

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

Celestynów woj. mazowieckie

- I strefa wiatrowa wg PN77/B-02011 (1977/Az1)
- II strefa śniegowa wg PN-80/B-02010 (Az1:2006)
- I kategoria geotechniczna, warunki gruntowe proste
- poziom wód gruntowych w normalnych warunkach atmosferycznych poniżej poziomu posadowienia, możliwy powyżej poziomu posadowienia w okresie po roztopowym lub obfitych opadów atmosferycznych
- posadowienie bezpośrednie na gruntach rodzimych warstwy I – piaski drobne i średnie w stanie średnio-zagęszczonym $ID=0,50$
- strefa przemarzania gruntu $h_z=1,0m$

Zebranie obciążeń

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

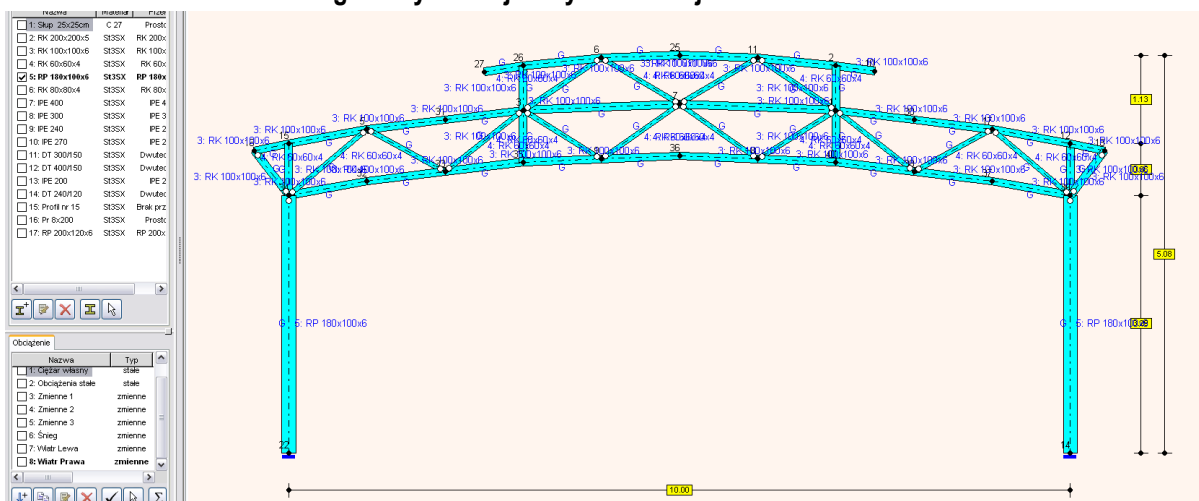
Lp	Rodzaj obciążenia	Obciążenie	Obc.charak. [kN/m²]	γ_f	Obc.oblicz. [kN/m²]
1	stałe	blacha stalowa trapezowa o wys. 50 mm (T50P) i gr. 0,70 mm	0,100	1,1	0,110
1	stałe	poliwęglan komorowy	0,050	1,1	0,055
2	śnieg	obciążenie śniegiem równomiernie rozłożone, wsp. $C=1,01$ $S_k = Q_k \cdot C = 0,90 \cdot 1,01 = 0,91 \text{ kN/m}^2$	0,910	1,5	1,365
2	śnieg	obciążenie śniegiem, worek śnieżny przy świetliku oddziaływanie na długości $l_s=5,00m$ wsp. $C=1,33$ $S_k = Q_k \cdot C = 0,90 \cdot 1,33 = 1,20 \text{ kN/m}^2$	1,200	1,5	1,800
3	wiatr	Obciążenie wiatrem. Dachy łukowe. Wariant I połąć „a” $p_k = q_k \cdot C_e \cdot C_s \cdot \beta = 0,30 \cdot 0,68 \cdot (-0,78) \cdot 1,80 = -0,28 \text{ kN/m}^2$	-0,280	1,5	0,420
3	wiatr	Obciążenie wiatrem. Dachy łukowe. Wariant II połąć „a” $p_k = q_k \cdot C_e \cdot C_s \cdot \beta = 0,30 \cdot 0,68 \cdot 0,00 \cdot 1,80 = 0,00 \text{ kN/m}^2$	0,000	1,5	0,000
3	wiatr	Obciążenie wiatrem. Dachy łukowe. Wariant I i II połąć „b” $p_k = q_k \cdot C_e \cdot C_s \cdot \beta = 0,30 \cdot 0,68 \cdot (-0,65) \cdot 1,80 = -0,24 \text{ kN/m}^2$	-0,240	1,5	-0,360
3	wiatr	Obciążenie wiatrem. Dachy łukowe. Wariant I i II połąć „c” $p_k = q_k \cdot C_e \cdot C_s \cdot \beta = 0,30 \cdot 0,68 \cdot (-0,40) \cdot 1,80 = -0,15 \text{ kN/m}^2$	-0,150	1,5	-0,225
3	wiatr	Obciążenie wiatrem, Kształtowniki i elem., $p_k = q_k \cdot C_e \cdot C_x \cdot \beta \cdot D = 0,30 \cdot 1,0 \cdot 1,31 \cdot 2,2 \cdot 0,1 = 0,07 \text{ [kN/m]}$	0,070	1,5	0,105
4	zmienne	panele fotowoltaiczne	0,250	1,4	0,280
4	zmienne	elementy oświetlenia + ewentualny monitoring	0,050	1,4	0,070

Lp	Rodzaj obciążenia	Obciążenie	Długość element. [cm]	Obc. charak. [kN]	γ_f	Obc. oblicz. [kN]
1	stałe	Ciężar płatwi stalowych BP/Z180x68/60x2,50	640	0,616	1,1	0,677
1	stałe	Ciężar płatwi stalowych BP/Z100x68/60x2,50	640	0,465	1,1	0,511
2	stałe	Ciężar tężnika kratowego	640	3,000	1,1	3,00

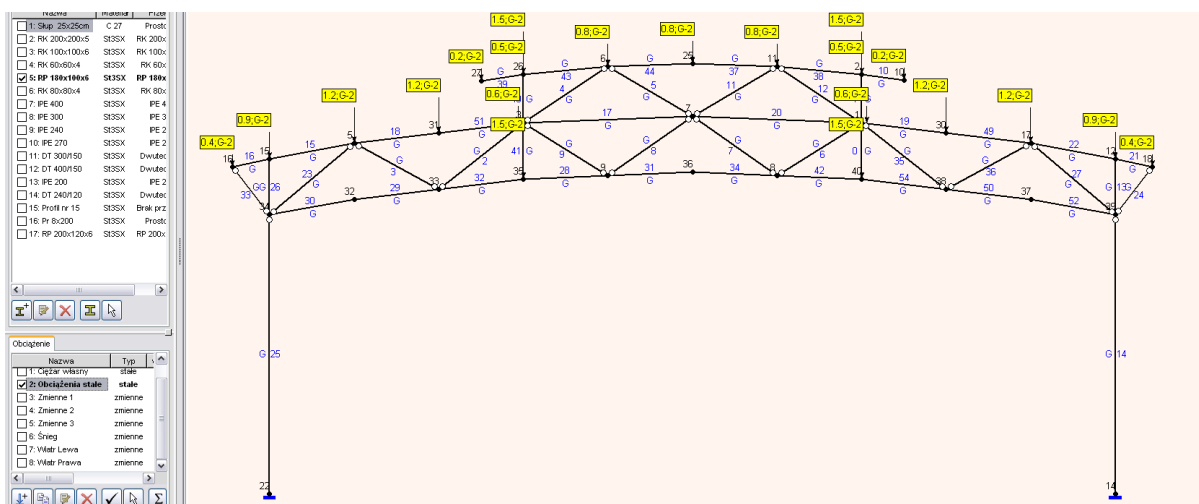
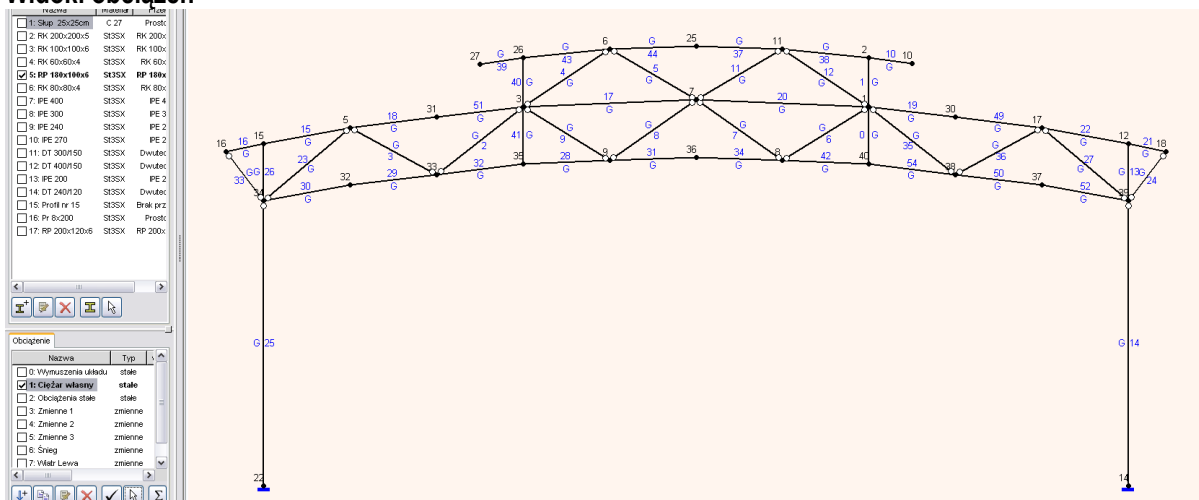
Uwaga!!!

1. Wartości liniowe obciążeń widniejące na elementach układu obliczeniowego są iloczynem obciążenia charakterystycznego z powyższej tabeli i rozstawu elementów (płatwi i układów nośnych): 0,6m: 1,00m.
2. Panele fotowoltaiczne należy montować na własnych stelażach tylko w strefie układów ram nośnych strefy oznaczone na rysunku „SCHEMAT ZŁOŻENIOWY KONSTRUKCJI NOŚNEJ”. Zabrania się montażu paneli fotowoltaicznych w strefach przesłowych płatwi.

Widok modelu obliczeniowego ramy nośnej wiaty handlowej



Widoki obciążeń



nasza | materiał | rysunek

☐ 1: Skup. 25x25cm C 27 Proct.

☐ 2: RK 200x200x5 S15X RK 200x

☐ 3: RK 100x100x6 S15X RK 100x

☐ 4: RK 60x60x4 S15X RK 60x

☒ 5: RP 100x100x6 S15X RP 100x

☐ 6: RK 80x80x4 S15X RK 80x

☐ 7: PE 400 S15X PE 4

☐ 8: PE 300 S15X PE 3

☐ 9: PE 240 S15X PE 2

☐ 10: PE 270 S15X PE 2

☐ 11: DT 300x150 S15X Dwtdec

☐ 12: DT 400x150 S15X Dwtdec

☐ 13: PE 200 S15X PE 2

☐ 14: DT 240x20 S15X Dwtdec

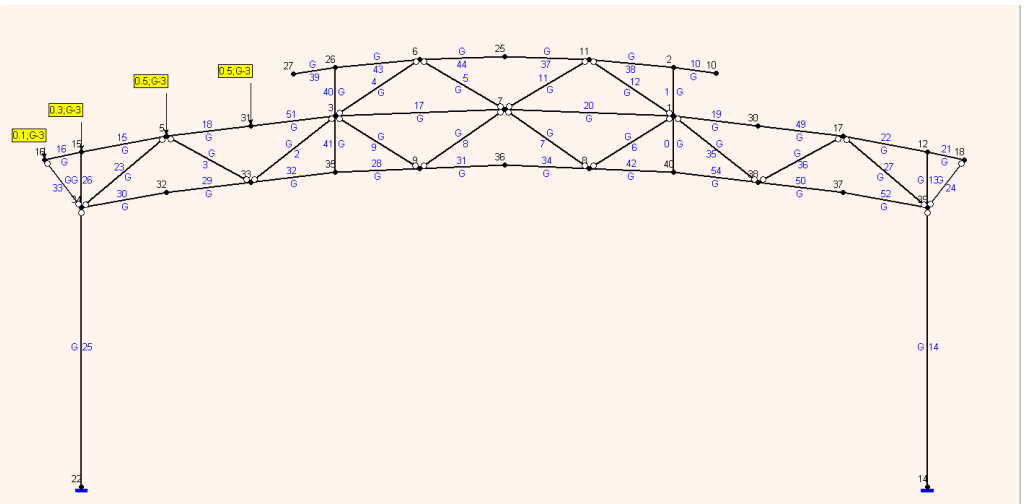
☐ 15: Profil nr 15 S15X Brak prz.

☐ 16: Pr 6x200 S15X Proct.

☐ 17: RP 200x120x6 S15X RP 200x

Obciążenie

Nazwa	Typ
1: Ciężar własny	stałe
2: Obciążenia stałe	stałe
☒ 3: Zmienne 1	zmienne
4: Zmienne 2	zmienne
5: Zmienne 3	zmienne
6: Śnieg	zmienne
7: Wiatr Lewa	zmienne
8: Wiatr Prawa	zmienne



nasza | materiał | rysunek

☐ 1: Skup. 25x25cm C 27 Proct.

☐ 2: RK 200x200x5 S15X RK 200x

☐ 3: RK 100x100x6 S15X RK 100x

☐ 4: RK 60x60x4 S15X RK 60x

☒ 5: RP 100x100x6 S15X RP 100x

☐ 6: RK 80x80x4 S15X RK 80x

☐ 7: PE 400 S15X PE 4

☐ 8: PE 300 S15X PE 3

☐ 9: PE 240 S15X PE 2

☐ 10: PE 270 S15X PE 2

☐ 11: DT 300x150 S15X Dwtdec

☐ 12: DT 400x150 S15X Dwtdec

☐ 13: PE 200 S15X PE 2

☐ 14: DT 240x20 S15X Dwtdec

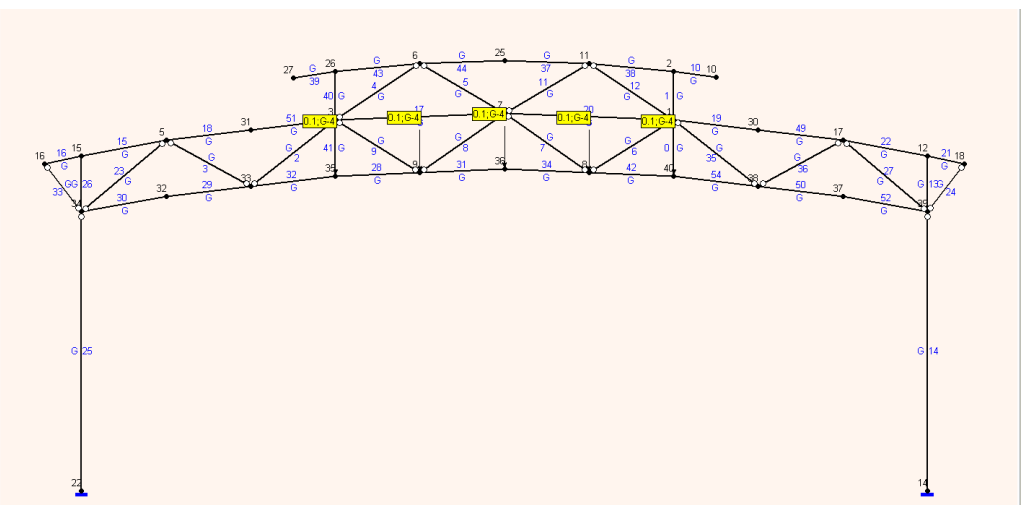
☐ 15: Profil nr 15 S15X Brak prz.

☐ 16: Pr 6x200 S15X Proct.

☐ 17: RP 200x120x6 S15X RP 200x

Obciążenie

Nazwa	Typ
1: Ciężar własny	stałe
2: Obciążenia stałe	stałe
3: Zmienne 1	zmienne
☒ 4: Zmienne 2	zmienne
5: Zmienne 3	zmienne
6: Śnieg	zmienne
7: Wiatr Lewa	zmienne
8: Wiatr Prawa	zmienne



nasza | materiał | rysunek

☐ 1: Skup. 25x25cm C 27 Proct.

☐ 2: RK 200x200x5 S15X RK 200x

☐ 3: RK 100x100x6 S15X RK 100x

☐ 4: RK 60x60x4 S15X RK 60x

☒ 5: RP 100x100x6 S15X RP 100x

☐ 6: RK 80x80x4 S15X RK 80x

☐ 7: PE 400 S15X PE 4

☐ 8: PE 300 S15X PE 3

☐ 9: PE 240 S15X PE 2

☐ 10: PE 270 S15X PE 2

☐ 11: DT 300x150 S15X Dwtdec

☐ 12: DT 400x150 S15X Dwtdec

☐ 13: PE 200 S15X PE 2

☐ 14: DT 240x20 S15X Dwtdec

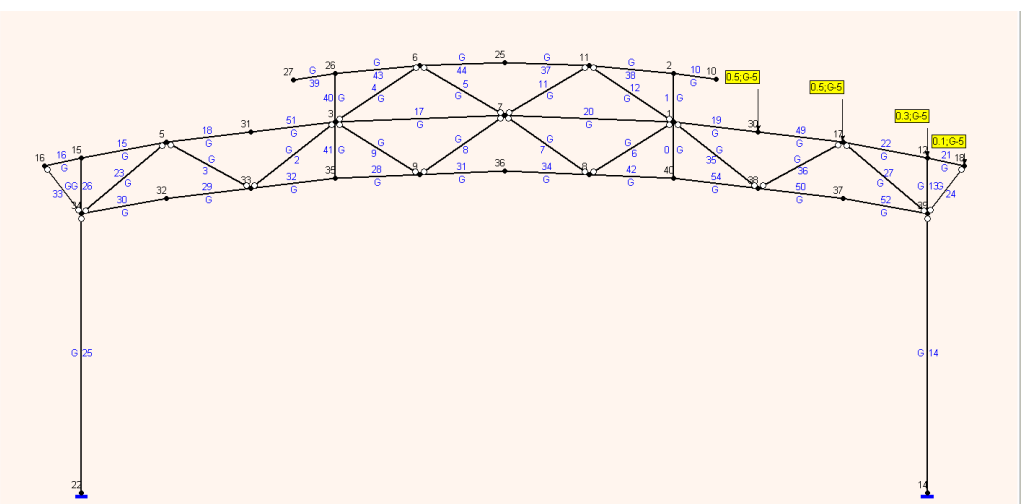
☐ 15: Profil nr 15 S15X Brak prz.

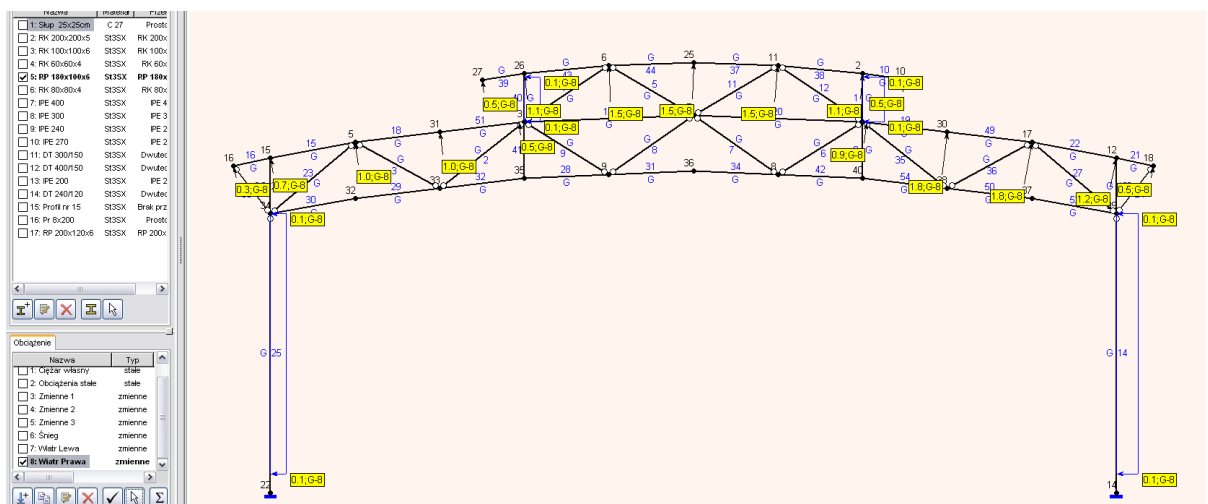
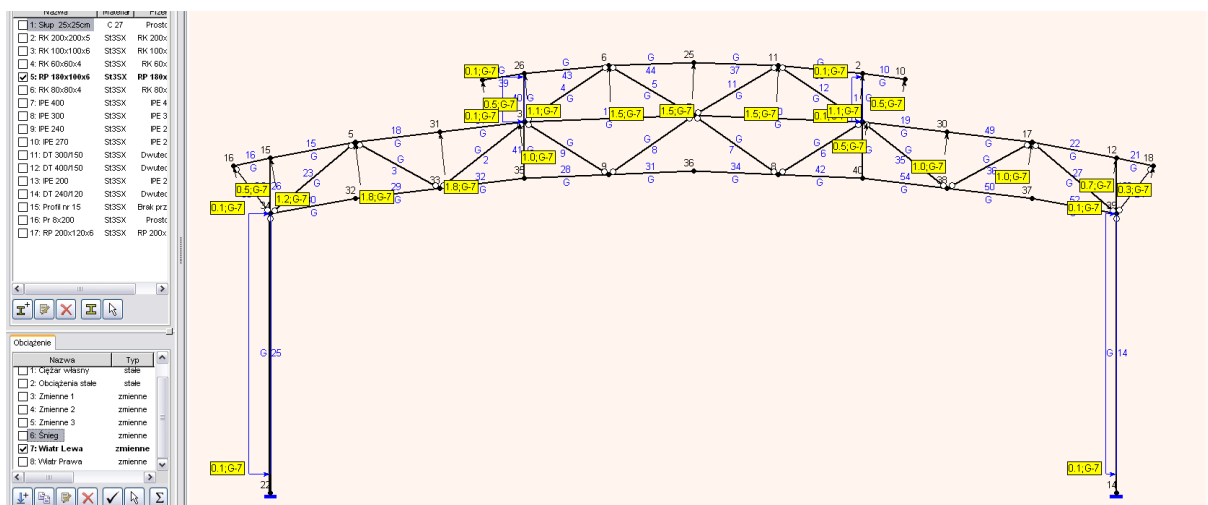
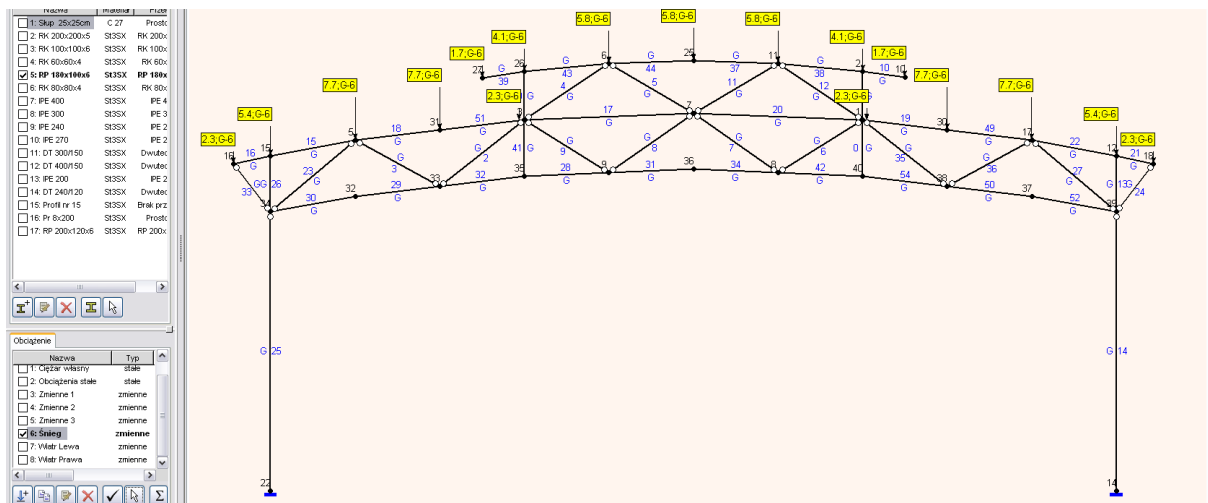
☐ 16: Pr 6x200 S15X Proct.

☐ 17: RP 200x120x6 S15X RP 200x

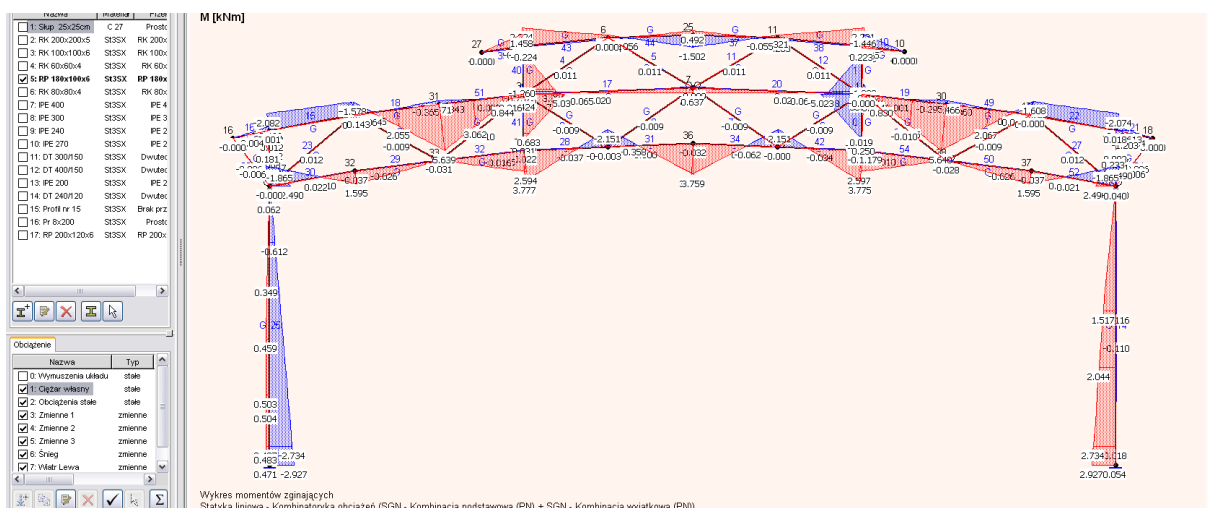
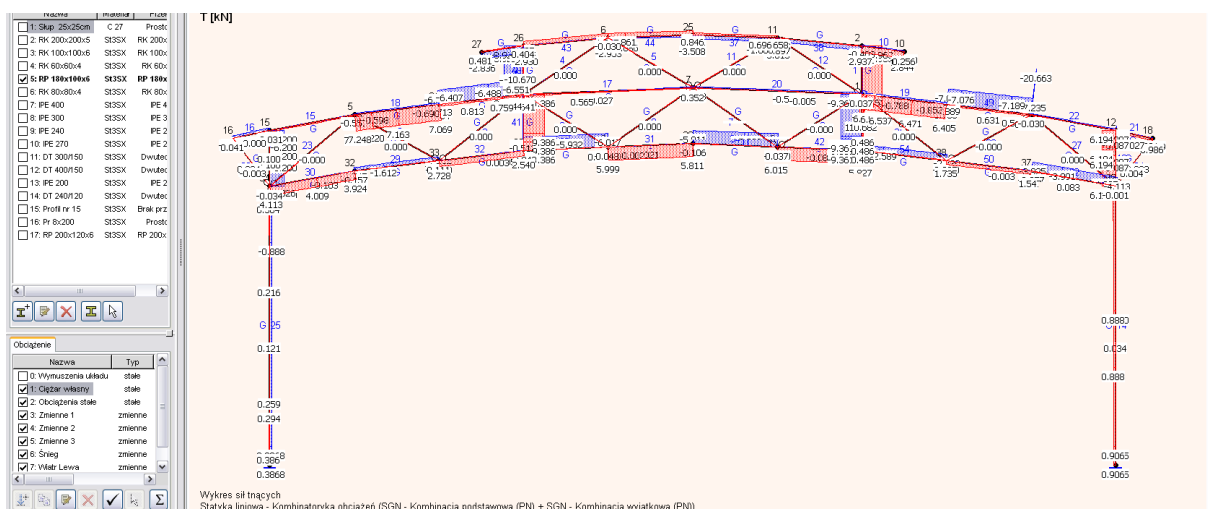
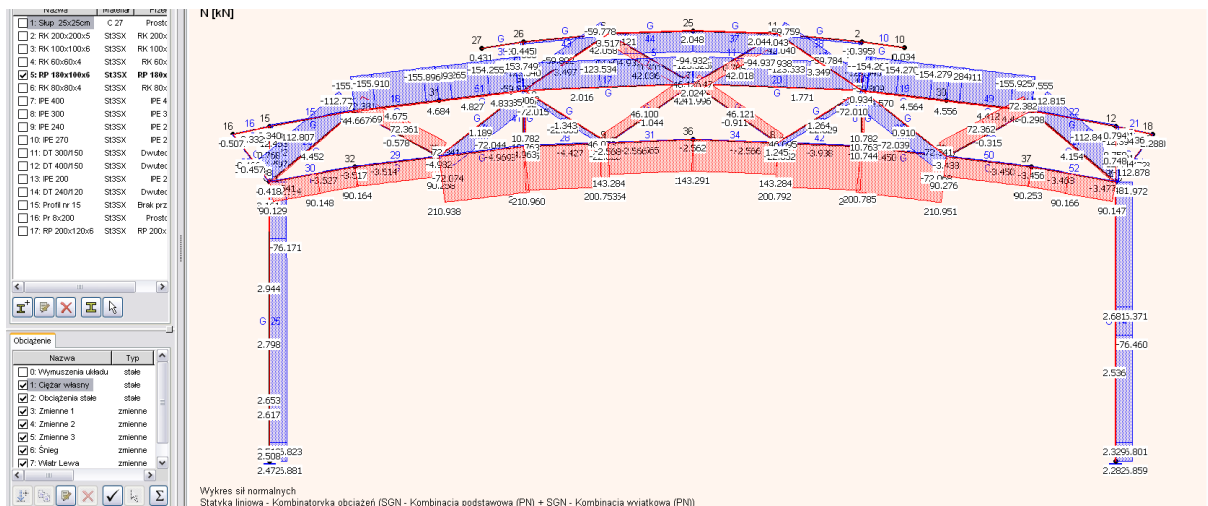
Obciążenie

Nazwa	Typ
1: Ciężar własny	stałe
2: Obciążenia stałe	stałe
3: Zmienne 1	zmienne
4: Zmienne 2	zmienne
☒ 5: Zmienne 3	zmienne
6: Śnieg	zmienne
7: Wiatr Lewa	zmienne
8: Wiatr Prawa	zmienne

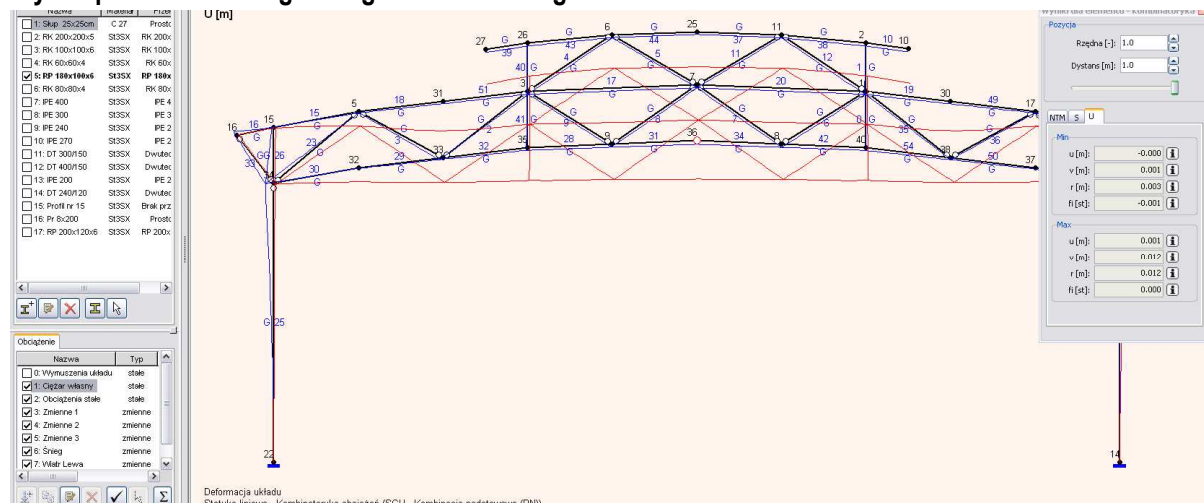




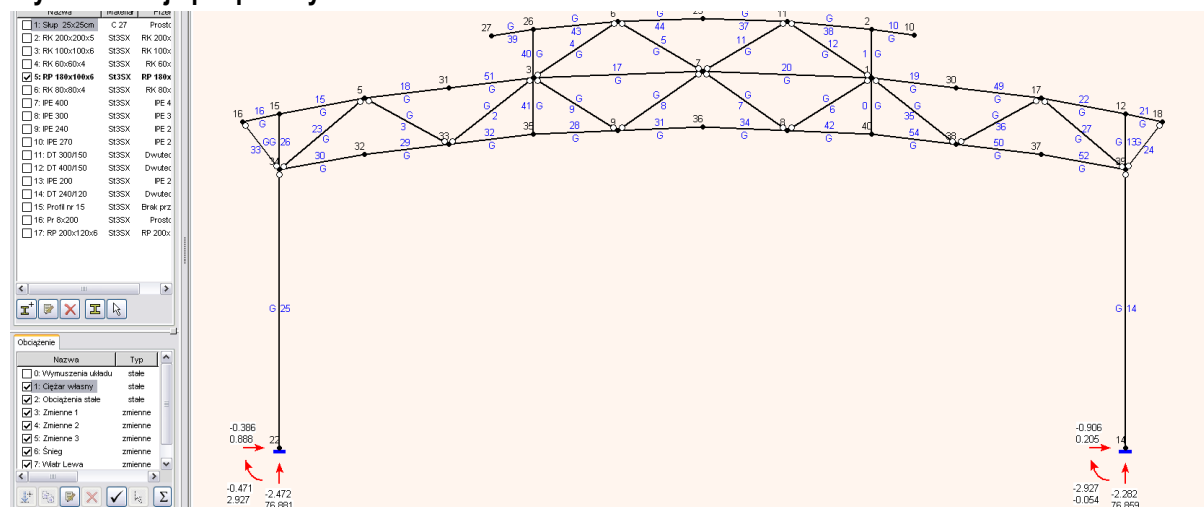
Wyniki sił przekrojowych głównego układu nośnego:



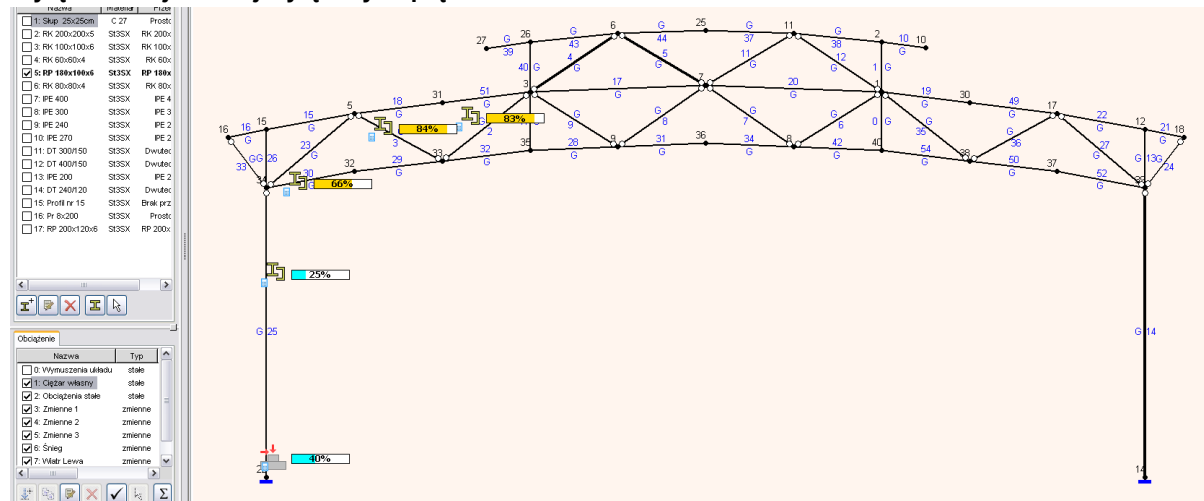
Wyniki przemieszczeń głównego układu nośnego:



Wyniki reakcji podporowych:



Wyświetlenie najbardziej wyężonych prętów



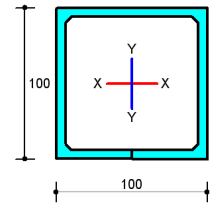
OBLICZENIA PASA GÓRNEGO (PRĘT NR 51) - Element stalowy wg. PN-90/B-03200

Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 18 (belka) - Brak opisu elementu.

Węzły: 31 (x=15.494m, y=11.832m); 3 (x=16.494m, y=11.953m)

Profil: RK 100x100x6 (St3SX)



Wyniki szczegółowe

Napężenia (72.9 %)

Przekrój: x/L=0.000, L=0.00m; Kombinacja: max Mx (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)

Wskaźnik osłabienia (4.1.2, Tablica 5):

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

$$\psi_{ov,y} = \min \left[1.0, \frac{A_{vn,y}}{A_{v,y}} \cdot \frac{0.8R_m}{R_s} \right] = \min \left[1.0, \frac{10.56}{10.56} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0} \right] = 1.000$$

$$\psi_{ov,x} = \min \left[1.0, \frac{A_{vn,x}}{A_{v,x}} \cdot \frac{0.8R_m}{R_s} \right] = \min \left[1.0, \frac{10.56}{10.56} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0} \right] = 1.000$$

Warunek nośności (4.1.2, Tablica 5):

$$\sigma_{et} = \left| \frac{\sigma}{\psi_{oc}} + \Delta\sigma \right| = \left| \frac{-69.8}{1.000} - 87.3 \right| = |-156.8 \text{ MPa}| < 215.0 \text{ MPa} = f_d$$

$$\tau_{e,y} = \left| \frac{\tau_y}{\psi_{ov,y}} \right| = \left| \frac{-6.0}{1.000} \right| = |-6.0 \text{ MPa}| < 124.7 \text{ MPa} = 0.58 \cdot f_d$$

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

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = \sqrt{156.8^2 + 3 \cdot 0.0^2} = 156.8 \text{ MPa} < 215.0 \text{ MPa} = f_d$$

Rozciąganie (1.0 %)

Przekrój: x/L=1.000, L=1.01m; Kombinacja: max N (-1,-2,+7,)

Pole przekroju: $A_{brutto} = 22.20 \text{ cm}^2$

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

$$A_{\psi} = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,brutto}, A_{i,n} \cdot \frac{0.8R_m}{R_s} \right) \right] = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,brutto}, A_{i,n} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0} \right) \right] = 22.20 \text{ cm}^2$$

Przyjęto do obliczeń: $A = A_{\psi} = 22.20 \text{ cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (4.3.2):

$$N_{Rt} = A f_d = 22.20 \cdot 21.5 = 477.3 > 4.91 = N$$

Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 0.300$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_x = 0.763$ oraz $l_{0,x} = 2.0 \text{ m}$

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_y = 1.000$ oraz $l_{0,y} = 3.0 \text{ m}$

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 1.000$ oraz $l_{0,\omega} = 1.0 \text{ m}$

Siły krytyczne

$$N_{crx} = \frac{\pi^2 E I_x}{(\mu_x l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 323.0 \text{ cm}^4}{(0.763 \cdot 2.0 \text{ m})^2} = 2806.4 \text{ kN}$$

$$N_{cry} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 323.0 \text{ cm}^4}{(1.000 \cdot 3.0 \text{ m})^2} = 726.1 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr\omega} = \frac{1}{5.4^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 9.0 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 1.0 \text{ m})^2} + 78846.2 \text{ MPa} \cdot 498.4 \text{ cm}^4 \right] = 135031.7 \text{ kN}$$

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

$$R = (726.1 + 135031.7)^2 - 4 \cdot 726.1 \cdot 135031.7(1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 5.394^2) = 18037990266.7 \text{ kN}$$

$$N_{cr,yz} = \frac{(726.1 + 135031.7) - \sqrt{18037990266.7}}{2(1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 5.394^2)} = 726.1 \text{ kN}$$

Moment krytyczny

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

Wsp. długości wyboczeniowej: $\mu_y, M_{cr} = 1.00$, $\mu_z, M_{cr} = 1.00$ (tylko do obliczeń M_{cr})

Współczynniki ze względu na podparcie i obciążenie: $A_1 = 0.61$, $A_2 = 0.53$, $B = 1.14$

Współrzędna przyłożonego obciążenia względem środka ciężkości: $a_0 = 5.00 \text{ cm}$

Współrzędna środka ścinania: $y_s = 0.00 \text{ cm}$

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

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 (y_s - a_0) = 0.61 \cdot 0.00 + 0.53 \cdot (0.00 - 5.00) = -2.650$$

$$N_{cr,y} = \pi^2 E I_y / (\mu_y M_{cr} L)^2 = \pi^2 20500.0 \cdot 323.0 / (1.00 \cdot 100.7)^2 = 6440.90 \text{ kN}$$

$$N_{cr,x} = \frac{1}{i_z^2} \left[\frac{\pi^2 E I_z}{(\mu_z M_{cr} L)^2} + G I_T \right]$$

$$N_{cr,x} = \frac{1}{5.39^2} \left[\frac{\pi^2 20500.0 \cdot 0.0}{(1.00 \cdot 100.7)^2} + 7884.6 \cdot 498.4 \right] = 135031.71 \text{ kN}$$

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

$$M_{cr} = 1e - 2 \cdot -2.650 \cdot 6440.90 \sqrt{((-2.650 \cdot 6440.90)^2 + 1.14^2 5.39^2 6440.90 \cdot 135031.71)} = 1650.91 \text{ kNm}$$

Ściskanie (42.8 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\max M_x (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{Rt} = A f_d = 22.2 \cdot 21.5 = 477.3 \text{ kN}$

Współczynniki wyboczeniowe (Tablica 11):

$$\bar{\lambda}_x = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,x}} = 477.3 / 2806.4 = 0.474 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_x(\bar{\lambda}_x) = 0.976 \text{ (giętnie x-x)}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,y}} = 477.3 / 726.1 = 0.932 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_y(\bar{\lambda}_y) = 0.755 \text{ (giętnie y-y)}$$

$$\bar{\lambda}_z = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,z}} = 477.3 / 135031.7 = 0.068 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_z(\bar{\lambda}_z) = 0.999 \text{ (skrętne)}$$

$$\bar{\lambda}_{yz} = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,yz}} = 477.3 / 726.1 = 0.932 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_{yz}(\bar{\lambda}_{yz}) = 0.755$$

Przyjęto do obliczeń: $\phi = \min(\phi_i) = 0.755$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$\phi N_{Rt} = 0.755 \cdot 477.3 = 360.2 \text{ kN} > 154.3 \text{ kN} = N$$

Ścinanie (8.5 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=1.01\text{m}$; Kombinacja: $\min T_y (+1,+2,+3,+6,)$

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,y} = 10.6 \text{ cm}^2$, $A_{v,x} = 10.6 \text{ cm}^2$

Warunek nośności przy ścinaniu:

$$V_{R,y} = 0.58 A_{v,y} f_d = 0.58 \cdot 10.6 \cdot 215.0 = 131.7 \text{ kN} > 10.7 \text{ kN}$$

$$V_{R,x} = 0.58 A_{v,x} f_d = 0.58 \cdot 10.6 \cdot 215.0 = 131.7 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

Warunek nośności przy ścinaniu z uwzględnieniem siły normalnej:

$$V_{R,y,N} = V_{R,y} \sqrt{1 - (N_t / N_{Rt})^2} = 131.7 \sqrt{1 - (152.2 / 477.3)^2} = 124.8 \text{ kN} > 10.7 \text{ kN}$$

$$V_{R,x,N} = V_{R,x} \sqrt{1 - (N_t / N_{Rt})^2} = 131.7 \sqrt{1 - (152.2 / 477.3)^2} = 124.8 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

Zginanie (72.9 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\max M_x (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju:

$$M_{R,x} = \alpha_p W_x f_d = 1.0 \cdot 64.6 \text{ cm}^3 \cdot 215.0 \text{ MPa} = 13.9 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \alpha_p W_y f_d = 1.0 \cdot 64.6 \text{ cm}^3 \cdot 215.0 \text{ MPa} = 13.9 \text{ kNm}$$

Wsp. zwichrzenia:

$$\lambda_L = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{13.9}{1650.91}}, 3.0 \right] = 0.105 \rightarrow \text{Tab. 11} \rightarrow \phi_L(\lambda_L) = 1.000$$

Nośność elementu zginanego lub zginanego i rozciąganego (4.5.6):

$$\frac{N_t}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{M_y}{M_{R,y}} = \frac{154.3}{477.3} + \frac{5.6}{1.000 \cdot 13.9} + \frac{0.0}{13.9} = 0.73 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (83.4 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\max M_x (+1,+2,+3,+4,+5,+6)$

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

$$M_{R,x} = \min(M_{R,x}, M_{R,x,v}, M_{R,x,red}) = 13.9 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \min(M_{R,y}, M_{R,y,v}, M_{R,y,red}) = 13.9 \text{ kNm}$$

Zredukowane momenty zginające:

$$\beta_x M_{x,max} = 1.000 \cdot 5.6 = 5.6 \text{ kNm}$$

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

Składnik poprawkowy:

$$\Delta_x = \min \left(0.1, 1.25 \phi_x \lambda_x^2 \frac{\beta_x M_{x,max}}{M_{R,x}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left(0.1, 1.25 \cdot 0.976 \cdot 0.474^2 \frac{5.6}{13.9} \frac{154.3}{477.3} \right) = 0.036$$

$$\Delta_y = \min \left(0.1, 1.25 \phi_y \lambda_y^2 \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left(0.1, 1.25 \cdot 0.755 \cdot 0.932^2 \frac{0.0}{13.9} \frac{154.3}{477.3} \right) = 0.000$$

Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych:

$$\frac{N}{\phi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{154.3}{0.976 \cdot 477.3} + \frac{5.6}{1.000 \cdot 13.9} + \frac{0.0}{13.9} = 0.737 < 0.964 = 1.0 - \Delta_x$$

$$\frac{N}{\phi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{154.3}{0.755 \cdot 477.3} + \frac{0.0}{1.000 \cdot 13.9} + \frac{0.0}{13.9} = 0.834 < 1.000 = 1.0 - \Delta_y$$

Środek pod obciążeniem skupionym (3.2 %)

Przekrój: $x/L=0.943$, $L=0.95\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6)$

$$k_c = \min \left[\frac{c_0}{t_w}, \left(15 + 25 \frac{c_0}{h_w} \right) \sqrt{\frac{t_f}{t_w} \frac{215}{f_d}} \right] = \min \left[\frac{50.0}{6.0}, \left(15 + 25 \frac{50.0}{88.0} \right) \sqrt{\frac{6.0}{6.0} \frac{215}{215.0}} \right] = 8.333$$

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

Grubość środka: $t_w = 6.0 \text{ mm}$

Nośność obliczeniowa środka:

$$R_{Rc} = k_c t_w^2 f_d = 8.333 \cdot (6.0 \text{ mm})^2 \cdot 215.0 \text{ MPa} = 64.5 \text{ kN} > 2.1 \text{ kN}$$

Ugięcia (11.3 %)

Przekrój: $x/L=0.500$, $L=0.50\text{m}$; Kombinacja: $\text{ext } U (1,2,6)$

Przemieszczenie w kierunku Y-Y (płaszczyzna układu): $u_y = 0.3 \text{ mm} < 2.9 \text{ mm} = u_{y,lim}$

Przem. w kierunku X-X (prostopadle do pł. układu): $u_x = 0.0 \text{ mm} < 2.9 \text{ mm} = u_{x,lim}$

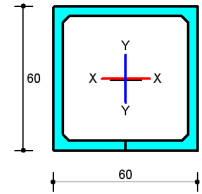
OBLICZENIA SKRATOWANIA (PRĘT NR 23) - Element stalowy wg. PN-90/B-03200

Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 23 (belka) - Brak opisu elementu.

Węzły: 34 (x=13.494m, y=10.865m); 5 (x=14.494m, y=11.711m)

Profil: RK 60x60x4 (St3SX)



Naprężenia (60.1 %)

Przekrój: $x/L=0.500$, $L=0.65m$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)$

Warunek nośności (4.1.2, Tablica 5):

$$\sigma_{\text{ec}} = \left| \frac{\sigma}{\psi_{\text{dec}}} + \Delta\sigma \right| = \left| \frac{-129.3}{1.000} - 0.8 \right| = |-129.1 \text{ MPa}| < 215.0 \text{ MPa} = f_d$$

$$\tau_{\text{e},y} = \left| \frac{\tau_y}{\psi_{\text{dv},y}} \right| = \left| \frac{-0.0}{1.000} \right| = |-0.0 \text{ MPa}| < 124.7 \text{ MPa} = 0.58 \cdot f_d$$

$$\tau_{\text{e},x} = \left| \frac{\tau_x}{\psi_{\text{dv},x}} \right| = \left| \frac{0.0}{1.000} \right| = |0.0 \text{ MPa}| < 124.7 \text{ MPa} = 0.58 \cdot f_d$$

$$\sqrt{\sigma_{\text{e}}^2 + 3\tau_{\text{e}}^2} = \sqrt{129.1^2 + 3 \cdot 0.0^2} = 129.1 \text{ MPa} < 215.0 \text{ MPa} = f_d$$

Rozciąganie (2.4 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=1.31m$; Kombinacja: $\max N (-1,-2,+7,)$

Pole przekroju: $A_{\text{brutto}} = 8.79 \text{ cm}^2$

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

$$A_{\psi} = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,\text{brutto}}, A_{i,n} \frac{0.8R_m}{R_s} \right) \right] = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,\text{brutto}}, A_{i,n} \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0} \right) \right] = 8.79 \text{ cm}^2$$

Przyjęto do obliczeń: $A = A_{\psi} = 8.79 \text{ cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (4.3.2):

$$N_{\text{Rt}} = Af_d = 8.79 \cdot 21.5 = 189.0 > 4.48 = N$$

Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_x = 1.000$ oraz $l_{0,x} = 1.3m$

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_y = 1.000$ oraz $l_{0,y} = 1.3m$

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 1.000$ oraz $l_{0,\omega} = 1.3m$

Siły krytyczne

$$N_{\text{cr},x} = \frac{\pi^2 EI_x}{(\mu_x l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 45.4 \text{ cm}^4}{(1.000 \cdot 1.3m)^2} = 535.6 \text{ kN}$$

$$N_{\text{cr},y} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 45.4 \text{ cm}^4}{(1.000 \cdot 1.3m)^2} = 535.6 \text{ kN}$$

$$N_{\text{cr},\omega} = \frac{1}{i_0^2} \left[\frac{\pi^2 EI_{\omega}}{(\mu_{\omega} l)^2} + GJ_T \right]$$

$$N_{\text{cr},\omega} = \frac{1}{3.2^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 0.0 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 1.3m)^2} + 78846.2 \text{ MPa} \cdot 70.2 \text{ cm}^4 \right] = 53617.6 \text{ kN}$$

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

$$R = (535.6 + 53617.6)^2 - 4 \cdot 535.6 \cdot 53617.6 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 3.214^2) = 2817698708.7 \text{ kN}$$

$$N_{\text{cr},yz} = \frac{(535.6 + 53617.6) - \sqrt{2817698708.7}}{2(1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 3.214^2)} = 535.6 \text{ kN}$$

Moment krytyczny

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

Wsp. długości wyboczeniowej: $\mu_{y,\text{Mcr}} = 1.00$, $\mu_{\omega,\text{Mcr}} = 1.00$ (tylko do obliczeń M_{cr})

Współczynniki ze względu na podparcie i obciążenie: $A_1 = 1.00, A_2 = 0.00, B = 1.00$

Współrzędna przyłożonego obciążenia względem środka ciężkości: $a_0 = 3.00\text{cm}$

Współrzędna środka ścinania: $y_s = 0.00\text{cm}$

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

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 (y_s - a_0) = 1.00 \cdot 0.00 + 0.00 \cdot (0.00 - 3.00) = 0.000$$

$$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / (\mu_{y, \text{Mcr}} L)^2 = \pi^2 20500.0 \cdot 45.4 / (1.00 \cdot 131.0)^2 = 535.63\text{kN}$$

$$N_{cr,x} = \frac{1}{i_x^2} \left[\frac{\pi^2 EI_{\omega}}{(\mu_{\omega, \text{Mcr}} L)^2} + GJ_T \right]$$

$$N_{cr,x} = \frac{1}{3.21^2} \left[\frac{\pi^2 20500.0 \cdot 0.0}{(1.00 \cdot 131.0)^2} + 7884.6 \cdot 70.2 \right] = 53617.63\text{kN}$$

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

$$M_{cr} = 1e - 2 \cdot 0.000 \cdot 535.63 \sqrt{((0.000 \cdot 535.63)^2 + 1.00^2 3.21^2 535.63 \cdot 53617.63)} = 172.24\text{kNm}$$

Ściskanie (65.9 %)

Przekrój: $x/L=0.000, L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{Rt} = Af_d = 8.8 \cdot 21.5 = 189.0\text{kN}$

Współczynniki wyboczeniowe (Tablica 11):

$$\lambda_x = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,x}} = 189.0 / 535.6 = 0.683 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_x(\lambda_x) = 0.906 \text{ (giętnie x-x)}$$

$$\lambda_y = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,y}} = 189.0 / 535.6 = 0.683 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_y(\lambda_y) = 0.906 \text{ (giętnie y-y)}$$

$$\lambda_z = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,z}} = 189.0 / 53617.6 = 0.068 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_z(\lambda_z) = 0.999 \text{ (skrętnie)}$$

$$\lambda_{yz} = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,yz}} = 189.0 / 535.6 = 0.683 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_{yz}(\lambda_{yz}) = 0.906$$

Przyjęto do obliczeń: $\phi = \min(\phi_i) = 0.906$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$\phi N_{Rt} = 0.906 \cdot 189.0 = 171.3\text{kN} > 112.8\text{kN} = N$$

Ścinanie (0.1 %)

Przekrój: $x/L=0.000, L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)$

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{vy} = 4.2\text{cm}^2, A_{vx} = 4.2\text{cm}^2$

Warunek nośności przy ścinaniu:

$$V_{Ry} = 0.58 A_{vy} f_d = 0.58 \cdot 4.2 \cdot 215.0 = 51.9\text{kN} > 0.0\text{kN}$$

$$V_{Rx} = 0.58 A_{vx} f_d = 0.58 \cdot 4.2 \cdot 215.0 = 51.9\text{kN} > 0.0\text{kN}$$

Warunek nośności przy ścinaniu z uwzględnieniem siły normalnej:

$$V_{Ry,N} = V_{Ry} \sqrt{1 - (N_t / N_{Rt})^2} = 51.9 \sqrt{1 - (112.8 / 189.0)^2} = 41.6\text{kN} > 0.0\text{kN}$$

$$V_{Rx,N} = V_{Rx} \sqrt{1 - (N_t / N_{Rt})^2} = 51.9 \sqrt{1 - (112.8 / 189.0)^2} = 41.6\text{kN} > 0.0\text{kN}$$

Zginanie (60.1 %)

Przekrój: $x/L=0.500, L=0.65\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju:

$$M_{Rx} = \alpha_p W_x f_d = 1.0 \cdot 15.1\text{cm}^3 \cdot 215.0\text{MPa} = 3.3\text{kNm}$$

$$M_{Ry} = \alpha_p W_y f_d = 1.0 \cdot 15.1\text{cm}^3 \cdot 215.0\text{MPa} = 3.3\text{kNm}$$

Wsp. zwiczenia:

$$\lambda_L = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{3.3}{172.24}}, 3.0 \right] = 0.158 \rightarrow \text{Tab. 11} \rightarrow \phi_L(\lambda_L) = 1.000$$

Nośność elementu zginanego lub zginanego i rozciąganego (4.5.6):

$$\frac{N_t}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\phi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{112.8}{189.0} + \frac{0.0}{1.000 \cdot 3.3} + \frac{0.0}{3.3} = 0.60 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (66.3 %)

Przekrój: $x/L=0.500, L=0.65\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)$

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

$$M_{R,x} = \min(M_{R,x}, M_{R,x,v}, M_{R,x,red}) = 3.3 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \min(M_{R,y}, M_{R,y,v}, M_{R,y,red}) = 3.3 \text{ kNm}$$

Zredukowane momenty zginające:

$$\beta_x M_{x,max} = 1.000 \cdot 0.0 = 0.0 \text{ kNm}$$

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

Składnik poprawkowy:

$$\Delta_x = \min\left(0.1, 1.25 \phi_x \lambda_x^2 \frac{\beta_x M_{x,max} \frac{N}{M_{R,x}}}{M_{R,x} \frac{N}{N_{Rc}}}\right) = \min\left(0.1, 1.25 \cdot 0.906 \cdot 0.683^2 \frac{0.0 \frac{112.8}{3.3 \cdot 189.0}}{3.3 \frac{112.8}{189.0}}\right) = 0.001$$

$$\Delta_y = \min\left(0.1, 1.25 \phi_y \lambda_y^2 \frac{\beta_y M_{y,max} \frac{N}{M_{R,y}}}{M_{R,y} \frac{N}{N_{Rc}}}\right) = \min\left(0.1, 1.25 \cdot 0.906 \cdot 0.683^2 \frac{0.0 \frac{112.8}{3.3 \cdot 189.0}}{3.3 \frac{112.8}{189.0}}\right) = 0.000$$

Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych:

$$\frac{N}{\phi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_x M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{112.8}{0.906 \cdot 189.0} + \frac{0.0}{1.00 \cdot 3.3} + \frac{0.0}{3.3} = 0.662 < 0.999 = 1.0 - \Delta_x$$

$$\frac{N}{\phi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_x M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{112.8}{0.906 \cdot 189.0} + \frac{0.0}{1.00 \cdot 3.3} + \frac{0.0}{3.3} = 0.662 < 1.000 = 1.0 - \Delta_y$$

Ugięcia (0.6 %)

Przekrój: $x/L=0.500$, $L=0.65\text{m}$; Kombinacja: ext U (1,2,3,)

Przemieszczenie w kierunku Y-Y (płaszczyzna układu): $u_y = 0.0\text{mm} < 3.7\text{mm} = u_{y,lim}$

Przem. w kierunku X-X (prostopadle do pł. układu): $u_x = 0.0\text{mm} < 3.7\text{mm} = u_{x,lim}$

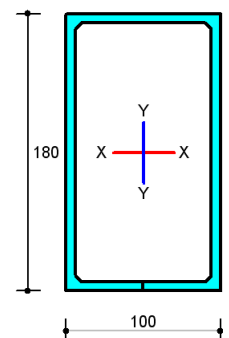
OBLICZENIA SŁUPA (PRĘT NR 25) - Element stalowy wg. PN-90/B-03200

Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 25 (belka) - Brak opisu elementu.

Węzły: 34 ($x=13.494\text{m}$, $y=10.865\text{m}$); 22 ($x=13.494\text{m}$, $y=7.570\text{m}$)

Profil: RP 180x100x6 (St3SX)



Wyniki szczegółowe

Naprężenia (20.3 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=3.29\text{m}$; Kombinacja: min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)

Wskaźnik osłabienia (4.1.2, Tablica 5):

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

$$\psi_{ov,y} = \min\left[1.0, \frac{A_{vn,y}}{A_{v,y}} \cdot \frac{0.8R_m}{R_s}\right] = \min\left[1.0, \frac{20.16}{20.16} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0}\right] = 1.000$$

$$\psi_{ov,x} = \min\left[1.0, \frac{A_{vn,x}}{A_{v,x}} \cdot \frac{0.8R_m}{R_s}\right] = \min\left[1.0, \frac{10.56}{10.56} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0}\right] = 1.000$$

Warunek nośności (4.1.2, Tablica 5):

$$\sigma_{ec} = \left| \frac{\hat{\sigma}}{\psi_{oc}} + \Delta\sigma \right| = \left| \frac{-24.2}{1.000} - 19.5 \right| = |-43.7\text{MPa}| < 215.0\text{MPa} = f_d$$

$$\tau_{ey} = \left| \frac{\tau_y}{\psi_{ov,y}} \right| = \left| \frac{-0.4}{1.000} \right| = |-0.4\text{MPa}| < 124.7\text{MPa} = 0.58 \cdot f_d$$

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

$$\sqrt{\sigma_E^2 + 3\tau_E^2} = \sqrt{43.7^2 + 3 \cdot 0.0^2} = 43.7 \text{ MPa} < 215.0 \text{ MPa} = f_d$$

Rozciąganie (0.5 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\max N (-1,-2,+7,)$

Pole przekroju: $A_{\text{brutto}} = 31.80 \text{ cm}^2$

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

$$A_{\psi} = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,\text{brutto}}, A_{i,n} \frac{0.8R_m}{R_E} \right) \right] = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,\text{brutto}}, A_{i,n} \frac{0.8 \cdot 375.0}{235.0} \right) \right] = 31.80 \text{ cm}^2$$

Przyjęto do obliczeń: $A = A_{\psi} = 31.80 \text{ cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (4.3.2):

$$N_{Rt} = Af_d = 31.80 \cdot 21.5 = 683.7 > 3.20 = N$$

Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 0.500$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_x = 0.820$ oraz $l_{0,x} = 3.8\text{m}$

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_y = 0.000 \rightarrow \mu_y = 1.000$ oraz $l_{0,y} = 3.8\text{m}$

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 1.000$ oraz $l_{0,\omega} = 3.8\text{m}$

Siły krytyczne

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 EI_x}{(\mu_x l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 1250.0 \text{ cm}^4}{(0.820 \cdot 3.8 \text{ m})^2} = 3741.8 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 536.0 \text{ cm}^4}{(1.000 \cdot 3.8 \text{ m})^2} = 998.9 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} = \frac{1}{7.7^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 0.0 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 3.8 \text{ m})^2} + 78846.2 \text{ MPa} \cdot 1197.8 \text{ cm}^4 \right] = 159245.3 \text{ kN}$$

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

$$R = (998.9 + 159245.3)^2 - 4 \cdot 998.9 \cdot 159245.3 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 7.701^2) = 25041911293.7 \text{ kN}$$

$$N_{cr,yz} = \frac{(998.9 + 159245.3) - \sqrt{25041911293.7}}{2(1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 7.701^2)} = 998.9 \text{ kN}$$

Moment krytyczny

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

Wsp. długości wyboczeniowej: $\mu_{y,M_{cr}} = 1.00$, $\mu_{\omega,M_{cr}} = 1.00$ (tylko do obliczeń M_{cr})

Współczynniki ze względu na podparcie i obciążenie: $A_1 = 1.00$, $A_2 = 0.00$, $B = 1.00$

Współrzędna przyłożonego obciążenia względem środka ciężkości: $a_0 = 9.00 \text{ cm}$

Współrzędna środka ścinania: $y_s = 0.00 \text{ cm}$

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

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 (y_s - a_0) = 1.00 \cdot 0.00 + 0.00 \cdot (0.00 - 9.00) = 0.000$$

$$N_{cr,y} = \pi^2 EI_y / (\mu_{y,M_{cr}} L)^2 = \pi^2 \cdot 20500.0 \cdot 536.0 / (1.00 \cdot 329.5)^2 = 998.93 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,x} = \frac{1}{7.70^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 20500.0 \cdot 0.0}{(1.00 \cdot 329.5)^2} + 7884.6 \cdot 1197.8 \right] = 159245.29 \text{ kN}$$

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

$$M_{cr} = 1e - 2 \cdot 0.000 \cdot 998.93 \sqrt{((0.000 \cdot 998.93)^2 + 1.00^2 \cdot 7.70^2 \cdot 998.93 \cdot 159245.29)} = 971.31 \text{ kNm}$$

Ściskanie (15.2 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=3.29\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6,)$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{Rc} = Af_d = 31.8 \cdot 21.5 = 683.7 \text{ kN}$

Współczynniki wyboczeniowe (Tablica 11):

$$\bar{\lambda}_x = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,x}} = 683.7 / 3741.8 = 0.492 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_x(\bar{\lambda}_x) = 0.972 \text{ (giętnie x-x)}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,y}} = 683.7 / 998.9 = 0.951 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_y(\bar{\lambda}_y) = 0.741 \text{ (giętnie y-y)}$$

$$\bar{\lambda}_z = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,z}} = 683.7 / 159245.3 = 0.075 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_z(\bar{\lambda}_z) = 0.998 \text{ (skrętne)}$$

$$\bar{\lambda}_{yz} = 1.15 \sqrt{N_{Rt} / N_{cr,yz}} = 683.7 / 998.9 = 0.951 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_{yz}(\bar{\lambda}_{yz}) = 0.741$$

Przyjęto do obliczeń: $\phi = \min(\phi_i) = 0.741$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$\phi N_{Rt} = 0.741 \cdot 683.7 = 506.9 \text{ kN} > 76.9 \text{ kN} = N$$

Ścinanie (0.8 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: $\min T_y (+1,+2,+3,+4,+5,+6,+7)$

$$\text{Przekrój czynny przy ścinaniu: } A_{v,y} = 20.2 \text{ cm}^2 \quad A_{v,x} = 10.6 \text{ cm}^2$$

Warunek nośności przy ścinaniu:

$$V_{R,y} = 0.58 A_{v,y} f_d = 0.58 \cdot 20.2 \cdot 215.0 = 251.4 \text{ kN} > 1.0 \text{ kN}$$

$$V_{R,x} = 0.58 A_{v,x} f_d = 0.58 \cdot 10.6 \cdot 215.0 = 131.7 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

Warunek nośności przy ścinaniu z uwzględnieniem siły normalnej:

$$V_{R,y,N} = V_{R,y} \sqrt{1 - (N_t / N_{Rt})^2} = 251.4 \sqrt{1 - (61.4 / 683.7)^2} = 250.4 \text{ kN} > 1.0 \text{ kN}$$

$$V_{R,x,N} = V_{R,x} \sqrt{1 - (N_t / N_{Rt})^2} = 131.7 \sqrt{1 - (61.4 / 683.7)^2} = 131.2 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

Zginanie (20.3 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=3.29\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6)$

Nośność obliczeniowa przekroju:

$$M_{R,x} = \alpha_p W_x f_d = 1.0 \cdot 150.0 \text{ cm}^3 \cdot 215.0 \text{ MPa} = 32.2 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \alpha_p W_y f_d = 1.0 \cdot 107.2 \text{ cm}^3 \cdot 215.0 \text{ MPa} = 23.0 \text{ kNm}$$

Wsp. zwichrzenia:

$$\lambda_L = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[1.15 \sqrt{\frac{32.2}{971.31}}, 3.0 \right] = 0.210 \rightarrow \text{Tab. 11} \rightarrow \phi_L(\lambda_L) = 1.000$$

Nośność elementu zginanego lub zginanego i rozciąganego (4.5.6):

$$\frac{N_t}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{M_y}{M_{R,y}} = \frac{76.9}{683.7} + \frac{2.9}{1.000 \cdot 32.2} + \frac{0.0}{23.0} = 0.20 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (24.2 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=3.29\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6)$

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

$$M_{R,x} = \min(M_{R,x}, M_{R,x,v}, M_{R,x,red}) = 32.2 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \min(M_{R,y}, M_{R,y,v}, M_{R,y,red}) = 23.0 \text{ kNm}$$

Zredukowane momenty zginające:

$$\beta_x M_{x,max} = 1.000 \cdot 2.9 = 2.9 \text{ kNm}$$

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

Składnik poprawkowy:

$$\Delta_x = \min \left(0.1, 1.25 \phi_x \bar{\lambda}_x^2 \frac{\beta_x M_{x,max} N}{M_{R,x} N_{Rt}} \right) = \min \left(0.1, 1.25 \cdot 0.972 \cdot 0.492^2 \frac{2.9 \cdot 76.9}{32.2 \cdot 683.7} \right) = 0.003$$

$$\Delta_y = \min \left(0.1, 1.25 \phi_y \bar{\lambda}_y^2 \frac{\beta_y M_{y,max} N}{M_{R,y} N_{Rt}} \right) = \min \left(0.1, 1.25 \cdot 0.741 \cdot 0.951^2 \frac{0.0 \cdot 76.9}{23.0 \cdot 683.7} \right) = 0.000$$

Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych:

$$\frac{N}{\phi_x N_{Rt}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{76.9}{0.972 \cdot 683.7} + \frac{2.9}{1.000 \cdot 32.2} + \frac{0.0}{23.0} = 0.206 < 0.997 = 1.0 - \Delta_x$$

$$\frac{N}{\phi_y N_{Rt}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{76.9}{0.741 \cdot 683.7} + \frac{0.0}{1.000 \cdot 32.2} + \frac{0.0}{23.0} = 0.242 < 1.000 = 1.0 - \Delta_y$$

Środek pod obciążeniem skupionym (0.7 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=3.29\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+1,+2,+3,+4,+5,+6)$

$$k_c = \min \left[\frac{c_d}{t_w}, \left(15 + 25 \frac{c_d}{h_w} \right) \sqrt{\frac{t_f}{t_w} \frac{215}{f_d}} \right] = \min \left[\frac{50.0}{6.0}, \left(15 + 25 \frac{50.0}{168.0} \right) \sqrt{\frac{6.0}{6.0} \frac{215}{215.0}} \right] = 8.333$$

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

Grubość środnika: $t_w = 6.0\text{mm}$

Nośność obliczeniowa środnika:

$$R_{Rc} = k_c t_w^2 f_d = 8.333 \cdot (6.0\text{mm})^2 \cdot 215.0\text{MPa} = 64.5\text{kN} > 0.4\text{kN}$$

Ugięcia (24.7 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00\text{m}$; Kombinacja: ext U (1,2,6,)

Przemieszczenie w kierunku Y-Y (płaszczyzna układu): $u_y = 2.7\text{mm} < 10.9\text{mm} = u_{y,\text{lim}}$

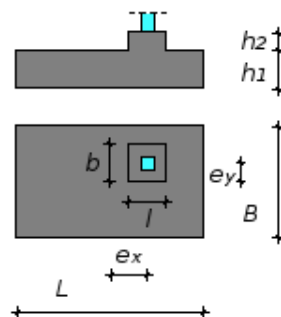
Przem. w kierunku X-X (prostopadle do pł. układu): $u_x = 0.0\text{mm} < 10.9\text{mm} = u_{x,\text{lim}}$

OBLICZENIA STOPY FUNDAMENTOWEJ (Węzeł nr 3) - Fundamenty bezpośrednie wg. PN-81/B-03020

Informacje o węźle

Położenie: (x=13.494m, y=7.570m)

Geometria



Wymiary: $L = 1.20\text{m}$, $B = 1.20\text{m}$, $l = 0.40\text{m}$, $b = 0.30\text{m}$, $h_1 = 0.40\text{m}$, $h_2 = 0.55\text{m}$, $e_x = 0.00\text{m}$, $e_y = 0.0$

Warunki gruntowe

.0 Profil gruntu: "Profil-1"

Nr	Grunt	Grubość ć	Gęstość ć właściwa [kN/m ³]	Gęstość ć objętość ć. [kN/m ³]	IL/ID	Kąt tarcia wewnętrz. [deg]	Spójność ć gruntu	Pierwotny moduł ściśliwości [kPa]
1	Piasek drobny	1.2	2.65	0.961	0.50	30.5	0.00	61000.0
2	Gлина piaszczysta	3.0	2.67	1.196	0.20	18.2	32.00	36000.0

Głębokość posadowienia: 1.20m

Wyniki szczegółowe

Nośność podłoża (25.8 %)

Komb: min My (SGN) (+) (+1,+2,+3,+4,+5,+6,) → $N=94.5\text{kN}$, $T_x=-0.9\text{kN}$, $M_y=-3.8\text{kNm}$, $T_y=0.0\text{kN}$, $M_x=0.0\text{kNm}$

Decydująca warstwa gruntu: 1: Piasek drobny na rzędnej $D = 1.20\text{m}$

Obliczeniowa siła normalna: $N = 94.54\text{kN}$

Mimośród statyczny: $e_x = -0.04\text{m}$ $e_y = 0.00\text{m}$

Wymiary zastępcze fundamentu: $L_r = 1.20\text{m}$ $B_r = 1.12\text{m}$

Współczynniki nośności: $N_B = 5.01$ $N_C = 24.76$ $N_D = 13.86$

Współczynniki nachylenia obciążenia: $i_B = 0.97$ $i_C = 0.98$ $i_D = 0.99$

Nośność podłoża (decydujący kierunek - X):

$$Q_{RB} = \bar{B} \cdot \bar{L} \left[\left(1 + 0.3 \frac{\bar{B}}{\bar{L}} \right) \cdot N_C \cdot c_u^{(r)} \cdot i_c + \left(1 + 1.5 \frac{\bar{B}}{\bar{L}} \right) \cdot N_D \cdot \rho_D^{(r)} \cdot g \cdot D_{\min} \cdot i_D + \right. \\ \left. + \left(1 - 0.25 \frac{\bar{B}}{\bar{L}} \right) \cdot N_B \cdot \rho_B^{(r)} \cdot g \cdot \bar{B} \cdot i_B \right] = 905.51\text{kN}$$

Warunek nośności podłoża

$$N = 94.54 < 733.46 = 0.81 \cdot 905.51\text{kN} = m \cdot Q_{RB}\text{kN}$$

Warunek ograniczenia naprężeń pod fundamentem:

$$\sigma_{\max} = 77.46 < 300.00 = q_{\lim}\text{kPa}$$

Odrywanie (0.0 %)

Komb: min My (SGN) (+) (+1,+2,+3,+4,+5,+6,) $\rightarrow N=94.5\text{kN}$, $T_x=-0.9\text{kN}$, $M_y=-3.8\text{kNm}$, $T_y=0.0\text{kN}$, $M_x=0.0\text{kNm}$

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

Warunek ograniczenia zasięgu szczeliny:

$$\frac{c}{c_{\lim}} = \frac{0.00}{0.60} = 0.00 < 0.50$$

Warunek ograniczenia pola powierzchni odrywanej:

$$\frac{A}{A_{\lim}} = \frac{0.00}{1.44} = 0.00 < 0.25$$

Obrót (12.5 %)

Komb: min N (SGN) (-) (-1,-2,+7,) $\rightarrow N=12.0\text{kN}$, $T_x=0.4\text{kN}$, $M_y=0.6\text{kNm}$, $T_y=0.0\text{kN}$, $M_x=0.0\text{kNm}$

Obliczeniowe momenty wywracające: $M_x = 0.00\text{kNm}$

Obliczeniowy moment utrzymujący: $M_{x,u} = 7.18\text{kNm}$

Warunek stateczności na obrót względem osi X:

$$M_x = 0.00 < 5.17 = 0.72 \cdot 7.18\text{kNm} = m \cdot M_{x,u}\text{kNm}$$

Obliczeniowe momenty wywracające: $M_y = 0.65\text{kNm}$

Obliczeniowy moment utrzymujący: $M_{y,u} = 7.18\text{kNm}$

Warunek stateczności na obrót względem osi Y:

$$M_y = 0.65 < 5.17 = 0.72 \cdot 7.18\text{kNm} = m \cdot M_{y,u}\text{kNm}$$

Poślizg (9.5 %)

Komb: min N (SGN) (-) (-1,-2,+7,) $\rightarrow N=12.0\text{kN}$, $T_x=0.4\text{kN}$, $M_y=0.6\text{kNm}$, $T_y=0.0\text{kN}$, $M_x=0.0\text{kNm}$

Obliczeniowa (wypadkowa) siła przesuwająca: $T = 0.39\text{kN}$

Współczynnik tarcia podstawy fundamentu o grunt:

- wg PN-83/B-03010, zał. A4: $\mu = 0.47$,

- wg PN-81/B-03020: $\text{tg}\phi = 0.52$.

Spójność wraz ze wsp. redukcji: $c_u = 0.00$, $m_c = 0.20$

Wartość siły utrzymującej: $N_r = \min(\mu, \text{tg}\phi) \cdot N + m_c \cdot c_u \cdot (L - 2e_x) \cdot (B - 2e_y) = 5.63\text{kN}$

Warunek stateczności na przesunięcie w poziomie posadowienia:

$$T = 0.39 < 4.05 = 0.72 \cdot 5.63\text{kN} = m \cdot T_r\text{kN}$$

Zbrojenie główne (40.5 %)

Komb: min My (SGN) (+) (+1,+2,+3,+4,+5,+6,) $\rightarrow N=94.5\text{kN}$, $T_x=-0.9\text{kN}$, $M_y=-3.8\text{kNm}$, $T_y=0.0\text{kN}$, $M_x=0.0\text{kNm}$

Zbrojenie minimalne w kierunku L:

$$A_{sL,min,1} = k_c k_{f_{ct,eff}} A_{ct,L} / \sigma_{lim,L} = 5.4 \text{ cm}^2/\text{m}, A_{sL,min,2} = \max(0.26 f_{ct,eff} / f_{yk}; 0.0013) d = 4.4 \text{ cm}^2/\text{m},$$

Zbrojenie minimalne w kierunku B:

$$A_{sB,min,1} = k_c k_{f_{ct,eff}} A_{ct,B} / \sigma_{lim,B} = 5.4 \text{ cm}^2/\text{m}, A_{sB,min,2} = \max(0.26 f_{ct,eff} / f_{yk}; 0.0013) d = 4.2 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Zbrojenie w kierunku L:

Moment zginający obl. z metody współników prostokątnych: $M_{Ed} = 12.7 \text{ kNm}$

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

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

Wysokość użyteczna przekroju: $d = 34.2 \text{ cm}$, względne ramię sił:

$$\zeta_{eff} = 0.5 \cdot (1 + \sqrt{1 - 2 \cdot A_0}) = 0.9959$$

$$A_0 = 0.008, A_{0,lim} = 0.480$$

$$\text{Zbrojenie potrzebne ze względu na zginanie: } A_{sB,stat} = \frac{M_{Ed}/B}{f_{yd} \cdot \zeta_{eff} \cdot d} = 0.7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{przyjęto } 6\Phi 16/\text{m} \rightarrow A_{sL,prov} = 13.4 \text{ cm}^2/\text{m} > 5.43 \text{ cm}^2/\text{m} = A_{sL,req}$$

Zbrojenie w kierunku B:

Moment zginający obl. z metody współników prostokątnych: $M_{Ed} = 11.3 \text{ kNm}$

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

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

Wysokość użyteczna przekroju: $d = 32.6 \text{ cm}$, względne ramię sił:

$$\zeta_{eff} = 0.5 \cdot (1 + \sqrt{1 - 2 \cdot A_0}) = 0.9960$$

$$A_0 = 0.008, A_{0,lim} = 0.480$$

$$\text{Zbrojenie potrzebne ze względu na zginanie: } A_{sB,stat} = \frac{M_{Ed}/L}{f_{yd} \cdot \zeta_{eff} \cdot d} = 0.7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{przyjęto } 6\Phi 16/\text{m} \rightarrow A_{sB,prov} = 13.4 \text{ cm}^2/\text{m} > 5.43 \text{ cm}^2/\text{m} = A_{sB,req}$$

Osiadanie (3.6 %)

Komb: $\max N$ (SGU) (+) (1,2,3,K4,K5,K6,) $\rightarrow N=72.6 \text{ kN}$, $T_x=-0.6 \text{ kN}$, $M_y=-2.7 \text{ kNm}$, $T_y=0.0 \text{ kN}$, $M_x=0.0 \text{ kNm}$

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

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

$$\text{Warunek osiadań fundamentu: } s' + \lambda \cdot s'' = 0.18 < 5.00 = s_{max}$$

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

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