


PŘEDMĚT	KATEDRA	VYUČUJÍCÍ	 ČVUT ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
134 PDM	Ocelových a dřevěných konstrukcí	Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D..	
VYPRACOVAL	OBOR	ROČNÍK	
Tomáš Krábek	Konstrukce pozemních staveb	NM - Druhý	
DATUM:	LS 2017/2018	MĚŘÍTKO:	FORMÁT: xA4
AKCE:	Akademie české architektury		
NÁZEV PŘÍLOHY:	Statický výpočet		
ČÁST	Konstrukční		Č. PŘÍLOHY



Fakulta stavební
 Thákurova 7
 166 29 Praha 6

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING



OCELOVÁ KONSTRUKCE BUDOVY
„ČESKÁ AKADEMIE ARCHITEKTURY“

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

Tomáš Krábek

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D.

OBSAH

1. Popis objektu

- 1.1. *Popis konstrukce*
- 1.2. *Geometrické uspořádání*

2. Zatížení

- 2.1. *Provozní stádium*
- 2.2. *Montážní stádium*
- 2.3. *Klimatická zatížení*
 - 2.3.1. *Zatížení sněhem*
 - 2.3.2. *Zatížení větrem*

3. Návrh a posouzení hlavní konstrukce

- 3.1. *Trapézový plech*
- 3.2. *Návrh a posouzení stropnic*
 - 3.2.1. *Stropnice 2.NP*
 - 3.2.2. *Stropnice 3.NP*
 - 3.2.3. *Stropnice 4.NP*
 - 3.2.4. *Stropnice střešní*
- 3.3. *Návrh a posouzení průvlaků*
 - 3.3.1. *Průvlak 2.NP*
 - 3.3.2. *Průvlak 2.NP - krajní*
 - 3.3.3. *Prolamované nosníky*
- 3.4. *Návrh a posouzení sloupů*
 - 3.4.1. *Sloup E4*
 - 3.4.2. *Sloup 1.NP*
- 3.5. *Příhradová konstrukce*
- 3.6. *Ztužující rám*
- 3.7. *Rámový roh*

4. Návrh a posouzení montážních spojů

- 4.1. *Přípoj stropnice na průvlak*
 - 4.1.1. *Přípoj stropnice na průvlak 2.NP*
 - 4.1.2. *Přípoj stropnice na průvlak 2.NP*
 - 4.1.3. *Přípoj stropnice na průvlak 2.NP*
- 4.2. *Přípoj průvlaku na sloup*
 - 4.2.1. *Přípoj průvlaku na sloup 2.NP*
 - 4.2.2. *Přípoj průvlaku na sloup 4.NP*
- 4.3. *Kotvení sloupu*

5. Návrh železobetonových prvků spodní stavby

6. Zdroje

- 6.1. *Normy*
 - 6.2. *Literatura*
-

1. POPIS OBJEKTU

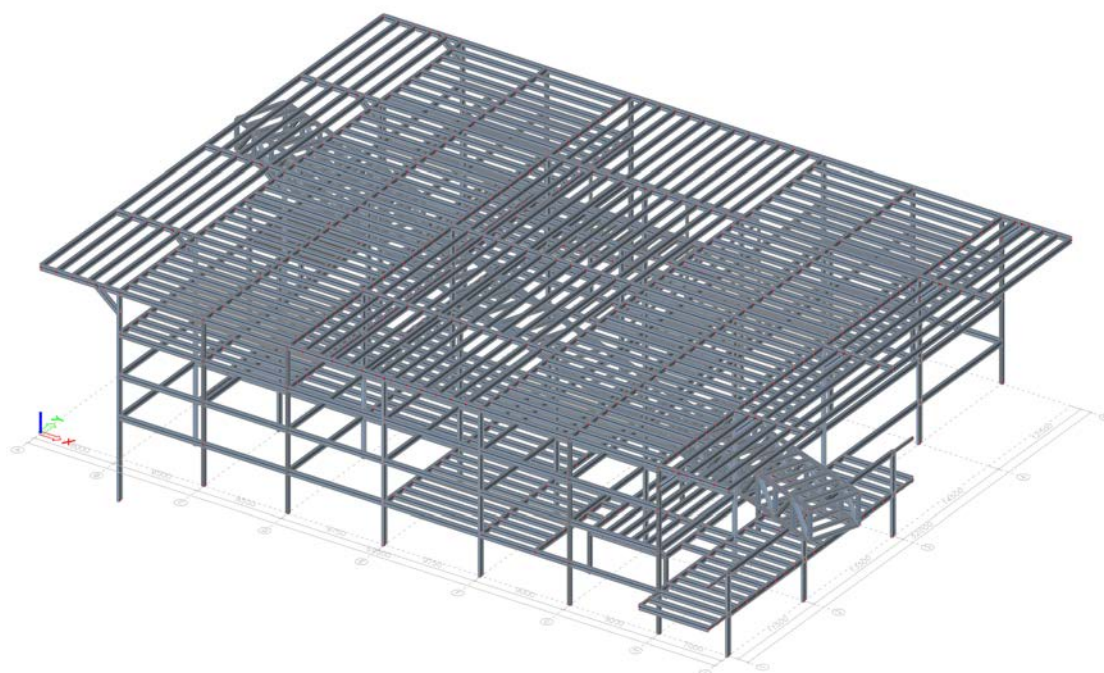
1.1. Popis konstrukce

Jedná se o vícepodlažní budovu galerie s výstavními plochami. Objekt je částečně podsklepený, kde je nosný systém nadzemní části navržen jako ocelový skelet a podzemní část ze železobetonového skeletu.

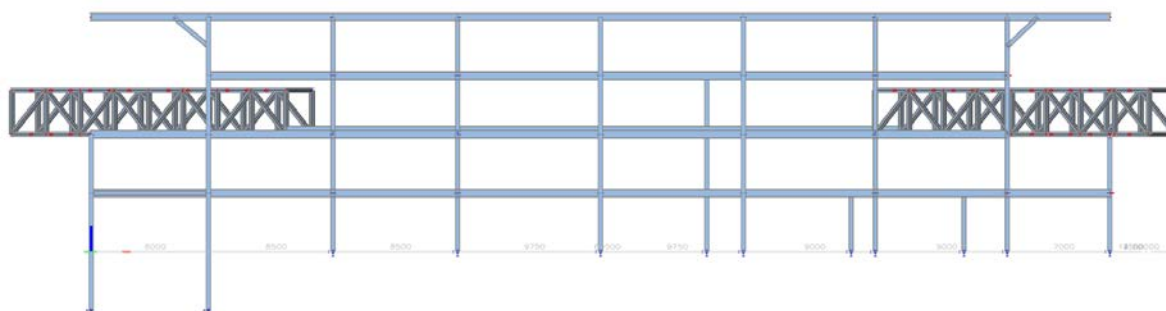
Půdorysné rozměry objektu jsou 69,5 x 52,0 m.

Konstrukční výška podlaží je 4,0 m a celková výška objektu 16,5 m.

1.2. Geometrické uspořádání



Axonometrický pohled



Pohled boční

2. Zatížení

2.1. Provozní stádium

Vlastní tíha:

Generováno dle průřezu programem Scia Engineer 2017

Stálé

Podlaha

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	h [m]	ρ [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_d	g_d [kN/m]
Keramická dlažba	0,008	19,0	0,152	1,35	0,205
Lepící tmel	0,002	15,0	0,030	1,35	0,041
Betonová deska	0,05	25,0	1,250	1,35	1,688
2x separační PE fólie	0,0002	14,0	0,003	1,35	0,004
Isover N	0,05	1,0	0,050	1,35	0,068
Betonová deska (srovnaná tl.) $t = 70 + 50 \cdot \frac{54 + 30,5}{250}$	0,087	25,0	2,175	1,35	2,936
Trapézový plech			0,100	1,35	0,135
Podhled SDK; 15,0 kg/m ²			0,150	1,35	0,203
			3,910		5,278

Podlaha - výstavní plochy, komunikační prostory

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	h [m]	ρ [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_d	g_d [kN/m]
Leštěný beton	0,05	21,0	1,050	1,35	1,418
2x separační PE fólie	0,0002	14,0	0,003	1,35	0,004
Isover N	0,06	1,0	0,060	1,35	0,081
Betonová deska (srovnaná tl.) $t = 70 + 50 \cdot \frac{54 + 30,5}{250}$	0,087	25,0	2,175	1,35	2,936
Trapézový plech			0,100	1,35	0,135
Podhled SDK; 15,0 kg/m ²			0,150	1,35	0,203
			3,538		4,776

Podlaha 1.NP - vstupní hala

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	h [m]	ρ [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_d	g_d [kN/m]
Leštěný beton	0,05	21,0	1,050	1,35	1,418
2x separační PE fólie	0,0002	14,0	0,003	1,35	0,004
Isover N	0,06	1,0	0,060	1,35	0,081
			1,113		1,502

Podlaha 1.NP -

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	h [m]	ρ [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_d	g_d [kN/m]
Keramická dlažba	0,008	19,0	0,152	1,35	0,205
Lepící tmel	0,002	15,0	0,030	1,35	0,041
Betonová deska	0,05	25,0	1,250	1,35	1,688
2x separační PE fólie	0,0002	14,0	0,003	1,35	0,004
Isover N	0,05	1,0	0,050	1,35	0,068
			1,485		2,004

Střecha - lehká

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	h [m]	ρ [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_d	g_d [kN/m]
Elastek 50 SOLO			0,063	1,35	0,085
Isover S	0,8	1,6	1,280	1,35	1,728
Isover T	0,1	1,5	0,145	1,35	0,196
Asfaltový pás s AL vložkou			0,003	1,35	0,004
Trapézový plech			0,100	1,35	0,135
Podhled SDK; 15,0 kg/m ²			0,150	1,35	0,203
			1,741		2,350

Střecha - těžká

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	h [m]	ρ [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_d	g_d [kN/m]
Elastek 50 SOLO			0,063	1,35	0,085
Isover S	0,8	1,6	1,280	1,35	1,728
Isover T	0,1	1,5	0,145	1,35	0,196
Asfaltový pás s AL vložkou			0,003	1,35	0,004
Betonová deska (srovnaná tl.) $t = 70 + 50 \cdot \frac{54 + 30,5}{250}$	0,087	25,0	2,175	1,35	2,936
Trapézový plech			0,100	1,35	0,135
Podhled SDK; 15,0 kg/m ²			0,150	1,35	0,203
			3,916		5,287

Proměnné

Užitné - kavárna,

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	q_k [kN/m ²]	γ_d	q_d [kN/m]
Kategorie C1 - plochy se stoly (kavárny, restaurace, čítárny ...)	3,00	1,50	4,50
přemístitelné příčky	0,80	1,50	1,20
	3,80		5,70

Užitné - výstavní plochy

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	q_k [kN/m ²]	γ_d	q_d [kN/m]
Kategorie C3 - plochy bez překážek pro pohyb osob (muzea, výstavní síně ...)	5,00	1,50	7,50
přemístitelné příčky	0,80	1,50	1,20
	5,80		8,70

Užitné - střecha

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	q_k [kN/m ²]	γ_d	q_d [kN/m]
Kategorie H - střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav	0,40	1,50	0,60
	0,40		0,60

2.2. Montážní stádium

Stálé

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-1)

Skladba	h [m]	ρ [kN/m ³]	g_k [kN/m ²]	γ_d	g_d [kN/m]
Betonová deska (srovnaná tl.)	0,087	26,0	2,262	1,35	3,054
Trapézový plech			0,100	1,35	0,135
			2,362		3,189

Proměnné

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-6)

Skladba	q_k [kN/m ²]	γ_d	q_d [kN/m]
Rovnoměrné	0,75	1,50	1,13
Zvětšeno (působí na čtverci 3x3m a umísťuje se do nejnepříznivější polohy pro nosovaný prvek)	1,50	1,50	2,25
	2,25		3,38

2.3. Klimatická zatížení

2.3.1. Zatížení sněhem

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-3)

I. Sněhová oblast (Praha)

Sklon střechy

$$\alpha = 5^\circ$$

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

$$s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice

$$C_e = 1,0$$

Typ krajiny	C_e
otevřená	0,8
normální	1,0
chráněná	1,2

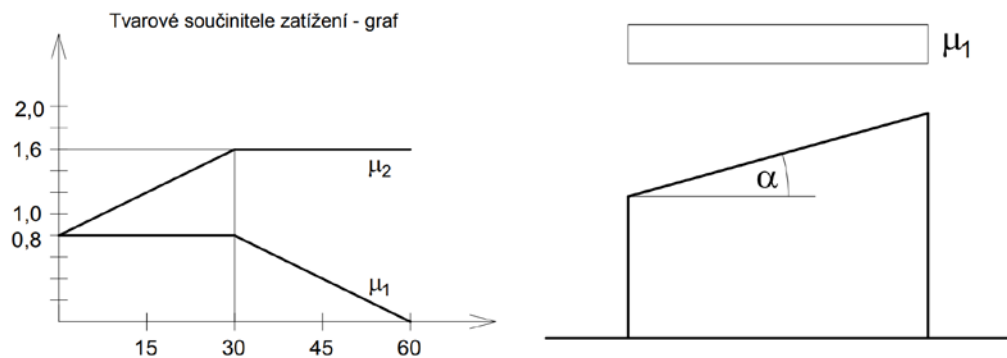
Tepelný součinitel

$$C_t = 1,0$$

Tvarový součinitel

$$\mu_1 = 0,80$$

$$\mu_1 = \frac{0,8 \cdot (60 - \alpha)}{30}$$



Úhel sklonu střechy	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 (60 - \alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha / 30$	1,6	---

Skladba	q_k [kN/m ²]	γ_d	q_d [kN/m ²]
Zatížení sněhem - I. Sněhová oblast	0,56	1,50	0,84
	0,56		0,84

$$S = C_e \cdot C_t \cdot s_k \cdot \mu_i$$

2.3.2. Zatížení větrem

(Zatížení je počítáno v souladu s ČSN EN 1991-1-4)

Výška střechy nad terénem	$h = 16 \text{ m}$
Šířka střechy kolmo na směr větru	$b = 60 \text{ m}$
Šířka střechy rovnoběžně se směrem větru	$d = 23 \text{ m}$
Úhel sklonu	$\alpha = 5^\circ$

Základní hodnoty

Větrná oblast I. (Praha)

Kategorie terénu IV

Základní rychlost větru	$v_{b,0} = 22,5 \text{ m/s}$	$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$
Součinitel směru větru	$C_{dir} = 1,0$	
Součinitel sočního období	$C_{season} = 1,0$	
Měrná hodnota vzduchu	$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$	
Součinitel směru větru	$k_1 = 1,0$	

Průměrná rychlost větru

Referenční výška nad terénem	$z_e = 16,0 \text{ m}$	
Parametr drsnosti terénu	$z_0 = 1,0$	$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$
Součinitel terénu	$k_r = 0,234$	
Součinitel drsnosti terénu	$c_r = 0,650$	$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$
Součinitel orografie	$c_o = 1,0$	
Střední rychlost větru	$v_m = 14,62 \text{ m/s}$	$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z)$
Kategorie terénu II	$z_{0,II} = 0,05 \text{ m/s}$	

Maximální rychlostní tlak

Intenzita turbulence	$I_v = 0,361$	$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{v_m(z)} = \frac{k_l}{c_{0(z)} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$
Maximální dynamický tlak	$q_p = 470,75 \text{ Pa}$	$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho$

Součinitel vnějšího tlaku obvodového pláště

$c_{pe,10}$

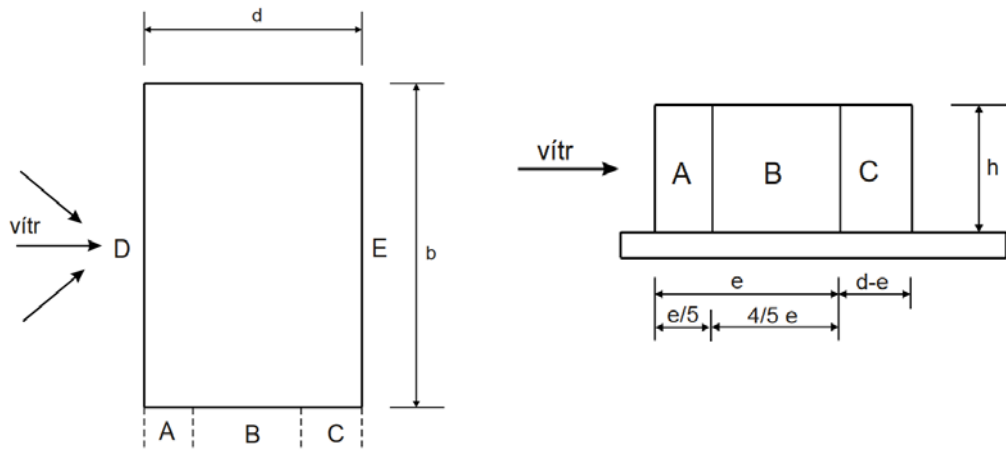
h/d	A	B	C	D	E
0,71	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3

$$e = \min(b; 2 \cdot h)$$

$$e = 32 \text{ m} \quad A_C = 0,00 \text{ m}^2$$

$$A_A = 102,40 \text{ m}^2 \quad A_D = 960,00 \text{ m}^2$$

$$A_B = 257,60 \text{ m}^2 \quad A_E = 960,00 \text{ m}^2$$



Tlak větru na povrchu

$$w_{e,A} = -0,565 \text{ kN/m}^2 \quad w_{e,D} = 0,3295 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,B} = -0,377 \text{ kN/m}^2 \quad w_{e,E} = -0,141 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,C} = -0,235 \text{ kN/m}^2$$

Hodnoty e pro výpočet oblastí střechy

$$e = \min(b; 2 \cdot h)$$

$$e = 32 \text{ m}$$

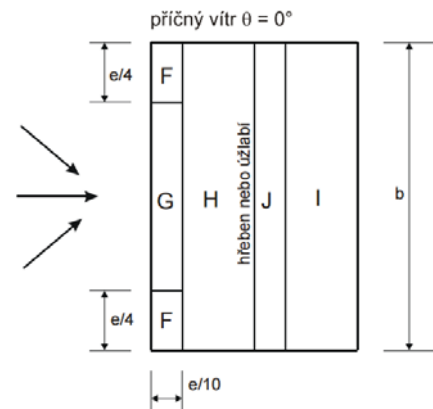
$$A_F = 25,60 \text{ m}^2$$

$$A_G = 51,20 \text{ m}^2$$

$$A_H = 483,00 \text{ m}^2$$

$$A_J = 192,00 \text{ m}^2$$

$$A_I = 483,00 \text{ m}^2$$



Součinitele vnějšího tlaku

- tabulkové hodnoty

$$c_{pe,I} = -0,6$$

$$c_{pe,J} = -0,6$$

$$c_{pe,F} = -1,7$$

$$c_{pe,G} = -1,2$$

$$c_{pe,H} = -0,6$$

Tlak větru na povrchu

$$w_{e,F} = -0,800 \text{ kN/m}^2 \quad w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_{e,G} = -0,565 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,H} = -0,282 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = -0,282 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,J} = -0,282 \text{ kN/m}^2$$

Přehled zatížení

Stěna	w_{ek} [kN/m ²]	γ_d	w_{ed} [kN/m ²]
$w_{e,A}$	-0,565	1,5	-0,847
$w_{e,B}$	-0,377		-0,565
$w_{e,C}$	-0,235		-0,353
$w_{e,D}$	0,330		0,494
$w_{e,E}$	-0,141		-0,212

Stěna	w_{ek} [kN/m ²]	γ_d	w_{ed} [kN/m ²]
$w_{e,F}$	-0,800	1,5	-1,200
$w_{e,G}$	-0,565		-0,847
$w_{e,H}$	-0,282		-0,424
$w_{e,I}$	-0,282		-0,424
$w_{e,J}$	-0,282		-0,424

Kombinace zatížení

Mezní stav únosnosti

Pro trvalé a dočasné návrhové situace při posouzení mezního stavu únosnosti je použit vztah (EN 1990, 6.10)

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Stálé

$\gamma_{G,j} = 1,35$ - působení nepříznivé

$\gamma_{G,j} = 1,0$ - působení příznivé

Proměnné

$\gamma_{G,j} = 1,5$ - působení nepříznivé

$\gamma_{G,j} = 1,0$ - působení příznivé

$\psi_0 = 0,0$ - užitné zatížení kategorie H

$\psi_0 = 0,6$ - zatížení větrem

$\psi_0 = 0,5$ - zatížení sněhem ($h \leq 1000$ m n.m.)

Mezní stav použitelnosti

Pro trvalé změny při posouzení mezního stavu použitelnosti je použit vztah (EN 1990, 6.14)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

3. Návrh a posouzení hlavní konstrukce

3.1. Trapézový plech 2.NP

Rozpětí pole

$$l = 1,56 \text{ m}$$

Zatížení

$$g_k = 2,362 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{k,in} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \quad - \text{ nahodilé uvnitř pracovní plochy}$$

$$q_{k,out} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \quad - \text{ nahodilé vně pracovní plochy}$$

$$g_d = 3,189 \text{ kN/m}^2$$

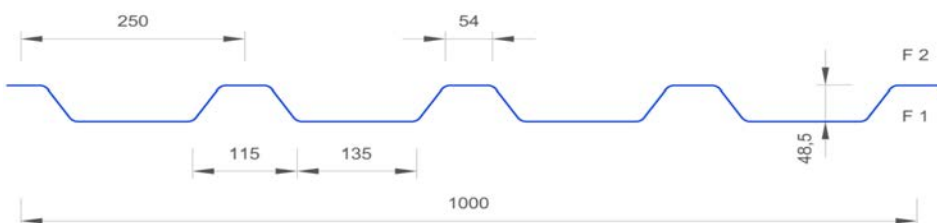
$$q_{d,in} = 2,25 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d,out} = 1,125 \text{ kN/m}^2$$

Návrh

Trapézový plech: TR 50/250

$$\text{Ocel: S 235} \quad f_{yd} = 235 \text{ MPa} \quad E = 210\,000$$



$$t = 1,00 \text{ mm} \quad W_{y,eff}^+ = 12\,430,00 \text{ mm}^3$$

$$G = 10,07 \text{ kg/m}^2 \quad W_{y,eff}^- = 12\,830,00 \text{ mm}^3$$

$$A_g = 1197 \text{ mm}^2 \quad I_{y,eff}^+ = 311\,000,00 \text{ mm}^4$$

$$I_{y,g} = 469\,000,00 \text{ mm}^4 \quad I_{y,eff}^- = 413\,000,00 \text{ mm}^4$$

Posouzení v montážním stavu

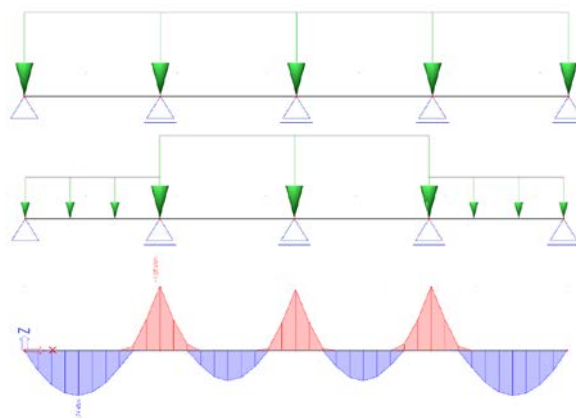
1. Mezní stav únosnosti

Vnitřní síly i parametry průřezu se určují na páse šíře 1 m.

$$g_d = 3,189 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d,in} = 2,25 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d,out} = 1,125 \text{ kN/m}^2$$



Posouzení

$$M_{Ed} = 1,06 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{eff,min} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,01283 \cdot 235}{1,0} = 3,015 \text{ kNm}$$

$$1,06 = M_{Ed} < M_{Rd} = 3,015 \quad \underline{\text{Navržený profil VYHOVUJE}}$$

II. Mezní stav použitelnosti

Zatížení

$$g_k = 2,262 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení

- průhyb od čerstvého betonu

$$M_{b,k} = 0,5 \text{ kNm}$$

$$\delta = \frac{1}{E \cdot I_{eff}} \left(\frac{5}{384} g_k L^4 - \frac{1}{16} M_{b,k} L^2 \right) = 1,506 \text{ mm}$$

$$\delta = 1,506 \text{ mm} < \frac{t_{deska}}{10} = \frac{87}{10} = 8,7 \text{ mm}$$

Není třeba uvažovat rybníkový efekt, trapézový plech vyhoví

3.2. Návrh a posouzení stropnic

3.2.1 Stropnice 2.NP

Vstupní data

$$L = 9,75 \text{ m} \quad g_k = 3,538 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$B_{\text{zat}} = 1,5 \text{ m} \quad q_k = 5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$g_d = 7,1645 \text{ [kN/m]}$$

$$q_d = 11,25 \text{ [kN/m]}$$

odhad tíhy nosníku:

$$g_{k,I} = 0,49 \text{ [kN/m]}$$

kombinace

$$f_d = (7,16445+0,49)*1,35 + 11,25*1,5 = 27,21 \text{ [kN/m]}$$

Vnitřní síly

$$V_{\text{pl,ed}} = 1/2*27,21*9,75 = 132,65 \text{ kN} \quad V_{\text{pl,ed}} = \frac{1}{2} f_d \cdot l$$

$$M_{\text{pl,ed}} = 1/8*27,21*9,75^2 = 323,34 \text{ kNm} \quad M_{\text{pl,ed}} = \frac{1}{8} f_d \cdot l^2$$

Předběžný návrh

Potřebný plastický průřezový modul:

$$W_{\text{pl,y,min}} = \frac{M_{\text{Ed}} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{323,337 \times 10^6 \times 1,0}{235} = \underline{\underline{1375\,902,12}} \text{ mm}^3$$

Potřebný moment setrvačnosti z podmínky $\delta_{\text{max}} = L/250$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{L}{250} = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_{y,\text{min}}} = \frac{5 \times 11,25 \times 9750^4}{384 \times 210000 \times I_{y,\text{min}}}$$

$$I_{y,\text{min}} = \frac{250 \times 5 \times 5 \times 9750^3}{384 \times 210000}$$

$$I_{y,\text{min}} = \underline{\underline{161\,631\,447,93}} \text{ mm}^4$$

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 235

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa} \quad E = 210\,000$$
$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$
$$\gamma_c = 1,5$$
$$f_{cd} = 17,00 \text{ MPa} \quad f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Profil: IPE 330

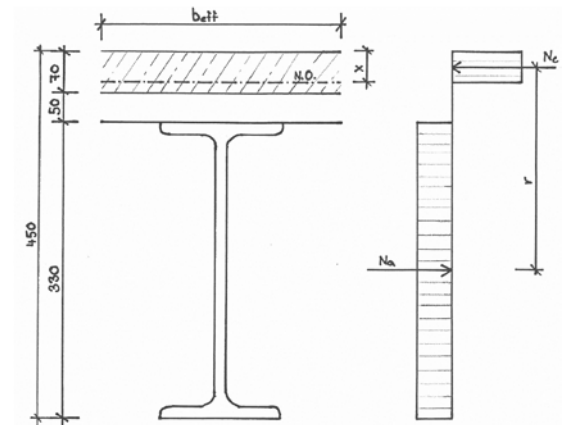
$$A = 6260,6 \text{ mm}^2 \quad W_{pl,y} = 8,04E+05 \text{ mm}^3 \quad b = 160 \text{ mm}$$
$$G = 49,15 \text{ kg/m} \quad I_y = 1,18E+08 \text{ mm}^4 \quad h = 330 \text{ mm}$$
$$A_{vz} = 3080,9 \text{ mm}^2$$

Účinná šířka desky

$$b_{eff} = \min\left(B; \frac{0,8L}{4}\right)$$

$$b_{eff} = \min(1,5; 1,95)$$

$$b_{eff} = 1,5 \text{ m}$$



Poloha neutrálné osy:

předpoklad: neutrálná osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$6260,62 \cdot 235 = x \cdot 1500 \cdot 17$$

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{6260,62 \cdot 235}{1500 \cdot 17} = 57,70 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \quad \text{SPLNĚNO}$$

Výpočet momentové únosnosti

$$M_{pl,Rd} = N_a \cdot r = A_a \cdot f_{yd} \cdot r = 6260,62 \cdot 235 \cdot 256,15 = 3,77E+08 \text{ Nmm}$$

$$r = H - \frac{h}{2} - \frac{x}{2} = 450 - \frac{330}{2} - \frac{57,7}{2} = 256,15 \text{ mm}$$

Posouzení

$$M_{pl,Rd} = 376,86 \text{ kNm} > M_{pl,Ed} = 323,34 \text{ kNm} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Smyková únosnost průřezu

$$t_w = 7,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 11,5 \text{ mm}$$

$$A_{vz} = 3080,9 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 3080,9 \frac{235 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 418 \text{ kN}$$

Posouzení

$$V_{pl,Rd} = 418,00 \text{ kN} > V_{pl,Ed} = 132,65 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Návrh spřažení

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 235

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$$

Profil: IPE 330

$$A = 6\,260,62 \text{ mm}^2$$

Deska: trapézový plech TR50/250

$$h_p = 50 \text{ mm}$$

$$b_p = 85,44 \text{ mm}$$

$$h_d = 70 \text{ mm}$$

Trny: $\emptyset = 22 \text{ mm}$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 360 \text{ MPa}$$

Únosnost spřahovacích trnů:

výpočet únosnosti

$$P_{Rk} = \min \left\{ 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi d^2}{4}; 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \right\}$$

$$P_{Rk} = \min \{ 109,48 ; 122,56 \} = 109,48 \text{ kN}$$

Výpočet návrhové únosnosti

$$P_{rd} = \frac{\min P_{rk}}{\gamma_v} = \frac{109,48}{1,25} = 87,583 \text{ kN}$$

- redukováná návrhová únosnost
- žebro kolmo k ose nosníku

Redukční součinitel:

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = 1,196$$

$$k_t = 1,0 \quad k_t \leq 1$$

$$n_r = 1 \quad \text{- počet trnů v žebře}$$

$$P'_{rd} = P_{rd} \cdot k_t = 87,583 \cdot 1 = 87,58 \text{ kN}$$

Síla na spřažení na jedné polovině nosníku

$$N_{cf} = N_c = N_a = A_{ocel} \cdot f_{yd} = 6261 \cdot 235 = 1\,471,25 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině nosníku

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P'_{rd}} = \frac{1\,471,25}{87,583} = 17$$

Maximální množství trnů na ½ nosníku

TR 50/250 - modulová šířka žebra 250 mm

$$L/2 = 5 \text{ m} \rightarrow 4875/250 = 19,5 \text{ trnů}$$

Posouzení II.MS

Ideální průřez ocelobetonového nosníku:

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$$

- modul pružnosti s vlivem dotvarování a smršťování

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30,5}{2} = 15,25 \text{ GPa}$$

- pracovní součinitel

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{15,25} = 13,770$$

Průřezové charakteristiky ideálního průřezu:

- plocha

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 6260,62 + \frac{70 \cdot 1500}{13,770} = 13\,885,62 \text{ mm}^2$$

- těžiště

$$z_i = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{A_c \cdot z_c}{n}}{A_i} = 302,28 \text{ mm}$$

$$A_c = 70 \cdot 1500 = 105\,000 \text{ mm}^2$$

$$z_c = 330 + 50 + 70/2 = 415 \text{ mm}$$

$$z_a = 330/2 = 165 \text{ mm}$$

- moment setrvačnosti

$$I_i = (I_a + A_a \cdot r_a^2) + \left(\frac{I_c + A_c \cdot r_c^2}{n} \right) = 335\,650\,639,06 \text{ mm}^4$$

$$r_a = 302,28 - 165 = 137,28 \text{ mm}$$

$$r_c = 415 - 302,28 = 112,72 \text{ mm}$$

$$I_c = \frac{1}{12} b_{eff} \cdot h_d^3 = 42\,875\,000,00 \text{ mm}^4$$

- napětí v průřezu

zatížení:

$$g_{k,I} = 0,4915 \text{ kN/m}$$

$$g_k = 3,538 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = (g_{k,l} + g_{k,c} + g_{k,TR}) \cdot Z\check{S} = (0,49+3,538+5) \cdot 1,5 = 13,544 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly:

$$M_{Ek} = \frac{1}{8} q_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} 13,54 \cdot 9,75^2 = 160,94 \text{ kNm}$$

- napětí v ocelovém profilu

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = \frac{1,6094E+08}{3,3565E+08} 302,28 = 144,94 \text{ MPa} < f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

$$z_d = 302,28 \text{ mm}$$

- napětí v betonové desce

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_{Ek}}{n \cdot I_i} z_h = \frac{1,6094E+08}{13,77 \cdot 335650639,06} 147,72 = 5,1436 \text{ MPa}$$

$$z_h = 147,72 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,max} = 5,1436 \text{ MPa} < 0,85 f_{c,k} = 0,85 \cdot 25 = 21,25 \text{ MPa}$$

- celkový průhyb

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_i} = \frac{5 \cdot (5 \cdot 1,5) \cdot 9750^4}{384 \cdot 210000 \cdot 335650639,06} = 12,520 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 12,520 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{9750}{250} = 39 \text{ mm}$$

3.2.2 Stropnice 3.NP

Vstupní data

$$L = 6,4 \text{ m} \quad g_k = 3,538 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$B_{\text{zat}} = 1,56 \text{ m} \quad q_k = 5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$g_d = 7,451 \text{ [kN/m]}$$

$$q_d = 11,7 \text{ [kN/m]}$$

odhad tíhy nosníku:

$$g_{k,l} = 0,26 \text{ [kN/m]}$$

kombinace

$$f_d = (7,451028+0,26)*1,35 + 11,7*1,5 = 27,96 \text{ [kN/m]}$$

Vnitřní síly

$$V_{pl,ed} = 1/2*27,96*6,4 = 89,48 \text{ kN} \quad V_{pl,ed} = \frac{1}{2} f_d \cdot l$$

$$M_{pl,ed} = 1/8*27,96*6,4^2 = 143,17 \text{ kNm} \quad M_{pl,ed} = \frac{1}{8} f_d \cdot l^2$$

Předběžný návrh

Potřebný plastický průřezový modul:

$$W_{pl,y,min} = \frac{M_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{143,168 \times 10^6 \times 1,0}{235} = \underline{\underline{609\,226,22}} \text{ mm}^3$$

Potřebný moment setrvačnosti z podmínky $\delta_{\max} = L/250$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_{y,min}} = \frac{5 \times 11,7 \times 6400^4}{384 \times 210000 \times I_{y,min}}$$

$$I_{y,min} = \frac{250 \times 5 \times 5 \times 6400^3}{384 \times 210000}$$

$$I_{y,min} = \underline{\underline{47\,542\,857,14}} \text{ mm}^4$$

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 235

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa} \quad E = 210\,000$$
$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$
$$\gamma_c = 1,5$$
$$f_{cd} = 17,00 \text{ MPa} \quad f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Profil: IPE 220

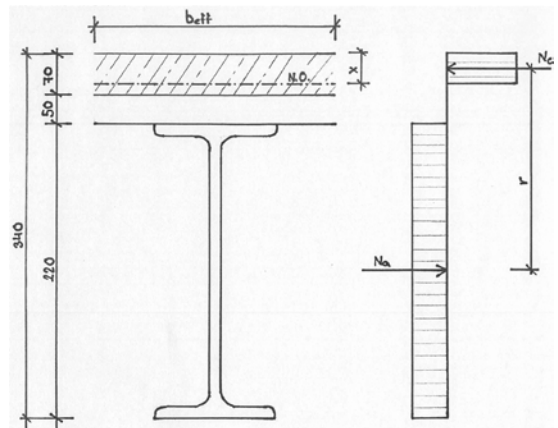
$$A = 3337,1 \text{ mm}^2 \quad W_{pl,y} = 2,85E+05 \text{ mm}^3 \quad b = 110 \text{ mm}$$
$$G = 26,20 \text{ kg/m} \quad I_y = 2,77E+07 \text{ mm}^4 \quad h = 220 \text{ mm}$$
$$A_{vz} = 1588,1 \text{ mm}^2$$

Účinná šířka desky

$$b_{eff} = \min\left(B; \frac{0,8L}{4}\right)$$

$$b_{eff} = \min(1,56; 1,28)$$

$$b_{eff} = 1,3 \text{ m}$$



Poloha neutrálné osy:

předpoklad: neutrálná osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$3337,05 \cdot 235 = x \cdot 1280 \cdot 17$$

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{3337,05 \cdot 235}{1280 \cdot 17} = 36,04 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \text{ SPLNĚNO}$$

Výpočet momentové únosnosti

$$M_{pl,Rd} = N_a \cdot r = A_a \cdot f_{yd} \cdot r = 3337,05 \cdot 235 \cdot 211,98 = 1,66E+08 \text{ Nmm}$$

$$r = H - \frac{h}{2} - \frac{x}{2} = 340 - 220/2 - 36,04/2 = 211,98 \text{ mm}$$

Posouzení

$$M_{pl,Rd} = 166,24 \text{ kNm} > M_{pl,Ed} = 143,17 \text{ kNm} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Smyková únosnost průřezu

$$t_w = 5,9 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,2 \text{ mm}$$

$$A_{vz} = 1588,1 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 1588,1 \frac{235 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 215,47 \text{ kN}$$

Posouzení

$$V_{pl,Rd} = 215,47 \text{ kN} > V_{pl,Ed} = 89,48 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Návrh spřažení

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 235

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$$

Profil: IPE 220

$$A = 3337,05 \text{ mm}^2$$

Deska: trapézový plech TR50/250

$$h_p = 50 \text{ mm}$$

$$b_p = 85,44 \text{ mm}$$

$$h_d = 70 \text{ mm}$$

Trny: $\emptyset = 22 \text{ mm}$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 360 \text{ MPa}$$

Únosnost spřahovacích trnů:

výpočet únosnosti

$$P_{Rk} = \min \left\{ 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi d^2}{4}; 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \right\}$$

$$P_{Rk} = \min \{ 109,48 ; 122,56 \} = 109,48 \text{ kN}$$

Výpočet návrhové únosnosti

$$P_{rd} = \frac{\min P_{rk}}{\gamma_v} = \frac{109,48}{1,25} = 87,583 \text{ kN}$$

- redukovaná návrhová únosnost
- žebro kolmo k ose nosníku

Redukční součinitel:

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = 1,196$$

$$k_t = 1,0 \quad k_t \leq 1$$

$$n_r = 1 \quad \text{- počet trnů v žebře}$$

$$P'_{rd} = P_{rd} \cdot k_t = 87,583 \cdot 1 = 87,58 \text{ kN}$$

Síla na spřažení na jedné polovině nosníku

$$N_{cf} = N_c = N_a = A_{ocel} \cdot f_{yd} = 3337 \cdot 235 = 784,21 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině nosníku

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P'_{rd}} = \frac{784,21}{87,583} = 9$$

Maximální množství trnu na 1/2 nosníku

TR 50/250 - modulová šířka žebra 250 mm

$$L/2 = 3 \text{ m} \rightarrow 3200/250 = 12 \text{ trnů}$$

Posouzení II.MS

Ideální průřez ocelobetonového nosníku:

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$$

- modul pružnosti s vlivem dotvarování a smršťování

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30,5}{2} = 15,25 \text{ GPa}$$

- pracovní součinitel

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{15,25} = 13,770$$

Průřezové charakteristiky ideálního průřezu:

- plocha

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 3337,05 + \frac{70 \cdot 1280}{13,770} = 9\,843,72 \text{ mm}^2$$

- těžiště

$$z_i = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{A_c \cdot z_c}{n}}{A_i} = 238,89 \text{ mm}$$

$$A_c = 70 \cdot 1280 = 89\,600 \text{ mm}^2$$

$$z_c = 220 + 50 + 70/2 = 305 \text{ mm}$$

$$z_a = 220/2 = 110 \text{ mm}$$

- moment setrvačnosti

$$I_i = (I_a + A_a \cdot r_a^2) + \left(\frac{I_c + A_c \cdot r_c^2}{n} \right) = 114\,250\,043,79 \text{ mm}^4$$

$$r_a = 238,89 - 110 = 128,89 \text{ mm}$$

$$r_c = 305 - 238,89 = 66,11 \text{ mm}$$

$$I_c = \frac{1}{12} b_{eff} \cdot h_d^3 = 36\,586\,666,67 \text{ mm}^4$$

- napětí v průřezu

zatížení:

$$g_{k,I} = 0,262 \text{ kN/m}$$

$$g_k = 3,538 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = (g_{k,I} + g_{k,c} + g_{k,TR}) \cdot Z\check{S} = (0,26 + 3,538 + 5) \cdot 1,56 = 13,728 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly:

$$M_{Ek} = \frac{1}{8} q_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} 13,73 \cdot 6,4^2 = 70,287 \text{ kNm}$$

- napětí v ocelovém profilu

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = \frac{7,0287E+07}{1,1425E+08} 238,89 = 146,97 \text{ MPa} < f_{yd} = \#\# \text{ MPa}$$

$$z_d = 238,89 \text{ mm}$$

- napětí v betonové desce

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_{Ek}}{n \cdot I_i} z_h = \frac{7,0287E+07}{13,77 \cdot 114250043,79} 101,11 = 4,5169 \text{ MPa}$$

$$z_h = 101,11 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,max} = 4,5169 \text{ MPa} < 0,85f_{c,k} = 0,85 \cdot 25 = 21,25 \text{ MPa}$$

- celkový průhyb

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_i} = \frac{5 \cdot (5 \cdot 1,56) \cdot 6400^4}{384 \cdot 210000 \cdot 114250043,79} = 7,102 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 7,102 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{6400}{250} = 26 \text{ mm}$$

3.2.3 Stropnice 4.NP

Vstupní data

$$L = 9 \text{ m} \quad g_k = 3,538 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$B_{\text{zat}} = 1,56 \text{ m} \quad q_k = 5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$g_d = 7,451 \text{ [kN/m]}$$

$$q_d = 11,7 \text{ [kN/m]}$$

odhad tíhy nosníku:

$$g_{k,l} = 0,42 \text{ [kN/m]}$$

kombinace

$$f_d = (7,451028+0,42)*1,35 + 11,7*1,5 = 28,18 \text{ [kN/m]}$$

Vnitřní síly

$$V_{pl,ed} = 1/2 * 28,18 * 9 = 126,81 \text{ kN} \quad V_{pl,ed} = \frac{1}{2} f_d \cdot l$$

$$M_{pl,ed} = 1/8 * 28,18 * 9^2 = 285,31 \text{ kNm} \quad M_{pl,ed} = \frac{1}{8} f_d \cdot l^2$$

Předběžný návrh

Potřebný plastický průřezový modul:

$$W_{pl,y,min} = \frac{M_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{285,314 \times 10^6 \times 1,0}{235} = \underline{\underline{1\,214\,102,13}} \text{ mm}^3$$

Potřebný moment setrvačnosti z podmínky $\delta_{\max} = L/250$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_{y,min}} = \frac{5 \times 11,7 \times 9000^4}{384 \times 210000 \times I_{y,min}}$$

$$I_{y,min} = \frac{250 \times 5 \times 5 \times 9000^3}{384 \times 210000}$$

$$I_{y,min} = \underline{\underline{132\,212\,611,61}} \text{ mm}^4$$

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 235

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa} \quad E = 210\,000$$
$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$
$$\gamma_c = 1,5$$
$$f_{cd} = 17,00 \text{ MPa} \quad f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Profil: IPE 300

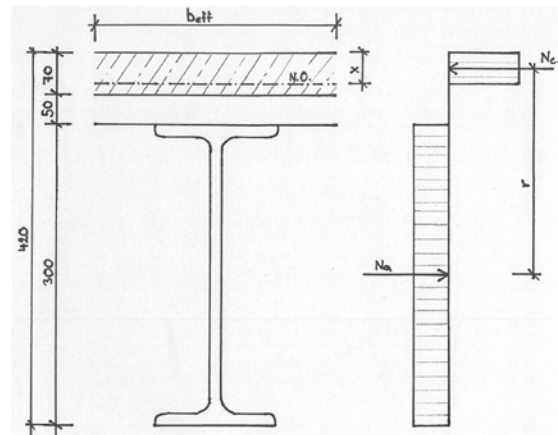
$$A = 5381,2 \text{ mm}^2 \quad W_{pl,y} = 6,28E+05 \text{ mm}^3 \quad b = 150 \text{ mm}$$
$$G = 42,24 \text{ kg/m} \quad I_y = 8,36E+07 \text{ mm}^4 \quad h = 300 \text{ mm}$$
$$A_{vz} = 2568,2 \text{ mm}^2$$

Účinná šířka desky

$$b_{eff} = \min\left(B; \frac{0,8L}{4}\right)$$

$$b_{eff} = \min(1,56; 1,8)$$

$$b_{eff} = 1,6 \text{ m}$$



Poloha neutrálné osy:

předpoklad: neutrálná osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$5381,2 \cdot 235 = x \cdot 1560 \cdot 17$$

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{5381,2 \cdot 235}{1560 \cdot 17} = 47,68 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \quad \text{SPLNĚNO}$$

Výpočet momentové únosnosti

$$M_{pl,Rd} = N_a \cdot r = A_a \cdot f_{yd} \cdot r = 5381,2 \cdot 235 \cdot 246,16 = 3,11E+08 \text{ Nmm}$$

$$r = H - \frac{h}{2} - \frac{x}{2} = 420 - 300/2 - 47,68/2 = 246,16 \text{ mm}$$

Posouzení

$$M_{pl,Rd} = 311,29 \text{ kNm} > M_{pl,Ed} = 285,31 \text{ kNm} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Smyková únosnost průřezu

$$t_w = 7,1 \text{ mm}$$

$$t_f = 10,7 \text{ mm}$$

$$A_{vz} = 2568,2 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2568,2 \frac{235 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 348,44 \text{ kN}$$

Posouzení

$$V_{pl,Rd} = 348,44 \text{ kN} > V_{pl,Ed} = 126,81 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Návrh spřažení

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 235

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$$

Profil: IPE 300

$$A = 5381,20 \text{ mm}^2$$

Deska: trapézový plech TR50/250

$$h_p = 50 \text{ mm}$$

$$b_p = 85,44 \text{ mm}$$

$$h_d = 70 \text{ mm}$$

Trny: $\emptyset = 22 \text{ mm}$

$$h = 100 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 360 \text{ MPa}$$

Únosnost spřahovacích trnů:

výpočet únosnosti

$$P_{Rk} = \min \left\{ 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi d^2}{4}; 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \right\}$$

$$P_{Rk} = \min \{ 109,48 ; 122,56 \} = 109,48 \text{ kN}$$

Výpočet návrhové únosnosti

$$P_{rd} = \frac{\min P_{rk}}{\gamma_v} = \frac{109,48}{1,25} = 87,583 \text{ kN}$$

- redukováná návrhová únosnost
- žebro kolmo k ose nosníku

Redukční součinitel:

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) = 1,196$$

$$k_t = 1,0 \quad k_t \leq 1$$

$$n_r = 1 \quad \text{- počet trnů v žebře}$$

$$P'_{rd} = P_{rd} \cdot k_t = 87,583 \cdot 1 = 87,58 \text{ kN}$$

Síla na spřažení na jedné polovině nosníku

$$N_{cf} = N_c = N_a = A_{ocel} \cdot f_{yd} = 5381 \cdot 235 = 1\,264,58 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině nosníku

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P'_{rd}} = \frac{1\,264,58}{87,583} = 14$$

Maximální množství trnů na ½ nosníku

TR 50/250 - modulová šířka žebra 250 mm

$$L/2 = 5 \text{ m} \rightarrow 4500/250 = 18 \text{ trnů}$$

Posouzení II.MS

Ideální průřez ocelobetonového nosníku:

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$$

- modul pružnosti s vlivem dotvarování a smršťování

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30,5}{2} = 15,25 \text{ GPa}$$

- pracovní součinitel

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{15,25} = 13,770$$

Průřezové charakteristiky ideálního průřezu:

- plocha

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 5381,20 + \frac{70 \cdot 1560}{13,770} = 13\,311,20 \text{ mm}^2$$

- těžiště

$$z_i = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{A_c \cdot z_c}{n}}{A_i} = 290,00 \text{ mm}$$

$$A_c = 70 \cdot 1560 = 109\,200 \text{ mm}^2$$

$$z_c = 300 + 50 + 70/2 = 385 \text{ mm}$$

$$z_a = 300/2 = 150 \text{ mm}$$

- moment setrvačnosti

$$I_i = (I_a + A_a \cdot r_a^2) + \left(\frac{I_c + A_c \cdot r_c^2}{n} \right) = 263\,838\,912,62 \text{ mm}^4$$

$$r_a = 290 - 150 = 140,00 \text{ mm}$$

$$r_c = 385 - 290 = 95,00 \text{ mm}$$

$$I_c = \frac{1}{12} b_{eff} \cdot h_d^3 = 44\,590\,000,00 \text{ mm}^4$$

- napětí v průřezu

zatížení:

$$g_{k,I} = 0,4224 \text{ kN/m}$$

$$g_k = 3,538 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = (g_{k,I} + g_{k,c} + g_{k,TR}) \cdot Z\check{S} = (0,42+3,538+5) \cdot 1,56 = 13,978 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly:

$$M_{Ek} = \frac{1}{8} q_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} 13,98 \cdot 9^2 = 141,53 \text{ kNm}$$

- napětí v ocelovém profilu

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = \frac{1,4153E+08}{2,6384E+08} 290,00 = 155,56 \text{ MPa} < f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

$$z_d = 290,00 \text{ mm}$$

- napětí v betonové desce

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_{Ek}}{n \cdot I_i} z_h = \frac{1,4153E+08}{13,77 \cdot 263838912,62} 130,00 = 5,0642 \text{ MPa}$$

$$z_h = 130,00 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,max} = 5,0642 \text{ MPa} < 0,85f_{c,k} = 0,85 \cdot 25 = 21,25 \text{ MPa}$$

- celkový průhyb

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_i} = \frac{5 \cdot (5 \cdot 1,56) \cdot 9000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 263838912,62} = 12,027 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 12,027 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{9000}{250} = 36 \text{ mm}$$

3.2.4. Stropnice - střecha

Vstupní data

$$L = 14,5 \text{ m} \quad g_k = 1,741 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$B_{\text{zat}} = 1,5 \text{ m} \quad q_k = 0,96 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$g_d = 3,53 \text{ [kN/m]}$$

$$q_d = 2,16 \text{ [kN/m]}$$

odhad tíhy nosníku:

$$g_{k,l} = 0,57 \text{ [kN/m]}$$

kombinace

$$f_d = (3,525525+0,57)*1,35 + 2,16*1,5 = 8,77 \text{ [kN/m]}$$

Vnitřní síly

$$V_{pl,ed} = 1/2*8,77*14,5 = 63,584 \text{ kN} \quad V_{pl,ed} = \frac{1}{2} f_d \cdot l$$

$$M_{pl,ed} = 1/8*8,77*14,5^2 = 230,49 \text{ kNm} \quad M_{pl,ed} = \frac{1}{8} f_d \cdot l^2$$

Předběžný návrh

Potřebný plastický průřezový modul:

$$W_{pl,y,min} = \frac{M_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{230,492 \times 10^6 \times 1,0}{235} = \underline{\underline{980\,817,02}} \text{ mm}^3$$

Potřebný moment setrvačnosti z podmínky $\delta_{\max} = L/250$

$$\delta_{\max} = \frac{L}{250} = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_{y,min}} = \frac{5 \times 2,16 \times 14500^4}{384 \times 210000 \times I_{y,min}}$$

$$I_{y,min} = \frac{250 \times 5 \times 0,96 \times 14500^3}{384 \times 210000}$$

$$I_{y,min} = \underline{\underline{102\,074\,497,77}} \text{ mm}^4$$

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 235

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa} \quad E = 210\,000$$
$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$
$$\gamma_c = 1,5$$
$$f_{cd} = 17,00 \text{ MPa} \quad f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Profil: IPE 360

$$A = 7272,9 \text{ mm}^2 \quad W_{pl,y} = 1,02E+06 \text{ mm}^3 \quad b = 170 \text{ mm}$$
$$G = 57,09 \text{ kg/m} \quad I_y = 1,63E+08 \text{ mm}^4 \quad h = 360 \text{ mm}$$
$$A_{vz} = 3513,7 \text{ mm}^2$$

Posouzení

I.MS - únosnosti

Momentová únosnost průřezu

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 1019146,93 \cdot 235 = 2,39E+08 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,Rd} = 239,50 \text{ kNm} > M_{pl,Ed} = 230,49 \text{ kNm} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Smyková únosnost průřezu

$$t_w = 8 \text{ mm}$$
$$t_f = 12,7 \text{ mm}$$
$$A_{vz} = 3513,7 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 3513,7 \frac{235 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 476,73 \text{ kN}$$

Posouzení

$$V_{pl,Rd} = 476,73 \text{ kN} > V_{pl,Ed} = 63,58 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

II.MS - použitelnosti

- průhyb od proměnného zatížení

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_y} = \frac{5 \cdot (0,96 \cdot 1,5) \cdot 14500^4}{384 \cdot 210000 \cdot 162656174,39} = 24,265 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 24,265 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{14500}{250} = 58 \text{ mm}$$

→ PRŮHYB VYHOVÍ

3.3. Návrh a posouzení průvlaků

V této části ukazují výpočet průvlaků, vnitřní a krajní, navržených z běžných průřezů IPE. Vzhledem k velkým rozpětím jsem se následujícím postupem nedopočetl k průřezu, který by zcela vyhověl, proto je součástí této kapitoly návrh průvlaků a střešního nosníku pomocí softwaru ACB+ 3.15, který je určený pro návrh a posouzení prolamovaných nosníků.

3.3.1. Průvlak - 2.NP

- při betonáži podepřen

Vstupní data

$$L_1 = 13,5 \text{ m}$$

$$L_1 = 9,75 \text{ m}$$

Ztížení

$$g_k = 3,538 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{- stálé od stropní desky}$$

$$q_k = 5 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad \text{- užité shromažďovací plochy}$$

$$q_{k,p} = 0,8 \text{ [kN/m]} \quad \text{- užité přemístitelné příčky}$$

$$g_{k,1} = 0,4915 \text{ [kN/m]} \quad \text{- vlastní tíha stropnice}$$

$$g_d = 4,7763 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_d = 7,5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_{d,p} = 1,2 \text{ [kN/m]}$$

$$g_{d,1} = 0,664 \text{ [kN/m]}$$

odhad tíhy nosníku:

$$g_{k,1} = 1,22 \text{ [kN/m]}$$

$$g_{d,1} = 1,65 \text{ [kN/m]}$$

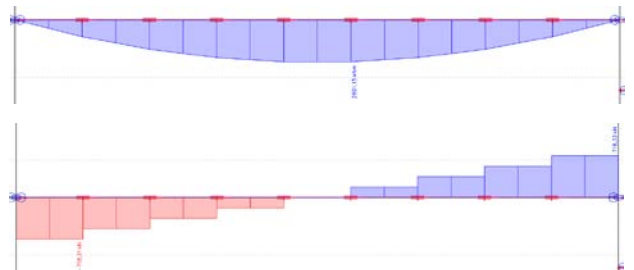
kombinace

$$f_d = (4,7763 + 1,22) \cdot 1,35 + 7,5 \cdot 1,5 = 19,35 \text{ [kN/m]}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 718,31 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2691,15 \text{ kNm}$$



Předběžný návrh

Potřebný plastický průřezový modul:

$$W_{pl,y,min} = \frac{M_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{2691,15 \times 10^6 \times 1,0}{235} = \underline{\underline{11\,451\,702,13}} \text{ mm}^3$$

Potřebný moment setrvačnosti z podmínky $\delta_{max} = L/250$

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_{y,min}} = \frac{5 \times 7,5 \times 13500^4}{384 \times 210000 \times I_{y,min}}$$

$$I_{y,\min} = \frac{250 \times 5 \times 5 \times 13500^3}{384 \times 210000}$$

$$I_{y,\min} = \underline{\underline{286\,036\,900,11}} \text{ mm}^4$$

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 355

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa} \quad E = 210\,000$$

$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = 17,00 \text{ MPa} \quad f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Profil: IPE 600

$$A = 15598,4 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 3,51E+06 \text{ mm}^3 \quad b = 220 \text{ mm}$$

$$G = 122,45 \text{ kg/m}$$

$$I_y = 9,21E+08 \text{ mm}^4 \quad h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{vz} = 8378,4 \text{ mm}^2$$

$$t_w = 12 \text{ mm} \quad d = 514 \text{ mm}$$

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

Účinná šířka desky

$$b_{eff} = \min\left(L_1; \frac{L_I}{4}\right)$$

$$b_{eff} = \min(9,75; 3,375)$$

$$b_{eff} = 3,4 \text{ m}$$

Poloha neutrálné osy:

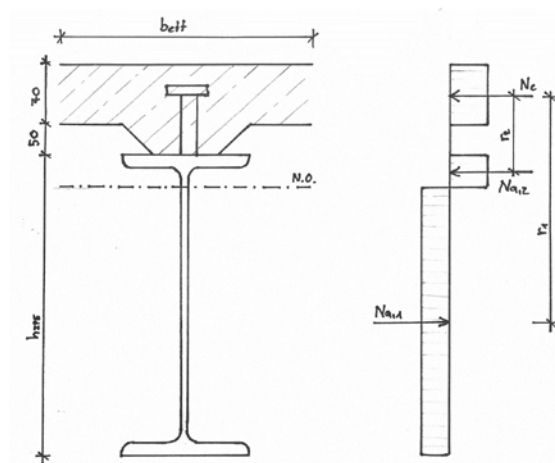
předpoklad: neutrálná osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$15598,44 \cdot 355 = x \cdot 3375 \cdot 17$$

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{15598,44 \cdot 355}{3375 \cdot 17} = 96,51 \text{ mm} > 70 \text{ mm NESPLNĚNO}$$



Výpočet momentové únosnosti

$$A_w = d \cdot t_w = 514 \cdot 12 = 6\,168 \text{ mm}^2$$

$$A_f = \frac{A - A_w}{2} = \frac{15598,44 - 6168}{2} = 4\,715 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = 15\,744,5 \text{ mm}^2 \quad z_d = 623,49 \text{ mm} \quad r_1 = 449,16 \text{ mm}$$

$$A_2 = 3\,452,0 \text{ mm}^2 \quad z_h = -23,49 \text{ mm} \quad r_2 = 92,357 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = N_{a,1} \cdot r_1 - N_{a,2} \cdot r_2 = A_{a,1} \cdot f_{yd} \cdot r_1 - A_{a,2} \cdot f_{yd} \cdot r_2 =$$

$$M_{pl,Rd} = 15744,47 \cdot 355 \cdot 449,16 - 3451,97 \cdot 355 \cdot 92,36 = 2397,316$$

Posouzení

$$M_{pl,Rd} = 2\,397,32 \text{ kNm} < M_{pl,Ed} = 2\,691,15 \text{ kNm} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ NEVYHOVÍ}}$$

Smyková únosnost průřezu

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

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

$$A_{vz} = 8\,378,4 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 8\,378,4 \frac{235 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 1\,717,2 \text{ kN}$$

Posouzení

$$V_{pl,Rd} = 1\,717,24 \text{ kN} > V_{pl,Ed} = 718,31 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Návrh spřažení

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 355

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$$

Profil: **IPE 600**

$$A = 15\,598,44 \text{ mm}^2$$

Deska: trapézový plech TR50/250

$$h_p = 50 \text{ mm}$$

$$b_p = 85,44 \text{ mm}$$

$$h_d = 70 \text{ mm}$$

Trny: $\emptyset = 22 \text{ mm}$

$$h_{sc} = 100 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 360 \text{ MPa}$$

Únosnost spřahovacích trnů:

výpočet únosnosti

$$P_{Rk} = \min \left\{ 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi d^2}{4}; 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \right\}$$

$$P_{Rk} = \min \{ 109,48 ; 122,56 \} = 109,48 \text{ kN}$$

Výpočet návrhové únosnosti

$$P_{rd} = \frac{\min P_{rk}}{\gamma_v} = \frac{109,48}{1,25} = 87,583 \text{ kN}$$

- redukovávaná návrhová únosnosť
- žebro kolmo k ose nosníku

Redukční součinitel:

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 1,025$$

$$n_r = 1 \quad - \text{počet trnů v žeburu}$$

$$P'_{rd} = P_{rd} \cdot k_l = 87,583 \cdot 1 = 87,58 \text{ kN}$$

Síla na spřažení na jedné polovině nosníku

$$N_{cf} = N_c = N_a = A_{ocel} \cdot f_{yd} = 15598 \cdot 355 = 5\,537,45 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině nosníku

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P'_{rd}} = \frac{5\,537,45}{87,583} = 63$$

Vzdálenost trnů

$$\frac{L/2}{N_f} = \frac{6750}{63} = 107$$

$$\text{Minimální vzdálenost trnů: } 5 \cdot d = 110 \text{ mm}$$

Návrh: trny 22/100 po 107 mm

Návrh počtu trnů **nevyhovuje** na minimální požadovanou vzdálenost trnů!

Posouzení II.MS

Ideální průřez ocelobetonového nosníku:

$$E_{cm} = 30,5 \text{ GPa}$$

- modul pružnosti s vlivem dotvarování a smršťování

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{30,5}{2} = 15,25 \text{ GPa}$$

- pracovní součinitel

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{15,25} = 13,770$$

Průřezové charakteristiky ideálního průřezu:

- plocha

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 15598,44 + \frac{70 \cdot 3375}{13,770} = 32\,754,69 \text{ mm}^2$$

- těžiště

$$z_i = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{A_c \cdot z_c}{n}}{A_i} = 501,66 \text{ mm}$$

$$A_c = 70 \cdot 3375 = 236\,250 \text{ mm}^2$$

$$z_c = 600 + 50 + 70/2 = 685 \text{ mm}$$

$$z_a = 600/2 = 300 \text{ mm}$$

- moment setrvačnosti

$$I_i = (I_a + A_a \cdot r_a^2) + \left(\frac{I_c + A_c \cdot r_c^2}{n} \right) = 2\,138\,860\,066,18 \text{ mm}^4$$

$$r_a = 501,66 - 300 = 201,66 \text{ mm}$$

$$r_c = 685 - 501,66 = 183,34 \text{ mm}$$

$$I_c = \frac{1}{12} b_{eff} \cdot h_d = 96\,468\,750,00 \text{ mm}^4$$

- napětí v průřezu

zatížení:

$$g_{k,I} = 1,224 \text{ kN/m}$$

$$g_k = 3,538 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = (g_{k,I} + g_{k,c} + g_{k,TR}) \cdot Z\check{S} = (1,22 + 3,538 + 5) \cdot 4,88 = 47,592 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly:

$$M_{Ek} = \frac{1}{8} q_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} 47,59 \cdot 13,5^2 = 1084,2 \text{ kNm}$$

- napětí v ocelovém profilu

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = \frac{1,0842E+09}{2,1389E+09} 623,49 = 316,05 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$z_d = 623,49 \text{ mm}$$

PRŮŘEZ VYHOVÍ

- napětí v betonové desce

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_{Ek}}{n \cdot I_i} z_h = \frac{1,0842E+09}{13,77 \cdot 2,138860066,18} 96,51 = 22,951 \text{ MPa}$$

$$z_h = 96,51 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,max} = 22,951 \text{ MPa} > 0,85f_{c,k} = 0,85 \cdot 25 = 21,25 \text{ MPa}$$

- celkový průhyb

PRŮŘEZ NEVYHOVÍ

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_i} = \frac{5 \cdot (5 \cdot 4,875) \cdot 13500^4}{384 \cdot 210000 \cdot 2138860066,18} = 23,470 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 23,470 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{13500}{250} = 54 \text{ mm}$$

PRŮŘEZ VYHOVÍ

3.3.2. Průvlak - 2.NP - krajní

- při betonáži podepřen

Vstupní data

$$L_1 = 13,5 \text{ m}$$

$$L_1 = 9,75 \text{ m}$$

Ztížení

$$g_k = 3,538 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad - \text{ stálé od stropní desky}$$

$$q_k = 5 \text{ [kN/m}^2\text{]} \quad - \text{ užitné shromažďovací plochy}$$

$$q_{k,p} = 0,8 \text{ [kN/m]} \quad - \text{ užitné přemístitelné příčky}$$

$$g_{k,1} = 0,4915 \text{ [kN/m]} \quad - \text{ vlastní tíha stropnice}$$

$$g_d = 4,7763 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_d = 7,5 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$q_{d,p} = 1,2 \text{ [kN/m]}$$

$$g_{d,1} = 0,664 \text{ [kN/m]}$$

odhad tíhy nosníku:

$$g_{k,1} = 1,22 \text{ [kN/m]}$$

$$g_{d,1} = 1,65 \text{ [kN/m]}$$

kombinace

$$f_d = (4,7763 + 1,22) \cdot 1,35 + 7,5 \cdot 1,5 = 19,35 \text{ [kN/m]}$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 718,31 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1625,34 \text{ kNm}$$

Předběžný návrh

Potřebný plastický průřezový modul:

$$W_{pl,y,min} = \frac{M_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{1625,34 \times 10^6 \times 1,0}{235} = \underline{\underline{6\,916\,340,43}} \text{ mm}^3$$

Potřebný moment setrvačnosti z podmínky $\delta_{max} = L/250$

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_{y,min}} = \frac{5 \times 7,5 \times 13500^4}{384 \times 210000 \times I_{y,min}}$$

$$I_{y,min} = \frac{250 \times 5 \times 5 \times 13500^3}{384 \times 210000}$$

$$I_{y,min} = \underline{\underline{286\,036\,900,11}} \text{ mm}^4$$

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 355

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa} \quad E = 210\,000$$

$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{cd} = 17,00 \text{ MPa} \quad f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

Profil: IPE 600

$$A = 15598,4 \text{ mm}^2 \quad W_{pl,y} = 3,51E+06 \text{ mm}^3 \quad b = 220 \text{ mm}$$

$$G = 122,45 \text{ kg/m} \quad I_y = 9,21E+08 \text{ mm}^4 \quad h = 600 \text{ mm}$$

$$A_{vz} = 8378,4 \text{ mm}^2 \quad t_w = 12 \text{ mm} \quad d = 514 \text{ mm}$$

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

Účinná šířka desky

$$b_{eff} = \min\left(L_1, \frac{L_I}{4}\right)$$

$$b_{eff} = \min(9,75 ; 3,375)$$

$$b_{eff} = 1,8 \text{ m}$$

Poloha neutrálné osy:

předpoklad: neutrálná osa leží v betonové desce

$$N_a = N_c$$

$$A_a \cdot f_{yd} = x \cdot b_{eff} \cdot f_{cd}$$

$$15598,44 \cdot 355 = x \cdot 1797,5 \cdot 17$$

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{b_{eff} \cdot 0,85 \cdot f_{cd}} = \frac{15598,44 \cdot 355}{1797,5 \cdot 17} = 181,21 \text{ mm} > 70 \text{ mm NESPLNĚNO}$$

Výpočet momentové únosnosti

$$A_w = d \cdot t_w = 514 \cdot 12 = 6\,168 \text{ mm}^2$$

$$A_f = \frac{A - A_w}{2} = (15598,44 - 6168) / 2 = 4\,715 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = 14\,135,2 \text{ mm}^2 \quad z_d = 538,79 \text{ mm} \quad r_1 = 488,47 \text{ mm}$$

$$A_2 = 5\,061,3 \text{ mm}^2 \quad z_h = 61,21 \text{ mm} \quad r_2 = 96,016 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = N_{a,1} \cdot r_1 - N_{a,2} \cdot r_2 = A_{a,1} \cdot f_{yd} \cdot r_1 - A_{a,2} \cdot f_{yd} \cdot r_2 =$$

$$M_{pl,Rd} = 14135,16 \cdot 355 \cdot 488,47 - 5061,29 \cdot 355 \cdot 96,02 = 2278,640$$

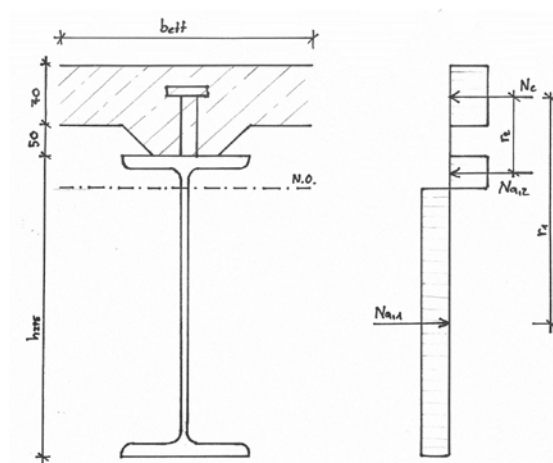
Posouzení

$$M_{pl,Rd} = 2\,278,64 \text{ kNm} > M_{pl,Ed} = 1\,625,34 \text{ kNm} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Smyková únosnost průřezu

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

$$t_f = 19 \text{ mm}$$



$$A_{vz} = 8378,4 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 8378,4 \frac{235 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{3}} = 1717,2 \text{ kN}$$

Posouzení

$$V_{pl,Rd} = 1717,24 \text{ kN} > V_{pl,Ed} = 718,31 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{PRŮŘEZ VYHOVÍ}}$$

Návrh spřažení

Průřezové a materiálové charakteristiky

Ocel: S 355

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\gamma_a = 1,0$$

Beton: C 30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$E_{cm} = 32,0 \text{ GPa}$$

Profil: **IPE 600**

$$A = 15\,598,44 \text{ mm}^2$$

Deska: trapézový plech TR50/250

$$h_p = 50 \text{ mm}$$

$$b_p = 85,44 \text{ mm}$$

$$h_d = 70 \text{ mm}$$

Trny: $\emptyset = 24 \text{ mm}$

$$h_{sc} = 100 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 360 \text{ MPa}$$

Únosnost spřahovacích trnů:

výpočet únosnosti

$$P_{Rk} = \min \left\{ 0,8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi d^2}{4}; 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \right\}$$

$$P_{Rk} = \min \{ 130,29 ; 163,67 \} = 130,29 \text{ kN}$$

Výpočet návrhové únosnosti

$$P_{rd} = \frac{\min P_{rk}}{\gamma_v} = \frac{130,29}{1,25} = 104,231 \text{ kN}$$

- redukovaná návrhová únosnost
- žebro kolmo k ose nosníku

Redukční součinitel:

$$k_l = 0,6 \cdot \frac{b_0}{h_p} \cdot \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) = 1,025$$

$n_r = 1$ - počet trnů v žeburu

$$P'_{rd} = P_{rd} \cdot k_l = 104,231 \cdot 1 = 104,23 \text{ kN}$$

Síla na spřažení na jedné polovině nosníku

$$N_{cf} = N_c = N_a = A_{ocel} \cdot f_{yd} = 15598 \cdot 355 = 5\,537,45 \text{ kN}$$

Potřebný počet trnů na polovině nosníku

$$n_f = \frac{N_{cf}}{P'_{Rd}} = \frac{5\,537,45}{104,231} = 53$$

Vzdálenost trnů

$$\frac{L/2}{N_f} = \frac{6750}{53} = 127$$

Minimální vzdálenost trnů: $5 \cdot d = 120 \text{ mm}$

Návrh: trny 24/100 po 127 mm

Posouzení II.MS

Ideální průřez ocelobetonového nosníku:

$$E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

- modul pružnosti s vlivem dotvarování a smršťování

$$E'_{cm} = \frac{E_{cm}}{2} = \frac{32}{2} = 16 \text{ GPa}$$

- pracovní součinitel

$$n = \frac{E_a}{E'_{cm}} = \frac{210}{16} = 13,125$$

Průřezové charakteristiky ideálního průřezu:

- plocha

$$A_i = A_a + \frac{A_c}{n} = 15598,44 + \frac{70 \cdot 1797,5}{13,125} = 25\,185,11 \text{ mm}^2$$

- těžiště

$$z_i = \frac{A_a \cdot z_a + \frac{A_c \cdot z_c}{n}}{A_i} = 446,55 \text{ mm}$$

$$A_c = 70 \cdot 1797,5 = 125\,825 \text{ mm}^2$$

$$z_c = 600 + 50 + 70/2 = 685 \text{ mm}$$

$$z_a = 600/2 = 300 \text{ mm}$$

- moment setrvačnosti

$$I_i = (I_a + A_a \cdot r_a^2) + \left(\frac{I_c + A_c \cdot r_c^2}{n} \right) = 1\,804\,837\,319,73 \text{ mm}^4$$

$$r_a = 446,55 - 300 = 146,55 \text{ mm}$$

$$r_c = 685 - 446,55 = 238,45 \text{ mm}$$

$$I_c = \frac{1}{12} b_{eff} \cdot h_d = 51\,378\,541,67 \text{ mm}^4$$

- napětí v průřezu

zatížení:

$$g_{k,I} = 1,224 \text{ kN/m}$$

$$g_k = 3,538 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = (g_{k,I} + g_{k,c} + g_{k,TR}) \cdot Z\check{S} = (1,22 + 3,538 + 5) \cdot 4,88 = 47,592 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly:

$$M_{Ek} = \frac{1}{8} q_k \cdot l^2 = \frac{1}{8} 47,59 \cdot 13,5^2 = 1084,2 \text{ kNm}$$

- napětí v ocelovém profilu

$$\sigma_{a,max} = \frac{M_{Ek}}{I_i} z_d = \frac{1,0842E+09}{1,8048E+09} 538,79 = 323,66 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$z_d = 538,79 \text{ mm}$$

PRŮŘEZ VYHOVÍ

- napětí v betonové desce

$$\sigma_{c,max} = \frac{M_{Ek}}{n \cdot I_i} z_h = \frac{1,0842E+09}{13,13 \cdot 1,804837319,73} 181,21 = 24,66 \text{ MPa}$$

$$z_h = 181,21 \text{ mm}$$

$$\sigma_{c,max} = 24,66 \text{ MPa} < 0,85 f_{c,k} = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \text{ MPa}$$

- celkový průhyb

PRŮŘEZ VYHOVÍ

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \frac{q_k \cdot L^4}{E I_i} = \frac{5 \cdot (5 \cdot 4,875) \cdot 13500^4}{384 \cdot 210000 \cdot 1804837319,73} = 27,814 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 27,814 \text{ mm} < \frac{L}{250} = \frac{13500}{250} = 54 \text{ mm}$$

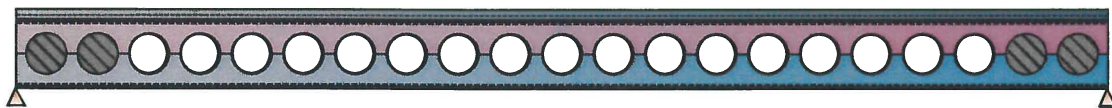
PRŮŘEZ VYHOVÍ

ACB+

V 3.15

PRELIMINARY DESIGN NOTE

Průvlak 2.NP



User : Tomáš Krábek

Company :

Project : Diplomová práce

Beam Ident : Průvlak 2.NP

Comment : Průvlak mezi sloupy E3 a E4

File : C:\Users\Krábek\Dropbox\Kompletace\Pruvlak_2NP.acb

Parameters

General Parameters

Composite Beam

Cutting :

End supports :

Horizontal span length :

Total number of openings :

Diameter of the openings :

Spacing between openings center :

Web post width :

Web post slenderness :

End web posts widths :

Height of the cellular beam :

Mass of steel beam :

Mass of concrete slab :

Mass of the steel sheeting :

Total mass of the beam :

Total paint surface :

Paint surface (without upper face) :

Massiveness :

Massiveness (without upper face) :

Ratio of flanges area :

Ratio H_t / a_0 :

Opening slenderness :

Web slenderness :

Process ArcelorMittal Cellular Beam

Simply supported beam

 $L = 13,50 \text{ m}$ $n = 21$ $a_0 = 500,0 \text{ mm}$ $e = 637,6 \text{ mm}$ $w = e - a_0 = 137,6 \text{ mm}$ $\alpha = e / a_0 = 1,275$ $w_{\text{end,l}} = 123,8 \text{ mm}$ $H_t = 850,0 \text{ mm}$ $w_{\text{end,r}} = 123,7 \text{ mm}$ $m = 2680 \text{ kg}$ $m = 32729 \text{ kg}$

(Slab width = 9,750 m)

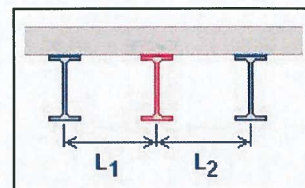
 $m = 0 \text{ kg}$ $m = 35409 \text{ kg}$ $S = 34,90 \text{ m}^2$ $S' = 31,82 \text{ m}^2$ $M = 102,22 \text{ m}^{-1}$ $M' = 93,20 \text{ m}^{-1}$ $(b_f t_f)_{\text{max}} / (b_f t_f)_{\text{min}} = 1,00 < 4,50$ $H_t / a_0 = 1,70$ $1,25 < H_t / a_0 < 4,00$ $\beta = a_0 / t_w = 27,78 < 90,00$ $h_w / t_w = 41,44 < 124,0 \epsilon_w = 91,67$

Position of the beam

The studied beam is an intermediate beam.

Spacing of the beam - to the adjacent left beam : $L_1 = 9,750 \text{ m}$ - to the adjacent right beam : $L_2 = 9,750 \text{ m}$

Width for the calculation of the surface loads supported by the beam :

on the left side : $d_1 = 4,875 \text{ m}$ on the right side : $d_2 = 4,875 \text{ m}$ Total width : $d_1 + d_2 = 9,750 \text{ m}$ 

No slab opening near the beam

Lateral restraint

Concentrated lateral restraints :

	x (m)	Lateral restraints	
1	0,0	Both flanges	Origin section
2	1,500	Both flanges	
3	3,000	Both flanges	
4	4,500	Both flanges	
5	6,000	Both flanges	
6	7,500	Both flanges	
7	9,000	Both flanges	
8	10,50	Both flanges	
9	12,00	Both flanges	
10	13,50	Both flanges	End section

Cross-section

	Upper chord	Lower chord
Base profile	IPE V 600	IPE V 600
Grade	S450	S450
h_t (mm)	618,0	618,0
b_f (mm)	228,0	228,0
t_f (mm)	28,0	28,0
t_w (mm)	18,0	18,0
r_c (mm)	24,0	24,0

Slab**Parameters**

Slab with profiled steel sheeting (ribs parallel to the beam)
Total depth : $E = 120,0 \text{ mm}$

Construction stage

No propping - verification of the steel beam in the construction phase

Concrete

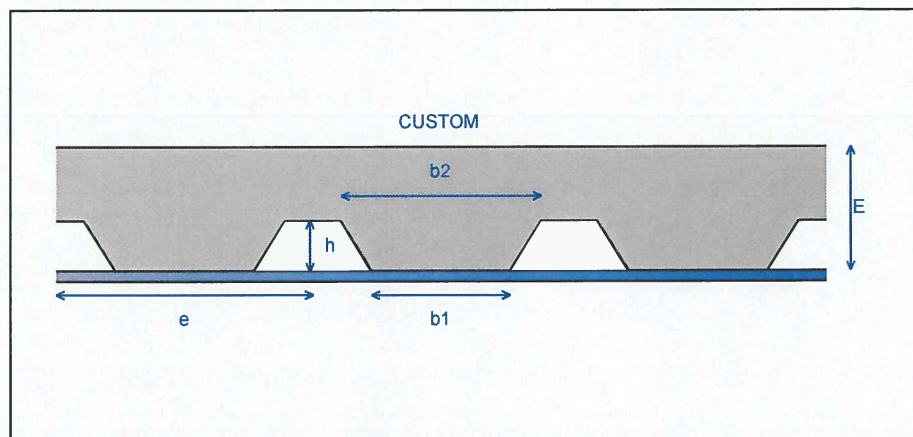
Class : C20/25
Density : 2400 kg/m^3
Shrinkage : 300×10^{-6}
Properties : $f_{ck} = 20,00 \text{ MPa}$
 $f_{ctm} = 2,210 \text{ MPa}$
 $E_{cm} = 29962 \text{ MPa}$
Modular ratios : Short term : $C_{Eq} = 7,01$
Long term : $C_{Eq} = 21,03$

Profiled steel sheeting

Custom sheeting

Dimensions $b_1 = 135,0 \text{ mm}$ $b_2 = 196,0 \text{ mm}$
 $e = 250,0 \text{ mm}$ $h = 48,5 \text{ mm}$

Profiled sheet without holes

**Connectors**

TRW Nelson KB 7/8"-100 $d = 22,0 \text{ mm}$ $h = 100,0 \text{ mm}$
 $f_y = 350 \text{ MPa}$ $f_u = 450 \text{ MPa}$

Connectors arrangement

1 zone of connection between the two ends :
One row of connectors every $200,0 \text{ mm}$
67 studs on the upper flange

Load cases**Permanent loads (G)**

Dead load :	25,73 kN/m		
Arising from :	Mass of the steel beam :	2680 kg	
	Width of the slab :	9,75 m	
	Density of concrete :	2400 kg/m ³	
	Mass of the slab :	32729 kg	
	Total mass :	35409 kg	

Concentrated loads :

	Location x (m)	Intensity F (kN)	Orientation
1	1,500	9,580	Vertical
2	3,000	9,580	Vertical
3	4,500	9,580	Vertical
4	6,000	9,580	Vertical
5	7,500	9,850	Vertical
6	9,000	9,850	Vertical
7	10,50	9,850	Vertical
8	12,00	1,000	Vertical

Distributed loads :

	Location x ₁ (m)	Intensity q ₁ (kN/m)	Location x ₂ (m)	Intensity q ₂ (kN/m)	Orientation
2	0,0	34,50	13,50	34,50	Normal

Reactions at supports :

Left end :	$R_{Av} = 444,20$ kN
Right end :	$R_{Bv} = 437,79$ kN

Live loads 1 (Q1)Psi factor $\psi_0 = 0,70$

Distributed loads :

	Location x ₁ (m)	Intensity q ₁ (kN/m)	Location x ₂ (m)	Intensity q ₂ (kN/m)	Orientation
1	0,0	48,75	13,50	48,75	Normal

Reactions at supports :

Left end :	$R_{Av} = 329,06$ kN
Right end :	$R_{Bv} = 329,06$ kN

Warning

The local effects under the concentrated loads are not taken into account by ACB+ piece of software

Partial factors

Factors on the loads :	$\gamma_{G.sup}$	= 1,350
	$\gamma_{G.inf}$	= 1,000
	γ_Q	= 1,500
Factors on the resistance :	γ_{M0}	= 1,000
	γ_{M1}	= 1,000
	γ_{M2}	= 1,250
	$\gamma_{M,fi}$	= 1,000
	γ_V	= 1,250
	$\gamma_{V,fi}$	= 1,000
	γ_C	= 1,500
	$\gamma_{C,fi}$	= 1,000

Steel properties

	Both chords
Steel	S450 J0
Reduction curve from	EN 10025-2
Standard	EN 10025-2 : 2004
Flange f_y f_u (MPa)	430 550
Web f_y f_u (MPa)	430 550
Cross-section f_y f_u (MPa)	430 550
Cross-section ϵ	0,739

Databases 2017-01

Load combinations

<i>Ultimate Limit States</i>	U1 =	1,35 G + 1,50 Q1
	U2 =	1,35 G + 1,05 Q1
<i>Serviceability Limit States</i>	S1 =	1,00 G + 1,00 Q1
	S2 =	1,00 G + 1,00 Q1
	S3 =	1,00 G
	S4 =	1,00 G + 0,70 Q1
<i>Fire Ultimate Limite States</i>	No combination	
<i>Construction Ultimate Limit States</i>	No combination	
<i>Construction Serviceability Limit States</i>	No combination	

Plastic properties of the composite sections at opening sectionsSteel resistance : $F_{Steel} = 7978$ kN

Open.	x (m)	L _{Concrete} (m)	F _{Slab} (kN)	F _{Connec} (kN)	Z _{PNA} (mm)	M _{Rd} (kNm)	N _{m,top} (kN)	N _{m,bot} (kN)	N _{Slab} (kN)
1	0,374	0,498	403,8	162,4	435,5	3645	5762	-5924	162,4
2	1,011	1,348	1093	439,6	453,4	3787	5485	-5924	439,6
3	1,649	2,199	1782	716,7	721,3	3260	3273	-3989	716,7
4	2,287	3,049	2471	993,8	739,2	3323	2995	-3989	993,8
5	2,924	3,375	2735	1271	757,1	3378	2718	-3989	1271
6	3,562	3,375	2735	1548	775,0	3424	2441	-3989	1548
7	4,200	3,375	2735	1825	792,9	3463	2164	-3989	1825
8	4,837	3,375	2735	2102	809,5	3495	1887	-3989	2102
9	5,475	3,375	2735	2379	819,6	3523	1610	-3989	2379
10	6,112	3,375	2735	2657	822,9	3545	1333	-3989	2657
11	6,750	3,375	2735	2934	823,3	3551	1254	-3989	2735
12	7,388	3,375	2735	2657	822,9	3545	1333	-3989	2657
13	8,025	3,375	2735	2379	819,6	3523	1610	-3989	2379
14	8,663	3,375	2735	2102	809,5	3495	1887	-3989	2102
15	9,301	3,375	2735	1825	792,9	3463	2164	-3989	1825
16	9,938	3,375	2735	1548	775,0	3424	2441	-3989	1548
17	10,58	3,375	2735	1271	757,1	3378	2718	-3989	1271
18	11,21	3,049	2471	993,8	739,2	3323	2995	-3989	993,8
19	11,85	2,199	1782	716,7	721,3	3260	3273	-3989	716,7
20	12,49	1,348	1093	439,6	453,4	3787	5485	-5924	439,6
21	13,13	0,498	403,8	162,4	435,5	3645	5762	-5924	162,4

Note : The location of the Plastic Neutral Axis is indicated from the bottom of the section

INTERNAL FORCES AND MOMENTS

Under elementary load cases

Permanent loads (G)

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 444,20$ kN
Right end : $R_{Bv} = 437,79$ kN

Maximum moment : $M_{Max} = 1511$ kNm in section no 23
Maximum shear force : $V_{Max} = -444,2$ kN in section no 1

Live loads 1 (Q1)

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 329,06$ kN
Right end : $R_{Bv} = 329,06$ kN

Maximum moment : $M_{Max} = 1111$ kNm in section no 23
Maximum shear force : $V_{Max} = -329,1$ kN in section no 1

Self weight (g)

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 173,68$ kN
Right end : $R_{Bv} = 173,68$ kN

Maximum moment : $M_{Max} = 586,2$ kNm in section no 23
Maximum shear force : $V_{Max} = -173,7$ kN in section no 1

Under ULS Combinations (Composite stage)

$$U1 = 1,35 G + 1,50 Q1$$

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 1093,26 \text{ kN}$
Right end : $R_{Bv} = 1084,61 \text{ kN}$

Maximum moment : $M_{Max} = 3706 \text{ kNm}$ in section no 23
Maximum shear force : $V_{Max} = -1093 \text{ kN}$ in section no 1

$$U2 = 1,35 G + 1,05 Q1$$

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 945,18 \text{ kN}$
Right end : $R_{Bv} = 936,53 \text{ kN}$

Maximum moment : $M_{Max} = 3206 \text{ kNm}$ in section no 23
Maximum shear force : $V_{Max} = -945,2 \text{ kN}$ in section no 1

ULTIMATE LIMIT STATES - COMPOSITE ACTION STAGE

Note: the calculation method applies to steel rolled profiles only.

Summary of the criteria**Degree of connection**

Minimal degree of connection = 0,715

Most unfavorable degree of connection (Comb. U1) : = 1,07 > 0,715 Satisfactory

S = Satisfactory NS = Not satisfactory

Checkings of net sections at openings

Resistance to bending moment (Open. no 19 - Comb. U1) :	$\Gamma_{M,max}$	= 0,240	< 1	S
Resistance to normal force (Open. no 11 - Comb. U1) :	$\Gamma_{N,max}$	= 0,840	< 1	S
Resistance to shear force (Open. no 8 - Comb. U1) :	$\Gamma_{V,max}$	= 0,709	< 1	S
Resistance to M+N interaction (Open. no 11 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MN,max}$	= 0,840	< 1	S
Resistance to N+V interaction (Open. no 11 - Comb. U1) :	$\Gamma_{NV,max}$	= 0,840	< 1	S
Resistance to M+V interaction (Open. no 19 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MV,max}$	= 0,241	< 1	S
Resistance to M+N+V interaction (Open. no 11 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MNV,max}$	= 0,840	< 1	S

Web checkings

According to web slenderness, shear buckling check not required ($h_w / t_w < 72\varepsilon / \eta$)

Posts checkings

Resistance to shear (Post no 18 - Comb. U1) :	$\Gamma_{Vh,max}$	= 0,911	< 1	S
Resistance to buckling	$\Gamma_{b,max}$	= 0,000	< 1	S
Minimum throat thickness (Post no 18 - Comb. U1) :	a_{min}	= 8,01 mm		
Warning: the throat thickness is assessed by assuming two welds				
The total thickness of welds should be at least 16,03 mm				

Gross sections checkings

Resistance to bending (Post no 10 - Comb. U1) :	$\Gamma_{Mg,max}$	= 0,785 (Classe 1)	< 1	S
Resistance to shear (Left end - Comb. U1) :	$\Gamma_{Vg,max}$	= 0,265	< 1	S

Warning

The local effects of the concentrated forces have not been taken into account in the checks

Transverse reinforcement

Design of transverse reinforcement for the longitudinal shear
According to EN 1994-1-1 § 6.6.6.1 and EN 1992-1-1 § 6.2.4

Synthesis

Criterion for the compression of concrete

$$\Gamma_{rc} = 0,999$$

$$\text{Obtained for } \vartheta = 27^\circ$$

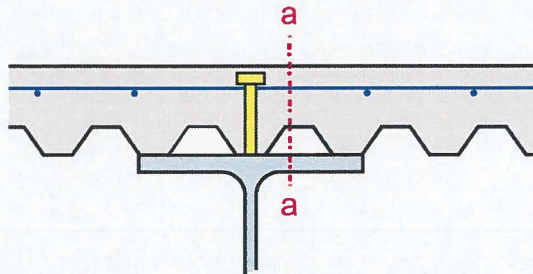
< 1 S

Minimal reinforcement = 0,51 cm²/m
according to clause 9.2.2 (5) of EN 1992-1-1

Required reinforcement according to calculations:

$$A_s/s_f = 2,49 \text{ cm}^2/\text{m}$$

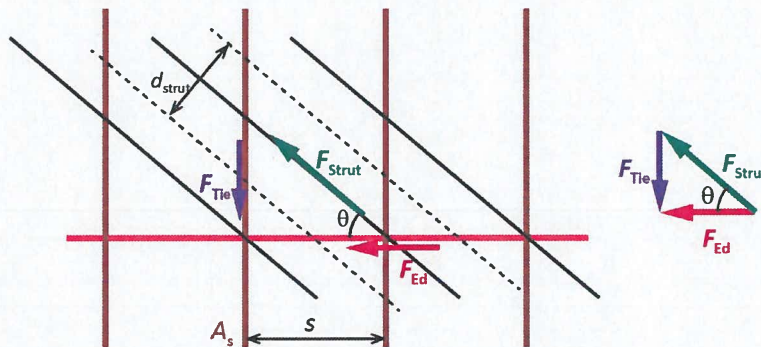
Assumptions



Transverse reinforcement is assumed to be uniform along the length of the beam.
Calculation according to the reinforcement configuration displayed above.
Any other configuration requires a specific calculation.

Detailed check - Concrete criterion

Combination U1		
Range	[0 ; 6,750 m]	(Maximal bending moment)
Shear length	$\Delta x = 6,431$ m	(Full connection)
Shear surface	a-a	
Shear surface length	$h_f = 71,50$ mm	
Change of normal force in the slab	$\Delta F_d = 1367$ kN	
Longitudinal shear stress	$v_{Ed} = 2,974$ MPa	
Resistance of concrete to compression	$f_{ck} = 20,00$ MPa	
	$\gamma_c = 1,50$	
	$f_{cd} = 13,33$ MPa	
Orientation of the struts	$\theta_f = 27,00^\circ$	
Stress reduction factor	$v = 0,55$	According to Eq 6.6N of EN 1992-1-1
Shear resistance of concrete	$v_{Rd} = v f_{ck} \sin\theta_f \cos\theta_f / \gamma_c$	
	$v_{Rd} = 2,977$ MPa	
Criterion	$\Gamma_{TC} = v_{Ed} / v_{Rd} = 0,999$	

**Detailed calculations - Transverse rebars**

Combination U1		
Shear surface	a-a	
Range	[0 ; 6,750 m]	(Maximal bending moment)
Shear length	$\Delta x = 6,431$ m	(Full connection)
Change of normal force in the slab	$\Delta F_d = 1367$ kN	
Longitudinal shear stress	$v_{Ed} = 2,974$ MPa	
Orientation of the struts	$\theta_f = 27,00^\circ$	
Force in the tie	$F_{Tie,Ed} = 417,3$ kN/m	
Reinforcement's steel	$f_{ys} = 500,0$ MPa	
	$\gamma_s = 1,15$	
Required reinforcement	$A_s / s_f = 2,49$ cm ² /m	

ULTIMATE LIMIT STATES - CONSTRUCTION STAGE

No combination defined for the construction stage

SERVICEABILITY LIMIT STATES (SLS)**Deflections**

v : Maximum vertical deflection of the beam

Under elementary load cases

Permanent loads except self weight (G^*) :	$v = 22,36$ mm (S23)	= L / 604
Self weight (steel beam under pouring of concrete) :	$v = 21,09$ mm	= L / 640
<i>Note: the concrete is assumed to have a constant depth</i>		
Live loads 1 (Q1) :	$v = 22,54$ mm (S23)	= L / 599
Deflection due to shrinkage of concrete (S) :	$v = 6,05$ mm ($M = 259,9$ kNm)	= L / 2233

Under SLS Combinations (composite stage)

S1 = 1,00 G + 1,00 Q1 + S :	$v = 72,0$ mm (S23)	= L / 187
S2 = 1,00 G + 1,00 Q1 + S :	$v = 72,0$ mm (S23)	= L / 187
S3 = 1,00 G + S :	$v = 49,5$ mm (S23)	= L / 273
S4 = 1,00 G + 0,70 Q1 + S :	$v = 65,3$ mm (S23)	= L / 207

The user has to check whether the deflections are acceptable according to the project requirements and to consider a precambering if necessary.

Natural frequencies

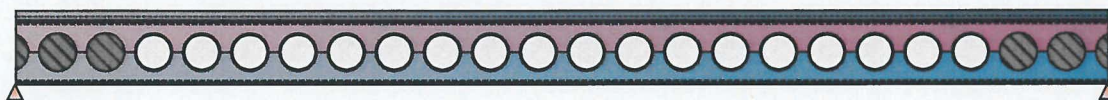
Load case / Combination	Mass assumed to be concentrated	Mass assumed to be distributed
G	2,85Hz	3,25Hz
G + 0,1 Q1	2,75Hz	3,14Hz
G + 0,2 Q1	2,66Hz	3,03Hz
G + 0,3 Q1	2,58Hz	2,94Hz
G + 0,4 Q1	2,51Hz	2,86Hz
G + 0,5 Q1	2,44Hz	2,78Hz

ACB+

V 3.15

PRELIMINARY DESIGN NOTE

Průvlak 4.NP



User : Tomáš Krábek

Company :

Project : Diplomová práce

Beam Ident : Průvlak 4.NP

Comment : Průvlak mezi sloupy G2 a G3

File : C:\Users\Krábek\Dropbox\Kompletace\Pruvlak_4NP.acb

Parameters

General Parameters

Composite Beam

Cutting :

End supports :

Horizontal span length :

Total number of openings :

Diameter of the openings :

Spacing between openings center :

Web post width :

Web post slenderness :

End web posts widths :

Height of the cellular beam :

Mass of steel beam :

Mass of concrete slab :

Mass of the steel sheeting :

Total mass of the beam :

Total paint surface :

Paint surface (without upper face) :

Massiveness :

Massiveness (without upper face) :

Ratio of flanges area :

Ratio H_t / a_0 :

Opening slenderness :

Web slenderness :

Process ArcelorMittal Cellular Beam

Simply supported beam

 $L = 14,50 \text{ m}$ $n = 22$ $a_0 = 500,0 \text{ mm}$ $e = 637,6 \text{ mm}$ $w = e - a_0 = 137,6 \text{ mm}$ $\alpha = e / a_0 = 1,275$ $w_{\text{end,l}} = 304,9 \text{ mm}$ $w_{\text{end,r}} = 304,9 \text{ mm}$ $H_t = 850,0 \text{ mm}$ $m = 2882 \text{ kg}$ $m = 32450 \text{ kg}$ (Slab width = 9,000 m) $m = 0 \text{ kg}$ $m = 35332 \text{ kg}$ $S = 37,47 \text{ m}^2$ $S' = 34,17 \text{ m}^2$ $M = 102,06 \text{ m}^{-1}$ $M' = 93,06 \text{ m}^{-1}$ $(b_f t_f)_{\text{max}} / (b_f t_f)_{\text{min}} = 1,00 < 4,50$ $H_t / a_0 = 1,70$ $1,25 < H_t / a_0 < 4,00$ $\beta = a_0 / t_w = 27,78 < 90,00$ $h_w / t_w = 41,44 < 124,0 \epsilon_w = 91,67$

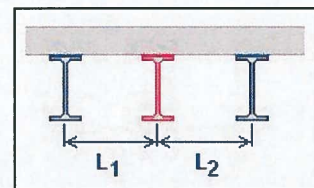
Position of the beam

The studied beam is an intermediate beam.

Spacing of the beam

- to the adjacent left beam : $L_1 = 9,000 \text{ m}$
- to the adjacent right beam : $L_2 = 9,000 \text{ m}$

Width for the calculation of the surface loads supported by the beam :

on the left side : $d_1 = 4,500 \text{ m}$ on the right side : $d_2 = 4,500 \text{ m}$ Total width : $d_1 + d_2 = 9,000 \text{ m}$ 

No slab opening near the beam

Lateral restraint

Concentrated lateral restraints :

	x (m)	Lateral restraints	
1	0,0	Both flanges	Origin section
2	1,450	Both flanges	
3	2,900	Both flanges	
4	4,350	Both flanges	
5	5,800	Both flanges	
6	7,250	Both flanges	
7	8,700	Both flanges	
8	10,15	Both flanges	
9	11,60	Both flanges	
10	13,05	Both flanges	
11	14,50	Both flanges	End section

Cross-section

	Upper chord	Lower chord
Base profile	IPE V 600	IPE V 600
Grade	S450	S450
h_t (mm)	618,0	618,0
b_f (mm)	228,0	228,0
t_f (mm)	28,0	28,0
t_w (mm)	18,0	18,0
r_c (mm)	24,0	24,0

Slab**Parameters**

Slab with profiled steel sheeting (ribs parallel to the beam)

Total depth : $E = 120,0 \text{ mm}$ **Construction stage**

No propping - verification of the steel beam in the construction phase

Concrete

Class : C20/25

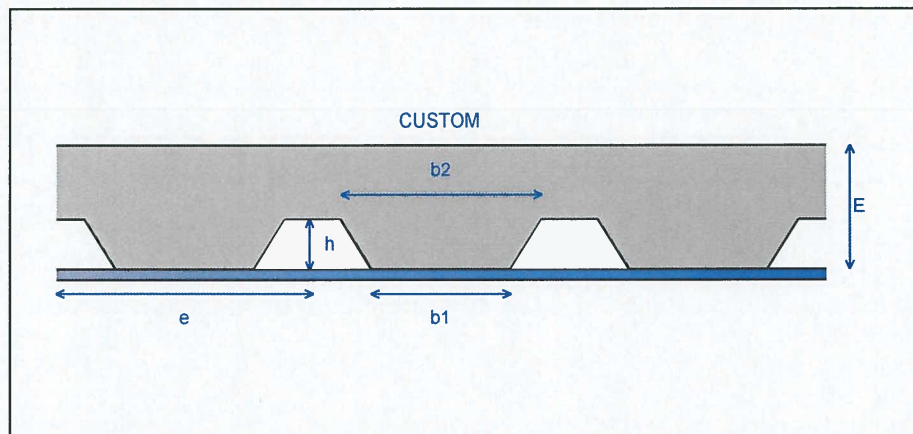
Density : 2400 kg/m^3 Shrinkage : 300×10^{-6} Properties : $f_{ck} = 20,00 \text{ MPa}$ $f_{ctm} = 2,210 \text{ MPa}$ $E_{cm} = 29962 \text{ MPa}$ Modular ratios : Short term : $C_{Eq} = 7,01$ Long term : $C_{Eq} = 21,03$ **Profiled steel sheeting**

Custom sheeting

Dimensions

 $b_1 = 135,0 \text{ mm}$ $b_2 = 196,0 \text{ mm}$ $e = 250,0 \text{ mm}$ $h = 48,5 \text{ mm}$

Profiled sheet without holes

**Connectors**TRW Nelson KB 7/8"-100 $d = 22,0 \text{ mm}$ $h = 100,0 \text{ mm}$ $f_y = 350 \text{ MPa}$ $f_u = 450 \text{ MPa}$ **Connectors arrangement** 1 zone of connection between the two ends :

One row of connectors every 200,0 mm

72 studs on the upper flange

Load cases**Permanent loads (G)**

Dead load : 23,90 kN/m
 Arising from : Mass of the steel beam : 2882 kg
 Width of the slab : 9,00 m
 Density of concrete : 2400 kg/m³
 Mass of the slab : 32450 kg
 Total mass : 35332 kg

Distributed loads :

	Location x ₁ (m)	Intensity q ₁ (kN/m)	Location x ₂ (m)	Intensity q ₂ (kN/m)	Orientation
2	0,0	31,84	14,50	31,84	Normal
3	0,0	5,240	14,50	5,240	Normal

Reactions at supports :

Left end : R_{Av} = 442,13 kN
 Right end : R_{Bv} = 442,13 kN

Live loads 1 (Q1)Psi factor $\psi_0 = 0,70$

Distributed loads :

	Location x ₁ (m)	Intensity q ₁ (kN/m)	Location x ₂ (m)	Intensity q ₂ (kN/m)	Orientation
1	0,0	45,00	14,50	45,00	Normal

Reactions at supports :

Left end : R_{Av} = 326,25 kN
 Right end : R_{Bv} = 326,25 kN

Partial factors

Factors on the loads :

$\gamma_{G, sup} = 1,350$
 $\gamma_{G, inf} = 1,000$
 $\gamma_Q = 1,500$

Factors on the resistance :

$\gamma_{M0} = 1,000$
 $\gamma_{M1} = 1,000$
 $\gamma_{M2} = 1,250$
 $\gamma_{M, fi} = 1,000$
 $\gamma_V = 1,250$
 $\gamma_{V, fi} = 1,000$
 $\gamma_C = 1,500$
 $\gamma_{C, fi} = 1,000$

Steel properties

	Both chords
Steel	S450 J0
Reduction curve from	EN 10025-2
Standard	EN 10025-2 : 2004
Flange f_y f_u (MPa)	430 550
Web f_y f_u (MPa)	430 550
Cross-section f_y f_u (MPa)	430 550
Cross-section ε	0,739

Databases 2017-01

Load combinations

Ultimate Limit States

U1 = 1,35 G + 1,50 Q1
 U2 = 1,35 G + 1,05 Q1

Serviceability Limit States

S1 = 1,00 G + 1,00 Q1
 S2 = 1,00 G + 1,00 Q1
 S3 = 1,00 G
 S4 = 1,00 G + 0,70 Q1

Fire Ultimate Limite States No combination
Construction Ultimate Limit States No combination
Construction Serviceability Limit States No combination

Plastic properties of the composite sections at opening sectionsSteel resistance : $F_{Steel} = 7978$ kN

Open.	x (m)	L _{Concrete} (m)	F _{Slab} (kN)	F _{Connec} (kN)	Z _{PNA} (mm)	M _{Rd} (kNm)	N _{m,top} (kN)	N _{m,bot} (kN)	N _{Slab} (kN)
1	0,555	0,740	599,6	241,2	440,6	3686	5683	-5924	241,2
2	1,193	1,590	1288	518,3	458,5	3826	5406	-5924	518,3
3	1,830	2,440	1977	795,4	726,4	3279	3194	-3989	795,4
4	2,468	3,290	2666	1073	744,3	3340	2917	-3989	1073
5	3,105	3,625	2937	1350	762,2	3393	2640	-3989	1350
6	3,743	3,625	2937	1627	780,1	3438	2362	-3989	1627
7	4,381	3,625	2937	1904	798,0	3476	2085	-3989	1904
8	5,018	3,625	2937	2181	813,1	3508	1808	-3989	2181
9	5,656	3,625	2937	2458	821,4	3535	1531	-3989	2458
10	6,294	3,625	2937	2735	823,3	3558	1254	-3989	2735
11	6,931	3,625	2937	3012	824,3	3574	1052	-3989	2937
12	7,569	3,625	2937	3012	824,3	3574	1052	-3989	2937
13	8,206	3,625	2937	2735	823,3	3558	1254	-3989	2735
14	8,844	3,625	2937	2458	821,4	3535	1531	-3989	2458
15	9,482	3,625	2937	2181	813,1	3508	1808	-3989	2181
16	10,12	3,625	2937	1904	798,0	3476	2085	-3989	1904
17	10,76	3,625	2937	1627	780,1	3438	2362	-3989	1627
18	11,39	3,625	2937	1350	762,2	3393	2640	-3989	1350
19	12,03	3,290	2666	1073	744,3	3340	2917	-3989	1073
20	12,67	2,440	1977	795,4	726,4	3279	3194	-3989	795,4
21	13,31	1,590	1288	518,3	458,5	3826	5406	-5924	518,3
22	13,95	0,740	599,6	241,2	440,6	3686	5683	-5924	241,2

Note : The location of the Plastic Neutral Axis is indicated from the bottom of the section

INTERNAL FORCES AND MOMENTS

Under elementary load cases

Permanent loads (G)

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 442,13 \text{ kN}$
Right end : $R_{Bv} = 442,13 \text{ kN}$

Maximum moment : $M_{Max} = 1603 \text{ kNm}$ in section no 24
Maximum shear force : $V_{Max} = -442,1 \text{ kN}$ in section no 1

Live loads 1 (Q1)

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 326,25 \text{ kN}$
Right end : $R_{Bv} = 326,25 \text{ kN}$

Maximum moment : $M_{Max} = 1183 \text{ kNm}$ in section no 24
Maximum shear force : $V_{Max} = -326,3 \text{ kN}$ in section no 1

Self weight (g)

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 173,30 \text{ kN}$
Right end : $R_{Bv} = 173,30 \text{ kN}$

Maximum moment : $M_{Max} = 628,2 \text{ kNm}$ in section no 24
Maximum shear force : $V_{Max} = -173,3 \text{ kN}$ in section no 1

ULTIMATE LIMIT STATES - COMPOSITE ACTION STAGE

Note: the calculation method applies to steel rolled profiles only.

Summary of the criteria**Degree of connection**

Minimal degree of connection = 0,740

Most unfavorable degree of connection (Comb. U1) : = 1,07 > 0,740 Satisfactory

S = Satisfactory NS = Not satisfactory

Checkings of net sections at openings

Resistance to bending moment (Open. no 3 - Comb. U1) :	$\Gamma_{M,max}$	= 0,241	< 1	S
Resistance to normal force (Open. no 12 - Comb. U1) :	$\Gamma_{N,max}$	= 0,885	< 1	S
Resistance to shear force (Open. no 9 - Comb. U1) :	$\Gamma_{V,max}$	= 0,744	< 1	S
Resistance to M+N interaction (Open. no 12 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MN,max}$	= 0,885	< 1	S
Resistance to N+V interaction (Open. no 12 - Comb. U1) :	$\Gamma_{NV,max}$	= 0,885	< 1	S
Resistance to M+V interaction (Open. no 3 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MV,max}$	= 0,242	< 1	S
Resistance to M+N+V interaction (Open. no 12 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MNV,max}$	= 0,885	< 1	S

Web checkings

According to web slenderness, shear buckling check not required ($h_w / t_w < 72\varepsilon / \eta$)

Posts checkings

Resistance to shear (Post no 3 - Comb. U1) :	$\Gamma_{Vh,max}$	= 0,884	< 1	S
Resistance to buckling	$\Gamma_{b,max}$	= 0,000	< 1	S
Minimum throat thickness (Post no 3 - Comb. U1) :	a_{min}	= 7,77 mm		
Warning: the throat thickness is assessed by assuming two welds The total thickness of welds should be at least 15,54 mm				

Gross sections checkings

Resistance to bending (Post no 11 - Comb. U1) :	$\Gamma_{Mg,max}$	= 0,824 (Classe 1)	< 1	S
Resistance to shear (Left end - Comb. U1) :	$\Gamma_{Vg,max}$	= 0,263	< 1	S

Transverse reinforcement

Design of transverse reinforcement for the longitudinal shear
According to EN 1994-1-1 § 6.6.6.1 and EN 1992-1-1 § 6.2.4

Synthesis

Criterion for the compression of concrete

$$\Gamma_{rc} = 0,995$$

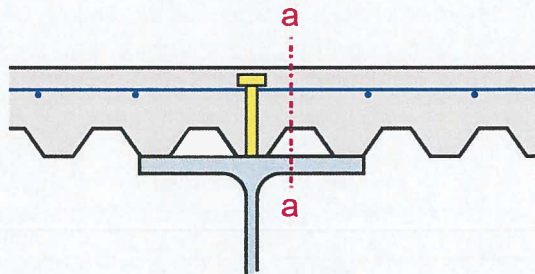
$$\text{Obtained for } \vartheta = 27^\circ$$

< 1 S

Minimal reinforcement = 0,51 cm²/m
according to clause 9.2.2 (5) of EN 1992-1-1

Required reinforcement according to calculations:
 $A_s/s_r = 2,48 \text{ cm}^2/\text{m}$

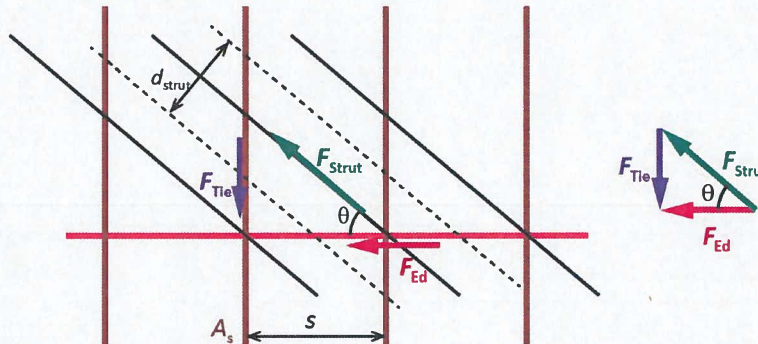
Assumptions



Transverse reinforcement is assumed to be uniform along the length of the beam.
Calculation according to the reinforcement configuration displayed above.
Any other configuration requires a specific calculation.

Detailed check - Concrete criterion

Combination U1		
Range	[0 ; 7,250 m]	(Maximal bending moment)
Shear length	$\Delta x = 6,931$ m	(Full connection)
Shear surface	a-a	
Shear surface length	$h_f = 71,50$ mm	
Change of normal force in the slab	$\Delta F_d = 1469$ kN	
Longitudinal shear stress	$v_{Ed} = 2,964$ MPa	
Resistance of concrete to compression	$f_{ck} = 20,00$ MPa	
	$\gamma_c = 1,50$	
	$f_{cd} = 13,33$ MPa	
Orientation of the struts	$\theta_f = 27,00^\circ$	
Stress reduction factor	$v = 0,55$	According to Eq 6.6N of EN 1992-1-1
Shear resistance of concrete	$v_{Rd} = v f_{ck} \sin\theta_f \cos\theta_f / \gamma_c$	
	$v_{Rd} = 2,977$ MPa	
Criterion	$\Gamma_{rc} = v_{Ed} / v_{Rd} = 0,995$	



Detailed calculations - Transverse rebars

Combination U1		
Shear surface	a-a	
Range	[0 ; 7,250 m]	(Maximal bending moment)
Shear length	$\Delta x = 6,931$ m	(Full connection)
Change of normal force in the slab	$\Delta F_d = 1469$ kN	
Longitudinal shear stress	$v_{Ed} = 2,964$ MPa	
Orientation of the struts	$\theta_f = 27,00^\circ$	
Force in the tie	$F_{Tie,Ed} = 415,9$ kN/m	
Reinforcement's steel	$f_{ys} = 500,0$ MPa	
	$\gamma_s = 1,15$	
Required reinforcement	$A_s / s_f = 2,48$ cm ² /m	

ULTIMATE LIMIT STATES - CONSTRUCTION STAGE

No combination defined for the construction stage

SERVICEABILITY LIMIT STATES (SLS)**Deflections**

v : Maximum vertical deflection of the beam

Under elementary load cases

Permanent loads except self weight (G^*) :	$v = 25,88$ mm (S24)	= L / 560
Self weight (steel beam under pouring of concrete) :	$v = 25,62$ mm	= L / 566
<i>Note: the concrete is assumed to have a constant depth</i>		
Live loads 1 (Q1) :	$v = 26,23$ mm (S24)	= L / 553
Deflection due to shrinkage of concrete (S) :	$v = 7,16$ mm ($M = 273,2$ kNm)	= L / 2026

Under SLS Combinations (composite stage)

S1 = 1,00 G + 1,00 Q1 + S :	$v = 84,9$ mm (S24)	= L / 171
S2 = 1,00 G + 1,00 Q1 + S :	$v = 84,9$ mm (S24)	= L / 171
S3 = 1,00 G + S :	$v = 58,7$ mm (S24)	= L / 247
S4 = 1,00 G + 0,70 Q1 + S :	$v = 77,0$ mm (S24)	= L / 188

The user has to check whether the deflections are acceptable according to the project requirements and to consider a precambering if necessary.

Natural frequencies

Load case / Combination	Mass assumed to be concentrated	Mass assumed to be distributed
G	2,65Hz	3,02Hz
G + 0,1 Q1	2,56Hz	2,91Hz
G + 0,2 Q1	2,47Hz	2,82Hz
G + 0,3 Q1	2,40Hz	2,73Hz
G + 0,4 Q1	2,33Hz	2,65Hz
G + 0,5 Q1	2,27Hz	2,58Hz

ACB+

V 3.15

PRELIMINARY DESIGN NOTE

Střešní vazník



User : Tomáš Krábek

Company :

Project : Diplomová práce

Beam Ident : Střešní vazník

Comment : Průvlak mezi sloupy D3 a F3

File : C:\Users\Krábek\Dropbox\Kompletace\Stresni_pruvlak.acb

20/05/2018

Software use conditions apply

1 / 11

Parameters

General Parameters

Non composite Beam

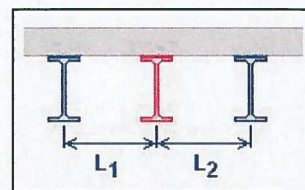
Configuration :	Straight beam with constant height	
Cutting :	Process ArcelorMittal Cellular Beam	
End supports :	Simply supported beam	
Horizontal span length :	L = 19,50 m	
Total number of openings :	n = 30	
Diameter of the openings :	$a_0 = 500,0$ mm	
Spacing between openings center :	e = 637,6 mm	
Web post width :	w = e - a_0 = 137,6 mm	
Web post slenderness :	$\alpha = e / a_0 = 1,275$	
End web posts widths :	$w_{\text{end,l}} = 254,4$ mm	$w_{\text{end,r}} = 254,4$ mm
Height of the cellular beam :	$H_t = 850,0$ mm	
Mass :	m = 3552 kg	
Total paint surface :	S = 41,36 m ²	
Paint surface (without upper face) :	S' = 36,91 m ²	
Massiveness :	M = 91,41 m ⁻¹	
Massiveness (without upper face) :	M' = 81,58 m ⁻¹	
Ratio of flanges area :	$(b_f t_f)_{\text{max}} / (b_f t_f)_{\text{min}} = 1,00 < 4,50$	
Ratio H_t / a_0 :	$H_t / a_0 = 1,70$ $1,25 < H_t / a_0 < 4,00$	
Opening slenderness :	$\beta = a_0 / t_w = 27,78 < 90,00$	
Web slenderness :	$h_w / t_w = 41,44 < 124,0$ $\epsilon_w = 102,3$	

Position of the beam

The studied beam is an intermediate beam.

Spacing of the beam	- to the adjacent left beam :	$L_1 = 14,50$ m
	- to the adjacent right beam :	$L_2 = 13,50$ m

Width for the calculation of the surface loads supported by the beam :	
on the left side :	$d_1 = 7,250$ m
on the right side :	$d_2 = 6,750$ m
Total width :	$d_1 + d_2 = 14,00$ m



Lateral restraint

Concentrated lateral restraints :

	x (m)	Lateral restraints	
1	0,0	Both flanges	Origin section
2	1,500	Both flanges	
3	3,000	Both flanges	
4	4,500	Both flanges	
5	6,000	Both flanges	
6	7,500	Both flanges	
7	9,000	Both flanges	
8	10,50	Both flanges	
9	12,00	Both flanges	
10	13,50	Both flanges	
11	15,00	Both flanges	
12	16,50	Both flanges	
13	18,00	Both flanges	
14	19,50	Both flanges	End section

Cross-section

	Upper chord	Lower chord
Base profile	IPE V 600	IPE V 600
Grade	S355	S355
h_t (mm)	618,0	618,0
b_f (mm)	228,0	228,0
t_f (mm)	28,0	28,0
t_w (mm)	18,0	18,0
r_c (mm)	24,0	24,0

Load cases**Permanent loads (G)**

Dead load : 1,79 kN/m

Arising from :

Mass of the steel beam : 3552 kg

Distributed loads :

	Location x_1 (m)	Intensity q_1 (kN/m)	Location x_2 (m)	Intensity q_2 (kN/m)	Orientation
2	0,0	24,37	19,50	24,37	Vertical
3	0,0	2,800	19,50	2,800	Normal

Reactions at supports :

Left end : $R_{Av} = 282,37$ kNRight end : $R_{Bv} = 282,37$ kN**Live loads 1 (Q1)**Psi factor $\psi_0 = 0,70$

Distributed loads :

	Location x_1 (m)	Intensity q_1 (kN/m)	Location x_2 (m)	Intensity q_2 (kN/m)	Orientation
1	0,0	7,840	19,50	7,840	Normal

Reactions at supports :

Left end : $R_{Av} = 76,44$ kNRight end : $R_{Bv} = 76,44$ kN**Live loads 2 (Q2)**Psi factor $\psi_0 = 0,70$

Distributed loads :

	Location x_1 (m)	Intensity q_1 (kN/m)	Location x_2 (m)	Intensity q_2 (kN/m)	Orientation
1	0,0	-7,910	19,50	-7,910	Normal

Reactions at supports :

Left end : $R_{Av} = -77,12$ kNRight end : $R_{Bv} = -77,12$ kN**Partial factors**

Factors on the loads :

 $\gamma_{G.sup} = 1,350$ $\gamma_{G.inf} = 1,000$ $\gamma_Q = 1,500$

Factors on the resistance :

 $\gamma_{M0} = 1,000$ $\gamma_{M1} = 1,000$ $\gamma_{M2} = 1,250$ $\gamma_{M,fi} = 1,000$

Steel properties

	Both chords
Steel	S355 M/ML
Reduction curve from	EN 10025-4
Standard	EN 10025-4 : 2004
Flange f_y f_u (MPa)	345 470
Web f_y f_u (MPa)	345 470
Cross-section f_y f_u (MPa)	345 470
Cross-section ϵ	0,825

Databases 2017-01

Load combinations*Ultimate Limit States*

U1 = 1,35 G + 1,50 Q1 + 1,05 Q2

U2 = 1,35 G + 1,05 Q1 + 1,50 Q2

Serviceability Limit States

S1 = 1,00 G + 1,00 Q1

S2 = 1,00 G + 1,00 Q1 + 0,70 Q2

S3 = 1,00 G + 1,00 Q2

S4 = 1,00 G + 0,70 Q1 + 1,00 Q2

Fire Ultimate Limite States

No combination

INTERNAL FORCES AND MOMENTS

Under elementary load cases

Permanent loads (G)

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 282,37 \text{ kN}$
Right end : $R_{Bv} = 282,37 \text{ kN}$

Maximum moment : $M_{Max} = 1377 \text{ kNm}$ in section no 32
Maximum shear force : $V_{Max} = -282,4 \text{ kN}$ in section no 1

Live loads 1 (Q1)

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = 76,44 \text{ kN}$
Right end : $R_{Bv} = 76,44 \text{ kN}$

Maximum moment : $M_{Max} = 372,6 \text{ kNm}$ in section no 32
Maximum shear force : $V_{Max} = -76,44 \text{ kN}$ in section no 1

Live loads 2 (Q2)

Reactions at supports : Left end : $R_{Av} = -77,12 \text{ kN}$
Right end : $R_{Bv} = -77,12 \text{ kN}$

Maximum moment : $M_{Max} = -376,0 \text{ kNm}$ in section no 32
Maximum shear force : $V_{Max} = 77,12 \text{ kN}$ in section no 1

Under ULS Combinations

$$U1 = 1,35 G + 1,50 Q1 + 1,05 Q2$$

Reactions at supports :

Left end : $R_{Av} = 414,88 \text{ kN}$ Right end : $R_{Bv} = 414,88 \text{ kN}$

Maximum moment :

 $M_{Max} = 2023 \text{ kNm}$ in section no 32

Maximum shear force :

 $V_{Max} = -414,9 \text{ kN}$ in section no 1

$$U2 = 1,35 G + 1,05 Q1 + 1,50 Q2$$

Reactions at supports :

Left end : $R_{Av} = 345,78 \text{ kN}$ Right end : $R_{Bv} = 345,78 \text{ kN}$

Maximum moment :

 $M_{Max} = 1686 \text{ kNm}$ in section no 32

Maximum shear force :

 $V_{Max} = -345,8 \text{ kN}$ in section no 1

ULTIMATE LIMIT STATES (ULS)

Note: the calculation method applies to steel rolled profiles only.

Summary of the criteria

S = Satisfactory NS = Not satisfactory

Checkings of net sections at openings

Resistance to bending moment (Open. no 2 - Comb. U1) :	$\Gamma_{M,max}$	= 0,263	< 1	S
Resistance to normal force (Open. no 13 - Comb. U1) :	$\Gamma_{N,max}$	= 0,798	< 1	S
Resistance to shear force (Open. no 13 - Comb. U1) :	$\Gamma_{V,max}$	= 0,628	< 1	S
Resistance to M+N interaction (Open. no 13 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MN,max}$	= 0,816	< 1	S
Resistance to N+V interaction (Open. no 13 - Comb. U1) :	$\Gamma_{NV,max}$	= 0,798	< 1	S
Resistance to M+V interaction (Open. no 2 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MV,max}$	= 0,263	< 1	S
Resistance to M+N+V interaction (Open. no 13 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MNV,max}$	= 0,816	< 1	S

Web checkings

According to web slenderness, shear buckling check not required ($h_w / t_w < 72\varepsilon / \eta$)

Posts checkings

Resistance to shear (Post no 28 - Comb. U1) :	$\Gamma_{Vh,max}$	= 0,591	< 1	S
Resistance to buckling (Post no 2 - Comb. U1) :	$\Gamma_{b,max}$	= 0,593	< 1	S
Minimum throat thickness (Post no 2 - Comb. U1) :	a_{min}	= 4,39 mm		
Warning: the throat thickness is assessed by assuming two welds The total thickness of welds should be at least 8,79 mm				

Gross sections checkings

Resistance to bending (Post no 15 - Comb. U1) :	$\Gamma_{Mg,max}$	= 0,708 (Classe 1)	< 1	S
Resistance to shear (Left end - Comb. U1) :	$\Gamma_{Vg,max}$	= 0,125	< 1	S

Other checkings

Resistance to lateral torsional buckling	$\Gamma_{LT,max}$	= 0,864	< 1	S
--	-------------------	---------	-----	---

SERVICEABILITY LIMIT STATES (SLS)**Deflections**

v : Maximum vertical deflection of the beam

Under elementary load cases

Permanent loads (G) :	$v = 94,98 \text{ mm (S31)}$	= L / 205
Live loads 1 (Q1) :	$v = 25,71 \text{ mm (S31)}$	= L / 758
Live loads 2 (Q2) :	$v = -25,94 \text{ mm (S31)}$	= L / 752

Under SLS Combinations

S1 = 1,00 G + 1,00 Q1 :	$v = 121 \text{ mm (S31)}$	= L / 162
S2 = 1,00 G + 1,00 Q1 + 0,70 Q2 :	$v = 103 \text{ mm (S31)}$	= L / 190
S3 = 1,00 G + 1,00 Q2 :	$v = 69,0 \text{ mm (S31)}$	= L / 282
S4 = 1,00 G + 0,70 Q1 + 1,00 Q2 :	$v = 87,0 \text{ mm (S31)}$	= L / 224

The user has to check whether the deflections are acceptable according to the project requirements and to consider a precambering if necessary.

Natural frequencies

Load case / Combination	Mass assumed to be concentrated	Mass assumed to be distributed
G	1,62Hz	1,85Hz
G + 0,1 Q1	1,60Hz	1,82Hz
G + 0,2 Q1	1,58Hz	1,80Hz
G + 0,3 Q1	1,56Hz	1,78Hz
G + 0,4 Q1	1,54Hz	1,75Hz
G + 0,5 Q1	1,52Hz	1,73Hz

3.4. Návrh a posouzení sloupů

3.4.1. Sloup - E4

Celková osová síla ve sloupu:

- spočítáno pomocí programu Scia Engineer 2017

$$N_{Ed} = 2\,270,00 \text{ kN}$$

Návrh:

Profil: **HEB 300** Ocel: S 355 $f_y = 355 \text{ Mpa}$

$A = 14\,908 \text{ mm}^2$	$I_y = 2,517E+08 \text{ mm}^4$	$I_z = 8,563E+07 \text{ mm}^4$
$b = 300 \text{ mm}$	$W_y = 1,678E+06 \text{ mm}^3$	$W_z = 5,709E+05 \text{ mm}^3$
$h = 300 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 1,869E+06 \text{ mm}^3$	$W_{pl,z} = 8,701E+05 \text{ mm}^3$
$t_w = 11 \text{ mm}$	$i_y = 129,9 \text{ mm}$	$i_z = 75,79 \text{ mm}$
$t_f = 19 \text{ mm}$	$d = 208 \text{ mm}$	$G = 117,026 \text{ kg/m}$
$r = 27 \text{ mm}$	$I_w = 1,688E+12 \text{ mm}^6$	$I_t = 1850454,094 \text{ mm}^4$
$\gamma_{M0} = 1,0$	$\gamma_{M1} = 1,0$	$\gamma_{M2} = 1$

Posouzení na rovinný vzpěr:

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,y} = 4000 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 4000 \text{ m}$$

Pružná kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = 32\,599,218 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = 11\,092,156 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = 0,403$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = 0,691$$

Součinitel vzpěrnosti

- pro vybočení k ose **y** křivka vzpěrnosti **b** $\alpha = 0,34$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}} = 0,925$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,616$$

- pro vybočení k ose **z** křivka vzpěrnosti **c** $\alpha = 0,49$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_z^2}} = 0,730$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,859$$

Vzpěrná tlaková únosnost:

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot A \cdot f_y = 0,616 \cdot 14908 \cdot 355 = 3\,258,27 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{2\,270,00}{3\,258,27} = 0,697 < 1$$

Průřez vyhovuje na rovinný vzpěr

Posouzení na prostorový vzpěr:

Kritická síla

$$i_p^2 = i_z^2 + i_y^2 = 22\,624,75 \text{ mm}^2$$

$$N_{cr} = \frac{1}{i_p^2} \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{cr,T}^2} \right) = 16\,288,40 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 0,570$$

Součinitel vzpěrnosti $\alpha = 0,49$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_T^2}} = 1,341$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_T - 0,2) + \lambda_T^2] = 0,591$$

Vzpěrná tlaková únosnost:

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot A \cdot f_y = 1,341 \cdot 14908 \cdot 355 = 7\,099,49 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{2\,270,00}{7\,099,49} = 0,320 < 1$$

Průřez vyhovuje na prostorový vzpěr

3.4.2. Sloup - 1.NP

- vložený sloup pro podporu ochozu u komunikačního jádra

Celková osová síla ve sloupu:

- spočítáno pomocí programu Scia Engineer 2017

$$N_{Ed} = 746,78 \text{ kN}$$

Návrh:

Profil: **HEB 140** Ocel: S 235 $f_y = 235$ Mpa

$$\begin{aligned} A &= 4\,296 \text{ mm}^2 & I_y &= 1,509E+07 \text{ mm}^4 & I_z &= 5,497E+06 \text{ mm}^4 \\ b &= 140 \text{ mm} & W_y &= 2,156E+05 \text{ mm}^3 & W_z &= 7,852E+04 \text{ mm}^3 \\ h &= 140 \text{ mm} & W_{pl,y} &= 2,454E+05 \text{ mm}^3 & W_{pl,z} &= 1,198E+05 \text{ mm}^3 \\ t_w &= 7 \text{ mm} & i_y &= 59,3 \text{ mm} & i_z &= 35,77 \text{ mm} \\ t_f &= 12 \text{ mm} & d &= 92 \text{ mm} & G &= 33,721 \text{ kg/m} \\ r &= 12 \text{ mm} & I_w &= 2,248E+10 \text{ mm}^6 & I_t &= 200589,25 \text{ mm}^4 \\ \gamma_{M0} &= 1,0 & \gamma_{M1} &= 1,0 & \gamma_{M2} &= 1 \end{aligned}$$

Posouzení na rovinný vzpěr:

Vzpěrné délky:

$$L_{cr,y} = 4000 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 4000 \text{ m}$$

Pružná kritická síla:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = 1\,955,034 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = 712,029 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = 0,719$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = 1,191$$

Součinitel vzpěrnosti

- pro vybočení k ose **y** křivka vzpěrnosti **b** $\alpha = 0,34$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}} = 0,773$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,846$$

- pro vybočení k ose **z** křivka vzpěrnosti **c** $\alpha = 0,49$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_z^2}} = 0,438$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 1,452$$

Vzpěrná tlaková únosnost:

$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot A \cdot f_y = 0,846 \cdot 4296 \cdot 235 = 854,34 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{746,78}{854,34} = 0,874 < 1$$

Průřez vyhovuje na rovinný vzpěr

Posouzení na prostorový vzpěr:

Kritická síla

$$i_p^2 = i_z^2 + i_y^2 = 4\,793,02 \text{ mm}^2$$

$$N_{cr} = \frac{1}{i_p^2} \left(G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{cr,T}^2} \right) = 3\,997,40 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_T = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 0,503$$

Součinitel vzpěrnosti $\alpha = 0,49$

$$\chi_T = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_T^2}} = 1,174$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_T - 0,2) + \lambda_T^2] = 0,574$$

Vzpěrná tlaková únosnost:

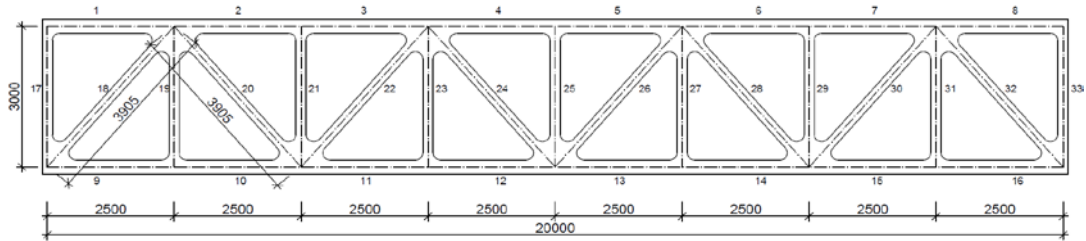
$$N_{b,Rd} = \chi_{min} \cdot A \cdot f_y = 1,174 \cdot 4296 \cdot 235 = 1\,185,17 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{746,78}{1\,185,17} = 0,630 < 1$$

Průřez vyhovuje na prostorový vzpěr

3.5. Příhradová konstrukce

Schéma konstrukce



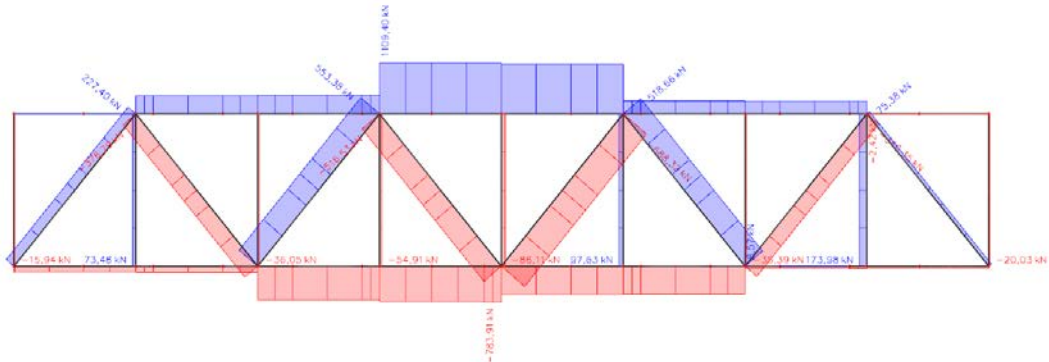
Posouzení prutů

Ocel: S 235 $f_y = 235 \text{ Mpa}$ $\alpha = 0,49$

$$\lambda_1 = 93,9 \quad \lambda_1 = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \text{- křivka vzpěrné pevnosti c}$$

Vnitřní síly

- spočítáno pomocí programu Scia Engineer 2017



Profil 1 - spodní pás

Profil: 180x100x10

$$\begin{aligned} h &= 180 \text{ mm} & i_y &= 63,308 \text{ mm} & I_y &= 20\,400\,000,00 \text{ mm}^4 \\ b &= 100 \text{ mm} & i_z &= 39,321 \text{ mm} & I_z &= 7\,870\,000 \text{ mm}^4 \\ t &= 10,0 \text{ mm} & A &= 5\,090 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Profil 2 - diagonála

Profil: 180x100x10

$$\begin{aligned} h &= 180 \text{ mm} & i_y &= 63,3076 \text{ mm} & I_y &= 20\,400\,000 \text{ mm}^4 \\ b &= 100 \text{ mm} & i_z &= 39,3214 \text{ mm} & I_z &= 7\,870\,000 \text{ mm}^4 \\ t &= 10,0 \text{ mm} & A &= 5\,090 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Profil 3 - svislý prut

Profil: 180x100x10

$$\begin{aligned} h &= 180 \text{ mm} & i_y &= 63,3076 \text{ mm} & I_y &= 20\,400\,000 \text{ mm}^4 \\ b &= 100 \text{ mm} & i_z &= 39,3214 \text{ mm} & I_z &= 7\,870\,000 \text{ mm}^4 \\ t &= 10,0 \text{ mm} & A &= 5\,090 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Profil 4 - horní pás

Profil: 180x100x10

$$\begin{aligned}
 h &= 180 \text{ mm} & i_y &= 63,308 \text{ mm} & I_y &= 20\,400\,000,00 \text{ mm}^4 \\
 b &= 100 \text{ mm} & i_z &= 39,321 \text{ mm} & I_z &= 7\,870\,000 \text{ mm}^4 \\
 t &= 10,0 \text{ mm} & A &= 5\,090 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tažené pruty

Prut	$N_{Ed}(\text{tlak})$	Profil	$N_{t,Rd}$	$N_{Ed} / N_{t,Rd}$	
	kN		kN		
2	395,75	4	1 196,15	0,331	< 1,0
3	406,7	4	1 196,15	0,340	< 1,0
4	1109,4	4	1 196,15	0,927	< 1,0
5	1080,44	4	1 196,15	0,903	< 1,0
6	282,37	4	1 196,15	0,236	< 1,0
7	269,6	4	1 196,15	0,225	< 1,0
18	227,4	2	1 196,15	0,190	< 1,0
22	553,38	2	1 196,15	0,463	< 1,0
28	518,66	2	1 196,15	0,434	< 1,0

Vzorce použité v tabulce

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_y$$

- vnitřní síly spočítány programem Scia Engineer 2017

Tlačené pruty

Prut	$N_{Ed}(\text{tlak})$	Profil	L	L_{cr}	λ	λ_{rel}	ϕ	χ	$N_{b,Rd}$	$N_{Ed} / N_{b,Rd}$	
	kN		mm	mm					kN		
20	376,79	2	3905	3905	61,68	0,657	0,83	0,751	898,51	0,419	< 1,0
24	516,53	2	3905	3905	61,68	0,657	0,83	0,751	898,51	0,575	< 1,0
26	688,32	2	3905	3905	61,68	0,657	0,83	0,751	898,51	0,766	< 1,0
30	346,35	2	3905	3905	61,68	0,657	0,83	0,751	898,51	0,385	< 1,0
11	734,18	4	2500	2500	39,49	0,421	0,64	0,886	1 060,26	0,692	< 1,0
12	767,67	4	2500	2500	39,49	0,421	0,64	0,886	1 060,26	0,724	< 1,0
13	616,81	4	2500	2500	39,49	0,421	0,64	0,886	1 060,26	0,582	< 1,0
14	604,29	4	2500	2500	39,49	0,421	0,64	0,886	1 060,26	0,570	< 1,0

- vnitřní síly spočítány programem Scia Engineer 2017

Vzorce použité v tabulce

$$\begin{aligned}
 &\text{- štíhlost} && \text{- poměrná štíhlost} \\
 \lambda &= \frac{L_{cr}}{i} && \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\lambda_1} && N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y
 \end{aligned}$$

- součinitel vzpěrnosti

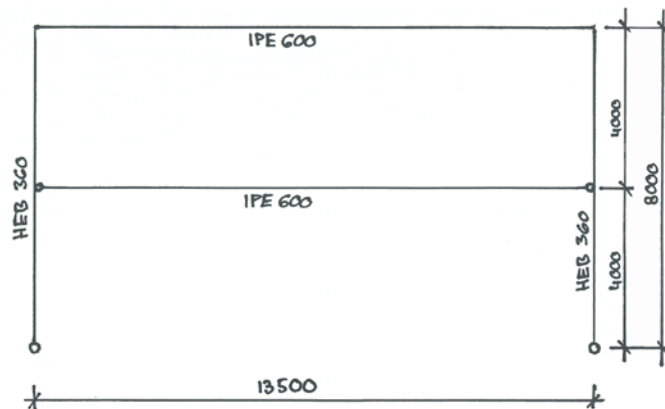
$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}} \quad \phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2]$$

3.6. Ztužující rám

Schéma konstrukce

$$L_p = 13,5 \text{ m}$$

$$h_{sl} = 8 \text{ m}$$



Zatížení

$$g_0 = 1,224 \text{ kN/m}$$

$$g_k = 5,307 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 7,5 \text{ kN/m}$$

Imperfekce

$$\alpha_n = \frac{2}{\sqrt{h}} = 0,7071 \quad 2/3 \leq \alpha_n \leq 1$$

$$m = 2$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = 0,866$$

Natočení sloupů

$$\theta_0 = \frac{1}{200}$$

$$\theta = \theta_0 \cdot \alpha_n \cdot \alpha_m = 0,0031$$

Výpočet ekvivalentní vodorovné síly

$$H_{g,k} = (g_0 + g_k) \cdot L \cdot \theta = (1,224 + 5,307) \cdot 13,5 \cdot 0,00306 = 0,27 \text{ kN}$$

$$H_{q,k} = q_k \cdot L \cdot \theta = 7,5 \cdot 13,5 \cdot 0,00306 = 0,31 \text{ kN}$$

Klasifikace rámu

- pokud platí následující výraz, můžeme provést analýzu podle teorie I.řádu

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{Ed}} > 1$$

α_{cr} - stanoveno pomocí programu Scia Engineer 2017

Kombinace č.1

$$(g_0 + g_{ost})_k \cdot \gamma_G \text{ "+" } (q_{w,k}^D + q_{w,k}^E) \cdot \gamma_Q \text{ "+" } q_s \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 \text{ "+" } H_{g,k} \cdot \gamma_G \text{ "+" } H_{q,k} \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0$$

Kombinace č.2

$$(g_0 + g_{ost})_k \cdot \gamma_G \text{ "+" } q_s \cdot \gamma_Q \text{ "+" } (q_{w,k}^D + q_{w,k}^E) \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 \text{ "+" } H_{g,k} \cdot \gamma_G \text{ "+" } H_{q,k} \cdot \gamma_Q$$

$$\alpha_{cr,I} = 14,86$$

$$\alpha_{cr,II} = 10,86$$

Je možné provést analýzu dle teorie I.řádu

Posouzení:

Mezní stav použitelnosti

$$w_1 = 1 \text{ mm} \quad - \text{průhyb od vlastní tíhy}$$

$$w_2 = 6 \text{ mm} \quad - \text{průhyb od stálého zatížení}$$

$$w_3 = 8,0 \text{ mm} \quad - \text{průhyb od užitého zatížení}$$

$$w_{ek} = w_1 + w_2 + w_3 = 1,3 + 5,6 + 8 = 14,9 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{13500}{250} = 54 \text{ mm}$$

$$w_{ek} = 14,9 \text{ mm} < \delta_{lim} = 54 \text{ mm}$$

Mezní stav únosnosti

Posouzení sloupu rámu

Profil: **HEB 360** Ocel: S 450 $f_y = 450 \text{ Mpa}$

$$A = 18063 \text{ mm}^2 \quad I_y = 4,319E+08 \text{ mm}^4 \quad I_z = 1,014E+08 \text{ mm}^4$$

$$b = 300 \text{ mm} \quad W_y = 2,400E+06 \text{ mm}^3 \quad W_z = 6,761E+05 \text{ mm}^3$$

$$h = 360 \text{ mm} \quad W_{pl,y} = 2,683E+06 \text{ mm}^3 \quad W_{pl,z} = 1,032E+06 \text{ mm}^3$$

$$t_w = 12,5 \text{ mm} \quad i_y = 154,6 \text{ mm} \quad i_z = 74,93 \text{ mm}$$

$$t_f = 22,5 \text{ mm}$$

$$r = 27 \text{ mm} \quad I_w = 2,883E+12 \text{ mm}^6 \quad I_t = 2924527,96 \text{ mm}^4$$

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M1} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1$$

Posouzení na ohyb a tlak s vlivem stability

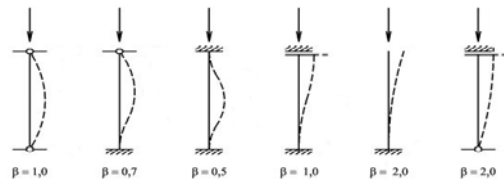
Vstupní hodnoty

$$L_y = 4000 \text{ mm} \quad \beta_y = 1$$

$$L_z = 4000 \text{ mm} \quad \beta_z = 1$$

$$L_{cr,y} = 4000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 4000 \text{ mm} \quad L_{cr,i} = \beta_i L_i$$

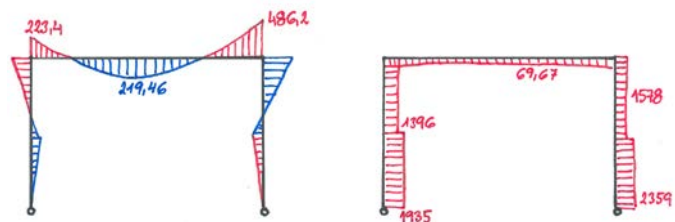


Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 2329 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 486,19 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 0 \text{ kNm}$$



Štíhlost

$$\lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i} \quad \lambda_y = 25,867 \quad \lambda_z = 53,38 \quad \lambda_1 = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \lambda_1 = 67,9$$

poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = 0,381 \quad \bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,787$$

součinitele vzpěrnosti

- pro vybočení k ose **y** křivka vzpěrnosti **b** $\alpha = 0,34$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}} = 0,933$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,6035$$

- pro vybočení k ose **z** křivka vzpěrnosti **c** $\alpha = 0,49$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_z^2}} = 0,670$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,953$$

$$\chi_y = 0,933$$

$$\chi_z = 0,670$$

Klopení

Výpočet kritického momentu

Parametr kroucení

$$c_{1,0} = 1,77$$

$$\kappa_{wt} = 1,256$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

$$c_{1,1} = 1,85$$

$$c_1 = 1,87$$

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0})\kappa_{wt}$$

$$k_w = 1,0$$

Kritický moment

$$k_z = 1,0$$

$$\mu_{cr} = 3,00$$

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2}$$

$$k_y = 0,5$$

Pružný kritický moment

$$M_{cr} = 5296,5 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,477$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}$$

Součinitel klopení

$$\alpha_{LT} = 0,3$$

$$\Phi_{LT} = 0,661$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = 0,677$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

Interakční součinitele

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu:

$$\begin{aligned} c_{my} &= 0,9 & N_{Rk} &= 8128,5 \text{ kN} & N_{Rk} &= A \cdot f_y \\ c_{mLT} &= 0,6 & M_{Rk,y} &= 1207,3 \text{ kNm} & M_{Rk,y} &= W_{pl,y} \cdot f_y \\ c_{mz} &= 0,4 & M_{Rk,z} &= 464,62 \text{ kNm} & M_{Rk,z} &= W_{pl,z} \cdot f_y \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_{yy,1} &= 0,950 \\ k_{yy,2} &= 1,121 \\ \mathbf{k_{yy} &= 0,950} \end{aligned} \quad k_{yy} = \min \begin{cases} c_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} k_{yz} &= 0,340 & k_{yz} &= 0,6k_{zz} \\ k_{zy,1} &= 0,904 \\ k_{zy,2} &= 0,878 \\ \mathbf{k_{zy} &= 0,878} \end{aligned} \quad k_{zy} = \min \begin{cases} \left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \\ \left[1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \end{cases}$$

$$\begin{aligned} k_{zz,1} &= 0,566 \\ k_{zz,2} &= 0,639 \\ \mathbf{k_{zz} &= 0,566} \end{aligned} \quad k_{zz} = \min \begin{cases} c_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ c_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{cases}$$

Podmínky spolehlivosti

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,y}}{\chi_{LT} M_{Rk,y}} \leq 1$$

$$0,872 < \mathbf{1} \quad \text{VYHOVUJE} \quad 6.61$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{Ed,y}}{\chi_{LT} M_{Rk,y}} \leq 1$$

$$0,829 < \mathbf{1} \quad \text{VYHOVUJE} \quad 6.62$$

Posouzení příčle rámu

Profil: **IPE 600** Ocel: S 235 $f_y = 235$ Mpa

$$\begin{aligned} A &= 15598 \text{ mm}^2 & I_y &= 9,208E+08 \text{ mm}^4 & I_z &= 3,387E+07 \text{ mm}^4 \\ b &= 220 \text{ mm} & W_y &= 3,069E+06 \text{ mm}^3 & W_z &= 3,079E+05 \text{ mm}^3 \\ h &= 600 \text{ mm} & W_{pl,y} &= 3,512E+06 \text{ mm}^3 & W_{pl,z} &= 4,856E+05 \text{ mm}^3 \\ t_w &= 12 \text{ mm} & i_y &= 243,0 \text{ mm} & i_z &= 46,60 \text{ mm} \\ t_f &= 19 \text{ mm} & & & & \\ r &= 24 \text{ mm} & I_w &= 2,846E+12 \text{ mm}^6 & I_t &= 1,654E+06 \text{ mm}^4 \\ \gamma_{M0} &= 1,0 & \gamma_{M1} &= 1,0 & \gamma_{M2} &= 1 \end{aligned}$$

Vstupní údaje

$$\begin{array}{l|l} N_{Ed} = 69,67 \text{ kN} & L_{cr,y} = 14500 \text{ mm} \\ M_{Ed} = 486,19 \text{ kNm} & L_{cr,z} = 1450 \text{ mm} \end{array}$$

Klopení

$L_{LT} = 3625$ mm - příčné podepření spodní pásnice

Štíhlost

$$\lambda_y = \frac{14500}{243,0} = 59,68 \quad \lambda_i = \frac{L_{cr,i}}{i_i}$$

$$\lambda_z = \frac{1450}{46,6} = 31,12$$

$$\lambda_1 = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \lambda_1 = 93,9$$

poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{59,68}{93,9} = 0,636 \quad \bar{\lambda}_i = \frac{\lambda_i}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = 0,331$$

součinitele vzpěrnosti

- pro vybočení k ose y křivka vzpěrnosti a $\alpha = 0,21$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}} = 0,876$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_y - 0,2) + \lambda_y^2] = 0,748$$

- pro vybočení k ose **z** křivka vzpěrnosti **b** $\alpha = 0,34$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_z^2}} = 0,953$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_z - 0,2) + \lambda_z^2] = 0,577$$

$$\chi_y = 0,876$$

$$\chi_z = 0,953$$

Klopení

$$c_{1,0} = 2,05$$

$$c_{1,1} = 2,21$$

$$\psi = \frac{M_s}{M_h} = \frac{94,8}{486,19} = 0,195$$

Výpočet kritického momentu

$$k_w = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

$$k_y = 0,5$$

$$M_s = 94,8$$

Parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = 1,830$$

$$c_1 = 2,21$$

Kritický moment

$$\mu_{cr} = 4,61$$

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{EI_w}{GI_t}}$$

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0})\kappa_{wt}$$

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_z} \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2}$$

Pružný kritický moment

$$M_{cr} = 3899,7 \text{ kNm}$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{EI_z GI_t}}{L}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,460$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}$$

Součinitel klopení

$$\Phi_{LT} = 0,606$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = 0,732$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

Interakční součinitele

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu:

$$M_{h,1} = -486,2 \text{ kNm}$$

$$M_{h,2} = -223,4 \text{ kNm}$$

$$M_s = 219,46 \text{ kNm}$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{-486,2}{219,46} = -2,215$$

$$\psi = \frac{M_{h,2}}{M_{h,1}} = \frac{-223,4}{-486,2} = 0,460 > 0$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_n = 0,95 + 0,05 \cdot (-2,22) = 0,839$$

$$\begin{array}{lll} c_{my} = 0,839 & N_{Rk} = 3665,6 \text{ kN} & N_{Rk} = A \cdot f_y \\ c_{mLT} = 0,5 & M_{Rk,y} = 825,41 \text{ kNm} & M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y \\ c_{mz} = 0,4 & M_{Rk,z} = 114,13 \text{ kNm} & M_{Rk,z} = W_{pl,z} \cdot f_y \end{array}$$

$$\begin{array}{l} k_{yy,1} = 0,847 \\ k_{yy,2} = 0,839 \\ \mathbf{k_{yy} = 0,839} \end{array} \quad k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} k_{yz} = 0,240 \\ k_{zy,1} = 0,997 \\ k_{zy,2} = 0,992 \\ \mathbf{k_{zy} = 0,992} \end{array} \quad k_{yz} = 0,6k_{zz} \quad k_{zy} = \min \left\{ \begin{array}{l} \left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \\ \left[1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l} k_{zz,1} = 0,401 \\ k_{zz,2} = 0,411 \\ \mathbf{k_{zz} = 0,401} \end{array} \quad k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ c_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right.$$

Podmínky spolehlivosti

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{Ed,y}}{\chi_{LT} M_{Rk,y}} \leq 1$$

$$\mathbf{0,697 < 1 \quad \text{VYHOVUJE} \quad (6.61)}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{Ed,y}}{\chi_{LT} M_{Rk,y}} \leq 1$$

$$\mathbf{0,818 < 1 \quad \text{VYHOVUJE} \quad (6.62)}$$

3.7. Rámový roh

Návrh

Sloup

Profil: **HEB 360** Ocel: S 355 $f_y = 355$ Mpa

$$\begin{aligned} A &= 18\,063 \text{ mm}^2 & t_w &= 12,5 \text{ mm} & A_v &= 6\,060 \text{ mm}^2 \\ b &= 300 \text{ mm} & t_f &= 22,5 \text{ mm} \\ h &= 360 \text{ mm} & d &= 261 \text{ mm} \end{aligned}$$

Příčle

Profil: **IPE 600** Ocel: S 450 $f_y = 450$ Mpa

$$\begin{aligned} A &= 15\,598 \text{ mm}^2 & t_w &= 12 \text{ mm} \\ b &= 220 \text{ mm} & t_f &= 19 \text{ mm} \\ h &= 600 \text{ mm} & d &= 514 \text{ mm} \\ W_{pl,y} &= 3\,512\,399,76 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Návrh svarů

Stěna $\beta_w = 0,8$ $f_{ub} = 360$ Mpa $\gamma_{M2} = 1,25$ $\gamma_{M0} = 1,0$

$$a_{w,s} \geq \frac{t_w}{2} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \cdot \left(\frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = 6,6 \text{ mm}$$

$$a_{w,s} = 7 \text{ mm}$$

Pásnice

$$a_{w,p} \geq \frac{t_f}{2} \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \cdot \left(\frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = 10,45 \text{ mm}$$

$$a_{w,p} = 11 \text{ mm}$$

Únosnost T-průřezu - čelní deska

$$e_1 = 40 \text{ mm} \quad e_2 = 40 \text{ mm} \quad t_{pl} = 20 \text{ mm} \quad t = 22,5 \text{ mm}$$

Únosnost řad šroubů v tahu

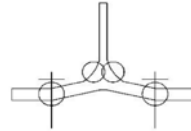
$$\begin{aligned} d &= 30 \text{ mm} & A &= 707 \text{ mm}^2 & f_{ub} &= 800 \text{ MPa} \\ d_0 &= 33 \text{ mm} & A_s &= 561 \text{ mm}^2 & \gamma_{M2} &= 1,25 \end{aligned}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 323,136 \text{ kN}$$

Způsob porušení

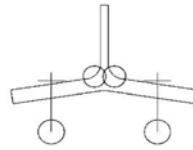
1) Plastický mechanismus (4 plastické klouby)

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$$



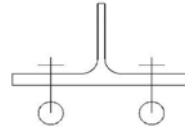
2) Plastický mechanismus - páčení

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n\Sigma F_{t,Rd}}{m + n}$$



3) Posrušení šroubů v tahu

$$F_{t,c,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$$



1. řada šroubů

$$c_1 = 0,8 \cdot \alpha_{w,p} \sqrt{2} = 12,45$$

$$m_2 = 40,5 - c_1 = 28,055$$

$$c_2 = 0,8 \cdot \alpha_{w,p} \sqrt{2} = 7,92$$

$$m = 105 - c_2 = 97,08$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = 0,708$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = 0,205$$

$\alpha = 5,75$ - hodnota získána z grafu v závislosti na λ

$$n = \min(e_2; 1,25m) = \min(40; 121,35) = 40 \text{ mm}$$

- pro kruhové porušení

$$L_{eff,cp} = 2\pi m = 2\pi \cdot 97,08 = 609,97 \text{ mm}$$

- pro nekruhové porušení

$$L_{eff,np} = \alpha m = 5,75 \cdot 97,08 = 558,21 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,nc}) = \min(609,97; 558,21) = 558,21 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,nc} = 558,21 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} L_{eff,1} \frac{t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = 3,18E+07 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} L_{eff,2} \frac{t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = 3,18E+07 \text{ Nmm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů

Návrhová únosnost jedné řady

$$F_{t,a,Rd} = 1\,309,92 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = 464,03 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = 646,27 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(1309,92; 464,03; 646,27)$$

$$F_{t,1,Rd} = 464,03 \text{ kN}$$

2. řada šroubů

$$c_1 = 0,8 \cdot \alpha_{w,p} \sqrt{2} = 12,45$$

$$m_2 = 40,5 - c_1 = 37,555$$

$$c_2 = 0,8 \cdot \alpha_{w,p} \sqrt{2} = 7,92$$

$$m = 105 - c_2 = 97,08$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = 0,708$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = 0,205$$

$$\alpha = 5,75 \quad - \text{ hodnota získána z grafu v závislosti na } \lambda$$

$$n = \min(e_2; 1,25m) = \min(40; 121,35) = 40 \text{ mm}$$

Řada šroubů působící samostatně

- pro kruhové porušení

$$L_{eff,cp} = 2\pi m = 2\pi \cdot 97,08 = 609,97 \text{ mm}$$

- pro nekruhové porušení

$$L_{eff,np} = \alpha m = 5,75 \cdot 97,08 = 558,21 \text{ mm}$$

Řada šroubů působící jako součást skupiny $p = 100 \text{ mm}$

- pro kruhové porušení

$$L_{eff,cp} = \pi m + p = \pi \cdot 97,08 + 100 = 404,99 \text{ mm}$$

- pro nekruhové porušení

$$L_{eff,np} = 0,5 \cdot p + \alpha m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e)$$

$$L_{eff,np} = 0,5 \cdot 100 + 5,75 \cdot 97,08 - (2 \cdot 97,08 + 0,625 \cdot 40)$$

$$L_{eff,np} = 389,05 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,nc}) = \min(404,99; 389,05) = 389,05 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,nc} = 389,05 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} L_{eff,1} \frac{t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = 2,22E+07 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} L_{eff,2} \frac{t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = 2,22E+07 \text{ Nmm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí

$$F_{t,a,Rd} = 912,96 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = 323,47 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = 646,27 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(912,96; 323,47; 646,27)$$

$$F_{t,1,Rd} = 323,47 \text{ kN}$$

3. řada šroubů

$$m_2 = 100 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot \alpha_{w,p} \sqrt{2} = 7,92$$

$$m = 105 - c_1 = 97,08 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = 0,708$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = 0,729$$

$\alpha = 4,67$ - hodnota získána z grafu v závislosti na λ

$$n = \min(e_2; 1,25m) = \min(40; 121,35) = 40 \text{ mm}$$

Řada šroubů působící jako součást skupiny $p = 100 \text{ mm}$

- pro kruhové porušení

$$L_{eff,cp} = 2p = 200 \text{ mm}$$

- pro nekruhové porušení

$$L_{eff,np} = p = 100 \text{ mm}$$

$$L_{eff,1} = \min(L_{eff,cp}; L_{eff,np}) = \min(200; 100) = 100 \text{ mm}$$

$$L_{eff,2} = L_{eff,np} = 100 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} L_{eff,1} \frac{t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = 5,70E+06 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} L_{eff,2} \frac{t^2 f_y}{\gamma_{M0}} = 5,70E+06 \text{ Nmm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí

$$F_{t,a,Rd} = 234,66 \quad \text{kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = 83,28 \quad \text{kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = 646,27 \quad \text{kN}$$

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(234,66; 83,28; 646,27)$$

$$F_{t,1,Rd} = 83,28 \quad \text{kN}$$

4. řada šroubů - smyková únosnost

únosnost jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 271,488 \quad \text{kN}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

únosnost v otláčení

$$t_f = 22,5 \quad \text{mm} \quad t_{pl} = 20 \quad \text{mm}$$

- pro výpočet použijeme menší z hodnot t

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{m2}} = 240,00 \quad \text{kN}$$

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{c} \frac{e_1}{3d_0} \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \\ 1,0 \end{array} \right) = 0,556$$

$$k_1 = \left(\begin{array}{c} 2,5 \\ 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \end{array} \right) = 2,5$$

únosnost šroubu ve smyku

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(271,49; 240) = 480,00 \quad \text{kN}$$

$$V_{Rd} = 480,00 > V_{Ed} = 350 \quad \text{kN}$$

Smyková únosnost vyhovuje

Únosnost základních komponent

Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{(h - t_f) \cdot \gamma_{m0}} = 2\,720,45 \text{ kN}$$

Podmínka redukce spodní řady šroubů

$$F_{c,fb,Rd} \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 2\,720,45 > \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 464,03 + 323,47 + 83,28 = 870,78$$

Není nutné redukovat

Únosnost stěny sloupu ve smyku

Ověření třídy průřezu

$$\frac{d}{t_w} = \frac{261}{12,5} = 20,88 \leq 69 \cdot \varepsilon$$

- vyhovuje podmínce pro 1. třídu průřezu

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_v^{HEB}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{m0}} + V_{wp,add,Rd} = 1\,117,85 + 68,46 = 1\,186,30 \text{ kN}$$

Příspěvek příčných výztuh a pásnic sloupu

$$t_{st} = 19 \text{ mm} \quad b_s = 200 \text{ mm} \quad d_s = 581 \text{ mm}$$

$$W_{wp,add,Rd} = \min \left(\frac{4 \cdot M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s} \right) = 68,457 \text{ kN}$$

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{1}{4} b \cdot t_f^2 \cdot f_{yd} = 13\,478,91 \text{ kN}$$

$$W_{wp,add,Rd}^1 = \frac{4 \cdot 13\,478,91}{581} = 92,798 \text{ kN}$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} b_{st} \cdot t_{st}^2 \cdot f_{yd} = 6\,407,75$$

$$W_{wp,add,Rd}^1 = \frac{2 \cdot 13\,478,91 + 2 \cdot 6\,407,75}{581} = 68,457 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = 1\,186,30 > \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 870,78$$

Únosnost stěny sloupu ve smyku vyhovuje

Rozdělení sil a momentové únosnosti

- podmínka plastického rozdělení sil

$$F_{t,i,Rd} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd}$$

$$1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 323,14 = 613,958 \text{ kN}$$

Řada	Únosnost řady	Síla pro M_{Rd}	rameno h_i
1	464,03	464,03	640,5
2	323,47	323,47	540,5
3	83,28	83,28	490,5
celkem	870,78	870,78	

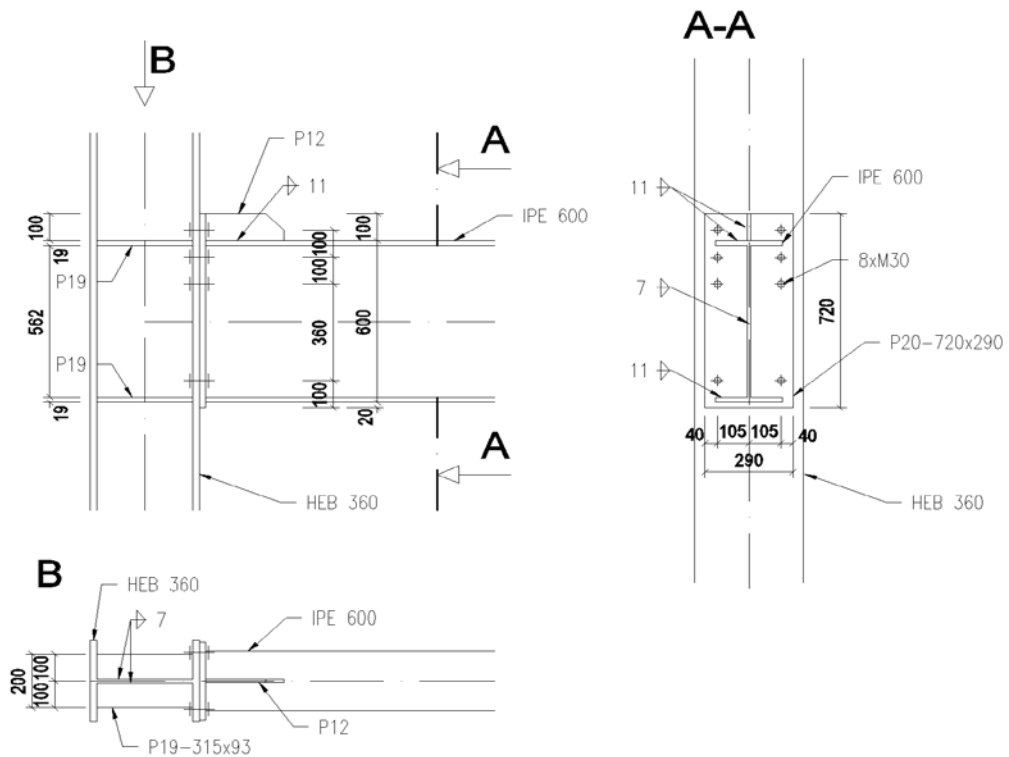
$$M_{Rd} = \sum F_{t,i,Rd} \cdot h_i$$

$$M_{Rd} = 464,03 \cdot 0,6405 + 323,47 \cdot 0,5405 + 83,28 \cdot 0,4905 = 512,898 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 486,2 \text{ kNm} < M_{Rd} = 512,898 \text{ kNm}$$

Momentová únosnost styčnicku vyhovuje

Detail



4. Návrh a posouzení montážních spojů

4.1. Přípoj stropnice na průvlak

4.1.1 Přípoj stropnice na průvlak - 2.NP

Vstupní data

Šrouby

M20	materiál	6.8	s = roviny stříhu	2
$A_s = 245 \text{ mm}^2$	$f_{yb} = 480 \text{ Mpa}$			
$A = 314 \text{ mm}^2$	$f_{ub} = 600 \text{ Mpa}$			
$d = 20 \text{ mm}$				
$d_0 = 22 \text{ mm}$	$e = 110 \text{ mm}$	$p_1, p_2 = 70 \text{ mm}$		
$e_1 = 50 \text{ mm}$	$\alpha_v = 0,6$	$e_2 = 40 \text{ mm}$		
$n = 4 \text{ ks}$				

Průvlak

IPE 600	ocel: S420	$f_{yd} = 420 \text{ Mpa}$
$h_c = 600 \text{ mm}$	$t_w = 12 \text{ mm}$	
$b_c = 220 \text{ mm}$	$t_f = 19 \text{ mm}$	
$\gamma_{M2} = 1,25$	$f_u = 500 \text{ Mpa}$	

Stropnice

IPE 330	ocel: S355	$f_{yd} = 355 \text{ Mpa}$
$h_c = 330 \text{ mm}$	$t_w = 7,5 \text{ mm}$	
$b_c = 160 \text{ mm}$	$t_f = 11,5 \text{ mm}$	
$\gamma_{M2} = 1,25$	$f_u = 510 \text{ Mpa}$	

Čelní deska

$t_{pl} = 16 \text{ mm}$	$a = 4 \text{ mm}$	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
$l_{pl} = 140 \text{ mm}$	$\beta_w = 1$	

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 89,79 \text{ kN}$$

Únosnost stěny nosníku ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 172,2 \text{ kN}$$

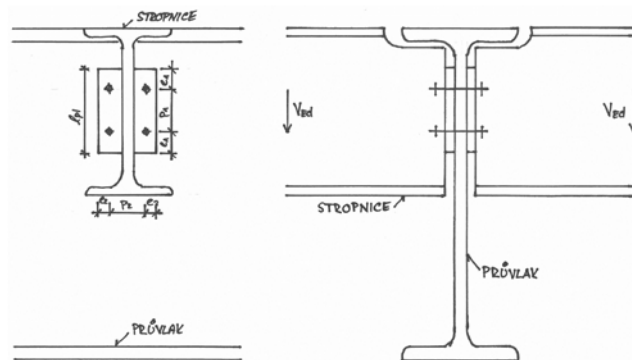
$$A_v = l_{pl} \cdot t_{w, str} = 1050 \text{ mm}^2$$

Výpočet únosnosti 1 šroubu

- ve stříhu

$$F_{v,Rd} = s \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$



- v otláčení
Stojina nosníku

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t_w * f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,1} = 73,785 \text{ kN}$$

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,2} = 98,380 \text{ kN}$$

α -nejmenší z:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0,758$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0,811$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = 1,200$$

1

$$\alpha = \mathbf{0,758}$$

k-NEJMENŠÍ Z:

$$2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 3,391$$

2,5

$$1,4 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 0,845$$

2,5

$$k = \mathbf{0,845}$$

Posouzení šroubů

STŘIH

$$F_{v,Rd} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{v,Rd} = 564,48 \text{ kN} > V_{Ed} = 89,79 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

OTLAČENÍ

Stojina nosníku

$$F_{b,Rd,1} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,1} = 295,14 \text{ kN} > V_{Ed} = 89,79 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} \cdot n \geq 2 \cdot V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,2} = 393,52 \text{ kN} > V_{Ed} = 179,58 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posouzení koutového svaru desky

Únosnost

$$F_{w,Rd} = \frac{a \cdot l \cdot f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \gamma_{M2}} =$$

$$F_{w,Rd} = 186,23 \text{ kN} > V_{Ed} = 89,79 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

4.1.2. Přípoj stropnice na průvlak - 3.NP

Vstupní data

Šrouby

M16

materiál

6.8

s = roviny stříhu **1**

$$A_s = 157 \text{ mm}^2$$

$$f_{yb} = 480 \text{ Mpa}$$

$$A = 201 \text{ mm}^2$$

$$f_{ub} = 600 \text{ Mpa}$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$e = 110 \text{ mm}$$

$$p_1, p_2 = 55 \text{ mm}$$

$$e_1 = 40 \text{ mm}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

$$e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$n = 4 \text{ ks}$$

Průvlak

IPE 600

ocel: S420

$$f_{yd} = 420 \text{ Mpa}$$

$$h_c = 600 \text{ mm}$$

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

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

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

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

$$f_u = 500 \text{ Mpa}$$

Stropnice

IPE 300

ocel: S355

$$f_{yd} = 355 \text{ Mpa}$$

$$h_c = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 7,1 \text{ mm}$$

$$b_c = 150 \text{ mm}$$

$$t_f = 10,7 \text{ mm}$$

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

$$f_u = 510 \text{ Mpa}$$

Čelní deska

$$t_{pl} = 10 \text{ mm}$$

$$a = 4 \text{ mm}$$

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

$$l_{pl} = 140 \text{ mm}$$

$$\beta_w = 1$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 46,35 \text{ kN}$$

Únosnost stěny nosníku ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 163 \text{ kN}$$

$$A_v = l_{pl} \cdot t_{w, str} = 994 \text{ mm}^2$$

Výpočet únosnosti 1 šroubu

- ve střihu

$$F_{v,Rd} = s \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 45,216 \text{ kN}$$

- v otláčení

Stojina nosníku

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t_w \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,1} = 43,236 \text{ kN}$$

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,2} = 36,030 \text{ kN}$$

α -nejmenší z:

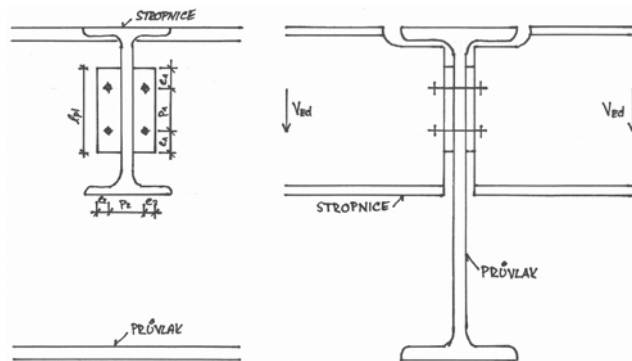
$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0,741$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0,769$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = 1,200$$

1

$$\alpha = 0,741$$



k-NEJMENŠÍ Z:

$$2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,967$$

2,5

$$1,4 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 0,633$$

2,5

$$k = \mathbf{0,633}$$

Posouzení šroubů

STŘIH

$$F_{v,Rd} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{v,Rd} = 180,86 \text{ kN} > V_{Ed} = 46,35 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

OTLAČENÍ

Stojina nosníku

$$F_{b,Rd,1} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,1} = 172,94 \text{ kN} > V_{Ed} = 46,35 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,2} = 144,12 \text{ kN} > V_{Ed} = 46,35 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posouzení koutového svaru desky

Únosnost

$$F_{w,Rd} = \frac{a \cdot l \cdot f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \gamma_{M2}} =$$

$$F_{w,Rd} = 186,23 \text{ kN} > V_{Ed} = 46,35 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

4.1.3. Přípoj stropnice na průvlak - 4.NP

Vstupní data

Šrouby

M20	materiál	6.8	s = roviny stříhu	2
$A_s = 245 \text{ mm}^2$	$f_{yb} = 480 \text{ Mpa}$			
$A = 314 \text{ mm}^2$	$f_{ub} = 600 \text{ Mpa}$			
$d = 20 \text{ mm}$				
$d_0 = 22 \text{ mm}$	$e = 110 \text{ mm}$	$p_1, p_2 = 70 \text{ mm}$		
$e_1 = 50 \text{ mm}$	$\alpha_v = 0,6$	$e_2 = 40 \text{ mm}$		
$n = 4 \text{ ks}$				

Průvlak

IPE 600	ocel: S420	$f_{yd} = 420 \text{ Mpa}$
$h_c = 600 \text{ mm}$	$t_w = 12 \text{ mm}$	
$b_c = 220 \text{ mm}$	$t_f = 19 \text{ mm}$	
$\gamma_{M2} = 1,25$	$f_u = 500 \text{ Mpa}$	

Stropnice

IPE 330	ocel: S355	$f_{yd} = 355 \text{ Mpa}$
$h_c = 330 \text{ mm}$	$t_w = 7,5 \text{ mm}$	
$b_c = 160 \text{ mm}$	$t_f = 11,5 \text{ mm}$	
$\gamma_{M2} = 1,25$	$f_u = 510 \text{ Mpa}$	

Čelní deska

$t_{pl} = 16 \text{ mm}$	$a = 4 \text{ mm}$	$f_u = 360 \text{ Mpa}$
$l_{pl} = 140 \text{ mm}$	$\beta_w = 1$	

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 86,34 \text{ kN}$$

Únosnost stěny nosníku ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 172,2 \text{ kN}$$

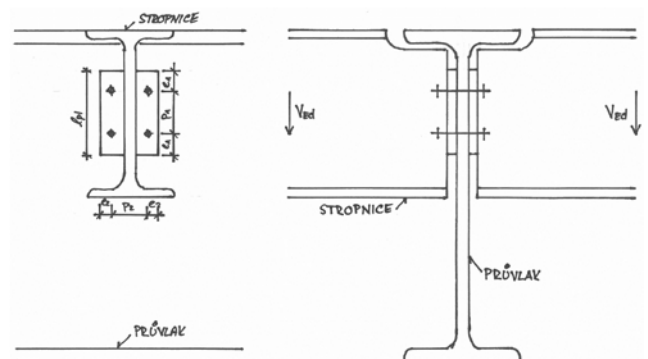
$$A_v = l_{pl} \cdot t_{w, str} = 1050 \text{ mm}^2$$

Výpočet únosnosti 1 šroubu

- ve stříhu

$$F_{v,Rd} = s \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 141,12 \text{ kN}$$



- v otláčení

Stojina nosníku

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t_w * f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,1} = 73,785 \text{ kN}$$

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,2} = 98,380 \text{ kN}$$

α -nejmenší z:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0,758$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0,811$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = 1,200$$

1

$$\alpha = \mathbf{0,758}$$

k-NEJMENŠÍ Z:

$$2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 3,391$$

2,5

$$1,4 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 0,845$$

2,5

$$k = \mathbf{0,845}$$

Posouzení šroubů

STŘIH

$$F_{v,Rd} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{v,Rd} = 564,48 \text{ kN} > V_{Ed} = 86,34 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

OTLAČENÍ

Stojina nosníku

$$F_{b,Rd,1} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,1} = 295,14 \text{ kN} > V_{Ed} = 86,34 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} \cdot n \geq 2 \cdot V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,2} = 393,52 \text{ kN} > V_{Ed} = 172,68 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posouzení koutového svaru desky

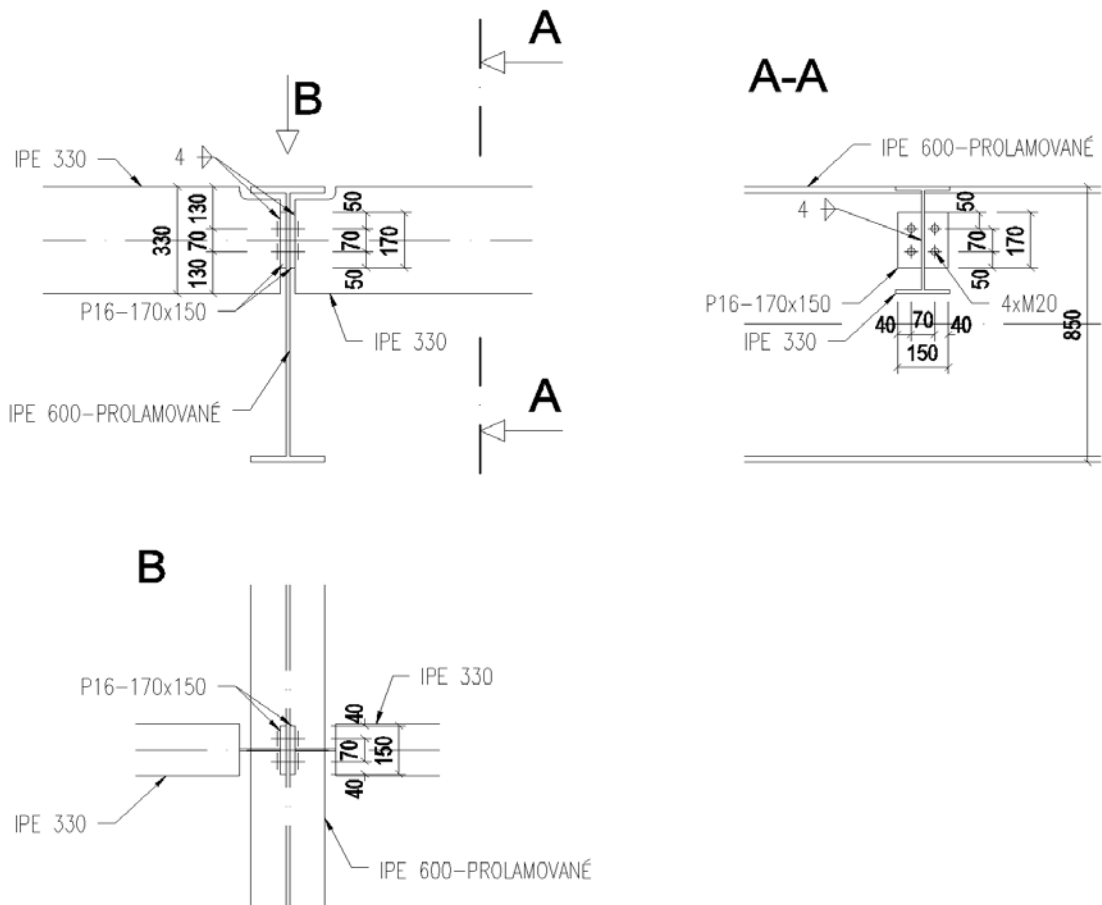
Únosnost

$$F_{w,Rd} = \frac{a \cdot l \cdot f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \gamma_{M2}} =$$

$$F_{w,Rd} = 186,23 \text{ kN} > V_{Ed} = 86,34 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Detail



4.2. Přípoj průvlaku na sloup

4.2.1 Přípoj průvlak na sloup - 2.NP

Vstupní data

Šrouby					
	M24	materiál	8.8	s = roviny stříhu	1
$A_s =$	353 mm ²	$f_{yb} =$	640 Mpa		
$A =$	452 mm ²	$f_{ub} =$	800 Mpa		
$d =$	24 mm				
$d_0 =$	26 mm	$e =$	150 mm	$p_1, p_2 =$	80 mm
$e_1 =$	60 mm	$\alpha_v =$	0,5	$e_2 =$	50 mm
$n =$	8 ks				

Sloup

	HEB 300	ocel:	S420	$f_{yd} =$	420 Mpa
$h_c =$	300 mm	$t_w =$	11 mm		
$b_c =$	300 mm	$t_f =$	19 mm		
$\gamma_{M2} =$	1,25	$f_u =$	500 Mpa		

Průvlak

	IPE 600	ocel:	S355	$f_{yd} =$	355 Mpa
$h_c =$	600 mm	$t_w =$	12 mm		
$b_c =$	220 mm	$t_f =$	19 mm		
$\gamma_{M2} =$	1,25	$f_u =$	510 Mpa		

Čelní deska

$t_{pl} =$	20 mm	$a =$	6 mm	$f_u =$	360 Mpa
$l_{pl} =$	400 mm	$\beta_w =$	1		

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 718,32 \text{ kN}$$

Únosnost stěny nosníku ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 787 \text{ kN}$$

$$A_v = l_{pl} \cdot t_{w, str} = 4 \text{ 800 mm}^2$$

Výpočet únosnosti 1 šroubu

- ve stříhu

$$F_{v,Rd} = s \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 112,96 \text{ kN}$$

- v otláčení
Pásnice sloupu

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t_f * f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$
$$F_{b,Rd,1} = 222,765 \quad \text{kN}$$

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$
$$F_{b,Rd,2} = 234,490 \quad \text{kN}$$

α -nejmenší z:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0,769$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0,776$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = 1,600$$

1

$$\alpha = \mathbf{0,769}$$

k -nejmenší z:

$$2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 3,685$$

2,5

$$1,4 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 0,992$$

2,5

$$k = \mathbf{0,992}$$

Posouzení šroubů

STŘIH

$$F_{v,Rd} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{v,Rd} = 903,68 \quad \text{kN} \quad > \quad V_{Ed} = 718,32 \quad \text{kN}$$

VYHOVUJE

OTLAČENÍ

Stojina nosníku

$$F_{b,Rd,1} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,1} = 1782,12 \text{ kN} > V_{Ed} = 718,32 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,2} = 1875,92 \text{ kN} > V_{Ed} = 718,32 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posouzení koutového svaru desky

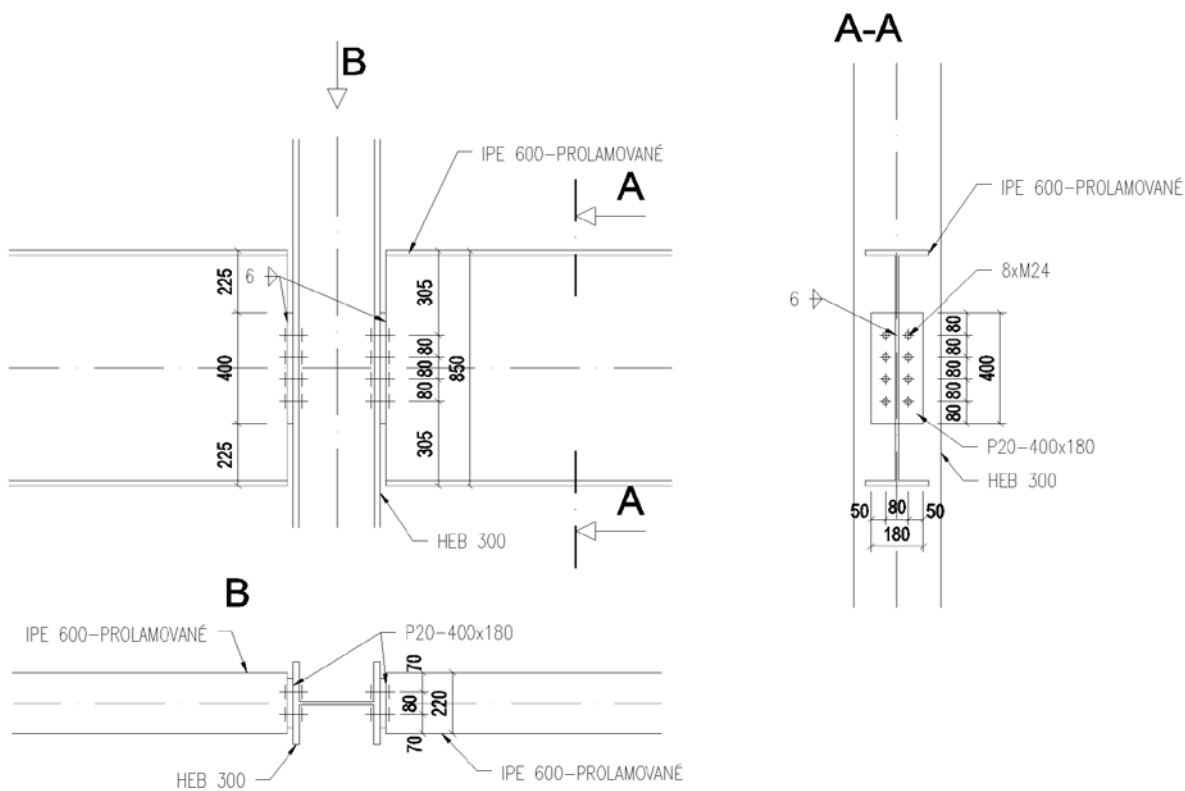
Únosnost

$$F_{w,Rd} = \frac{a \cdot l \cdot f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \gamma_{M2}} =$$

$$F_{w,Rd} = 798,13 \text{ kN} > V_{Ed} = 718,32 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Detail



4.2.2. Přípoj průvlak na sloup - 4.NP

Vstupní data

Šrouby

M24 materiál **8.8** s = roviny stříhu **1**

$A_s = 353 \text{ mm}^2$ $f_{yb} = 640 \text{ Mpa}$
 $A = 452 \text{ mm}^2$ $f_{ub} = 800 \text{ Mpa}$
 $d = 24 \text{ mm}$
 $d_0 = 26 \text{ mm}$ $e = 150 \text{ mm}$ $p_1, p_2 = 80 \text{ mm}$
 $e_1 = 60 \text{ mm}$ $\alpha_v = 0,5$ $e_2 = 50 \text{ mm}$
 $n = 8 \text{ ks}$

Sloup

HEB 300 ocel: S420 $f_{yd} = 420 \text{ Mpa}$

$h_c = 300 \text{ mm}$ $t_w = 11 \text{ mm}$
 $b_c = 300 \text{ mm}$ $t_f = 19 \text{ mm}$
 $\gamma_{M2} = 1,25$ $f_u = 500 \text{ Mpa}$

Průvlak

IPE 600 ocel: S355 $f_{yd} = 355 \text{ Mpa}$

$h_c = 600 \text{ mm}$ $t_w = 12 \text{ mm}$
 $b_c = 220 \text{ mm}$ $t_f = 19 \text{ mm}$
 $\gamma_{M2} = 1,25$ $f_u = 510 \text{ Mpa}$

Čelní deska

$t_{pl} = 20 \text{ mm}$ $a = 6 \text{ mm}$ $f_u = 360 \text{ Mpa}$
 $l_{pl} = 400 \text{ mm}$ $\beta_w = 1$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = 721,09 \text{ kN}$$

Únosnost stěny nosníku ve smyku

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M2}} = 787 \text{ kN}$$

$$A_v = l_{pl} \cdot t_{w, str} = 4800 \text{ mm}^2$$

Výpočet únosnosti 1 šroubu

- ve stříhu

$$F_{v,Rd} = s \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot \frac{A_s}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 112,96 \text{ kN}$$

- v otláčení

Pásnice sloupu

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t_f * f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,1} = 222,765 \quad \text{kN}$$

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd,2} = 234,490 \quad \text{kN}$$

α -nejmenší z:

$$\frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0,769$$

$$\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = 0,776$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = 1,600$$

1

$$\alpha = \mathbf{0,769}$$

k -nejmenší z:

$$2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 3,685$$

2,5

$$1,4 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 0,992$$

2,5

$$k = \mathbf{0,992}$$

Posouzení šroubů

STŘIH

$$F_{v,Rd} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{v,Rd} = 903,68 \quad \text{kN} \quad > \quad V_{Ed} = 721,09 \quad \text{kN}$$

VYHOVUJE

OTLAČENÍ

Stojina nosníku

$$F_{b,Rd,1} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,1} = 1782,12 \text{ kN} > V_{Ed} = 721,09 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Čelní deska

$$F_{b,Rd,2} \cdot n \geq V_{Ed}$$

$$F_{b,Rd,2} = 1875,92 \text{ kN} > V_{Ed} = 721,09 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Posouzení koutového svaru desky

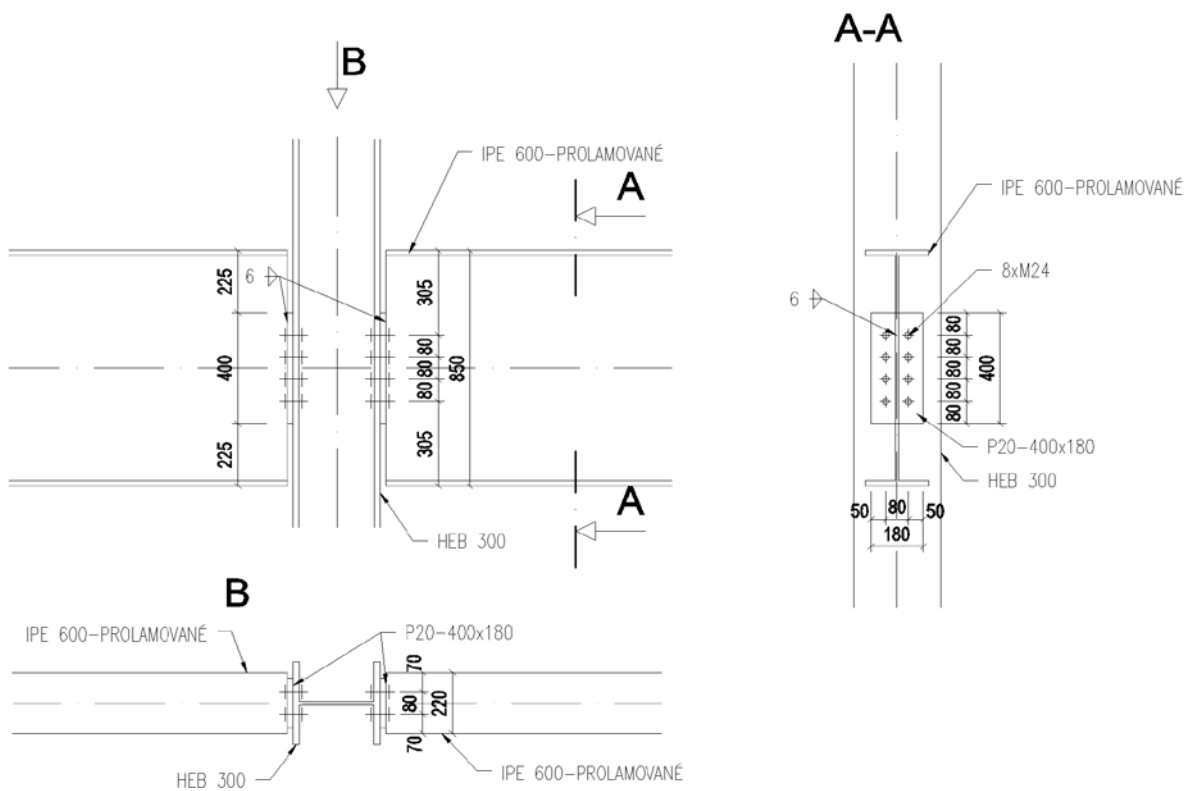
Únosnost

$$F_{w,Rd} = \frac{a \cdot l \cdot f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \gamma_{M2}} =$$

$$F_{w,Rd} = 798,13 \text{ kN} > V_{Ed} = 721,09 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Detail



4.3. Kotvení sloupu

Celková osová síla ve sloupu:

- spočítáno pomocí programu Scia Engineer 2017

$$N_{Ed} = 2\,270,00 \text{ kN}$$

Návrh:

Profil: **HEB 300** Ocel: S 355 $f_y = 355 \text{ Mpa}$

$$A = 14\,908 \text{ mm}^2 \quad t_w = 11 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm} \quad t_f = 19 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M1} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1$$

Návrh rozměru patní desky

$$a_s = 500 \text{ mm} \quad \text{Ocel: S 355}$$

$$b_s = 500 \text{ mm} \quad f_y = 235 \text{ Mpa}$$

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

Rozměry základu

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

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

Posouzení patního plechu

$$\sigma_p = \frac{N_{Ed,A}}{a \cdot b} = 9,080 \text{ MPa}$$

$$W = \frac{1}{6} \cdot 1 \cdot t^2 = 150 \text{ mm}^3$$

$$M = \sigma_p \cdot \frac{l^2}{2} = 22,246 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = 148,31 \text{ Mpa} < f_y = 235 \text{ Mpa} \quad \text{- patní plech vyhovuje}$$

Pevnost betonového základu

beton C 20/25

- pevnost v tlaku

$$f_{ck} = 20 \text{ Mpa} \quad \gamma_c = 1,5$$

- návrhová pevnost v tlaku

$$f_{cd} = 13,333 \text{ Mpa}$$

Návrhová pevnost betonu od zatížení patní deskou

$$f_{jd} = \beta_j \cdot f_{cd} \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = \beta_j \cdot f_{cd} \sqrt{\frac{a_c \cdot b_c}{a_s \cdot b_s}} = 17,778 \text{ Mpa}$$

$$f_{jd} = 17,778 \text{ Mpa} \leq 3,0 \cdot f_{cd} = 40,0 \text{ Mpa}$$

účinná šířka patního plechu

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 62,97 \text{ mm}$$

účinná plocha kolem I průřezu

$$A_{eff} = \min(b; b_{HEB} + 2c) \cdot \min(a; h_{HEB} + 2c) - \max[\min(b; b_{HEB} + 2c) - t_f - 2c; 0] \cdot \max(h_{HEB} - 2t_f - 2c; 0)$$

$$A_{eff} = 143\,199,29 \text{ mm}^2$$

únosnost patní desky

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 143199,29 \cdot 17,78 = 2545765,22$$

$$N_{Rd} = 2\,545,77 \text{ kN} > N_{Ed} = 2\,270,00 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost patky sloupu vyhovuje

Návrh lokálně podepřené desky

• návrh z emrických vztahů

$$h_d = \frac{1}{30} l_{n, \max}$$

$$h_d = \frac{7250}{30} = 242 \text{ mm}$$

$$h_d = \underline{250 \text{ mm}}$$

• s ohledem na ohybovou stáhnutost

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

$$h_d = d + \frac{\phi}{2} + c_{nom}$$

C 30/37

- staticky účinná výška d

$$\lambda = \frac{l}{d} \leq \lambda_d = k_{c1} \cdot k_{c2} \cdot k_{c3} \cdot \lambda_{d, tab}$$

$$d \geq \frac{l}{k_{c1} \cdot k_{c2} \cdot k_{c3} \cdot \lambda_{d, tab}}$$

$$d \geq \frac{7250}{10 \cdot 0,966 \cdot 1,12 \cdot 24,6} = \frac{7250}{28,5}$$

$$d \geq 254,4$$

$$d = \underline{255}$$

- kagej vrstva

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} = \max(c_{min, s}; c_{min, d, un} + \Delta c_{d, un, \gamma} - \Delta c_{d, un, st} - \Delta c_{d, un, adal}; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = \max(\quad; 25; 10 \text{ mm})$$

$$c_{min} = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10$$

$$c_{nom} = \underline{35 \text{ mm}}$$

$$h_d = 255 + \frac{12}{2} + 35 = 296 \text{ mm}$$

$$h_d = \underline{300 \text{ mm}}$$

Návrh $h_d = 250 \text{ mm}$

Návrh průřezu sloupu

$$N_{Ed} =$$

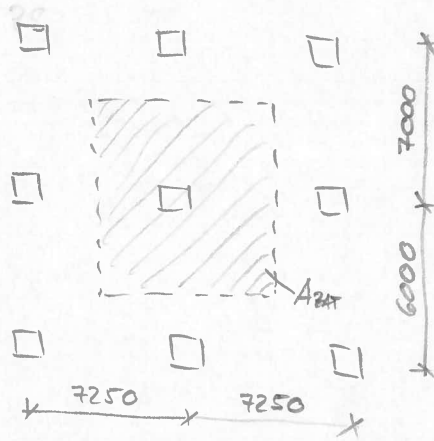
$$f_s = 400 \text{ MPa}$$

$$\rho_s = 0,02$$

$$N_{Ed} = A_c \cdot f_{cd} + A_s f_s \geq N_{Ed}$$

$$A_c \geq \frac{N_{Ed}}{0,8 f_{cd} + \rho_s f_s}$$

• normálové zatížení N_{Ed}



$$A_{ZAT} = \frac{6+7}{2} \times 725$$

$$A_{ZAT} = 47,125 \text{ m}^2$$

$$g_k = 4,78 \text{ kN/m}^2$$

$$g_d = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 4,5 \text{ kN/m}^2$$

$$N_{Ed,oc} = 2270 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,sl} = (g_d + q_d) \cdot A_{ZAT}$$

$$N_{Ed,sl} = (10,5 + 4,5) \cdot 47,125$$

$$N_{Ed,sl} = 706,875 \text{ kN}$$

$$f_{cd} = 20$$

$$A_c \geq \frac{706,875 + 2270}{0,8 \cdot 20 + 0,02 \cdot 400 \cdot 10^2} = 0,1124 \text{ m}^2$$

$$a \geq \sqrt{A_c} = \sqrt{0,1124}$$

$$a \geq 0,3352 \text{ m}$$

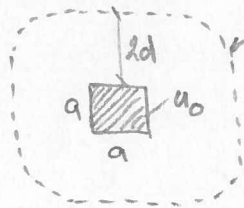
$$a = \underline{360 \text{ mm}}$$

Návrh sloupu 360 x 360 mm

Předběžné ověření protlačení

$$V_{ed} \leq V_{rd}$$

$$d = 250 \text{ mm}$$



$$u_0 = 4a = 1140 \text{ mm}$$

$$u_1 = 4a + 2\sigma \cdot 2d = 4581,6 \text{ mm}$$

$$V_{ed} = N_{ed,sl}$$

$$\beta = 1,15$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

$$V_{ed} = 706,875$$

- únosnost tlacené diagonály

$$V_{ed} = \frac{\beta V_{ed}}{u_0 d} \leq V_{rd, \max} = 0,4 v f_{cd}$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$V_{ed} = \frac{1,15 \cdot 706,875}{1,144 \cdot 0,25} = 2258,073 \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)}$$

$$V_{rd, \max} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20000 = 4224 \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)}$$

$$V_{ed} = 2258,073 \text{ kN/m}^2 < V_{rd, \max} = 4224 \text{ kN/m}^2, \text{ SPLNĚNO}$$

$$d = 250 \text{ mm}$$

$$k_{\max} = 1,475$$

$$C_{ed,c} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$k = 1,89$$

$$\rho_l = 0,005$$

- kontrola vyztužení

$$V_{ed,1} = \frac{\beta V_{ed}}{u_1 d} \leq k_{\max} \cdot V_{ed,c} = k_{\max} \cdot C_{ed,c} \cdot k \cdot \sqrt{(100 \rho_l \cdot f_{ck})}$$

$$V_{ed,1} = \frac{1,15 \cdot 706,875}{4,5816 \cdot 0,25} = 748,948 \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)}$$

$$1,475 \cdot 0,12 \cdot 1,89 \cdot \sqrt{(100 \cdot 0,005 \cdot 30)} = 825,022 \text{ kN/m}^2 \text{ (kPa)}$$

$$V_{ed,1} = 748,948 < 825,022, \text{ SPLNĚNO}$$

6. ZDROJE

6.1. Normy

Konstrukce jsou navrženy podle platných norem ČSN a EN. Nebyly předepsány zvláštní tolerance na provádění konstrukcí.

ČSN EN 1990 - Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1992 – 1 – 1 – Navrhování betonových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1993 – 1 – 1 – Navrhování ocelových konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1993 – 1 – 8 – Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování styčníků

ČSN EN 1993 – 1 – 11 – Navrhování ocelových konstrukcí – Navrhování ocelových tažených prvků

ČSN EN 1994 – 1 – 1 – Navrhování ocelobetonových spřažených konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

6.2. Literatura

[1] MACHÁČEK, Josef. Navrhování ocelových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-8; Navrhování hliníkových konstrukcí: příručka k ČSN EN 1999-1. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. Technická knihovna (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-86-3.

[2] VRANÝ, Tomáš a František WALD. Ocelové konstrukce: tabulky. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 978-80-01-03140-7.

[3] STUDNIČKA, Jiří, Milan HOLICKÝ a Jana MARKOVÁ. Ocelové konstrukce 2. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03768-3.

[4] PROCHÁZKA, Jaroslav, Alena KOHOUTKOVÁ a Jitka VAŠKOVÁ. Příklady navrhování betonových konstrukcí 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03675-4.

[5] ELIÁŠOVÁ, Martina. Ocelové konstrukce 3: příklady. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04516-9.

[6] WALD, František, MACHÁČEK, Josef, VRANÝ, Tomáš, SOKOL, Zdeněk a DOLEJŠ, Jakub. Základy navrhování ocelových konstrukcí podle ČSN EN1993-1-1 a ČSN EN1993-1-8. Vydavatel: Česká asociace ocelových konstrukcí, Ostrava, 2010. ISBN 978-80-904535-0-0.