

WYCIĄG Z OBLICZEŃ STATYCZNO - WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH

NORMY ZASTOSOWANE W OBLICZENIACH STATYCZNYCH I WYMIAROWANIU:

- PN – 82/B - 02000 Obciążenia budowli- Zasady ustalania wartości
- PN – 82/B – 02001 Obciążenia stałe
- PN – 82/B - 02003 Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe
- PN – 80/B - 02010/Az 2006 – Obciążenia śniegiem
- PN77/B-02011 (1977/Az1) Obciążenia wiatrem
- PN – 81/B - 03020 Posadowienie bezpośrednie budowli
- PN-83/B-02482: Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych
- PN-90/B-03200 Konstrukcje stalowe. Obliczenia statyczne i projektowanie
- PN/B- 03264;2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczanie statyczne i projektowanie.

WARUNKI LOKALIZACYJNE

Łagów – woj. świętokrzyskie

- I strefy wiatrowej wg PN77/B-02011 (1977/Az1)
- III strefy śniegowej wg PN-80/B-02010 (Az1:2006)
- II kategoria geotechniczna, warunki gruntowe proste
- poziom wód gruntowych znajduje się powyżej poziomu posadowienia
- posadowienie obiektu na warstwie glin pylastych twardoplastycznych
- strefa przemarzania gruntu $h_z=1\text{m}$

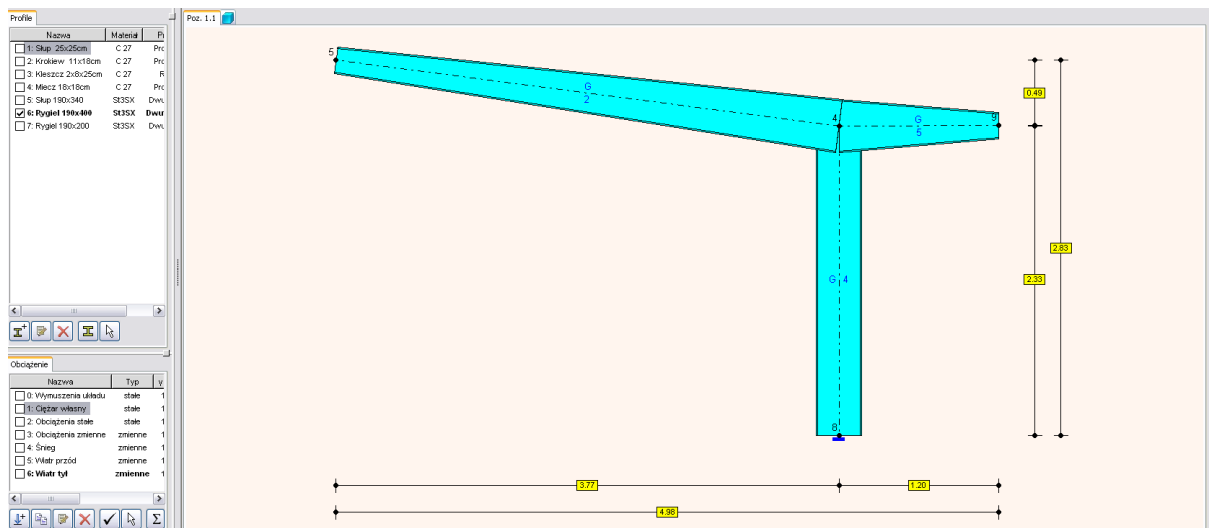
Zebranie obciążeń

Tabela 1: Obciążenie Powierzchniowe [kN/m²] - Obciążenia zadania

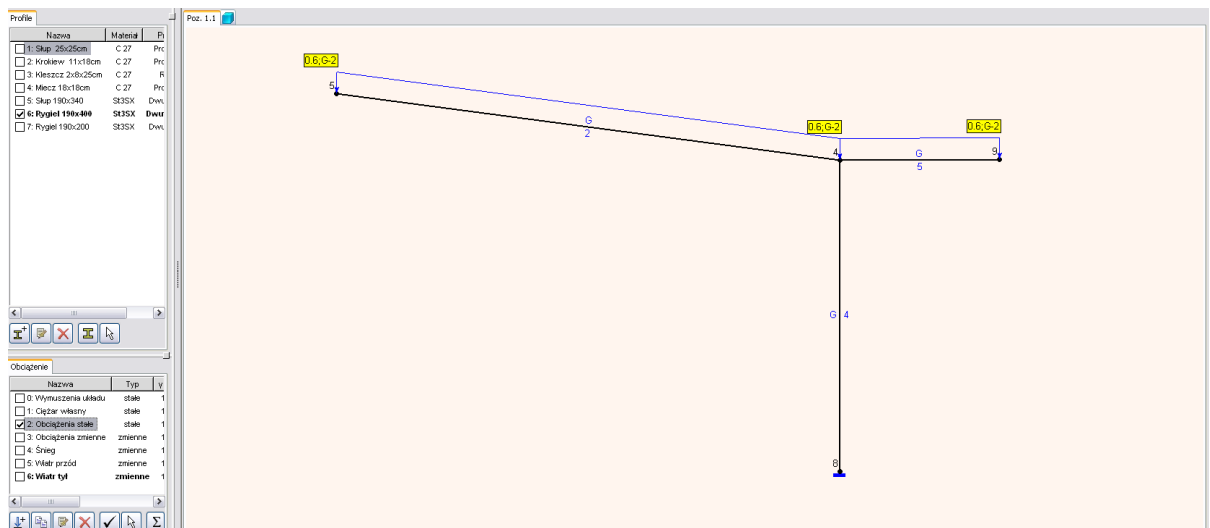
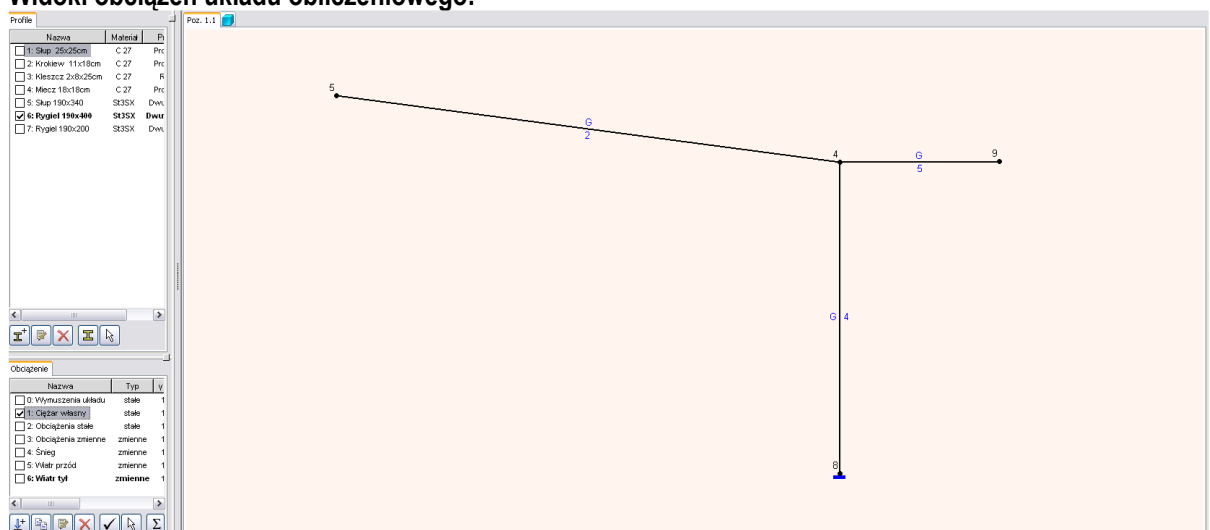
Lp	Rodzaj obciążenia	Obciążenie	Obc.chara k. [kN/m]	γ_f	Obc.oblicz. [kN/m]
1	stałe	blacha stalowa trapezowa o wys. 43,5 mm (T-40) i gr. 1,0 mm	0,10	1,1	0,11
1	stałe	elementy oświetlenia + ewentualny monitoring	0,15	1,3	0,195
2	śnieg	obciążenie śniegiem dach wklęsły, $S_k = Q_k \cdot C = 1.20 \cdot 0.80 = 0.96 \text{ kN/m}^2$ (wsp. $C_1 = 0,8$ krawędź dachu -środek łuku)	0,96	1,5	1,44
2	śnieg	obciążenie śniegiem dach wklęsły, $S_k = Q_k \cdot C = 1.20 \cdot 1.33 = 1.60 \text{ kN/m}^2$ (wsp. $C_1 = 1,33$ zagłębienie dachu -początek łuku)	1,60	1,5	2,40
3	wiatr	Obciążenie wiatrem, Wiaty jednospadowe, $p_k = q_k \cdot C_e \cdot C \cdot \beta = 0,3 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 1,8 = 1,08 \text{ [kN/m}^2]$	1,08	1,5	1,62
3	wiatr	Obciążenie wiatrem, Wiaty jednospadowe, $p_k = q_k \cdot C_e \cdot C \cdot \beta = 0,30 \cdot 1,0 \cdot 0,12 \cdot 1,8 = 0,06 \text{ [kN/m}^2]$	0,06	1,5	0,09
3	wiatr	Obciążenie wiatrem, Kształtowniki i elem., $p_k = q_k \cdot C_e \cdot C_x \cdot \beta \cdot D = 0,30 \cdot 1,0 \cdot 1,31 \cdot 2,2 \cdot 0,1 = 0,08 \text{ [kN/m]}$	0,08	1,5	0,12

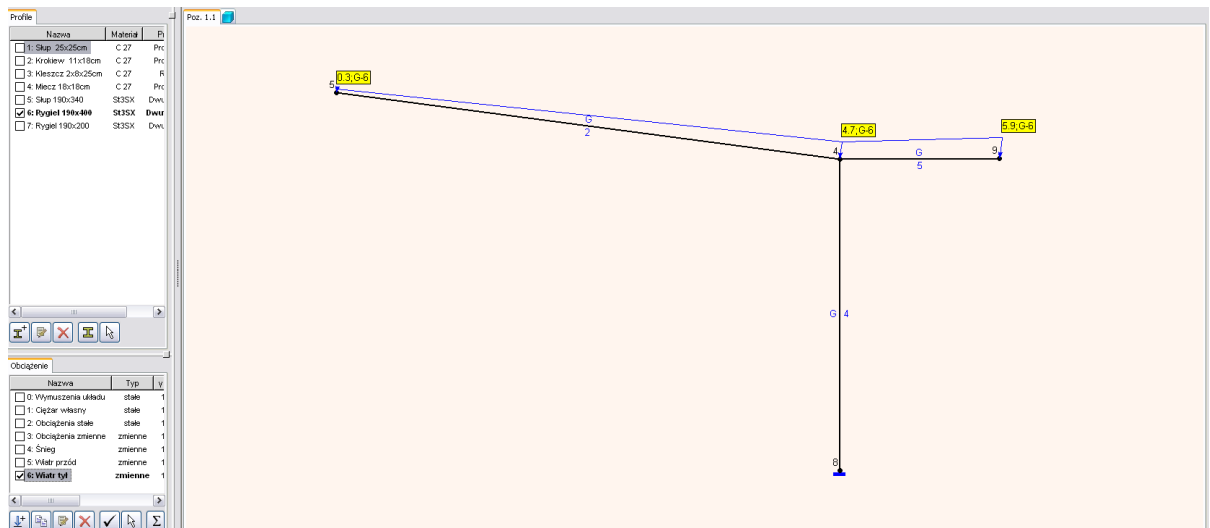
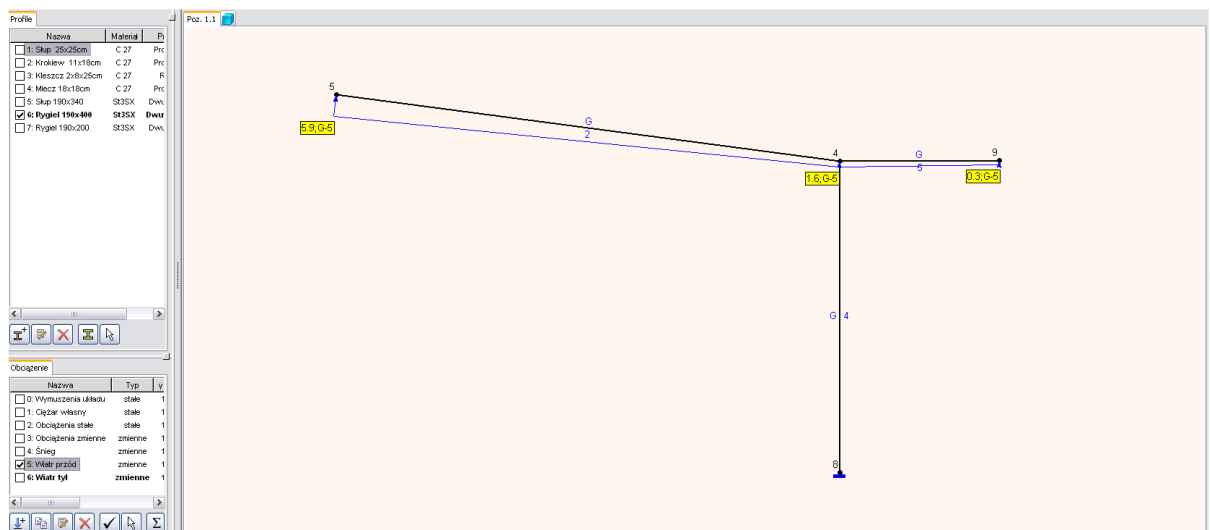
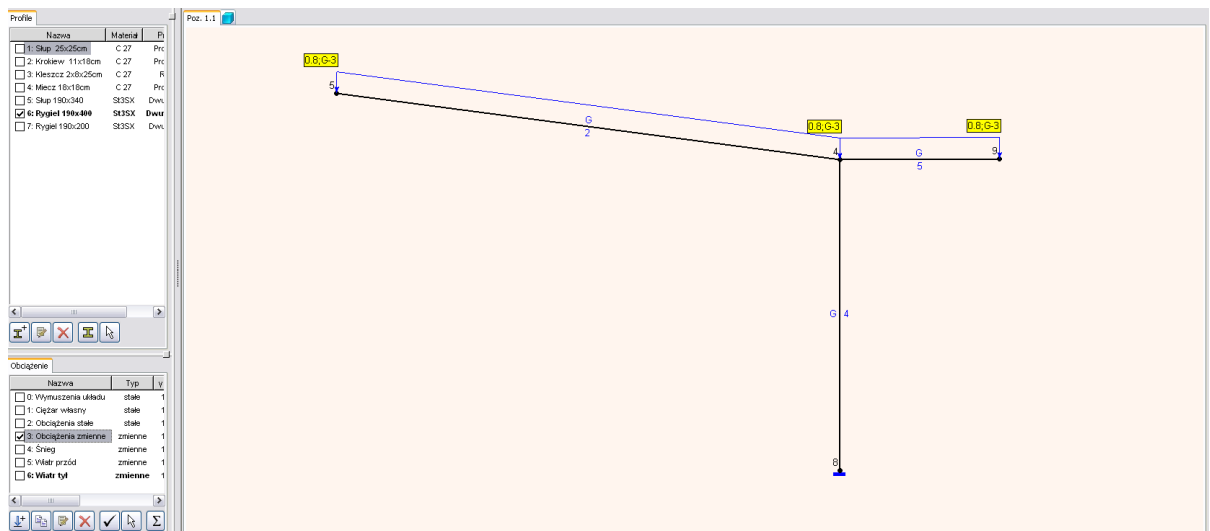
Uwaga!!!

1. Wartości liniowe obciążeń widniejące na elementach układu obliczeniowego są iloczynem obciążenia charakterystycznego z powyższej tabeli i rozstawu dźwigarów nośnych : 5,50m.
2. Dla obciążenia śniegu oszacowano i przyjęto wartość zastępczą która stanowi zwiększenie o 23% wartości obciążenia jednolitego, wyliczonego dla współczynnika $C_1=0,8$ (krawędź dachu, środek łuku) i pomnożonego o rozstaw dźwigarów nośnych. Obliczenie: $0,96 \cdot 1,23 = 1,18 \cdot 5,5 = 6,49 \text{ kN/m}$

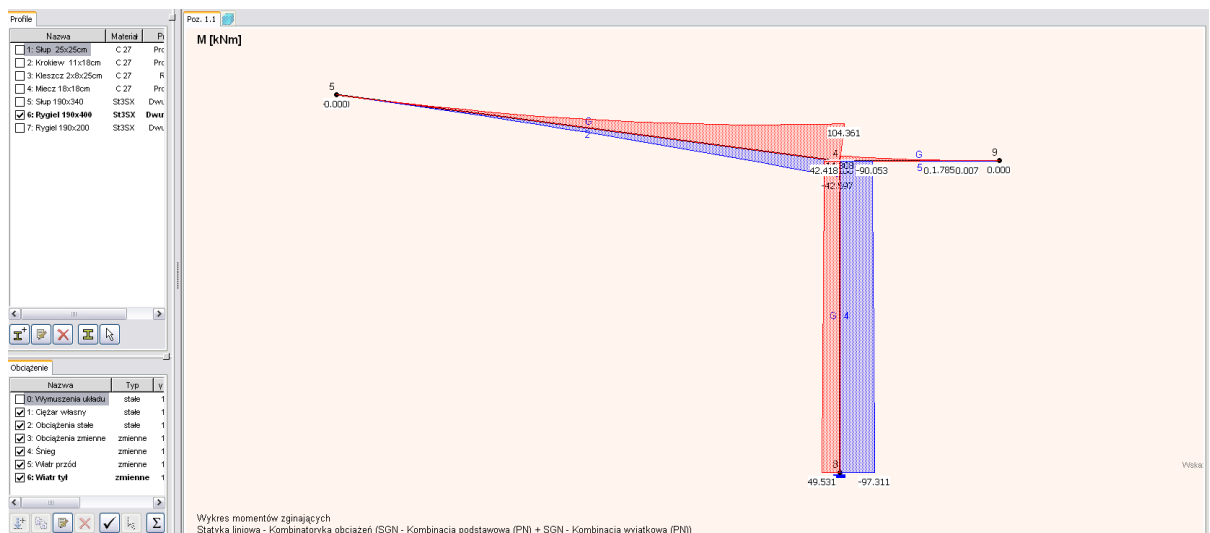
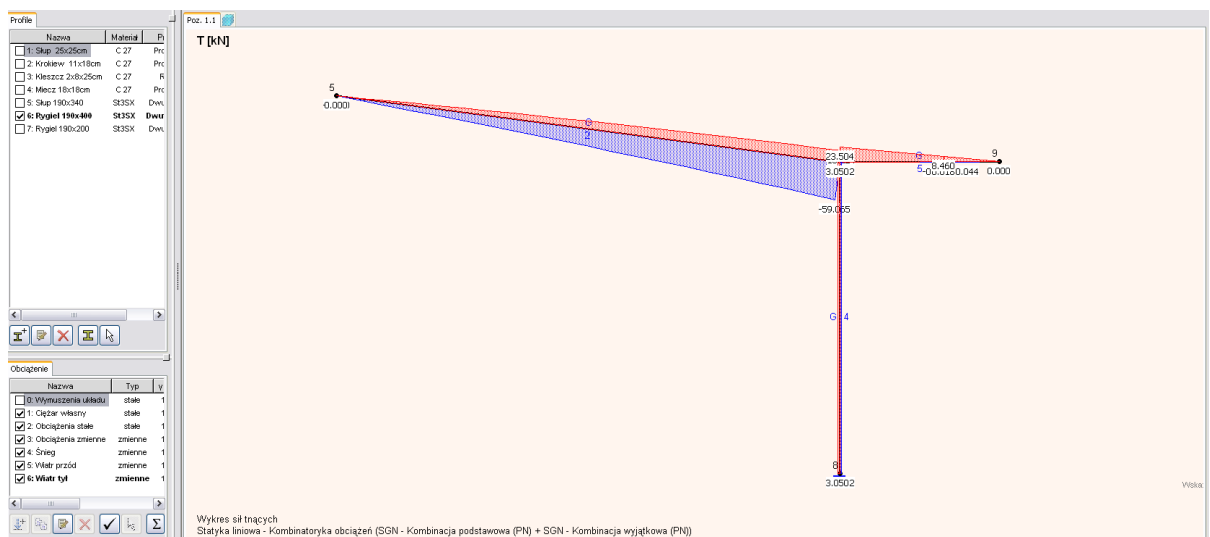
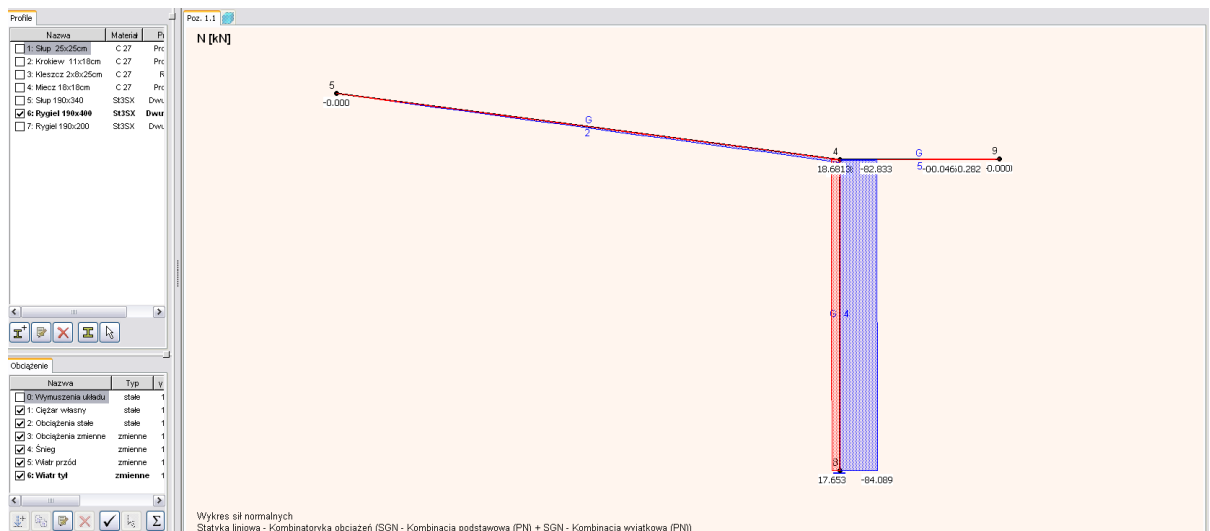


Widoki obciążeń układu obliczeniowego:

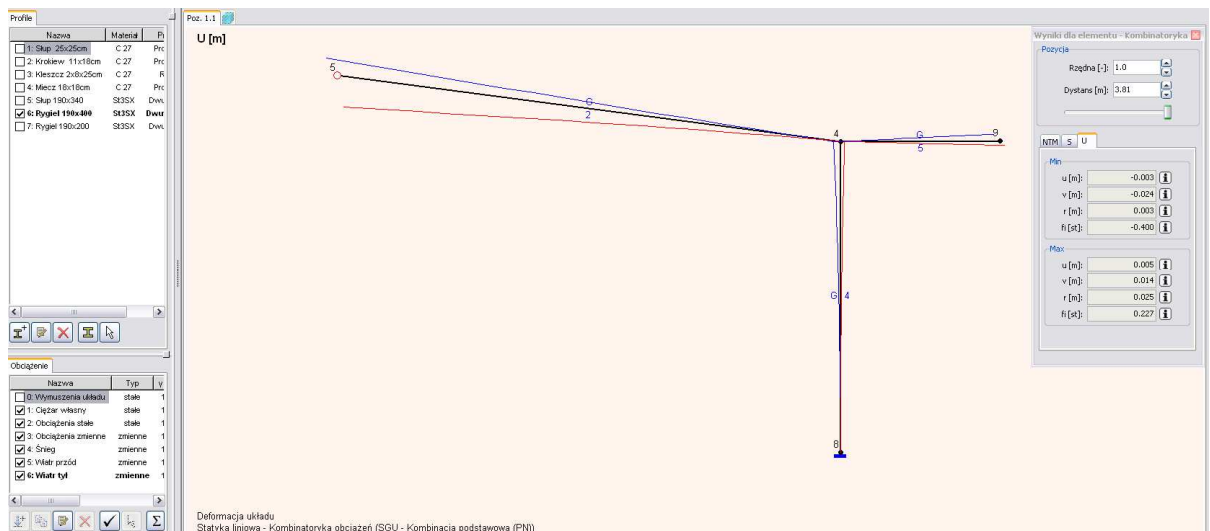




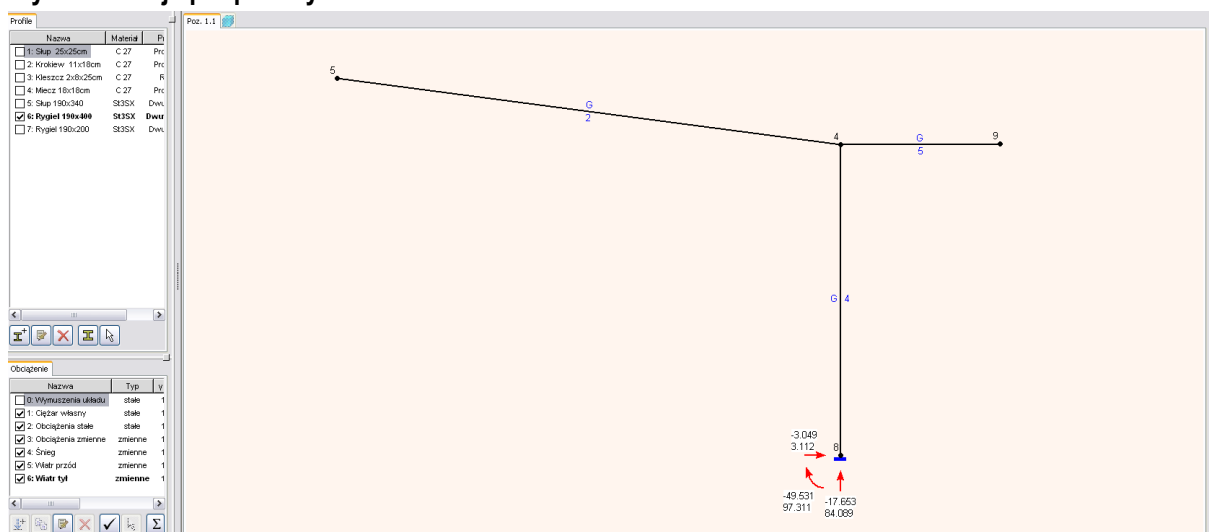
Wyniki sił przekrojowych głównego układu nośnego:



Wyniki przemieszczeń głównego układu nośnego:



Wyniki reakcji podporowych:



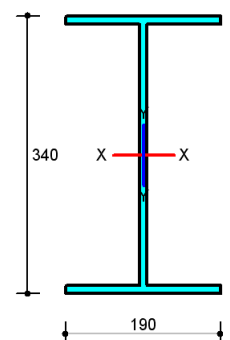
OBLICZENIA SŁUPA NOŚNEGO

Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 4 (belka) - Brak opisu elementu.

Węzły: 4 (x=20.134m, y=14.904m); 8 (x=20.134m, y=12.572m)

Profil: Słup 190x340 (St3SX)



Naprężenia (67.5 %)

Przekrój: x/L=1.000, L=2.33m; Kombinacja: min N (+1,+2,+3,+4,+6,)

Wskaźnik osłabienia (4.1.2, Tablica 5):

$\psi_{oe} = 1$ (otwory nie są powiększone)

$$\psi_{ov,y} = \min \left[1.0, \frac{A_{vn,y}}{A_{v,y}} \cdot \frac{0.8 R_m}{R_s} \right] = \min \left[1.0, \frac{25.60}{25.60} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0} \right] = 1.000$$

$$\psi_{ov,x} = \min \left[1,0, \frac{A_{vn,x}}{A_{v,x}} \cdot \frac{0,8R_m}{R_s} \right] = \min \left[1,0, \frac{76,40}{76,40} \cdot \frac{0,8 \cdot 375,0}{235,0} \right] = 1,000$$

Warunek nośności (4.1.2, Tablica 5):

$$\sigma_{\text{fc}} = \left| \frac{\delta}{\psi_{ov}} + \Delta\sigma \right| = \left| \frac{-132,0}{1,000} - 132,0 \right| = |-145,2 \text{ MPa}| < 215,0 \text{ MPa} = f_d$$

$$\tau_{e,y} = \left| \frac{\tau_y}{\psi_{ov,y}} \right| = \left| \frac{-1,2}{1,000} \right| = |-1,2 \text{ MPa}| < 124,7 \text{ MPa} = 0,58 \cdot f_d$$

$$\tau_{e,x} = \left| \frac{\tau_x}{\psi_{ov,x}} \right| = \left| \frac{-0,0}{1,000} \right| = |-0,0 \text{ MPa}| < 124,7 \text{ MPa} = 0,58 \cdot f_d$$

$$\sqrt{\sigma_{\text{fc}}^2 + 3\tau_{\text{fc}}^2} = \sqrt{145,2^2 + 3 \cdot 0,0^2} = 145,2 \text{ MPa} < 215,0 \text{ MPa} = f_d$$

Rozciąganie (1.4 %)

Przekrój: $x/L=0,000$, $L=0,00\text{m}$; Kombinacja: $\max M_x (-1,-2,+5,)$

Pole przekroju: $A_{\text{brutto}} = 63,60 \text{ cm}^2$

Oslabienie otworami na łączniki - pole sprowadzone (4.1.2d):

$$A_{\psi} = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,\text{brutto}}, A_{i,n} \frac{0,8R_m}{R_s} \right) \right] = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,\text{brutto}}, A_{i,n} \frac{0,8 \cdot 375,0}{235,0} \right) \right] = 63,60 \text{ cm}^2$$

Przyjęto do obliczeń: $A = A_{\psi} = 63,60 \text{ cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (4.3.2):

$$N_{Rt} = A f_d = 63,60 \cdot 21,5 = 1367,4 > 18,68 = N$$

Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto samodzielnie.

W płaszczyźnie układu: $\mu_x = 2,000$ i $l_{0,x} = 2,3\text{m}$

oraz prostopadle do płaszczyzny układu: $\mu_y = 2,000$ i $l_{0,y} = 2,3\text{m}$.

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 2,000$ oraz $l_{0,\omega} = 2,3\text{m}$

Siły krytyczne

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 E I_x}{(\mu_x l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000,0 \text{ MPa} \cdot 12553,2 \text{ cm}^4}{(2,000 \cdot 2,3\text{m})^2} = 11647,6 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000,0 \text{ MPa} \cdot 1144,5 \text{ cm}^4}{(2,000 \cdot 2,3\text{m})^2} = 1063,7 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} = \frac{1}{14,7^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 205000,0 \text{ MPa} \cdot 311227,1 \text{ cm}^6}{(2,000 \cdot 2,3\text{m})^2} + 78846,2 \text{ MPa} \cdot 17,9 \text{ cm}^4 \right] = 2002,7 \text{ kN}$$

$$N_{cr,yz} = \frac{(N_y + N_z) - \sqrt{(N_y + N_z)^2 - 4 N_y N_z (1 - \mu_y^2 / i_z^2)}}{2(1 - \mu_y^2 / i_z^2)} = \frac{(N_y + N_z) - \sqrt{R}}{2(1 - \mu_y^2 / i_z^2)}$$

$$R = (1063,7 + 2002,7)^2 - 4 \cdot 1063,7 \cdot 2002,7 (1 - 1,000 \cdot 0,0^2 / 14,665^2) = 881726,0 \text{ kN}$$

$$N_{cr,yz} = \frac{(1063,7 + 2002,7) - \sqrt{881726,0}}{2(1 - 1,000 \cdot 0,0^2 / 14,665^2)} = 1063,7 \text{ kN}$$

Moment krytyczny

Moment krytyczny został wyliczony zgodnie z zał. 1 do PN-90/B-03200 (Z1-9).

Wsp. długości wyboczeniowej: $\mu_{y, \text{Mcr}} = 2,00$, $\mu_{\omega, \text{Mcr}} = 2,00$ (tylko do obliczeń M_{cr})

Współczynniki ze względu na podparcie i obciążenie: $A_1 = 0,00$, $A_2 = 1,10$, $B = 2,56$

Współrzędna przyłożonego obciążenia względem środka ciężkości: $a_0 = 17,00 \text{ cm}$

Współrzędna środka ścinania: $y_s = 0,00 \text{ cm}$

$$b_y = y_s - 0,5 r_x = 0,00 + 0,5 \cdot 0,00 = 0,00 \text{ cm}$$

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 (y_s - a_0) = 0,00 \cdot 0,00 + 1,10 \cdot (0,00 - 17,00) = -18,700$$

$$N_{cr,y} = \pi^2 E I_y / (\mu_{y, \text{Mcr}} L)^2 = \pi^2 \cdot 205000,0 \cdot 1144,5 / (2,00 \cdot 233,3)^2 = 1063,66 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,x} = \frac{1}{14.66^2} \left[\frac{\pi^2 205000 \cdot 311227.1}{(2.00 \cdot 233.3)^2} + 7884.6 \cdot 17.9 \right] = 2002.66 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = A_0 N_{cr,y} \sqrt{\left((A_0 N_{cr,y})^2 + B^2 I_y^2 N_{cr,y} N_{cr,x} \right)}$$

$$M_{cr} = 1e - 2 \cdot -18.700 \cdot 1063.66 \sqrt{((-18.700 \cdot 1063.66)^2 + 2.56^2 14.66^2 1063.66 \cdot 2002.66)} = 384.01 \text{ kNm}$$

Ściskanie (14.9 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=2.33\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{Rc} = A f_d = 63.6 \cdot 21.5 = 1367.4 \text{ kN}$

Współczynniki wyboczeniowe (Tablica 11):

$$\lambda_x = 1.15 \sqrt{N_{Rc}/N_{cr,x}} = 1367.4/11647.6 = 0.394 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \phi_x(\lambda_x) = 0.970 \text{ (giętnie x-x)}$$

$$\lambda_y = 1.15 \sqrt{N_{Rc}/N_{cr,y}} = 1367.4/1063.7 = 1.304 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_y(\lambda_y) = 0.413 \text{ (giętnie y-y)}$$

$$\lambda_z = 1.15 \sqrt{N_{Rc}/N_{cr,z}} = 1367.4/2002.7 = 0.950 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_z(\lambda_z) = 0.590 \text{ (skrętnie)}$$

$$\lambda_{yz} = 1.15 \sqrt{N_{Rc}/N_{cr,yz}} = 1367.4/1063.7 = 1.304 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_{yz}(\lambda_{yz}) = 0.413$$

Przyjęto do obliczeń: $\phi = \min(\phi_i) = 0.413$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$\phi N_{Rc} = 0.413 \cdot 1367.4 = 564.6 \text{ kN} > 84.1 \text{ kN} = N$$

Ścinanie (1.0 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\min T_y (-1,-2,+6,)$

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,y} = 25.6 \text{ cm}^2$ $A_{v,x} = 36.4 \text{ cm}^2$

Warunek nośności przy ścinaniu:

$$V_{R,y} = 0.58 A_{v,y} f_d = 0.58 \cdot 25.6 \cdot 215.0 = 319.2 \text{ kN} > 3.1 \text{ kN}$$

$$V_{R,x} = 0.58 A_{v,x} f_d = 0.58 \cdot 36.4 \cdot 215.0 = 453.9 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

Warunek nośności przy ścinaniu z uwzględnieniem siły normalnej:

$$V_{R,y,N} = V_{R,y} \sqrt{1 - (N_t/N_{Rt})^2} = 319.2 \sqrt{1 - (28.3/1367.4)^2} = 319.2 \text{ kN} > 3.1 \text{ kN}$$

$$V_{R,x,N} = V_{R,x} \sqrt{1 - (N_t/N_{Rt})^2} = 453.9 \sqrt{1 - (28.3/1367.4)^2} = 453.8 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

Zginanie (76.1 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=2.33\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju:

$$M_{R,x} = \alpha_p W_x f_d = 1.0 \cdot 737.2 \text{ cm}^3 \cdot 215.0 \text{ MPa} = 158.5 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \alpha_p W_y f_d = 1.0 \cdot 120.5 \text{ cm}^3 \cdot 215.0 \text{ MPa} = 25.9 \text{ kNm}$$

Wsp. zwichrzenia:

$$\lambda_L = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{158.5}{384.01}}, 3.0 \right] = 0.739 \rightarrow \text{Tab. 11} \rightarrow \phi_L(\lambda_L) = 0.878$$

Nośność elementu zginanego lub zginanego i rozciąganego (4.5.6):

$$\frac{N_t}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{M_y}{M_{R,y}} = \frac{84.1}{1367.4} + \frac{97.3}{0.878 \cdot 158.5} + \frac{0.0}{25.9} = 0.76 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (84.8 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=2.33\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju z ew. uwzględnieniem wpływu ścinania i drugorzędного skręcania:

$$M_{R,x} = \min(M_{R,x}, M_{R,x,y}, M_{R,x,red}) = 158.5 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \min(M_{R,y}, M_{R,y,x}, M_{R,y,red}) = 25.9 \text{ kNm}$$

Zredukowane momenty zginające:

$$\beta_x M_{x,max} = 1.000 \cdot 97.3 = 97.3 \text{ kNm}$$

$$\beta_y M_{y,max} = 1.000 \cdot 0.0 = 0.0 \text{ kNm}$$

Składnik poprawkowy:

$$\Delta_x = \min \left(0.1, 1.25 \phi_x \lambda_x^2 \frac{\beta_x M_{x,max}}{M_{R,x}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left(0.1, 1.25 \cdot 0.970 \cdot 0.394^2 \frac{97.3}{158.5} \frac{84.1}{1367.4} \right) = 0.007$$

$$\Delta_y = \min \left(0.1, 1.25 \phi_y \lambda_y^2 \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left(0.1, 1.25 \cdot 0.413 \cdot 1.304^2 \frac{0.0}{25.9} \frac{84.1}{1367.4} \right) = 0.000$$

Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych:

$$\frac{N}{\phi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_x M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{84.1}{0.970 \cdot 1367.4} + \frac{97.3}{0.99 \cdot 158.5} + \frac{0.0}{25.9} = 0.763 < 0.993 = 1.0 - \Delta_x$$

$$\frac{N}{\phi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_x M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{84.1}{0.413 \cdot 1367.4} + \frac{0.0}{0.99 \cdot 158.5} + \frac{0.0}{25.9} = 0.848 < 1.000 = 1.0 - \Delta_y$$

Środek pod obciążeniem skupionym (3.9 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=2.33m$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+6,)$

$$k_c = \min \left[\frac{c_d}{t_w}, \left(15 + 25 \frac{c_d}{h_w} \right) \sqrt{\frac{t_f}{t_w} \frac{215}{f_d}} \right] = \min \left[\frac{50.0}{8.0}, \left(15 + 25 \frac{50.0}{320.0} \right) \sqrt{\frac{10.0}{8.0} \frac{215}{215.0}} \right] = 6.250$$

$$k_c \cdot 20 \sqrt{\frac{215}{f_d}} = 20.000 \text{ (siła może zmienić położenie)}$$

Grubość środka: $t_w = 8.0mm$

Wsp. redukcyjne ze względu na naprężenie ściskające:

$$\eta_c = 1.25 - 0.5 \frac{\sigma_c}{f_d} = 1.25 - 0.5 \frac{137.5}{215.0} = 0.9$$

Nośność obliczeniowa środka:

$$R_{Rc} = \eta_c k_c t_w^2 f_d = 0.9 \cdot 6.250 \cdot (8.0mm)^2 \cdot 215.0MPa = 80.0kN > 3.1kN$$

Ugięcia (32.8 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: $\text{ext } U (1,2,4,)$

Przemieszczenie w kierunku Y-Y (płaszczyzna układu): $u_y = 5.1mm < 15.6mm = u_{y,lim}$

Przem. w kierunku X-X (prostopadle do pł. układu): $u_x = 0.0mm < 15.6mm = u_{x,lim}$

OBLICZENIA RYGŁA WSPORNIKA

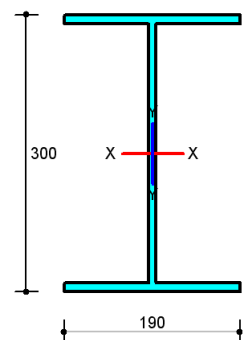
Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 2 (belka) - Brak opisu elementu.

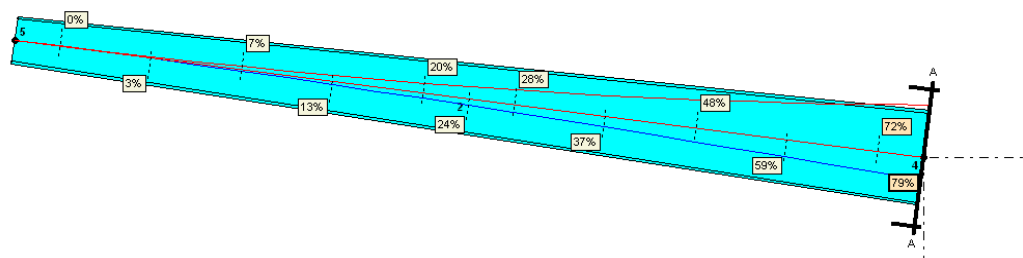
Węzły: 4 ($x=20.134m$, $y=14.904m$); 5 ($x=16.359m$, $y=15.399m$)

Profil: Rygiel 190x400 (St3SX)

Profil dodatkowy: Rygiel 190x200 (St3SX)



Widok wyłączenia przekroju



Wyniki szczegółowe

UWAGA! Przekrój zmienny - wymiarowanie zostało przeprowadzone dla poszczególnych przekrojów niezależnie. Siły i momenty krytyczne oraz wsp. niestateczności wyznaczono dla przekrojów aktualnie wymiarowanych. Należy zweryfikować czy takie podejście może zostać użyte w obliczanym elemencie.

Naprężenia (54.0 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: $\max M_x (+1,+2,+3,+4,+6,)$

Wskaźnik osłabienia (4.1.2, Tablica 5):

$\psi_{oe} = 1$ (otwory nie są powiększone)

$$\psi_{ov,y} = \min \left[1.0, \frac{A_{vn,y}}{A_{v,y}} \cdot \frac{0.8R_m}{R_s} \right] = \min \left[1.0, \frac{30.40}{30.40} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0} \right] = 1.000$$

$$\psi_{ov,x} = \min \left[1.0, \frac{A_{vn,x}}{A_{v,x}} \cdot \frac{0.8R_m}{R_s} \right] = \min \left[1.0, \frac{36.40}{36.40} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0} \right] = 1.000$$

Warunek nośności (4.1.2, Tablica 5):

$$\sigma_{ec} = \left| \frac{\bar{\sigma}}{\psi_{oe}} + \Delta\sigma \right| = \left| \frac{-0.9}{1.000} - 115.2 \right| = |-116.1MPa| < 215.0MPa = f_d$$

$$\tau_{ey} = \left| \frac{\tau_y}{\psi_{ov,y}} \right| = \left| \frac{-19.4}{1.000} \right| = |-19.4MPa| < 124.7MPa = 0.58 \cdot f_d$$

$$\tau_{ex} = \left| \frac{\tau_x}{\psi_{ov,x}} \right| = \left| \frac{-0.0}{1.000} \right| = |-0.0MPa| < 124.7MPa = 0.58 \cdot f_d$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = \sqrt{116.1^2 + 3 \cdot 0.0^2} = 116.1MPa < 215.0MPa = f_d$$

Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto samodzielnie.

W płaszczyźnie układu: $\mu_x = 2.000$ i $l_{0,x} = 3.8m$

oraz prostopadle do płaszczyzny układu: $\mu_y = 2.000$ i $l_{0,y} = 3.8m$.

Wyboczenie skrętne: $\mu_\omega = 2.000$ oraz $l_{0,\omega} = 3.8m$

Siły krytyczne

$$N_{crx} = \frac{\pi^2 EI_x}{(\mu_x l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0MPa \cdot 18110.8cm^4}{(2.000 \cdot 3.8m)^2} = 6319.6kN$$

$$N_{cry} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0MPa \cdot 1144.8cm^4}{(2.000 \cdot 3.8m)^2} = 399.5kN$$

$$N_{crz} = \frac{1}{i_z^2} \left[\frac{\pi^2 EI_\omega}{(\mu_\omega l)^2} + GJ_T \right]$$

$$N_{crz} = \frac{1}{16.8^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 205000.0MPa \cdot 434689.1cm^6}{(2.000 \cdot 3.8m)^2} + 78846.2MPa \cdot 19.0cm^4 \right] = 1070.0kN$$

$$N_{crxz} = \frac{(N_y + N_z) - \sqrt{(N_y + N_z)^2 - 4N_y N_z (1 - \mu_y^2/i_z^2)}}{2(1 - \mu_y^2/i_z^2)} = \frac{(N_y + N_z) - \sqrt{R}}{2(1 - \mu_y^2/i_z^2)}$$

$$R = (399.5 + 1070.0)^2 - 4 \cdot 399.5 \cdot 1070.0(1 - 1.000 \cdot 0.0^2/16.778^2) = 449564.6kN$$

$$N_{crxz} = \frac{(399.5 + 1070.0) - \sqrt{449564.6}}{2(1 - 1.000 \cdot 0.0^2/16.778^2)} = 399.5kN$$

Moment krytyczny

Moment krytyczny został wyliczony zgodnie z zał. 1 do PN-90/B-03200 (Z1-9).

Wsp. długości wyboczeniowej: $\mu_{y,Mer} = 2.00$, $\mu_{\omega,Mer} = 2.00$ (tylko do obliczeń M_{cr})

Współczynniki ze względu na podparcie i obciążenie: $A_1 = 0.00$, $A_2 = 3.40$, $B = 4.10$

Współrzędna przyłożonego obciążenia względem środka ciężkości: $a_0 = 20.00cm$

Współrzędna środka ścinania: $y_s = 0.00cm$

$$b_y = y_s - 0.5r_x = 0.00 + 0.5 \cdot 0.00 = 0.00cm$$

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 (y_s - a_0) = 0.00 \cdot 0.00 + 3.40 \cdot (0.00 - 20.00) = -68.000$$

$$N_{cry} = \pi^2 EI_y / (\mu_{y,Mer} L)^2 = \pi^2 205000.0 \cdot 1144.8 / (2.00 \cdot 380.7)^2 = 399.47kN$$

$$N_{cr,x} = \frac{1}{i_x^2} \left[\frac{\pi^2 E I_{xx}}{(\mu_{x,cr})^2} + G J_T \right]$$

$$N_{cr,x} = \frac{1}{16.78^2} \left[\frac{\pi^2 205000 \cdot 0.434689 \cdot 1}{(2.00 \cdot 399.5)^2} + 7884.6 \cdot 19.0 \right] = 1069.96 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = A_0 N_{cr,y} \sqrt{\left((A_0 N_{cr,y})^2 + B^2 I_y^2 N_{cr,y} N_{cr,x} \right)}$$

$$M_{cr} = 1e - 2 \cdot -68.000 \cdot 399.47 \sqrt{((-68.000 \cdot 399.47)^2 + 4.10^2 16.78^2 399.47 \cdot 1069.96)} = 253.77 \text{ kNm}$$

Ściskanie (2.2 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,)$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{Rt} = A f_d = 68.4 \cdot 21.5 = 1342.1 \text{ kN}$

Współczynniki wyboczeniowe (Tablica 11):

$$\lambda_x = 1.15 \sqrt{N_{Rt}/N_{cr,x}} = 1342.1/6319.6 = 0.530 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \phi_x(\lambda_x) = 0.926 \text{ (giętno x-x)}$$

$$\lambda_y = 1.15 \sqrt{N_{Rt}/N_{cr,y}} = 1342.1/399.5 = 2.108 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_y(\lambda_y) = 0.198 \text{ (giętno y-y)}$$

$$\lambda_z = 1.15 \sqrt{N_{Rt}/N_{cr,z}} = 1342.1/1070.0 = 1.288 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_z(\lambda_z) = 0.420 \text{ (skrętno)}$$

$$\lambda_{yz} = 1.15 \sqrt{N_{Rt}/N_{cr,yz}} = 1342.1/399.5 = 2.108 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_{yz}(\lambda_{yz}) = 0.198$$

Przyjęto do obliczeń: $\phi = \min(\phi_i) = 0.198$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$\phi N_{Rt} = 0.198 \cdot 1342.1 = 265.6 \text{ kN} > 5.9 \text{ kN} = N$$

Ścinanie (15.6 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\max M_x (+1,+2,+3,+4,+6,)$

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{vy} = 30.4 \text{ cm}^2$ $A_{vx} = 36.4 \text{ cm}^2$

Warunek nośności przy ścinaniu:

$$V_{Ry} = 0.58 A_{vy} f_d = 0.58 \cdot 30.4 \cdot 215.0 = 379.1 \text{ kN} > 59.1 \text{ kN}$$

$$V_{Rx} = 0.58 A_{vx} f_d = 0.58 \cdot 36.4 \cdot 215.0 = 453.9 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

Warunek nośności przy ścinaniu z uwzględnieniem siły normalnej:

$$V_{Ry,N} = V_{Ry} \sqrt{1 - (N_t/N_{Rt})^2} = 379.1 \sqrt{1 - (5.9/1470.6)^2} = 379.1 \text{ kN} > 59.1 \text{ kN}$$

$$V_{Rx,N} = V_{Rx} \sqrt{1 - (N_t/N_{Rt})^2} = 453.9 \sqrt{1 - (5.9/1470.6)^2} = 453.9 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

Zginanie (76.8 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\max M_x (+1,+2,+3,+4,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju:

$$M_{R,x} = \alpha_p W_x f_d = 1.0 \cdot 905.5 \text{ cm}^3 \cdot 215.0 \text{ MPa} = 194.7 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \alpha_p W_y f_d = 1.0 \cdot 120.5 \text{ cm}^3 \cdot 215.0 \text{ MPa} = 25.9 \text{ kNm}$$

Wsp. zwichrzenia:

$$\lambda_L = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{194.7}{253.77}}, 3.0 \right] = 1.007 \rightarrow \text{Tab. 11} \rightarrow \phi_L(\lambda_L) = 0.702$$

Nośność elementu zginanego lub zginanego i rozciąganego (4.5.6):

$$\frac{N_t}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{M_y}{M_{R,y}} = \frac{5.9}{1470.6} + \frac{104.4}{0.702 \cdot 194.7} + \frac{0.0}{25.9} = 0.77 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (78.6 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\max M_x (+1,+2,+3,+4,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju z ew. uwzględnieniem wpływu ścinania i drugorzędnego skręcania:

$$M_{R,x} = \min(M_{R,x}, M_{R,x,v}, M_{R,x,red}) = 194.7 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \min(M_{R,y}, M_{R,y,v}, M_{R,y,red}) = 25.9 \text{ kNm}$$

Zredukowane momenty zginające:

$$\beta_x M_{x,max} = 1.000 \cdot 104.4 = 104.4 \text{ kNm}$$

$$\beta_y M_{y,max} = 1.000 \cdot 0.0 = 0.0 \text{ kNm}$$

Składnik poprawkowy:

$$\Delta_x = \min \left(0.1, 1.25 \phi_x \lambda_x^2 \frac{\beta_x M_{x,max}}{M_{R,x}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left(0.1, 1.25 \cdot 0.926 \cdot 0.530^2 \frac{104.4}{194.7} \frac{5.9}{1342.1} \right) = 0.001$$

$$\Delta_y = \min \left(0.1, 1.25 \phi_y \lambda_y^2 \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left(0.1, 1.25 \cdot 0.198 \cdot 2.108^2 \frac{0.0}{23.9} \frac{5.9}{1342.1} \right) = 0.000$$

Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych:

$$\frac{N}{\phi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{5.9}{0.926 \cdot 1342.1} + \frac{104.4}{0.70 \cdot 194.7} + \frac{0.0}{23.9} = 0.768 < 0.999 = 1.0 - \Delta_x$$

$$\frac{N}{\phi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{5.9}{0.198 \cdot 1342.1} + \frac{0.0}{0.70 \cdot 194.7} + \frac{0.0}{23.9} = 0.786 < 1.000 = 1.0 - \Delta_y$$

Ugięcia (95.5 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=3.81\text{m}$; Kombinacja: ext U (1,2,4,)

Przemieszczenie w kierunku Y-Y (płaszczyzna układu): $u_y = 24.2\text{mm} < 25.4\text{mm} = u_{y,lim}$,

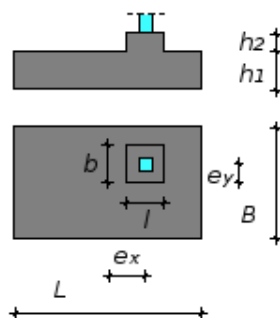
Przem. w kierunku X-X (prostopadle do pł. układu): $u_x = 0.0\text{mm} < 25.4\text{mm} = u_{x,lim}$,

OBLICZENIA STOPY FUNDAMENTOWEJ

Informacje o węźle

Położenie: ($x=20.134\text{m}$, $y=12.572\text{m}$)

Geometria



Wymiary: $L = 3.00\text{m}$, $B = 1.80\text{m}$, $l = 0.70\text{m}$, $b = 0.50\text{m}$, $h_1 = 0.50\text{m}$, $h_2 = 1.80\text{m}$, $e_x = 0.80\text{m}$, $e_y = 0.0$

Warunki gruntowe

.0

N r	Grunt	Grubość ć	Gęstość właściwa [kN/m ³]	Gęstość objętość. [kN/m ³]	IL/ID	Kąt tarcia wewnętrzny [deg]	Spójność gruntu	Pierwotny moduł ściśliwości i [kPa]
1	Gлина пыlasta	0.8	2.68	2.120	0.08	16.6	23.56	38371.2
2	Gлина пыlasta	1.5	2.68	2.150	0.00	18.0	31.00	47000.0

Głębokość posadowienia: 1.95m

Całkowite wyłączenie elementu: 62%

Nośność podłoża: 39 %

Odrywanie: 0 %

Poślizg: 11 %

Obrót: 52 %

Osiadanie: 7 %

Zbrojenie główne: 62 %

Wyniki szczegółowe

Nośność podłoża (39.2 %)

Komb: max My (SGN) (-) (-1,-2,+5,) → N=93.1kN, Tx=3.0kN, My=45.6kNm, Ty=0.0kN, Mx=0.0kNm

Decydująca warstwa gruntu: 1: Głina pylasta na rzędnej D = 1.95m

Obliczeniowa siła normalna: N = 93.12kN

Mimośród statyczny: $e_x = 1.29m$ $e_y = 0.00m$

Wymiary zastępcze fundamentu: $L_r = 1.80m$ $B_r = 0.42m$

Współczynniki nośności: $N_B = 0.58$ $N_c = 10.94$ $N_D = 3.92$

Współczynniki nachylenia obciążenia: $i_B = 0.90$ $i_c = 0.91$ $i_D = 0.95$

Nośność podłoża (decydujący kierunek - X):

$$Q_{RNB} = \bar{B} \cdot \bar{L} \left[\left(1 + 0.3 \frac{\bar{B}}{\bar{L}} \right) \cdot N_c \cdot c_u^{(r)} \cdot i_c + \left(1 + 1.5 \frac{\bar{B}}{\bar{L}} \right) \cdot N_D \cdot \rho_D^{(r)} \cdot g \cdot D_{min} \cdot i_D + \right. \\ \left. + \left(1 - 0.25 \frac{\bar{B}}{\bar{L}} \right) \cdot N_B \cdot \rho_B^{(r)} \cdot g \cdot \bar{B} \cdot i_B \right] = 293.57kN$$

Warunek nośności podłoża

$$N = 93.12 < 237.79 = 0.81 \cdot 293.57kN = m \cdot Q_{RN}kN$$

Warunek ograniczenia naprężeń pod fundamentem:

$$\sigma_{max} = 33.06 < 300.00 = q_{lim}kPa$$

Odrywanie (0.0 %)

Komb: min My (SGN) (+) (+1,+2,+3,+4,+6,) → N=211.7kN, Tx=-3.1kN, My=-33.3kNm, Ty=0.0kN, Mx=0.0kNm

Zasięg szczeliny i pole odrywanej pow.: $c = 0.00m$, $A = 0.00m^2$.

Warunek ograniczenia zasięgu szczeliny:

$$\frac{c}{c_{lim}} = \frac{0.00}{1.49} = 0.00 < 0.50$$

Warunek ograniczenia pola powierzchni odrywanej:

$$\frac{A}{A_{lim}} = \frac{0.00}{5.40} = 0.00 < 0.25$$

Obrót (52.1 %)

Komb: max My (SGN) (-) (-1,-2,+5,) → N=93.1kN, Tx=3.0kN, My=45.6kNm, Ty=0.0kN, Mx=0.0kNm

Obliczeniowe momenty wywracający: $M_x = 0.00kNm$

Obliczeniowy moment utrzymujący: $M_{xu} = 83.81kNm$

Warunek stateczności na obrót względem osi X:

$$M_x = 0.00 < 60.34 = 0.72 \cdot 83.81kNm = m \cdot M_{xu}kNm$$

Obliczeniowe momenty wywracający: $M_y = 56.54kNm$

Obliczeniowy moment utrzymujący: $M_{yu} = 150.62kNm$

Warunek stateczności na obrót względem osi Y:

$$M_y = 56.54 < 108.45 = 0.72 \cdot 150.62kNm = m \cdot M_{yu}kNm$$

Poślizg (10.5 %)

Komb: max My (SGN) (-) (-1,-2,+5,) → N=93.1kN, Tx=3.0kN, My=45.6kNm, Ty=0.0kN, Mx=0.0kNm

Obliczeniowa (wypadkowa) siła przesuwająca: T = 3.05kN

Współczynnik tarcia podstawy fundamentu o grunt:

- wg PN-83/B-03010, zał. A4: $\mu = 0.27$,

- wg PN-81/B-03020: $\tan \phi = 0.27$.

Spójność wraz ze wsp. redukcji: $c_u = 21.20$, $m_c = 0.20$

Wartość siły utrzymującej: $N_r = \min(\mu, \tan \phi) \cdot N + m_c \cdot c_u \cdot (L - 2e_x) \cdot (B - 2e_y) = 40.27kN$

Warunek stateczności na przesunięcie w poziomie posadowienia:

$$T = 3.05 < 28.99 = 0.72 \cdot 40.27kN = m \cdot T_rkN$$

Zbrojenie główne (62.0 %)

Komb: min My (SGN) (+) (+1,+2,+3,+4,+6,) → $N=211.7kN$, $T_x=-3.1kN$, $M_y=-33.3kNm$, $T_y=0.0kN$, $M_x=0.0kNm$

Zbrojenie minimalne w kierunku L:

$$A_{sL,min,1} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct,L} / \sigma_{lim,L} = 6.2 \text{ cm}^2/\text{m}, A_{sL,min,2} = \max(0.26 f_{ct,eff} / f_{yk}; 0.0013) d = 5.5 \text{ cm}^2/\text{m},$$

Zbrojenie minimalne w kierunku B:

$$A_{sB,min,1} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct,B} / \sigma_{lim,B} = 6.2 \text{ cm}^2/\text{m}, A_{sB,min,2} = \max(0.26 f_{ct,eff} / f_{yk}; 0.0013) d = 5.7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Zbrojenie w kierunku L:

Moment zginający obl. z metody wsporników prostokątnych: $M_{Ed} = 191.6kNm$

Wytrzymałość betonu na ściskanie: $f_{cd} = 13.3MPa$

Granica plastyczności stali zbrojeniowej: $f_{yd} = 435.0MPa$

Wysokość użyteczna przekroju: $d = 42.6cm$, względne ramię sił:

$$\zeta_{eff} = 0.5 \cdot (1 + \sqrt{1 - 2 \cdot A_0}) = 0.9586$$

$$A_0 = 0.079, A_{0,lim} = 0.480$$

Zbrojenie potrzebne ze względu na zginanie: $A_{sB,stat} = \frac{M_{Ed}/B}{f_{yd} \cdot \zeta_{eff} \cdot d} = 6.0 \text{ cm}^2/\text{m}$

przyjęto $5\Phi 16/\text{m} \rightarrow A_{sL,prov} = 10.1 \text{ cm}^2/\text{m} > 6.23 \text{ cm}^2/\text{m} = A_{sL,req}$

Zbrojenie w kierunku B:

Moment zginający obl. z metody wsporników prostokątnych: $M_{Ed} = 35.9kNm$

Wytrzymałość betonu na ściskanie: $f_{cd} = 13.3MPa$

Granica plastyczności stali zbrojeniowej: $f_{yd} = 435.0MPa$

Wysokość użyteczna przekroju: $d = 44.2cm$, względne ramię sił:

$$\zeta_{eff} = 0.5 \cdot (1 + \sqrt{1 - 2 \cdot A_0}) = 0.9931$$

$$A_0 = 0.014, A_{0,lim} = 0.480$$

Zbrojenie potrzebne ze względu na zginanie: $A_{sB,stat} = \frac{M_{Ed}/L}{f_{yd} \cdot \zeta_{eff} \cdot d} = 0.6 \text{ cm}^2/\text{m}$

przyjęto $5\Phi 16/\text{m} \rightarrow A_{sB,prov} = 10.1 \text{ cm}^2/\text{m} > 6.23 \text{ cm}^2/\text{m} = A_{sB,req}$

Osiadanie (6.9 %)

Komb: max N (SGU) (+) (1,2,3,K4,K6,) → $N=185.9kN$, $T_x=-2.1kN$, $M_y=-21.6kNm$, $T_y=0.0kN$, $M_x=0.0kNm$

Dopuszczalną wartość osiadania przyjęto dla: **Hale przemysłowe** → $s_{max} = 5.00$

Czas wznoszenia budowli: **Powyżej roku** → $\lambda = 1$

Warunek osiadań fundamentu: $s' + \lambda \cdot s'' = 0.34 < 5.00 = s_{max}$

Sprawdził :
mgr inż. Maciej Glibowski
nr upr SWK/0007/POOK/13

Projektował:
mgr inż. arch. Zbigniew Doktor
nr.upr. 227/KL/72