

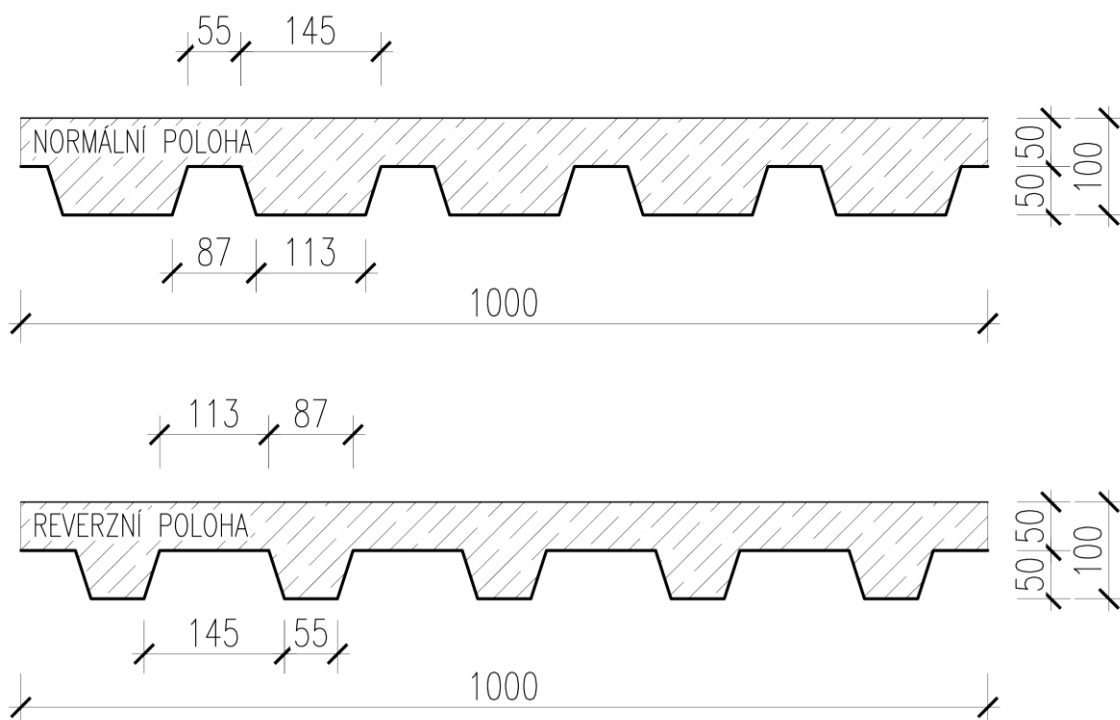
POSOUZENÍ TRAPÉZOVÉHO PLECHU SLOUŽÍCÍHO JAKO ZTRACENÉ BEDNĚNÍ

... řešený příklad pro BO008 / CO001 / BOA017

Posuďte trapézový plech typu VSŽ 11 001 na mezní stavy únosnosti a mezní stavy použitelnosti. Trapézový plech slouží jako ztracené bednění železobetonové desky sprážené s ocelovým nosníkem. Řešte se dvě varianty – plech v normální poloze a plech v reverzní poloze. Trapézový plech je tvářen za studena z ocelového plechu pevnostní třídy S250GD+Z275.

Zatížení

Zatížení se počítá na zatěžovací šířku 1 m. Jsou řešeny 2 varianty: plech v normální poloze a v reverzní poloze. Tyto varianty se liší hodnotou zatížení (spotřeba betonové směsi na zalití vln) a ohybovou únosností trapézového plechu. V navazujících výpočtech má poloha vliv např. na výpočet sprážení (zde není řešeno).



Zatížení vlastní tíhou trapézového plechu

$$g_0 = 0,0969 \text{ kN/m}$$

vlastní tíha plechu 9,69 kg/m²

Výpočet zatížení čerstvou betonovou směsí

$$h_{\text{deska}} = 50 \text{ mm}$$

konstantní tloušťka betonové desky nad vlnami

$$h_{\text{ekv,norm}} = \frac{50 \cdot (113 + 145)/2}{113 + 87} = 32,25 \text{ mm}$$

ekvivalentní (srovnaná) tloušťka betonu ve vlnách
v normální poloze

$$h_{\text{ekv,rev}} = \frac{50 \cdot (55 + 87)/2}{55 + 145} = 17,75 \text{ mm}$$

ekvivalentní (srovnaná) tloušťka betonu ve vlnách
v reverzní poloze

$$g_{1,\text{norm}} = 26 \cdot 1 \cdot (0,050 + 0,03225) = 2,14 \text{ kN/m}$$

tíha čerstvého betonu v normální poloze

$$g_{1,\text{rev}} = 26 \cdot 1 \cdot (0,050 + 0,01775) = 1,76 \text{ kN/m}$$

tíha čerstvého betonu v reverzní poloze

Montážní zatížení dle ČSN EN 1991-1-6, článek 4.11.2

$$q_{\text{mont,hl,norm}} = 0,1 \cdot 2,14 = 0,214 \Rightarrow 0,75 \text{ kN/m}$$

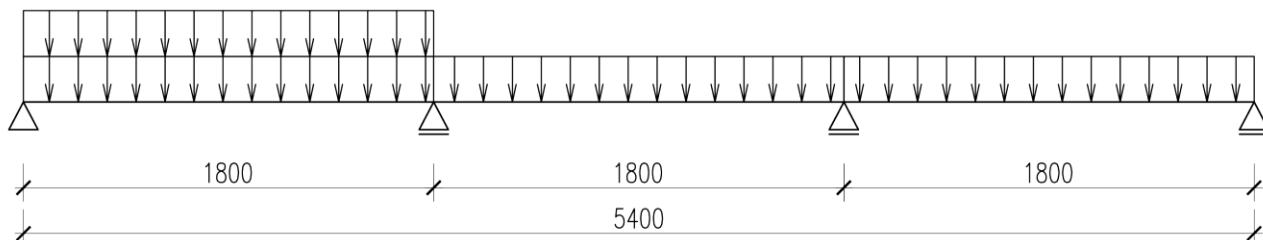
montážní zatížení uvnitř pracovní plochy (10 % tíhy
betonu, ne méně než 0,75 a ne více než 1,50 kN/m²)

→ Hodnota montážního zatížení uvnitř pracovní plochy (maximálně na ploše 3 × 3 metry) je stejná jako zatížení mimo pracovní plochu a to jak pro normální polohu plechu, tak pro reverzní polohu plechu.

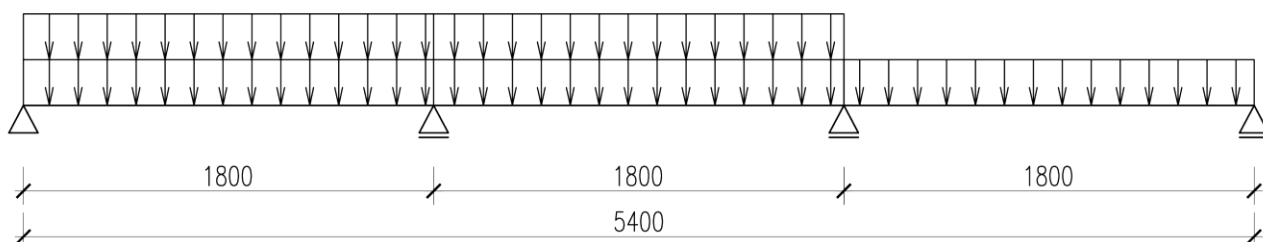
Statické schéma

Jedná se o spojitý nosník o třech polích, přičemž všechna pole mají rozpětí 1800 mm. Nosník je zatížen po celém rozpětí vlastní tíhou a tíhou mokrého betonu, montážní zatížení se uvažuje pouze v krajním poli pro výpočet maximálního kladného ohybového momentu a v prvních dvou polích pro výpočet maximálního záporného momentu.

POLOHA MONTÁŽNÍHO ZATÍŽENÍ PRO MAXIMÁLNÍ Kladný MOMENT V PRVNÍM POLI

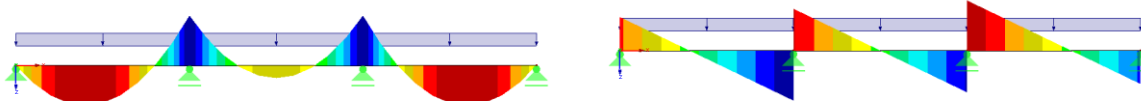


POLOHA MONTÁŽNÍHO ZATÍŽENÍ PRO MAXIMÁLNÍ ZÁporný MOMENT NAD PRVNÍ VNITŘNÍ PODPOROU

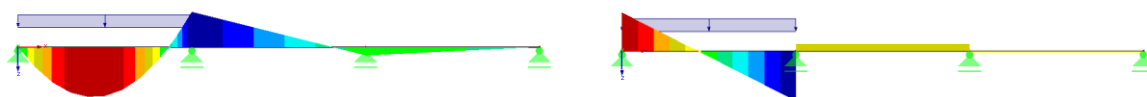


Vnitřní síly

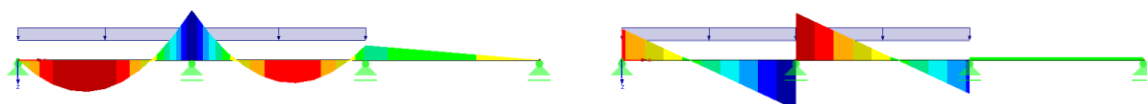
Vlastní tíha plechu + tíha betonu



Montážní zatížení v prvním poli



Montážní zatížení v prvním a druhém poli

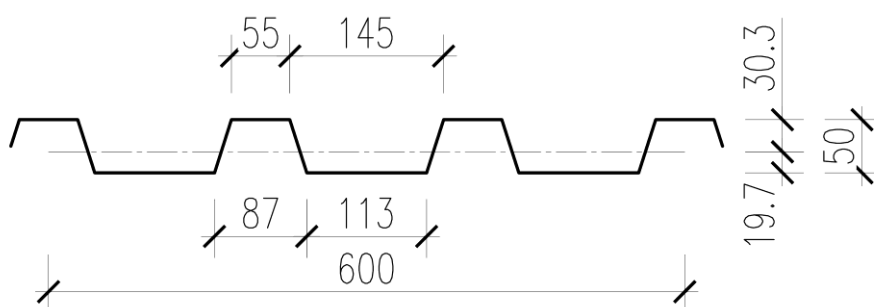


Tabulka s hodnotami vnitřních sil a reakcí – návrhové hodnoty podle kombinace 6.10 dle ČSN EN 1990

	M_1	M_2	M_3	M_b	M_c	V_{ab} $=R_a$	V_{ba}	V_{bc}	V_{cb}	V_{cd}	V_{dc} $=-R_d$	R_b	R_c
Normální +max M_1	1,126	0,158	0,808	-1,214	-0,916	3,056	-4,405	2,883	-2,552	3,227	-2,209	7,288	5,779
Normální +max M_b	1,053	0,432	0,735	-1,396	-1,098	2,955	-4,506	3,896	-3,565	3,328	-2,108	8,401	6,893
Reverzní +max M_1	0,993	0,116	0,674	-1,049	-0,751	2,886	-3,851	2,422	-2,091	2,673	-1,839	6,273	4,764
Reverzní +max M_b	0,920	0,390	0,602	-1,230	-0,932	2,585	-3,952	3,434	-3,103	2,774	-1,738	7,386	5,877

Geometrické charakteristiky plechu typu VSŽ 11 001

Plech je zobrazen v normální poloze. Tento typ trapézového plechu se dodává ve skladebných šířkách 600 nebo 800 mm. Při výpočtu se uvažuje s hodnotou meze kluzu 250 MPa.



$t = 0,8 \text{ mm}$

tloušťka jádra plechu (nezapočítává se např. pozinkování)

$h = 50 \text{ mm}$

čistá výška trapézového plechu

Následující průřezové charakteristiky platí pro průřez šířky 1000 mm.

$A = 1086 \text{ mm}^2$

průřezová plocha

$I_y = 573,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$

moment setrvačnosti

$W_{y+} = 29,053 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

modul průřezu k vláknům širší pásnice

$W_{y-} = 18,959 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

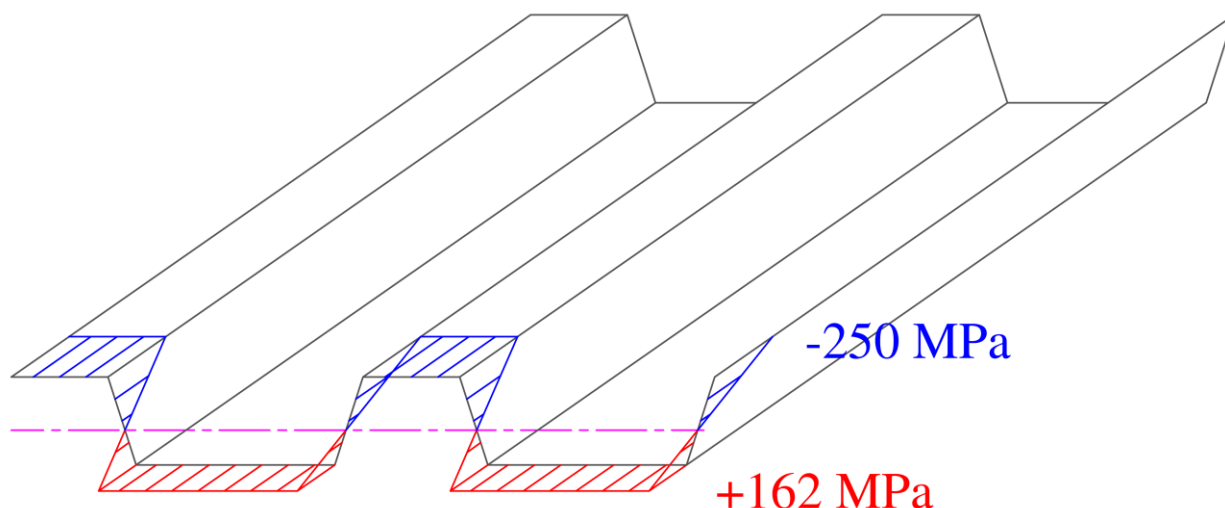
modul průřezu k vláknům užší pásnice

A. OHYB

Posouzení se provede podle ČSN EN 1993-1-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily, průřezové charakteristiky se mají určit pro účinný průřez podle ČSN EN 1993-1-5 (boulení stěn).

A.1 Normální poloha + kladný ohybový moment

Při výpočtu se předpokládá dosažení maximálního napětí v hodnotě meze kluzu oceli $\sigma_{x,Ed} = 250 \text{ MPa}$ v nejvíce namáhaných vláknech (v horní pásnici).



Účinná plocha dolní pásnice

Celá dolní pásnice je v konstantním tahu a nemůže vyboulit → působí plnou plochou.

Účinná plocha horní pásnice

Celá horní pásnice je v konstantním tlaku a může vyboulit → spočítá se součinitel boulení a účinná plocha podle ČSN EN 1993-1-5.

Součinitel kritického napětí

$$k_{\sigma} = 4 \quad \text{pro } \psi = 1$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{55/0,8}{28,4 \cdot 0,97 \cdot \sqrt{4}} = 1,248$$

Součinitel boulení

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,248 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{1,248^2} = 0,66 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_p \geq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,67$$

Horní pásnice boulí a působí účinnou plochou (66 % původní plochy), neúčinná část je soustředěna uprostřed panelu – viz Tab. 4.1 ČSN EN 1993-1-5.

Účinná plocha stojiny

Stojina je ohýbaná (část je v tlaku a část v tahu) a může vyboulit → spočítá se součinitel boulení a účinná plocha podle ČSN EN 1993-1-5.

Součinitel kritického napětí

$$k_{\sigma} = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 = 16,02 \quad \text{pro } \psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 162 / -250 = -0,65$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{52,5/0,8}{28,4 \cdot 0,97 \cdot \sqrt{16,02}} = 0,595$$

Součinitel boulení

$$\rho = 1 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,85$$

Stojina neboulí a působí plnou plochou, kdyby k boulení docházelo, přesnou účinnou plochu je nutné určit iteračním způsobem. Neúčinná část by byla v tlačené zóně – viz Tab. 4.1 ČSN EN 1993-1-5.

Účinné průřezové charakteristiky

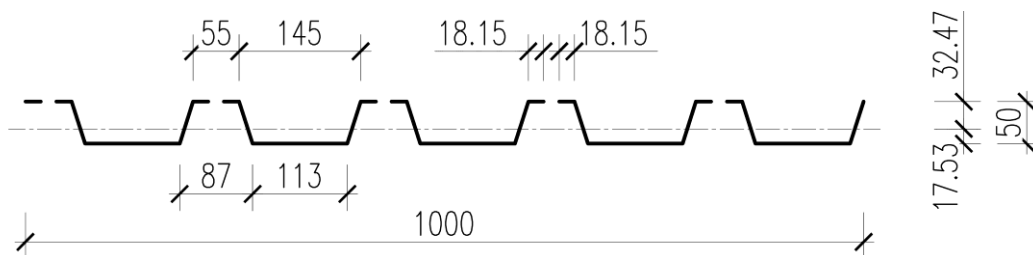
Následující průřezové charakteristiky platí pro průřez šířky 1000 mm.

$$A_{\text{eff}} = 1011 \text{ mm}^2 \quad \text{účinná průřezová plocha}$$

$$I_{y,\text{eff}} = 388 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 \quad \text{účinný moment setrvačnosti}$$

$$W_{y,\text{eff}+} = 22,159 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad \text{účinný modul průřezu k vláknům spodní (tažené) pásnice}$$

$$W_{y,\text{eff}-} = 11,968 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad \text{účinný modul průřezu k vláknům horní (tlačené) pásnice}$$

**Posouzení**

Návrhový moment únosnosti

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{\text{eff}} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{11,968 \cdot 10^3 \cdot 250}{1,0} = 2,99 \text{ kNm}$$

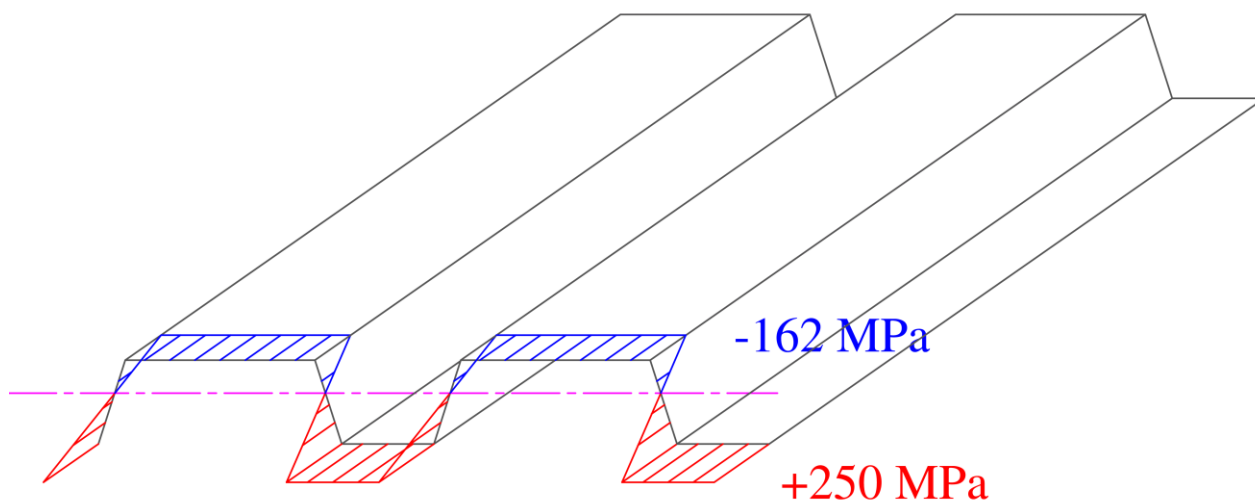
Jednotkový posudek

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1,126}{2,99} = 0,38$$

vyhovuje s využitím na 38 %

A.2 Reverzní poloha + kladný ohybový moment

Při výpočtu se předpokládá dosažení maximálního napětí v hodnotě meze kluzu oceli $\sigma_{x,Ed} = 250 \text{ MPa}$ v nejvíce namáhaných vláknech (ve spodní pásnici).



Účinná plocha dolní pásnice

Celá dolní pásnice je v konstantním tahu a nemůže vyboulit → působí plnou plochou.

Účinná plocha horní pásnice

Celá horní pásnice je v konstantním tlaku a může vyboulit → spočítá se součinitel boulení a účinná plocha podle ČSN EN 1993-1-5.

Součinitel kritického napětí

$$k_{\sigma} = 4 \quad \text{pro } \psi = 1$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\sigma}}} = \frac{113/0,8}{28,4 \cdot 0,97 \cdot \sqrt{4}} = 2,565$$

Součinitel boulení

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{2,565 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{2,565^2} = 0,36 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_p \geq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,67$$

Účinná plocha stojiny

Stojina je ohýbaná (část je v tlaku a část v tahu) a může vyboulit → spočítá se součinitel boulení a účinná plocha podle ČSN EN 1993-1-5.

Součinitel kritického napětí

$$k_{\sigma} = 5,98 \cdot (1 - \psi)^2 = 38,68 \quad \text{pro } \psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 250 / -162 = -1,54$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{52,5/0,8}{28,4 \cdot 0,97 \cdot \sqrt{38,68}} = 0,378$$

Součinitel boulení

$$\rho = 1 \quad \text{pro } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi} = 0,91$$

Stojina neboulí a působí plnou plochou, kdyby k boulení docházelo, přesnou účinnou plochu je nutné určit iteračním způsobem. Neúčinná část by byla v tlačené zóně – viz Tab. 4.1 ČSN EN 1993-1-5.

Účinné průřezové charakteristiky

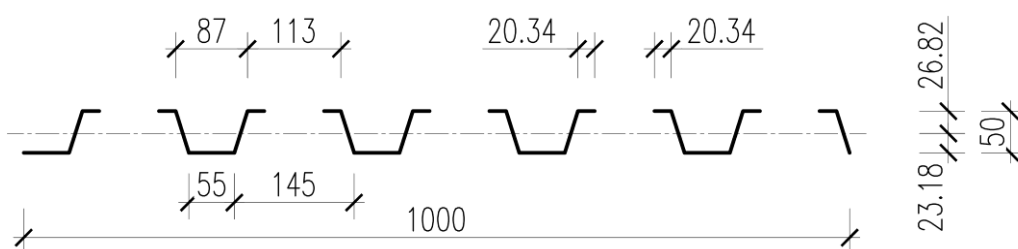
Následující průřezové charakteristiky platí pro průřez šířky 1000 mm.

$$A_{\text{eff}} = 795 \text{ mm}^2 \quad \text{účinná průřezová plocha}$$

$$I_{y,\text{eff}} = 311.10^3 \text{ mm}^4 \quad \text{účinný moment setrvačnosti}$$

$$W_{y,\text{eff}+} = 13,440.10^3 \text{ mm}^3 \quad \text{účinný modul průřezu k vláknům spodní (tažené) pásnice}$$

$$W_{y,\text{eff}-} = 11,614.10^3 \text{ mm}^3 \quad \text{účinný modul průřezu k vláknům horní (tlačené) pásnice}$$



Posouzení

Návrhový moment únosnosti

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{\text{eff}} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{11,614.10^3 \cdot 250}{1,0} = 2,90 \text{ kNm}$$

Jednotkový posudek

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{0,993}{2,90} = 0,34$$

vyhovuje s využitím na 34 %

A.3 Normální poloha + záporný ohybový moment

Širší pásnice je v tlaku, užší pásnice je v tahu → výpočet průřezových charakteristik viz reverzní poloha + kladný ohybový moment.

Posouzení

Návrhový moment únosnosti

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{11,614 \cdot 10^3 \cdot 250}{1,0} = 2,90 \text{ kNm}$$

Jednotkový posudek

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1,396}{2,90} = 0,48 \quad \text{vyhovuje s využitím na 48 \%}$$

A.4 Reverzní poloha + záporný ohybový moment

Širší pásnice je v tahu, užší pásnice je v tlaku → výpočet průřezových charakteristik viz normální poloha + kladný ohybový moment.

Posouzení

Návrhový moment únosnosti

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} = \frac{11,968 \cdot 10^3 \cdot 250}{1,0} = 2,99 \text{ kNm}$$

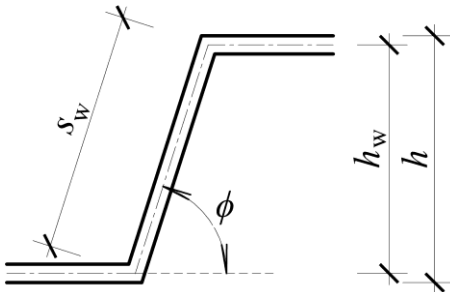
Jednotkový posudek

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1,230}{2,99} = 0,41 \quad \text{vyhovuje s využitím na 41 \%}$$

B. SMYK

Posouzení na smyk je provedeno podle ČSN EN 1993-1-3 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily.

Definice parametrů vstupujících do výpočtu



Poměrná štíhlost stojiny

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \cdot \frac{s_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,346 \cdot \frac{51,74}{0,8} \cdot \sqrt{\frac{250}{210000}} = 0,772 \quad \text{pro stojiny bez podélných výztuh}$$

Smyková pevnost s vlivem boulení

$$f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb} = 0,58 \cdot 250 = 145 \text{ MPa} \quad \text{pro poměrnou štíhlost } \bar{\lambda}_w \leq 0,83$$

Posouzení

Orientace plechu (normální nebo reverzní) nemá vliv na výpočet únosnosti ve smyku.

Návrhová únosnost ve smyku jedné stojiny

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{49,2}{\sin 72^\circ} \cdot 0,8 \cdot 145}{1,0} = 6,00 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost ve smyku pro šířku 1000 mm

$$V_{b,Rd} = 6,00 \cdot \frac{1000}{(87 + 113)/2} = 60,0 \text{ kN}$$

Jednotkový posudek pro normální polohu

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{4,506}{60,0} = 0,08 \quad \text{vyhovuje s využitím na 8 \%}$$

Jednotkový posudek pro reverzní polohu

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{3,952}{60,0} = 0,07 \quad \text{vyhovuje s využitím na 7 \%}$$

C. LOKÁLNÍ PŘÍČNÉ SÍLY

Posouzení se provede v krajní podpoře a ve vnitřní podpoře s největšími podporovými reakcemi podle ČSN EN 1993-1-3.

Podmínka spolehlivosti

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd}$$

Lokální příčná únosnost jedné stojiny pro průřezy s více nevyztuženými stojinami se určí podle následujícího vztahu (tento vztah je možné použít pouze v případě splnění dalších kritérií geometrického charakteru – viz článek 6.1.7.3 (1). Únosnost nezávisí na orientaci plechu.

$$R_{w,Rd} = \frac{\alpha \cdot t^2 \cdot \sqrt{f_{yb} \cdot E} \cdot (1 - 0,1 \cdot \sqrt{r/t}) \cdot [0,5 + \sqrt{0,02 \cdot l_a/t}] \cdot (2,4 + (\phi/90)^2)}{\gamma_{M1}}$$

kde

$r = 10,6 \text{ mm}$ vnitřní poloměr rohů (všechna zaoblení jsou o poloměru 11 mm - střednice)

$\alpha; l_a$ parametry dle konkrétního geometrického uspořádání

Reakce v krajní podpoře (kategorie 1)

$\alpha = 0,075$ pro plošné profily a kategorii 1 dle ČSN EN 1993-1-3, obr. 6.9

$l_a = 10 \text{ mm}$ pro kategorii 1 dle ČSN EN 1993-1-3, obr. 6.9

Lokální příčná únosnost jedné stojiny

$$R_{w,Rd} = \frac{0,075 \cdot 0,8^2 \cdot \sqrt{250 \cdot 210000} \cdot (1 - 0,1 \cdot \sqrt{10,6/0,8}) \cdot [0,5 + \sqrt{0,02 \cdot 10/0,8}] \cdot (2,4 + (72/90)^2)}{1,0} =$$

$$= 0,672 \text{ kN}$$

Lokální příčná únosnost pro šířku 1000 mm

$$R_{w,Rd} = 0,672 \cdot \frac{1000}{(87 + 113)/2} = 6,72 \text{ kN}$$

Jednotkový posudek pro normální polohu

$$\frac{R_{a,Ed}}{R_{w,Rd}} = \frac{3,056}{6,72} = 0,45 \quad \text{vyhovuje s využitím na 45 \%}$$

Jednotkový posudek pro reverzní polohu

$$\frac{R_{a,Ed}}{R_{w,Rd}} = \frac{2,886}{6,72} = 0,43 \quad \text{vyhovuje s využitím na 43 \%}$$

Reakce ve vnitřní podpoře (kategorie 2)

$\alpha = 0,15$ pro plošné profily a kategorii 2 dle ČSN EN 1993-1-3, obr. 6.9

$$\beta_v = \frac{|V_{Ed,1}| - |V_{Ed,2}|}{|V_{Ed,1}| + |V_{Ed,2}|} = \frac{|-4,506| - |3,896|}{|-4,506| + |3,896|} = 0,073 \quad \text{pro normální polohu}$$

$$\beta_v = \frac{|V_{Ed,1}| - |V_{Ed,2}|}{|V_{Ed,1}| + |V_{Ed,2}|} = \frac{|-3,952| - |3,434|}{|-3,952| + |3,434|} = 0,070 \quad \text{pro reverzní polohu}$$

$$\text{kde } |V_{Ed,1}| \geq |V_{Ed,2}|$$

$$l_a = s_s = 100 \text{ mm}$$

pro kategorii 2 dle ČSN EN 1993-1-3, obr. 6.9 a pro $\beta \leq 0,2$ a kde s_s je délka tuhého roznášení = šířka podpory (zde se uvažuje uložení na pásnici IPE 200 širokou 100 mm)

Lokální příčná únosnost jedné stojiny

$$R_{w,Rd} = \frac{0,15 \cdot 0,8^2 \cdot \sqrt{250 \cdot 210000} \cdot (1 - 0,1 \cdot \sqrt{10,6/0,8}) \cdot [0,5 + \sqrt{0,02 \cdot 100/0,8}] \cdot (2,4 + (72/90)^2)}{1,0} = 2,799 \text{ kN}$$

Lokální příčná únosnost pro šířku 1000 mm

$$R_{w,Rd} = 2,799 \cdot \frac{1000}{(87 + 113)/2} = 27,99 \text{ kN}$$

Jednotkový posudek pro normální polohu

$$\frac{R_{a,Ed}}{R_{w,Rd}} = \frac{8,401}{27,99} = 0,30$$

vyhovuje s využitím na 30 %

Jednotkový posudek pro reverzní polohu

$$\frac{R_{a,Ed}}{R_{w,Rd}} = \frac{7,386}{27,99} = 0,26$$

vyhovuje s využitím na 26 %

D. PRŮHYB

Provede se posouzení na průhyb trapézového plechu v montážním stavu. Zatížení se bere v charakteristických hodnotách pouze od vlastní tíhy a od tíhy mokrého betonu (montážní zatížení se neuvažuje).

Podmínka spolehlivosti

$$w \leq w_{\text{lim}}$$

kde

$$w_{\text{lim}} = \frac{L}{180} \text{ nebo } 20 \text{ mm}$$