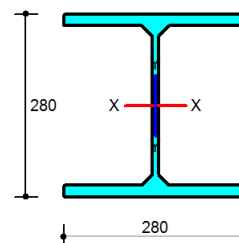


**Pręt nr 61 - Element stalowy wg. PN-90/B-03200****Informacje o elemencie**

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

Węzły: 48 (x=6.000m, y=11.300m); 43 (x=9.000m, y=11.400m)

Profil: HEB 280 (Stal St3S)

**Wyniki dla elementu****Całkowite wyężenie elementu: 55%**

Napężenia: 35 %

Stateczność lokalna: 0 %

Rozciąganie: 0 %

Ściskanie: 46 %

Zginanie: 35 %

Zginanie ze ściskaniem: 55 %

Zginanie ze ścinaniem: 33 %

Ścinanie: 10 %

Środek pod obciążeniem skupionym: 0 %

Środek w złożonym stanie napężenia: 0 %

Smukłość: 0 %

Ugięcia: 34 %

## Wyniki w punktach charakterystycznych

Nr	Rzędna	Obwiednia	Warunek	Wyężenie
0	0.000	min Mx	Ściskanie	19.6 %
1	0.000	ext U	Ugięcia	25.8 %
2	0.000	min Ty	Ściskanie	27.3 %
3	0.000	max N	Ściskanie	19.6 %
4	0.000	max Ty	Ściskanie	38.7 %
5	0.000	min N	Ściskanie	46.5 %
6	0.000	max Mx	Ściskanie	19.6 %
7	0.250	min Mx	Zginanie ze ściskaniem	22.6 %
8	0.250	ext U	Ugięcia	28.1 %
9	0.250	min Ty	Zginanie ze ściskaniem	30.3 %
10	0.250	max N	Zginanie ze ściskaniem	22.6 %
11	0.250	max Ty	Zginanie ze ściskaniem	44.9 %
12	0.250	min N	Zginanie ze ściskaniem	52.7 %
13	0.250	max Mx	Zginanie ze ściskaniem	44.9 %
14	0.500	min Mx	Zginanie ze ściskaniem	23.5 %

15	0.500	ext U	Ugięcia	30.2 %
16	0.500	min Ty	Zginanie ze ściskaniem	39.3 %
17	0.500	max N	Zginanie ze ściskaniem	23.5 %
18	0.500	max Ty	Zginanie ze ściskaniem	23.5 %
19	0.500	min N	Zginanie ze ściskaniem	54.7 %
20	0.500	max Mx	Zginanie ze ściskaniem	46.9 %
21	0.750	min Mx	Zginanie ze ściskaniem	22.5 %
22	0.750	ext U	Ugięcia	32.1 %
23	0.750	min Ty	Zginanie ze ściskaniem	52.6 %
24	0.750	max N	Zginanie ze ściskaniem	22.5 %
25	0.750	max Ty	Zginanie ze ściskaniem	22.5 %
26	0.750	min N	Zginanie ze ściskaniem	52.6 %
27	0.750	max Mx	Zginanie ze ściskaniem	44.8 %
28	1.000	min Mx	Ściskanie	19.5 %
29	1.000	ext U	Ugięcia	33.7 %
30	1.000	min Ty	Ściskanie	46.3 %
31	1.000	max N	Ściskanie	19.5 %
32	1.000	max Ty	Ściskanie	19.5 %
33	1.000	min N	Ściskanie	46.3 %
34	1.000	max Mx	Ściskanie	19.5 %

## Wyniki szczegółowe

### Naprężenia (34.9 %)

Przekrój:  $x/L=0.500$ ,  $L=1.50m$ ; Kombinacja: min N (+0,1,+2,+3,+4,+5,+6,+7,+8,)

Warunek nośności (4.1.2, Tablica 5):

$$\sigma_{ec} = \left| \frac{\bar{\sigma}}{\psi_{oc}} + \Delta\sigma \right| = \left| \frac{-54.7}{1.000} - 16.9 \right| = |-71.5\text{MPa}| < 205.0\text{MPa} = f_d$$

$$\tau_{e,y} = \left| \frac{\bar{\tau}_y}{\psi_{ov,y}} \right| = \left| \frac{-0.0}{1.000} \right| = |-0.0\text{MPa}| < 118.9\text{MPa} = 0.58 \cdot f_d$$

$$\tau_{e,x} = \left| \frac{\bar{\tau}_x}{\psi_{ov,x}} \right| = \left| \frac{-0.0}{1.000} \right| = |-0.0\text{MPa}| < 118.9\text{MPa} = 0.58 \cdot f_d$$

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = \sqrt{71.5^2 + 3 \cdot 0.0^2} = 71.5\text{MPa} < 205.0\text{MPa} = f_d$$

### Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:

$$\text{– w pł. układu: } \kappa_1=1.000 \quad \kappa_2=1.000 \quad \kappa_y=0.000 \quad \rightarrow \quad \mu_x=0.997 \quad \text{oraz} \quad l_{o,x}=3.0m$$

$$\text{– w pł. układu: } \kappa_1=1.000 \quad \kappa_2=1.000 \quad \kappa_y=0.000 \quad \rightarrow \quad \mu_y=0.997 \quad \text{oraz} \quad l_{o,y}=6.0m$$

Wyboczenie skrętne:  $\mu_\omega=1.000$  oraz  $l_{o,\omega}=3.0m$

### Siły krytyczne

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 E J_x}{(\mu_x l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 19270.0 \text{ cm}^4}{(0.997 \cdot 3.0 \text{ m})^2} = 43533.1 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E J_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 6590.0 \text{ cm}^4}{(0.997 \cdot 6.0 \text{ m})^2} = 3726.0 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} = \frac{1}{14.1^2} \left[ \frac{\pi^2 205000.0 \text{ MPa} \cdot 1130154.8 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 3.0 \text{ m})^2} + 78846.2 \text{ MPa} \cdot 143.2 \text{ cm}^4 \right] = 18576.8 \text{ kN}$$

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

$$R = (3726.0 + 18576.8)^2 - 4 \cdot 3726.0 \cdot 18576.8 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 14.050^2) = 220545249.4 \text{ kN}$$

$$N_{cr,yz} = \frac{(3726.0 + 18576.8) - \sqrt{220545249.4}}{2(1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 14.050^2)} = 3726.0 \text{ kN}$$

### Moment krytyczny

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

Wsp. długości wybocheniowej:  $\mu_{y,Mc} = 1.00$ ,  $\mu_{\omega,Mc} = 1.00$  (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:  $a_0 = 14.00 \text{ cm}$

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

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

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 (y_s - a_0) = 0.61 \cdot 0.00 + 0.53 \cdot (0.00 - 14.00) = 0.61$$

$$N_{cr,y} = \pi^2 E J_y / (\mu_{y,Mc} L)^2 = \pi^2 20500.0 \cdot 6590.0 / (1.00 \cdot 300.2)^2 = 14798.38 \text{ kN}$$

$$N_{cr,x} = \frac{1}{i_s^2} \left[ \frac{\pi^2 E J_\omega}{(\mu_{\omega,Mc} l)^2} + G J_T \right]$$

$$N_{cr,x} = \frac{1}{14.05^2} \left[ \frac{\pi^2 20500.0 \cdot 1130154.8}{(1.00 \cdot 300.2)^2} + 7884.6 \cdot 143.2 \right] = 18576.83 \text{ kN}$$

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

$$M_{cr} = 1e-2 \cdot 0.61 \cdot 14798.38 \sqrt{\left( (0.61 \cdot 14798.38)^2 + 1.14^2 14.05^2 14798.38 \cdot 18576.83 \right)} = 1775.69 \text{ kNm}$$

### Ściskanie (46.5 %)

Przekrój:  $x/L = 0.000$ ,  $L = 0.00 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\min N (+0, 1, +2, +3, +4, +5, +6, +7, +8)$

Nośność obliczeniowa przekroju:  $N_{Rc} = A f_d = 131.0 \cdot 20.5 = 2685.5 \text{ kN}$

Współczynniki wybocheniowe (Tablica 11):

$$\lambda'_x = 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,x}} = 2685.5 / 43533.1 = 0.286 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \phi_x(\lambda'_x) = 0.989 \quad (\text{giętnie x-x})$$

$$\lambda'_y = 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,y}} = 2685.5 / 3726.0 = 0.976 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_y(\lambda'_y) = 0.575 \quad (\text{giętnie y-y})$$

$$\lambda'_z = 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,z}} = 2685.5 / 18576.8 = 0.437 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_z(\lambda'_z) = 0.898 \quad (\text{skrętne})$$

$$\lambda'_{yz} = 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,yz}} = 2685.5 / 3726.0 = 0.976 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_{yz}(\lambda'_{yz}) = 0.575$$

Przyjęto do obliczeń:  $\phi = \min(\phi_i) = 0.575$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$\phi N_{Rc} = 0.575 \cdot 2685.5 = 1543.2 \text{ kN} > 717.2 \text{ kN} = N$$

### Ścinanie (10.1 %)

Przekrój:  $x/L = 1.000$ ,  $L = 3.00 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\min N (+0, 1, +2, +3, +4, +5, +6, +7, +8,)$

Przekrój czynny przy ścinaniu:  $A_{v,y} = 25.6 \text{ cm}^2$      $A_{v,x} = 97.0 \text{ cm}^2$

Warunek nośności przy ścinaniu:

$$V_{R,y} = 0.58 A_{v,y} f_d = 0.58 \cdot 25.6 \cdot 205.0 = 304.6 \text{ kN} > 30.9 \text{ kN}$$

$$V_{R,x} = 0.58 A_{v,x} f_d = 0.58 \cdot 97.0 \cdot 205.0 = 1153.6 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

Warunek nośności przy ścinaniu z uwzględnieniem siły normalnej:

$$V_{Ry,N} = V_{R,y} \sqrt{1 - (N_t / N_{Rt})^2} = 304.6 \sqrt{1 - (715.1 / 2685.5)^2} = 293.6 \text{ kN} > 30.9 \text{ kN}$$

$$V_{Rx,N} = V_{R,x} \sqrt{1 - (N_t / N_{Rt})^2} = 1153.6 \sqrt{1 - (715.1 / 2685.5)^2} = 1111.9 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN}$$

### Zginanie (35.0 %)

Przekrój:  $x/L = 0.500$ ,  $L = 1.50 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\min N (+0, 1, +2, +3, +4, +5, +6, +7, +8,)$

Nośność obliczeniowa przekroju:

$$M_{R,x} = \alpha_p W_x f_d = 1.0 \cdot 1376.4 \text{ cm}^3 \cdot 205.0 \text{ MPa} = 282.2 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \alpha_p W_y f_d = 1.0 \cdot 470.7 \text{ cm}^3 \cdot 205.0 \text{ MPa} = 96.5 \text{ kNm}$$

Wsp. zwężenia:

$$\lambda_L = \min \left[ 1.15 \sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[ 1.15 \sqrt{\frac{282.2}{1775.69}}, 3.0 \right] = 0.458 \rightarrow \text{Tab. 11} \rightarrow \phi_L(\lambda_L) = 0.992$$

Nośność elementu zginanego lub zginanego i rozciąganego (4.5.6):

$$\frac{N_t}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\phi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{716.2}{2685.5} + \frac{23.2}{0.992 \cdot 282.2} + \frac{0.0}{96.5} = 0.35 < 1.0$$

### Zginanie ze ściskaniem (54.7 %)

Przekrój:  $x/L = 0.500$ ,  $L = 1.50 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\min N (+0, 1, +2, +3, +4, +5, +6, +7, +8,)$

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

$$M_{R,x} = \min(M_{Rx}, M_{Rx,v}, M_{Rx,red}) = 282.2 \text{ kNm}$$

$$M_{R,y} = \min(M_{Ry}, M_{Ry,v}, M_{Ry,red}) = 96.5 \text{ kNm}$$

Zredukowane momenty zginające:

$$\beta_x M_{x,max} = 1.000 \cdot 23.2 = 23.2 \text{ kNm}$$

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

Składnik poprawkowy:

$$\Delta_x = \min \left( 0.1, 1.25 \phi_x \lambda_x^2 \frac{\beta_x M_{x,max}}{M_{R,x}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left( 0.1, 1.25 \cdot 0.989 \cdot 0.286^2 \frac{23.2}{282.2} \frac{716.2}{2685.5} \right) = 0.002$$

$$\Delta_y = \min \left( 0.1, 1.25 \phi_y \lambda_y^2 \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} \frac{N}{N_{Rc}} \right) = \min \left( 0.1, 1.25 \cdot 0.575 \cdot 0.976^2 \frac{0.0}{96.5} \frac{716.2}{2685.5} \right) = 0.000$$

Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych:

$$\frac{N}{\phi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{716.2}{0.989 \cdot 2685.5} + \frac{23.2}{0.99 \cdot 282.2} + \frac{0.0}{96.5} = 0.353 < 0.998 = 1.0 - \Delta_x$$

$$\frac{N}{\phi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{716.2}{0.575 \cdot 2685.5} + \frac{0.0}{0.99 \cdot 282.2} + \frac{0.0}{96.5} = 0.547 < 1.000 = 1.0 - \Delta_y$$

**Ugięcia (33.7 %)**

Przekrój:  $x/L=1.000$ ,  $L=3.00m$ ; Kombinacja: *ext U (1,4,6)*

Przemieszczenie w kierunku Y-Y (płaszczyzna układu):  $u_y = 28.9 \text{ mm} < 85.7 \text{ mm} = u_{y,lim}$ .

Przem. w kierunku X-X (prostopadle do pł. układu):  $u_x = 0.0 \text{ mm} < 85.7 \text{ mm} = u_{x,lim}$ .