná konstrukce, nádvorní jeřábová dráha, mostový jeřáb, hlavní nosník, výztužný nosník, brzdné ztužidlo, zatížení jeřáby, pohyblivé zatížení, kloubová patka, sloup.

### **Abstract**

The content of this bachelor thesis is a design of a steel structure outdoor crane runway for running bridge crane carrying capacity of 32 t. Crane runway is located at car cemetery in a town Bzenec. The proposal is made for the crane runway gauge of 22.5 meters and a length of 60 m. Crane track is made from solid columns with 8.0 m height and 12 m spacing, main beams crane runway, truss horizontal reinforcing beam and the reinforcing beam in an inclined plane. Part of the crane runway are also brake bracing and foundations. The basic material is steel strength grade S235.

### **Keywords**

Steel structure, outdoor crane runway, bridge crane, main beam, stiffener beam, brake bracing, crane load, dynamic load, simple column base, column

## **Bibliografická citace VŠKP**

Šárka Trachtulcová *Nádvorní jeřábová dráha autovrakoviště v Bzenci*. Brno, 2016. 208 s., 25 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav kovových a dřevěných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Milan Pilgr, Ph.D.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 21.5.2016

.....  
podpis autora  
Šárka Trachtulcová

## **Poděkování**

Poděkování patří především vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Pilgrovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce, za poskytnuté rady a také za čas při konzultacích. Dále bych ráda poděkovala své rodině a přátelům, kteří mě při studiu na vysoké škole a při tvorbě bakalářské práce podporovali.

## Obsah:

Úvod	1
Technická zpráva	2
Statický výpočet	8
1 Základní údaje mostového jeřábu	8
2 Zatížení jeřábové dráhy	11
2.1 Stálá zatížení	11
2.2 Proměnná zatížení	11
2.2.1 Zatížení jeřábem	11
2.2.2 Klimatické zatížení	17
2.3 Mimořádné zatížení	46
2.4 Únavové zatížení	47
2.5 Kombinace zatížení	48
3 Hlavní nosník jeřábové dráhy	49
3.1 MSÚ hlavního nosníku jeřábové dráhy	49
3.1.1 Vnitřní síly od zatížení	49
3.1.2 Kombinace zatížení	60
3.1.3 Průřez hlavního nosníku	63
3.1.4 Posouzení hlavního nosníku	64
3.2 MSP hlavního nosníku jeřábové dráhy	101
3.3 MSÚ FAT hlavního nosníku jeřábové dráhy	103
4 Vodorovný výztužný nosník	111
4.1 Vnitřní síly od zatížení	111
4.2 Dimenzování prutů	120
4.3 MSP vodorovného výztužného nosníku	133
5. Výztužný nosník v šikmé rovině	126
6 Brzdné ztužidlo	135
6.1 Zatížení vyvolávající účinky na brzdné ztužidlo	135
6.2 MSÚ účinky zatížení	137
6.3 MSP účinky zatížení	139
6.4 Kombinace zatížení	140
6.5 Dimenzování podélného ztužidla	140
7 Sloup	144



7.1 Zatížení	144
7.2 Kombinace zatížení	148
7.3 Dimenzování sloupu	150
8 Kotvení	164
Seznam použitých zkratk a symbolů	
Přílohy:	
01 Příčný řez	
02 Půdorys a podélný řez	
03 Detail kotvení	
04 Detail uložení hlavního nosníku	
05 Vnitřní síly vodorovného výztužného nosníku	

## **Úvod:**

Cílem této bakalářské práce je návrh nosné ocelové konstrukce nádvorní jeřábové dráhy v areálu autovrakoviště pro pojezd mostového jeřábu nosnosti 32 t. Předpokládá se, že rozměry přepravovaného břemene nepřekročí rozměry běžné dodávky. Pro stavbu byla jako základní materiál navržena ocel třídy S235 a pro vybrané prvky ocel S355. Půdorys objektu je obdélníkový o rozměrech 60,0 m x 23,0 m.

# Technická zpráva

## Předpoklady návrhu nosné konstrukce

### 1 Mezní stavy

V rámci statického posouzení byly nosné konstrukce dle ČSN EN 1993 ověřeny na:

#### 1.1 Mezní stav únosnosti

Prostá pevnost průřezu, vzpěrná pevnost prutů a konstrukce a pevnost spojů s uvážením vlivu ztráty stability na nejnepříznivější kombinaci návrhových hodnot zatížení. Byly brány mezní hodnoty materiálových vlastností pro nosnou ocelovou konstrukci použitého materiálu.

#### 1.2 Mezní stav použitelnosti

Přetvoření na nejnepříznivější hodnoty deformací z kombinací charakteristických hodnot zatížení. Mezní hodnoty materiálových vlastností pro nosnou ocelovou konstrukci brány pro použitý materiál. Hodnoty přetvoření porovnány s maximálními dovolenými.

### 2 Zatížení

Konstrukce byla navržena na účinky těchto zatížení:

#### 2.1 Stálé zatížení

- vlastní tíha konstrukce

#### 2.2 Proměnné zatížení

##### klimatické zatížení

- zatížení sněhem s charakteristickou hodnotou zatížení sněhem  $s_k=0,7\text{kPa}$  pro sněhovou oblast I. dle ČSN EN 1991-1-3

- zatížení větrem bylo uvažováno pro dva případy, a to pro zatížení větrem za provozu jeřábu a mimo provoz jeřábu.

V případě zatížení větrem mimo provoz jeřábu se uvažuje se základní výchozí rychlostí větru podle větrné oblasti definované v ČSN EN 1991-1-4, tedy  $v_{b,0}=25,0 \text{ ms}^{-1}$ .

Jestliže se posuzuje kombinace zatížení při současném provozu jeřábu, bere se jako maximální síla větru slučitelná s provozem jeřábu síla  $F_w^*$ , která se stanoví pro rychlost větru  $20 \text{ ms}^{-1}$

### **užitná zatížení**

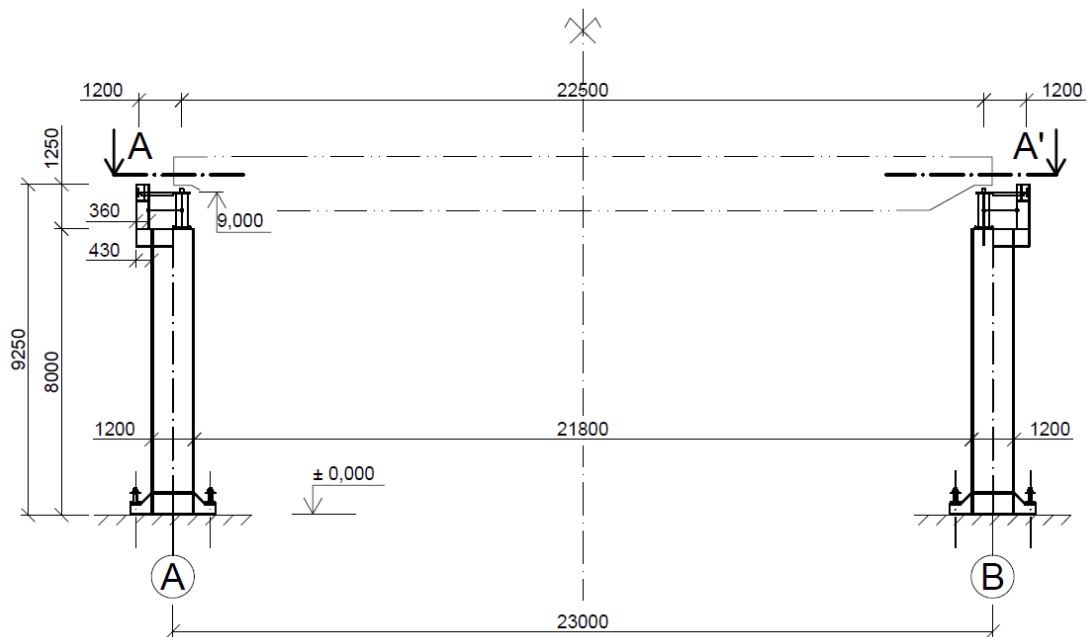
- užitná zatížení lávek  $Q_k=1,5 \text{ kN}$

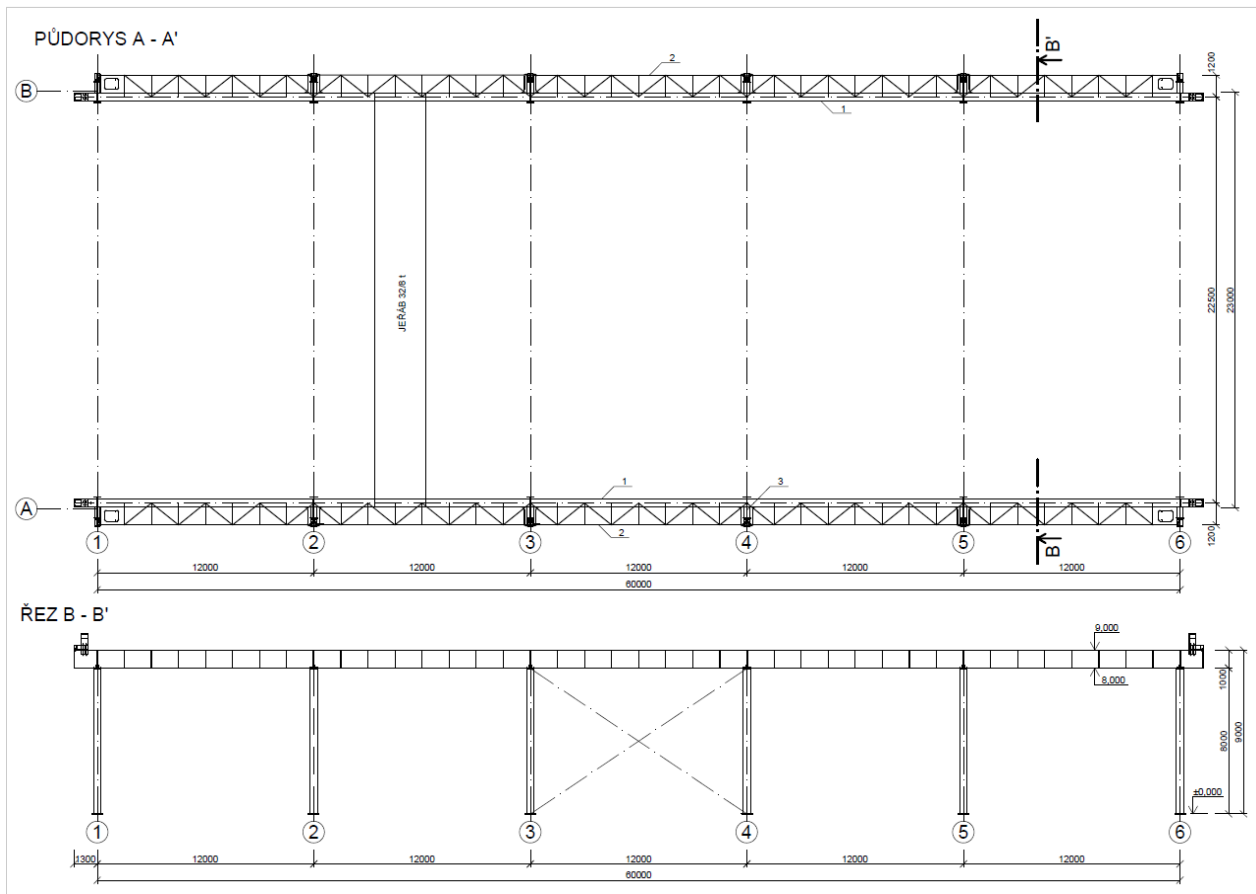
### **proměnná zatížení jeřábem**

- při běžných provozních podmínkách jsou proměnná zatížení od jeřábu výsledkem změn v čase a změn polohy. Zahrnují zatížení vlastní tíhou včetně zatížení kladkostrojů, setrvačné síly způsobené zrychlením, zpomalením a přícením a jiné dynamické účinky. Současné působení složek zatížení od jeřábu jsou uvažovány s ohledem na skupiny zatížení, uvedené v tabulce 2.2 normy ČSN EN 1991-3. Každá skupina zatížení se bere jako jedno charakteristické zatížení od jeřábu pro kombinace se zatíženími, která nejsou způsobena jeřáby. Dynamické složky vyvolané kmitáním v důsledku setrvačných a tlumících sil jsou obecně vyjádřeny dynamickými součiniteli  $\phi$ , kterými jsou násobeny statické hodnoty zatížení.

## Popis objektu

Navrhovaný objekt je tvořen dvěma řadami sloupů, na nichž je uložen hlavní nosník jeřábové dráhy. V každé řadě je šest sloupů o výšce 8,0 m a tvoří tedy pět polí hlavního nosníku s rozpětím 12,0 m. Konstrukci jeřábové dráhy dále tvoří vodorovný výztužný nosník umožňující převzetí příčných účinků zatížení. Přenos podélných zatížení zabezpečuje brzdný portál.





## Popis konstrukčního řešení

Jeřábová dráha se skládá z hlavního nosníku, vodorovného výztužného nosníku, výztužného nosníku v šikmé rovině, kolejnic, sloupů, patek, a brzdného ztužidla.

### 1 Hlavní nosník jeřábové dráhy

Hlavní nosník je navržen jako svařovaný plnostěnný jednoose symetrický průřez I konstantního průřezu s horní pásnicí tlustší než je pásnice spodní. Průřez má jednu osu symetrie. Horní pásnice, která je namáhána více, je navržena tlustší než pásnice spodní. Hlavní nosník je navržen z oceli S235. Výška nosníku je 1,00 m a šířka je 0,450 m. Hlavní nosník je uložen na sloupy kloubově, působí ze statického hlediska jako prostý nosník na rozpětí  $l=12,0$  m

## **2 Vodorovný výztužný nosník**

Vodorovný výztužný nosník jeřábové dráhy je zatížen bočními rázy jeřábu, vlastní tíhou a proměnným zatížením. Nosič je navržen příhradový, prostě uložený, na rozpětí  $l = 12,0$  m. Podpory nosníku jsou v místě opření nosníku o sloupy budovy. Vzdálenost těžišťových os pásů nosníku je navržena 1,2 m. Ve svislém směru je pás vodorovného výztužného nosníku podepřen po 3,0 m šikmým příhradovým nosníkem a působí jako spojitý nosník o čtyřech polích.

Pás vodorovného nosníku je navržen dvojicí nerovnoramenných úhelníků L.

Diagonály jsou navrženy z jednoho rovnoramenného úhelníku L.

Diagonály D3, D4 jsou navrženy z jednoho rovnoramenného úhelníku.

Svislice jsou navrženy taktéž z jednoho rovnoramenného úhelníku L. Na svislici je uložena revizní lávka.

## **3 Výztužný nosník v šikmé rovině**

Výztužný nosník v šikmé rovině je konstruován za účelem podepření hlavního nosníku jeřábové dráhy. Výztužný nosník v šikmé rovině je navržen z jednoho rovnoramenného úhelníku L.

## **4 Sloupy**

Podpory jeřábové dráhy přenáší svislé i vodorovné síly až do základové konstrukce. V příčném směru působí jako konzola. V podélném směru je uložen kloubově, podélné síly přejímá brzdné ztužidlo. Sloup je navržen ze svařovaného I profilu, který má dvě osy symetrie. Sloupy jsou navrženy o výšce 8,0 m a jsou na nich kloubově uloženy hlavní nosníky. Ke sloupu je připevněno brzdné ztužidlo.

## **5 Brzdné ztužidlo**

Brzdné ztužidlo je navrženo na působení podélného vodorovného zatížení a to tak, že pás je pouze tažen. V místě křížení mají společný bod a jejich vzpěrná délka je tedy poloviční. Jedná se o dvojici úhelníků UPE300

## **6 Povrchová úprava**

Veškeré ocelové prvky jsou opatřeny antikorozní úpravou povrchu.

## **7 Lávky jeřábových drah**

Lávka je navržena šířky 0,60 m pro bezpečný přístup v kterékoli poloze jeřábu.

## **8 Kotvení**

Kotvení je navrženo kotevní patkou z oceli S355, kdy tlakové napětí od ohybového momentu přenáší beton a tahové síly přenáší kotevní šroub. Posouvající síle vzdoruje úpalek HEB 360



# 1. ZÁKLADNÍ ÚDAJE MOSTOVÉHO JEŘÁBU:

- nosnost 32/8 t
- zdvihová třída HC2
- kategorie únavových účinků S<sub>5</sub>

s	22,5	m
a	270	mm
b	4500	mm
p <sub>1</sub>	850	mm
p <sub>2</sub>	780	mm
c	2050	mm
b <sub>r</sub>	100	mm
Q <sub>h</sub>	320	kN
Q <sub>t</sub>	84	kN
Q <sub>c</sub>	349	kN
v <sub>h</sub>	0,133	ms <sup>-1</sup>

b - rozvor kol

p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub> - vodorovná vzdálenost osy kola od konce nárazníku

c - vodorovný dojezd háku

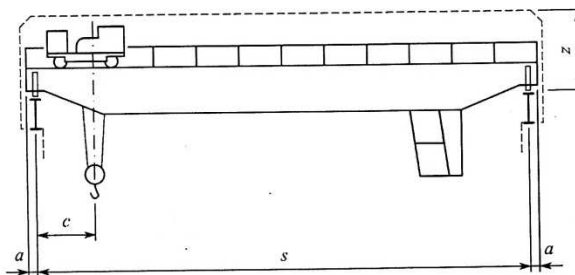
b<sub>r</sub> - šířka hlavy kolejnice

Q<sub>h</sub> - tíha břemene

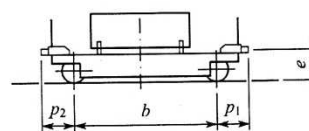
Q<sub>t</sub> - tíha kočky

Q<sub>c</sub> - tíha jeřábu s kočkou

v<sub>h</sub> - rychlost zdvihu kladkostroje



a) čelní pohled



b) boční pohled

## Konstrukční parametry jeřábu

- počet dvojic kol:

$$n = 2$$

- pohon hnacích kol:

separátní

- počet pohonů jednotlivých kol:

$$m_w = 2$$

- kombinace dvojic kol:

nezávislá kola (I)

- uložení kol vzhledem k bočním pohybům:

pevné/pevné (FF)

- vedení jeřábu na jeřábové dráze:

oboustranné nákolky

## 2. ZATÍŽENÍ JEŘÁBOVÉ DRÁHY:

### 2.1 STÁLÁ ZATÍŽENÍ:

Charakteristická hodnota vlastní tíhy větve jeřábové dráhy

kolejnice jeřábové dráhy	0,8 kNm <sup>-1</sup>
vlastní tíha nosníku jeřábové dráhy (odhad)	4,0 kNm <sup>-1</sup>
vlastní tíha vodorovného nosníku a lávky (odhad)	1,5 kNm <sup>-1</sup>
<hr/>	
stálé zatížení celkem	6,3 kNm <sup>-1</sup>

Dílčí součinitele zatížení vlastní tíhou větve jeřábové dráhy

nepříznivé působení	$\gamma_{G,sup} = 1,35$
příznivé působení	$\gamma_{G,inf} = 1,00$

### 2.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ:

#### 2.2.1 Zatížení jeřábem

Charakteristické hodnoty statických složek zatížení jeřábem

##### a) Tíha jeřábu

$$Q_{C,r,max} = \frac{1}{n} \left[ \frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t(s-c)}{s} \right] =$$

$$= \frac{1}{2} \left[ \frac{349 - 84}{2} + \frac{84(22,5 - 2,05)}{22,5} \right] = 104,423 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(max)} = \frac{1}{n} \left( \frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t c}{s} \right) =$$

$$= \frac{1}{2} \left( \frac{349 - 84}{2} + \frac{84 \cdot 2,05}{22,5} \right) = 70,077 \text{ kN}$$

$Q_{C,r,max}$  - maximální zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu

$Q_{C,r,(max)}$  - doprovodné zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu

$$Q_{C,r,min} = Q_{C,r,(max)} = 70,077 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(min)} = Q_{C,r,(max)} = 104,423 \text{ kN}$$

$Q_{C,r,(min)}$  - minimální zatížení jedním kolem nezatíženého jeřábu

$Q_{C,r,(min)}$  - doprovodné zatížení jedním kolem nezatíženého jeřábu

### b) Zatížení kladkostroje

$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h (s - c)}{s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{320(22,5 - 2,05)}{22,5} = 145,422 \text{ kN}$$

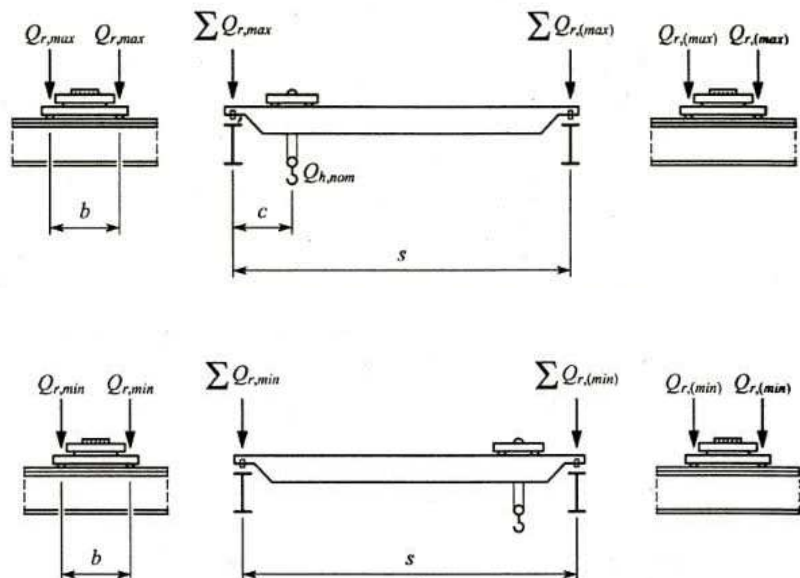
$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h c}{s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{320 \cdot 2,05}{22,5} = 14,578 \text{ kN}$$

$Q_{H,r,(max)}$  - maximální zatížení od kol zatíženého jeřábu

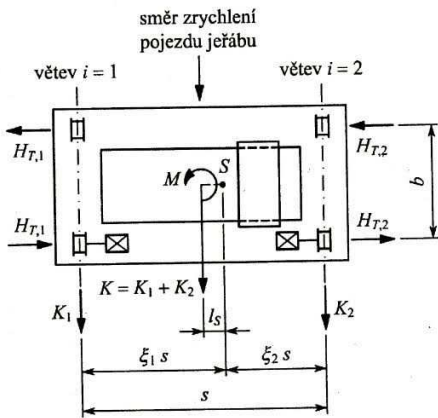
způsobené zatížením kladkostroje

$Q_{H,r,(max)}$  - doprovodné zatížení od kol zatíženého jeřábu

způsobené zatížením kladkostroje



### c) Zrychlení mostu jeřábu



- hnací síla při pohonu jednotlivých kol

$$K = \mu m_w Q_{C,r,\min} = 0,2 \cdot 2 \cdot 70,077 = 28,031 \text{ kN}$$

$\mu$  - součinitel tření pro kombinaci ocel - ocel

$$\mu = 0,2$$

$m_w$  - počet pohonů jednotlivých kol

$$m_w = 2$$

- síly v podélném směru  $H_{L,i}$

$$H_{L,i} = H_{L,1} = H_{L,2} = \frac{K}{n_r} = \frac{28,031}{2} = 14,016 \text{ kN}$$

$n_r$  - počet větví jeřábové dráhy

$$n_r = 2$$

- síly v příčném směru  $H_{T,i} = \xi_i \frac{M}{b}$

$M$  - statický moment hnací síly vzhledem k těžišti jeřábu

$b$  - rozvor kol

$\xi_i$  - podíl vzdálenosti těžiště jeřábu od osy jeřábové kolejnice

a rozpětí jeřábu

Index  $i$  značí větev jeřábové dráhy.

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r} = \frac{499,690}{669} = 0,747$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,747 = 0,253$$

$$\begin{aligned} \sum Q_{r,\max} &= n(Q_{C,r,\max} + Q_{H,r,\max}) = \\ &= 2(104,423 + 145,422) = 499,690 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\sum Q_r = Q_c + Q_h = 349 + 320 = 669 \text{ kN}$$

$$H_{T,1} = \xi_1 \frac{M}{b} = 0,747 \cdot \frac{155,796}{4,5} = 25,862 \text{ kN}$$

$$M = K \cdot l_s = 28,031 \cdot 5,558 = 155,796 \text{ kNm}$$

$l_s$  - vychýlení těžiště zatíženého jeřábu od poloviny jeho

rozpětí

$$l_s = (\xi_1 - 0,5)s = (0,747 - 0,5)22,5 = 5,558 \text{ m}$$

$s$  - rozchod dráhy

$$H_{T,2} = \xi_2 \frac{M}{b} = 0,253 \frac{155,796}{4,5} = 8,759 \text{ kN}$$

#### d) Příčení mostu jeřábu

- vodorovné síly od kol způsobené příčením jeřábu

$$H_{S,i,j,k} = f \lambda_{S,i,j,k} \sum Q_r$$

$f$  - součinitel reakcí při příčení ( $f = 0,3$ )

$\lambda_{S,i,j,k}$  - součinitel síly od kola

$\sum Q_r$  - součet svislých zatížení od kol zatíženého jeřábu na obou větvích jeřábové dráhy

Index  $i$  značí větev jeřábové dráhy.

Index  $j$  značí dvojici kol.

Index  $k$  značí směr síly (L = podélná, T = příčná).

Jeřáb je veden na dráze nákolky.

$$H_{S,1,1,T} = f \lambda_{S,1,1,T} \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,127 \cdot 669 = 25,489 \text{ kN}$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{\xi_2}{n} = \frac{0,253}{2} = 0,127$$

$$H_{S,2,1,T} = f \lambda_{S,2,1,T} \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,374 \cdot 669 = 75,062 \text{ kN}$$

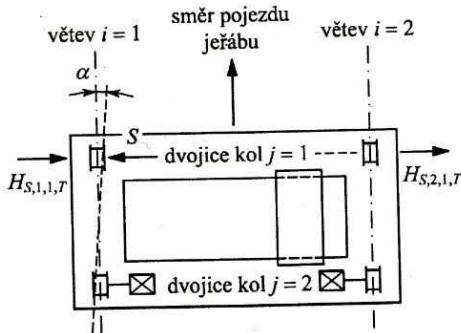
$$\lambda_{S,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{\xi_1}{n} = \frac{0,747}{2} = 0,374$$

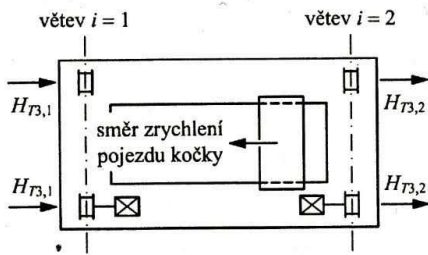
- síla od vodícího prostředku způsobená příčením jeřábu

$$S = f \lambda_S \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,5 \cdot 669 = 100,35 \text{ kN}$$

$$\lambda_S = 1 - \frac{\sum e_j}{nh} = 1 - \frac{1}{n} = 1 - \frac{1}{2} = 0,5$$

$\lambda_S$  - součinitel síly od vodícího prostředku





### e) Zrychlení kočky

- příčné vodorovné síly způsobené rozjezdem nebo brzděním kočky

$$H_{T,3,i} = H_{T,3,1} = H_{T,3,2} = \frac{0,1}{2n} (Q_h + Q_t) = \frac{0,1}{2 \cdot 2} (320 + 84) = 10,1 \text{ kN}$$

Charakteristické hodnoty zatížení jeřábem

Dynamická složka zatížení  $F_{\varphi,k} = \varphi_i F_k$

$\varphi_i$  - dynamický součinitel

$F_k$  - charakteristická hodnota statické složky zatížení

- hodnoty dynamických součinitelů

$$\varphi_1 = 1,1$$

$$\varphi_2 = \varphi_{2,\min} + \beta_2 v_h = 1,10 + 0,34 \cdot 0,133 = 1,145$$

$$\varphi_{2,\min} = 1,10$$

$$\beta_2 = 0,34$$

$$\varphi_3 = 1,21$$

$$\varphi_4 = 1,0$$

$$\varphi_5 = 1,5$$

#### 2.2.1.3 Kombinační součinitele pro zatížení jeřáby

$$\psi_0 = 1,0$$

$$\psi_1 = 0,9$$

$$\psi_2 = \frac{Q_c}{Q_c + Q_h} = \frac{349}{349 + 320} = 0,522$$

Dílčí součinitel zatížení jeřáby

$$\gamma_Q = 1,35$$

Zatížení od jeřábu se má brát jako jedno charakteristické zatížení podle tabulky se skupinami zatížení.

	Značka	Kapitola	Skupina zatížení										
			Mezní stav únosnosti							Zkušební zatížení	Mimořádná		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Vlastní tíha jeřábu	$Q_c$	2.čvn	$\varphi_1$	$\varphi_1$	1	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	1	$\varphi_1$	1	1
2	Zatížení kladkostroje	$Q_H$	2.čvn	$\varphi_2$	$\varphi_3$	-	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\varphi_4$	$\eta^{11}$	-	1	1
3	Zrychlení mostu jeřábu	$H_U, H_T$	2.čvc	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	$\varphi_5$	-	-	-	$\varphi_5$	-	-
4	Přičení mostu jeřábu	$H_S$	2.čvc	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Zrychlení nebo brzdění kočky nebo pojízdného kladkostroje	$H_{T3}$	2.čvc	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Vitr při provozu	$F_w^*$	Příloha A	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Zkušební zatížení	$Q_T$	2.řij	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_6$	-	-
8	Síly na nárazník	$H_B$	2.lis	-	-	-	-	-	-	-	-	$\varphi_7$	-
9	Klopné síly	$H_{TA}$	2.lis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

POZNÁMKA Vitr při provozu - viz příloha A

<sup>1)</sup>  $\eta$  je část zatížení kladkostroje, která zůstává, když je odstraněno užitečné zatížení, ale není zahrnuta do vlastní tíhy jeřábu

## 2.2.2 Zatížení lávek

- jsou-li určeny pouze pro přístup

$$Q_k = 1,5 \text{ kN}$$

Předpokládá se, že svislé soustředěné zatížení působí na čtvercové ploše o straně 0,3 m

Kombinační součinitele pro zatížení lávek

$$\psi_0 = 1,0$$

$$\psi_1 = 0,9$$

$$\psi_2 = 0,8$$

Dílčí součinitel zatížení lávek

$$\gamma_Q = 1,50$$



## 2.2.2 Klimatické zatížení

### 2.2.2.1 Zatížení větrem

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{ref}$$

$F_w$  - síla od větru

$$z_0 = 0,3 m$$

$z_0$  - parametr drsnosti terénu (kategorie terénu III)

$$z_{0,II} = 0,05 m$$

$z_{0,II}$  -  $z_0$  pro kategorii terénu II

$$c_s c_d = 1,0$$

$c_s c_d$  - součinitel konstrukce

$$k_f = 1,0$$

$k_f$  - součinitel turbulence

$$c_0(z) = 1,0$$

$c_0(z)$  - součinitel expozice

$$c_{dir} = 1,0$$

$c_{dir}$  - součinitel směru větru

$$c_{season} = 1,0$$

$c_{season}$  - součinitel ročního období

$$\rho = 1,25 \text{ kgm}^{-3} = 0,0125 \text{ kNm}^{-3}$$

$\rho$  - měrná hmotnost vzduchu

**Zatížení větrem za provozu**

$$v_{b,0} = 20,0 \text{ ms}^{-1}$$

$v_{b,0}$  - výchozí základní rychlost větru

**1. Vítr podélný**

a) Jeřábový most

$$z = 10 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,285] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,0125 \cdot 15,080^2 = 4,257 \text{ kNm}^{-2} \end{aligned}$$

$q_p(z)$  - maximální dynamický tlak

$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,3}\right)} = 0,285$$

$I_v(z)$  - intenzita turbulence

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,754 \cdot 1,0 \cdot 20 = 15,080 \text{ ms}^{-1}$$

$v_m(z)$  - střední rychlost větru

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,3}\right) = 0,754$$

$c_r(z)$  - součinitel drsnosti terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

$k_r$  - součinitel terénu

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 = 20 \text{ ms}^{-1}$$

$v_b$  - základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí v terénu

kategorie II

$$A_{ref} = 2 \cdot 32,925 = 65,850 \text{ m}^2$$

$A_{ref}$  - referenční plocha

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,82 = 1,64$$

$c_f$  - součinitel síly

$$c_{f,0} = 2,0$$

$$\psi_{\lambda} = 0,82$$

$\psi_{\lambda}$  - součinitel koncového efektu

$$\lambda_1 = \frac{2 \cdot l}{b} = \frac{2 \cdot 23,040}{1,5} = 30,720$$

$$\lambda_2 = 70$$

$$\lambda = \min\{\lambda_1; \lambda_2\} = \min\{30,720; 70\} = 30,720$$

$\lambda$  - efektivní štíhlost

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = 1,0$$

$\varphi$  - součinitel plnosti

$$F_{w,L,most}^* = 1,0 \cdot 1,64 \cdot 4,257 \cdot 65,850 = 459,730 \text{ kN}$$

### b) Břemeno

$$z = 6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,334] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,0125 \cdot 12,880^2 = 3,461 \text{ kNm}^{-2} \end{aligned}$$

$$I_v(z) = \frac{k_f}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{6}{0,3}\right)} = 0,334$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,644 \cdot 1,0 \cdot 20 = 12,880 \text{ ms}^{-1}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{6}{0,3}\right) = 0,644$$

$$A_{ref} = 3,000 \cdot 7,000 = 21,000 \text{ m}^2$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_{\lambda} = 2,370 \cdot 1,0 \cdot 0,610 = 1,446$$

$$\frac{d}{b} = \frac{2}{3} = 0,667 \Rightarrow c_{f,0} = 2,370$$

$$\lambda = \min\left\{\frac{2 \cdot l}{b}; 70\right\} = \min\left\{\frac{2 \cdot 2}{3}; 70\right\} = \min\{1,333; 70\} = 1,333$$

$\lambda$  určená odhadem s přihlédnutím k tabulce 7.16 normy ČSN EN 1991-1-4

$$\varphi = 1,0$$

$$\psi_\lambda = 0,610$$

$$F_{w,L,břemeno}^* = 1,0 \cdot 1,446 \cdot 3,461 \cdot 21,000 = 105,097 \text{ kN}$$

### c) Břemeno - tření větru

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot A_{fr}$$

$F_{fr}$  - třecí síla

$$c_{fr} = 0,01$$

$c_{fr}$  - součinitel tření

$$q_p(z) = 3,461 \text{ kNm}^{-2}$$

$$A_{fr} = 2 \cdot 2 \cdot 3 + 2 \cdot 7 \cdot 2 = 40,000 \text{ m}^2$$

$$F_{fr,L,břemeno}^* = 0,01 \cdot 3,461 \cdot 40,000 = 1,384 \text{ kN}$$

### d) Sloup

$$z = 8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,305] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,0125 \cdot 14,120^2 = 3,906 \text{ kNm}^{-2} \end{aligned}$$

$$I_v(z) = \frac{k_f}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{8}{0,3}\right)} = 0,305$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,706 \cdot 1,0 \cdot 20 = 14,120 \text{ ms}^{-1}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{8}{0,3}\right) = 0,706$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,91 = 1,82$$

$$c_{f,0} = 2,0$$

$$\psi_\lambda = 0,91$$

$$\lambda_1 = \frac{l}{b} = \frac{8,0}{1,2} = 6,667$$

$$\lambda_2 = 70$$

$$\lambda = \max\{\lambda_1; \lambda_2\} = \max\{6,667; 70\} = 70$$

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = 1,0$$

Vítr působí spojitě kolmo na výšku sloupu:

$$c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot d = 1,0 \cdot 1,82 \cdot 3,906 \cdot 1,2 = 8,531 \text{ kNm}^{-1}$$

### e) Hlavní nosník - tření větru

$$z = 9 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,294] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,0125 \cdot 14,620^2 = 4,085 \text{ kNm}^{-2} \end{aligned}$$

$$I_v(z) = \frac{k_f}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{9}{0,3}\right)} = 0,294$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,731 \cdot 1,0 \cdot 20 = 14,620 \text{ ms}^{-1}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{9}{0,3}\right) = 0,731$$

Třecí plocha 1 m hlavního nosníku:

$$\begin{aligned} A_{fr}' &= 4 \cdot b - 2 \cdot t_w + 2 \cdot t_{f1} + 2 \cdot t_{f2} + 2 \cdot h_w = \\ &= 4 \cdot 0,450 - 2 \cdot 0,012 + 2 \cdot 0,028 + 2 \cdot 0,022 + 2 \cdot 0,950 = \\ &= 3,776 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Vítr působí spojitě ve směru osy nosníku po celé délce:

$$c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot A_{fr}' = 0,01 \cdot 4,085 \cdot 3,776 = 0,154 \text{ kNm}^{-1}$$

f) Lávka

$$w = q_p(z) \cdot c_{p,net}$$

$w$  - tlak větru

$c_{p,net}$  - součinitel výsledného tlaku

$$\alpha = 0^\circ$$

$\alpha$  - úhel sklonu

$$\varphi = 0$$

$\varphi$  - součinitel plnosti

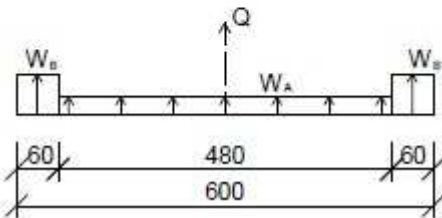
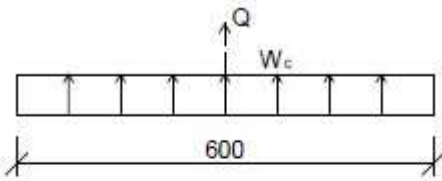
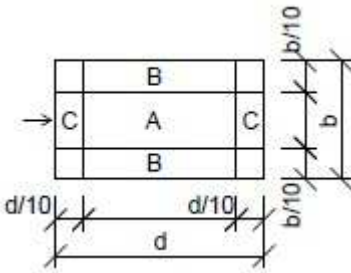
$$q_p(z) = 4,085 \text{ kNm}^{-2}$$

Součinitele výsledného tlaku:

$$c_{p,net,A} = -0,6$$

$$c_{p,net,B} = -1,3$$

$$c_{p,net,C} = -1,4$$



Záporné znaménko značí působení zatížení směrem nahoru.

Tlak větru:

$$w_A = q_p(z) \cdot c_{p,net,A} = 4,085 \cdot (-0,6) = -2,451 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z) \cdot c_{p,net,B} = 4,085 \cdot (-1,3) = -5,311 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_C = q_p(z) \cdot c_{p,net,C} = 4,085 \cdot (-1,4) = -5,719 \text{ kNm}^{-2}$$

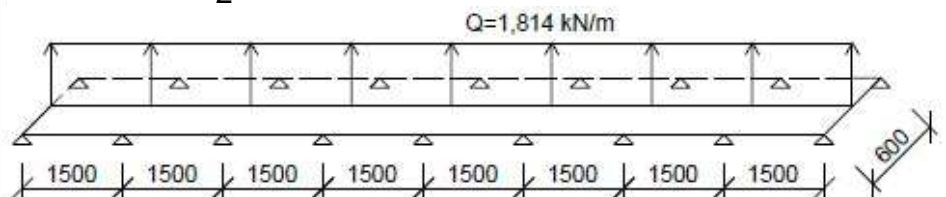
Náhradní břemeno ve vnitřním poli:

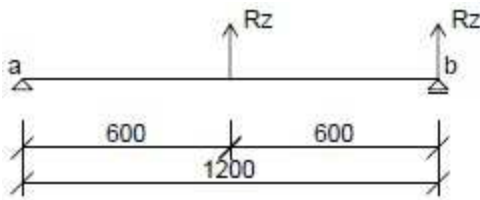
$$Q = 2 \cdot w_B \cdot \frac{b}{10} + w_A \cdot (b - 2 \cdot \frac{b}{10}) =$$

$$= 2 \cdot 5,311 \cdot \frac{0,6}{10} + 2,451 \cdot (0,6 - 2 \cdot \frac{0,6}{10}) = 1,814 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R_z = \frac{1,5 \cdot 1,814}{2} = 1,361 \text{ kN}$$

$$R_{z,krajní} = \frac{0,75 \cdot 1,814}{2} = 0,680 \text{ kN}$$





$$R_a = \frac{R_z \cdot 0,6}{1,2} = \frac{1,361 \cdot 0,6}{1,2} = 0,817 \text{ kN}$$

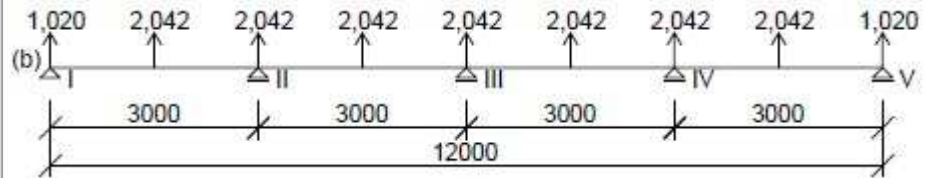
$$R_{a,krajní} = \frac{R_{z,krajní} \cdot 0,6}{1,2} = \frac{0,680 \cdot 0,6}{1,2} = 0,340 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{R_z(0,6+1,2)}{1,2} = \frac{1,361 \cdot (0,6+1,2)}{1,2} = 2,042 \text{ kN}$$

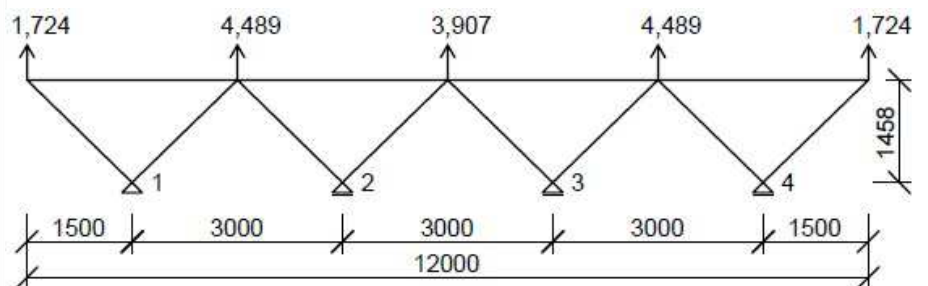
$$R_{b,krajní} = \frac{R_{z,krajní}(0,6+1,2)}{1,2} = \frac{0,680 \cdot (0,6+1,2)}{1,2} = 1,020 \text{ kN}$$

$R_a$  působí na horní pásnici hlavního nosníku

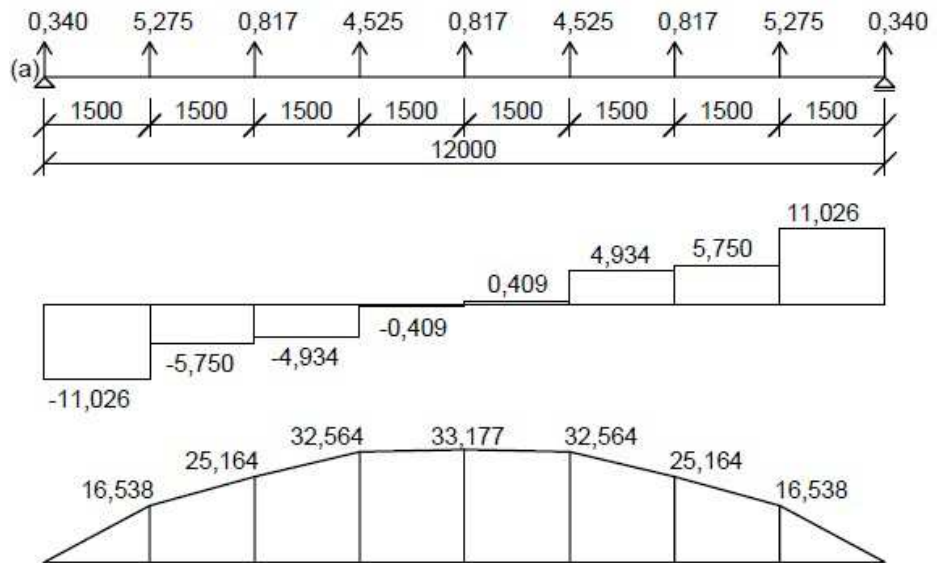
$R_b$  působí na pás vodorovného výztužného nosníku



podpora:	$R_z(b)$ [kN]
I	1,724
II	4,489
III	3,907
IV	4,489
V	1,724



podpora:	$R$ [kN]
1	4,458
2	3,708
3	3,708
4	4,458



$$R = 11,366 \text{ kN}$$

$$M_{(M_{\max,F})} = 32,717 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{odp}} = 0,409 \text{ kN}$$

g) Lávka - tření větru

$$c_{fr} = 0,01$$

$$q_p(z) = 4,085 \text{ kNm}^{-2}$$

Vítr působí plošně:

$$c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot 2 = 0,01 \cdot 4,085 \cdot 2 = 0,082 \text{ kNm}^{-2}$$

Reakce nosníků byly určeny s pomocí Scia Engineer



**Síla od a) + b) + c):**

$$F_{most} = F_{w,L,most}^* = 459,730 \text{ kN}$$

$$F_{břemeno} = F_{w,L,břemeno}^* + F_{fr,L,břemeno}^* = \\ = 105,097 + 1,384 = 106,481 \text{ kN}$$

$$\sum M_{ia} = 0:$$

$$F_{břemeno} \cdot 2,050 + F_{most} \cdot 11,250 - R_b \cdot 22,500 = 0$$

$$106,481 \cdot 2,050 + 459,730 \cdot 11,250 - R_b \cdot 22,500 = 0$$

$$R_b = 239,567 \text{ kN}$$

$$\sum M_{ia} = 0:$$

$$F_{most} \cdot 11,250 + F_{břemeno} \cdot (22,500 - 2,050) - R_a \cdot 22,500 = 0$$

$$459,730 \cdot 11,250 + 106,481(22,500 - 2,050) - R_a \cdot 22,500 = 0$$

$$R_a = 326,644 \text{ kN}$$

**2. Vítr příčný****a) Hlavní nosník**

$$q_p(z) = 4,085 \text{ kNm}^{-2}$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,91 = 1,82$$

$$\varphi = 1,0$$

$$\lambda_1 = \frac{1,4 \cdot l}{b} = \frac{1,4 \cdot 60}{1} = 84$$

$$\lambda_2 = 70$$

$$\lambda = \min\{\lambda_1; \lambda_2\} = \min\{84; 70\} = 70$$

$$\psi_\lambda = 0,91$$

Vítr působí spojitě kolmo na nosník ve vodorovném směru:

$$c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot h = 1,0 \cdot 1,82 \cdot 4,085 \cdot 1,0 = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

**b) Jeřábový most**

$$q_p(z) = 4,257 \text{ kNm}^{-2}$$

$$A_{ref} = 5,108 \text{ m}^2$$

$$F_{w,T,most}^* = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 4,257 \cdot 5,108 = 21,745 \text{ kN}$$

Síla na jedno kolo jeřábu:

$$\frac{F_{w,T,most}^*}{2} = \frac{21,745}{2} = 10,873 \text{ kN}$$

**c) Jeřábový most - tření větru**

$$A_{fr} = 4 \cdot 32,925 = 131,700 \text{ m}^2$$

$$F_{fr,T,most}^* = 0,01 \cdot 4,257 \cdot 131,700 = 5,606 \text{ kN}$$

Síla na jedno kolo jeřábu:

$$\frac{F_{fr,T,most}^*}{2} = \frac{5,606}{2} = 2,803 \text{ kN}$$

**d) Břemeno**

$$q_p(z) = 3,461 \text{ kNm}^{-2}$$

$$A_{ref} = 21,000 \text{ m}^2$$

$$F_{w,T,břemeno}^* = 1,0 \cdot 1,446 \cdot 3,461 \cdot 21,000 = 105,097 \text{ kN}$$

**e) Břemeno - tření větru**

$$F_{fr,T,břemeno}^* = 1,384 \text{ kN}$$

**f) Sloup**

$$q_p(z) = 3,906 \text{ kNm}^{-2}$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,91 = 1,82$$

$$\varphi = 1,0$$

$$\lambda_1 = \frac{l}{b} = \frac{8}{0,3} = 26,7$$

$$\lambda_2 = 70$$

$$\lambda = \max\{\lambda_1; \lambda_2\} = \max\{26,7; 70\} = 70$$

$$\psi_\lambda = 0,91$$

Vítr působí spojitě kolmo na výšku sloupu:

$$c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot b = 1,0 \cdot 1,82 \cdot 3,906 \cdot 0,3 = 2,133 \text{ kNm}^{-1}$$

**g) Lávka**

$$w = q_p(z) \cdot c_{p,net}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\varphi = 0$$

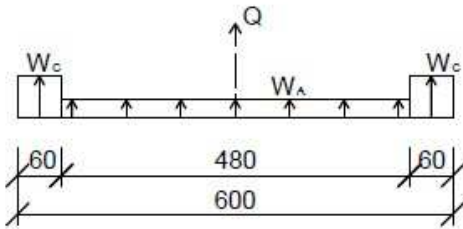
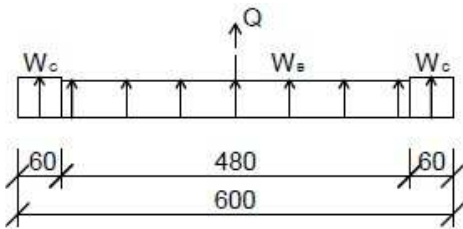
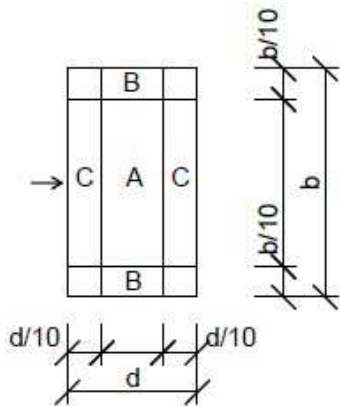
$$q_p(z) = 4,085 \text{ kNm}^{-2}$$

Součinitele výsledného tlaku:

$$c_{p,net,A} = -0,6$$

$$c_{p,net,B} = -1,3$$

$$c_{p,net,C} = -1,4$$



Záporné znaménko značí působení zatížení směrem nahoru.

Tlak větru:

$$w_A = q_p(z) \cdot c_{p,net,A} = 4,085 \cdot (-0,6) = -2,451 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z) \cdot c_{p,net,B} = 4,085 \cdot (-1,3) = -5,311 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_C = q_p(z) \cdot c_{p,net,C} = 4,085 \cdot (-1,4) = -5,719 \text{ kNm}^{-2}$$

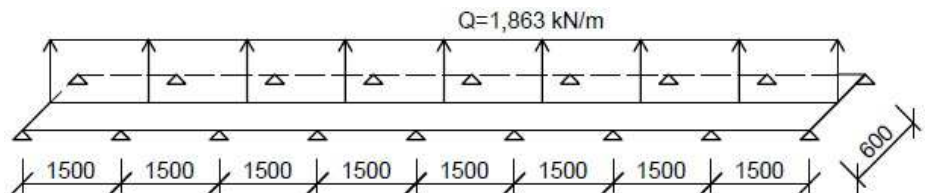
Náhradní břemeno ve vnitřním poli:

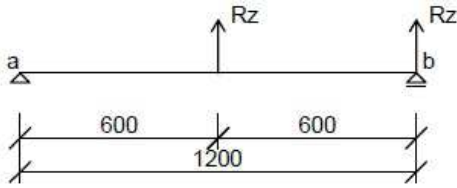
$$Q = 2 \cdot w_c \cdot \frac{b}{10} + w_A \cdot (b - 2 \cdot \frac{b}{10}) =$$

$$= 2 \cdot 5,719 \cdot \frac{0,6}{10} + 2,451 \cdot (0,6 - 2 \cdot \frac{0,6}{10}) = 1,863 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R_z = \frac{1,5 \cdot 1,863}{2} = 1,397 \text{ kN}$$

$$R_{z,krajní} = \frac{0,75 \cdot 1,863}{2} = 0,699 \text{ kN}$$





$$R_a = \frac{R_z \cdot 0,6}{1,2} = \frac{1,397 \cdot 0,6}{1,2} = 0,699 \text{ kN}$$

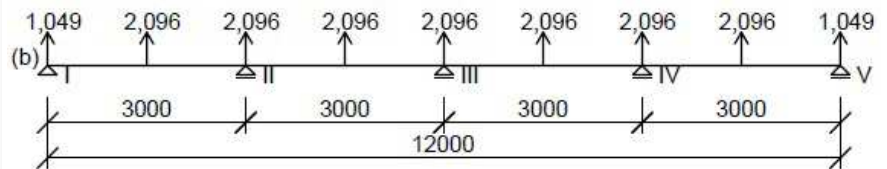
$$R_{a,krajní} = \frac{R_{z,krajní} \cdot 0,6}{1,2} = \frac{0,699 \cdot 0,6}{1,2} = 0,350 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{R_z(0,6+1,2)}{1,2} = \frac{1,397 \cdot (0,6+1,2)}{1,2} = 2,096 \text{ kN}$$

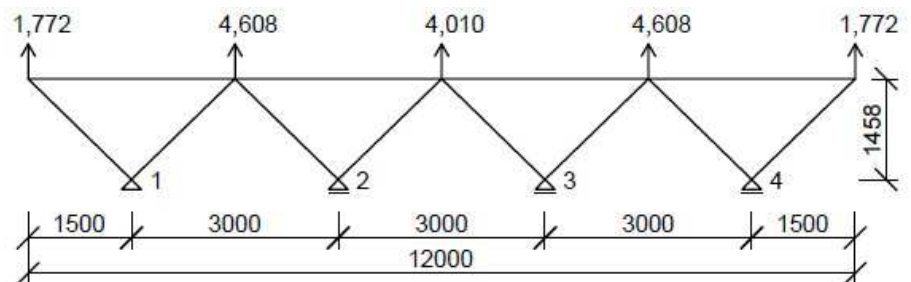
$$R_{b,krajní} = \frac{R_{z,krajní}(0,6+1,2)}{1,2} = \frac{0,699 \cdot (0,6+1,2)}{1,2} = 1,049 \text{ kN}$$

$R_a$  působí na horní pásnici hlavního nosníku

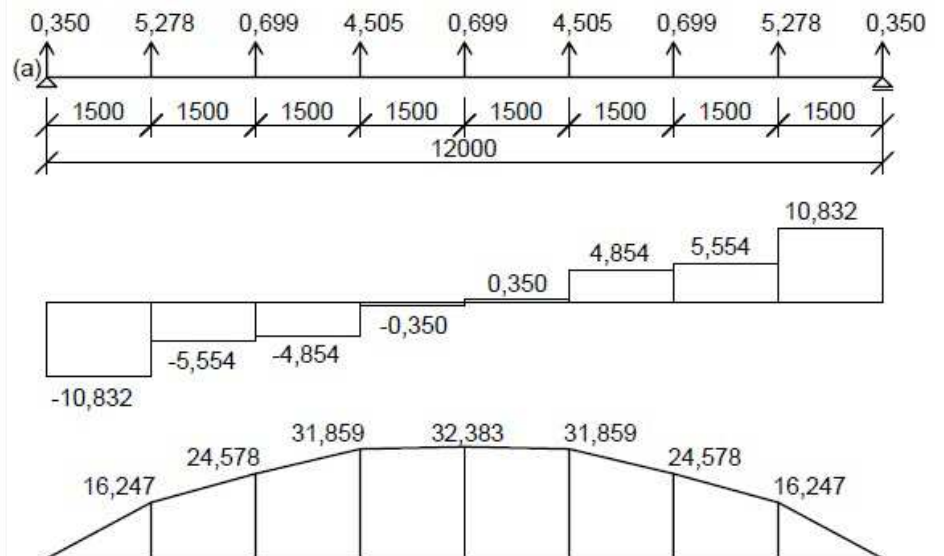
$R_b$  působí na pás vodorovného výztužného nosníku



podpora:	$R_z(b)$ [kN]
I	1,772
II	4,608
III	4,010
IV	4,608
V	1,772



podpora:	$R$ [kN]
1	4,579
2	3,806
3	3,806
4	4,579



$$R = 11,182 \text{ kN}$$

$$M_{(M_{\max,F})} = 31,990 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{odp}} = 0,350 \text{ kN}$$

Reakce nosníků byly určeny s pomocí Scia Engineer

### f) Lávka - tření větru

- zanedbáme

**Síla od b) + c) + d) + e) na jedno kolo jeřábu:**

$$F_{w,T, \text{jeřáb}}^* = \frac{F_{w,T, \text{břemeno}}^* + F_{fr,T, \text{břemeno}}^*}{2} + \frac{F_{w,T, \text{most}}^* + F_{fr,T, \text{most}}^*}{2} =$$

$$= \frac{105,097 + 1,384}{2} + \frac{21,745 + 5,606}{2} = 66,916 \text{ kN}$$

**Zatížení větrem mimo provoz**

větrná oblast II  $\Rightarrow v_{b,0} = 25,0 \text{ ms}^{-1}$

$v_{b,0}$  - výchozí základní rychlost větru

**1. Vítr podélný****a) Jeřábový most**

$z = 10 \text{ m}$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) =$$

$$= [1 + 7 \cdot 0,285] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,0125 \cdot 18,850^2 = 6,651 \text{ kNm}^{-2}$$

$q_p(z)$  - maximální dynamický tlak

$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,3}\right)} = 0,285$$

$I_v(z)$  - intenzita turbulence

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,754 \cdot 1,0 \cdot 25 = 18,850 \text{ ms}^{-1}$$

$v_m(z)$  - střední rychlost větru

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,3}\right) = 0,754$$

$c_r(z)$  - součinitel drsnosti terénu

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215$$

$k_r$  - součinitel terénu

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ ms}^{-1}$$

$v_b$  - základní rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí v terénu

kategorie II

$$A_{ref} = 2 \cdot 32,925 = 65,850 \text{ m}^2$$

$A_{ref}$  - referenční plocha

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,82 = 1,64$$

$c_f$  - součinitel síly

$$c_{f,0} = 2,0$$

$$\psi_{\lambda} = 0,82$$

$\psi_{\lambda}$  - součinitel koncového efektu

$$\lambda_1 = \frac{2 \cdot l}{b} = \frac{2 \cdot 23,040}{1,5} = 30,720$$

$$\lambda_2 = 70$$

$$\lambda = \min\{\lambda_1; \lambda_2\} = \min\{30,720; 70\} = 30,720$$

$\lambda$  - efektivní štíhlost

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = 1,0$$

$\varphi$  - součinitel plnosti

$$F_{w,L,most}^* = 1,0 \cdot 1,64 \cdot 6,651 \cdot 65,850 = 718,268 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{w,L,most}^*}{2} = 359,134 \text{ kN}$$



**b) Sloup**

$$z = 8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,305] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,0125 \cdot 17,650^2 = 6,104 \text{ kNm}^{-2} \end{aligned}$$

$$I_v(z) = \frac{k_f}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{8}{0,3}\right)} = 0,305$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,706 \cdot 1,0 \cdot 25 = 17,650 \text{ ms}^{-1}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{8}{0,3}\right) = 0,706$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,91 = 1,82$$

$$c_{f,0} = 2,0$$

$$\psi_\lambda = 0,91$$

$$\lambda_1 = \frac{l}{b} = \frac{8,0}{1,2} = 6,667$$

$$\lambda_2 = 70$$

$$\lambda = \max\{\lambda_1; \lambda_2\} = \max\{6,667; 70\} = 70$$

$$\varphi = \frac{A}{A_c} = 1,0$$

Vítr působí spojitě kolmo na výšku sloupu:

$$c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot d = 1,0 \cdot 1,82 \cdot 6,104 \cdot 1,2 = 13,331 \text{ kNm}^{-1}$$

**c) Hlavní nosník - tření větru**

$$z = 9 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} q_p(z) &= [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = \\ &= [1 + 7 \cdot 0,294] \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,0125 \cdot 18,275^2 = 6,383 \text{ kNm}^{-2} \end{aligned}$$

$$I_v(z) = \frac{k_f}{c_o(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{9}{0,3}\right)} = 0,294$$

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b = 0,731 \cdot 1,0 \cdot 25 = 18,275 \text{ ms}^{-1}$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{9}{0,3}\right) = 0,731$$

Třecí plocha 1 m hlavního nosníku:

$$\begin{aligned} A_{fr}' &= 4 \cdot b - 2 \cdot t_w + 2 \cdot t_{f1} + 2 \cdot t_{f2} + 2 \cdot h_w = \\ &= 4 \cdot 0,450 - 2 \cdot 0,012 + 2 \cdot 0,028 + 2 \cdot 0,022 + 2 \cdot 0,950 = \\ &= 3,776 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Vítr působí spojitě ve směru osy nosníku po celé délce:

$$c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot A_{fr}' = 0,01 \cdot 6,383 \cdot 3,776 = 0,241 \text{ kNm}^{-1}$$

**d) Lávka**

$$w = q_p(z) \cdot c_{p,net}$$

$w$  - tlak větru

$c_{p,net}$  - součinitel výsledného tlaku

$$\alpha = 0^\circ$$

$\alpha$  - úhel sklonu

$$\varphi = 0$$

$\varphi$  - součinitel plnosti

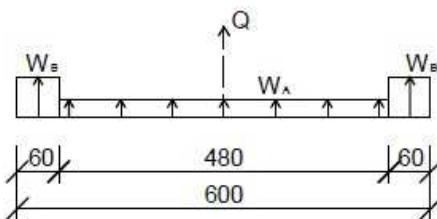
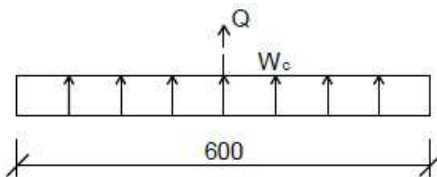
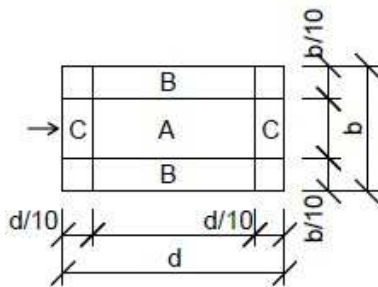
$$q_p(z) = 6,383 \text{ kNm}^{-2}$$

Součinitele výsledného tlaku:

$$c_{p,net,A} = -0,6$$

$$c_{p,net,B} = -1,3$$

$$c_{p,net,C} = -1,4$$



Záporné znaménko značí působení zatížení směrem dolů.

Tlak větru:

$$w_A = q_p(z) \cdot c_{p,net,A} = 6,383 \cdot (-0,6) = -3,830 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z) \cdot c_{p,net,B} = 6,383 \cdot (-1,3) = -8,298 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_C = q_p(z) \cdot c_{p,net,C} = 6,383 \cdot (-1,4) = -8,936 \text{ kNm}^{-2}$$

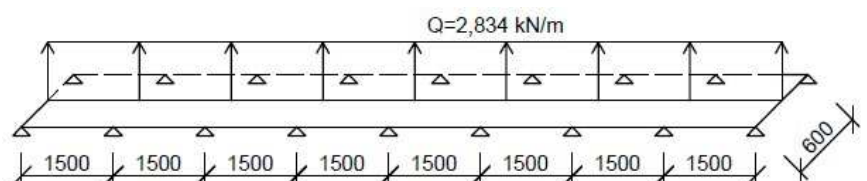
Náhradní břemeno ve vnitřním poli:

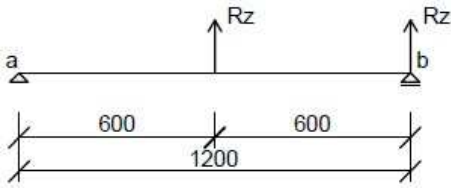
$$Q = 2 \cdot w_B \cdot \frac{b}{10} + w_A \cdot (b - 2 \cdot \frac{b}{10}) =$$

$$= 2 \cdot 8,298 \cdot \frac{0,6}{10} + 3,830 \cdot (0,6 - 2 \cdot \frac{0,6}{10}) = 2,834 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R_z = \frac{1,5 \cdot 2,834}{2} = 2,126 \text{ kN}$$

$$R_{z,krajní} = \frac{0,75 \cdot 2,834}{2} = 1,063 \text{ kN}$$





$$R_a = \frac{R_z \cdot 0,6}{1,2} = \frac{2,126 \cdot 0,6}{1,2} = 1,063 \text{ kN}$$

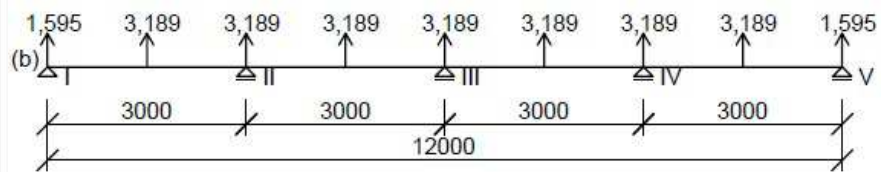
$$R_{a,krajní} = \frac{R_{z,krajní} \cdot 0,6}{1,2} = \frac{1,063 \cdot 0,6}{1,2} = 0,532 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{R_z(0,6+1,2)}{1,2} = \frac{2,126 \cdot (0,6+1,2)}{1,2} = 3,189 \text{ kN}$$

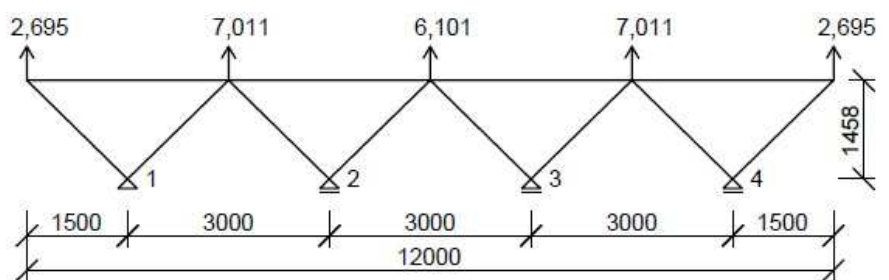
$$R_{b,krajní} = \frac{R_{z,krajní}(0,6+1,2)}{1,2} = \frac{1,063 \cdot (0,6+1,2)}{1,2} = 1,595 \text{ kN}$$

$R_a$  působí na horní pásnici hlavního nosníku

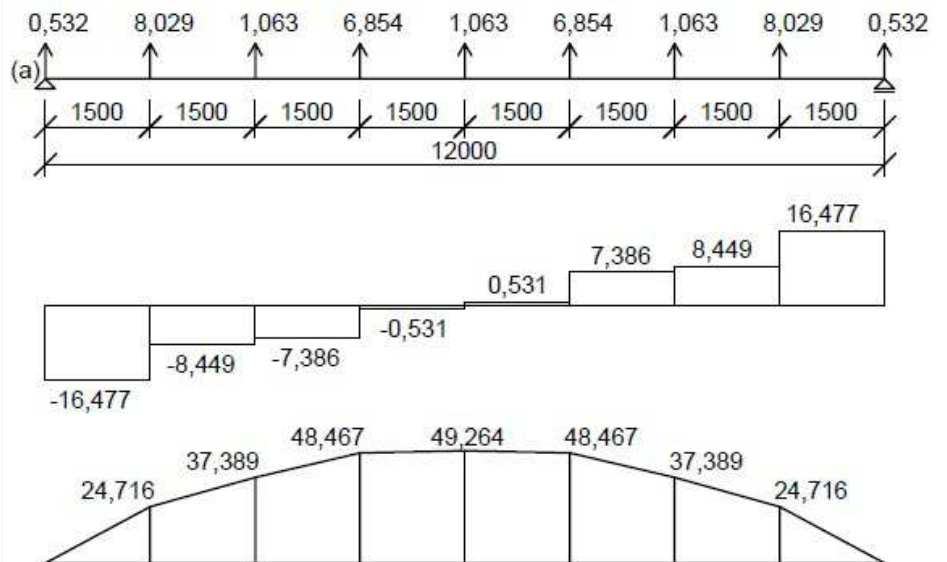
$R_b$  působí na pás vodorovného výztužného nosníku



podpora:	$R_z(b)$ [kN]
I	2,695
II	7,011
III	6,101
IV	7,011
V	2,695



podpora:	R [kN]
1	6,966
2	5,791
3	5,791
4	6,966



$$R = 17,009 \text{ kN}$$

$$M_{(M_{\max,F})} = 40,159 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{odp}} = 0,531 \text{ kN}$$

Reakce nosníků byly určeny s pomocí Scia Engineer

**e) Lávka - tření větru**

$$c_{fr} = 0,01$$

$$q_p(z) = 6,383 \text{ kNm}^{-2}$$

Vítr působí plošně:

$$c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot 2 = 0,01 \cdot 6,383 \cdot 2 = 0,128 \text{ kNm}^{-2}$$

**2. Vítr příčný****a) Hlavní nosník**

$$q_p(z) = 6,383 \text{ kNm}^{-2}$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,91 = 1,82$$

$$\varphi = 1,0$$

$$\lambda_1 = \frac{1,4 \cdot l}{b} = \frac{1,4 \cdot 60}{1} = 84$$

$$\lambda_2 = 70$$

$$\lambda = \min\{\lambda_1; \lambda_2\} = \min\{84; 70\} = 70$$

$$\psi_\lambda = 0,91$$

Vítr působí spojitě kolmo na nosník ve vodorovném směru:

$$c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot h = 1,0 \cdot 1,82 \cdot 6,383 \cdot 1,0 = 11,617 \text{ kNm}^{-1}$$

**b) Jeřábový most**

$$q_p(z) = 6,651 \text{ kNm}^{-2}$$

$$A_{ref} = 5,108 \text{ m}^2$$

$$F_{w,T,most}^* = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 6,651 \cdot 5,108 = 33,973 \text{ kN}$$

Síla na jedno kolo jeřábu:

$$\frac{F_{w,T,most}^*}{2} = \frac{33,973}{2} = 16,987 \text{ kN}$$

**c) Jeřábový most - tření větru**

$$A_{fr} = 4 \cdot 32,925 = 131,700 \text{ m}^2$$

$$F_{fr,T,most}^* = 0,01 \cdot 6,651 \cdot 131,700 = 8,759 \text{ kN}$$

Síla na jedno kolo jeřábu:

$$\frac{F_{fr,T,most}^*}{2} = \frac{8,759}{2} = 4,380 \text{ kN}$$

**d) Sloup**

$$q_p(z) = 6,104 \text{ kNm}^{-2}$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_\lambda = 2,0 \cdot 0,91 = 1,82$$

$$\varphi = 1,0$$

$$\lambda_1 = \frac{l}{b} = \frac{8}{0,3} = 26,7$$

$$\lambda_2 = 70$$

$$\lambda = \max\{\lambda_1; \lambda_2\} = \max\{26,7; 70\} = 70$$

$$\psi_\lambda = 0,91$$

Vítr působí spojitě kolmo na výšku sloupu:

$$c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot b = 1,0 \cdot 1,82 \cdot 6,104 \cdot 0,3 = 3,333 \text{ kNm}^{-1}$$

e) Lávka

$$w = q_p(z) \cdot c_{p,net}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\varphi = 0$$

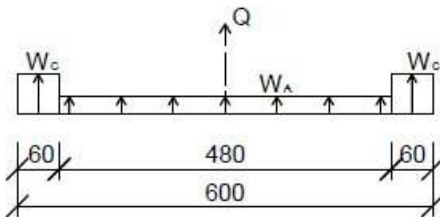
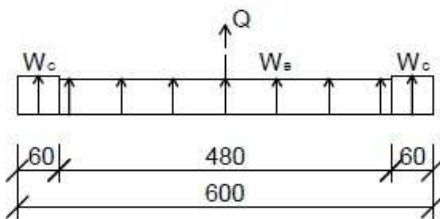
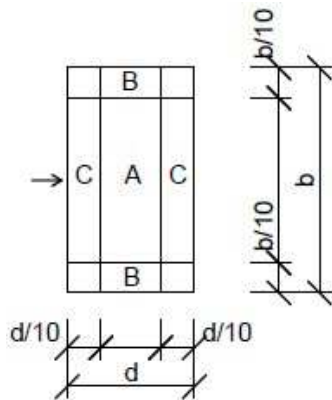
$$q_p(z) = 6,383 \text{ kNm}^{-2}$$

Součinitele výsledného tlaku:

$$c_{p,net,A} = -0,6$$

$$c_{p,net,B} = -1,3$$

$$c_{p,net,C} = -1,4$$



Záporné znaménko značí působení zatížení směrem nahoru.

Tlak větru:

$$w_A = q_p(z) \cdot c_{p,net,A} = 6,383 \cdot (-0,6) = -3,830 \text{ kNm}^{-2}$$

$$w_B = q_p(z) \cdot c_{p,net,B} = 6,383 \cdot (-1,3) = -8,298 \text{ kNm}^{-2}$$

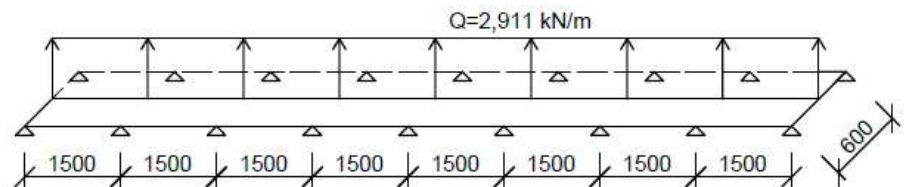
$$w_C = q_p(z) \cdot c_{p,net,C} = 6,383 \cdot (-1,4) = -8,936 \text{ kNm}^{-2}$$

Náhradní břemeno ve vnitřním poli:

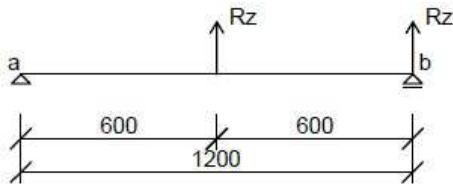
$$\begin{aligned} Q &= 2 \cdot w_c \cdot \frac{b}{10} + w_A \cdot (b - 2 \cdot \frac{b}{10}) = \\ &= 2 \cdot 8,936 \cdot \frac{0,6}{10} + 3,830 \cdot (0,6 - 2 \cdot \frac{0,6}{10}) = 2,911 \text{ kNm}^{-1} \end{aligned}$$

$$R_z = \frac{1,5 \cdot 2,911}{2} = 2,183 \text{ kN}$$

$$R_{z,krajní} = \frac{0,75 \cdot 2,911}{2} = 1,092 \text{ kN}$$







$$R_a = \frac{R_z \cdot 0,6}{1,2} = \frac{2,183 \cdot 0,6}{1,2} = 1,092 \text{ kN}$$

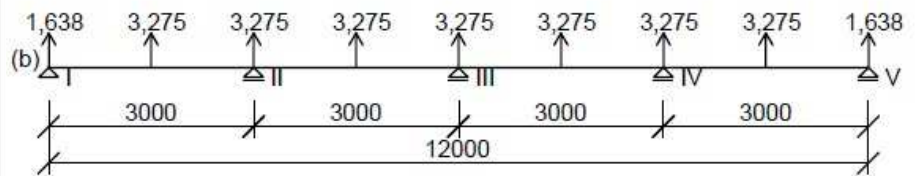
$$R_{a,krajní} = \frac{R_{z,krajní} \cdot 0,6}{1,2} = \frac{1,092 \cdot 0,6}{1,2} = 0,546 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{R_z(0,6+1,2)}{1,2} = \frac{2,183 \cdot (0,6+1,2)}{1,2} = 3,275 \text{ kN}$$

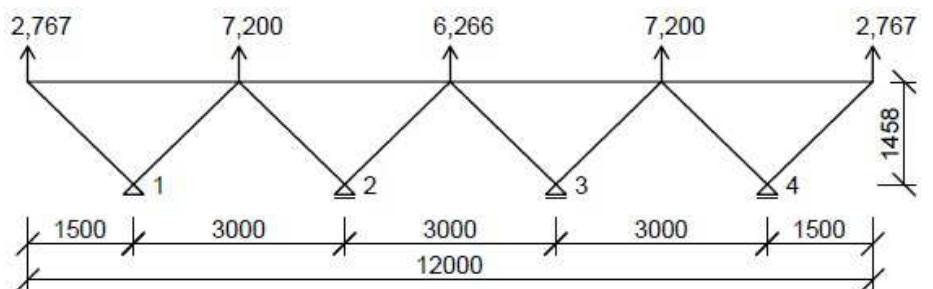
$$R_{b,krajní} = \frac{R_{z,krajní}(0,6+1,2)}{1,2} = \frac{1,092 \cdot (0,6+1,2)}{1,2} = 1,638 \text{ kN}$$

$R_a$  působí na horní pásnici hlavního nosníku

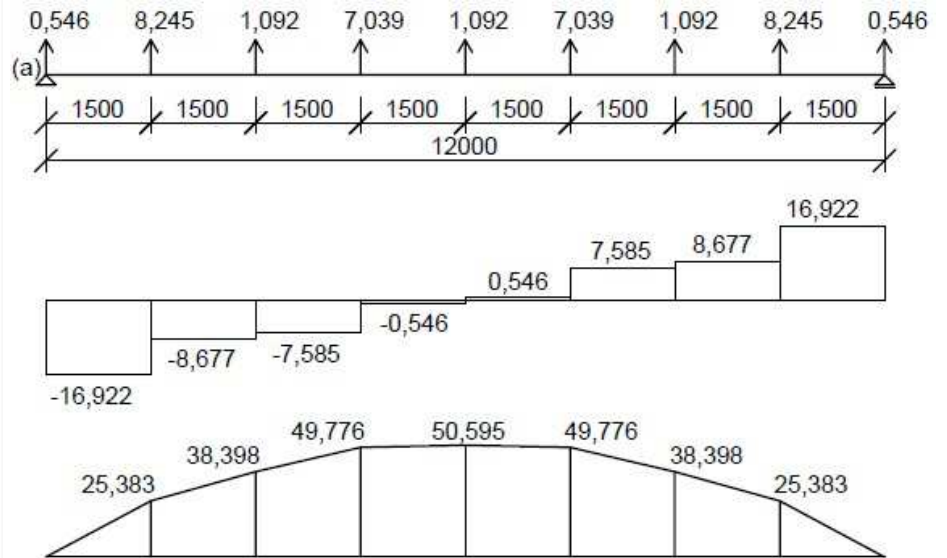
$R_b$  působí na pás vodorovného výztužného nosníku



podpora:	$R_z(b)$ [kN]
I	2,767
II	7,200
III	6,266
IV	7,200
V	2,767



podpora:	R [kN]
1	7,153
2	5,947
3	5,947
4	7,153



$$R = 17,468 \text{ kN}$$

$$M_{(M_{\max,F})} = 49,981 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{odp}} = 0,546 \text{ kN}$$

Reakce nosníků byly určeny s pomocí Scia Engineer

**f) Lávka - tření větru**

- zanedbáme

**Síla od b) + c) na jedno kolo jeřábu:**

$$F_{w,T,\text{jeřáb}} = \frac{F_{w,T,\text{most}}}{2} + \frac{F_{fr,T,\text{most}}}{2} = 16,987 + 4,380 = 21,367 \text{ kN}$$

**Zatížení sněhem**

Sněhová oblast I.  $\rightarrow s_k = 0,7 \text{ kPa}$

$s_k$  - charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$$s = \mu_1 \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 0,560 \text{ kNm}^{-2}$$

$s$  - zatížení sněhem

$$\mu_1 = 0,8$$

$\mu$  - tvarový součinitel zatížení sněhem

$$c_e = 1,0$$

$$c_t = 1,0$$

$c_e$  - součinitel expozice

$c_t$  - tepelný součinitel

Sníh na jeřábový most

$$A = 22,533 \text{ m}^2$$

$$F_s = s \cdot A = 0,560 \cdot 22,533 = 12,618 \text{ kN}$$

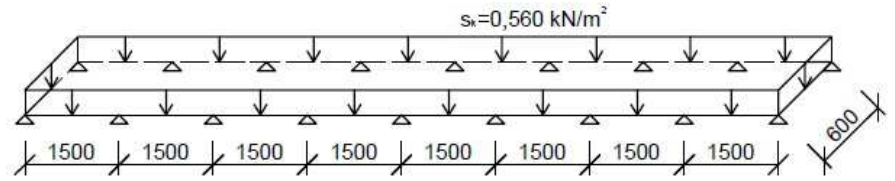
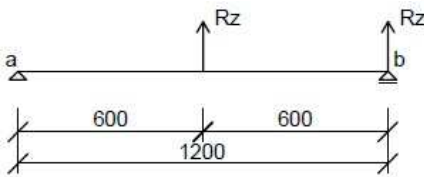
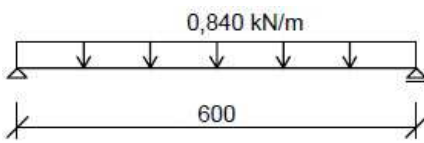
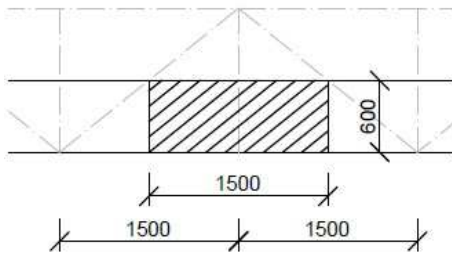
síla na jedno kolo jeřábu:

$$\frac{F_s}{4} = \frac{12,618}{4} = 3,155 \text{ kN}$$

Sníh na hlavní nosník

$$s' = s \cdot b = 0,560 \cdot 0,450 = 0,252 \text{ kNm}^{-1}$$

Zatížení lávky sněhem:



$$s_k = 0,560 \cdot a = 0,560 \cdot 1,5 = 0,840 \text{ kNm}^{-1}$$

$$a = 1,500 \text{ m}$$

$$b = 0,600 \text{ m}$$

$$R_z = 0,5 \cdot s_k \cdot b = 0,5 \cdot 0,840 \cdot 0,6 = 0,252 \text{ kN}$$

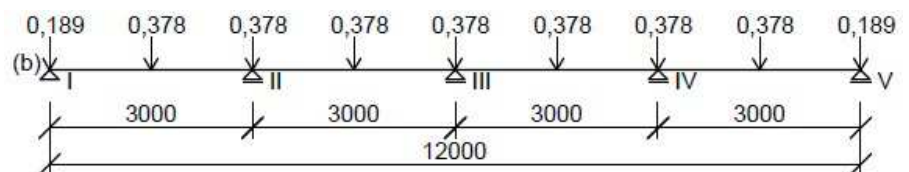
$$R_{z,krajní} = 0,5 \cdot \frac{s_k}{2} \cdot b = 0,5 \cdot \frac{0,840}{2} \cdot 0,6 = 0,126 \text{ kN}$$

$$R_a = \frac{R_z \cdot 0,6}{1,2} = \frac{0,252 \cdot 0,6}{1,2} = 0,126 \text{ kN}$$

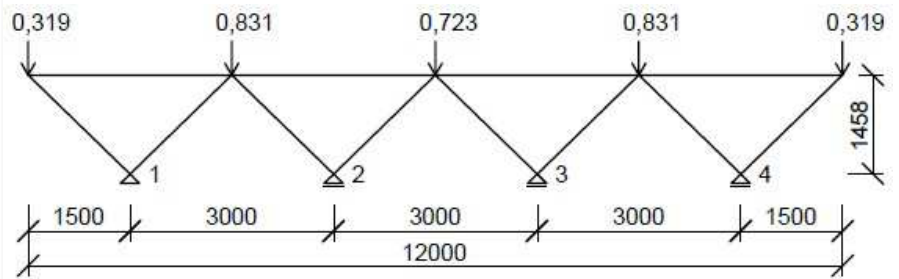
$$R_{a,krajní} = \frac{R_{z,krajní} \cdot 0,6}{1,2} = \frac{0,126 \cdot 0,6}{1,2} = 0,063 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{R_z \cdot (0,6 + 1,2)}{1,2} = \frac{0,252 \cdot (0,6 + 1,2)}{1,2} = 0,378 \text{ kN}$$

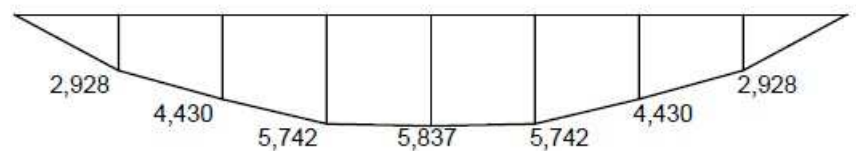
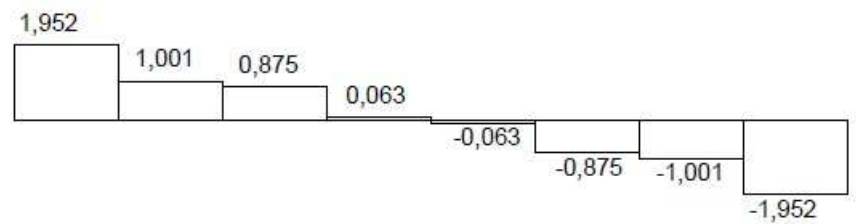
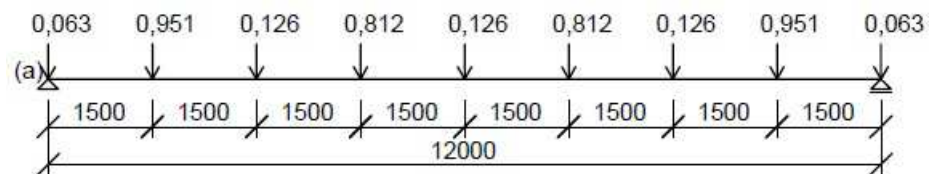
$$R_{b,krajní} = \frac{R_{z,krajní} \cdot (0,6 + 1,2)}{1,2} = \frac{0,126 \cdot (0,6 + 1,2)}{1,2} = 0,189 \text{ kN}$$



podpora:	$R_z(b)$ [kN]
I	0,319
II	0,831
III	0,723
IV	0,831
V	0,319



podpora:	R [kN]
1	0,825
2	0,686
3	0,686
4	0,825



$$R = 2,015 \text{ kN}$$

$$M_{(M_{\max,F})} = 5,766 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{odp}} = 0,063 \text{ kNm}$$

Reakce nosníků byly určeny s pomocí Scia Engineer

### 2.3 MIMOŘÁDNÉ ZATÍŽENÍ

Síly na nárazníky

Charakteristické hodnoty statických složek sil na nárazníky

$$H_{B,1} = \frac{v_1 \cdot \sqrt{m_c \cdot S_B}}{n_r} = \frac{0,933 \cdot \sqrt{66,9 \cdot 10^3 \cdot 435 \cdot 10^3}}{2} = 79,581 \text{ kN}$$

$v_1$  ... 70% rychlosti podélného pojezdu v  $\text{ms}^{-1}$

$$v_1 = 0,7 \quad v_c = 0,7 \cdot 1,333 = 0,933 \text{ ms}^{-1}$$

$m_c$  ... Hmotnost jeřábu a břemene v kg

$$m_c = 100 \cdot (Q_c + Q_n) = 100 \cdot (349 + 320) = 66,9 \cdot 10^3 \text{ kg}$$

$S_B$  ... konstanta tuhosti nárazníku v  $\text{Nm}^{-1}$

$$S_B = 435 \cdot 10^3 \text{ Nm}^{-1}$$

$n_r$  ... počet větví jeřábové dráhy

Dynamický součinitel  $\varphi_7$  - závisí na charakteristice nárazníku

$$\varphi_7 = 1,6$$

## 2.4 ÚNAVOVÉ ZATÍŽENÍ

Charakteristické hodnoty únavového zatížení jeřábem

$Q_e$  ... ekvivalentní únavové zatížení; zahrnuje účinky průběhů zatěžování a poměr absolutního počtu zatěžovacích cyklů k referenční hodnotě

$$N_c = 2,0 \cdot 10^6 \text{ cyklů}$$

$$Q_e = \varphi_{fat} \cdot \lambda \cdot Q_{r,max}$$

$Q_e$  ... ekvivalentní únavové zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu

$\varphi_{fat}$  ... dynamický součinitel pro ekvivalentní poškození rázem

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} = \frac{1 + 1,1}{2} = 1,05$$

$$\varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = \frac{1 + 1,145}{2} = 1,073$$

$\lambda$  ... součinitel ekvivalentního poškození

$\lambda_\sigma$  ... poškození způsobené rozkmitem normálového napětí

$\lambda_\tau$  ... poškození způsobené rozkmitem smykového napětí

Kategorie únavových účinků  $s_5$  :

$$\lambda_\sigma = 0,630$$

$$\lambda_\tau = 0,758$$

$$\begin{aligned} Q_{e,\sigma} &= \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{c,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{H,r,max} = \\ &= 1,05 \cdot 0,630 \cdot 104,423 + 1,073 \cdot 0,630 \cdot 145,422 = 167,380 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{e,\tau} &= \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_\tau \cdot Q_{c,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_\tau \cdot Q_{H,r,max} = \\ &= 1,05 \cdot 0,758 \cdot 104,423 + 1,073 \cdot 0,758 \cdot 145,422 = 201,387 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pro posouzení na lokální účinky od kolového zatížení

$$\lambda_{\sigma,loc} = 0,794$$

$$\lambda_{\tau,loc} = 0,871$$

$$\begin{aligned} Q_{e,\sigma,loc} &= \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_{\sigma,loc} \cdot Q_{c,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_{\sigma,loc} \cdot Q_{H,r,max} = \\ &= 1,05 \cdot 0,794 \cdot 104,423 + 1,073 \cdot 0,794 \cdot 145,422 = 210,951 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$Q_{e,\tau,loc} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_{\tau,loc} \cdot Q_{c,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_{\tau,loc} \cdot Q_{H,r,max} =$$

$$= 1,05 \cdot 0,871 \cdot 104,423 + 1,073 \cdot 0,871 \cdot 145,422 = 231,409 \text{ kN}$$

Dílčí součinitel únavového zatížení jeřáby

$$\gamma_{Ff} = 1,0$$

## 2.5 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Mezní stav únosnosti:

- základní kombinace pro trvalé a dočasné návrhové situace

$$\text{Konzervativně: } F_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

$$\text{Alternativně: } F_d = \max F_d$$

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{K,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

- mimořádná kombinace pro mimořádné návrhové situace

$$F_d = \sum_{j \geq 1} G_{K,j} + A_d + \psi_{1,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \varphi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$

Mezní stav použitelnosti:

- charakteristická kombinace pro nevratné mezní stavy

$$F_d = \sum_{j \geq 1} G_{K,j} + Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \varphi_{0,i} \cdot Q_{K,i}$$

- častá kombinace pro vratné mezní stavy

$$F_d = \sum_{j \geq 1} G_{K,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{K,1} + \sum_{i \geq 1} \varphi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$$



### 3. HLAVNÍ NOSNÍK JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Prostý nosník

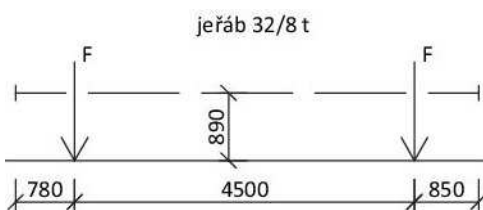
$$l = 12 \text{ m}$$

#### 3.1 MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI

##### 3.1.1 Vnitřní síly od zatížení

Svislé síly

##### ZS2 - Zatížení jeřábem



$$b = 4500 \text{ mm}$$

$$p_1 = 850 \text{ mm}$$

$$p_2 = 780 \text{ mm}$$

$$e = 890 \text{ mm}$$

Hodnota maximálního svislého tlaku kola jeřábu:

a) Za provozu:

$$\begin{aligned} F_k &= \varphi_1 \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_3 \cdot Q_{H,r,max} = \\ &= 1,1 \cdot 104,423 + 1,21 \cdot 145,422 = 290,826 \text{ kN} \end{aligned}$$

b) Mimo provoz se sněhem:

$$F_k = Q_{C,r,max} + F_{S1} = 104,423 + 3,155 = 107,578 \text{ kN}$$

c) Mimo provoz bez sněhu:

$$F_k = Q_{C,r,max} = 104,423 \text{ kN}$$

Postavení soustavy pro dosažení maximálního momentu:

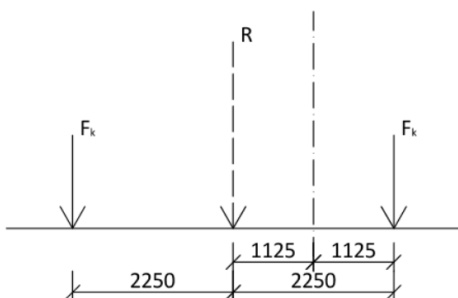
a) Za provozu:

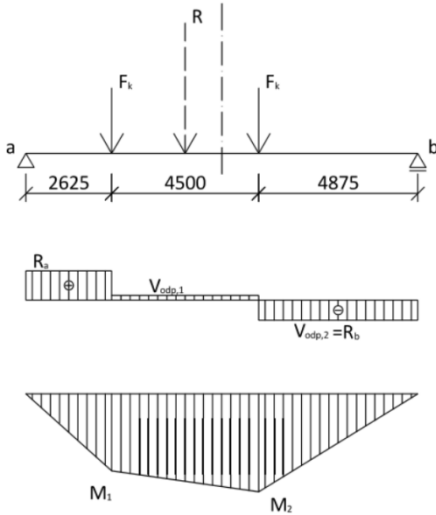
Výslednice břemen:

$$R = 2 \cdot F_k = 2 \cdot 290,826 = 581,652 \text{ kN}$$

Reakce:

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{F_k \cdot 4,875 + F_k \cdot (4,500 + 4,875)}{12,000} = \\ &= \frac{290,826 \cdot 4,875 + 290,826 \cdot (4,500 + 4,875)}{12,000} = 345,356 \text{ kN} \end{aligned}$$





$$R_b = \frac{F_k \cdot 2,625 + F_k \cdot (2,625 + 4,500)}{12,000} =$$

$$= \frac{290,826 \cdot 2,625 + 290,826 \cdot (2,625 + 4,500)}{12,000} = 236,296 \text{ kN}$$

$$M_1 = R_a \cdot 2,625 = 345,356 \cdot 2,625 = 906,560 \text{ kNm}$$

$$M_2 = R_b \cdot 4,875 = 236,296 \cdot 4,875 = 1151,943 \text{ kNm}$$

$$V_{odp,1} = R_a - F_k = 345,356 - 290,826 = 54,530 \text{ kN}$$

$$V_{odp,2} = R_a - 2 \cdot F_k = 345,356 - 2 \cdot 290,826 = -236,296 \text{ kN}$$

b) Mimo provoz se sněhem:

$$R_a = \frac{F_k \cdot 4,875 + F_k \cdot (4,500 + 4,875)}{12,000} =$$

$$= \frac{107,578 \cdot 4,875 + 107,578 \cdot (4,500 + 4,875)}{12,000} = 127,749 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{F_k \cdot 2,625 + F_k \cdot (2,625 + 4,500)}{12,000} =$$

$$= \frac{107,578 \cdot 2,625 + 107,578 \cdot (2,625 + 4,500)}{12,000} = 87,407 \text{ kN}$$

$$M_1 = R_a \cdot 2,625 = 127,749 \cdot 2,625 = 335,341 \text{ kNm}$$

$$M_2 = R_b \cdot 4,875 = 87,407 \cdot 4,875 = 426,109 \text{ kNm}$$

$$V_{odp,1} = R_a - F_k = 127,749 - 107,578 = 20,171 \text{ kN}$$

$$V_{odp,2} = R_a - 2 \cdot F_k = 127,749 - 2 \cdot 107,578 = -87,407 \text{ kN}$$

c) Mimo provoz bez sněhu:

$$R_a = \frac{F_k \cdot 4,875 + F_k \cdot (4,500 + 4,875)}{12,000} =$$

$$= \frac{104,423 \cdot 4,875 + 104,423 \cdot (4,500 + 4,875)}{12,000} = 124,002 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{F_k \cdot 2,625 + F_k \cdot (2,625 + 4,500)}{12,000} =$$

$$= \frac{104,423 \cdot 2,625 + 104,423 \cdot (2,625 + 4,500)}{12,000} = 84,844 \text{ kN}$$

$$M_1 = R_a \cdot 2,625 = 124,002 \cdot 2,625 = 325,505 \text{ kNm}$$

$$M_2 = R_b \cdot 4,875 = 84,844 \cdot 4,875 = 413,615 \text{ kNm}$$

$$V_{odp,1} = R_a - F_k = 124,002 - 104,423 = 19,579 \text{ kN}$$

$$V_{odp,2} = R_a - 2 \cdot F_k = 124,002 - 2 \cdot 104,423 = -84,844 \text{ kN}$$

Postavení soustavy pro dosažení maximální reakce:

a) Za provozu:

$$R_a = \frac{F_k \cdot 7,500 + F_k \cdot 12,000}{12,000} = \frac{290,826 \cdot 7,500 + 290,826 \cdot 12,000}{12,000} = 472,592 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{F_k \cdot 4,500}{12,000} = \frac{290,826 \cdot 4,500}{12,000} = 109,060 \text{ kN}$$

b) Mimo provoz se sněhem:

$$R_a = \frac{F_k \cdot 7,500 + F_k \cdot 12,000}{12,000} = \frac{107,578 \cdot 7,500 + 107,578 \cdot 12,000}{12,000} = 174,814 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{F_k \cdot 4,500}{12,000} = \frac{107,578 \cdot 4,500}{12,000} = 40,342 \text{ kN}$$

c) Mimo provoz bez sněhu:

$$R_a = \frac{F_k \cdot 7,500 + F_k \cdot 12,000}{12,000} = \frac{104,423 \cdot 7,500 + 104,423 \cdot 12,000}{12,000} = 169,687 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{F_k \cdot 4,500}{12,000} = \frac{104,423 \cdot 4,500}{12,000} = 39,159 \text{ kN}$$

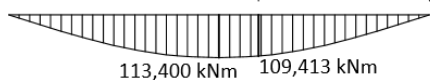
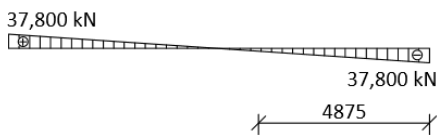
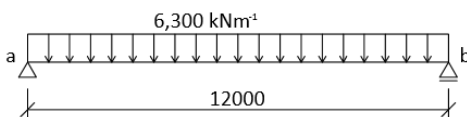
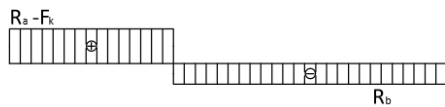
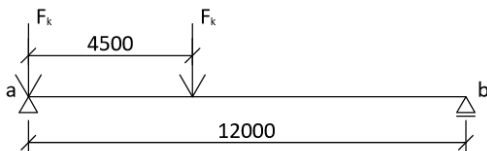
ZS1 - Zatížení stálé

$$g_k = 6,300 \text{ kNm}^{-1}$$

$$M_{gk,max} = \frac{1}{8} g_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 6,300 \cdot 12,0^2 = 113,400 \text{ kNm}$$

$$R_a = R_b = R_g = \frac{1}{2} g_k \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 6,300 \cdot 12,0 = 37,800 \text{ kN}$$

Moment v místě  $M_{max,F}$ :



$$M_{g(M_{\max,F})} = R_b \cdot 4,875 - g_k \cdot \frac{4,875^2}{2} =$$

$$= 37,800 \cdot 4,875 - 6,300 \cdot \frac{4,875^2}{2} = 109,413 \text{ kNm}$$

$$V_{g(odp)} = -R_b + g_k \cdot 4,875 =$$

$$= -37,800 + 6,300 \cdot 4,875 = -7,088 \text{ kN}$$

### ZS3 - Zatížení větrem

Účinky působení větru na lávku:

a) Za provozu:

Podélný vítr:

$$M_{(M_{\max,F})} = -32,717 \text{ kNm}$$

$$V_{odp} = 0,409 \text{ kN}$$

$$R = -11,360 \text{ kN}$$

Příčný vítr:

$$M_{(M_{\max,F})} = -31,990 \text{ kNm}$$

$$V_{odp} = 0,350 \text{ kN}$$

$$R = -11,182 \text{ kN}$$

b) Mimo provoz:

Podélný vítr:

$$M_{(M_{\max,F})} = -40,159 \text{ kNm}$$

$$V_{odp} = 0,531 \text{ kN}$$

$$R = -17,009 \text{ kN}$$

Příčný vítr:

$$M_{(M_{\max,F})} = -49,981 \text{ kNm}$$

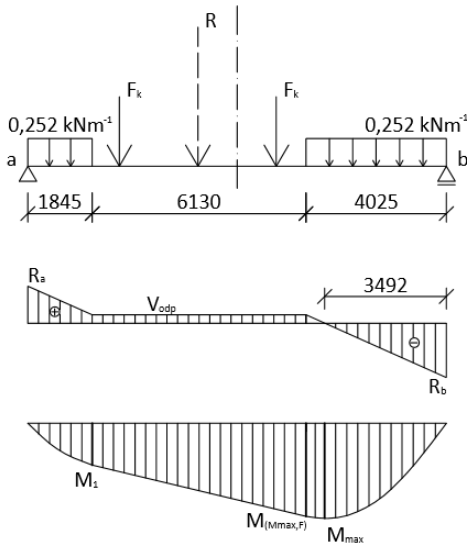
$$V_{odp} = 0,546 \text{ kN}$$

$$R = -17,468 \text{ kN}$$

## ZS4 - Zatížení sněhem

Účinky působení sněhu na hlavní nosník

Poloha pro maximální moment od kol jeřábu:



$$R_a = \frac{s' \cdot \frac{4,025^2}{2} + s' \cdot 1,845 \cdot \left(\frac{1,845}{2} + 6,130 + 4,025\right)}{12,000} =$$

$$= \frac{0,252 \cdot \frac{4,025^2}{2} + 0,252 \cdot 1,845 \cdot \left(\frac{1,845}{2} + 6,130 + 4,025\right)}{12,000} =$$

$$= 0,559 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{s' \cdot \frac{1,845^2}{2} + s' \cdot 4,025 \cdot \left(\frac{4,025}{2} + 1,845 + 6,130\right)}{12,000}$$

$$= \frac{0,252 \cdot \frac{1,845^2}{2} + 0,252 \cdot 4,025 \cdot \left(\frac{4,025}{2} + 1,845 + 6,130\right)}{12,000} =$$

$$= 0,880 \text{ kN}$$

$$R_b - s' \cdot x = 0 \rightarrow x = \frac{R_b}{s'} = \frac{0,880}{0,252} = 3,492 \text{ m}$$

$$M_1 = R_a \cdot 1,845 - s' \cdot \frac{1,845^2}{2} =$$

$$= 0,559 \cdot 1,845 - 0,252 \cdot \frac{1,845^2}{2} = 0,602 \text{ kNm}$$

$$M_2 = R_b \cdot 4,025 - s' \cdot \frac{4,025^2}{2} =$$

$$= 0,880 \cdot 4,025 - 0,252 \cdot \frac{4,025^2}{2} = 1,501 \text{ kNm}$$

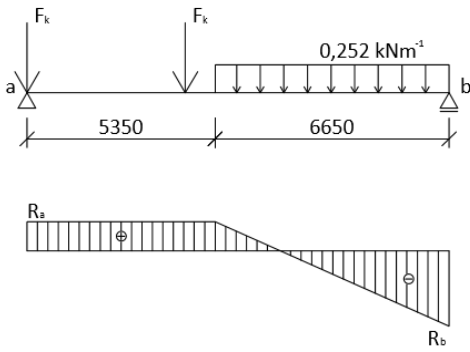
$$M_{\max} = R_b \cdot x - s' \cdot \frac{x^2}{2} =$$

$$= 0,880 \cdot 3,492 - 0,252 \cdot \frac{3,492^2}{2} = 1,537 \text{ kNm}$$

$$M_{(M_{\max}, F)} = R_b \cdot 4,875 - s' \cdot 4,025 \cdot \left(\frac{4,025}{2} + 0,850\right) =$$

$$= 0,880 \cdot 4,875 - 0,252 \cdot 4,025 \cdot \left(\frac{4,025}{2} + 0,850\right) = 1,387 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{odp}} = R_a - s' \cdot 1,845 = 0,559 - 0,252 \cdot 1,845 = 0,134 \text{ kN}$$



Poloha pro maximální reakci od jeřábu:

$$R_a = \frac{s' \cdot \frac{6,650^2}{2}}{12,000} = \frac{0,252 \cdot \frac{6,650^2}{2}}{12,000} = 0,464 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{s' \cdot 6,650 \cdot \left(\frac{6,650}{2} + 5,350\right)}{12,000} =$$

$$= \frac{0,252 \cdot 6,650 \cdot \left(\frac{6,650}{2} + 5,350\right)}{12,000} = 1,211 \text{ kN}$$

Účinky působení sněhu na lávku:

$$M_{(M_{\max, F})} = 5,766 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{odp}} = 0,063 \text{ kN}$$

$$R = 2,015 \text{ kN}$$

Podélné síly

### ZS2 - Zatížení jeřábem

a) Za provozu:

s podélným větrem:

$$F_k = \varphi_s \cdot H_{L,2} + 1,0 \cdot F_{w,L}^* =$$

$$= 1,5 \cdot 14,016 + 1,0 \cdot 326,644 = 347,668 \text{ kN}$$

Vzdálenost od pevného uložení jeřábové dráhy:

$$z = h + h_r = 1,000 + 0,100 = 1,100 \text{ m}$$

$$R = \frac{F_k \cdot z}{l} = \frac{347,668 \cdot 1,100}{12,000} = 31,870 \text{ kN}$$

$$M_L = \frac{1}{2} \cdot F_k \cdot z = \frac{1}{2} \cdot 347,668 \cdot 1,100 = 191,217 \text{ kNm}$$

bez větru:

$$F_k = \varphi_s \cdot H_{L,2} =$$

$$= 1,5 \cdot 14,016 = 21,024 \text{ kN}$$

Vzdálenost od pevného uložení jeřábové dráhy:

$$R = \frac{F_k \cdot z}{l} = \frac{21,024 \cdot 1,100}{12,000} = 1,927 \text{ kN}$$

$$M_L = \frac{1}{2} \cdot F_k \cdot z = \frac{1}{2} \cdot 21,024 \cdot 1,100 = 11,563 \text{ kNm}$$

b) Mimo provoz:

s podélným větrem:

$$F_k = F_{w,L} = 359,134 \text{ kN}$$

Vzdálenost od pevného uložení jeřábové dráhy:

$$R = \frac{F_k \cdot z}{l} = \frac{359,134 \cdot 1,100}{12,000} = 32,921 \text{ kN}$$

$$M_L = \frac{1}{2} \cdot F_k \cdot z = \frac{1}{2} \cdot 359,134 \cdot 1,100 = 197,524 \text{ kNm}$$

**ZS3 - Zatížení větrem**

Podélný vítr na sloup:

a) Za provozu:

$$q_k = 8,531 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R_{ax} = R_{bx} = \frac{1}{2} \cdot q_k \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 8,531 \cdot 8,0 = 34,124 \text{ kN}$$

$$N_1 = 34,124 \text{ kN}$$

$$N = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot 34,124 = 68,248 \text{ kN}$$

$$M_L = 0 \text{ kNm}$$

b) Mimo provoz:

$$q_k = 13,331 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R_{ax} = R_{bx} = \frac{1}{2} \cdot q_k \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 13,331 \cdot 8,0 = 53,324 \text{ kN}$$

$$N_1 = 53,324 \text{ kN}$$

$$N = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot 53,324 = 106,648 \text{ kN}$$

$$M_L = 0 \text{ kNm}$$

Podélný vítr na hlavní nosník - tření:

a) Za provozu:

$$q_k = 0,154 \text{ kNm}^{-1}$$

$$F_k = q_k \cdot l = 0,154 \cdot 12,0 = 1,848 \text{ kN}$$

$$N_1 = F_k = 1,848 \text{ kN}$$

$$N = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot 1,848 = 3,696 \text{ kN}$$

$$z = e_2 = 0,537 \text{ m}$$

$$R = \frac{F_k \cdot z}{l} = \frac{1,848 \cdot 0,537}{12,000} = 0,083 \text{ kN}$$

$$M_L = R \cdot \frac{l}{2} - \frac{F_k}{2} \cdot 0,5 = 0,083 \cdot \frac{12,000}{2} - \frac{1,848}{2} \cdot 0,5 = 0,002 \text{ kNm}$$



b) Mimo provoz:

$$q_k = 0,241 \text{ kNm}^{-1}$$

$$F_k = q_k \cdot l = 0,241 \cdot 12,0 = 2,892 \text{ kN}$$

$$N_1 = F_k = 2,892 \text{ kN}$$

$$N = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot 2,892 = 5,784 \text{ kN}$$

$$R = \frac{F_k \cdot z}{l} = \frac{2,892 \cdot 0,537}{12,000} = 0,129 \text{ kN}$$

$$M_L = R \cdot \frac{l}{2} - \frac{F_k}{2} \cdot 0,5 =$$

$$= 0,129 \cdot \frac{12,000}{2} - \frac{2,892}{2} \cdot 0,5 = -0,003 \text{ kNm}$$

Podélný vítr na lávku:

a) Za provozu:

$$q_k = 0,082 \text{ kNm}^{-2}$$

$$N_1 = q_k \cdot b \cdot l = 0,082 \cdot 0,6 \cdot 12,0 = 0,590 \text{ kN}$$

$$N = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot 0,590 = 1,180 \text{ kN}$$

b) Mimo provoz:

$$q_k = 0,128 \text{ kNm}^{-2}$$

$$N_1 = q_k \cdot b \cdot l = 0,128 \cdot 0,6 \cdot 12,0 = 0,922 \text{ kN}$$

$$N = 2 \cdot N_1 = 2 \cdot 0,922 = 1,844 \text{ kN}$$

**Příčné síly:****ZS2 - Zatížení jeřábem**

a) Za provozu:

s příčným větrem:

skupina zatížení č. 5:

$$F_{k1} = 1,0 \cdot H_{s,2,1,T} + 1,0 \cdot F_{w,T}^* =$$

$$= 1,0 \cdot 75,062 + 1,0 \cdot 66,916 = 141,978 \text{ kN}$$

$$F_{k2} = 1,0 \cdot F_{w,T}^* = 1,0 \cdot 66,916 = 66,916 \text{ kN}$$

$$\eta = \frac{x \cdot \bar{x}}{l} \cdot \frac{1}{h_{sg}} = \frac{7,5 \cdot 4,5}{12,0} \cdot \frac{1}{1,2} = 2,344$$

$$\eta_1 = 2,344 \cdot \frac{7,125}{7,500} = 2,227$$

$$\eta_2 = 2,344 \cdot \frac{2,625}{7,500} = 0,820$$

$$N_T = F_{k1} \cdot \eta_1 + F_{k2} \cdot \eta_2 =$$

$$= 141,978 \cdot 2,227 + 66,916 \cdot 0,820 = 371,056 \text{ kN}$$

$$A_{ch} = b \cdot t_{f1} + 15 \cdot \varepsilon \cdot t_w^2 =$$

$$= 450 \cdot 28 + 15 \cdot 1,0 \cdot 12^2 = 14,760 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

skupina zatížení č. 6:

$$F_k = 1,0 \cdot H_{T3,2} = 1,0 \cdot 10,100 = 10,100 \text{ kN}$$

$$N_T = F_k \cdot (\eta_1 + \eta_2) = 10,100 \cdot (2,227 + 0,820) = 30,775 \text{ kN}$$

bez větru:

skupina zatížení č. 5:

$$F_k = 1,0 \cdot H_{s,2,1,T} = 1,0 \cdot 75,062 = 75,062 \text{ kN}$$

$$N_T = F_k \cdot \eta_1 = 75,062 \cdot 2,227 = 167,163 \text{ kN}$$

skupina zatížení č. 6:

$$F_k = 1,0 \cdot H_{T3,2} = 1,0 \cdot 10,100 = 10,100 \text{ kN}$$

$$N_T = F_k \cdot (\eta_1 + \eta_2) = 10,100 \cdot (2,227 + 0,820) = 30,775 \text{ kN}$$

b) Mimo provoz:

a příčným větrem:

$$F_k = 1,0 \cdot F_{w,T} = 1,0 \cdot 21,367 = 21,367 \text{ kN}$$

$$N_T = F_k \cdot (\eta_1 + \eta_2) = 21,367 \cdot (2,227 + 0,820) = 65,105 \text{ kN}$$

Příčný vítr na hlavní nosník:

a) Za provozu:

$$q_k = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

$$N_T = q_k \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 7,5 \cdot \eta + \frac{1}{2} \cdot 4,5 \cdot \eta \right) =$$

$$= 7,435 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 7,5 \cdot 2,344 + \frac{1}{2} \cdot 4,5 \cdot 2,344 \right) = 104,566 \text{ kN}$$

**3.1.2 Kombinace zatížení**

- jeřáb za provozu bez větru:

K1: skupina zatížení č. 2

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2$$

K2: skupina zatížení č. 5

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2$$

K3: skupina zatížení č. 6

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2$$

- jeřáb za provozu s větrem:

K4: skupina zatížení č. 2 + podélný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3$$

K5: skupina zatížení č. 2 + podélný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS3$$

K6: skupina zatížení č. 2 + příčný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3$$

K7: skupina zatížení č. 2 + příčný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS3$$

K8: skupina zatížení č. 5 + podélný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3$$

K9: skupina zatížení č. 5 + podélný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS3$$

K10: skupina zatížení č. 5 + příčný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3$$

K11: skupina zatížení č. 5 + příčný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS3$$

K12: skupina zatížení č. 6 + podélný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3$$

K13: skupina zatížení č. 6 + podélný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS3$$

K14: skupina zatížení č. 6 + příčný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3$$

K15: skupina zatížení č. 6 + příčný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS3$$

- jeřáb mimo provoz:

K16: sníh + podélný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS4$$

K17: sníh + podélný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS3 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS4$$

K18: sníh + podélný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3 + \gamma_Q \cdot ZS4$$

K19: sníh + příčný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS4$$

K20: sníh + příčný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot ZS3 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS4$$

K21: sníh + příčný vítr

$$\gamma_G \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS3 + \gamma_Q \cdot ZS4$$

bez větru:

		$M_{Ed}$	$V_{Ed}$	$R_{a,Ed}$	$R_{max}$	N	M	příčné	$N_T$
K1	skupina zatížení č. 2	1702,831	328,568	517,261	689,029	28,382	15,61	17,737	0
K2	skupina zatížení č. 5	1483,695	283,617	451,563	599,127	0	0		225,67
K3	skupina zatížení č. 6	1483,695	283,617	451,563	599,127	0	0		41,54625

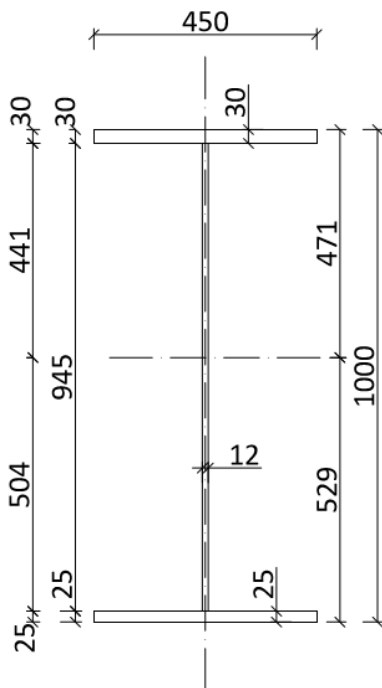
s větrem:

K4	skupina zatížení č. 2	+	1673,385	328,937	507,037	678,805	535,163	258,14	0
K5	podélný vítr		1653,755	329,182	500,221	671,989	579,038	258,138	0
K6	skupina zatížení č. 2	+	1674,04	328,883	507,197	678,965	28,382	15,61	369,365
K7	příčný vítr		1654,846	329,093	500,488	672,256	28,382	15,61005	432,105
K8	skupina zatížení č. 5	+	1454,249	283,986	441,339	588,903	506,781	242,53	225,67
K9	podélný vítr		1434,619	284,231	434,523	582,087	550,655	242,528 101,334	225,67
K10	skupina zatížení č. 5	+	1454,904	284,095	441,499	589,064	0	0	595,035
K11	příčný vítr		1435,71	284,414	434,79	582,354	0	0 191,67	657,775
K12	skupina zatížení č. 6	+	1454,249	283,986	441,339	588,903	506,781	242,53	41,546
K13	podélný vítr		1434,619	284,231	434,523	582,087	550,655	242,528	41,546
K14	skupina zatížení č. 6	+	1454,904	284,095	441,499	589,064	0	0	135,656
K15	příčný vítr		1435,71	284,414	434,79	582,354	0	0	198,395

b) Mimo provoz:

K16			698,874	128,194	210,144	273,58	587,679	266,655	0
K17	podélný vítr + sníh		679,244	128,513	199,938	263,375	656,245	266,653	0
K18			704,239	128,342	212,104	275,439	587,679	266,655	0
K19			683,337	128,207	209,73	273,167	0	0	234,935
K20	příčný vítr + sníh		653,348	128,535	199,25	262,686	0	0	332,963
K21			688,701	128,355	211,691	275,026	0	0	234,935

- kombinace byly řešeny v programu Microsoft excel a byly vybrány 4 kombinace: s největším svislým zatížením, s největším podélným zatížením, největším příčným zatížením a pak kombinace s relativně vysokými hodnotami zatížení podélného i příčného



### 3.1.3 Průřez hlavního nosníku

$$h = 1000 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 30 \text{ mm}$$

$$t_{f2} = 25 \text{ mm}$$

$$e_1 = 471 \text{ mm}$$

$$e_2 = 529 \text{ mm}$$

$$h_w = 945 \text{ mm}$$

$$h_{w1} = 441 \text{ mm}$$

$$h_{w2} = 504 \text{ mm}$$

$$A = 36,090 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 6,665 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,y,1} = 14,151 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,y,2} = 12,599 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Ocel pevnostní třídy S 235:

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$f_y$  - mez kluzu

$f_u$  - mez pevnosti

Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### 3.1.4 Posouzení hlavního nosníku

Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálními svislými tlaky kol

Posouzení pásnic v krajních vláknech nosníku při normálovém napětí

$$M_{Ed} = 1702,831 \text{ kNm}$$

$M_{Ed}$  - návrhová hodnota ohybového momentu

Zatřívzení průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

pásnice:

$$\frac{b - t_w}{2 \cdot t_{r1}} = \frac{450 - 12}{2 \cdot 30} = 7,300 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9,0 \rightarrow \textit{třída 1}$$

stojina:

$$\begin{aligned} \frac{h_w}{t_w} &= \frac{945}{12} = 78,750 \leq 62 \cdot \varepsilon \cdot \left(1 + \frac{h_{w2}}{h_{w1}}\right) \cdot \sqrt{\frac{h_{w2}}{h_{w1}}} = \\ &= 62 \cdot \left(1 + \frac{504}{441}\right) \cdot \sqrt{\frac{504}{441}} = 142,030 \rightarrow \textit{třída 3} \end{aligned}$$

→ průřez třídy 3

Ohybové normálové napětí:

$$\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

v horním krajním vlákně:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{1702,831 \cdot 10^6}{14,151 \cdot 10^6} = 120,333 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,Ed} = 120,333 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

ve spodním krajním vlákně:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,2}} = \frac{1702,831 \cdot 10^6}{12,599 \cdot 10^6} = 135,156 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,Ed} = 135,156 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$



Posouzení stojiny v neutrální ose průřezu při maximálním smykovém napětí:

$$V_{Ed} = R_{\max} = 689,029 \text{ kN}$$

$V_{Ed}$  - návrhová posouvající síla

$$\begin{aligned} S_y &= \frac{1}{2} \cdot (b \cdot e_1^2 - (b - t_w) \cdot h_{w1}^2) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot (450 \cdot 471^2 - (450 - 12) \cdot 441^2) = 7,323 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$S_y$  - statický moment části průřezu nad těžišťovou osou y vzhledem k této ose

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{689,029 \cdot 10^3 \cdot 7,323 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 63,088 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = 63,088 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1,0}{235} = 0,465 \leq 1,0$$

Posouzení stojiny pod kolovým zatížením při interakci napětí:

a) Postavení soustavy břemen vyvolující maximální ohybový moment:

$$M_{Ed} = 1702,831 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 328,568 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \gamma_Q \cdot F_k = 1,35 \cdot 290,826 = 392,615 \text{ kN}$$

Globální ohybové napětí:

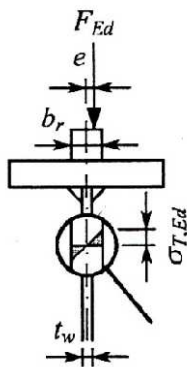
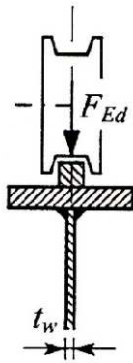
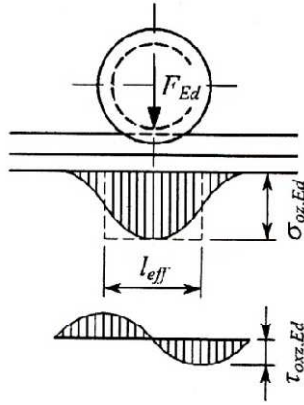
$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{w1} = \frac{1702,831 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9} \cdot 441 = 112,670 \text{ MPa}$$

Globální smykové napětí:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f1,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{328,568 \cdot 10^3 \cdot 6,156 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 25,290 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} S_{f1,y} &= \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f1} \cdot (2 \cdot e_1 - t_{f1}) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot 450 \cdot 30 \cdot (2 \cdot 471 - 30) = 6,156 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Lokální svislé tlakové napětí:



$$\sigma_{0z,Ed} = \frac{F_{Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{392,615 \cdot 10^3}{294,119 \cdot 12} = 111,240 \text{ MPa}$$

účinná roznášecí délka:

$$l_{eff} = 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f1,eff}}{t_w}} =$$

$$= 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,516 \cdot 10^6 + 461,250 \cdot 10^3}{12}} = 294,119 \text{ mm}$$

$$I_r = \frac{1}{12} \cdot b_r \cdot (0,75 \cdot h_r)^3 =$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot (0,75 \cdot 100)^3 = 3,516 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{f1,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_{f1}^3 = \frac{1}{12} \cdot 205 \cdot 30^3 = 461,25 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$b_{eff} = b_r + 0,75 \cdot h_r + t_{f1} =$$

$$= 100 + 0,75 \cdot 100 + 30 = 205 \text{ mm} \leq b = 450 \text{ mm}$$

Lokální smykové napětí:

$$\tau_{0xz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{0z,Ed} = 0,2 \cdot 111,240 = 22,248 \text{ MPa}$$

Lokální ohybové napětí:

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \text{tgh} \eta =$$

$$= \frac{6 \cdot 9,815 \cdot 10^6}{1500 \cdot 12^2} \cdot 0,533 \cdot \text{tgh} 0,533 = 70,870 \text{ MPa}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_{f1,t}} \cdot \frac{\sinh^2(\frac{\pi \cdot h_w}{a})}{\sinh(\frac{2 \cdot \pi \cdot h_w}{a}) - \frac{2 \cdot \pi \cdot h_w}{a}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,75 \cdot 1500 \cdot 30^3}{3,880 \cdot 10^6} \cdot \frac{\sinh^2(\frac{\pi \cdot 945}{1500})}{\sinh(\frac{2 \cdot \pi \cdot 945}{1500}) - \frac{2 \cdot \pi \cdot 945}{1500}}} = 0,533$$

$$I_{f1,t} = \frac{1}{3} \cdot (b - 0,63 \cdot t_{f1}) \cdot t_{f1}^3 =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot (450 - 0,63 \cdot 30) \cdot 30^3 = 3,880 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$T_{Ed} = F_{Ed} \cdot e = 392,615 \cdot 10^3 \cdot 25 = 9,815 \text{ kNm}$$

$$e = 0,25 \cdot b_r = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ mm}$$

Únosnost horního okraje stojiny:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} = 112,670 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{0z,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 111,240 + 70,870 = 182,110 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 25,290 + 22,248 = 47,538 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(112,670^2 + 182,110^2 - 112,670 \cdot 182,110 + 3 \cdot 47,538^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 = 0,582 \leq 1,0$$

b) Postavení soustavy břemen vyvolující poměrně velkou posouvající sílu:

$$V_{Ed} = 689,029 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 392,615 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0$$

Globální smykové napětí:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f1,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{689,029 \cdot 10^3 \cdot 6,156 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 53,034 \text{ MPa}$$

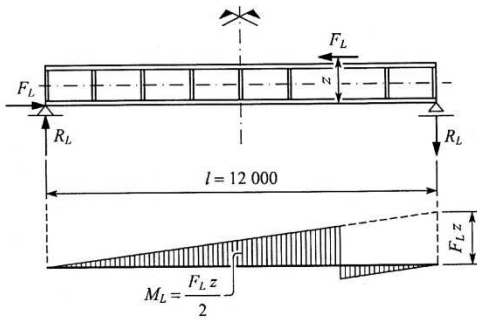
$$\sigma_{x,Ed} = 0$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{0z,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 111,240 + 70,870 = 182,110 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 53,034 + 22,248 = 75,282 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(0^2 + 182,110^2 - 0 \cdot 182,110 + 3 \cdot 75,282^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 = 0,908 \leq 1,0$$



Podélné síly

Globální ohybové napětí:

v horním krajním vlákně:

$$\sigma_{m_l,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,1}} = \frac{15,610 \cdot 10^6}{14,151 \cdot 10^6} = 1,103 \text{ MPa}$$

ve spodním krajním vlákně:

$$\sigma_{m_l,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,2}} = \frac{15,610 \cdot 10^6}{12,599 \cdot 10^6} = 1,239 \text{ MPa}$$

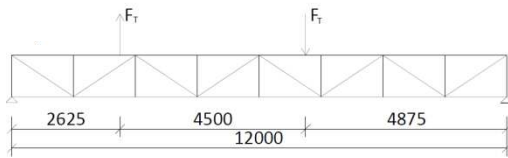
Globální tlakové napětí:

$$\sigma_{c,Ed} = \frac{F_L}{A} = \frac{28,382 \cdot 10^3}{36,090 \cdot 10^3} = 0,786 \text{ MPa}$$

- místní ohybový moment od mimostýčného zatížení

$$M_T = 0,8 \cdot \frac{F_T \cdot a}{4} = 0,8 \cdot \frac{17,737 \cdot 1,5}{4} = 5,321 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m_t,Ed} = \frac{M_T}{W_{f_1,el,z}} = \frac{6 \cdot M_T}{t_{f_1} \cdot b^2} = \frac{6 \cdot 5,321 \cdot 10^6}{30 \cdot 450^2} = 5,255 \text{ MPa}$$



Posouzení pásnic při jednoosé napjatosti pro kombinaci svislých a vodorovných sil:

Horní pásnice:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{m_l,Ed} + \sigma_{c,Ed} + \sigma_{m_t,Ed} = \\ &= 120,333 + 1,103 + 0,786 + 5,255 = 127,477 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 127,477 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Spodní pásnice:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{m_l,Ed} + \sigma_{c,Ed} = \\ &= 135,156 + 1,239 + 0,786 = 137,181 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 137,181 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Posouzení stojiny při dvojosé napjatosti pro kombinaci svislých a vodorovných sil:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = 112,670 + 1,103 + 0,786 = 114,559 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 111,240 + 70,870 = 182,110 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 25,290 + 22,248 = 47,538 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(114,559^2 + 182,110^2 - 114,559 \cdot 182,110 + 3 \cdot 47,538^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 = 0,583 \leq 1,0$$

Příčné síly:

- příčné síly jsou v této kombinaci nulové

**Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s relativně velkými svislými, příčnými i podélnými silami**

Posouzení pásnic v krajních vláknech nosníku při normálovém napětí

$$M_{Ed} = 1434,619 \text{ kNm}$$

$M_{Ed}$  - návrhová hodnota ohybového momentu

Ohybové normálové napětí:

$$\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

v horním krajním vlákně:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{1434,619 \cdot 10^6}{14,151 \cdot 10^6} = 101,380 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,Ed} = 101,380 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

ve spodním krajním vlákně:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,2}} = \frac{1434,619 \cdot 10^6}{12,599 \cdot 10^6} = 113,864 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,Ed} = 113,864 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Posouzení stojiny v neutrální ose průřezu při maximálním smykovém napětí:

$$V_{Ed} = R_{\max} = 582,087 \text{ kN}$$

$V_{Ed}$  - návrhová posouvající síla

$$\begin{aligned} S_y &= \frac{1}{2} \cdot (b \cdot e_1^2 - (b - t_w) \cdot h_{w1}^2) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot (450 \cdot 471^2 - (450 - 12) \cdot 441^2) = 7,323 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$S_y$  - statický moment části průřezu nad těžišťovou osou y vzhledem k této ose

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{582,087 \cdot 10^3 \cdot 7,323 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 53,295 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = 53,295 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1,0}{235} = 0,393 \leq 1,0$$

Posouzení stojiny pod kolovým zatížením při interakci napětí:

a) Postavení soustavy břemen vyvolující maximální ohybový moment:

$$M_{Ed} = 1434,619 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 284,231 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \gamma_Q \cdot F_k = 1,35 \cdot 249,845 = 337,291 \text{ kN}$$

Globální ohybové napětí:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{w1} = \frac{1434,619 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9} \cdot 441 = 94,923 \text{ MPa}$$

Globální smykové napětí:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f1,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{284,231 \cdot 10^3 \cdot 6,156 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 21,877 \text{ MPa}$$

$$S_{f1,y} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f1} \cdot (2 \cdot e_1 - t_{f1}) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 450 \cdot 30 \cdot (2 \cdot 471 - 30) = 6,156 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Lokální svislé tlakové napětí:

$$\sigma_{0z,Ed} = \frac{F_{Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{337,291 \cdot 10^3}{294,119 \cdot 12} = 95,568 \text{ MPa}$$

účinná roznášecí délka:

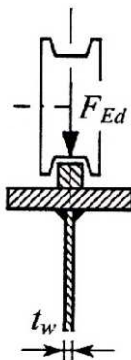
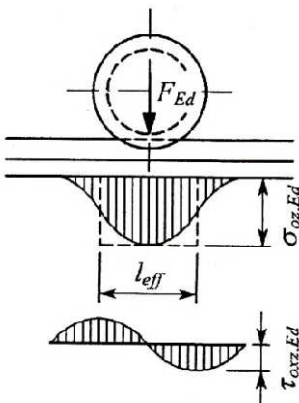
$$l_{eff} = 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f1,eff}}{t_w}} =$$

$$= 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,516 \cdot 10^6 + 461,250 \cdot 10^3}{12}} = 294,119 \text{ mm}$$

$$I_r = \frac{1}{12} \cdot b_r \cdot (0,75 \cdot h_r)^3 =$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot (0,75 \cdot 100)^3 = 3,516 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{f1,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_{f1}^3 = \frac{1}{12} \cdot 205 \cdot 30^3 = 461,25 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$



$$b_{eff} = b_r + 0,75 \cdot h_r + t_{f1} =$$

$$= 100 + 0,75 \cdot 100 + 30 = 205 \text{ mm} \leq b = 450 \text{ mm}$$

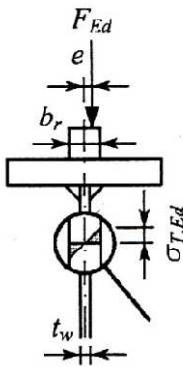
Lokální smykové napětí:

$$\tau_{0xz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{0z,Ed} = 0,2 \cdot 95,568 = 19,114 \text{ MPa}$$

Lokální ohybové napětí:

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \operatorname{tgh} \eta =$$

$$= \frac{6 \cdot 8,432 \cdot 10^6}{1500 \cdot 12^2} \cdot 0,533 \cdot \operatorname{tgh} 0,533 = 60,882 \text{ MPa}$$



$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3 \cdot \frac{\sinh^2(\frac{\pi \cdot h_w}{a})}{a}}{I_{f1,t} \cdot \left( \sinh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h_w}{a}\right) - \frac{2 \cdot \pi \cdot h_w}{a} \right)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,75 \cdot 1500 \cdot 30^3 \cdot \frac{\sinh^2(\frac{\pi \cdot 945}{1500})}{1500}}{3,880 \cdot 10^6 \cdot \left( \sinh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 945}{1500}\right) - \frac{2 \cdot \pi \cdot 945}{1500} \right)}} = 0,533$$

$$I_{f1,t} = \frac{1}{3} \cdot (b - 0,63 \cdot t_{f1}) \cdot t_{f1}^3 =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot (450 - 0,63 \cdot 30) \cdot 30^3 = 3,880 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$T_{Ed} = F_{Ed} \cdot e = 337,291 \cdot 10^3 \cdot 25 = 8,432 \text{ kNm}$$

$$e = 0,25 \cdot b_r = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ mm}$$

Únosnost horního okraje stojiny:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} = 94,923 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{0z,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 95,568 + 60,882 = 156,450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 21,877 + 19,114 = 40,991 \text{ MPa}$$

$$\left( \sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2 \right) \cdot \left( \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left( 94,923^2 + 156,450^2 - 94,923 \cdot 156,450 + 3 \cdot 40,991^2 \right) \cdot \left( \frac{1,0}{235} \right)^2$$

$$= 0,429 \leq 1,0$$



b) Postavení soustavy břemen vyvolující poměrně velkou posouvající sílu:

$$V_{Ed} = 582,087 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 337,291 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0$$

Globální smykové napětí:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f1,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{582,087 \cdot 10^3 \cdot 6,156 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 44,802 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 0$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{0z,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 95,568 + 60,882 = 156,450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 44,802 + 19,114 = 63,916 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(0^2 + 156,450^2 - 0 \cdot 156,450 + 3 \cdot 63,916^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 = 0,665 \leq 1,0$$

Podélné síly

Globální ohybové napětí:

v horním krajním vlákně:

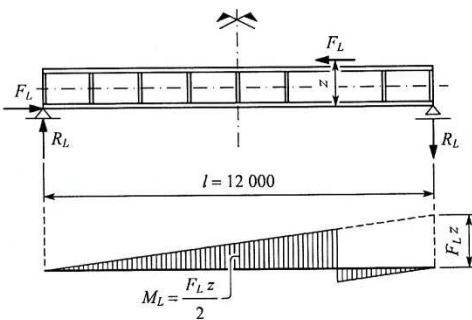
$$\sigma_{m1,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,1}} = \frac{242,528 \cdot 10^6}{14,151 \cdot 10^6} = 17,139 \text{ MPa}$$

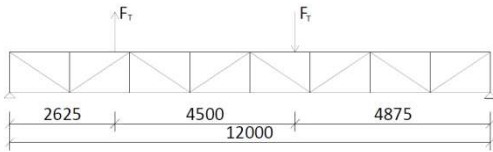
ve spodním krajním vlákně:

$$\sigma_{m1,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,2}} = \frac{242,528 \cdot 10^6}{12,599 \cdot 10^6} = 19,249 \text{ MPa}$$

Globální tlakové napětí:

$$\sigma_{c,Ed} = \frac{F_L}{A} = \frac{550,655 \cdot 10^3}{36,090 \cdot 10^3} = 15,258 \text{ MPa}$$





$$M_T = 0,8 \cdot \frac{F_T \cdot a}{4} = 0,8 \cdot \frac{101,334 \cdot 1,5}{4} = 30,400 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{mt,Ed} = \frac{M_T}{W_{f1,el,z}} = \frac{6 \cdot M_T}{t_{f1} \cdot b^2} = \frac{6 \cdot 30,400 \cdot 10^6}{30 \cdot 450^2} = 30,025 \text{ MPa}$$

Posouzení pásnic při jednoosé napjatosti pro kombinaci svislých a vodorovných sil:

Horní pásnice:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} + \sigma_{mt,Ed} = \\ &= 101,380 + 17,139 + 15,258 + 30,025 = 163,802 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 163,802 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Spodní pásnice:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = \\ &= 113,864 + 19,249 + 15,258 = 148,371 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 137,181 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Posouzení stojiny při dvojosé napjatosti pro kombinaci svislých a vodorovných sil:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = 94,923 + 17,139 + 15,258 = \\ &= 127,320 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 95,568 + 60,882 = 156,450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 21,877 + 19,114 = 40,991 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\begin{aligned} &(127,320^2 + 156,450^2 - 127,320 \cdot 156,450 + 3 \cdot 40,991^2) \cdot \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 \\ &= 0,467 \leq 1,0 \end{aligned}$$

Příčné síly:

Tlakové napětí od osově síly:

$$A_{ch} = b \cdot t_{f1} + 15 \cdot \varepsilon \cdot t_w^2 = 450 \cdot 30 + 15 \cdot 1,0 \cdot 12^2 = \\ = 15,660 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{ct,Ed} = \frac{N_T}{A_{ch}} = \frac{225,67 \cdot 10^3}{15,660 \cdot 10^3} = 14,411 \text{ MPa}$$

Místní ohybový moment od mimostýčného zatížení je vypočítán u posudku na zatížení v podélném směru

Posouzení průřezu pro kombinaci svislých, příčných i podélných sil:

- stojina při postavení břemen vyvolávající maximální moment:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = 94,923 + 17,139 + 15,258 = \\ = 127,320 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 95,568 + 60,882 = 156,450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 21,877 + 19,114 = 40,991 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(127,320^2 + 156,450^2 - 127,320 \cdot 156,450 + 3 \cdot 40,991^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 \\ = 0,467 \leq 1,0$$

- stojina při postavení břemen vyvolávající maximální posouvající sílu:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = 17,139 + 15,258 = 32,397 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 95,568 + 60,882 = 156,450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 44,802 + 19,114 = 63,916 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(32,397^2 + 156,450^2 - 32,397 \cdot 156,450 + 3 \cdot 63,916^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 \\ = 0,592 \leq 1,0$$

- horní pásnice:

$$\begin{aligned}\sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} + \sigma_{mt,Ed} + \sigma_{ct,Ed} = \\ &= 101,380 + 17,139 + 15,258 + 30,025 + 14,411 = 178,213 \text{ MPa} \\ \sigma_{x,Ed} &= 178,213 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- spodní pásnice:

$$\begin{aligned}\sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = \\ &= 113,864 + 19,249 + 15,258 = 148,371 \text{ MPa} \\ \sigma_{x,Ed} &= 148,371 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}\end{aligned}$$

## Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálním příčným zatížením

Posouzení pásnic v krajních vláknech nosníku při normálovém napětí

$$M_{Ed} = 1435,710 \text{ kNm}$$

$M_{Ed}$  - návrhová hodnota ohybového momentu

Ohybové normálové napětí:

$$\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

v horním krajním vlákně:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{1435,710 \cdot 10^6}{14,151 \cdot 10^6} = 101,457 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,Ed} = 101,457 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

ve spodním krajním vlákně:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,2}} = \frac{1435,710 \cdot 10^6}{12,599 \cdot 10^6} = 113,951 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,Ed} = 113,951 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Posouzení stojiny v neutrální ose průřezu při maximálním smykovém napětí:

$$V_{Ed} = R_{\max} = 582,354 \text{ kN}$$

$V_{Ed}$  - návrhová posouvající síla

$$\begin{aligned} S_y &= \frac{1}{2} \cdot (b \cdot e_1^2 - (b - t_w) \cdot h_{w1}^2) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot (450 \cdot 471^2 - (450 - 12) \cdot 441^2) = 7,323 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$S_y$  - statický moment části průřezu nad těžišťovou osou y vzhledem k této ose

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{582,354 \cdot 10^3 \cdot 7,323 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 53,319 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = 53,319 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1,0}{235} = 0,393 \leq 1,0$$

Posouzení stojiny pod kolovým zatížením při interakci napětí:

a) Postavení soustavy břemen vyvolující maximální ohybový moment:

$$M_{Ed} = 1435,710 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 284,414 \text{ kN}$$

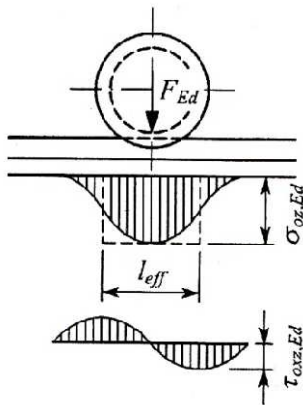
$$F_{Ed} = \gamma_Q \cdot F_k = 1,35 \cdot 249,845 = 337,291 \text{ kN}$$

Globální ohybové napětí:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{w1} = \frac{1434,619 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9} \cdot 441 = 94,995 \text{ MPa}$$

Globální smykové napětí:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f1,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{284,414 \cdot 10^3 \cdot 6,156 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 21,891 \text{ MPa}$$



$$S_{f1,y} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f1} \cdot (2 \cdot e_1 - t_{f1}) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 450 \cdot 30 \cdot (2 \cdot 471 - 30) = 6,156 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Lokální svislé tlakové napětí:

$$\sigma_{0z,Ed} = \frac{F_{Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{337,291 \cdot 10^3}{294,119 \cdot 12} = 95,568 \text{ MPa}$$

účinná roznášecí délka:

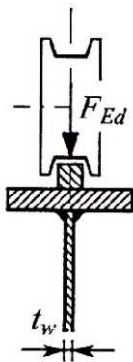
$$l_{eff} = 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f1,eff}}{t_w}} =$$

$$= 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,516 \cdot 10^6 + 461,250 \cdot 10^3}{12}} = 294,119 \text{ mm}$$

$$I_r = \frac{1}{12} \cdot b_r \cdot (0,75 \cdot h_r)^3 =$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot (0,75 \cdot 100)^3 = 3,516 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{f1,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_{f1}^3 = \frac{1}{12} \cdot 205 \cdot 30^3 = 461,25 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$



$$b_{eff} = b_r + 0,75 \cdot h_r + t_{f1} =$$

$$= 100 + 0,75 \cdot 100 + 30 = 205 \text{ mm} \leq b = 450 \text{ mm}$$

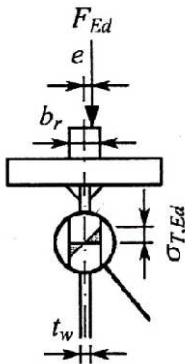
Lokální smykové napětí:

$$\tau_{0xz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{0z,Ed} = 0,2 \cdot 95,568 = 19,114 \text{ MPa}$$

Lokální ohybové napětí:

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \operatorname{tgh} \eta =$$

$$= \frac{6 \cdot 8,432 \cdot 10^6}{1500 \cdot 12^2} \cdot 0,533 \cdot \operatorname{tgh} 0,533 = 60,882 \text{ MPa}$$



$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_{f1,t}} \cdot \frac{\sinh^2(\frac{\pi \cdot h_w}{a})}{\sinh(\frac{2 \cdot \pi \cdot h_w}{a}) - \frac{2 \cdot \pi \cdot h_w}{a}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,75 \cdot 1500 \cdot 30^3}{3,880 \cdot 10^6} \cdot \frac{\sinh^2(\frac{\pi \cdot 945}{1500})}{\sinh(\frac{2 \cdot \pi \cdot 945}{1500}) - \frac{2 \cdot \pi \cdot 945}{1500}}} = 0,533$$

$$I_{f1,t} = \frac{1}{3} \cdot (b - 0,63 \cdot t_{f1}) \cdot t_{f1}^3 =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot (450 - 0,63 \cdot 30) \cdot 30^3 = 3,880 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$T_{Ed} = F_{Ed} \cdot e = 337,291 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 8,432 \text{ kNm}$$

$$e = 0,25 \cdot b_r = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ mm}$$

Únosnost horního okraje stojiny:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} = 94,995 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{0z,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 95,568 + 60,882 = 156,450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 21,891 + 19,114 = 41,005 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(94,995^2 + 156,450^2 - 94,995 \cdot 156,450 + 3 \cdot 41,005^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2$$

$$= 0,429 \leq 1,0$$

b) Postavení soustavy břemen vyvolující poměrně velkou posouvající sílu:

$$V_{Ed} = 582,354 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 337,291 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0$$

Globální smykové napětí:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f1,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{582,354 \cdot 10^3 \cdot 6,156 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 44,823 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 0$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{0z,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 95,568 + 60,882 = 156,450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 44,823 + 19,114 = 63,937 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(0^2 + 156,450^2 - 0 \cdot 156,450 + 3 \cdot 63,937^2) \cdot \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 = 0,665 \leq 1,0$$

Podélné síly

- podélné síly jsou v této kombinaci nulové

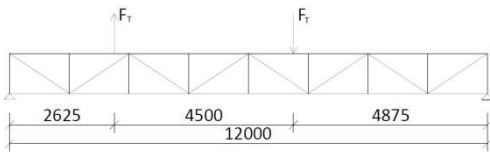
Příčné síly:

Tlakové napětí od osově síly:

$$A_{ch} = b \cdot t_{f1} + 15 \cdot \varepsilon \cdot t_w^2 = 450 \cdot 30 + 15 \cdot 1,0 \cdot 12^2 = 15,660 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{ct,Ed} = \frac{N_T}{A_{ch}} = \frac{657,775 \cdot 10^3}{15,660 \cdot 10^3} = 42,004 \text{ MPa}$$





Místní ohybový moment od mimostýčného zatížení:

$$M_T = 0,8 \cdot \frac{F_T \cdot a}{4} = 0,8 \cdot \frac{191,670 \cdot 1,5}{4} = 57,501 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{mt,Ed} = \frac{M_T}{W_{f1,el,z}} = \frac{6 \cdot M_T}{t_{f1} \cdot b^2} = \frac{6 \cdot 57,501 \cdot 10^6}{30 \cdot 450^2} = 56,791 \text{ MPa}$$

Posouzení průřezu pro kombinaci svislých, příčných i podélných sil:

- stojina při postavení břemen vyvolávající maximální moment:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{c,Ed} = 94,995 = 94,995 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 95,568 + 60,882 = 156,450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 21,891 + 19,114 = 41,005 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(94,995^2 + 156,450^2 - 94,995 \cdot 156,450 + 3 \cdot 41,005^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 = 0,429 \leq 1,0$$

- stojina při postavení břemen vyvolávající maximální posouvající sílu:

$$\sigma_{x,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 95,568 + 60,882 = 156,450 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 44,823 + 19,114 = 63,937 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(0^2 + 156,450^2 - 0 \cdot 156,450 + 3 \cdot 63,937^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 = 0,665 \leq 1,0$$

- horní pásnice:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{mt,Ed} + \sigma_{ct,Ed} =$$

$$= 101,457 + 56,791 + 42,004 = 200,252 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 200,252 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

- spodní pásnice:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} = 113,951 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 113,951 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

## Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálním podélným zatížením

Posouzení pásnic v krajních vláknech nosníku při normálovém napětí

$$M_{Ed} = 679,244 \text{ kNm}$$

$M_{Ed}$  - návrhová hodnota ohybového momentu

Ohybové normálové napětí:

$$\frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1,0} = 235 \text{ MPa}$$

v horním krajním vlákně:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{679,244 \cdot 10^6}{14,151 \cdot 10^6} = 48,000 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,Ed} = 48,000 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

ve spodním krajním vlákně:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,2}} = \frac{679,244 \cdot 10^6}{12,599 \cdot 10^6} = 53,911 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,Ed} = 53,911 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Posouzení stojiny v neutrální ose průřezu při maximálním smykovém napětí:

$$V_{Ed} = R_{\max} = 263,375 \text{ kN}$$

$V_{Ed}$  - návrhová posouvající síla

$$\begin{aligned} S_y &= \frac{1}{2} \cdot (b \cdot e_1^2 - (b - t_w) \cdot h_{w1}^2) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot (450 \cdot 471^2 - (450 - 12) \cdot 441^2) = 7,323 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

$S_y$  - statický moment části průřezu nad těžišťovou osou y vzhledem k této ose

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{263,375 \cdot 10^3 \cdot 7,323 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 24,114 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,Ed} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = 24,114 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 1,0}{235} = 0,178 \leq 1,0$$

Posouzení stojiny pod kolovým zatížením při interakci napětí:

a) Postavení soustavy břemen vyvolující maximální ohybový moment:

$$M_{Ed} = 679,244 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 128,513 \text{ kN}$$

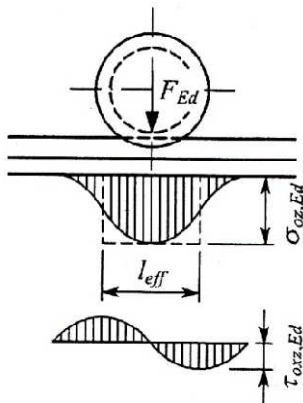
$$F_{Ed} = \gamma_Q \cdot F_k = 1,35 \cdot 107,578 = 145,230 \text{ kN}$$

Globální ohybové napětí:

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{w1} = \frac{679,244 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9} \cdot 441 = 44,943 \text{ MPa}$$

Globální smykové napětí:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f1,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{128,513 \cdot 10^3 \cdot 6,156 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 9,891 \text{ MPa}$$



$$S_{f1,y} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f1} \cdot (2 \cdot e_1 - t_{f1}) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 450 \cdot 30 \cdot (2 \cdot 471 - 30) = 6,156 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Lokální svislé tlakové napětí:

$$\sigma_{0z,Ed} = \frac{F_{Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{145,230 \cdot 10^3}{294,119 \cdot 12} = 41,150 \text{ MPa}$$

účinná roznášecí délka:

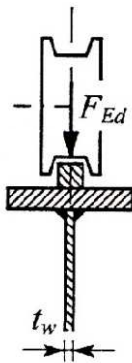
$$l_{eff} = 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f1,eff}}{t_w}} =$$

$$= 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,516 \cdot 10^6 + 461,250 \cdot 10^3}{12}} = 294,119 \text{ mm}$$

$$I_r = \frac{1}{12} \cdot b_r \cdot (0,75 \cdot h_r)^3 =$$

$$= \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot (0,75 \cdot 100)^3 = 3,516 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{f1,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_{f1}^3 = \frac{1}{12} \cdot 205 \cdot 30^3 = 461,25 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$



$$b_{eff} = b_r + 0,75 \cdot h_r + t_{f1} =$$

$$= 100 + 0,75 \cdot 100 + 30 = 205 \text{ mm} \leq b = 450 \text{ mm}$$

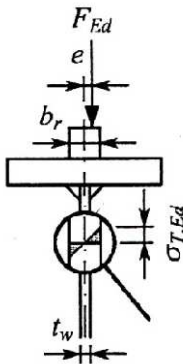
Lokální smykové napětí:

$$\tau_{0xz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{0z,Ed} = 0,2 \cdot 41,150 = 8,230 \text{ MPa}$$

Lokální ohybové napětí:

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \operatorname{tgh} \eta =$$

$$= \frac{6 \cdot 3,631 \cdot 10^6}{1500 \cdot 12^2} \cdot 0,533 \cdot \operatorname{tgh} 0,533 = 26,217 \text{ MPa}$$



$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_{f1,t}} \cdot \frac{\sinh^2(\frac{\pi \cdot h_w}{a})}{\sinh(\frac{2 \cdot \pi \cdot h_w}{a}) - \frac{2 \cdot \pi \cdot h_w}{a}}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,75 \cdot 1500 \cdot 30^3}{3,880 \cdot 10^6} \cdot \frac{\sinh^2(\frac{\pi \cdot 945}{1500})}{\sinh(\frac{2 \cdot \pi \cdot 945}{1500}) - \frac{2 \cdot \pi \cdot 945}{1500}}} = 0,533$$

$$I_{f1,t} = \frac{1}{3} \cdot (b - 0,63 \cdot t_{f1}) \cdot t_{f1}^3 =$$

$$= \frac{1}{3} \cdot (450 - 0,63 \cdot 30) \cdot 30^3 = 3,880 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$T_{Ed} = F_{Ed} \cdot e = 145,230 \cdot 10^{-3} \cdot 25 = 3,631 \text{ kNm}$$

$$e = 0,25 \cdot b_r = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ mm}$$

Únosnost horního okraje stojiny:

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} = 44,943 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{0z,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 41,150 + 26,217 = 67,367 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 9,891 + 8,230 = 18,121 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(44,943^2 + 67,367^2 - 44,943 \cdot 67,367 + 3 \cdot 18,121^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2$$

$$= 0,082 \leq 1,0$$

b) Postavení soustavy břemen vyvolující poměrně velkou posouvající sílu:

$$V_{Ed} = 263,375 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 145,230 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0$$

Globální smykové napětí:

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f1,y}}{I_y \cdot t_w} = \frac{263,375 \cdot 10^3 \cdot 6,156 \cdot 10^6}{6,665 \cdot 10^9 \cdot 12} = 20,272 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 0$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{0z,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 41,15 + 26,217 = 67,367 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 20,272 + 8,230 = 28,502 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$(0^2 + 67,367^2 - 0 \cdot 67,367 + 3 \cdot 28,502^2) \cdot \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 = 0,126 \leq 1,0$$

Podélné síly

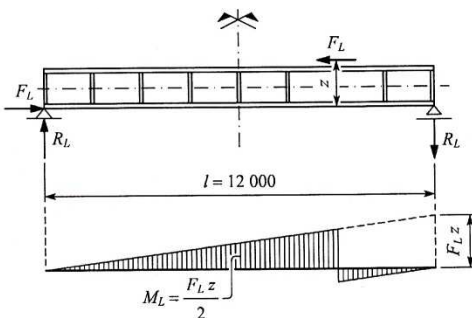
Globální ohybové napětí:

v horním krajním vlákně:

$$\sigma_{m1,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,1}} = \frac{266,653 \cdot 10^6}{14,151 \cdot 10^6} = 18,844 \text{ MPa}$$

ve spodním krajním vlákně:

$$\sigma_{m2,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,2}} = \frac{266,653 \cdot 10^6}{12,599 \cdot 10^6} = 21,164 \text{ MPa}$$



Globální tlakové napětí:

$$\sigma_{c,Ed} = \frac{F_L}{A} = \frac{656,245 \cdot 10^3}{36,090 \cdot 10^3} = 18,184 \text{ MPa}$$

Posouzení pásnic při jednoosé napjatosti pro kombinaci svislých a vodorovných sil:

Horní pásnice:

$$\begin{aligned}\sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = \\ &= 48,000 + 18,844 + 18,184 = 85,028 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 85,028 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Spodní pásnice:

$$\begin{aligned}\sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = \\ &= 53,911 + 21,164 + 18,184 = 93,259 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 93,259 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Posouzení stojiny při dvojosé napjatosti pro kombinaci svislých a vodorovných sil:

$$\begin{aligned}\sigma_{x,Ed} &= \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = 44,943 + 18,844 + 18,184 = \\ &= 81,971 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 41,150 + 26,217 = 67,367 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{0xz,Ed} = 9,891 + 8,230 = 18,121 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{\gamma_{M0}}{f_y}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\begin{aligned}(81,971^2 + 67,367^2 - 81,971 \cdot 67,367 + 3 \cdot 18,121^2) \left(\frac{1,0}{235}\right)^2 \\ = 0,122 \leq 1,0\end{aligned}$$

Příčné síly:

- příčné síly jsou v této kombinaci zatížení nulové

**Posouzení hlavního nosníku na klopení:**

- vzdálenost průřezů tlačného pásu  $L_c$  zajištěných proti vybočení z roviny prvotního ohybu:

$$L_c = a = 1500 \text{ mm}$$

$$A_c = b \cdot t_{f1} + \frac{1}{5} \cdot h_w \cdot t_w = 450 \cdot 30 + \frac{1}{5} \cdot 945 \cdot 12 = 15,768 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{1}{12} \cdot (t_{f1} \cdot b^3 + \frac{1}{5} \cdot h_w \cdot t_w^3) = \\ &= \frac{1}{12} \cdot (30 \cdot 450^3 + \frac{1}{5} \cdot 945 \cdot 12^3) = 227,840 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$h_w = 945 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$b = 450 \text{ mm}$$

$$t_{f1} = 30 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda}_f = \frac{L_c}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y \cdot A_c}{E \cdot I_c}} = \frac{1500}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 15,768 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 227,840 \cdot 10^6}} = 0,133$$

$$\bar{\lambda}_f = 0,133 \leq 0,2$$

- klopení není nutné uvažovat



**Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy na boulení:**

Únosnosti průřezu a souvisící parametry:

a) Rozmístění příčných výztuh:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{945}{12} = 78,75 > \frac{72 \cdot \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \cdot 1,0}{1,20} = 60$$

$\eta = 1,20$  pro ocel S235

- smykem namáhané stojiny s takovou štíhlostí mají být příčně vyztužené alespoň v místech podpor

Návrh:

otevřené výztuhy průřezu úzkého obdélníka po obou stranách stojiny, po celé výšce stojiny:

- koncové (v místech podpor), působící jako netuhé
- mezilehlé, rozmístěné ve vzdálenostech  $a = 1500 \text{ mm}$ , působící jako tuhé

2) Únosnost ve smyku:

$$\alpha = \frac{a}{h_w} = \frac{1500}{945} = 1,587 \geq 1,0$$

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2 = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{945}{1500}\right)^2 = 6,928$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{945}{37,4 \cdot 12 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{6,928}} = 0,800$$

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{0,800} = 1,038 \leq \eta = 1,20$$

- příspěvek k únosnosti ve smyku zahrnující působení částečného tahového pole stojiny:

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1,038 \cdot 945 \cdot 12 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1597,047 \text{ kN}$$

- příspěvek k únosnosti ve smyku zahrnující zvětšení účinků tahového pole v důsledku lokální ohybové únosnosti pásnic:

$$c = a \cdot \left( 0,25 + \frac{1,6 \cdot b \cdot t_{f2}^2}{t_w \cdot h_w^2} \right) =$$

$$= 1500 \cdot \left( 0,25 + \frac{1,6 \cdot 450 \cdot 25^2}{12 \cdot 945^2} \right) = 437,988$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b \cdot t_{f2}^2 \cdot f_y}{c \cdot \gamma_{M1}} = \frac{450 \cdot 25^2 \cdot 235}{437,988 \cdot 1,00} = 150,903 \text{ kN}$$

c) Únosnost při místním příčném zatížení:

$$l_{eff} = 294,119 \text{ mm}$$

$$s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_{f1} = 294,119 - 2 \cdot 30 = 234,119 \text{ mm}$$

$$k_f = 6 + 2 \cdot \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \cdot \left( \frac{945}{1500} \right)^2 = 6,794$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_f \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 \cdot 6,794 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot \frac{12^3}{945} = 2348,006 \text{ kN}$$

$$m_1 = \frac{b}{t_w} = \frac{450}{12} = 37,5$$

$$m_2 = 0,02 \cdot \left( \frac{h_w}{t_{f1}} \right)^2 = 0,02 \cdot \left( \frac{945}{30} \right)^2 = 19,845 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_F > 0,5$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{748,478 \cdot 12 \cdot 235}{2348,006 \cdot 10^3}} = 0,948$$

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_{f1} \cdot \left( 1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) =$$

$$= 234,119 + 2 \cdot 30 \cdot \left( 1 + \sqrt{37,5 + 19,845} \right) = 748,478 \text{ mm}$$

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} = \frac{0,5}{0,948} = 0,527 \leq 1,0$$

$$F_{Rd} = \frac{\chi_F \cdot l_y \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,527 \cdot 748,478 \cdot 12 \cdot 235}{1,0} = 1112,343 \text{ kN}$$

d) Únosnost při působení normálových napětí:

$$W_{f,y} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f2} \cdot (h + h_w) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 450 \cdot 25 \cdot (1000 + 945) = 10,941 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$x = \frac{1}{2} \cdot \left( h - (t_{f1} - t_{f2}) \cdot \left( \frac{b}{t_w} - 1 \right) \right) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \left( 1000 - (30 - 25) \cdot \left( \frac{450}{12} - 1 \right) \right) = 408,750 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = t_w \cdot x \cdot (2 \cdot e_1 - x) + t_{f1} \cdot (b - t_w) \cdot (2 \cdot e_1 - t_{f1}) =$$

$$= 12 \cdot 408,750 \cdot (2 \cdot 471 - 408,750) +$$

$$+ 30 \cdot (450 - 12) \cdot (2 \cdot 471 - 30) = 14,599 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{14,599 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,0} = 3430,765 \text{ kNm}$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{f,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{10,941 \cdot 10^6 \cdot 235}{1,00} = 2571,135 \text{ kNm}$$

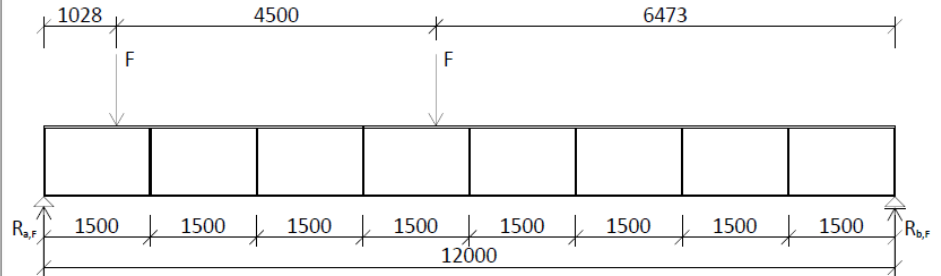
Návrhová osová únosnost průřezu složeného pouze z pásnic:

$$\frac{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(t_{f1} + t_{f2}) \cdot b \cdot f_y}{\gamma_{M0}} =$$

$$= \frac{(30 + 25) \cdot 450 \cdot 235}{1,0} = 5816,250 \text{ kN}$$

Posouzení rozhodujících průřezů pro kombinaci zatížení s maximálními svislými účinky

a) Příklad s významným ohybovým momentem:



- posuzuji průřez ve vzdálenosti od příčné výztuhy:

$$a = \min\{0,4 \cdot a; 0,5 \cdot h_w\} = \min\{0,4 \cdot 1500; 0,5 \cdot 945\} = \min\{600; 472,5\} = 472,5 \text{ mm}$$

- vzdálenost od podpory:

$$x = a - a_m = 1500 - 472,5 = 1027,5 \text{ mm}$$

- podporová reakce:

$$R_{a,F} = \frac{392,615 \cdot (6,473 + 10,973)}{12,000} = 570,764 \text{ kN}$$

$$R_{b,F} = 2 \cdot 392,615 - 570,764 = 214,466 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = R_{a,F} \cdot x = 570,764 \cdot 1,028 = 586,460 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = F_L = 28,382 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = M_T = 5,321 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = R_{a,g} + R_{a,F} = 1,35 \cdot 37,800 + 570,764 = 621,794 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 392,615 \text{ kN}$$

Působení normálových napětí:

$$\begin{aligned} \sigma_{x,Ed} &= \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} + \sigma_{c,Ed} + \sigma_{mt,Ed} = \\ &= \frac{586,460 \cdot 10^6}{14,151 \cdot 10^6} + 0,786 + 5,255 = 47,484 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Smyk:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} = \frac{621,794}{1597,047 + 150,903} = 0,356 \leq 1,0$$

Místní příčné zatížení:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{392,615}{1112,343} = 0,353 \leq 1,0$$

Interakce ohybu a smyku:

$$M_{Ed} \leq M_{f,Rd} \wedge V_{Ed} \leq V_{bw,Rd}$$

$$586,460 \text{ kNm} \leq 2571,135 \text{ kNm}$$

$$621,794 \text{ kN} \leq 1597,047 \text{ kN}$$

Interakce ohybu, tlaku a smyku:

$$A_{f1} = b \cdot t_{f1} = 450 \cdot 30 = 13500 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = b \cdot t_{f2} = 450 \cdot 25 = 11250 \text{ mm}^2$$

$$M_{Ed} \leq \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{A_{f1} + A_{f2}} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \right) \cdot M_{f,Rd}$$

$$\left( 1 - \frac{28,382}{13500 + 11250} \cdot \frac{1,0}{235} \right) \cdot 2571,135 = 2571,122$$

$$586,460 \text{ kNm} \leq 2571,122 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} \leq V_{bw,Rd}$$

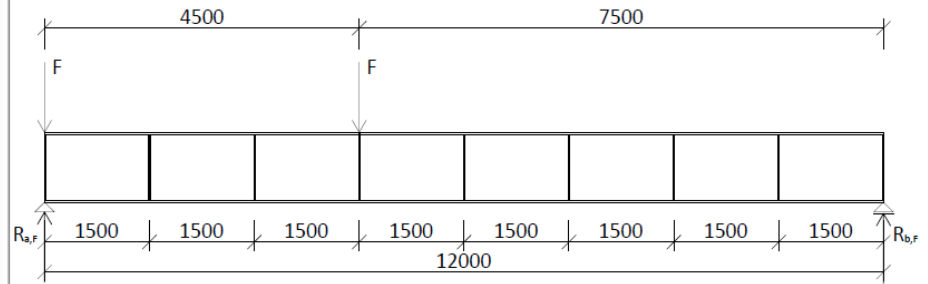
$$621,794 \text{ kN} \leq 1597,047 \text{ kN}$$

Interakce ohybu, tlaku a osamělé příčné síly:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \cdot \sigma_{x,Ed} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \leq 1,4$$

$$\frac{392,615}{1112,343} + 0,8 \cdot 47,484 \cdot \frac{1,0}{235} = 0,515 \leq 1,4$$

b) Příklad bez ohybového momentu:



$$R_{a,F} = \frac{392,615 \cdot (12,000 + 7,500)}{12,000} = 637,999 \text{ kN}$$

$$R_{b,F} = 2 \cdot 392,615 - 637,999 = 147,231 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = R_{a,g} + R_{a,F} = 1,35 \cdot 37,800 + 637,999 = 689,029 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 392,615 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = F_L = 28,382 \text{ kN}$$

Smyk:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} = \frac{689,029}{1597,047 + 150,903} = 0,394 \leq 1,0$$

Místní příčné zatížení:

- ověřeno v případě a)

Interakce tlaku a smyku:

$$A_{f1} = b \cdot t_{f1} = 450 \cdot 30 = 13500 \text{ mm}^2$$

$$A_{f2} = b \cdot t_{f2} = 450 \cdot 25 = 11250 \text{ mm}^2$$

$$M_{Ed} \leq \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{A_{f1} + A_{f2}} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} \right) \cdot M_{f,Rd}$$

$$\left( 1 - \frac{28,382}{13500 + 11250} \cdot \frac{1,0}{235} \right) \cdot 2571,135 = 2571,122$$

$$0 \text{ kNm} \leq 2571,122 \text{ kNm}$$

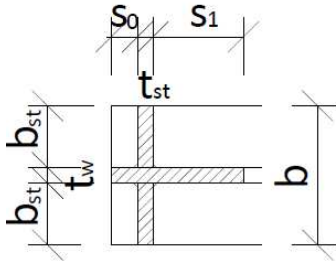
$$V_{Ed} \leq V_{bw,Rd}$$

$$689,029 \text{ kN} \leq 1597,047 \text{ kN}$$

Interakce tlaku a osamělé příčné síly:

$\sigma_{x,Ed}$  menší než v případě a) - průřez vyhoví

**Posouzení koncových výztuh:**



2 x plech 120 x 16

- připojovací svary tloušťky 6 mm

$$s_1 = 15 \cdot \varepsilon \cdot t_w = 15 \cdot 1,0 \cdot 12,0 = 180 \text{ mm}$$

$$s_0 = 10 \text{ mm}$$

$$A_{st} = t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w) + (s_1 + s_2) \cdot t_w = \\ = 16 \cdot (2 \cdot 120 + 12) + (180 + 10) \cdot 12 = 6,312 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} \cdot (t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w)^3 + (s_1 + s_0) \cdot t_w^3) = \\ = \frac{1}{12} \cdot (16 \cdot (2 \cdot 120 + 12)^3 + (180 + 10) \cdot 12^3) = 21,365 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{st,cr} = 0,75 \cdot h_w = 0,75 \cdot 945 = 708,750 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{I_{st,rc}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{st}}{E \cdot I_{st}}} = \frac{708,750}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 6,312 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 21,365 \cdot 10^6}} = 0,130$$

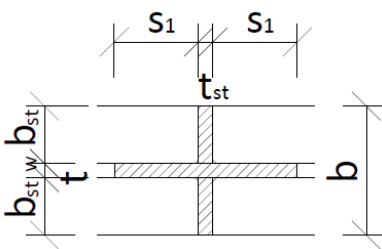
$$\bar{\lambda} \leq 0,2 \rightarrow \chi = 1,0$$

$$N_{st,b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{st} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 6,312 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 1483,320 \text{ kN}$$

$$R_{Ed} = R_{\max} = 689,029 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Ed}}{N_{st,b,Rd}} = \frac{689,029}{1483,320} = 0,465 \leq 1,0$$

**Posouzení mezilehlých výztuh:**



2 x plech 120 x 10

- připojovací svary tloušťky 4 mm

Posouzení na smyk a osamělou příčnou sílu:

$$A_{st} = t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w) + 2 \cdot s_1 \cdot t_w = \\ = 10 \cdot (2 \cdot 120 + 12) + 2 \cdot 180 \cdot 12 = 6,840 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} \cdot (t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w)^3 + 2 \cdot s_1 \cdot t_w^3) = \\ = \frac{1}{12} \cdot (10 \cdot (2 \cdot 120 + 12)^3 + 2 \cdot 180 \cdot 12^3) = 13,388 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

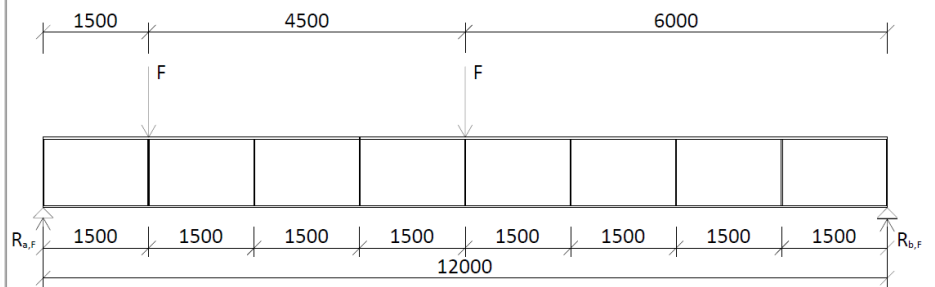
- ověření tuhosti:

$$\alpha = \frac{a}{h_w} = \frac{1500}{945} = 1,587 \geq \sqrt{2}$$

$$\rightarrow I_{st} \geq 0,75 \cdot h_w \cdot t_w^3 = 0,75 \cdot 945 \cdot 12^3 = 1,225 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{st} = 13,388 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \geq 1,225 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

- ověření pevnosti:



$$R_{a,F} = \frac{392,615 \cdot (10,5 + 6,0)}{12,0} = 539,846 \text{ kN}$$

$$R_{b,F} = 2 \cdot 392,615 - 539,846 = 245,384 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = R_{a,F} + R_{a,g} = 539,846 + 1,35 \cdot 37,800 = 590,876 \text{ kN}$$

$$N_{st,ten} = V_{Ed} - \frac{h_w \cdot t_w}{\lambda_w^2} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} =$$

$$= 590,876 - \frac{945 \cdot 12}{0,8^2} \cdot \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = -2403,442 \text{ kN} \leq 0$$

$$\rightarrow N_{st,ten} = 0$$

$$N_{st,Ed} = F_{Ed} + N_{st,ten} + \Delta N_{st} = 392,615 + 0 + 0 = 392,615 \text{ kN}$$

$$I_{st,cr} = 0,75 \cdot 945 = 708,750 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{I_{st,rc}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{st}}{E \cdot I_{st}}} = \frac{708,750}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 6,840 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 13,388 \cdot 10^6}} = 0,171$$

$$\bar{\lambda} \leq 0,2 \rightarrow \chi = 1,0$$

$$N_{st,b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{st} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1,0 \cdot 6,840 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 1607,400 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{st,Ed}}{N_{st,b,Rd}} = \frac{392,615}{1607,400} = 0,244 \leq 1,0$$



**Posouzení účinného podepření tlačené pásnice stojinou:**

$$\frac{h_w}{t_w} \leq \frac{k \cdot E}{f_y} \cdot \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}}$$

$$\frac{945}{12} = 78,750$$

$$k = 0,3$$

$$\frac{0,3 \cdot 210 \cdot 10^3}{235} \cdot \sqrt{\frac{945 \cdot 12}{450 \cdot 30}} = 245,704$$

$$78,750 \leq 245,704$$

### Posouzení spoje stojiny a pásnice nosníku (krčných svarů)

- koutové svary o účinné tloušťce  $a = 10$  mm pod horní pásnicí,  $a=6$  mm nad spodní pásnicí
- posouzení pro kombinaci s maximálním svislým zatížením - skupina zatížení č. 2

Krční svary pod horní pásnicí:

- smykové namáhání

$$R_a = \frac{F_k \cdot 7,500 + F_k \cdot 12,000}{12,000} =$$

$$= \frac{290,826 \cdot 7,500 + 290,826 \cdot 12,000}{12,000} = 472,592 \text{ kN}$$

$$R_b = \frac{F_k \cdot 4,500}{12,000} = \frac{290,826 \cdot 4,500}{12,000} = 109,060 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 689,029 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 392,615 \text{ kN}$$

$$T_{Ed} = 9,815 \text{ kN}$$

- ohybový moment a normálovou sílu není třeba uvažovat, protože vyvozují normálové napětí rovnoběžné s osou svaru, jež lze pominout

- smykový tok pro  $V_{Ed} = 689,029 \text{ kN} \leq V_{bw,Rd} = 1596,286 \text{ kN}$ :

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{h_w} = \frac{689,029 \cdot 10^3}{945} = 729 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

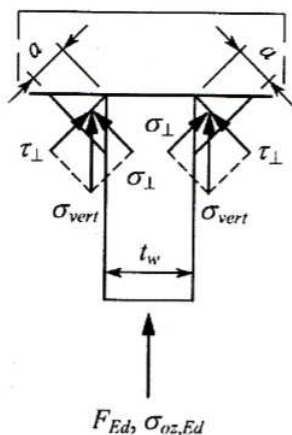
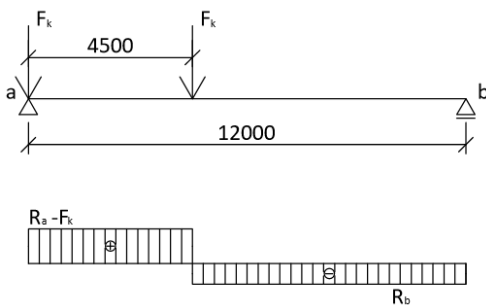
- vodorovné napětí ve svarech:

$$\tau_{II} = \frac{v_{Ed}}{2 \cdot a} = \frac{729}{2 \cdot 10} = 36,45 \text{ MPa}$$

- napětí od kolového zatížení:

$$\sigma_{vert} = \sigma_{oz,Ed} \cdot \frac{t_w}{2 \cdot a + t_w} = 111,0 \cdot \frac{12}{2 \cdot 10 + 12} = 41,6 \text{ MPa}$$

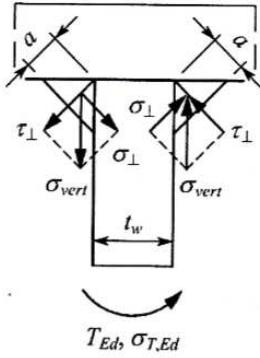
$$\sigma_{oz,Ed} = 111,0 \text{ MPa}$$



- složky  $\sigma_{oz,Ed}$ :

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{vert}}{\sqrt{2}} = \frac{41,6}{\sqrt{2}} = 29,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \tau_{oxz,Ed} \cdot \frac{t_w}{2 \cdot a} = 22,2 \cdot \frac{12}{2 \cdot 10} = 13,3 \text{ MPa}$$



- napětí od kroutícího momentu  $T_{Ed}$ :

$$\sigma_{vert} = \sigma_{T,Ed} \cdot \frac{1,0 \cdot t_w^2}{6 \cdot W} = 70,9 \cdot \frac{1,0 \cdot 12^2}{6 \cdot 156,5} = 10,9 \text{ MPa}$$

$$W = 1,0 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot (t_w + \sqrt{2} \cdot a)^3 - (\sqrt{2} - 1) \cdot t_w^3}{6 \cdot (t_w + \sqrt{2} \cdot a)} =$$

$$= 1,0 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot (12 + \sqrt{2} \cdot 10)^3 - (\sqrt{2} - 1) \cdot 12^3}{6 \cdot (12 + \sqrt{2} \cdot 10)} = 156,5 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_{vert}}{\sqrt{2}} = \frac{10,9}{\sqrt{2}} = 7,7 \text{ MPa}$$

- posouzení:

$$\sigma_{\perp} = 29,4 + 7,7 = 37,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = 29,4 + 7,7 = 37,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = 36,45 + 13,3 = 49,8 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{37,1^2 + 3 \cdot (37,1^2 + 49,8^2)} = 113,8 \text{ MPa}$$

$$\frac{360}{0,80 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,80 \quad \text{pro S235}$$

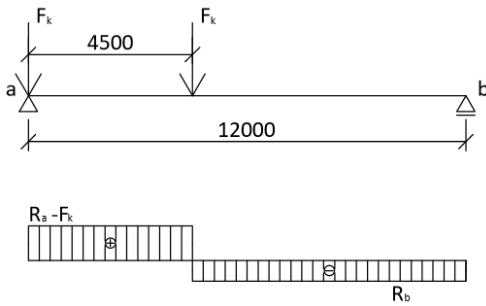
$$113,8 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 37,1 \text{ MPa} \leq 259 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



Krční svary nad spodní pásnicí:

- smykový tok pro  $V_{Ed} = 689,029 \text{ kN} \leq V_{bw,Rd} = 1596,286 \text{ kN}$ :

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{h_w} = \frac{689,029 \cdot 10^3}{945} = 729 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$$

- vodorovné napětí ve svarech:

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a} = \frac{729}{2 \cdot 6} = 60,75 \text{ MPa}$$

- posouzení:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 60,75^2)} = 105,2 \text{ MPa}$$

$$\frac{360}{0,80 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\beta_w = 0,80 \quad \text{pro S235}$$

$$105,2 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

## 3.2 MEZNÍ STAVY POUŽITELNOSTI

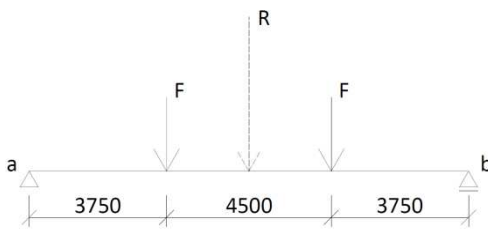
Svislé průhyby nosníku

- maximální svislé tlaky kol:

$$F = Q_{C,r,\max} + Q_{H,r,\max} = 104,423 + 145,422 = 249,845 \text{ kN}$$

- minimální svislé tlaky kol:

$$F = Q_{C,r,(\max)} + Q_{H,r,(\max)} = 70,1 + 14,6 = 84,7 \text{ kN}$$



- příčinková čára průhybu prostého nosníku:

$$\frac{x_1}{l} = \frac{x_2}{l} = \frac{3,75}{12,0} = 0,313$$

$$\eta = 80891$$

$$\delta = \frac{l^3}{l} \sum_{i=1}^n F_i \cdot \eta_i$$

$$\delta_{F,\max} = \frac{12,0^3}{6,665 \cdot 10^9} \cdot 249,845 \cdot 2 \cdot 80891 = 10,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{F,(\max)} = \frac{12,0^3}{6,665 \cdot 10^9} \cdot 84,7 \cdot 2 \cdot 80891 = 3,6 \text{ mm}$$

- průhyb od stálého zatížení:

$$\delta_g = \frac{5}{384} \cdot \frac{g \cdot l^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,3 \cdot 12,0^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 6,665 \cdot 10^9} = 1,2 \text{ mm}$$

- výsledné hodnoty průhybů:

svislý průhyb nosníku

$$\delta_z = \delta_{F,\max} + \delta_g = 10,5 + 1,2 = 11,7 \text{ mm}$$

rozdíl svislých průhybů dvou nosníků jeřábové dráhy

$$\Delta h_c = \delta_{F,\max} - \delta_{F,(\max)} = 10,5 - 3,6 = 6,9 \text{ mm}$$

- posouzení:

$$\delta_{Ed} \leq \delta_{Cd}$$

$$\delta_{z,Cd,1} = \frac{l}{600} = \frac{12000}{600} = 20 \text{ mm}$$

$$\delta_{z,Cd,2} = 25 \text{ mm}$$

$$\Delta h_{c,Cd} = \frac{s}{600} = \frac{22500}{600} = 37,5 \text{ mm}$$

$$\delta_z = 11,7 \text{ mm} \leq \delta_{z,Cd} = \min\{20; 25\} = 20 \text{ mm}$$

$$\Delta h_c = 6,9 \text{ mm} \leq \Delta h_{c,Cd} = 37,5 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Štíhlost stojiny

- pro vyloučení nadměrného dýchání stojiny:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{945}{12} = 78,8 \leq 120$$

VYHOVUJE

Štíhlost spodní pásnice

- pro vyloučení chvění:

$$\frac{L_t}{i_{t,z}} = \frac{\frac{l}{4}}{b \cdot 12^{-0,5}} = \frac{\frac{12000}{4}}{450 \cdot 12^{-0,5}} = 23,1 \leq 250$$

VYHOVUJE

### 3.3 MEZNÍ STAVY ÚNOSNOSTI FAT

- závažné důsledky porušení únavovým lomem

- metoda bezpečné životnosti

$$\gamma_{Mf} = 1,35$$

Kategorie posuzovaných detailů:

1) Základní materiál horní pásnice v místě připojení styčnickového plechu tupým svarem se zaoblením a se zabroušením

$$90 (\Delta\sigma)$$

2) Základní materiál horní pásnice ovlivněný přivařením příčných výztuh koutovými svary

$$80 (\Delta\sigma)$$

3) Základní materiál horní pásnice nebo stojiny ovlivněný průběžnými krčnými koutovými svary provedenými automatem

$$112 (\Delta\sigma)$$

4) Průběžné krční koutové svary spojující horní pásnici a stojinu, přenášející smykový tok

$$80 (\Delta\tau_{II})$$

5) Průběžné krční koutové svary spojující horní pásnici a stojinu, přenášející svislé tlakové napětí od tlaků kol

$$36 (\Delta\sigma_{vert})$$

6) Základní materiál stojiny ovlivněný přivařením příčných výztuh koutovými svary

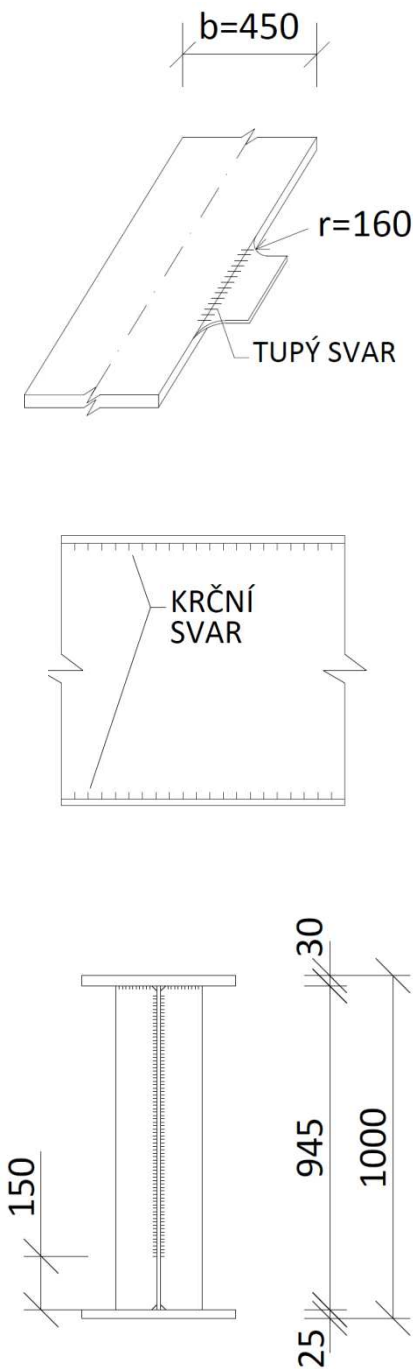
$$80 (\Delta\sigma_{eq})$$

7) Průběžné krční koutové svary spojující spodní pásnici a stojinu, přenášející smykový tok

$$80 (\Delta\tau_{II})$$

8) Základní materiál spodní pásnice nebo stojiny ovlivněný průběžnými krčnými koutovými svary provedenými automatem

$$112 (\Delta\sigma)$$



Posouzení pásnic pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu:

$\Delta\sigma$  horní pásnice

1) 90

2) 80

referenční únavová pevnost

3) 112

$\Delta\sigma$  spodní pásnice

8) 112

referenční únavová pevnost

- břemeno představující konstantní rozkmit proměnlivého zatížení v ekvivalentním návrhovém spektru zatížení:

$$F = Q_{e,\sigma} = 167,4 \text{ kN}$$

$$\eta_1 = \frac{x \cdot x'}{l} = \frac{7,125 \cdot 4,875}{12,000} = 2,895$$

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{x}{x-b} \Rightarrow \eta_2 = \frac{\eta_1 \cdot (x-b)}{x} = \frac{2,895 \cdot (7,125 - 4,5)}{7,125} = 1,067$$

- ekvivalentní rozkmit ohybového momentu:

$$\Delta M_{E2} = F \cdot (\eta_2 + \eta_1) = 167,380 \cdot (1,067 + 2,895) = 663,2 \text{ kNm}$$

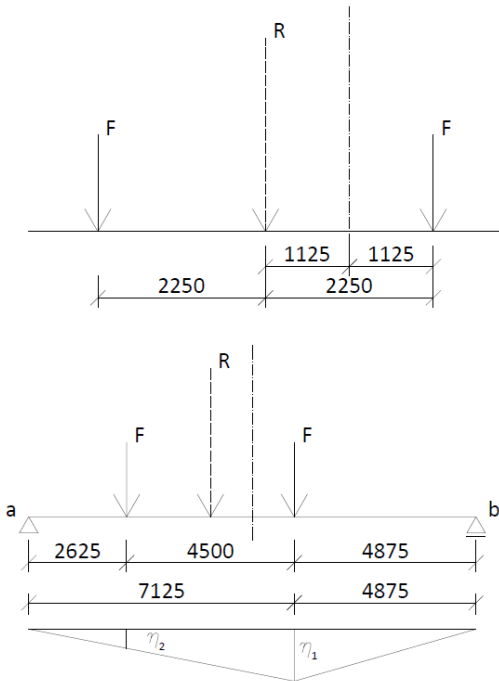
- ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí:

v horní pásnici v oblasti krčných svarů:

$$\Delta\sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{I_y} \cdot h_{w1} = \frac{663,2 \cdot 10^3}{6,665 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,441 = 43,9 \text{ MPa}$$

ve spodní pásnici v oblasti krčných svarů:

$$\Delta\sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{I_y} \cdot h_{w2} = \frac{663,2 \cdot 10^3}{6,665 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,504 = 50,2 \text{ MPa}$$





- únavové poškození:

$$D_{\sigma} = \left( \gamma_{FF} \cdot \Delta\sigma_{E2} \cdot \frac{\gamma_{MF}}{\Delta\sigma_c} \right)^3$$

horní pásnice:

$$D_{\sigma} = \left( 1,00 \cdot 43,9 \cdot \frac{1,35}{80} \right)^3 = 0,41 \leq 1,00$$

spodní pásnice:

$$D_{\sigma} = \left( 1,00 \cdot 50,2 \cdot \frac{1,35}{112} \right)^3 = 0,22 \leq 1,00$$

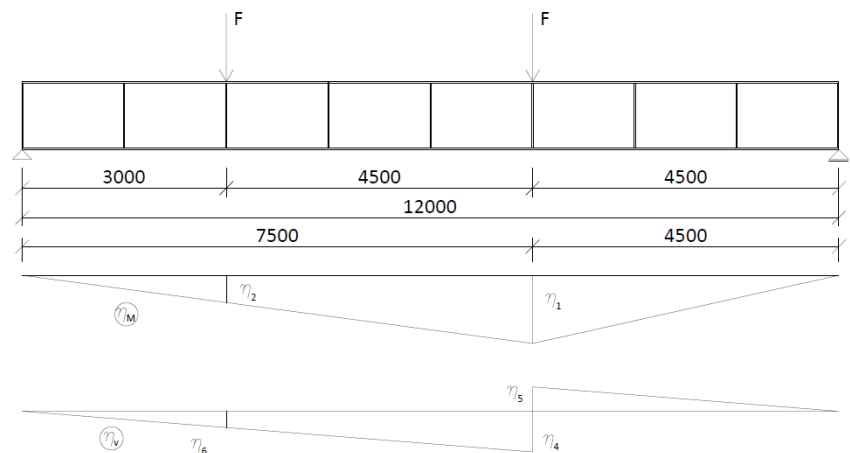
Posouzení stojiny pro rozkmit hlavního napětí od ohybového momentu a posouvající síly

- ukončení svarového přípoje příčné výztuhy 150 mm nad spodní pásnicí

-  $\Delta\sigma = 80 \text{ MPa}$

$$F = Q_{e,\sigma} = 167,4 \text{ kN}$$

- příčinková čára pro průřez v místě výztuhy, která je nejbližší průřezu s největším rozkmitem ohybového momentu na nosníku (1500 mm od středu nosníku)



- ohybový moment  $\rightarrow \eta_M$

$$\eta_1 = \frac{x \cdot x'}{l} = \frac{7,5 \cdot 4,5}{12,0} = 2,813$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{3,0}{7,5} \Rightarrow \eta_2 = \frac{\eta_1 \cdot 3,0}{7,5} = \frac{2,813 \cdot 3,0}{7,5} = 1,125$$

- posouvající síla  $\rightarrow \eta_V$

$$\eta_4 = \frac{x}{l} = \frac{7,5}{12,0} = 0,625$$

$$\eta_5 = \frac{x'}{l} = \frac{4,5}{12,0} = 0,375$$

$$\frac{\eta_6}{\eta_4} = \frac{3,0}{7,5} \Rightarrow \eta_6 = \frac{\eta_4 \cdot 3,0}{7,5} = \frac{0,625 \cdot 3,0}{7,5} = 0,250$$

- ekvivalentní rozkmit ohybového momentu:

$$\Delta M_{E2} = F \cdot (\eta_2 + \eta_1) = 167,4 \cdot (1,125 + 2,813) = 659,1 \text{ kNm}$$

- ekvivalentní rozkmit posouvající síly:

$$\Delta V_{E2} = F \cdot (\eta_6 + \eta_4) = 167,4 \cdot (0,250 + 0,625) = 146,5 \text{ kN}$$

- ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí:

$$z = h_{w2} - 150 = 504 - 150 = 354 \text{ mm}$$

$$\Delta \sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{I_y} \cdot z = \frac{659,1 \cdot 10^3}{6,665 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,354 = 35,01 \text{ MPa}$$

- ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého smykového napětí v detailu na stojně:

$$\Delta \tau_{E2} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{146,5 \cdot 10^3 \cdot 6,58 \cdot 10^{-3}}{6,665 \cdot 10^{-3} \cdot 0,012} = 12,1 \text{ MPa}$$

- statický moment části průřezu pod posuzovaným detailem k těžišťové ose:

$$S_y = \frac{1}{2} [b \cdot (e_2^2 - h_{w2}^2) + t_w \cdot (h_{w2}^2 - z^2)]$$

$$S_y = \frac{1}{2} [0,45 \cdot (0,529^2 - 0,504^2) + 0,012 \cdot (0,504^2 - 0,354^2)] = 6,58 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

- rozkmit hlavního napětí:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{\text{eq},E2} &= \frac{1}{2} \cdot \left( \Delta\sigma_{E2} + \sqrt{\Delta\sigma_{E2}^2 + 4\Delta\tau_{E2}^2} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \cdot \left( 35,01 + \sqrt{35,01^2 + 4 \cdot 12,1^2} \right) = 38,8 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- únavové poškození:

$$\begin{aligned}D_{\sigma} &= \left( \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{\text{eq},E2} \cdot \frac{\gamma_{Hf}}{\Delta\sigma_c} \right)^3 = \left( 1,00 \cdot 38,8 \cdot \frac{1,35}{80} \right)^3 = \\ &= 0,3 \leq 1,00\end{aligned}$$

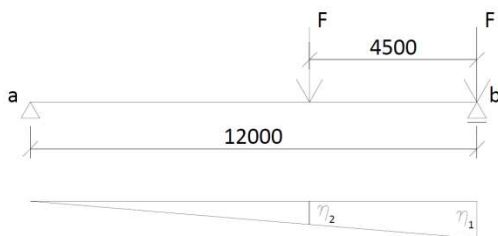
Posouzení krčných svarů pro rozkmit smykového napětí od posouvající síly

- krční koutové svary pod horní pásnicí i nad spodní pásnicí

$$-\Delta\tau_c = 80 \text{ MPa}$$

$$F = Q_{e,\tau} = 201,4 \text{ kN}$$

- příčinková čára pro podporový průřez:



$$\eta_1 = 1,0$$

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = \frac{7,5}{12,0} \Rightarrow \eta_2 = \frac{\eta_1 \cdot 7,5}{12,0} = \frac{1,0 \cdot 7,5}{12,0} = 0,625$$

- ekvivalentní rozkmit posouvající síly:

$$\Delta V_{E2} = F \cdot (\eta_1 + \eta_2) = 201,4 \cdot (1,0 + 0,625) = 327,3 \text{ kN}$$

- ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého smykového napětí:

v krčných svarech pod horní pásnicí:

$$\Delta\tau_{II,E2} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_{f1,y}}{2 \cdot I_y \cdot a} = \frac{327,3 \cdot 10^3 \cdot 6,156 \cdot 10^6}{2 \cdot 6,665 \cdot 10^9 \cdot 0,010} = 15,1 \text{ MPa}$$

v krčných svarech nad spodní pásnicí:

$$\Delta\tau_{II,E2} = \frac{\Delta V_{E2} \cdot S_{f2,y}}{2 \cdot I_y \cdot a} = \frac{327,3 \cdot 10^3 \cdot 5,8 \cdot 10^6}{2 \cdot 6,665 \cdot 10^9 \cdot 0,006} = 23,8 \text{ MPa}$$

- statický moment horní a spodní pásnice k těžišťové ose y:

$$S_{f_{1,y}} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f1} \cdot (2e_1 - t_{f1}) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 0,030 \cdot (2 \cdot 0,471 - 0,030) = 6,156 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$S_{f_{2,y}} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f2} \cdot (2e_2 - t_{f2}) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,45 \cdot 0,025 \cdot (2 \cdot 0,529 - 0,025) = 5,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

- únavové poškození:

$$D_\tau = \left( \gamma_{FF} \cdot \Delta \tau_{II,E2} \cdot \frac{\gamma_{Hf}}{\Delta \tau_c} \right)^5$$

krční svar pod horní pásnicí:

$$D_\tau = \left( 1,00 \cdot 15,1 \cdot \frac{1,35}{80} \right)^5 = 1,07 \cdot 10^{-3} \leq 1,0$$

krční svar nad horní pásnicí:

$$D_\tau = \left( 1,00 \cdot 23,8 \cdot \frac{1,35}{80} \right)^5 = 10,5 \cdot 10^{-3} \leq 1,0$$

Posouzení krčních svarů pro rozkmit svislého tlakového napětí od tlaku kol

- krční koutové svary pod horní pásnicí

$$- \Delta \sigma_c = 36 \text{ MPa}$$

$$\Delta F_{E2} = Q_{e,\sigma,loc} = 210,95 \text{ kN}$$

- ekvivalentní rozkmit kroutícího momentu způsobeného tím, že místní příčná síla působí na excentricitě  $e = 25 \text{ mm}$ :

$$\Delta T_{E2} = \Delta F_{E2} \cdot e = 210,95 \cdot 0,025 = 5,27 \text{ kNm}$$

- ekvivalentní rozkmit lokálního svislého tlakového napětí:

$$\Delta \sigma_{0z,E2} = \frac{\Delta F_{E2}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{210,95 \cdot 10^3}{338,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,012} = 51,9 \text{ MPa}$$

- účinná roznášecí délka:

$$I_{eff} = 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f1,eff}}{t_w}} =$$

$$= 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{5,583 \cdot 10^{-6} + 0,49 \cdot 10^{-6}}{0,012}} = 338,7 \text{ mm}$$

$$I_r = \frac{1}{12} \cdot b_r \cdot (0,875 \cdot h_r)^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,1 \cdot (0,875 \cdot 0,1)^3 =$$

$$= 5,583 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$I_{f1,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_{f1}^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,218 \cdot 0,030^3 = 0,49 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$b_{eff} = b_r + 0,875 \cdot h_r + t_{f1} = 0,1 + 0,875 \cdot 0,1 + 0,030 = 0,218 \text{ m}$$

- ekvivalentní rozkmit lokálního ohybového napětí ve stojině:

$$\Delta\sigma_{T,E2} = \frac{6 \cdot \Delta T_{E2}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot tgh\eta = \frac{6 \cdot 5,27 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 0,012^2} \cdot 0,533 \cdot tgh0,533 =$$

$$= 38,1 \text{ MPa}$$

$$\eta = \sqrt{\left( \frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_{f1,t}} \cdot \frac{\sinh^2\left(\frac{\pi \cdot hw}{a}\right)}{\sinh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot hw}{a}\right) - \frac{2 \cdot \pi \cdot hw}{a}} \right)} = 0,533$$

- ekvivalentní rozkmit svislého tlakového napětí ve svarech od místní příčné síly:

$$\Delta\sigma_{vert,E2} = \Delta\sigma_{0z,E2} \cdot \frac{t_w}{2 \cdot a + t_w} = 51,9 \cdot 10^6 \cdot \frac{0,012}{2 \cdot 0,010 + 0,012} =$$

$$= 19,5 \text{ MPa}$$

- ekvivalentní rozkmit svislého tlakového napětí ve svarech od kroutícího momentu:

$$\Delta\sigma_{vert,E2} = \Delta\sigma_{T,E2} \cdot \frac{1,0 \cdot t_w^2}{6 \cdot W} = 38,1 \cdot \frac{1,0 \cdot 12^2}{6 \cdot 156,6} = 5,8 \text{ MPa}$$

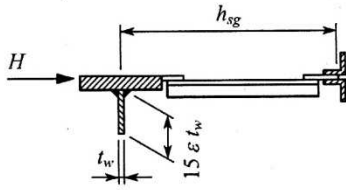
$$W = 1,0 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot (t_w + \sqrt{2} \cdot a)^3 - (\sqrt{2} - 1) \cdot t_w^3}{6 \cdot (t_w + \sqrt{2} \cdot a)} = 156,6 \text{ mm}$$

- výsledný rozkmit napětí:

$$\Delta\sigma_{\text{vert},E2} = 19,5 + 5,8 = 25,3 \text{ MPa}$$

- únavové poškození:

$$D_{\sigma} = \left( \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{\text{vert},E2} \cdot \frac{\gamma_{Hf}}{\Delta\sigma_c} \right)^3 = \left( 1,00 \cdot 25,3 \cdot \frac{1,35}{36} \right)^3 = 0,85 \leq 1,0$$



## 4. VODOROVNÝ VÝZTUŽNÝ NOSNÍK

- příhradový, prostě uložený,  $l=12,0$  m
- účinek zatížení v příčném směru bereme tak, že působí v rovině výztužného nosníku

### 4.1 VNITŘNÍ SÍLY OD ZATÍŽENÍ

- skupina zatížení č. 4:

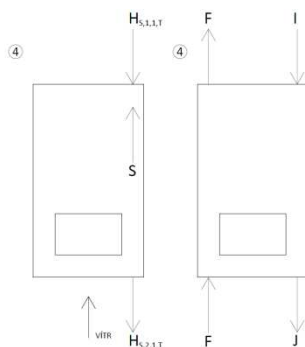
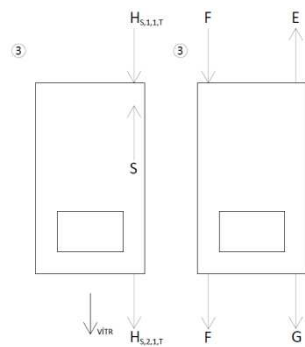
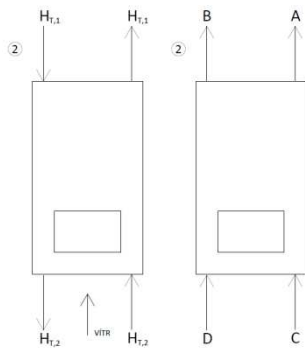
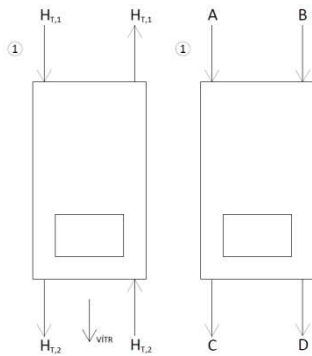
$$\varphi_5 = 1,5$$

$$H_{T,1} = 25,9 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = 8,76 \text{ kN}$$

- + příčný vítr za provozu:

$$F_{w,T}^* = 66,9 \text{ kN}$$



- součty sil na jedno kolo jeřábu:

$$A = \varphi_5 \cdot H_{T,1} + F_{w,T}^* = 1,5 \cdot 25,9 + 66,9 = 105 \text{ kN}$$

$$B = -\varphi_5 \cdot H_{T,1} + F_{w,T}^* = -1,5 \cdot 25,9 + 66,9 = 28,1 \text{ kN}$$

$$C = \varphi_5 \cdot H_{T,2} + F_{w,T}^* = 1,5 \cdot 8,76 + 66,9 = 80,04 \text{ kN}$$

$$D = -\varphi_5 \cdot H_{T,2} + F_{w,T}^* = -1,5 \cdot 8,76 + 66,9 = 53,8 \text{ kN}$$

- skupina zatížení č. 5:

$$H_{s,1,1,T} = 25,5 \text{ kN}$$

$$H_{s,2,1,T} = 75,06 \text{ kN}$$

$$S = 100,4 \text{ kN}$$

- součty sil na jedno kolo jeřábu:

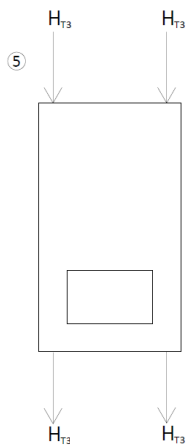
$$E = -H_{s,1,1,T} - F_{w,T}^* + S = -25,5 - 66,9 + 100,4 = 7,95 \text{ kN}$$

$$F = F_{w,T}^* = 66,9 \text{ kN}$$

$$G = H_{s,2,1,T} + F_{w,T}^* = 75,06 + 66,9 = 142,0 \text{ kN}$$

$$I = -H_{s,1,1,T} + F_{w,T}^* + S = -25,5 + 66,9 + 100,4 = 141,8 \text{ kN}$$

$$J = H_{s,2,1,T} - F_{w,T}^* = 75,06 - 66,9 = 8,16 \text{ kN}$$

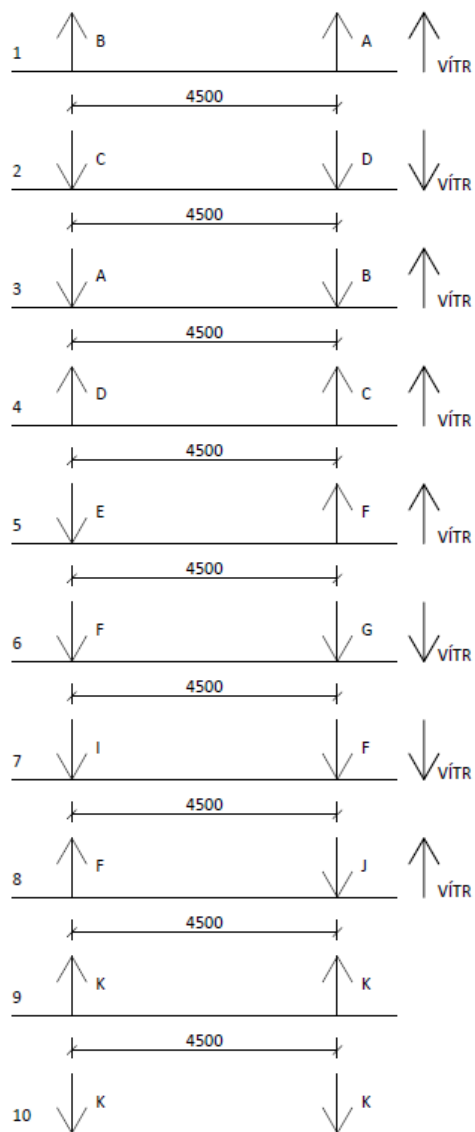


- skupina zatížení č. 6:

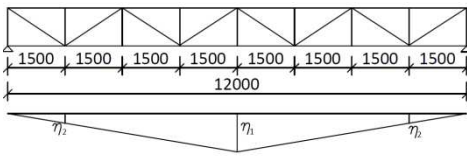
$$K = H_{T,3} = 10,10 \text{ kN}$$

- skupina zatížení nezahrnuje vítr

- možnosti dvojic sil od jeřábu: viz přílohy

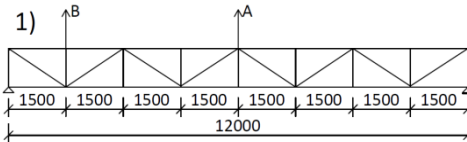






$$\eta_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{l}{h_{sg}} = \frac{1}{4} \cdot \frac{12,0}{1,2} = 2,50$$

$$\eta_2 = 2,5 \cdot \frac{1,5}{6,0} = 0,625$$



- maximální tlaková síla vznikne při působení schématu zatížení č. 1)

$$N_1 = \gamma_Q \cdot (B \cdot \eta_2 + A \cdot \eta_1) =$$

$$= 1,35 \cdot (28,1 \cdot 0,625 + 106 \cdot 2,5) = 381 \text{ kN}$$

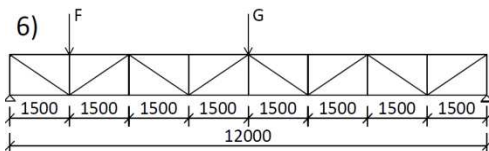
+ vítr za provozu na hlavní nosník:

$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

$$M_{(6m)} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 7,435 \cdot 12,0^2 = 134 \text{ kNm}$$

$$N_{(6m)} = \frac{M_{(6m)}}{h_{sg}} = \frac{134}{1,2} = 112 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(6m)} = 1,5 \cdot 112 = 168 \text{ kN}$$



- maximální tahová síla vznikne při působení schématu zatížení č. 6)

$$N_1 = \gamma_Q \cdot (F \cdot \eta_2 + G \cdot \eta_1) =$$

$$= 1,35 \cdot (66,9 \cdot 0,625 + 142 \cdot 2,5) = 536 \text{ kN}$$

+ vítr za provozu na hlavní nosník:

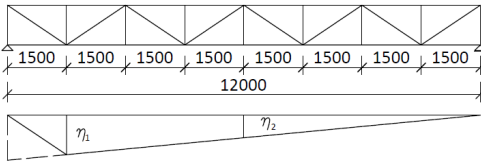
$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

$$M_{(6m)} = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 7,435 \cdot 12,0^2 = 134 \text{ kNm}$$

$$N_{(6m)} = \frac{M_{(6m)}}{h_{sg}} = \frac{134}{1,2} = 112 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(6m)} = 1,5 \cdot 112 = 168 \text{ kN}$$

Diagonála D1 vodorovného nosníku:



$$d = \sqrt{h_{sg}^2 + a^2} = \sqrt{1,2^2 + 1,5^2} = 1,921 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{h_{sg}}{d} = \frac{1,2}{1,921} = 0,625$$

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,625} = 1,6$$

$$\eta_1 = 1,6 \cdot \frac{10,5}{12,0} = 1,4$$

$$\eta_2 = 1,6 \cdot \frac{6,0}{12,0} = 0,80$$

- maximální tlaková síla vznikne při působení schématu zatížení č. 1)

$$N_1 = \gamma_Q \cdot (B \cdot \eta_2 + A \cdot \eta_1) = 1,35 \cdot (28,1 \cdot 0,80 + 106 \cdot 1,4) = 231 \text{ kN}$$

+ vítr za provozu na hlavní nosník:

$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

$$V_{(6m)} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 7,435 \cdot 12,0 = 44,6 \text{ kNm}$$

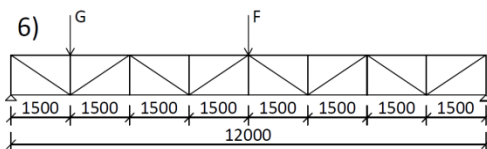
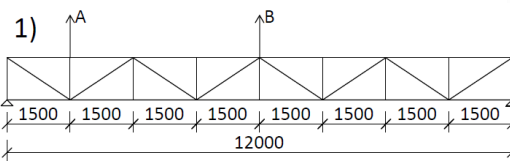
$$V_{(1,5m)} = \frac{(6 - 1,5) \cdot 44,6}{6,0} = 33,5 \text{ kN}$$

$$N_{(1,5m)} = \frac{V_{(1,5m)}}{\cos \alpha} = \frac{33,5}{0,625} = 53,6 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(1,5m)} = 1,5 \cdot 53,6 = 80,4 \text{ kN}$$

- maximální tahová síla vznikne při působení schématu zatížení č. 6)

$$N_1 = \gamma_Q \cdot (F \cdot \eta_2 + G \cdot \eta_1) = 1,35 \cdot (66,9 \cdot 0,80 + 142 \cdot 1,4) = 341 \text{ kN}$$



+ vítr za provozu na hlavní nosník:

$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

$$V_{(6m)} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 7,435 \cdot 12,0 = 44,6 \text{ kNm}$$

$$V_{(1,5m)} = \frac{(6-1,5) \cdot 44,6}{6,0} = 33,5 \text{ kN}$$

$$N_{(1,5m)} = \frac{V_{(1,5m)}}{\cos \alpha} = \frac{33,5}{0,625} = 53,6 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(1,5m)} = 1,5 \cdot 53,6 = 80,4 \text{ kN}$$

Diagonála D2 vodorovného nosníku:

$$d = \sqrt{h_{sg}^2 + a^2} = \sqrt{1,2^2 + 1,5^2} = 1,921 \text{ m}$$

$$\cos \alpha = \frac{h_{sg}}{d} = \frac{1,2}{1,921} = 0,625$$

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,625} = 1,6$$

$$\eta_1 = 1,6 \cdot \frac{9,0}{12,0} = 1,2$$

$$\eta_2 = 1,6 \cdot \frac{4,5}{12,0} = 0,6$$

- maximální tlaková síla vznikne při působení schématu zatížení č. 1)

$$N_1 = \gamma_Q \cdot (B \cdot \eta_2 + A \cdot \eta_1) = 1,35 \cdot (28,1 \cdot 0,6 + 106 \cdot 1,2) = 194 \text{ kN}$$

+ vítr za provozu na hlavní nosník:

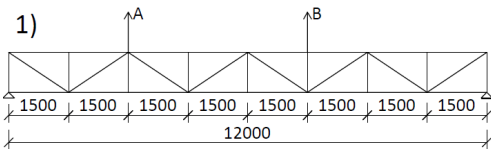
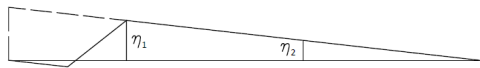
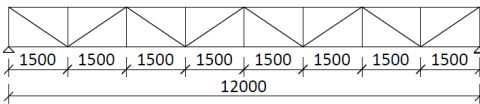
$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

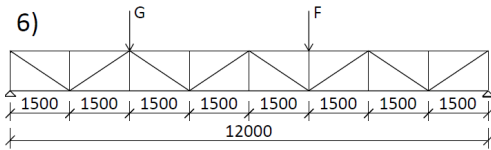
$$V_{(6m)} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 7,435 \cdot 12,0 = 44,6 \text{ kNm}$$

$$V_{(3m)} = \frac{(6-2 \cdot 1,5) \cdot 44,6}{6,0} = 22,3 \text{ kN}$$

$$N_{(3m)} = \frac{V_{(3m)}}{\cos \alpha} = \frac{22,3}{0,625} = 35,7 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(3m)} = 1,5 \cdot 35,7 = 17,9 \text{ kN}$$





- maximální tahová síla vznikne při působení schématu zatížení č. 6)

$$N_1 = \gamma_Q \cdot (F \cdot \eta_2 + G \cdot \eta_1) =$$

$$= 1,35 \cdot (66,9 \cdot 0,6 + 142 \cdot 1,2) = 284 \text{ kN}$$

+ vítr za provozu na hlavní nosník:

$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

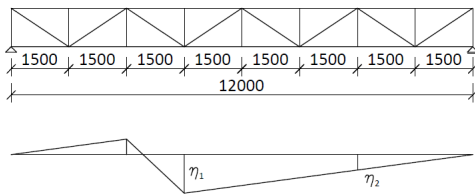
$$V_{(6m)} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 7,435 \cdot 12,0 = 44,6 \text{ kNm}$$

$$V_{(3m)} = \frac{(6 - 2 \cdot 1,5) \cdot 44,6}{6,0} = 22,3 \text{ kN}$$

$$N_{(3m)} = \frac{V_{(3m)}}{\cos \alpha} = \frac{22,3}{0,625} = 35,7 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(3m)} = 1,5 \cdot 35,7 = 17,9 \text{ kN}$$

Diagonála D3 vodorovného nosníku:



$$d = \sqrt{h_{sg}^2 + a^2} = \sqrt{1,2^2 + 1,5^2} = 1,921 \text{ m}$$

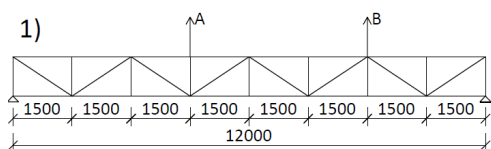
$$\cos \alpha = \frac{h_{sg}}{d} = \frac{1,2}{1,921} = 0,625$$

$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,625} = 1,6$$

$$\eta_1 = 1,6 \cdot \frac{7,5}{12,0} = 1,00$$

$$\eta_2 = 1,6 \cdot \frac{3,0}{12,0} = 0,40$$

- maximální tlaková síla vznikne při působení schématu zatížení č. 1)



$$N_1 = \gamma_Q \cdot (B \cdot \eta_2 + A \cdot \eta_1) =$$

$$= 1,35 \cdot (28,1 \cdot 0,40 + 106 \cdot 1,00) = 158 \text{ kN}$$

+ vítr za provozu na hlavní nosník:

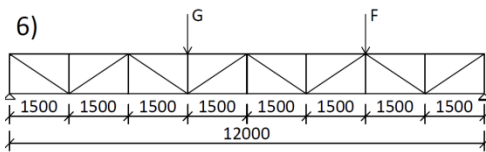
$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

$$V_{(6m)} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 7,435 \cdot 12,0 = 44,6 \text{ kNm}$$

$$V_{(4,5m)} = \frac{(6 - 3 \cdot 1,5) \cdot 44,6}{6,0} = 11,2 \text{ kN}$$

$$N_{(4,5m)} = \frac{V_{(4,5m)}}{\cos \alpha} = \frac{11,2}{0,625} = 17,9 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(4,5m)} = 1,5 \cdot 17,9 = 26,9 \text{ kN}$$



- maximální tahová síla vznikne při působení schématu zatížení č. 6)

$$N_1 = \gamma_Q \cdot (F \cdot \eta_2 + G \cdot \eta_1) = 1,35 \cdot (66,9 \cdot 0,40 + 142 \cdot 1,00) = 228 \text{ kN}$$

+ vítr za provozu na hlavní nosník:

$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

$$V_{(6m)} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 7,435 \cdot 12,0 = 44,6 \text{ kNm}$$

$$V_{(4,5m)} = \frac{(6 - 3 \cdot 1,5) \cdot 44,6}{6,0} = 11,2 \text{ kN}$$

$$N_{(4,5m)} = \frac{V_{(4,5m)}}{\cos \alpha} = \frac{11,2}{0,625} = 17,9 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(4,5m)} = 1,5 \cdot 17,9 = 26,9 \text{ kN}$$

Diagonála D4 vodorovného nosníku:

$$d = \sqrt{h_{sg}^2 + a^2} = \sqrt{1,2^2 + 1,5^2} = 1,921 \text{ m}$$

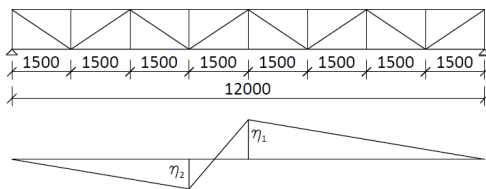
$$\cos \alpha = \frac{h_{sg}}{d} = \frac{1,2}{1,921} = 0,625$$

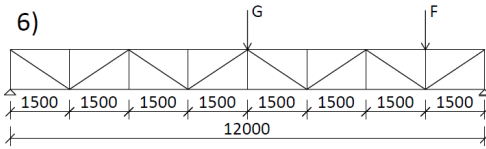
$$\eta_0 = \frac{1}{\cos \alpha} = \frac{1}{0,625} = 1,6$$

$$\eta_1 = 1,6 \cdot \frac{6,0}{12,0} = 0,80$$

$$\eta_2 = 1,6 \cdot \frac{4,5}{12,0} = 0,60$$

$$\eta_3 = 1,6 \cdot \frac{1,5}{12,0} = 0,20$$





- maximální tlaková síla vznikne při působení schématu zatížení č. 6)

$$N_1 = \gamma_Q \cdot (F \cdot \eta_3 + G \cdot \eta_1) =$$

$$= 1,35 \cdot (66,9 \cdot 0,20 + 142 \cdot 0,80) = 171 \text{ kN}$$

+ vítr za provozu na hlavní nosník:

$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

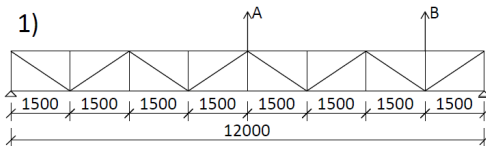
$$V_{(6m)} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 7,435 \cdot 12,0 = 44,6 \text{ kNm}$$

$$V_{(4,5m)} = \frac{(6 - 3 \cdot 1,5) \cdot 44,6}{6,0} = 11,2 \text{ kN}$$

$$N_{(4,5m)} = \frac{V_{(4,5m)}}{\cos \alpha} = \frac{11,2}{0,625} = 17,9 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(4,5m)} = 1,5 \cdot 17,9 = 26,9 \text{ kN}$$

- maximální tahová síla vznikne při působení schématu zatížení č. 1)



$$N_1 = \gamma_Q \cdot (B \cdot \eta_3 + A \cdot \eta_1) =$$

$$= 1,35 \cdot (28,1 \cdot 0,20 + 106 \cdot 0,80) = 122 \text{ kN}$$

+ vítr za provozu na hlavní nosník:

$$q = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

$$V_{(6m)} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 7,435 \cdot 12,0 = 44,6 \text{ kNm}$$

$$V_{(4,5m)} = \frac{(6 - 3 \cdot 1,5) \cdot 44,6}{6,0} = 11,2 \text{ kN}$$

$$N_{(4,5m)} = \frac{V_{(4,5m)}}{\cos \alpha} = \frac{11,2}{0,625} = 17,9 \text{ kN}$$

$$N_2 = \gamma_Q \cdot N_{(4,5m)} = 1,5 \cdot 17,9 = 26,9 \text{ kN}$$

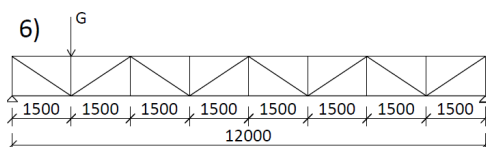
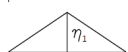
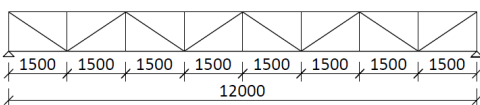
Svislice V vodorovného nosníku:

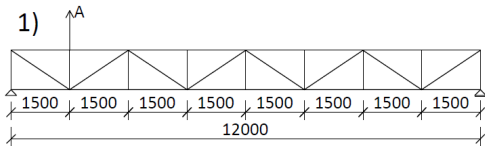
- maximální tlaková síla vznikne při působení síly G

$$N_1 = G = 142 \text{ kN}$$

+ příčný vítr za provozu na hlavní nosník:

$$N_2 = \gamma_Q \cdot V = 1,35 \cdot 30,1 = 40,64 \text{ kN}$$





- maximální tahová síla vznikne při působení síly A

$$N_1 = \gamma_Q \cdot A = 1,35 \cdot 105 = 142 \text{ kN}$$

+ příčný vítr za provozu na hlavní nosník:

$$N_2 = \gamma_Q \cdot V = 1,35 \cdot 30,1 = 40,64 \text{ kN}$$

Účinky stálého zatížení:

a) Pás vodorovného nosníku:

- předpokládáme, že z vlastní tíhy vodorovného nosníku a lávky se do pásu přenáší přibližně:

$$g = 0,75 \cdot 1,5 = 1,125 \text{ kNm}^{-1}$$

$$g_d = \gamma_G \cdot g = 1,35 \cdot 1,125 = 1,52 \text{ kNm}^{-1}$$

- největší ohybový moment od stálého zatížení je nad první vnitřní podporou

$$M_g = 0,1071 \cdot g_d \cdot l_s^2 = 0,1071 \cdot 1,52 \cdot 3,0^2 = 1,47 \text{ kNm}$$

$l_s$  - rozteč svislých podpor pásu = vzdálenost bodů pásu podepíraných šikmým nosníkem

b) Svislice:

- vlastní tíha lávky  $g = 0,80 \text{ kNm}^{-1}$

- do svislice se přenáší břemeno:

$$G = 0,5 \cdot g \cdot a = 0,5 \cdot 0,80 \cdot 1,5 = 0,60 \text{ kN}$$

$$G_d = \gamma_G \cdot G = 1,35 \cdot 0,60 = 0,81 \text{ kN}$$

- největší ohybový moment pod osamělým břemenem:

$$M_G = G_d \cdot \frac{0,6 \cdot 0,6}{1,00} = 0,81 \cdot \frac{0,6 \cdot 0,6}{1,00} = 0,292 \text{ kN}$$

Účinky užitečného zatížení lávky:

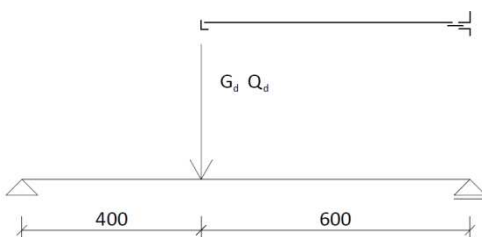
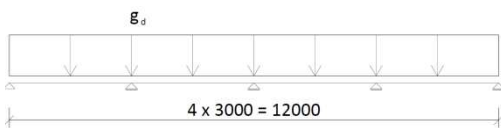
$$Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ kN}$$

a) Pás vodorovného nosníku:

$$M_Q = 0,1998 \cdot Q_d \cdot l_s = 0,1998 \cdot 4,5 \cdot 3,0 = 2,70 \text{ kNm}$$

b) Svislice:

$$M_Q = Q_d \cdot \frac{0,40 \cdot 0,60}{1,00} = 4,5 \cdot \frac{0,40 \cdot 0,60}{1,00} = 1,08 \text{ kNm}$$



## 4.2 DIMENZOVÁNÍ PRUTŮ VODOROVNÉHO VÝZTUŽNÉHO NOSNÍKU

- ocel:

S 235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

- dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M1} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

### Pás vodorovného nosníku

- návrh průřezu: 2 x L 120 x 80 x 10

$$A_{ch} = 1910 \text{ mm}^2$$

$$I_{ch,1} = 2760 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$A = 2 \cdot A_{ch} = 2 \cdot 1910 = 3820 \text{ mm}^2$$

$$h_0 = 2 \cdot e_\xi + t_p = 2 \cdot 39,2 + 10 = 88,4 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{1}{2} \cdot A_{ch,1} \cdot h_0^2 + 2 \cdot I_{ch,1} =$$

$$= 0,5 \cdot 1910 \cdot 88,4^2 + 2 \cdot 2760 = 7,47 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$e = h_a + \frac{t_p}{2} = 120 + \frac{10}{2} = 125 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = \frac{I_y}{e} = \frac{7,47 \cdot 10^6}{125} = 59,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \frac{I_y}{A} = \sqrt{\frac{7,47 \cdot 10^6}{3820}} = 44,2$$

$$I_z = 2 \cdot I_\eta = 2 \cdot 981 = 1,962 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_t = 2 \cdot I_t = 2 \cdot 65,0 \cdot 10^3 = 0,13 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_w \approx 0$$

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

$$t_a = 10 \text{ mm}$$

$$t_p = 10 \text{ mm}$$



- klasifikace průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{b+h_a}{2 \cdot t_a} = \frac{80+120}{2 \cdot 10} = 10 \leq 11,5\varepsilon = 11,5 \rightarrow \text{třída 3}$$

a) Namáhání od stálého zatížení a sil od jeřábu (tlak)

- působí jako členěný prut

$$N_{Ed} = 381 + 168 = 549 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_g = 1,47 \text{ kNm}$$

- vzpěrné délky:

$$L_y = 3000 \text{ mm}$$

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

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

$$L_{ch} = 750 \text{ mm}$$

- posouzení na vybočení kolmo k ose z:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y \cdot A}{E \cdot I_z}} = \frac{1500}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{235 \cdot 3820}{210 \cdot 10^3 \cdot 1,962 \cdot 10^6}} = 0,705$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] =$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,705 - 0,2) + 0,705^2] = 0,834$$

$$\alpha = 0,34$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,834 + \sqrt{0,834^2 - 0,705^2}} = 0,782$$

- součinitel klopení:

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{L_w} \cdot \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}} = \frac{\pi}{0,5 \cdot 3000} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 0}{81 \cdot 10^3 \cdot 0,13 \cdot 10^6}} = 0$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{L_z} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}} = \frac{\pi \cdot 0}{0,5 \cdot 3000} \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 1,962 \cdot 10^6}{81 \cdot 10^3 \cdot 0,13 \cdot 10^6}} = 0$$

$$k_y = 1,0$$

$$k_z = k_w = 0,5$$

$$\kappa_{wt} = \psi_f = 0$$

$$C_1 = 0,95$$

$$C_2 = 0,31$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right] \cdot \frac{\pi \sqrt{E I_z G I_t}}{L_z} =$$

$$= 0,95 \cdot \left[ \sqrt{1 + 0 + (0,31 \cdot 0)^2} - 0,31 \cdot 0 \right] \cdot$$

$$\frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 1,962 \cdot 10^6 \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 0,13 \cdot 10^3}}{1500} = 47,3 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{14,04}{47,25}} = 0,545$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] =$$

$$= \phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,76 \cdot (0,545 - 0,2) + 0,545^2 \right] = 0,780$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,780 + \sqrt{0,780^2 - 0,545^2}} = 0,747$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} =$$

$$= 1 - \frac{0,05 \cdot 0,705}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{549 \cdot 10^3}{0,782 \cdot 898 \cdot 10^3} = 0,916$$

$$k_{zy} \geq 1 - \frac{0,05}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} =$$

$$= 1 - \frac{0,05}{0,95 - 0,25} \cdot \frac{549 \cdot 10^3}{0,782 \cdot 898 \cdot 10^3} = 0,944$$

- vzpěrná únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{549 \cdot 10^3}{0,782 \cdot 898 \cdot 10^3} + 0,961 \cdot \frac{1,47 \cdot 10^3}{0,747 \cdot 14,04 \cdot 10^3} = 0,917 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

- posouzení na vybočení kolmo k nehmotné ose y:

$$e_0 = \frac{L_y}{500} = \frac{3000}{500} = 6,0 \text{ mm}$$

$$\lambda_F = \frac{L_y}{i_y} = \frac{3000}{44,215} = 67,85 \leq 75 \rightarrow \mu = 1,0$$

$$I_{eff,y} = 0,5 \cdot 1910 \cdot 88,4^2 + 2 \cdot 1,0 \cdot 2760 \cdot 10^3 = 12,98 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_v = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_{ch,1}}{L_{ch}^2} = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 2760 \cdot 10^3}{750^2} = 20339 \text{ kN}$$

$$N_{cr,F} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{eff,y}}{L_y^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 12,98 \cdot 10^6}{3000^2} = 2989,2 \text{ kN}$$

$$M_s = \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_0}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,F}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}} = \frac{1,47 + 549 \cdot 10^3 \cdot 6,0}{1 - \frac{549}{2989,2} - \frac{549 \cdot 10^3}{20339 \cdot 10^3}} =$$

$$= 6,035 \cdot 10^6 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{ch} = \frac{L_{ch}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y \cdot A_{ch}}{E \cdot I_{ch,1}}} = \frac{750}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{235_y \cdot 1910}{210 \cdot 10^3 \cdot 2760 \cdot 10^3}} = 0,21$$

- návrhová tlaková síla:

$$N_{ch,Ed} = 0,5 \left( N_{Ed} + \frac{M_s \cdot h_0 \cdot A_{ch}}{I_{eff,y}} \right) =$$

$$= 0,5 \left( 549 \cdot 10^3 + \frac{6,035 \cdot 10^6 \cdot 88,4 \cdot 1910}{12,98 \cdot 10^6} \right) = 313,8 \text{ kNm}$$

$$\phi_1 = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,21 - 0,2) + 0,21^2] = 0,524$$

$$\chi_1 = \frac{1}{\phi_1 + \sqrt{\phi_1^2 - \bar{\lambda}_{ch}^2}} = \frac{1}{0,524 + \sqrt{0,524^2 - 0,21^2}} = 0,996$$

- návrhová vzpěrná únosnost dílčího prutu:

$$N_{ch,b,Rd} = \frac{\chi_1 \cdot A_{ch} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,996 \cdot 1910 \cdot 235}{1,00} = 447,1 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{ch,Ed}}{N_{ch,b,Rd}} = \frac{313,8}{447,1} = 0,702 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

- vložky členěného prutu:

$$b_p = 110 \text{ mm}$$

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

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$a_1 = 3 \text{ mm}$$

- kritická štíhlost pro vybočení kolmo k hmotné ose z:

$$\lambda_z = L_z \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 1500 \cdot \sqrt{\frac{3820}{1,962 \cdot 10^6}} = 66,187 \leq 200$$

- kritická štíhlost pro vybočení kolmo k nehmotné ose y:

$$\begin{aligned} \lambda_{FS} &= \pi \cdot \sqrt{EA \left( \frac{1}{N_{cr,F}} + \frac{1}{S_v} \right)} = \\ &= \pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 3820 \left( \frac{1}{2989 \cdot 10^3} + \frac{1}{20339 \cdot 10^3} \right)} = 55,1 \leq 200 \end{aligned}$$

VYHOVUJE

b) Namáhání od stálého zatížení a sil od jeřábu (tah)

$$N_{Ed} = 536 + 168 = 704 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_g = 1,47 \text{ kNm}$$

- návrhové vnitřní síly:

$$N_{Rd} = N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3820 \cdot 235}{1,00} = 898 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = M_{c,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{59744 \cdot 235}{1,00} = 14,04 \text{ kNm}$$

- podmínka spolehlivosti:

$$\frac{704}{898} + \frac{1,47}{14,04} = 0,89 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

c) Namáhání od stálého zatížení a užitečného zatížení lávky:

$$M_{Ed} = M_g + M_Q = 1,47 + 2,70 = 4,17 \text{ kNm}$$

- posouzení na klopení:

$$C_1 = 1,03$$

$$C_2 = 0,44$$

$$k_y = 1,0$$

$$k_z = k_w = 0,5$$

$$\kappa_{wt} = \psi_f = 0$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \left[ \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g)^2} - C_2 \cdot \zeta_g \right] \cdot \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L_z} =$$

$$= 1,03 \cdot \left[ \sqrt{1 + 0^2 + (0,44 \cdot 0)^2} - 0,44 \cdot 0 \right] \cdot$$

$$\frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 1,962 \cdot 10^6 \cdot 81 \cdot 10^3 \cdot 0,13 \cdot 10^3}}{1500} = 143 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{14,04}{143}} = 0,314$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] =$$

$$= \phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,76 \cdot (0,314 - 0,2) + 0,314^2 \right] = 0,593$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,593 + \sqrt{0,593^2 - 0,314^2}} = 0,912$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,912 \cdot 59744 \cdot 235}{1,00} = 12,8 \text{ kNm}$$

- podmínka spolehlivosti:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{4,17}{12,8} = 0,326 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

### Diagonály

- návrh průřezu: L 120 x 10

$$A = 2,32 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$i_z = 23,6 \text{ mm}$$

Zatřídění průřezu:

$$\frac{b}{t} = \frac{120}{10} = 12 \leq 15 \rightarrow \text{třída 3}$$

**TLAK:**  $N_{Ed} = 311,4 \text{ kN}$

Posouzení na vzpěr – rozhoduje vybočení k měkké ose z

$$\begin{aligned} L_{cr} &= 0,7 \cdot d + 0,35 \cdot \lambda_1 \cdot i_z = \\ &= 0,7 \cdot 1921 + 0,35 \cdot 93,9 \cdot 23,5 = 2120 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d = \sqrt{1,2^2 + 1,5^2} = 1921 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{\pi \cdot i_z} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{2120}{\pi \cdot 23,5} \cdot \sqrt{\frac{235}{210 \cdot 10^3}} = 0,912$$

$$\phi_1 = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,912 - 0,2) + 0,912^2] = 1,040$$

$$\chi = \frac{1}{1,040 + \sqrt{1,040^2 - 0,912^2}} = 0,594$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,594 \cdot 2,32 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 324 \text{ kN}$$

Podmínky spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{311,4}{324} = 0,96 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Kritická štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{2120}{23,6} = 89,8 \leq 200$$

VYHOVUJE

**TAH:**  $N_{Ed} = 341 + 80,4 = 421,4 \text{ kN}$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{232 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,00} = 0,773 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

**Svislice:**

- návrh: L 80 x 10

$$A = 1510 \text{ mm}^2$$

$$I_\xi = 875 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,\xi} = 15,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_\xi = 24,1 \text{ mm}$$

Zatřídění průřezu:

$$\frac{b}{t} = \frac{80}{10} = 8 \leq 15 \rightarrow \text{třída 3}$$

**a) Namáhání od stálého zatížení a sil způsobených jeřáby**

$$N_{Ed} = 142 + 40,64 = 182,64 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = M_G = 0,292 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} L_{cr} &= 0,7 \cdot v + 0,50 \cdot \lambda_1 \cdot i_\xi = \\ &= 0,7 \cdot 1000 + 0,50 \cdot 93,9 \cdot 24,1 = 1831 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1510 \cdot 235 = 355 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{el,\xi} \cdot f_y = 15,4 \cdot 10^3 \cdot 235 = 3,62 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_\xi = \frac{L_{cr}}{\pi \cdot i_\xi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1831}{\pi \cdot 24,1} \cdot \sqrt{\frac{235}{210 \cdot 10^3}} = 0,809$$

$$\phi_\xi = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,809 - 0,2) + 0,809^2] = 0,931$$

$$\chi_{\xi} = \frac{1}{\phi_{\xi} + \sqrt{\phi_{\xi}^2 - \bar{\lambda}_{\xi}^2}} = \frac{1}{0,931 + \sqrt{0,931^2 + 0,809^2}} = 0,719$$

$$k_{\xi\xi} = C_{m\xi} \left( 1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_{\xi} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_{\xi} N_{Rk}} \right)$$

$$k_{\xi\xi} = 0,95 \left( 1 + 0,6 \cdot 0,809 \cdot \frac{182,64 \cdot 10^3}{\frac{0,719 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}} \right) = 1,28$$

$$k_{\xi\xi} \leq C_{m\xi} \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_{\xi} N_{Rk}} \right)$$

$$k_{\xi\xi} \leq 0,95 \left( 1 + 0,6 \cdot \frac{182,64 \cdot 10^3}{\frac{0,719 \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0}} \right) = 1,36$$

Podmínka spolehlivosti:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{\xi} N_{Rk}} + k_{\xi\xi} \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} \leq 1,0$$

$$\frac{182,64}{\frac{0,719 \cdot 355}{1,0}} + 1,28 \cdot \frac{0,292}{\frac{3,62}{1,0}} = 0,82 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

Kritická štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_{\xi}} = \frac{1831}{24,1} = 75,98 \leq 200$$

VYHOVUJE

**b) Namáhání od stálého zatížení a užitečného zatížení lávky**

$$M_{Ed} = M_G + M_Q = 0,292 + 1,08 = 1,372 \text{ kNm}$$



$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,\xi} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} = 3,619 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1,372}{3,619} = 0,379 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

#### Dimenzování přípoju mezipásových prutů:

- svařované přípoje mezipásových prutů pomocí styčnickových plechů vložených mezi profily pásu vodorovného nosníku
- boční koutové svary
- návrh tloušťky plechu  $t_p=12 \text{ mm}$

Připojení mezipásových prutů na styčnickový plech

#### a) Připojení diagonály

- neodstávající příruba:

$$a_1 = 8 \text{ mm}$$

$$a_2 = 12 \text{ mm}$$

$$L_1 = 90 \text{ mm}$$

$$L_2 = 200 \text{ mm}$$

$$F_a, F_d = N_{t,Ed} = 421,4 \text{ kN}$$

$$F_2 = F_{a,Ed} \cdot \frac{b-e}{b} = 421,4 \cdot 1 \cdot \frac{33,1}{120} = 116 \text{ kN}$$

- svar 1 je namáhán pouze osovou silou:

$$F_1 = F_{a,Ed} \cdot \frac{e}{b} = 421,4 \cdot \frac{33,1}{120} = 116 \text{ kN}$$

- svar 2 je namáhán smykovou silou i momentem vlivem excentricity

$$F_2 = F_{a,Ed} \cdot \frac{b-e}{b} = 421,4 \cdot 10^3 \cdot \frac{120-33,1}{120} = 305 \text{ kN}$$

$$M_2 = \frac{F_{a,Ed}}{2} \cdot \frac{b}{2} = \frac{F_{a,Ed} \cdot b}{4} = \frac{421,4 \cdot 10^3 \cdot 120}{4} = 12,6 \text{ kNm}$$

- svar 1

$$\tau_{II} = \frac{F_1}{a_1 \cdot L_1} = \frac{116 \cdot 10^3}{8 \cdot 90} = 161 \text{ MPa}$$

- podmínka spolehlivosti:

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} &= \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 161^2)} = 279 \text{ MPa} \\ &\leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa} \end{aligned}$$

VYHOVUJE

- svar 2

$$\tau_{II} = \frac{F_2}{a_2 \cdot L_2} = \frac{305 \cdot 10^3}{12 \cdot 200} = 127 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{M_2}{W} = \frac{6M_2}{a_2 \cdot L_2^2} = \frac{6 \cdot 12,6 \cdot 10^6}{12 \cdot 200^2} = 158 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_t}{\sqrt{2}} = \frac{158}{\sqrt{2}} = 112 \text{ MPa}$$

- podmínka spolehlivosti:

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} &= \sqrt{112^2 + 3 \cdot (112^2 + 127^2)} = \\ &= 313 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa} \\ \sigma_{\perp} = 112 \text{ MPa} &\leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259 \text{ MPa} \end{aligned}$$

VYHOVUJE

### b) Připojení svislice

- koutové svary u přilehlé příruby

$$a_1 = 5 \text{ mm}$$

$$L_1 = 60 \text{ mm}$$

- Koutové svary u odstávající příruby

$$a_2 = 10 \text{ mm}$$

$$L_2 = 140 \text{ mm}$$

$$F_{a,Ed} = N'_{c,Ed} = 182,64 \text{ kN}$$

$$\sigma_M = \frac{M}{W} = \frac{6M}{a \cdot L^2}$$

$$F_1 = F_{a,Ed} \cdot \frac{e}{b} = 182,64 \cdot 10^3 \cdot \frac{23,4}{80} = 53,4 \text{ kN}$$

$$\sigma_{M1} = \frac{6M}{a_1 \cdot L_1^2} = \frac{6 \cdot 0,292 \cdot 10^6}{5 \cdot 60^2} = 97,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = \frac{F_1}{a_1 \cdot L_1} = \frac{53,4 \cdot 10^3}{5 \cdot 60} = 178 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{97,3}{\sqrt{2}} = 68,8 \text{ MPa}$$

- podmínka spolehlivosti:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{68,8^2 + 3 \cdot (68,8^2 + 178^2)} = 338 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 68,8 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

- svar 2

$$F_2 = F_{a,Ed} \cdot \frac{b-e}{b} = 182,64 \cdot 10^3 \cdot \frac{80-23,4}{80} = 129 \text{ kN}$$

$$\sigma_{M_2} = \frac{6M}{a_2 \cdot L_2^2} = \frac{6 \cdot 0,292 \cdot 10^6}{10 \cdot 140^2} = 8,94 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II} = \frac{F_2}{a_2 \cdot L_2} = \frac{129 \cdot 10^3}{10 \cdot 140} = 92,1 \text{ MPa}$$

$$M_2 = \frac{F_{a,Ed}}{2} \cdot \frac{b}{2} = \frac{F_{a,Ed} \cdot b}{4} = \frac{182,64 \cdot 10^3 \cdot 80}{4} = 3,65 \text{ kNm}$$

$$\sigma_t = \frac{M_2}{W} = \frac{6M_2}{a_2 \cdot L_2^2} = \frac{6 \cdot 3,65 \cdot 10^6}{10 \cdot 240^2} = 112 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \sigma_{M_2} + \sigma_t = 8,94 + 112 = 121 \text{ MPa}$$

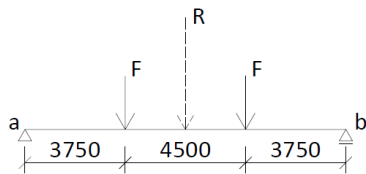
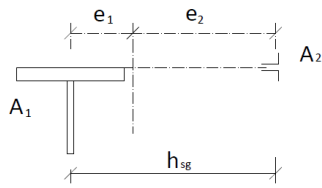
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} = \frac{121}{\sqrt{2}} = 85,6 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{85,6^2 + 3 \cdot (85,6^2 + 92,1^2)} = 234 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 85,6 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M_2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

## 4.3 MSP - VODOROVNÝ VÝZTUŽNÝ NOSNÍK



$$F_1 = H_{S,2,1,T} + F_{w,T}^* = 75,062 + 66,916 = 142 \text{ kN}$$

$$F_2 = F_{w,T}^* = 66,916 \text{ kN}$$

$$A_1 = 15,660 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 3,820 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$h_{sg} = 1200 \text{ mm}$$

$$e_1 = h_{sg} \cdot \frac{A_2}{A_1 + A_2} = 1200 \cdot \frac{3,820 \cdot 10^3}{15,66 \cdot 10^3 + 3,820 \cdot 10^3} = 235 \text{ mm}$$

$$e_2 = h_{sg} - e_1 = 1200 - 235 = 965 \text{ mm}$$

$$I_z = A_1 \cdot e_1^2 + A_2 \cdot e_2^2 =$$

$$= 15,66 \cdot 10^3 \cdot 235^2 + 3,820 \cdot 10^3 \cdot 965^2 = 4,42 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\frac{x}{l} = \frac{3,75}{12,0} = 0,313$$

$$\eta = 80891$$

$$\delta_F = \frac{12,0^3}{4,42 \cdot 10^9} \cdot (142 \cdot 80891 + 66,916 \cdot 80891) = 6,61 \text{ mm}$$

$$\delta_y = 6,61 \text{ mm} \leq \delta_{y,Cd} = 20 \text{ mm}$$

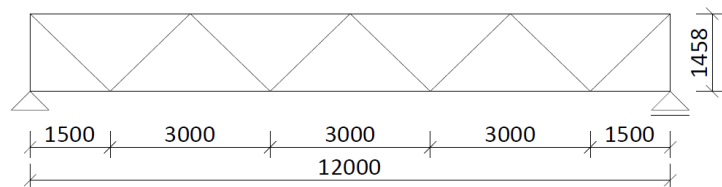
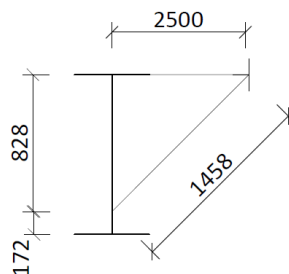
## 5. VÝZTUŽNÝ NOSNÍK V ŠIKMÉ ROVINĚ

Pás vodorovného nosníku jeřábové dráhy je nutno podepřít nosníkem, který je konstruován v šikmé rovině.

Průřez diagonál navrhne s ohledem na mezní štíhlost prutu, a to z jednoho rovnoramenného úhelníku L 60 x 6 s nejmenším poloměrem setrvačnosti  $i_z=11,7$  mm.

$$L_d = \sqrt{828^2 + 1500^2} = 2174 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_d}{i_z} = \frac{2174}{11,7} = 186 \leq 200$$



## 6. BRZDNÉ ZTUŽIDLO

### 6.1. ZATÍŽENÍ VYVOLÁVAJÍCÍ ÚČINKY NA BRZDNÉ ZTUŽIDLO

$$\varphi_5 = 1,5$$

$$\gamma_{Q, \text{jeřáb}} = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,5$$

$$\psi_{0, \text{vítr}} = 0,6$$

#### 1. Zrychlení mostu jeřábu

$$H_{L,1} = H_{L,2} = 14,016 \text{ kN}$$

#### 2. Podélný vítr na jeřáb

a) za provozu:

$$F_{w,L, \text{most}}^* = 326,644 \text{ kN}$$

b) mimo provoz:

$$F_{w,L, \text{most}} = 359,134 \text{ kN}$$

#### 3. Podélný vítr na sloup

a) za provozu:

$$q_p(z)_{\text{sloup}}^* = 8,531 \text{ kNm}^{-1}$$

b) mimo provoz:

$$q_p(z)_{\text{sloup}} = 13,331 \text{ kNm}^{-1}$$

#### 4. Podélný vítr na hlavní nosník - tření

a) za provozu:

$$q_p(z)_{hl}^* = 0,154 \text{ kNm}^{-1}$$

b) mimo provoz:

$$q_p(z)_{hl} = 0,241 \text{ kNm}^{-1}$$

#### 5. Podélný vítr na lávku:

a) za provozu:

$$q_p(z)_{fr.lávka}^* = 0,082 \text{ kNm}^{-2}$$

b) mimo provoz:

$$q_p(z)_{fr.lávka} = 0,128 \text{ kNm}^{-2}$$



**6.2. MSÚ - ÚČINKY ZATÍŽENÍ**

ZS1 - zatížení jeřábem

Brzdná síla podélného pojezdu:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

$$N_1^* = F_{L,1} = \varphi_5 \cdot H_{L,1} + 1 \cdot F_{w,L,most}^* =$$

$$= 1,5 \cdot 14,016 + 1 \cdot 326,644 = 347,668 \text{ kN}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

$$N_1 = F_{L,2} = 1 \cdot F_{w,L,most} =$$

$$= 1 \cdot 359,134 = 359,134 \text{ kN}$$

ZS2 - zatížení větrem

Podélný vítr na sloup:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

$$q_{k,sloup}^* = q_p(z)_{sloup}^* = 8,531 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R_{ax} = 0,5 \cdot q_{k,sloup}^* \cdot l_{sloup} = 0,5 \cdot 8,531 \cdot 8,0 = 34,124 \text{ kN}$$

$$N_2^* = 6 \cdot R_{ax} = 6 \cdot 34,124 = 204,744 \text{ kN}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

$$q_{k,sloup} = q_p(z)_{sloup} = 13,331 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R_{ax} = 0,5 \cdot q_{k,sloup} \cdot l_{sloup} = 0,5 \cdot 13,331 \cdot 8,0 = 53,324 \text{ kN}$$

$$N_2 = 6 \cdot R_{ax} = 6 \cdot 53,324 = 319,944 \text{ kN}$$

Podélný vítr na hlavní nosník - tření:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

$$q_{k,hl}^* = q_p(z)_{hl}^* = 0,154 \text{ kNm}^{-1}$$

$$N_3^* = 5 \cdot q_{k,hl}^* \cdot l_{hl} = 5 \cdot 0,154 \cdot 12,0 = 9,240 \text{ kN}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

$$q_{k,hl} = q_p(z)_{hl} = 0,241 \text{ kNm}^{-1}$$

$$N_3 = 5 \cdot q_{k,hl} \cdot l_{hl} = 5 \cdot 0,241 \cdot 12,0 = 14,460 \text{ kN}$$

Podélný vítr na lávku:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

$$q_{k,lávka}^* = q_p(z)_{fr,lávka}^* = 0,082 \text{ kNm}^{-1}$$

$$N_4^* = q_{k,lávka}^* \cdot l_{lávka} \cdot b_{lávka} = 0,082 \cdot 60,0 \cdot 0,6 = 2,952 \text{ kN}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

$$q_{k,lávka} = q_p(z)_{fr,lávka} = 0,128 \text{ kNm}^{-1}$$

$$N_4 = q_{k,lávka} \cdot l_{lávka} \cdot b_{lávka} = 0,128 \cdot 60,0 \cdot 0,6 = 4,608 \text{ kN}$$

Kombinace zatížení:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

$$K1: \gamma_{Q,jeřáb} \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2$$

$$\begin{aligned} N_{K1} &= \gamma_{Q,jeřáb} \cdot N_1^* + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot (N_2^* + N_3^* + N_4^*) = \\ &= 1,35 \cdot 347,668 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (204,744 + 9,240 + 2,952) = \\ &= 664,594 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$K2: \gamma_{Q,jeřáb} \cdot \psi_0 \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2$$

$$\begin{aligned} N_{K2} &= \gamma_{Q,jeřáb} \cdot \psi_0 \cdot N_1^* + \gamma_Q \cdot (N_2^* + N_3^* + N_4^*) = \\ &= 1,35 \cdot 1,0 \cdot 347,668 + 1,5 \cdot (204,744 + 9,240 + 2,952) = \\ &= 794,756 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

$$K3: \gamma_{Q,jeřáb} \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2$$

$$\begin{aligned} N_{K3} &= \gamma_{Q,jeřáb} \cdot N_1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot (N_2 + N_3 + N_4) = \\ &= 1,35 \cdot 359,134 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (319,944 + 14,460 + 4,608) = \\ &= 789,942 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$K4: \gamma_{Q,jeřáb} \cdot \psi_0 \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot ZS2$$

$$\begin{aligned} N_{K4} &= \gamma_{Q,jeřáb} \cdot \psi_0 \cdot N_1 + \gamma_Q \cdot (N_2 + N_3 + N_4) = \\ &= 1,35 \cdot 1,0 \cdot 359,134 + 1,5 \cdot (319,944 + 14,460 + 4,608) = \\ &= 993,349 \text{ kN} \end{aligned}$$

**6.3 MSP - ÚČINKY ZATÍŽENÍ**

ZS1 - zatížení jeřábem

Brzdná síla podélného pojezdu:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

$$N_1^* = H_{L,1} + F_{w,L,most}^* =$$

$$= 14,016 + 326,644 = 340,660 \text{ kN}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

$$N_1 = F_{w,L,most} = 359,134 \text{ kN}$$

ZS2 - zatížení větrem

Podélný vítr na sloup:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

$$q_{k,sloup}^* = q_p(z)_{sloup}^* = 8,531 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R_{ax} = 0,5 \cdot q_{k,sloup}^* \cdot l_{sloup} = 0,5 \cdot 8,531 \cdot 8,0 = 34,124 \text{ kN}$$

$$N_2^* = 6 \cdot R_{ax} = 6 \cdot 34,124 = 204,744 \text{ kN}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

$$q_{k,sloup} = q_p(z)_{sloup} = 13,331 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R_{ax} = 0,5 \cdot q_{k,sloup} \cdot l_{sloup} = 0,5 \cdot 13,331 \cdot 8,0 = 53,324 \text{ kN}$$

$$N_2 = 6 \cdot R_{ax} = 6 \cdot 53,324 = 319,944 \text{ kN}$$

Podélný vítr na hlavní nosník - tření:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

$$q_{k,hl}^* = q_p(z)_{hl}^* = 0,154 \text{ kNm}^{-1}$$

$$N_3^* = 5 \cdot q_{k,hl}^* \cdot l_{hl} = 5 \cdot 0,154 \cdot 12,0 = 9,240 \text{ kN}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

$$q_{k,hl} = q_p(z)_{hl} = 0,241 \text{ kNm}^{-1}$$

$$N_3 = 5 \cdot q_{k,hl} \cdot l_{hl} = 5 \cdot 0,241 \cdot 12,0 = 14,460 \text{ kN}$$

Podélný vítr na lávku:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

$$q_{k,lávka}^* = q_p(z)_{fr,lávka}^* = 0,082 \text{ kNm}^{-1}$$

$$N_4^* = q_{k,lávka}^* \cdot l_{lávka} \cdot b_{lávka} = 0,082 \cdot 60,0 \cdot 0,6 = 2,952 \text{ kN}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

$$q_{k,lávka} = q_p(z)_{fr,lávka} = 0,128 \text{ kNm}^{-1}$$

$$N_4 = q_{k,lávka} \cdot l_{lávka} \cdot b_{lávka} = 0,128 \cdot 60,0 \cdot 0,6 = 4,608 \text{ kN}$$

#### 6.4 Kombinace zatížení:

1. jeřáb za provozu s podélným větrem

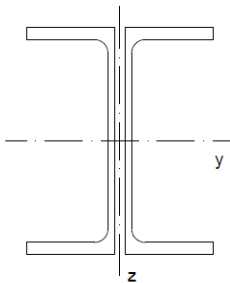
K1: ZS1+ZS2

$$\begin{aligned} N_{K1} &= N_1^* + N_2^* + N_3^* + N_4^* = \\ &= 340,660 + 204,744 + 9,240 + 2,952 = 557,596 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. jeřáb mimo provoz s podélným větrem

K2: ZS1+ZS2

$$\begin{aligned} N_{K2} &= N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = \\ &= 359,134 + 319,944 + 14,460 + 4,608 = 698,146 \text{ kN} \end{aligned}$$



#### 6.5 DIMENZOVÁNÍ PODÉLNÉHO ZTUŽIDLA

PROFIL PODÉLNÉHO ZTUŽIDLA

2 x UPE 300

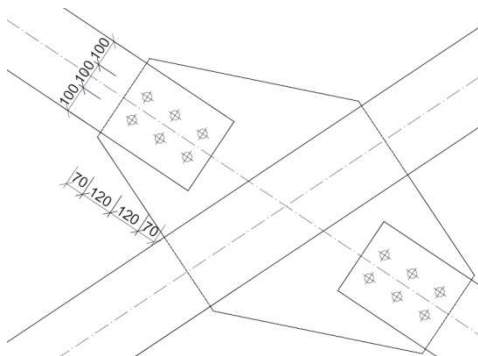
$$A = 2 \cdot 5,660 \cdot 10^3 = 11320 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 118 \text{ mm}$$

PŘÍPOJ ZTUŽIDLA

třecí spoj

6 x M30 - 10.9 -  $\phi$ 33



MSÚ

$$F = 993,349 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = \frac{F}{\cos \alpha} = \frac{993,349}{0,832062127} = 1193,840 \text{ kN}$$

$$\cos \alpha = \frac{I_{hl}}{I_{ztužidlo}} = \frac{12,000}{14,422} = 0,832062127$$

$$I_{ztužidlo} = \sqrt{I_{hl}^2 + I_{sloup}^2} = \sqrt{12^2 + 8^2} = 14,422 \text{ m}$$

Únosnost ztužidla v tahu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11320 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 2660,200 \text{ kN}$$

$$A_{net} = A - 2 \cdot 2 \cdot d_0 \cdot t = 11320 - 2 \cdot 2 \cdot 33 \cdot 9,5 = 10066 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 10066 \cdot 360 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 2609,107 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}\} = 2609,107 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 1193,840 \text{ kN}$$

Únosnost třecího spoje:

síla na jeden šroub:

$$F_{V,Ed} = \frac{N_{Ed}}{6} = \frac{1193,840}{6} = 198,973 \text{ kN}$$

$$F_{ub} = 1000 \text{ MPa}$$

$$A_s = 561 \text{ mm}^2$$

$$F_p = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 1000 \cdot 561 \cdot 10^{-3} = 392,700 \text{ kN}$$

Prokluz:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu \cdot (F_p - 0,8 \cdot F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} =$$

$$= \frac{1,0 \cdot 2 \cdot 0,4 \cdot (392,700 - 0,8 \cdot 0)}{1,25} = 251,328 \text{ kN}$$

$$k_s = 1,0$$

$$\mu = 0,4$$

$$n = 2$$

$$\gamma_{M3} = 1,25$$

Otlačení:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} =$$

$$= \frac{2,5 \cdot 0,707 \cdot 360 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 15}{1,25} = 229,068 \text{ kN}$$

$$\alpha = \min \left\{ \frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{\rho_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} \cdot \frac{f_{ub}}{f_u}; 1 \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{70}{3 \cdot 33}; \frac{120}{3 \cdot 33} - \frac{1}{4} \cdot \frac{1000}{360}; 1 \right\} =$$

$$= \min \{0,707; 0,962; 2,778; 1\} = 0,707$$

$$e_1 = 70 \text{ mm}$$

$$\rho_1 = 120 \text{ mm}$$

$$t = \min \{t_{plech}; 2 \cdot t_w\} = \min \{15; 2 \cdot 9,5\} = \min \{15; 19\} = 15 \text{ mm}$$

$$F_{V,Rd} = \min \{F_{s,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{251,328; 229,068\} = 229,068 \text{ kN}$$

$$F_{V,Rd} \geq F_{V,Ed}$$

### MSP

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = \frac{l_{ztužidlo}}{2} = \frac{14,422}{2} = 7,211 \text{ m}$$

Kritická štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{7211}{118} = 61,110 \leq 150$$

Posun:

$$\delta_{dov} = \frac{h_c}{2000} = \frac{8000}{2000} = 4,000 \text{ mm}$$

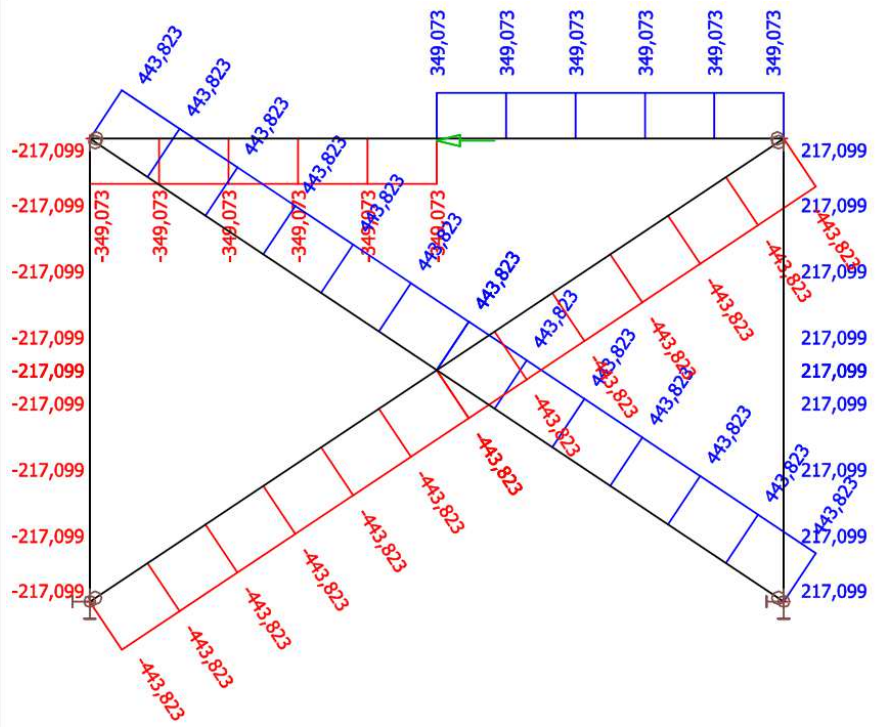
$$\delta = \frac{1}{E \cdot A} \sum N_i \cdot \bar{N}_i \cdot l_i =$$

$$= \frac{1}{210 \cdot 11320} (443,823 \cdot 0,941 \cdot 14,422 +$$

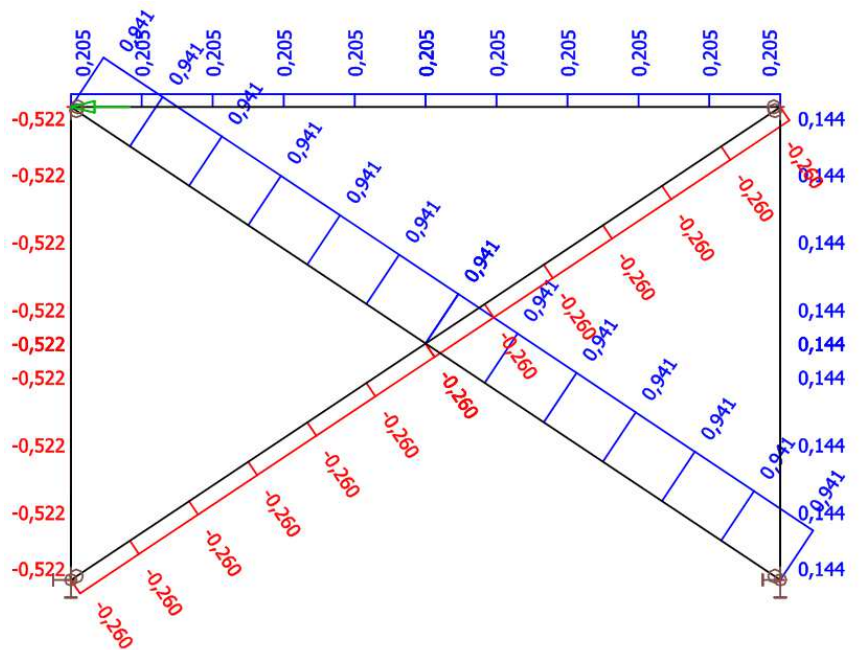
$$+ 443,823 \cdot 0,260 \cdot 14,422) = 3,234 \text{ mm}$$

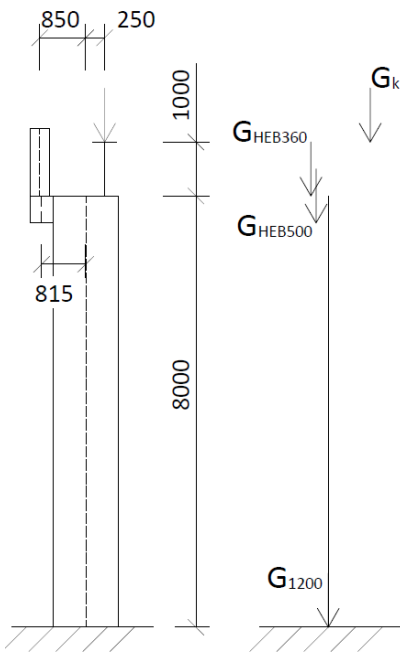
$$\delta = 3,234 \text{ mm} \leq \delta_{dov} = 4,000 \text{ mm}$$

N:



$\bar{N}$ :





## 7. SLOUP

### 7.1 ZATÍŽENÍ

#### ZS1 - stálé zatížení

Svislé zatížení:

Tíha větve jeřábové dráhy:

$$g_k = 6,300 \text{ kNm}^{-1}$$

$$G_k = g_k \cdot l_{hl} = 6,300 \cdot 12,0 = 75,600 \text{ kN}$$

Vlastní tíha sloupu:

$$g_{k,1200} = 373,472 \text{ kgm}^{-1}$$

$$G_{k,1200} = g_{k,1200} \cdot l_{sloup} \cdot 0,01 = \\ = 373,472 \cdot 8,0 \cdot 0,01 = 29,878 \text{ kN}$$

$$g_{k,HEB360} = 142,000 \text{ kgm}^{-1}$$

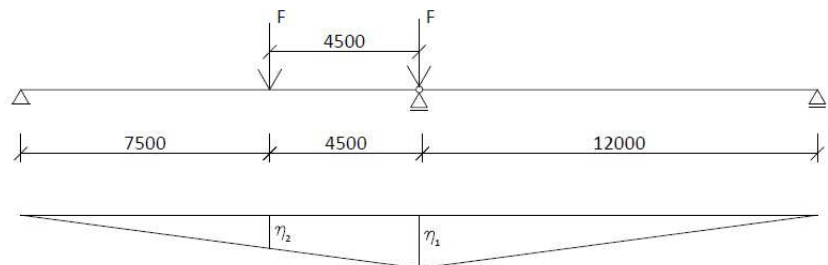
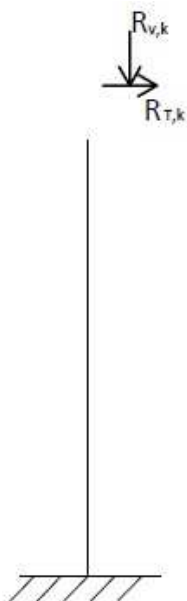
$$G_{k,HEB360} = g_{k,HEB360} \cdot l_{HEB360} \cdot 0,01 = \\ = 142,000 \cdot 1,25 \cdot 0,01 = 1,775 \text{ kN}$$

$$g_{k,HEB500} = 187,000 \text{ kgm}^{-1}$$

$$G_{k,HEB500} = g_{k,HEB500} \cdot l_{HEB500} \cdot 0,01 = \\ = 187,000 \cdot 0,550 \cdot 0,01 = 1,029 \text{ kN}$$

#### ZS2 - zatížení jeřábem

Svislé zatížení:



a) Za provozu (skupina zatížení č. 5, 6):

$$F_{v,1,k} = \varphi_4 \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_4 \cdot Q_{H,r,max} = \\ = 1 \cdot 104,423 + 1 \cdot 145,422 = 249,845 \text{ kN}$$



$$\eta_1 = 1,000$$

$$\eta_2 = 1,000 \cdot \frac{7,5}{12,0} = 0,625$$

$$R_{v,1,k} = F_{v,1,k} \cdot (\eta_1 + \eta_2) = \\ = 249,845 \cdot (1,000 + 0,625) = 405,998 \text{ kN}$$

b) Mimo provoz bez sněhu:

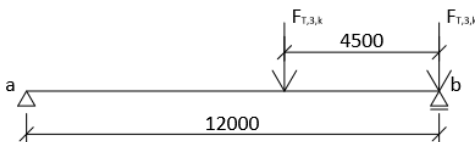
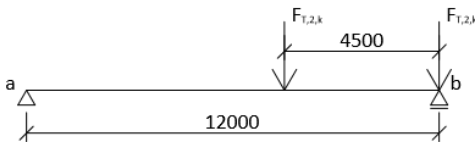
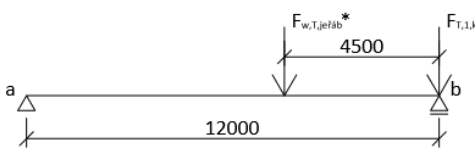
$$F_{v,2,k} = Q_{C,r,max} = 104,423 \text{ kN}$$

$$R_{v,2,k} = F_{v,2,k} \cdot (\eta_1 + \eta_2) = \\ = 104,423 \cdot (1,000 + 0,625) = 169,687 \text{ kN}$$

c) Mimo provoz se sněhem:

$$F_{v,3,k} = Q_{C,r,max} + F_{snih,jeřáb} = 104,423 + 3,155 = 107,578 \text{ kN}$$

$$R_{v,3,k} = F_{v,3,k} \cdot (\eta_1 + \eta_2) = \\ = 107,578 \cdot (1,000 + 0,625) = 174,814 \text{ kN}$$



Příčné zatížení:

a) Za provozu:

skupina zatížení č. 5:

$$F_{T,1,k} = 1 \cdot H_{s,2,1,T} + 1 \cdot F_{w,T,jeřáb}^* = \\ = 1 \cdot 75,062 + 1 \cdot 66,916 = 141,978 \text{ kN}$$

$$R_{T,1,k} = F_{T,1,k} \cdot \eta_1 + F_{w,T,jeřáb}^* \cdot \eta_2 = \\ = 141,978 \cdot 1,000 + 66,916 \cdot 0,625 = 183,801 \text{ kN}$$

skupina zatížení č. 6:

$$F_{T,2,k} = 1 \cdot H_{T,3,2} = \\ = 1 \cdot 10,100 = 10,100 \text{ kN}$$

$$R_{T,2,k} = F_{T,2,k} \cdot (\eta_1 + \eta_2) = 10,100 \cdot (1,000 + 0,625) = 16,413 \text{ kN}$$

b) Mimo provoz s příčným větrem:

$$F_{T,3,k} = F_{w,T,jeřáb} = 21,367 \text{ kN}$$

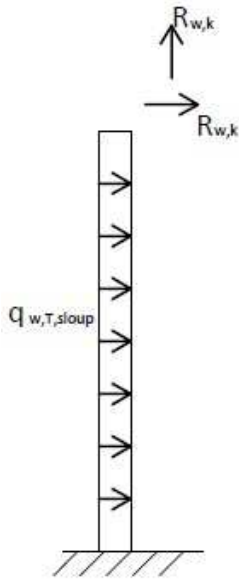
$$R_{T,3,k} = F_{T,3,k} \cdot (\eta_1 + \eta_2) = 21,367 \cdot (1,000 + 0,625) = 34,721 \text{ kN}$$

c) Mimo provoz bez větru:

$$F_{T,4,k} = 0$$

$$R_{T,4,k} = 0$$

**ZS3 - zatížení větrem**



Svislé zatížení:

Účinek příčného větru na lávku:

a) Za provozu:

$$R_{w,1,k} = 2 \cdot R_{w,T,lávka}^* = 2 \cdot 11,182 = 22,364 \text{ kN}$$

b) Mimo provoz:

$$R_{w,2,k} = 2 \cdot R_{w,T,lávka} = 2 \cdot 17,468 = 34,936 \text{ kN}$$

Příčné zatížení:

Účinky příčného větru na hlavní nosník:

a) Za provozu:

$$R_{w,3,k} = q_{w,T,hl}^* \cdot l_{hl} = 7,435 \cdot 12,0 = 89,220 \text{ kN}$$

b) Mimo provoz:

$$R_{w,4,k} = q_{w,T,hl} \cdot l_{hl} = 11,617 \cdot 12,0 = 139,404 \text{ kN}$$

Účinky příčného větru na sloup:

a) Za provozu:

$$q_{w,T,sloup,k}^* = 2,133 \text{ kNm}^{-1}$$

b) Mimo provoz:

$$q_{w,T,sloup,k} = 3,333 \text{ kNm}^{-1}$$

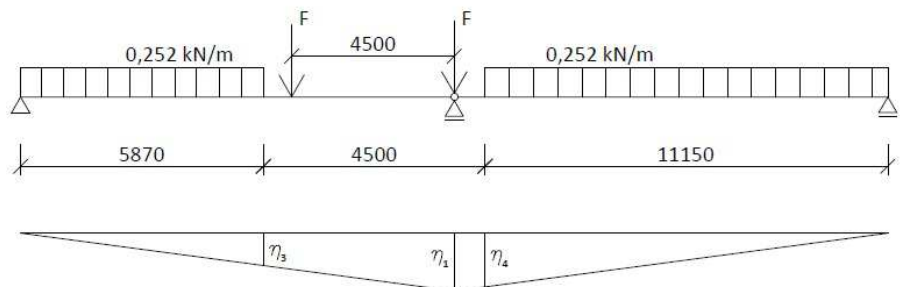
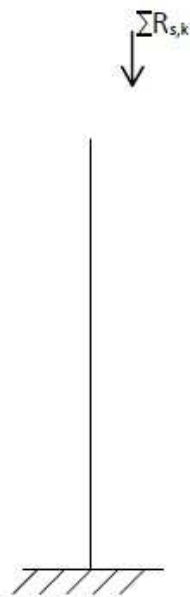
#### ZS4 - zatížení sněhem

Svislé zatížení:

Účinky sněhu na lávku:

$$R_{s,1,k} = 2 \cdot R_s = 2 \cdot 2,015 = 4,030 \text{ kN}$$

Účinky sněhu na hlavní nosník:



$$q_{k,snih} = s_k \cdot b_{hl} = 0,560 \cdot 0,450 = 0,252 \text{ kNm}^{-1}$$

$$\eta_3 = 1,000 \cdot \frac{5,870}{12,000} = 0,489$$

$$\eta_4 = 1,000 \cdot \frac{11,150}{12,000} = 0,929$$

$$\begin{aligned} R_{s,2,k} &= q_{k,snih} \cdot (0,5 \cdot 5,870 \cdot \eta_3 + 0,5 \cdot 11,150 \cdot \eta_4) = \\ &= 0,252 \cdot (0,5 \cdot 5,870 \cdot 0,489 + 0,5 \cdot 11,150 \cdot 0,929) = 1,667 \text{ kN} \end{aligned}$$

**7.2 KOMBINACE ZATÍŽENÍ**

Jeřáb za provozu:

$$K1: ZS1 + ZS2 + \psi_0 \cdot ZS3$$

$$K2: ZS1 + \psi_0 \cdot ZS2 + ZS3$$

Jeřáb mimo provoz:

$$K3: ZS1 + ZS2 + \psi_0 \cdot ZS3$$

$$K4: ZS1 + \psi_0 \cdot ZS2 + ZS3$$

$$K5: ZS1 + ZS2 + \psi_0 \cdot ZS3 + \psi_0 \cdot ZS4$$

$$K6: ZS1 + \psi_0 \cdot ZS2 + ZS3 + \psi_0 \cdot ZS4$$

Uvažované kombinace byly prověřeny pomocí programu Excel a byly vybrány dvě nejnepříznivější, které budou následně rozepsány.

$$K1: ZS1 + ZS2 + \psi_0 \cdot ZS3$$

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= \gamma_G \cdot (G_k + G_{k,1200} + G_{k,HEB360} + G_{k,HEB500}) + \\ &+ \gamma_Q \cdot R_{v,1,k} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot (-R_{w,1,k}) = \\ &= 1,35 \cdot (75,600 + 29,878 + 1,775 + 1,029) + \\ &+ 1,35 \cdot 405,998 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (-22,364) = 674,150 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Ed} &= \gamma_Q \cdot R_{T,1,k} + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot (R_{w,3,k} + q_{w,T,sloup} \cdot I_{sloup}) = \\ &= 1,35 \cdot 183,801 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (89,220 + 2,133 \cdot 8,0) = 343,787 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Ed} &= \gamma_G \cdot (G_k \cdot 0,250 - G_{k,HE360} \cdot 0,850 - G_{k,HEB500} \cdot 0,815) + \\ &+ \gamma_Q \cdot (R_{v,1,k} \cdot 0,250 + R_{T,1,k} \cdot 9,0) + \\ &+ \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot (-R_{w,1,k} \cdot 0,250 + R_{w,3,k} \cdot 8,5 + 0,5 \cdot q_{w,T,sloup} \cdot I_{sloup}^2) = \\ &= 1,35 \cdot (75,600 \cdot 0,250 - 1,775 \cdot 0,850 - 1,029 \cdot 0,815) + \\ &+ 1,35 \cdot (405,998 \cdot 0,250 + 183,801 \cdot 9,0) + \\ &+ 1,5 \cdot 0,6 \cdot (-22,364 \cdot 0,250 + 89,220 \cdot 8,5 + 0,5 \cdot 2,133 \cdot 8,0^2) = \\ &= 3131,478 \text{ kNm} \end{aligned}$$

K2: ZS1 +  $\psi_0 \cdot$  ZS2 + ZS3

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} &= \gamma_G \cdot (G_k + G_{k,1200} + G_{k,HEB360} + G_{k,HEB500}) + \\
 &+ \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot R_{v,1,k} + \gamma_Q \cdot (-R_{w,1,k}) = \\
 &= 1,35 \cdot (75,600 + 29,878 + 1,775 + 1,029) + \\
 &+ 1,35 \cdot 1,0 \cdot 405,998 + 1,5 \cdot (-22,364) = 660,732 \text{ kN} \\
 V_{Ed} &= \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot R_{T,1,k} + \gamma_Q \cdot (R_{w,3,k} + q_{w,T,sloup}^* \cdot l_{sloup}) = \\
 &= 1,35 \cdot 1,0 \cdot 183,801 + 1,5 \cdot (89,220 + 2,133 \cdot 8,0) = 407,557 \text{ kN} \\
 M_{Ed} &= \gamma_G \cdot (G_k \cdot 0,250 - G_{k,HEB360} \cdot 0,850 - G_{k,HEB500} \cdot 0,815) + \\
 &+ \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot (R_{v,1,k} \cdot 0,250 + R_{T,1,k} \cdot 9,0) + \\
 &+ \gamma_Q \cdot (-R_{w,1,k} \cdot 0,250 + R_{w,3,k} \cdot 8,5 + 0,5 \cdot q_{w,T,sloup}^* \cdot l_{sloup}^2) = \\
 &= 1,35 \cdot (75,600 \cdot 0,250 - 1,775 \cdot 0,850 - 1,029 \cdot 0,815) + \\
 &+ 1,35 \cdot 1,0 \cdot (405,998 \cdot 0,250 + 183,801 \cdot 9,0) + \\
 &+ 1,5 \cdot (-22,364 \cdot 0,250 + 89,220 \cdot 8,5 + 0,5 \cdot 2,133 \cdot 8,0^2) = \\
 &= 3624,099 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

K3: ZS1 + ZS2 +  $\psi_0 \cdot$  ZS3

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} &= 343,815 \text{ kN} \\
 V_{Ed} &= 196,335 \text{ kN} \\
 M_{Ed} &= 1656,046 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

K4: ZS1 +  $\psi_0 \cdot$  ZS2 + ZS3

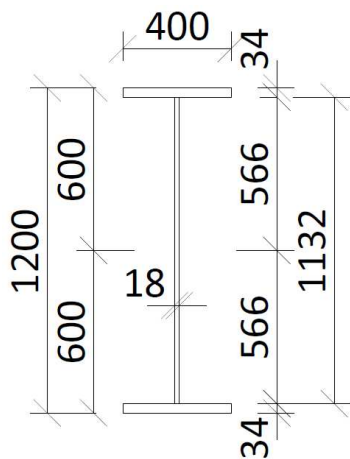
$$\begin{aligned}
 N_{Ed} &= 322,854 \text{ kN} \\
 V_{Ed} &= 295,975 \text{ kN} \\
 M_{Ed} &= 2426,892 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

K5: ZS1 + ZS2 +  $\psi_0 \cdot$  ZS3 +  $\psi_0 \cdot$  ZS4

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} &= 355,010 \text{ kN} \\
 V_{Ed} &= 196,335 \text{ kN} \\
 M_{Ed} &= 1658,844 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

K6: ZS1 +  $\psi_0 \cdot$  ZS2 + ZS3 +  $\psi_0 \cdot$  ZS4

$$\begin{aligned}
 N_{Ed} &= 334,048 \text{ kN} \\
 V_{Ed} &= 295,975 \text{ kN} \\
 M_{Ed} &= 2429,690 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



### 7.3 DIMENZOVÁNÍ SLOUPU

Průřez sloupu:

$$h = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$t_f = 34 \text{ mm}$$

$$t_w = 18 \text{ mm}$$

$$h_w = 1132 \text{ mm}$$

$$A = 47576 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 11,423 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 0,363 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 475,3 \text{ mm}$$

$$i_z = 84,0 \text{ mm}$$

$$I_p = 11,787 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 130,56 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6$$

$$I_t = 16,486 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,y} = 19,04 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 0,605 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

S 235

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

**Sloup - MSÚ**

pásnice:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{191}{34} = 5,62 \leq 9\varepsilon = 9,0 \rightarrow \text{třída 1}$$

stojina:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= -\frac{N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{wc} = \\ &= -\frac{674,2 \cdot 10^3}{47576 \cdot 10^{-6}} - \frac{3131,5 \cdot 10^3}{11,42 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,556 = -167,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= -\frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{wc} = \\ &= -\frac{674,15 \cdot 10^3}{47576 \cdot 10^{-6}} + \frac{3131,5 \cdot 10^3}{11,42 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,556 = 138,8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{138,8}{-167,2} = -0,830$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{1132}{18} = 63$$

$$62 \leq \frac{42 \cdot \varepsilon}{0,67 + 0,33\psi} = \frac{42}{0,67 + 0,33 \cdot (-0,830)} = 106$$

→ třída 3

- celý průřez třídy 3

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{47576 \cdot 10^{-3} \cdot 235}{1,0} = 11180,4 \text{ kN}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{19,04 \cdot 235}{1,0} = 4474,4 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{674,2}{11180,4} + \frac{3131,5}{4474,4} = 0,76 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

**Vybočení kolmo k ose y (příčné):**

$$\beta = 2$$

$$L_{cr,y} = \beta \cdot L = 2 \cdot 8,0 = 16,0 \text{ m}$$

$$\lambda_y = L_{cr,y} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_y}} = 16,0 \cdot \sqrt{\frac{47576 \cdot 10^{-6}}{11,423 \cdot 10^{-3}}} = 32,7$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{47576 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{92482,4 \cdot 10^3}} = 0,35$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 11,423 \cdot 10^{-3}}{16,0^2} =$$

$$= 92482,4 \text{ kN}$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] =$$

$$= 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,49 \cdot (0,35 - 0,2) + 0,35^2 \right] = 0,598$$

$$\alpha_y = 0,49$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,598 + \sqrt{0,598^2 - 0,35^2}} = 0,92$$

**Vybočení kolmo k ose z (podélné):**

$$\beta = 1$$

$$L_{cr,z} = \beta \cdot L = 1 \cdot 8,0 = 8,0 \text{ m}$$

$$\lambda_z = L_{cr,z} \cdot \sqrt{\frac{A}{I_z}} = 8,0 \cdot \sqrt{\frac{47576 \cdot 10^{-6}}{0,363 \cdot 10^{-3}}} = 92,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{47576 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{11755,6 \cdot 10^3}} = 0,98$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,363 \cdot 10^{-3}}{8,0^2} = 11755,6 \text{ kN}$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] =$$

$$= 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,76 \cdot (0,98 - 0,2) + 0,98^2 \right] = 1,28$$

$$\alpha_z = 0,76$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,28 + \sqrt{1,28^2 - 0,98^2}} = 0,48$$



**Vybočení zkroucením:**

$$\beta = 0,7$$

$$L_{cr,w} = \beta \cdot L = 0,7 \cdot 8,0 = 5,6 \text{ m}$$

$$\lambda_w = \sqrt{\frac{I_p}{\frac{I_w}{L_{cr,w}^2} + \frac{I_t}{25}}} = \sqrt{\frac{11,787 \cdot 10^{-3}}{\frac{130,56 \cdot 10^{-6}}{5,6^2} + \frac{16,486 \cdot 10^{-6}}{25}}} = 49,44$$

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,w}}} = \sqrt{\frac{47576 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{43247,5 \cdot 10^3}} = 0,51$$

$$i_0 = \sqrt{i_y^2 + i_z^2} = \sqrt{(490,01 \cdot 10^{-3})^2 + (87,38 \cdot 10^{-3})^2} = 0,48 \text{ m}$$

$$N_{cr,w} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left( G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{cr,w}^2} \right) =$$

$$= \frac{1}{0,48^2} \cdot \left( 81 \cdot 10^9 \cdot 16,486 \cdot 10^{-6} + \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 130,56 \cdot 10^{-6}}{5,6^2} \right) = 43,247,5 \text{ kN}$$

$$\phi_w = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_w - 0,2) + \bar{\lambda}_w^{-2} \right] =$$

$$= 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,76 \cdot (0,51 - 0,2) + 0,51^2 \right] = 0,75$$

$$\alpha_w = 0,76$$

$$\chi_w = \frac{1}{\phi_w + \sqrt{\phi_w^2 - \bar{\lambda}_w^{-2}}} = \frac{1}{0,75 + \sqrt{0,75^2 - 0,51^2}} = 0,77$$

$$\chi = \min\{\chi_y; \chi_z; \chi_w\} = \min\{0,92; 0,48; 0,77\} = 0,48$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,48 \cdot \frac{47576 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 5366,6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 674,2 \text{ kN} \leq N_{b,Rd} = 5366,6 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

**Vybočení klopením:**

$$L = 8,0 \text{ m}$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_w = 0,7$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{0,7 \cdot 8,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 130,56 \cdot 10^{-6}}{81 \cdot 10^9 \cdot 16,486 \cdot 10^{-6}}} =$$

$$= 2,54$$

$$C_1 = 1,85$$

$$C_2 = 0,46$$

$$z_g = 0,250 \text{ m}$$

$$z_j = 0$$

$$\zeta_j = 0$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi \cdot 0,250}{1,0 \cdot 8,0} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 0,363 \cdot 10^{-3}}{81 \cdot 10^9 \cdot 16,486 \cdot 10^{-6}}} = 0,74$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[ \sqrt{1 + \kappa_{w,t}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] =$$

$$= \frac{1,85}{1,0} \cdot \left[ \sqrt{1 + 2,54^2 + (0,46 \cdot 0,74)^2} - 0,46 \cdot 0,74 \right] = 4,46$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} =$$

$$= 4,46 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^9 \cdot 0,363 \cdot 10^{-3} \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 16,486 \cdot 10^{-6}}}{8,0} =$$

$$= 17670,9 \text{ kNm}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{19,04 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6}{17670,9 \cdot 10^3}} = 0,503$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2 \right] =$$

$$= 0,5 \cdot \left[ 1 + 0,76 \cdot (0,503 - 0,2) + 0,503^2 \right] = 0,74$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,74 + \sqrt{0,74^2 - 0,503^2}} = 0,78$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} =$$

$$= 0,78 \cdot 19,04 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{235 \cdot 10^6}{1,0} = 3490,03 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 3131,5 \text{ kNm} \leq M_{b,Rd} = 3490,03 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

$$C_{my} = 1,0$$

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) =$$

$$= 1,0 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot 0,35 \cdot \frac{674,2}{0,92 \cdot \frac{11180,4}{1,0}}\right) = 1,01$$

$$1,01 \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}\right) =$$

$$= 1,0 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{674,2}{0,92 \cdot \frac{11180,4}{1,0}}\right) = 1,04$$

$$k_{yy} = 1,01$$

$$k_{zy} = \left[1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}}{(C_{mLT} - 0,25)}\right] =$$

$$= \left[1 - \frac{0,05 \cdot 0,98}{(1,0 - 0,25)} \cdot \frac{674,2}{0,48 \cdot \frac{11180,4}{1,0}}\right] = 0,89$$

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 235 \cdot 10^6 \cdot 47576 \cdot 10^{-6} = 11180,4 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{el,y} \cdot f_y = 19,04 \cdot 10^{-3} \cdot 235 \cdot 10^6 = 4474,4 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$= \frac{674,2}{0,92 \cdot \frac{11180,4}{1,0}} + 1,01 \cdot \frac{3131,5}{0,78 \cdot \frac{4474,4}{1,0}} = 0,97 \leq 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} =$$

$$= \frac{674,2}{0,48 \cdot \frac{11180,4}{1,0}} + 0,89 \cdot \frac{3131,5}{0,78 \cdot \frac{4474,4}{1,0}} = 0,924 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

**Sloup - MSP**

Vodorovné průhyby v úrovni temene jeřábové dráhy:

- mezní hodnota vodorovného průhybu sloupu

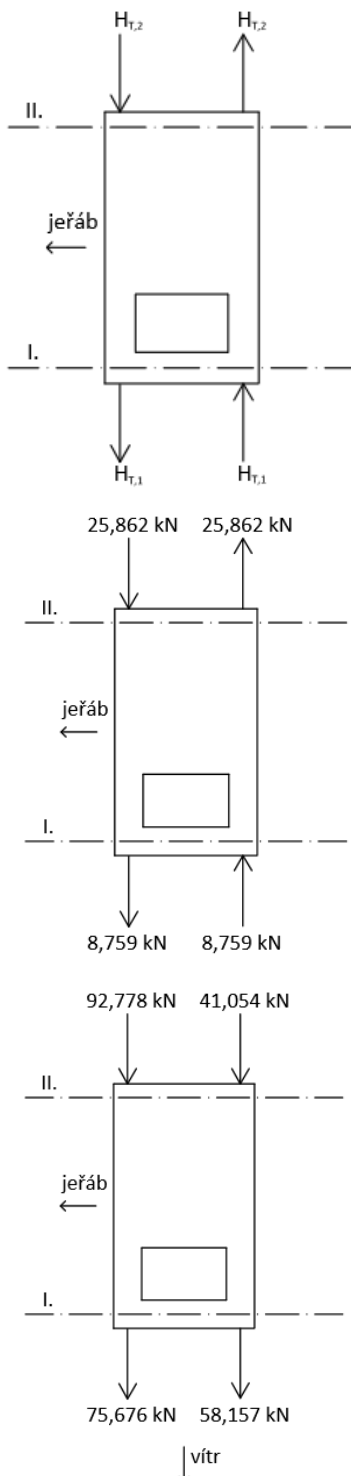
$$\delta_{y,Cd} = \frac{h_c}{400} = \frac{9100}{400} = 22,750 \text{ mm}$$

- mezní hodnota rozdílu vodorovných průhybů sousedních sloupů

$$\Delta\delta_{y,Cd} = \frac{l}{600} = \frac{12000}{600} = 20 \text{ mm}$$

Charakteristické hodnoty bočních rázů jeřábu:

- skupina zatížení č. 4



1. bez větru:

větev I.

$$F_{T1,1} = -H_{T,1} = -25,862 \text{ kN}$$

$$F_{T1,2} = H_{T,1} = 25,862 \text{ kN}$$

větev II.

$$F_{T1,1} = -H_{T,2} = -8,759 \text{ kN}$$

$$F_{T1,2} = H_{T,2} = 8,759 \text{ kN}$$

2. Příčný vítr ↓ :

větev I.

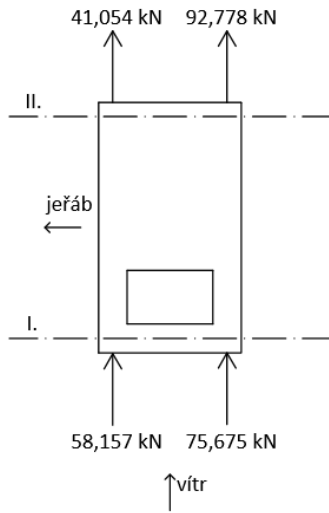
$$F_{T2,1} = -H_{T,1} - F_{w,T}^* = -25,862 - 66,916 = -92,778 \text{ kN}$$

$$F_{T2,2} = H_{T,1} - F_{w,T}^* = 25,862 - 66,916 = -41,054 \text{ kN}$$

větev II.

$$F_{T2,1} = -H_{T,2} - F_{w,T}^* = -8,759 - 66,916 = -75,675 \text{ kN}$$

$$F_{T2,2} = H_{T,2} - F_{w,T}^* = 8,759 - 66,916 = -58,157 \text{ kN}$$



3. Příčný vítr ↑ :

větev I.

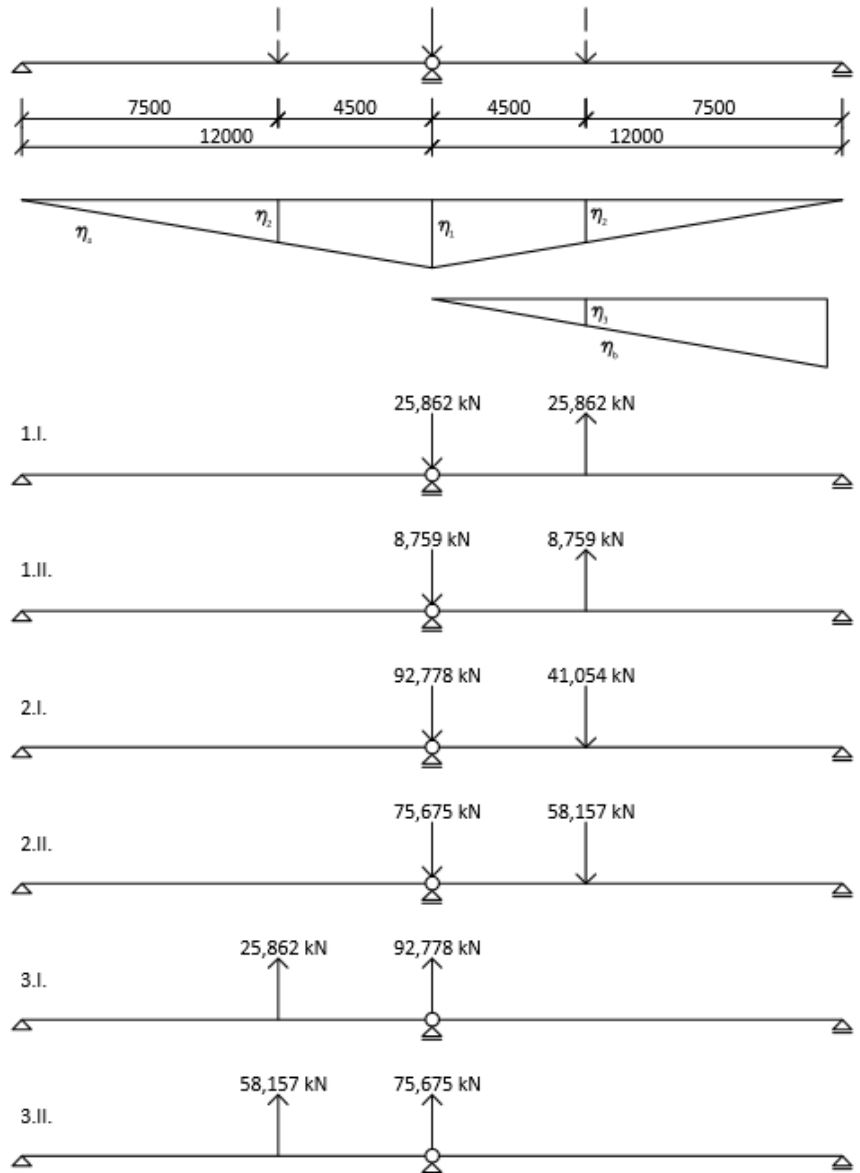
$$F_{T3,1} = -H_{T,1} + F_{w,T}^* = -25,862 + 66,916 = 41,054 \text{ kN}$$

$$F_{T3,2} = H_{T,1} + F_{w,T}^* = 25,862 + 66,916 = 92,778 \text{ kN}$$

větev II.

$$F_{T3,1} = -H_{T,2} + F_{w,T}^* = -8,759 + 66,916 = 58,157 \text{ kN}$$

$$F_{T3,2} = H_{T,2} + F_{w,T}^* = 8,759 + 66,916 = 75,675 \text{ kN}$$



$$\eta_1 = 1,000$$

$$\eta_2 = 1,000 \cdot \frac{7,500}{12,000} = 0,625$$

$$\eta_3 = 1,000 \cdot \frac{4,500}{12,000} = 0,375$$

1.I.

$$R_a = 25,862 \cdot 1,000 - 25,862 \cdot 0,625 = 9,698 \text{ kN}$$

$$R_b = -25,862 \cdot 0,375 = -9,698 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 9,698 + 9,698 = 19,396 \text{ kN}$$

1.II.

$$R_a = 8,759 \cdot 1,000 - 8,759 \cdot 0,625 = 3,285 \text{ kN}$$

$$R_b = -8,759 \cdot 0,375 = -3,285 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 3,285 + 3,285 = 6,570 \text{ kN}$$

2.I.

$$R_a = 92,778 \cdot 1,000 + 41,054 \cdot 0,625 = 118,437 \text{ kN}$$

$$R_b = 41,054 \cdot 0,375 = 15,395 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 118,437 - 15,395 = 103,042 \text{ kN}$$

2.II.

$$R_a = 75,675 \cdot 1,000 + 58,157 \cdot 0,625 = 112,023 \text{ kN}$$

$$R_b = 58,157 \cdot 0,375 = 21,809 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 112,023 - 21,809 = 90,214 \text{ kN}$$

3.I.

$$R_a = -41,054 \cdot 0,625 - 92,778 \cdot 1,000 = -118,437 \text{ kN}$$

$$R_b = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 118,437 \text{ kN}$$

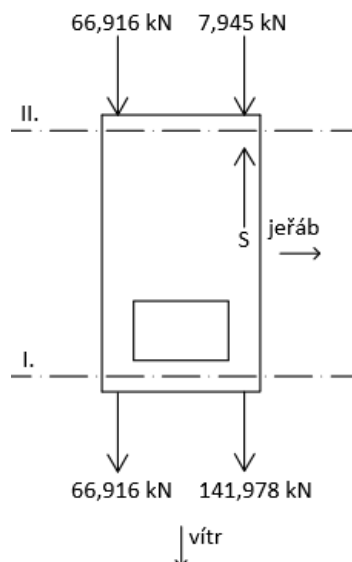
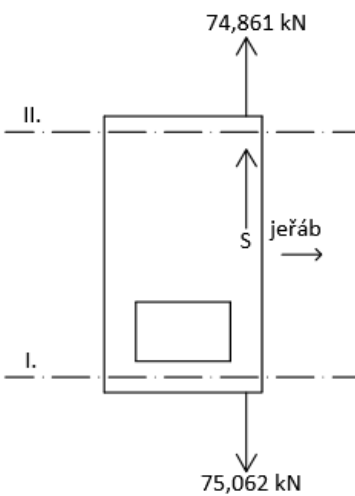
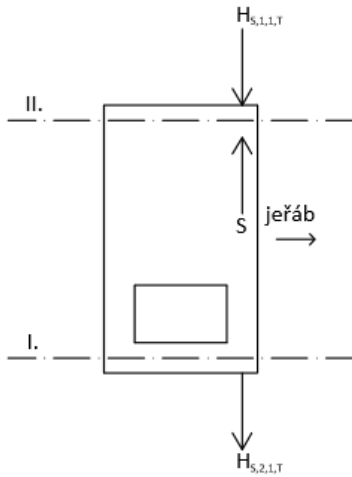
3.II.

$$R_a = -58,157 \cdot 0,625 - 75,675 \cdot 1,000 = -112,023 \text{ kN}$$

$$R_b = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 112,023 \text{ kN}$$

- skupina zatížení č. 5



1. bez větru:

větev I.

$$F_{T4,1} = 0 \text{ kN}$$

$$F_{T4,2} = S - H_{S,1,1,T} = 100,350 - 25,489 = 74,861 \text{ kN}$$

větev II.

$$F_{T4,1} = 0 \text{ kN}$$

$$F_{T4,2} = H_{S,2,1,T} = 75,062 \text{ kN}$$

2. příčný vítr ↓ :

větev I.

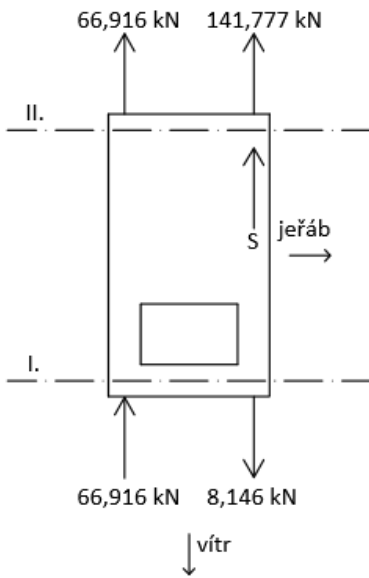
$$F_{T5,1} = -F_{w,T}^* = -66,916 \text{ kN}$$

$$F_{T5,2} = S - H_{S,1,1,T} - F_{w,T}^* = 100,350 - 25,489 - 66,916 = 7,945 \text{ kN}$$

větev II.

$$F_{T5,1} = -F_{w,T}^* = -66,916 \text{ kN}$$

$$F_{T5,2} = -H_{S,2,1,T} - F_{w,T}^* = -75,062 - 66,916 = -141,978 \text{ kN}$$



3. příčný vítr ↑ :

větev I.

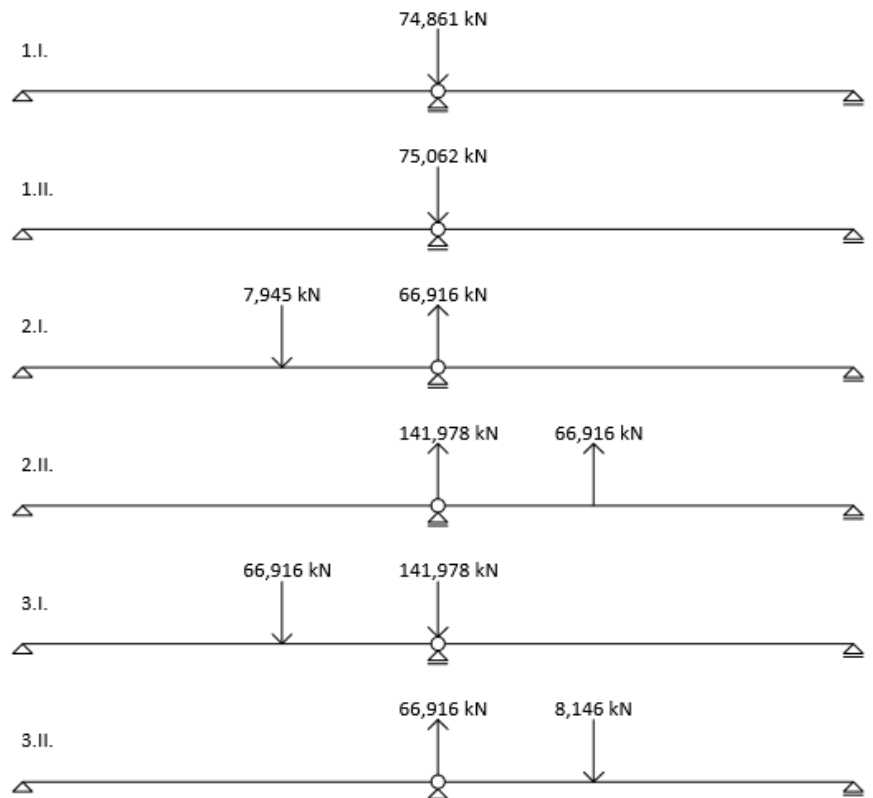
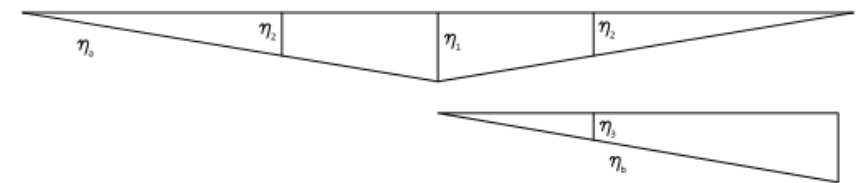
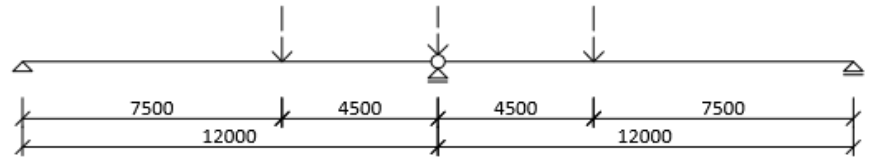
$$F_{T6,1} = F_{w,T}^* = 66,916 \text{ kN}$$

$$F_{T6,2} = S - H_{S,1,1,T} + F_{w,T}^* = 100,350 - 25,489 + 66,916 = 141,777 \text{ kN}$$

větev II.

$$F_{T6,1} = F_{w,T}^* = 66,916 \text{ kN}$$

$$F_{T6,2} = -H_{S,2,1,T} + F_{w,T}^* = -75,062 + 66,916 = -8,146 \text{ kN}$$





1.I.

$$R_a = 74,861 \cdot 1,000 = 74,861 \text{ kN}$$

$$R_b = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 74,861 \text{ kN}$$

1.II.

$$R_a = 75,062 \cdot 1,000 = 75,062 \text{ kN}$$

$$R_b = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 75,062 \text{ kN}$$

2.I.

$$R_a = 7,945 \cdot 0,625 - 66,916 \cdot 1,000 = -61,950 \text{ kN}$$

$$R_b = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 61,950 \text{ kN}$$

2.II.

$$R_a = 141,978 \cdot 1,000 - 66,916 \cdot 0,625 = -183,801 \text{ kN}$$

$$R_b = -66,916 \cdot 0,375 = -25,094 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = -183,801 + 25,094 = 158,707 \text{ kN}$$

3.I.

$$R_a = 66,916 \cdot 0,625 + 141,978 \cdot 1,000 = 183,801 \text{ kN}$$

$$R_b = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta R = R_a - R_b = 183,801 \text{ kN}$$

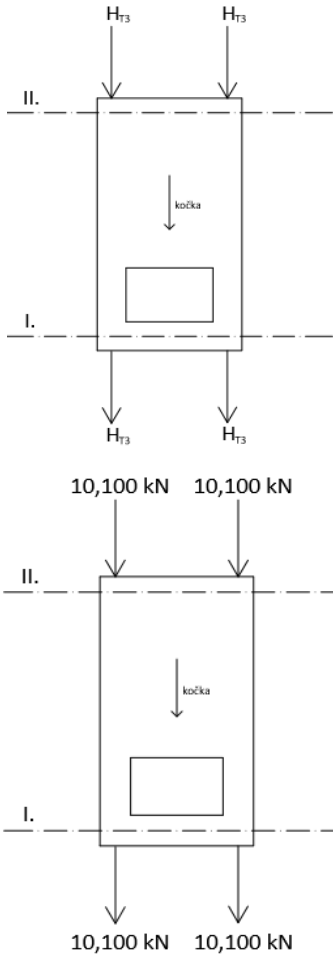
3.II.

$$R_a = -66,916 \cdot 1,000 + 8,146 \cdot 0,625 = -61,825 \text{ kN}$$

$$R_b = 8,146 \cdot 0,375 = 3,055 \text{ kN}$$

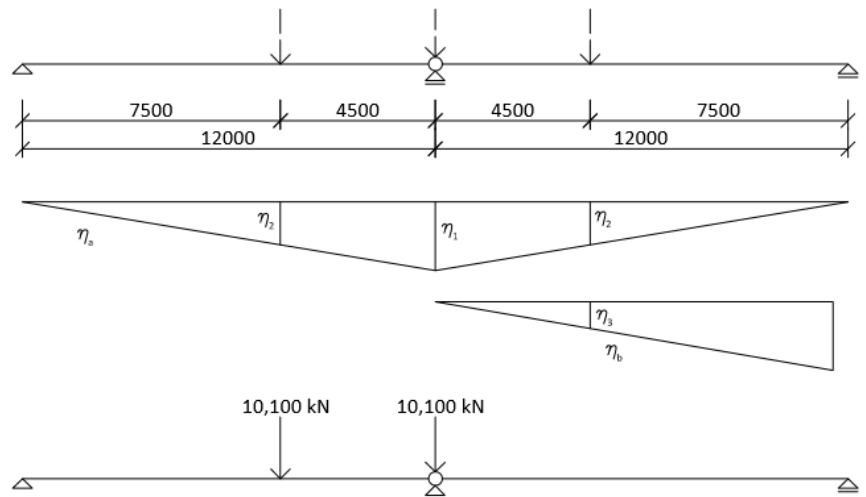
$$\Delta R = R_a - R_b = -61,825 - 3,055 = 64,880 \text{ kN}$$

- skupina zatížení č. 6



$$F_{T7,1} = H_{T3} = 10,100 \text{ kN}$$

$$F_{T7,2} = H_{T3} = 10,100 \text{ kN}$$



$$R_a = 10,100 \cdot 0,625 + 10,100 \cdot 1,000 = 16,413 \text{ kN}$$

$$R_b = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta R = 16,413 \text{ kN}$$

Příčný vítr na hlavní nosník:

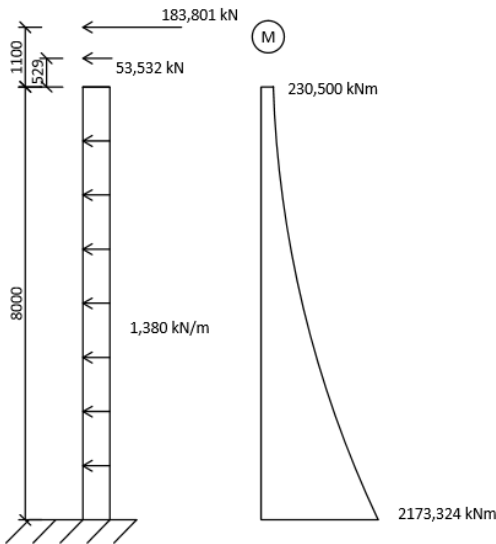
$$q_k = 7,435 \text{ kNm}^{-1}$$

$$R = q_k \cdot l = 7,435 \cdot 12,000 = 89,220 \text{ kN}$$

Příčný vítr na sloup:

$$q_k = 2,133 \text{ kNm}^{-1}$$

Posouzení MSP



Maximální  $\delta_{y,Cd}$  získáme z reakce od skupiny zatížení č. 5 -  
případ 3.I.

Kombinace zatížení:

$$\gamma_Q \cdot ZS1 + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot ZS2$$

ZS1 - zatížení jeřábem

ZS2 - zatížení větrem

$$R_a = 183,801 \text{ kN}$$

$$R_{hl} = 0,6 \cdot 89,220 = 53,532 \text{ kN}$$

$$q_{sloup} = 0,6 \cdot 2,133 = 1,380 \text{ kNm}^{-1}$$

$$M = 183,801 \cdot 9,1 + 53,532 \cdot 8,529 + 1,380 \cdot \frac{8^2}{2} = 2173,324 \text{ kNm}$$

$$M_1 = 183,801 \cdot 1,1 + 53,532 \cdot 0,529 = 230,500 \text{ kNm}$$

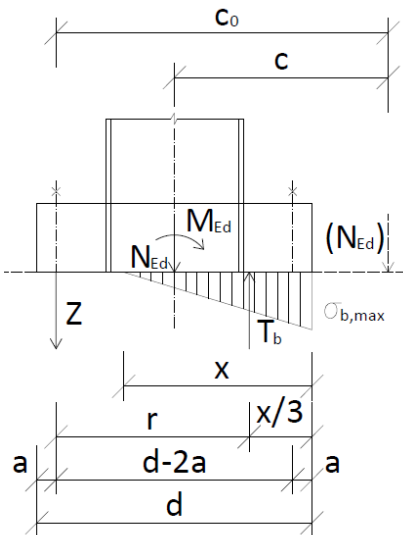
$$\begin{aligned} \delta &= \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot E \cdot I} + \frac{(R_a + R_{hl}) \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} = \\ &= \frac{1,38 \cdot 10^3 \cdot 8,0^4}{8 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 11,423 \cdot 10^{-3}} + \frac{(183,8 + 53,5) \cdot 10^3 \cdot 8,0^3}{3 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 11,423 \cdot 10^{-3}} = \\ &= 17,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\delta = 17,2 \text{ mm} \leq \delta_{y,Cd} = 22,75 \text{ mm}$$

Maximální  $\Delta\delta_{y,Cd}$  získáme z reakce od skupiny zatížení č. 5 -  
případ 3.I.

$$\delta = 17,2 \text{ mm} \leq \Delta\delta_{y,Cd} = 22,75 \text{ mm}$$

VYHOVUJE



## 8. KOTVENÍ

Pro namáhání kotevních šroubů rozhoduje obvykle kombinace s maximálním ohybovým momentem a minimálním tlakem. Pro maximální napětí betonu v patní spáře rozhoduje zpravidla kombinace s maximálním ohybovým momentem a maximální tlakovou silou.

Beton:

C 20/25

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,3 \text{ MPa}$$

Ocel:

S 355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

K:  $ZS1 + \psi_0 \cdot ZS2 + ZS3$

$$M_{Ed} = 3624,1 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 407,6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 660,7 \text{ kN}$$

Rozměry:

- sloup:

$$d = 1,2 \text{ m}$$

$$b = 0,4 \text{ m}$$

- patka:

$$d = 2,4 \text{ m}$$

$$b = 0,6 \text{ m}$$

Napětí v patní spáře a síla na kotevní šrouby:

$$c = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{3624,1}{660,7} = 5,49 \text{ m}$$

$$\frac{c}{d} = \frac{5,49}{2,4} = 2,3$$

$$\xi = 0,333$$

- šířka náhradního trojúhelníku napětí v betonu x:

$$x = \xi \cdot d = 0,333 \cdot 2,4 = 0,80 \text{ m}$$

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 2,4 - 0,15 - \frac{0,80}{3} = 1,98 \text{ m}$$

$$c_0 = c + \frac{d}{2} - a = 5,49 + \frac{2,4}{2} - 0,15 = 6,54 \text{ m}$$

$$T_b = \frac{N_{Ed} \cdot c_0}{r} = \frac{660,7 \cdot 6,54}{1,98} = 2182,3 \text{ kN}$$

- napětí v betonu:

$$\sigma_{b,\max} = \frac{2 \cdot T_b}{x \cdot b_p} = \frac{2 \cdot 2182,3 \cdot 10^{-3}}{0,80 \cdot 0,6} = 9,09 \text{ MPa}$$

- síla na šrouby:

$$Z = T_b - N_{Ed} = 2182,3 - 660,7 = 1521,6 \text{ kN}$$

Posouzení napětí v betonu:

$$\frac{\sigma_{b,\max}}{f_{cd}} = \frac{9,09}{13,3} = 0,68 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

**Návrh kotevních šroubů:**

$$F_{Ed} = Z_{1,\max} = \frac{1}{2} \cdot Z \cdot 1,2 = \frac{1}{2} \cdot 1521,6 \cdot 1,2 = 913,0 \text{ kN}$$

- návrh: M 80.4 - S355

$$A_s = 4566 \text{ mm}^2$$

$$F_{Rd} = 990,8 \text{ kN}$$

Posouzení dříku šroubu na přetržení:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 355 \cdot 4,566}{1,25} = 1162,1 \text{ kN}$$

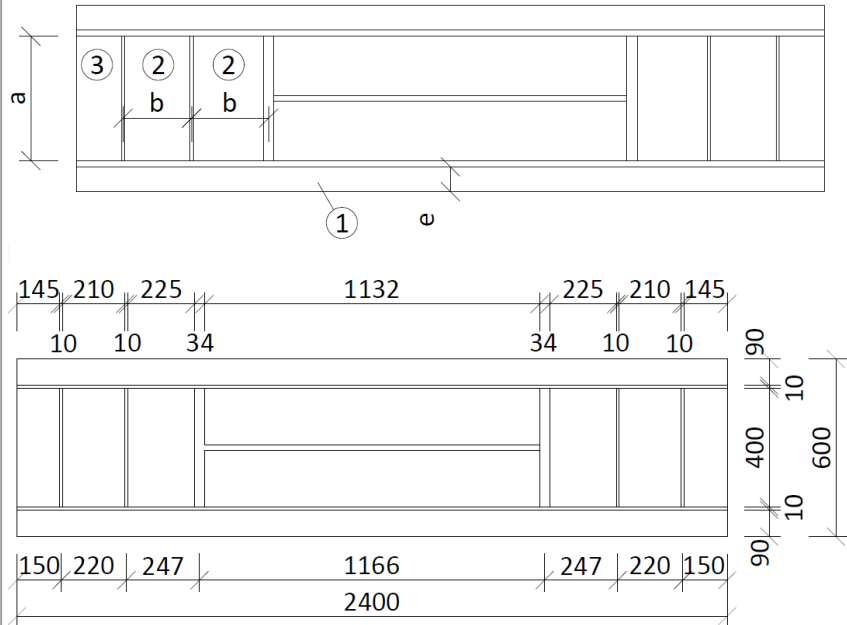
$$F_{t,Rd} = 1162,1 \text{ kN} \geq F_{Ed} = 913,0 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

**Návrh tloušťky patního plechu:**

Z hlediska podepření můžeme rozlišit v zásadě tři typy uložení:

- 1) volný přečnívající okraj (konzolu) patečního plechu
- 2) desku podepřenou po celém obvodě
- 3) desku podepřenou po třech stranách obvodu



1) Volný přečnívající okraj:

$$d_{p1,\min} = 1,73 \cdot e \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{b,\max}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}} = 1,73 \cdot 90 \cdot \sqrt{\frac{9,09}{\frac{355}{1,0}}} = 24,9 \text{ mm}$$

2) Deska podepřená po celém obvodě:

$$1. n = \frac{b}{a} = \frac{400}{220} = 1,82$$

$$\alpha_3 = 0,751$$

$$d_{p2,\min} = \alpha_3 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{b,\max}}{\frac{f_y}{\gamma_{M0}}}} = 0,751 \cdot 220 \cdot \sqrt{\frac{9,09}{\frac{355}{1,0}}} = 26,4 \text{ mm}$$

$$2. n = \frac{b}{a} = \frac{400}{247} = 1,62$$

$$\alpha_3 = 0,721$$

$$d_{p2,\min} = \alpha_3 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{b,\max}}{f_y}} = 0,721 \cdot 247 \cdot \sqrt{\frac{9,09}{355}} = 28,5 \text{ mm}$$

3) Deska podepřená po třech stranách obvodu:

$$d_{p3,\min} = 1,73 \cdot b_1 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{b,\max}}{f_y}} = 1,73 \cdot 150 \cdot \sqrt{\frac{9,09}{355}} = 41,5$$

$$m = \frac{b_1}{a} = \frac{150}{400} = 0,38$$

$$d_{p,\min} = \max\{24,9; 26,4; 28,5; 41,5\} = 41,5 \text{ mm}$$

- návrh:  $d_p = 45 \text{ mm}$

### Posouzení průřezu patky:

#### Řez 1:

- napětí v betonu na okraji patky:

$$d_1 = 0,600 \text{ m}$$

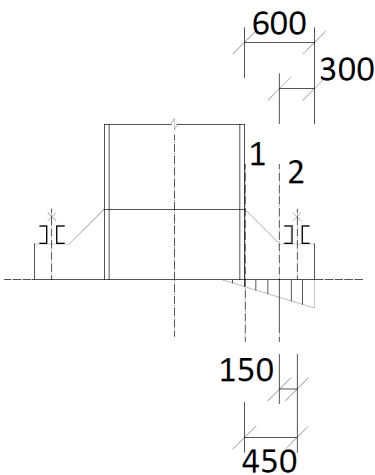
$$r_1 = 0,450 \text{ m}$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{b,\max} \cdot (x - d_1)}{x} = \frac{9,09 \cdot (0,80 - 0,6)}{0,80} = 2,3 \text{ MPa}$$

- vnitřní síly od tlaku betonu:

$$\begin{aligned} M_b &= \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} \cdot d_1 \cdot \frac{d_1}{2} \cdot b_p = \\ &= \frac{9090 + 2300}{2} \cdot 0,6 \cdot \frac{0,6}{2} \cdot 0,6 = 615,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_b &= \frac{\sigma_0 + \sigma_1}{2} \cdot d_1 \cdot b_p = \\ &= \frac{9090 + 2300}{2} \cdot 0,6 \cdot 0,6 = 2050,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$



- vnitřní síly od tahu v kotevních šroubech:

$$M_z = Z \cdot r_1 = 1521,6 \cdot 0,45 = 684,7 \text{ kNm}$$

$$V_z = Z = 1521,6 \text{ kN}$$

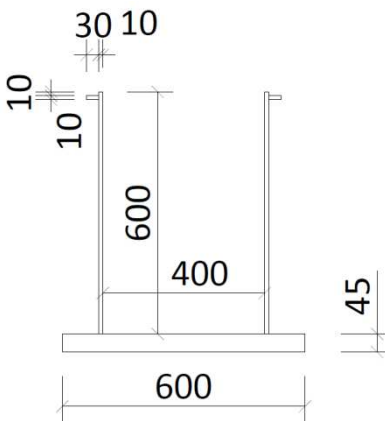
- maximální ohybový moment:

$$M_{\max} = \max\{M_b; M_z\} = \max\{615,1; 684,7\} = 684,7 \text{ kNm}$$

- maximální posouvací síla:

$$V_{\max} = \max\{V_b; V_z\} =$$

$$= \max\{2050,2; 1521,6\} = 2050,2 \text{ kN}$$



Průřez patky v řezu 1:

$$A = 39,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$z_{th} = 515,6 \text{ mm}$$

$$z_{td} = 129,4 \text{ mm}$$

$$I_y = 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$W_{yh} = \frac{I_y}{z_{th}} = \frac{1,38 \cdot 10^{-3}}{515,6 \cdot 10^{-3}} = 2,68 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{yd} = \frac{I_y}{z_{td}} = \frac{1,38 \cdot 10^{-3}}{129,4 \cdot 10^{-3}} = 10,66 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Napětí:

$$\sigma_h = \frac{M_{\max}}{W_{yh}} = \frac{684,7 \cdot 10^3}{2,68 \cdot 10^{-3}} = 255,5 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{M_{\max}}{W_{yd}} = \frac{684,7 \cdot 10^3}{10,66 \cdot 10^{-3}} = 64,2 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa}$$

Plocha průřezu vzdorující smykové síle:

$$A_v = 600 \cdot 45 + 10 \cdot (129,4 - 45) = 27,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

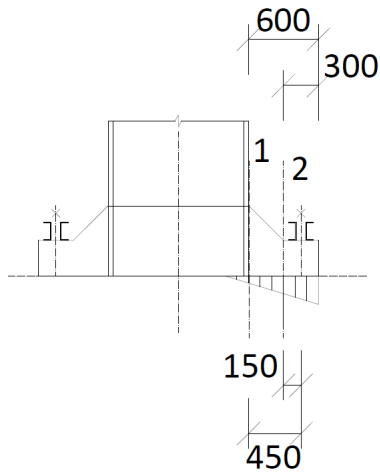
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{27,8 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 5697,9 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 5697,9 \text{ kN} \geq V_{\max} = 2050,2 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Řez 2:





- napětí v betonu na okraji patky:

$$d_2 = 0,300 \text{ m}$$

$$r_2 = 0,150 \text{ m}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_{b,\max} \cdot (x - d_2)}{x} = \frac{9,09 \cdot (0,80 - 0,3)}{0,80} = 5,7 \text{ MPa}$$

- vnitřní síly od tlaku betonu:

$$\begin{aligned} M_b &= \frac{\sigma_0 + \sigma_2}{2} \cdot d_2 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot b_p = \\ &= \frac{9090 + 5700}{2} \cdot 0,3 \cdot \frac{0,3}{2} \cdot 0,6 = 199,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_b &= \frac{\sigma_0 + \sigma_2}{2} \cdot d_2 \cdot b_p = \\ &= \frac{9090 + 5700}{2} \cdot 0,3 \cdot 0,6 = 1331,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- vnitřní síly od tahu v kotevních šroubech:

$$M_z = Z \cdot r_2 = 1521,6 \cdot 0,150 = 228,2 \text{ kNm}$$

$$V_z = Z = 1521,6 \text{ kN}$$

- maximální ohybový moment:

$$\begin{aligned} M_{\max} &= \max\{M_b; M_z\} = \\ &= \max\{199,7; 228,2\} = 228,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- maximální posouvací síla:

$$\begin{aligned} V_{\max} &= \max\{V_b; V_z\} = \\ &= \max\{1331,1; 1521,6\} = 1521,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Průřez patky v řezu 2:

$$A = 33,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

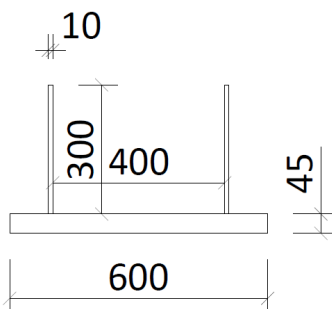
$$z_{th} = 286 \text{ mm}$$

$$z_{td} = 59 \text{ mm}$$

$$I_y = 2,44 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_{yh} = \frac{I_y}{z_{th}} = \frac{2,44 \cdot 10^{-4}}{286 \cdot 10^{-3}} = 0,85 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$W_{yd} = \frac{I_y}{z_{td}} = \frac{2,44 \cdot 10^{-4}}{59 \cdot 10^{-3}} = 4,14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$



- napětí:

$$\sigma_h = \frac{M_{\max}}{W_{yh}} = \frac{228,2 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 10^{-3}} = 268,5 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{M_{\max}}{W_{yd}} = \frac{228,2 \cdot 10^3}{4,14 \cdot 10^{-3}} = 55,1 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa}$$

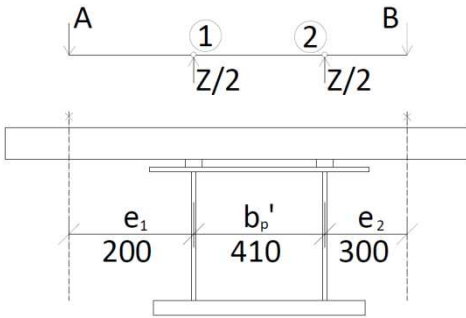
- plocha průřezu vzdorující smykové síle:

$$A_v = 600 \cdot 45 + 10 \cdot (59 - 45) = 27,14 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{27,14 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^6}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 5562,6 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 5562,6 \text{ kN} \geq V_{\max} = 1521,6 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

**Návrh kotevního příčnicku:**

Musí být umožněna montážní tolerance v osazení sloupu  $\pm 50 \text{ mm}$

2 x UPN 280

$$e_1 = 200 \text{ mm}$$

$$e_2 = 300 \text{ mm}$$

$$A = \frac{0,5 \cdot Z \cdot e_2 + 0,5 \cdot Z \cdot (b_p' + e_2)}{e_1 + b_p' + e_2} =$$

$$= \frac{0,5 \cdot 1521,6 \cdot 300 + 0,5 \cdot 1521,6 \cdot (410 + 300)}{200 + 410 + 300} =$$

$$= 844,4 \text{ kN}$$

$$B = Z - A = 1521,6 - 844,4 = 677,2 \text{ kN}$$

- vnitřní síly:

Řez 1:

$$M_1 = 844,4 \cdot 0,2 = 168,9 \text{ kNm}$$

$$V_1 = 844,4 \text{ kN}$$

Řez 2:

$$M_2 = 677,2 \cdot 0,3 = 203,2 \text{ kNm}$$

$$V_2 = 677,2 \text{ kN}$$

- posouzení:

Řez 1:

$$W_y = 0,896 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A_v = 2 \cdot 10 \cdot 280 = 5,600 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{M_y}{W_y} = \frac{168,9 \cdot 10^3}{0,896 \cdot 10^{-3}} = 188,5 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_z}{A_v} = \frac{844,4 \cdot 10^3}{5,600 \cdot 10^{-3}} = 150,8 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{188,5^2 + 3 \cdot 150,8^2} = 322,1 \text{ MPa}$$

$$322,1 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Řez 2:

$$\sigma = \frac{M_y}{W_y} = \frac{203,2 \cdot 10^3}{0,896 \cdot 10^{-3}} = 226,8 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{V_z}{A_v} = \frac{677,2 \cdot 10^3}{5,6 \cdot 10^{-3}} = 120,9 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{226,8^2 + 3 \cdot 120,9^2} = 308,7 \text{ MPa}$$

$$308,7 \text{ MPa} \leq 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

**Smyková zarážka:**

Nejnepříznivější kombinace zjištěna pomocí programu excel.

- maximální vítr mimo provoz jeřábu, jeřáb nevyvolává účinky na patku (bez jeřábu)

- návrh výšky:

HEB 360

$$h = \frac{V_{Ed}}{l \cdot f_{cd}} = \frac{249,1}{300 \cdot 13,3} = 62,4 \text{ mm}$$

- návrh:  $h = 100 \text{ mm}$

- posouzení svaru:

$$a_{\min} = 5 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot 12,5 = 13,8 \text{ mm}$$

$$a = 6 \text{ mm}$$

$$L = 315 - 2 \cdot 6 = 303 \text{ mm}$$

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot A} = \frac{249100}{2 \cdot 303 \cdot 6} = 68,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{II}^2} = \sqrt{3 \cdot 68,5^2} = 118,6 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{II}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$118,6 \text{ MPa} \leq 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

## Závěr:

V bakalářské práci byla navržena nosná ocelová konstrukce jeřábové dráhy autovrakoviště v Bzenci. Rozchod dráhy byl navržen dle zadání 22,5 m a vzdálenost sloupů je tedy 23,0 m. Jeřábová dráha je dlouhá 60 m a je navržena pro jeřáb nosnosti 32 t. Hlavní konstrukční materiál je S 235, část konstrukce je navržena z oceli S 355. Jednotlivé části konstrukce byly posouzeny podle příslušných norem. Součástí je výkresová dokumentace, která obsahuje půdorys, podélný řez, příčný řez a detail patky a uložení hlavního nosníku.

## Literatura:

- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování
- [2] ČSN EN 1991 – 1 – 1
- [3] ČSN EN 1991 – 1 – 3
- [4] ČSN EN 1991 – 1 – 4
- [5] ČSN EN 1993 – 1 – 1
- [6] ČSN EN 1993 – 1 – 3
- [7] ČSN EN 1993 – 1 – 8
- [8] ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí
- [9] ČSN P ENV 1993-6 Jeřábové dráhy
- [10] ČSN EN 1991-3 Zatížení od jeřábů a strojního vybavení
- [11] Stavební tabulky, Doc. Ing. Milan Rochla, Praha 1987
- [12] Statické tabulky, J. Hořejší, J. Šafka a kol., Praha 1987
- [13] Konstrukce průmyslových budov, Doc. Ing. Jindřich Melcher, CSc., Ing. Bohumil Straka, Praha 1985
- [14] Soubor přednášek. Ocelové konstrukce : Vzpěrná únosnost tlačených prutů. Ostrava : Miloš Rieger, 2011. 34 s. Dostupné z WWW:  
<http://fast10.vsb.cz/odk/prednasok/prednaska4.pdf>
- [15] Mapa zatížení sněhem na zemi. ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. Sněhová mapa [online]. 2010, 31.12.2010 [cit. 2011-12-31]

## Seznam použitých zkratek a symbolů

A	plná průřezová plocha šroubu
A	průřezová plocha
C1	součinitel závisející na zatížení a podmínkách uložení konců
C2	součinitel závisející na zatížení a podmínkách uložení konců
C3	součinitel závisející na zatížení a podmínkách uložení konců
C1,0	součinitel závisející na zatížení a podmínkách uložení konců
C1,1	součinitel závisející na zatížení a podmínkách uložení konců
Cdir	součinitel směru
Ce	součinitel expozice
CmLT	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
Cmy	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
Cmz	součinitel ekvivalentního konstantního momentu
C0(z)	součinitel orografie
Cpe,10	součinitel tlaku
Cr(z)	součinitel drsnosti
Cseason	součinitel ročního období
Ct	tepelný součinitel
Fb,rd	návrhová únosnost šroubu v otláčení
Ned	návrhová působící síla
Ft,rd	návrhová únosnost šroubu v tahu
Fv,rd	návrhová únosnost šroubu ve střihu
E	modul pružnosti v tahu, tlaku
G	modul pružnosti ve smyku
It	moment setrvačnosti v kroucení
Iv(z)	intenzita turbulence
Iw	výsečový moment setrvačnosti
Iy	moment setrvačnosti průřezu k ose y
Iz	moment setrvačnosti průřezu k ose z
L	délka svaru
L	rozpětí lodi
Lcr,t	vzpěrná délka při vybočení zkroucením
Lcr,y	kritická vzpěrná délka kolmo k ose y
Lcr,z	kritická vzpěrná délka kolmo k ose z
Mb,Rd	návrhová únosnost v ohybu při klopení
Mcr	pružný kritický moment při klopení

Med návrhový ohybový moment

Mrk charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu v ohybu

Nb,rd vzpěrná únosnost

Ncr kritická síla

Ncr,T pružná kritická vzpěrná síla při vybočení zkroucením

Ncr,TF pružná kritická síla pro vybočení při prostorovém vzpěru

Ncr,y pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose y

Ncr,z pružná kritická síla při rovinném vzpěru k ose z

Ned návrhová hodnota osově síly

Npl,rd návrhová únosnost neoslabeného průřezu

Nrk charakteristická únosnost rozhodujícího průřezu při působení osově síly

Nt,rd návrhová únosnost v tahu

Ve,d návrhová smyková síla

Vpl,rd plastická smyková únosnost

Wel,y elastický modul průřezu k ose y

Wel,z elastický průřezový modul k ose z

Wpl,y plastický modul průřezu k ose y

Wpl,z plastický průřezový modul k ose z a účinná výška svaru b šířka průřezu

beff efektivní šířka

d hloubka konstrukce (délka povrchu rovnoběžného se směrem větru)

d jmenovitý průměr šroubu

d0 průměr otvoru pro šroub

e excentricita normálové síly

e1 vzdálenost šroubu od okraje

e2 vzdálenost šroubu od okraje

fcd výpočtová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku

fck charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku

fy mez kluzu

fu mez pevnosti

fub mez pevnosti materiálu šroubu

h výška průřezu

h výška konstrukce

i0 polární poloměr setrvačnosti

iy poloměr setrvačnosti k ose y

iz poloměr setrvačnosti k ose z

kr součinitel terénu

kw součinitel vzpěrné délky



kyy součinitel interakce  
kyz součinitel interakce  
kz součinitel vzpěrné délky  
kzy součinitel interakce  
kzz součinitel interakce  
nr počet stříhových rovin  
p1 rozteč mezi šrouby  
p2 rozteč mezi šrouby  
qp(z) maximální hodnota dynamického tlaku větru  
s charakteristická hodnota zatížení sněhem (rovnoměrné spojitě zatížení)  
sk základní tíha sněhu  
t tloušťka  
 $\delta$  průhyb  
 $\delta_{max}$  maximální hodnota průhybu  
vb,0 výchozí hodnota základní rychlosti větru  
vm střední rychlost větru  
w tlak větru (rovnoměrné spojitě zatížení)  
z0 parametr drsnosti terénu  
z0,II parametr drsnosti terénu z výška nad zemí za souřadnice působíště zatížení vzhledem k těžišti průřezu  
zg souřadnice působíště zatížení vzhledem ke středu smyku  
zs souřadnice středu smyku vzhledem k těžišti průřezu  
 $\Phi$  hodnota pro výpočet součinitele vzpěrnosti  
 $\Phi_{LT}$  hodnota pro výpočet součinitele klopení  
 $\alpha$  součinitel  
 $\alpha$  součinitel imperfekce  
 $\alpha_{LT}$  součinitel imperfekce pro klopení  
 $\beta$  součinitel vzpěrné délky  
 $\beta_W$  korelační součinitel pro svary závislý na druhu oceli  
 $\gamma_{M1}$  dílčí součinitel spolehlivosti materiálu  
 $\gamma_{M2}$  dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje  
 $\varepsilon$  součinitel závisující na fy  
 $\zeta_g$  bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku  
 $\zeta_j$  bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu  
kwt bezrozměrný parametr kroucení  
 $\lambda$  štfhlost  
 $\lambda_y$  štfhlost k ose y

$\lambda_z$  štíhlost k ose z

$\bar{\lambda}_{TL}$  poměrná štíhlost při klopení

$\bar{\lambda}_t$  poměrná štíhlost při vybočení zkroucením

$\bar{\lambda}_y$  poměrná štíhlost k ose y

$\bar{\lambda}_z$  poměrná štíhlost k ose z

$\mu$  součinitel tření

$\mu_{cr}$  bezrozměrný kritický moment

$\mu_i$  tvarový součinitel zatížení sněhem

$\pi$  Ludolfovo číslo

$\rho$  měrná hmotnost vzduchu

$\tau$  smykové napětí

$\chi_{LT}$  součinitel klopení

$\chi_T$  součinitel vzpěrnosti při prostorovém vzpěru

$\chi_y$  součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose y

$\chi_z$  součinitel vzpěrnosti při rovinném vzpěru k ose z