

Sběrný dvůr odpadů Varnsdorf
Dokumentace pro stavení povolení

DSO 08.2 – Stavebně konstrukční řešení

Investor:

Město Varnsdorf
Náměstí E. Beneše 470
407 47 Varnsdorf

Zhotovitel:



Valbek, spol. s r.o., středisko Plzeň
Parková 1205/11
326 00 Plzeň

HIP:

Ing. Zdeněk Skořepa

	Vypracoval:	Ing. Jiří Kott, Ph.D.	Zak. číslo	15UL31013
	Zodp. projektant	Ing. Vlastimil Švarc	Datum	05/2017
	Tech. kontrola	Ing. Vlastimil Švarc	Stupeň	DSP
	Sběrný dvůr odpadů Varnsdorf SO 08 – Skladovací box s přístřeškem		Počet formátů	27 x A4
			Měřítko	-
Zhotovitel: Valbek, spol. s r.o. Vaňurova 505/17 460 07 Liberec III- Jeřáb		Č. přílohy		Paré
Příloha Ocelové konstrukce - statický výpočet		DSO 08.2.2		

OCELOVÉ KONSTRUKCE – STATICKÝ VÝPOČET

OBSAH:

1. ÚVOD	3
2. SEZNAM POUŽITÝCH NOREM	3
3. VÝCHOZÍ PODKLADY A POUŽITÝ SOFTWARE	3
4. ZATÍŽENÍ.....	3
4.1. VLASTNÍ TÍHA.....	3
4.2. ZATÍŽENÍ SNĚHEM	3
4.3. ZATÍŽENÍ VĚTREM	3
4.4. ZATÍŽENÍ UŽITNÉ	7
4.5. ZATÍŽENÍ OD TECHNOLOGIE	8
5. POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ	8
5.1. TRAPÉZOVÝ PLECH – STŘECHY	8
5.2. VAZNICE.....	9
5.3. TRAPÉZOVÝ PLECH - STĚNY	13
5.4. PAŽDÍK V BOČNÍ STĚNĚ	16
5.5. PAŽDÍK V ZADNÍ STĚNĚ.....	18
5.6. SLOUPKY A ZTUŽIDLA – POZICE CI, CII A CIII.....	20
5.7. SLOUPEK – POZICE BIII	22
5.8. SLOUPKY – POZICE A.....	23
5.9. KOTVENÍ SLOUPKŮ DO ŽB KONSTRUKCE	23
6. ZÁVĚR.....	24

1. Úvod

Je posuzována nová ocelová konstrukce zastřešení SO 08 – Skladovací boxy s přístřeškem. Objekt je samostatně stojící v nově budovaném areálu Sběrného dvora odpadů města Varnsdorf. Ocelové konstrukce jsou bez požární odolnosti, protože není v rámci požárně-bezpečnostního řešení požadována. Realizován bude jeden skladovací box, ale s ohledem na zamýšlené případné rozšíření o druhý, identický skladovací box, je v některých částech statického výpočtu uvažována dvojnásobná velikost konstrukce.

2. Seznam použitých norm

Označení technické normy	Název technické normy
ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991	Eurokód 1 : Zatížení konstrukcí
ČSN EN 1993-1-1	Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1090-2: 2009	Provádění ocelových konstrukcí

3. Výchozí podklady a použitý softwar

- DSO 08.1 – Architektonicko stavební řešení, J. Mareš, Valbek s.r.o., DSP
- Software MIDAS GEN 2016
- Software HILTI PROFIS ANCHOR 2.6.6 a firemní katalogy

4. Zatížení

4.1. Vlastní tíha

Vlastní tíha prvků byla uvažována u každého jednotlivého prvku samostatně v rámci jeho posuzování.

4.2. Zatížení sněhem

Stavba stojí ve Varnsdorfu \Rightarrow sněhová oblast IV, kde $s_k = 2 \text{ kN/m}^2$.

$$s_{k, \text{Varn}} = \mu_1 \times s_k = 0,8 \times 2 = 1,6 \text{ kN/m}^2$$

Střecha má sklon 8° .

Součinitel expozice a tepelný součinitel uvažovány hodnotou 1.

4.3. Zatížení větrem

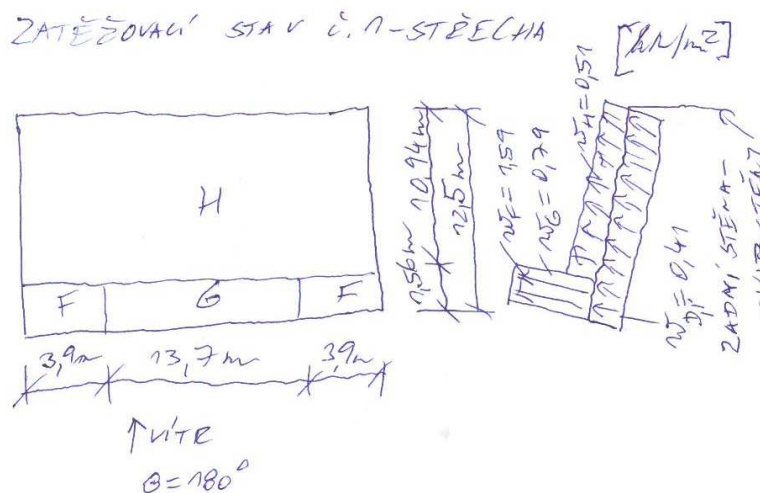
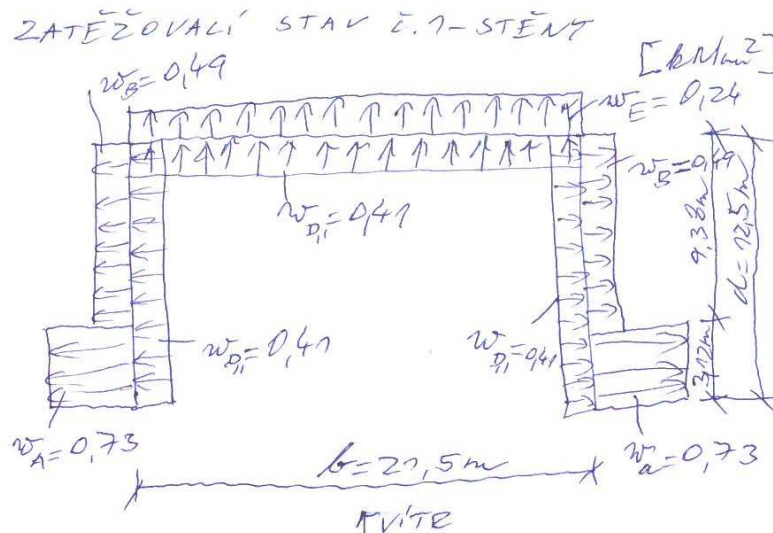
Objekt stojí ve Varnsdorfu \Rightarrow větrná oblast II. $V_{b,0} = 25 \text{ m/s}$. Kategorie terénu III.

Půdorysné rozměry – 21,5 m x 12,5 m, výška – 7,8 m, sklon střechy 8°.
Maximální dynamický tlak větru podle EN 1991-1-4: $q_p(z) = 0,606 \text{ kN/m}^2 = 0,61 \text{ kN/m}^2$

Zatěžovací stav č. 1 (VR1) - vítr působí kolmo na otevřenou přední stěnu

e – menší z ($b = 21,5 \text{ m}$ nebo $2 \cdot h = 2 \cdot 7,8 = 15,6 \text{ m}$) $\Rightarrow 15,6 \text{ m}$

$h/d = 7,8/12,5 = 0,624$



Obr. 1 – zatížení větrem, zatěžovací stav č. 1, vykreslení s uvedením charakteristických hodnot

stěny – vnější tlak:

$$W_{A,k} = C_{pe,A} \times q_p(z) = -1,2 \cdot 0,61 = -0,732 \text{ kN/m}^2 = -0,73 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{B,k} = C_{pe,B} \times q_p(z) = -0,8 \cdot 0,61 = -0,488 \text{ kN/m}^2 = -0,49 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{E,k} = C_{pe,E} \times q_p(z) = -0,4 \cdot 0,61 = -0,244 \text{ kN/m}^2 = -0,24 \text{ kN/m}^2$$

střecha – vnější tlak:

$$W_{F,k} = C_{pe,F} \times q_p(z) = -2,6 \cdot 0,61 = -1,586 \text{ kN/m}^2 = -1,59 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{G,k} = C_{pe,G} \times q_p(z) = -1,3 \cdot 0,61 = -0,793 \text{ kN/m}^2 = -0,79 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{H,k} = c_{pe,H} \times q_p(z) = -0,83 \times 0,61 = -0,5063 \text{ kN/m}^2 = -0,51 \text{ kN/m}^2$$

stěny a střecha – vnitřní tlak:

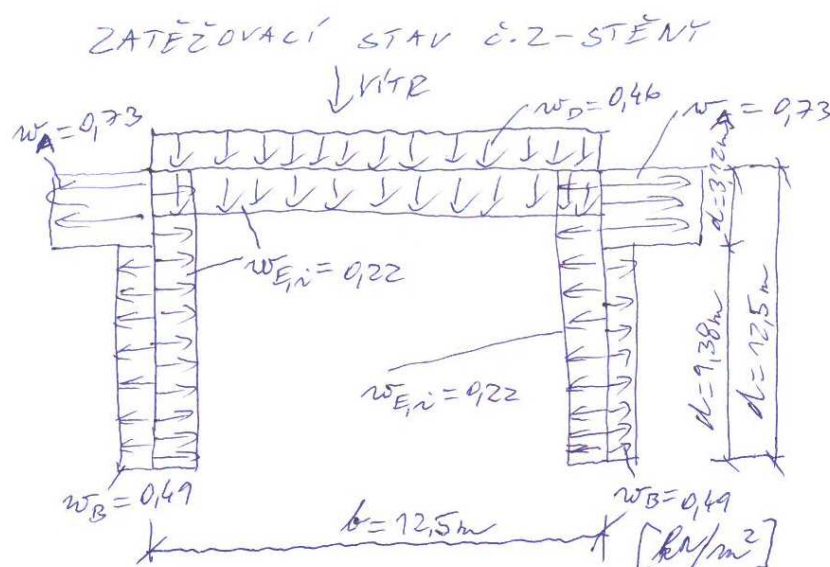
Protože plocha otvoru na rozhodující fasádě je 3 x větší než plocha na zbývajících fasádách, tak: $c_{pi} = 0,9 \times c_{pe}$

$$w_{D,i,k} = 0,9 \times c_{pe,D} \times q_p(z) = 0,9 \times 0,75 \times 0,61 = 0,41175 \text{ kN/m}^2 = 0,41 \text{ kN/m}^2$$

Zatěžovací stav č. 2 (VR2) - vítr působí kolmo na zadní stěnu

e – menší z ($b = 21,5 \text{ m}$ nebo $2 \times h = 2 \times 7,8 = 15,6 \text{ m}$) $\Rightarrow 15,6 \text{ m}$

$$h/d = 7,8/12,5 = 0,624$$



Obr. 2 – zatížení větrem, zatěžovací stav č. 2, vykreslení stěn s uvedením charakteristických hodnot

stěny – vnější tlak:

$$w_{A,k} = c_{pe,A} \times q_p(z) = -1,2 \times 0,61 = -0,732 \text{ kN/m}^2 = -0,73 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{B,k} = c_{pe,B} \times q_p(z) = -0,8 \times 0,61 = -0,488 \text{ kN/m}^2 = -0,49 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{D,k} = c_{pe,D} \times q_p(z) = 0,75 \times 0,61 = 0,4575 \text{ kN/m}^2 = 0,46 \text{ kN/m}^2$$

střecha – vnější tlak (VR2a):

$$w_{F,k} = c_{pe,F} \times q_p(z) = 0,06 \times 0,61 = 0,0366 \text{ kN/m}^2 = 0,04 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{G,k} = c_{pe,G} \times q_p(z) = 0,06 \times 0,61 = 0,0366 \text{ kN/m}^2 = 0,04 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{H,k} = c_{pe,H} \times q_p(z) = 0,06 \times 0,61 = 0,0366 \text{ kN/m}^2 = 0,04 \text{ kN/m}^2$$

střecha – vnější tah (VR2b):

$$w_{F,k} = c_{pe,F} \times q_p(z) = -2,35 \times 0,61 = -1,4335 \text{ kN/m}^2 = -1,43 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{G,k} = c_{pe,G} \times q_p(z) = -1,08 \times 0,61 = -0,6588 \text{ kN/m}^2 = -0,66 \text{ kN/m}^2$$

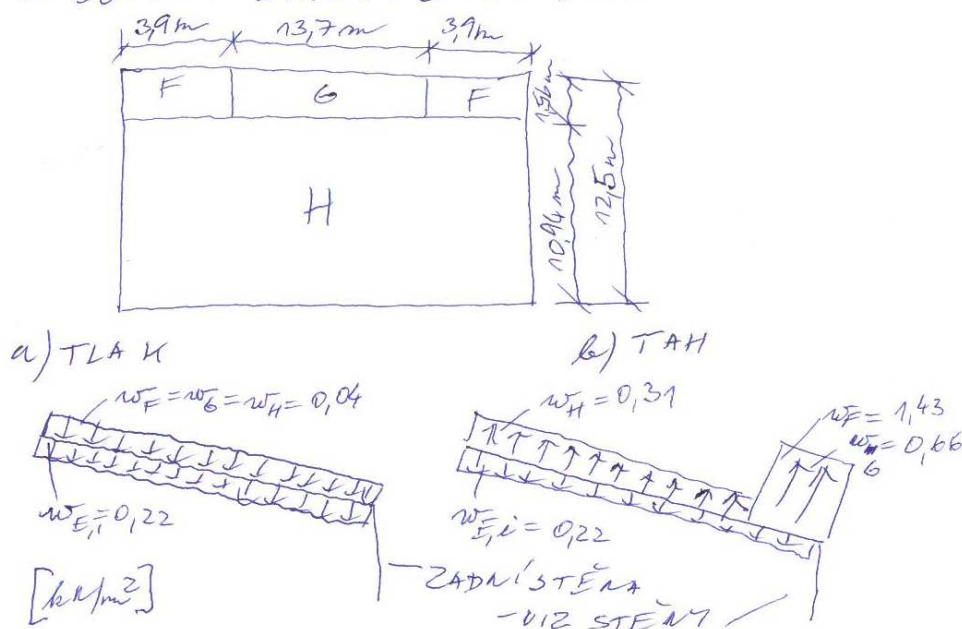
$$w_{H,k} = c_{pe,H} \times q_p(z) = -0,51 \times 0,61 = -0,3111 \text{ kN/m}^2 = -0,31 \text{ kN/m}^2$$

stěny a střecha – vnitřní tlak:

Protože plocha otvoru na rozhodující fasádě je 3 x větší než plocha na zbývajících fasádách, tak: $c_{pi} = 0,9 \times c_{pe}$

$$W_{E,i,k} = 0,9 \times C_{pe,E} \times q_p(z) = 0,9 \times (-0,4) \times 0,61 = -0,2196 \text{ kN/m}^2 = -0,22 \text{ kN/m}^2$$

ZATĚŽOVACÍ STAV Č. 2 – STŘECHA



Obr. 3 – zatížení větrem, zatěžovací stav č. 2, vykreslení střechy s uvedením charakteristických hodnot

Zatěžovací stav č. 3 (VR3) - vítr působí kolmo na boční stěnu

e – menší z ($b = 12,5 \text{ m}$ nebo $2 \cdot h = 2 \cdot 7,8 = 15,6 \text{ m}$) $\Rightarrow 12,5 \text{ m}$

$$h/d = 7,8 / 21,5 = 0,344 = 0,35$$

stěny – vnější tlak:

$$W_{A,k} = C_{pe,A} \times q_p(z) = -1,2 \times 0,61 = -0,732 \text{ kN/m}^2 = -0,73 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{B,k} = C_{pe,B} \times q_p(z) = -0,8 \times 0,61 = -0,488 \text{ kN/m}^2 = -0,49 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{C,k} = C_{pe,C} \times q_p(z) = -0,5 \times 0,61 = -0,305 \text{ kN/m}^2 = -0,31 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{D,k} = C_{pe,D} \times q_p(z) = 0,72 \times 0,61 = 0,4392 \text{ kN/m}^2 = 0,44 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{E,k} = C_{pe,E} \times q_p(z) = -0,33 \times 0,61 = -0,2013 \text{ kN/m}^2 = -0,20 \text{ kN/m}^2$$

střecha – vnější tlak:

$$W_{F,horní,k} = C_{pe,F,horní} \times q_p(z) = -2,69 \times 0,61 = -1,6409 \text{ kN/m}^2 = -1,64 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{F,dolní,k} = C_{pe,F,dolní} \times q_p(z) = -2,4 \times 0,61 = -1,464 \text{ kN/m}^2 = -1,46 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{G,k} = C_{pe,G} \times q_p(z) = -2,15 \times 0,61 = -1,3115 \text{ kN/m}^2 = -1,31 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{H,k} = C_{pe,H} \times q_p(z) = -0,66 \times 0,61 = -0,4026 \text{ kN/m}^2 = -0,40 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{I,k} = C_{pe,I} \times q_p(z) = -0,56 \times 0,61 = -0,3416 \text{ kN/m}^2 = -0,34 \text{ kN/m}^2$$

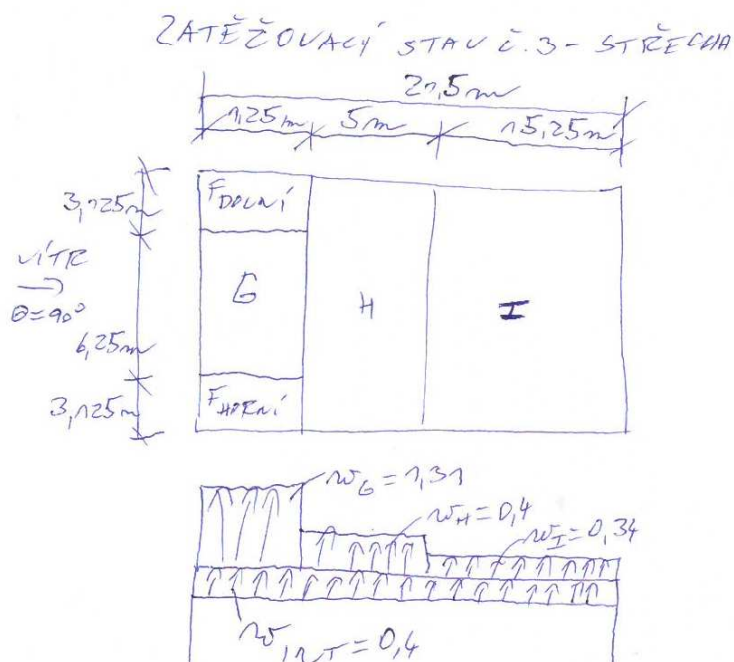
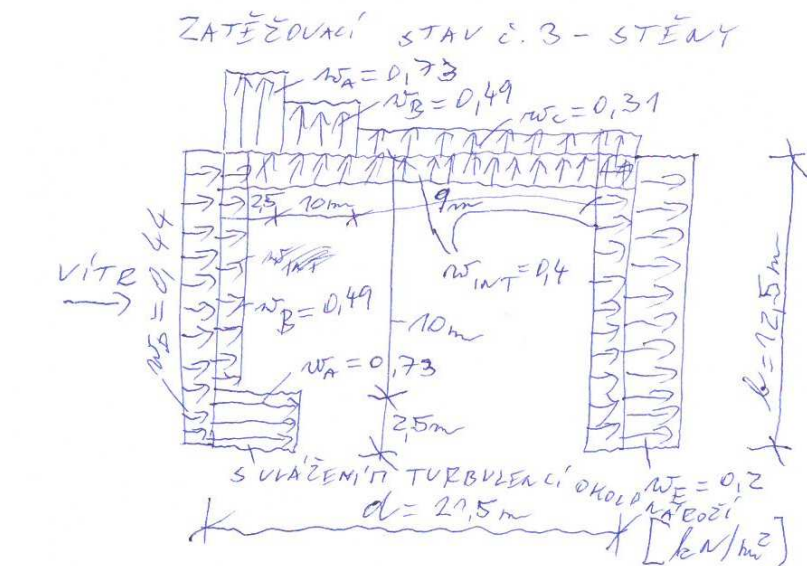
stěny a střecha – vnitřní tlak:

Protože plocha otvoru na rozhodující fasádě je 3 x větší než plocha na zbývajících fasádách, tak: $c_{pi} = 0,9 \times c_{pe}$

Otvor se nalézá v oblastech s různými hodnotami vnějších tlaků, použije se plochou vážená střední hodnota c_{pe} .

$$W_{int,k} = 0,9 \times c_{pe} \times q_p(z) = 0,9 \times 0,443 = 0,3987 \text{ kN/m}^2 = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

$$c_{pe} \times q_p(z) = (2,5 \times 0,73 + 10 \times 0,49 + 9 \times 0,31) / 21,5 = 0,44258 \text{ kN/m}^2 = 0,443 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 4 – zatížení větrem, zatěžovací stav č. 3, vykreslení s uvedením charakteristických hodnot

4.4. Zatížení užitné

Střecha kategorie H (nepřístupná s výjimkou údržby) podle ČSN EN 1991

$q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ $\gamma_F = 1,5$ $q_D = q_k \times \gamma_F = 0,75 \times 1,5 = 1,125 = 1,13 \text{ kN/m}^2$
 Lze předpokládat, že q_k působí na ploše $A = 10 \text{ m}^2$.

$Q_k = 1 \text{ kN}$

$\gamma_F = 1,5$

$Q_D = Q_k \times \gamma_F = 1 \times 1,5 = 1,5 \text{ kN}$

4.5. Zatížení od technologie

Pro možnost podvěsit pod strop haly osvětlení, kabelové lávky, apod. uvažujeme:

$q_{k,tech} = 0,1 \text{ kN/m}^2$

$\gamma_F = 1,5$

$q_{D,tech} = q_{k,tech} \times \gamma_F = 0,1 \times 1,5 = 0,15 \text{ kN/m}^2$

5. Posouzení jímavotlivých prvků

5.1. Trapézový plech – střechy

Trapézový plech střechy je uvažován jako spojitý nosník o dvou polích o stejném rozpětí 1,5 m.

Návrh: TR 50/250 tl. 0,63 mm, S320GD, v negativní pozici.

Kombinace zatížení pro 1. mezní stav:

Vlastní trapézový plech TR 50/250 tl. 0,63 mm váží 6,3 kg/m². $g_k = 0,063 \text{ kN/m}^2$

Tlak větru

$f_{d,max} = g_k \times \gamma_F + q_{k,tech} \times \gamma_F \times \psi_0 + s_{k,Varn} \times \gamma_F + (w_{G,k} + w_{E,i,k}) \times \gamma_F \times \psi_0 = 0,063 \times 1,35 + 0,1 \times 1,5 + 1,6 \times 1,5 + (0,04 + 0,22) \times 1,5 \times 0,6 = 2,86905 \text{ kN/m}^2 = 2,87 \text{ kN/m}^2$

pozn.: maximálním tlakem působí vítr v zatěžovacím stavu VR2a

Tah větru

$f_{d,min} = g_k \times \gamma_F + (w_{F,horní,k} + w_{int}) \times \gamma_F = -0,063 \times 0,9 + (1,64 + 0,4) \times 1,5 = 3,0033 \text{ kN/m}^2 = 3,0 \text{ kN/m}^2$

pozn.: maximálním tahem působí vítr v zatěžovacím stavu VR3

Kombinace zatížení pro 2. mezní stav:

Tlak větru

$f_{k,max} = g_k + q_{k,tech} \times \psi_0 + s_{k,Varn} + (w_{G,k} + w_{E,i,k}) \times \psi_0 = 0,063 + 0,1 + 1,6 + (0,04 + 0,22) \times 0,6 = 1,919 \text{ kN/m}^2 = 1,92 \text{ kN/m}^2$

pozn.: maximálním tlakem působí vítr v zatěžovacím stavu VR2a

Tah větru

$f_{k,min} = g_k + (w_{F,horní,k} + w_{int}) = -0,063 + (1,64 + 0,4) = 1,977 \text{ kN/m}^2 = 1,98 \text{ kN/m}^2$

pozn.: maximálním tahem působí vítr v zatěžovacím stavu VR3

Podle tabulky od firmy Kovové profily, spol. s r.o. unese zvolený trapézový plech v negativní pozici pro rozpětí 1,5 m spojitého nosníku o 2 polích přípustné rovnoměrné zatížení $g_{d2} = 4,22 \text{ kN/m}^2$. Podle tabulky od firmy Kovové profily, spol. s r.o. unese zvolený trapézový plech v pozitivní poloze pro rozpětí 1,5 m spojitého nosníku (stejně rozpětí polí) přípustné rovnoměrné zatížení $g_{d2} = 4,29 \text{ kN/m}^2$. Šířka vnitřní podpory min. 80 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm.

Deformaci rovnou $L/200$, tedy 7,5 mm způsobí přípustné rovnoměrné zatížení o velikosti $q_k = 12,75 \text{ kN/m}^2$ v negativní poloze plechu. Deformaci rovnou $L/200$, tedy 7,5 mm způsobí přípustné rovnoměrné zatížení o velikosti $q_k = 9,61 \text{ kN/m}^2$ v pozitivní poloze plechu.

1.MS

Negativní poloha plechu: $g_{d2} = 4,22 \text{ kN/m}^2 \geq f_{d,max} = 2,87 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Pozitivní poloha plechu: $g_{d2} = 4,29 \text{ kN/m}^2 \geq |f_{d,min}| = 3,0 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

2.MS

Negativní poloha plechu: $q_k = 12,75 \text{ kN/m}^2 \geq f_{k,max} = 1,92 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Pozitivní poloha plechu: $q_k = 9,61 \text{ kN/m}^2 \geq |f_{k,min}| = 1,98 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Závěr: Trapézový plech TR 50/250 tl. 0,63 mm, S320GD, v negativní pozici na střešním plášti vyhoví. Musí být dodržena požadovaná šířka vnitřní podpory min. 80 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm.

5.2. Vaznice

Vaznice jsou v osově vzdálenosti 1,5 m. Sklon střechy 8° a vaznice zanedbám, protože dominantním zatížením je zatížení větrem, které působí kolmo k ploše střechy.

Prostý nosník na rozpětí 10,35 m.

Kombinace zatížení pro 1. mezní stav:

$$f_{d,max,tlak} = 1,5 \times (g_k \times \gamma_F + q_{k,tech} \times \gamma_F \times \psi_0 + S_{k,Varn} \times \gamma_F + (W_{G,k} + W_{E,i,k}) \times \gamma_F \times \psi_0) = 1,5 \times (0,063 \times 1,35 + 0,1 \times 1,5 + 1,6 \times 1,5 + (0,04 + 0,22) \times 1,5 \times 0,6) = 4,303575 \text{ kN/m} = 4,3 \text{ kN/m}$$

pozn.: VR2a

$$f_{D,max,tah1} = 1,5 \times (g_k \times \gamma_F + W_{H,k} \times \gamma_F + W_{D,i,k} \times \gamma_F) = 1,5 \times (0,063 \times 0,9 - 0,51 \times 1,5 - 0,41 \times 1,5) = -1,98495 = -1,99 \text{ kN/m}$$

pozn.: VR1, pro vaznice dále než 1,6 m od okraje

$$f_{D,max,tah2} = 1,5 \times (g_k \times \gamma_F + W_{F,k} \times \gamma_F + W_{D,i,k} \times \gamma_F) = 1,5 \times (0,063 \times 0,9 - 1,59 \times 1,5 - 0,41 \times 1,5) = -4,41495 = -4,42 \text{ kN/m}$$

pozn.: VR1, pro vaznice do vzdálenosti 1,6 m od okraje

Kombinace zatížení pro 2. mezní stav:

$$f_{k,max,tlak} = 1,5 \times f_{k,max} = 1,5 \times 1,92 = 2,88 \text{ kN/m}$$

$$f_{k,max,tah1} = 1,5 \times (g_k + W_{H,k} + W_{D,i,k}) = 1,5 \times (0,063 - 0,51 - 0,41) = -1,2855 = -1,29 \text{ kN/m}$$

pozn.: VR1, pro vaznice dále než 1,6 m od okraje

$f_{k,max,tah2} = 1,5 \times (g_k + w_{F,k} + w_{D,i,k}) = 1,5 \times (0,063 - 1,59 - 0,41) = -2,9055 = -2,91$
kN/m pozn.: VR1, pro vaznice do vzdálenosti 1,6 m od okraje

Vaznice do vzdálenosti 1,6 m od okraje

Návrh 2xUPE180 podle DIN 1026-2 (svařeno do uzavřeného průřezu)

– vlastní tíha 1 kusu UPE180 19,7 kg/bm

Moment

$M_{Ed,max} = 1/8 \times (f_{D,max,tah2}) \times L^2 = 1/8 \times (4,42) \times 10,35^2 = 59,19$ kNm – pro tahové zatížení zanedbám vl. tíhu vaznice (působí proti tahu větru)

Ohyb

$$\frac{M_{Ed,max}}{M_{Rd}} = \frac{59,19}{70,50} = 0,84 \leq 1 - \text{vyhovuje}$$

$M_{Rd} = 2 \times W_y \times f_y / \gamma_{M0} = 2 \times 150 \times 235 / 1,00 = 70500$ Nm = 70,50 kNm

Vaznice do vzdálenosti 1,6 m od okraje střechy tvořená 2 x UPE 180 (podle DIN 1026-2) vyhovuje v 1. mezním stavu.

Deformace:

Maximální přípustná deformace: $L/200 = 10350/200 = 51,75$ mm

$$w_z = \frac{5 \times (f_{k,max,tah2}) \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times 2910 \times 10,35^4}{384 \times 210^9 \times 2 \times 13,5^{-6}} = 0,0767 \text{ m} = 75,7 \text{ mm}$$

$> 51,75 \text{ mm}$ – *nevyhovuje 2xUPE 180*

$$w_z = \frac{5 \times (f_{k,max,tah2}) \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times 2910 \times 10,35^4}{384 \times 210^9 \times 2 \times 26,8^{-6}} = 0,03862 \text{ m} = 38,6 \text{ mm}$$

$\leq 51,75 \text{ mm}$ – *vyhovuje 2xUPE 220*

Vaznice dále než 1,6 m od podélného okraje střechy

Návrh UPE 220 (proti klopení vlivem tahu/tlaku větru zajištěno spojením s okrajovými vaznicemi z 2xUPE 220)

– vlastní tíha 1 kusu UPE220 26,6 kg/bm

Moment

$M_{Ed,max} = 1/8 \times (f_{d,max,tlak} + 0,266 \times \gamma_F) \times L^2 = 1/8 \times (4,3 + 0,266 \times 1,35) \times 10,35^2 = 62,39$ kNm

Ohyb

$$\frac{M_{Ed,max}}{M_{Rd}} = \frac{62,39}{57,34} = 1,088 \geq 1 - \text{nevyhovuje UPE220}$$

$M_{Rd} = W_y \times f_y / \gamma_{M0} = 244 \times 235 / 1,00 = 57340$ Nm = 57,34 kNm

Vaznice dále než 1,6 m od podélného okraje střechy tvořená UPE 220 nevyhovuje v 1. mezním stavu.

vlastní tíha 1 kusu UPE240 30,2 kg/bm

$M_{Ed,max} = 1/8 \times (f_{d,max,tlak} + 0,302 \times \gamma_F) \times L^2 = 1/8 \times (4,3 + 0,302 \times 1,35) \times 10,35^2 = 63,04$ kNm

Ohyb

$$\frac{M_{Ed,max}}{M_{Rd}} = \frac{63,04}{70,5} = 0,894 \leq 1 - \text{vyhovuje UPE 240}$$

$M_{Rd} = W_y \times f_y / \gamma_{M0} = 300 \times 235 / 1,00 = 70500$ Nm = 70,5 kNm

Vaznice dále než 1,6 m od podélného okraje střechy tvořená UPE 240 vyhovuje v 1. mezním stavu.

Deformace:

Maximální přípustná deformace: $L/200 = 10350/200 = 51,75 \text{ mm}$

$$w_z = \frac{5 \times (f_{k,max,tlak} + 302) \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times (2880 + 302) \times 10,35^4}{384 \times 210^9 \times 36,0^{-6}} = 0,0629 \text{ m}$$

$= 62,9 \text{ mm} > 51,75 \text{ mm}$ – *nevyhovuje UPE 240*

$$w_z = \frac{5 \times (f_{k,max,tlak} + 362) \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times (2880 + 362) \times 10,35^4}{384 \times 210^9 \times 42,5^{-6}} = 0,0543 \text{ m}$$

$= 54,3 \text{ mm} > 51,75 \text{ mm}$ – *nevyhovuje IPN240*

$$w_z = \frac{5 \times (f_{k,max,tlak} + 352) \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times (2880 + 352) \times 10,35^4}{384 \times 210^9 \times 52,5^{-6}} = 0,0438 \text{ m}$$

$= 43,8 \text{ mm} \leq 51,75 \text{ mm}$ – *vyhovuje UPE 270*

Vaznice dále než 1,6 m od podélného okraje střechy – vyhovuje UPE 270 podle DIN 1026-2, pokud je zajištěna proti klopení.

Znovu posuzují vaznice při okraji střechy, zda vyhoví UPE 270

Posuzují pouze tah větru, stav s tlakem větrem a zatížením sněhem je stejný v celé ploše střechy, tedy je posouzeno v rámci „Vaznice dále než 1,6 m od podélného okraje střechy“.

2. mezní stav

$$w_z = \frac{5 \times (f_{k,max,tah2}) \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times 2910 \times 10,35^4}{384 \times 210^9 \times 52,5^{-6}} = 0,03944 \text{ m} = 39,4 \text{ mm}$$

$\leq 51,75 \text{ mm}$ – *vyhovuje UPE 270, ale musí být zajištěn tlačný pás proti klopení*

1. mezní stav

$$M_{Ed,max} = 1/8 \times (f_{D,max,tah2}) \times L^2 = 1/8 \times (4,42 - 0,352 \times 0,9) \times 10,35^2 = 54,94 \text{ kNm}$$

Ohyb

$$\frac{M_{Ed,max}}{M_{Rd}} = \frac{54,94}{91,42} = 0,601$$

≤ 1

– *vyhovuje UPE 270, ale musí být zajištěn tlačný pás proti klopení*

$$M_{Rd} = W_y \times f_y / \gamma_{M0} = 389 \times 235 / 1,00 = 91415 \text{ Nm} = 91,42 \text{ kNm}$$

Reakce od vaznic:

V ploše střechy od UPE 270

$$Q_{d,tlak,1} = -(0,352 \times \gamma_F + 1,5 \times (g_k \times \gamma_F + q_{k,tech} \times \gamma_F \times \psi_0 + S_{k,Varn} \times \gamma_F + (W_{G,k} + W_{E,i,k}) \times \gamma_F \times \psi_0)) \times (L/2) = -(0,352 \times 1,35 + 1,5 \times (0,063 \times 1,35 + 0,1 \times 1,5 + 1,6 \times 1,5 + (0,04 + 0,22) \times 1,5 \times 0,6)) \times 10,35/2 = -24,73 \text{ kN}$$

$$Q_{k,tlak,1} = -(0,352 + 1,5 \times (g_k + q_{k,tech} \times \psi_0 + S_{k,Varn} + (W_{G,k} + W_{E,i,k}) \times \psi_0)) \times (L/2) = -(0,352 + 1,5 \times (0,063 + 0,1 + 1,6 + (0,02 + 0,22) \times 0,6)) \times 10,35/2 = -16,6247 \text{ kN} = -16,63 \text{ kN}$$

$$Q_{d,tah,2} = (-0,352 \times \gamma_F + 1,5 \times (-g_k \times \gamma_F + w_{H,k} \times \gamma_F + w_{D,i,k} \times \gamma_F)) \times L/2 = (-0,352 \times 1,35 + 1,5 \times (-0,063 \times 0,9 + 0,51 \times 1,5 + 0,41 \times 1,5)) \times 10,35 / 2 = 7,8129 \text{ kN} = 7,81 \text{ kN}$$

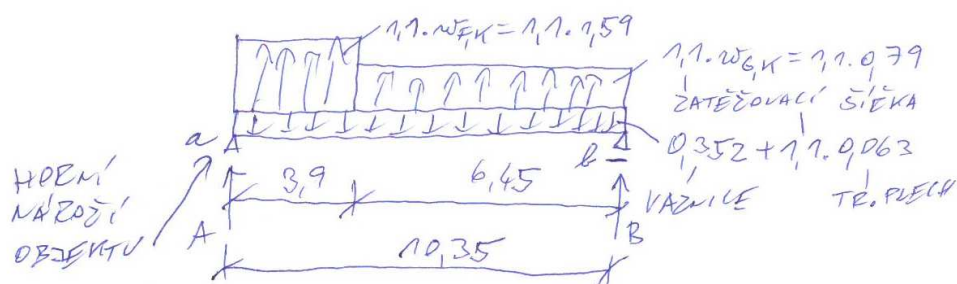
$$Q_{k,tah,2} = (-0,352 + 1,5 \times (-g_k + w_{H,k} + w_{D,i,k})) \times L/2 = (-0,352 + 1,5 \times (-0,063 + 0,51 + 0,41)) \times 10,35 / 2 = 4,83086 \text{ kN} = 4,83 \text{ kN}$$

Na okraji střechy

$$Q_{d,tlak,3} = -(0,352 \times \gamma_F + 1,1 \times (g_k \times \gamma_F + q_{k,tech} \times \gamma_F \times \psi_0 + S_{k,Varn} \times \gamma_F + (W_{G,k} + W_{E,i,k}) \times \gamma_F \times \psi_0)) \times (L/2) = -(0,352 \times 1,35 + 1,1 \times (0,063 \times 1,35 + 0,1 \times 1,5 + 1,6 \times 1,5 + (0,04 + 0,22) \times 1,5 \times 0,6)) \times 10,35/2 = -18,79123 \text{ kN} = -18,791 \text{ kN, pozn.: zatížení větrem VR2a}$$

$$Q_{k,tlak,3} = -(0,352 + 1,1 \times (g_k + q_{k,tech} \times \psi_0 + S_{k,Varn} + (W_{G,k} + W_{E,i,k}) \times \psi_0)) \times (L/2) = -(0,352 + 1,1 \times (0,063 + 0,1 + 1,6 + (0,04 + 0,22) \times 0,6)) \times 10,35/2 = -12,7455 \text{ kN} = -12,75 \text{ kN, pozn.: zatížení větrem VR2a}$$

REAKCE OT TAHU VĚTRU NA NEAZNÍ VAZNICE
- ZATÍŽENÍ VĚTREM ZE ZATĚŽOVACÍHO STAVU C.1



CHARAKTERISTICKÁ HODNOTA

$$\left(\begin{aligned} \rightarrow B_k \cdot 10,35 - (0,352 + 1,1 \cdot 0,063) \cdot \frac{10,35^2}{2} + 1,1 \cdot 1,59 \cdot \frac{3,9^2}{2} + 1,1 \cdot 0,79 \cdot 6,45 \cdot \left(\frac{6,45}{2} + 3,9 \right) = 0 \end{aligned} \right. \quad B_k = -2,963456 \text{ kN} = -2,96 \text{ kN}$$

$$\left(\begin{aligned} \rightarrow -A_k \cdot 10,35 + (0,352 + 1,1 \cdot 0,063) \cdot \frac{10,35^2}{2} - 1,1 \cdot 1,59 \cdot 3,9 \cdot \left(\frac{3,9}{2} + 6,45 \right) - 1,1 \cdot 0,79 \cdot \frac{6,45^2}{2} = 0 \end{aligned} \right. \quad A_k = -5,1022388 \text{ kN} = -5,10 \text{ kN}$$

$$\text{ZKOUŠKA: } A_k + B_k = -8,0656948 \text{ kN}$$

$$(0,352 + 1,1 \cdot 0,063) \cdot 10,35 - 1,1 \cdot 1,59 \cdot 3,9 - 1,1 \cdot 0,79 \cdot 6,45 = -8,065695 \text{ kN}$$

VÝPOČTOVÁ HODNOTA

$$\begin{aligned} \text{[g]: } B_D \cdot 10,35 - (0,352 + 1,1 \cdot 0,063) \cdot 0,9 \cdot \frac{10,35^2}{2} + 1,1 \cdot 0,59 \cdot 1,5 \cdot \frac{3,9^2}{2} \\ + 1,1 \cdot 0,79 \cdot 1,5 \cdot 6,45 \cdot \left(\frac{6,45}{2} + 3,9 \right) = 0 \\ B_D = -5,7533 \text{ kN} = -5,75 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{[d]: } -A_D - 10,35 + (0,352 + 1,1 \cdot 0,063) \cdot 0,9 \cdot \frac{10,35^2}{2} - 1,1 \cdot 0,59 \cdot 1,5 \cdot 3,9 \\ \cdot \left(\frac{3,9}{2} + 6,45 \right) - 1,1 \cdot 0,79 \cdot 1,5 \cdot \frac{6,45^2}{2} = 0 \\ A_D = -8,9614947 \text{ kN} = -8,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ZKOUŠKA: } A_D + B_D = -14,7147947 \text{ kN} \\ (0,352 + 1,1 \cdot 0,063) \cdot 0,9 \cdot 10,35 - 1,1 \cdot 0,59 \cdot 1,5 \cdot 3,9 - 1,1 \cdot 0,79 \cdot 1,5 \cdot 6,45 = \\ = -14,7148155 \text{ kN} \end{aligned}$$

Smyk

$$\frac{Q_{d,tlak}}{V_{c,Rd}} = \frac{24,73}{301} = 0,082 \leq 1 - \text{vyhovuje}$$

$$V_{Pl,Rd,y} = \frac{A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{Pl,Rd,y} = \frac{(4480 - 2 \cdot 95 \cdot 13,5 + (7,5 + 15) \cdot 13,5) \times \left(\frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 301034 = 301 \text{ kN}$$

Vaznice UPE 270 vyhovuje v 1. mezním stavu.

Závěr: Vaznice při čelní a zadní straně objektu z 2xUPE 270 (podle DIN 1026-2) a vaznice v ploše střechy z UPE 270 (podle DIN 1026-2 a za předpokladu, že jsou jištěny proti klopení dolní pásnice) vyhovuje v 1. i 2. mezním stavu na rozpětí 10,35 m. Ocel S235.

5.3. Trapézový plech - stěny

Stěna zadní

Trapézový plech stěny je uvažován jako spojitý nosník o dvou polích o stejném rozpětí 1,5 m. Na 1 pole prostého nosníku o výšce 3 metry plech nevyhoví, protože:

- Podle tabulky od firmy Kovové profily, spol. s r.o. deformaci rovnou $L/200$, tedy 15 mm způsobí na plechu TR 50/250 tl. 0,63 v pozitivní pozici přípustné rovnoměrné zatížení o velikosti $q_k = 0,50 \text{ kN/m}^2 < f_{k,max,tah,zad} = 1,13 \text{ kN/m}^2$ (zatěžovací stav č. 3).

Návrh: TR 50/250 tl. 0,63 mm, S320GD, v negativní pozici. Spojitý nosník o dvou polích o stejném rozpětí 1,5 m.

Kombinace zatížení pro 1. mezní stav:

Vlastní trapézový plech TR 50/250 tl. 0,63 mm váží 6,3 kg/m². $g_k = 0,063 \text{ kN/m}^2$

Tlak větru

$$f_{d,max} = (w_{D,k} + w_{E,i,k}) \times \gamma_F = (0,46 + 0,22) \times 1,5 = 1,02 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tlakem působí vítr v zatěžovacím stavu VR2

Tah větru

$$f_{d,min} = (w_{A,k} + w_{int}) \times \gamma_F = (0,73 + 0,4) \times 1,5 = 1,695 \text{ kN/m}^2 = 1,70 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tahem působí vítr v zatěžovacím stavu VR3

Kombinace zatížení pro 2. mezní stav:

Tlak větru

$$f_{k,max} = w_{D,k} + w_{E,i,k} = 0,46 + 0,22 = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tlakem působí vítr v zatěžovacím stavu VR2

Tah větru

$$f_{k,min} = w_{A,k} + w_{int} = 0,73 + 0,4 = 1,13 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tahem působí vítr v zatěžovacím stavu VR3

Podle tabulky od firmy Kovové profily, spol. s r.o. unese zvolený trapézový plech v negativní pozici pro rozpětí 1,5 m spojitého nosníku o 2 polích přípustné rovnoměrné zatížení $g_{d2} = 4,22 \text{ kN/m}^2$. Podle tabulky od firmy Kovové profily, spol. s r.o. unese zvolený trapézový plech v pozitivní poloze pro rozpětí 1,5 m spojitého nosníku (stejně rozpětí polí) přípustné rovnoměrné zatížení $g_{d2} = 4,29 \text{ kN/m}^2$. Šířka vnitřní podpory min. 80 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm.

Deformaci rovnou $L/200$, tedy 7,5 mm způsobí přípustné rovnoměrné zatížení o velikosti $q_k = 12,75 \text{ kN/m}^2$ v negativní poloze plechu. Deformaci rovnou $L/200$, tedy 7,5 mm způsobí přípustné rovnoměrné zatížení o velikosti $q_k = 9,61 \text{ kN/m}^2$ v pozitivní poloze.

1.MS

Negativní poloha plechu: $g_{d2} = 4,22 \text{ kN/m}^2 \geq f_{d,max} = 1,02 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Pozitivní poloha plechu: $g_{d2} = 4,29 \text{ kN/m}^2 \geq |f_{d,min}| = 1,7 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

2.MS

Negativní poloha plechu: $q_k = 12,75 \text{ kN/m}^2 \geq f_{k,max} = 0,68 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Pozitivní poloha plechu: $q_k = 9,61 \text{ kN/m}^2 \geq |f_{k,min}| = 1,13 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Závěr: Trapézový plech TR 50/250 tl. 0,63 mm, S320GD, v negativní pozici na fasádě zadní stěny vyhoví. Musí být dodržena požadovaná šířka vnitřní podpory min. 80 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm.

Stěna boční

V přední části

Trapézový plech stěny je uvažován jako spojitý nosník o dvou polích o stejném rozpětí 2,25 m.

Návrh: TR 50/250 tl. 0,63 mm, S320GD, v negativní pozici.

Kombinace zatížení pro 1. mezní stav:

Vlastní trapézový plech TR 50/250 tl. 0,63 mm váží 6,3 kg/m². $g_k = 0,063 \text{ kN/m}^2$

Tlak větru

$$f_{d,max} = (W_{D,k} + W_{A,i,k}) \times \gamma_F = (0,44+0,73) \times 1,5 = 1,755 \text{ kN/m}^2 = 1,76 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tlakem působí vítr v zatěžovacím stavu VR3

Tah větru

$$f_{d,min} = (W_{D,i,k} + W_{A,k}) \times \gamma_F = (0,41 + 0,73) \times 1,5 = 1,71 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tahem působí vítr v zatěžovacím stavu VR1

Kombinace zatížení pro 2. mezní stav:

Tlak větru

$$f_{k,max} = W_{D,k} + W_{A,i,k} = 0,44 + 0,73 = 1,17 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tlakem působí vítr v zatěžovacím stavu VR3

Tah větru

$$f_{k,min} = W_{D,i,k} + W_{A,k} = 0,41 + 0,73 = 1,14 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tahem působí vítr v zatěžovacím stavu VR1

Podle tabulky od firmy Kovové profily, spol. s r.o. unese zvolený trapézový plech v negativní pozici pro rozpětí 2,25 m spojitého nosníku o 2 polích přípustné rovnoměrné zatížení $g_{d2} = 2,24 \text{ kN/m}^2$. Podle tabulky od firmy Kovové profily, spol. s r.o. unese zvolený trapézový plech v pozitivní poloze pro rozpětí 2,25 m spojitého nosníku (stejně rozpětí polí) přípustné rovnoměrné zatížení $g_{d2} = 2,28 \text{ kN/m}^2$. Šířka vnitřní podpory min. 80 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm.

Deformaci rovnou $L/200$, tedy 11,25 mm způsobí přípustné rovnoměrné zatížení o velikosti $q_k = 3,78 \text{ kN/m}^2$ v negativní poloze plechu. Deformaci rovnou $L/200$, tedy 11,25 mm způsobí přípustné rovnoměrné zatížení o velikosti $q_k = 2,85 \text{ kN/m}^2$ v pozitivní poloze.

1.MS

Negativní poloha plechu: $g_{d2} = 2,24 \text{ kN/m}^2 \geq f_{d,max} = 1,76 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Pozitivní poloha plechu: $g_{d2} = 2,28 \text{ kN/m}^2 \geq |f_{d,min}| = 1,71 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

2.MS

Negativní poloha plechu: $q_k = 3,78 \text{ kN/m}^2 \geq f_{k,max} = 1,17 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Pozitivní poloha plechu: $q_k = 2,85 \text{ kN/m}^2 \geq |f_{k,min}| = 1,14 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Předběžný závěr: Trapézový plech TR 50/250 tl. 0,63 mm, S320GD, v negativní pozici na fasádě boční stěně vyhoví. Musí být dodržena požadovaná šířka vnitřní podpory min. 80 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm.

V zadní části

Trapézový plech stěny je uvažován jako prostý nosník o rozpětí 2,25 m.

Návrh: TR 50/250 tl. 0,63 mm, S320GD, v negativní pozici.

Kombinace zatížení pro 1. mezní stav:

Vlastní trapézový plech TR 50/250 tl. 0,63 mm váží $6,3 \text{ kg/m}^2$. $g_k = 0,063 \text{ kN/m}^2$

Tlak větru

$$f_{d,max} = (W_{D,k} + W_{B,i,k}) \times \gamma_F = (0,44+0,49) \times 1,5 = 1,395 \text{ kN/m}^2 = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tlakem působí vítr v zatěžovacím stavu VR3

Tah větru

$$f_{d,min} = (W_{B,k} + W_{D,l,k}) \times \gamma_F = (0,49 + 0,41) \times 1,5 = 1,35 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tahem působí vítr v zatěžovacím stavu VR1

Kombinace zatížení pro 2. mezní stav:

Tlak větru

$$f_{d,max} = W_{D,k} + W_{B,i,k} = 0,44 + 0,49 = 0,93 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tlakem působí vítr v zatěžovacím stavu VR3

Tah větru

$$f_{d,min} = W_{B,k} + W_{D,l,k} = 0,49 + 0,41 = 0,9 \text{ kN/m}^2$$

pozn.: maximálním tahem působí vítr v zatěžovacím stavu VR1

Podle tabulky od firmy Kovové profily, spol. s r.o. unese zvolený trapézový plech v negativní pozici pro rozpětí 2,25 m prostého nosníku přípustné rovnoměrné zatížení $g_{d2} = 2,63 \text{ kN/m}^2$. Podle tabulky od firmy Kovové profily, spol. s r.o. unese zvolený trapézový plech v pozitivní poloze pro rozpětí 2,25 m prostého nosníku přípustné rovnoměrné zatížení $g_{d2} = 2,63 \text{ kN/m}^2$. Šířka vnitřní podpory min. 80 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm.

Deformaci rovnou $L/200$, tedy 11,25 mm způsobí přípustné rovnoměrné zatížení o velikosti $q_k = 1,57 \text{ kN/m}^2$ v negativní poloze plechu. Deformaci rovnou $L/200$, tedy 11,25 mm způsobí přípustné rovnoměrné zatížení o velikosti $q_k = 1,18 \text{ kN/m}^2$ v pozitivní poloze plechu.

1.MS

Negativní poloha plechu: $g_{d2} = 2,63 \text{ kN/m}^2 \geq f_{d,max} = 1,4 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Pozitivní poloha plechu: $g_{d2} = 2,63 \text{ kN/m}^2 \geq |f_{d,min}| = 1,35 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

2.MS

Negativní poloha plechu: $q_k = 1,57 \text{ kN/m}^2 \geq f_{k,max} = 0,93 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Pozitivní poloha plechu: $q_k = 1,18 \text{ kN/m}^2 \geq |f_{k,min}| = 0,9 \text{ kN/m}^2$ – vyhovuje

Závěr: Trapézový plech TR 50/250 tl. 0,63 mm, S320GD, v negativní pozici na fasádě boční stěně vyhoví (na začátku i na konci stěny). Musí být dodržena požadovaná šířka vnitřní podpory min. 80 mm, šířka krajní podpory min. 40 mm.

5.4. Paždík v boční stěně

Prostý nosník na 6 metrů, zatěžovací šířka paždíku - 2,25 m.

Vodorovné zatížení – vítr:

Tlak větru

$$q_{d,pa,max,vod} = 2,25 \times f_{d,max} = 2,25 \times 1,76 = 3,96 \text{ kN / bm}$$

$$q_{k,pa,max,vod} = 2,25 \times f_{k,max} = 2,25 \times 1,17 = 2,6325 \text{ kN / bm} = 2,63 \text{ kN / bm}$$

Tah větru

$$q_{d,pa,min,vod} = 2,25 \times f_{d,min} = 2,25 \times 1,71 = 3,8475 \text{ kN / bm} = 4,85 \text{ kN/ bm}$$

$$q_{k,pa,min,vod} = 2,25 \times f_{k,min} = 2,25 \times 1,14 = 2,565 \text{ kN / bm} = 2,57 \text{ kN/ bm}$$

Svislé zatížení – hmotnost trapézového plechu (TR 50/250 tl. 0,63 mm – 6,3 kg/m²), vlastní hmotnost paždíku (UPE 180 – 19,7 kg – podle DIN 1026-2). Protože šířka příruby je 75 mm, musí být na přírubu přivařen profil 5/5 mm, aby byla splněna šíře podpory 80 mm pro trapézový plech.

$$g_{d,paž,sv} = 2,25 \times 0,063 \times \gamma_F + (0,197 + 0,005 \times 0,005 \times 78,5) \times \gamma_F = 2,25 \times 0,063 \times 1,35 + (0,197 + 0,005 \times 0,005 \times 78,5) \times 1,35 = 0,45996 = 0,46 \text{ kN/bm}$$

$$g_{k,paž,sv} = 2,25 \times 0,063 + 0,197 + 0,005 \times 0,005 \times 78,5 = 0,3407 \text{ kN/bm} = 0,34 \text{ kN/bm}$$

Momenty (prostý nosník na rozpětí 6 metrů)

$$M_{z,ED} = 1/8 \times g_{d,paž,sv} \times L^2 = 1/8 \times 0,46 \times 6^2 = 2,07 \text{ kNm (svislý směr)}$$

$$M_{y,ED} = 1/8 \times q_{d,pa,min,vod} \times L^2 = 1/8 \times 4,85 \times 6^2 = 21,825 \text{ kNm} = 21,83 \text{ kNm (vodorovný směr)}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$M_{z,RD} = W_z \times f_y / \gamma_{M0} = 28,6 \times 235 / 1,00 = 6721 \text{ Nm} = 6,721 \text{ kNm}$$

$$M_{y,RD} = W_y \times f_y / \gamma_{M0} = 150 \times 235 / 1,00 = 35250 \text{ Nm} = 35,25 \text{ kNm}$$

$$\frac{21,83}{35,25} + \frac{2,07}{6,721} \leq 1$$

$$0,93 \leq 1 - \text{vyhovuje UPE180}$$

Klopení:

Stabilní délka úseku nosníku stálého průřezu s:

$$h/t_f < 40\epsilon \quad 180/10,5 = 17,14 < 40 \times 1 - \text{vyhovuje.}$$

$$L_{stable} = (60 - 40 \times \psi) \times \epsilon \times i_z$$

$\psi = 0$, protože koncové momenty nejsou

$$L_{stable} = (60 - 40 \times 0) \times 1 \times 73,4 = 4404 \text{ m} \Rightarrow \text{bude nutno paždíky rozepřít, např. v polovině rozpětí}$$

Smyk:

$$V_{z,D,paž} = g_{d,paž,sv} \times L/2 = 0,46 \times 6/2 = 1,38 \text{ kN}$$

$$V_{y,D,paž} = q_{d,pa,min,vod} \times L/2 = 4,85 \times 6/2 = 14,55 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Pl,Rd}} \leq 1$$

$$V_{Pl,Rd,y} = \frac{A_{v,z} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{(2510 - 2 \times 75 \times 10,5 + (5,5 + 12) \times 10,5) \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{Pl,Rd,y} = 151788,99 \text{ N} = 151,79 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,Rd,z} = \frac{A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{75 \times 2 \times 10,5 \times \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1} = 213691,77 \text{ N} = 213,69 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,D}}{V_{Pl,Rd,z}} = \frac{1,38}{213,69} = 0,0065 \leq 1 - \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{y,D}}{V_{Pl,Rd,y}} = \frac{14,55}{151,79} = 0,096 \leq 1 - \text{vyhovuje}$$

Paždík UPE 180 podle DIN 1026-2 vyhovuje v 1. mezním stavu.

Deformace:

Maximální přípustná deformace: $L/250 = 6000/250 = 24 \text{ mm}$

$$w_z = \frac{5 \times g_{k,paž,sv} \times L^4}{384 \times E \times I_z} = \frac{5 \times 340 \times 6^4}{384 \times 210^9 \times 1,44 \cdot 10^{-6}} = 0,01897 \text{ m} = 19 \text{ mm}$$

$$\leq 24 \text{ mm} - \text{vyhovuje UPE 180 podle DIN 1026 - 2}$$

$$w_y = \frac{5 \times w_{k,pa,min,vod} \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times 2570 \times 6^4}{384 \times 210^9 \times 13,5 \cdot 10^{-6}} = 0,0152976 \text{ m} = 15,3 \text{ mm}$$

$$\leq 24 \text{ mm} - \text{vyhovuje UPE 180 podle DIN 1026 - 2}$$

Mezní štíhlost prutu zajišťujícího klopení paždíků smí být 200.

$$\lambda = L_{CR}/i = 2250/16,7 = 134,73 \leq 200 \Rightarrow \text{vyhovuje TR 51x4}$$

Závěr: Paždíky na rozpětí 6 m vyhovují UPE 180 podle DIN 1026-2 z oceli S 235. Protože šířka příruby je 75 mm, musí být na přírubu přivařen profil 5/5 mm, aby byla splněna šíře podpory 80 mm pro trapézový plech. Paždíky při montáži podepřít po výšce. V polovině rozpětí je nutno paždíky rozepřít kvůli klopení průřezu při sání větru trubkou TR 51x4 podle ČSN 42 5715.01.

5.5. Paždík v zadní stěně

Prostý nosník na 5,25 metrů, zatěžovací šířka paždíku - 1,5 m.

Vodorovné zatížení – vítr:

Tlak větru

$$q_{d,paž,max,vod} = 1,5 \times f_{d,max,zad} = 1,5 \times 1,02 = 1,53 \text{ kN / bm}$$

$$q_{k,paž,max,vod} = 1,5 \times f_{k,max,zad} = 1,5 \times 0,68 = 1,02 \text{ kN / bm}$$

Tah větru

$$q_{d,paž,min,vod} = 1,5 \times f_{d,min,zad} = 1,5 \times 1,7 = 2,55 \text{ kN / bm}$$

$$q_{k,paž,min,vod} = 1,5 \times f_{k,min,zad} = 1,5 \times 1,13 = 1,695 \text{ kN / bm} = 1,7 \text{ kN / bm}$$

Svislé zatížení – hmotnost trapézového plechu (TR 50/250 tl. 0,63 mm – 6,3 kg/m²), vlastní hmotnost paždíku (UPE 140 – 14,5 kg – podle DIN 1026-2). Protože šířka příruby je 65 mm, musí být na přírubu přivařen profil 20/5 mm, aby byla splněna minimální šíře podpory 80 mm pro trapézový plech.

$$g_{d,paž,sv} = 1,5 \times 0,063 \times \gamma_F + (0,145 + 0,02 \times 0,005 \times 78,5) \times \gamma_F = 1,5 \times 0,063 \times 1,35 + (0,145 + 0,02 \times 0,005 \times 78,5) \times 1,35 = 0,3339 = 0,33 \text{ kN/bm}$$

$$g_{k,paž,sv} = 1,5 \times 0,063 + 0,145 + 0,02 \times 0,005 \times 78,5 = 0,24735 \text{ kN/bm} = 0,25 \text{ kN/bm}$$

Momenty (prostý nosník na rozpětí 5,25 metrů)

$$M_{z,ED} = 1/8 \times g_{d,pažz,sv} \times L^2 = 1/8 \times 0,33 \times 5,25^2 = 1,1369 = 1,14 \text{ kNm (svislý směr)}$$

$$M_{y,ED} = 1/8 \times q_{d,paz,min,vod} \times L^2 = 1/8 \times 2,55 \times 5,25^2 = 8,7855 = 8,79 \text{ kNm (vodorovný směr)}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$M_{z,RD} = W_z \times f_y / \gamma_{M0} = 18,2 \times 235 / 1,00 = 4277 \text{ Nm} = 4,3 \text{ kNm}$$

$$M_{y,RD} = W_y \times f_y / \gamma_{M0} = 85,6 \times 235 / 1,00 = 20116 \text{ Nm} = 20,12 \text{ kNm}$$

$$\frac{8,79}{20,12} + \frac{1,14}{4,3} \leq 1$$

$$0,702 \leq 1 - \text{vyhovuje UPE140}$$

Smyk:

$$V_{z,D,paž} = g_{d,pažz,sv} \times L/2 = 0,3339 \times 5,25/2 = 0,8765 = 0,88 \text{ kN}$$

$$V_{y,D,paž} = q_{d,paz,min,vod} \times L/2 = 2,55 \times 5,25/2 = 6,694 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Pl,Rd}} \leq 1$$

$$V_{Pl,Rd,y} = \frac{A_{v,z} \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{(1840 - 2 \times 65 \times 9 + (5 + 12) \times 9) \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{Pl,Rd,y} = 111662,42 \text{ N} = 111,66 \text{ kN}$$

$$V_{Pl,Rd,z} = \frac{A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}} = \frac{65 \times 2 \times 9 \times \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1} = 158742,46 \text{ N} = 158,7 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{z,D}}{V_{Pl,Rd,z}} = \frac{0,88}{158,7} = 0,006 \leq 1 - \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{y,D}}{V_{Pl,Rd,y}} = \frac{6,694}{111,66} = 0,06 \leq 1 - \text{vyhovuje}$$

Paždík UPE 140 podle DIN 1026-2 vyhovuje v 1. mezním stavu.

Deformace:

Maximální přípustná deformace: $L/250 = 5250/250 = 21 \text{ mm}$

$$w_z = \frac{5 \times g_{k,pažz,sv} \times L^4}{384 \times E \times I_z} = \frac{5 \times 250 \times 5,25^4}{384 \times 210^9 \times 0,788 \cdot 10^{-6}} = 0,014944 \text{ m} = 14,94 \text{ mm}$$

$$\leq 21 \text{ mm} - \text{vyhovuje UPE 140 podle DIN 1026 - 2}$$

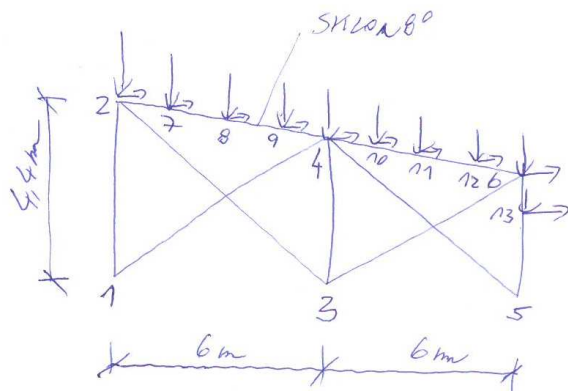
$$w_y = \frac{5 \times w_{k,paz,min,vod} \times L^4}{384 \times E \times I_y} = \frac{5 \times 1700 \times 5,25^4}{384 \times 210^9 \times 6,00 \cdot 10^{-6}} = 0,0133 \text{ m} = 13,3 \text{ mm}$$

$$\leq 21 \text{ mm} - \text{vyhovuje UPE 140 podle DIN 1026 - 2}$$

Závěr: Paždíky na rozpětí 5,25 m vyhovují UPE 140 podle DIN 1026-2 z oceli S235. Protože šířka příruby je 65 mm, musí být na přírubu přivařen profil 20/5 mm, aby byla splněna šíře podpory 80 mm pro trapézový plech. Paždíky při montáži podepřít po výšce. V polovině rozpětí je nutno paždíky rozepřít kvůli klopení průřezu při sání větru trubkou TR 51x4 podle ČSN 42 5715.01.

5.6. Sloupky a ztužidla – pozice CI, CII a CIII

Zatížení - směr dolů je kladný, vodorovně je směr dopředu kladný, dozadu záporný



Obr. 5 - číslování bodů

tlak

bod 2

$$F_{D,2,vr2a,vod} = 1,1 \times 10,35 \times (0,04+0,22) \times \sin 8^\circ \times 1,5 \times 0,6 = 0,37077 \text{ kN} = 0,37 \text{ kN}$$

$$F_{D,2,vr2a,sv} = 1,1 \times 10,35 \times 0,063 \times 1,35 + 10,35 \times 0,352 \times 1,35 + 1,1 \times 10,35 \times 1,6 \times 1,5 + 1,1 \times 10,35 \times 0,1 \times 1,5 + 1,1 \times 10,35 \times (0,04+0,22) \times \cos 8^\circ \times 1,5 \times 0,6 = 37,5565 \text{ kN} = 37,56 \text{ kN}$$

bod 4,7,8,9,10,11,12

$$F_{D,4,vr2a,vod} = 1,5 \times 10,35 \times (0,04+0,22) \times \sin 8^\circ \times 1,5 \times 0,6 = 0,505595 \text{ kN} = 0,51 \text{ kN}$$

$$F_{D,4,vr2a,sv} = 1,5 \times 10,35 \times 0,063 \times 1,35 + 10,35 \times 0,352 \times 1,35 + 1,5 \times 10,35 \times 1,6 \times 1,5 + 1,5 \times 10,35 \times 0,1 \times 1,5 + 1,5 \times 10,35 \times (0,04+0,22) \times \cos 8^\circ \times 1,5 \times 0,6 = 49,42497 \text{ kN} = 49,43 \text{ kN}$$

bod 6

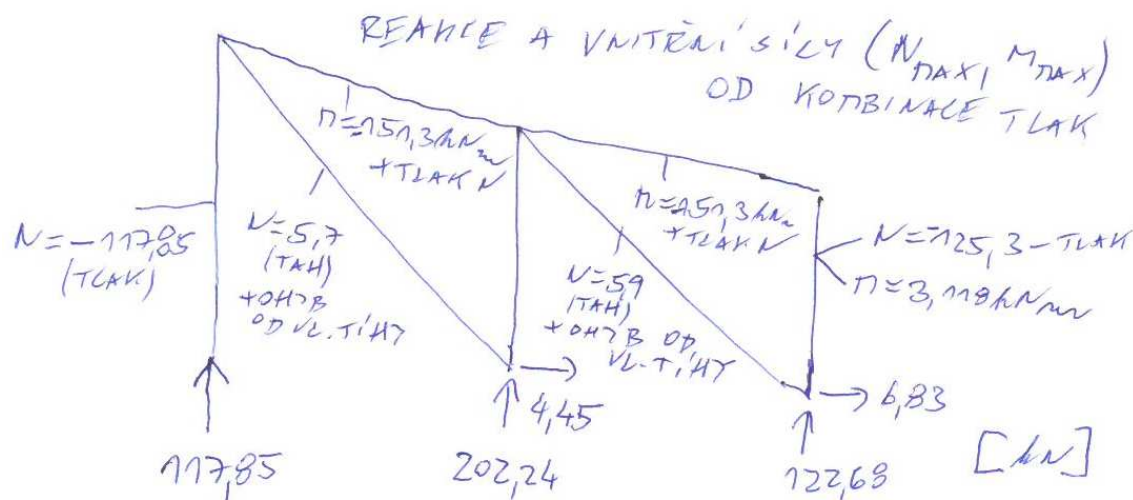
$$F_{D,6,vr2a,vod} = 1,2 \times 10,35 \times (0,04+0,22) \times \sin 8^\circ \times 1,5 \times 0,6 + 0,7 \times 5,175 \times (0,46+0,22) \times 1,5 \times 0,6 = 2,621446 \text{ kN} = 2,62 \text{ kN}$$

$$F_{D,6,vr2a,sv} = 1,2 \times 10,35 \times 0,063 \times 1,35 + 10,35 \times 2 \times 0,352 \times 1,35 + 1,2 \times 10,35 \times 1,6 \times 1,5 + 1,2 \times 10,35 \times 0,1 \times 1,5 + 1,2 \times 10,35 \times (0,04+0,22) \times \cos 8^\circ \times 1,5 \times 0,6 = 45,441957 \text{ kN} = 45,44 \text{ kN}$$

bod 13

$$F_{D,13,vr2a,vod} = 5,175 \times 1,5 \times (0,46+0,22) \times 1,5 \times 0,6 = 4,75065 \text{ kN} = 4,75 \text{ kN}$$

$$F_{D,13,sv} = 5,175 \times 1,5 \times (0,063 + 0,145 + 0,02 \times 0,005 \times 78,5) \times \gamma_F = 5,175 \times 1,5 \times (0,063 + 0,145 + 0,02 \times 0,005 \times 78,5) \times 1,35 = 2,26197 \text{ kN} = 2,26 \text{ kN}$$



Obr. 6 – Reakce a vnitřní síly pro zatížení konstrukce tlakem

tah

bod 2

$$F_{D,2,vr1,vod} = 1,1 \times 10,35 \times (-0,79-0,41) \times \sin 8^\circ \times 1,5 = -2,8521 \text{ kN} = -2,85 \text{ kN}$$

$$F_{D,2,vr1,sv} = 1,1 \times 10,35 \times 0,063 \times 0,9 + 10,35 \times 0,352 \times 0,9 + 1,1 \times 10,35 \times (-0,79-0,41) \times \cos 8^\circ \times 1,5 = -16,36915 \text{ kN} = -16,37 \text{ kN}$$

bod 4

$$F_{D,4,vr1,vod} = 0,5 \times 10,35 \times (-0,79-0,41) \times \sin 8^\circ \times 1,5 + 1 \times 10,35 \times (-0,51-0,41) \times \sin 8^\circ \times 1,5 = -3,2842 \text{ kN} = -3,28 \text{ kN}$$

$$F_{D,4,vr1,sv} = 1,5 \times 10,35 \times 0,063 \times 0,9 + 10,35 \times 0,352 \times 0,9 + 0,5 \times 10,35 \times (-0,79-0,41) \times \cos 8^\circ \times 1,5 + 1 \times 10,35 \times (-0,51-0,41) \times \cos 8^\circ \times 1,5 = -19,2092 \text{ kN} = -19,21 \text{ kN}$$

Bod 7,8,9,10,11,12

$$F_{D,7,vr1,vod} = 1,5 \times 10,35 \times (-0,51-0,41) \times \sin 8^\circ \times 1,5 = -2,9817 \text{ kN} = -2,98 \text{ kN}$$

$$F_{D,7,vr1,sv} = 1,5 \times 10,35 \times 0,063 \times 0,9 + 10,35 \times 0,352 \times 0,9 + 1,5 \times 10,35 \times (-0,51-0,41) \times \cos 8^\circ \times 1,5 = -17,05685 \text{ kN} = -17,06 \text{ kN}$$

bod 6

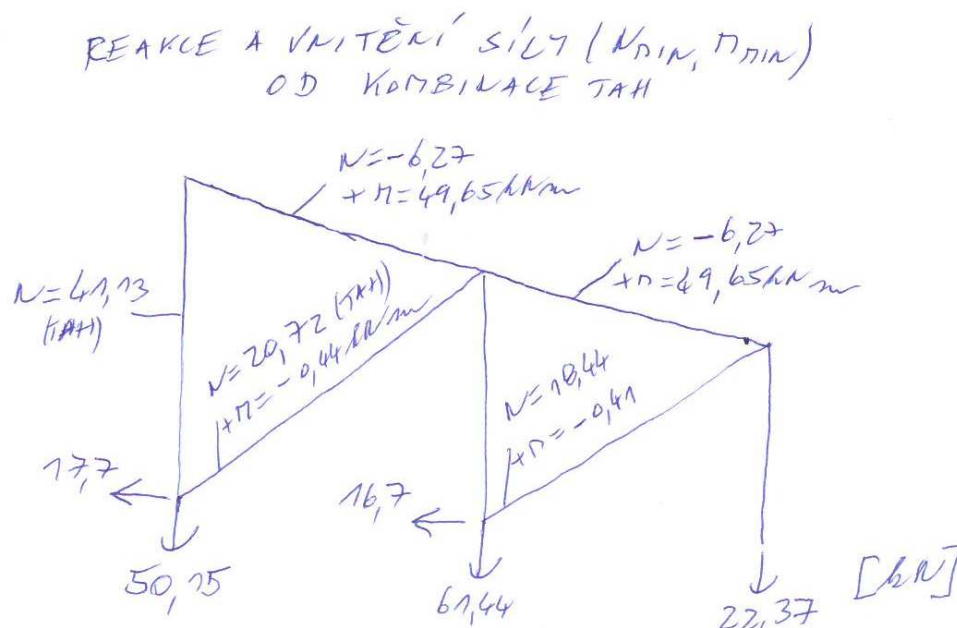
$$F_{D,6,vr1,vod} = 1,2 \times 10,35 \times (-0,51-0,41) \times \sin 8^\circ \times 1,5 + 0,7 \times 5,175 \times (-0,41-0,24) \times 1,5 = -5,9173 \text{ kN} = -5,92 \text{ kN}$$

$$F_{D,6,vr1,sv} = 1,2 \times 10,35 \times 0,063 \times 0,9 + 10,35 \times 2 \times 0,352 \times 0,9 + 1,2 \times 10,35 \times (-0,51-0,41) \times \cos 8^\circ \times 1,5 = -9,7108 \text{ kN} = -9,71 \text{ kN}$$

bod 13

$$F_{D,13,vr1,vod} = 5,175 \times 1,5 \times (-0,41-0,24) \times 1,5 = -7,5684 \text{ kN} = -7,57 \text{ kN}$$

$$F_{D,13,sv} = 5,175 \times 1,5 \times (0,063 + 0,145 + 0,02 \times 0,005 \times 78,5) \times \gamma_F = 5,175 \times 1,5 \times (0,063 + 0,145 + 0,02 \times 0,005 \times 78,5) \times 1,35 = 2,26197 \text{ kN} = 2,26 \text{ kN}$$



Obr. 7 – Reakce a vnitřní síly pro zatížení konstrukce tahem větru

Závěr: Vyhovuje HEB 120 z oceli S235, viz posouzení pro sloupek CI v příloze 1, CII v příloze 2 a CIII v příloze 3.

Ztužidlo navrhuji z kruhové trubky TR 89 x 5

$$N_{t,Rd} = A \times f_y / \gamma_{M0} = 1319 \times 235 / 1 = 309965 \text{ N} = 309,97 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{ztužidlo}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{20,72}{309,97} = 0,067 \leq 1$$

Mezní štíhlost prutu zajišťujícího ztužení konstrukce smí být 250.

$$\lambda = L_{CR}/i = 7400/29,8 = 248,322 \leq 250 \Rightarrow \text{vyhovuje TR 89x5}$$

Pozn.: Uvažována délka nejdelšího ztužidla, aby byla všechna ztužidla stejná.

Závěr: Ztužidla stěn budou provedena z trubky TR 89x5.

5.7. Sloupek – pozice BIII

Délka sloupku 2,65 m. Sloupek uvažuji jako kloubově uložený na obou koncích. Nahoře pod vaznicí bude kluzné uložení, protože sloupek nepodpírá střechu. Sloupek nese jen paždíky fasády.

Zatížení:

- svislé od fasády – zanedbám,
- vodorovné od paždíku - působí síla ve výšce 1,6 m od koruny ŽB stěn. Rozhodující je sání větru, viz posouzení tr. plechu zadní stěny.

$$F_{D,tah} = 1,5 \times 5,2 \times (W_{A,k} + W_{int}) \times \gamma_F = 1,5 \times 5,2 \times (0,73 + 0,4) \times 1,5 = 13,22 \text{ kN}$$

$$F_{K,tah} = 1,5 \times 5,2 \times (W_{A,k} + W_{int}) = 1,5 \times 5,2 \times (0,73 + 0,4) = 8,814 \text{ kN} = 8,81 \text{ kN}$$

$$\text{Moment } M_{Ed} = 1,6 \times F_{D,tah} \times 1,05 / 2,65 = 1,6 \times 13,22 \times 1,05 / 2,65 = 8,38 \text{ kNm}$$

Návrh IPE 120

$$M_{Rd} = W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M0} = 60,73 \times 235 / 1,00 = 14271,55 \text{ Nm} = 14,27 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{8,38}{14,27} = 0,587 < 1 - \text{vyhovuje IPE120}$$

Deformace:

Maximální přípustná deformace: $L/250 = 2650/250 = 10,6 \text{ mm}$

$$w_z = \frac{F_{k,tah} \times 1,6^2 \times 1,05^2}{3 \times E \times I_y \times L} = \frac{8814 \times 1,6^2 \times 1,05^2}{3 \times 210^9 \times 3,178 \times 10^{-6} \times 2,65} = 0,004689 \text{ m} = 4,7 \text{ mm}$$

$$\leq 10,6 \text{ mm} - \text{vyhovuje IPE 120}$$

Závěr: Vyhovuje IPE 120 z oceli S235. V rámci montáže nutno dodržet okrajové podmínky.

5.8. Sloupky – pozice A

Sloupky jsou namáhány zejména od zatížení větrem obdobně, jako v ose C. Ve směru kolmém na osy A jsou sloupky namáhány ohybem od reakcí od paždíků. Protože sloupky jsou orientovány osou s větší tuhostí proti bočnímu namáhání ohybem a jejich vzpěrné délky jsou zmenšeny paždíky, vyhoví sloupky z profilu HEB120.

Závěr: Sloupky v osách A budou provedeny z profil HEB 120.

5.9. Kotvení sloupků do ŽB konstrukce

Maximální tahové a téměř maximální smykové síly vnikají v ose C u sloupku CII.

$$F_{D,CII-pata,tah,svis} = 61,44 \text{ kN} - \text{svislá síla, tah}$$

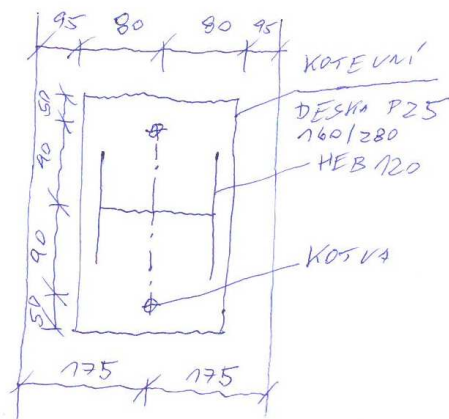
$$F_{D,CII-pata,tah,hor} = 16,7 \text{ kN} - \text{vodorovná síla}$$

V osách A a E vznikají menší tahové síly, ale smykové síly působí v obou směrech.

Závěr pro sloupky HEB 120: Kotvení pat sloupů v osách A, C, E bude provedeno pomocí lepicí hmoty HIT-RE 500-SD a pozinkovaného kotevního šroubu HIT-C (HIT-C 8.8 M20 650). Alternativně lze použít závitové tyče M20 (typové označení AM20x1000x8.8) pro kotvení s podložkami a maticí bude zkrácena na délku 650 mm, hloubka vlepění do betonové koruny stěny 550 mm. Protože omezující pro únosnost kotvy je betonová konstrukce, je nutno železobetonovou konstrukci

v místě zakotvení ocelové konstrukce vyztužit na přenos tahových sil a proti rozštěpení betonu.

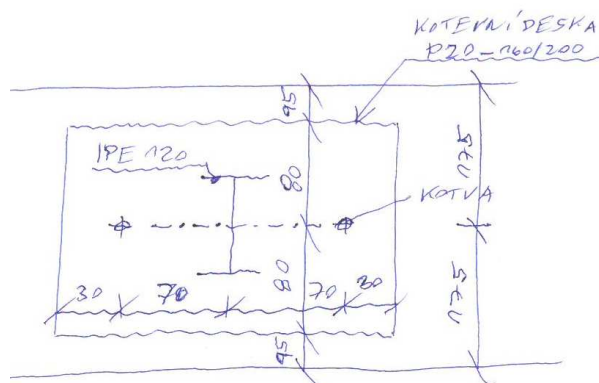
Kotvení deska pro sloupky HEB 120 bude 160/280 mm, tloušťka 25 mm.



Obr. 8 – kotvení paty sloupku HEB 120

Závěr pro kotvení sloupků IPE 120: Kotvení pat sloupů v osách B, D bude provedeno pomocí lepicí hmoty HIT-RE 500-SD a pozinkovaného kotveního šroubu HIT-C (HIT-C 8.8 M16 350). Hloubka vlepení do betonové koruny stěny min. 280 mm.

Kotvení deska pro sloupky IPE 120 bude 160/200 mm, tloušťka 20 mm.



Obr. 9 – kotvení paty sloupku IPE 120

6. Závě □

Navržené konstrukce vyhovují z hlediska mezních stavů únosnosti a použitelnosti. Uspořádání konstrukce je zobrazeno ve výkresové části.

Plzeň, červen 2016

Vypracoval: Ing. Jiří Kott, Ph.D.
Valbek, spol. s r.o., středisko Plzeň

Příloha 1

Prvek : Sloupek CI

Osová síla $N_{Sd} = 117,9$ kN

Délka prutu = 4,4 m

Vzpěrná dl. prutu = 4,4 m (obě strany kloubově uloženy)

Průřez HEB 120

$$N_{b,Rd} = \chi \times \beta_A \times A \times f_y / \gamma_{M1} = 243444,91 \text{ N} = 243,4449 \text{ kN}$$

$\chi = 0,305$

$\beta_A = 1$ průřez třídy 1

$A = 3401,0 \text{ mm}^2$

$f_y = 235 \text{ MPa}$

$\gamma_{M1} = 1$

$\lambda_1 = 93,9$

$\lambda = 1,531$

$i = 30,6 \text{ mm}$

$\alpha = 0,49$ křivka vzpěrné pevnosti c

$\Phi = 1,999$

$$\begin{array}{ccc} N_{Sd} & \leq & N_{b,Rd} \\ 117,9 & < & 243,44 \end{array} \quad \text{vyhovuje}$$

Příloha 2

Prvek : Sloupek CII

Osová síla $N_{Sd} = 205,2$ kN

Délka prutu = 3,5 m

Vzpěrná dl. prutu = 3,5 m (obě strany kloubově uloženy)

Průřez HEB 120

$$N_{b,Rd} = \chi \times \beta_A \times A \times f_y / \gamma_{M1} = 339855,65 \text{ N} = 339,8557 \text{ kN}$$

$$\chi = 0,425$$

$$\beta_A = 1 \text{ průřez třídy 1}$$

$$A = 3401,0 \text{ mm}^2$$

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

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$\lambda_1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = 1,218$$

$$i = 30,6 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,49 \text{ křivka vzpěrné pevnosti c}$$

$$\Phi = 1,491$$

$$N_{Sd} \leq N_{b,Rd}$$

$$205,2 < 339,86 \quad \text{vyhovuje}$$

Příloha 3

Prvek : Sloupek CIII

Osová síla $N_{Sd} = 125,3$ kN

Délka prutu = 2,65 m

Vzpěrná dl. prutu = 2,65 m

moment $M_{z,Ed} = 3,118$ kNm

(obě strany kloubově uloženy)

Průřez HEB 120

$$N_{b,Rd} = \chi \times \beta_A \times A \times f_y / \gamma_{M1} = 468518,25 \text{ N} = 468,5183 \text{ kN}$$

$$\chi = 0,586$$

$$\beta_A = 1 \text{ průřez třídy 1}$$

$$A = 3401,0 \text{ mm}^2$$

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

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$\lambda_1 = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = 0,922$$

$$i = 30,6 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,49 \text{ křivka vzpěrné pevnosti c}$$

$$\Phi = 1,102$$

$$\begin{array}{ccc} N_{Sd} & \leq & N_{b,Rd} \\ 125,3 & < & 468,52 \end{array} \quad \text{vyhovuje}$$

$$M_{z,pl,Rd} = W_{pl,z} \times f_y / \gamma_{M1} = 19035 \text{ Nm} = 19,035 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,z} = 81 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\begin{array}{ccc} M_{z,Ed} & \leq & M_{z,pl,Rd} \\ 3,118 & < & 19,035 \end{array} \quad \text{vyhovuje}$$

$$N_{Sd} / N_{b,Rd} + k_{zz} \times M_{z,Ed} / M_{z,pl,Rd} \leq 1$$

$$k_{zz} = 1,22108$$

$$0,467456 < 1 \quad \text{vyhovuje}$$