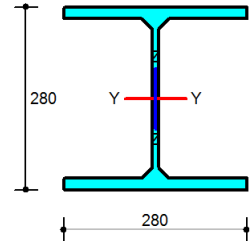


**Pręt nr 61 - Element stalowy wg. EN 1993-1-1:2005+AC:2006****Informacje o elemencie**

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 (S 235)

**Wyniki dla elementu****Całkowite wyężenie elementu: 36%**

Rozciąganie: 0 %

Ściskanie: 27 %

Zginanie: 7 %

Zginanie z siłą podłużną: 31 %

Zginanie ze ściskaniem: 32 %

Ścinanie: 9 %

Środek pod obciążeniem skupionym: 0 %

Smukłość: 0 %

Ugięcia: 36 %

Wyniki w punktach charakterystycznych

Nr	Rzędna	Obwiednia	Warunek	Wyężenie
0	0.000	min Mx	Ściskanie	11.2 %
1	0.000	ext U	Ugięcia	26.7 %
2	0.000	min Ty	Ściskanie	15.7 %
3	0.000	max N	Ściskanie	11.2 %
4	0.000	max Ty	Ściskanie	22.1 %
5	0.000	min N	Ściskanie	26.7 %
6	0.000	max Mx	Ściskanie	11.2 %
7	0.250	min Mx	Zginanie ze ściskaniem	14.0 %
8	0.250	ext U	Ugięcia	29.3 %
9	0.250	min Ty	Zginanie ze ściskaniem	18.5 %
10	0.250	max N	Zginanie ze ściskaniem	14.0 %
11	0.250	max Ty	Zginanie ze ściskaniem	27.9 %
12	0.250	min N	Zginanie ze ściskaniem	32.5 %
13	0.250	max Mx	Zginanie ze ściskaniem	27.9 %
14	0.500	min Mx	Zginanie ze ściskaniem	14.0 %
15	0.500	ext U	Ugięcia	31.6 %
16	0.500	min Ty	Zginanie ze ściskaniem	32.5 %
17	0.500	max N	Zginanie ze ściskaniem	14.0 %

18	0.500	max Ty	Zginanie ze ściskaniem	14.0 %
19	0.500	min N	Zginanie ze ściskaniem	32.5 %
20	0.500	max Mx	Zginanie ze ściskaniem	27.9 %
21	0.750	min Mx	Zginanie ze ściskaniem	13.9 %
22	0.750	ext U	Ugięcia	33.7 %
23	0.750	min Ty	Zginanie ze ściskaniem	32.4 %
24	0.750	max N	Zginanie ze ściskaniem	13.9 %
25	0.750	max Ty	Zginanie ze ściskaniem	13.9 %
26	0.750	min N	Zginanie ze ściskaniem	32.4 %
27	0.750	max Mx	Zginanie ze ściskaniem	27.9 %
28	1.000	min Mx	Ściskanie	11.2 %
29	1.000	ext U	Ugięcia	35.6 %
30	1.000	min Ty	Ściskanie	26.6 %
31	1.000	max N	Ściskanie	11.2 %
32	1.000	max Ty	Ściskanie	11.2 %
33	1.000	min N	Ściskanie	26.6 %
34	1.000	max Mx	Ściskanie	11.2 %

## Wyniki szczegółowe

### Długość wyboczeniowa

Współczynniki długości wyboczeniowej przyjęto na podstawie ENV 1993-1-1:1992 (załącznik E):

– w pł. układu:  $\eta_1=1.000$   $\eta_2=1.000$   $\eta_v=0.000$   $\rightarrow \mu_y=0.997$  oraz  $l_{o,y}=3.0\text{ m}$

– w pł. układu:  $\eta_1=1.000$   $\eta_2=1.000$   $\eta_v=0.000$   $\rightarrow \mu_z=0.997$  oraz  $l_{o,z}=3.0\text{ m}$

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

*Uwaga! Przy obliczaniu współczynnika długości wyboczeniowej założono, że elementy belkowe dochodzące do słupa pracują w zakresie sprężystym oraz są nieznacznie obciążone osiowo.*

### Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E J_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 19270.0 \text{ cm}^4}{(0.997 \cdot 3.0 \text{ m})^2} = 44594.8 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E J_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 6590.0 \text{ cm}^4}{(0.997 \cdot 3.0 \text{ m})^2} = 15250.6 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{14.1^2} \left[ \frac{\pi^2 210000.0 \text{ MPa} \cdot 1130154.8 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 3.0 \text{ m})^2} + 80769.2 \text{ MPa} \cdot 143.2 \text{ cm}^4 \right] = 19029.9 \text{ kN}$$

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

$$R = (15250.6 + 19029.9)^2 - 4 \cdot 15250.6 \cdot 19029.9 (1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 14.050^2) = 14282661.1 \text{ kN}$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(15250.6 + 19029.9) - \sqrt{14282661.1}}{2(1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 14.050^2)} = 15250.6 \text{ kN}$$

**Moment krytyczny**

Moment krytyczny został wyliczony zgodnie z zał. F do ENV 1993-1-1:1992.

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

Współczynniki ze względu na podparcie i obciążenie:  $C_1 = 1.13$ ,  $C_2 = 0.46$ ,  $C_3 = 0.53$

Współrzędna przyłożonego obciążenia względem środka ciężkości:  $z_a = 14.0 \text{ cm}$

Współrzędna środka ścinania:  $z_s = 0.0 \text{ cm}$

$$z_j = z_s - 0.5 \int_A (y^2 + z^2) z dA / J_y = 0.0 + 0.5 \cdot 0.00 = 0.0$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 E J_z / (\mu_{z, M_{cr}} L)^2 = \pi^2 21000.0 \cdot 6590.0 / (1.00 \cdot 300.2)^2 = 15159.3 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = C_1 N_{cr,z} \left\{ \left[ \left( \frac{\mu_{z, M_{cr}}}{\mu_{\omega, M_{cr}}} \right)^2 \frac{J_{\omega}}{J_z} + \frac{G J_t}{N_{cr,z}} + V \right]^{0.5} - V \right\}$$

$$V = C_2 (z_a - z_s) - C_3 z_j = 0.46 (14.0 - 0.0) - 0.53 \cdot 0.0 = 6.43$$

$$M_{cr} = 1e-2 \cdot 1.13 \cdot 15159.3 \left\{ \left[ \left( \frac{1.00}{1.00} \right)^2 \frac{1130154.8}{6590.0} + \frac{8076.9 \cdot 143.2}{15159.3} + 6.43 \right]^{0.5} - 6.43 \right\} = 1815.05 \text{ kNm}$$

**Ściskanie (26.7 %)**

Przekrój:  $x/L = 0.000$ ,  $L = 0.00 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\min N (+0, 1, +K2, +K3, +4, +K5, +K6, +K7, +K8)$

Pole przekroju (klasa 1):  $A = A_{brutto} = 131.0 \text{ cm}^2$

Nośność obliczeniowa przekroju:  $N_{c, Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{131.0 \cdot 23.5}{1.0} = 3078.5 \text{ kN}$

Współczynniki wybocheniowe (Tablica 11):

$$\lambda'_y = \sqrt{N_{c, Rd} / N_{cr,y}} = 3078.5 / 44594.8 = 0.263 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \chi_y(\lambda'_y) = 0.978 \quad (\text{giętno x-x})$$

$$\lambda'_z = \sqrt{N_{c, Rd} / N_{cr,z}} = 3078.5 / 15250.6 = 0.449 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_z(\lambda'_z) = 0.871 \quad (\text{giętno y-y})$$

$$\lambda'_x = \sqrt{N_{Re} / N_{cr,x}} = 3078.5 / 19029.9 = 0.402 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_x(\lambda'_x) = 0.896 \quad (\text{skrętne})$$

$$\lambda'_{zx} = \sqrt{N_{c, Rd} / N_{cr,zx}} = 3078.5 / 15250.6 = 0.449 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_{zx}(\lambda'_{zx}) = 0.871 \quad (\text{giętno-skrętne})$$

Przyjęto do obliczeń:  $\chi = \min(\chi_i) = 0.871$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$N_{b, Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.871 \cdot 131.0 \cdot 23.5}{1.0} = 2681.1 \text{ kN} > 715.4 \text{ kN} = N_{Ed}$$

**Ścinanie (8.9 %)**

Przekrój:  $x/L = 1.000$ ,  $L = 3.00 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\min N (+0, 1, +K2, +K3, +4, +K5, +K6, +K7, +K8)$

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

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

Warunek stateczności:  $h_{w,z} / t_z = 23.2 < 60.0 = 72 \varepsilon / \eta$

Warunek nośności plastycznej:

$$V_{pl, Rd, z} = \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{25.6 \cdot 23.5}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 347.6 \text{ kN} > 30.9 \text{ kN} = V_{Ed, z}$$

**Zginanie (7.4 %)**

Przekrój:  $x/L=0.500$ ,  $L=1.50m$ ; Kombinacja:  $\max M_x (1,+4,+6)$

Zginanie względem osi głównej Y-Y

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

Pas górny - strona lewa:

$$\kappa = b_0/L_e = 140.0/3001.7 = 0.047 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1/(1+6.4\kappa^2) = 1/(1.014) = 0.986$$

$$A_{eff} = \max(A_{c,eff} \beta^\kappa, A_{c,eff} \beta) = \max(2520 \cdot 0.986^{0.047}, 2520 \cdot 0.986) = 2518 \text{mm}^2$$

Pas górny - strona prawa:

$$\kappa = b_0/L_e = 140.0/3001.7 = 0.047 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1/(1+6.4\kappa^2) = 1/(1.014) = 0.986$$

$$A_{eff} = \max(A_{c,eff} \beta^\kappa, A_{c,eff} \beta) = \max(2520 \cdot 0.986^{0.047}, 2520 \cdot 0.986) = 2518 \text{mm}^2$$

Pas dolny - strona lewa:

$$\kappa = b_0/L_e = 140.0/3001.7 = 0.047 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1/(1+6.4\kappa^2) = 1/(1.014) = 0.986$$

$$A_{eff} = \max(A_{c,eff} \beta^\kappa, A_{c,eff} \beta) = \max(2520 \cdot 0.986^{0.047}, 2520 \cdot 0.986) = 2518 \text{mm}^2$$

Pas dolny - strona prawa:

$$\kappa = b_0/L_e = 140.0/3001.7 = 0.047 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1/(1+6.4\kappa^2) = 1/(1.014) = 0.986$$

$$A_{eff} = \max(A_{c,eff} \beta^\kappa, A_{c,eff} \beta) = \max(2520 \cdot 0.986^{0.047}, 2520 \cdot 0.986) = 2518 \text{mm}^2$$

Wsp. zwiczenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[ \sqrt{\frac{W_{eff} f_y}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[ \sqrt{\frac{1349.9 \cdot 23.5 \cdot 1e-2}{1815.05}}, 3.0 \right] = 0.418 \rightarrow \chi_{LT}(\lambda_{LT}, \alpha_{LT}) = 0.993$$

$$\alpha_{LT} = 0.340$$

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

$$M_{b,Rd,x} = \chi_{LT} \frac{W_{eff,x} f_y}{\gamma_{M1}} = 0.993 \frac{1349.9 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 315.0 \text{kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}} = \frac{23.2}{317.2} = 0.07 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 1):

$$M_{c,Rd,z} = M_{eff,Rd,z} = \frac{W_{eff,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{470.6 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 110.6 \text{kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{eff,Rd,z}} = \frac{0.0}{110.6} = 0.00 < 1.0$$

**Zginanie z siłą podłużną (31.0 %)**

Przekrój:  $x/L=0.500$ ,  $L=1.50m$ ; Kombinacja:  $\min N (+0,1,+K2,+K3,+4,+K5,+K6,+K7,+K8)$

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

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

$$\sigma_{x,Ed,eff} = \frac{-714.4}{128.3} - \frac{23.2 \cdot 1e2 + 714.4 \cdot 0.000}{18899.2} 14.0 - \frac{0.0 \cdot 1e2 + 714.4 \cdot 0.000}{6588.1} 14.0 = -7.3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{x,Ed,eff} = |-72.9| < 235.0 = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

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

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

$$\frac{-714.4}{128.3 \cdot 23.5 / 1.0} + \frac{23.2 + (-714.4 \cdot 0.000)}{1349.9 \cdot 10e-6 \cdot 23.5 \cdot 10e4 / 1.0} + \frac{0.0 + (-714.4 \cdot 0.000)}{470.6 \cdot 1e-6 \cdot 23.5 \cdot 1e4 / 1.0} = 0.310 < 1.0$$

### Zginanie ze ściskaniem (32.5 %)

Przekrój:  $x/L=0.250$ ,  $L=0.75m$ ; Kombinacja:  $min N (+0,1,+K2,+K3,+4,+K5,+K6,+K7,+K8)$

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 2, Załącznik B):

$$C_{my} = 0.95 + 0.05 \alpha_h = 0.95 + 0.05 \cdot 0.000 = 0.950$$

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

$$C_{mLT} = C_{my} = 0.950$$

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

$$k_{yy} = \left[ 0.950 \left( 1 + 0.6 \min(0.263, 1) \frac{715.4}{0.978 \cdot 3078.5 / 1.0} \right) \right] = 0.986$$

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

$$k_{zz} = \left[ 1.000 \left( 1 + 0.6 \min(0.449, 1) \frac{715.4}{0.978 \cdot 3078.5 / 1.0} \right) \right] = 1.072$$

$$k_{yz} = k_{zz} = 1.072$$

$$k_{zy} = 0.8 k_{yy} = 0.8 \cdot 0.986 = 0.788$$

Warunki nośności dla elementu zginanego i ściskanego (klasa 1):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{\square} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = 0.31 < 1.0$$

$$\frac{715.4}{0.978 \cdot 3078.5 / 1.0} + 0.986 \frac{23.2 + 0.0}{0.993 \cdot 317.2 / 1.0} + 1.072 \frac{0.000 + 0.000}{110.6 / 1.0} = 0.31 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{\square} \cdot M_{y,Rk} / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk} / \gamma_{M1}} = 0.32 < 1.0$$

$$\frac{715.4}{0.871 \cdot 3078.5 / 1.0} + 0.788 \frac{23.2 + 0.0}{0.993 \cdot 317.2 / 1.0} + 1.072 \frac{0.000 + 0.000}{110.6 / 1.0} = 0.32 < 1.0$$

### Ugięcia (35.6 %)

Przekrój:  $x/L=1.000$ ,  $L=3.00m$ ; Kombinacja:  $ext U (1,4,5,K6,K7)$

Przemieszczenie w płaszczyźnie układu:  $u_z = 30.5 \text{ mm} < 85.7 \text{ mm} = u_{z,lim}$ .

Przemieszczenie prostopadłe do pł. układu:  $u_y = 0.0 \text{ mm} < 8.6 \text{ mm} = u_{y,lim}$ .

Uwaga! Przy obliczaniu ugięć nie wzięto pod uwagę ewentualnego efektu szerokiego pasa.