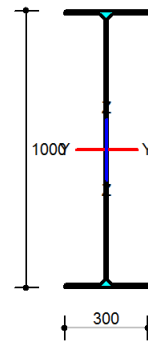


**Pręt nr 0 - Element stalowy wg. EN 1993-1-1:2005+AC:2006****Informacje o elemencie**

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

Węzły: 1 (x=-0.000m, y=0.000m); 0 (x=22.028m, y=-0.000m)

Profil: HEB 1000 (S 235)

**Wyniki dla elementu****Całkowite wyężenie elementu: 140%**

Rozciąganie: 0 %

Ściskanie: 3 %

Zginanie: 45 %

Zginanie z siłą podłużną: 20 %

Zginanie ze ściskaniem: 45 %

Ścinanie: 11 %

Środek pod obciążeniem skupionym: 14 %

Smukłość: 140 %

Ugięcia: 45 %

Wyniki w punktach charakterystycznych

Nr	Rzędna	Obwiednia	Warunek	Wyężenie
0	0.000	min Mx	Smukłość	140.4 %
1	0.000	ext U	Ugięcia	0.0 %
2	0.000	min Ty	Smukłość	140.4 %
3	0.000	max N	Smukłość	140.4 %
4	0.000	max Ty	Smukłość	140.4 %
5	0.000	min N	Smukłość	140.4 %
6	0.000	max Mx	Smukłość	140.4 %
7	0.250	min Mx	Smukłość	140.4 %
8	0.250	ext U	Ugięcia	20.4 %
9	0.250	min Ty	Smukłość	140.4 %
10	0.250	max N	Smukłość	140.4 %
11	0.250	max Ty	Smukłość	140.4 %
12	0.250	min N	Smukłość	140.4 %
13	0.250	max Mx	Smukłość	140.4 %
14	0.500	min Mx	Smukłość	140.4 %
15	0.500	ext U	Ugięcia	45.1 %
16	0.500	min Ty	Smukłość	140.4 %
17	0.500	max N	Smukłość	140.4 %

18	0.500	max Ty	Smukłość	140.4 %
19	0.500	min N	Smukłość	140.4 %
20	0.500	max Mx	Smukłość	140.4 %
21	0.500	min Mx	Smukłość	140.4 %
22	0.500	ext U	Ugięcia	45.1 %
23	0.500	min Ty	Smukłość	140.4 %
24	0.500	max N	Smukłość	140.4 %
25	0.500	max Ty	Smukłość	140.4 %
26	0.500	min N	Smukłość	140.4 %
27	0.500	max Mx	Smukłość	140.4 %
28	0.750	min Mx	Smukłość	140.4 %
29	0.750	ext U	Ugięcia	35.6 %
30	0.750	min Ty	Smukłość	140.4 %
31	0.750	max N	Smukłość	140.4 %
32	0.750	max Ty	Smukłość	140.4 %
33	0.750	min N	Smukłość	140.4 %
34	0.750	max Mx	Smukłość	140.4 %
35	1.000	min Mx	Smukłość	140.4 %
36	1.000	ext U	Ugięcia	0.0 %
37	1.000	min Ty	Smukłość	140.4 %
38	1.000	max N	Smukłość	140.4 %
39	1.000	max Ty	Smukłość	140.4 %
40	1.000	min N	Smukłość	140.4 %
41	1.000	max Mx	Smukłość	140.4 %

## Wyniki szczegółowe

### Rozciąganie (0.2 %)

Przekrój:  $x/L=0.500$ ,  $L=11.01m$ ; Kombinacja: max N (1,+3,)

Pole przekroju:  $A_{brutto}=138.16\text{ cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (6.2.3):

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{138.16 \cdot 23.5}{1.00} = 3246.9\text{kN} > 6.1\text{kN} = N$$

### Długość wyboczeniowa

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

– w pł. układu:  $\eta_1=0.000$   $\eta_2=1.000$   $\eta_v=0.000$   $\rightarrow$   $\mu_y=0.698$  oraz  $l_{o,y}=22.0\text{ m}$

– w pł. układu:  $\eta_1=1.000$   $\eta_2=1.000$   $\eta_v=0.000$   $\rightarrow$   $\mu_z=0.997$  oraz  $l_{o,z}=22.0\text{ m}$

Wyboczenie skrętne:  $\mu_\omega=1.000$  oraz  $l_{o,\omega}=22.0\text{ m}$

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

### Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E J_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0\text{ MPa} \cdot 239833.5\text{ cm}^4}{(0.698 \cdot 22.0\text{ m})^2} = 21026.5\text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E J_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 5410.2 \text{ cm}^4}{(0.997 \cdot 22.0 \text{ m})^2} = 232.5 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{42.1^2} \left[ \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 13177944.0 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 22.0 \text{ m})^2} + 80769.2 \text{ MPa} \cdot 68.9 \text{ cm}^4 \right] = 630.5 \text{ kN}$$

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

$$R = (232.5 + 630.5)^2 - 4 \cdot 232.5 \cdot 630.5 (1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 42.131^2) = 158436.3 \text{ kN}$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(232.5 + 630.5) - \sqrt{158436.3}}{2(1 - 1.000 \cdot -0.0^2 / 42.131^2)} = 232.5 \text{ kN}$$

### Moment krytyczny

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

Wsp. długości wybocheniowej:  $\mu_{z,Mcr} = 1.00$ ,  $\mu_{\omega,Mcr} = 1.00$  (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:  $z_a = 50.0 \text{ cm}$

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

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

$$N_{cr,z} = \pi^2 E J_z / (\mu_{z,Mcr} L)^2 = \pi^2 \cdot 21000.0 \cdot 5410.2 / (1.00 \cdot 800.0)^2 = 1752.1 \text{ kN}$$

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

$$V = C_2 (z_a - z_s) - C_3 z_j = 0.46 (50.0 - 0.0) - 0.53 \cdot 0.0 = 22.95$$

$$M_{cr} = 1e-2 \cdot 1.13 \cdot 1752.1 \left\{ \left[ \left( \frac{1.00}{1.00} \right)^2 \frac{13177944.0}{5410.2} + \frac{8076.9 \cdot 68.9}{1752.1} + 22.95 \right]^{0.5} - 22.95 \right\} = 680.71 \text{ kNm}$$

### Ściskanie (3.0 %)

Przekrój:  $x/L = 1.000$ ,  $L = 22.03 \text{ m}$ ; Kombinacja:  $\min N (+0, 1, +K2, +K3)$

Pole przekroju (klasa 4):  $A = A_{eff} = 131.3 \text{ cm}^2$

Nośność obliczeniowa przekroju:  $N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{131.3 \cdot 23.5}{1.0} = 3085.1 \text{ kN}$

Współczynniki wybocheniowe (Tablica 11):

$$\lambda'_y = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,y}} = 3085.1 / 21026.5 = 0.383 \rightarrow \text{krzywa 'b'} \rightarrow \chi_y(\lambda'_y) = 0.933 \quad (\text{giętno x-x})$$

$$\lambda'_z = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,z}} = 3085.1 / 232.5 = 3.643 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_z(\lambda'_z) = 0.066 \quad (\text{giętno y-y})$$

$$\lambda'_x = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,x}} = 3085.1 / 630.5 = 2.212 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_x(\lambda'_x) = 0.165 \quad (\text{skrętne})$$

$$\lambda'_{zx} = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,zx}} = 3085.1 / 232.5 = 3.643 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_{zx}(\lambda'_{zx}) = 0.066 \quad (\text{giętno-skrętne})$$

Przyjęto do obliczeń:  $\chi = \min(\chi_i) = 0.066$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0.066 \cdot 131.3 \cdot 23.5}{1.0} = 204.6 \text{ kN} > 6.1 \text{ kN} = N_{Ed}$$

### Ścinanie (10.7 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00\text{m}$ ; Kombinacja: max Ty (1,+3,+K4,)

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

Przekrój czynny przy ścinaniu:  $A_{v,z}=58.6\text{cm}^2$

Warunek stateczności:  $h_{w,z}/t_z=162.7>60.0=72 \varepsilon/\eta$

Współczynnik niestateczności:  $\lambda'_{w,z}=1.883 \rightarrow \chi_{w,z}(\lambda'_{w,z})=0.441$  (żebro podatne)

Warunek nośności:  $V_{b,Rd,z} = \frac{\chi_{w,z} A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M1}} = \frac{0.441 \cdot 58.6 \cdot 23.5}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 350.3 \text{ kN} > 37.5 \text{ kN} = V_{Ed,z}$

### Zginanie (45.0 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00\text{m}$ ; Kombinacja: max Ty (1,+3,+K4,)

Zginanie względem osi głównej Y-Y

Wsp. zwiczenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[ \sqrt{\frac{W_{eff} f_y}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[ \sqrt{\frac{4237.4 \cdot 23.5 \cdot 1e-2}{680.71}}, 3.0 \right] = 1.209 \rightarrow \chi_{LT}(\lambda_{LT}, \alpha_{LT}) = 0.451$$

$$\alpha_{LT} = 0.760$$

Nośność obliczeniowa z uwzględnieniem zwiczenia (klasa 4):

$$M_{b,Rd,x} = \chi_{LT} \frac{W_{eff,x} f_y}{\gamma_{M1}} = 0.451 \frac{4237.4 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 449.0 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}} = \frac{201.9}{995.8} = 0.45 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 4):

$$M_{c,Rd,z} = M_{eff,Rd,z} = \frac{W_{eff,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{360.1 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 84.6 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{eff,Rd,z}} = \frac{0.0}{84.6} = 0.00 < 1.0$$

### Zginanie z siłą podłużną (20.3 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00\text{m}$ ; Kombinacja: max Ty (1,+3,+K4,)

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

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

$$\sigma_{x,Ed,eff} = \frac{1.2}{131.3} \frac{201.9 \cdot 1e2 + 1.2 \cdot 0.000}{218395.8} 51.5 - \frac{0.0 \cdot 1e2 + 1.2 \cdot 0.000}{5401.8} 15.0 = -4.8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{x,Ed,eff} = |-47.6| < 235.0 = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

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

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

$$\frac{1.2}{131.3 \cdot 23.5 / 1.0} + \frac{201.9 + 1.2 \cdot 0.000}{4237.4 \cdot 10e-6 \cdot 23.5 \cdot 10e4 / 1.0} + \frac{0.0 + 1.2 \cdot 0.000}{360.1 \cdot 1e-6 \cdot 23.5 \cdot 1e4 / 1.0} = 0.203 < 1.0$$

### Zginanie ze ściskaniem (45.5 %)

Przekrój:  $x/L=0.750$ ,  $L=16.52m$ ; Kombinacja: max  $M_x$  (1,+3,+K4,)

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 1, Załącznik A):

$$C_{my,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 E J_y |\rho_x|}{L^2 |M_{y,Ed(x)}|} - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}$$

$$C_{my,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 \cdot 2.100e+08 \cdot 2.398e-03 \cdot |9.257e-03|}{22.0^2 \cdot |201.9|} - 1 \right) \frac{1.2}{21026.5} = 1.000$$

$$C_{mz,0} = 0.79 + 0.21 \psi_z + 0.36(\psi_z - 0.33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}$$

$$C_{mz,0} = 0.79 + 0.21 \cdot 0.000 + 0.36(0.000 - 0.33) \frac{1.2}{232.5} = 0.789$$

$$C_1 = \sqrt{k_c} = \sqrt{0.910} = 1.208$$

$$\lambda_0 = 1.041 > 0.219 = 0.2 \sqrt{1.208} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{1.2}{232.5}\right) \left(1 - \frac{1.2}{232.5}\right)} = 0.2 \sqrt{C_1} \sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}} = \frac{201.9}{1.2} \frac{131.3}{4237.4} = 512.178$$

$$a_{LT} = \max \left( 1 - \frac{J_T}{J_y}, 0 \right) = \max \left( 1 - \frac{68.9}{239833.5}, 0 \right) = 1.000$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 1.000 \frac{\sqrt{512.178} \cdot 1.000}{1 + \sqrt{512.178} \cdot 1.000} = 1.000$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 0.789$$

$$C_{mLT} = \max \left[ C_{my}^2 a_{LT} \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}}, 1.0 \right]$$

$$C_{mLT} = \max \left[ 1.000^2 \frac{1.000}{\sqrt{\left(1 - \frac{1.2}{232.5}\right) \left(1 - \frac{1.2}{630.5}\right)}}, 1.0 \right] = 1.003$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{1.2}{21026.5}}{1 - \frac{0.933 \cdot 1.2}{21026.5}} = 1.000$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{1.2}{232.5}}{1 - \frac{0.933 \cdot 1.2}{232.5}} = 0.995$$

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1.000 \cdot 1.003 \frac{1.000}{1 - \frac{1.2}{21026.5}} = 1.003$$

$$k_{yz} = C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0.789 \frac{1.000}{1 - \frac{1.2}{232.5}} = 0.794$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1.000 \cdot 1.003 \frac{0.995}{1 - \frac{1.2}{21026.5}} = 0.998$$

$$k_{zz} = C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0.789 \frac{0.995}{1 - \frac{1.2}{232.5}} = 0.790$$

Warunki nośności dla elementu zginanego i ściskanego (klasa 4):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{\square} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.45 < 1.0$$

$$\frac{1.2}{0.933 \cdot 3085.1} + 1.003 \frac{201.9+0.0}{0.451 \cdot 995.8} + 0.794 \frac{0.000+0.000}{84.6} = 0.45 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{\square} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.45 < 1.0$$

$$\frac{1.2}{0.066 \cdot 3085.1} + 0.998 \frac{201.9+0.0}{0.451 \cdot 995.8} + 0.790 \frac{0.000+0.000}{84.6} = 0.45 < 1.0$$

### Środek pod obciążeniem skupionym (14.2 %)

Przekrój:  $x/L=0.000$ ,  $L=0.00m$ ; Kombinacja: max Ty (1,+3,+K4,)

Dane dla najbardziej wyężonego środka [mm]:  $t_w=6.0$  ,  $h_w=976.0$  ,  $t_f=12.0$  ,  
 $b_f=180.0$

Parametr niestateczności:

$$k_F = 6 + 2 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \left( \frac{976.0}{500.0} \right)^2 = 13.621$$

Efektywna szerokość strefy obciążenia:

$$l_y = \min \left[ S_s + 2t_f \left( 1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right), a \right] = \min \left[ 20.0 + 2 \cdot 12.0 \left( 1 + \sqrt{30.0 + 132.3} \right), 500.0 \right] = 349.8 \text{ mm}$$

Efektywny wymiar środka przy obciążeniu skupionym:

$$\lambda'_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{0.9 k_F E t_w^3 / h_w}} = \sqrt{\frac{349.8 \cdot 6.0 \cdot 235.0}{0.9 \cdot 13.621 \cdot 210000.0 \cdot 6.0^3 / 976.0}} = 0.930$$

$$\chi_F = \min \left[ \frac{0.5}{\lambda_F}, 1.0 \right] = \min \left[ \frac{0.5}{0.930}, 1.0 \right] = 0.537$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 0.537 \cdot 349.8 = 188.0 \text{ mm}$$

Nośność obliczeniowa środnika:

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235.0 \cdot 188.0 \cdot 6.0}{1.0} 1e-3 = 265.0 \text{ kN} > 37.5 \text{ kN} = F_{Ed}$$

### **Smukłość (140.4 %) - Warunek przekroczony!!!**

Smukłość w kierunku X-X:  $\lambda_x = 36.9 < 250.0$

Smukłość w kierunku Y-Y:  $\lambda_y = 351.0 > 250.0$

### **Ugięcia (45.1 %)**

Przekrój:  $x/L = 0.500$ ,  $L = 11.01 \text{ m}$ ; Kombinacja: ext U (1,3,K4,)

Przemieszczenie w płaszczyźnie układu:  $u_z = 9.0 \text{ mm} < 20.0 \text{ mm} = u_{z,lim}$ .

Przemieszczenie prostopadłe do pł. układu:  $u_y = 0.0 \text{ mm} < 20.0 \text{ mm} = u_{y,lim}$ .

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