

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Bakalářská práce

Dvoulodní sportovní hala

Two-Bay Sports Hall

Statický výpočet



Květen 2017

Vypracoval: Jan Jůza

Vedoucí práce: Ing. Michal Jandera, Ph.D.

Předmětem bakalářské práce je návrh sportovní haly.

Tato práce se skládá ze tří částí - statického výpočtu, technické zprávy a výkresové dokumentace.

Formální části této práce, jako je formulář se zadáním, prohlášení, abstrakt, klíčová slova a seznam použitých zdrojů jsou součástí technické zprávy, nikoli statického výpočtu.

Obsah

1	Zadání dispozice	5
2	Zatížení	7
2.1	Proměnné zatížení	7
2.1.1	Zatížení sněhem	7
2.1.2	Zatížení větrem	9
2.2	Stálé zatížení	13
2.2.1	Zatížení vlastní tíhou.....	13
3	Statický návrh střešního pláště.....	14
3.1	Střešní plášť - varianta skládaného pláště	14
3.2	Střešní plášť - varianta se sedvičovými panely	14
4	Statický návrh obvodového pláště	15
5	Příčná vazba.....	16
5.1	Zatěžovací stavy.....	16
5.2	Kombinace zatěžovacích stavů pro MSÚ.....	25
5.3	Kombinace zatěžovacích stavů pro MSP	26
5.4	Návrh příčné rámové vazby	27
5.5	Posouzení příčné rámové vazby	32
5.5.1	Rámové imperfekce	32
5.5.2	Posouzení prvků rámu.....	34
5.5.3	Posouzení krajního sloupu	34
5.5.4	Posouzení prostředního sloupu	39
5.5.5	Posouzení příčle	45
6	Příčné ztužidlo ve střešní rovině	50
6.1	Diagonála	51
6.2	Krajní vodorovné podélné pruty.....	52
6.3	Vnitřní vodorovné podélné pruty	52
6.4	Vnitřní pás.....	53
7	Podélné ztužení	54
7.1	Diagonála	56
7.2	Vodorovné pruty	56
7.3	Posouzení sloupu rámové vazby	57
8	Štítová stěna.....	58
8.1	Zatěžovací stavy.....	58
8.2	Dimenzování prvků štítové stěny	62
8.3	Posouzení štítové stěny	64

8.3.1	Posouzení krajního sloupu	64
8.3.2	Posouzení prostředního sloupu	76
8.3.3	Posouzení nejvyššího sloupu	81
8.3.4	Posouzení příčle štítové stěny	86
8.3.5	Posouzení diagonály	91
8.4	Závěry z navrhování štítové stěny	92
9	Patka krajního sloupu příčné vazby	93
10	Patka prostředního sloupu příčné vazby	104
11	Rámový roh	107
12	Přílohy	116
12.1	Dimenzační tabulka trapézového plechu	116
12.2	Dimenzační tabulka kazetových profilů.	118
12.3	Protokol s výpočtem kritického momentu příčle.	120
12.4	Protokol s návrhem patky prostředního sloupu příčné vazby.	142

1 Zadání dispozice

Jedná se o dvoulodní sportovní halu, v jejíž každé lodi je umístěn tenisový dvorec. Jedna loď haly je zhruba o 2m širší, protože se v ní nachází tribuna podél vnější stěny.

Umístění: Česká Republika, město Kadaň

Půdorysné rozměry konstrukce dvoulodní haly (osové vzdálenosti nosných prvků):

délka:	36000 mm
rozpětí větší lodi:	21100 mm
rozpětí menší lodi:	19000 mm

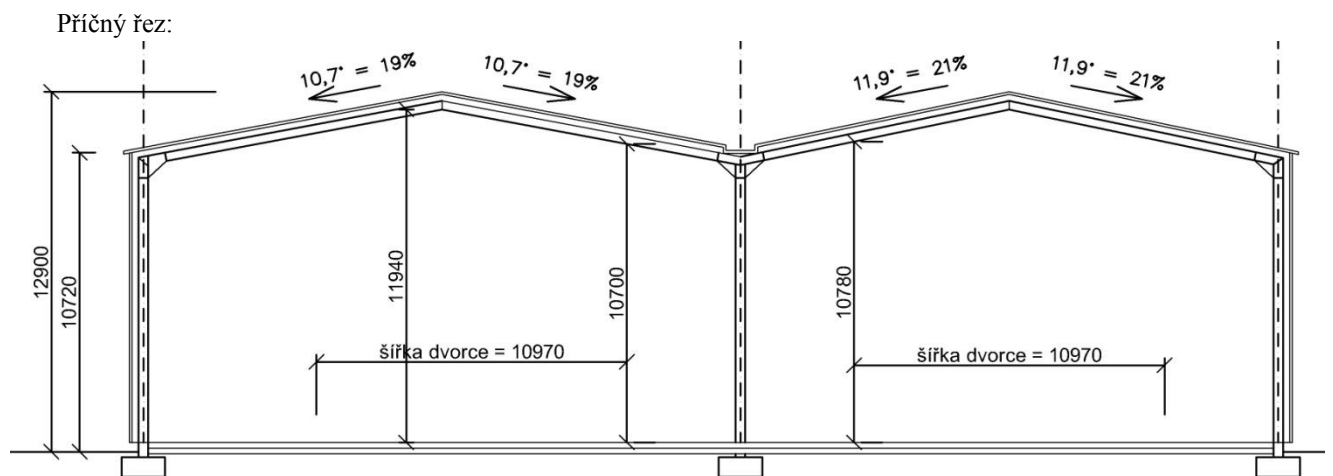
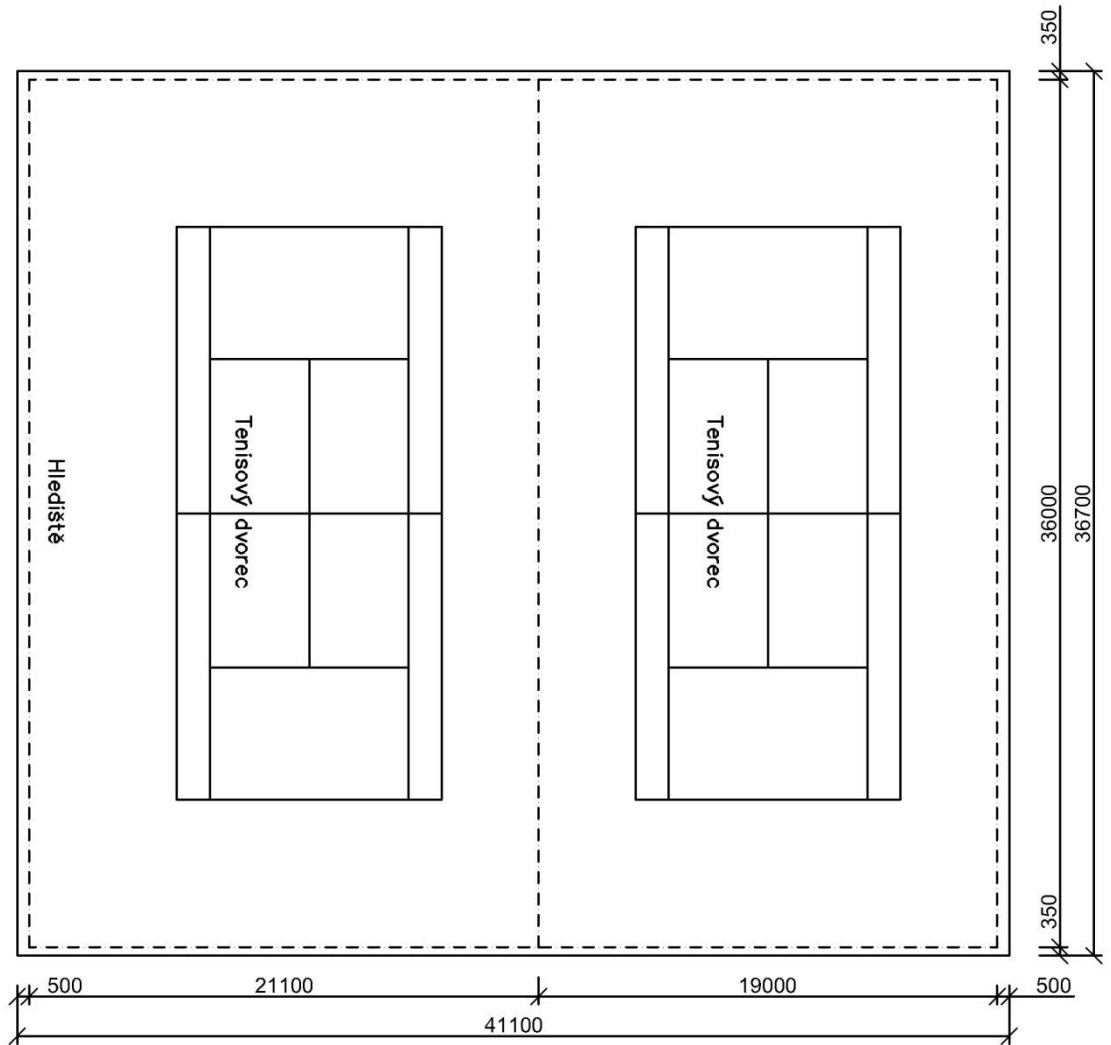
Výška haly:

Výška hřebene střechy nad terénem (stejná pro obě lodě):	12900 mm
Výška okapu nad terénem (stejná pro obě lodě):	10720 mm
Maximální světlá výška (stejná pro obě lodě):	11940 mm
Minimální světlá výška (stejná pro obě lodě):	10090 mm

Uvedené rozměry jsou uvažovány pro výpočet zatížení, a pravděpodobně se budou mírně lišit od výsledných rozměrů ve výkresech, jelikož v tuto chvíli neznáme velikosti profilů nosných prvků.

Náčrt dispozice haly:

Půdorys:



2 Zatížení

2.1 Proměnné zatížení

2.1.1 Zatížení sněhem

II. sněhová oblast → charakteristická hodnota zatížení sněhem $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

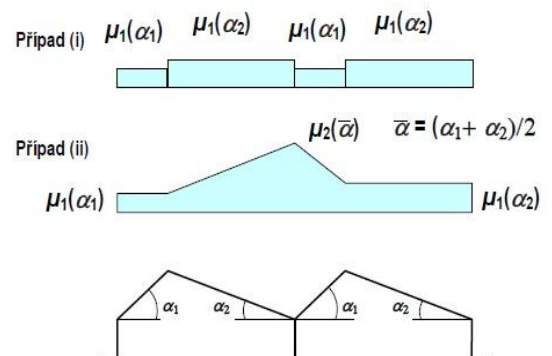
- součinitel expozice $C_e = 1,0$
(normální krajina, nedochází k výraznému přemístění sněhu větrem vlivem okolního terénu nebo jiných staveb)
- tepelný součinitel $C_t = 1,0$
(neuvažujeme odtávání sněhu vlivem tepla prostupujícího střešním pláštěm)

- tvarové součinitele zatížení sněhem

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 0,8 + 0,8(\bar{\alpha}/30) = 0,8 + 0,8(11,3/30) = 1,1$$

(sklony střechy: $\alpha_1 = 10,7^\circ$ $\alpha_2 = 11,9^\circ$ $\bar{\alpha} = (\alpha_1 + \alpha_2)/2$)



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

- tvarové součinitele pro zatížení výjimečným návětrím sněhu

Tvarový součinitel uvedený na obrázku 5 se stanoví jako nejnižší hodnota z:

$$\mu_1 = 2h / s_k = 2 \cdot 2,1 / 1,0 = 4,2$$

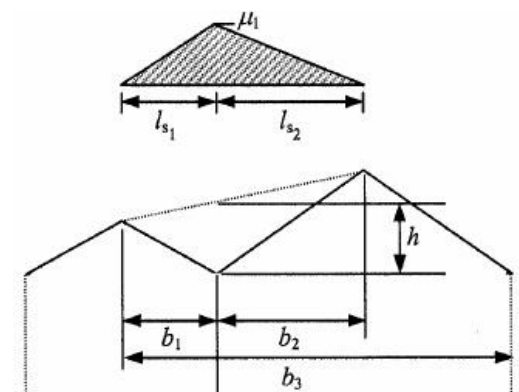
$$\mu_1 = 2b_3 / (l_{s1} + l_{s2}) = 2 \cdot 30,05 / (10,55 + 9,5) = 3,0$$

$$\mu_1 = 5$$

výsledná hodnota: $\mu_1 = 3,0$

Délky návějí se stanoví ze vztahů:

$$l_{s1} = b_1 = 10,55\text{m} \quad l_{s2} = b_2 = 9,5\text{m}$$



Hodnoty zatížení sněhem:

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

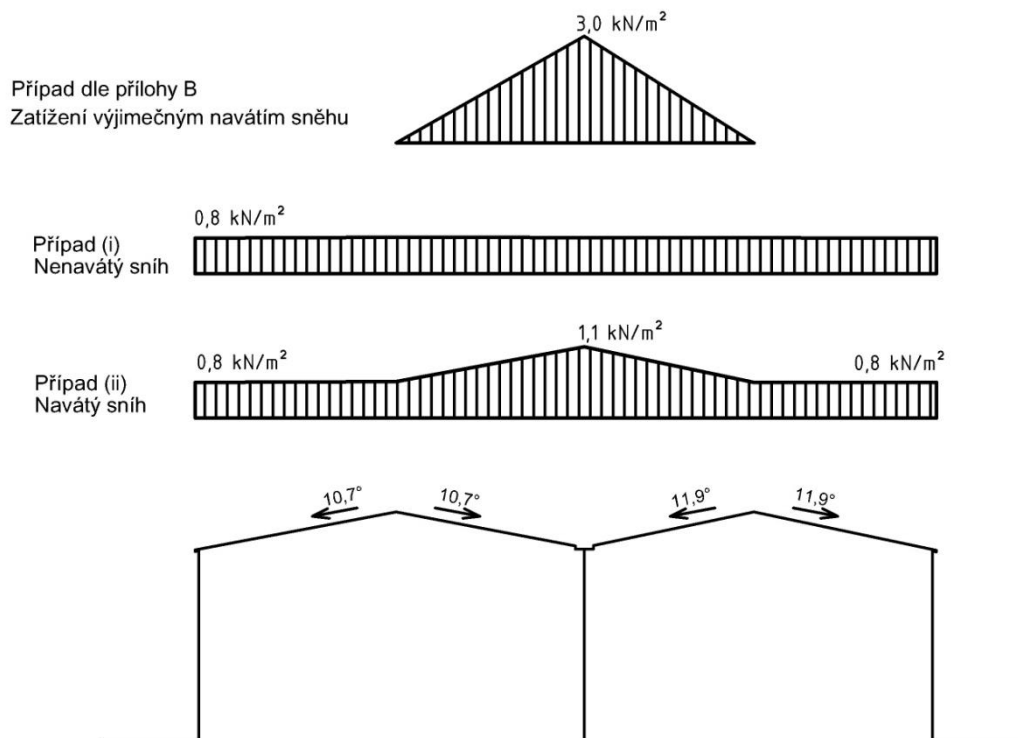
$$s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,0 = 0,8 \text{ kN/m}^2$$

$$s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,0 = 1,1 \text{ kN/m}^2$$

pro zatížení výjimečným navátím sněhu:

$$s_3 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,0 = 3 \text{ kN/m}^2$$

Uspořádání zatížení sněhem:



2.1.2 Zatížení větrem

II. větrná oblast $\rightarrow v_{b,0} = 25$ m/s (výchozí základní rychlost větru)

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1 \cdot 1 \cdot 25 = 25 \text{ m/s (základní rychlost větru)}$$

c_{dir} - součinitel směru větru

c_{season} - součinitel ročního období

III. kategorie terénu (oblasti rovnoměrně pokryté vegetací, budovami nebo překážkami)

$$v_{m(z)} = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b \quad (\text{střední rychlost větru})$$

$$c_0(z) = 1 \quad (\text{součinitel orografie})$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad (\text{součinitel drsnosti terénu})$$

$$z = 12,9 \text{ m} \quad (\text{výška hřebene střechy nad terénem})$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m} \quad (\text{parametr drsnosti terénu})$$

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19 \cdot (0,3/0,05)^{0,07} = 0,215 \quad (\text{součinitel terénu})$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,215 \cdot \ln(12,9/0,3) = 0,81$$

$$v_{m(z)} = 0,81 \cdot 1 \cdot 25 = 20,25 \text{ m/s}$$

$$\text{Základní dynamický tlak větru: } q_b(z) = 0,5 \cdot \rho \cdot v_{m(z)}^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20,25^2 = 256 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{měrná hmotnost vzduchu})$$

$$\text{Maximální dynamický tlak větru: } q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b(z) = 2,86 \cdot 256 = 733 \text{ N/m}^2 = 0,733 \text{ kN/m}^2$$

$$I_v(z) = k_l/[c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)] = 1/[1 \cdot \ln(12,9/0,3)] = 0,266 \quad (\text{intenzita turbulence})$$

$$k_l = 1,0 \quad (\text{součinitel turbulence})$$

$$c_e(z) = 1 + 7 \cdot I_v(z) = 1 + 7 \cdot 0,266 = 2,86 \quad (\text{součinitel expozice})$$

$$\text{Tlak větru na vnější povrchy: } w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,733 \cdot c_{pe} \text{ kN/m}^2$$

c_{pe} - součinitel vnějšího tlaku

z_e - referenční výška pro vnější tlak

$$\text{Tlak větru na vnitřní povrchy: } w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} = 0,733 \cdot c_{pi} \text{ kN/m}^2$$

c_{pi} - součinitel vnitřního tlaku - budeme uvažovat méně výhodné z hodnot +0,2 a -0,3

z_i - referenční výška pro vnitřní tlak

2.1.2.1 Vítr příčný

- Svislé stěny

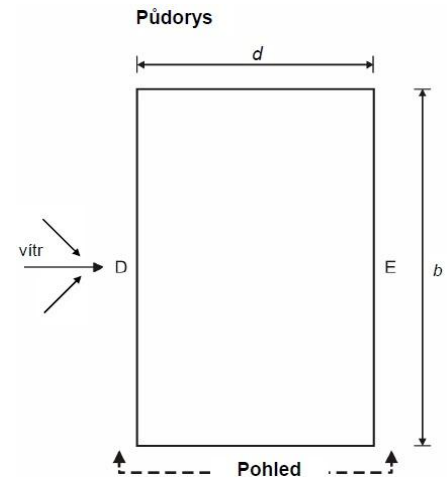
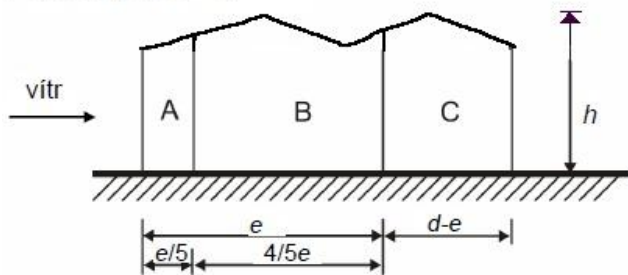
$d = 41,1 \text{ m}$

$b = 36,7 \text{ m}$

$h = 12,9 \text{ m}$

e je menší z hodnot b nebo $2h$; $e = 25,8 \text{ m}$

Pohled pro $e < d$



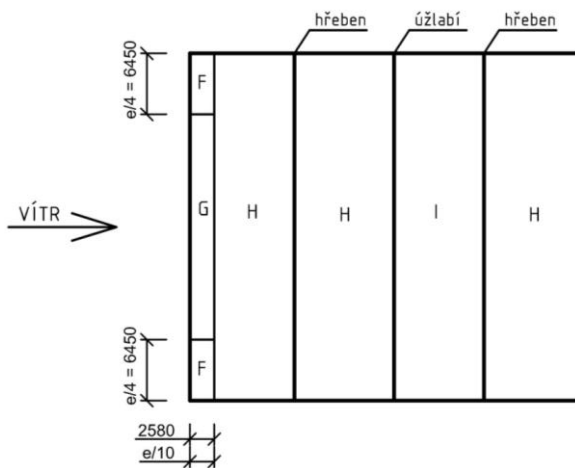
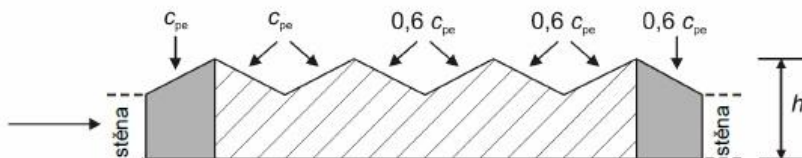
$d - e = 41,1 - 25,8 = 15,3 \text{ m}$

$e/5 = 25,8/5 = 5,16 \text{ m}$

$4/5e = 20,64 \text{ m}$

- Střecha

První c_{pe} je součinitel tlaku pro pultovou střechu, druhý a všechny následující c_{pe} jsou součinitele tlaku pro sedlovou střechu.



2.1.2.2 Vítr podélný

- Svislé stěny

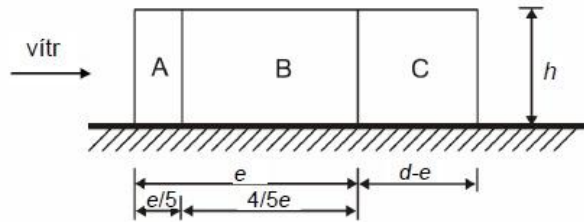
$d = 36,7 \text{ m}$

$b = 41,1 \text{ m}$

$h = 12,9 \text{ m}$

e je menší z hodnot b nebo $2h$; $e = 25,8 \text{ m}$

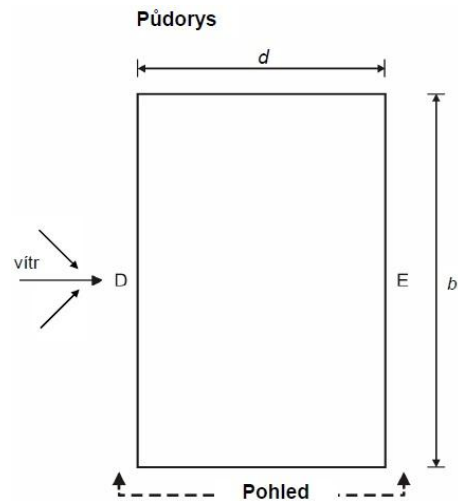
Pohled pro $e < d$



$d - e = 36,7 - 25,8 = 10,9 \text{ m}$

$e/5 = 25,8/5 = 5,16 \text{ m}$

$4/5e = 20,64 \text{ m}$



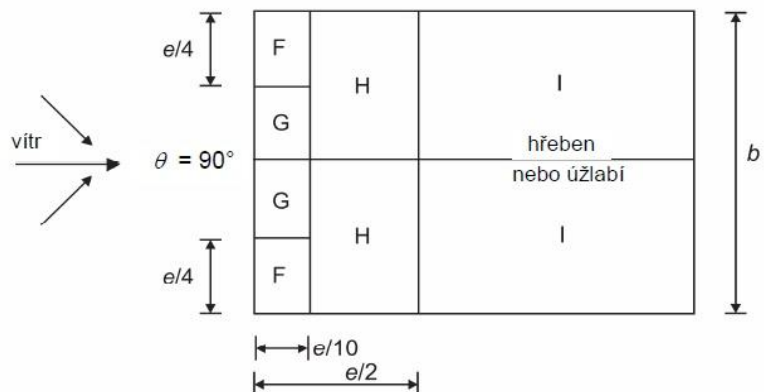
- Střecha

Střechu dvoulodní haly budeme řešit jako 2 sedlové střechy (nezávisle na sobě).

$b = 21,6 \text{ m}$ (pro větší loď)

$b = 19,5 \text{ m}$ (pro menší loď)

e je menší z hodnot b nebo $2h$; $e = 21,6 \text{ m}$ resp. $19,5 \text{ m}$



2.1.2.3 Plošné zatížení větrem na jednotlivé oblasti pláště budovy

Oblast	Vítr příčný		Vítr podélný	
	c_{pe}	w_e [kN/m ²]	c_{pe}	w_e [kN/m ²]
A	-1,2	-0,88	-1,2	-0,88
B	-1,0	-0,74	-1,0	-0,74
C	-0,5	-0,37	-0,5	-0,37
D	+0,75	+0,55	+0,75	+0,55
E	-0,35	-0,26	-0,35	-0,26
F	-1,1	-0,81	-1,4	-1,03
	+0,2	+0,15		
G	-0,9	-0,66	-1,3	-0,95
	+0,2	+0,15		
H	-0,4 (pultová)	-0,30	-0,7	-0,52
	+0,2 (pultová)	+0,15		
	-0,9 (sedlová)	-0,66		
I	-0,5	-0,37	-0,5	-0,37
	+0,1	+0,08		

Vnitřní tlak

	c_{pi}	w_i [kN/m ²]
Situace A	+0,2	+0,15
Situace B	-0,3	-0,22

2.2 Stálé zatížení

2.2.1 Zatížení vlastní tíhou

V této fázi uvažujeme se dvěma následujícími variantami skladby střešního pláště.

2.2.1.1 Střešní plášť - varianta skládaného pláště (trapézové plechy + tepelná izolace)

	Charakteristické [kN/m ²]	γ	Návrhové [kN/m ²]
Horní plech TR 35/207/0,63	0,061	1,35	0,082
Izolace + další nenosné vrstvy	0,09	1,35	0,121
Dolní plech (nosný)	0,1	1,35	0,135

$G_k = 0,251 \text{ kN/m}^2$ $G_d = 0,338 \text{ kN/m}^2$

2.2.1.2 Střešní plášť - varianta se sedvičovými panely

Střešní panel KS 1000 RW, tl. 100mm

Plošná hmotnost: 12,34 kg/m²

Vlastní tíha: $G_k = 0,124 \text{ kN/m}^2$ $G_d = 0,167 \text{ kN/m}^2$

3 Statický návrh střešního pláště

3.1 Střešní plášť - varianta skládaného pláště

Skladba: trapézové plechy + tepelná izolace

- Kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti:

$$Z_1 = \text{stálé} + \text{sníh} + \Psi \cdot \text{vítr v tlaku} + \Psi \cdot \text{vnitřní sání}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_s + \Psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_v + \Psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_v \\ &= 1,35 \cdot 0,251 + 1,5 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,15 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,22 = 1,87 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$Z_2 = \text{stálé} + \text{vítr sání} + \Psi \cdot \text{vnitřní tlak}$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_v + \Psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_v \\ &= 1,0 \cdot 0,251 - 1,5 \cdot 1,03 - 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,15 = -1,43 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- Kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti:

$$Z_1 = \text{stálé} + \text{sníh} + \Psi \cdot \text{vítr v tlaku} + \Psi \cdot \text{vnitřní sání}$$

$$\begin{aligned} Z &= G_k + Q_s + \Psi_0 \cdot Q_v + \Psi_0 \cdot Q_v \\ &= 0,251 + 0,8 + 0,6 \cdot 0,15 + 0,6 \cdot 0,22 = 1,28 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Návrh: TR 150/280/0,75

Pro rozpon 6,0 m jsou únosnosti: $q_d = 1,98 \text{ kN/m}^2$, $q_k = 1,32 \text{ kN/m}^2$

Uvažujeme pozitivní polohu

Dimenzační tabulka je uvedena v příloze.

3.2 Střešní plášť - varianta se sedvičovými panely

- Kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti:

$$Z_1 = \text{stálé} + \text{sníh} + \Psi \cdot \text{vítr v tlaku} + \Psi \cdot \text{vnitřní sání}$$

$$\begin{aligned} Z_1 &= \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_s + \Psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_v + \Psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_v \\ &= 1,35 \cdot 0,121 + 1,5 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,15 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,22 = 1,70 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$Z_2 = \text{stálé} + \text{vítr sání} + \Psi \cdot \text{vnitřní tlak}$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_v + \Psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_v \\ &= 1,0 \cdot 0,121 - 1,5 \cdot 1,03 - 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,15 = -1,56 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Návrh: Střešní panel KS 1000 RW, tl. 100mm

Rozpětí: 2,5m (uvažováno jako spojitý nosník)

4 Statický návrh obvodového pláště

Obvodový plášť: skládaný, kazetové stěny

- Kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti (vodorovné zatížení):

$$Z = \text{vítr sání} + \Psi \cdot \text{vnitřní tlak}$$

$$Z = \gamma_Q \cdot Q_V + \Psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot Q_V = 1,5 \cdot 0,88 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,15 = 1,46 \text{ kN/m}^2$$

- Charakteristická kombinace zatížení pro mezní stav použitelnosti (vodorovné zatížení):

$$Z = \text{vítr sání} + \Psi \cdot \text{vnitřní tlak}$$

$$Z = Q_V + \Psi_0 \cdot Q_V = 0,88 + 0,6 \cdot 0,15 = 0,97 \text{ kN/m}^2$$

Návrh: Kazety K 160/600 typ B, tloušťka 0,88 mm

Přípustné charakteristické rovnoměrné zatížení pro rozpon 6 m: 1,05 kN/m²

Kazetový systém ROCKPROFIL (<http://kovprof.cz/>)

Dimenzační tabulka je uvedena v příloze.

5 Příčná vazba

Příčná vazba bude řešena jako rámová konstrukce.

Návrh osových vzdáleností vazeb: 6 m

(nosnou konstrukci haly tvoří 5 příčných rámových vazeb a 2 štítové stěny)

Střecha bude řešena jako bezvaznicová s krytinou z trapézového plechu (1. uvažovaná varianta skladby pláště). Rozhodl jsem se pro tuto variantu, protože je oproti variantě se sendičovými panely konstrukčně jednodušší a také levnější.

5.1 Zatěžovací stavy

Zatížení na příčnou vazbu jsem modeloval v programu SCIA Engineer. Zde je uveden každý výpočet jednotlivých zatížení a výsledný obrázek všech zatížení na konstrukci ke každému zatěžovacímu stavu.

1) Vlastní tíha příčné vazby - dle SCIA Engineer

$$\gamma_G = 1,35$$

2) Ostatní stálé zatížení (tíha pláště)

$$\gamma_G = 1,35$$

STŘEŠNÍ PLÁŠŤ	Charakteristické [kN/m ²]	γ	Návrhové [kN/m ²]
Horní plech TR 35/207/0,63	0,061	1,35	0,082
Izolace + další nenosné vrstvy	0,09	1,35	0,121
Dolní plech TR 150/280/0,75	0,129	1,35	0,174

$$G_k = 0,28 \text{ kN/m}^2$$

$$G_d = 0,377 \text{ kN/m}^2$$

OBVODOVÝ PLÁŠŤ	Charakteristické [kN/m ²]	γ	Návrhové [kN/m ²]
Vnější plech TR 35/207/0,63	0,061	1,35	0,082
Izolace + další nenosné vrstvy	0,09	1,35	0,121
Kazety K 160/600 typ B, tloušťka 0,88 mm	0,124	1,35	0,168

$$G_k = 0,275 \text{ kN/m}^2$$

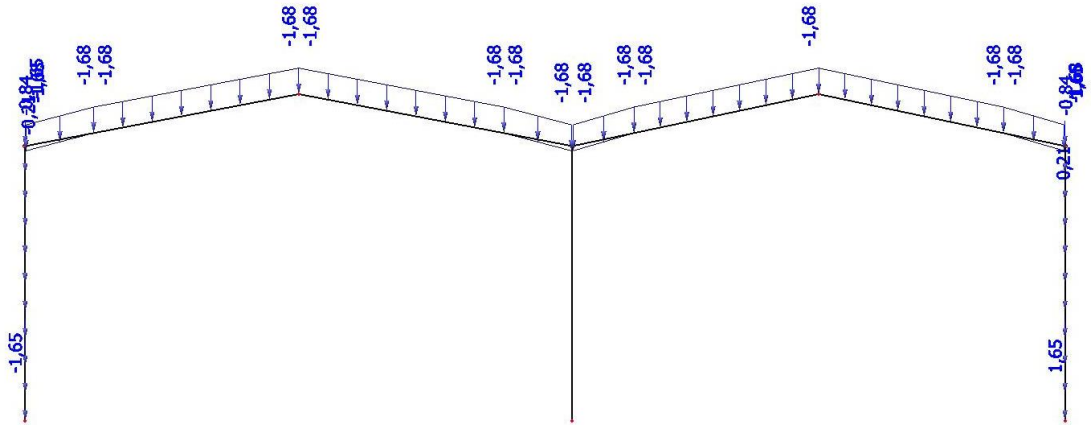
$$G_d = 0,371 \text{ kN/m}^2$$

Spojité zatížení vazby od střešního pláště: $f_k = G_k \cdot l = 0,28 \cdot 6 = 1,68 \text{ kN/m}$

Spojité zatížení sloupu od obvodového pláště: $f_k = G_k \cdot l = 0,275 \cdot 6 = 1,65 \text{ kN/m}$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu: $F_k = 0,28 \cdot 0,5 \cdot 6 = 0,84 \text{ kN}$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu: $M_k = 0,84 \cdot 0,25 = 0,21 \text{ kNm}$



3) Sníh nenavátý

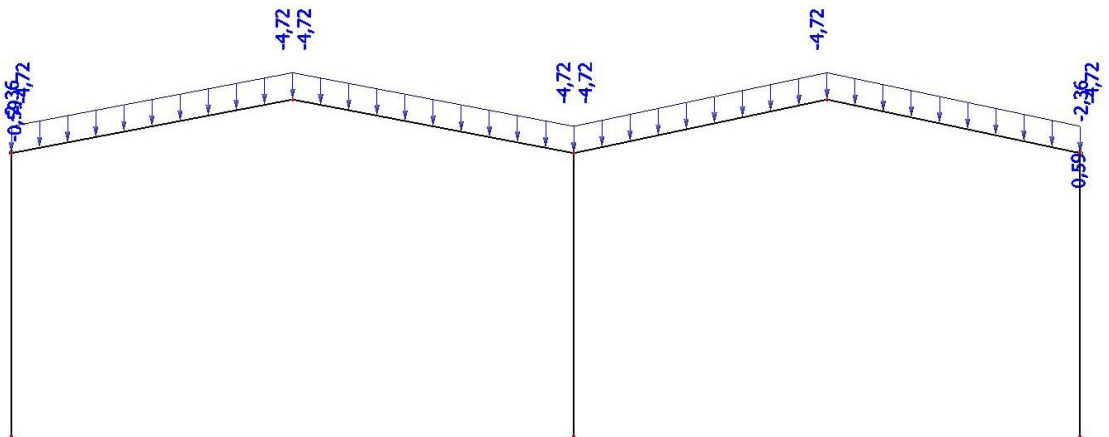
$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby: $f_k = s_1 \cdot l \cdot \cos \alpha = 0,8 \cdot 6 \cdot \cos 11 = 4,72 \text{ kN/m}$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu:

$$F_k = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot \cos 11 = 2,36 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu: $M_k = 2,36 \cdot 0,25 = 0,59 \text{ kNm}$



4) Sníh navátý

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby (hodnota v konstantním úseku):

$$f_k = s_2 \cdot l \cdot \cos \alpha = 0,8 \cdot 6 \cdot \cos 11 = 4,72 \text{ kN/m}$$

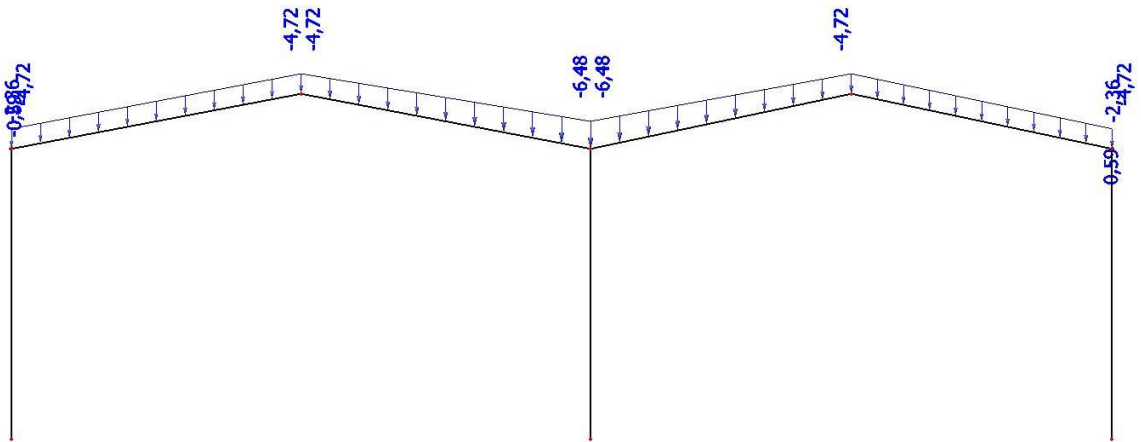
Spojité zatížení vazby (maximální hodnota v úžlabí):

$$f_k = s_2 \cdot l \cdot \cos \alpha = 1,1 \cdot 6 \cdot \cos 11 = 6,48 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu:

$$F_k = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 6 \cdot \cos 11 = 2,36 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu: $M_k = 2,36 \cdot 0,25 = 0,59 \text{ kNm}$

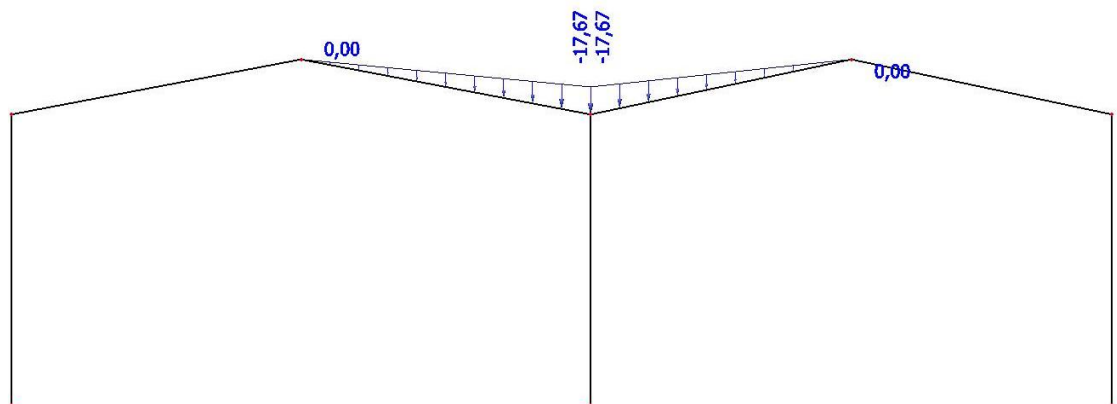


5) Sníh - výjimečné navátí

$$\gamma_Q = 1,5$$

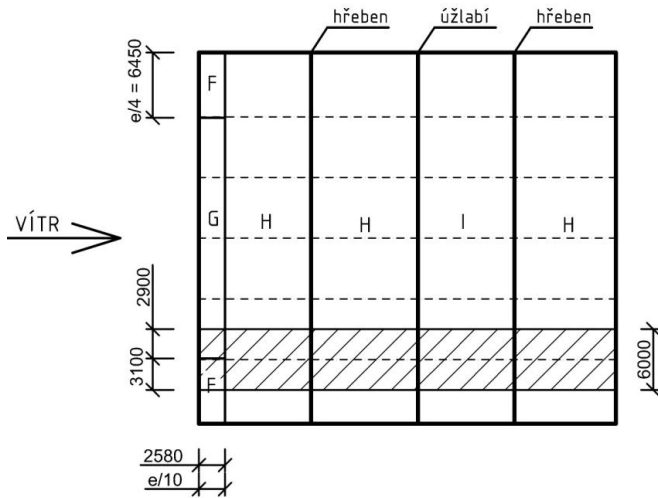
Spojité zatížení vazby (maximální hodnota v úžlabí):

$$f_k = s_3 \cdot l \cdot \cos \alpha = 3,0 \cdot 6 \cdot \cos 11 = 17,67 \text{ kN/m}$$



6), 7) Vitr příčný sání (dva různé zatěžovací stavy pro směry větru 0° a 180° kvůli osově nesouměrnosti haly)

$$\gamma_Q = 1,5$$



Spojité zatížení vazby v oblasti F/G:

$$f_{1,k} = w_{e,F} \cdot 3,1 + w_{e,G} \cdot 2,9 = -0,81 \cdot 3,1 - 0,66 \cdot 2,9 = -4,43 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti H pro pultovou střechu:

$$f_{2,k} = w_{e,H} \cdot 6 = -0,30 \cdot 6 = -1,8 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti H pro sedlovou střechu:

$$f_{3,k} = w_{e,H} \cdot 6 = -0,66 \cdot 6 = -3,96 \text{ kN/m} \quad \text{poslední oblast H: } f_{3,k} = 0,6 \cdot w_{e,H} \cdot 6 = -2,38$$

Spojité zatížení vazby v oblasti I:

$$f_{4,k} = w_{e,I} \cdot 6 = -0,37 \cdot 6 = -2,22 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (návětrná strana):

$$F_{1,k} = w_{e,F} \cdot 3,1 \cdot 0,5 + w_{e,G} \cdot 2,9 \cdot 0,5 = -0,81 \cdot 3,1 \cdot 0,5 - 0,66 \cdot 2,9 \cdot 0,5 = -2,21 \text{ kN}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (závětrná strana):

$$F_{2,k} = 0,6 \cdot w_{e,H} \cdot 6 \cdot 0,5 = -0,6 \cdot 0,66 \cdot 6 \cdot 0,5 = -1,19 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (návětrná strana):

$$M_{1,k} = F_{1,k} \cdot 0,5/2 = -2,21 \cdot 0,25 = -0,56 \text{ kNm}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (závětrná strana):

$$M_{2,k} = F_{2,k} \cdot 0,5/2 = -1,19 \cdot 0,25 = -0,3 \text{ kNm}$$

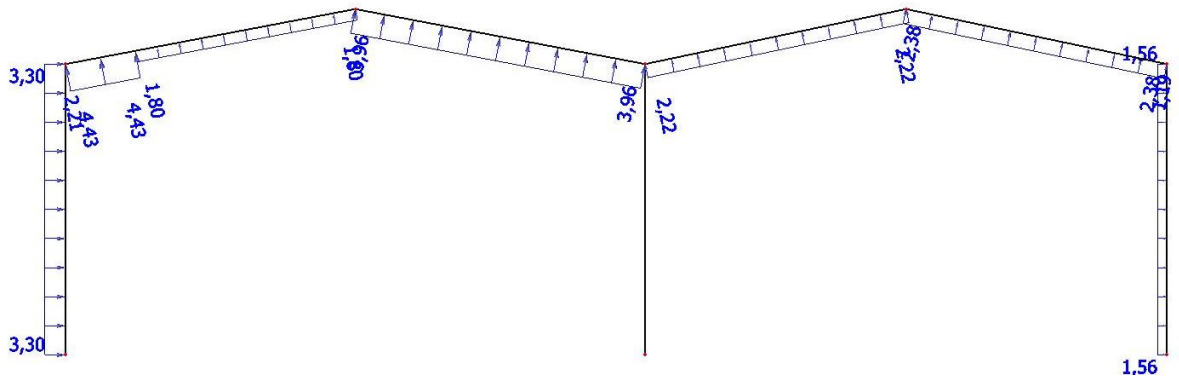
Spojité zatížení vazby v oblasti D (obvodová stěna - návětrná strana):

$$f_{5,k} = w_{e,D} \cdot 6 = 0,55 \cdot 6 = 3,3 \text{ kN/m}$$

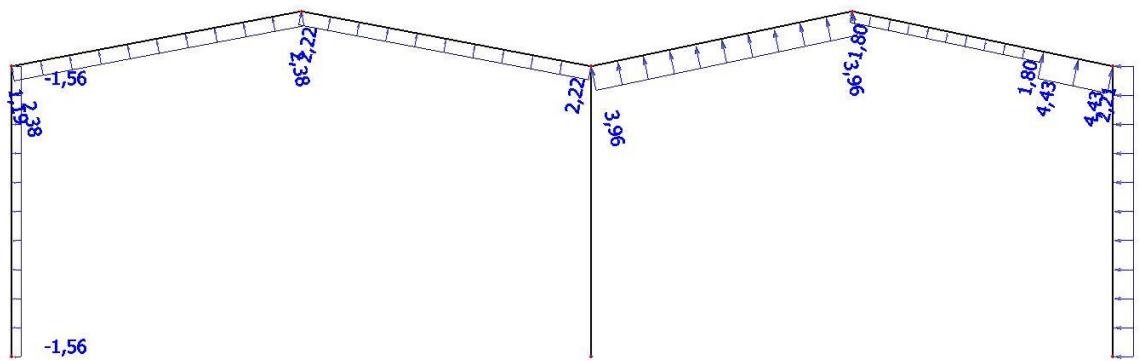
Spojité zatížení vazby v oblasti E (obvodová stěna - závětrná strana):

$$f_{6,k} = w_{e,E} \cdot 6 = -0,26 \cdot 6 = -1,56 \text{ kN/m}$$

$\theta = 0^\circ$

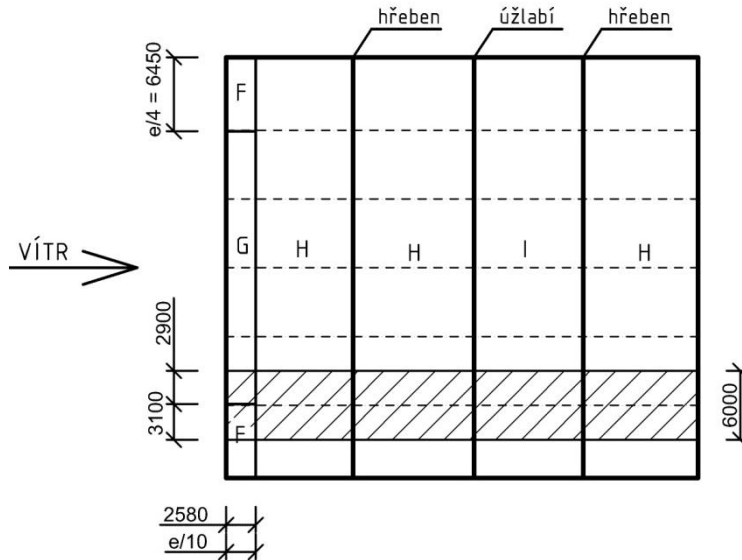


$\theta = 180^\circ$



8), 9) Vítř přičný tlak (dva různé zatěžovací stavy pro směry větru 0° a 180° kvůli osově nesouměrnosti haly)

$$\gamma_Q = 1,5$$



Spojité zatížení vazby v oblasti F/G:

$$f_{1,k} = w_{e,F} \cdot 3,1 + w_{e,G} \cdot 2,9 = 0,15 \cdot 3,1 + 0,15 \cdot 2,9 = 0,9 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti H pro pultovou střechu:

$$f_{2,k} = w_{e,H} \cdot 6 = 0,15 \cdot 6 = 0,9 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti H pro sedlovou střechu:

$$f_{3,k} = w_{e,H} \cdot 6 = -0,66 \cdot 6 = -3,96 \text{ kN/m} \quad \text{poslední oblast H: } f_{3,k} = 0,6 \cdot w_{e,H} \cdot 6 = -2,38$$

Spojité zatížení vazby v oblasti I:

$$f_{4,k} = w_{e,I} \cdot 6 = 0,08 \cdot 6 = 0,48 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (návětrná strana):

$$F_{1,k} = w_{e,F} \cdot 3,1 \cdot 0,5 + w_{e,G} \cdot 2,9 \cdot 0,5 = 0,15 \cdot 3,1 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 2,9 \cdot 0,5 = 0,45 \text{ kN}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (závětrná strana):

$$F_{2,k} = 0,6 \cdot w_{e,H} \cdot 6 \cdot 0,5 = -0,6 \cdot 0,66 \cdot 0,5 \cdot 6 = -1,19 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (návětrná strana):

$$M_{1,k} = F_{1,k} \cdot 0,5/2 = 0,45 \cdot 0,25 = 0,12 \text{ kNm}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (závětrná strana):

$$M_{2,k} = F_{2,k} \cdot 0,5/2 = -1,19 \cdot 0,25 = -0,3 \text{ kNm}$$

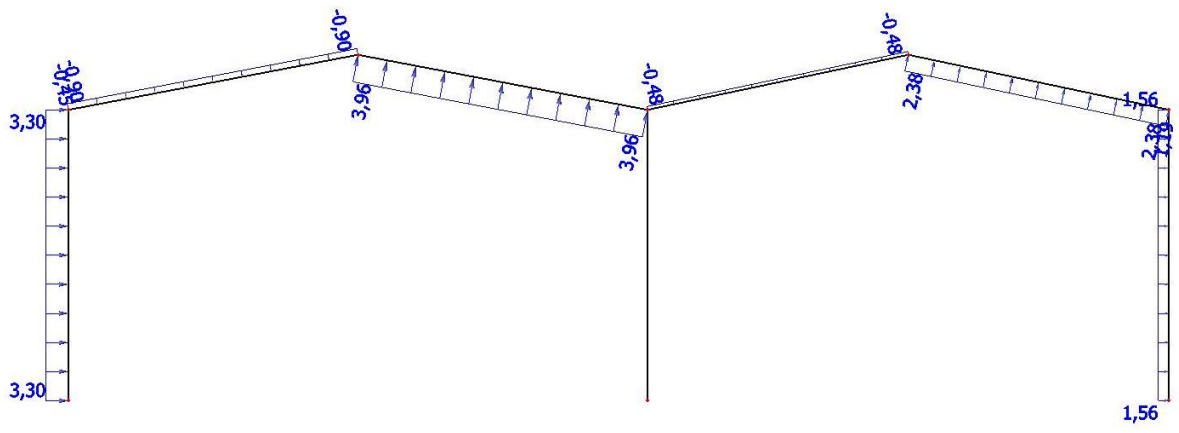
Spojité zatížení vazby v oblasti D (obvodová stěna - návětrná strana):

$$f_{5,k} = w_{e,D} \cdot 6 = 0,55 \cdot 6 = 3,3 \text{ kN/m}$$

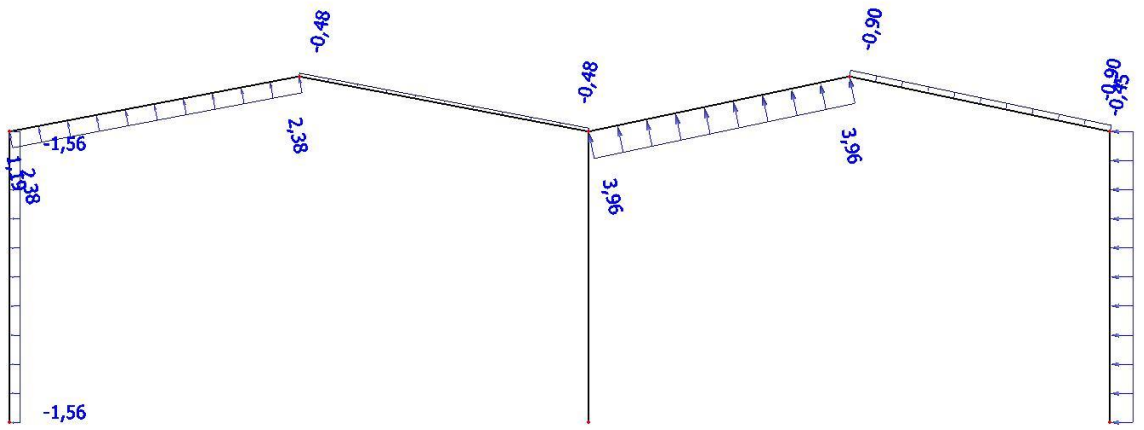
Spojité zatížení vazby v oblasti E (obvodová stěna - závětrná strana):

$$f_{6,k} = w_{e,E} \cdot 6 = -0,26 \cdot 6 = -1,56 \text{ kN/m}$$

$\theta = 0^\circ$

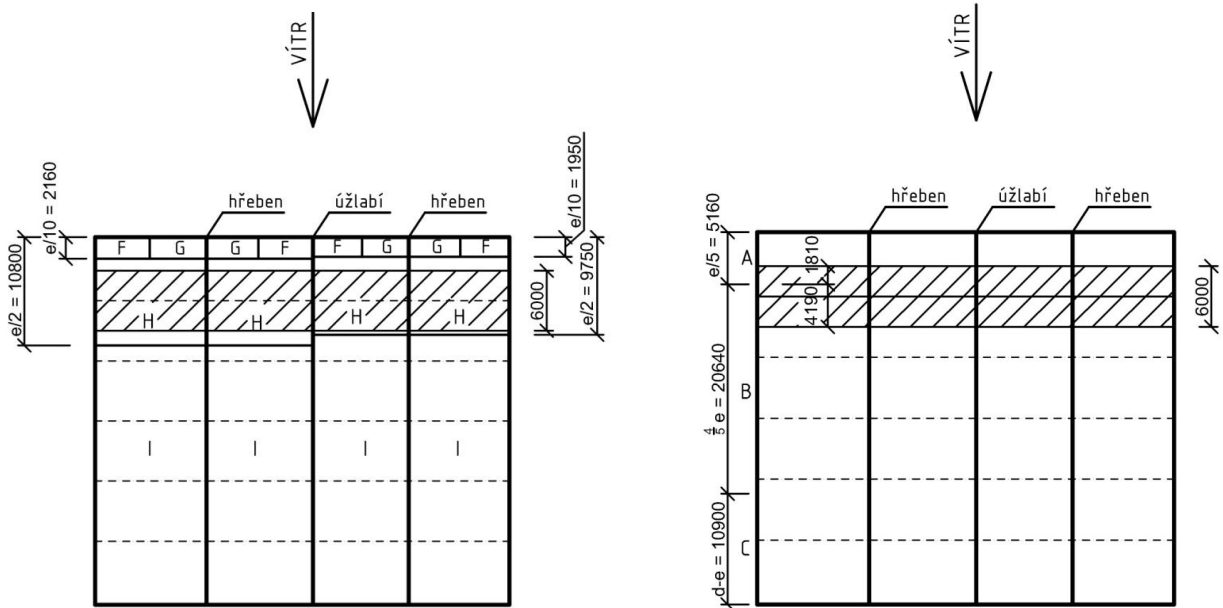


$\theta = 180^\circ$



10) Vitr podélný

$$\gamma_Q = 1,5$$



Spojité zatížení vazby v oblasti H:

$$f_{1,k} = w_{e,H} \cdot 6 = -0,52 \cdot 6 = -3,12 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu:

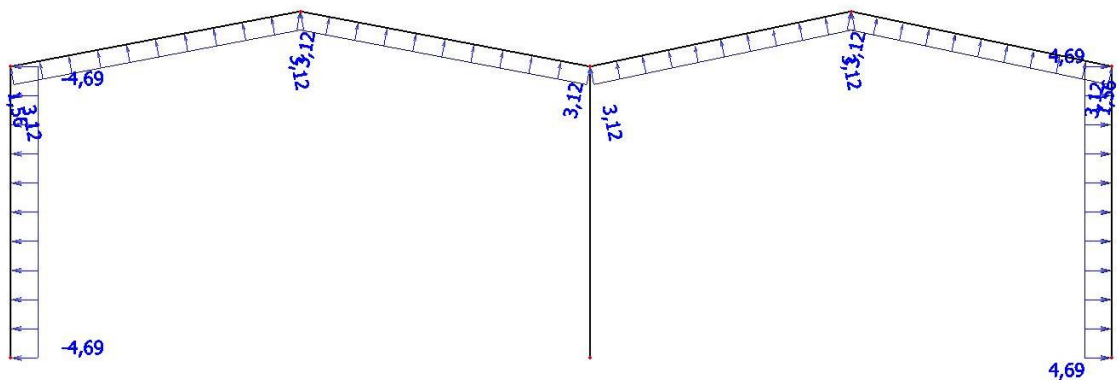
$$F_k = w_{e,H} \cdot 6 \cdot 0,5 = -0,52 \cdot 6 \cdot 0,5 = -1,56 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu:

$$M_{2,k} = F_k \cdot 0,5/2 = -1,56 \cdot 0,25 = -0,39 \text{ kNm}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti A/B (obvodové stěny):

$$f_{2,k} = w_{e,A} \cdot 1,81 + w_{e,B} \cdot 4,19 = -0,88 \cdot 1,81 - 0,74 \cdot 4,19 = -4,69 \text{ kN/m}$$

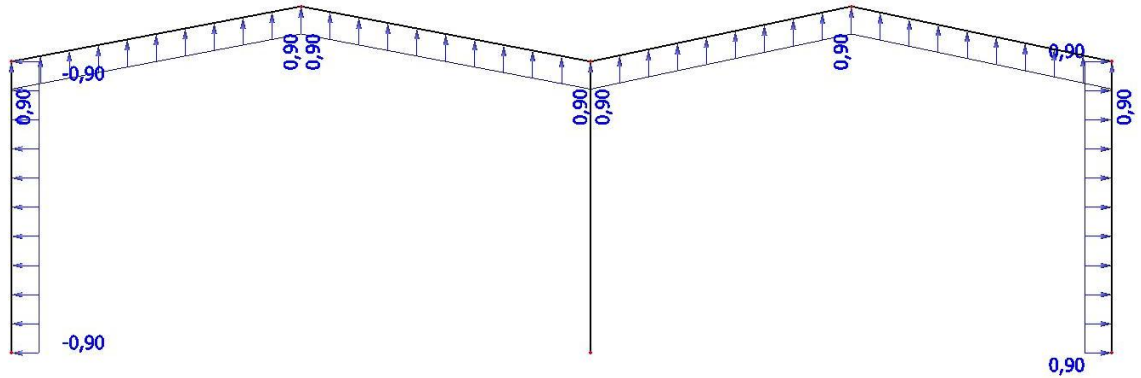


11) Vnitřní tlak

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby:

$$f_k = w_i \cdot 6 = 0,15 \cdot 6 = 0,9 \text{ kN/m}$$

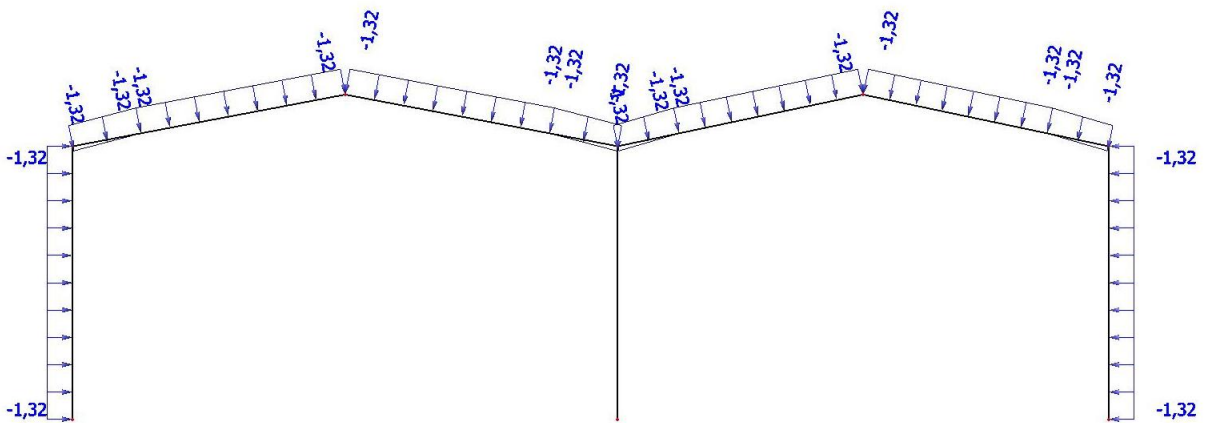


12) Vnitřní sání

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby:

$$f_k = w_i \cdot 6 = -0,22 \cdot 6 = -1,32 \text{ kN/m}$$



5.2 Kombinace zatěžovacích stavů pro MSÚ

$$\text{Varianta A: } \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Vzhledem k velkému množství zatěžovacích stavů jsem nesestavoval všechny možné kombinace, ale po úvaze jsem vybral jen ty nejvíce nepříznivé.

Kombinace ZS	Vlastní tíha přič. vazby		Ostatní stálé		Sníh nenavátý		Sníh navátý		Sníh výjimečně navátý		Vítr příčný sání $\theta = 0^\circ$		Vítr příčný sání $\theta = 180^\circ$		Vítr příčný tlak $\theta = 0^\circ$		Vítr příčný tlak $\theta = 180^\circ$		Vítr podélný		Vnitřní tlak		Vnitřní sání		
	γ_G	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0
KZS1	1,35	1,35			-	1,5								0,6	1,5									0,6	1,5
KSZ2	1,35	1,35					-	1,5						0,6	1,5									0,6	1,5
KZS3	1,35	1,35			-	1,5										0,6	1,5							0,6	1,5
KZS4	1,35	1,35					-	1,5								0,6	1,5							0,6	1,5
KZS5	1,35	1,35			0,5	1,5								-	1,5									-	1,5
KSZ6	1,35	1,35					0,5	1,5						-	1,5									-	1,5
KZS7	1,35	1,35			0,5	1,5										-	1,5							-	1,5
KZS8	1,35	1,35					0,5	1,5								-	1,5							-	1,5
KZS9	1,0	1,0							-	1,5											-	1,5			
KZS10	1,0	1,0									-	1,5											-	1,5	
KZS11	1,0	1,0																			-	1,5		-	1,5
KZS12	1,35	1,35			-	1,5																			
KZS13	1,35	1,35					-	1,5																	

pozn: Pro příčný vítr jsou vždy dva zatěžovací stavy pro oba směry, kvůli tomu, že na některých oblastech střechy je možné buď sání anebo tlak.

5.3 Kombinace zatěžovacích stavů pro MSP

Charakteristická kombinace: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

Sestavené kombinace pro MSP odpovídají kombinacím pro MSÚ.

Kombinace ZS	Vlastní tíha přič. vazby		Ostatní stálé		Sníh nenavátý		Sníh navátý		Sníh výjimečné navátí		Větr příčný sání $\theta = 0^\circ$		Větr příčný sání $\theta = 180^\circ$		Větr příčný tlak $\theta = 0^\circ$		Větr příčný tlak $\theta = 180^\circ$		Větr podélný		Vnitřní tlak		Vnitřní sání		
	γ_G	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0	γ_Q	Ψ_0
KZS14	1,0	1,0			-	1,0								0,6	1,0									0,6	1,0
KSZ15	1,0	1,0					-	1,0						0,6	1,0									0,6	1,0
KZS16	1,0	1,0			-	1,0										0,6	1,0							0,6	1,0
KZS17	1,0	1,0					-	1,0								0,6	1,0							0,6	1,0
KZS18	1,0	1,0			0,5	1,0								-	1,0									-	1,0
KSZ19	1,0	1,0					0,5	1,0						-	1,0									-	1,0
KZS20	1,0	1,0			0,5	1,0										-	1,0							-	1,0
KZS21	1,0	1,0					0,5	1,0								-	1,0							-	1,0
KZS22	1,0	1,0							-	1,0													-	1,0	
KZS23	1,0	1,0									-	1,0											-	1,0	
KZS24	1,0	1,0																					-	1,0	
KZS25	1,0	1,0			-	1,0																			
KZS26	1,0	1,0					-	1,0																	

5.4 Návrh příčné rámové vazby

Návrh prvků příčné rámové vazby jsem provedl s ohledem na maximální napětí a na mezní průhyb.

V programu SCIA Engineer jsem postupně měnil průřezy jednotlivých prvků a sledoval jsem přemístění uzlů (pro výše uvedené kombinace zatěžovacích stavů pro MSP) a napětí na prutech (pro kombinace zatěžovacích stavů pro MSÚ).

Mezní průhyby:

Svislý průhyb: pro vazník: $\delta_2 = L/250$

větší loď: $\delta_2 = L/250 = 21100/250 = 84,4\text{mm}$

menší loď: $\delta_2 = L/250 = 19000/250 = 76\text{mm}$

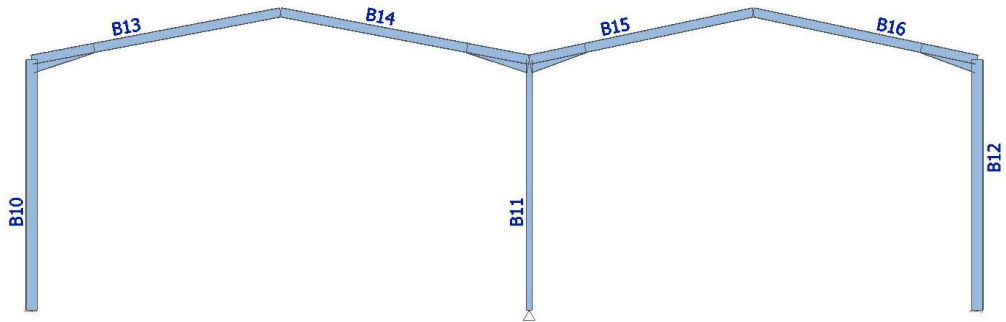
Vodorovný průhyb: vrcholy sloupů u portálových rámců: $\delta = h/150 = 10570/150 = 70,5\text{mm}$

Maximální napětí:

Vzhledem k použité oceli S235 je mez kluzu tedy 235 MPa. Avšak pro stanovení maximálního napětí musíme taktéž uvažovat rezervu s ohledem na vzpěr a klopení za ohybu. Předpokládejme redukční součinitel $X = 0,7$. Maximální napětí na prutu potom tedy bude $0,7 \cdot 235 = 164\text{ MPa}$.

Výsledkem tohoto dimenzování jsou 3 konstrukční varianty pro příčnou rámovou vazbu. Liší se od sebe uložením sloupů (kloubová x vetknutá patka), jedna uvedená varianta je s použitím táhla.

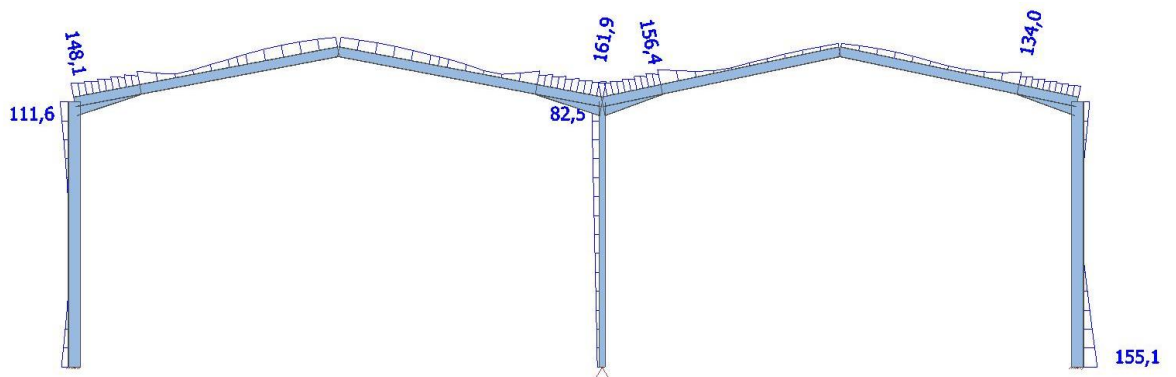
1) Varianta s vetknutými krajními sloupy



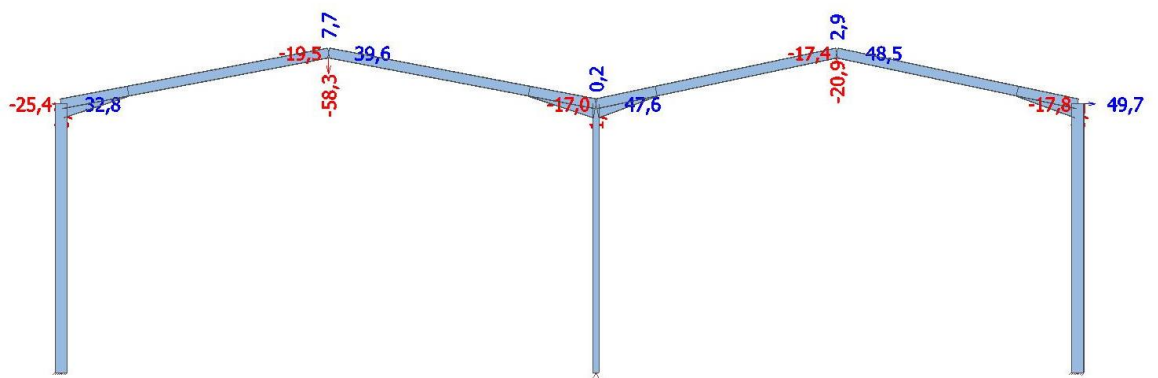
Prvek	Průřez
B10	HEA500
B11	HEA260
B12	HEA500
B13	IPE400 + náběh IPE400 výšky 365 na vzdálenost 25% délky prutu
B14	IPE400 + náběh IPE400 výšky 365 na vzdálenost 25% délky prutu
B15	IPE400 + náběh IPE400 výšky 365 na vzdálenost 25% délky prutu
B16	IPE400 + náběh IPE400 výšky 365 na vzdálenost 25% délky prutu

Celková hmotnost: 7042,6 kg

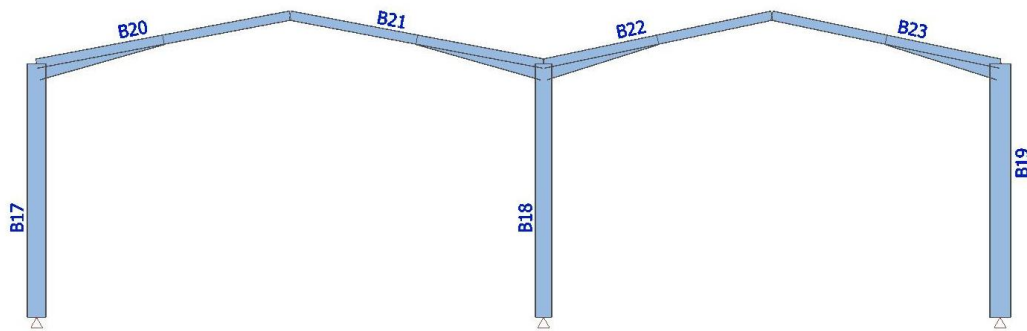
Napětí na prutech (von Mises): [MPa]



Přemístění uzlů: [mm]

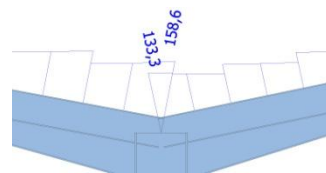


2) Varianta se všemi sloupy uloženými kloubově

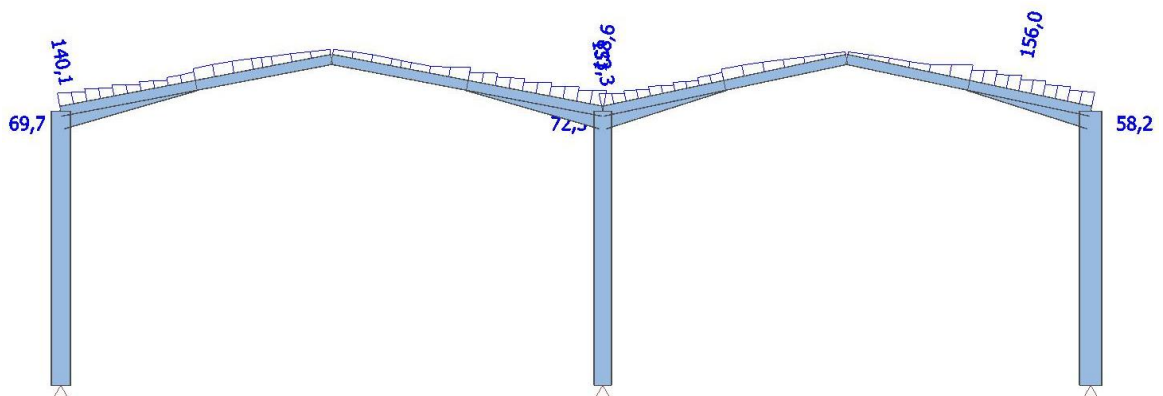


Prvek	Průřez
B17	HEA800
B18	HEA700
B19	HEA900
B20	IPE400 + náběh IPE550 výšky 500 na polovinu délky prutu
B21	IPE400 + náběh IPE550 výšky 500 na polovinu délky prutu
B22	IPE400 + náběh IPE550 výšky 500 na polovinu délky prutu
B23	IPE400 + náběh IPE550 výšky 500 na polovinu délky prutu

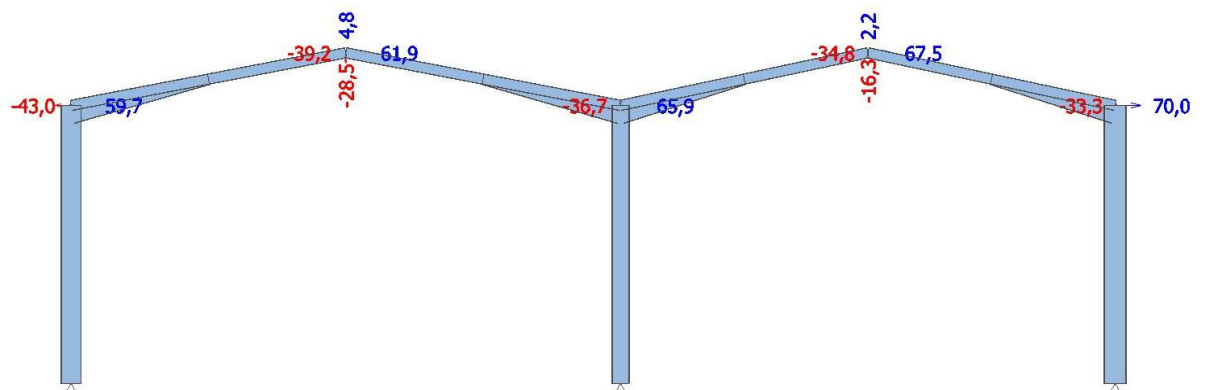
Celková hmotnost: 10944,7 kg



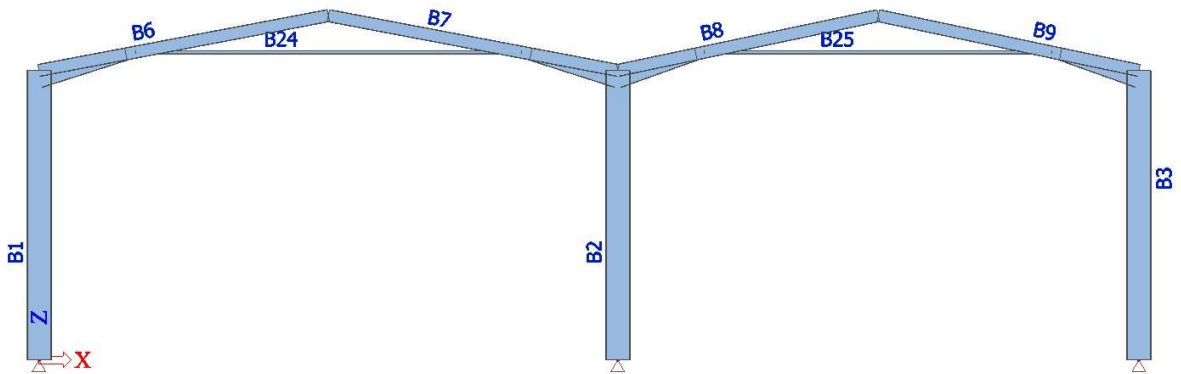
Napětí na prutech (von Mises): [MPa]



Přemístění uzlů: [mm]



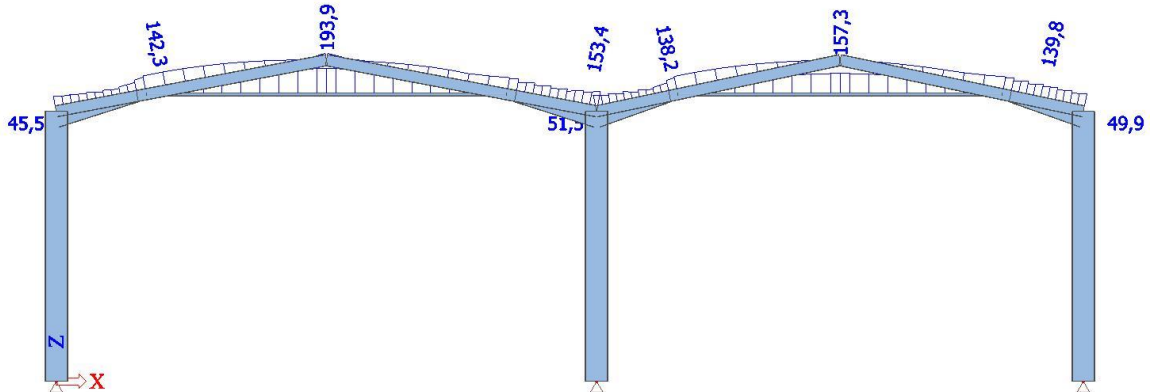
3) Varianta se všemi sloupy uloženými kloubově a s táhlem v každé lodi, umístěným v dolní třetině délky prutu



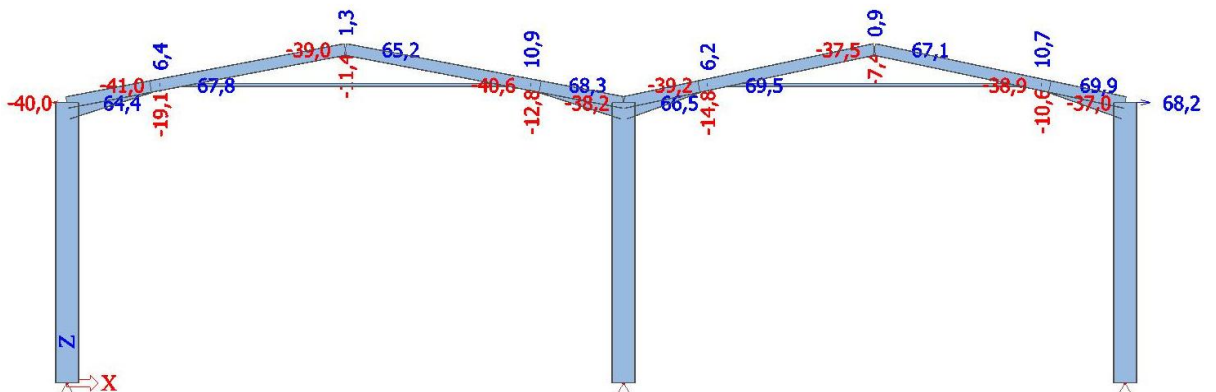
Prvek	Průřez
B1	HEA900
B2	HEA900
B3	HEA900
B6	IPE450 + náběh IPE450 výšky 410 na vzdálenost 30% délky prutu
B7	IPE450 + náběh IPE450 výšky 410 na vzdálenost 30% délky prutu
B8	IPE450 + náběh IPE450 výšky 410 na vzdálenost 30% délky prutu
B9	IPE450 + náběh IPE450 výšky 410 na vzdálenost 30% délky prutu
B24	Kruhová tyč d=120mm
B25	Kruhová tyč d=120mm

Celková hmotnost: 13989,6 kg

Napětí na prutech (von Mises): [MPa]



Přemístění uzlů: [mm]



Poznatky při návrhu

- při dimenzování sloupů rozhoduje vodorovný průhyb při kloubovém uložení sloupů, ale u vetknutých sloupů rozhoduje únosnost v ohybu
- náběhy snižují napětí v rámovém rohu, ale na průhyby nemají výrazný vliv
- táhlo výrazně snižuje svislý průhyb, který však není v této konstrukci rozhodující
- typ uložení sloupu má zásadní vliv na jeho výslednou dimenzi a tím i na celkovou hmotnost vazby

Závěr návrhu - výsledná varianta

Vybral jsem si první variantu s vetknutými krajními sloupy.

Její velkou výhodou je výrazná úspora materiálu oproti zbývajícím dvěma variantám. Naproti tomu nevýhodou této varianty je složitější detail patky u krajních sloupů z důvodu jejich vetknutí.

5.5 Posouzení příčné rámové vazby

5.5.1 Rámové imperfekce

počet sloupů v jedné řadě: $m = 3$

výška rámu: $h = 12,9$ m

$$\text{součinitel výšky rámu: } \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{12,9}} = 0,56 \quad ; \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \quad \rightarrow \quad \alpha_h = 0,667$$

$$\text{součinitel zohledňující počet sloupů v jedné řadě: } \alpha_h = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right)} = 0,816$$

$$\text{úhel natočení sloupů: } \Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_h = \frac{1}{200} \cdot 0,667 \cdot 0,816 = 2,271 \cdot 10^{-3}$$

výpočet ekvivalentních vodorovných sil:

$$H_{g,k} = (G_0 + g_{ost} \cdot L) \cdot \Phi = (30,36 + 0,26 \cdot 41,1) \cdot 2,271 \cdot 10^{-3} = 0,10 \text{ kN}$$

G_0 je vlastní tíha příčlí

g_{ost} je vlastní tíha střešního pláště

L je rozpětí haly

$$H_{q,k} = \sum N \cdot \Phi = 276,1 \cdot 2,271 \cdot 10^{-3} = 0,63 \text{ kN}$$

$\sum N$ je součet svislých reakcí od KZS16 zmenšený o zatížení vlastní tíhou. KZS16 jsem vybral z důvodu největšího svislého zatížení (od charakteristické kombinace).

Výpočet α_{cr} : zjednodušený postup pro portálový rám

Tento výpočet je uveden pouze pro ilustraci. Pro další postup budu uvažovat α_{cr} vypočtené ve Scia Engineer.

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{\sum H_{Ed}}{\sum V_{Ed}} \right) \cdot \left(\frac{h}{\delta_{Ed}} \right)$$

Výpočet pro KZS3:

KZS3 jsem vybral z důvodu největšího svislého zatížení (od návrhové kombinace).

$$H_{Ed}^1 = \sum R_x + H_{g,k} \cdot \gamma_G + H_{q,k} \cdot \gamma_Q \cdot \psi_0 = 35,3 + 0,1 \cdot 1,35 + 0,63 \cdot 1,5 \cdot 0,5 = 35,91 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^1 = \sum R_z = 514,75 \text{ kN}$$

$$\delta_{Ed} = \delta_{KZS1} + \delta_{impf} = 0,0578 + 2,271 \cdot 10^{-3} \cdot 12,9 = 0,087 \text{ m}$$

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{\sum H_{Ed}}{\sum V_{Ed}} \right) \cdot \left(\frac{h}{\delta_{Ed}} \right) = \left(\frac{35,91}{514,75} \right) \cdot \left(\frac{12,9}{0,087} \right) = 10,02$$

α_{cr} bylo vypočteno ze stabilitních kombinací, které odpovídají výše uvedeným návrhovým kombinacím.

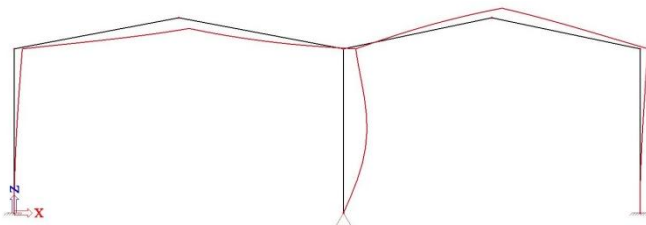
Jako typ řešiče pro vlastní čísla byl použit *Iterační (ICGC)*.

Jak je vidět z výstupní tabulky, pro stabilitní kombinace č.2, č.4 a č.13 vyšlo α_{cr} menší než 10, tudíž budeme konstrukci řešit podle teorie II. řádu.

Pro stabilitní kombinace č.9 a č.11 vyšlo $\alpha_{cr} = 0$. To je však nutné zhodnotit jako chybu výpočtu, neboť při kontrole vnitřních sil je vidět, že všechny sloupy jsou v těchto kombinacích tažené. Odpovídá to tedy spíše výsledku $\alpha_{cr} = \infty$.

Nejmenší α_{cr} je v 13. kombinaci.

Kritický vlastní tvar $\alpha_{cr(1)} = 8,54$



1. Součinitele kritického zatížení

Stabilitní kombinace : S1	
1	10,34
2	21,80
3	39,75
4	57,49
Stabilitní kombinace : S2	
1	8,66
2	20,42
3	35,95
4	57,49
Stabilitní kombinace : S3	
1	10,20
2	21,56
3	39,34
4	56,59
Stabilitní kombinace : S4	
1	8,55
2	20,23
3	35,57
4	56,91
Stabilitní kombinace : S5	
1	16,13
2	33,78
3	60,40
4	87,42
Stabilitní kombinace : S6	
1	14,13
2	31,86
3	57,36
4	87,46
Stabilitní kombinace : S7	
1	15,58
2	32,81
3	58,99
4	83,32
Stabilitní kombinace : S8	
1	13,67
2	31,09
3	55,78
4	85,23
Stabilitní kombinace : S9	
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
Stabilitní kombinace : S10	
1	35230,98
2	51808,29
3	178578,71
4	446234,31
Stabilitní kombinace : S11	
1	0,00
2	0,00
3	0,00
4	0,00
Stabilitní kombinace : S12	
1	10,22
2	21,67
3	39,75
4	58,17
Stabilitní kombinace : S13	
1	8,54
2	20,36
3	35,62
4	57,49

5.5.2 Posouzení prvků rámu

Výpočet vnitřních sil

Vnitřní síly jsem stanovil výpočtem v programu Scia Engineer.

Pro zahrnutí účinků II. řádu jsem použil nelineární výpočet.

Nelineární kombinace jsem vytvořil z původních lineárních kombinací pro MSÚ. Pro zohlednění rámových imperfekcí jsem zavedl globální imperfekci - náklon konstrukce.

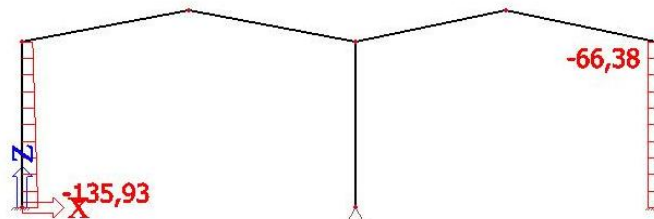
5.5.3 Posouzení krajního sloupu

Rozhoduje nelineární kombinace s největším momentem. To je nelineární kombinace č.5.

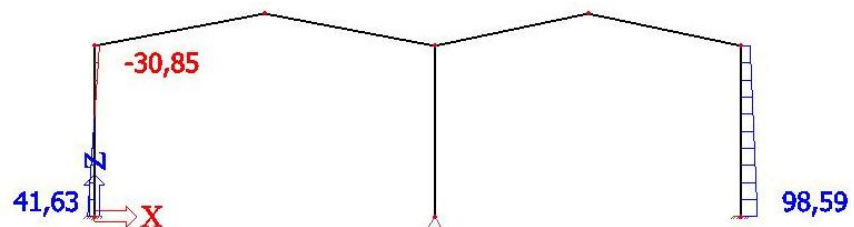
M [kNm]:



N [kN]:



V [kN]:



Vnitřní síly uvažované pro posouzení tedy jsou: $N_{Ed} = 66,4$ kN (tlak)
 $M_{Ed} = 553$ kNm
 $V_{Ed} = 98,59$ kN

Průřez sloupu **HEA 450**

(sloup byl změněn oproti původně navrženému profilu HEA500. Při jeho posouzení bylo výsledné využití pouhých 66,8%)

$$A = 17800 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 63720 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 3216000 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 189 \text{ mm}$$

$$I_t = 243,8 \cdot 10^4 = \text{mm}^4$$

$$A_{v,z} = 6578 \text{ mm}^2$$

$$I_z = 9465 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,z} = 965500 \text{ mm}^3$$

$$i_z = 72,9 \text{ mm}$$

$$I_w = 4148000 \cdot 10^6 = \text{mm}^6$$

Zatřídění sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

Posun neutrální osy k tažené pásnici (plastické posouzení):

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{66400}{11,5 \cdot 235} = 24,57 \text{ mm}$$

Součinitel vyjadřující velikost tlačené části stěny:

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 344 + 24,57}{344} = 0,57$$

Zatřídění stojiny: Pro 1. třídu platí, že poměr $\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{344}{12} = 28,7 < \frac{369 \cdot \epsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{369 \cdot 1}{13 \cdot 0,57 - 1} = 58,75$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

Pro tlačенou pásnici platí: $\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{300 \cdot 0,5 - 11,5 \cdot 0,5 - 27}{21} = 5,09 < 9 \cdot \epsilon = 9 \rightarrow$ Průřez je 1. třídy

Vzpěrné délky, štíhlosti a součinitele vzpěrnosti

Pro vzpěr v rovině rámu (vybočení kolmo k ose y) se použije vzpěrná délka rovna systémové délce s redukcí na vetknutí do patek (po zahrnutí náklonu již lze uvažovat fiktivní podporu ve vrcholu sloupu).

$$L_{cr,y} = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 10570 = 7399 \text{ mm}$$

Pro vzpěr z roviny rámu (vybočení kolmo k ose z) se použije vzpěrná délka rovna polovině výšky sloupu. V polovině výšky stěny totiž uvažujeme vodorovný ztužující prut bránící vybočení sloupu z roviny rámu.

$$L_{cr,z} = 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 10570 = 5285 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlosti sloupu} \quad \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7399}{189} = 39,15$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5285}{72,9} = 72,50$$

$$\text{Poměrné štíhlosti} \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{39,15}{93,9} = 0,417 \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{72,50}{93,9} = 0,772$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky "a" ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky "b" ve směru kolmo k ose z.

$$\chi_y = 0,947$$

$$\chi_z = 0,741$$

Vliv klopení

Tlačená pásnice sloupu není v příčném směru podepřena. Sloup proto musí být posouzen s vlivem klopení.

$L = 10570$ mm (výška sloupu, protože tlačená pásnice sloupu je v příčném směru podepřena v patce a ve vrcholu)

$k_y = 0,7$ (vetknutí v patce sloupu, volné pootočení rámového rohu)

$k_z = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_w = 0,7$ (v patce je přivařenými podélnými výztuhami bráněno deplanaci, v rámovém rohu je deplanace volná)

$$\psi = \frac{M_{vrchol}}{M_{patka}} = \frac{-252,63}{552,97} = -0,457 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$C_{1,0} = 2,33$$

$$C_{1,1} = 2,59$$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{0,7 \cdot 10570} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 4148000 \cdot 10^{-12}}{81 \cdot 243,8 \cdot 10^{-8}}} = 0,892 \quad (\text{bezrozměrný parametr kroucení})$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_w \leq C_{1,1}$$

$$C_1 = 2,33 + (2,59 - 2,33) \cdot 0,892 = 2,56 \leq 2,59$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + \kappa_w^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad (\text{bezrozměrný kritický moment})$$

ζ_g (bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku)

ζ_j (bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu)

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = 0$$

$$\text{Po úpravě: } \mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_w^2} = \frac{2,56}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,892^2} = 3,43$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 3,43 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 9465 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 243,8 \cdot 10^4}}{10570} \cdot 10^{-6} = 2020 \text{ kNm}$$

(Pružný kritický moment při klopení)

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3216000 \cdot 235}{2020 \cdot 10^6}} = 0,612 \quad (\text{poměrná štíhlost})$$

$$\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka klopení "b")}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,612 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,612^2] = 0,676$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,676 + \sqrt{0,676^2 - 0,75 \cdot 0,612^2}} = 0,913 \quad (\text{součinitel klopení})$$

$$\text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0 ; \chi_{LT} \leq \frac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,612^2} = 2,67$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

$$C_{my} = 0,9 \quad (\text{součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčniců})$$

$$C_{mLT} = 0,6 + \psi \cdot 0,4 = 0,6 - 0,457 \cdot 0,4 = 0,417$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu jsou:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 17800 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 4183 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3216000 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 755,7 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou:

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,9 \cdot \left(1 + (0,417 - 0,2) \cdot \frac{66,4}{0,947 \cdot \frac{4183}{1,0}} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{66,4}{0,947 \cdot \frac{4183}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,903 \\ 0,912 \end{array} \right) = 0,903$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,772}{(0,417 - 0,25)} \cdot \frac{66,4}{0,741 \cdot \frac{4183}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,417 - 0,25)} \cdot \frac{66,4}{0,741 \cdot \frac{4183}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max \left(\begin{array}{l} 0,990 \\ 0,987 \end{array} \right) = 0,990$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{66,4}{0,947 \cdot \frac{4183}{1,0}} + 0,903 \cdot \frac{553}{0,913 \cdot \frac{755,7}{1,0}} =$$

$$= 0,016 + 0,724 = 0,740 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{66,4}{0,741 \cdot \frac{4183}{1,0}} + 0,990 \cdot \frac{553}{0,913 \cdot \frac{755,7}{1,0}} =$$

$$= 0,021 + 0,793 = 0,814 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M0}} = \frac{66,4}{1} + \frac{553}{1} = 0,016 + 0,732 = 0,748 \leq 1$$

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot z \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{6578 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 892,5 \text{ kN} > V_{Ed} = 98,59 \text{ kN}$$

Jedná se o malý smyk ($V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$), tudíž není nutné zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

ZÁVĚR: Sloup vyhovuje (využití= 81,4%).

Výsledné využití poskytuje rezervu pro přídatnou normálovou sílu od podélného stěnového ztužidla.

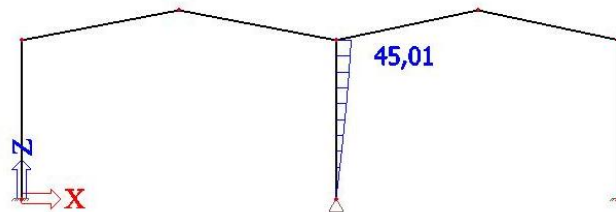
5.5.4 Posouzení prostředního sloupu

Posouzení bude provedeno pro dvě různé nelineární kombinace. Jednou pro kombinaci s největším ohybovým momentem a jednou pro kombinaci s největší normálovou silou.

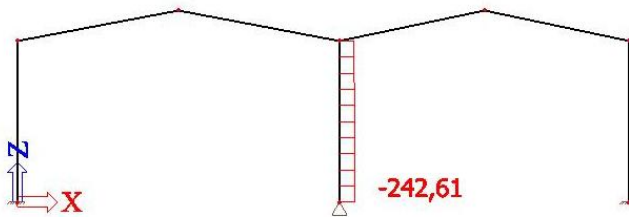
5.5.4.1 Posouzení pro max. M

Posouzení nelineární kombinace s největším momentem. To je nelineární kombinace č. 1.

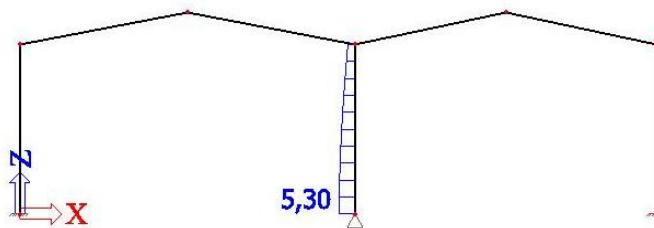
M [kNm]:



N [kN]:



V [kN]:



Vnitřní síly uvažované pro posouzení tedy jsou: $N_{Ed} = 243 \text{ kN}$ (tlak)
 $M_{Ed} = 45 \text{ kNm}$
 $V_{Ed} = 5,3 \text{ kN}$

Průřez sloupu HEA 260

$A = 8680 \text{ mm}^2$	$A_{v,z} = 2876 \text{ mm}^2$
$I_y = 10500 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$I_z = 3670 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
$W_{pl,y} = 920830 \text{ mm}^3$	$W_{pl,z} = 429170 \text{ mm}^3$
$i_y = 110 \text{ mm}$	$i_z = 65 \text{ mm}$
$I_t = 523700 \text{ mm}^4$	$I_w = 516400 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$

Zatřídění sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

Posun neutrální osy k tažené pásnici (plastické posouzení):

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{243000}{7,5 \cdot 235} = 137,8 \text{ mm} \geq \frac{d}{2} = \frac{177}{2} = 88,5 \text{ mm} \rightarrow \text{stojina je celá tlačena}$$

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

Zatřídění stojiny: Pro 1. třídu platí, že poměr $\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{177}{7,5} = 23,6 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

Pro tlačенou pásnici platí: $\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{260 \cdot 0,5 - 7,5 \cdot 0,5 - 24}{12,5} = 8,2 < 9 \cdot \varepsilon = 9$

→ Průřez je 1. třídy

Vzpěrné délky, štíhlosti a součinitele vzpěrnosti

Pro vzpěr v rovině rámu (vybočení kolmo k ose y), stejně tak jako vzpěr z roviny rámu (vybočení kolmo k ose z), se použije vzpěrná délka rovna systémové délce.

$$L_{cr,y} = L = 10570 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L = 10570 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlosti sloupu} \quad \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10570}{110} = 96,1$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{10570}{65} = 162,6$$

$$\text{Poměrné štíhlosti} \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{96,1}{93,9} = 1,023 \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{162,6}{93,9} = 1,732$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky "b" ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky "c" ve směru kolmo k ose z.

$$\chi_y = 0,582$$

$$\chi_z = 0,250$$

Vliv klopení

Tlačená pásnice sloupu není v příčném směru podepřena. Sloup proto musí být posouzen s vlivem klopení.

$L = 10570$ mm (výška sloupu, protože tlačená pásnice sloupu je v příčném směru podepřena v patce a ve vrcholu)

$k_y = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_z = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_w = 1,0$ (volná deplanace)

$\psi = 0$ (v patce je nulový moment) (poměr koncových momentů na prutu)

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

$C_{1,1} = 1,85$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 10,570} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 516400 \cdot 10^{-12}}{81 \cdot 523700 \cdot 10^{-12}}} = 0,475 \quad (\text{bezrozměrný parametr kroucení})$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_w \leq C_{1,1}$$

$$C_1 = 1,77 + (1,85 - 1,77) \cdot 0,475 = 1,81 \leq 1,85$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot [\sqrt{1 + \kappa_w^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)] \quad (\text{bezrozměrný kritický moment})$$

ζ_g (bezrozměrný parametr působení zatížení vzhledem ke středu smyku)

ζ_j (bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu)

$C_2 = 0$

$C_3 = 0$

$$\text{Po úpravě: } \mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_w^2} = \frac{1,81}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,475^2} = 2,00$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,0 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 3670 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 523700}}{10570} \cdot 10^{-6} = 339,9 \text{ kNm}$$

(Pružný kritický moment při klopení)

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{920830 \cdot 235}{339,9 \cdot 10^6}} = 0,798 \quad (\text{poměrná štíhlost})$$

$\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$

$\beta = 0,75$

$\alpha_{LT} = 0,34$ (křivka klopení "b")

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2] =$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,798 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,798^2] = 0,806$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,806 + \sqrt{0,806^2 - 0,75 \cdot 0,798^2}} = 0,819 \quad (\text{součinitel klopení})$$

$$\text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0 ; \chi_{LT} \leq \frac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,798^2} = 1,57$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

$$C_{my} = 0,9 \quad (\text{Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčnicků})$$

$$C_{mLT} = 0,6 + \psi \cdot 0,4 = 0,6 + 0 \cdot 0,4 = 0,6$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu jsou:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 8680 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 2040 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 920830 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 216,4 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou:

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,9 \cdot \left(1 + (1,023 - 0,2) \cdot \frac{243}{0,582 \cdot \frac{2040}{1,0}} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{243}{0,582 \cdot \frac{2040}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min \left(\begin{array}{l} 1,052 \\ 1,047 \end{array} \right) = 1,047$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,732}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{243}{0,250 \cdot \frac{2040}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{243}{0,250 \cdot \frac{2040}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max \left(\begin{array}{l} 0,764 \\ 0,846 \end{array} \right) = 0,864$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{243}{0,582 \cdot \frac{2040}{1,0}} + 1,047 \cdot \frac{45}{0,819 \cdot \frac{216,4}{1,0}} =$$

$$= 0,205 + 0,266 = 0,471 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{243}{0,250 \cdot \frac{2040}{1,0}} + 0,864 \cdot \frac{45}{0,819 \cdot \frac{216,4}{1,0}} =$$

$$= 0,476 + 0,219 = 0,696 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{243}{1} + \frac{45}{1} = 0,119 + 0,208 = 0,327 \leq 1$$

Posouzení smykové únosnosti:

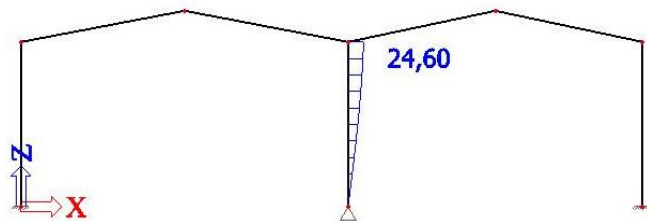
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2876 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 390,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 5,3 \text{ kN}$$

Jedná se o malý smyk ($V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$), tudíž není nutné zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

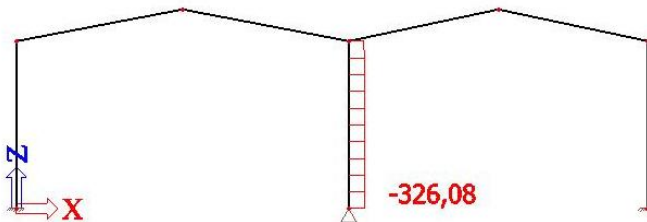
5.5.4.2 Posouzení pro max. N

Posouzení nelineární kombinace s největší tlakovou normálovou silou. To je nelineární kombinace č.13.

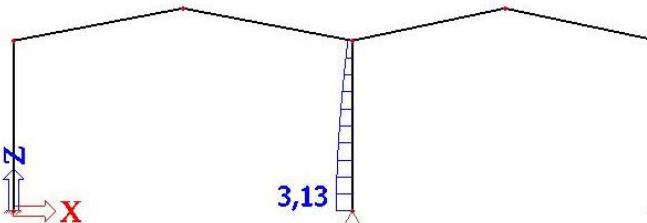
M [kNm]:



N [kN]:



V [kN]:



Vnitřní síly uvažované pro posouzení tedy jsou: $N_{Ed} = 326 \text{ kN}$ (tlak)
 $M_{Ed} = 24,6 \text{ kNm}$
 $V_{Ed} = 3,1 \text{ kN}$

Průřez sloupu HEA 260

$A = 8680 \text{ mm}^2$	$A_{v,z} = 2876 \text{ mm}^2$
$I_y = 10500 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$I_z = 3670 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
$W_{pl,y} = 920830 \text{ mm}^3$	$W_{pl,z} = 429170 \text{ mm}^3$
$i_y = 110 \text{ mm}$	$i_z = 65 \text{ mm}$
$I_t = 523700 \text{ mm}^4$	$I_w = 516400 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

$C_{my} = 0,9$ (Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčniců)

$$C_{mLT} = 0,6 + \psi \cdot 0,4 = 0,6 + 0 \cdot 0,4 = 0,6$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu jsou:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 8680 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 2040 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 920830 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 216,4 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou:

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,9 \cdot \left(1 + (1,023 - 0,2) \cdot \frac{326}{0,582 \cdot \frac{2040}{1,0}} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{326}{0,582 \cdot \frac{2040}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min \left(\begin{array}{l} 1,103 \\ 1,098 \end{array} \right) = 1,098$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,732}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{326}{0,250 \cdot \frac{2040}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{326}{0,250 \cdot \frac{2040}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max \left(\begin{array}{l} 0,684 \\ 0,817 \end{array} \right) = 0,817$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{326}{0,582 \cdot \frac{2040}{1,0}} + 1,098 \cdot \frac{24,6}{0,819 \cdot \frac{216,4}{1,0}} =$$

$$= 0,275 + 0,152 = 0,427 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{326}{0,250 \cdot \frac{2040}{1,0}} + 0,817 \cdot \frac{24,6}{0,819 \cdot \frac{216,4}{1,0}} =$$

$$= 0,639 + 0,113 = 0,752 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} = \frac{326}{2040} + \frac{24,6}{216,4} = 0,160 + 0,114 = 0,274 \leq 1$$

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2876 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 390,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 3,1 \text{ kN}$$

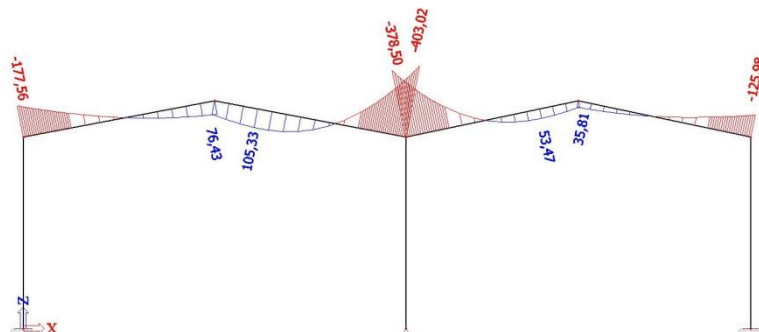
Jedná se o malý smyk ($V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$), tudíž není nutné zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

ZÁVĚR: Sloup vyhovuje (využití= 75,2%).

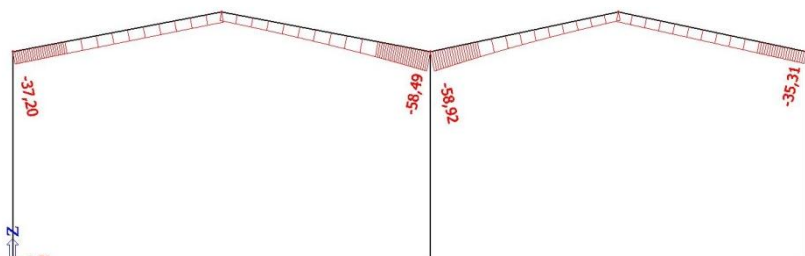
5.5.5 Posouzení příčle

Rozhoduje nelineární kombinace s největším momentem. To je nelineární kombinace č.13.

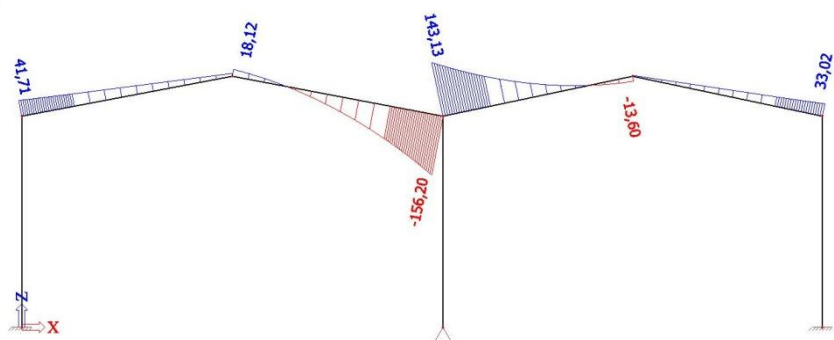
M [kNm]:



N [kN]:



V [kN]:



Vnitřní síly uvažované pro posouzení tedy jsou: $N_{Ed} = 58,9 \text{ kN}$ (tlak)
 $M_{Ed} = 403 \text{ kNm}$
 $V_{Ed} = 156,2 \text{ kN}$

Průřez příčle IPE 400

$$\begin{aligned} A &= 8446 \text{ mm}^2 & A_{v,z} &= 4269 \text{ mm}^2 \\ I_y &= 23130 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 & I_z &= 1318 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\ W_{pl,y} &= 1307000 \text{ mm}^3 & W_{pl,z} &= 229000 \text{ mm}^3 \\ i_y &= 165 \text{ mm} & i_z &= 39,5 \text{ mm} \\ I_t &= 510800 \text{ mm}^4 & I_w &= 490000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6 \end{aligned}$$

Průřez příčle IPE 400 + náběh IPE 400 výšky 365mm

$$W_{pl,y} = 3148400 \text{ mm}^3$$

Vzpěrné délky, štíhlosti a součinitele vzpěrnosti

Vzpěrnou délku v rovině rámu vypočítáme pomocí α_{cr} . Použijeme nejmenší α_{cr} , tedy 1. vlastní tvar pro 13. stabilitní kombinaci.

$$N_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{Ed} = 8,54 \cdot 58,9 = 503 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{N_{cr}}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^9 \cdot 23130 \cdot 10^{-8}}{503000}} = 30,89 \text{ m}$$

Z výpočtu vyšla větší délka, než je skutečná délka příčle. Z toho vyplývá, že použitý vlastní tvar neodpovídá vybočení příčle. Použijeme tedy skutečnou délku příčle.

$$L_{cr,y} = 21,476 \text{ m}$$

Vzpěrnou délku z roviny rámu určíme jako skutečnou vzdálenost bodů, ve kterých je bráněno vybočení. Uvažujeme s podélnými pruty v každé čtvrtině délky rozpětí, které stabilizují příčnou vazbu. Vzpěrná délka tudíž bude rovna čtvrtině skutečné délky příčle.

$$L_{cr,z} = 5,369 \text{ m}$$

Štíhlosti:
$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{21476}{165} = 130,1$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5369}{39,5} = 135,9$$

Poměrné štíhlosti:
$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{130,1}{93,9} = 1,386 \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{I_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{23130}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{135,9}{93,9} = 1,447$$

Pro IPE průřezy a vybočení kolmo k ose y se použije vzpěrnostní křivka "a", pro vybočení kolmo k ose z se použije vzpěrnostní křivka "b".

Vzpěrnostní součinitel:
$$\chi_y = 0,425$$

$$\chi_z = 0,362$$

Vliv klopení

Pro výpočet kritického momentu M_{cr} byl použit volně dostupný software LTBeamN verze 1.0.3. Výstupní protokol z programu je uveden v příloze.

$$M_{cr} = 6504,5 \text{ kNm} \quad (\text{velikost kritického momentu})$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3148400 \cdot 235}{6504,5 \cdot 10^6}} = 0,337 \quad (\text{poměrná štíhlost})$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka klopení "b")}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2] =$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,337 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,337^2] = 0,537$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,537 + \sqrt{0,537^2 - 0,75 \cdot 0,337^2}} = 1,019 \quad (\text{součinitel klopení})$$

$$\text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0; \quad \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,349^2} = 8,2 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

Posouzení příčle na kombinaci tlaku s ohybem

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} :

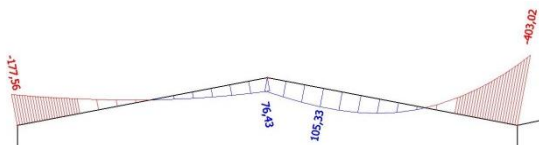
Uvažujeme moment mezi body podepřenými ve směru z-z. Tudiž uvažujeme průběh momentu na celé délce příčle.

$$\psi = \frac{M_{\text{levý roh}}}{M_{\text{pravý roh}}} = \frac{-177,56}{-403,02} = 0,44 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{105,33}{-403,02} = -0,26 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,26) = 0,308 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,4$$



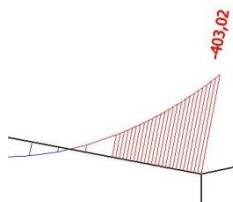
- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} :

Uvažujeme moment mezi body podepřenými ve směru y-y. Tudiž uvažujeme průběh momentu na poslední čtvrtině délky příčle.

$$\psi = \frac{M_{3/4 \text{ délky}}}{M_{\text{pravý roh}}} = \frac{70}{-403,02} = -0,174 \quad (\text{poměr momentů mezi podporami})$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,6 - 0,4 \cdot 0,174 = 0,530 \geq 0,4$$



Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu jsou:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 8446 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1994,8 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3148400 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 739,9 \text{ kNm}$$

Pro výpočet N_{Rk} byla použita plocha samostatného IPE 400. Pro výpočet $M_{y,Rk}$ byla použita hodnota plastického průřezového modulu pro profil IPE 400 + náběh IPE 400 výšky 365mm vypočtený programem Scia Engineer. Největší napětí na příčli se totiž nachází v rámovém rohu, v oblasti plné výšky náběhu.

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou:

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,4 \cdot \left(1 + (1,386 - 0,2) \cdot \frac{58,9}{0,425 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} \right) \\ 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{58,9}{0,425 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,433 \\ 0,422 \end{array} \right) = 0,422$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,447}{(0,530 - 0,25)} \cdot \frac{58,9}{0,362 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,530 - 0,25)} \cdot \frac{58,9}{0,362 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max \left(\begin{array}{l} 0,958 \\ 0,970 \end{array} \right) = 0,970$$

Příčel musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{58,9}{0,425 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} + 0,422 \cdot \frac{403}{1,0 \cdot \frac{739,9}{1,0}} =$$

$$= 0,069 + 0,230 = 0,299 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{58,9}{0,362 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} + 0,970 \cdot \frac{403}{1,0 \cdot \frac{739,9}{1,0}} =$$

$$= 0,082 + 0,528 = 0,610 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M0} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{58,9}{1} + \frac{403}{1} = 0,029 + 0,545 = 0,574 \leq 1$$

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot z \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{4269 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 579,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 156,2 \text{ kN}$$

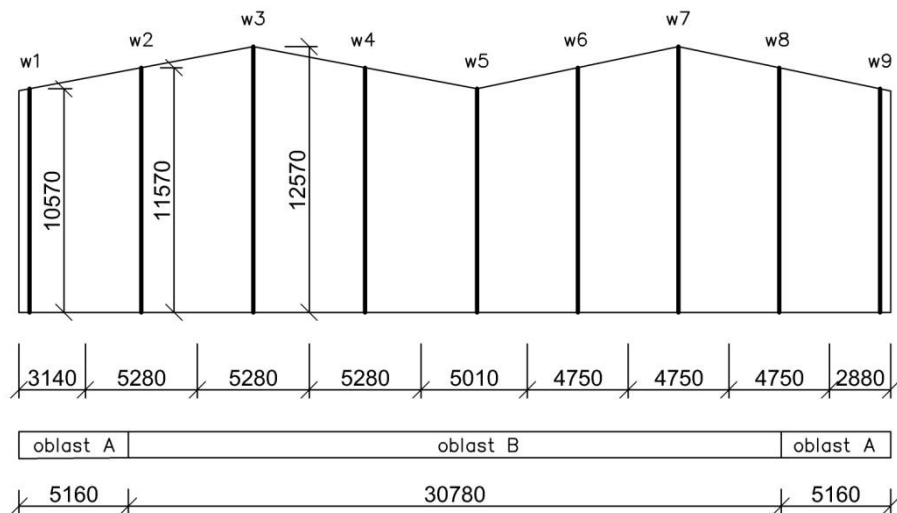
Jedná se o malý smyk ($V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$), tudíž není nutné zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

ZÁVĚR: Příčel vyhovuje (využití= 61,0%).

Výsledné využití poskytuje rezervu pro přidavnou tlakovou sílu od příčného ztužidla.

6 Příčné ztužidlo ve střešní rovině

Zatížení reakcemi sloupků stěny:



Rozhoduje sání větru při zatížení příčným větrem.

Návrhová hodnota tlaku větru na vnější povrchy: $w_{e,d} = \gamma_F \cdot w_{e,k}$

oblast A: $w_{e,d} = 1,5 \cdot (-0,88) = -1,32 \text{ kN/m}^2$

oblast B: $w_{e,d} = 1,5 \cdot (-0,74) = -1,11 \text{ kN/m}^2$

Návrhové hodnoty reakcí ze sloupků štítu: $W_{Ed} = w_{e,d} \cdot b \cdot h/2$

$$W_{1,Ed} = 1,32 \cdot 3,14 \cdot 10,57/2 = 21,9 \text{ kN}$$

$$W_{2,Ed} = (1,32 \cdot 2,02 + 1,11 \cdot 3,26) \cdot 11,57/2 = 36,4 \text{ kN}$$

$$W_{3,Ed} = 1,11 \cdot 5,28 \cdot 12,57/2 = 36,8 \text{ kN}$$

$$W_{4,Ed} = 1,11 \cdot 5,28 \cdot 11,57/2 = 33,9 \text{ kN}$$

$$W_{5,Ed} = 1,11 \cdot 5,01 \cdot 10,57/2 = 29,4 \text{ kN}$$

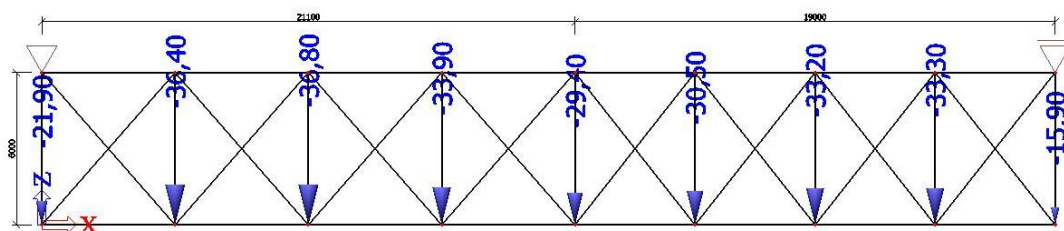
$$W_{6,Ed} = 1,11 \cdot 4,75 \cdot 11,57/2 = 30,5 \text{ kN}$$

$$W_{7,Ed} = 1,11 \cdot 4,75 \cdot 12,57/2 = 33,2 \text{ kN}$$

$$W_{8,Ed} = (1,32 \cdot 2,28 + 1,11 \cdot 2,47) \cdot 11,57/2 = 33,3 \text{ kN}$$

$$W_{9,Ed} = 1,32 \cdot 2,28 \cdot 10,57/2 = 15,9 \text{ kN}$$

Výpočet vnitřních sil ve Scia Engineer:



Maximální normálové síly:

Prut	Ned
	kN
Vnitřní pás	-211,7
Vnější pás	210,3
Krajní vodorovný prut	68
Vnitřní vodorovné pruty	12,1
Diagonála - tah	92,8
Diagonála - tlak	-61,4

Všechny pruty příčného ztužidla budou navrženy na tlak i tah. Zjednodušeně budeme uvažovat stejné vnitřní síly v tahu i tlaku.

6.1 Diagonála

Návrh profilu: Kruhová trubka 108 X 4,0

Vzpěrná délka dle vzorce pro diagonály příhradoviny:

$$L_{cr} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t}{N_c}} = 7,989 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{61,4}{92,9}} = 5,673 \text{ m}$$

$$L_{cr} \geq 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 7,989 = 3,99 \text{ m}$$

$$L_{cr} \leq L = 7,989 \text{ m}$$

Štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5,673}{36,8} = 154,2$$

$$\lambda \leq 250$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{154,2}{93,9} = 1,642$$

Součinitel vzpěrnosti určíme z tabulek pro vzpěrnostní křivku "a".

Vzpěrnostní součinitel:

$$\chi = 0,318$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,318 \cdot 1307 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 97,7 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{c,Ed} = 61,4 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost průřezu v tahu:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 1307 \cdot 235 = 307,1 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} \geq N_{t,Ed} = 92,8 \text{ kN}$$

6.2 Krajiní vodorovné podélné pruty

Návrh profilu: Kruhová trubka 108 X 4,0

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = L = 6 \text{ m}$$

Štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6000}{36,8} = 163,0$$

$$\lambda \leq 250$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{163,0}{93,9} = 1,736$$

Součinitel vzpěrnosti určíme z tabulek pro vzpěrnostní křivku "a".

Vzpěrnostní součinitel:

$$\chi = 0,289$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,289 \cdot 1307 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 88,7 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} = 68 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost průřezu v tahu:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 1307 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 307,1 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} \geq N_{Ed} = 68 \text{ kN}$$

6.3 Vnitřní vodorovné podélné pruty

Návrh profilu: Kruhová trubka 89 X 4,0

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = L = 6 \text{ m}$$

Štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6000}{30,1} = 199,3$$

$$\lambda \leq 250$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{199,3}{93,9} = 2,123$$

Součinitel vzpěrnosti určíme z tabulek pro vzpěrnostní křivku "a".

Vzpěrnostní součinitel:

$$\chi = 0,199$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,199 \cdot 1068 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 49,9 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed} = 12,1 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost průřezu v tahu:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 1068 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 250,9 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} \geq N_{Ed} = 12,1 \text{ kN}$$

6.4 Vnitřní pás

Vnitřní pás příčného ztužidla je tvořen příčnou vazbou, jejíž návrh je uveden výše.

Nyní je ještě nutné provést posouzení na přidavnou tlakovou sílu od příčného ztužidla.

Předchozí posouzení je provedeno pro 13. nelineární kombinaci, ve které vzniká maximální ohybový moment M_y (od mimořádného navátí sněhu). V této kombinaci se však neuvažuje s příčným větrem. Avšak, když zkontrolujeme průběh ohybových momentů ve 2. a 4. nelineární kombinaci (spolupůsobení mimořádného navátí sněhu a příčného větru), můžeme vidět, že vzniklé ohybové momenty jsou jen nepatrně nižší.

Zjednodušeně je tudíž možné přičíst vzniklou tlakovou normálovou sílu od příčného větru k předchozím hodnotám ve výše uvedeném posouzení příčné vazby.

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed,KZS13} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed,KZS13} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,4 \cdot \left(1 + (1,386 - 0,2) \cdot \frac{58,9+211,7}{0,425 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} \right) \\ 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{58,9+211,7}{0,425 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,551 \\ 0,502 \end{array} \right) = 0,502$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,447}{(0,530 - 0,25)} \cdot \frac{58,9+211,7}{0,362 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,530 - 0,25)} \cdot \frac{58,9+211,7}{0,362 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} \end{array} \right] = \max \left(\begin{array}{l} 0,806 \\ 0,866 \end{array} \right) = 0,866$$

$$\frac{N_{Ed,KZS13} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{58,9+211,7}{0,425 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} + 0,502 \cdot \frac{403}{1,0 \cdot \frac{739,9}{1,0}} =$$

$$= 0,319 + 0,273 = 0,592 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed,KZS13} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{58,9+211,7}{0,362 \cdot \frac{1994,8}{1,0}} + 0,866 \cdot \frac{403}{1,0 \cdot \frac{739,9}{1,0}} =$$

$$= 0,375 + 0,472 = 0,847 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed,KZS13} + N_{Ed,ztužidlo}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{58,9+211,7}{1} + \frac{403}{1} = 0,136 + 0,545 = 0,681 \leq 1$$

Vnitřní pás (příčel) vyhovuje.

Návrh vnějšího pásu bude součástí návrhu štítové stěny.

7 Podélné ztužení

Uvažujeme dvě podélná ztužidla v krajních polích haly.

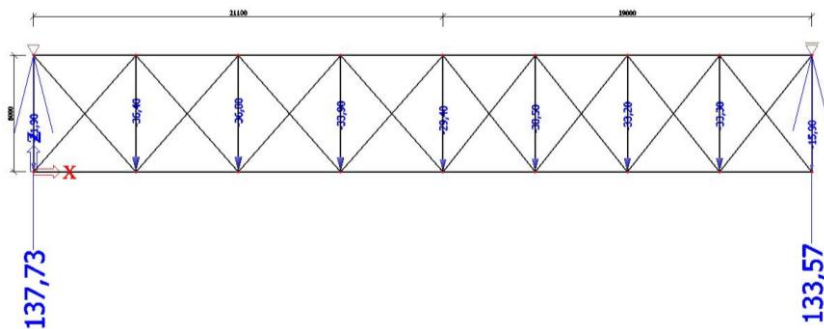
Ztužidla navrhujeme na zatížení podélným větrem na štíty haly. Ztužidlo na návětrné straně přenáší zatížení od větru působícího na návětrnou stranu haly (oblast D) a ztužidlo na závětrné straně přenáší zatížení od větru působícího na závětrnou stranu haly (oblast E).

Zatížení větrem:

Rozhodující je zatížení větrem na návětrné straně (oblast D), protože platí:

$$C_{pe}(\text{podélné } D) > C_{pe}(\text{podélné } E)$$

Při výpočtu reakce jdoucí z příčného střešního ztužidla budeme vycházet z předešlého návrhu příčného střešního ztužidla ve Scia Engineer. Reakci od sání při příčném větru pouze vynásobíme příčným poměrem součinitelů tlaku větru.



$$F_{1,Ed} = R_{Ed} \cdot \frac{C_{pe}(\text{podélné } D)}{\frac{S_A}{S} \cdot C_{pe}(\text{příčné } A) + \frac{S_B}{S} \cdot C_{pe}(\text{příčné } B)} = 137,73 \cdot \frac{0,75}{\frac{113,4}{474,5} \cdot 1,2 + \frac{361,1}{474,5} \cdot 1,0} = 98,6 \text{ kN}$$

R_{Ed} - návrhová hodnota reakce na příčném střešním ztužidle (od sání při příčném větru)

S - plocha štítové stěny

S_A - plocha oblasti A na štítové stěně při příčném větru

S_B - plocha oblasti B na štítové stěně při příčném větru

$C_{pe}(\text{podélné } X)$ - součinitel vnějšího tlaku větru v oblasti X od podélného větru

Zatížení vlivem rámových imperfekcí:

počet sloupů v jedné řadě: $m = 7/2 \approx 4$

výška sloupu: $h = 10,57 \text{ m}$

součinitel výšky sloupu: $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{10,57}} = 0,615$; $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \rightarrow \alpha_h = 0,667$

součinitel zohledňující počet sloupů v jedné řadě: $\alpha_h = \sqrt{0,5 \cdot (1 + \frac{1}{m})} = \sqrt{0,5 \cdot (1 + \frac{1}{4})} = 0,791$

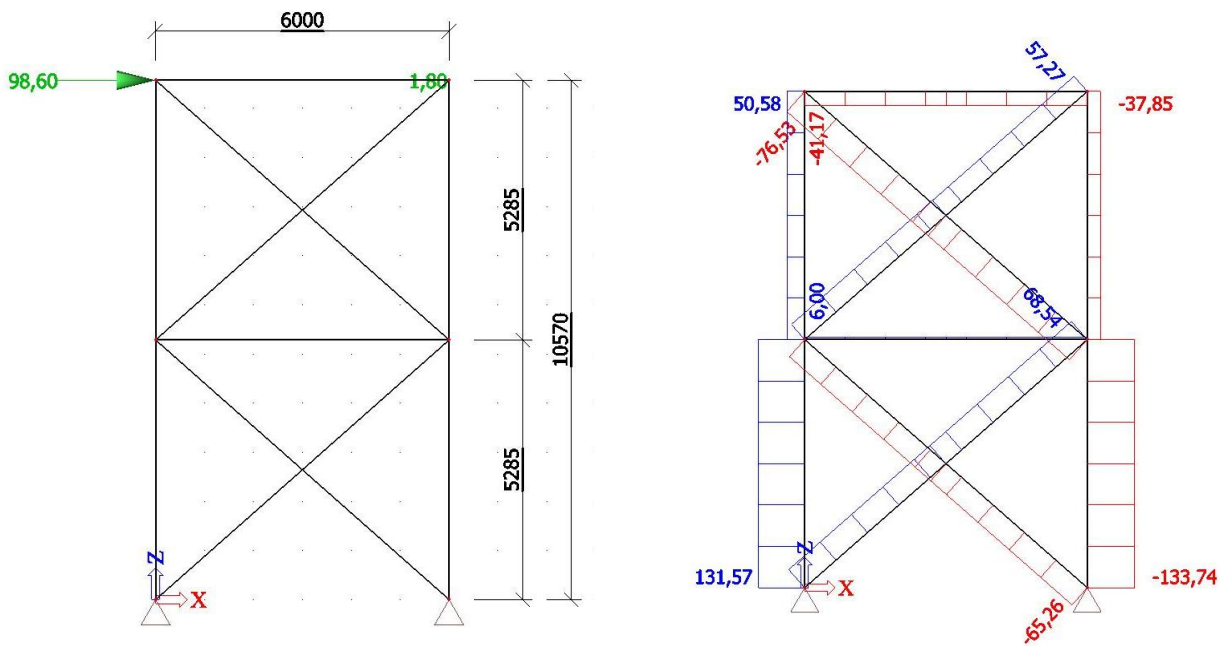
úhel natočení sloupů: $\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_h = \frac{1}{200} \cdot 0,667 \cdot 0,791 = 2,637 \cdot 10^{-3}$

Ekvivalentní vodorovná síla:

$$H_\Phi = \sum N \cdot \Phi = 4 \cdot 170,4 \cdot 2,637 \cdot 10^{-3} = 1,8 \text{ kN}$$

$\sum N$ je součet svislých reakcí od kombinace zatěžovacích stavů č.1. (V kombinaci č. 1 vzniká největší svislá reakce u krajního sloupu.)

Výpočet vnitřních sil bude proveden ve Scia Engineer:



Maximální normálové síly:

Prut	N_{ed} kN
Horní vodorovný prut	-41,2
Spodní vodorovný prut	6,0
Diagonála - tah	68,5
Diagonála - tlak	-76,5
Sloup - tah	131,6
Sloup - tlak	-133,7

Všechny pruty podélného ztužidla budou navrženy na tlak i tah. Zjednodušeně budeme uvažovat stejné vnitřní síly v tahu i tlaku.

7.1 Diagonála

Návrh profilu: Kruhová trubka 108 X 4,0

Vzpěrná délka dle vzorce pro diagonály příhradoviny:

$$L_{cr} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t}{N_c}} = 8,00 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{57,3}{76,5}} = 5,296 \text{ m}$$

$$L_{cr} \geq 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 8,00 = 4,00 \text{ m}$$

$$L_{cr} \leq L = 8,00 \text{ m}$$

Štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5296}{36,8} = 144$$

$$\lambda \leq 250$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{144}{93,9} = 1,534$$

Součinitel vzpěrnosti určíme z tabulek pro vzpěrnostní křivku "a".

Vzpěrnostní součinitel:

$$\chi = 0,359$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,359 \cdot 1307 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 110,3 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{c,Ed} = 76,5 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost průřezu v tahu:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 1307 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 307,1 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} \geq N_{t,Ed} = 76,5 \text{ kN}$$

7.2 Vodorovné pruty

Návrh profilu: Kruhová trubka 102 X 4,0

Vzpěrná délka:

$$L_{cr} = L = 6 \text{ m}$$

Štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6000}{34,7} = 172,9$$

$$\lambda \leq 250$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{172,9}{93,9} = 1,841$$

Součinitel vzpěrnosti určíme z tabulek pro vzpěrnostní křivku "a".

Vzpěrnostní součinitel:

$$\chi = 0,259$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,259 \cdot 1232 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 74,9 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{c,Ed} = 41,2 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost průřezu v tahu:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 1232 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 289,5 \text{ kN}$$

$$N_{pl,Rd} \geq N_{t,Ed} = 41,2 \text{ kN}$$

7.3 Posouzení sloupu rámové vazby

V rámci zjednodušení přičteme přídatnou normálovou sílu k vnitřní síle v předchozím posouzení krajního sloupu. Tento postup je na straně bezpečnosti.

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed,KZS5} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed,KZS5} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,9 \cdot \left(1 + (0,417 - 0,2) \cdot \frac{66,4 + 133,7}{0,947 \cdot \frac{4183}{1,0}} \right) \\ 0,9 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{66,4 + 133,7}{0,947 \cdot \frac{4183}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,910 \\ 0,936 \end{array} \right) = 0,910$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed,KZS5} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed,KZS5} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,772}{(0,417 - 0,25)} \cdot \frac{66,4 + 133,7}{0,741 \cdot \frac{4183}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,417 - 0,25)} \cdot \frac{66,4 + 133,7}{0,741 \cdot \frac{4183}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max \left(\begin{array}{l} 0,970 \\ 0,961 \end{array} \right) = 0,970$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed,KZS5} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{66,4 + 133,7}{0,947 \cdot \frac{4183}{1,0}} + 0,910 \cdot \frac{553}{0,913 \cdot \frac{755,7}{1,0}} =$$

$$= 0,051 + 0,729 = 0,780 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed,KZS5} + N_{Ed,ztužidlo}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{66,4 + 133,7}{0,741 \cdot \frac{4183}{1,0}} + 0,970 \cdot \frac{553}{0,913 \cdot \frac{755,7}{1,0}} =$$

$$= 0,065 + 0,777 = 0,842 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed,KZS5} + N_{Ed,ztužidlo}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{66,4 + 133,7}{\frac{4183}{1}} + \frac{553}{\frac{755,7}{1}} = 0,048 + 0,732 = 0,780 \leq 1$$

Sloup vyhovuje

Posouzení sloupu štítové stěny bude provedeno po jeho návrhu.

8 Štítová stěna

Štítová stěna je řešena jako konstrukce s rámovými rohy a kloubově uloženými sloupky. Po délce štítové stěny je 9 sloupků, které jsou rozmístěny pravidelně ve čtvrtinách rozpětí obou lodí haly.

V jednom poli je mezi sloupky příčné stěnové ztužidlo. V polovině výšky krajních sloupků půlí štítovou stěnu vodorovný prut.

Budeme uvažovat stejné zatěžovací stavy i kombinace zatěžovacích stavů jako u příčné vazby. Výpočet zatížení se bude lišit pouze rozdílnou zatěžovací šířkou a jinými větrnými oblastmi. Postup výpočtu zatížení bude tedy uveden stručněji a bez obrázků.

Zatěžovací šířka je rovna polovině osové vzdálenosti vazeb s přičtením přesahu střechy 350 mm za štítovou stěnu. Tedy $6/2 + 0,35 = 3,35\text{m}$.

Návrh štítové stěny bude řešen ve Scia Engineer jako 2D konstrukce. Zatížení od podélného větru (z roviny konstrukce) bude zohledněno ručním výpočtem.

8.1 Zatěžovací stavy

1) Vlastní tíha příčné vazby - dle SCIA Engineer

$$\gamma_G = 1,35$$

2) Ostatní stálé zatížení (tíha pláště)

$$\gamma_G = 1,35$$

Střešní plášť: $G_k = 0,28 \text{ kN/m}^2$

Obvodový plášť: $G_k = 0,275 \text{ kN/m}^2$

Spojité zatížení vazby od střešního pláště: $f_k = G_k \cdot l = 0,28 \cdot 3,35 = 0,94 \text{ kN/m}$

Spojité zatížení krajního sloupu od obvodového pláště: $f_k = G_k \cdot l = 0,275 \cdot 3,35 = 0,92 \text{ kN/m}$

Spojité zatížení sloupků od obvodového pláště štítové stěny, dle zatěžovací šířky: (číslováno zleva)

$$\text{Sloup č. 1: } f_k = G_k \cdot l = 0,275 \cdot 3,14 = 0,86 \text{ kN/m}$$

$$\text{Sloupy č. 2-4: } f_k = G_k \cdot l = 0,275 \cdot 5,28 = 1,45 \text{ kN/m}$$

$$\text{Sloup č. 5: } f_k = G_k \cdot l = 0,275 \cdot 5,01 = 1,38 \text{ kN/m}$$

$$\text{Sloupy č. 6-8: } f_k = G_k \cdot l = 0,275 \cdot 4,75 = 1,31 \text{ kN/m}$$

$$\text{Sloup č. 9: } f_k = G_k \cdot l = 0,275 \cdot 2,88 = 0,79 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu: $F_k = 0,28 \cdot 0,5 \cdot 3,35 = 0,47 \text{ kN}$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu: $M_k = 0,47 \cdot 0,25 = 0,12 \text{ kNm}$

3) Sníh nenavátý

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby: $f_k = s_1 \cdot l \cdot \cos \alpha = 0,8 \cdot 3,35 \cdot \cos 11 = 2,63 \text{ kN/m}$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu:

$$F_k = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 3,35 \cdot \cos 11 = 1,31 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu: $M_k = 1,31 \cdot 0,25 = 0,33 \text{ kNm}$

4) Sníh navátý

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby (hodnota v konstantním úseku):

$$f_k = s_2 \cdot l \cdot \cos\alpha = 0,8 \cdot 3,35 \cdot \cos 11 = 2,63 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby (maximální hodnota v úžlabí):

$$f_k = s_2 \cdot l \cdot \cos\alpha = 1,1 \cdot 3,35 \cdot \cos 11 = 6,48 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu:

$$F_k = 0,8 \cdot 0,5 \cdot 3,35 \cdot \cos 11 = 1,31 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu: $M_k = 1,31 \cdot 0,25 = 0,33 \text{ kNm}$

5) Sníh - výjimečné navátí

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby (maximální hodnota v úžlabí):

$$f_k = s_3 \cdot l \cdot \cos\alpha = 3,0 \cdot 3,35 \cdot \cos 11 = 9,86 \text{ kN/m}$$

6), 7) Vítr příčný sání: (dva různé zatěžovací stavy pro směry větru 0° a 180° kvůli osově nesouměrnosti haly)

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby v oblasti F:

$$f_{1,k} = w_{e,F} \cdot 3,35 = -0,81 \cdot 3,35 = -2,71 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti H pro pultovou střechu:

$$f_{2,k} = w_{e,H} \cdot 3,35 = -0,30 \cdot 3,35 = -1,00 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti H pro sedlovou střechu:

$$f_{3,k} = w_{e,H} \cdot 3,35 = -0,66 \cdot 3,35 = -2,21 \text{ kN/m} \quad \text{poslední oblast H: } f_{3,k} = 0,6 \cdot w_{e,H} \cdot 3,35 = -1,32$$

Spojité zatížení vazby v oblasti I:

$$f_{4,k} = w_{e,I} \cdot 3,35 = -0,37 \cdot 3,35 = -1,24 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (návětrná strana):

$$F_{1,k} = w_{e,F} \cdot 3,35 \cdot 0,5 = -0,81 \cdot 3,35 \cdot 0,5 = -1,36 \text{ kN}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (závětrná strana):

$$F_{2,k} = 0,6 \cdot w_{e,H} \cdot 3,35 \cdot 0,5 = -0,6 \cdot 0,66 \cdot 0,5 \cdot 3,35 = -0,66 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (návětrná strana):

$$M_{1,k} = F_{1,k} \cdot 0,5/2 = -1,36 \cdot 0,25 = -0,34 \text{ kNm}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (závětrná strana):

$$M_{2,k} = F_{2,k} \cdot 0,5/2 = -0,66 \cdot 0,25 = -0,16 \text{ kNm}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti D (obvodová stěna - návětrná strana):

$$f_{5,k} = w_{e,D} \cdot 3,35 = 0,55 \cdot 3,35 = 1,84 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti E (obvodová stěna - závětrná strana):

$$f_{6,k} = w_{e,E} \cdot 3,35 = -0,26 \cdot 3,35 = -0,87 \text{ kN/m}$$

8), 9) Vítr příčný tlak: (dva různé zatěžovací stavy pro směry větru 0° a 180° kvůli osově nesouměrnosti haly)

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby v oblasti F:

$$f_{1,k} = w_{e,F} \cdot 3,35 = 0,15 \cdot 3,35 = 0,50 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti H pro pultovou střechu:

$$f_{2,k} = w_{e,H} \cdot 3,35 = 0,15 \cdot 3,35 = 0,50 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti H pro sedlovou střechu:

$$f_{3,k} = w_{e,H} \cdot 3,35 = -0,66 \cdot 3,35 = -2,21 \text{ kN/m} \quad \text{poslední oblast H: } f_{3,k} = 0,6 \cdot w_{e,H} \cdot 3,35 = -1,32$$

Spojité zatížení vazby v oblasti I:

$$f_{4,k} = w_{e,I} \cdot 3,35 = 0,08 \cdot 3,35 = 0,27 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (návětrná strana):

$$F_{1,k} = w_{e,F} \cdot 3,35 \cdot 0,5 = 0,15 \cdot 3,35 \cdot 0,5 = 0,25 \text{ kN}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (závětrná strana):

$$F_{2,k} = 0,6 \cdot w_{e,H} \cdot 3,35 \cdot 0,5 = -0,6 \cdot 0,66 \cdot 0,5 \cdot 3,35 = -0,66 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (návětrná strana):

$$M_{1,k} = F_{1,k} \cdot 0,5/2 = 0,25 \cdot 0,25 = 0,06 \text{ kNm}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu (závětrná strana):

$$M_{2,k} = F_{2,k} \cdot 0,5/2 = -0,66 \cdot 0,25 = -0,16 \text{ kNm}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti D (obvodová stěna - návětrná strana):

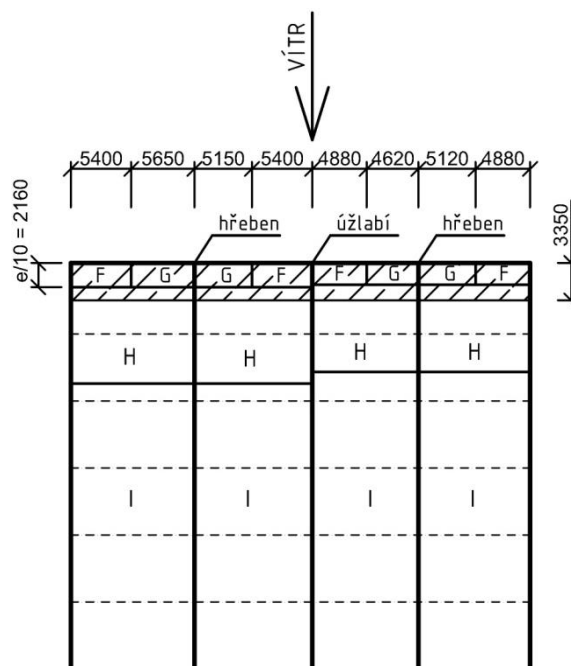
$$f_{5,k} = w_{e,D} \cdot 3,35 = 0,55 \cdot 3,35 = 1,84 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti E (obvodová stěna - závětrná strana):

$$f_{6,k} = w_{e,E} \cdot 3,35 = -0,26 \cdot 3,35 = -0,87 \text{ kN/m}$$

10) Vítr podélný

$$\gamma_Q = 1,5$$



Spojité zatížení vazby v oblasti F/H:

$$f_{1,k} = w_{e,F} \cdot 3,35 \cdot 2160/3350 + w_{e,H} \cdot 3,35 \cdot 1190/3350 = \\ = -1,03 \cdot 3,35 \cdot 2160/3350 - 0,52 \cdot 3,35 \cdot 1190/3350 = -2,84 \text{ kN/m}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti G/H:

$$f_{1,k} = w_{e,G} \cdot 3,35 \cdot 2160/3350 + w_{e,H} \cdot 3,35 \cdot 1190/3350 = \\ = -0,95 \cdot 3,35 \cdot 2160/3350 - 0,52 \cdot 3,35 \cdot 1190/3350 = -2,67 \text{ kN/m}$$

Bodová síla od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu:

$$F_k = f_{1,k} \cdot 0,5 = -2,84 \cdot 0,5 = -1,42 \text{ kN}$$

Moment od uvažovaného přesahu střechy 0,5 m za osu sloupu:

$$M_{2,k} = F_k \cdot 0,5/2 = -1,42 \cdot 0,25 = -0,35 \text{ kNm}$$

Spojité zatížení vazby v oblasti A (obvodové stěny):

$$f_{2,k} = w_{e,A} \cdot 3,35 = -0,88 \cdot 3,35 = -2,95 \text{ kN/m}$$

11) Vnitřní tlak

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby:

$$f_k = w_i \cdot 3,35 = 0,15 \cdot 3,35 = 0,50 \text{ kN/m}$$

12) Vnitřní sání

$$\gamma_Q = 1,5$$

Spojité zatížení vazby:

$$f_k = w_i \cdot 3,35 = -0,22 \cdot 3,35 = -0,74 \text{ kN/m}$$

8.2 Dimenzování prvků štítové stěny

Obdobně jako u návrhu příčné rámové vazby, provedeme návrh prvků štítové stěny s ohledem na maximální napětí a mezní průhyby.

Mezní průhyby:

Svislý průhyb: pro vazník: $\delta_2 = L/250$

$$\delta_2 = L/250 = 4750/250 = 19,0 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb:

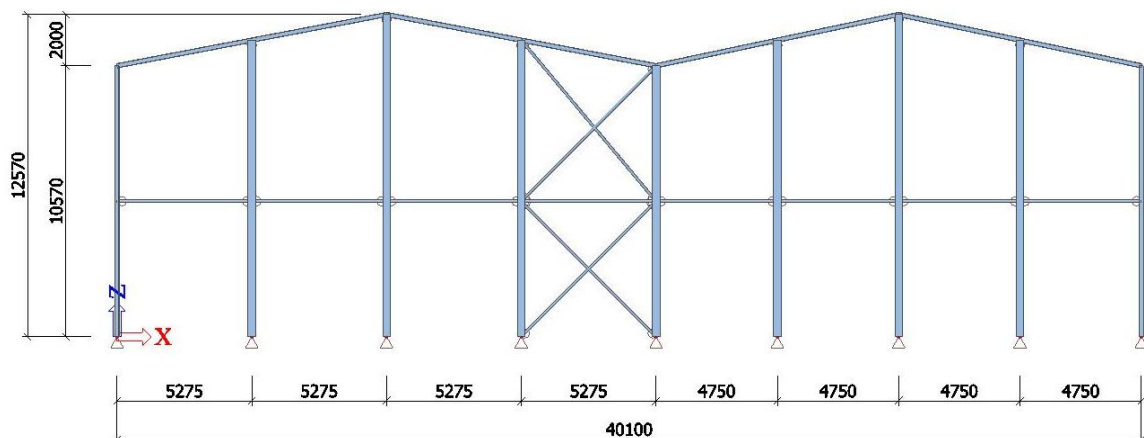
vrcholy sloupů u portálových rámu: $\delta = h/150 = 10570/150 = 70,5 \text{ mm}$

prvky stěn: sloupky a pažďíky: $\delta = L/250 = 10570/250 = 42,3 \text{ mm}$

(vypočtené hodnoty platí pro nejnižší sloupy)

Maximální napětí:

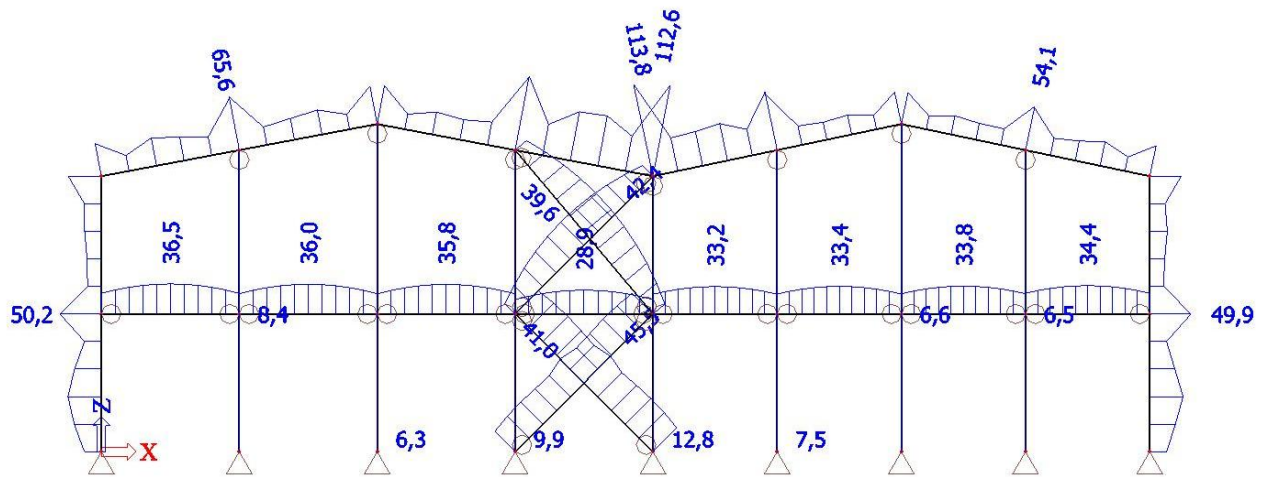
Vzhledem k použité oceli S235 je mez kluzu tedy 235 MPa. Avšak pro stanovení maximálního napětí musíme taktéž uvažovat rezervu s ohledem na vzpěr a klopení za ohybu. U sloupů musíme dále uvažovat rezervu na zatížení od podélného větru (z roviny konstrukce).



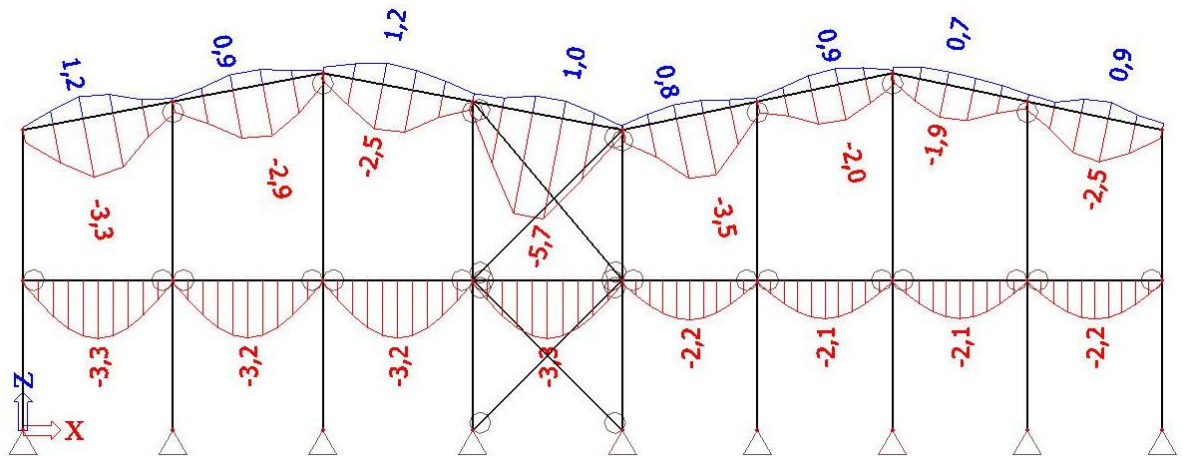
Prvek	Průřez
Rámová příčel	HEA 180
Krajní sloupy	HEA 180
Vnitřní sloupky	HEA 300
Diagonály stěnového ztužidla	Kruhová trubka 102 X 4
Ztužující vodorovný prut	Kruhová trubka 102 X 4

Celková hmotnost: 10162 kg

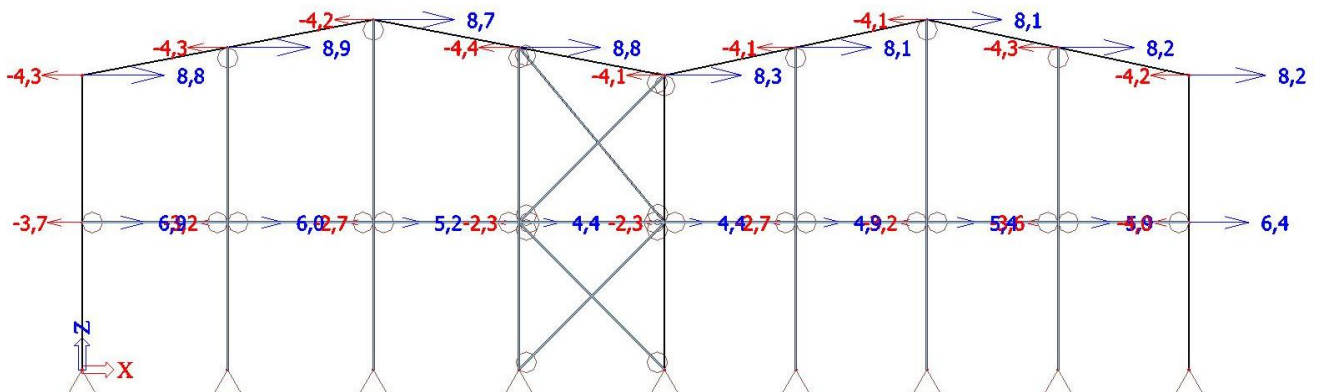
Napětí na prutech (von Mises): [MPa]



Svislé průhyby (obálka lineárních kombinací): [mm]



Vodorovné posuny (obálka lineárních kombinací): [mm]



8.3 Posouzení štítové stěny

Rámové imperfekce

počet sloupů v jedné řadě: $m = 9$

výška rámu: $h = 12,9$ m

součinitel výšky rámu: $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{12,9}} = 0,56$; $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \rightarrow \alpha_h = 0,667$

součinitel zohledňující počet sloupů v jedné řadě: $\alpha_h = \sqrt{0,5 \cdot (1 + \frac{1}{m})} = \sqrt{0,5 \cdot (1 + \frac{1}{9})} = 0,745$

úhel natočení sloupů: $\Phi = \Phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_h = \frac{1}{200} \cdot 0,667 \cdot 0,745 = 2,486 \cdot 10^{-3}$

Výpočet vnitřních sil

Vnitřní síly v rovině konstrukce jsem stanovil výpočtem v programu Scia Engineer.

Pro zahrnutí účinků II. řádu jsem použil nelineární výpočet.

Nelineární kombinace jsem vytvořil z původních lineárních kombinací pro MSÚ. Pro zohlednění rámových imperfekcí jsem zavedl globální imperfekci - náklon konstrukce.

Zatížení od podélného větru (z roviny konstrukce) bude zohledněno ručním výpočtem.

Pro označení vnitřních sil je použit lokální souřadný systém.

8.3.1 Posouzení krajního sloupu

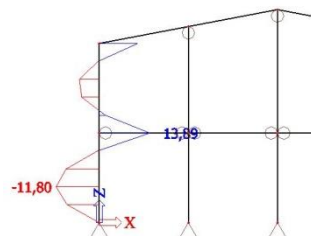
Posouzení bude provedeno pro dvě nelineární kombinace. Jednou, pro kombinaci s největším momentem M_y , a jednou pro kombinaci, ve které je největší moment M_z a zároveň největší tlaková normálová síla.

8.3.1.1 Kombinace s maximálním momentem M_y

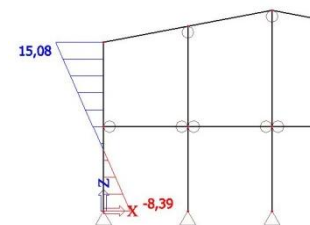
Posouzení nelineární kombinace s největším momentem M_y . To je nelineární kombinace č.11 (podélný vítr + vnitřní tlak).

V této kombinaci na sloup také působí přídatná tlaková normálová síla od podélného stěnového tzužidla (navrženo výše).

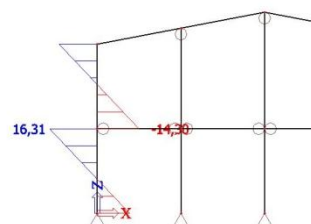
M_y [kNm]:



N [kN]:



V_z [kN]:



Zatížení od podélného větru (z roviny konstrukce):

Statické schéma sloupu je spojitý nosník o 2 polích, délka pole: $l = 5,285 \text{ m}$.

Návrhová hodnota tlaku větru na vnější povrchy: $w_{e,d} = \gamma_F \cdot w_{e,k}$

oblast D: $w_{e,d} = 1,5 \cdot 0,55 = 0,825 \text{ kN/m}^2$

Spojitě zatížení sloupku: $W_{Ed} = w_{e,d} \cdot b = 0,825 \cdot 3,14 = 2,59 \text{ kN/m}$

Moment nad střední podporou: $M_z = \frac{1}{8} \cdot W_{Ed} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 2,59 \cdot 5,285^2 = 9,04 \text{ kNm}$

Max. moment v poli: $M_z = -\frac{9}{128} \cdot W_{Ed} \cdot l^2 = -\frac{9}{128} \cdot 2,59 \cdot 5,285^2 = -5,09 \text{ kNm}$

Posouvající síla nad střední podporou: $V_y = \pm 0,625 \cdot W_{Ed} \cdot l = \pm 0,625 \cdot 2,59 \cdot 5,285 = \pm 8,56 \text{ kN}$

Vnitřní síly uvažované pro posouzení tedy jsou:

- $N_{Ed} = 8,4 \text{ (tlak); } 15,1 \text{ (tah)}$
- $N_{Ed, \text{ztužidlo}} = 133,7 \text{ (tlak)}$
- $M_{y,Ed} = 13,9 \text{ kNm}$
- $V_{z,Ed} = 16,3 \text{ kN}$
- $M_{z,Ed} = 9,0 \text{ kNm}$
- $V_{y,Ed} = 8,6 \text{ kN}$

Průřez sloupu **HEA 180** (orientace sloupu: tvrdá osa v rovině štítové stěny)

$A = 4525 \text{ mm}^2$	$A_{v,z} = 1447 \text{ mm}^2$
$I_y = 2510 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$I_z = 924,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
$W_{pl,y} = 3249000 \text{ mm}^3$	$W_{pl,z} = 156500 \text{ mm}^3$
$i_y = 74,5 \text{ mm}$	$i_z = 45,2 \text{ mm}$
$I_t = 14,80 \cdot 10^4 = \text{mm}^4$	$I_w = 60210 \cdot 10^6 = \text{mm}^6$

Ověření průhybů z roviny štítové stěny:

$$\delta = \frac{1}{192} \cdot \frac{W_{Ed} \cdot L^4}{E \cdot I_z} = \frac{1}{192} \cdot \frac{2590 \cdot 5,285^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 924,6 \cdot 10^{-8}} \cdot 10^3 = 5,42 \text{ mm}$$
$$\delta \leq \frac{L}{250} = \frac{5285}{250} = 21,1 \text{ mm}$$

Zatřídění sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

Posun neutrální osy k tažené pásnici (plastické posouzení):

$$x = \frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{8400 + 133700}{6,0 \cdot 235} = 100,8 \text{ mm} \geq \frac{d}{2} = \frac{122}{2} = 61 \text{ mm} \rightarrow \text{stojina je celá tlačena}$$

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

Zatřídění stojiny: Pro 1. třídu platí, že poměr $\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{122}{6,0} = 20,3 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

Pro tlačenu pásnici platí: $\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{180 \cdot 0,5 - 6,0 \cdot 0,5 - 15}{9,5} = 7,6 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \rightarrow$ Průřez je 1. třídy

Vzpěrné délky, štíhlosti a součinitele vzpěrnosti

Pro vzpěr v rovině rámu (vybočení kolmo k ose y), stejně tak jako vzpěr z roviny rámu (vybočení kolmo k ose z), se použije vzpěrná délka rovna polovině výšky sloupu.

$$L_{cr,y} = L = 5285 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L = 5285 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlosti sloupu} \quad \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5285}{74,5} = 70,94$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5285}{45,2} = 116,93$$

$$\text{Poměrné štíhlosti} \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{70,94}{93,9} = 0,755 \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{116,93}{93,9} = 1,245$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky "b" ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky "c" ve směru kolmo k ose z.

$$\chi_y = 0,752$$

$$\chi_z = 0,413$$

Vliv klopení

Tlačená pásnice sloupu není v příčném směru podepřena. Sloup proto musí být posouzen s vlivem klopení.

$L = 10570$ mm (výška sloupu, protože tlačená pásnice sloupu je v příčném směru podepřena v patce a ve vrcholu)

$k_y = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

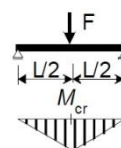
$k_z = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_w = 1,0$ (volná deplanace)

$\psi = 0$ (v patce je nulový moment)

(poměr koncových momentů na prutu)

Pro získání součinitelů $C_{1,0}$ a $C_{1,1}$ budeme na straně bezpečnosti uvažovat tento momentový obrazec:



$$C_{1,0} = 1,35$$

$$C_{1,1} = 1,36$$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 10,570} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 60210 \cdot 10^{-12}}{81 \cdot 148000 \cdot 10^{-12}}} = 0,305 \quad (\text{bezrozměrný parametr kroucení})$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_w \leq C_{1,1}$$

$$C_1 = 1,35 + (1,36 - 1,35) \cdot 0,305 = 1,352 \leq 1,36$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + \kappa_w^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad (\text{bezrozměrný kritický moment})$$

ζ_g (bezrozměrný parametr působení zatížení vzhledem ke středu smyku)

ζ_j (bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu)

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = 0$$

$$\text{Po úpravě: } \mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_w^2} = \frac{1,352}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,305^2} = 1,414$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,414 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 924,6 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 148000}}{10570} \cdot 10^{-6} = 64,12 \text{ kNm}$$

(Pružný kritický moment při klopení)

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{324900 \cdot 235}{64,12 \cdot 10^6}} = 1,091 \quad (\text{poměrná štíhlost})$$

$$\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \quad (\text{křivka klopení "b"})$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2 \right] =$$

$$= 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,091 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,091^2 \right] = 1,064$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,064 + \sqrt{1,064^2 - 0,75 \cdot 1,091^2}} = 0,644 \quad (\text{součinitel klopení})$$

$$\text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0 ; \chi_{LT} \leq \frac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,091^2} = 0,840$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny v směru z-z. Tudíž uvažujeme průběh momentu na spodní polovině sloupu.

$$\psi = \frac{M_{patka}}{M_{polovina}} = \frac{0}{13,9} = 0 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-11,8}{13,9} = -0,85 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,85) = 0,78 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,78$$

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mz} :

Uvažujeme moment M_z mezi body podepřeny v směru y-y. Tudíž uvažujeme průběh momentu na polovině sloupu.

$$\psi = \frac{M_{patka}}{M_{polovina}} = \frac{0}{9,04} = 0 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-5,09}{9,04} = -0,56 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,56) = 0,55 \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,55$$

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny v směru y-y. Tudíž uvažujeme průběh momentu na spodní polovině sloupu.

$$\psi = \frac{M_{patka}}{M_{polovina}} = \frac{0}{13,9} = 0 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-11,8}{13,9} = -0,85 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,85) = 0,78 \geq 0,4 \rightarrow C_{mLT} = 0,78$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu jsou:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4525 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1063,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 324900 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 76,4 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 156500 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 36,8 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} a k_{zz} jsou:

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,78 \cdot \left(1 + (0,755 - 0,2) \cdot \frac{8,4 + 133,7}{0,752 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \\ 0,78 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{8,4 + 133,7}{0,752 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min(0,857) = 0,857$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,480$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,245}{(0,78 - 0,25)} \cdot \frac{8,4 + 133,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,78 - 0,25)} \cdot \frac{8,4 + 133,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max(0,924) = 0,939$$

$$k_{zz} = \min \left[\begin{array}{l} C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,55 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,245 - 0,6) \cdot \frac{8,4 + 133,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \\ 0,55 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{8,4 + 133,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min(0,886) = 0,799$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{8,4 + 133,7}{0,752 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} + 0,857 \cdot \frac{13,9}{0,644 \cdot \frac{76,4}{1,0}} + 0,480 \cdot \frac{9,0}{\frac{36,8}{1,0}} =$$

$$= 0,178 + 0,242 + 0,117 = 0,537 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{8,4 + 133,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} + 0,939 \cdot \frac{13,9}{0,644 \cdot \frac{76,4}{1,0}} + 0,799 \cdot \frac{9,0}{\frac{36,8}{1,0}} =$$

$$= 0,324 + 0,265 + 0,195 = 0,784 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed} + N_{Ed,ztuž}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{8,4 + 133,7}{1} + \frac{13,9}{1} + \frac{9,0}{1} = 0,134 + 0,182 + 0,245 = 0,560 \leq 1$$

Posouzení smykové únosnosti:

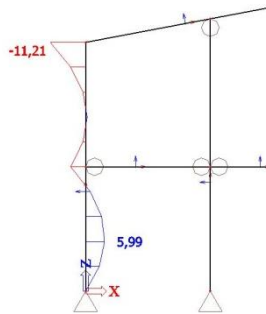
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1447 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 196,3 \text{ kN} > V_{Ed} = 16,3 \text{ kN}$$

Jedná se o malý smyk ($V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$), tudíž není nutné zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

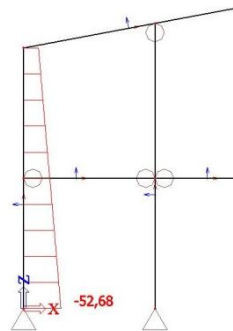
8.3.1.2 Kombinace s maximálním momentem M_z

Posouzení nelineární kombinace s největší normálovou silou a zároveň s největším momentem M_z . To je nelineární kombinace č.1 (sněž navátý + příčný vítr + vnitřní sání).

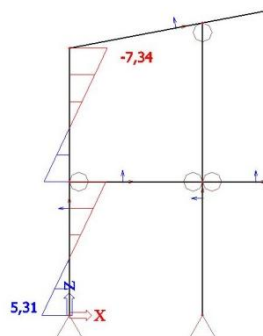
M_y [kNm]:



N [kN]:



V_z [kN]:



Zatížení od podélného větru (z roviny konstrukce):

Statické schéma sloupu je spojitý nosník o 2 polích, délka pole: $l = 5,285 \text{ m}$.

Návrhová hodnota tlaku větru na vnější povrchy: $w_{e,d} = \gamma_F \cdot w_{e,k}$

oblast A: $w_{e,d} = 1,5 \cdot 0,88 = 1,32 \text{ kN/m}^2$

Spojitě zatížení sloupku: $W_{Ed} = w_{e,d} \cdot b = 1,32 \cdot 3,14 = 4,15 \text{ kN/m}$

Moment nad střední podporou: $M_z = \frac{1}{8} \cdot W_{Ed} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 4,15 \cdot 5,285^2 = 14,5 \text{ kNm}$

Max. moment v poli: $M_z = -\frac{9}{128} \cdot W_{Ed} \cdot l^2 = -\frac{9}{128} \cdot 4,15 \cdot 5,285^2 = -8,15 \text{ kNm}$

Posouvající síla nad střední podporou: $V_y = \pm 0,625 \cdot W_{Ed} \cdot l = \pm 0,625 \cdot 4,15 \cdot 5,285 = \pm 13,7 \text{ kN}$

Vnitřní síly uvažované pro posouzení tedy jsou:

$$\begin{aligned} N_{Ed} &= 52,7 \text{ (tlak)} \\ M_{y,Ed} &= 11,2 \text{ kNm} \\ V_{z,Ed} &= 7,3 \text{ kN} \\ M_{z,Ed} &= 14,5 \text{ kNm} \\ V_{y,Ed} &= 13,7 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ověření průhybů z roviny štítové stěny:

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{1}{192} \cdot \frac{W_{Ed} \cdot L^4}{E \cdot I_z} = \frac{1}{192} \cdot \frac{4150 \cdot 5,285^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 924,6 \cdot 10^{-8}} \cdot 10^3 = 8,7 \text{ mm} \\ \delta &\leq \frac{L}{250} = \frac{5285}{250} = 21,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Zatřídění sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

Posun neutrální osy k tažené pásnici (plastické posouzení):

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{52700}{6,0 \cdot 235} = 37,4 \text{ mm}$$

Součinitel vyjadřující velikost tlačené části stěny:

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 122 + 37,4}{122} = 0,81$$

Zatřídění stojiny: Pro 1. třídu platí, že poměr $\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{122}{6,0} = 20,33 < \frac{369 \cdot \epsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{369 \cdot 1}{13 \cdot 0,81 - 1} = 38,7$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

Pro tlačnou pásnici platí: $\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{180 \cdot 0,5 - 6,0 \cdot 0,5 - 15}{9,5} = 7,6 < 9 \cdot \epsilon = 9$

→ Průřez je 1. třídy

Vzpěrné délky, štíhlosti a součinitele vzpěrnosti

viz. předchozí posouzení (nelineární kombinace č.11)

Vliv klopení

Tlačená pásnice sloupu není v příčném směru podepřena. Sloup proto musí být posouzen s vlivem klopení.

$L = 10570$ mm (výška sloupu, protože tlačená pásnice sloupu je v příčném směru podepřena v patce a ve vrcholu)

$k_y = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_z = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_w = 1,0$ (volná deplanace)

$\psi = 0$ (v patce je nulový moment) (poměr koncových momentů na prutu)

Pro získání součinitelů $C_{1,0}$ a $C_{1,1}$ budeme na straně bezpečnosti uvažovat tento momentový obrazec:



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

$$C_{1,1} = 1,85$$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 10,570} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 60210 \cdot 10^{-12}}{81 \cdot 148000 \cdot 10^{-12}}} = 0,305 \quad (\text{bezrozměrný parametr kroucení})$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_w \leq C_{1,1}$$

$$C_1 = 1,77 + (1,85 - 1,77) \cdot 0,305 = 1,79 \leq 1,85$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot [\sqrt{1 + \kappa_w^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)] \quad (\text{bezrozměrný kritický moment})$$

ζ_g (bezrozměrný parametr působení zatížení vzhledem ke středu smyku)

ζ_j (bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu)

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = 0$$

$$\text{Po úpravě: } \mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_w^2} = \frac{1,79}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,305^2} = 1,876$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,876 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 924,6 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 148000}}{10570} \cdot 10^{-6} = 85,07 \text{ kNm}$$

(Pružný kritický moment při klopení)

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{324900 \cdot 235}{85,07 \cdot 10^6}} = 0,947 \quad (\text{poměrná štíhlost})$$

$$\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \quad (\text{křivka klopení "b"})$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2] =$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,947 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,947^2] = 0,929$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,929 + \sqrt{0,929^2 - 0,75 \cdot 0,947^2}} = 0,732 \quad (\text{součinitel klopení})$$

$$\text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0 ; \chi_{LT} \leq \frac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,947^2} = 1,115$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny ve směru z-z. Tudíž uvažujeme průběh momentu na horní polovině sloupu.

$$\psi = \frac{M_{polovina}}{M_{vrchol}} = \frac{-4,74}{-11,21} = 0,43 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,45}{-11,21} = -0,04 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,04) = 0,13 \geq 0,4 \rightarrow C_{my} = 0,4$$

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mz} :

Uvažujeme moment M_z mezi body podepřeny ve směru y-y. Tudíž uvažujeme průběh momentu na polovině sloupu.

$$\psi = \frac{M_{patka}}{M_{polovina}} = \frac{0}{14,5} = 0 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-8,15}{14,5} = -0,56 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{mz} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,56) = 0,55 \geq 0,4 \rightarrow C_{mz} = 0,55$$

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny ve směru y-y. Tudíž uvažujeme průběh momentu na horní polovině sloupu.

$$\psi = \frac{M_{polovina}}{M_{vrchol}} = \frac{-4,74}{-11,21} = 0,43 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{0,45}{-11,21} = -0,04 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,04) = 0,13 \geq 0,4 \rightarrow C_{mLT} = 0,4$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu jsou:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4525 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1063,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 324900 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 76,4 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot f_y = 156500 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 36,8 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} a k_{zz} jsou:

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,4 \cdot \left(1 + (0,755 - 0,2) \cdot \frac{52,7}{0,752 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \\ 0,4 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{52,7}{0,752 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min(0,415) = 0,415$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,385$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,245}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{52,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{52,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max(0,900) = 0,920$$

$$k_{zz} = \min \left[\begin{array}{l} C_{mz} \cdot \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{mz} \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,55 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,245 - 0,6) \cdot \frac{52,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \\ 0,55 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \frac{52,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min(0,675) = 0,642$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{52,7}{0,752 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} + 0,415 \cdot \frac{11,2}{0,732 \cdot \frac{76,4}{1,0}} + 0,385 \cdot \frac{14,5}{\frac{36,8}{1,0}} =$$

$$= 0,066 + 0,083 + 0,152 = 0,301 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_z \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{52,7}{0,413 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} + 0,920 \cdot \frac{11,2}{0,732 \cdot \frac{76,4}{1,0}} + 0,642 \cdot \frac{14,5}{\frac{36,8}{1,0}} =$$

$$= 0,120 + 0,184 + 0,253 = 0,557 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{52,7}{1} + \frac{11,2}{1} + \frac{14,5}{1} = 0,050 + 0,147 + 0,397 = 0,594 \leq 1$$

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1447 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 196,3 \text{ kN} > V_{Ed} = 13,7 \text{ kN}$$

Jedná se o malý smyk ($V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$), tudíž není nutné zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

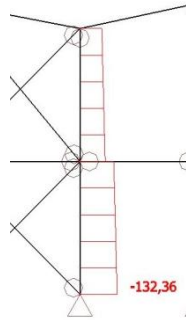
ZÁVĚR: Krajní sloup štítové stěny vyhovuje (využití= 78,4%).

8.3.2 Posouzení prostředního sloupu

Ze všech vnitřních sloupků vzniká největší tlaková normálová síla právě v prostředním sloupku.

Posouzení nelineární kombinace s největší normálovou silou a zároveň s největším momentem M_y . To je nelineární kombinace č.2 (výjimečné navátí sněhu + příčný vítr + vnitřní sání).

N [kN]:



Zatížení od podélného větru (z roviny konstrukce):

Statické schéma sloupu je prostý nosník, délka $l = 10,57$ m.

Návrhová hodnota tlaku větru na vnější povrchy: $w_{e,d} = \gamma_F \cdot w_{e,k}$

oblast B: $w_{e,d} = 1,5 \cdot 0,74 = 1,11 \text{ kN/m}^2$

Spojité zatížení sloupku: $W_{Ed} = w_{e,d} \cdot b = 1,11 \cdot 5,01 = 5,56 \text{ kN/m}$

Max. moment: $M_y = \frac{1}{8} \cdot W_{Ed} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 5,56 \cdot 10,57^2 = 77,6 \text{ kNm}$

Max. posouvající síla: $V_z = \pm 0,5 \cdot W_{Ed} \cdot l = \pm 0,5 \cdot 5,56 \cdot 10,57 = \pm 29,4 \text{ kN}$

Vnitřní síly uvažované pro posouzení tedy jsou:

$$N_{Ed} = 132,4 \text{ (tlak)}$$

$$M_{y,Ed} = 77,6 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 29,4 \text{ kN}$$

- průřez sloupu **HEA 260** (orientace sloupu: měkká osa v rovině štítové stěny)

$A = 8682 \text{ mm}^2$	$A_{v,z} = 2876 \text{ mm}^2$
$I_y = 10450 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$I_z = 3668 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
$W_{pl,y} = 919800 \text{ mm}^3$	$W_{pl,z} = 430200 \text{ mm}^3$
$i_y = 110 \text{ mm}$	$i_z = 65 \text{ mm}$
$I_t = 52,37 \cdot 10^4 = \text{mm}^4$	$I_w = 516400 \cdot 10^6 = \text{mm}^6$

Ověření průhybů z roviny štítové stěny:

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{W_{Ed} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{5560 \cdot 10,57^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 10450 \cdot 10^{-8}} \cdot 10^3 = 41,2 \text{ mm}$$

$$\delta \leq \frac{L}{250} = \frac{10570}{250} = 42,3 \text{ mm}$$

Zatřídění sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

Posun neutrální osy k tažené pásnici (plastické posouzení):

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{132400}{7,5 \cdot 235} = 75,1 \text{ mm} \leq \frac{d}{2} = \frac{177}{2} = 88,5 \text{ mm}$$

Součinitel vyjadřující velikost tlačené části stěny:

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 177 + 75,1}{177} = 0,92$$

Zatřídění stojiny: Pro 1. třídu platí, že poměr $\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{177}{7,5} = 23,6 < \frac{369 \cdot \epsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{369 \cdot 1}{13 \cdot 0,92 - 1} = 33,7$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

Pro tlačенou pásnici platí: $\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{260 \cdot 0,5 - 7,5 \cdot 0,5 - 24}{12,5} = 8,2 < 9 \cdot \epsilon = 9$

→ Průřez je 1. třídy

Vzpěrné délky, štíhlosti a součinitele vzpěrnosti

Pro vzpěr v rovině štítové stěny (vybočení kolmo k ose z) se použije vzpěrná délka rovna polovině výšky sloupu. Pro vzpěr z roviny štítové stěny (vybočení kolmo k ose y) se použije vzpěrná délka rovna výšce sloupu.

$$L_{cr,y} = L = 10570 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L = 5285 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlosti sloupu} \quad \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10570}{110} = 96,1$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5285}{65} = 81,3$$

$$\text{Poměrné štíhlosti} \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{96,1}{93,9} = 1,023 \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{81,3}{93,9} = 0,866$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky "a" ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky "b" ve směru kolmo k ose z.

$$\chi_y = 0,650$$

$$\chi_z = 0,716$$

Vliv klopení

Tlačená pásnice sloupu není v příčném směru podepřena. Sloup proto musí být posouzen s vlivem klopení.

$L = 10570$ mm (výška sloupu, protože tlačená pásnice sloupu je v příčném směru podepřena v patce a ve vrcholu)

$k_y = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_z = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_w = 1,0$ (volná deplanace)

$\psi = 0$ (v patce je nulový moment) (poměr koncových momentů na prutu)

$C_{1,0} = 1,13$

$C_{1,1} = 1,13$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 10570} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 516400 \cdot 10^{-12}}{81 \cdot 523700 \cdot 10^{-12}}} = 0,475 \quad (\text{bezrozměrný parametr kroucení})$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_w \leq C_{1,1}$$

$$C_1 = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,475 = 1,13 \leq 1,13$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot [\sqrt{1 + \kappa_w^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)] \quad (\text{bezrozměrný kritický moment})$$

ζ_g (bezrozměrný parametr působení zatížení vzhledem ke středu smyku)

ζ_j (bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu)

$C_2 = 0$

$C_3 = 0$

$$\text{Po úpravě: } \mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_w^2} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,475^2} = 1,251$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,251 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 3668 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 523700}}{10570} \cdot 10^{-6} = 212,5 \text{ kNm}$$

(Pružný kritický moment při klopení)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{919800 \cdot 235}{212,5 \cdot 10^6}} = 1,01 \quad (\text{poměrná štíhlost})$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \quad (\text{křivka klopení "b"})$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2] =$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,01 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,01^2] = 0,986$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,986 + \sqrt{0,986^2 - 0,75 \cdot 1,01^2}} = 0,694 \quad (\text{součinitel klopení})$$

$$\text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0 ; \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,01^2} = 0,98$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny v směru z-z. Tudíž uvažujeme průběh momentu na celé délce sloupu.

$$\psi = \frac{M_{patka}}{M_{vrchol}} = \frac{0}{0} = 0 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{77,6} = 0 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny v směru y-y. Tudíž uvažujeme průběh momentu na polovině sloupu.

$$\psi = \frac{M_{patka}}{M_{polovina}} = \frac{0}{77,6} = 0 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot 0 \geq 0,4 \rightarrow C_{mLT} = 0,6$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu jsou:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 8682 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 2040,3 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 919800 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 216,1 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} , k_{yz} jsou:

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,95 \cdot \left(1 + (1,023 - 0,2) \cdot \frac{132,4}{0,65 \cdot \frac{2040,3}{1,0}} \right) \\ 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{132,4}{0,65 \cdot \frac{2040,3}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min \left(\begin{array}{l} 1,028 \\ 1,026 \end{array} \right) = 1,026$$

$$k_{yz} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,866}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{132,4}{0,716 \cdot \frac{2040,3}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{132,4}{0,716 \cdot \frac{2040,3}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max \left(\begin{array}{l} 0,977 \\ 0,974 \end{array} \right) = 0,977$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{132,4}{0,65 \cdot \frac{2040,3}{1,0}} + 1,026 \cdot \frac{77,6}{0,694 \cdot \frac{216,1}{1,0}} =$$

$$= 0,100 + 0,531 = 0,631 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{132,4}{0,716 \cdot \frac{2040,3}{1,0}} + 0,977 \cdot \frac{77,6}{0,694 \cdot \frac{216,1}{1,0}} =$$

$$= 0,090 + 0,506 = 0,596 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{132,4}{\frac{2040,3}{1}} + \frac{77,6}{\frac{216,1}{1}} = 0,065 + 0,359 = 0,424 \leq 1$$

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2876 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 390,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 29,4 \text{ kN}$$

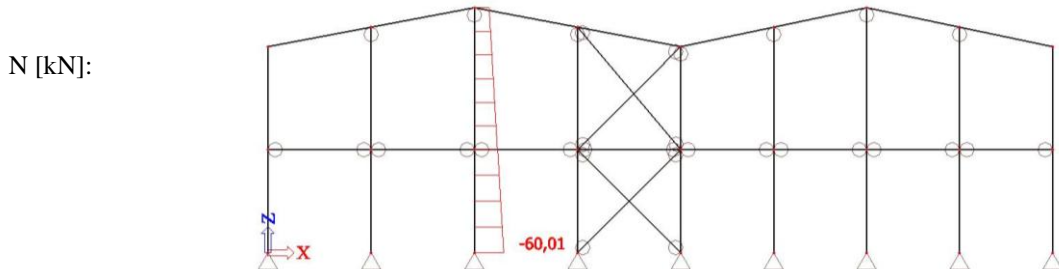
Jedná se o malý smyk ($V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$), tudíž není nutné zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

ZÁVĚR: Prostřední sloup štítové stěny vyhovuje (využití= 63,1%).

8.3.3 Posouzení nejvyššího sloupu

Ze všech vnitřních sloupků vzniká největší moment M_y v nejvyšším sloupku širší lodi. To je sloup č. 3.

Největší moment M_y vzniká při zatížení příčným větrem. Pro posouzení tedy vybereme nelineární kombinaci, ve které je zahrnut příčný vítr a zároveň zde vnika největší tlaková normálová síla. To je nelineární kombinace č.3 (sníh navátý + příčný vítr + vnitřní sání).



Zatížení od podélného větru (z roviny konstrukce):

Statické schéma sloupu je prostý nosník, délka $l = 12,57$ m.

Návrhová hodnota tlaku větru na vnější povrchy: $w_{e,d} = \gamma_F \cdot w_{e,k}$

oblast B: $w_{e,d} = 1,5 \cdot 0,74 = 1,11 \text{ kN/m}^2$

Spojité zatížení sloupku: $W_{Ed} = w_{e,d} \cdot b = 1,11 \cdot 5,28 = 5,86 \text{ kN/m}$

Max. moment: $M_y = \frac{1}{8} \cdot W_{Ed} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 5,86 \cdot 12,57^2 = 115,7 \text{ kNm}$

Max. posouvající síla: $V_z = \pm 0,5 \cdot W_{Ed} \cdot l = \pm 0,5 \cdot 5,86 \cdot 12,57 = \pm 36,8 \text{ kN}$

Vnitřní síly uvažované pro posouzení tedy jsou: $N_{Ed} = 60 \text{ kNm}$ (tlak)
 $M_{y,Ed} = 115,7 \text{ kNm}$
 $V_{z,Ed} = 36,8 \text{ kN}$

- průřez sloupu **HEA 300** (orientace sloupu: měkká osa v rovině štítové stěny)

$A = 11250 \text{ mm}^2$	$A_{v,z} = 3728 \text{ mm}^2$
$I_y = 18260 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$I_z = 6310 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
$W_{pl,y} = 1383000 \text{ mm}^3$	$W_{pl,z} = 641200 \text{ mm}^3$
$i_y = 127 \text{ mm}$	$i_z = 74,9 \text{ mm}$
$I_t = 85,17 \cdot 10^4 = \text{mm}^4$	$I_w = 1200000 \cdot 10^6 = \text{mm}^6$

Ověření průhybů z roviny štítové stěny:

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{W_{Ed} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{5860 \cdot 12,57^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 18260 \cdot 10^{-8}} \cdot 10^3 = 49,7 \text{ mm}$$

$$\delta \leq \frac{L}{250} = \frac{12570}{250} = 50,3 \text{ mm}$$

Zatřídění sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

Posun neutrální osy k tažené pásnici (plastické posouzení):

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{60000}{8,5 \cdot 235} = 30,04 \text{ mm} \leq \frac{d}{2} = \frac{208}{2} = 104 \text{ mm}$$

Součinitel vyjadřující velikost tlačené části stěny:

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 208 + 30,04}{208} = 0,64$$

Zatřídění stojiny: Pro 1. třídu platí, že poměr $\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,5 < \frac{369 \cdot \epsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{369 \cdot 1}{13 \cdot 0,64 - 1} = 50,0$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

Pro tlačnou pásnici platí: $\frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{300 \cdot 0,5 - 8,5 \cdot 0,5 - 27}{14} = 8,5 < 9 \cdot \epsilon = 9$

→ Průřez je 1. třídy

Vzpěrné délky, štíhlosti a součinitele vzpěrnosti

Pro vzpěr v rovině štítové stěny (vybočení kolmo k ose z) se použije vzpěrná délka rovna horní části sloupu, nad ztužujícím vodorovným prutem.

Pro vzpěr z roviny štítové stěny (vybočení kolmo k ose y) se použije vzpěrná délka rovna výšce sloupu.

$$L_{cr,y} = L = 12570 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L = 7285 \text{ mm}$$

Štíhlosti sloupu $\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{12570}{127} = 99,0$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7285}{74,9} = 97,3$$

Poměrné štíhlosti $\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{99,0}{93,9} = 1,054$ kde $\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{97,3}{93,9} = 1,036$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky "b" ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky "c" ve směru kolmo k ose z.

$$\chi_y = 0,563$$

$$\chi_z = 0,520$$

Vliv klopení

Tlačená pásnice sloupu není v příčném směru podepřena. Sloup proto musí být posouzen s vlivem klopení.

$L = 12570$ mm (výška sloupu, protože tlačená pásnice sloupu je v příčném směru podepřena v patce a ve vrcholu)

$k_y = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_z = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_w = 1,0$ (volná deplanace)

$\psi = 0$ (v patce je nulový moment) (poměr koncových momentů na prutu)

$C_{1,0} = 1,13$

$C_{1,1} = 1,13$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 12,570} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 1200000 \cdot 10^{-12}}{81 \cdot 851700 \cdot 10^{-12}}} = 0,478 \quad (\text{bezrozměrný parametr kroucení})$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_w \leq C_{1,1}$$

$$C_1 = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,478 = 1,13 \leq 1,13$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot [\sqrt{1 + \kappa_w^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)] \quad (\text{bezrozměrný kritický moment})$$

ζ_g (bezrozměrný parametr působení zatížení vzhledem ke středu smyku)

ζ_j (bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu)

$C_2 = 0$

$C_3 = 0$

Po úpravě: $\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_w^2} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,478^2} = 1,252$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,252 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 6310 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 851700}}{12570} \cdot 10^{-6} = 299,2 \text{ kNm}$$

(Pružný kritický moment při klopení)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1383000 \cdot 235}{299,2 \cdot 10^6}} = 1,04 \quad (\text{poměrná štíhlost})$$

$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$

$\beta = 0,75$

$\alpha_{LT} = 0,34$ (křivka klopení "b")

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2] =$$

$$= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,04 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,04^2] = 1,014$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,014 + \sqrt{1,014^2 - 0,75 \cdot 1,04^2}} = 0,695 \quad (\text{součinitel klopení})$$

ale $\chi_{LT} \leq 1,0$; $\chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,04^2} = 0,92$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny v směru z-z. Tudíž uvažujeme průběh momentu na celé délce sloupu.

$$\psi = \frac{M_{patka}}{M_{vrchol}} = \frac{0}{0} = 0 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{115,7} = 0 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny v směru y-y. Tudíž uvažujeme průběh momentu na polovině sloupu.

$$\psi = \frac{M_{patka}}{M_{polovina}} = \frac{0}{115,7} = 0 \quad (\text{poměr koncových momentů na prutu})$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi \geq 0,4$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot 0 \geq 0,4 \rightarrow C_{mLT} = 0,6$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu jsou:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 11250 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 2643,7 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 1383000 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 325,0 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou:

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,95 \cdot \left(1 + (1,054 - 0,2) \cdot \frac{60,0}{0,563 \cdot \frac{2643,7}{1,0}} \right) \\ 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{60,0}{0,563 \cdot \frac{2643,7}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,983 \\ 0,981 \end{array} \right) = 0,981$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,036}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{60,0}{0,520 \cdot \frac{2643,7}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{60,0}{0,520 \cdot \frac{2643,7}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max \left(\begin{array}{l} 0,987 \\ 0,988 \end{array} \right) = 0,988$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{60,0}{0,563 \cdot \frac{2643,7}{1,0}} + 0,981 \cdot \frac{115,7}{0,695 \cdot \frac{325,0}{1,0}} =$$

$$= 0,040 + 0,502 = 0,542 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{60,0}{0,520 \cdot \frac{2643,7}{1,0}} + 0,988 \cdot \frac{115,7}{0,695 \cdot \frac{325,0}{1,0}} =$$

$$= 0,044 + 0,506 = 0,550 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{60,0}{\frac{2643,7}{1,0}} + \frac{115,7}{\frac{325,0}{1,0}} = 0,023 + 0,356 = 0,379 \leq 1$$

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3728 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 505,8 \text{ kN} > V_{Ed} = 36,8 \text{ kN}$$

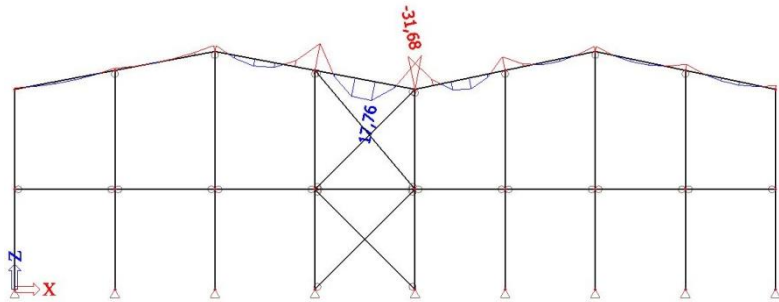
Jedná se o malý smyk ($V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$), tudíž není nutné zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

ZÁVĚR: Nejvyšší sloup štítové stěny vyhovuje (využití= 55,0 %).

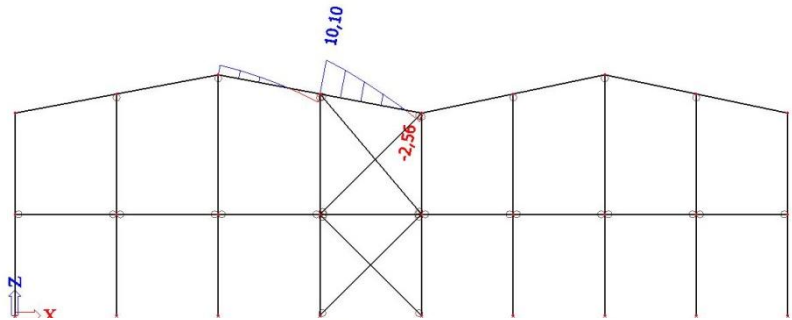
8.3.4 Posouzení příčle štítové stěny

Posouzení bude provedeno pro nelineární kombinaci s největším momentem M_y . To je nelineární kombinace č.4.

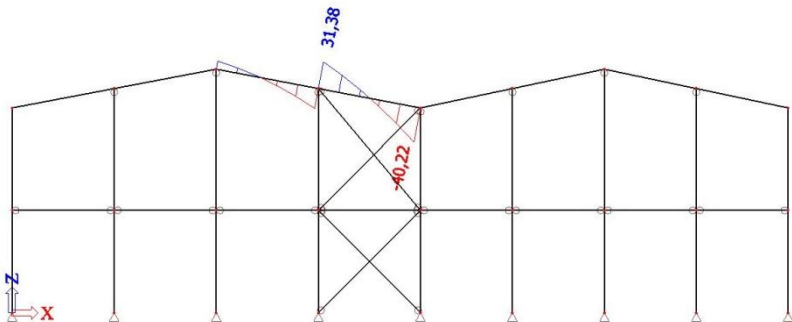
M [kNm]:



N [kN]:



V [kN]:



V této kombinaci na příčel také působí přídavná normálová tlaková síla od příčného ztužidla (navrženo výše).

Vnitřní síly uvažované pro posouzení tedy jsou: $N_{Ed} = 2,56 + 211,7 = 214,3 \text{ kN}$
 $M_{Ed} = 31,7 \text{ kNm}$
 $V_{Ed} = 40,2 \text{ kN}$

Průřez příčle **HEA 180**

$A = 4525 \text{ mm}^2$	$A_{v,z} = 1447 \text{ mm}^2$
$I_y = 2510 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	$I_z = 924,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
$W_{pl,y} = 324900 \text{ mm}^3$	$W_{pl,z} = 156500 \text{ mm}^3$
$i_y = 74,5 \text{ mm}$	$i_z = 45,2 \text{ mm}$
$I_t = 14,80 \cdot 10^4 = \text{mm}^4$	$I_w = 60210 \cdot 10^6 = \text{mm}^6$

Zatřídění sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

Posun neutrální osy k tažené pásnici (plastické posouzení):

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{214300}{6,0 \cdot 235} = 152,0 \text{ mm} \geq \frac{d}{2} = \frac{122}{2} = 61 \text{ mm} \rightarrow \text{stojina je celá tlačena}$$

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

Zatřídění stojiny: Pro 1. třídu platí, že poměr $\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{122}{6,0} = 20,33 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1 = 33$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

$$\text{Pro tlačenu pásnici platí: } \frac{c}{t_f} = \frac{b \cdot 0,5 - t_w \cdot 0,5 - r}{t_f} = \frac{180 \cdot 0,5 - 6,0 \cdot 0,5 - 15}{9,5} = 7,6 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

→ Průřez je 1. třídy

Vzpěrné délky, štíhlosti a součinitele vzpěrnosti

Pro vzpěr v rovině rámu (vybočení kolmo k ose y), stejně tak jako vzpěr z roviny rámu (vybočení kolmo k ose z), se použije vzpěrná délka rovna vzdálenosti mezi podporami.

$$L_{cr,y} = L = 5369 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L = 5369 \text{ mm}$$

$$\text{Štíhlosti sloupu } \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5369}{74,5} = 72,07$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5369}{45,2} = 118,78$$

$$\text{Poměrné štíhlosti } \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{72,07}{93,9} = 0,767 \quad \text{kde } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{118,78}{93,9} = 1,265$$

Součinitel vzpěrnosti se určí pomocí křivky "b" ve směru kolmo k ose y a pomocí křivky "c" ve směru kolmo k ose z.

$$\chi_y = 0,745$$

$$\chi_z = 0,404$$

Vliv klopení

Tlačená pásnice příčle není v příčném směru podepřena. Příčel proto musí být posouzena s vlivem klopení.

$L = 5369$ mm (délka příčle v jednom poli - mezi podporami)

$k_y = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

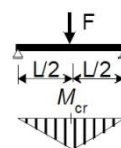
$k_z = 1,0$ (kloubové uložení obou konců)

$k_w = 1,0$ (volná deplanace)

$$\psi = \frac{-25,39}{-31,68} = 0,80$$

(poměr koncových momentů mezi podporami)

Pro získání součinitelů $C_{1,0}$ a $C_{1,1}$ budeme na straně bezpečnosti uvažovat tento momentový obrazec:



$$C_{1,0} = 1,35$$

$$C_{1,1} = 1,36$$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1,0 \cdot 5369} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 60210 \cdot 10^{-12}}{81 \cdot 148000 \cdot 10^{-12}}} = 0,605$$

(bezrozměrný parametr kroucení)

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) \cdot \kappa_w \leq C_{1,1}$$

$$C_1 = 1,35 + (1,36 - 1,35) \cdot 0,605 = 1,356 \leq 1,36$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \left[\sqrt{1 + \kappa_w^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j) \right] \quad (\text{bezrozměrný kritický moment})$$

ζ_g (bezrozměrný parametr působíště zatížení vzhledem ke středu smyku)

ζ_j (bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu)

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = 0$$

$$\text{Po úpravě: } \mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_w^2} = \frac{1,356}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,605^2} = 2,176$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 2,176 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210000 \cdot 924,6 \cdot 10^4 \cdot 81000 \cdot 148000}}{5369} \cdot 10^{-6} = 157,4 \text{ kNm}$$

(Pružný kritický moment při klopení)

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{324900 \cdot 235}{157,4 \cdot 10^6}} = 0,696 \quad (\text{poměrná štíhlost})$$

$$\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\alpha_{LT} = 0,34 \text{ (křivka klopení "b")}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,696 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,696^2] = 0,732$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,732 + \sqrt{0,732^2 - 0,75 \cdot 0,696^2}} = 0,872 \quad (\text{součinitel klopení})$$

$$\text{ale } \chi_{LT} \leq 1,0 ; \chi_{LT} \leq \frac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,696^2} = 2,06$$

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{my} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny ve směru z-z. Tudíž uvažujeme průběh momentu s největšími hodnotami na jednom poli příčle.

$$\psi = \frac{-25,39}{-31,68} = 0,80 \quad (\text{poměr koncových momentů mezi podporami})$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{17,76}{-31,68} = -0,561 \quad (\text{poměr max momentu v poli a max koncového})$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 \cdot (-0,561) = 0,549$$

- Součinitel ekvivalentního konstantního momentu C_{mLT} :

Uvažujeme moment M_y mezi body podepřeny ve směru y-y. Tudíž uvažujeme průběh momentu s největšími hodnotami na jednom poli příčle.

$$C_{mLT} = C_{my} = 0,549$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu jsou:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 4525 \cdot 235 \cdot 10^{-3} = 1063,4 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 324900 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 76,35 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy} jsou:

$$k_{yy} = \min \left[\begin{array}{l} C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right] = \min \left[\begin{array}{l} 0,549 \cdot \left(1 + (0,767 - 0,2) \cdot \frac{214,3}{0,745 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \\ 0,549 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{214,3}{0,745 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \right) \end{array} \right] =$$

$$= \min \left(\begin{array}{l} 0,633 \\ 0,668 \end{array} \right) = 0,633$$

$$k_{zy} = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right] = \max \left[\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,265}{(0,549 - 0,25)} \cdot \frac{214,3}{0,404 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,549 - 0,25)} \cdot \frac{214,3}{0,404 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} \end{array} \right] =$$

$$= \max \left(\begin{array}{l} 0,789 \\ 0,833 \end{array} \right) = 0,833$$

Sloup musí vyhovět následujícím podmínkám:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{214,3}{0,745 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} + 0,633 \cdot \frac{31,7}{0,872 \cdot \frac{76,35}{1,0}} =$$

$$= 0,271 + 0,301 = 0,572 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{214,3}{0,404 \cdot \frac{1063,4}{1,0}} + 0,833 \cdot \frac{31,7}{0,872 \cdot \frac{76,35}{1,0}} =$$

$$= 0,499 + 0,397 = 0,896 \leq 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{214,3}{\frac{1063,4}{1,0}} + \frac{31,7}{\frac{76,35}{1,0}} = 0,202 + 0,415 = 0,617 \leq 1$$

Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1447 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 196,3 \text{ kN} > V_{Ed} = 40,2 \text{ kN}$$

Jedná se o malý smyk ($V_{Ed} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$), tudíž není nutné zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

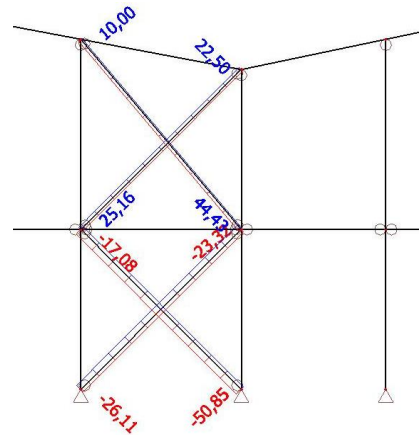
ZÁVĚR: Příčel štítové stěny vyhovuje (využití= 89,6 %).

8.3.5 Posouzení diagonály

Obálka normálových sil z nelineárních kombinací:

$$N_{ed} = -50,85 \text{ kN}$$

$$L = 7,467 \text{ m}$$



Návrh profilu: Kruhová trubka 102 X 4,0

Vzpěrná délka dle vzorce pro diagonály příhradoviny:

$$L_{cr} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t \cdot L_t}{N_c \cdot L_c}} = L \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t}{N_c}} = 7,467 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{44,43}{50,85}} = 4,384 \text{ m}$$

$$L_{cr} \geq 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 7,467 = 3,734 \text{ m}$$

$$L_{cr} \leq L = 7,467 \text{ m}$$

Štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4384}{34,7} = 126,34$$

$$\lambda \leq 250$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{126,34}{93,9} = 1,345$$

Součinitel vzpěrnosti určíme z tabulek pro vzpěrnostní křivku "a".

Vzpěrnostní součinitel:

$$\chi = 0,445$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,445 \cdot 1232 \cdot 235 \cdot 10^{-3}}{1,0} = 128,8 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{c,Ed} = 50,85 \text{ kN}$$

Vodorovné pruty budou taktéž profilu 102 X 4,0, tedy stejné jako štítová diagonála.

8.4 Závěry z navrhování štítové stěny

Rohové sloupy budou profilu HEA 180. Vzhledem k tomu, že jsou v polovině výšky drženy v obou směrech, rozhoduje u nich únosnost, nikoli vodorovný průhyb.

U vnitřních sloupů je rozhodující vodorovný průhyb od sání příčného větru. Prostřední sloup je navržen jako HEA 260 a nejvyšší sloup je navržen jako HEA 300. Vzhledem k velké normálové síle od zatížení sněhem a poměrně velké výšce sloupu je profil HEA výhodnější oproti profilu IPE, který není vhodný kvůli náchylnosti k vybočení kolmo k ose z.

Příčel bude ze stejného profilu jako krajní sloupy - HEA 180. Vzhledem k tomu, že je příčel držena v poměrně krátkých vzdálenostech (pomocí sloupků a příčného ztužidla), je u ní rozhodující únosnost, nikoli průhyb. Vzhledem k velké normálové tlakové síle od příčného střešního ztužidla je výhodnější profil HEA oproti profilu IPE.

9 Patka krajního sloupu příčné vazby

Patka je vetknutá.

Posoudí se nelineární kombinace zatížení s největším momentem - KZS (5), pravý sloup

Reakce v patkách

	Levý sloup			Pravý sloup		
	V_{Ed}	N_{Ed}	M_{Ed}	V_{Ed}	N_{Ed}	M_{Ed}
	[kN]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kN]	[kNm]
KZS (1)	8,6	170,4	-15,8	-91,8	100,7	-512,8
KZS (2)	-17,8	103,0	-117,6	-66,3	38,8	-384,8
KZS (3)	67,8	158,8	327,3	-30,6	108,7	-164,5
KZS (4)	41,7	91,5	224,8	-4,9	46,8	-37,2
KZS (5)	-41,33	136,0	-247,9	-98,5	65,1	-553,0
KZS (6)	-54,6	102,4	-298,7	-85,8	34,1	-489,2
KZS (7)	57,0	116,6	317,3	3,1	78,5	20,9
KZS (8)	44,0	83,0	266,0	16,0	47,5	84,0
KZS (9)	-53,7	-5,0	-236,8	-28,1	-20,7	-112,7
KZS (10)	27,1	10,0	125,5	53,1	-37,3	249,2
KZS (11)	41,9	-6,5	72,6	-42,8	-36,8	-54,6
KZS (12)	55,1	161,6	223,0	-53,3	100,9	-291,0
KZS (13)	28,9	94,3	120,8	-27,8	39,0	-163,4

Geometrie

Geometrie ocelové patky:

$$a = 1200 \text{ mm}$$

$$b = 570 \text{ mm}$$

$$t_p = 30 \text{ mm (tloušťka patního plechu)}$$

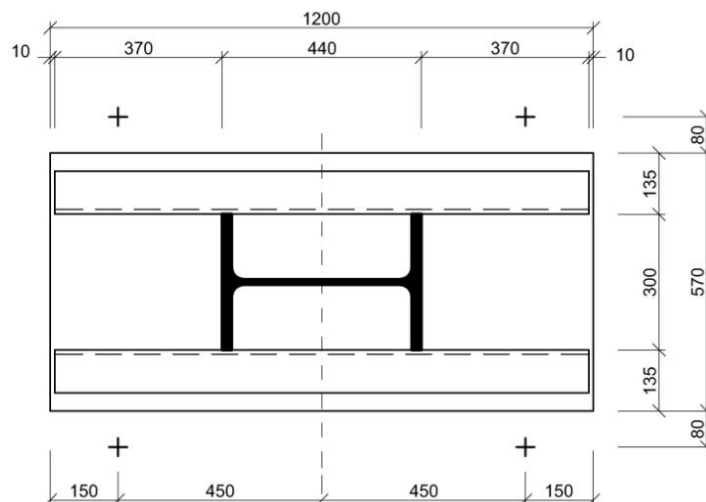
$$r_t = 420 \text{ mm}$$

Beton:

C 20/25

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}; \gamma_c = 1,5$$

Výška podlití má být větší než 0,1 násobek menšího z půdorysných rozměrů patky, tj. $0,1 \cdot 570 = 57 \text{ mm}$. Volíme 60 mm.



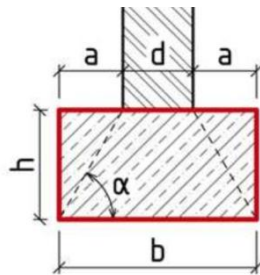
Rozměry betonové patky:

Návrh a posouzení betonové patky provedeme velmi zjednodušeně pouze na svislou únosnost. Posouzení vodorovné únosnosti zanedbáme.

Předpokládejme návrhovou únosnost základové půdy: $R/A' = 360 \text{ kPa}$ a roznášecí úhel v betonové patce $\alpha = 60^\circ$.

Návrh půdorysných rozměrů: $L = 3500 \text{ mm}$
 $B = 2300 \text{ mm}$

Výška patky: $\alpha = 60^\circ$; $d = 570 \text{ mm}$; $a = 865 \text{ mm}$
 $h = a \cdot \operatorname{tg} \alpha = 865 \cdot \operatorname{tg} 60 = 1498 \text{ mm}$
 $\rightarrow h = 1500 \text{ mm}$



Tíha patky: $G_p = B \cdot L \cdot h \cdot \gamma_B \cdot \gamma_C = 2,3 \cdot 3,5 \cdot 1,5 \cdot 23 \cdot 1,5 = 416,6 \text{ kN}$

Excentricita: $e = \frac{M_{Ed} + V_{Ed} \cdot h}{N_{Ed} + G_p} = \frac{553 + 98,5 \cdot 1,5}{65,1 + 416,6} = 1,45 \text{ m}$

Efektivní délka základu: $L' = L - 2 \cdot e = 3,5 - 2 \cdot 1,45 = 0,59 \text{ m}$

Napětí v základové spáře: $\sigma_d = \frac{N_{Ed} + G_p}{L' \cdot B} = \frac{65,1 + 416,6}{0,59 \cdot 2,3} = 354,7 \text{ kPa}$

Posouzení: $\sigma_d \leq R/A'$

$$354,7 \text{ kPa} \leq 360 \text{ kPa}$$

Patka vyhovuje.

Započitatelné rozměry betonové patky:

$$a_1 = \min(L, 3a, a + h) = \min(3500, 3 \cdot 1200, 1200 + 1500) = 2700 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(B, 3b, b + h) = \min(2300, 3 \cdot 570, 570 + 1500) = 1710 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{2700 \cdot 1710}{1200 \cdot 570}} = 2,60$$

Návrhová pevnost betonu:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2,60 \cdot 20}{1,5} = 23,11 \text{ MPa}$$

Přesah desky:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 23,11}} = 55,2 \text{ mm}$$

Účinná šířka patního plechu pod výztuhou:

$$b_{eff} = 2 \cdot b_{U240} + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 55,2 = 2 \cdot 95 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 55,2 = 380,4 \text{ mm}$$

Namáhání patní spáry a průřezu patky (pravý sloup):

		KZS (1)	KZS (2)	KZS (3)	KZS (4)	KZS (5)	KZS (6)	KZS (7)	KZS (8)	KZS (9)	KZS (10)	KZS (11)	KZS (12)	KZS (13)
Med	kNm	512,8	384,8	164,5	37,2	553,0	489,2	20,9	84,0	112,7	249,2	54,6	291,0	163,4
Ned	kN	100,7	38,8	108,7	46,8	65,1	34,1	78,5	47,5	-20,7	-37,3	-36,8	100,9	39,0
e	mm	5092,4	9917,5	1513,3	794,9	8494,6	14346,0	266,2	1768,4	-5444,4	-6681,0	-1483,7	2884,0	4189,7
x1	mm	1976,1	1994,2	2016,3	2033,6	1973,1	1982,2	2034,0	2028,3	2028,3	2013,6	2035,6	2002,1	2019,7
x2=x	mm	63,9	45,8	23,7	6,4	66,9	57,8	6,0	11,7	11,7	26,4	4,4	37,9	20,3
Nc	kN	561,8	402,3	208,5	55,9	588,3	508,0	53,0	102,5	102,6	232,0	38,5	333,0	178,0
T	kN	461,1	363,5	99,8	9,1	523,2	473,9	-25,5	55,0	123,3	269,3	75,3	232,1	139,0

Veličiny uvedené v tabulce:

Excentricita působíště normálové síly: $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$

x je délka tlačené oblasti pod patním plechem, určí se z momentové podmínky rovnováhy k působíšti šroubů, viz obr. níže:

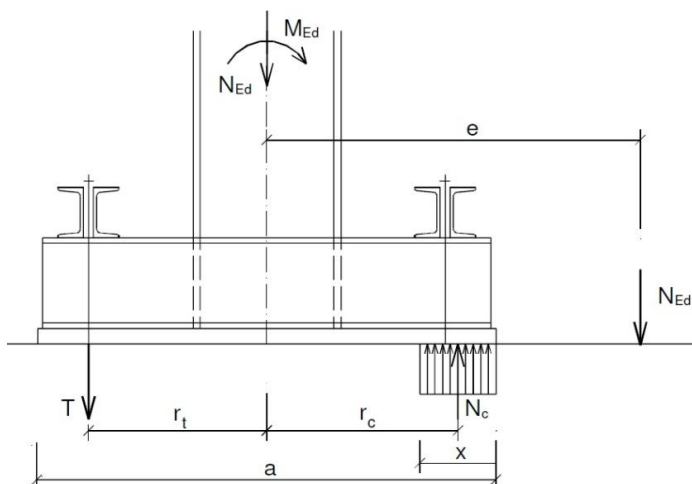
$$N_{Ed} \cdot (e + r_t) = N_c \left(r_t + \frac{a}{2} - \frac{x}{2} \right) \quad \text{kde} \quad N_c = b_{eff} \cdot x \cdot f_{jd}$$

Z těchto dvou rovnic se získá kvadratická rovnice pro x:

$$b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot x^2 - b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot (2 \cdot r_t + a) \cdot x + 2 \cdot N_{Ed} (e + r_t) = 0$$

x₁, x₂ jsou kořeny této kvadratické rovnice, fyzikální smysl má kořen x₂.

Síla do kotevních šroubů vyplýne ze svislé podmínky rovnováhy: $T = N_c - N_{Ed}$



Průřez patky:

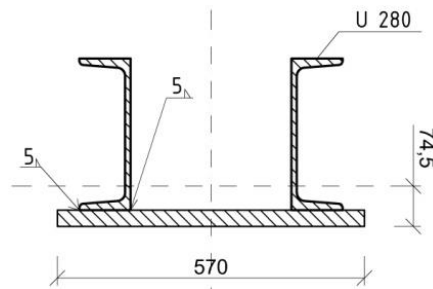
Patní plech: 30 x 570 mm

Výztuhy 2 x U280: $A = 2 \cdot 5330 = 10660 \text{ mm}^2$
 $I_y = 2 \cdot 6280 \cdot 10^4 = 125,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
 $A_{v,z} = 2 \cdot 2928 = 5856 \text{ mm}^2$

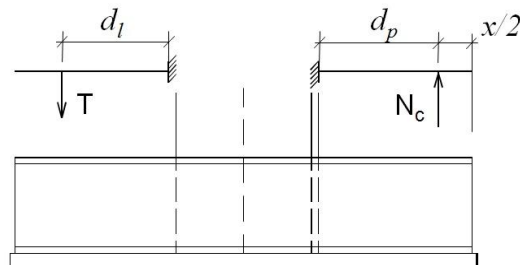
Svařený průřez: $A = 30 \cdot 570 + 10660 = 27760 \text{ mm}^2$

$$z_T = \frac{\sum A_i \cdot z_i}{A} = \frac{30 \cdot 570 \cdot 15 + 10660 \cdot (280/2 + 30)}{27760} = 74,5 \text{ mm}$$

$$I_y = \frac{30^3 \cdot 570}{12} + 30 \cdot 570 \cdot (74,5 - 15)^2 + 125,6 \cdot 10^6 + 10660 \cdot \left(\frac{280}{2} + 30 - 74,5\right)^2 = 284,64 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Průřez patky působí jako konzola namáhaná silou ve šroubech T nebo silou mezi betonem a ocelí N_c . Posoudí se na kombinaci ohybu a smyku.



Tlačená (pravá) strana patky - rozhoduje KZS (5)

$$M_p = N_c \cdot d_p = 588,3 \cdot \left(0,380 - \frac{0,0669}{2}\right) = 203,9 \text{ kNm}$$

$$V_p = N_c = 588,3 \text{ kN}$$

Tažená (levá) strana patky - rozhoduje KZS (5)

$$M_l = T \cdot d_l = 523,2 \cdot \left(0,450 - \frac{0,440}{2}\right) = 120,3 \text{ kNm}$$

$$V_l = T = 523,2 \text{ kN}$$

Průřez posoudíme na kombinaci M + V pružně:

Pružné průřezové moduly:

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{z_h} = \frac{284,64 \cdot 10^6}{280+30-74,5} = 1,209 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \text{ (horní vlákna)}$$

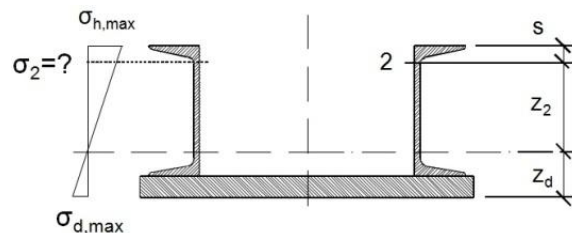
$$W_{y,d} = \frac{I_y}{z_d} = \frac{284,64 \cdot 10^6}{74,5} = 3,821 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \text{ (dolní vlákna - nerozhoduje)}$$

Normálové napětí od ohybového momentu:

$$\sigma_{h,max} = \frac{M_{max}}{W_{y,h}} = \frac{203,9 \cdot 10^6}{1,209 \cdot 10^6} = 168,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} \cong \frac{V_{max}}{A_{vz}} = \frac{588,3 \cdot 10^3}{5856} = 100,5 \text{ MPa} < \frac{235}{\sqrt{3}} = 135,7 \text{ MPa}$$

Protože $100,5 \text{ MPa} > 135,7/2 = 67,8 \text{ MPa}$, je nutné posoudit kombinaci M + V.
Rozhoduje KZS (5), tlačena strana patky, bod 2:



Normálové napětí v bodě 2:

$$\sigma_2 = \frac{M_{max}}{I_y} \cdot z_2 = \frac{203,9 \cdot 10^6}{284,64 \cdot 10^6} \cdot (310 - 74,5 - 31,8) = 145,9 \text{ MPa}$$

Kombinace smykového a normálového napětí v bodě 2:

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{145,9^2 + 3 \cdot 100,5^2} = 227,1 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa}$$

Připojení podélných výztuh k patnímu plechu:

Návrh: Koutové svary a = 5 mm, dva svary na jednu výztuhu U280

Namáhání svarů podélným smykem silou V_p od ohybu průřezu patky a současně do patního plechu přenášejí reakce sloupu M_{Ed} , N_{Ed} , V_{Ed} .

Posouzení svarů:

Napětí ve svarech:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} + \frac{V_p \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot 4 \cdot a_w}; \quad \sigma_w = \frac{N_{Ed}}{A_w} + \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot x_i; \quad \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2}$$

kde:

plocha svarů: $A_w = 4 \cdot a_w \cdot l_w = 4 \cdot 5 \cdot 1180 = 23600 \text{ mm}^2$

statický moment k rovině svarů:

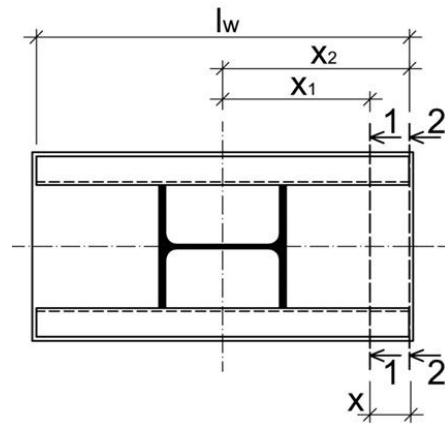
$$S_{f,y} = b \cdot t_p \cdot (z_T - t_p/2) = 570 \cdot 30 \cdot (74,5 - 30/2) = 1017450 \text{ mm}^3$$

moment setrvačnosti svarů: $I_w = 4 \cdot \frac{a_w}{12} \cdot l_w^3 = 4 \cdot \frac{5}{12} \cdot 1180^3 = 2738 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$

Posouzení svarů připojujících podélné výztuhy k patnímu plechu provedeme ve dvou místech:

- řez 1-1: blíže lici sloupu, kde se projeví vliv síly V_p

- řez 2-2: na konci patky, kde je větší vliv momentu M_{Ed}



Musí být splněna podmínka: $\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$

Řez 1-1:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} + \frac{V_p \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot 4 \cdot a_w} = \frac{98500}{23600} + \frac{588300 \cdot 1017450}{284,64 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 5} = 4,2 + 105,1 = 109,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{A_w} + \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot x_i = \frac{65100}{23600} + \frac{553 \cdot 10^6}{2738 \cdot 10^6} \cdot (600 - 66,9) = 2,8 + 107,8 = 110,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 110,6 / \sqrt{2} = 78,1 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{78,1^2 + 3 \cdot (78,1^2 + 109,3^2)} = 245,4 \text{ MPa}$$

$$245,4 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

Řez 2-2:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} + 0 = \frac{98500}{23600} + 0 = 4,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{N_{Ed}}{A_w} + \frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot x_i = \frac{65100}{23600} + \frac{553 \cdot 10^6}{2738 \cdot 10^6} \cdot 600 = 2,8 + 121,2 = 124,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \sigma_w / \sqrt{2} = 124,0 / \sqrt{2} = 87,7 \text{ MPa}$$

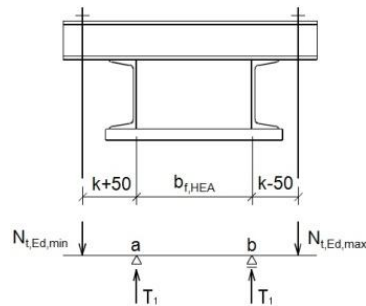
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{87,7^2 + 3 \cdot (87,7^2 + 4,2^2)} = 175,5 \text{ MPa}$$

$$175,5 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

Svary podélných výztuh k patnímu plechu vyhoví.

Kotevní šrouby:

Při určení sil do jednoho šroubu budeme respektovat toleranci v osazení šroubů, kterou budeme uvažovat ± 50 mm. Největší sílu do šroubu $N_{t,Ed,max}$ určíme z momentové podmínky k působišti síly $N_{t,Ed,min}$. Rozhoduje kombinace s největší silou do kotevních šroubů T - KZS (5).



$$T_1 = \frac{T_{max}}{2} = \frac{523,2}{2} = 261,6 \text{ kN}$$

Z momentové podmínky rovnováhy k působišti síly $N_{t,Ed,min}$:

$$N_{t,Ed,max} = \frac{T_1 \cdot (k+50+k+50+b_{f,HEA})}{k+50+b_{f,HEA}+k-50} = \frac{261,6 \cdot (215+50+215+50+300)}{215+50+300+215-50} = 296,9 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,min} = T_{max} - N_{t,Ed,max} = 523,2 - 296,9 = 226,3 \text{ kN}$$

Návrh: Zabetonovaný kotevní šroub s kotevní hlavou **M 48x3**

$$A_s = 1604 \text{ mm}^2, \text{ průměr dřívku } D = 50 \text{ mm}$$

Posouzení:

Porušení v místě řezaného závitu:

$$F_{t,Rd} = 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot 1206 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 353,4 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 353,4 \text{ kN} \geq N_{t,Ed,max} = 296,9 \text{ kN}$$

Porušení v místě dřívku:

$$F_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{\pi \cdot 50^2}{4} \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-3} = 461,4 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 461,4 \text{ kN} \geq N_{t,Ed,max} = 296,9 \text{ kN}$$

Kotevní šrouby vyhoví.

Kotevní příčník:

Statické schéma kotevního příčníku je patrné ze statického schématu zatížení kotevních šroubů.

$$M_{a,d} = N_{t,Ed,min} \cdot (k + 50) = 226,3 \cdot (215 + 50) \cdot 10^{-3} = 60,0 \text{ kNm}$$

$$V_{a,d} = N_{t,Ed,min} = 226,3 \text{ kN}$$

$$M_{b,d} = N_{t,Ed,max} \cdot (k - 50) = 296,9 \cdot (215 - 50) \cdot 10^{-3} = 49,0 \text{ kNm}$$

$$V_{b,d} = N_{t,Ed,max} = 296,9 \text{ kN}$$

Návrh: **2 x U 180**

$$W_{pl,y} = 2 \cdot 179000 = 358000 \text{ mm}^3$$

$$A_{v,z} = 2 \cdot 1509 = 3018 \text{ mm}^2$$

Třída průřezu pro ohyb: 1

Posouzení:

Únosnost ve smyku:

$$V_{pl,Rd} = A_{v,z} \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 3018 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 409,5 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 409,5 \text{ kN} > V_{max,d} = 296,9 \text{ kN} \rightarrow \text{průřez na smyk vyhoví}$$

$$V_{pl,Rd} = 409,5 \text{ kN} < 2 \cdot V_{max,d} \rightarrow \text{velký smyk, nutno posoudit kombinaci M+V}$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \cdot f_y = 358000 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 84,1 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 84,1 \text{ kNm} > M_{max,Ed} = 60,0 \text{ kNm}$$

Průřez a:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 226,3}{409,5} - 1 \right)^2 = 0,011$$

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_{yd} = \left(358000 - \frac{0,011 \cdot 3018^2}{4 \cdot 8,0} \right) \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 83,8 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 83,8 \text{ kNm} > M_{a,d} = 60,0 \text{ kNm}$$

Průřez b:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 296,9}{409,5} - 1 \right)^2 = 0,203$$

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_{yd} = \left(358000 - \frac{0,203 \cdot 3018^2}{4 \cdot 8,0} \right) \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 77,4 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 77,4 \text{ kNm} > M_{b,d} = 49,0 \text{ kNm}$$

Příčník vyhoví.

Přenos vodorovné posouvající síly do betonové patky:

Rozhodne kombinace zatížení s největší vodorovnou reakcí při nejmenší svislé tlakové síle ve spáře mezi ocelí a betonem. Rozhoduje tedy KZS (11), pravý sloup.

$$F_{y,Ed} = 42,8 \text{ kN (vodorovná reakce)}$$

$$N_c = 38,5 \text{ kN}$$

Ověří se, zda se posouvající síla přeneše třením mezi patním plechem a betonem (součinitel tření $\mu = 0,2$).

Smyková únosnost ve spáře mezi betonem a ocelí v důsledku tření:

$$V'_{Ed} = \mu \cdot N_c = 0,2 \cdot 38,5 = 7,7 \text{ kN} < V_{Ed} = 42,8 \text{ kN}$$

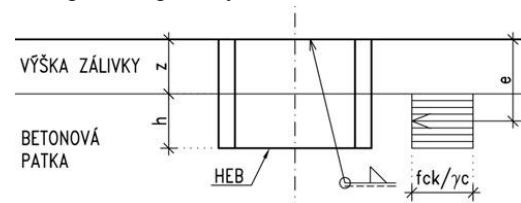
Tření nestačí. → Navrhne smykovou zarážku.

Návrh smykové zarážky: **HEB 100**

$$A_{v,z} = 904 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 104200 \text{ mm}^3$$

třída průřezu pro ohyb: 1



Přenos vodorovných sil lze uvažovat pouze v kontaktu s betonem základové patky

Minimální délka smykové zarážky:

$$h > \frac{F_{v,Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{42,8 \cdot 10^3}{100 \cdot \frac{20}{1,5}} = 32,1 \text{ mm} \rightarrow \text{NÁVRH: } h = 50 \text{ mm}$$

Posouzení na smyk:

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{904 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 122,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 42,8 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Rd} = 0,5 \cdot 122,7 = 61,4 \text{ kN} > V_{Ed} = 42,8 \text{ kN} \rightarrow \text{malý smyk}$$

Posouzení na ohyb:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_y = 104200 \cdot 235 \cdot 10^{-6} = 24,5 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} > M_{Ed} = F_{v,Ed} \cdot (z + h/2) = 42,8 \cdot 10^{-3} \cdot (60 + 50/2) = 3,6 \text{ kNm}$$

Zarážka vyhoví.

Svarový přípoj zarážky k patnímu plechu:

Navrhne se svar podél obou stran stojiny profilu smykové zarážky.

Tloušťka koutového svaru $a_w = 4 \text{ mm}$

Délka svarů $l_w = d_{HEB} = 56 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti svarů:

$$I_w = 2 \cdot \frac{a_w}{12} \cdot l_w^3 = 2 \cdot \frac{4}{12} \cdot 56^3 = 1171 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

Posouzení v krajním bodě svaru:

Smykové rovnoběžné napětí od posouvající síly:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{42800}{2 \cdot 4 \cdot 56} = 95,5 \text{ MPa}$$

Smykové kolmé a normálové napětí od ohybu:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot (z+h/2)}{\frac{I_w}{z_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{42800 \cdot (60+50/2)}{\frac{1171 \cdot 10^3}{28}} = 61,5 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{61,5^2 + 3 \cdot (61,5^2 + 95,5^2)} = 206,1 \text{ MPa}$$

$$206,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \text{ MPa}$$

Svary smykové zarážky k patnímu plechu vyhoví.

10 Patka prostředního sloupu příčné vazby

Patka je kloubová.

Posoudí se nelineární kombinace zatížení s největší normálovou silou - KZS (13)

Reakce v patce

	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]
KZS (1)	-2,4	242,6
KZS (2)	-1,5	319,3
KZS (3)	-2,0	247,3
KZS (4)	-1,5	323,9
KZS (5)	-2,8	152,0
KZS (6)	-2,2	190,3
KZS (7)	-1,3	159,7
KZS (8)	-1,1	198,0
KZS (9)	-0,05	-61,6
KZS (10)	1,4	-58,4
KZS (11)	0,8	-64,6
KZS (12)	-1,8	249,5
KZS (13)	-1,1	326,1

Geometrie

Geometrie ocelové patky:

$$a = 380 \text{ mm}$$

$$b = 380 \text{ mm}$$

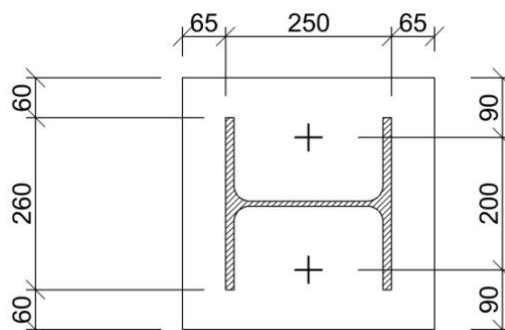
$$t_p = 30 \text{ mm (tloušťka patního plechu)}$$

Beton:

C 20/25

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}; \gamma_c = 1,5$$

Výška podlití má být větší než 0,1 násobek menšího z půdorysných rozměrů patky, tj. $0,1 \cdot 380 = 38 \text{ mm}$. Volíme 40 mm.



Rozměry betonové patky:

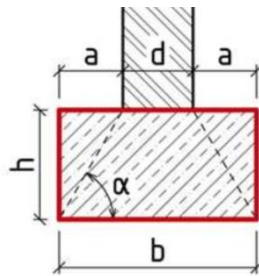
Návrh a posouzení betonové patky provedeme velmi zjednodušeně pouze na svislou únosnost. Posouzení vodorovné únosnosti zanedbáme.

Předpokládejme návrhovou únosnost základové půdy: $R/A' = 360 \text{ kPa}$ a roznášecí úhel v betonové patce $\alpha = 60^\circ$.

Dále předpokládáme centrické zatížení základové patky.

Návrh půdorysných rozměrů: $L = 1200 \text{ mm}$
 $B = 1200 \text{ mm}$

Výška patky: $\alpha = 60^\circ$; $d = 380 \text{ mm}$; $a = 410 \text{ mm}$
 $h = a \cdot \operatorname{tg}\alpha = 410 \cdot \operatorname{tg}60 = 710,0 \text{ mm}$
 $\rightarrow h = 800 \text{ mm}$



Tíha patky: $G_p = B \cdot L \cdot h \cdot \gamma_B \cdot \gamma_C = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 23 \cdot 1,5 = 39,7 \text{ kN}$

Napětí v základové spáře: $\sigma_d = \frac{N_{Ed} + G_p}{L \cdot B} = \frac{326,1 + 39,7}{1,2 \cdot 1,2} = 254,1 \text{ kPa}$

Posouzení: $\sigma_d \leq R/A'$

$$254,1 \text{ kPa} \leq 360 \text{ kPa}$$

Patka vyhovuje.

Započitatelné rozměry betonové patky:

$$a_1 = \min(L, 3a, a + h) = \min(1200, 3 \cdot 380, 380 + 800) = 1140 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(B, 3b, b + h) = \min(1200, 3 \cdot 380, 380 + 800) = 1140 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = \sqrt{\frac{1140 \cdot 1140}{380 \cdot 380}} = 3,0$$

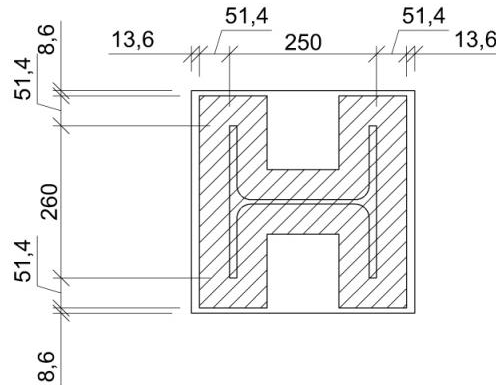
Návrhová pevnost betonu:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{3,0 \cdot 20}{1,5} = 26,7 \text{ MPa}$$

Přesah desky:

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 30 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 26,7}} = 51,4 \text{ mm}$$

Účinná plocha patní desky se stanoví rozšířením profilu o účinnou šířku patní desky.



Účinná plocha (stanovena graficky): $A_{eff} = 97140 \text{ mm}^2$

Únosnost patky:

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 97140 \cdot 26,7 \cdot 10^{-3} = 2593,6 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 2593,6 \text{ kN} > N_{Ed} = 326,1 \text{ kN}$$

Patka vyhoví.

Návrh a posouzení kotev:

Provedeno v softwaru Hilti PROFIS Anchor 2.7.3

Typ a velikost kotvy: HIT-HY 200-A + HIT-Z M16

(Hilti HIT-Z: Lepená rozpěrná kotva bez čištění s HIT-HY 200 lepicí hmotou. Galvanicky pozinkováno, Vrtání příklepem instalace podle ETA 12/0006)

Efektivní kotvení hloubka dle výpočtu v programu: $h_{ef,act} = 134 \text{ mm}$

Návrh kotevní hloubky: $h = 150 \text{ mm}$

Dvojice kotev vyhovuje na tah, smyk i spolupůsobení tahu a smyku u všech nelineárních návrhových kombinací.

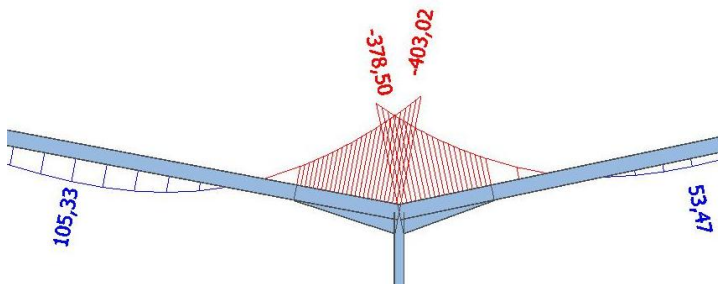
Výstupní protokol z programu je uveden v příloze.

11 Rámový roh

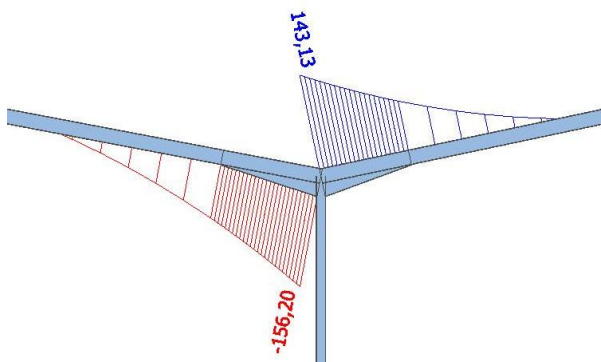
Navrhne přípoj příčle na prostřední sloup příčné vazby. Ve styčniku jsou použity šrouby M24 třídy pevnosti 8.8. Použitá ocel je uvažována stejně jako v celé konstrukci S235.

Uvažované unitní síly převezmeme ze 13. nelineární kombinace, ve které vzniká největší ohybový moment na obou stranách styčniku.

M_y [kNm]:



V_z [kN]:



Uvažované vnitřní síly tedy jsou: $M_y = 403,02$ kNm
 $V_z = 156,2$ kN

Únosnost dílčích komponent:

Dílčí komponenty přípoje budou navrženy odhadem, a to na základě tloušťek sloupu a příčle.

Výztuha stojiny sloupu:

$$t_v \approx t_f - \text{tl. pásnice příčle}$$

$$t_v = 15 \text{ mm}$$

Tloušťka čelní desky:

$$t_d \approx t_f - \text{tl. pásnice sloupu}$$

$$t_d = 15 \text{ mm}$$

Návrh svarů:

Konzervativně navrhne svary na plnou únosnost průřezů.

Svar čelní desky a tažené pásnice příčle:

$$a_1 \geq \frac{t_f}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{m0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}{f_u / \sqrt{2}} = \frac{13,5}{2} \cdot \frac{235}{1,0} \cdot \frac{0,8 \cdot 1,25}{360 / \sqrt{2}} = 6,23 \text{ mm}$$
$$a_1 = 7 \text{ mm}$$

Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle:

Svar uvažujeme stejnou tloušťkou jako u horní pásnice.

$$a_2 = 7 \text{ mm}$$

Svar čelní desky a stojiny příčle:

$$a_3 \geq \frac{t_w}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{m0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{m2}}{f_u / \sqrt{2}} = \frac{8,6}{2} \cdot \frac{235}{1,0} \cdot \frac{0,8 \cdot 1,25}{360 / \sqrt{2}} = 3,97 \text{ mm}$$
$$a_3 = 4 \text{ mm}$$

Svar výztuhy a stojiny sloupu:

Svar uvažujeme stejnou tloušťkou jako svar čelní desky a stojiny příčle.

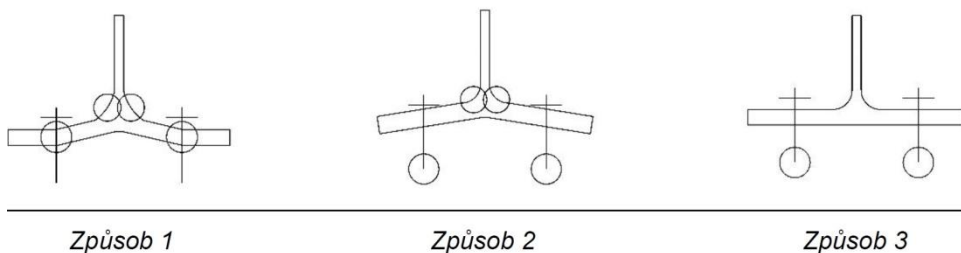
$$a_4 = 4 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost $F_{T,Rd}$ pásnice náhradního T profilu.

Pro výpočet únosnosti ohýbané pásnice a čelní desky se používá model náhradního T-průřezu. Jeho únosnost je dána jedním ze tří způsobů porušení podle následující tabulky.

Způsob porušení		Návrhová únosnost
Způsob 1	Plastický mechanismus (4 plastické klouby)	$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$
Způsob 2	Plastický mechanismus - páčení (2 plastické klouby + porušení šroubů v tahu)	$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n}$
Způsob 3	Porušení šroubů v tahu	$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

Grafické znázornění způsobů porušení:



$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} = 203,3 \text{ kN}$$

- únosnost jednoho šroubu v tahu

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

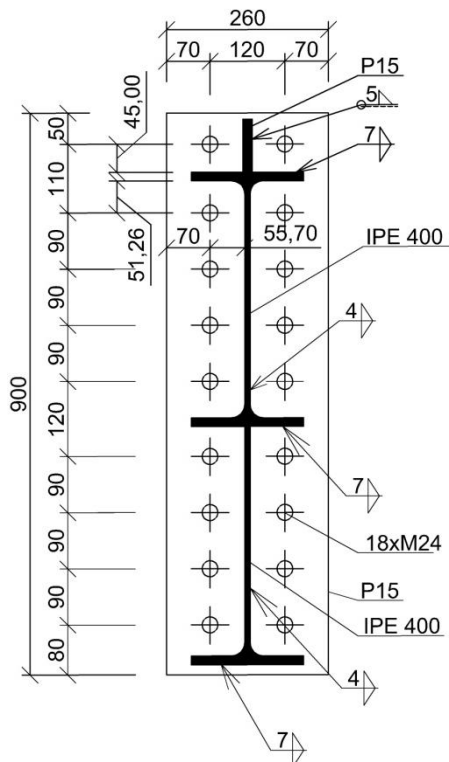
- t_{fc} je tloušťka pásnice sloupu ($t_{fc} = 12,5 \text{ mm}$) a je menší než tloušťka čelní desky (15 mm)

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- t_{fc} je tloušťka pásnice sloupu

$l_{eff,1}$ je efektivní šířka T-průřezu pro kruhové porušení

$l_{eff,2}$ je efektivní šířka T-průřezu pro nekruhové porušení



Výpočet 1. řady šroubů (nad taženou pásnicí)

$$c_1 = 0,8 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 7,0 \cdot \sqrt{2} = 7,92 \text{ mm}$$

$$m_2 = 45,0 - c_1 = 45,0 - 7,92 = 37,08 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_3 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4,0 \cdot \sqrt{2} = 4,53 \text{ mm}$$

$$m = 55,7 - c_2 = 55,7 - 4,53 = 51,17 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{51,17}{51,17+70} = 0,42$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{37,08}{51,17+70} = 0,31$$

$$\alpha = 2\pi$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(70; 1,25 \cdot 51,17) = 63,96 \text{ mm}$$

Výpočet efektivní šířky:

Řada šroubů působí samostatně, kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 51,17 = 321,5 \text{ mm}$$

Řada šroubů působí samostatně, nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 51,17 = 321,5 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,nc}) = \min(321,5; 321,5) = 321,5 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 321,5 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 321,5 \cdot 12,5^2 \cdot \frac{235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 2,951 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 321,5 \cdot 12,5^2 \cdot \frac{235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 2,951 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů s výztuhou:

Způsob 1:

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 2,951}{0,05117} = 230,1 \text{ kN}$$

Způsob 2:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 2,951 + 0,06396 \cdot 2 \cdot 203,3}{0,05117 + 0,06396} = 277,1 \text{ kN}$$

Způsob 3:

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 = 406,6 \text{ kN}$$

Únosnost řady šroubů s výztuhou je rovna nejmenší hodnotě dílčích způsobů porušení.

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(230,1; 277,1; 406,6) = 230,1 \text{ kN}$$

Výpočet 2. řady šroubů (pod taženou pásnicí)

$$c_1 = 0,8 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 7,0 \cdot \sqrt{2} = 7,92 \text{ mm}$$

$$m_2 = 51,26 - c_1 = 51,26 - 7,92 = 43,34 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_3 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4,0 \cdot \sqrt{2} = 4,53 \text{ mm}$$

$$m = 55,7 - c_2 = 55,7 - 4,53 = 51,17 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{51,17}{51,17+70} = 0,42$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{43,34}{51,17+70} = 0,36$$

$$\alpha = 2\pi$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(70; 1,25 \cdot 51,17) = 63,96 \text{ mm}$$

Výpočet efektivní šířky:

Řada šroubů působí samostatně, kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 51,17 = 321,5 \text{ mm}$$

Řada šroubů působí samostatně, nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 51,17 = 321,5 \text{ mm}$$

Řada šroubů působí jako součást skupiny, kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 51,17 + 90 = 250,7 \text{ mm}$$

Řada šroubů působí jako součást skupiny, nekruhové porušení:

$$l_{eff,nc} = 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e) = 0,5 \cdot 90 + 2 \cdot \pi \cdot 51,17 - (2 \cdot 51,17 + 0,625 \cdot 70) = 220,4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,nc}) = \min(250,7; 220,4) = 220,4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = \min l_{eff,nc} = 220,4 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 220,4 \cdot 12,5^2 \cdot \frac{235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 2,023 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 220,4 \cdot 12,5^2 \cdot \frac{235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 2,023 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí:

Způsob 1:

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 2,023}{0,05117} = 158,1 \text{ kN}$$

Způsob 2:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 2,023 + 0,06396 \cdot 2 \cdot 203,3}{0,05117 + 0,06396} = 261,0 \text{ kN}$$

Způsob 3:

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 = 406,6 \text{ kN}$$

Únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí je rovna nejmenší hodnotě dílčích způsobů porušení.

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(158,1; 261,0; 406,6) = 158,1 \text{ kN}$$

Výpočet 3. až 8. řady šroubů

$$c_2 = 0,8 \cdot a_3 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 4,0 \cdot \sqrt{2} = 4,53 \text{ mm}$$

$$m = 55,7 - c_2 = 55,7 - 4,53 = 51,17 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{51,17}{51,17+70} = 0,42$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{90}{51,17+70} = 0,74$$

$$\alpha = 5,8$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(70; 1,25 \cdot 51,17) = 63,96 \text{ mm}$$

Výpočet efektivní šířky:

Řada šroubů působí samostatně, kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 51,17 = 321,5 \text{ mm}$$

Řada šroubů působí samostatně, nekruhové porušení:

$$l_{eff,op} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 51,17 + 1,25 \cdot 70 = 292,18 \text{ mm}$$

Řada šroubů působí jako součást skupiny, kruhové porušení:

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot p = 2 \cdot 90 = 180 \text{ mm}$$

Řada šroubů působí jako součást skupiny, nekruhové porušení:

$$l_{eff,op} = p = 90 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,op}) = \min(180; 90) = 90 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = \min l_{eff,op} = 90 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 90 \cdot 12,5^2 \cdot \frac{235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 0,826 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 90 \cdot 12,5^2 \cdot \frac{235}{1,0} \cdot 10^{-6} = 0,826 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost vnitřní řady šroubů :

Způsob 1:

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 0,826}{0,05117} = 64,6 \text{ kN}$$

Způsob 2:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 0,826 + 0,06396 \cdot 2 \cdot 203,3}{0,05117 + 0,06396} = 240,2 \text{ kN}$$

Způsob 3:

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 = 406,6 \text{ kN}$$

Únosnost vnitřní řady šroubů je rovna nejmenší hodnotě dílčích způsobů porušení.

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(64,6; 240,2; 406,6) = 64,6 \text{ kN}$$

Výpočet 9. řady šroubů - smyková únosnost

Pro přenos smykové síly se použije spodní řada šroubů (9. řada), která nebude uvažována pro výpočet momentové únosnosti.

Únosnost jednoho šroubu ve střihu (střih v závit):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} = 135,55 \text{ kN}$$

Únosnost v otlacení se určí pro menší hodnotu z tloušťky pásnice sloupu a čelní desky.

$$t_f = 12,5 \text{ mm}$$

$$t_d = 15 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,9 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 12,5}{1,25} = 194,4 \text{ kN}$$

kde:

$$\alpha_b = \min \left(\frac{\frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4}}{\frac{f_{ub}}{f_u}}, \frac{\frac{90}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4}}{\frac{800}{360}} \right) = \min \left(\frac{\frac{90}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4}}{\frac{800}{360}} \right) = 0,90$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7, 2,5 \right) = \min \left(2,8 \cdot \frac{70}{26} - 1,7, 2,5 \right) = 2,5$$

Únosnost ve smyku je dána:

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(135,55; 194,4) = 2 \cdot 135,55 = 271,1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 271,1 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 156,2 \text{ kN}$$

Smyková únosnost navrženého rámového spoje vyhovuje.

Únosnost základních komponent

Únosnost pásnice příčle v tlaku:

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{(h - t_f) \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1307 \cdot 10^3 \cdot 235}{(400 - 13,5) \cdot 1,0} = 794,7 \text{ kN}$$

Je nutné ověřit podmínku tažených šroubů a tlačené pásnice:

$$F_{c,fb,Rd} \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 794,7 \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 230,1 + 158,1 + 6 \cdot 64,6 = 775,8 \text{ kN}$$

Podmínka je splněna, není nutné redukovat spodní řady tažených šroubů.

Únosnost stěny sloupu ve smyku:

Vzhledem k tomu, že na prostřední sloup působí přibližně stejně velká posouvající síla z obou stran, není nutné únosnost stěny sloupu ve smyku ověřovat.

Rozdělení sil a momentová únosnost

Plastické rozdělení sil lze uvažovat v případě, že byly splněny předchozí podmínky a současně:

$$F_{t,i,Rd} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd}$$

$$F_{t,1,Rd} = 230,1 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,3 \text{ kN}$$

$$F_{t,2,Rd} = 158,1 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,3 \text{ kN}$$

$$F_{t,3,Rd} = 64,6 \text{ kN} \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 203,3 = 386,3 \text{ kN}$$

Podmínka je splněna pro všechny řady šroubů, je možné plastické rozdělení sil.

Výpočet momentové únosnosti přípoje:

Řada	Únosnost řady = Síla pro M_{Rd}	Rameno h_i (od osy šroubu do těžiště tlačené pásnice)
1	$F_{t,1,Rd} = 230,1 \text{ kN}$	$h_1 = 827 \text{ mm}$
2	$F_{t,2,Rd} = 158,1 \text{ kN}$	$h_2 = 717 \text{ mm}$
3	$F_{t,3,Rd} = 64,6 \text{ kN}$	$h_3 = 627 \text{ mm}$
4	$F_{t,4,Rd} = 64,6 \text{ kN}$	$h_4 = 537 \text{ mm}$
5	$F_{t,5,Rd} = 64,6 \text{ kN}$	$h_5 = 447 \text{ mm}$
6	$F_{t,6,Rd} = 64,6 \text{ kN}$	$h_6 = 327 \text{ mm}$
7	$F_{t,7,Rd} = 64,6 \text{ kN}$	$h_7 = 237 \text{ mm}$
8	$F_{t,8,Rd} = 64,6 \text{ kN}$	$h_8 = 147 \text{ mm}$
celkem	775,8 kN	

$$M_{Rd} = \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} \cdot h_i$$

$$M_{Rd} = 230,1 \cdot 0,827 + 158,1 \cdot 0,717 + 64,6 \cdot (0,627 + 0,537 + 0,447 + 0,327 + 0,237 + 0,147) = 453,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$453,6 \text{ kNm} \geq 403,02 \text{ kNm}$$

Navržený styčnick vyhovuje.

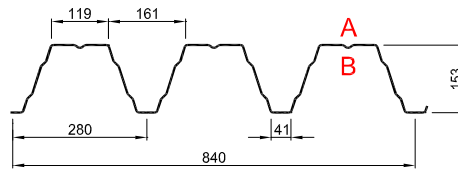
12 Přílohy

12.1 Dimenzační tabulka trapézového plechu

Tabulka, ze které vychází návrh použitého trapézového plechu TR 150/280/0,75.

Zdroj: <http://kovprof.cz/>

TR 150/280 pozitivní



dle ČSN EN 1993-1-3: 2010

$\gamma_{Mo} = 1,00$

Deformace = L/200

Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m²]

t _N [mm]	g [kg/m ²]	Rozpětí [m]																					
		3,50 3,75 4,00 4,25 4,50 4,75 5,00 5,25 5,50									6,00 6,25 6,50 6,75 7,00 7,25 7,50 7,75 8,00 8,25 8,50												
		q _{d1}	q _{d2}	q _k	q _{d1}	q _{d2}	q _k	q _{d1}	q _{d2}	q _k	q _{d1}	q _{d2}	q _k	q _{d1}	q _{d2}	q _k	q _{d1}	q _{d2}	q _k				
0,75	10,71	q _{d1}	8,01	6,98	6,13	5,43	4,85	4,35	3,93	3,56	3,24	2,97	2,73	2,51	2,32	2,15	2,00	1,87	1,74	1,63	1,53	1,44	1,36
		q _{d2}	3,40	3,17	2,98	2,80	2,65	2,51	2,38	2,27	2,16	2,07	1,98	1,90	1,83	1,76	1,70	1,64	1,59	1,54	1,49	1,44	1,36
		q _k	6,65	5,41	4,46	3,72	3,13	2,66	2,28	1,97	1,71	1,50	1,32	1,17	1,04	0,93	0,83	0,75	0,68	0,61	0,56	0,51	0,46
0,88	12,57	q _{d1}	9,76	8,50	7,47	6,62	5,91	5,30	4,78	4,34	3,95	3,62	3,32	3,06	2,83	2,62	2,44	2,27	2,13	1,99	1,87	1,76	1,66
		q _{d2}	4,84	4,52	4,24	3,99	3,77	3,57	3,39	3,23	3,08	2,95	2,82	2,71	2,61	2,51	2,42	2,27	2,13	1,99	1,87	1,76	1,66
		q _k	8,16	6,63	5,47	4,56	3,84	3,26	2,80	2,42	2,10	1,84	1,62	1,43	1,27	1,14	1,02	0,92	0,83	0,75	0,68	0,62	0,57
1,00	14,29	q _{d1}	11,41	9,94	8,73	7,74	6,90	6,19	5,59	5,07	4,62	4,23	3,88	3,58	3,31	3,07	2,85	2,66	2,48	2,33	2,18	2,05	1,93
		q _{d2}	6,38	5,95	5,58	5,25	4,96	4,70	4,47	4,25	4,06	3,88	3,72	3,57	3,31	3,07	2,85	2,66	2,48	2,33	2,18	2,05	1,93
		q _k	9,46	7,69	6,33	5,28	4,45	3,78	3,24	2,80	2,44	2,13	1,88	1,66	1,48	1,32	1,18	1,06	0,96	0,87	0,79	0,72	0,66
1,13	16,14	q _{d1}	13,18	11,48	10,09	8,94	7,97	7,16	6,46	5,86	5,34	4,88	4,49	4,13	3,82	3,54	3,30	3,07	2,87	2,69	2,52	2,37	2,24
		q _{d2}	8,27	7,72	7,23	6,81	6,43	6,09	5,79	5,51	5,26	4,88	4,49	4,13	3,82	3,54	3,30	3,07	2,87	2,69	2,52	2,37	2,24
		q _k	10,73	8,73	7,19	5,99	5,05	4,29	3,68	3,18	2,77	2,42	2,13	1,89	1,68	1,50	1,34	1,21	1,09	0,99	0,90	0,82	0,75
1,25	17,86	q _{d1}	14,74	12,84	11,28	9,99	8,91	8,00	7,22	6,55	5,97	5,46	5,01	4,62	4,27	3,96	3,68	3,43	3,21	3,01	2,82	2,65	2,50
		q _{d2}	10,21	9,53	8,93	8,41	7,94	7,52	7,15	6,55	5,97	5,46	5,01	4,62	4,27	3,96	3,68	3,43	3,21	3,01	2,82	2,65	2,50
		q _k	11,91	9,69	7,98	6,65	5,61	4,77	4,09	3,53	3,07	2,69	2,36	2,09	1,86	1,66	1,49	1,34	1,21	1,10	1,00	0,91	0,83
1,50	21,43	q _{d1}	17,93	15,62	13,73	12,16	10,85	9,73	8,78	7,97	7,26	6,64	6,10	5,62	5,20	4,82	4,48	4,18	3,90	3,66	3,43	3,23	3,04
		q _{d2}	14,88	13,88	13,02	12,16	10,85	9,73	8,78	7,97	7,26	6,64	6,10	5,62	5,20	4,82	4,48	4,18	3,90	3,66	3,43	3,23	3,04
		q _k	14,37	11,68	9,63	8,03	6,76	5,75	4,93	4,26	3,70	3,24	2,85	2,52	2,24	2,00	1,80	1,62	1,46	1,32	1,20	1,10	1,00

LEGENDA

Prostý nosník	Spojitý nosník
q _{d1} návrhová hodnota únosnosti : přesah TR plechu min. 230 mm za podporu	šířka vnitřní podpory min. 250 mm, šířka krajní podpory min. 125 mm
q _{d2} návrhová hodnota únosnosti : šířka podpory min. 40 mm	šířka vnitřní podpory min. 120 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm
q _k charakteristická (normová) hodnota zatížení pro pružnou deformaci L/200, pro jinou mezní deformaci L/xxx přenásobte tabelizovanou hodnotou q _k koeficientem 200/xxx	

Pro zatížení osamělým břemenem (závěsem do vlny) je spolupůsobení sousedních vln minimální, bez podrobné analýzy spolupůsobení je nutné posoudit únosnost jedné samostatné vlny.

Statické návrh trapezových plechů smí provádět pouze oprávněná osoba.

Statické tabulky slouží jako pomůcka, jejíž použití nesnímá z autora statického návrhu zodpovědnost za bezpečný návrh.

Tabulky platí pouze pro daný trapezový profil ze sortimentu firmy Kovové profily, spol. s r. o. z materiálu S320GD.

vydání 07.2013/SZBE

Pro jiné než tabelované parametry nebo pro atypické zadání kontaktujte technické oddělení firmy Kovové profily spol. s r. o.

12.2 Dimenzační tabulka kazetových profilů

Tabulka, ze které vychází návrh použitých kazetových profilů K 160/600 typu B, tloušťky 0,88 mm.

Zdroj: <http://kovprof.cz/>

K 160/600 typ B

Prostý nosník - TLAK

Šířka podpory b = 40 mm

Tloušťka (mm)	Hmotnost (kg/m ²)		Připustné charakteristické rovnoměrné zatížení v kN/m ² při rozpětí L (m)																	
			3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,50	9,00	9,50
0,75	10,5	1	2,31	1,98	1,73	1,40	1,13	0,94	0,79	0,72	0,67	0,62	0,58	0,54	0,50	0,47	0,44	0,39	0,35	0,31
		2	2,31	1,98	1,73	1,40	1,13	0,94	0,79	0,72	0,67	0,62	0,58	0,54	0,50	0,47	0,44	0,39	0,35	0,31
		3	2,31	1,98	1,73	1,40	1,13	0,94	0,79	0,72	0,67	0,62	0,58	0,54	0,50	0,47	0,44	0,39	0,35	0,31
0,88	12,36	1	3,48	2,99	2,36	1,87	1,51	1,25	1,05	0,97	0,90	0,83	0,77	0,72	0,67	0,63	0,59	0,52	0,47	0,42
		2	3,48	2,99	2,36	1,87	1,51	1,25	1,05	0,97	0,90	0,83	0,77	0,72	0,67	0,63	0,59	0,52	0,47	0,42
		3	3,48	2,99	2,36	1,87	1,51	1,25	1,05	0,97	0,90	0,83	0,77	0,72	0,67	0,63	0,59	0,52	0,47	0,40
1	14	1	4,56	3,80	2,91	2,30	1,86	1,54	1,29	1,19	1,10	1,02	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,64	0,58	0,52
		2	4,56	3,80	2,91	2,30	1,86	1,54	1,29	1,19	1,10	1,02	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,64	0,58	0,52
		3	4,56	3,80	2,91	2,30	1,86	1,54	1,29	1,19	1,10	1,02	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,64	0,56	0,47
1,25	17,33	1	5,75	4,79	3,67	2,90	2,35	1,94	1,63	1,50	1,39	1,29	1,20	1,12	1,04	0,98	0,92	0,81	0,72	0,65
		2	5,75	4,79	3,67	2,90	2,35	1,94	1,63	1,50	1,39	1,29	1,20	1,12	1,04	0,98	0,92	0,81	0,72	0,65
		3	5,75	4,79	3,67	2,90	2,35	1,94	1,63	1,50	1,39	1,29	1,20	1,12	1,04	0,98	0,92	0,81	0,70	0,60
1,5	20,7	1	6,94	5,79	4,43	3,50	2,84	2,34	1,97	1,81	1,68	1,56	1,45	1,35	1,26	1,18	1,11	0,98	0,88	0,79
		2	6,94	5,79	4,43	3,50	2,84	2,34	1,97	1,81	1,68	1,56	1,45	1,35	1,26	1,18	1,11	0,98	0,88	0,79
		3	6,94	5,79	4,43	3,50	2,84	2,34	1,97	1,81	1,68	1,56	1,45	1,35	1,26	1,18	1,11	0,98	0,85	0,72

Vysvětlivky

- řádek 1 zatížitelnost z hlediska pevnosti
 řádek 2 zatížení při průhybu L/150
 řádek 3 zatížení při průhybu L/200

12.3 Protokol s výpočtem kritického momentu přičle

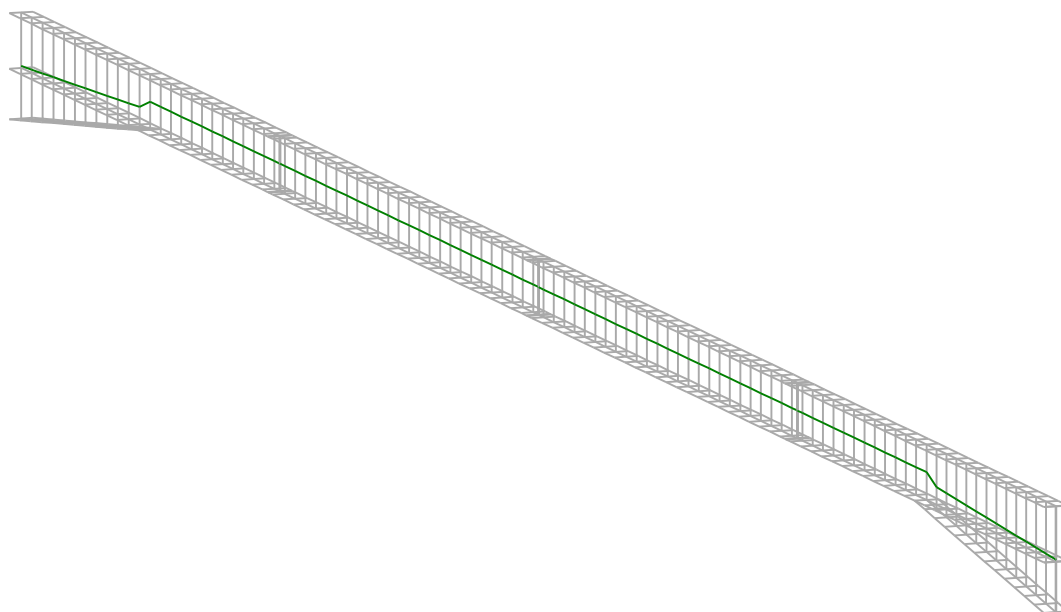
Výstup z programu LTBeamN 1.0.3.

LTBeamN

v 1.0.3

CALCULATION SHEET

Dvoulodní hala - příčel



I - PARAMETERS

I.1 - General parameters

Projected total length :	L = 21,48 m
Initial discretization of the beam :	$n_{el} = 100$ elements

I.2 - Material

Name :	Steel
Young modulus :	E = 210000 MPa
Shear modulus :	G = 80769 MPa
Poisson factor :	$\nu = 0,3$
Density :	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

I.3 - Sections

Alignment of sections : Top

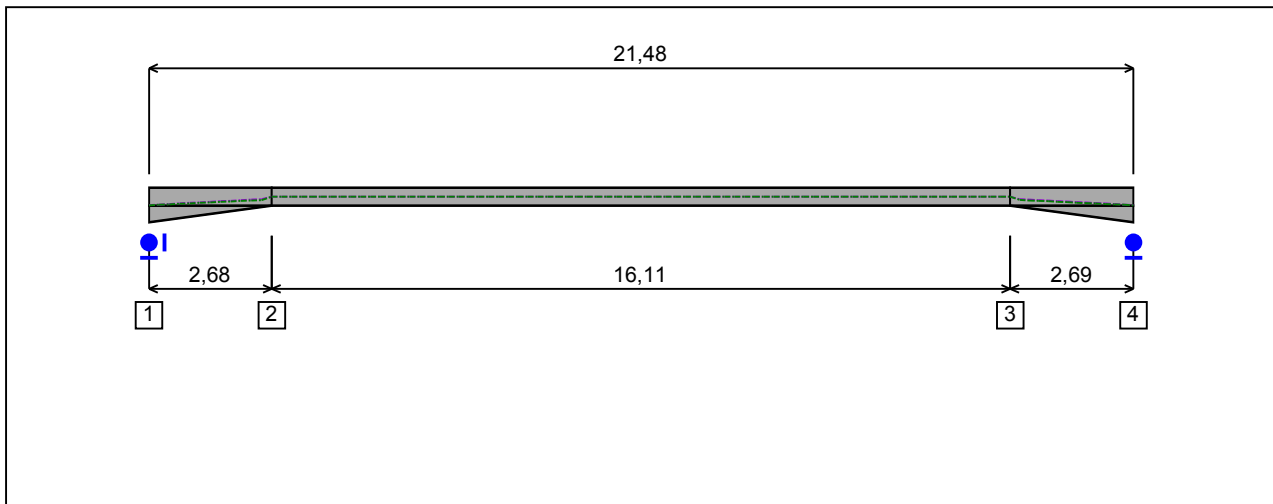


Figure 1 : Profile in long with section numbers.

- Section No. 1 : IPE 400

Abscissa from the left end of the beam :

x = 0 m

Type :

In catalogue (OTUA)

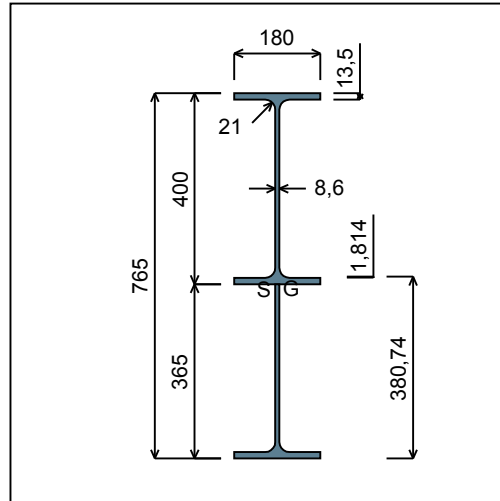


Figure 2 : Section No. 1 (IPE 400).

Main geometrical properties :

- z_S = -0,1814 cm
- z_G = 38,07 cm
- I_y = 102482 cm⁴
- I_z = 1977,6 cm⁴
- I_t = 78,96 cm⁴ (Villette)
- I_w = 1,821E+6 cm⁶

Other geometrical properties :

- | | | |
|----------------|--------------------------|-------------------------------------|
| A | = 140,89 cm ² | |
| $A_{v,y}$ | = 72,9 cm ² | $A_{v,z}$ = 74,08 cm ² |
| $W_{el,y,sup}$ | = 2667 cm ³ | |
| $W_{el,y,inf}$ | = 2691,6 cm ³ | $W_{el,z}$ = 219,73 cm ³ |
| $W_{pl,y}$ | = 3145,8 cm ³ | $W_{pl,z}$ = 346,55 cm ³ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 2 : IPE 400

Abscissa from the left end of the beam :

$x = 2,68 \text{ m}$

Type :

In catalogue (OTUA)

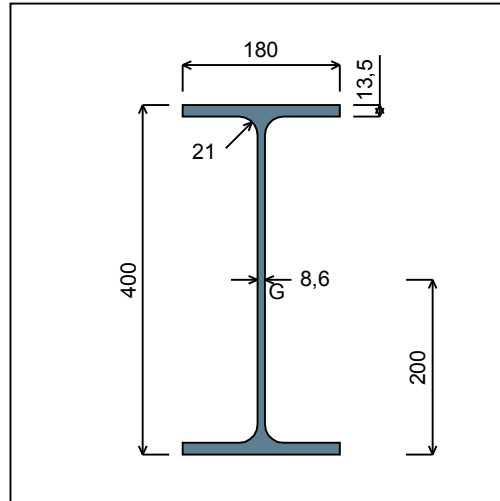


Figure 3 : Section No. 2 (IPE 400).

Main geometrical properties :

- $z_S = 0 \text{ cm}$
- $z_G = 20 \text{ cm}$
- $I_y = 23128 \text{ cm}^4$
- $I_z = 1317,8 \text{ cm}^4$
- $I_t = 50,27 \text{ cm}^4$ (Villette)
- $I_w = 492149 \text{ cm}^6$

Other geometrical properties :

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| $A = 84,46 \text{ cm}^2$ | |
| $A_{v,y} = 48,6 \text{ cm}^2$ | $A_{v,z} = 42,69 \text{ cm}^2$ |
| $W_{el,y,sup} = 1156,4 \text{ cm}^3$ | |
| $W_{el,y,inf} = 1156,4 \text{ cm}^3$ | $W_{el,z} = 146,42 \text{ cm}^3$ |
| $W_{pl,y} = 1307,1 \text{ cm}^3$ | $W_{pl,z} = 229 \text{ cm}^3$ |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

- Section No. 3 : IPE 400

Abscissa from the left end of the beam : $x = 18,79$ m

Type : In catalogue (OTUA)

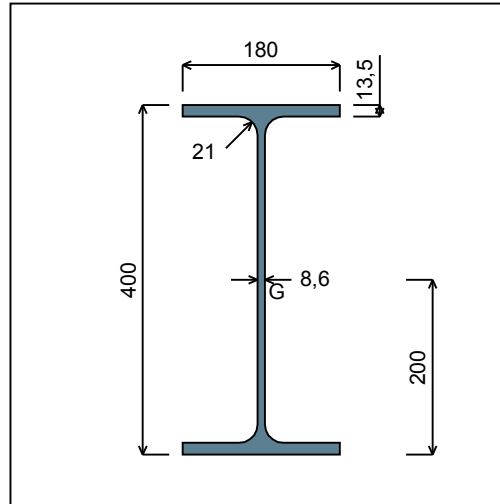


Figure 4 : Section No. 3 (IPE 400).

Main geometrical properties :

z_S	= 0 cm
z_G	= 20 cm
I_y	= 23128 cm ⁴
I_z	= 1317,8 cm ⁴
I_t	= 50,27 cm ⁴ (Villette)
I_w	= 492149 cm ⁶

Other geometrical properties :

A	= 84,46 cm ²	$A_{v,z}$	= 42,69 cm ²
$A_{v,y}$	= 48,6 cm ²	$W_{el,z}$	= 146,42 cm ³
$W_{el,y,sup}$	= 1156,4 cm ³	$W_{pl,z}$	= 229 cm ³
$W_{el,y,inf}$	= 1156,4 cm ³		
$W_{pl,y}$	= 1307,1 cm ³		

Stiffness relaxations :

θ	: Continuous
v'	: Continuous
θ'	: Continuous
w'	: Continuous

- Section No. 4 : IPE 400

Abscissa from the left end of the beam :

$x = 21,48$ m

Type :

In catalogue (OTUA)

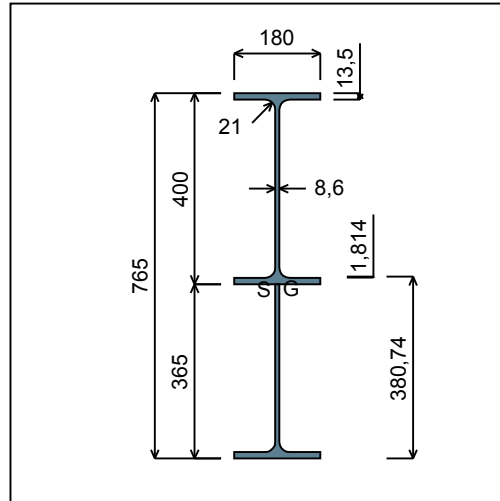


Figure 5 : Section No. 4 (IPE 400).

Main geometrical properties :

- z_S = -0,1814 cm
- z_G = 38,07 cm
- I_y = 102482 cm⁴
- I_z = 1977,6 cm⁴
- I_t = 78,96 cm⁴ (Villette)
- I_w = 1,821E+6 cm⁶

Other geometrical properties :

- | | |
|---|-------------------------------------|
| A = 140,89 cm ² | $A_{v,z}$ = 74,08 cm ² |
| $A_{v,y}$ = 72,9 cm ² | |
| $W_{el,y,sup}$ = 2667 cm ³ | $W_{el,z}$ = 219,73 cm ³ |
| $W_{el,y,inf}$ = 2691,6 cm ³ | $W_{pl,z}$ = 346,55 cm ³ |
| $W_{pl,y}$ = 3145,8 cm ³ | |

Stiffness relaxations :

- θ : Continuous
- v' : Continuous
- θ' : Continuous
- w' : Continuous

I.4 - Lateral restraints

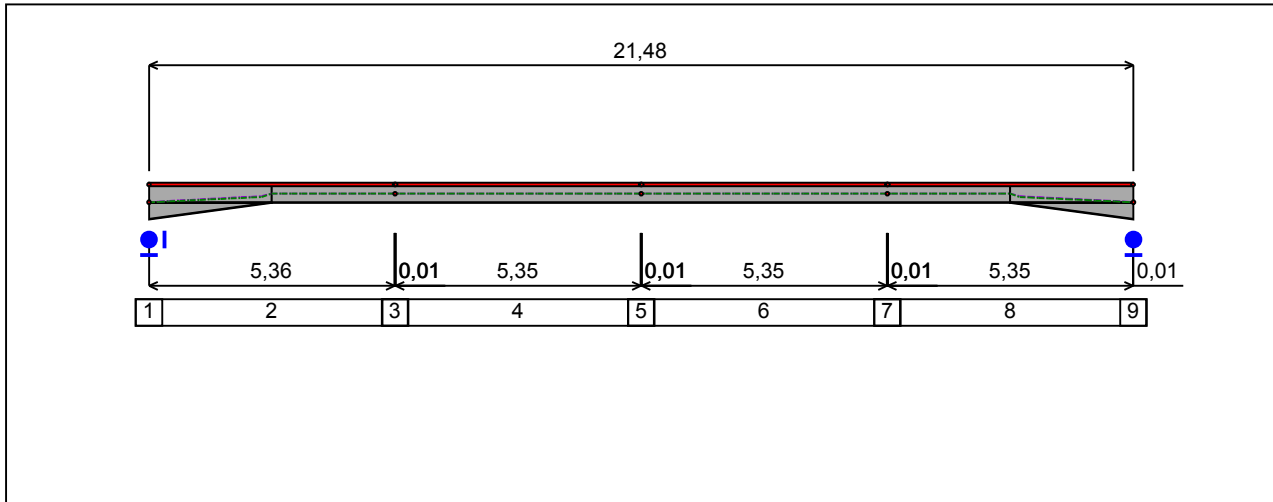


Figure 6 : Profile in long with restraint numbers.

- Restraint No. 1 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed
- θ : Fixed
- v' : Free
- θ' : Free

- Restraint No. 2 :

Type : Continuous

Coordinates of the left end :

Abscissa from the left end of the beam : $x_1 = 0$ m

Vertical position from the shear centre : $z_1 = 38,61$ cm

Coordinates of the right end :

Abscissa from the left end of the beam : $x_2 = 5,36$ m

Vertical position from the shear centre : $z_2 = 20$ cm

Restraint conditions :

- v : Fixed

θ : Free v' : Free**- Restraint No. 3 :**

Type : Ponctual

Abcissa from the left end of the beam : $x = 5,37$ mVertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

 v : Fixed θ : Free v' : Free θ' : Free**- Restraint No. 4 :**

Type : Continuous

Coordinates of the left end :

Abcissa from the left end of the beam : $x_1 = 5,38$ mVertical position from the shear centre : $z_1 = 20$ cm

Coordinates of the right end :

Abcissa from the left end of the beam : $x_2 = 10,73$ mVertical position from the shear centre : $z_2 = 20$ cm

Restraint conditions :

 v : Fixed θ : Free v' : Free**- Restraint No. 5 :**

Type : Ponctual

Abcissa from the left end of the beam : $x = 10,74$ mVertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

 v : Fixed θ : Free v' : Free θ' : Free**- Restraint No. 6 :**

Type : Continuous

Coordinates of the left end :

Abcissa from the left end of the beam : $x_1 = 10,75$ m

Vertical position from the shear centre : $z_1 = 20$ cm

Coordinates of the right end :

Abcissa from the left end of the beam : $x_2 = 16,1$ m

Vertical position from the shear centre : $z_2 = 20$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Free

v' : Free

- Restraint No. 7 :

Type : Ponctual

Abcissa from the left end of the beam : $x = 16,11$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Free

v' : Free

θ' : Free

- Restraint No. 8 :

Type : Continuous

Coordinates of the left end :

Abcissa from the left end of the beam : $x_1 = 16,12$ m

Vertical position from the shear centre : $z_1 = 20$ cm

Coordinates of the right end :

Abcissa from the left end of the beam : $x_2 = 21,47$ m

Vertical position from the shear centre : $z_2 = 38,56$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Free

v' : Free

- Restraint No. 9 :

Type : Ponctual

Abscissa from the left end of the beam : $x = 21,48$ m

Vertical position from the shear centre : $z = 0$ cm

Restraint conditions :

v : Fixed

θ : Fixed

v' : Free

θ' : Free

1.5 - Supports

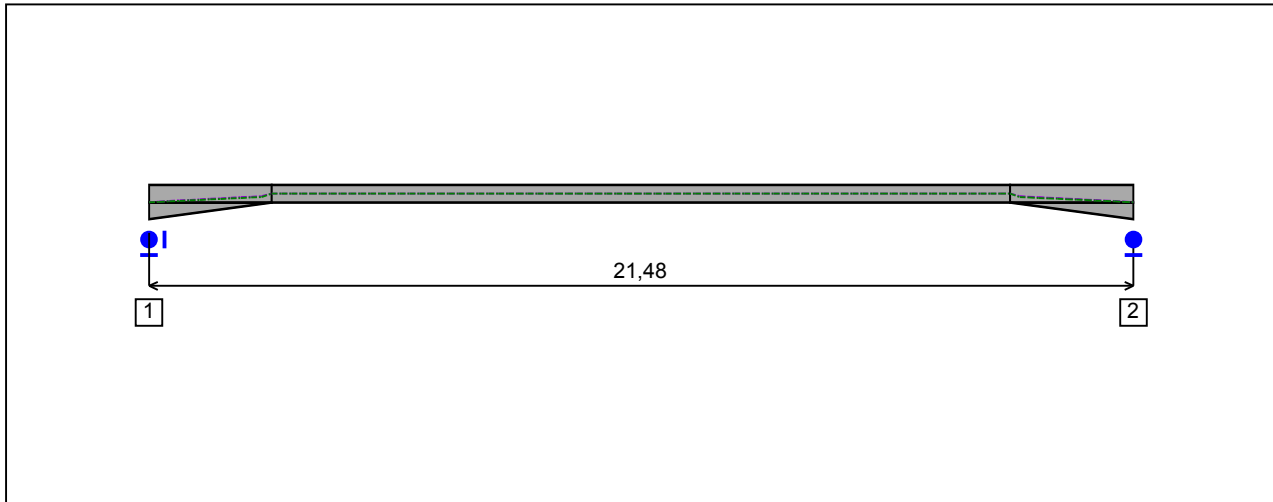


Figure 7 : Profile in long with support numbers.

- Support No. 1 :Abscissa from the left end of the beam : $x = 0$ m

Support conditions :

u : Fixed
w : Fixed
w' : Free

- Support No. 2 :Abscissa from the left end of the beam : $x = 21,48$ m

Support conditions :

u : Free
w : Fixed
w' : Free

I.6 - Loads

Type of loading :

Internal

- **Moment diagram :**

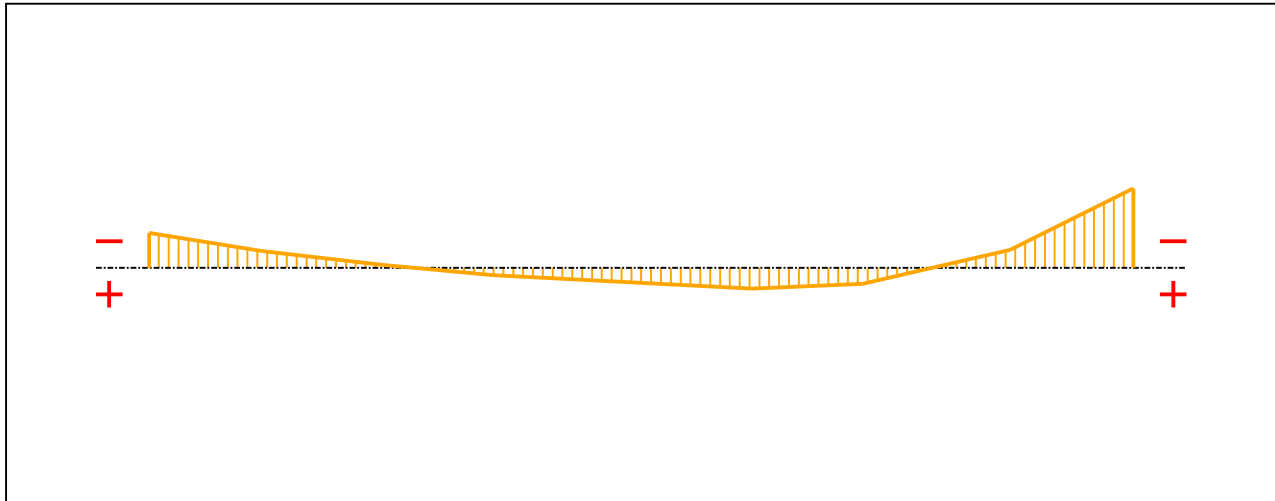


Figure 8 : Moment diagram.

Active :

Yes

Table 1 : Moment diagram.

x(m)	M(kN.m)
0	-177,56
2,48	-84,28
5,1	-14,95
7,51	36,37
10,74	76,43
13,15	105,33
15,57	81,65
18,79	-90,82
21,48	-403,02

- **Axial force diagram :**

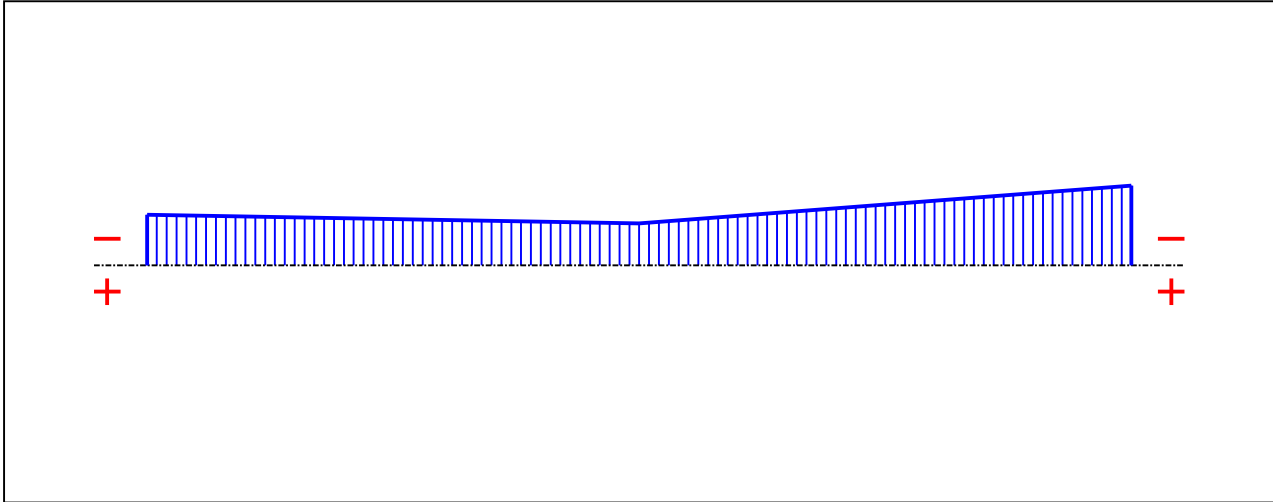


Figure 9 : Axial force diagram.

Active : Yes

Table 2 : Axial force diagram.

x(m)	N(kN)
0	-37,2
10,74	-30,75
21,48	-58,49

- Eccentric concentrated loads :

No load has been defined.

- Eccentric distributed loads :

No load has been defined.

II - LTB CALCULATION

Requested number of modes : 1
 Blocked moment diagram : No
 Blocked axial force diagram : Yes

The TAPER effect is taken into account

II.1 - LTB modes

Table 3 : LTB modes.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	16,14	-6504,5	21,48	-58,46	21,47

II.2 - Mode shapes

- Mode 1

Table 4 : Mode 1.

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	16,14	-6504,5	21,48	-58,46	21,47

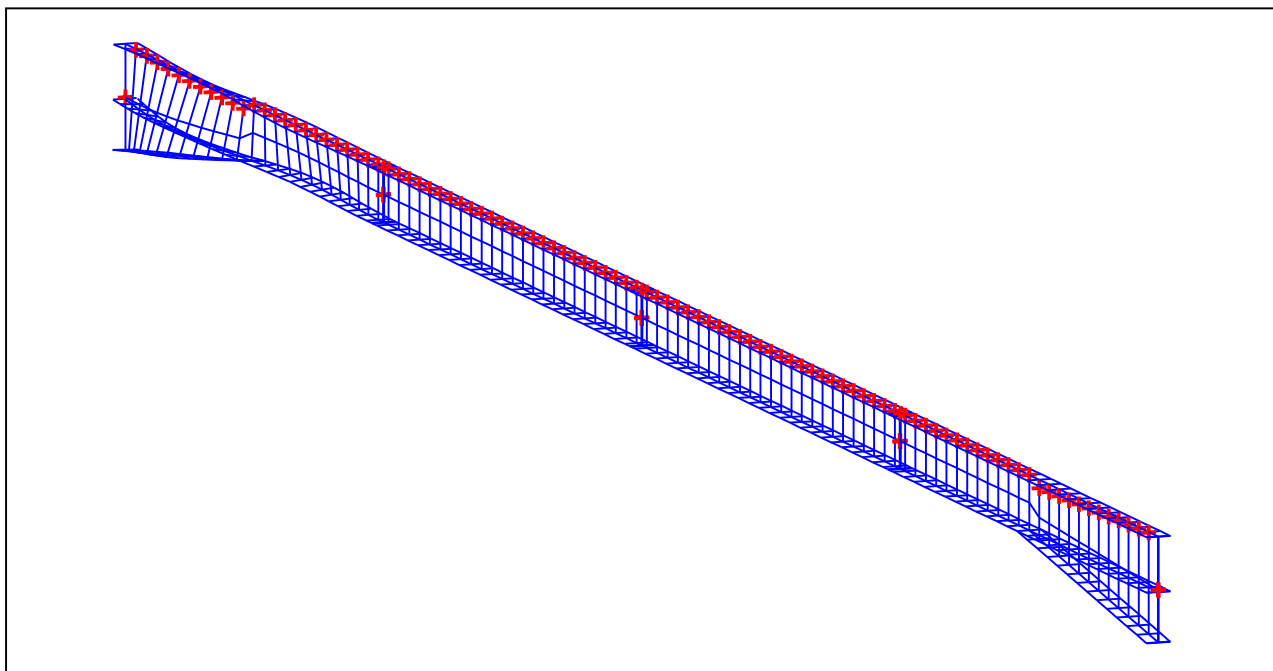


Figure 10 : Mode shape in 3D (Mode 1).

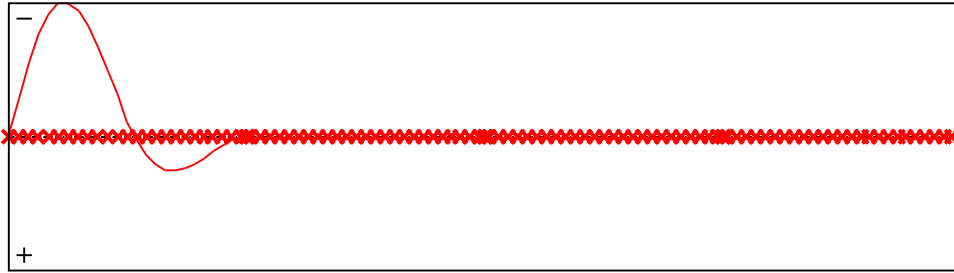


Figure 11 : Lateral displacement compoment of the shear centre (Mode 1).

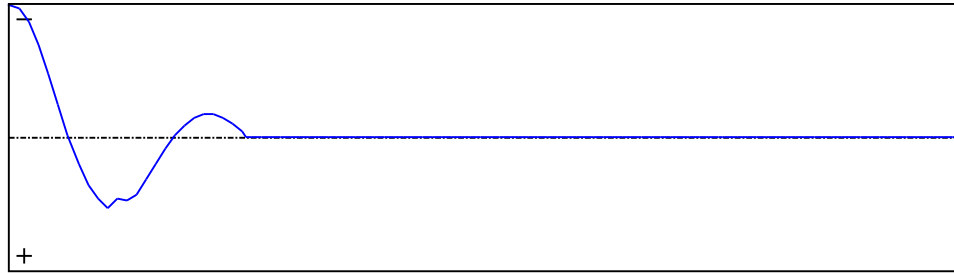


Figure 12 : Rotation in lateral flexure component of the shear centre (Mode 1).

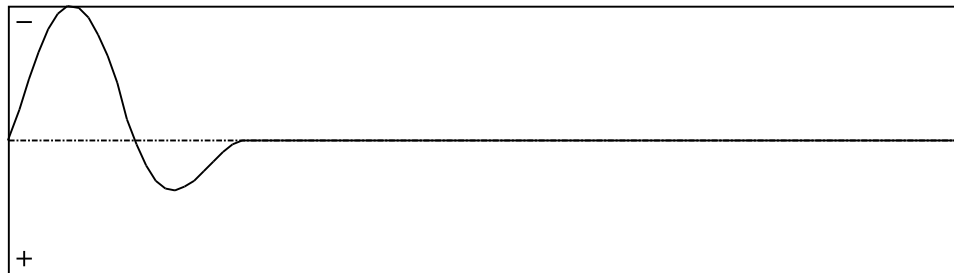


Figure 13 : Longitudinal rotation (torsion) component of the shear centre (Mode 1).

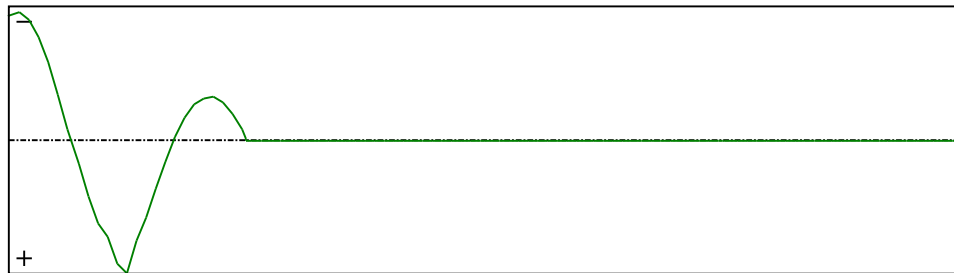


Figure 14 : Warping compoment of the shear centre (Mode 1).

Table 5 : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
0	7,46E-27	-0,0134	5,75E-26	-0,0343
0,2233	-0,292	-0,013	-0,0079	-0,0353
0,4467	-0,5554	-0,0115	-0,0156	-0,0331
0,67	-0,7694	-0,0093	-0,0227	-0,0283
0,8933	-0,9189	-0,0064	-0,0284	-0,0212
1,117	-0,996	-0,0033	-0,0323	-0,0125
1,34	-1	-1,698E-4	-0,0341	-0,0028
1,563	-0,9375	0,0026	-0,0338	0,0068
1,787	-0,8209	0,0048	-0,0313	0,0156
2,01	-0,6664	0,0062	-0,027	0,0232
2,233	-0,4933	0,0071	-0,0214	0,0267
2,457	-0,3194	0,0062	-0,0148	0,034
2,68	-0,1113	0,0063	-0,0056	0,0369
2,895	0,0237	0,0058	0,0012	0,0276
3,11	0,1303	0,0042	0,0065	0,0213
3,324	0,2044	0,0027	0,0102	0,0133
3,539	0,2455	0,0012	0,0123	0,0059
3,754	0,2561	-1,475E-4	0,0128	-7,437E-4
3,969	0,241	-0,0012	0,0121	-0,006
4,184	0,2068	-0,0019	0,0103	-0,0097
4,398	0,1606	-0,0023	0,008	-0,0116
4,613	0,11	-0,0023	0,0055	-0,0117
4,828	0,0623	-0,002	0,0031	-0,0102
5,043	0,0245	-0,0014	0,0012	-0,0072
5,258	0,0029	-5,379E-4	1,448E-4	-0,0027
5,36	1,595E-25	-1,789E-5	2,814E-24	-8,941E-5
5,37	-1,527E-25	8,918E-6	-2,794E-24	4,459E-5
5,38	8,87E-6	8,822E-6	4,435E-7	4,411E-5
5,472	8,634E-5	7,951E-6	4,317E-6	3,975E-5
5,687	2,364E-4	6,056E-6	1,182E-5	3,028E-5
5,902	3,481E-4	4,376E-6	1,74E-5	2,188E-5
6,117	4,261E-4	2,929E-6	2,13E-5	1,465E-5
6,332	4,756E-4	1,719E-6	2,378E-5	8,598E-6
6,546	5,016E-4	7,364E-7	2,508E-5	3,682E-6
6,761	5,087E-4	-3,849E-8	2,544E-5	-1,921E-7

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
6,976	5,013E-4	-6,286E-7	2,506E-5	-3,143E-6
7,191	4,829E-4	-1,059E-6	2,414E-5	-5,297E-6
7,406	4,567E-4	-1,356E-6	2,284E-5	-6,78E-6
7,62	4,254E-4	-1,549E-6	2,127E-5	-7,744E-6
7,835	3,907E-4	-1,67E-6	1,953E-5	-8,348E-6
8,05	3,54E-4	-1,739E-6	1,77E-5	-8,695E-6
8,265	3,163E-4	-1,768E-6	1,581E-5	-8,839E-6
8,48	2,783E-4	-1,764E-6	1,391E-5	-8,822E-6
8,694	2,407E-4	-1,735E-6	1,203E-5	-8,676E-6
8,909	2,039E-4	-1,685E-6	1,019E-5	-8,423E-6
9,124	1,684E-4	-1,615E-6	8,421E-6	-8,074E-6
9,339	1,347E-4	-1,526E-6	6,733E-6	-7,629E-6
9,554	1,03E-4	-1,415E-6	5,151E-6	-7,077E-6
9,768	7,403E-5	-1,279E-6	3,702E-6	-6,396E-6
9,983	4,831E-5	-1,109E-6	2,416E-6	-5,544E-6
10,2	2,673E-5	-8,916E-7	1,336E-6	-4,458E-6
10,41	1,048E-5	-6,085E-7	5,238E-7	-3,042E-6
10,63	1,254E-6	-2,316E-7	6,272E-8	-1,158E-6
10,73	-1,865E-26	-7,827E-9	-5,895E-27	-3,913E-8
10,74	-1,374E-26	3,895E-9	-2,306E-26	1,947E-8
10,75	3,858E-9	3,821E-9	1,929E-10	1,911E-8
10,84	3,62E-8	3,194E-9	1,81E-9	1,597E-8
11,06	9,179E-8	2,047E-9	4,59E-9	1,024E-8
11,27	1,266E-7	1,236E-9	6,328E-9	6,181E-9
11,49	1,466E-7	6,667E-10	7,331E-9	3,334E-9
11,7	1,564E-7	2,707E-10	7,822E-9	1,354E-9
11,92	1,591E-7	-1,456E-12	7,957E-9	-7,17E-12
12,13	1,57E-7	-1,858E-10	7,85E-9	-9,289E-10
12,35	1,516E-7	-3,079E-10	7,58E-9	-1,539E-9
12,56	1,441E-7	-3,859E-10	7,204E-9	-1,929E-9
12,78	1,352E-7	-4,322E-10	6,762E-9	-2,161E-9
12,99	1,257E-7	-4,553E-10	6,284E-9	-2,276E-9
13,21	1,158E-7	-4,625E-10	5,79E-9	-2,313E-9
13,42	1,058E-7	-4,648E-10	5,292E-9	-2,324E-9
13,63	9,583E-8	-4,68E-10	4,791E-9	-2,34E-9

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
13,85	8,574E-8	-4,713E-10	4,287E-9	-2,356E-9
14,06	7,559E-8	-4,737E-10	3,779E-9	-2,368E-9
14,28	6,54E-8	-4,742E-10	3,27E-9	-2,371E-9
14,49	5,524E-8	-4,715E-10	2,762E-9	-2,357E-9
14,71	4,518E-8	-4,637E-10	2,259E-9	-2,319E-9
14,92	3,537E-8	-4,485E-10	1,768E-9	-2,243E-9
15,14	2,599E-8	-4,225E-10	1,3E-9	-2,112E-9
15,35	1,733E-8	-3,809E-10	8,666E-10	-1,905E-9
15,57	9,785E-9	-3,173E-10	4,893E-10	-1,587E-9
15,78	3,91E-9	-2,238E-10	1,955E-10	-1,119E-9
16	4,756E-10	-8,755E-11	2,378E-11	-4,377E-10
16,1	1,303E-26	-2,984E-12	-1,05E-27	-1,493E-11
16,11	-7,126E-27	1,488E-12	1,965E-26	7,443E-12
16,12	1,48E-12	1,472E-12	7,4E-14	7,357E-12
16,21	1,44E-11	1,328E-12	7,201E-13	6,644E-12
16,43	3,984E-11	1,051E-12	1,992E-12	5,255E-12
16,64	5,989E-11	8,201E-13	2,994E-12	4,101E-12
16,86	7,522E-11	6,094E-13	3,761E-12	3,045E-12
17,07	8,609E-11	4,019E-13	4,304E-12	2,009E-12
17,29	9,24E-11	1,828E-13	4,62E-12	9,142E-13
17,5	9,386E-11	-5E-14	4,693E-12	-2,521E-13
17,72	9,015E-11	-2,961E-13	4,507E-12	-1,48E-12
17,93	8,112E-11	-5,434E-13	4,056E-12	-2,718E-12
18,15	6,691E-11	-7,754E-13	3,346E-12	-3,879E-12
18,36	4,811E-11	-9,658E-13	2,405E-12	-4,836E-12
18,58	2,59E-11	-1,087E-12	1,295E-12	-5,442E-12
18,79	2,085E-12	-1,114E-12	1,043E-13	-5,54E-12
19	-2,161E-11	-8,794E-13	-1,008E-12	-4,499E-12
19,2	-4,122E-11	-8,354E-13	-1,803E-12	-3,36E-12
19,41	-5,856E-11	-6,447E-13	-2,41E-12	-2,481E-12
19,62	-7,194E-11	-3,975E-13	-2,796E-12	-1,328E-12
19,82	-7,975E-11	-9,008E-14	-2,936E-12	-1,367E-13
20,03	-8,094E-11	2,378E-13	-2,83E-12	1,006E-12
20,24	-7,529E-11	5,433E-13	-2,507E-12	1,95E-12
20,45	-6,361E-11	7,76E-13	-2,022E-12	2,577E-12

Table 5 (Next) : Mode 1.

x [m]	v [cm]	v' [rd]	θ [rd]	θ' [rd/m]
20,65	-4,776E-11	8,912E-13	-1,452E-12	2,804E-12
20,86	-3,044E-11	8,624E-13	-8,867E-13	2,59E-12
21,07	-1,482E-11	6,815E-13	-4,145E-13	1,982E-12
21,27	-3,918E-12	3,779E-13	-1,053E-13	1,087E-12
21,47	1,501E-26	1,57E-14	-2,443E-27	1,431E-13
21,48	-6,824E-27	-1,266E-14	-1,737E-26	1,209E-13

TABLE OF CONTENTS

I - PARAMETERS	p.1
I.1 - General parameters	p.1
I.2 - Material	p.1
I.3 - Sections	p.1
- Section No. 1 : IPE 400	p.2
- Section No. 2 : IPE 400	p.3
- Section No. 3 : IPE 400	p.4
- Section No. 4 : IPE 400	p.5
I.4 - Lateral restraints	p.6
- Restraint No. 1 :	p.6
- Restraint No. 2 :	p.6
- Restraint No. 3 :	p.7
- Restraint No. 4 :	p.7
- Restraint No. 5 :	p.7
- Restraint No. 6 :	p.7
- Restraint No. 7 :	p.8
- Restraint No. 8 :	p.8
- Restraint No. 9 :	p.8
I.5 - Supports	p.10
- Support No. 1 :	p.10
- Support No. 2 :	p.10
I.6 - Loads	p.11
- Moment diagram :	p.11
- Axial force diagram :	p.11
- Eccentric concentrated loads :	p.12
- Eccentric distributed loads :	p.12
II - LTB CALCULATION	p.13
II.1 - LTB modes	p.13
II.2 - Mode shapes	p.13
- Mode 1	p.13

WARNING !

The following software may be used for working out technical solutions during preparatory engineering studies.

Because of the complexity of the calculations involved, the software is only for users who are able to make themselves an accurate idea of its possibilities, its limitations and adequacy to the various practical applications. The user will use it under his own responsibilities at his own risk.

This software is available free of charge. No rights are conferred on the user of the present software. The property and all intellectual rights of the latter continue belonging exclusively to CTICM. The use of this software involves no guarantee for the profit of the user who is committed to keep CTICM released and unharmed from any direct or indirect recourse and damage resulting from an incorrect or improper use or from a use for inadequate or inappropriate ends.

12.4 Protokol s návrhem patky prostředního sloupu příčné vazby

Výstup z programu Hilti Profis Anchor 2.7.3.

www.hilti.com

Společnost:
Projektant:
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 1
Projekt: Kloubová patka
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 5.5.2017

Komentář uživatele:
1 Vstupní data
Typ a velikost kotvy:
HIT-HY 200-A + HIT-Z M16
Efektivní kotvení hloubka:
 $h_{ef,act} = 134 \text{ mm}$ ($h_{ef,limit} = - \text{ mm}$)

Materiál:

DIN EN ISO 4042

Certifikát č.:

ETA 12/0006

Vydání I Platný:

18.8.2016 | -

Posouzení:

Návrhová metoda ETAG BOND (EOTA TR 029)

Distanční montáž:

 bez upnutí (kotva); stupeň zadržení (kotevní deska): 1,00; $e_b = 40 \text{ mm}$; $t = 30 \text{ mm}$

 Hilti malta: , víceúčelová, $f_{c,GROUT} = 120,00 \text{ N/mm}^2$
Kotevní deska:
 $l_x \times l_y \times t = 260 \text{ mm} \times 260 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$; (Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána)

Profil:

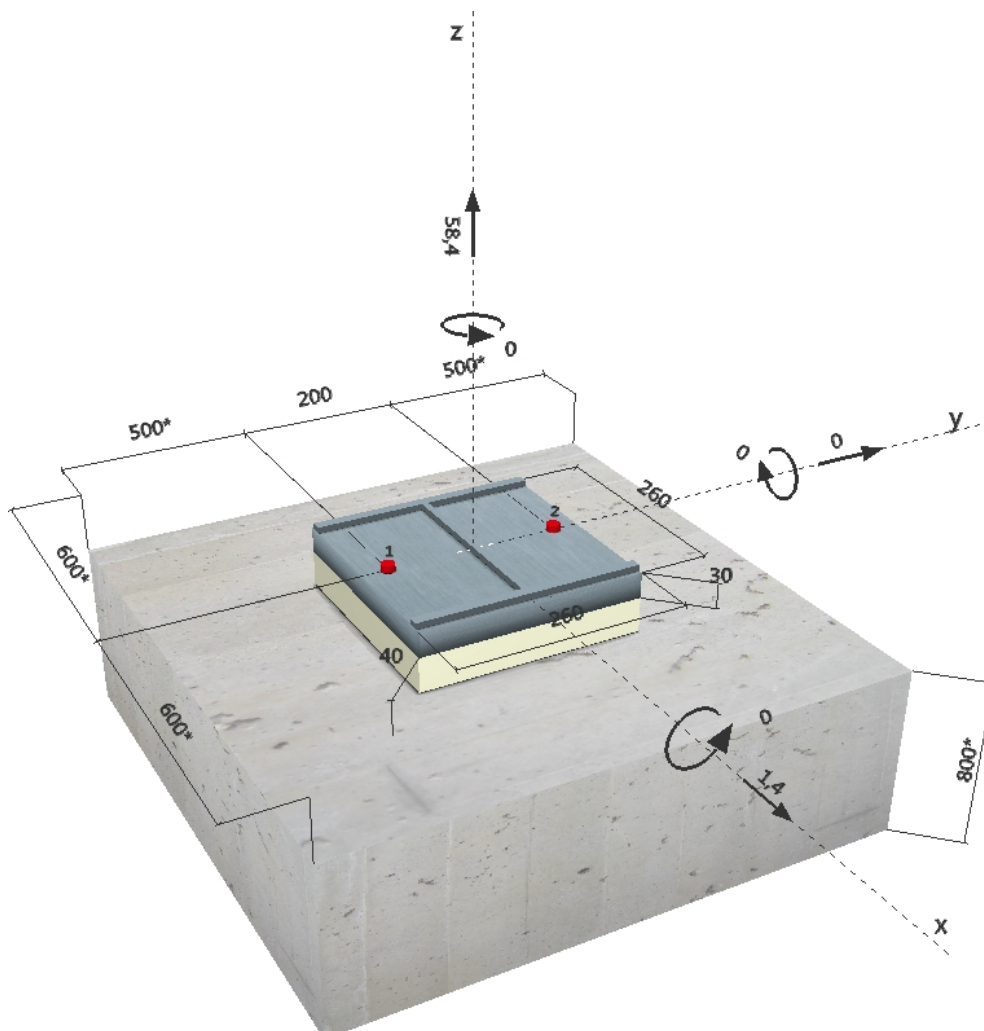
 IPBi/HEA profil; ($V \times \check{S} \times T \times T$) = $250 \text{ mm} \times 260 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} \times 13 \text{ mm}$
Základní materiál:

 bez trhlin beton, C20/25, $f_{c,cube} = 25,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 800 \text{ mm}$, teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C

Montáž:
kotevní otvor vrtaný přiklepem, montážní podmínky: suché
Výztuž:

 Žádná výztuž nebo osová vzdálenost výztuže $\geq 150 \text{ mm}$ (jakýkoliv \emptyset) nebo $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$)

žádná podélná výztuž okraje


SAFE-ET
Geometrie [mm] & Zatížení [kN, kNm]


Společnost:
Projektant:
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 2
Projekt: Kloubová patka
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 5.5.2017

1.1 Kombinace zatížení

Stav	Popis	Síly [kN] / Momenty [kNm]	Seismický	Požár	Max. využ. [%]
1	Kombinace 1	$V_x = 2,400; V_y = 0,000; N = -242,600;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	47
2	Kombinace 2	$V_x = 1,500; V_y = 0,000; N = -319,300;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	30
3	Kombinace 3	$V_x = 2,000; V_y = 0,000; N = -247,300;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	39
4	Kombinace 4	$V_x = 1,500; V_y = 0,000; N = -323,900;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	30
5	Kombinace 5	$V_x = 2,800; V_y = 0,000; N = -152,000;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	55
6	Kombinace 6	$V_x = 2,200; V_y = 0,000; N = -190,300;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	43
7	Kombinace 7	$V_x = 1,300; V_y = 0,000; N = -159,700;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	26
8	Kombinace 8	$V_x = 1,100; V_y = 0,000; N = -198,000;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	22
9	Kombinace 9	$V_x = 0,050; V_y = 0,000; N = 61,600;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	79
10	Kombinace 10	$V_x = 1,400; V_y = 0,000; N = 58,400;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	100
11	Kombinace 11	$V_x = 0,800; V_y = 0,000; N = 64,600;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	93
12	Kombinace 12	$V_x = 1,800; V_y = 0,000; N = -249,500;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	35
13	Kombinace 13	$V_x = 1,100; V_y = 0,000; N = -326,100;$ $M_x = 0,000; M_y = 0,000; M_z = 0,000$	Ne	ne	22

2 Zatěžovací stav/Výsledné síly v kotvách

Zatěžovací stav: Návrhové zatížení

Reakce v kotvách [kN]

Tahová síla: (+ Tah, - Tlak)

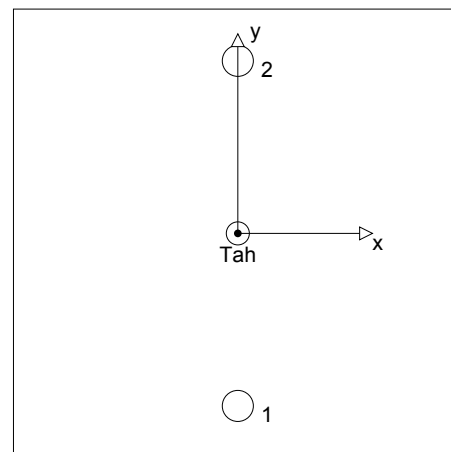
Kotva	Tahová síla	Smyková síla	Smyková síla x	Smyková síla y
1	29,200	0,700	0,700	0,000
2	29,200	0,700	0,700	0,000

max. tlakové přetvoření betonu: - [‰]

max. tlakové napětí v betonu: - [N/mm²]

výsledná tahová síla v (x/y)=(0/0): 58,400 [kN]

výsledná tlaková síla v (x/y)=(0/0): 0,000 [kN]



Společnost:
Projektant:
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 3
Projekt: Kloubová patka
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 5.5.2017

3 Tahové zatížení (EOTA TR 029, bod 5.2.2)

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_N [%]	Stav
Porušení oceli*	29,200	64,000	46	OK
Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu**	58,400	130,824	45	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	58,400	78,204	75	OK
Porušení rozštěpením**	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

3.1 Porušení oceli

$N_{Rk,s}$ [kN]	$\gamma_{M,s}$	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Sd} [kN]
96,000	1,500	64,000	29,200

3.2 Kombinované porušení vytažením - vytržením betonového kuželu

$A_{p,N}$ [mm ²]	$A_{p,N}^0$ [mm ²]	$\tau_{Rk,ucr,25}$ [N/mm ²]	$s_{cr,Np}$ [mm]	$c_{cr,Np}$ [mm]	c_{min} [mm]
140544	82944	24,00	288	144	500
$h_{ef,Helix}$ [mm]	ψ_c	$\tau_{Rk,ucr}$ [N/mm ²]	k	$\psi_{g,Np}^0$	$\psi_{g,Np}$
96	1,000	24,00	3,200	1,000	1,000
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,Np}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,Np}$	$\psi_{s,Np}$	$\psi_{re,Np}$
0	1,000	0	1,000	1,000	1,000
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	$\gamma_{M,p}$	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Sd} [kN]	
115,812	196,236	1,500	130,824	58,400	

3.3 Porušení vytržením betonového kuželu

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]		
242004	161604	201	402		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$
0	1,000	0	1,000	1,000	1,000
k_1	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Sd} [kN]	
10,100	78,334	1,500	78,204	58,400	

Společnost:
Projektant:
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 4
Projekt: Kloubová patka
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 5.5.2017

4 Smykové zatížení (EOTA TR 029, bod 5.2.3)

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_v [%]	Stav
Porušení oceli (bez distanční montáže)*	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici
Porušení oceli (s distanční montáží)*	0,700	1,402	50	OK
Porušení vylomením betonu**	1,400	156,408	1	OK
Porušení okraje betonu ve směru x+**	1,400	96,087	2	OK

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (rovnocenné kotvy)

4.1 Porušení oceli (s distanční montáží)

l [mm]	α_M			
63	1,00			
$N_{Sd} / N_{Rd,s}$	$1 - N_{Sd} / N_{Rd,s}$	$M_{RK,s}^0$ [kNm]	$M_{RK,s} = M_{RK,s}^0 (1 - N_{Sd} / N_{Rd,s})$ [kNm]	
0,456	0,544	0,203	0,110	
$V_{RK,s}^M = \alpha_M * M_{RK,s} / l$ [kN]	$\gamma_{Ms,b,V}$	$V_{Rd,s}^M$ [kN]	V_{Sd} [kN]	
1,752	1,250	1,402	0,700	

4.2 Porušení vylomením betonu (relevantní k vytažení)

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	k-factor	k_1
242004	161604	201	402	2,000	10,100
$e_{c1,V}$ [mm]	$\Psi_{ec1,N}$	$e_{c2,V}$ [mm]	$\Psi_{ec2,N}$	$\Psi_{s,N}$	$\Psi_{re,N}$
0	1,000	0	1,000	1,000	1,000
$N_{RK,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c,p}$	$V_{Rd,cp}$ [kN]	V_{Sd} [kN]		
78,334	1,500	156,408	1,400		

4.3 Porušení okraje betonu ve směru x+

h_{ef} [mm]	d_{nom} [mm]	k_1	α	β	
134	16,0	2,400	0,050	0,050	
c_1 [mm]	c_1' [mm]	$A_{c,V}$ [mm ²]	$A_{c,V}^0$ [mm ²]		
600	533	960000	1280000		
$\Psi_{s,V}$	$\Psi_{h,V}$	$\Psi_{a,V}$	$e_{c,V}$ [mm]	$\Psi_{ec,V}$	$\Psi_{re,V}$
0,888	1,000	1,000	0	1,000	1,000
$V_{RK,c}^0$ [kN]	$\gamma_{M,c}$	$V_{Rd,c}$ [kN]	V_{Sd} [kN]		
216,534	1,500	96,087	1,400		

5 Kombinace zatížení tah/smyk (EOTA TR 029, bod 5.2.4)

β_N	β_V	α	Využití $\beta_{N,V}$ [%]	Stav
0,747	0,499	1,500	100	OK

$$\beta_N^\alpha + \beta_V^\alpha \leq 1,0$$

Společnost:
Projektant:
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 5
Projekt: Kloubová patka
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 5.5.2017

6 Posuny (nejvíce zatížená kotva)

Krátkodobé teplotní zatížení:

$$\begin{aligned} N_{Sk} &= 21,630 \text{ [kN]} & \delta_N &= 0,096 \text{ [mm]} \\ V_{Sk} &= 0,519 \text{ [kN]} & \delta_V &= 0,021 \text{ [mm]} \\ & & \delta_{NV} &= 0,099 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

Dlouhodobé teplotní zatížení:

$$\begin{aligned} N_{Sk} &= 21,630 \text{ [kN]} & \delta_N &= 0,193 \text{ [mm]} \\ V_{Sk} &= 0,519 \text{ [kN]} & \delta_V &= 0,031 \text{ [mm]} \\ & & \delta_{NV} &= 0,195 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

Poznámka: Posuny vlivem tahové síly jsou platné při poloviční hodnotě předepsaného utahovacího momentu pro bez trhlin beton! Smykové posuny jsou platné za předpokladu žádného tření mezi betonem a kotevní deskou! Mezery mezi kotvou a vrtaným kotevním otvorem a mezery mezi kotvou a otvorem v kotevní desce nejsou v tomto výpočtu zahrnuty!

Přípustné posuny kotev závisí na připevňované konstrukci a musejí být definovány projektantem!

7 Upozornění

- Návrhové metody v PROFIS Anchor vyžadují dle současných předpisů (ETAG 001 / příloha C, EOTA TR029, atd.) tuhé kotevní desky. To znamená, že přerozdělení zatížení na jednotlivé kotvy, v důsledku pružné deformace kotevní desky, se neuvažuje - kotevní deska se považuje za dostatečně tuhou, aby nedošlo k její deformaci, když je podrobena návrhovému zatížení. PROFIS Anchor vypočítá pomocí MKP minimální potřebnou tloušťku kotevní desky tak, aby bylo omezeno napětí stres v kotevní desce na základě předpokladů viz výše. Důkaz, že je kotevní deska tuhá, PROFIS Anchor neprovádí. Vstupní údaje a výsledky se musí být kontrolovány v souladu se stávající úrovní podmínek a znalostí!
- Kontrolu přenosu zatížení do základního materiálu je požadováno provést v souladu s EOTA TR 029 část 7!
- Návrh je platný pouze v případě, když průměry otvorů pro kotvy v kotevní desce nejsou větší než je stanoveno v EOTA TR029, tabulka 4.1! Komentář ohledně větších otvorů je uveden v EOTA TR029, článek 1.1!
- Seznam příslušenství v tomto protokolu slouží pouze jako informace uživateli. V každém případě je třeba dodržovat návod k použití dodávaný s výrobkem, aby byla zajištěna správná instalace.
- Charakteristická pevnost lepicí hmoty (soudržnost) závisí na krátkodobých a dlouhodobých teplotách.
- Okrajová výztuž není požadovaná pro zabránění porušení rozštěpením.

Upevnění je bezpečné!

Společnost:
Projektant:
Adresa:
Telefon I fax:
E-mail:

Strana: 6
Projekt: Kloubová patka
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 5.5.2017

8 Montážní pokyny

Kotevní deska, ocel: -
Profil: IPBi/HEA profil; 250 x 260 x 8 x 13 mm
Průměr otvoru v kotevní desce: $d_f = 18$ mm
Tloušťka kotevní desky (vstup): 30 mm
Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána
Metoda vrtání: Vyvrtáno přiklepem
Čištění: čištění vyvrtaného kotevního otvoru není požadováno.

Typ a velikost kotvy: HIT-HY 200-A + HIT-Z M16
Utahovací moment: 0,080 kNm
Průměr otvoru v základním materiálu: 18 mm
Hloubka kotevního otvoru v základním materiálu: 198 mm
Minimální tloušťka základního materiálu: 234 mm

8.1 Doporučené příslušenství

Vrtání

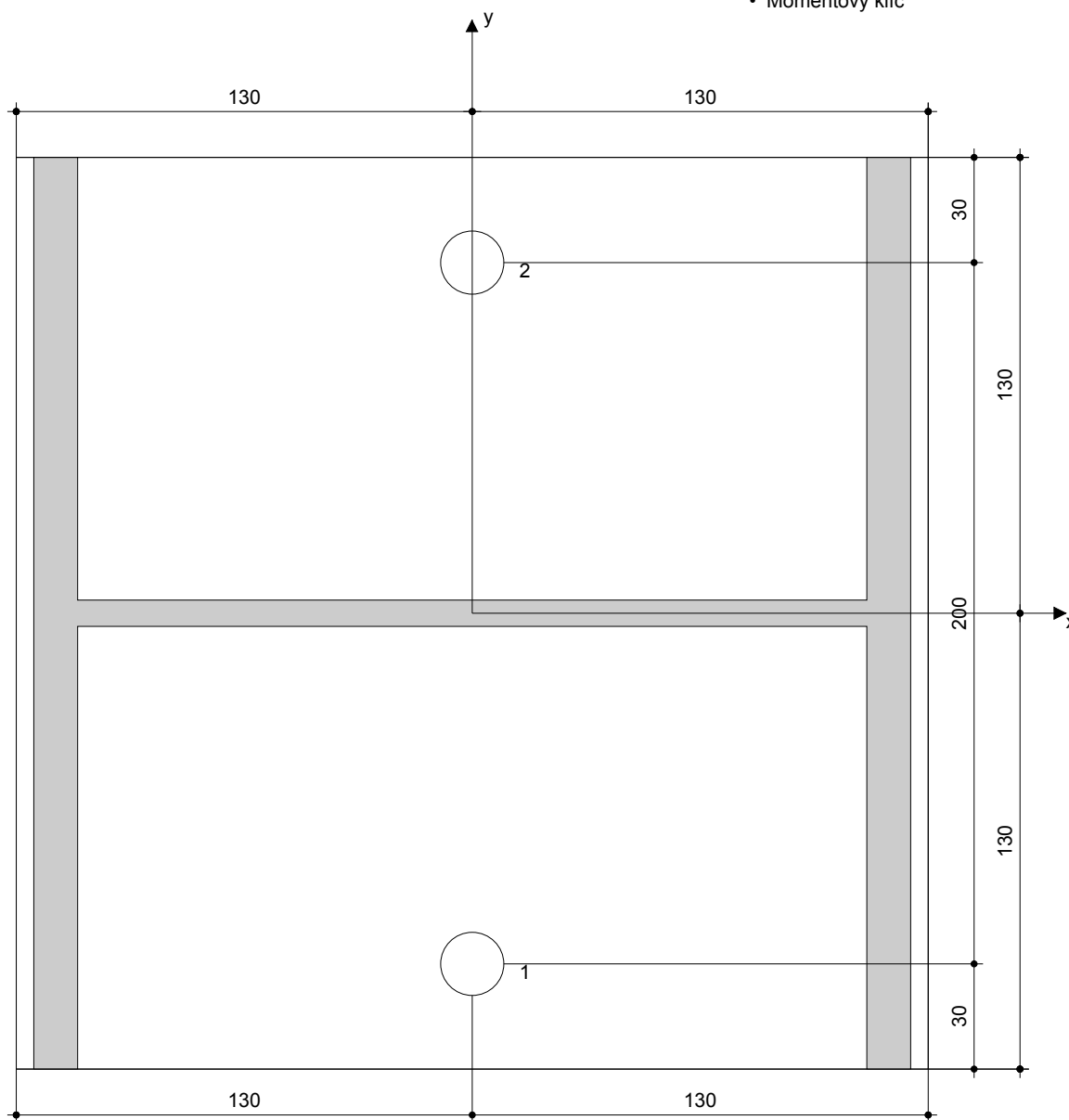
- Vhodná pro vrtací kladivo
- Vrták správného průměru

Čištění

- Příslušenství není požadováno

Osazení

- Výtlačovací přístroj včetně vodící kazety a směšovače
- Momentový klíč



Souřadnice kotev [mm]

Kotva	x	y	C _{-x}	C _{+x}	C _{-y}	C _{+y}
1	0	-100	600	600	500	700
2	0	100	600	600	700	500

Společnost:
Projektant:
Adresa:
Telefon I fax: |
E-mail:

Strana: 7
Projekt: Kloubová patka
Dílčí projekt / pozice č.:
Datum: 5.5.2017

9 Poznámky, požadavky na vaší kooperaci

- Veškeré informace a data obsažená v Softwaru se týkají výhradně použití výrobků Hilti a vycházejí ze zásad, předpisů a bezpečnostních nařízení v souladu s technickými směrnicemi a provozními, montážními a instalačními pokyny společnosti Hilti, jimiž se uživatel musí striktně řídit. Veškerá čísla obsažená v Softwaru představují průměrné hodnoty, a proto je před použitím příslušného výrobku Hilti nutno provést testy pro jeho konkrétní použití. Výsledky výpočtů provedených pomocí Softwaru vycházejí především z vámi zadaných dat. Nesete proto výhradní odpovědnost za bezchybnost, úplnost a relevantnost zadávaných dat. Mimoto nesete výhradní odpovědnost za kontrolu výsledků vzešlých z výpočtů a za to, že si tyto výsledky před jejich použitím pro konkrétní zařízení necháte ověřit a schválit od odborníka, zejména co se týče souladu s příslušnými normami a povoleními. Software slouží pouze jako pomůcka pro interpretaci norem a povolení bez jakékoli záruky ohledně bezchybnosti, přesnosti a relevantnosti výsledků nebo vhodnosti pro konkrétní použití.
- Abyste předešli škodám, které by Software mohl způsobit, nebo omezili jejich rozsah, musíte přijmout veškerá nutná a přiměřená opatření. Obzvláště je třeba pravidelně zálohovat programy a data a v případě potřeby provádět aktualizace Softwaru, které společnost Hilti pravidelně nabízí. Nepoužíváte-li funkci AutoUpdate, která je součástí Softwaru, je nutné zajistit aktuálnost vámi používané verze Softwaru ručními aktualizacemi prostřednictvím internetových stránek společnosti Hilti. Společnost Hilti nenese žádnou zodpovědnost za důsledky vzešlé z vámi zaviněného porušení povinností, jako je například nutnost obnovy ztracených či poškozených dat nebo programů.