

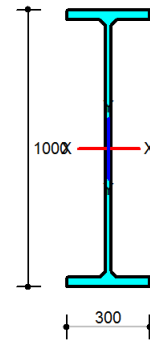
Pręt nr 0 - Element stalowy wg. PN-90/B-03200

Informacje o elemencie

Nazwa/Opis: element nr 0 (belka) - Brak opisu elementu.

Węzły: 1 (x=-0.000m, y=0.000m); 0 (x=7.000m, y=-0.000m)

Profil: HEB 1000 (Stal St3S)



Wyniki dla elementu

Całkowite wyężenie elementu: 12%

Naprężenia: 2 %

Stateczność lokalna: 0 %

Rozciąganie: 0 %

Ściskanie: 0 %

Zginanie: 2 %

Zginanie ze ścisaniem: 1 %

Zginanie ze ścinaniem: 1 %

Ścinanie: 1 %

Środek pod obciążeniem skupionym: 12 %

Środek w złożonym stanie naprężenia: 0 %

Smukłość: 0 %

Ugięcia: 0 %

Wyniki w punktach charakterystycznych

Nr	Rzędna	Obwiednia	Warunek	Wyężenie
0	0.000	min Mx	Środek pod obciążeniem skupionym	12.4 %
1	0.000	ext U	Ugięcia	0.0 %
2	0.000	min Ty	Środek pod obciążeniem skupionym	6.9 %
3	0.000	max N	Środek pod obciążeniem skupionym	12.4 %
4	0.000	max Ty	Środek pod obciążeniem skupionym	12.4 %
5	0.000	min N	Środek pod obciążeniem skupionym	6.9 %
6	0.000	max Mx	Środek pod obciążeniem skupionym	6.9 %
7	0.250	min Mx	Naprężenia	0.9 %
8	0.250	ext U	Ugięcia	0.1 %
9	0.250	min Ty	Naprężenia	0.4 %
10	0.250	max N	Naprężenia	0.9 %
11	0.250	max Ty	Naprężenia	0.9 %
12	0.250	min N	Naprężenia	0.4 %
13	0.250	max Mx	Naprężenia	0.4 %
14	0.500	min Mx	Zginanie	0.5 %

15	0.500	ext U	Ugięcia	0.3 %
16	0.500	min Ty	Zginanie	0.5 %
17	0.500	max N	Zginanie	1.3 %
18	0.500	max Ty	Zginanie	1.3 %
19	0.500	min N	Zginanie	0.5 %
20	0.500	max Mx	Zginanie	1.3 %
21	0.516	min Mx	Zginanie	0.5 %
22	0.516	ext U	Ugięcia	0.3 %
23	0.516	min Ty	Zginanie	0.5 %
24	0.516	max N	Środek pod obciążeniem skupionym	8.1 %
25	0.516	max Ty	Środek pod obciążeniem skupionym	8.1 %
26	0.516	min N	Zginanie	0.5 %
27	0.516	max Mx	Środek pod obciążeniem skupionym	8.1 %
28	0.516	min Mx	Zginanie	0.5 %
29	0.516	ext U	Ugięcia	0.3 %
30	0.516	min Ty	Środek pod obciążeniem skupionym	8.1 %
31	0.516	max N	Środek pod obciążeniem skupionym	4.5 %
32	0.516	max Ty	Zginanie	0.5 %
33	0.516	min N	Środek pod obciążeniem skupionym	3.6 %
34	0.516	max Mx	Środek pod obciążeniem skupionym	8.1 %
35	0.750	min Mx	Zginanie	0.5 %
36	0.750	ext U	Ugięcia	0.2 %
37	0.750	min Ty	Zginanie ze ściskaniem	1.0 %
38	0.750	max N	Zginanie	0.8 %
39	0.750	max Ty	Zginanie	0.5 %
40	0.750	min N	Zginanie ze ściskaniem	0.9 %
41	0.750	max Mx	Zginanie ze ściskaniem	1.0 %
42	1.000	min Mx	Środek pod obciążeniem skupionym	5.6 %
43	1.000	ext U	Ugięcia	0.0 %
44	1.000	min Ty	Środek pod obciążeniem skupionym	6.8 %
45	1.000	max N	Środek pod obciążeniem skupionym	5.6 %
46	1.000	max Ty	Środek pod obciążeniem skupionym	4.2 %
47	1.000	min N	Środek pod obciążeniem skupionym	5.4 %
48	1.000	max Mx	Środek pod obciążeniem skupionym	4.2 %

Wyniki szczegółowe

Naprężenia (1.8 %)

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

Wskaźnik osłabienia (4.1.2, Tablica 5):

$$\psi_{oi} = \frac{\min(A_{t\psi}, A_t)}{A_t} = \frac{\min(189.32, 218.71)}{189.32} = 1.000$$

$$\psi_{ov,y} = \min \left[1.0, \frac{A_{vn,y}}{A_{v,y}} \cdot \frac{0.8R_m}{R_e} \right] = \min \left[1.0, \frac{176.32}{176.32} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{225.0} \right] = 1.000$$

$$\psi_{ov,x} = \min \left[1.0, \frac{A_{vn,x}}{A_{v,x}} \cdot \frac{0.8R_m}{R_e} \right] = \min \left[1.0, \frac{202.32}{202.32} \cdot \frac{0.8 \cdot 375.0}{225.0} \right] = 1.000$$

Warunek nośności (4.1.2, Tablica 5):

$$\sigma_{et} = \left| \frac{\bar{\sigma}}{\psi_{ot}} + \Delta\sigma \right| = \left| \frac{0.0}{1.000} + 3.1 \right| = |3.1 \text{ MPa}| < 205.0 \text{ MPa} = f_d$$

$$\tau_{e,y} = \left| \frac{\bar{\tau}_y}{\psi_{ov,y}} \right| = \left| \frac{1.4}{1.000} \right| = |1.4 \text{ MPa}| < 118.9 \text{ MPa} = 0.58 \cdot f_d$$

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

$$\sqrt{\sigma_e^2 + 3\tau_e^2} = \sqrt{2.8^2 + 3 \cdot 1.4^2} = 3.7 \text{ MPa} < 205.0 \text{ MPa} = f_d$$

Rozciąganie (0.1 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=7.00\text{m}$; Kombinacja: $\max N (1,+3,)$

Pole przekroju: $A_{brutto} = 400.00 \text{ cm}^2$

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

$$A_\psi = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,brutto}, A_{i,n} \frac{0.8 R_m}{R_e} \right) \right] = \sum_{i=1..n} \left[\min \left(A_{i,brutto}, A_{i,n} \frac{0.8 \cdot 375.0}{225.0} \right) \right] = 400.00 \text{ cm}^2$$

Przyjęto do obliczeń: $A = A_\psi = 400.00 \text{ cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (4.3.2):

$$N_{Rt} = A f_d = 400.00 \cdot 20.5 = 8200.0 > 4.82 = N$$

Stateczność lokalna (0.1 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=7.00\text{m}$; Kombinacja: $\min N (+0,1,+2,+4,)$, (Pas górny - strona lewa)

Smukłość względna ścianki: $\bar{\lambda}_p = \frac{b}{t} \cdot \frac{K}{56} \sqrt{\frac{f_d}{215}} = \frac{140.5}{36.0} \cdot \frac{3.000}{56} \sqrt{\frac{205.0}{215}} = 0.204$

Wsp. niestateczności miejscowej (Tablica 9 oraz 4.2.2.2): $\phi_p(\bar{\lambda}_p) = \phi_p(0.204) = 1.000$

Warunek stateczności ścianki w jednoosiowym stanie naprężenia (4.2.2.1c):

$$\frac{\sigma_c}{\phi_p f_d} = \frac{1.0}{1.000 \cdot 205.0} = 0.00 < 1.0$$

Długość wybozeniowa

Współczynniki długości wybozeniowej przyjęto na podstawie załącznika Z1:

– w pł. układu: $\kappa_1 = 0.500$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_v = 0.000$ \rightarrow $\mu_x = 0.818$ oraz $l_{o,x} = 7.0 \text{ m}$

– w pł. układu: $\kappa_1 = 1.000$ $\kappa_2 = 1.000$ $\kappa_v = 0.000$ \rightarrow $\mu_y = 0.997$ oraz $l_{o,y} = 7.0 \text{ m}$

Wybozenie skrętne: $\mu_\omega = 1.000$ oraz $l_{o,\omega} = 7.0 \text{ m}$

Siły krytyczne

$$N_{cr,x} = \frac{\pi^2 E J_x}{(\mu_x l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 644700.0 \text{ cm}^4}{(0.818 \cdot 7.0 \text{ m})^2} = 397840.1 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E J_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 205000.0 \text{ MPa} \cdot 16280.0 \text{ cm}^4}{(0.997 \cdot 7.0 \text{ m})^2} = 6762.7 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,z} = \frac{1}{40.7^2} \left[\frac{\pi^2 205000.0 \text{ MPa} \cdot 37636488.0 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 7.0 \text{ m})^2} + 78846.2 \text{ MPa} \cdot 1248.8 \text{ cm}^4 \right] = 15363.4 \text{ kN}$$

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

$$R = (6762.7 + 15363.4)^2 - 4 \cdot 6762.7 \cdot 15363.4 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 40.650^2) = 73971705.2 \text{ kN}$$

$$N_{cr,yz} = \frac{(6762.7 + 15363.4) - \sqrt{73971705.2}}{2(1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 40.650^2)} = 6762.7 \text{ kN}$$

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: $a_0 = 50.00 \text{ cm}$

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

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

$$A_0 = A_1 b_y + A_2 (y_s - a_0) = 0.61 \cdot 0.00 + 0.53 \cdot (0.00 - 50.00) = 0.61$$

$$N_{cr,y} = \pi^2 E J_y / (\mu_{y,Mc} L)^2 = \pi^2 20500.0 \cdot 16280.0 / (1.00 \cdot 700.0)^2 = 6722.21 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,x} = \frac{1}{40.65^2} \left[\frac{\pi^2 20500.0 \cdot 37636488.0}{(1.00 \cdot 700.0)^2} + 7884.6 \cdot 1248.8 \right] = 15363.40 \text{ kN}$$

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

$$M_{cr} = 1e-2 \cdot 0.61 \cdot 6722.21 \sqrt{\left((0.61 \cdot 6722.21)^2 + 1.14^2 40.65^2 6722.21 \cdot 15363.40 \right)} = 3253.70 \text{ kNm}$$

Ściskanie (0.2 %)

Przekrój: $x/L = 1.000$, $L = 7.00 \text{ m}$; Kombinacja: $\min N (+0, 1, +2, +4)$

Wsp. redukcyjny nośności wg 4.2.2.3: $\Psi_N = \phi_p = 0.910$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{Rc} = \Psi_N A f_d = 0.910 \cdot 400.0 \cdot 20.5 = 7459.2 \text{ kN}$

Współczynniki wybocheniowe (Tablica 11):

$$\lambda'_x = 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,x}} = 7459.2 / 397840.1 = 0.157 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \phi_x(\lambda'_x) = 1.000 \quad (\text{gięte x-x})$$

$$\lambda'_y = 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,y}} = 7459.2 / 6762.7 = 1.208 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \phi_y(\lambda'_y) = 0.522 \quad (\text{gięte y-y})$$

$$\lambda'_z = 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,z}} = 7459.2 / 15363.4 = 0.801 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \phi_z(\lambda'_z) = 0.680 \quad (\text{skręte})$$

$$\lambda'_{yz} = 1.15 \sqrt{N_{Rc} / N_{cr,yz}} = 7459.2 / 6762.7 = 1.208 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \phi_{yz}(\lambda'_{yz}) = 0.522$$

Przyjęto do obliczeń: $\phi = \min(\phi_i) = 0.522$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$\phi N_{Rc} = 0.522 \cdot 7459.2 = 3893.8 \text{ kN} > 7.1 \text{ kN} = N$$

Ścinanie (1.1 %)

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

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,y}=176.3\text{cm}^2$ $A_{v,x}=202.3\text{cm}^2$

Warunek nośności przy ścinaniu:

$$V_{R,y}=0.58 A_{v,y} f_d=0.58 \cdot 176.3 \cdot 205.0=2096.4\text{kN}>24.1\text{kN}$$

$$V_{R,x}=0.58 A_{v,x} f_d=0.58 \cdot 202.3 \cdot 205.0=2405.6\text{kN}>0.0\text{kN}$$

Zginanie (2.0 %)

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

Nośność obliczeniowa przekroju:

$$M_{R,x}=\alpha_p W_x f_d=1.0 \cdot 12894.0 \text{ cm}^3 \cdot 205.0 \text{ MPa}=2643.3\text{kNm}$$

$$M_{R,y}=\alpha_p W_y f_d=1.0 \cdot 1085.3 \text{ cm}^3 \cdot 205.0 \text{ MPa}=222.5\text{kNm}$$

Wsp. zwężenia:

$$\lambda_L=\min\left[1.15\sqrt{\frac{M_R}{M_{cr}}}, 3.0\right]=\min\left[1.15\sqrt{\frac{2643.3}{3253.70}}, 3.0\right]=1.037 \rightarrow \text{Tab. 11} \rightarrow \phi_L(\lambda_L)=0.730$$

Nośność elementu zginanego lub zginanego i rozciąganego (4.5.6):

$$\frac{N_t}{N_{Rt}} + \frac{M_x}{\phi_L M_{Rx}} + \frac{M_y}{M_{Ry}} = \frac{0.0}{8200.0} + \frac{39.4}{0.730 \cdot 2643.3} + \frac{0.0}{222.5} = 0.02 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (1.5 %)

Przekrój: $x/L=0.516$, $L=3.61\text{m}$; Kombinacja: max Mx (1,+3,+4,)

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

$$M_{R,x}=\min(M_{Rx}, M_{Rx,v}, M_{Rx,red})=2643.3\text{kNm}$$

$$M_{R,y}=\min(M_{Ry}, M_{Ry,v}, M_{Ry,red})=222.5\text{kNm}$$

Zredukowane momenty zginające:

$$\beta_x M_{x,max}=1.000 \cdot 27.5=27.5\text{kNm}$$

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

Składnik poprawkowy:

$$\Delta_x=\min\left(0.1, 1.25 \phi_x \lambda_x^2 \frac{\beta_x M_{x,max}}{M_{R,x}} \frac{N}{N_{Rc}}\right)=\min\left(0.1, 1.25 \cdot 1.000 \cdot 0.157^2 \frac{27.5}{2643.3} \frac{2.3}{7459.2}\right)=0.000$$

$$\Delta_y=\min\left(0.1, 1.25 \phi_y \lambda_y^2 \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} \frac{N}{N_{Rc}}\right)=\min\left(0.1, 1.25 \cdot 0.522 \cdot 1.208^2 \frac{0.0}{222.5} \frac{2.3}{7459.2}\right)=0.000$$

Nośność (stateczność) elementów ściskanych i zginanych:

$$\frac{N}{\phi_x N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{2.3}{1.000 \cdot 7459.2} + \frac{27.5}{0.73 \cdot 2643.3} + \frac{0.0}{222.5} = 0.015 < 1.000 = 1.0 - \Delta_x$$

$$\frac{N}{\phi_y N_{Rc}} + \frac{\beta_x M_{x,max}}{\phi_L M_{R,x}} + \frac{\beta_y M_{y,max}}{M_{R,y}} = \frac{2.3}{0.522 \cdot 7459.2} + \frac{0.0}{0.73 \cdot 2643.3} + \frac{0.0}{222.5} = 0.015 < 1.000 = 1.0 - \Delta_y$$

Środek pod obciążeniem skupionym (12.4 %)

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

$$k_c=\min\left[\frac{c_0}{t_w}, \left(15+25\frac{c_0}{h_w}\right)\sqrt{\frac{t_f}{t_w} \frac{215}{f_d}}\right]=\min\left[\frac{50.0}{19.0}, \left(15+25\frac{50.0}{928.0}\right)\sqrt{\frac{36.0}{19.0} \frac{215}{205.0}}\right]=2.632$$

$$k_c \leq 20 \sqrt{\frac{215}{f_d}} = 20.482 \quad (\text{siła może zmienić położenie})$$

Grubość środnika: $t_w = 19.0 \text{ mm}$

Nośność obliczeniowa środnika:

$$P_{Rc} = k_c t_w^2 f_d = 2.632 \cdot (19.0 \text{ mm})^2 \cdot 205.0 \text{ MPa} = 194.8 \text{ kN} > 24.1 \text{ kN}$$

Środnik w złożonym stanie naprężenia (0.5 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=7.00\text{m}$; Kombinacja: $\min Ty (+0, 1, +2, +3, +4,)$

Obc. Środnika: $N_w = 1.0 \text{ kN}$ $M_w = 0.0 \text{ kNm}$ $V = -13.3 \text{ kN}$

Nośność obli. środnika przy ściskaniu i zginaniu: $N_{Rw} = 3288.0 \text{ kN}$ $M_{Rw} = 559.1 \text{ kNm}$

Nośność obli. środnika obc. siłą skupioną: $P_{Rc} = 194.8 \text{ kN}$

$$\left(\frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} + \frac{P}{P_{Rc}} \right)^2 - 3 \phi_p \left(\frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} \right) \frac{P}{P_{Rc}} + \left(\frac{V}{V_R} \right)^2 = R$$

$$R = \left(\frac{1.0}{3288.0} + \frac{0.0}{559.1} + \frac{13.3}{194.8} \right)^2 - 3 \cdot 0.910 \left(\frac{1.0}{3288.0} + \frac{0.0}{559.1} \right) \frac{13.3}{194.8} + \left(\frac{-13.3}{2096.4} \right)^2 = 0.0 < 1.0$$

Ugięcia (0.3 %)

Przekrój: $x/L=0.516$, $L=3.61\text{m}$; Kombinacja: $\text{ext } U (1,3,)$

Przemieszczenie w kierunku Y-Y (płaszczyzna układu): $u_y = 0.1 \text{ mm} < 20.0 \text{ mm} = u_{y, \text{lim}}$.

Przem. w kierunku X-X (prostopadle do pł. układu): $u_x = 0.0 \text{ mm} < 20.0 \text{ mm} = u_{x, \text{lim}}$.