



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Tělocvična s šikmými fasádními sloupy

Gymnasium with inclined columns in facade

Bakalářská práce

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

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

Andrea Padyšáková

Praha 2017



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Padyšáková Jméno: Andrea Osobní číslo: 423765
Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Tělocvična s šikmými fasádními sloupy

Název bakalářské práce anglicky: Gymnasium with inclined columns in facade

Pokyny pro vypracování:

Návrh nosné konstrukce tělocvičny - jejích hlavních prvků a vybraných detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys střechy, vybrané řezy či pohledy, navržené detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí EN 1991 a EN 1993.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Michal Jandera

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2017 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak., roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité zdroje.

V Praze dne 28.5.2017.

Andrea Padyšáková

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla velmi poděkovat panu Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za trpělivost, ochotu, odborné konzultace a vedení této bakalářské práce.

Dále bych chtěla poděkovat Tomášovi Trojkovi, mým rodičům a přátelům za podporu během celé doby studia.

Anotace

Bakalářská práce obsahuje návrh a posouzení ocelové nosné konstrukce tělocvičny (jednolodní haly) o rozpětí 20 m, výšce 10 m a délce 70 m. Předpokládaná lokalita objektu je Praha. Hlavní konstrukční materiál je ocel S 235. Navrženo a posouzeno je několik variant střešní konstrukce a střešních nosníků, z nichž je vybrána ekonomicky nejvýhodnější varianta. Dále jsou navrženy a posouzeny šikmé fasádní sloupy, střešní ztužidla, svislá ztužidla objektu a vybrané detaily. Vypracována je technická zpráva a výkresová dokumentace. Výkresová dokumentace obsahuje půdorys, pohledy a řezy halou a detaily přípojí.

Klíčová slova

Ocelová konstrukce, tělocvična, svařovaný vazník, fasádní sloup, statický návrh, ztužidla, přípoj

Annotation

The bachelor project contains design and verification of a load-bearing steel construction of a gymnasium (single-bay building) with span about 20 m, height 10 m and length 70 m. The estimated location of the object is Prague. Main structural material is steel S 235. In this project, there were designed several variants of the roof structure and the most economical was chosen. Subsequently, inclined facade columns, roof bracings, building vertical bracing and steel connections were designed. The drawing documentation contains the roof plan, side views and sections of the building together with the structural detailing.

Keywords

Steel construction, gymnasium, welded beam, inclined columns, structural design, bracing, connection

Obsah

1	Výpočet zatížení	3
1.1	Zatížení větrem	3
1.1.1	Základní rychlost větru	3
1.1.2	Střední rychlost větru.....	3
1.1.3	Maximální dynamický tlak.....	3
1.1.4	Základní dynamický tlak větru	3
1.1.5	Výpočet působení větru na stěny	3
1.1.6	Výpočet působení větru na střechu	4
1.2	Zatížení sněhem.....	7
2	Střešní konstrukce	8
2.1	Posouzení střešního pláště	8
2.1.1	Střešní plášť - Varianta 1.....	8
2.1.2	Střešní plášť - Varianta 2.....	10
2.2	Návrh střešního nosníku.....	11
2.2.1	Posouzení nosníku IPE600	11
2.2.2	Posouzení svařovaného nosníku.....	13
2.2.2.1	Svařovaný nosník SN-1	14
2.2.2.2	Svařovaný nosník SN-2.....	16
2.2.3	Posouzení prolamovaného nosníku.....	21
2.2.3.1	Varianta PN-1.....	21
2.2.3.2	Varianta PN-2.....	21
2.2.4	Porovnání variant střešního nosníku	22
3	Šikmý fasádní sloup.....	23
3.1	Zatížení	23
3.2	Návrh a posouzení průřezu fasádního sloupu	24
4	Návrh střešních ztužidel.....	27
4.1	Zatížení	27
4.2	Návrh a posouzení jednotlivých prvků	30
4.2.1	Diagonála příčného ztužidla – Prvek1	30
4.2.2	Svislice příčného ztužidla – Prvek2	32
4.2.3	Průběžný prvek podélného ztužidla – Prvek3	33
4.2.4	Průběžný prvek podélného ztužidla – Prvek4	34
4.2.5	Diagonála podélného ztužidla.....	35
4.2.6	Průběžný nosník.....	37
5	Návrh svislého ztužidla	39
5.1	Zatížení	39

5.2	Návrh prvků svislého ztužidla	41
5.2.1	Diagonála středového ztužidla.....	42
5.2.2	Svislice středového ztužidla.....	42
5.2.3	Krajní sloup ztužidla	43
5.2.4	Vnitřní sloup ztužidla	45
6	Přípoje	49
6.1	Přípoj vnitřního sloupu ztužidla.....	49
6.1.1	Připojení diagonály k patce sloupu	51
6.1.2	Patka sloupu ztužidla.....	51
6.1.3	Kotevní šrouby	55
6.2	Přípoj střešního nosníku.....	56
6.2.1	Návrh přípoje diagonály podélného ztužidla	56
6.2.2	Návrhová únosnost svařovaného styčnicku	56
6.3	Přípoj fasádních sloupů na práh	60
6.3.1	Návrhová únosnost svařovaného	60
6.3.2	Kotevní šrouby	62
	Použitá literatura.....	63
	Použitý software:	63

1 Výpočet zatížení

Předpokládaná lokalita umístění objektu je Praha. Pro výpočet zatížení větrem je uvažována větrná oblast II., pro výpočet zatížení sněhem se v tomto případě jedná o sněhovou oblast I. Výška objektu je 10 m.

1.1 Zatížení větrem

Lokalita: Praha, větrná oblast II.

1.1.1 Základní rychlost větru

Větrná oblast II.

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

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

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

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$

$$z_{min} = 2 \text{ m}$$

1.1.2 Střední rychlost větru

Změna závislosti na výšce

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,644 \cdot 1,0 \cdot 25 = 16,1 \text{ m/s}$$

$$c_r = 0,644$$

$$c_0 = 1,0 \quad \text{plochý terén}$$

Drsnost terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{10}{0,05}\right) = 0,644 \quad \text{pro } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

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

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ (kategorie terénu II.)}$$

1.1.3 Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 2,4 \cdot 0,391 = 0,938 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice

$$c_e(z) = 2,4$$

$$z = 10 \text{ m, kategorie terénu II.}$$

1.1.4 Základní dynamický tlak větru

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 0,391 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{doporučená hodnota}$$

1.1.5 Výpočet působení větru na stěny

Tlak větru na vnitřní povrch

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} = 0,938 \cdot c_{pe}$$

Součinitele vnějšího tlaku C_{pe}

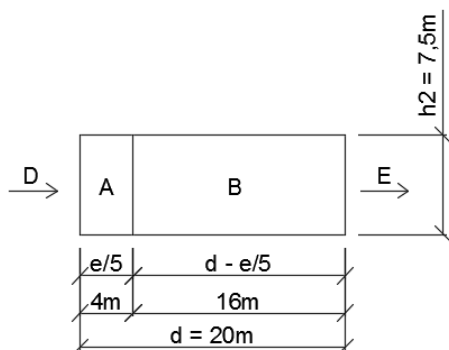
Protože jsou v tomto případě plochy haly větší než 10 m², budou uvažovány hodnoty součinitele $c_{pe,10}$.

Svislé stěny – příčný vítr

$h \leq b$ závislost dynamického tlaku na výšce je konstantní

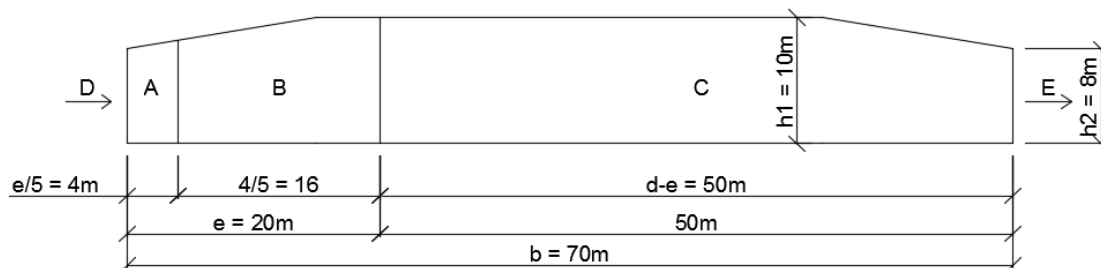
$$h = 10 \text{ m (popř. } h = 7,5 \text{ m)}$$

$b = 70 \text{ m}$
 $d = 20 \text{ m}$
 $e = \min(b, 2h) = \min(70, 2 \cdot 10) = \min(70 \text{ m}, 20 \text{ m}) = 20 \text{ m}$
 $h/d = 10/20 = 0,5$
 Pohled pro $e < d$



Svislé stěny - podélný vítr

$h = 10 \text{ m}$
 $b = 20 \text{ m}$
 $d = 70 \text{ m}$
 $e = \min(b, 2h) = \min(20, 2 \cdot 10) = \min(20 \text{ m}, 20 \text{ m}) = 20 \text{ m}$
 $h/d = 10/70 = 0,143$
 Pohled pro $e \geq d$



Výsledný tlak větru na svislé stěny

Oblast	Větr příčný		Větr podélný	
	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m ²]	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m ²]
A	-1,2	-1,126	-1,2	-1,126
B	-1,0	-0,938	-0,8	-0,750
C	-	-	-0,5	-0,469
D	-0,73	-0,685	0,7	0,657
E	-0,37	-0,347	-0,3	-0,281

1.1.6 Výpočet působení větru na střechu

Střecha plochá - příčný vítr

$h = 10 \text{ m}, b = 40 \text{ m}, d = 20 \text{ m}$
 $e = \min(b, 2h) = \min(40, 2 \cdot 10) = \min(40 \text{ m}, 20 \text{ m}) = 20 \text{ m}$

Střecha plochá - podélný vítr

$h = 10 \text{ m}, b = 20 \text{ m}, d = 40 \text{ m}$
 $e = \min(b, 2h) = \min(20, 2 \cdot 10) = \min(20 \text{ m}, 20 \text{ m}) = 20 \text{ m}$

Střecha pultová (sklon 15°) - příčný vítr

$$h = 10 \text{ m}, b = 15 \text{ m}, d = 20 \text{ m}$$

$$e = \min(b, 2h) = \min(15, 2 \cdot 10) = \min(15 \text{ m}, 20 \text{ m}) = 15 \text{ m}$$

Střecha pultová (sklon 15°) - podélný vítr

$$h = 10 \text{ m}, b = 20 \text{ m}, d = 15 \text{ m}$$

$$e = \min(b, 2h) = \min(20, 2 \cdot 10) = \min(20 \text{ m}, 20 \text{ m}) = 20 \text{ m}$$

Schéma oblastí pro příčný vítr na střechu

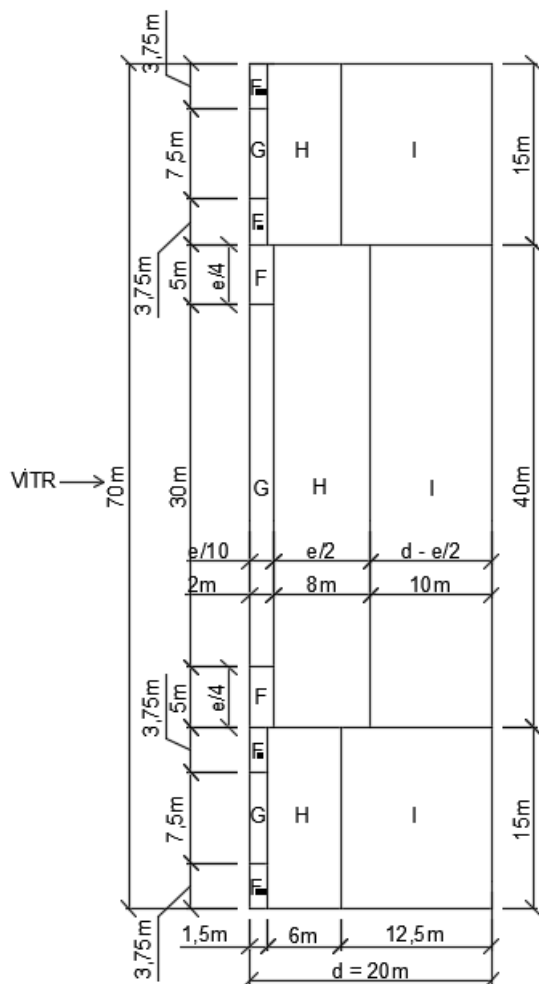
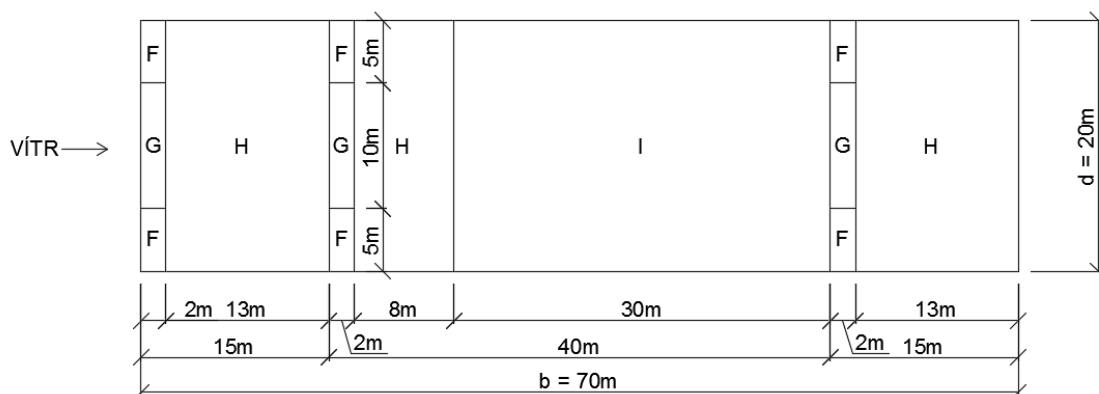


Schéma oblastí pro podélný vítr na střechu



Výsledný tlak větru na plochou střechu

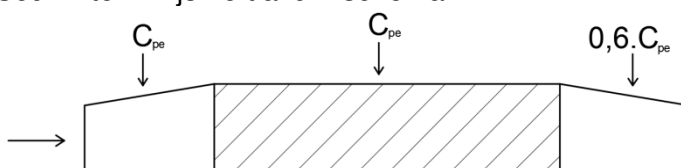
Oblast	Vítr příčný		Vítr podélný	
	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m ²]	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m ²]
F	-1,8	-1,688	-1,8	-1,688
G	-1,2	-1,126	-1,2	-1,126
H	-0,7	-0,657	-0,7	-0,657
I	0,2	0,188	0,2	0,188
	-0,2	-0,188	-0,2	-0,188

Výsledný tlak větru na pultovou střechu

Součinitele vnějšího tlaku C_{pe} pro pultovou střechu na závětrné straně budovy při příčném větru budou přenásobeny konstantou 0,6.

tedy $C_{pe,10,i} = 0,6 \cdot C_{pe}$

Součinitel vnějšího tlaku – schéma:



Oblast	Vítr příčný návětrná		Vítr příčný závětrná	
	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m ²]	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m ²]
F	-1,3	-1,219	-1,9	-1,782
G	-1,3	-1,219	-1,2	-1,126
H	-0,6	-0,563	-0,8	-0,750
I	-0,5	-0,469	-0,8	-0,750

Oblast	Vítr podélný +15°		Vítr podélný závětrná -15°	
	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m ²]	$C_{pe,10}$	$w_{e,k}$ [kN/m ²]
F	-0,9	-0,844	-2,5	-2,345
	0,2	0,188		
G	-0,8	-0,750	-1,3	-1,219
	0,2	0,188		
H	-0,3	-0,281	-0,9	-0,844
	0,2	0,188		
I	-0,4	-0,375	-0,5	-0,469
	0,0	0,00		

1.2 Zatížení sněhem

Hala se nachází v Praze, sněhová oblast I.,

kde charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi je $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$

Tvarový součinitel

Pro další výpočet budou použity tvarový součinitel pro případ bez navátí sněhu μ_1 .

Plochá střecha

$$\mu_{1,\text{plochá}} = 0,8$$

Pultová střecha

sklon střechy $\alpha = 15^\circ$ ($0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$)

$$\mu_{1,\text{pultová}} = 0,2$$

Součinitel expozice

$C_e = 1,0$ normální typ krajiny

Tepelný součinitel

$C_t = 1,0$ pro ostatní případy

Zatížení sněhem na střeše

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

$$s_{\text{plochá}} = \mu_{1,\text{plochá}} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{\text{pultová}} = \mu_{1,\text{pultová}} \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 0,14 \text{ kN/m}^2$$

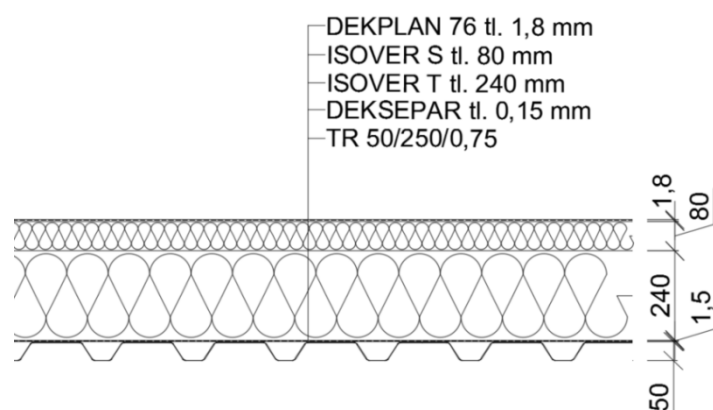
2 Střešní konstrukce

Střešní plášť se skládá z hydroizolační fólie Dekplan 76, tepelné izolace z desek z minerálních vláken Isover S tl. 80 mm a Isover T tloušťky 240 mm, parotěsné vrstvy Deksepar a trapézového plechu TR153/290/0,88 nebo TR 50/250/0,75 v pozitivní poloze.

Střešní konstrukci budou tvořit střešní plášť, nosníky a podhled. Podhled bude v tomto případě tvořen ocelovými prvky dutého obdélníkového průřezu a bude mít čistě estetickou funkci. Posouzeny budou tři varianty střešní konstrukce a z nich pro další výpočet vybrána ta nejvhodnější.

2.1 Posouzení střešního pláště

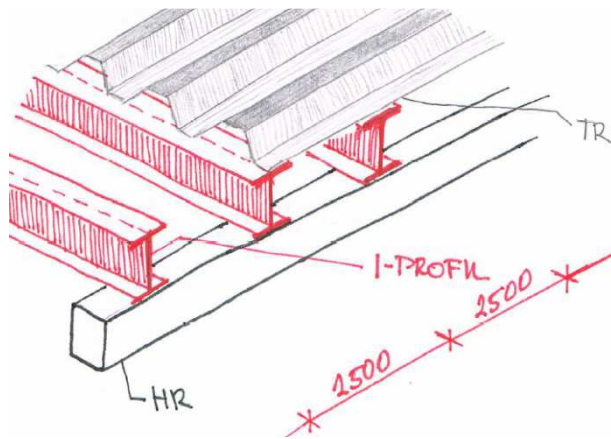
2.1.1 Střešní plášť - Varianta 1



Výpočet vlastní tíhy

Vrstva	Tloušťka	Hmotnost	Vlastní tíha
	[m]	[kg/m ³]	kN/m ²
Hydroizolační fólie	0,0018	-	0,002
Tepelná izolace ISOVER S	0,080	160,0	0,128
Tepelná izolace ISOVER T	0,240	160,0	0,384
Parozábrana	0,00015	-	0,002
TR plech 50/250/0,75	-	-	0,075
	celkem	$q_{k, \text{střecha}}$	0,590

Tato varianta bude použita pro střešní konstrukci se střešními nosníky umístěnými v osových vzdálenostech 2,5 m.



Návrh pro plochou střechu: Trapézový plech TR 50/250/0,75, pozitivní poloha

Materiál

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$m = 7,5 \text{ kg/m}^2$$

Únosnost

$$q_{Rd} = 2,68 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk} = 2,64 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení

Kombinace stálé minimální + vítr podélný (sání)

$$q_k = q_{k, \text{střecha}} + w_{ek,F} = 0,590 + (-1,688) = -1,098 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha, min}} + \gamma_Q \cdot w_{ek,F} = 1,0 \cdot 0,590 + 1,5 \cdot (-1,688) = -1,942 \text{ kN/m}^2$$

Rozhoduje kombinace stálé + užité na střechu + ψ_0 .sníh + ψ_0 .vítr podélný (tlak)

$$q_k = q_{k, \text{střecha}} + q_{\text{užitné}} + s_{\text{plochá}} + w_{ek,I}$$

$$q_k = 0,590 + 0,75 + 0,56 + 0,188 = \mathbf{2,088 \text{ kN/m}^2}$$

$$q_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha}} + \gamma_Q \cdot q_{\text{užitné}} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot s_{\text{plochá}} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot w_{ek,I}$$

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot 0,590 + 1,5 \cdot 0,75 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,56 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,188 = \mathbf{2,511 \text{ kN/m}^2}$$

Posouzení

Únosnost plechu:

$$q_{Ed} = 2,511 \text{ kN/m}^2 < 2,68 \text{ kN/m}^2$$

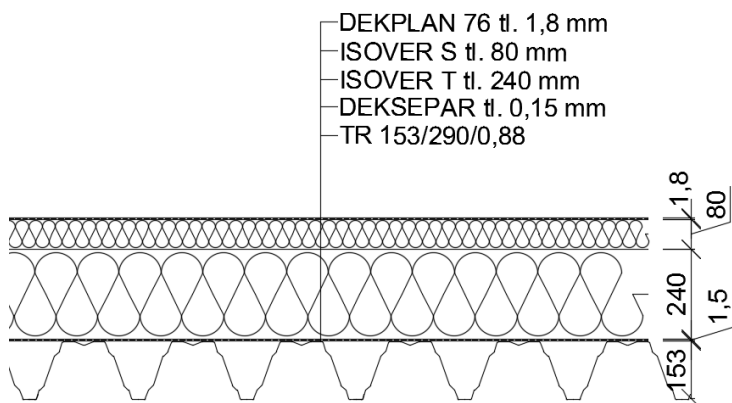
Podmínka pro mezí průhyb - pouze proměnné zatížení (užitné na střechu + tlak)

$$\delta_2 \leq \frac{L}{200}$$

$$q_k = 2,088 \text{ kN/m}^2 < 2,64 \text{ kN/m}^2$$

Trapézový plech vyhoví.

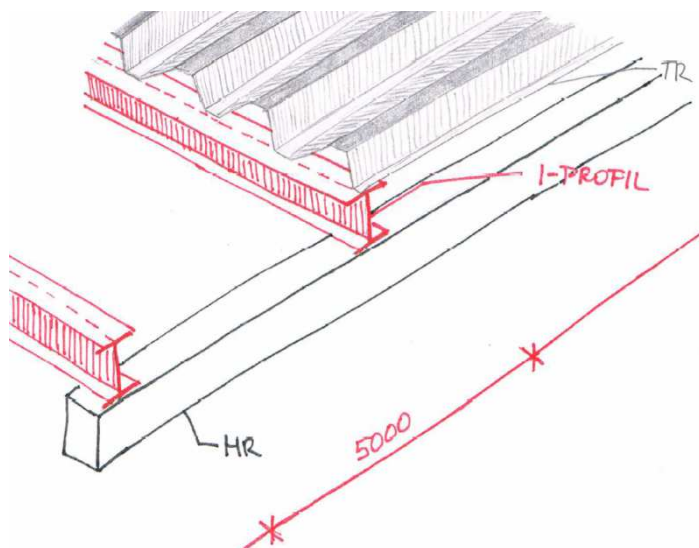
2.1.2 Střešní plášť - Varianta 2



Výpočet vlastní tíhy

Vrstva	Tloušťka	Hmotnost	Vlastní tíha
	[m]	[kg/m ³]	kN/m ²
Hydroizolační fólie	0,0018	-	0,002
Tepelná izolace ISOVER S	0,080	160,0	0,128
Tepelná izolace ISOVER T	0,240	160,0	0,384
Parozábrana	0,00015	-	0,002
TR plech 153/290/0,88	-	-	0,117
	celkem	$q_{k, \text{střecha}}$	0,633

V této variantě budou střešní nosníky umístěny po 5 m.



Návrh pro plochou střechu: Trapézový plech TR 153/290/0,88, pozitivní poloha
Materiál

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$m = 13,30 \text{ kg/m}^2$$

Únosnost

$$q_{Rd} = 2,90 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk} = 6,36 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení

Kombinace stálé minimální + vítr podélný (sání)

$$q_k = q_{k, \text{střecha}} + w_{ek, F} = 0,633 + (-1,688) = -1,055 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha}, \text{min}} + \gamma_Q \cdot w_{ek, F} = 1,0 \cdot 0,633 + 1,5 \cdot (-1,688) = -1,899 \text{ kN/m}^2$$

Rozhoduje kombinace stálé + užité na střechu + ψ_0 .sníh + ψ_0 .vítr podélný (tlak)

$$q_k = q_{k, \text{střecha}} + q_{\text{užitné}} + s_{\text{plochá}} + w_{ek, I}$$

$$q_k = 0,633 + 0,75 + 0,56 + 0,188 = 2,131 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha}} + \gamma_Q \cdot q_{\text{užitné}} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot s_{\text{plochá}} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot w_{ek, I}$$

$$q_{Ed} = 1,35 \cdot 0,633 + 1,5 \cdot 0,75 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,56 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,188 = 2,569 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení

Únosnost plechu:

$$q_{Ed} = 2,569 \text{ kN/m}^2 < 2,90 \text{ kN/m}^2$$

Podmínka pro mezní průhyb - pouze proměnné zatížení (užitné na střechu + tlak)

$$\delta_2 \leq \frac{L}{200}$$

$$q_k = 2,131 \text{ kN/m}^2 < 6,36 \text{ kN/m}^2$$

Trapézový plech vyhoví.

2.2 Návrh střešního nosníku

Střešní konstrukce se skládá ze střešní pláště, nosníku a ocelového podhledu. Dále budou posuzovány různé varianty střešních nosníků.

2.2.1 Posouzení nosníku IPE600

Pro tuto variantu střešní konstrukce bude navržen nosník profilu IPE600. Nosníky budou rozmístěny po 2,5 m. Pro střešní plášť bude použita skladba střechy viz Varianta 1.

Výpočet vlastní tíhy střešní konstrukce

	zat. šířka [m]	kg/m	kN/m
Ocelový nosník IPE600	-	122,5	1,225
Střešní plášť	2,5	-	1,475
Podhled (odhad)	-	-	0,700
celkem			3,400

Zatížení

Kombinace stálé minimální + vítr podélný (sání)

$$f_k = q_{k, \text{střecha}, \text{min}} + w_{ek, F} = 3,40 + 2,5 \cdot (-1,688) = -0,82 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha}, \text{min}} + \gamma_Q \cdot w_{ek, F} = 1,0 \cdot 3,40 + 1,5 \cdot 2,5 \cdot (-1,688) = -2,93 \text{ kN/m}^2$$

Kombinace stálé + sníh + ψ_0 .vítr podélný (tlak)

$$f_k = q_{k, \text{střecha}} + s_{\text{plochá}} + w_{ek, I}$$

$$f_k = 3,40 + 0,56 + (2,5 \cdot 0,188) = 4,43 \text{ kN/m}$$

$$f_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha}} + \gamma_Q \cdot s_{\text{plochá}} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot w_{ek, I}$$

$$f_{Ed} = 1,35 \cdot 3,40 + 1,5 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (2,5 \cdot 0,188) = 5,853 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_{Ed} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 5,853 \cdot 20^2 = 292,7 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_{Ed} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 5,853 \cdot 20 = 58,53 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_{Ed} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot (-2,93) \cdot 20^2 = -146,5 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_{Ed} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot (-2,93) \cdot 20 = -29,3 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky

Průřez třídy 1

$$A = 15\,600 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 3\,069 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 3\,512 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_w = 2\,846\,000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

$$I_t = 165,4 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 3\,387 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 92\,080 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_{v,z} = 8\,378 \text{ mm}^2$$

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3\,512 \cdot 10^3 \cdot 235}{1} = 825,35 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{292,7}{825,35} = 0,36 \leq 1$$

Vyhovuje.

Únosnost na klopení při tlaku (uvažováno, že průřez neklopí)

$$\chi_{LT} = 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot 3\,512 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1} = 825,32 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{292,7}{825,32} = 0,36 \leq 1$$

Vyhovuje.

Únosnost na klopení při sání (uvažováno, že průřez klopí)

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,221 \cdot 3\,512 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1} = 182,4 \text{ kNm}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,586 + \sqrt{2,586^2 - 0,75 \cdot 1,988^2}} = 0,221$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,988 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,988^2] = 2,586$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3\,070 \cdot 10^3 \cdot 235}{182,625 \cdot 10^6}} = 1,988$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,191 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210\,000 \cdot 3\,387 \cdot 10^4 \cdot 81\,000 \cdot 165,4 \cdot 10^4}}{20\,000}$$

$$M_{cr} = \mathbf{182,625\ kNm}$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,13}{1} \cdot \sqrt{1 + 0,332^2} = 1,191$$

$$C_1 = 1,13$$

Parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 20\,000} \cdot \sqrt{\frac{210\,000 \cdot 2\,846\,000 \cdot 10^6}{81\,000 \cdot 165,4 \cdot 10^4}} = 0,332$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{146,5}{182,4} = \mathbf{0,80} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{8\,378 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = \mathbf{1\,136,7\ kN} > V_{Ed} = \mathbf{58,53\ kN}$$

Vyhovuje.

Průhyb

$$w = \frac{5}{384} \cdot \frac{f_{ek} \cdot L^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,43 \cdot 20\,000^4}{210\,000 \cdot 92\,080 \cdot 10^4} = 47,7\ mm$$

$$w = \mathbf{47,7\ mm} \leq \frac{L}{250} = \mathbf{80\ mm}$$

Vyhovuje.

2.2.2 Posouzení svařovaného nosníku

Pro tuto variantu nosníku bude použit nosník svařovaného I profilu. Nosníky budou rozmístěny po 5 m. Pro střešní plášť bude použita skladba střechy viz Varianta 2. Svařovaný nosník bude posouzen ve dvou variantách. Ve variantě SN-1 bude navržen svařovaný profil tak, aby tlačaná pásnice byla třídy 1 a stojina třídy 3. Pro variantu SN-2 bude tlačaná pásnice třídy 3 a stojina třídy 4.

Vpočet vlastní tíhy stropní konstrukce

	zat. šířka [m]	kg/m	kN/m
Ocelový nosník (odhad)	-	240	2,400
Střešní plášť	5,0	-	3,165
Podhled (odhad)	-	-	0,700
celkem			6,265

Zatížení

Kombinace stálé minimální + vítr podélný (sání)

$$f_k = q_{k, \text{střecha}, \text{min}} + w_{ek, F} = 6,265 + 5 \cdot (-1,688) = -2,175 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha}, \text{min}} + \gamma_Q \cdot w_{ek, F} = 1,0 \cdot 6,265 + 1,5 \cdot 5 \cdot (-1,688) = -6,395 \text{ kN/m}^2$$

Kombinace stálé + sníh + ψ_0 -vítr podélný (tlak)

$$f_k = q_{k, \text{střecha}} + s_{\text{plochá}} + w_{ek, I}$$

$$f_k = 6,265 + 0,56 + (5 \cdot 0,188) = 7,765 \text{ kN/m}$$

$$f_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha}} + \gamma_Q \cdot s_{\text{plochá}} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot w_{ek, I}$$

$$f_{Ed} = 1,35 \cdot 6,265 + 1,5 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (5 \cdot 0,188) = 10,144 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_{Ed} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 10,144 \cdot 20^2 = 507,2 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_{Ed} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 10,144 \cdot 20 = 101,44 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_{Ed} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot (-6,395) \cdot 20^2 = -319,75 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot f_{Ed} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot (-6,395) \cdot 20 = -63,95 \text{ kN}$$

2.2.2.1 Svařovaný nosník SN-1

Navrhuji:

$$h = 760 \text{ mm}$$

$$b = 330 \text{ mm}$$

$$t_p = 18 \text{ mm}$$

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

Průřezové charakteristiky

$$A = 16\,998 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 186\,340 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 10\,783 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

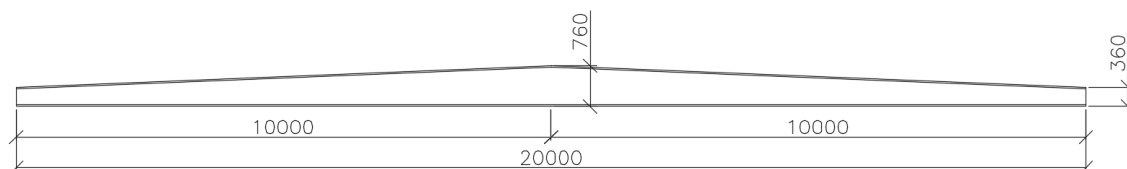
$$W_{pl, y} = 5\,342,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

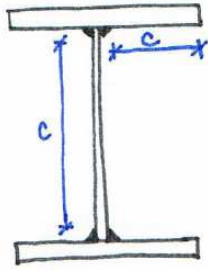
$$W_y = 4\,903,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_w = 14\,825\,000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

$$I_t = 1\,334,7 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_{v, z} = 5\,302,2 \text{ mm}^2$$





Tlačená pásnice

$$c/t = 154,5/18 = 8,58 \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$c/t = 8,58 \leq 9 \cdot 1 = 9$$

Třída 1

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

Stojina

$$c/t = 710/7 = 101,43 \leq 124 \cdot \varepsilon$$

Třída 3

Posouzení na ohyb

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5\,342,8 \cdot 10^3 \cdot 235}{1} = 1\,255,6 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{507,2}{1\,255,6} = 0,40 \leq 1$$

Vyhovuje.

Únosnost na klopení při tlaku (uvažováno, že průřez neklopí)

$$\chi_{LT} = 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot 5\,342,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1} = 1\,255,6 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{507,2}{1\,255,6} = 0,40 \leq 1$$

Vyhovuje.

Únosnost na klopení při sání (uvažováno, že průřez klopí)

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,263 \cdot 5\,342,8 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1} = 330,11 \text{ kNm}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,215 + \sqrt{2,215^2 - 0,75 \cdot 1,781^2}} = 0,263$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (1,781 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,781^2] = 2,215$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4\,903,6 \cdot 10^3 \cdot 235}{363,23 \cdot 10^9}} = 1,781$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,478 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210\,000 \cdot 10\,783 \cdot 10^4 \cdot 81\,000 \cdot 1\,334,7 \cdot 10^4}}{20\,000}$$

$$M_{cr} = \mathbf{363,23\ kNm}$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,13}{1} \cdot \sqrt{1 + 0,843^2} = 1,478$$

$$C_1 = 1,13$$

Parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 20\,000} \cdot \sqrt{\frac{210\,000 \cdot 14\,825\,000 \cdot 10^6}{81\,000 \cdot 1\,334,7 \cdot 10^4}} = 0,843$$

Součinitelé

$$C_1 = 1,13$$

$$k_z = 1 \quad \text{není bráněno deplanaci}$$

$$k_w = 1 \quad \text{kloubové podepření}$$

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,76$$

$$\beta = 0,75$$

Posouzení

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{319,75}{330,11} = \mathbf{0,969 \leq 1}$$

Vyhovuje.

Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{5\,570 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = \mathbf{755,7\ kN} > V_{Ed} = \mathbf{101,44\ kN}$$

Průhyb

charakteristické zatížení $f_k = 7,765\ kN/m$

$w = 74,7\ mm$ software Scia Engineer 16

$$w = \mathbf{74,7\ mm} \leq \frac{L}{250} = \mathbf{80\ mm}$$

Vyhovuje.

2.2.2.2 Svařovaný nosník SN-2

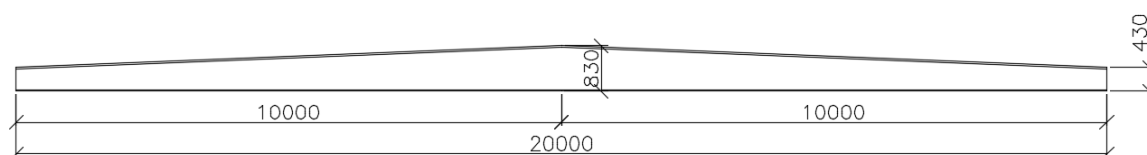
Zvolené hodnoty pro největší průřez nosníku:

$$h = 830\ mm$$

$$b = 300\ mm$$

$$t_p = 14\ mm$$

$$t_w = 5\ mm$$



Průřezové charakteristiky

$$A = 12\,460 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 162\,130 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 63\,009 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

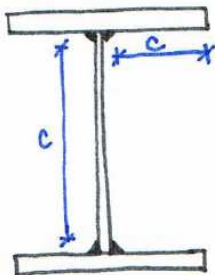
$$W_{pl,y} = 4\,251,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_y = 3\,906,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_w = 10\,479\,000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

$$I_t = 57,412 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_{v,z} = 4\,136 \text{ mm}^2$$



Tlačená pásnice

$$c/t = 142,5/14 = 10,2 \leq 14 \cdot \varepsilon$$

$$c/t = 10,2 \leq 14 \cdot 1 = 14$$

Třída 3

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

Stojina

$$c/t = 792/5 = 158,4 \geq 124 \cdot \varepsilon = 124$$

Třída 4

Momentová únosnost

Momentová únosnost je počítána pro největší průřez střešního nosníku, protože právě tento průřez je umístěn v místě největšího namáhání, tj. v místě největšího ohybového momentu v poli.

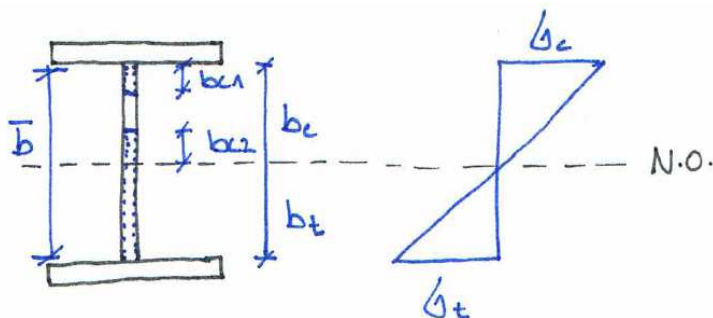
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{eff,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \geq M_{Ed}$$

$$M_{b,Rd} = 0,775 \cdot 3,6672 \cdot 10^6 \cdot \frac{235}{1,0} = 667,89 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 319,75 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{319,75}{667,89} = 0,48 \leq 1$$

Vyhovuje.

Poměr koncových napětí – stěna bez svarů



$$\psi = \frac{\sigma_t}{\sigma_c} = -1 \quad \text{první krok – těžiště uprostřed průřezu}$$

$$\bar{b} = 792 \text{ mm}$$

$$b_c = 396 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} = \rho \cdot b_c$$

$$b_{c1} = 0,4 \cdot b_{\text{eff}}$$

$$b_{c2} = 0,6 \cdot b_{\text{eff}}$$

Poměrná štíhlost stěny

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\sqrt{f_y}}{\sqrt{\sigma_{\text{cr}}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_G}}$$

Součinitel kritického napětí

$$\text{pro } \psi = -1 \quad k_G = 23,9$$

$$\text{pro } 0 > \psi > -1 \quad k_G = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2$$

Redukční součinitel ρ

pro vnitřní tlačené části

$$\rho = 1 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,673$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

pro $\bar{\lambda}_p > 0,673$, kde $(3 + \psi) \geq 0$

Iterace	λ_p	ψ	k_G	ρ	x	b_c	b_{eff}	b_{e1}	b_{e2}	b_0
1.	1,402	-1	23,9	0,657	0,000	396,000	260,366	104,147	156,220	135,634
2.	1,451	-0,937	22,299	0,635	12,896	408,896	259,766	103,907	155,860	149,129
3.	1,458	-0,929	22,094	0,632	14,667	410,667	259,703	103,881	155,822	150,964
4.	1,459	-0,927	22,066	0,632	14,916	410,916	259,694	103,878	155,816	151,222
5.	1,459	-0,927	22,062	0,632	14,951	410,951	259,693	103,877	155,816	151,258
6.	1,459	-0,927	22,061	0,632	14,956	410,956	259,692	103,877	155,815	151,263
7.	1,459	-0,927	22,061	0,632	14,957	410,957	259,692	103,877	155,815	151,264
8.	1,459	-0,927	22,061	0,632	14,957	410,957	259,692	103,877	155,815	151,264

$$I_{\text{eff},y} = 1,5767 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$W_{\text{eff},y} = 3,6672 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Stanovení redukce klopením

$$\chi_{\text{LT}} = \frac{1}{\Phi_{\text{LT}} + \sqrt{\Phi_{\text{LT}}^2 - \bar{\lambda}_{\text{LT}}^2}} \leq 1,0$$

$$\chi_{\text{LT}} = \frac{1}{\Phi_{\text{LT}} \cdot \sqrt{\Phi_{\text{LT}}^2 - \bar{\lambda}_{\text{LT}}^2}} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{\text{LT}}^2}$$

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

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

Kritický moment

$$M_{cr} = 1\,422,9 \text{ kNm}$$

Součinitele

$$\lambda_{LT,0} = 0,4$$

$$\alpha_{LT} = 0,76$$

$$\beta = 0,75$$

Výsledky:

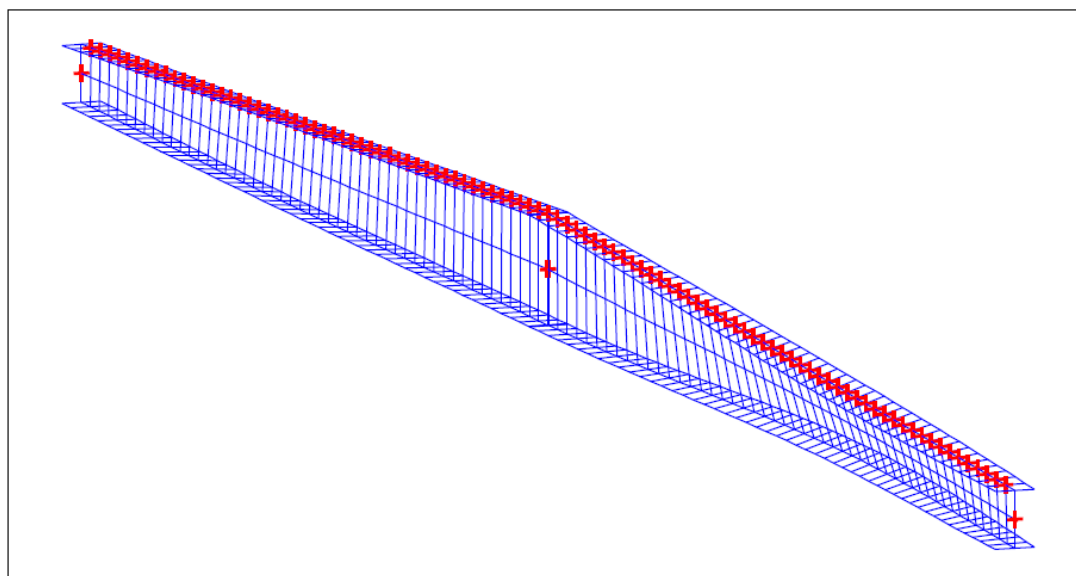
$$\chi_{LT} = 0,775$$

$$\Phi_{LT} = 0,895$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,803$$

Zohlednění střešních ztužidel a střešního pláště – pomocí software LT Beam
snížení L_{cr} na poloviční (tj. $L_{cr} = 10 \text{ m}$)

Mode	μ_{cr}	$M_{max,cr}$ [kN.m]	$x(M_{max})$ [m]	$N_{max,cr}$ [kN]	$x(N_{max})$ [m]
1	28,45	-1422,9	10	0	10



Protokol o výpočtu viz Příloha č. 1 – Výpočet kritického momentu v softwaru LT Beam

Smyková únosnost

Na smykovou únosnost bude posouzen nejmenší z průřezů tohoto nosníku, tj. krajní průřez. Příčné výztuhy jsou dvě a jsou umístěny nad podpory.

Průřezové charakteristiky

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

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_p = 14 \text{ mm}$$

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

$$h_w = 392 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 10\,460 \text{ mm}^2 \\
 I_y &= 39\,261 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\
 I_z &= 6\,300,5 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\
 W_{pl,y} &= 1\,959,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\
 W_y &= 1\,826,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Posudek

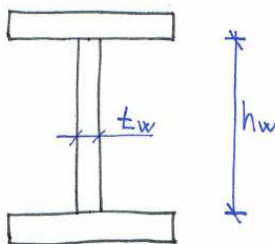
$$V_{b,Rd} \geq V_{Ed}$$

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd} \leq \frac{\eta \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

$$V_{bw,Rd} = 243,324 \text{ kN} \leq \frac{1,2 \cdot 235 \cdot 392 \cdot 5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 319,113 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

$V_{bf,Rd}$ příspěvek pásnice lze zanedbat



Příspěvek stojiny

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,915 \cdot 235 \cdot 392 \cdot 5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 243,324 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost pro výztuhy nad podporami

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{86,4 \cdot t \cdot \varepsilon} = \frac{392}{86,4 \cdot 5 \cdot 1} = 0,907$$

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{0,907} = 0,915 \leq \eta = 1,2$$

$\eta = 1,2$ pro $f_y \leq 460 \text{ MPa}$ a průřez profilu I

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

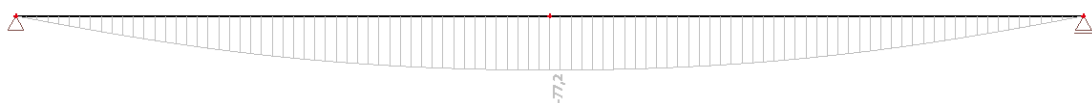
Ověření možnosti velkého smyku

$$V_{bw,Rd} = 243,324 \text{ kN} \geq 2 \cdot V_{Ed} = 2 \cdot 10,44 = 20,88 \text{ kN} \quad \text{Není velký smyk.}$$

Průhyb

charakteristické zatížení $f_k = 7,765 \text{ kN/m}$

$w_1 = 77,2 \text{ mm}$ software Scia Engineer 16



Průhyb se zohlednění efektivního momentu setrvačnosti svařovaného I-profilu pak bude

$$w = w_1 \cdot \frac{I_{eff,y}}{I_y} = 0,973 \cdot 77,2 = 75,12 \text{ mm} \leq \frac{L}{250} = 80 \text{ mm}$$

$$\frac{I_{\text{eff},y}}{I_y} = \frac{157\,670 \cdot 10^4}{162\,130 \cdot 10^4} = 0,973$$

2.2.3 Posouzení prolamovaného nosníku

Prolamovaný nosník bude posuzován ve dvou variantách střešní konstrukce, přičemž v první variantě (Varianta PN-1) budou nosníky rozmístěny po 2,5 m, ve druhé variantě Varianta PN-2) pak budou nosníky rozmístěny po 5 metrech.



2.2.3.1 Varianta PN-1

Pro střešní plášť bude použita skladba pláště viz. Varianta 1, tj. skladba s trapézovým plechem TR 50/250/0,75 na osovou vzdálenost nosníků 2,5 m.

Výpočet vlastní tíhy střešní konstrukce

	zat. šířka [m]	kg/m	kN/m
Prolamovaný nosník (odhad)	-	-	-
Střešní plášť	2,5	-	1,475
Podhled (odhad)	-	-	0,700
celkem			2,175

Zatížení

Vlastní tíhu započítá program.

Kombinace stálé minimální + vítr podélný (sání)

$$f_k = q_{k,\text{střecha},\text{min}} + w_{ek,F} = 2,175 + 2,5 \cdot (-1,688) = -2,045 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k,\text{střecha},\text{min}} + \gamma_Q \cdot w_{ek,F} = 1,0 \cdot 2,175 + 1,5 \cdot 2,5 \cdot (-1,688) = -4,155 \text{ kN/m}^2$$

Kombinace stálé + sníh + ψ_0 .vítr podélný (tlak)

$$f_k = q_{k,\text{střecha}} + s_{\text{plochá}} + w_{ek,I}$$

$$f_k = 2,175 + 0,56 + (2,5 \cdot 0,188) = 3,205 \text{ kN/m}$$

$$f_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k,\text{střecha}} + \gamma_Q \cdot s_{\text{plochá}} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot w_{ek,I}$$

$$f_{Ed} = 1,35 \cdot 2,175 + 1,5 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (2,5 \cdot 0,188) = 4,199 \text{ kN/m}$$

Výpočet pomocí softwaru ACB+

Návrh a posouzení viz Příloha č. 2 – Výpočet střešního nosníku PN-1

2.2.3.2 Varianta PN-2

Pro střešní plášť bude použita skladba střechy viz. Varianta 2, tj. skladba s trapézovým plechem TR 153/290/0,88 na osovou vzdálenost nosníků 5 m.

Výpočet vlastní tíhy střešní konstrukce

	zat. šířka [m]	kg/m	kN/m
Prolamovaný nosník (odhad)	-	-	-
Střešní plášť	5	-	3,165
Podhled (odhad)	-	-	0,700
celkem			3,865

Zatížení

Vlastní tíhu započítá program.

Kombinace stálé minimální + vítr podélný (sání)

$$f_k = q_{k, \text{střecha}, \text{min}} + w_{ek, F} = 3,865 + 5 \cdot (-1,688) = -4,575 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha}, \text{min}} + \gamma_Q \cdot w_{ek, F} = 1,0 \cdot 3,865 + 1,5 \cdot 5 \cdot (-1,688) = -8,795 \text{ kN/m}^2$$

Kombinace stálé + sníh + ψ_0 -vítr podélný (tlak)

$$f_k = q_{k, \text{střecha}} + s_{\text{plochá}} + w_{ek, I}$$

$$f_k = 3,865 + 0,56 + (5 \cdot 0,188) = 5,365 \text{ kN/m}$$

$$f_{Ed} = \gamma_F \cdot q_{k, \text{střecha}} + \gamma_Q \cdot s_{\text{plochá}} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot w_{ek, I}$$

$$f_{Ed} = 1,35 \cdot 3,865 + 1,5 \cdot 0,56 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (5 \cdot 0,188) = 6,904 \text{ kN/m}$$

Výpočet pomocí softwaru ACB+

Návrh a posouzení viz Příloha č. 3 – Výpočet střešního nosníku PN-2

2.2.4 Porovnání variant střešního nosníku

Varianta nosníku	Počet nosníků ve střešní konstrukci	Hmotnost nosníku	Celkem kg
Ocelový nosník IPE600	16	2 450	39 200
Svařovaný nosník I-profilu SN-1	8	2 449	19 592
Svařovaný nosník I-profilu SN-2	8	1 799	14 392
Prolamovaný nosník IPE750 PN-1	16	2 567	41 072
Prolamovaný nosník HEA450 PN-1	16	2 584	41 344
Prolamovaný nosník HEB650 PN-2	8	4 055	32 440

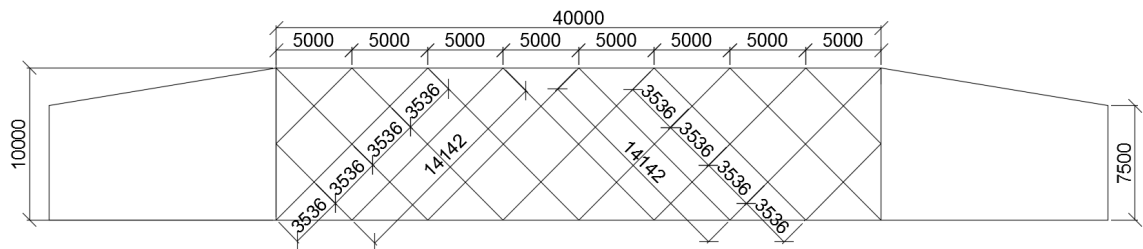
Závěr

Střešní nosník bude proveden jako svařovaný nosník varianty SN-2, protože tato varianta je ze všech šesti variant střešních nosníků nejvíce ekonomicky výhodná.

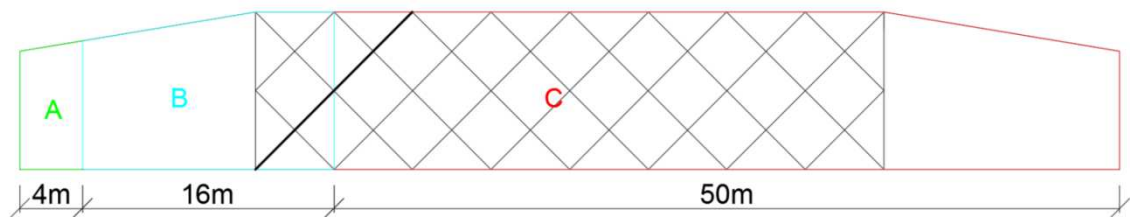
3 Šikmý fasádní sloup

3.1 Zatížení

Geometrie fasádních sloupů



Větrné oblasti podélného větru jsou zřejmé z obrázku níže. Posouzen bude sloup, který bude nejvíce namáhaný (tučně černě vyznačeno).



Výpočet reakcí od střešní konstrukce a od zatížení na střešní konstrukci

$L = 20 \text{ m}$ rozpětí haly, tj. délka střešního nosníku

$R_{G,k}$ = stálé + vlastní tíha střešního nosníku

$$R_{G,k} = [(3,165 + 0,7) + 0,90] \cdot \frac{L}{2} = (3,865 + 0,90) \cdot 10 = 47,65 \text{ kN}$$

$R_{Q,k}$ reakce od zatížení sněhem na střeše

$$R_{Q,k} = (s_{plochá} \cdot b) \cdot \frac{L}{2} = (0,56 \cdot 5) \cdot 10 = 28 \text{ kN}$$

$$w_{k,B} = w_{e,B} \cdot b = 0,75 \cdot 3,536 = 2,652 \text{ kN/m}$$

$$w_{k,C} = w_{e,C} \cdot b = 0,469 \cdot 3,536 = 1,658 \text{ kN/m}$$

Rozhodující kombinace: stálé + sníh + ψ_0 .vítr podélný (tlak oblast B)

$$R_{K,1} = R_{G,k} + R_{Q,k} + w_{k,B} \cdot \frac{L}{2} = 47,65 + 28 + 2,652 \cdot 10 = 102,17 \text{ kN}$$

$$R_{D,1} = \gamma_G \cdot R_{G,k} + \gamma_Q \cdot R_{Q,k} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot w_{k,B} \cdot \frac{L}{2} = 1,35 \cdot 47,65 + 1,5 \cdot 28 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 2,652 \cdot 10$$

$$R_{D,1} = 130,20 \text{ kN}$$

Kombinace: stálé + ψ_0 . sníh + vítr podélný (tlak oblast B)

$$R_{K,2} = R_{G,k} + R_{Q,k} + w_{k,B} \cdot \frac{L}{2} = 47,65 + 28 + 2,652 \cdot 10 = 102,17 \text{ kN}$$

$$R_{D,2} = \gamma_G \cdot R_{G,k} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot R_{Q,k} + \gamma_Q \cdot w_{k,B} \cdot \frac{L}{2} = 1,35 \cdot 47,65 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 28 + 1,5 \cdot 2,652 \cdot 10$$

$$R_{D,2} = 125,11 \text{ kN}$$

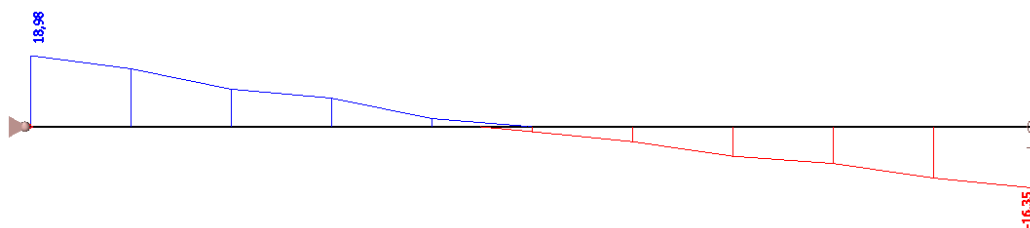
Vnitřní síly

$$N_{Ed} = \left(\frac{R_{D,1}}{\cos 45} \right) / 2 = \left(\frac{130,20}{\cos 45} \right) / 2 = 92,065 \text{ kN}$$

Výpočet V_{Ed} a M_{Ed} pomocí Scia Engineer

Kombinace: vlastní tíha + vítr

$$V_{Ed,max} = 18,98 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = 62,46 \text{ kNm}$$



3.2 Návrh a posouzení průřezu fasádního sloupu

Navrhuji HR 360x200x8

Tabulkové hodnoty průřezu

$$A = 8\,484,3 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 131 \text{ mm}$$

$$i_z = 84 \text{ mm}$$

$$I_t = 13\,690 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 14\,300 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 7\,540 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 813,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = 592,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 997,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 666,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Vzpěrná únosnost

Návrhová vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,562 \cdot 8\,484,3 \cdot 235}{1,0} = 1\,120,522 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{92,065}{1\,120,522 \text{ kN}} = 0,082 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,939 \cdot 8\,484,3 \cdot 235}{1,0} = 1\,872,188 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{92,065}{1\,872,188} = 0,049 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 14\,142 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 3\,536 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{14\,142}{131} = 107,95$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,536}{84} = 42,10$$

Poměrné štíhlosti

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{107,95}{93,9} = 1,150$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{42,1}{93,9} = 0,448$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Vzpěrnostní součinitelé

$$\text{Křivka „a“} \quad \chi_y = 0,562$$

$$\chi_z = 0,939$$

Interakce tlaku s ohybem

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 8\,484,3 \cdot 235 = 1\,993,81 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 997,2 \cdot 10^3 \cdot 235 = 234,34 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy}

$$C_{my} = 0,95$$

$$k_{yy} = \min \left\{ C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$
$$k_{yy} = \min \left\{ 0,95 \cdot \left(1 + (1,369 - 0,2) \cdot \frac{92,065 \cdot 10^3}{0,562 \cdot \frac{1\,993,81 \cdot 10^3}{1,0}} \right); 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{92,065 \cdot 10^3}{0,562 \cdot \frac{1\,993,81 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{1,024; 1,012\} = \mathbf{1,012}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,012 = \mathbf{0,607}$$

Podmínky únosnosti

$\chi_{LT} = 1,0$ uzavřené průřezy neklopí

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{92,065 \cdot 10^3}{0,562 \cdot \frac{1\,993,81 \cdot 10^3}{1}} + 1,012 \cdot \frac{62,46 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \frac{234,34 \cdot 10^3}{1}} = \mathbf{0,352} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{92,065 \cdot 10^3}{0,939 \cdot \frac{1\,993,81 \cdot 10^3}{1}} + 0,607 \cdot \frac{62,46 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \frac{234,34 \cdot 10^3}{1}} = \mathbf{0,211} \leq 1$$

Vyhovuje.

Únosnost průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{92,065 \cdot 10^3}{\frac{1\,993,81 \cdot 10^3}{1,0}} + \frac{62,46 \cdot 10^3}{\frac{234,34 \cdot 10^3}{1,0}} = \mathbf{0,313} \leq 1$$

Vyhovuje.

Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{5\,454,4 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = \mathbf{740,038\,kN} > V_{Ed} = \mathbf{18,98\,kN}$$

Vyhovuje.

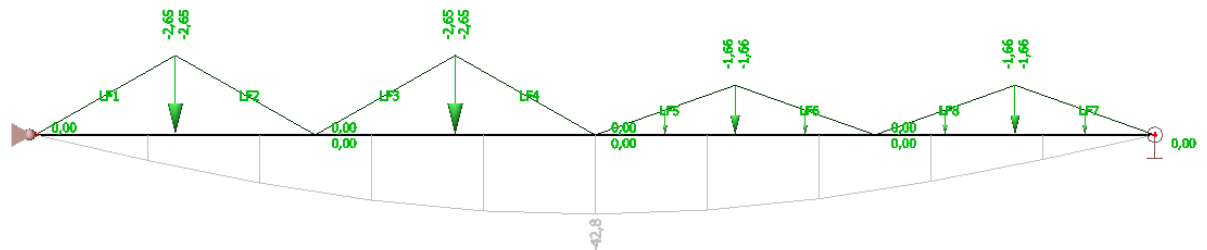
Válcované pravoúhlé duté průřezy s konstantní tloušťkou stěny – ztížené rovnoběžně s výškou

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} = \frac{8\,484,3 \cdot 360}{200 + 360} = 5\,454,4\,mm^2$$

Průhyb

pro průřez HR 360x200x8

$w = 42,8\,mm$ software Scia Engineer 16

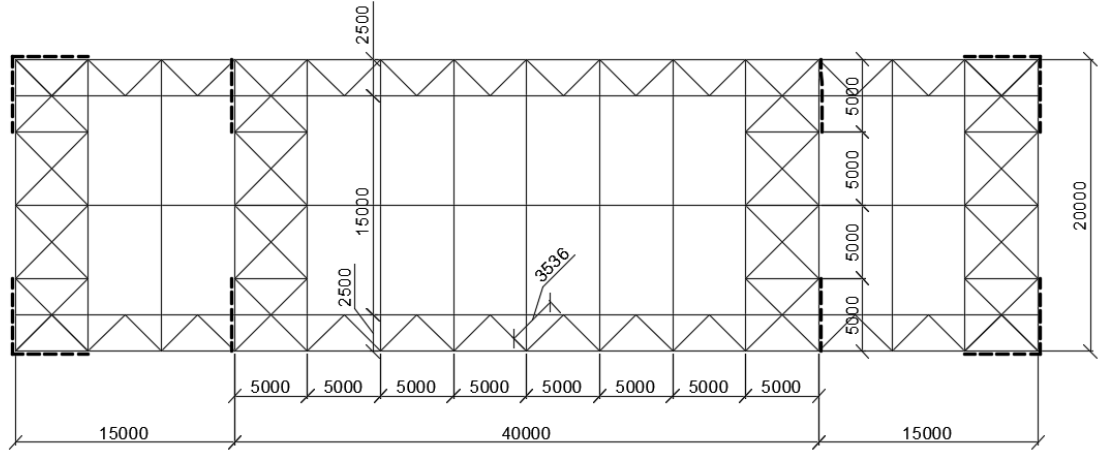


$$w = 42,8\,mm \leq \frac{L}{300} = \frac{14\,142}{300} = 47,14\,mm$$

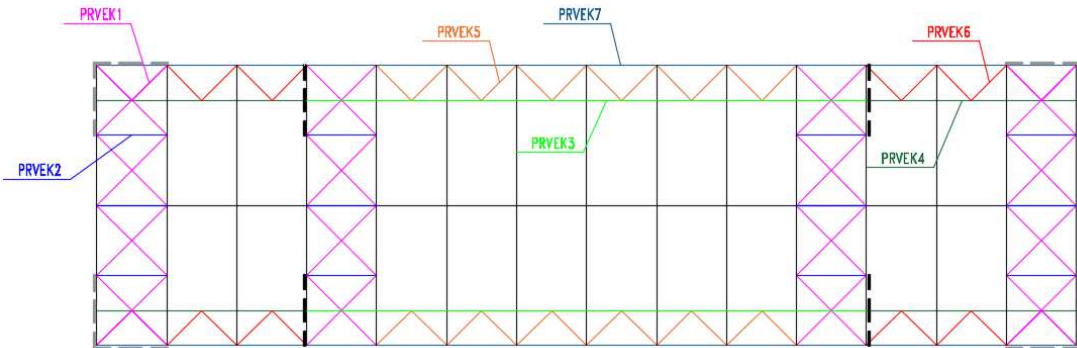
Vyhovuje.

4 Návrh střešních ztužidel

Geometrie střešních ztužidel



Rozmístění posuzovaných prvků

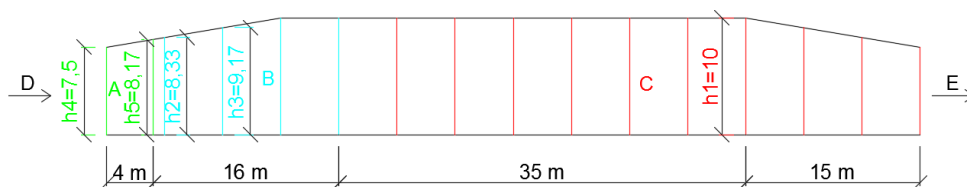


4.1 Zatížení

Výpočet zatížení bude proveden pro podélný i příčný vítr na stěny. Zatížení bude zadáno do programu Scia Engineer a s jeho pomocí budou vypočítány vnitřní síly působící na jednotlivé prvky střešní konstrukce.

Výpočet zatížení od větru působícího v podélném směru

Výšky objektu pro danou sílu/spojité zatížení od podélného větru na povrch stěny jsou patrné z obrázku níže.



kde $h_1 = 10 \text{ m}$, $h_2 = 8,33 \text{ m}$, $h_3 = 9,17 \text{ m}$, $h_4 = 7,5 \text{ m}$, $h_5 = 8,17 \text{ m}$
Zatěžovací šířka: $b = 5 \text{ m}$

Tlak větru na svislé stěny: $w_{e,k,A} = -1,126 \text{ kN/m}^2$, $w_{e,k,B} = -0,75 \text{ kN/m}^2$,
 $w_{e,k,C} = -0,469 \text{ kN/m}^2$, $w_{e,k,D} = 0,675 \text{ kN/m}^2$, $w_{e,k,E} = -0,281 \text{ kN/m}^2$

Charakteristické hodnoty zatížení jsou (součinitel $\gamma_F = 1,5$ zadán v softwaru).

$$F_1 = F_2 = \frac{b}{2} \cdot \frac{h_4}{2} \cdot w_{e,k,D} = \frac{5}{2} \cdot \frac{7,5}{2} \cdot 0,675 = 6,328 \text{ kN}$$

$$F_3 = F_4 = F_5 = b \cdot \frac{h_4}{2} \cdot w_{e,k,D} = 5 \cdot \frac{7,5}{2} \cdot 0,675 = 12,656 \text{ kN}$$

$$F_6 = F_7 = \frac{b}{2} \cdot \frac{h_4}{2} \cdot w_{e,k,E} = \frac{5}{2} \cdot \frac{7,5}{2} \cdot (-0,281) = -2,634 \text{ kN}$$

$$F_8 = F_9 = F_{10} = b \cdot \frac{h_4}{2} \cdot w_{e,k,E} = 5 \cdot \frac{7,5}{2} \cdot (-0,281) = -5,269 \text{ kN}$$

$$f_1 = w_{e,k,A} \cdot h_4 = -1,126 \cdot 7,5 = -8,445 \text{ kN/m}$$

$$f_2 = w_{e,k,A} \cdot h_5 = -1,126 \cdot 8,17 = -9,199 \text{ kN/m}$$

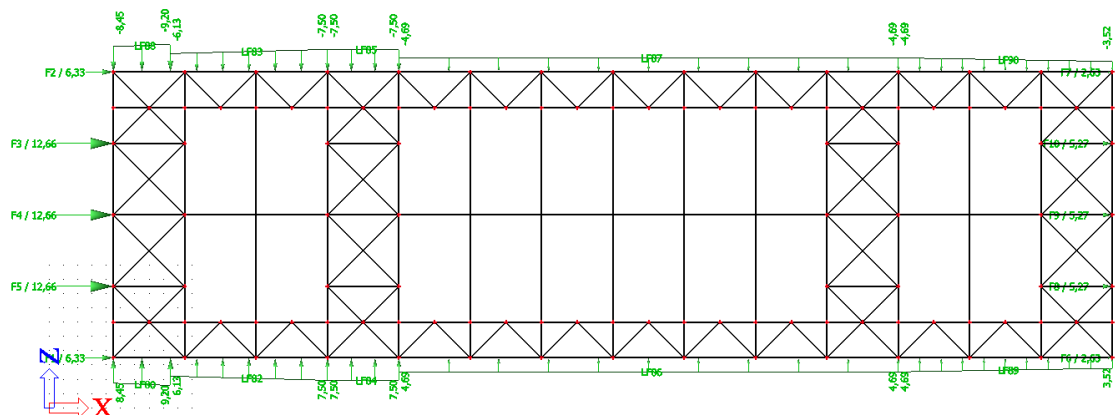
$$f_3 = w_{e,k,B} \cdot h_5 = -0,75 \cdot 8,17 = -6,125 \text{ kN/m}$$

$$f_4 = w_{e,k,B} \cdot h_1 = -0,75 \cdot 10 = -7,5 \text{ kN/m}$$

$$f_5 = w_{e,k,C} \cdot h_1 = -0,469 \cdot 10 = -4,69 \text{ kN/m}$$

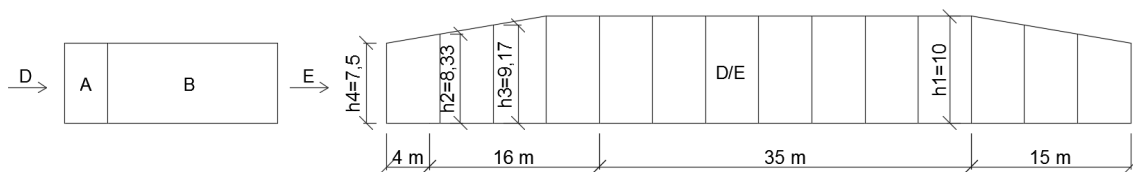
$$f_6 = w_{e,k,C} \cdot h_4 = -0,469 \cdot 7,5 = -3,518 \text{ kN/m}$$

Zatížení od podélného větru – výpočtový model



Výpočet zatížení od větru působícího v příčném směru

Výšky objektu pro danou sílu/spojité zatížení od příčného větru na povrch stěny jsou patrné z obrázku níže.



kde $h_1 = 10 \text{ m}$, $h_2 = 8,33 \text{ m}$, $h_3 = 9,17 \text{ m}$, $h_4 = 7,5 \text{ m}$

Zatěžovací šířka: $b = 5 \text{ m}$

tlak větru na svislé stěny: $w_{e,k,A} = -1,126 \text{ kN/m}^2$, $w_{e,k,B} = -0,938 \text{ kN/m}^2$, $w_{e,k,D} = -0,685 \text{ kN/m}^2$, $w_{e,k,E} = -0,347 \text{ kN/m}^2$

Charakteristické hodnoty zatížení jsou (součinitel $\gamma_F = 1,5$ zadán v softwaru):

$$F_{11} = F_{12} = \frac{b}{2} \cdot \frac{h_4}{2} \cdot w_{e,k,D} = \frac{5}{2} \cdot \frac{7,5}{2} \cdot (-0,685) = -6,422 \text{ kN}$$

$$F_{13} = F_{14} = b \cdot \frac{h_2}{2} \cdot w_{e,k,D} = 5 \cdot \frac{8,33}{2} \cdot (-0,685) = -14,27 \text{ kN}$$

$$F_{15} = F_{16} = b \cdot \frac{h_3}{2} \cdot w_{e,k,D} = 5 \cdot \frac{9,17}{2} \cdot (-0,685) = -15,861 \text{ kN}$$

$$F_{17} \div F_{25} = b \cdot \frac{h_1}{2} \cdot w_{e,k,D} = 5 \cdot \frac{10}{2} \cdot (-0,685) = -17,125 \text{ kN}$$

$$F_{26} = F_{27} = \frac{b}{2} \cdot \frac{h_4}{2} \cdot w_{e,k,E} = \frac{5}{2} \cdot \frac{7,5}{2} \cdot (-0,347) = -3,253 \text{ kN}$$

$$F_{28} = F_{29} = b \cdot \frac{h_2}{2} \cdot w_{e,k,E} = 5 \cdot \frac{8,33}{2} \cdot (-0,347) = -7,229 \text{ kN}$$

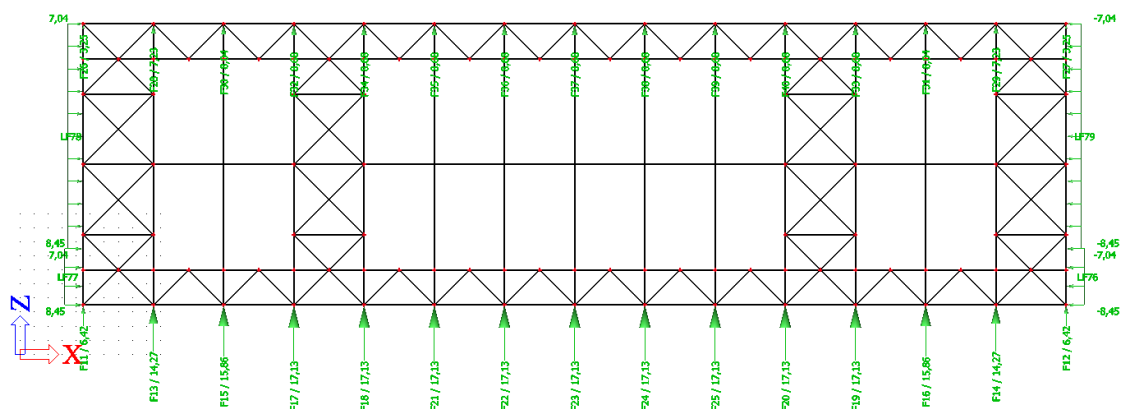
$$F_{30} = F_{31} = b \cdot \frac{h_3}{2} \cdot w_{e,k,E} = 5 \cdot \frac{9,17}{2} \cdot (-0,347) = -8,035 \text{ kN}$$

$$F_{32} \div F_{40} = b \cdot \frac{h_1}{2} \cdot w_{e,k,E} = 5 \cdot \frac{10}{2} \cdot (-0,347) = -8,675 \text{ kN}$$

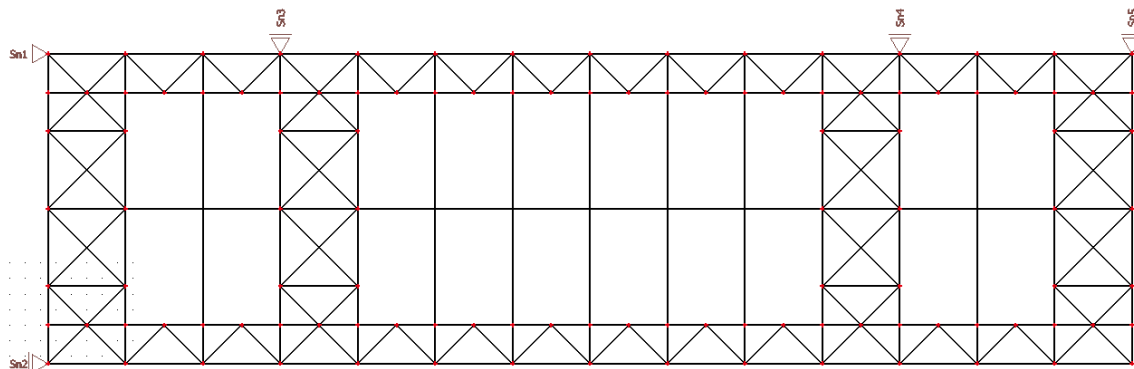
$$f_7 = w_{e,k,A} \cdot h_4 = -1,126 \cdot 7,5 = -8,445 \text{ kN/m}$$

$$f_8 = w_{e,k,B} \cdot h_4 = -0,938 \cdot 7,5 = -7,035 \text{ kN/m}$$

Zatížení od příčného větru – výpočtový model



Reakce na svislá tužidla

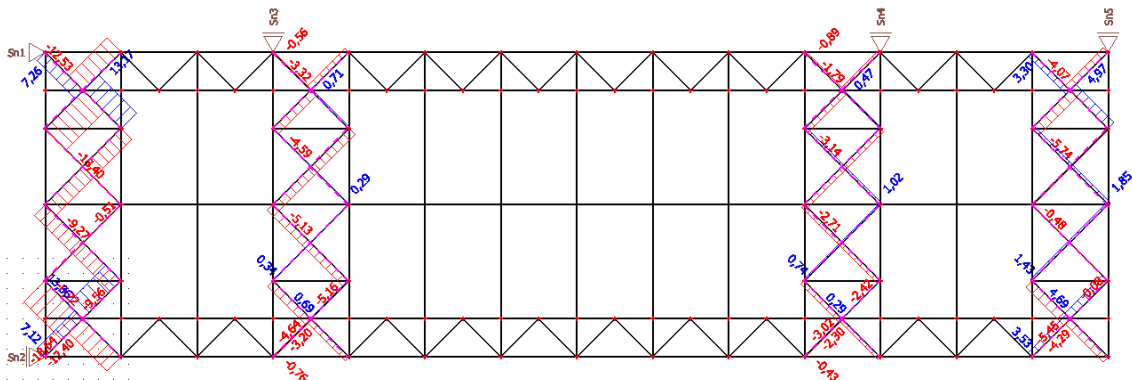


Reakce od zatížení podélným větrem

Podpora	Stav	Rx [kN]	Rz [kN]	
1	Sn1/N64	podélný v./1	-54.05	-0.40
2	Sn1/N64	podélný v./2	0.00	0.00
3	Sn2/N1	podélný v./1	-53.49	0.00
4	Sn2/N1	podélný v./2	0.00	0.00
5	Sn3/N79	podélný v./2	0.00	0.00
6	Sn3/N79	podélný v./1	0.00	0.49
7	Sn4/N111	podélný v./2	0.00	0.00
8	Sn4/N111	podélný v./1	0.00	0.48
9	Sn5/N123	podélný v./2	0.00	0.00
10	Sn5/N123	podélný v./1	0.00	-0.56

$$N_{Ed} = 34,84 \text{ kN}$$

Normálové síly od zatížení podélným větrem



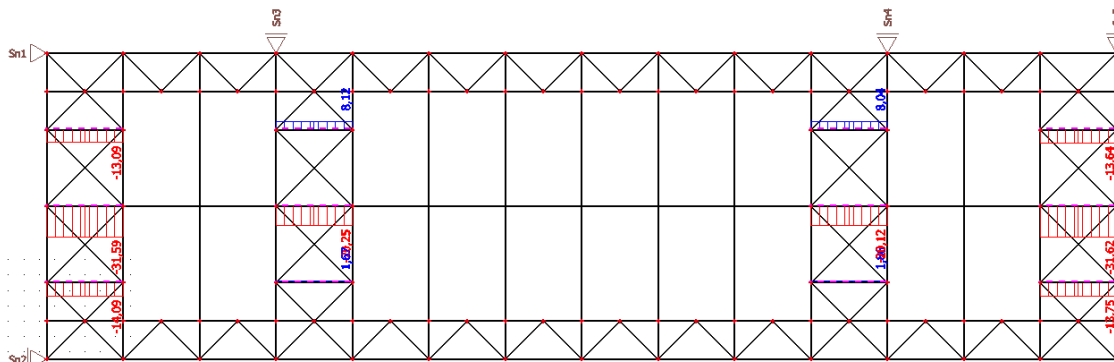
$$N_{Ed} = -18,64 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 13,36 \text{ kN}$$

Prvek1		
Profil	TR 76x3,2	
Vzpěrná únosnost		
N_{Ed}	-47,610	kN
$N_{b,Rd}$	56,422	kN
f_y	235	MPa
L_{cr}	3 536	mm
α	0,49	křivka "c"
A	732	mm ²
i	25,8	mm
λ_1	93,9	
λ	137,054	
$\bar{\lambda}$	1,460	
Φ	1,874	
χ	0,328	
Jednotkový posudek		
1 >	0,844	VYHOVUJE.
Tahová únosnost		
N_{Rd}	172,020	kN
N_{Ed}	34,840	kN
Jednotkový posudek		
1 >	0,203	VYHOVUJE.

4.2.2 Svislice příčného ztužidla – Prvek2

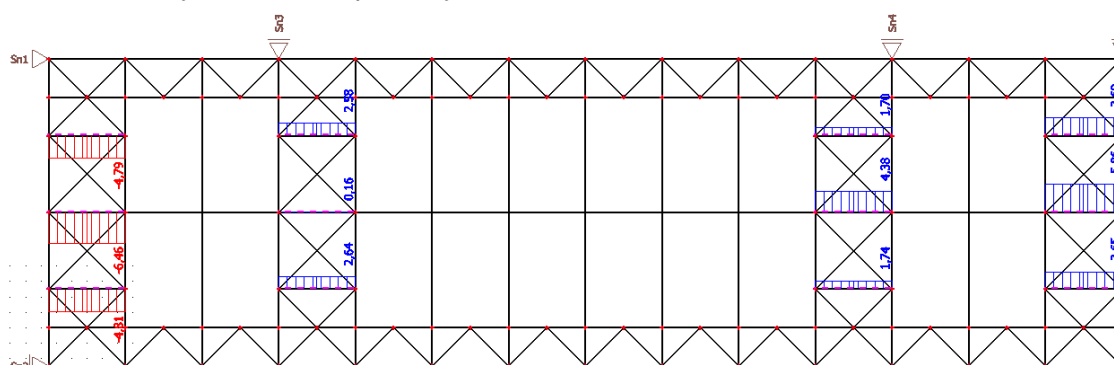
Normálové síly od zatížení příčným větrem



$$N_{Ed} = -31,62 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 8,12 \text{ kN}$$

Normálové síly od zatížení podélným větrem



$$N_{Ed} = -6,46 \text{ kN}$$

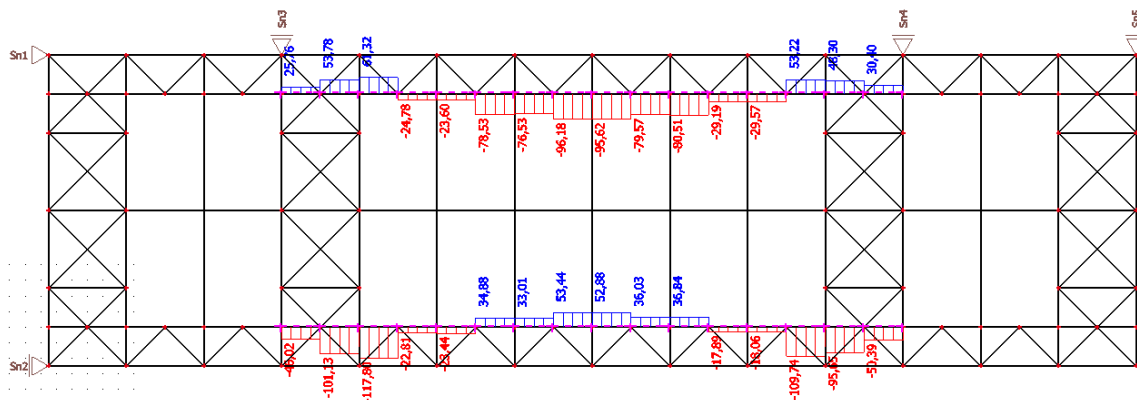
$$N_{Ed} = 5,86 \text{ kN}$$

Prvek2		
Profil	TR 76x3,2	
Vzpěrná únosnost		
N_{Ed}	-31,620	kN
$N_{b,Rd}$	31,966	kN
f_y	235	MPa
L_{cr}	5 000	mm
α	0,49	křivka "c"
A	732	mm ²
i	25,8	mm
λ_1	93,9	
λ	193,798	
$\bar{\lambda}$	2,064	
Φ	3,086	
χ	0,186	
Jednotkový posudek		
1 >	0,989	VYHOVUJE.
Tahová únosnost		
N_{Rd}	172,020	kN

N_{Ed}	8,120	kN
Jednotkový posudek		
1 >	0,047	VYHOVUJE.

4.2.3 Průběžný prvek podélného ztužidla – Prvek3

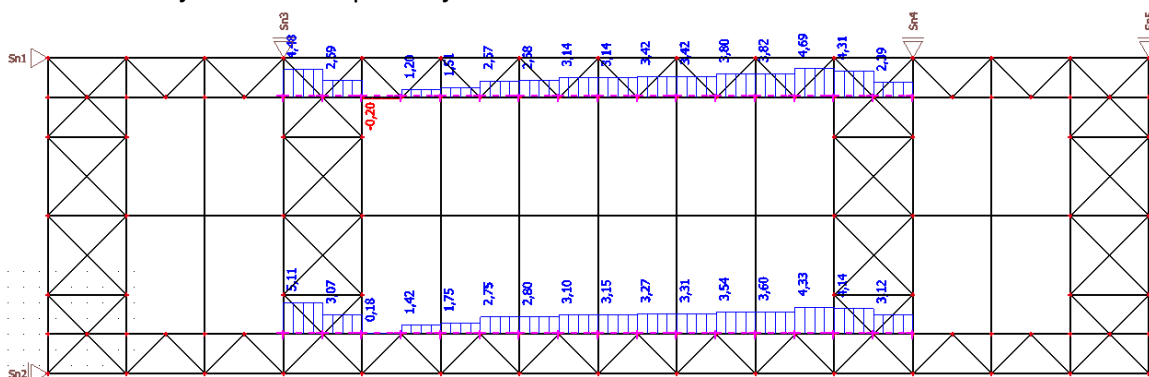
Normálové síly od zatížení příčným větrem



$$N_{Ed,I} = -117,80 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,I} = 61,32 \text{ kN}$$

Normálové síly od zatížení podélným větrem



$$N_{Ed,I} = -0,20 \text{ kN}$$

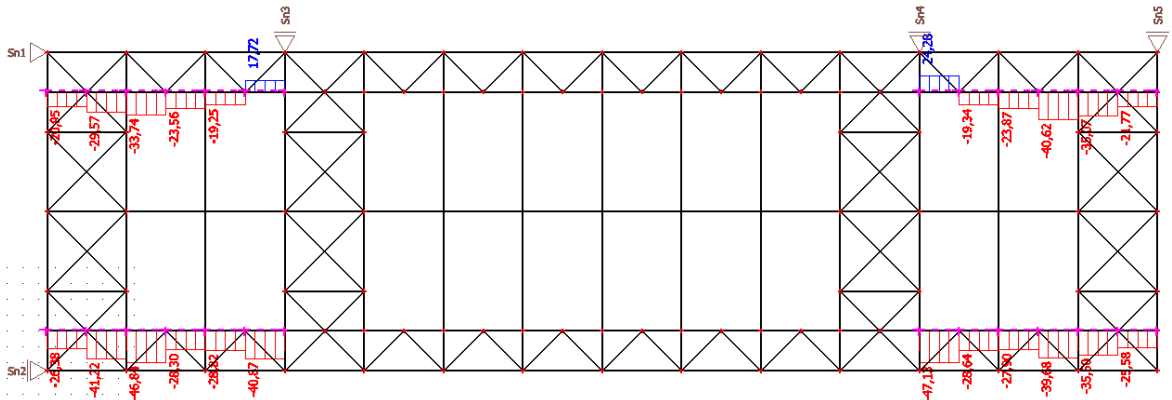
$$N_{Ed,I} = 5,11 \text{ kN}$$

Prvek3		
Profil	TR 127x4,0	
Vzpěrná únosnost		
N_{Ed}	-117,800	kN
$N_{b,Rd}$	153,474	kN
f_y	235	MPa
L_{cr}	5 000	mm
α	0,49	křivka "c"
A	1 546	mm ²
i	43,5	mm
λ_1	93,9	
λ	114,943	
$\bar{\lambda}$	1,224	
Φ	1,500	

χ	0,422	
Jednotkový posudek		
1 >	0,768	VYHOVUJE.
Tahová únosnost		
N_{Rd}	157940	kN
N_{Ed}	61320	kN
Jednotkový posudek		
1 >	0,388	VYHOVUJE.

4.2.4 Průběžný prvek podélného ztužidla – Prvek4

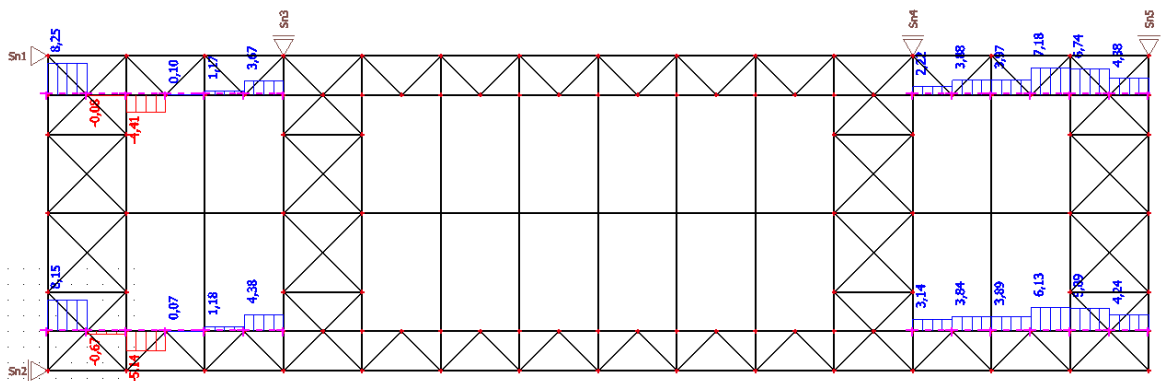
Normálové síly od zatížení příčným větrem



$$N_{Ed,II} = -47,13 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,II} = 24,28 \text{ kN}$$

Normálové síly od zatížení podélným větrem



$$N_{Ed,II} = -5,14 \text{ kN}$$

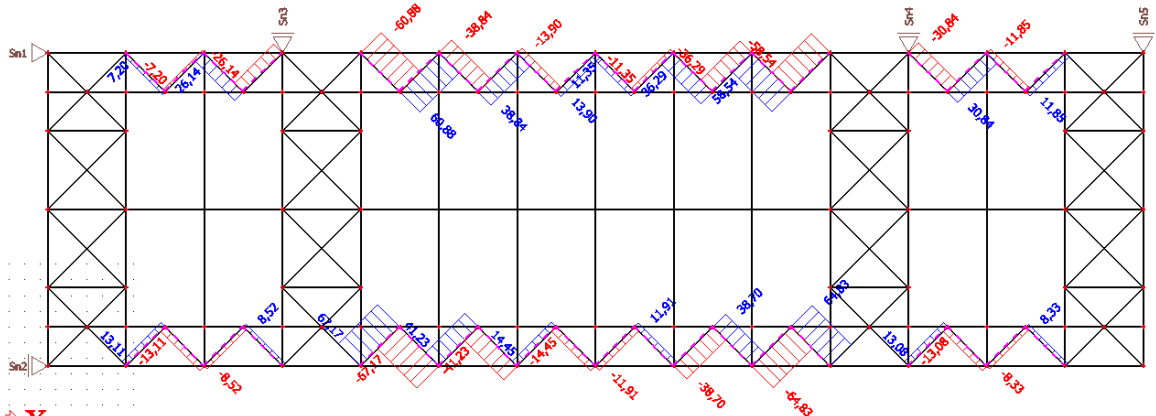
$$N_{Ed,II} = 8,25 \text{ kN}$$

Prvek4		
Profil	TR 89x3,6	
Vzpěrná únosnost		
N_{Ed}	-47,130	kN
$N_{b,Rd}$	55,096	kN
f_y	235	MPa
L_{cr}	5 000	mm
α	0,49	křivka "c"
A	966	mm ²

i	30,2	mm
λ_1	93,9	
λ	165,563	
$\bar{\lambda}$	1,763	
Φ	2,437	
χ	0,243	
Jednotkový posudek		
1 >	0,855	VYHOVUJE.
Tahová únosnost		
N_{Rd}	227,010	kN
N_{Ed}	24,280	kN
Jednotkový posudek		
1 >	0,107	VYHOVUJE.

4.2.5 Diagonála podélného ztužidla

Normálové síly od zatížení příčným větrem



Pro Prvek5

$$N_{Ed} = -67,17 \text{ kN}$$

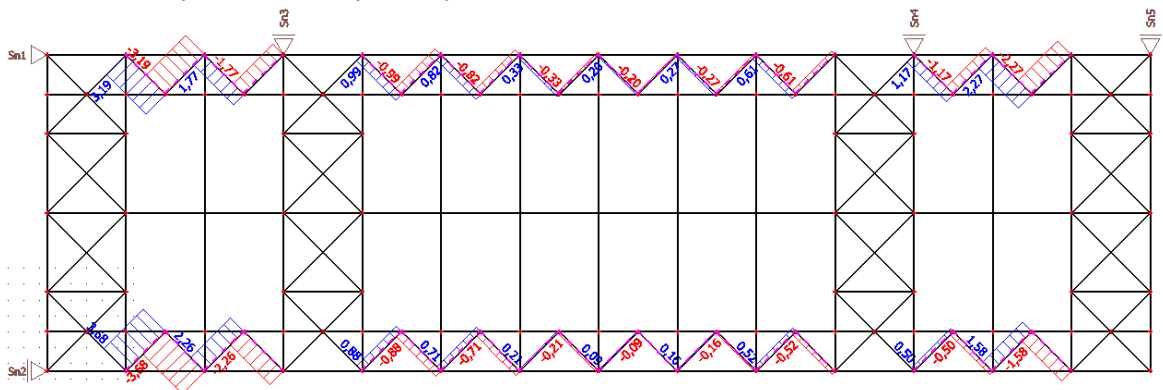
$$N_{Ed} = 67,17 \text{ kN}$$

Pro Prvek6

$$N_{Ed} = -30,84 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 30,84 \text{ kN}$$

Normálové síly od zatížení podélným větrem



Pro Prvek5

$$N_{Ed} = -0,99 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 0,99 \text{ kN}$$

Pro Prvek6

$$N_{Ed} = -3,68 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 3,68 \text{ kN}$$

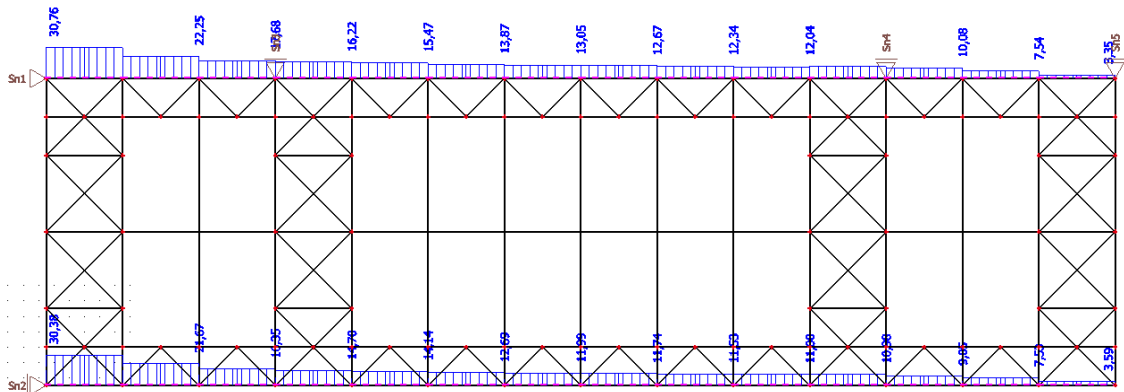
Prvek5		
Profil	TR 82,5x3,6	
Vzpěrná únosnost		
N_{Ed}	-67,170	kN
$N_{b,Rd}$	77,242	kN
f_y	235	MPa
L_{cr}	3 536	mm
α	0,49	křivka "c"
A	892	mm ²
i	27,9	mm
λ_1	93,9	
λ	126,738	
$\bar{\lambda}$	1,350	
Φ	1,693	
χ	0,368	
Jednotkový posudek		
1 >	0,870	VYHOVUJE.
Tahová únosnost		
N_{Rd}	209,62	kN
N_{Ed}	67,170	kN
Jednotkový posudek		
1 >	0,320	VYHOVUJE.

Prvek6		
Profil	TR 63,5x2,9	
Vzpěrná únosnost		
N_{Ed}	-30,840	kN
$N_{b,Rd}$	31,587	kN
f_y	235	MPa
L_{cr}	3 536	mm
α	0,49	křivka "c"
A	552	mm ²
i	21,4	mm
λ_1	93,9	
λ	165,234	
$\bar{\lambda}$	1,760	
Φ	2,430	
χ	0,244	
Jednotkový posudek		

1 >	0,976	VYHOVUJE.
Tahová únosnost		
N_{Rd}	129,720	kN
N_{Ed}	30,840	kN
Jednotkový posudek		
1 >	0,238	VYHOVUJE.

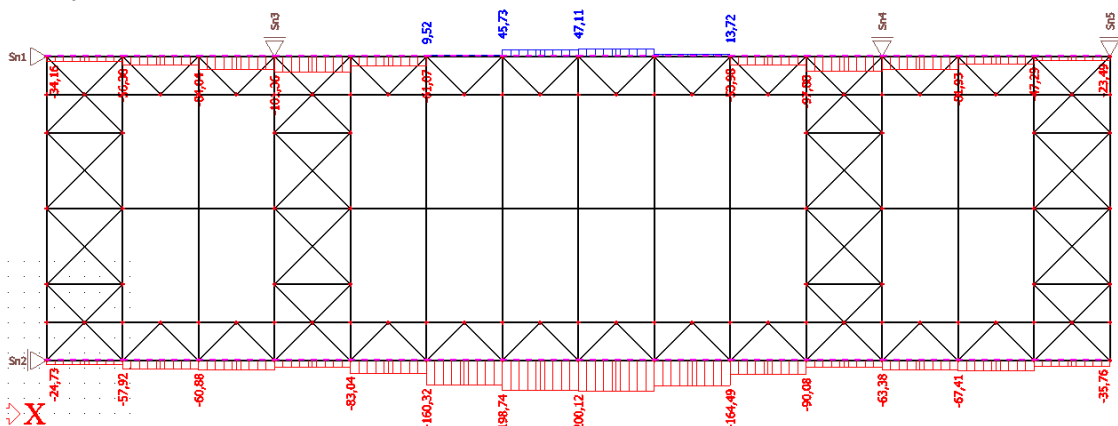
4.2.6 Průběžný nosník

Podélný vítr



$$N_{Ed} = 30,76 \text{ kN}$$

Příčný vítr



$$N_{Ed} = -200,12 \text{ kN}$$

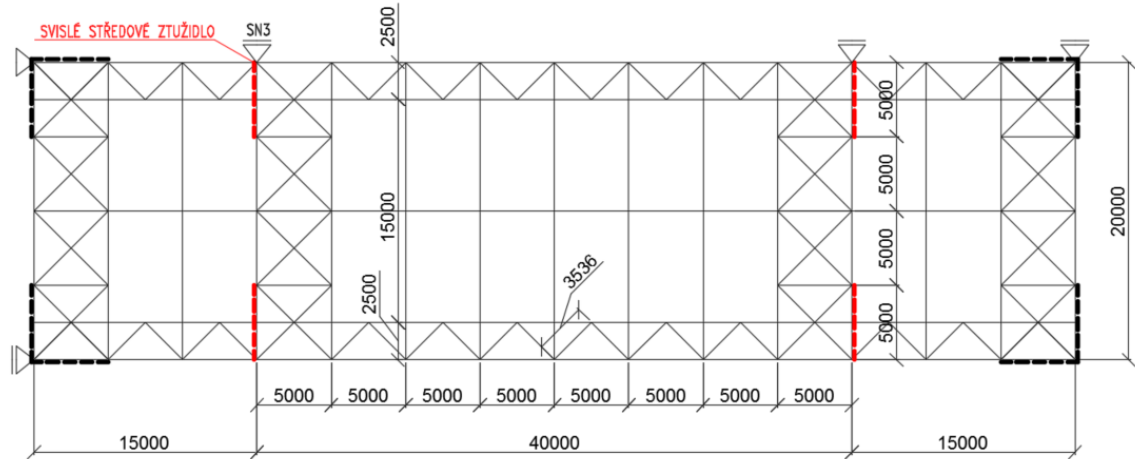
$$N_{Ed} = 47,11 \text{ kN}$$

Prvek7		
Profil	HR 360x200x10	
Vzpěrná únosnost		
N_{Ed}	-200,120	kN
$N_{b,Rd}$	2 174,534	kN
f_y	235	MPa
L_{cr}	5 000	mm
α	0,49	křivka "c"
A	10 371	mm ²
i_y	130	mm

λ_1	93,9	
λ	38,462	
$\bar{\lambda}$	0,410	
Φ	0,635	
χ	0,892	
Jednotkový posudek		
1>	0,092	VYHOVUJE.
Vzpěrná únosnost		
$N_{b,Rd}$	1 841,910	<i>kN</i>
i_z	82	<i>mm</i>
λ_1	93,9	
λ	60,976	
$\bar{\lambda}$	0,649	
Φ	0,821	
χ	0,756	
Jednotkový posudek		
1>	0,109	VYHOVUJE.
Tahová únosnost		
N_{Rd}	2 437,185	<i>kN</i>
N_{Ed}	47,110	<i>kN</i>
Jednotkový posudek		
1>	0,019	VYHOVUJE.

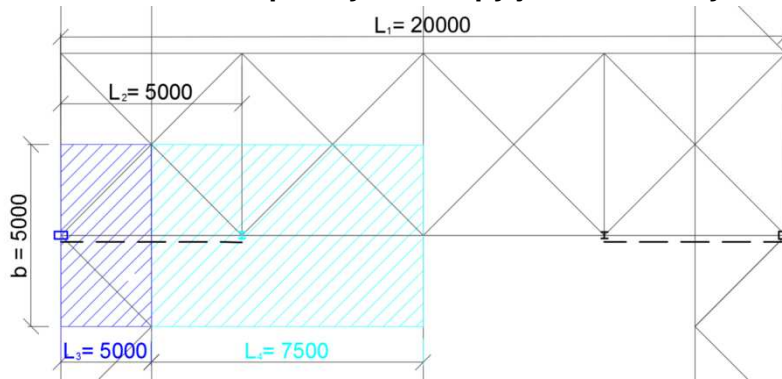
5 Návrh svislého ztužidla

Schéma umístění svislých ztužidel



5.1 Zatížení

Schéma zatěžovací plochy na sloupy jedno ze svislých ztužidel



Reakce od příčného větru

$$R_Z = 205,97 \text{ kN} \quad \text{reakce podpory Sn3}$$

$$F_1 = \frac{R_Z}{2} = \frac{205,97}{2} = 102,985 \text{ kN}$$

Spojité zatížení od podélného větru na stěnu

$$w_{k,B} = w_{e,B} \cdot b = 0,75 \cdot 5 = 3,75 \text{ kN/m}$$

$$w_{Ed,B} = w_{k,B} \cdot \gamma_Q = 3,75 \cdot 1,5 = 5,625 \text{ kN/m}$$

Reakce od střešní konstrukce a od zatížení na střešní konstrukci při rozhodující kombinaci: stálé + sníh + ψ_0 vítr podélný (tlak oblast B)

$$R_{G,k} = \text{stálé} + \text{vlastní tíha střešního nosníku}$$

Reakce působící na krajní sloup ztužidla

$$L_3 = \frac{L_2}{2} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ m}$$

$R_{Q,k,3}$ reakce od zatížení sněhem na střeše

$$R_{G,k,3} = [(3,165 + 0,7) + 0,90] \cdot L_3 = (3,865 + 0,90) \cdot 2,5 = 23,825 \text{ kN}$$

$$R_{Q,k,3} = (s_{\text{plochá}} \cdot b) \cdot L_3 = (0,56 \cdot 5) \cdot 2,5 = 7 \text{ kN}$$

$$w_{k,B} = w_{e,B} \cdot b = 0,75 \cdot 5 = 3,75 \text{ kN/m}$$

$$R_{K,3} = R_{G,k,3} + R_{Q,k,3} + w_{k,B} \cdot L_3 = 23,825 + 7 + 3,75 \cdot 2,5 = 56,726 \text{ kN}$$

$$R_{D,3} = \gamma_G \cdot R_{G,k,3} + \gamma_Q \cdot R_{Q,k,3} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot w_{k,B} \cdot L_3$$

$$= 1,35 \cdot 23,825 + 1,5 \cdot 7 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 3,75 \cdot 2,5$$

$$R_{D,3} = 51,101 \text{ kN}$$

Reakce působící na vnitřní sloup ztužidla

$$L_4 = L_3 + \left(\frac{L_1}{2} - L_3 \right) = 2,5 + \left(\frac{20}{2} - 5 \right) = 7,5 \text{ m}$$

kde $L_1 = 20 \text{ m}$

$R_{Q,k,4}$ reakce od zatížení sněhem na střeše

$$R_{G,k,4} = [(3,165 + 0,7) + 0,90] \cdot L_4 = (3,865 + 0,90) \cdot 7,5 = 28,463 \text{ kN}$$

$$R_{Q,k,4} = (s_{\text{plochá}} \cdot b) \cdot L_4 = (0,56 \cdot 5) \cdot 7,5 = 21 \text{ kN}$$

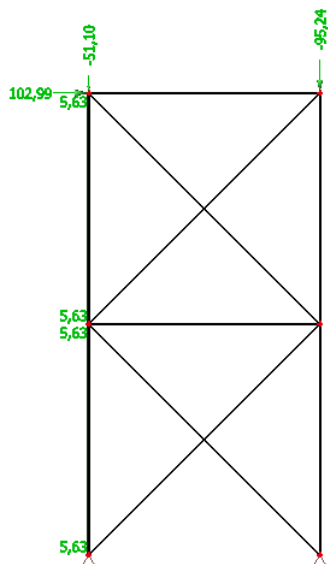
$$w_{k,B} = w_{e,B} \cdot b = 0,75 \cdot 5 = 3,75 \text{ kN/m}$$

$$R_{K,4} = R_{G,k,4} + R_{Q,k,4} + w_{k,B} \cdot L_4 = 28,463 + 21 + 3,75 \cdot 7,5 = 77,588 \text{ kN}$$

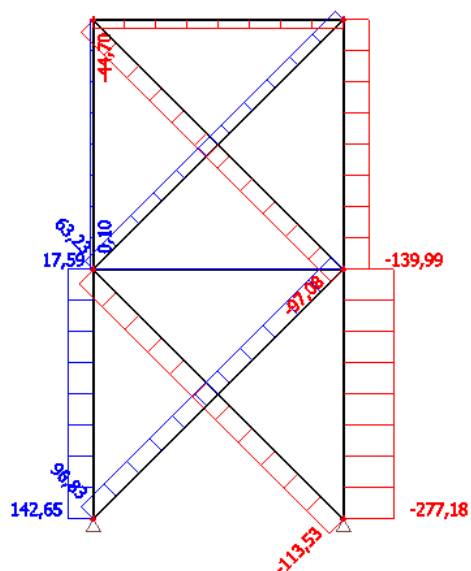
$$R_{D,4} = \gamma_G \cdot R_{G,k,4} + \gamma_Q \cdot R_{Q,k,4} + \psi_0 \cdot \gamma_Q \cdot w_{k,B} \cdot L_4$$

$$R_{D,4} = 1,35 \cdot 28,463 + 1,5 \cdot 21 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 3,75 \cdot 7,5 = 95,238 \text{ kN}$$

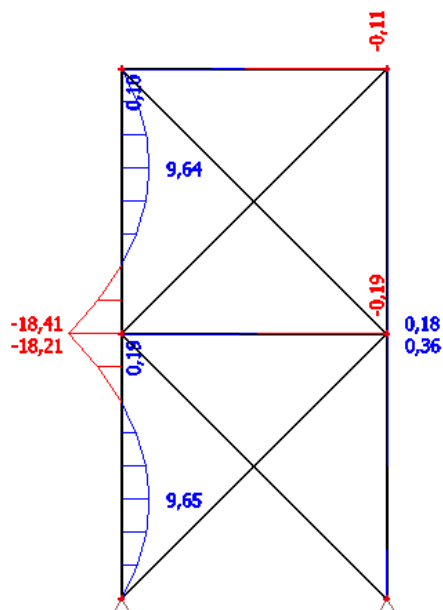
Model zatížení na vswlé ztužidlo



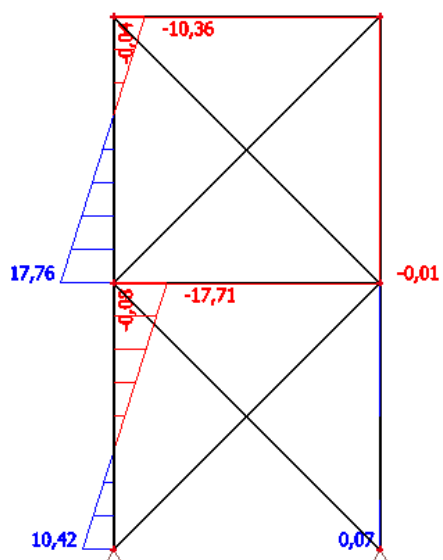
Vnitřní síly – normálová síla N_{Ed} [kN]



Ohybový moment M_{Ed} [kNm]



Posouvací síla V_{Ed} [kN]



5.2 Návrh prvků svislého ztužidla

Vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

kde $\gamma_{M1} = 1,0$

Ohybová štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i_y}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

Tahová únosnost

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = kN$$

kde $\gamma_{M0} = 1,0$

5.2.1 Diagonála středového ztužidla

Profil	TR 102x3,6	
Tahová únosnost		
N_{Ed}	-113,530	kN
$N_{b,Rd}$	129,169	kN
f_y	235	MPa
L_{cr}	3 536	mm
α	0,49	křivka "c"
A	1 113	mm ²
i	34,8	mm
λ_1	93,9	
λ	101,609	
$\bar{\lambda}$	1,082	
Φ	1,302	
χ	0,494	
Jednotkový posudek		
1 >	0,879	VYHOVUJE.
Tahová únosnost		
N_{Rd}	261,555	kN
N_{Ed}	96,830	kN
Jednotkový posudek		
1 >	0,370	VYHOVUJE.

5.2.2 Svislice středového ztužidla

Profil	TR 89x3,6	
Tahová únosnost		
N_{Ed}	-44,700	kN
$N_{b,Rd}$	55,096	kN
f_y	235	MPa
L_{cr}	5 000	mm
α	0,49	křivka "c"
A	966	mm ²
i	30,2	mm
λ_1	93,9	
λ	165,563	

λ	1,763	
Φ	2,437	
χ	0,243	
Jednotkový posudek		
1 >	0,811	VYHOVUJE.
Tahová únosnost		
N_{Rd}	227,010	kN
N_{Ed}	0,100	kN
Jednotkový posudek		
1 >	0,0004	VYHOVUJE.

5.2.3 Krajní sloup ztužidla

Návrh: HR 360x200x6,3

Vnitřní síly – viz obrázek vnitřních sil výše

$$N_{Ed} = -277,18 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 17,76 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -18,41 \text{ kNm}$$

Tabulkové hodnoty průřezu

$$A = 6\,761 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 132 \text{ mm}$$

$$i_z = 84 \text{ mm}$$

$$I_t = 10\,980 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 11\,850 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 4\,813,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 658,17 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = 481,32 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 801,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 536,41 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Vzpěrná únosnost

Návrhová vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,655 \cdot 6\,761 \cdot 235}{1,0} = 1\,040,69 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{277,18}{1\,040,69} = \mathbf{0,266} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,768 \cdot 6\,761 \cdot 235}{1,0} = 1\,220,23 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{277,18}{1\,220,23} = \mathbf{0,227} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 10\,000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 5\,000 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10\,000}{132} = 75,758$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5\,000}{84} = 59,524$$

Poměrné štíhlosti

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{75,758}{93,9} = 0,807$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{59,524}{93,9} = 0,634$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Vzpěrnostní součinitel

Křivka „c“ $\chi_y = 0,655$

$$\chi_z = 0,768$$

Interakce tlaku s ohybem

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 6\,761 \cdot 235 = 1\,588,84 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 801,4 \cdot 10^3 \cdot 235 = 188,33 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy}

$$C_{my} = 0,95$$

$$k_{yy} = \min \left\{ C_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$
$$k_{yy} = \min \left\{ 0,95 \cdot \left(1 + (0,807 - 0,2) \cdot \frac{277,18 \cdot 10^3}{0,655 \cdot \frac{1\,588,84 \cdot 10^3}{1,0}} \right); 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{277,18 \cdot 10^3}{0,655 \cdot \frac{1\,588,84 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{1,104; 1,152\} = \mathbf{1,104}$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 1,104 = \mathbf{0,662}$$

Podmínky únosnosti

$\chi_{LT} = 1,0$ uzavřené průřezy neklopí

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{277,18 \cdot 10^3}{0,655 \cdot \frac{1\,588,84 \cdot 10^3}{1}} + 1,104 \cdot \frac{18,41 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \frac{188,33 \cdot 10^3}{1}} = \mathbf{0,222} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{277,18 \cdot 10^3}{0,768 \cdot \frac{1\,588,84 \cdot 10^3}{1}} + 0,662 \cdot \frac{18,41 \cdot 10^3}{1,0 \cdot \frac{188,33 \cdot 10^3}{1}} = \mathbf{0,292} \leq 1$$

Vyhovuje.

Únosnost průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{277,18 \cdot 10^3}{\frac{1\,588,84 \cdot 10^3}{1,0}} + \frac{18,41 \cdot 10^3}{\frac{188,33 \cdot 10^3}{1,0}} = \mathbf{0,272} \leq 1$$

Vyhovuje.

Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{4\,346,4 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = \mathbf{589,708\,kN} > V_{Ed} = \mathbf{17,16\,kN}$$

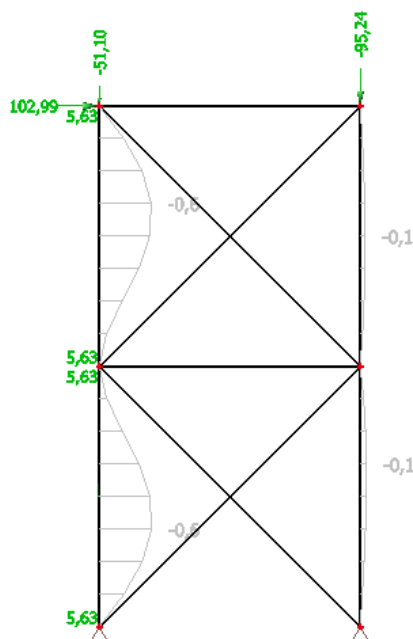
Vyhovuje.

Válcované pravoúhlé duté průřezy s konstantní tloušťkou stěny – ztížené rovnoběžně s výškou

$$A_v = \frac{A \cdot h}{b + h} = \frac{6\,761 \cdot 360}{200 + 360} = \mathbf{4\,346,4\,mm^2}$$

Průhyb

pro průřez 360x200x6,3 (na obrázku níže sloup vlevo)



$w = 0,6\,mm$ software Scia Engineer 16

$$w = \mathbf{0,6\,mm} \leq \frac{L}{300} = \frac{10\,000}{300} = \mathbf{33,33\,mm}$$

Vyhovuje.

5.2.4 Vnitřní sloup ztužidla

Návrh: HEA200

Vnitřní síly – viz obrázek vnitřních sil výše

$$N_{Ed} = -277,18\,kN$$

$$V_{Ed} = 17,76 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -18,41 \text{ kNm}$$

Tabulkové hodnoty průřezu

$$A = 5\,383 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1\,808 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 82,8 \text{ mm}$$

$$i_z = 49,8 \text{ mm}$$

$$I_t = 20,98 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 108\,000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

$$I_y = 3\,692 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 1\,336 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 388,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = 133,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,y} = 429,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 203,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Vzpěrná únosnost

Návrhová vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,433 \cdot 5\,383 \cdot 235}{1,0} = 547,75 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} = \frac{277,18}{547,75} = \mathbf{0,506} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

$$N_{b,Rd,z} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,500 \cdot 5\,383 \cdot 235}{1,0} = 632,502 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} = \frac{277,18}{632,502} = \mathbf{0,438} \leq \mathbf{1,0}$$

Vyhovuje.

Vzpěrné délky

$$L_{cr,y} = 10\,000 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = 5\,000 \text{ mm}$$

Kritické štíhlosti

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10\,000}{82,8} = 120,773$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5\,000}{49,8} = 100,402$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{120,773}{93,9} = 1,286$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{100,402}{93,9} = 1,069$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Vzpěrnostní součinitelé

Křivka „b“ $\chi_y = 0,433$

Křivka „c“ $\chi_z = 0,500$

Interakce tlaku s ohybem

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 5\,383 \cdot 235 = 1\,265,01 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_{yk} = 429,5 \cdot 10^3 \cdot 235 = 100,933 \text{ kNm}$$

Součinitele k_{yy} a k_{zy}

$$k_{yy} = \min \left\{ c_{my} \cdot \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); c_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot \left(1 + (1,286 - 0,2) \cdot \frac{277,18 \cdot 10^3}{0,433 \cdot \frac{1\,265,01 \cdot 10^3}{1,0}} \right); \\ 0,95 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{277,18 \cdot 10^3}{0,433 \cdot \frac{1\,265,01 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{1,378; 1,265\} = \mathbf{1,265}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{m,LT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}; 1 - \frac{0,1}{(c_{m,LT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,069}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{277,18 \cdot 10^3}{0,500 \cdot \frac{1\,265,01 \cdot 10^3}{1,0}}; \\ 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{277,18 \cdot 10^3}{0,500 \cdot \frac{1\,265,01 \cdot 10^3}{1,0}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \{0,945; 0,949\} = \mathbf{0,949}$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,075 + \sqrt{1,075^2 - 0,75 \cdot 1,026^2}} = 0,595$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,052 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,052^2] = 1,026$$

Součinitel imperfekt pro křivku „c“ $\alpha_{LT} = 0,34$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{388,6 \cdot 10^3 \cdot 235}{82,454 \cdot 10^6}} = 1,052$$

Vliv klopení

$$k_w = 1$$

$$k_z = 1$$

$$C_1 = 1,13$$

Kritický moment

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L} = 1,202 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210\,000 \cdot 1\,336 \cdot 10^4 \cdot 81\,000 \cdot 20,98 \cdot 10^4}}{10\,000}$$

$$M_{cr} = \mathbf{82,454 \text{ kNm}}$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2} = \frac{1,13}{1} \cdot \sqrt{1 + 0,363^2} = 1,202$$

Parametr kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}} = \frac{\pi}{1 \cdot 10\,000} \cdot \sqrt{\frac{210\,000 \cdot 108\,000 \cdot 10^6}{81\,000 \cdot 20,98 \cdot 10^4}} = 0,363$$

Podmínky únosnosti

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{277,18 \cdot 10^3}{0,433 \cdot \frac{1\,265,01 \cdot 10^3}{1}} + 1,265 \cdot \frac{18,41 \cdot 10^3}{0,595 \cdot \frac{100,933 \cdot 10^3}{1}} = \mathbf{0,803} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{277,18 \cdot 10^3}{0,500 \cdot \frac{1\,265,01 \cdot 10^3}{1}} + 0,949 \cdot \frac{18,41 \cdot 10^3}{0,595 \cdot \frac{100,933 \cdot 10^3}{1}} = \mathbf{0,650} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

Únosnost průřezu

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} = \frac{277,18 \cdot 10^3}{1\,265,01 \cdot 10^3} + \frac{18,41 \cdot 10^3}{100,933 \cdot 10^3} = \mathbf{0,360} \leq \mathbf{1}$$

Vyhovuje.

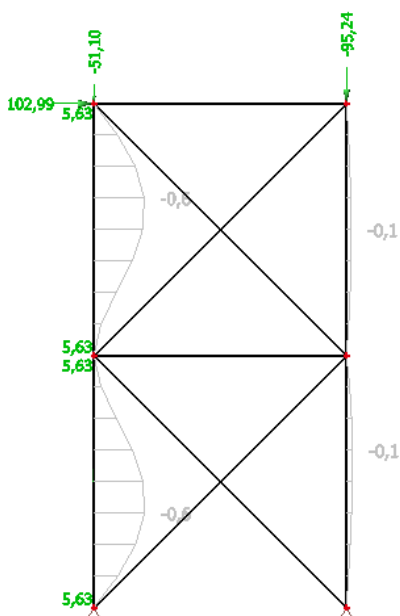
Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,808 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = \mathbf{245,304\,kN} > V_{Ed} = \mathbf{17,16\,kN}$$

Vyhovuje.

Průhyb

pro průřez HEA200 (na obrázku níže sloup vpravo)



$w = 0,1 \text{ mm}$ software Scia Engineer 16

$$w = 0,1 \text{ mm} \leq \frac{L}{300} = \frac{10\,000}{300} = 33,33 \text{ mm}$$

Vyhovuje.

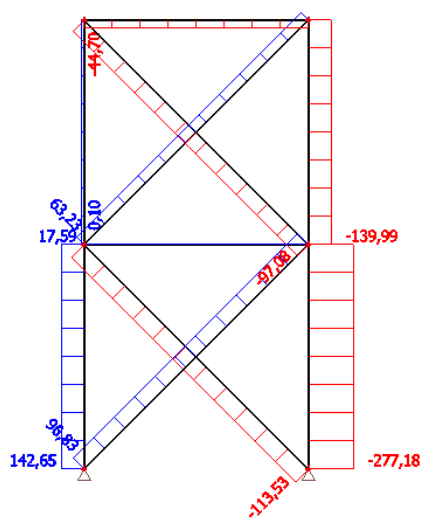
6 Přípoje

6.1 Přípoj vnitřního sloupu ztužidla

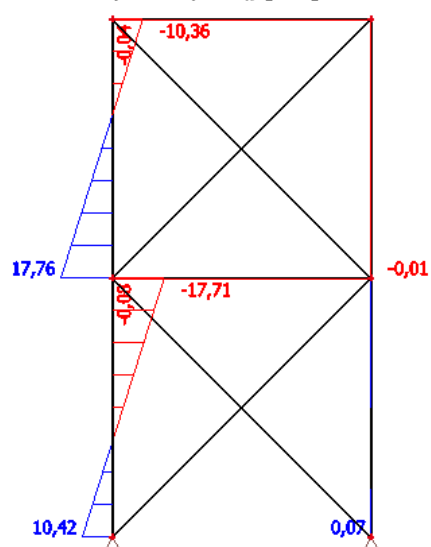
Výpočet zatížení na svislé ztužidlo viz kapitola 5.1.

Vnitřní síly ve svislém ztužidle

Normálové síly N_{Ed} [kN]

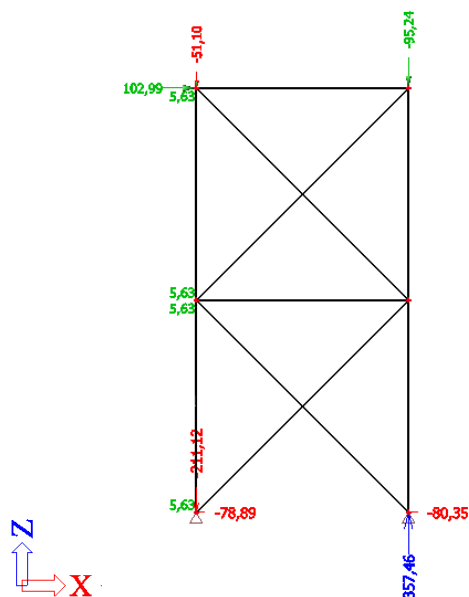


Posouvající síly V_{Ed} [kN]

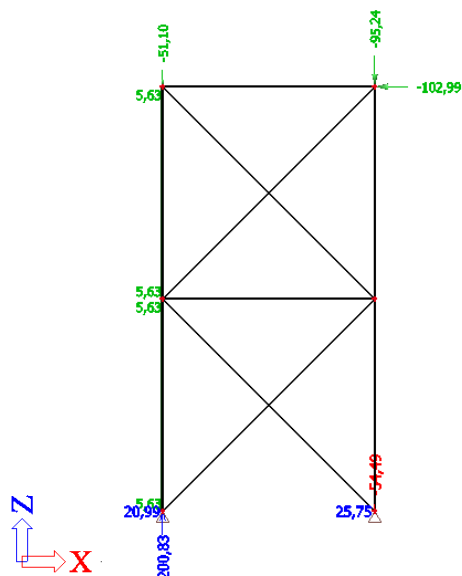


Reakce od zatížení na ztužidlo R_{Ed} [kN]

Vodorovná síla od příčného větru je uvažována působící v kladném směru osy x.



Vodorovná síla od příčného větru je uvažována působící v kladném směru osy x (tedy v druhém směru). Tento způsob zatížení je rozhodující.



Posuzována je patka vpravo (viz obrázek výše).

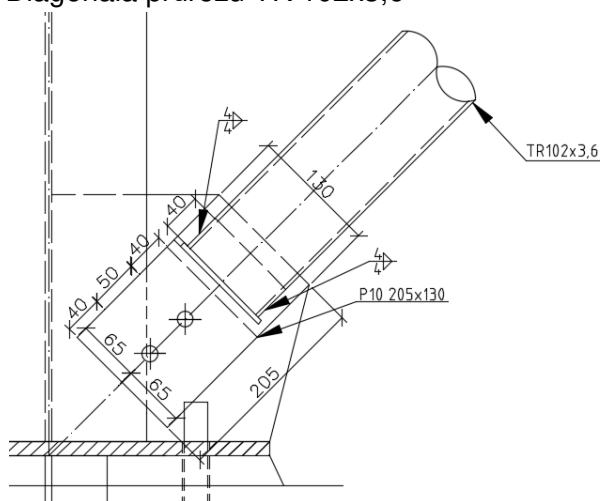
$R_{Ed,1} = -54,49 \text{ kN}$ největší tahová síla v patce

$R_{Ed,2} = 357,46 \text{ kN}$ největší tlaková síla v patce

$R_{Ed,3} = 80,35 \text{ kN}$ největší smyková síla v patce

6.1.1 Připojení diagonály k patce sloupu

Diagonála průřezu TR 102x3,6



2x M16 8.8, P10

$a_w = 4 \text{ mm}$

$l_w = 50 \text{ mm}$

$A = 1\,113 \text{ mm}^2$

$N_{Ed} = 113,53 \text{ kN}$

$F_{v,Rd} = 77,2 \text{ kN}$ běžné rozteče šroubů

$F_{b,Rd} = 65,4 \text{ kN}$ běžné rozteče šroubů

Únosnost oslabeného průřezu

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot (A - \sum d_o \cdot t) \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot (1\,113 - 2 \cdot 18 \cdot 10) \cdot 360}{1,25} = 195,178 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 113,53 \text{ kN} \leq \min(N_{Rd}, N_{u,Rd}) = \min(261,555 \text{ kN}; 195,178 \text{ kN}) = 195,178 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

Návrh počtu šroubů – běžné rozteče

$$n = \frac{N_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} = \frac{113,53}{\min(77,2; 65,4)} = \frac{113,53}{65,4} = 1,74$$

Navrhují 2 x M16 8.8.

Posouzení svarů

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{4 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{113,53}{4 \cdot 0,004 \cdot 0,05} = 141,913 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot 141,913^2} = 245,8 \text{ MPa}$$

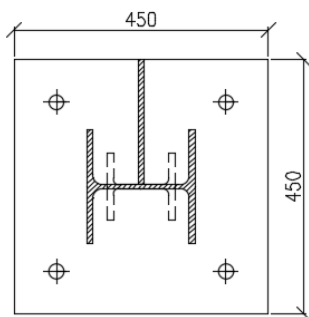
$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 245,8 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

6.1.2 Patka sloupu ztužidla

Návrh bude proveden pro patku vnitřního sloupu ztužidla. Patka bude kloubová a bude připevněna kotvami Hilti HIT – RE 500 V3 + HIT – V (8.8) M24 k betonovému pasu, který probíhá pod ztužidlem v celé jeho délce.

Započítané rozměry betonového pasu



$$a_1 = \min(3 \cdot a_0, a_0 + h, a_c)$$

$$a_1 = \min(3 \cdot 450, 450 + 1\,200, 1\,360) = \min(1\,350, 1\,650, 1\,360) = 1\,350 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 \cdot b_0, b_0 + h, b_c)$$

$$b_1 = \min(3 \cdot 450, 450 + 1\,200, 1\,360) = \min(1\,350, 1\,650, 1\,360) = 1\,350 \text{ mm}$$

Součinitel kontrakce napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a_0 \cdot b_0}} = \sqrt{\frac{1\,350 \cdot 1\,350}{450 \cdot 450}} = 3,0$$

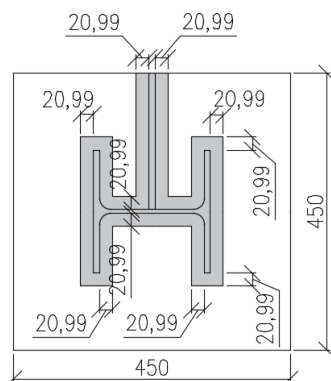
Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{3,0 \cdot 30}{1,5} = 40,0 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 15 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 40,0}} = 20,99 \text{ mm}$$

Efektivní plocha je zřejmá z obrázku níže (pomocí software Autocad)



$$A_{\text{eff}} = 41\,798,2 \text{ mm}$$

Návrhová únosnost patky

$$N_{Rd} = A_{\text{eff}} \cdot f_{jd} = 41\,798,2 \cdot 40,0 \cdot 10^{-3} = 1\,671,93 \text{ kN}$$

Posouzení

$$R_{Ed} = 357,46 \text{ kN} \leq N_{Rd} = 1\,671,93 \text{ kN}$$

$$R_{Ed} = 357,46 \text{ kN} \text{ největší tlaková síla v patce}$$

Patka na tlak vyhovuje.

Únosnost ve smyku

Smyková zarážka bude navržnuta pro nejnepříznivější poměr smykové a normálové síly.

$$R_{Ed} = 80,35 \text{ kN} \quad \text{největší vodorovná reakce}$$

$$N_c = -211,12 \text{ kN} \quad \text{tlaková síla ve spáře mezi betonem a ocelí}$$

Smyková únosnost ve spáře mezi betonem a ocelí

$$V_{Ed'} = \mu \cdot N_c = 0,2 \cdot 211,12 = 42,224 \text{ kN}$$

$$\mu = 0,2 \quad \text{součinitel tření}$$

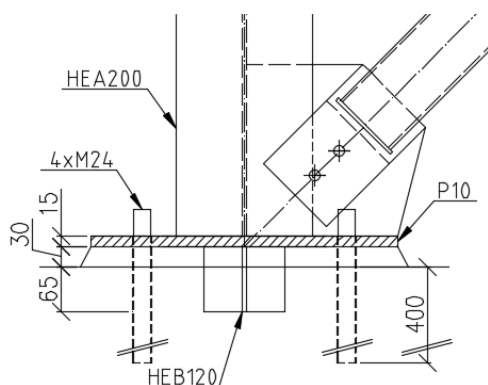
Posouzení

$$V_{Ed'} = 42,224 \text{ kN} \leq R_{Ed} = 80,35 \text{ kN}$$

Tření nestačí.

Návrh smykové zarážky

Navrhuji HEB120



$$A_{v,z} = 1\,096 \text{ mm}^2$$

$$W_{y,pl} = 165\,200 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,el} = 144\,100 \text{ mm}^3$$

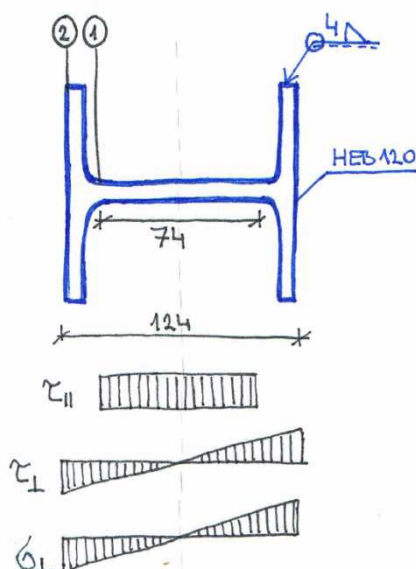
třída průřezu 1

Přenos podlitím nelze uvažovat, nutná délka smykové zarážky je tedy

$$h > \frac{R_{Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{80,35 \cdot 10^3}{120 \cdot \frac{16}{1,5}} = 62,77 \text{ mm}$$

Navrhuji $h = 65 \text{ mm}$

Svarový přípoj zarážky k patnímu plechu



Moment setrvačnosti svarového obrazce

$$I_w = 9,995 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$F_{v,Ed} = 80,35 \text{ kN}$$

Posouzení v bodě 1

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 74 \text{ mm}$$

$$\tau_{||} = \frac{F_{v,Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{80,35}{2 \cdot 0,004 \cdot 0,074} = 135,726 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_{v,Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{80,35 \cdot 10^3 \cdot (30 + 65/2)}{\frac{9,995 \cdot 10^6}{74/2}} = 13,145 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = \sqrt{13,145^2 + 3 \cdot (13,145^2 + 135,726^2)} = 236,550 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 236,550 \text{ MPa}$$

Posouzení v bodě 2

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$\tau_{||} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_{v,Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{80,35 \cdot 10^3 \cdot (30 + 65/2)}{\frac{9,995 \cdot 10^6}{124/2}} = 22,027 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} = \sqrt{22,027^2 + 3 \cdot (22,027^2 + 0^2)} = 44,054 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 44,054 \text{ MPa}$$

Svar zarážky vyhovuje.

Posudek smykové únosnosti zarážky

$$R_{Ed,3} = 80,35 \text{ kN} \quad \text{největší smyková síla v patce}$$

$$M_{Ed} = F_{v,Ed} \cdot e = 80,35 \cdot 0,0625 = 5,022 \text{ kNm}$$

$$e = (30 + 65/2) = 62,5 \text{ mm}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,096 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 148,702 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \mathbf{148,702 \text{ kN}} \leq 2 \cdot R_{Ed,3} = 2 \cdot 80,35 = \mathbf{160,7 \text{ kN}} \quad \text{velký smyk}$$

$$\sigma = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} = \frac{5,022}{144,1 \cdot 10^9} = 34,851 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{R_{Ed,3}}{A_{vz}} = \frac{80,35 \cdot 10^3}{1\,096} = 73,312 \text{ MPa}$$

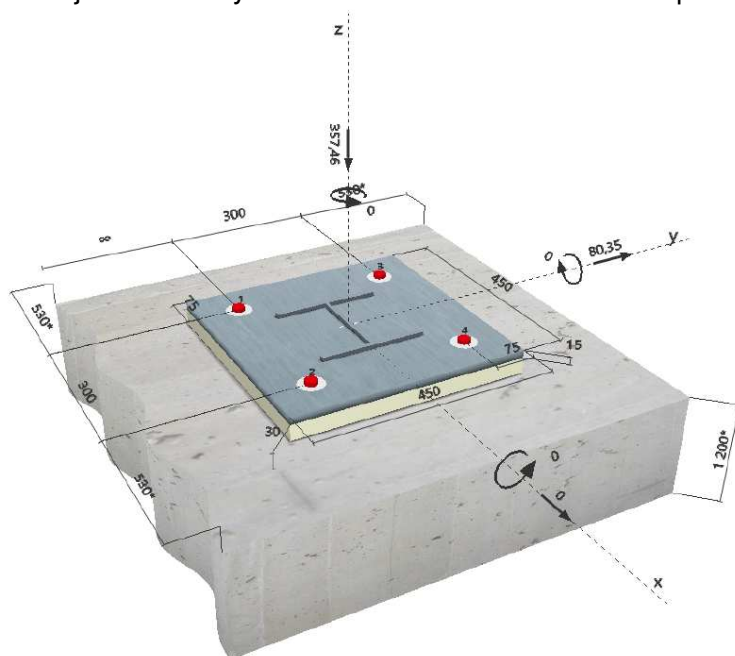
$$\sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{34,851^2 + 3 \cdot 73,312^2} = \mathbf{131,676 \text{ MPa}}$$

$$\frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = \mathbf{360 \text{ MPa}} \geq \mathbf{131,676 \text{ MPa}}$$

Vyhovuje.

6.1.3 Kotevní šrouby

Kotevní šrouby jsou navrženy a posouzeny v softwaru Hilti Profis Anchor. Navrženy jsou čtyři kotevní šrouby HIT – RE 500 V3 + HIT – V (8.8) M24. Návrh a posouzení kotev jsou uvedeny v Příloze č. 4 – Návrh kotev sloupu ztužidla.



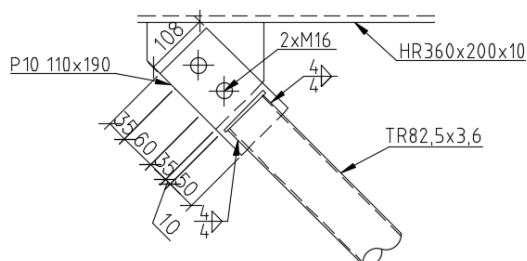
6.2 Přípoj střešního nosníku

Střešní nosník svařovaného I-profilu je uložen na průběžný nosník průřezu HR 360x200x10 kloubově a to pomocí příčného plechu a šesti šroubů M16. K příčnému plechu je přivařena výztuha. Z obrázku je patrné, že v tomto místě je k průběžnému nosníku HR-profilu připojena diagonála podélného ztužidla profilu TR 82,5x3,6.

6.2.1 Návrh přípoje diagonály podélného ztužidla

Diagonála průřezu TR 82,5x3,6

Navrhují: 2x M16 8.8, P10



$N_{Ed} = 67,170 \text{ kN}$ normálová síla v diagonále

$a_w = 4 \text{ mm}$

$l_w = 40 \text{ mm}$

$A = 892 \text{ mm}^2$

$F_{v,Rd} = 77,2 \text{ kN}$ běžné rozteče šroubů

$F_{b,Rd} = 65,4 \text{ kN}$ běžné rozteče šroubů

Únosnost oslabeného průřezu

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot (A - \sum d_o \cdot t) \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot (892 - 2 \cdot 18 \cdot 10) \cdot 360}{1,25} = 137,894 \text{ kN}$$

$N_{Ed} = 67,170 \text{ kN} \leq \min(N_{Rd}, N_{u,Rd}) = \min(102,909 \text{ kN}; 137,894 \text{ kN}) = 102,909 \text{ kN}$

Vyhovuje.

Návrh počtu šroubů

$$n = \frac{N_{Ed}}{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} = \frac{67,170}{\min(77,2; 65,4)} = \frac{67,170}{65,4} = 1,03$$

Navrhují 2 x M16 8.8.

Návrh svarů

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{\parallel}}{4 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{67,17}{4 \cdot 0,004 \cdot 0,04} = 104,953 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau_{\parallel}^2} = \sqrt{3 \cdot 104,953^2} = 181,784 \text{ MPa}$$

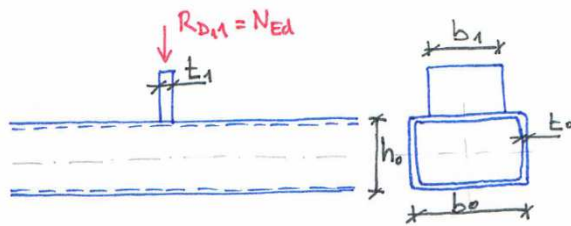
$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 181,784 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

6.2.2 Návrhová únosnost svařovaného styčnicku

V místě tohoto styku je koutovým oboustranným svarem přivařen příčný plech P10 k průběžnému nosníku profilu HR 360x200x10. Níže bude posouzen HR-profil na únosnost porušení mezipásového prutu a na únosnost prolomení smykem.

PRÍČNÝ PLECH



$N_{Ed} = R_{D,1} = 130,20 \text{ kN}$ reakci od střešní konstrukce a od zatížení na střešní konstrukci při rozhodující kombinaci: stálé + sníh + ψ_0 .vítr podélný (tlak oblast B)

Rozměry

$$b_1 = 170 \text{ mm}$$

$$b_0 = 360 \text{ mm}$$

$$t_0 = 10 \text{ mm}$$

$$t_1 = 10 \text{ mm}$$

Materiál

$$f_{y0} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_{y1} = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M5} = 1,0$$

Parametr b_{eff}

$$b_{eff} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{f_{y0} \cdot t_0}{f_{y1} \cdot t_1} \cdot b_1 = \frac{10}{360/10} \cdot \frac{235 \cdot 10}{235 \cdot 10} \cdot 170 = 4722,2 \text{ mm}$$

$$b_{eff} \leq b_1 = 170 \text{ mm} \quad \text{nesplňuje, proto } b_{eff} = 170 \text{ mm}$$

Parametr $b_{e,p}$

$$b_{e,p} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot b_1 = \frac{10}{360/10} \cdot 170 = 47,2 \text{ mm} \leq b_1 = 170 \text{ mm}$$

Splňuje.

Porušení mezipásového prutu

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y1} \cdot t_1 \cdot b_{eff}}{\gamma_{M5}} = \frac{235 \cdot 10 \cdot 170}{1,0} = 399,500 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{130,20}{399,500} = \mathbf{0,326} \leq \mathbf{1}$$

Neporuší se.

Prolomení smykem

$$\text{když } b_1 = 170 \text{ mm} \leq b_0 - 2 \cdot t_0 = 360 - 2 \cdot 10 = 340 \text{ mm}$$

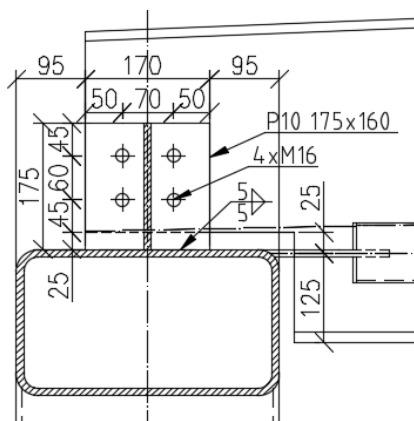
$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{f_{y0} \cdot t_0}{\sqrt{3}} (2 \cdot t_1 + 2 \cdot b_{e,p})}{\gamma_{M5}} = \frac{\frac{235 \cdot 10}{\sqrt{3}} (2 \cdot 10 + 2 \cdot 47,2)}{1,0} = 155,275 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{130,20}{155,275} = \mathbf{0,839} \leq \mathbf{1}$$

Neprolomí se smykem.

Návrh počtu šroubů přípoje



Navrhují: 4x M16, plech P10

$$R_{D,1} = 130,20 \text{ kN}$$

$F_1 = 37,5 \text{ kN}$ síla od podélného větru na střešní ztužidlo

$$F_{Ed} = \sqrt{R_{D,1}^2 + F_1^2} = \sqrt{130,20^2 + 37,5^2} = 135,493 \text{ kN} \quad \text{síla stanovená vektorovým součtem}$$

$$F_{v,Rd} = 77,2 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = 65,4 \text{ kN}$$

Návrh počtu šroubů

$$n = \frac{F_{Rd}}{\min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd})} = \frac{135,493}{\min(77,2; 65,4)} = \frac{135,493}{65,4} = 2,072$$

Navrhují 4 x M16 8.8.

Únosnost oslabeného průřezu střešního nosníku

Vodorovnou sílu od podélného větru přenesou samotná pásnice.

$$A = t_f \cdot L_f = 14 \cdot 300 = 3\,840 \text{ mm}^2$$

$$N_{Ed} = F_1 = 37,5 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 3\,840 \cdot 360}{1,25} = 995,328 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 995,328 \text{ kN} \geq F_1 = 37,5 \text{ kN}$$

Vyhovuje.

Smyková únosnost

Svislou reakci od střešní konstrukce a od zatížení na střešní konstrukci přenesou stojina.

$$A_{net} = t_w \cdot L_w - 2 \cdot d_o \cdot t = 5 \cdot 265 - 2 \cdot 18 \cdot 10 = 965 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{965 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 130,929 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 130,929 \leq 2 \cdot R_{D,1} = 260,4 \text{ kN} \quad \text{velký smyk}$$

Posouzení velkého smyku

$$V_{Ed} = R_{D,1} = 130,2 \text{ kN}$$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot R_{D,1}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 130,2}{130,929} - 1 \right)^2 = 0,978 \leq 1,0$$

Vyhovuje.

Posouzení koutového oboustranného svaru (příčného plechu)

$$R_{D,1} = 130,20 \text{ kN}$$

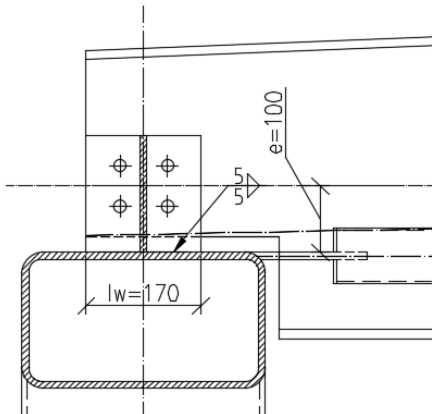
$$F_1 = 37,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 67,170 \text{ kN} \quad \text{normálová síla v diagonále podélného ztužidla}$$

$$a_w = 5 \text{ mm}$$

$$l_w = 170 \text{ mm}$$

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



$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{R_{D,1}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{130,20}{2 \cdot 0,005 \cdot 0,17} = 76,588 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_1}{2 \cdot a_w \cdot l_w} + \frac{N_{Ed} \cdot e}{\frac{1}{6} \cdot 2 \cdot a_w \cdot l_w^2} = \frac{37,500}{2 \cdot 0,005 \cdot 0,170} + \frac{67,170 \cdot 0,100}{\frac{1}{6} \cdot 2 \cdot 0,005 \cdot 0,17^2}$$
$$= 22,059 + 139,453$$

$$\tau_{\parallel} = 161,512 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{76,588^2 + 3 \cdot (76,588^2 + 161,512^2)} = 318,94 \text{ MPa}$$

$$\frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 76,588 \text{ MPa} \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 318,94 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

6.3 Přípoj fasádních sloupů na práh

V tomto přípoji bude posouzeno porušení povrchu pásu podélného prahu průřezu HR360x220x10. Dále budou posouzeny navržené koutové a tupé svary tohoto přípoje.

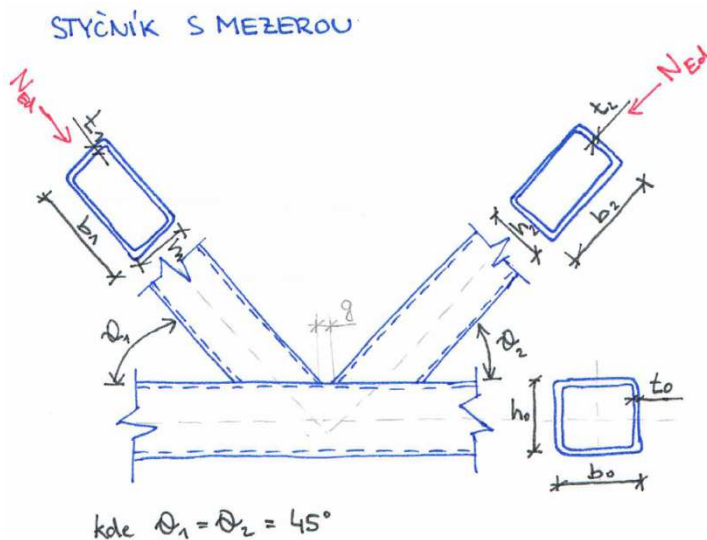
Zatížení

$R_{D,1} = 130,20 \text{ kN}$ tlaková síla ze sloupu

$V_{Ed} = 18,98 \text{ kN}$ posouvající síla ve sloupu

6.3.1 Návrhová únosnost svařovaného

Porušení povrchu pásu



Materiál

$f_{y0} = 235 \text{ MPa}$

$\gamma_{M5} = 1,0$

Parametry

$b_0 = 360 \text{ mm}$

$b_1 = 360 \text{ mm}$

$b_2 = 360 \text{ mm}$

$h_1 = 200 \text{ mm}$

$h_2 = 200 \text{ mm}$

$t_0 = 10 \text{ mm}$

$\theta_1 = 45^\circ$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} = \frac{360 + 360 + 200 + 200}{4 \cdot 360} = 0,778 \leq 1$$

Splněno.

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{360}{2 \cdot 10} = 18$$

$k_n = 1$

$$N_{1,Rd} = \frac{8,9 \cdot \gamma^{0,5} \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2}{\gamma_{M5} \cdot \sin \theta_1} \cdot \left(\frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} \right) = \frac{8,9 \cdot 18^{0,5} \cdot 1 \cdot 235 \cdot 10^2}{1,0 \cdot \sin 45} \cdot \left(\frac{360 + 360}{2 \cdot 360} \right)$$

$$N_{1,Rd} = N_{2,Rd} = 1\,254,9 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{N_{Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{130,20}{1\,254,9} = 0,104 \leq 1$$

Vyhovuje.

Posouzení koutových svarů svařovaného styčníku

S ohledem na sklon ($\theta = 45^\circ$) je tupý svar posouzen jako koutový svar, jedná o dva svary kolmé k ose průběžného nosníku.

$$R_{D,1} = 130,20 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 18,98 \text{ kN}$$

$$a_w = 3 \text{ mm}$$

$$l_w = 360 \text{ mm}$$

Posouzení tupého svaru

$$a_{nom} = 3 \text{ mm}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{a_w \cdot l_w} = \frac{18,98}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,360} = 8,787 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{2 \cdot R_{D,1}}{2 \cdot a_w \cdot l_w} = \frac{130,20}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,360} = 60,278 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{60,278^2 + 3 \cdot (60,278^2 + 8,787^2)} = 121,513 \text{ MPa}$$

$$\frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

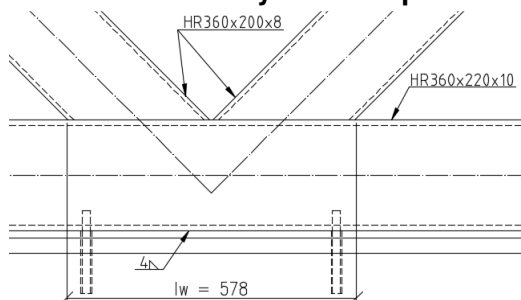
$$\sigma_{\perp} = 60,278 \text{ MPa} \leq 259,2 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 121,513 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

Posouzení koutových svarů průběžného prahu



$$R_{D,1} = 130,20 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 18,98 \text{ kN}$$

$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$l_w = 578 \text{ mm}$$

$F = R_{D,1} + V_{Ed} = 131,576 \text{ kN}$ síla stanovená vektorovým součtem, bude započtena dvakrát (ze dvou sloupů)

$$\tau_{\parallel} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{2 \cdot F}{a_w \cdot l_w} = \frac{2 \cdot 131,576}{0,004 \cdot 0,578} = 113,82 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{113,82^2 + 3 \cdot (113,82^2 + 0)} = 227,64 \text{ MPa}$$

$$\frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 113,82 \text{ MPa} \leq 259,2 \text{ MPa}$$

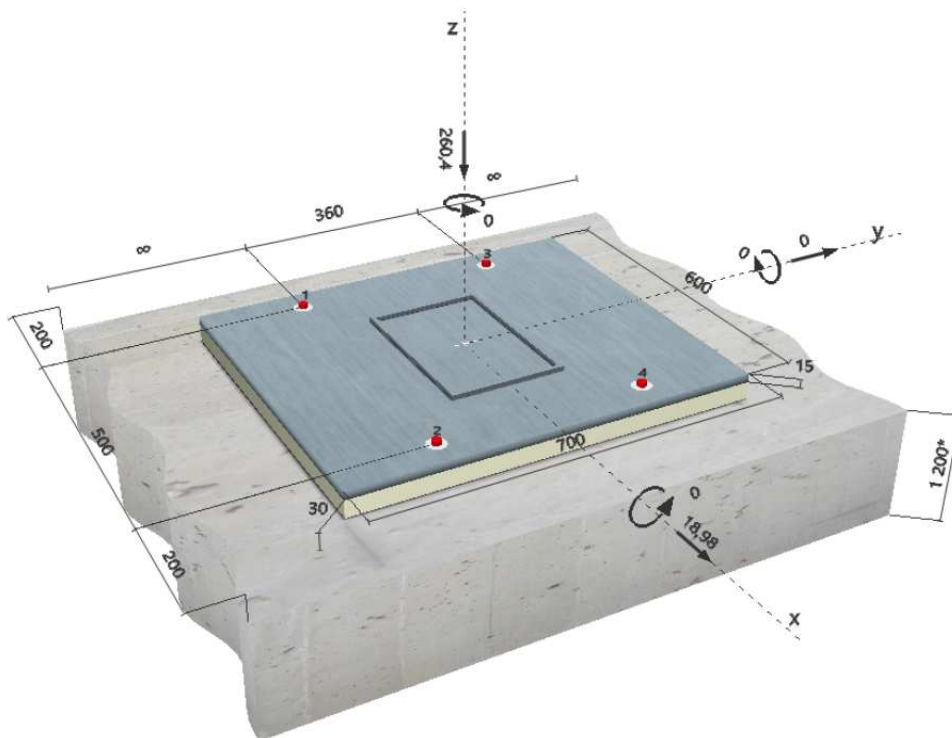
Vyhovuje.

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ MPa} \geq 227,64 \text{ MPa}$$

Vyhovuje.

6.3.2 Kotevní šrouby

Kotevní šrouby jsou navrženy a posouzeny v softwaru Hilti Profis Anchor. Navrženy jsou čtyři kotevní šrouby HIT – RE 500 V3 + HIT – V (8.8) M16. Návrh a posouzení kotev jsou uvedeny v Příloze č. 5 – Návrh kotev připoje fasádních sloupů na práh.



Použitá literatura

- [1] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*
- [2] ČSN EN 1991-1-3 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*
- [3] ČSN EN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*
- [4] ČSN EN 1993-1-8 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*
- [5] ČSN EN ISO 12944 *Nátěrové hmoty – protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy*
- [6] ČSN EN 1090-2 *Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce*
- [7] SOKOL, Zdeněk, WALD, František. *Ocelové konstrukce: Tabulky*, 2. dotisk 2. přepracovaného vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2013. 84 stran. ISBN 978-80-01-04655-5
- [8] JANDERA, Michal, ELIÁŠOVÁ, Martina a VRANÝ, Tomáš. *Ocelové konstrukce 01-Cvičení*, 3. upravené vydání. Praha, 2015. Dostupné z: http://ocel-drevo.cz/?page_id=4
- [9] JANDERA, Michal, YTSK-2.pdf [online, cit. 29. 3 2017], Dostupné z: <http://http://people.fsv.cvut.cz/~xjanderm/>
- [10] DEK STAVEBNINY, Ploché střechy, Dekroof 13-A [online, cit. 24. 2. 2017], Dostupné z: https://stavebninydek.sk/produkty/docs/dekroof/dekroof_13_a.pdf

Použitý software:

- [11] Program ACB+ 3.11
- [12] Program LT BeamN 1.0.3
- [13] Program SCIA Engineer 16.0.1075 - studentská verze
- [14] Program AutoCAD 2016 – STUDENTSKÁ VERZE
- [15] Program Hilti PROFIS Anchor

B. TECHNICKÁ ZPRÁVA

TĚLOCVIČNA S ŠIKMÝMI FASÁDNÍMI SLOUPY



ČVUT Praha, Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Obsah

1. Popis konstrukce	3
2. Nosná konstrukce	3
3. Údaje o zatížení	3
4. Použité materiály	3
5. Použité normy	3
6. Výroba ocelové konstrukce	4
7. Montáž a přeprava ocelové konstrukce	4
8. Ochrana proti korozi	4
9. Ochrana proti požáru	4

1. Popis konstrukce

Předpokládaná lokalita umístění objektu je Praha. Jedná se o tělocvičnu, kde nosná konstrukce je zhotovena z oceli S235JR. Objekt je rozdělen na tři části. Hlavní středovou část tvoří tělocvična, ve zbývajících dvou krajních částech je zázemí pro sportovce. Prostor tělocvičny o ploše 800 m² tvoří jedno nadzemní podlaží, obě části zázemí o ploše 600 m² tvoří taktéž jedno nadzemní podlaží. Celý objekt má obdélníkový půdorys o rozměrech 70 m x 20 m, výška objektu ve středové části je 10 m, půdorys samotné středové části má tvar obdélníku o rozměrech 40 m x 20 m. Střecha obou krajních částí je pultová se sklonem 15%. Tyto pultové střechy končí klesáním ve výšce 7,5 m. Obvodový plášť samotné tělocvičny je tvořen prosklenou fasádou. Skladba střešního pláště je z hydroizolace, tepelné izolace z minerálních vláken, parotěsné fólie a trapézového plechu.

2. Nosná konstrukce

Hlavní nosnou konstrukci tvoří šikmé fasádní sloupy průřezu HR360x200x8 a svařované vazníky I-profilu o délce 20 m ve vzájemné vzdálenosti po 5 m. Sloupy jsou uloženy na práh HR360x220x10, střešní nosníky jsou uloženy na průběžný nosník HR360x200x10. Rastr šikmých fasádních sloupů je 3,536 m x 3,536 m, tyto sloupy přenáší zatížení od samotné konstrukce střechy a zatížení na střešní konstrukci přes práh do základových konstrukcí.

Vodorovná zatížení od větru přenášejí svislá ztužidla z dutých kruhových průřezů či z dutých obdélníkových průřezů za studena válcovaných. Střešní ztužidla jsou tvořena kruhovými dutými průřezy za studena válcovanými.

Střešní plášť je uložen na ocelových střešních vaznicích svařovaného I-profilu. Trapézový plech je uložen jako nosník o rozpětí 5 m. Plech je v pozitivní poloze, sklon střešní konstrukce je od středu 2,3%.

Obvodový plášť je tvořen skleněnými tabulemi, které jsou připevněné k fasádním sloupům a to na osu těchto sloupů. Tyto tabule skla budou tvořeny menšími skly uchycenými do rastru lišt mezi fasádními sloupy. Skla musí být opatřena ochrannou fólií a musí splňovat požadované pevnostní a požárně odolnostní parametry.

Patka sloupu ztužidla je tvořena patním plechem tloušťky 15 mm, cementovou zálivkou tl. 30 mm, čtyřmi kotvami Hilti HIT-RE 500 V3 + HIT-V (8.8) M24 a železobetonovým základovým pasem o výšce 1 200 mm. Ocelový práh pod fasádními sloupy je uložen na plech tloušťky 15 mm, pod plechem je cementová zálivka tl. 30 mm, kde plech pod prahem je v místě každého styku fasádních sloupů s prahem zajištěn vždy čtyřmi kotvami Hilti HIT-RE 500 V3 + HIT-V (8.8) M16. Základovou konstrukci pod ocelovým prahem tvoří železobetonový pas tloušťky 1 200 mm.

3. Údaje o zatížení

Hodnoty zatížení použité ve statickém výpočtu jsou tyto:

- | | |
|------------------------------|---|
| - užitné zatížení na střechu | $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ (nepřístupné střechy) |
| - sněhová oblast I. | $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$ |
| - větrná oblast II. | max. dynamický tlak větru $q_p(z) = 0,938 \text{ kN/m}^2$ |

4. Použité materiály

Prvky konstrukce, tedy sloupy HR-profilu, střešní nosníky svařovaného I-profilu, ztužidla z dutých průřezů kruhových a obdélníkových střešní i svislá, průběžný nosník HR-profilu, práh pod šikmými fasádními sloupy HR-profilu a plechy přípojů jsou vyrobeny z oceli S235JR. Kotvy a šrouby jsou použity z materiálu 8.8. Trapézové plechy jsou z oceli S320GD.

5. Použité normy

ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem

ČSN EN 1991-1-3 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem

ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 1993-1-8 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

ČSN EN ISO 12944 Nátěrové hmoty – protikorozi ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy

ČSN EN 1090-2 Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce

6. Výroba ocelové konstrukce

Stanovení třídy provedení konstrukce:

Třída následků: **CC2**

(Střední následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro životní prostředí)

Rizika spojená s používáním konstrukce: **SC1**

Rizika spojená s prováděním konstrukce: **PC1**

(Nesvařované dílce vyrobené z výrobků z jakékoliv pevnostní třídy oceli, svařované dílce vyrobené z výrobků z oceli nižší pevnostní třídy než S355)

Výrobní kategorie → EXC2

7. Montáž a přeprava ocelové konstrukce

Objekt se nachází v blízkosti výroby ocelových konstrukcí Jílové u Prahy. Bude zde požadavek na nadměrnou přepravu, konkrétně týkající se přepravy střešního vazníku délky 20 m.

Konstrukce bude smontována na staveništi. Nejprve se provedou základové pasy a patky, na ně budou připevněny sloupy ztužidel, sloupy a podélný práh. Fasádní sloupy se na zemi nejprve svaří dohromady, tím vznikne jeden dílec, který se následně vyzdvihne a přivaří na práh. Dílec bude dočasně podepřen a zajištěn pomocí zvedací techniky. Na fasádní sloupy bude položen průběžný nosník. K průběžnému nosníku budou připevněny střešní vazníky, k nimž budou přimontována střešní ztužidla. Po montáži střešních ztužidel bude připevněn k vazníkům střešní plášť. Po dokončení hlavní nosné ocelové konstrukce mohou být umístěny skleněné fasádní tabule mezi fasádní sloupy.

8. Ochrana proti korozi

Protikorozi ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944 (1998):

Stupeň korozi agresivity: C2 – nízká (prostory s občasou kondenzací)

Předpokládaná životnost: Vysoká (H) – > 15 let

Příprava povrchu: Sa 21/2 – Otryskávání – odstranění okují, rzi, nátěrů a cizích látek

Zvolený nátěrový systém: ISO 12944-5/A2.02.

Požadovaná tloušťka suchého povlaku vrchního nátěru: 120 µm

Ocelové profily budou natřeny dílensky 1-2x základním nátěrem a 2-3x vrchním nátěrem.

9. Ochrana proti požáru

Tato část není součástí zadání bakalářské práce, ale bude potřeba posoudit požární odolnost konstrukce a navrhnout vhodné protipožární opatření konstrukce dle ČSN EN 1993-1-2.