



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



Research Fund
for Coal & Steel

STABFI

Příklad návrhu haly s trapézovými plechy

Stabilizace prvku a konstrukce pláštěm za běžné teploty

Kristýna Vopatová

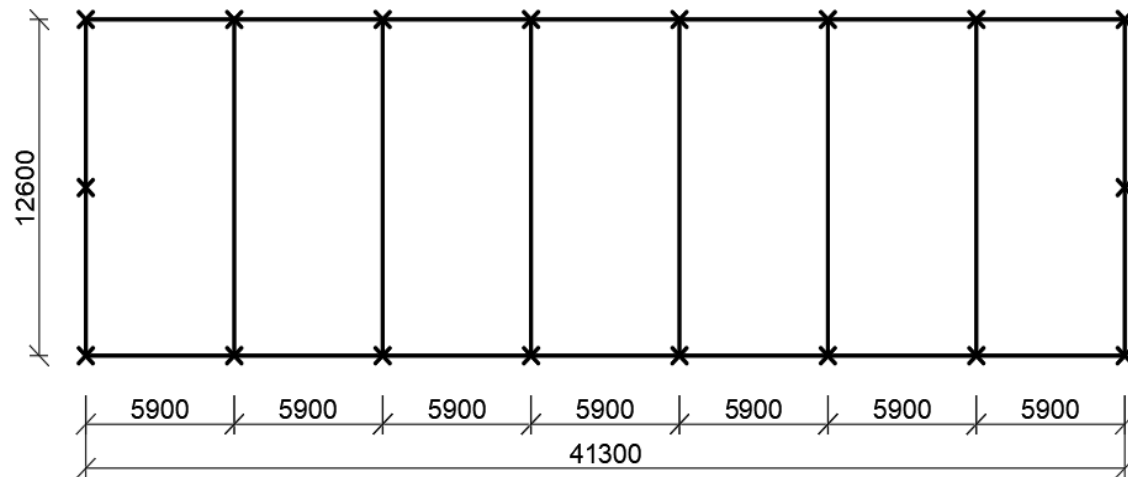
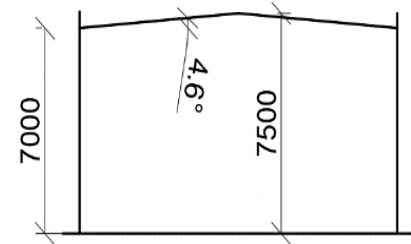


Obsah přednášky

- Úvod
- Návrh konstrukce haly
- Plášťové chování bez střešních a stěnových ztužidel
 - Vliv kazet na svislé ztužení haly u štítu
 - Vliv kazet na svislé ztužení haly v podélném směru
 - Vliv trapézových plechů ve střešní rovině
 - Porovnání výsledků s únosnostmi šroubů dle normy
- Shrnutí

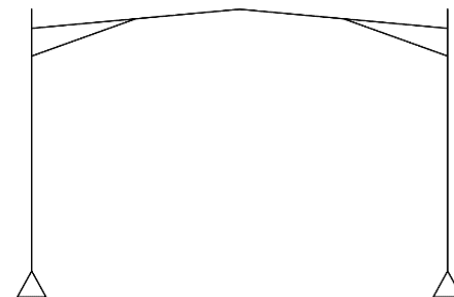
Úvod

- Skladištní hala s administrativní částí
- Lokalita - Plzeň



Návrh konstrukce haly

- Kloubové patky, příčel s náběhem
- Ocel S235
- Sloupy HEA 300
- Příčle IPE 360 s náběhy IPE 360 výšky 300 mm v rámovém rohu



Zatížení

Lokalita: Plzeň

Základní rychlost větru

II. větrná oblast

$v_b = 25 \text{ m/s}$

Zatížení sněhem

I. sněhová oblast

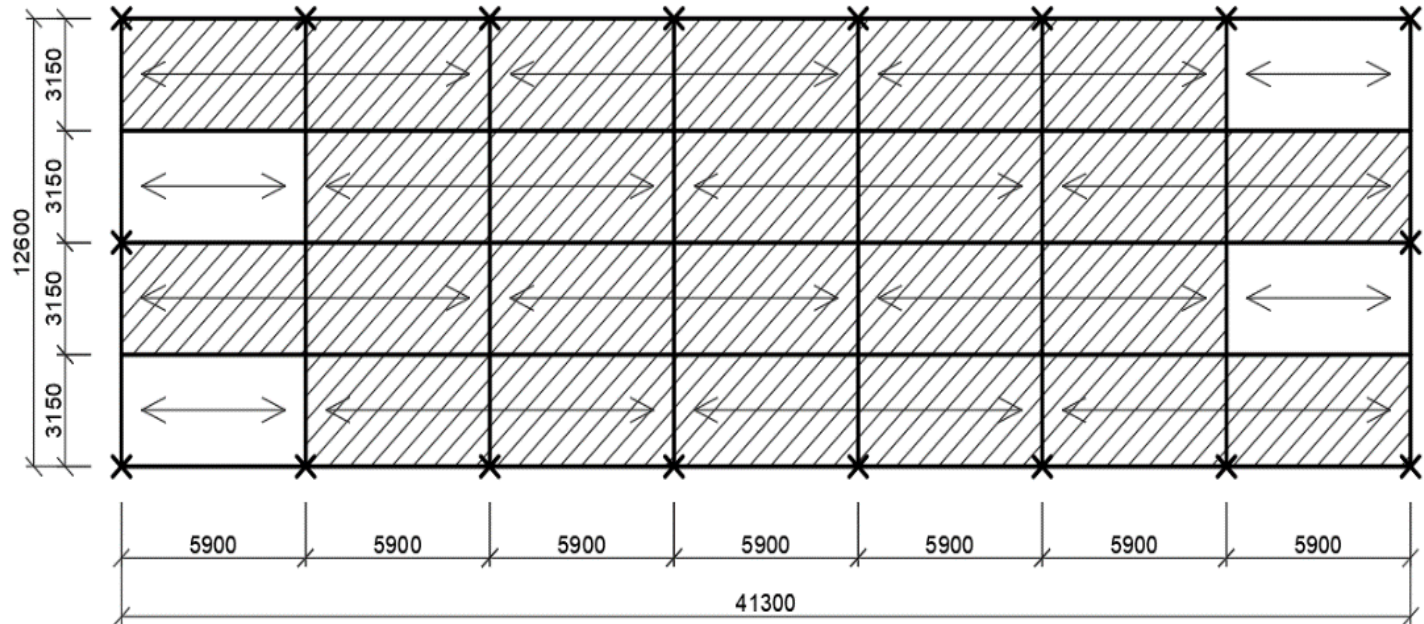
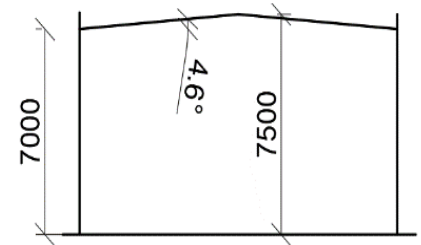
$s = 0,56 \text{ kN/m}^2$

| oblast | vítr příčný | | vítr podélný | |
|--------|-------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| | C_{pe} | $w_{e,k} [\text{kN/m}^2]$ | C_{pe} | $w_{e,k} [\text{kN/m}^2]$ |
| A | -1,20 | -0,73 | -1,20 | -0,73 |
| B | -1,08 | -0,65 | -0,80 | -0,48 |
| C | -0,50 | -0,30 | -0,50 | -0,30 |
| D | 0,75 | 0,45 | 0,70 | 0,42 |
| E | -0,39 | -0,24 | -0,30 | -0,18 |
| F | -1,31 | -0,79 | -1,31 | -0,79 |
| G | -0,86 | -0,52 | -0,86 | -0,52 |
| H | -0,70 | -0,42 | -0,70 | -0,42 |
| I | $\pm 0,20$ | $\pm 0,12$ | $\pm 0,20$ | $\pm 0,12$ |

Návrh konstrukce haly

Opláštění budovy

- Střecha – trapézové plechy
- Stěny – tenkostěnné kazety



Skladba střechy a zatížení

| | | h [mm] | g_k [kN/m ²] | γ | g_d [kN/m ²] |
|----------|----------------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|
| stálé | hydroizolace | 1,5 | 0,018 | 1,35 | 0,024 |
| | tepelná izolace | 250 | 0,350 | 1,35 | 0,473 |
| | parozábrana | 0,4 | - | - | - |
| | nosný TR (odhad) | | 0,150 | 1,35 | 0,203 |
| | podhled, technologie | - | 0,300 | 1,35 | 0,405 |
| | | Σ | 0,82 | | Σ 1,10 |
| | | | q_k [kN/m ²] | γ | q_d [kN/m ²] |
| proměnné | sníh | - | 0,960 | 1,5 | 1,440 |
| | užitné | - | 0,750 | 1,5 | 1,125 |
| | | | Σ | 1,71 | |

MSÚ

rozhodující kombinace:

$$\text{stálé} + \text{sníh} + \Psi_0 \cdot \text{vítr}_{\text{tlak}} + \Psi_0 \cdot \text{užitné} = 3,44 \text{ kN/m}^2$$

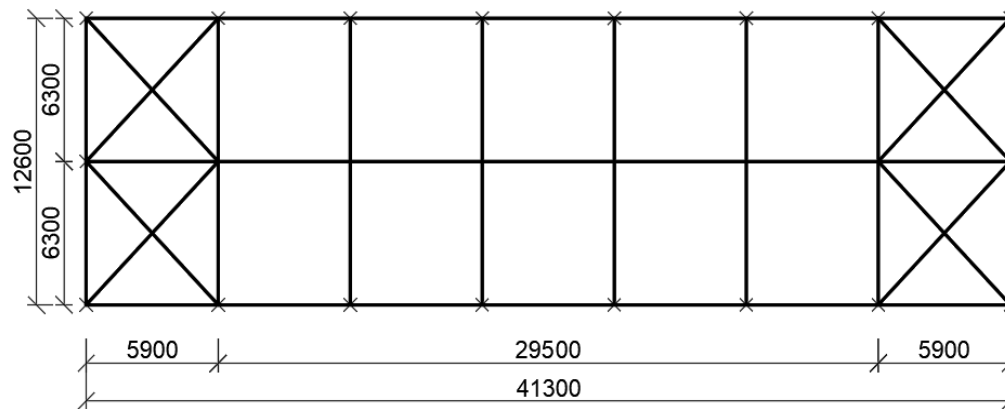
MSP

rozhodující kombinace:

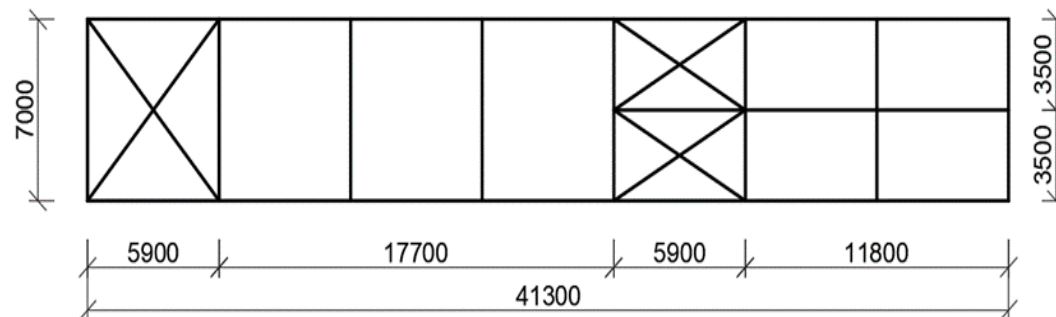
$$\text{stálé} + \text{sníh} + \Psi_0 \cdot \text{vítr}_{\text{tlak}} + \Psi_0 \cdot \text{užitné} = 2,38 \text{ kN/m}^2$$

Ztužení haly střešními a stěnovými ztužidly

Dvě příčná střešní ztužidla u obou štítů haly



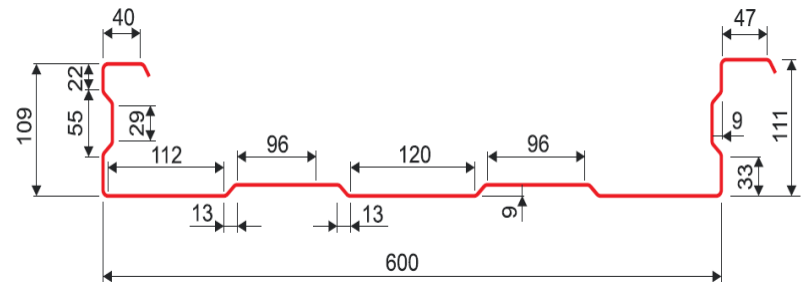
Ztužidlo u štítu a ztužidlo ve třetím poli haly pro přenos zatížení ze střešních ztužidel



Vliv kazet na svislé ztužení štítové stěny haly

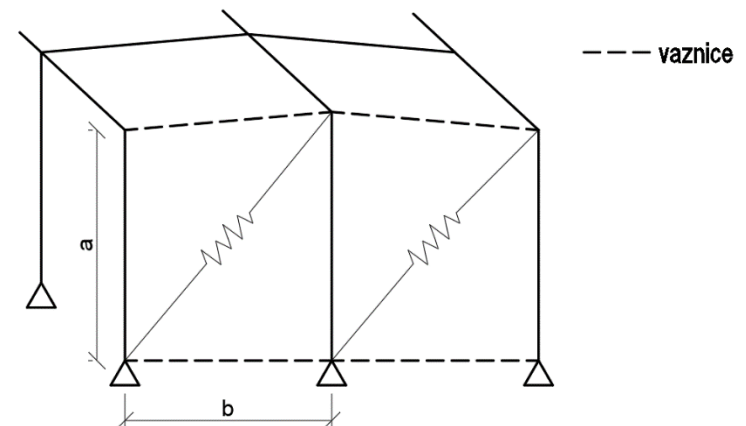
Kazety SATJAM CASSETTE P600/110, tl. 1,25 mm

- délka kazety $b = 6\,300\text{ mm}$



Vaznice - zajistí podmínku diafragmového působení

- čtvercová trubka
- úhelník přivařený k příčli



Vliv kazet na svislé ztužení štítové stěny haly

Zatížení příčným větrem

$$W_{e,1,D} = W_{e,D} * \gamma_Q * Z\check{S} = 0,45 * 1,5 * 2,95 = 1,99 \text{ kN/m}$$

$$W_{e,2,E} = W_{e,E} * \gamma_Q * Z\check{S} = 0,24 * 1,5 * 2,95 = 1,06 \text{ kN/m}$$

Charakteristické hodnoty zatížení

$$T_{v,k} = (0,45 + 0,24) * 2,95$$

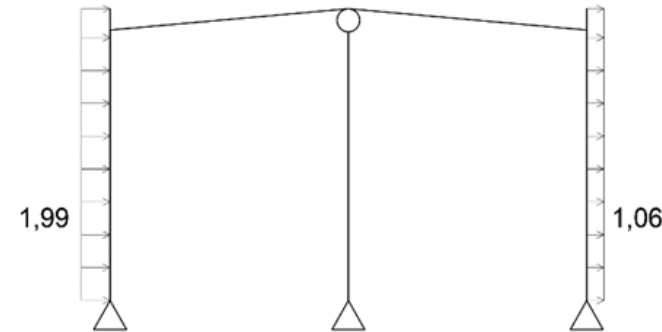
$$T_{v,k} = 2,04 \text{ N/mm}$$

$$V_k = T_{v,k} * h = 2,04 * 7,5 = 15,27 \text{ kN}$$

Návrhové hodnoty zatížení

$$T_{v,d} = 1,99 + 1,06 = 3,05 \text{ N/mm}$$

$$V_d = T_{v,d} * h = 3,05 * 7,5 = 22,88 \text{ kN}$$



Vliv kazet na svislé ztužení štítové stěny haly

Posouzení maximálního smykového toku

$$T_{v,Rd} = \frac{8,43E}{B_u^2} \sqrt{I_1 t^9} \quad T_{v,Rd} = 16,28 > 3,05 \text{ [N/mm]}$$

Posouzení přípoje na sloup

$$V_{ult} = 2 * (n_f * n_{sh}) * F_p \quad V_{ult} = 370,5 > 22,88 \text{ [kN]}$$

Posouzení přípoje mezi kazetami

$$V_{ult} = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p \quad V_{ult} = 79,20 > 22,88 \text{ [kN]}$$

Posouzení maximálního smykového toku pro MSP

$$\frac{2000 * b * B_u}{375 * l_s * (B - B_u)} \geq T_{v,k} \quad 9,74 \geq 2,04 \text{ [N/mm]}$$

Vliv kazet na svislé ztužení štítové stěny haly

Výpočet poddajnosti

- Distorze profilu

$$c_{1.2} = \frac{2*B(1+\nu)*[1+(2h/d)]}{E*t*b} = 0,0131 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na sloup

$$c_{2.1} = \frac{2*B*s_p*p}{b^2} = 0,0107 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj mezi kazetami

$$c_{2.2} = \frac{2*s_s*s_p*(n_{sh}-1)}{2*n_s*s_p + \beta_1 n_p*s_s} = 0,135 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na krajní vaznici

$$c_{2.3} = \frac{2*s_{sc}}{n_{sc}} = 0,0135 \text{ mm/kN}$$

- Celková poddajnost

$$c' = \sum c_i = 0,0131 + 0,0107 + 0,135 + 0,0135 = 0,172 \text{ mm/kN}$$

Vliv kazet na svislé ztužení štítové stěny haly

Celkový vodorovný posun

$$\Delta = V_k * c'$$

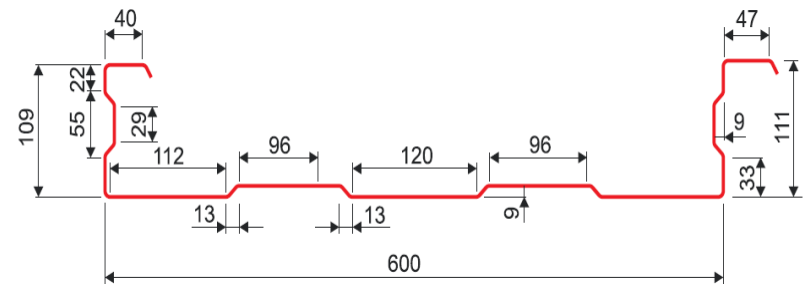
$$\Delta = 2,63 \text{ mm} \approx h/2852$$

→ není nutný návrh stěnových ztužidel

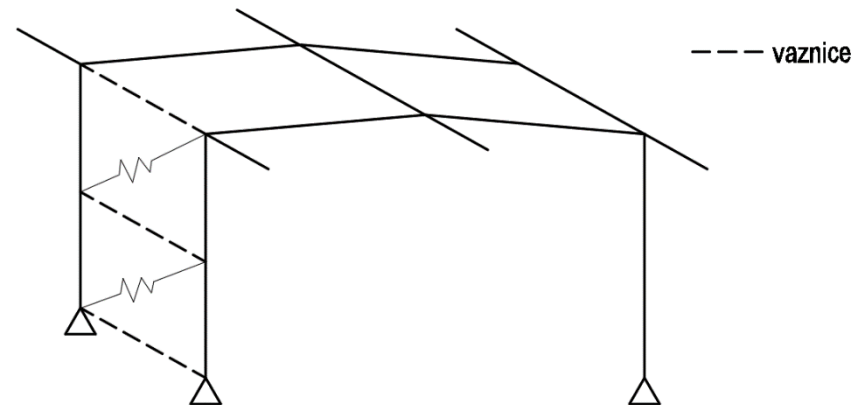
Vliv kazet na svislé ztužení haly v podélném směru

Kazety SATJAM CASSETTE P600/110, tl. 1,00 mm

- o délka kazety $b = 5\,900\text{mm}$



Absence ztužidla u mezipatra



Vliv kazet na svislé ztužení haly v podélném směru

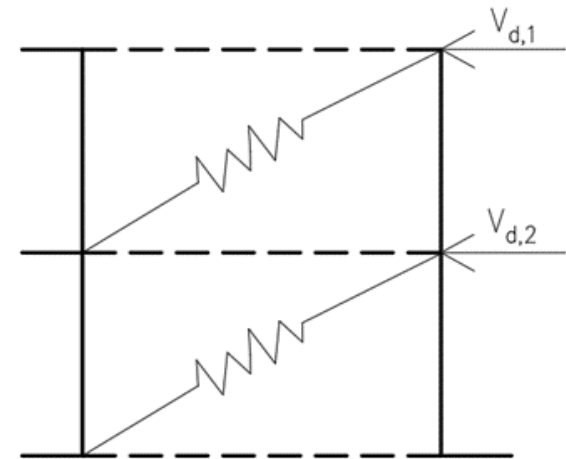
Zatížení

$$V_{d,1} = 21,97 \text{ kN} \rightarrow T_{v,d,1} = 21,97/3,5 = 6,28 \text{ N/mm}$$

$$V_{d,2} = 11,97 \text{ kN} \rightarrow T_{v,d,2} = 11,97/3,5 = 3,42 \text{ N/mm}$$

$$T_{v,d} = 6,28 + 3,42 = 9,70 \text{ N/mm}$$

$$V_d = 21,97 + 11,97 = 33,94 \text{ kN}$$



Vliv kazet na svislé ztužení haly v podélném směru

Posouzení maximálního smykového toku

$$T_{v,Rd} = \frac{8,43E}{B_u^2} \sqrt[4]{I_1 t^9} \quad T_{v,Rd} = 16,28 > 9,70 \text{ [N/mm]}$$

Posouzení přípoje na sloup

$$V_{ult} = 2 * (n_f * n_{sh}) * F_p \quad V_{ult} = 201,24 > 33,94 \text{ [kN]}$$

Posouzení přípoje mezi kazetami

$$V_{ult} = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p \quad V_{ult} = 56,83 > 33,94 \text{ [kN]}$$

Posouzení maximálního smykového toku pro MSP

$$\frac{2\,000 * b * B_u}{375 * I_s * (B - B_u)} \geq T_{v,k} \quad 20,98 \geq 6,47 \text{ [N/mm]}$$

Vliv kazet na svislé ztužení haly v podélném směru

Výpočet poddajnosti

- Distorze profilu

$$c_{1.2} = \frac{2*B(1+\nu)*[1+(2h/d)]}{E*t*b} = 0,00846\text{mm/kN}$$

- Přípoj na sloup

$$c_{2.1} = \frac{2*B*s_p*p}{b^2} = 0,00836\text{mm/kN}$$

- Přípoj mezi kazetami

$$c_{2.2} = \frac{2*s_s*s_p*(n_{sh}-1)}{2*n_s*s_p + \beta_1 n_p s_s} = 0,046\text{mm/kN}$$

- Přípoj na krajní vaznici

$$c_{2.3} = \frac{2*s_{sc}}{n_{sc}} = 0,0202\text{mm/kN}$$

- Celková poddajnost

$$c' = \sum c_i = 0,00846 + 0,00836 + 0,046 + 0,0202 = 0,083\text{mm/kN}$$

Vliv kazet na svislé ztužení haly v podélném směru

Celkový vodorovný posun

$$\Delta = V_k * c'$$

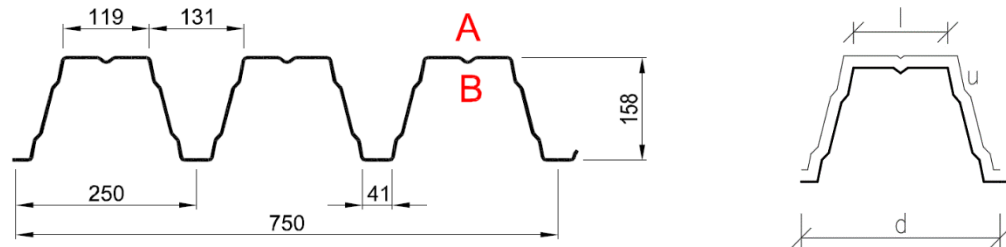
$$\Delta = 1,88 \text{ mm} \approx h / 3723$$

→ není nutný návrh stěnových ztužidel

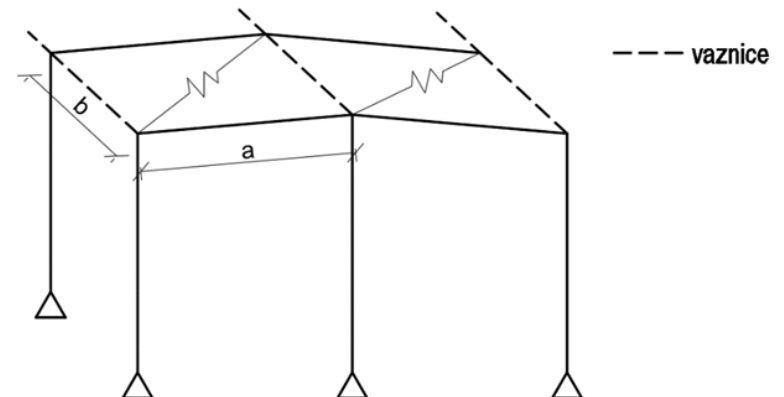
Vliv střešního trapézového plechu na vodorovné ztužení haly

Trapézový plech 160/250, tl. 1,00 mm

- šířka diafragmatu $a = 6\,320\text{ mm}$
- délka diafragmatu $b = 5\,900\text{ mm}$



Střešní ztužení



Vliv střešního trapézového plechu na vodorovné ztužení haly

Zatížení podélným větrem na štítovou stěnu

$$V_{Ed} = 14,49 \text{ kN}$$

$$V_{Ek} = 9,65 \text{ kN}$$

Přípoj na příčel/vaznici

$$V_{ult,1} = n_{sc} * F_p \qquad V_{ult,1} = 128,57 \text{ kN}$$

Přípoj mezi plechy

$$V_{ult} = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p \qquad V_{ult} = 55,66 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti přípoju

$$V^* = \min(V_{ult,1}; V_{ult,2}) > V_{Ed} \qquad 55,66 > 14,49 \text{ [kN]}$$

Vliv střešního trapézového plechu na vodorovné ztužení haly

Posouzení maximální únosnosti přípojů

$$\frac{0,6 \cdot b \cdot F_p}{p \cdot \alpha_3} \geq V^* \quad 79,15 > 55,66 \text{ [kN]}$$

Posouzení kolapsu profilu

$$0,9 \cdot t^{1,5} \cdot b \cdot f_{yd} / d^{0,5} \geq V^* \quad 101,08 \geq 55,66 \text{ [kN]}$$

Interakce lokálního a globálního boulení

$$V_{\text{red}} = \frac{V_g V_l}{(V_g + V_l)} \geq V^* \quad 110,33 \geq 55,66 \text{ [kN]}$$

Vliv střešního trapézového plechu na vodorovné ztužení haly

Výpočet poddajnosti

- Distorze profilu

$$c_{1.1} = \frac{a \cdot d^{2,5} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot K}{E \cdot t^{2,5} \cdot b^2} = 0,506 \text{ mm/kN}$$

- Smykové namáhání profilu

$$c_{1.2} = \frac{2 \cdot a \cdot \alpha_2 \cdot (1 + \nu) \cdot [1 + (2h/d)]}{E \cdot t \cdot b} = 0,0313 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na příčel

$$c_{2.1} = \frac{2 \cdot a \cdot s_p \cdot p \cdot \alpha_3}{b^2} = 0,0183 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj mezi plechy

$$c_{2.2} = \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s} = 0,084 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na krajní vaznici

$$c_{2.3} = \frac{4(n+1) \cdot s_{sc}}{n^2 \cdot n'_{sc}} = 0,0263 \text{ mm/kN}$$

Vliv střešního trapézového plechu na vodorovné ztužení haly

Výpočet poddajnosti

- Axiální síla v příčli

$$c_3 = \frac{n^2 \cdot a^3 \cdot \alpha_3}{4,8 \cdot E \cdot A \cdot b^2} = 0,0238 \text{ mm/kN}$$

- Celková poddajnost

$$c' = \sum c_i = 0,506 + 0,0313 + 0,0183 + 0,084 + 0,0263 + 0,0238 = 0,69 \text{ mm/kN}$$

Celkový vodorovný posun

$$\Delta = V_k \cdot c'$$

$$\Delta = 6,7 \text{ mm} \approx L/1887 < L/250$$

→ není nutný návrh stěnových ztužidel, ztužující funkci zajistí plášťové působení TR plechu v krajním poli haly

Porovnání výsledků s hodnotami únosností šroubů dle normy

- **Štít** - Posouzení přípoje mezi kazetami

$$V_{ult} = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p$$

$$V_{ult} = 65,03 > 22,88 \text{ [kN]}$$

$$\text{původní posudek: } V_{ult} = 79,20 > 22,88 \text{ [kN]}$$

- **Podélný směr** - Posouzení přípoje mezi kazetami

$$V_{ult} = 43,18 > 33,94 \text{ [kN]}$$

$$\text{původní posudek: } V_{ult} = 56,83 > 33,94 \text{ [kN]}$$

Porovnání výsledků s hodnotami únosností šroubů dle normy

- **Střecha** - Posouzení přípoje mezi plechy

$$V_{ult,2} = V^* = 39,60 > 17,23 \text{ [kN]}$$

$$\text{původní posudek: } V^* = 55,66 > 17,23 \text{ [kN]}$$

- Posouzení maximální únosnosti přípojů

$$\frac{0,6 * b * F_p}{p * \alpha_3} \geq V^*$$

$$31,15 < 39,60 \text{ [kN]} \text{ nevyhovuje}$$

$$\text{původní posudek: } 79,15 > 55,66 \text{ [kN]}$$

Shrnutí

- Na štítové stěně není nutné použít stěnová ztužidla
- Pro podélné ztužení stěn vyhověly všechny posudky kromě posouzení maximálního smykového toku
- Ve střešní rovině není nutné použít diagonální ztužidla
- Únosnosti šroubů oproti normě pro kazetové stěny vychází menší, střešní trapézový plech s normovými hodnotami únosnosti nevyhoví
- Absence ztužidel – úpravy detailů (doplnění vaznice u štítové stěny, příčel štítové stěny doplněna přivařeným úhelníkem)



ČVUT

ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE



Research Fund
for Coal & Steel

STABFI

Děkuji za pozornost

Kristýna Vopatová

Zdroj: <https://dspace.cvut.cz/>

BP - A. Chovanec: Ocelová konstrukce skladištní haly, 2020

DP – K. Matějová: Návrh ocelové skladovací haly

S využitím plášťového chování, 2017

