

OBLICZENIA STATYCZNE

I. Zebranie obciążeń

1. Obciążenia stałe

Do obliczeń przyjęto wartości według normy PN-EN 1991-1-1:2004

1.1. Dach część górna

ELEMENT	CHARAKTERYSTYCZNE	γ	OBLICZENIOWE
Płyta warstwowa 10cm	0,10	1,2	0,12
Płatwie stalowe	0,14	1,1	0,16
Dźwigar stalowy	0,10	1,1	0,11
	0,34 kN/m ²	-	0,41kN/m ²

1.3 Ściana zewnętrzna

ELEMENT	CHARAKTERYSTYCZNE	γ	OBLICZENIOWE
Mur 24cm gazobeton – 0,24*9	2,16	1,1	2,38
Tynk cem-wap – 0,015*19	0,29	1,3	0,37
Warstwa docieplenia z wyprawą – 0,12*0,45	0,05	1,3	0,07
	2,50 kN/m ²	-	2,82 kN/m ²

1.4 Ściana wewnętrzna

ELEMENT	CHARAKTERYSTYCZNE	γ	OBLICZENIOWE
Mur 24cm gazobeton – 0,24*9	2,16	1,1	2,38
2xTynk cem-wap – 0,015*19	0,58	1,3	0,74
	2,74 kN/m ²	-	3,12 kN/m ²

1.5 Strop nad częścią socjalną

ELEMENT	CHARAKTERYSTYCZNE	γ	OBLICZENIOWE
Płyta żelbetowa gr. 21cm	5,25	1,15	6,04
Warstwy podłogowe	1,50	1,3	1,95
Obciążenie użytkowe	2,00	1,3	2,60
Tynk cem-wap – 0,015*19	0,29	1,3	0,74
	9,04 kN/m ²	-	11,33 kN/m ²

1.6 Ściana fundamentowa

ELEMENT	CHARAKTERYSTYCZNE	γ	OBLICZENIOWE
Warstwa docieplenia z wyprawą – 0,10*0,6	0,06	1,3	0,08
Mur 24cm bloczki M6 – 0,24*24	5,76	1,1	6,34
	5,82 kN/m ²	-	6,42 kN/m ²

2. Obciążenia zmienne

2.1. Śnieg

Do obliczeń przyjęto wartości dla II strefy śniegowej według normy PN-EN 1991-1-3:2005

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k$$

$$\mu_1 - 0,8$$

$$C_e - 1,0$$

$$C_t - 1,0$$

$$S_k - 0,9$$

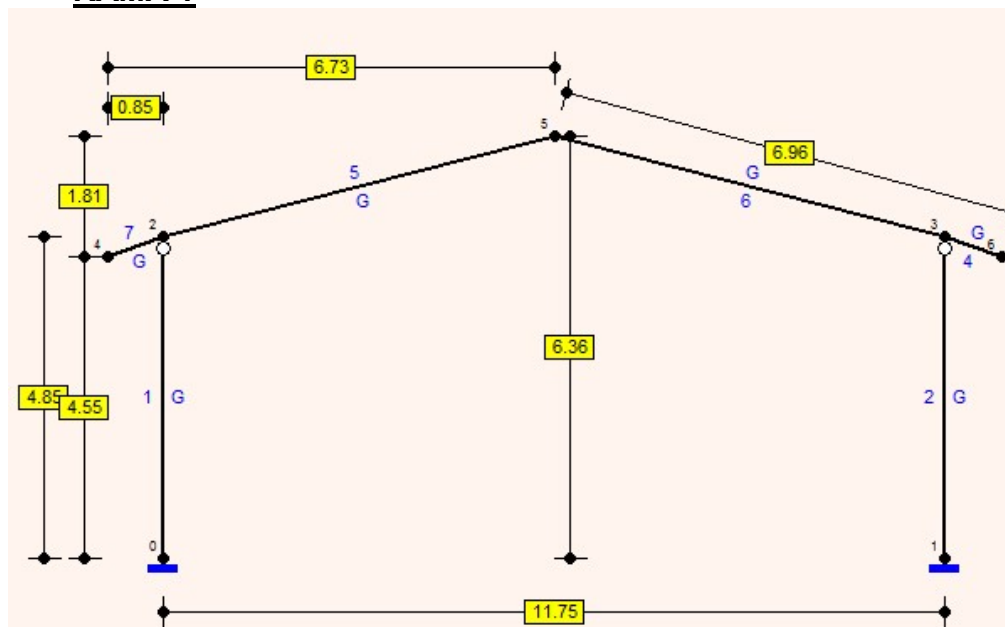
- strona nawietrzna i zawietrzna

$$S_n = 0,8 * 0,9 = 0,72 * 1,5 = 1,08 \text{ kN/m}^2$$

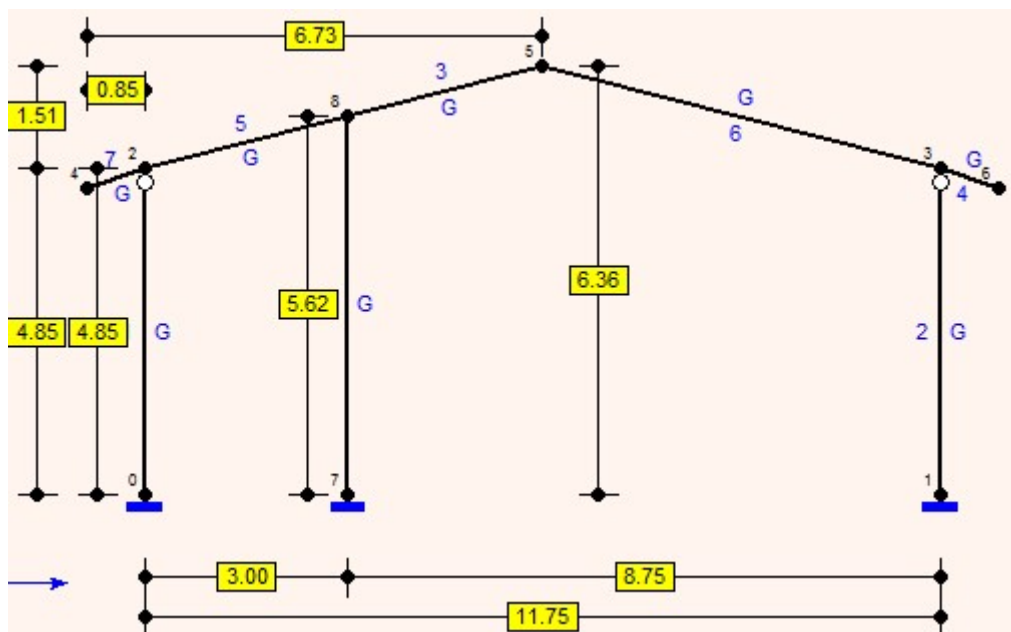
3. Dach nad budynkiem zaprojektowano jako dach dwuspadowy o konstrukcji stalowej w postaci dźwigara dwuteowego o nachyleniu połaci 15°. Maksymalny rozstaw dźwigarów wynosi 7,15m.

W konstrukcji zaprojektowano dwa rodzaje ram nośnych

RAMA 1

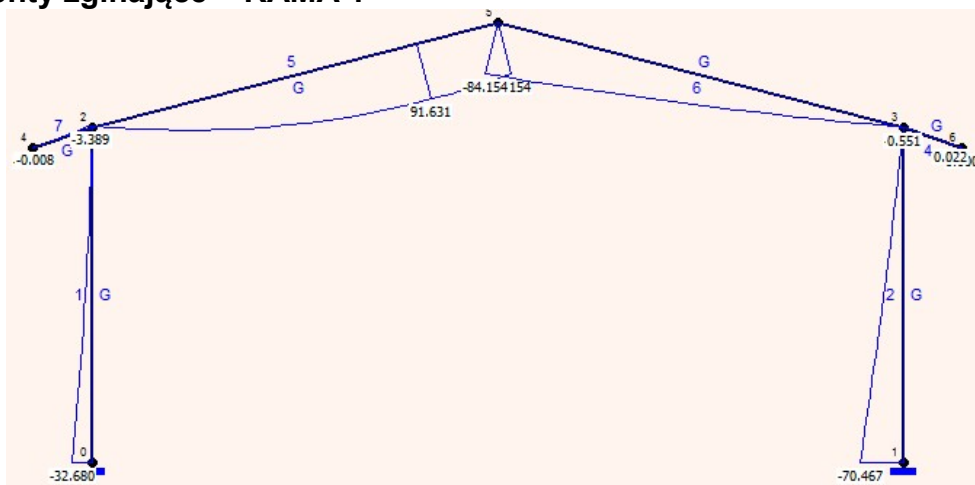


RAMA 2

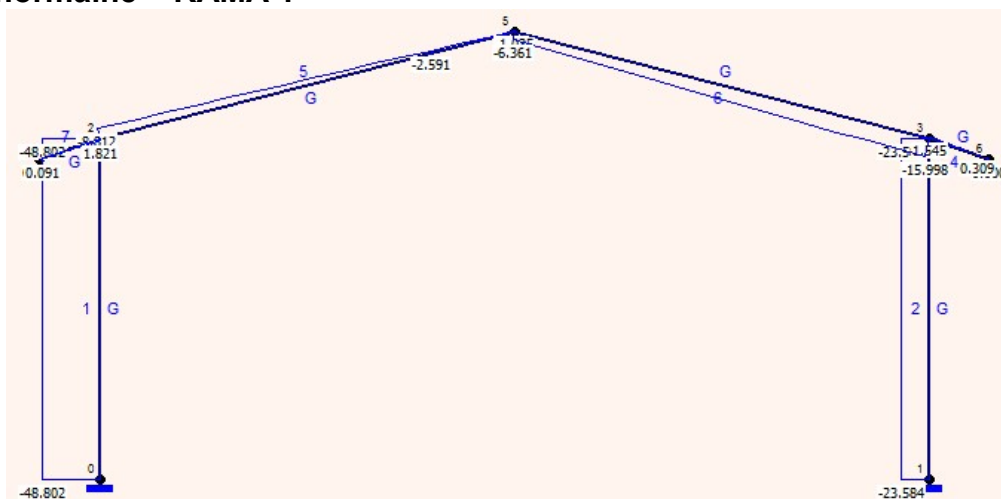


3.1. Obciążenia z pozycji 1.1 i 2.1

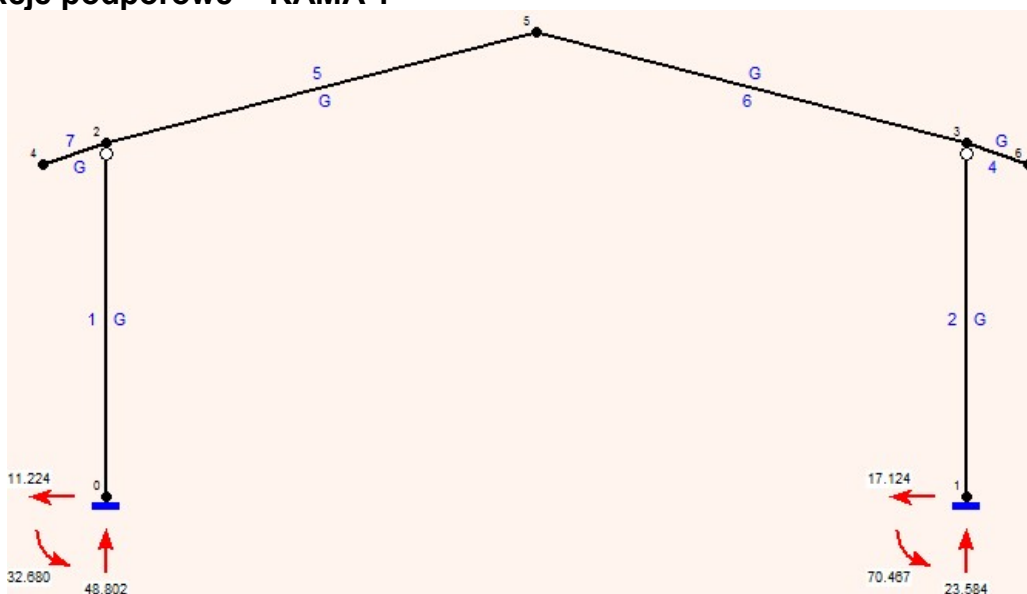
3.2 Siły przekrojowe Momenty zginające – RAMA 1



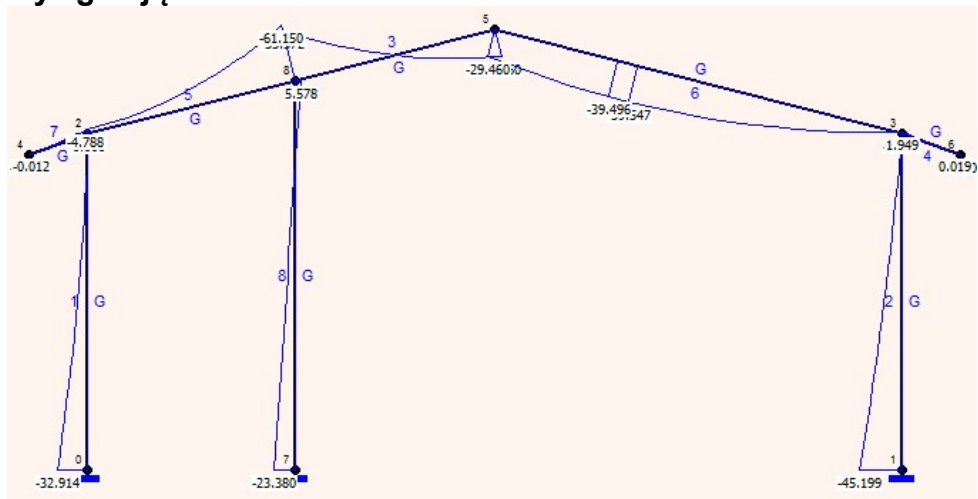
Siły normalne – RAMA 1



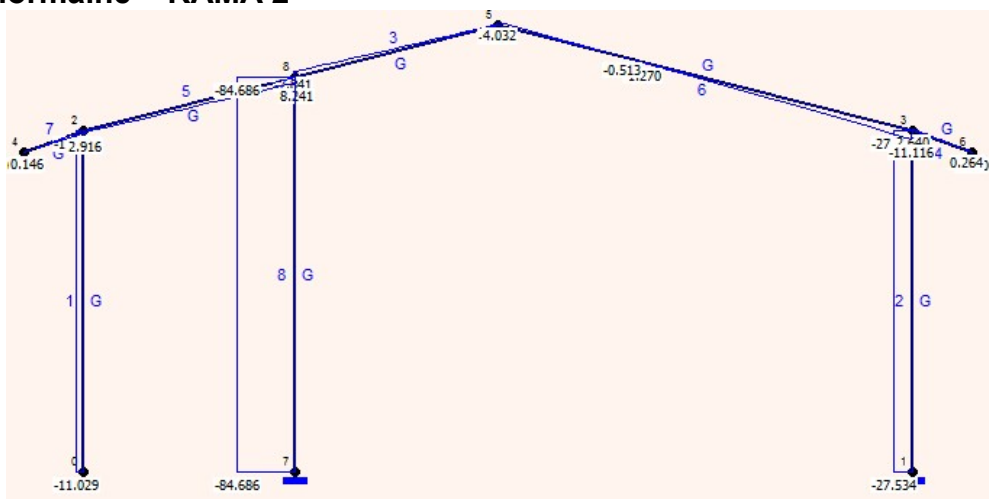
Reakcje podporowe – RAMA 1



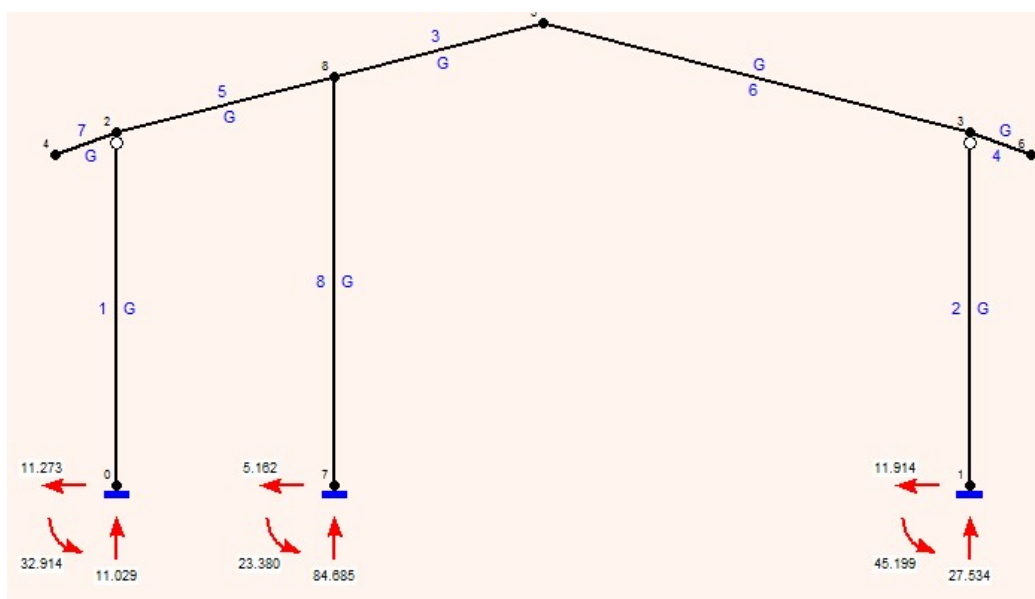
Momenty zginające – RAMA 2



Siły normalne – RAMA 2



Reakcje podporowe – RAMA 2



3.3 Rama 1 – dźwigar dachowy

Do obliczeń przyjęto dźwigar dachowy z profili dwuteowych IPE 400, ze stali St3S.

Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:

– w pł. układu: $\kappa_1 = 0.451$ $\kappa_2 = 0.333$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_y = 0.634$ oraz $l_{0,y} = 6.1\text{m}$

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_z = 0.000 \rightarrow \mu_z = 0.997$ oraz $l_{0,z} = 6.1\text{m}$

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 1.000$ oraz $l_{0,\omega} = 6.1\text{m}$

Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{MPa} \cdot 23130.0 \text{cm}^4}{(0.634 \cdot 6.1 \text{m})^2} = 32458.3 \text{kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{MPa} \cdot 1320.0 \text{cm}^4}{(0.997 \cdot 6.1 \text{m})^2} = 748.0 \text{kN}$$

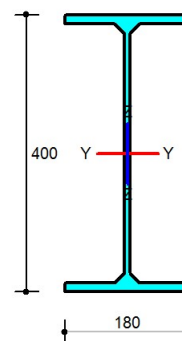
$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_z^2} \left[\frac{\pi^2 E I_{\omega}}{(\mu_{\omega} l)^2} + G J_T \right]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{17.0^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{MPa} \cdot 490048.5 \text{cm}^6}{(1.000 \cdot 6.1 \text{m})^2} + 80769.2 \text{MPa} \cdot 37.4 \text{cm}^4 \right] = 1998.9 \text{kN}$$

$$N_{cr,TF} = \frac{(N_{cr,y} + N_{cr,T}) - \sqrt{(N_{cr,y} + N_{cr,T})^2 - 4 N_{cr,y} N_{cr,T} (1 - \mu_z^2 / i_z^2)}}{2(1 - \mu_z^2 / i_z^2)} = \frac{(N_{cr,y} + N_{cr,T}) - \sqrt{R}}{2(1 - \mu_z^2 / i_z^2)}$$

$$R = (748.0 + 1998.9)^2 - 4 \cdot 748.0 \cdot 1998.9 (1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 17.010^2) = 1564680.1 \text{kN}$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(748.0 + 1998.9) - \sqrt{1564680.1}}{2(1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 17.010^2)} = 748.0 \text{kN}$$



Ściskanie (3.3 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\min N (2, +3, +K4,)$

Pole przekroju: $A = A_{\text{brutto}} = 84.5 \text{cm}^2$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{84.5 \cdot 235}{1.0} = 1985.8 \text{kN}$

Współczynniki wyboczeniowe (Tablica 11):

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,y}} = 1985.8 / 32458.3 = 0.247 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \chi_y(\bar{\lambda}_y) = 0.990 \text{ (gięte x-x)}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,z}} = 1985.8 / 748.0 = 1.629 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \chi_z(\bar{\lambda}_z) = 0.299 \text{ (gięte y-y)}$$

$$\bar{\lambda}_{\omega} = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,\omega}} = 1985.8 / 1998.9 = 0.997 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_{\omega}(\bar{\lambda}_{\omega}) = 0.542 \text{ (skrętne)}$$

$$\bar{\lambda}_{\omega z} = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,\omega z}} = 1985.8 / 748.0 = 1.629 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \chi_{\omega z}(\bar{\lambda}_{\omega z}) = 0.299 \text{ (giętno-skrętne)}$$

Przyjęto do obliczeń: $\chi = \min(\chi_i) = 0.299$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.299 \cdot 84.5 \cdot 235}{1.0} = 593.2 \text{kN} > 19.6 \text{kN} = N_{Ed}$$

Ścinanie (7.5 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\min T_y (2, +3,)$

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,z} = 32.1 \text{cm}^2$

Warunek stateczności: $h_{w,z} / t_z = 43.4 < 60.0 = 72 \varepsilon / \eta$

Współczynnik niestateczności: $\lambda_{w,z}^- = 0.502 \rightarrow \chi_{w,z}(\lambda_{w,z}^-) = 1.200$ (żebro podatne)

Warunek nośności: $V_{b,Rd,z} = \frac{\chi_{w,z} A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = \frac{1.200 \cdot 32.1 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 522.3 \text{kN} > 39.2 \text{kN} = V_{Ed,z}$

Ścinanie po kierunku osi głównej Y-Y

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{vy} = 46.3 \text{ cm}^2$

$$\text{Warunek nośności sprężystej: } \tau_{Ed,y} = \frac{V_{Ed,y} S}{I_z t} = \frac{0.0 \cdot 114.0}{1320.0 \cdot 1.4} = 0.0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 135.7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

Uwaga! Przyjęto, że element nie jest narażony na miejscową utratę stateczności w rozumieniu rozdziału 5 EN 1993-1-5.

Zginanie (66.6 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=6.07\text{m}$; Kombinacja: $\min N (2,+3,+K4,)$

Zginanie względem osi głównej Y-Y

Wsp. zwiczenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[\sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[\sqrt{\frac{1262.7 \cdot 235 \cdot 1e-2}{237.1}}, 3.0 \right] = 1.119 \rightarrow \chi_{LT} (\lambda_{LT} \cdot \alpha_{LT}) = 0.569$$
$$\alpha_{LT} = 0.490$$

Nośność obliczeniowa z uwzględnieniem zwiczenia (klasa 1):

$$M_{b,Rd,x} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 0.569 \frac{1262.7 \cdot 235}{1.0} 1e-2 = 169.0 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}} = \frac{112.5}{296.7} = 0.67 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 1):

$$M_{c,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{197.9 \cdot 235}{1.0} 1e-2 = 46.5 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{0.0}{46.5} = 0.00 < 1.0$$

Zginanie z siłą podłużną (14.4 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=6.07\text{m}$; Kombinacja: $\min N (2,+3,+K4,)$

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Y-Y z siłą podłużną

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 7.5 / 1985.8 = 0.004$$

$$a_y = \min \left[\left(\frac{A - 2A_{bt,y}}{A} \right), 0.5 \right] = \min \left[\left(\frac{84.5 - 2 \cdot 24.3}{84.5} \right), 0.5 \right] = 0.425$$

$$M_{N,y,Rd} = \min \left[M_{pl,y,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0.5a_y)}, M_{pl,y,Rd} \right] = \min \left[296.7 \frac{(1-0.004)}{(1-0.5 \cdot 0.425)}, 296.7 \right] = 296.7 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Z-Z z siłą podłużną

$$a_z = \min \left[\left(\frac{A - 2A_{bt,z}}{A} \right), 0.5 \right] = \min \left[\left(\frac{84.5 - 2 \cdot 24.3}{84.5} \right), 0.5 \right] = 0.425$$

$$n \leq a_z \rightarrow M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 46.5 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (klasa 1 i 2) z uwzględnieniem ew. wpływu siły poprzecznej:

$$\alpha = 2.0, \beta = \max(5n, 1.0) = 1.0$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{112.5}{296.7} \right]^{2.0} + \left[\frac{0.0}{46.5} \right]^{1.0} = 0.14 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (56.8 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\min T_y (2,+3,)$

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 2, Załącznik B):

$$C_{my} = \max(0.2 + 0.8\alpha_s, 0.4) = \max(0.2 + 0.8 \cdot 0.763, 0.4) = 0.810$$

$$C_{mz} = \max(0.6 + 0.4\psi, 0.4) = \max(0.6 + 0.4 \cdot 1.000, 0.4) = 1.000$$

$$C_{mLT} = C_{my} = 0.810$$

$$k_{yy} = \left[C_{my} \left(1 + 0.6 \min(\bar{\lambda}_y, 1.) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right]$$

$$k_{yy} = \left[0.810 \left(1 + 0.6 \min(0.247, 1.) \frac{15.8}{0.990 \cdot 1985.8 / 1.0} \right) \right] = 0.811$$

$$k_{zz} = \left[C_{mz} \left(1 + 0.6 \min(\bar{\lambda}_z, 1.) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right]$$

$$k_{zz} = \left[1.000 \left(1 + 0.6 \min(1.629, 1.) \frac{15.8}{0.990 \cdot 1985.8 / 1.0} \right) \right] = 1.016$$

$$k_{yz} = k_{zy} = 1.016$$

$$k_{zy} = 0.8 k_{yy} = 0.8 \cdot 0.811 = 0.649$$

Warunki nośności dla elementu zginanego i ściskanego:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.57 < 1.0$$

$$\frac{15.8}{\frac{0.990 \cdot 1985.8}{1.0}} + 0.811 \frac{112.0 + 0.0}{\frac{0.997 \cdot 271.8}{1.0}} + 1.016 \frac{0.000 + 0.000}{\frac{34.3}{1.0}} = 0.57 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.47 < 1.0$$

$$\frac{15.8}{\frac{0.199 \cdot 1985.8}{1.0}} + 0.649 \frac{112.0 + 0.0}{\frac{0.997 \cdot 271.8}{1.0}} + 1.016 \frac{0.000 + 0.000}{\frac{34.3}{1.0}} = 0.47 < 1.0$$

Ugięcia (82.7 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=6.07m$; Kombinacja: ext U (2,3,)

Przemieszczenie w płaszczyźnie układu: $u_z = 25.1mm < 30.3mm = u_{z,lim}$.

Przemieszczenie prostopadłe do pł. układu: $u_y = 0.0mm < 30.3mm = u_{y,lim}$.

3.4 Rama 1 – Słup podporowy

Do obliczeń przyjęto słupy z profili dwuteowych szerokostopowych HEB 240, ze stali St3S.

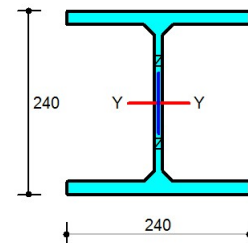
Rozciąganie (0.3 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=4.85m$; Kombinacja: max N (2,+4,)

Pole przekroju: $A_{brutto} = 106.00cm^2$

Nośność elementu rozciąganego (6.2.3):

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_t}{\gamma_{M0}} = \frac{106.00 \cdot 235}{1.00} = 2491.0kN > 7.0kN = N$$



Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:

– w pł. układu: $\kappa_1 = 0.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_y = 0.698$ oraz $l_{0,y} = 4.8m$

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_z = 0.997$ oraz $l_{0,z} = 4.8m$

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 1.000$ oraz $l_{\omega,0} = 4.8m$

Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0MPa \cdot 11260.0cm^4}{(0.698 \cdot 4.8m)^2} = 20364.0kN$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0MPa \cdot 3320.0cm^4}{(0.997 \cdot 4.8m)^2} = 3474.8kN$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_z^2} \left[\frac{\pi^2 E I_{\omega}}{(\mu_{\omega} l)^2} + G J_T \right]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{12.0^2} \left[\frac{\pi^2 210000.0 \text{MPa} \cdot 486946.4 \text{cm}^6}{(1.000 - 4.8 \text{m})^2} + 80769.2 \text{MPa} \cdot 85.5 \text{cm}^4 \right] = 7816.8 \text{kN}$$

$$N_{cr,TF} = \frac{(N_{cr,y} + N_{cr,T}) - \sqrt{(N_{cr,y} + N_{cr,T})^2 - 4 N_{cr,y} N_{cr,T} (1 - \mu z_1^2 / i_1^2)}}{2(1 - \mu z_1^2 / i_1^2)} = \frac{(N_{cr,y} + N_{cr,T}) - \sqrt{R}}{2(1 - \mu z_1^2 / i_1^2)}$$

$$R = (3474.8 + 7816.8)^2 - 4 \cdot 3474.8 \cdot 7816.8 (1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 11.967^2) = 18853237.4 \text{kN}$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(3474.8 + 7816.8) - \sqrt{18853237.4}}{2(1 - 1.000 - 0.0^2 / 11.967^2)} = 3474.8 \text{kN}$$

Ściskanie (3.0 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=4.85\text{m}$; Kombinacja: $\min N (2,+3,)$

Pole przekroju: $A = A_{\text{brutto}} = 106.0 \text{cm}^2$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{cRd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{106.0 \cdot 235}{1.0} = 2491.0 \text{kN}$

Współczynniki wyboczeniowe (Tablica 11):

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{N_{cRd} / N_{cr,y}} = 2491.0 / 20364.0 = 0.350 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \chi_y(\bar{\lambda}_y) = 0.946 \text{ (gięte x-x)}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{N_{cRd} / N_{cr,z}} = 2491.0 / 3474.8 = 0.847 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_z(\bar{\lambda}_z) = 0.633 \text{ (gięte y-y)}$$

$$\bar{\lambda}_{xz} = \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,x}} = 2491.0 / 7816.8 = 0.565 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_x(\bar{\lambda}_{xz}) = 0.806 \text{ (skrętne)}$$

$$\bar{\lambda}_{zx} = \sqrt{N_{cRd} / N_{cr,zx}} = 2491.0 / 3474.8 = 0.847 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_{zx}(\bar{\lambda}_{zx}) = 0.633 \text{ (giętno-skrętne)}$$

Przyjęto do obliczeń: $\chi = \min(\chi_i) = 0.633$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.633 \cdot 106.0 \cdot 235}{1.0} = 1576.5 \text{kN} > 48.1 \text{kN} = N_{Ed}$$

Ścinanie (8.2 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\max T_y (2,+K3,+4,)$

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,z} = 20.6 \text{cm}^2$

Warunek stateczności: $h_{w,z} / t_z = 20.6 < 60.0 = 72 \varepsilon / \eta$

Warunek nośności plastycznej:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} f_v}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{20.6 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 279.5 \text{kN} > 22.9 \text{kN} = V_{Ed,z}$$

Zginanie (45.3 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\max T_y (2,+K3,+4,)$

Zginanie względem osi głównej Y-Y

Uwzględniono efekt szerokiego pasa zgodnie z EN1993-1-5 p.3.3. Przy sprawdzaniu nośności przyjęto stan sprężysty (bez względu na klasę przekroju, również w drugim kierunku) z ew. uwzględnieniem niestateczności lokalnej.

Pas górny - strona lewa:

$$\kappa = b_0 / L_e = 120.0 / 4850.0 = 0.025 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1 / (1 + 6.4 \kappa^2) = 1 / (1.004) = 0.996$$

$$A_{\text{eff}} = \max(A_{c,\text{eff}} \beta^{\kappa}, A_{c,\text{eff}} \beta) = \max(2040 \cdot 0.996^{0.025}, 2040 \cdot 0.996) = 2040 \text{mm}^2$$

Pas górny - strona prawa:

$$\kappa = b_0 / L_e = 120.0 / 4850.0 = 0.025 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1 / (1 + 6.4 \kappa^2) = 1 / (1.004) = 0.996$$

$$A_{\text{eff}} = \max(A_{c,\text{eff}} \beta^{\kappa}, A_{c,\text{eff}} \beta) = \max(2040 \cdot 0.996^{0.025}, 2040 \cdot 0.996) = 2040 \text{mm}^2$$

Pas dolny - strona lewa:

$$\kappa = b_0 / L_e = 120.0 / 4850.0 = 0.025 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1 / (1 + 6.4 \kappa^2) = 1 / (1.004) = 0.996$$

$$A_{\text{eff}} = \max(A_{c,\text{eff}} \beta^{\kappa}, A_{c,\text{eff}} \beta) = \max(2040 \cdot 0.996^{0.025}, 2040 \cdot 0.996) = 2040 \text{mm}^2$$

Pas dolny - strona prawa:

$$\kappa = b_0 / I_e = 120.0 / 4850.0 = 0.025 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1 / (1 + 6.4 \kappa^2) = 1 / (1.004) = 0.996$$

$$A_{c,eff} = \max(A_{c,eff} \beta^{\kappa}, A_{c,eff} \beta) = \max(2040 \cdot 0.996^{0.025}, 2040 \cdot 0.996) = 2040 \text{ mm}^2$$

Wsp. zwiczenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[\sqrt{\frac{W_{eff} f_y}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[\sqrt{\frac{924.0 \cdot 23.5 \cdot 1e-2}{711.0}}, 3.0 \right] = 0.553 \rightarrow \chi_{LT} (\lambda_{LT}, \alpha_{LT}) = 0.938$$

$$\alpha_{LT} = 0.340$$

Nośność obliczeniowa z uwzględnieniem zwiczenia (przekrój efektywny - efekt szerokiego pasa):

$$M_{b,Rd,x} = \chi_{LT} \frac{W_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} = 0.938 \frac{924.0 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 203.7 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}} = \frac{92.3}{217.1} = 0.45 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 1):

$$M_{c,Rd,z} = M_{eff,Rd,z} = \frac{W_{eff,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{326.6 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 76.7 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{0.0}{76.7} = 0.00 < 1.0$$

Zginanie z siłą podłużną (43.0 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: max Ty (2,+K3,+4,)

Napężenia normalne w przekroju efektywnym z uwzględnieniem ew. wpływu siły poprzecznej:

$$\sigma_{x,Ed,eff} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{Ed,y} + N_{Ed} e_{yy}}{I_{y,eff}} z_{eff} + \frac{M_{Ed,z} + N_{Ed} e_{yz}}{I_{z,eff}} y_{eff}$$

$$\sigma_{x,Ed,eff} = \frac{-11.3}{103.9} - \frac{92.3 \cdot 1e2 + 11.3 \cdot 0.000}{11088.5} 12.0 - \frac{0.0 \cdot 1e2 + 11.3 \cdot 0.000}{3918.7} 12.0 = -10.1 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{x,Ed,eff} = |-101.0| < 235.0 = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Dodatkowy warunek nośności (6.44) z uwzględnieniem ew. wpływu siły poprzecznej:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed,y} + N_{Ed} e_{yy}}{W_{eff,y} \min f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed,z} + N_{Ed} e_{yz}}{W_{eff,z} \min f_y / \gamma_{M0}} < 1.0$$

$$\frac{-11.3}{103.9 \cdot 23.5 / 1.0} + \frac{92.3 \cdot 1e2 + 11.3 \cdot 0.000}{924.0 \cdot 10e-6 \cdot 23.5 \cdot 10e4 / 1.0} + \frac{0.0 + 11.3 \cdot 0.000}{326.6 \cdot 1e-6 \cdot 23.5 \cdot 1e4 / 1.0} = 0.430 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (25.9 %)

Przekrój: $x/L=0.750$, $L=3.64\text{m}$; Kombinacja: max Ty (2,+K3,+4,)

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 2, Załącznik B):

$$C_{my} = \max(0.2 + 0.8 \alpha_y, 0.4) = \max(0.2 + 0.8 \cdot 0.449, 0.4) = 0.559$$

$$C_{mz} = \max(0.6 + 0.4 \psi, 0.4) = \max(0.6 + 0.4 \cdot 1.000, 0.4) = 1.000$$

$$C_{mLT} = C_{my} = 0.559$$

$$k_{yy} = \left[C_{my} \left(1 + 0.6 \min(\bar{\lambda}_y, 1.) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right]$$

$$k_{yy} = \left[0.559 \left(1 + 0.6 \min(0.350, 1.) \frac{11.3}{0.946 \cdot 2491.0 / 1.0} \right) \right] = 0.560$$

$$k_{zz} = \left[C_{mz} \left(1 + 0.6 \min(\bar{\lambda}_z, 1.) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right]$$

$$k_{zz} = \left[1.000 \left(1 + 0.6 \min(0.847, 1.) \frac{11.3}{0.946 \cdot 2491.0 / 1.0} \right) \right] = 1.005$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 1.005$$

$$k_{zy} = 0.8k_{yy} = 0.8 \cdot 0.560 = 0.448$$

Warunki nośności dla elementu zginanego i ściskanego:

$$\frac{N_{Ed}}{k_{y,z} R_{k}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{k_{LT} N_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{N_{z,Rk}} = 0.26 < 1.0$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{1.13} \frac{11.3}{0.974 \cdot 2491.0} + 0.560 \frac{92.3+0.0}{0.939 \cdot 217.1} + 1.005 \frac{0.000+0.000}{14.7} = 0.26 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{k_{y,z} R_{k}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{k_{LT} N_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{N_{z,Rk}} = 0.21 < 1.0$$

$$\frac{\gamma_{M1}}{1.13} \frac{11.3}{0.939 \cdot 2491.0} + 0.448 \frac{92.3+0.0}{0.939 \cdot 217.1} + 1.005 \frac{0.000+0.000}{14.7} = 0.21 < 1.0$$

Środek pod obciążeniem skupionym (4.4 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: $\max Ty (2,+K3,+4,)$

Dane dla najbardziej wyężonego środka [mm]: $t_w = 10.0$, $h_w = 206.0$, $t_f = 17.0$, $b_f = 240.0$

Parametr niestateczności:

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \left(\frac{206.0}{500.0} \right)^2 = 6.339$$

Efektywna szerokość strefy obciążenia:

$$l_y = \min[S_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}), a] = \min[20.0 + 2 \cdot 17.0(1 + \sqrt{24.0 + 0.0}), 500.0] = 220.6\text{mm}$$

gdzie:

$$- m_1 = 24.0, m_2 = 0.0$$

Efektywny wymiar środka przy obciążeniu skupionym:

$$\bar{\lambda}_{F} = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{0.9 k_F E_{yw}^3 / h_w}} = \sqrt{\frac{220.6 \cdot 10.0 \cdot 235.0}{0.9 \cdot 6.339 \cdot 210000.0 \cdot 10.0^3 / 206.0}} = 0.299$$

$$\chi_F = \min \left[\frac{0.5}{\bar{\lambda}_F}, 1.0 \right] = \min \left[\frac{0.5}{0.299}, 1.0 \right] = 1.000$$

$$L_{\text{eff}} = \chi_F l_y = 1.000 \cdot 220.6 = 220.6\text{mm}$$

Nośność obliczeniowa środka:

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{\text{eff}} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235.0 \cdot 220.6 \cdot 10.0}{1.0} 1e-3 = 518.3\text{kN} > 22.9\text{kN} = F_{Ed}$$

Ugięcia (82.8 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=4.85m$; Kombinacja: $\text{ext } U (2,K3,4,)$

Przemieszczenie w płaszczyźnie układu: $u_z = 20.1\text{mm} < 24.2\text{mm} = u_{z,\text{lim}}$.

Przemieszczenie prostopadłe do pł. układu: $u_y = 0.0\text{mm} < 24.2\text{mm} = u_{y,\text{lim}}$.

3.5 Rama 2 – dźwigar dachowy

Do obliczeń przyjęto dźwigar dachowy z profili dwuteowych IPE 330, ze stali St3S.

Rozciąganie (0.4 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=6.07m$; Kombinacja: $\max N (2,+K3,+4,)$

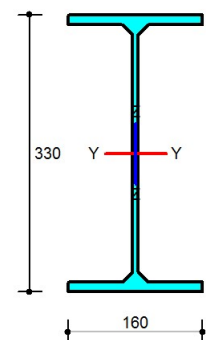
Pole przekroju: $A_{\text{brutto}} = 62.60\text{cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (6.2.3):

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{62.60 \cdot 235}{1.00} = 1471.1\text{kN} > 5.4\text{kN} = N$$

Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:



– w pł. układu: $\kappa_1 = 0.300$ $\kappa_2 = 0.300$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_y = 0.593$ oraz $l_{0,y} = 6.1\text{m}$

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_z = 0.000 \rightarrow \mu_z = 0.997$ oraz $l_{0,z} = 6.1\text{m}$

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 1.000$ oraz $l_{0,\omega} = 6.1\text{m}$

Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{MPa} \cdot 11770.0 \text{cm}^4}{(0.593 \cdot 6.1 \text{m})^2} = 18853.0 \text{kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{MPa} \cdot 788.0 \text{cm}^4}{(0.997 \cdot 6.1 \text{m})^2} = 446.5 \text{kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_z^2} \left[\frac{\pi^2 E I_{\omega}}{(\mu_{\omega} l)^2} + G J_T \right]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{14.2^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{MPa} \cdot 199097.3 \text{cm}^6}{(1.000 \cdot 6.1 \text{m})^2} + 80769.2 \text{MPa} \cdot 20.5 \text{cm}^4 \right] = 1386.0 \text{kN}$$

$$N_{cr,TF} = \frac{(N_{cr,y} + N_{cr,T}) - \sqrt{(N_{cr,y} + N_{cr,T})^2 - 4 N_{cr,y} N_{cr,T} (1 - \mu_z^2 / i_z^2)}}{2(1 - \mu_z^2 / i_z^2)} = \frac{(N_{cr,y} + N_{cr,T}) - \sqrt{R}}{2(1 - \mu_z^2 / i_z^2)}$$

$$R = (446.5 + 1386.0)^2 - 4 \cdot 446.5 \cdot 1386.0 (1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 14.164^2) = 882627.4 \text{kN}^2$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(446.5 + 1386.0) - \sqrt{882627.4}}{2(1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 14.164^2)} = 446.5 \text{kN}$$

Ściskanie (4.0 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: *min Ty (2,+3,)*

Pole przekroju: $A = A_{\text{brutto}} = 62.6 \text{cm}^2$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{62.6 \cdot 235}{1.0} = 1471.1 \text{kN}$

Współczynniki wyboczeniowe (Tablica 11):

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,y}} = 1471.1 / 18853.0 = 0.279 \rightarrow$ krzywa 'a' $\rightarrow \chi_y(\bar{\lambda}_y) = 0.982$ (gięte x-x)

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,z}} = 1471.1 / 446.5 = 1.815 \rightarrow$ krzywa 'b' $\rightarrow \chi_z(\bar{\lambda}_z) = 0.248$ (gięte y-y)

$\bar{\lambda}_x = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,x}} = 1471.1 / 1386.0 = 1.030 \rightarrow$ krzywa 'c' $\rightarrow \chi_x(\bar{\lambda}_x) = 0.523$ (skrętne)

$\bar{\lambda}_{\omega} = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,\omega}} = 1471.1 / 446.5 = 1.815 \rightarrow$ krzywa 'b' $\rightarrow \chi_{\omega}(\bar{\lambda}_{\omega}) = 0.248$ (giętno-skrętne)

Przyjęto do obliczeń: $\chi = \min(\chi_i) = 0.248$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.248 \cdot 62.6 \cdot 235}{1.0} = 365.5 \text{kN} > 14.6 \text{kN} = N_{Ed}$$

Ścinanie (11.8 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: *min Ty (2,+3,)*

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,z} = 23.0 \text{cm}^2$

Warunek stateczności: $h_{w,z} / t_z = 40.9 < 60.0 = 72 \varepsilon / \eta$

Warunek nośności plastycznej:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{23.0 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 312.4 \text{kN} > 36.8 \text{kN} = V_{Ed,z}$$

Zginanie (64.1 %)

Przekrój: $x/L=0.500$, $L=3.03\text{m}$; Kombinacja: *min N (2,+3,)*

Zginanie względem osi głównej Y-Y

Wsp. zwichrzenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[\sqrt{\frac{W_{pl,y} f_T}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[\sqrt{\frac{743.4 \cdot 23.5 \cdot 1e-2}{127.0}}, 3.0 \right] = 1.173 \rightarrow \chi_{LT}(\lambda_{LT}, \alpha_{LT}) = 0.539$$

$$\alpha_{LT} = 0.490$$

Nośność obliczeniowa z uwzględnieniem zwiczerzenia (klasa 1):

$$M_{b,Rd,x} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,x} f_T}{\gamma_{M1}} = 0.539 \frac{743.4 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 94.2 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}} = \frac{60.4}{174.7} = 0.64 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 1):

$$M_{c,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} f_T}{\gamma_{M0}} = \frac{139.3 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 32.7 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{0.0}{32.7} = 0.00 < 1.0$$

Zginanie z siłą podłużną (12.0 %)

Przekrój: $x/L=0.500$, $L=3.03\text{m}$; Kombinacja: *min N (2,+3)*

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Y-Y z siłą podłużną

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 6.6 / 1471.1 = 0.004$$

$$a_y = \min \left[\left(\frac{A - 2A_{bt,y}}{A} \right), 0.5 \right] = \min \left[\left(\frac{62.6 - 2 \cdot 18.4}{62.6} \right), 0.5 \right] = 0.412$$

$$M_{N,y,Rd} = \min \left[M_{pl,y,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0.5a_y)}, M_{pl,y,Rd} \right] = \min \left[174.7 \frac{(1-0.004)}{(1-0.5 \cdot 0.412)}, 174.7 \right] = 174.7 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Z-Z z siłą podłużną

$$a_z = \min \left[\left(\frac{A - 2A_{bt,z}}{A} \right), 0.5 \right] = \min \left[\left(\frac{62.6 - 2 \cdot 18.4}{62.6} \right), 0.5 \right] = 0.412$$

$$n \leq a_z \rightarrow M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} = 32.7 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (klasa 1 i 2) z uwzględnieniem ew. wpływu siły poprzecznej:

$$\alpha = 2.0, \beta = \max(5n, 1.0) = 1.0$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{60.4}{174.7} \right]^{2.0} + \left[\frac{0.0}{32.7} \right]^{1.0} = 0.12 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (63.6 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: *min Ty (2,+3)*

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 2, Załącznik B):

$$C_{my} = 0.95 + 0.05\alpha_h = 0.95 + 0.05 \cdot 0.512 = 0.976$$

$$C_{mz} = \max(0.6 + 0.4\psi, 0.4) = \max(0.6 + 0.4 \cdot 1.000, 0.4) = 1.000$$

$$C_{mLT} = C_{my} = 0.976$$

$$k_{yy} = \left[C_{my} \left(1 + \min(\bar{\lambda}_y - 0.2, 0.8) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right]$$

$$k_{yy} = \left[0.976 \left(1 + \min(0.279 - 0.2, 0.8) \frac{14.6}{0.982 \cdot 1471.1 / 1.0} \right) \right] = 0.976$$

$$k_{zz} = \left[C_{mz} \left(1 + \min(2\bar{\lambda}_z - 0.6, 1.4) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right]$$

$$k_{zz} = \left[1.000 \left(1 + \min(2 \cdot 1.815 - 0.6, 1.4) \frac{14.6}{0.982 \cdot 1471.1 / 1.0} \right) \right] = 1.056$$

$$k_{yz} = 0.6k_{zz} = 0.6 \cdot 1.056 = 0.633$$

$$k_{zy} = 0.6k_{yy} = 0.6 \cdot 0.976 = 0.586$$

Warunki nośności dla elementu zginanego i ściskanego:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cRk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\lambda_{LT} M_{yRk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{zRk}} = 0.64 < 1.0$$

$$\frac{14.6}{\frac{0.982 \cdot 14911.1}{1.0}} + 0.976 \frac{60.4 + 0.0}{\frac{0.339 \cdot 174.7}{1.0}} + 0.633 \frac{0.000 + 0.000}{\frac{32.7}{1.0}} = 0.64 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cRk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\lambda_{LT} M_{yRk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{zRk}} = 0.42 < 1.0$$

$$\frac{14.6}{\frac{0.248 \cdot 14911.1}{1.0}} + 0.586 \frac{60.4 + 0.0}{\frac{0.339 \cdot 174.7}{1.0}} + 1.056 \frac{0.000 + 0.000}{\frac{32.7}{1.0}} = 0.42 < 1.0$$

Ugięcia (51.6 %)

Przekrój: $x/L=0.750$, $L=4.55m$; Kombinacja: *ext U (2,3)*

Przemieszczenie w płaszczyźnie układu: $u_z = 12.5mm < 24.3mm = u_{z,lim}$.

Przemieszczenie prostopadłe do pł. układu: $u_y = 0.0mm < 24.3mm = u_{y,lim}$.

3.4 Rama 2 – Słup podporowy

Do obliczeń przyjęto słupy z profili dwuteowych szerokostopowych HEB 240, ze stali St3S.

Długość wybocheniowa

Współczynniki długości wybocheniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:

– w pł. układu: $\kappa_1 = 0.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_3 = 0.000 \rightarrow \mu_y = 0.698$ oraz $l_{oy} = 4.8m$

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_3 = 0.000 \rightarrow \mu_z = 0.997$ oraz $l_{oz} = 4.8m$

Wybočenje skrętne: $\mu_w = 1.000$ oraz $l_{ow} = 4.8m$

Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{MPa} \cdot 11260.0 \text{cm}^4}{(0.698 \cdot 4.8 \text{m})^2} = 20364.0 \text{kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{MPa} \cdot 3920.0 \text{cm}^4}{(0.997 \cdot 4.8 \text{m})^2} = 3474.8 \text{kN}$$

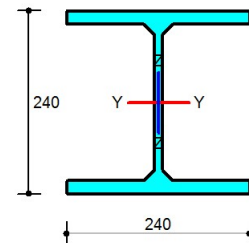
$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_z^2} \left[\frac{\pi^2 E I_{\omega}}{(\mu_w l)^2} + G J_T \right]$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{12.0^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{MPa} \cdot 486946.4 \text{cm}^6}{(1.000 \cdot 4.8 \text{m})^2} + 80769.2 \text{MPa} \cdot 85.5 \text{cm}^4 \right] = 7816.8 \text{kN}$$

$$N_{cr,TF} = \frac{(N_{cr,y} + N_{cr,T}) - \sqrt{(N_{cr,y} + N_{cr,T})^2 - 4 N_{cr,y} N_{cr,T} (1 - \mu_z^2 / i_z^2)}}{2(1 - \mu_z^2 / i_z^2)} = \frac{(N_{cr,y} + N_{cr,T}) - \sqrt{R}}{2(1 - \mu_z^2 / i_z^2)}$$

$$R = (3474.8 + 7816.8)^2 - 4 \cdot 3474.8 \cdot 7816.8 (1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 11.967^2) = 18853237.4 \text{kN}$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(3474.8 + 7816.8) - \sqrt{18853237.4}}{2(1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 11.967^2)} = 3474.8 \text{kN}$$



Ściskanie (0.8 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=4.85m$; Kombinacja: *max Ty (2,+K3,+4)*

Pole przekroju: $A = A_{brutto} = 106.0 \text{cm}^2$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{cRd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{106.0 \cdot 235}{1.0} = 2491.0 \text{kN}$

Współczynniki wybocheniowe (Tablica 11):

$\bar{\lambda}_y = \sqrt{N_{cRd} / N_{cr,y}} = 2491.0 / 20364.0 = 0.350 \rightarrow$ krzywa 'b' $\rightarrow \chi_y(\bar{\lambda}_y) = 0.946$ (gięte x-x)

$\bar{\lambda}_z = \sqrt{N_{cRd} / N_{cr,z}} = 2491.0 / 3474.8 = 0.847 \rightarrow$ krzywa 'c' $\rightarrow \chi_z(\bar{\lambda}_z) = 0.633$ (gięte y-y)

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{N_{Ed}/N_{cr,x}} = 2491.0/7816.8 = 0.565 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_x(\bar{\lambda}_x) = 0.806 \text{ (skrętnie)}$$

$$\bar{\lambda}_{2x} = \sqrt{N_{Ed}/N_{cr,2x}} = 2491.0/3474.8 = 0.847 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_{2x}(\bar{\lambda}_{2x}) = 0.633 \text{ (giętno-skrętnie)}$$

Przyjęto do obliczeń: $\chi = \min(\chi_i) = 0.633$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.633 \cdot 106.0 \cdot 23.5}{1.0} = 1576.5 \text{ kN} > 12.5 \text{ kN} = N_{Ed}$$

Ścinanie (5.9 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: max Ty (2,+K3,+4,)

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,z} = 20.6 \text{ cm}^2$

Warunek stateczności: $h_{w,z}/t_z = 20.6 < 60.0 = 72 \varepsilon/\eta$

Warunek nośności plastycznej:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{20.6 \cdot 23.5}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 279.5 \text{ kN} > 16.4 \text{ kN} = V_{Ed,z}$$

Zginanie (23.4 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: max Ty (2,+K3,+4,)

Zginanie względem osi głównej Y-Y

Uwzględniono efekt szerokiego pasa zgodnie z EN1993-1-5 p.3.3. Przy sprawdzaniu nośności przyjęto stan sprężysty (bez względu na klasę przekroju, również w drugim kierunku) z ew. uwzględnieniem niestateczności lokalnej.

Pas górny - strona lewa:

$$\kappa = b_0/L_e = 120.0/4850.0 = 0.025 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1/(1 + 6.4 \kappa^2) = 1/(1.004) = 0.996$$

$$A_{c,eff} = \max(A_{c,eff} \beta^\kappa, A_{c,eff} \beta) = \max(2040 \cdot 0.996^{0.025}, 2040 \cdot 0.996) = 2040 \text{ mm}^2$$

Pas górny - strona prawa:

$$\kappa = b_0/L_e = 120.0/4850.0 = 0.025 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1/(1 + 6.4 \kappa^2) = 1/(1.004) = 0.996$$

$$A_{c,eff} = \max(A_{c,eff} \beta^\kappa, A_{c,eff} \beta) = \max(2040 \cdot 0.996^{0.025}, 2040 \cdot 0.996) = 2040 \text{ mm}^2$$

Pas dolny - strona lewa:

$$\kappa = b_0/L_e = 120.0/4850.0 = 0.025 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1/(1 + 6.4 \kappa^2) = 1/(1.004) = 0.996$$

$$A_{c,eff} = \max(A_{c,eff} \beta^\kappa, A_{c,eff} \beta) = \max(2040 \cdot 0.996^{0.025}, 2040 \cdot 0.996) = 2040 \text{ mm}^2$$

Pas dolny - strona prawa:

$$\kappa = b_0/L_e = 120.0/4850.0 = 0.025 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1/(1 + 6.4 \kappa^2) = 1/(1.004) = 0.996$$

$$A_{c,eff} = \max(A_{c,eff} \beta^\kappa, A_{c,eff} \beta) = \max(2040 \cdot 0.996^{0.025}, 2040 \cdot 0.996) = 2040 \text{ mm}^2$$

Wsp. zwiczenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[\sqrt{\frac{W_{eff,x} f_y}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[\sqrt{\frac{924.0 \cdot 23.5 \cdot 1e-2}{623.7}}, 3.0 \right] = 0.590 \rightarrow \chi_{LT}(\lambda_{LT}, \alpha_{LT}) = 0.922$$

$$\alpha_{LT} = 0.340$$

Nośność obliczeniowa z uwzględnieniem zwiczenia (przekrój efektywny - efekt szerokiego pasa):

$$M_{b,Rd,x} = \chi_{LT} \frac{W_{eff,x} f_y}{\gamma_{M1}} = 0.922 \frac{924.0 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 200.1 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}} = \frac{46.7}{217.1} = 0.23 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 1):

$$M_{c,Rd,z} = M_{eff,Rd,z} = \frac{W_{eff,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{326.6 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 76.7 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,x}}{M_{k,Rd,x}} = \frac{0.0}{76.7} = 0.00 < 1.0$$

Zginanie z siłą podłużną (22.0 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: max Ty (2,+K3,+4,)

Naprężenia normalne w przekroju efektywnym z uwzględnieniem ew. wpływu siły poprzecznej:

$$\sigma_{x,Ed,eff} = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} + \frac{M_{Ed,y} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{I_{y,eff}} z_{eff} + \frac{M_{Ed,x} + N_{Ed} \cdot e_{Nx}}{I_{x,eff}} y_{eff}$$

$$\sigma_{x,Ed,eff} = \frac{-12.5}{103.9} - \frac{46.7 \cdot 1e2 + 12.5 \cdot 0.000}{11088.5} 12.0 - \frac{0.0 \cdot 1e2 + 12.5 \cdot 0.000}{3918.7} 12.0 = -5.2 \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_{x,Ed,eff} = |-51.8| < 235.0 = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Dodatkowy warunek nośności (6.44) z uwzględnieniem ew. wpływu siły poprzecznej:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} e_{Ny}}{W_{eff,y} \min f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{x,Ed} + N_{Ed} e_{Nx}}{W_{eff,x} \min f_y / \gamma_{M0}} < 1.0$$

$$\frac{-12.5}{103.9 \cdot 235 / 1.0} + \frac{46.7 + 12.5 \cdot 0.000}{924.0 \cdot 10e-6 \cdot 235 \cdot 10e4 / 1.0} + \frac{0.0 + 12.5 \cdot 0.000}{326.6 \cdot 1e-6 \cdot 235 \cdot 1e4 / 1.0} = 0.220 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (11.3 %)

Przekrój: $x/L=0.750$, $L=3.64m$; Kombinacja: max Ty (2,+K3,+4,)

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 2, Załącznik B):

$$C_{my} = \max(0.2 + 0.8\alpha_s, 0.4) = \max(0.2 + 0.8 \cdot 0.325, 0.4) = 0.460$$

$$C_{mz} = \max(0.6 + 0.4\psi, 0.4) = \max(0.6 + 0.4 \cdot 1.000, 0.4) = 1.000$$

$$C_{m1T} = C_{my} = 0.460$$

$$k_{yy} = \left[C_{my} \left(1 + 0.6 \min(\bar{\lambda}_y, 1.0) \frac{N_{Ed}}{x_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right]$$

$$k_{yy} = \left[0.460 \left(1 + 0.6 \min(0.350, 1.0) \frac{12.5}{0.946 \cdot 2491.0 / 1.0} \right) \right] = 0.461$$

$$k_{zz} = \left[C_{mz} \left(1 + 0.6 \min(\bar{\lambda}_z, 1.0) \frac{N_{Ed}}{x_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \right]$$

$$k_{zz} = \left[1.000 \left(1 + 0.6 \min(0.847, 1.0) \frac{12.5}{0.946 \cdot 2491.0 / 1.0} \right) \right] = 1.005$$

$$k_{yz} = k_{zy} = 1.005$$

$$k_{zy} = 0.8 k_{yy} = 0.8 \cdot 0.461 = 0.369$$

Warunki nośności dla elementu zginanego i ściskanego:

$$\frac{N_{Ed}}{x_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{x_{Iy} N_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.11 < 1.0$$

$$\frac{12.5}{0.946 \cdot 2491.0} + 0.461 \frac{46.7 + 0.0}{0.922 \cdot 217.1} + 1.005 \frac{0.000 + 0.000}{76.7} = 0.11 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{x_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{x_{Iz} N_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.09 < 1.0$$

$$\frac{12.5}{0.939 \cdot 2491.0} + 0.369 \frac{46.7 + 0.0}{0.922 \cdot 217.1} + 1.005 \frac{0.000 + 0.000}{76.7} = 0.09 < 1.0$$

Środek pod obciążeniem skupionym (3.2 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: max Ty (2,+K3,+4,)

Dane dla najbardziej wyężonego środka [mm]: $t_w = 10.0$, $h_w = 206.0$, $t_f = 17.0$, $b_f = 240.0$

Parametr niestateczności:

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \left(\frac{206,0}{500,0} \right)^2 = 6,339$$

Efektywna szerokość strefy obciążenia:

$$l_y = \min \left[S_3 + 2t_f (1 + \sqrt{m_1 + m_2}), a \right] = \min \left[20,0 + 2 \cdot 17,0 (1 + \sqrt{24,0 + 0,0}), 500,0 \right] = 220,6 \text{ mm}$$

gdzie:

$$- m_1 = 24,0, m_2 = 0,0$$

Efektywny wymiar średnika przy obciążeniu skupionym:

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{0,9 k_F E_s^3 / h_w}} = \sqrt{\frac{220,6 \cdot 10,0 \cdot 235,0}{0,9 \cdot 6,339 \cdot 210000,0 \cdot 10,0^3 / 206,0}} = 0,299$$

$$\chi_F = \min \left[\frac{0,5}{\bar{\lambda}_F}, 1,0 \right] = \min \left[\frac{0,5}{0,299}, 1,0 \right] = 1,000$$

$$L_{\text{eff}} = \chi_F l_y = 1,000 \cdot 220,6 = 220,6 \text{ mm}$$

Nośność obliczeniowa średnika:

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{\text{eff}} t_w}{\gamma_{s11}} = \frac{235,0 \cdot 220,6 \cdot 10,0}{1,0} \cdot 10^{-3} = 518,3 \text{ kN} > 16,4 \text{ kN} = F_{Ed}$$

Ugięcia (63.7 %)

Przekrój: $x/L=1,000$, $L=4,85\text{m}$; Kombinacja: ext U (2,K3,4,)

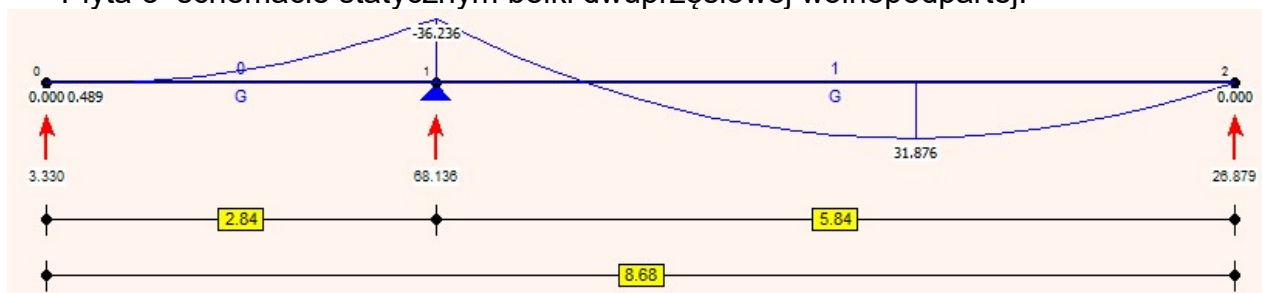
Przemieszczenie w płaszczyźnie układu: $u_z = 8,8 \text{ mm} < 13,9 \text{ mm} = u_{z,\text{lim}}$.

Przemieszczenie prostopadłe do pł. układu: $u_y = 0,0 \text{ mm} < 13,9 \text{ mm} = u_{y,\text{lim}}$.

4.0 Strop nad parterem w części socjalnej.

Strop zaprojektowano w postaci płyty żelbetowej grubości 21cm.

Płyta o schemacie statycznym belki dwuprzęsłowej wolnopodpartej.



Dane: $M_{Sd} = 36,24 \text{ kNm}$;

Beton B25: $f_{cd} = 13,3 \text{ MPa}$, $f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$;

Stal A-IIIIN (BSt 500): $f_{yd} = 350 \text{ MPa}$, $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$, $\xi_{\text{lim}} = 0,53$;

$h = 21 \text{ cm}$, $b = 100 \text{ cm}$, $a_1 = 4,0 \text{ cm}$, $a_2 = 4,0 \text{ cm}$;

Wysokość użyteczna przekroju: $d = h - a_1 = 18 \text{ cm}$;

Moment sprowadzony:

$$\mu = M_{Sd} / (\alpha_{cc} \cdot b_{\text{eff}} \cdot f_{cd} \cdot d^2) = 0,0841$$

Sprowadzona wysokość strefy ściskanej:

$$\xi_{\text{eff}} = 1 - \sqrt{1 - 0,5 \cdot \mu} = 0,088 < \xi_{\text{lim}} = 0,5 - \text{przekrój pojedynczo zbrojony}$$

Zbrojenie rozciągane:

$$A_{s1} = \xi_{\text{eff}} \cdot d \cdot b_{\text{eff}} \cdot \alpha_{\text{cc}} \cdot f_{\text{cd}}/f_{\text{yd}} = 5,02 \text{ cm}^2;$$

Zbrojenie minimalne:

$$A_{\text{min}1} = 0,0013 \cdot b_{\text{eff}} \cdot d = 2,34 \text{ cm}^2;$$

$$A_{\text{min}2} = 0,26 \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \cdot f_{\text{ctm}}/f_{\text{yk}} = 2,06 \text{ cm}^2;$$

$$A_{\text{min}} = 2,34 \text{ cm}^2;$$

Stopień zbrojenia:

$$A_c = b \cdot h = 2100 \text{ cm}^2;$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 5,02 \text{ cm}^2;$$

$$\rho = A_s/A_c = 0,27 \text{ %};$$

Przyjęto zbrojenie:

**pręty \varnothing 12 mm w rozstawie co 15cm w obu kierunkach,
układane górną i dołem.**

$$\text{Ugięcie:} \quad a = 26,9 \text{ (mm)} < a_{\text{lim}} = l_o / 200 = 29,0 \text{ (mm)}$$

Faza pracy przekroju: II

$$\text{Moment rysujący:} \quad M_{\text{Cr}} = 16,25 \text{ (kN*m)}$$

Ugięcia składowe i sztywności:

$$a_{o,k+d} = 14,3 \text{ (mm)} \quad B_{o,k+d} = 6 \text{ (MN*m}^2\text{)}$$

$$a_{o,d} = 14,3 \text{ (mm)} \quad B_{o,d} = 6 \text{ (MN*m}^2\text{)}$$

$$a_{\infty,d} = 26,9 \text{ (mm)} \quad B_{\infty,d} = 3 \text{ (MN*m}^2\text{)}$$

5.0 Belki żelbetowe. Według normy PN-EN 1992-1:2008

5.1 Podciąg P1 24x38cm

Dane: $M_{\text{Sd}} = 77,89 \text{ kNm}$;

Beton B25: $f_{\text{cd}} = 13,3 \text{ MPa}$, $f_{\text{ctm}} = 2,2 \text{ MPa}$;

Stal A-IIIIN (BSt 500): $f_{\text{yd}} = 350 \text{ MPa}$, $f_{\text{yk}} = 400 \text{ MPa}$, $\xi_{\text{lim}} = 0,53$;

$h = 38 \text{ cm}$, $b = 24 \text{ cm}$, $a_1 = 4,0 \text{ cm}$, $a_2 = 4,0 \text{ cm}$;

Wysokość użyteczna przekroju: $d = h - a_1 = 34 \text{ cm}$;

Moment sprowadzony:

$$\mu = M_{\text{Sd}}/(\alpha_{\text{cc}} \cdot b_{\text{eff}} \cdot f_{\text{cd}} \cdot d^2) = 0,2111;$$

Sprowadzona wysokość strefy ściskanej:

$$\xi_{\text{eff}} = 1 - \sqrt{(1 - 0,5 \cdot \mu)} = 0,2399 < \xi_{\text{lim}} = 0,5 - \text{przekrój pojedynczo zbrojony};$$

Zbrojenie rozciągane:

$$A_{s1} = \xi_{\text{eff}} \cdot d \cdot b_{\text{eff}} \cdot \alpha_{\text{cc}} \cdot f_{\text{cd}}/f_{\text{yd}} = 6,2 \text{ cm}^2;$$

Zbrojenie minimalne:

$$A_{\text{min}1} = 0,0013 \cdot b_{\text{eff}} \cdot d = 1,07 \text{ cm}^2;$$

$$A_{\text{min}2} = 0,26 \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \cdot f_{\text{ctm}}/f_{\text{yk}} = 0,94 \text{ cm}^2;$$

$$A_{\text{min}} = 1,07 \text{ cm}^2;$$

Stopień zbrojenia:

$$A_c = b \cdot h = 912 \text{ cm}^2;$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 6,2 \text{ cm}^2;$$

$$\rho = A_s/A_c = 0,69 \text{ \%};$$

Przyjęto zbrojenie:

3 pręty Ø 20 mm dołem

2 pręty Ø 20 mm górą

5.2 Podciąg P2 24x40cm

Dane: $M_{Sd} = 70,26 \text{ kNm}$;

Beton B25: $f_{cd} = 13,3 \text{ MPa}$, $f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$;

Stal A-IIIN (BSt 500): $f_{yd} = 350 \text{ MPa}$, $f_{yk} = 400 \text{ MPa}$, $\xi_{lim} = 0,53$;

$h = 40 \text{ cm}$, $b = 24 \text{ cm}$, $a_1 = 4,0 \text{ cm}$, $a_2 = 4,0 \text{ cm}$;

Wysokość użyteczna przekroju: $d = h - a_1 = 36 \text{ cm}$;

Moment sprowadzony:

$$\mu = M_{Sd}/(\alpha_{cc} \cdot b_{eff} \cdot f_{cd} \cdot d^2) = 0,1699;$$

Sprowadzona wysokość strefy ściskanej:

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 0,5 \cdot \mu} = 0,1874 < \xi_{lim} = 0,5 - \text{przekrój pojedynczo zbrojony};$$

Zbrojenie rozciągane:

$$A_{s1} = \xi_{eff} \cdot d \cdot b_{eff} \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{cd}/f_{yd} = 5,13 \text{ cm}^2;$$

Zbrojenie minimalne:

$$A_{min1} = 0,0013 \cdot b_{eff} \cdot d = 1,13 \text{ cm}^2;$$

$$A_{min2} = 0,26 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot f_{ctm}/f_{yk} = 0,99 \text{ cm}^2;$$

$$A_{min} = 1,13 \text{ cm}^2;$$

Stopień zbrojenia:

$$A_c = b \cdot h = 960 \text{ cm}^2;$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 5,13 \text{ cm}^2;$$

$$\rho = A_s/A_c = 0,63 \text{ \%};$$

Przyjęto zbrojenie:

4 pręty Ø 16 mm dołem

2 pręty Ø 16 mm górą

5.3 Nadproże N1 24x30cm

Dane: $M_{Sd} = 19,98$ kNm;

Beton B25: $f_{cd} = 13,3$ MPa, $f_{ctm} = 2,2$ MPa;

Stal A-IIIN (BSt 500): $f_{yd} = 350$ MPa, $f_{yk} = 400$ MPa, $\xi_{lim} = 0,53$;

$h = 30$ cm, $b = 24$ cm, $a_1 = 4,0$ cm, $a_2 = 4,0$ cm;

Wysokość użyteczna przekroju: $d = h - a_1 = 26$ cm;

Moment sprowadzony:

$$\mu = M_{Sd} / (\alpha_{cc} \cdot b_{eff} \cdot f_{cd} \cdot d^2) = 0,0926;$$

Sprowadzona wysokość strefy ściskanej:

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 0,5 \cdot \mu} = 0,0974 < \xi_{lim} = 0,5 - \text{przekrój pojedynczo zbrojony};$$

Zbrojenie rozciągane:

$$A_{s1} = \xi_{eff} \cdot d \cdot b_{eff} \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{cd} / f_{yd} = 1,93 \text{ cm}^2;$$

Zbrojenie minimalne:

$$A_{min1} = 0,0013 \cdot b_{eff} \cdot d = 0,82 \text{ cm}^2;$$

$$A_{min2} = 0,26 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot f_{ctm} / f_{yk} = 0,72 \text{ cm}^2;$$

$$A_{min} = 0,82 \text{ cm}^2;$$

Stopień zbrojenia:

$$A_c = b \cdot h = 720 \text{ cm}^2;$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1,93 \text{ cm}^2;$$

$$\rho = A_s / A_c = 0,32 \text{ \%};$$

Przyjęto zbrojenie:

3 pręty Ø 16 mm dołem

2 pręty Ø 16 mm górą

5.4 Nadproże N2 24x30cm

Przekrój i zbrojenie przyjęto konstrukcyjnie:

3 pręty Ø 16 mm dołem

2 pręty Ø 16 mm górą

5.5 Nadproże N3 24x24cm

Wysokość użyteczna przekroju: $d = h - a_1 = 20$ cm;

Moment sprowadzony:

$$\mu = M_{Sd} / (\alpha_{cc} \cdot b_{eff} \cdot f_{cd} \cdot d^2) = 0,0666;$$

Sprowadzona wysokość strefy ściskanej:

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 0,5 \cdot \mu} = 0,069 < \xi_{lim} = 0,5 - \text{przekrój pojedynczo zbrojony};$$

Zbrojenie rozciągane:

$$A_{s1} = \xi_{\text{eff}} \cdot d \cdot b_{\text{eff}} \cdot \alpha_{\text{cc}} \cdot f_{\text{cd}}/f_{\text{yd}} = 1,05 \text{ cm}^2;$$

Zbrojenie minimalne:

$$A_{\text{min1}} = 0,0013 \cdot b_{\text{eff}} \cdot d = 0,63 \text{ cm}^2;$$

$$A_{\text{min2}} = 0,26 \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \cdot f_{\text{ctm}}/f_{\text{yk}} = 0,55 \text{ cm}^2;$$

$$A_{\text{min}} = 0,63 \text{ cm}^2;$$

Stopień zbrojenia:

$$A_c = b \cdot h = 576 \text{ cm}^2;$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 1,05 \text{ cm}^2;$$

$$\rho = A_s/A_c = 0,2 \text{ \%};$$

Przyjęto zbrojenie:

3 pręty \varnothing 12 mm dołem

2 pręty \varnothing 12 mm górą

5.3 Nadproże N4 24x24cm

Przekrój i zbrojenie przyjęto konstrukcyjnie:

2 pręty \varnothing 12 mm dołem

2 pręty \varnothing 12 mm górą

6.0. Fundamenty

Do obliczeń przyjęto I kategorię gruntową . Grunt o maksymalnym odporze na podstawie badań geotechnicznych przyjęto 150kPa.

6.1. Stopa fundamentowa

WARUNEK NOŚNOŚCI

- Rodzaj podłoża pod fundamentem: jednorodne
- Kombinacja wymiarująca: P (długotrwała)
 $N=48,80\text{kN}$ $M_y=-32,08\text{kN}\cdot\text{m}$ $F_x=11,24\text{kN}$
- Wyniki obliczeń na poziomie: posadowienia fundamentu
- Obliczeniowy ciężar fundamentu i nadległego gruntu: $G_r = 44,72$ (kN)
- Obciążenie wymiarujące: $N_r = 93,52\text{kN}$ $M_x = -0,00\text{kN}\cdot\text{m}$ $M_y = -8,48\text{kN}\cdot\text{m}$
- Obliczeniowy opór podłoża: $q_f = 146$ (kPa)
- Maksymalne naprężenie pod stopą: $q_0 = 78$ (kPa)
- Współczynnik bezpieczeństwa: $1,2 \cdot q_f \cdot m / q_0 = 1,86$

OSIADANIE

- Rodzaj podłoża pod fundamentem: jednorodne
- Kombinacja wymiarująca: P
 $N=40,67\text{kN}$ $M_y=-26,73\text{kN}\cdot\text{m}$ $F_x=9,37\text{kN}$
- Charakterystyczna wartość ciężaru fundamentu i nadległego gruntu: 40,66 (kN)
- Obciążenie charakterystyczne, jednostkowe od obciążeń całkowitych: $q = 51$ (kPa)
- Miąższość podłoża gruntowego aktywnie osiadającego: $z = 1,2$ (m)
- Naprężenie na poziomie z:
 - dodatkowe: $\sigma_{zd} = 8$ (kPa)
 - wywołane ciężarem gruntu: $\sigma_{z\gamma} = 49$ (kPa)

- Osiadanie:
 - pierwotne: $s' = 0,07$ (cm)
 - wtórne: $s'' = 0,04$ (cm)
 - CAŁKOWITE: $S = 0,10$ (cm) < $S_{dop} = 7,00$ (cm)

OBRÓT

- Kombinacja wymiarująca: P (długotrwała)
 $N=48,80\text{kN}$ $M_y=-32,08\text{kN}\cdot\text{m}$ $F_x=11,24\text{kN}$
- Obliczeniowy ciężar fundamentu i nadległego gruntu: $G_r = 36,59$ (kN)
- Obciążenie wymiarujące: $N_r = 85,39\text{kN}$ $M_x = -0,00\text{kN}\cdot\text{m}$ $M_y = -8,40\text{kN}\cdot\text{m}$
- Moment zapobiegający obrotowi fundamentu:
 - $M_x(\text{stab}) = 42,69$ (kN*m)
 - $M_y(\text{stab}) = 91,99$ (kN*m)
- Współczynnik bezpieczeństwa: $M(\text{stab}) \cdot m / M = 2,06$

POŚLIZG

- Kombinacja wymiarująca: P (długotrwała)
 $N=48,80\text{kN}$ $M_y=-32,08\text{kN}\cdot\text{m}$ $F_x=11,24\text{kN}$
- Obliczeniowy ciężar fundamentu i nadległego gruntu: $G_r = 36,59$ (kN)
- Obciążenie wymiarujące: $N_r = 85,39\text{kN}$ $M_x = -0,00\text{kN}\cdot\text{m}$ $M_y = -8,40\text{kN}\cdot\text{m}$
- Zastępcze wymiary fundamentu: $A_ = 1,60$ (m) $B_ = 1,00$ (m)
- Współczynnik tarcia:
 - fundament gruntu: $\mu = 0,19$
 - Współczynnik redukcji spójności gruntu = 0,20
- Wartość siły poślizgu: $F = 11,24$ (kN)
- Wartość siły zapobiegającej poślizgowi fundamentu:
 - w poziomie posadowienia: $F(\text{stab}) = 20,38$ (kN)
- Współczynnik bezpieczeństwa: $F(\text{stab}) \cdot m / F = 1,31$

ŚCINANIE

- Kombinacja wymiarująca: P (długotrwała)
 $N=48,80\text{kN}$ $M_y=-32,08\text{kN}\cdot\text{m}$ $F_x=11,24\text{kN}$
- Obciążenie wymiarujące: $N_r = 85,39\text{kN}$ $M_x = -0,00\text{kN}\cdot\text{m}$ $M_y = -8,40\text{kN}\cdot\text{m}$
- Współczynnik bezpieczeństwa: $Q / Q_r = 7,56$

WYMIAROWANIE ZBROJENIA

Wzdłuż boku A:

- Kombinacja wymiarująca: P (długotrwała)
 $N=48,80\text{kN}$ $M_y=-32,08\text{kN}\cdot\text{m}$ $F_x=11,24\text{kN}$
- Obciążenie wymiarujące: $N_r = 93,52\text{kN}$ $M_x = -0,00\text{kN}\cdot\text{m}$ $M_y = -8,48\text{kN}\cdot\text{m}$

Wzdłuż boku B:

- Kombinacja wymiarująca: P (długotrwała)
 $N=48,80\text{kN}$ $M_y=-32,08\text{kN}\cdot\text{m}$ $F_x=11,24\text{kN}$
- Obciążenie wymiarujące: $N_r = 93,52\text{kN}$ $M_x = -0,00\text{kN}\cdot\text{m}$ $M_y = -8,48\text{kN}\cdot\text{m}$

Przyjęto stopę o wymiarach 100x160cm zbrojoną siatkami z pręta #12 co 25cm.

6.2. Ława fundamentowa

Obciążenie na ławę fundamentową

Obciążenie konstrukcji + ciężar ławy

$$N_{str} = 16,09 \text{ kN}$$

$$N_{sz} = 12,72 \text{ kN}$$

$$N_{sw} = 9,98 \text{ kN}$$

$$N_{sf} = 5,14 \text{ kN}$$

$$N_f = 7,20 \text{ kN}$$

$P_1 = 41,15 \text{ kN/m}^2$ – pod ścianą zewnętrzną obciążoną stropem

Przyjęto ławę o szerokości 60cm.

$$q_{rs} \frac{P_1 + G_r}{1,00B} = \frac{41,15 + (0,18 * 0,80 + 0,08 * 0,80) * 20 * 1,3 + 2,0 * 0,18}{1,00B} = \frac{46,92}{1,00 * 0,60} = 78,20 \text{ kPa}$$

$$q_f = 78,20 < m * q_f = 0,81 * 150 = 121 \text{ kPa}$$

Przyjęto: ławę 40 x 60 cm

zbrojenie 6 # 12 strzemiona #8 co 30 cm

stal BSt500 – pręty główne

stal BSt500 – strzemię

$P_2 = 73,83 \text{ kN/m}^2$ – pod ścianą wewnętrzną obciążoną obustronnie stropem

Przyjęto ławę o szerokości 80cm.

$$q_{rs} \frac{P_2 + G_r}{1,00B} = \frac{73,83 + (0,18 * 0,80 + 0,18 * 0,80) * 20 * 1,3 + 2,0 * 0,18 * 2}{1,00B} = \frac{82,04}{1,00 * 0,80} = 103 \text{ kPa}$$

$$q_f = 103 < m * q_f = 0,81 * 150 = 121 \text{ kPa}$$

Przyjęto: ławę 40 x 80 cm

zbrojenie 6 # 12 strzemiona #8 co 30 cm

stal BSt500 – pręty główne

stal BSt500 – strzemię

Projektował: mgr inż. Henryk Barcewicz

Opracował: mgr inż. Paweł Chiliński