

CHARAKTERYSTYKA OBCIĄŻENIA UKŁADU

Charakterystyka grup obciążeń

Nr	Nazwa	Typ	I/O	Min	Max	Psi d	Ranga	Opis
0	Wymuszenia układu	STALE	AKTYWNE	1.00	1.00	1.00	1	Osiadanie podpór układu.
1	Ciężar własny	STALE	AKTYWNE	1.00	1.00	1.00	1	Obciążenie ciężarem własnym.
2	płyty warstwowe i podwieszany sufit	STALE	AKTYWNE	1.00	1.35	1.00	1	Obciążenia zmienne układu.
3	śnieg	ZMIENNE	AKTYWNE	0.00	1.50	0.00	1	
4	wiatr na sciane parcie	ZMIENNE	AKTYWNE	0.00	1.50	0.00	1	
5	temp lato	ZMIENNE	AKTYWNE	0.00	1.50	0.00	1	
6	temp zima	ZMIENNE	AKTYWNE	0.00	1.50	0.00	1	
7	wiatr dach ssanie	ZMIENNE	AKTYWNE	0.00	1.50	0.00	1	
8	wiatr dach parcie	ZMIENNE	AKTYWNE	0.00	1.50	0.00	1	
9	wiatr na sciane ssanie	ZMIENNE	AKTYWNE	0.00	1.50	0.00	1	
10	obciążenie z reakcji słupa	STALE	AKTYWNE	1.00	1.00	1.00	1	
11	obciążenie osłon ściennych	STALE	AKTYWNE	1.00	1.35	1.00	1	
12	obciążenie użytkowe	ZMIENNE	AKTYWNE	0.00	1.50	0.30	1	

Obc. użytkowe

Współczynniki normowe: $+ \gamma = 1.00$; $\Psi_0 = 1.00$; $\Psi_1 = 1.00$; $\Psi_2 = 1.00$

Parametry obciążenia

Typ: Obc. powierzchniowe

Wartość: 5.000 kN/m^2

Do dalszych obliczeń przyjęto: 5.0 kN/m^2 (Zalecana)

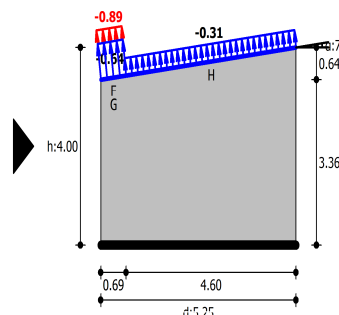
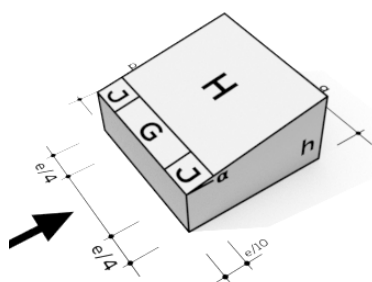
Obciążenie wiatrem- ssanie

Typ: Obciążenie wiatrem

Opis: Dach jednopołaciowy ze spadkiem (pulpitowy), strefa obciążenia F (ssanie)

Współczynniki normowe: $+ \gamma = 1.50$; $\Psi_0 = 0.60$; $\Psi_1 = 0.20$

Widok oraz schemat obciążenia



Oznaczenia

$$h = 4.0m \quad d = 5.25m \quad b = 6.8m \quad e = 6.8m \quad \alpha = 7.0^\circ$$

Parametry obciążenia

Wybrana kategoria: Dach jednopołaciowy ze spadkiem (pulpitowy)

Strefa obciążenia wiatrem: 1

Wysokość n.p.m.: A = 100.0 m

Kategoria terenu: II

Kierunek wiatru: 0

Wartość współczynnika kierunkowego: $c_{dir} = 1.0$

Wartość współczynnika sezonowego: $c_{season} = 1.0$

Wartość współczynnika orografii: $c_o = 1.0$

Wysokość odniesienia przyjęta jako całkowita wysokość budynku.

Wysokość odniesienia: $z_E = 4.0m$

Wartość współczynnika konstrukcyjnego: $c_s c_d = 1.0$

Obliczany element: $A > 10 \text{ m}^2 \rightarrow c_{pe} = -1.54$

Powierzchnia nawietrzna: na najniższą ścianę

Obciążenie charakterystyczne

Przypadek obciążenia: strefa obciążenia F (ssanie)

Podstawowa bazowa prędkość wiatru: $v_{b,0} = 22.00 \text{ m/s}$

Intensywność turbulencji: $I_z = 0.228$

Współczynnik chropowatości: $c_r = 0.856$

Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru: $q_p = (1 + 7 \cdot I_z) \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot (c_r \cdot c_o \cdot c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0})^2$

$$q_p = (1 + 7 \cdot 0.228) \cdot 0.5 \cdot 1.25 \cdot (0.856 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 22.00)^2 = 0.575 \text{ kPa}$$

Wartość oddziaływania: $s = c_s c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p = -0.89 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Do dalszych obliczeń przyjęto: -0.89 kN/m^2 (Zalecana)

Obciążenie sprowadzono do "Obc. liniowe" przyjmując: szerokość = 1.6 m.

Ostatecznie do dalszych obliczeń przyjęto: -1.424 kN/m

Obciążenie wiatrem-parcieObciążenie charakterystyczne

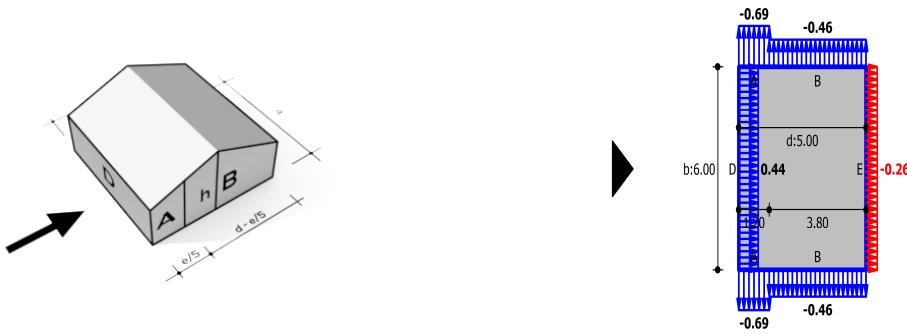
Przypadek obciążenia: strefa obciążenia F (parcie)

Wartość oddziaływania: $s = c_s c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p = 0.02 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Do dalszych obliczeń przyjęto: 0.02 kN/m^2 (Zalecana)

Obciążenie sprowadzono do "Obc. liniowe" przyjmując: szerokość = 1.6 m.

Ostatecznie do dalszych obliczeń przyjęto: 0.032 kN/m



Obciążenie charakterystyczne

Przypadek obciążenia: strefa E (ściana zawietrzna)

Wartość szczytowa ciśnienia prędkości wiatru: $q_p = (1 + 7 \cdot I_v) \cdot 0.5 \cdot \rho \cdot (c_{Te} \cdot c_{De} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0})^2$

$$q_p = (1 + 7 \cdot 0.228) \cdot 0.5 \cdot 1.25 \cdot (0.856 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 1.00 \cdot 22.00)^2 = 0.575 \text{ kPa}$$

Wartość oddziaływania: $s = c_s c_d \cdot c_{pe} \cdot q_p = -0.26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Do dalszych obliczeń przyjęto: -0.26 kN/m² (Zalecana)

Obciążenie sprowadzono do "Obc. liniowe" przyjmując: szerokość = 3.14 m.

Ostatecznie do dalszych obliczeń przyjęto: -0.8164 kN/m

Obciążenie śniegiem

Typ: Obciążenie śniegiem

Opis: Dach jednospadowy

Współczynniki normowe: $+v=1.50$; $\Psi_0=0.50$; $\Psi_1=0.20$; $\Psi_2=0.20$

Widok oraz schemat obciążenia



Oznaczenia

$$\alpha = 7.0^\circ$$

Parametry obciążenia

Wybrana kategoria: Dach jednospadowy

Wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu (wg. tablicy NB.1) dla strefy: 2

$$s_{k1} = 0.9 = 0.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Współczynnik termiczny $\rightarrow C_{te} = 1.0$ (dach o niskim współczynniku przenikania ciepła)

Współczynnik ekspozycji $\rightarrow C_{e1} = 1.0$ (teren: z umiarkowanymi przeszkodami)

Warunki lokalizacyjne: normalne (przypadek A)

Sytuacja obliczeniowa: trwała/przejściowa $\rightarrow C_{esl} = 1.0$

Obciążenie charakterystyczne

Wartość obciążenia charakterystycznego: $s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot C_{esl} \cdot s_k = 0.800 \cdot 1.00 \cdot 1.000 \cdot 1.00 \cdot 0.900 = 0.720 \frac{kN}{m^2}$

Do dalszych obliczeń przyjęto: 0.72 kN/m² (Zalecana)

Obciążenie sprowadzono do "Obc. liniowe" przyjmując: szerokość = 1.6 m.

Ostatecznie do dalszych obliczeń przyjęto: 1.152 kN/m

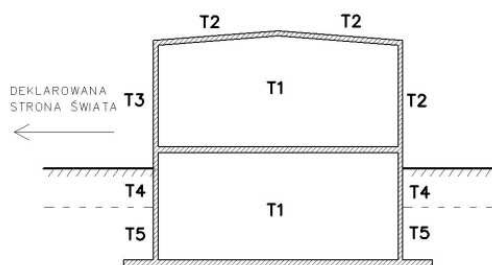
Obciążenie termiczne lato

Typ: Obciążenie termiczne

Opis: Temperatura powietrza, lato, zewnątrz budynku, pozioma powierzchnia (T2)

Współczynniki normowe: $-\gamma=1.00$; $+\gamma=1.35$

Schemat



Parametry obciążenia

Wybrana kategoria: Temperatura powietrza

Temperatura maksymalna (poziomu morza): $T_{max} = 36.0^{\circ}C$

Wysokość n.p.m.: 100.0 m

Temperatura wewnętrzna: $T1 = 20.0^{\circ}C$

Powierzchnia: jasna z połyskiem usytuowana od strony: południowej

Obciążenie charakterystyczne

zewnątrz budynku, pozioma powierzchnia (T2)

Maksymalna temperatura powietrza w cieniu na poziomie usytuowania obiektu:

$$T_{max}(H) = (-0.0053 \cdot H) + T_{max} \cdot p = (-0.0053 \cdot 100.0) + 36.0 \cdot 1.001 = 35.51^{\circ}C$$

Efekt promieniowania słonecznego: $T_x = 18.0^{\circ}C$

Temperatura charakterystyczna: $T = T_{max}(H) + T_x = 53.51^{\circ}C$

Do dalszych obliczeń przyjęto: 53.51 °C (Zalecana)

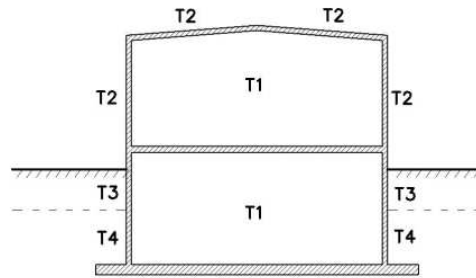
Obciążenie termiczne zima

Typ: Obciążenie termiczne

Opis: Temperatura powietrza, zima, zewnątrz budynku (T2)

Współczynniki normowe: $-\gamma=1.00$; $+\gamma=1.35$

Schemat



Parametry obciążenia

Wybrana kategoria: Temperatura powietrza

Temperatura minimalna (poziomu morza): $T_{\min} = -28.0^{\circ}\text{C}$

Wysokość n.p.m.: 100 m

Temperatura wewnętrzna: $T_1 = 20.0^{\circ}\text{C}$

Obciążenie charakterystyczne

zewnątrze budynku (T2)

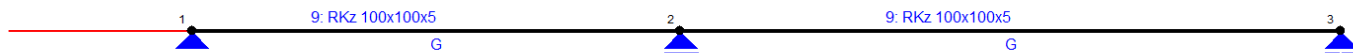
Minimalna temperatura powietrza w cieniu na poziomie usytuowania obiektu:

$$T_{\min}(H) = (-0.0035 \cdot H) + T_{\min} \cdot p = (-0.0035 \cdot 100) + -28.0 \cdot 1.001 = -28.04^{\circ}\text{C}$$

Temperatura charakterystyczna: $T = T_{\min}(H) = -28.04^{\circ}\text{C}$

Do dalszych obliczeń przyjęto: -28.04°C (Zalecana)

Płatew



Współrzędne punktów węzłowych układu

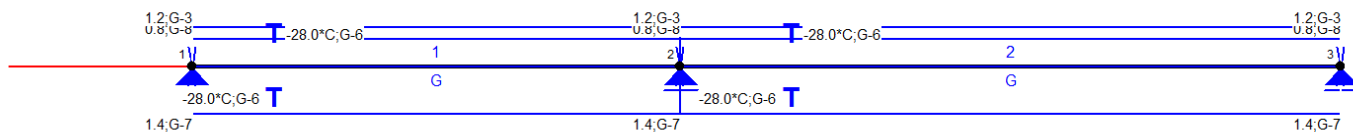
Numer	Wsp. X	Wsp. Y
1	-0.0000	0.0000
2	2.6700	0.0000
3	6.2800	0.0000

Charakterystyka podpór układu

Nr	Węzeł	Typ	Kąt [st]	Podatność x [m/kN]	Podatność y [m/kN]	Podatność kątowa [rad/kNm]
0	2	Przesuwna	0.00	0.0000	0.0000	----
1	1	Nieprzesuwna	0.00	0.0000	0.0000	----
2	3	Przesuwna	0.00	0.0000	0.0000	----

Charakterystyka sił związanych z wszystkimi grupami obciążenia

Nr	Pręt	Typ	Kąt [st]	S1 [m]	S2 [m]	W1 [kN(m)]	W2 [kN(m)]	Tg [K]	Td [K]
0	2	Liniowe X	0.00	0.000	3.610	0.816	0.816	----	----
1	1	Liniowe X	0.00	0.000	2.670	0.816	0.816	----	----
2	2	Liniowe X	0.00	0.000	3.610	0.816	0.816	----	----
3	1	Liniowe X	0.00	0.000	2.670	0.816	0.816	----	----
4	2	Liniowe	0.00	0.000	3.610	-1.424	-1.424	----	----
5	1	Liniowe	0.00	0.000	2.670	-1.424	-1.424	----	----
6	2	Temperatura	----	----	----	----	----	53.51	53.51
7	1	Temperatura	----	----	----	----	----	53.51	53.51
8	2	Temperatura	----	----	----	----	----	-28.04	-28.04
9	1	Temperatura	----	----	----	----	----	-28.04	-28.04
10	2	Liniowe X	0.00	0.000	3.610	1.152	1.152	----	----
11	1	Liniowe X	0.00	0.000	2.670	1.152	1.152	----	----



Uwzględnienie ciężaru własnego

Pręt	Ciężar własny
1	UWZGLĘDNIONO
2	UWZGLĘDNIONO

UWAGA! Obciążenie ciężarem własnym jest automatycznie przypisywane do grupy obciążenia: "Ciężar własny konstrukcji".

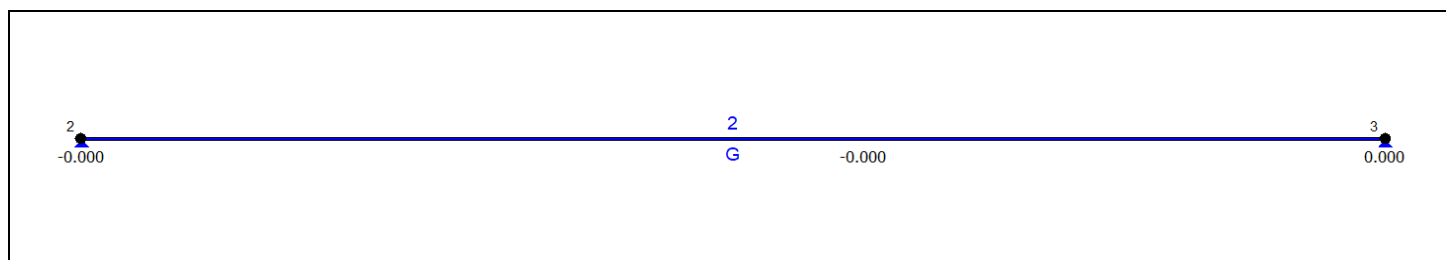
Przekrój - RKz 100x100x5

Nazwa	A [cm ²]	Jx [cm ⁴]	H [mm]	Wxg [cm ³]	Wxd [cm ³]
RKz 100x100x5	18.14	265.69	100.00	-----	-----

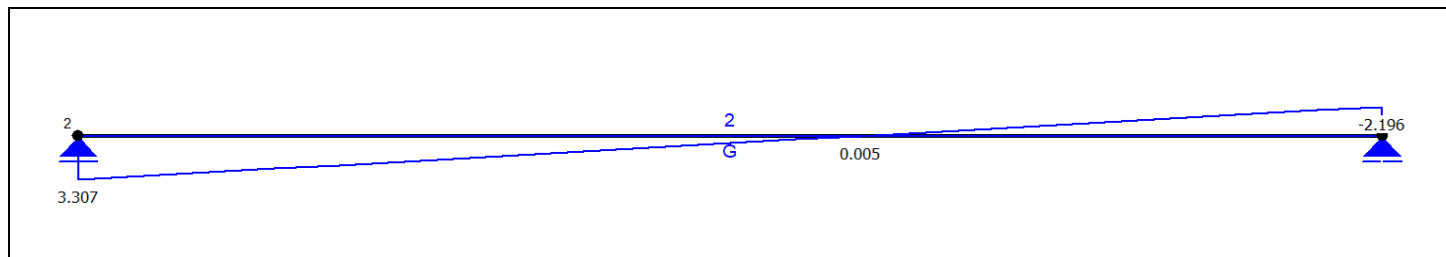
Materiał - S 235

Nazwa	E [kPa]	ro [kg/m ³]	alfa T [m/K]
S 235	210000000.00	7850.00	0.00001200

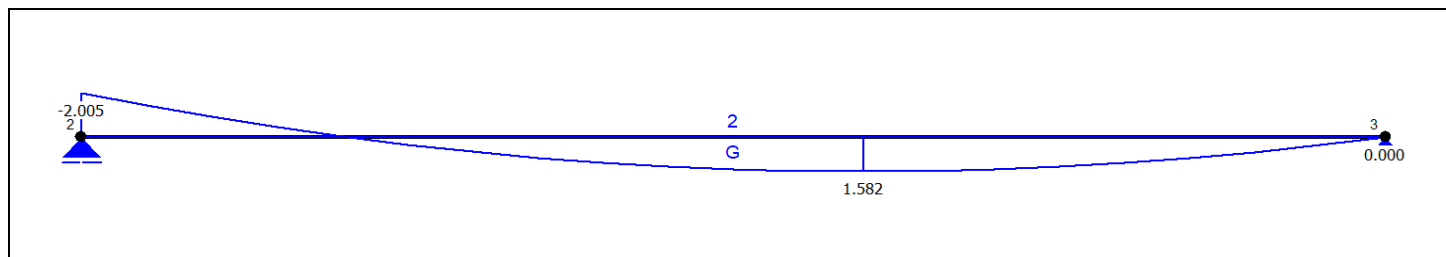
WYKRESY SIŁ PRZEKROJOWYCH-NORMALNE [kN]



WYKRESY SIŁ PRZEKROJOWYCH-TNĄCE [kN]



WYKRESY SIŁ PRZEKROJOWYCH-MOMENTY ZGINAJĄCE [kNm]

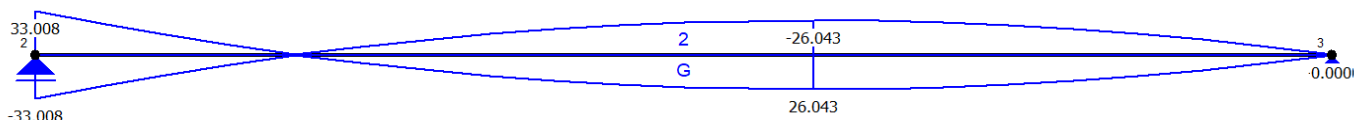


WARTOŚCI SIŁ PRZEKROJOWYCH

Zestawienie tabelaryczne wartości sił przekrojowych w charakterystycznych punktach

Pręt	x/L	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
2	0.000	-0.000	3.307	-2.005
	1.000	0.000	-2.196	0.000
	0.500	-0.000	0.555	1.481

NAPRĘŻENIA NORMALNE



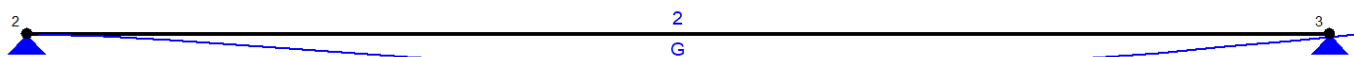
Zestawienie tabelaryczne wartości sił przekrojowych w charakterystycznych punktach

Pręt	x/L	nXg [MPa]	nXd [MPa]
2	0.000	33.008	-33.008
	1.000	-0.000	0.000
	0.500	-24.377	24.377

Tabela reakcji podporowych układu

Numer	Węzeł	Rx [kN]	Ry [kN]	R [kN]	M [kNm]
0	2	0.00	6.09	6.09	0.00
1	1	0.00	1.28	1.28	0.00
2	3	-0.00	2.20	2.20	0.00

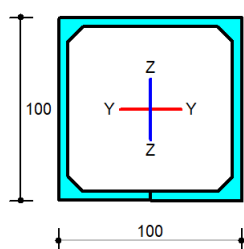
DEFORMACJE UKŁADU



Przemieszczenia punktów charakterystycznych poszczególnych prętów w lokalnych układach współrzędnych

Pręt	x/L	u [cm]	v [cm]	Fi [st]
2	0.000	0.082	0.000	0.052
	1.000	0.192	0.000	-0.160

PŁATEW - Pręt nr 2 [PN-EN 1993-1-1]



Wyniki dla elementu

Całkowite wyężenie elementu: 51%

Rozciąganie: 0 %

Ściskanie: 0 %

Zginanie: 28 %

Zginanie z siłą podłużną: 12 %

Zginanie ze ściskaniem: 28 %

Ścinanie: 7 %

Środek pod obciążeniem skupionym: 9 %

Smukłość: 0 %

Ugięcia: 51 %

Wyniki szczegółowe

Długość wyboczeniowa

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

– w pł. układu: $\eta_x = 1.000$ $\eta_z = 1.000$ $\eta_y = 0.000 \rightarrow \mu_y = 1.000$ oraz $l_{0,y} = 3.6m$

– w pł. układu: $\eta_x = 1.000$ $\eta_z = 1.000$ $\eta_y = 0.000 \rightarrow \mu_z = 1.000$ oraz $l_{0,z} = 3.6m$

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 1.000$ oraz $l_{0,\omega} = 3.6m$

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

Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 MPa \cdot 265.7 cm^4}{(1.000 \cdot 3.6m)^2} = 422.6 kN$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 MPa \cdot 265.7 cm^4}{(1.000 \cdot 3.6m)^2} = 422.6 kN$$

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{5.4^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 210000.0 MPa \cdot 0.0 cm^6}{(1.000 \cdot 3.6m)^2} + 80769.2 MPa \cdot 428.7 cm^4 \right] = 118210.3 kN$$

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

$$R = (422.6 + 118210.3)^2 - 4 \cdot 422.6 \cdot 118210.3 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 5.412^2) = 13873942758.3 kN$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(422.6 + 118210.3) - \sqrt{13873942758.3}}{2(1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 5.412^2)} = 422.6 kN$$

Moment krytyczny

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

Wsp. długości wyboczeniowej: $\mu_z, M_{cr} = 1.00$, $\mu_{\omega, M_{cr}} = 1.00$ (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: $z_a = 5.0 cm$

Współrzędna środka ścinania: $z_s = 0.0 cm$

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

$$N_{cr,z} = \pi^2 E I_z / (\mu_z, M_{cr} L)^2 = \pi^2 \cdot 210000.0 \cdot 265.7 / (1.00 \cdot 361.0)^2 = 422.6 kN$$

$$M_{cr} = C_1 N_{cr,z} \left\{ \left[\left(\frac{\mu_z, M_{cr}}{\mu_{\omega, M_{cr}}} \right)^2 \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{G J_T}{N_{cr,z}} + V \right]^{0.5} - V \right\}$$

$$V = C_2 (z_a - z_s) - C_3 z_j = 0.46(5.0 - 0.0) - 0.53 \cdot 0.0 = 2.30$$

$$M_{cr} = 1e - 2 \cdot 1.13 \cdot 422.6 \left\{ \left[\left(\frac{1.00}{1.00} \right)^2 \frac{0.0}{265.7} + \frac{8076.9 \cdot 428.7}{422.6} + 2.30 \right]^{0.5} - 2.30 \right\} = 422.15 kNm$$

Ścinanie (6.6 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: $\min N (-0, -1, +2, +3, +K4, +K8, +K9, -10, +11, +K12,)$

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,z} = 9.0 cm^2$

Warunek stateczności: $h_{w,z} / t_z = 18.0 < 60.0 = 72 \varepsilon / \eta$

Warunek nośności plastycznej:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{9.0 \cdot 23.5}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 122.1 kN > 8.0 kN = V_{Ed,z}$$

Zginanie (28.3 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: $\min N (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,-10,+11,+K12)$

Zginanie względem osi głównej Y-Y

Wsp. zwiczenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[\sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[\sqrt{\frac{73.3 \cdot 23.5 \cdot 1e-2}{422.15}}, 3.0 \right] = 0.202 \rightarrow \chi_{LT} (\lambda_{LT}, \alpha_{LT}) = 0.998$$

$$\alpha_{LT} = 0.760$$

Nośność obliczeniowa z uwzględnieniem zwiczenia (klasa 1):

$$M_{b,Rd,y} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 0.998 \frac{73.3 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 17.2 kNm$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}} = \frac{4.9}{17.2} = 0.28 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 1):

$$M_{c,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{73.3 \cdot 23.5}{1.0} 1e-2 = 17.2 kNm$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{0.0}{17.2} = 0.00 < 1.0$$

Zginanie z siłą podłużną (12.3 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: $\min N (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,-10,+11,+K12)$

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Y-Y z siłą podłużną

$$n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} = 0.0 / 426.3 = 0.000$$

$$a_y = \min \left[(A - 2A_{bt,y}) / A, 0.5 \right] = \min \left[(18.1 - 2 \cdot 4.5) / 18.1, 0.5 \right] = 0.500$$

$$M_{N,y,Rd} = \min \left[M_{pl,y,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0.5a_y)}, M_{pl,y,Rd} \right] = \min \left[17.2 \frac{(1-0.000)}{(1-0.5 \cdot 0.500)}, 17.2 \right] = 17.2 kNm$$

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Z-Z z siłą podłużną

$$a_z = \min \left[(A - 2A_{bt,z}) / A, 0.5 \right] = \min \left[(18.1 - 2 \cdot 4.5) / 18.1, 0.5 \right] = 0.500$$

$$M_{N,z,Rd} = \min \left[M_{pl,z,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0.5a_z)}, M_{pl,z,Rd} \right] = \min \left[17.2 \frac{(1-0.000)}{(1-0.5 \cdot 0.500)}, 17.2 \right] = 17.2 kNm$$

Warunek nośności (klasa 1 i 2) z uwzględnieniem ew. wpływu siły poprzecznej:

$$\alpha = \min \left[1.66 / (1 - 1.13 n^2), 6.0 \right] = 1.7, \beta = \min \left[1.66 / (1 - 1.13 n^2), 6.0 \right] = 1.7$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{4.9}{17.2} \right]^{1.7} + \left[\frac{0.0}{17.2} \right]^{1.7} = 0.12 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (28.3 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: $\min N (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,-10,+11,+K12)$

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 1, Załącznik A):

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

$$C_{my,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot 2.100e+08 \cdot 2.037e-06 \cdot |7.098e-03|}{3.6^2 \cdot |4.9|} - 1 \right) \frac{0.0}{422.6} = 1.000$$

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

$$C_{mz,0} = 0.79 + 0.21 \cdot 0.000 + 0.36 (0.000 - 0.33) \frac{0.0}{422.6} = 0.790$$

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

$$\chi_0 = 0.212 < 0.220 = 0.2 \sqrt{1.208^4 \left(1 - \frac{0.0}{422.6} \right) \left(1 - \frac{0.0}{422.6} \right)} = 0.2 \sqrt{C_1^4 \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}} \right)}$$

$$C_{my} = C_{my,0} = 1.000$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 0.790$$

$$C_{mLT} = 1.0$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{0.0}{422.6}}{1 - \frac{0.0}{422.6}} = 1.000$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{0.0}{422.6}}{1 - \frac{0.0}{422.6}} = 1.000$$

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_y, \lambda_z) = 1.004$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M1}} = \frac{0.0}{426.3/1.0} = 0.000$$

$$w_y = \max\left[\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}, 1.5\right] = \max\left[\frac{73.3}{52.1}, 1.5\right] = 1.380$$

$$w_z = \max\left[\frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}}, 1.5\right] = \max\left[\frac{73.3}{52.1}, 1.5\right] = 1.380$$

$$a_{LT} = \max\left(1 - \frac{I_x}{I_y}, 0\right) = \max\left(1 - \frac{429.7}{263.7}, 0\right) = 0.000$$

$$b_{LT} = 0.5a_{LT}\lambda_0^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT}M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0.5 \cdot 0.000 \cdot 0.212^2 \frac{4.9}{0.998 \cdot 17.2} \frac{0.000}{17.2} = 0.000$$

$$C_{yy} = \max\left\{1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{\max}^2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{\max}^2\right) n_{pl} - b_{LT} \right], \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \right\}$$

$$C_{yy} = 1 + (1.380 - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.380} 1.000^2 \cdot 1.004 - \frac{1.6}{1.380} 1.000^2 \cdot 1.004^2\right) 0.000 - 0.000 \right]$$

$$C_{yy} = \max\left\{C_{yy}, \frac{52.1}{73.3}\right\} = 1.000$$

$$c_{LT} = 10a_{LT} \frac{\lambda_0^2}{5 + \lambda_0^2} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my}\chi_{LT}M_{pl,y,Rd}}$$

$$c_{LT} = \frac{10 \cdot 0.000 \cdot 0.212^2}{5 + 1.004^4} \frac{4.9}{1.000 \cdot 0.998 \cdot 17.2} = 0.000$$

$$C_{yz} = \max\left\{1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \lambda_{\max}^2}{w_z^2}\right) n_{pl} - c_{LT} \right], 0.6 \sqrt{\frac{W_{el,z}}{w_y W_{pl,z}}}\right\}$$

$$C_{yz} = \max\left\{1 + (1.380 - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{0.790^2 \cdot 1.004^2}{1.380^2}\right) 0.000 - 0.000 \right], 0.6 \sqrt{\frac{1.380 \cdot 52.1}{1.380 \cdot 73.3}}\right\} = 1.000$$

$$d_{LT} = 2a_{LT} \frac{\lambda_0^2}{0.1 + \lambda_0^2} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my}\chi_{LT}M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz}M_{pl,z,Rd}}$$

$$d_{LT} = \frac{2 \cdot 0.000 \cdot 0.212^2}{0.1 + 1.004^4} \frac{4.9}{1.000 \cdot 0.998 \cdot 17.2} \frac{0.000}{0.790 \cdot 17.2} = 0.000$$

$$C_{zy} = \max\left\{1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \lambda_{\max}^2}{w_y^2}\right) n_{pl} - d_{LT} \right], 0.6 \sqrt{\frac{W_{el,y}}{w_z W_{pl,y}}}\right\}$$

$$C_{zy} = \max\left\{1 + (1.380 - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{1.000^2 \cdot 1.004^2}{1.380^2}\right) 0.000 - 0.000 \right], 0.6 \sqrt{\frac{1.380 \cdot 52.1}{1.380 \cdot 73.3}}\right\} = 1.000$$

$$e_{LT} = 1.7a_{LT} \frac{\lambda_0^2}{0.1 + \lambda_0^2} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my}\chi_{LT}M_{pl,y,Rd}} = \frac{1.7 \cdot 0.000 \cdot 0.212^2}{0.1 + 1.004^4} \frac{4.9}{1.000 \cdot 0.998 \cdot 17.2} = 0.000$$

$$C_{zz} = \max\left\{1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} C_{mz}^2 \lambda_{\max}^2 - \frac{1.6}{w_z} C_{mz}^2 \lambda_{\max}^2\right) n_{pl} - e_{LT} \right], \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}} \right\}$$

$$C_{zz} = 1 + (1.380 - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.380} 0.790^2 \cdot 1.004 - \frac{1.6}{1.380} 0.790^2 \cdot 1.004^2\right) 0.000 - 0.000 \right]$$

$$C_{zz} = \max\left\{C_{zz}, \frac{52.1}{73.3}\right\} = 1.000$$

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}} = 1.000 \cdot 1.000 \frac{1.000}{1 - \frac{0.0}{422.6}} \frac{1}{1.000} = 1.000$$

$$k_{yz} = C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0.6 \sqrt{\frac{W_z}{w_y}} = 0.790 \frac{1.000}{1 - \frac{0.0}{422.6}} \frac{1}{1.000} 0.6 \sqrt{\frac{1.380}{1.380}} = 0.474$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0.6 \sqrt{\frac{W_y}{w_z}} = 1.000 \cdot 1.000 \frac{1.000}{1 - \frac{0.0}{422.6}} \frac{1}{1.000} 0.6 \sqrt{\frac{1.380}{1.380}} = 0.600$$

$$k_{zz} = C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{zz}} = 0.790 \frac{1.000}{1 - \frac{0.0}{422.6}} \frac{1}{1.000} = 0.790$$

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

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{yT} N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{yT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.28 < 1.0$$

$$\frac{0.0}{0.682+2.233} + 1.000 \frac{4.9+0.0}{0.000+1.72} + 0.474 \frac{0.000+0.000}{1.2} = 0.28 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{zT} N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{yT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.17 < 1.0$$

$$\frac{0.0}{0.682+2.233} + 0.600 \frac{4.9+0.0}{0.000+1.72} + 0.790 \frac{0.000+0.000}{1.2} = 0.17 < 1.0$$

Środek pod obciążeniem skupionym (9.2 %)

Przekrój: x/L=0.000, L=0.00m; Kombinacja: min N (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,-10,+11,+K12,)

Dane dla najbardziej wytężonego środka [mm]: $t_w = 5.0$, $h_w = 90.0$, $t_f = 5.0$, $b_f = 75.0$

Parametr niestateczności:

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \left(\frac{90.0}{500.0} \right)^2 = 6.065$$

Efektywna szerokość strefy obciążenia:

$$l_y = \min[S_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}), a] = \min[20.0 + 2 \cdot 5.0(1 + \sqrt{15.0 + 0.0}), 500.0] = 68.7 \text{ mm}$$

Efektywny wymiar środka przy obciążeniu skupionym:

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{0.9 k_F E t_w^3 / h_w}} = \sqrt{\frac{68.7 \cdot 5.0 \cdot 235.0}{0.9 \cdot 6.065 \cdot 210000.0 \cdot 5.0^3 / 90.0}} = 0.225$$

$$\chi_F = \min \left[\frac{0.5}{\bar{\lambda}_F}, 1.0 \right] = \min \left[\frac{0.5}{0.225}, 1.0 \right] = 1.000$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1.000 \cdot 68.7 = 68.7 \text{ mm}$$

Nośność obliczeniowa środka:

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235.0 \cdot 68.7 \cdot 5.0}{1.0} 1e-3 = 80.8 \text{ kN} > 7.4 \text{ kN} = F_{Ed}$$

Ugięcia (51.5 %)

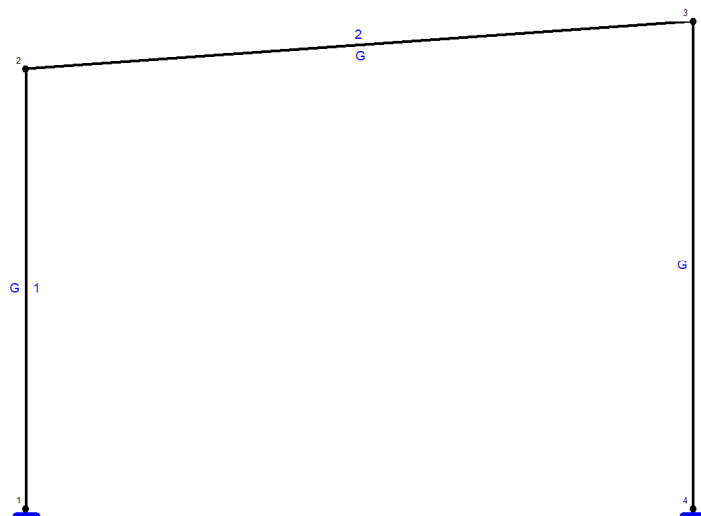
Przekrój: x/L=0.500, L=1.81m; Kombinacja: ext U (0,1,2,3,K8,10,11,)

Przemieszczenie w płaszczyźnie układu: $u_z = |5.3| \text{ mm} < 10.3 \text{ mm} = u_{z,lim}$.

Przemieszczenie prostopadłe do pł. układu: $u_y = |0.0| \text{ mm} < 10.3 \text{ mm} = u_{y,lim}$.

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

Rama bez słupa pośredniego



Współrzędne punktów węzłowych układu

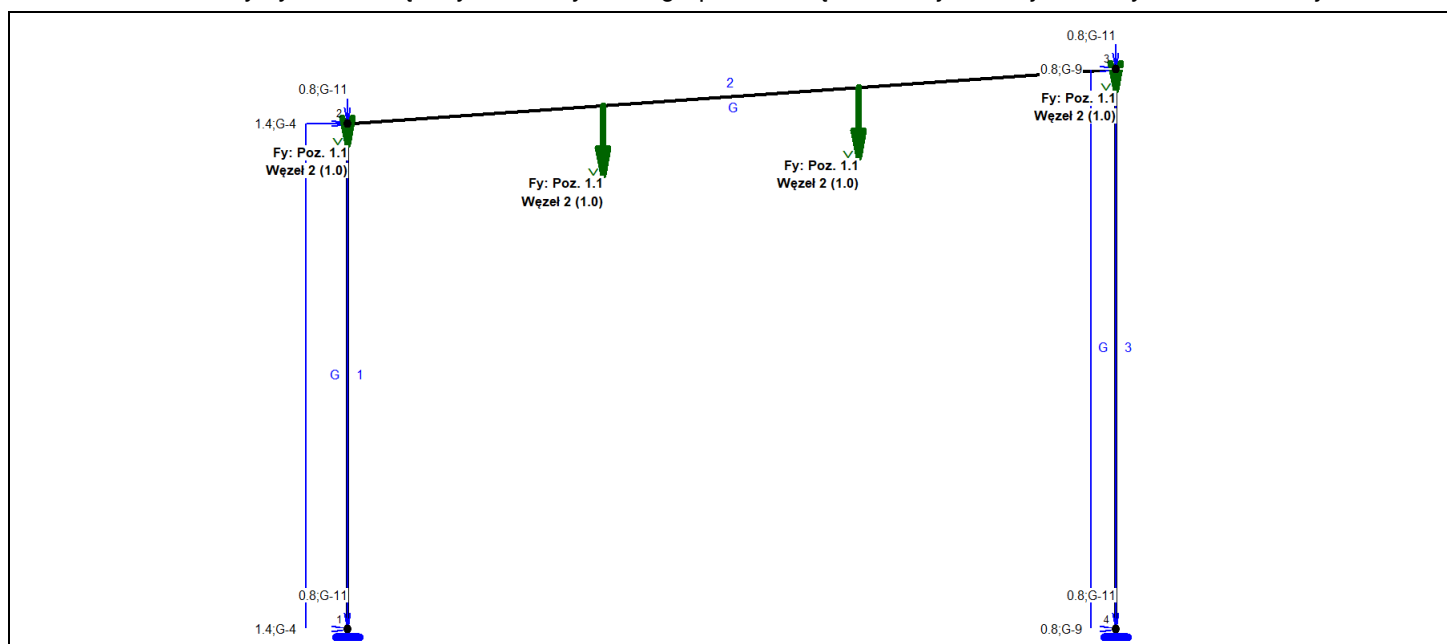
Numer	Wsp. X	Wsp. Y
1	0.0000	0.0000
2	0.0000	3.1600
3	4.8000	3.5000
4	4.8000	0.0000

Charakterystyka podpór układu

Nr	Węzeł	Typ	Kąt [st]	Podatność x [m/kN]	Podatność y [m/kN]	Podatność kątowa [rad/kNm]
0	4	Utwierdzenie	0.00	0.0000	0.0000	0.0000
1	1	Utwierdzenie	0.00	0.0000	0.0000	0.0000

Informacje związane z wymuszeniami podpór układu

Charakterystyka sił związanych z wszystkimi grupami obciążenia- najbardziej niekorzystna kombinacja



Nr	Pręt	Typ	Kąt [st]	S1 [m]	S2 [m]	W1 [kN(m)]	W2 [kN(m)]	Tg [K]	Td [K]
0	2	Reakcja podpory płatwi	0.00	3.200	----	----	----	----	----
1	2	Reakcja podpory płatwi	0.00	1.602	----	----	----	----	----
2	3	wiatr	270.00	0.000	3.500	-0.816	-0.816	----	----
3	1	wiatr Y	270.00	0.000	3.160	1.382	1.382	----	----
4	1	Ciężar osłon ściennych	0.00	0.000	3.160	0.820	0.820	----	----
5	3	Ciężar osłon ściennych	0.00	0.000	3.500	0.820	0.820	----	----
6	1	Reakcja podpory płatwi	0.00	0.000	----	----	----	----	----
7	3	Reakcja podpory płatwi	0.00	0.000	----	----	----	----	----

Uwzględnienie ciężaru własnego

Pręt	Ciężar własny
1	UWZGLĘDNIONO
2	UWZGLĘDNIONO
3	UWZGLĘDNIONO

CHARAKTERYSTYKA ZASTOSOWANYCH PROFILI

PROFIL NR 7 - rygiel

Przekrój - RPz 160x120x5

Nazwa	A [cm ²]	Jx [cm ⁴]	H [mm]	Wxg [cm ³]	Wxd [cm ³]
RPz 160x120x5	26.36	962.02	160.00	-----	-----

Materiał - S 235

Nazwa	E [kPa]	ro [kg/m ³]	alfa T [m/K]
S 235	210000000.00	7850.00	0.00001200

PROFIL NR 10 - słupy

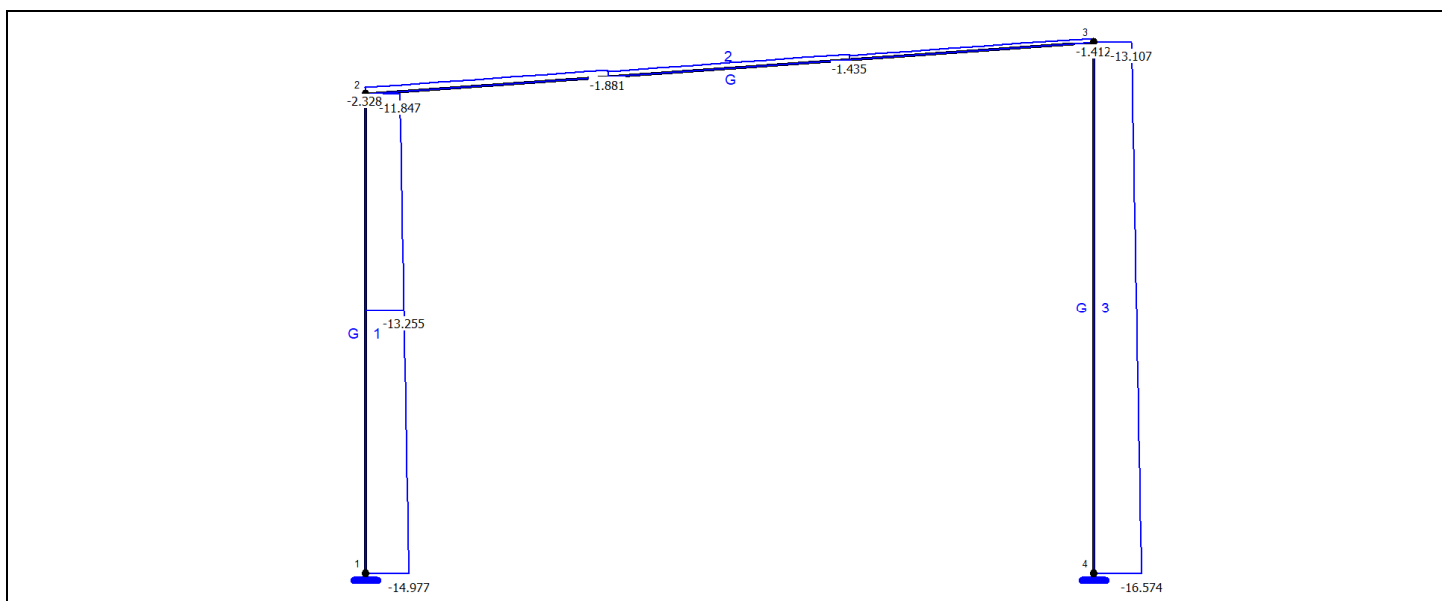
Przekrój - RKz 120x120x5

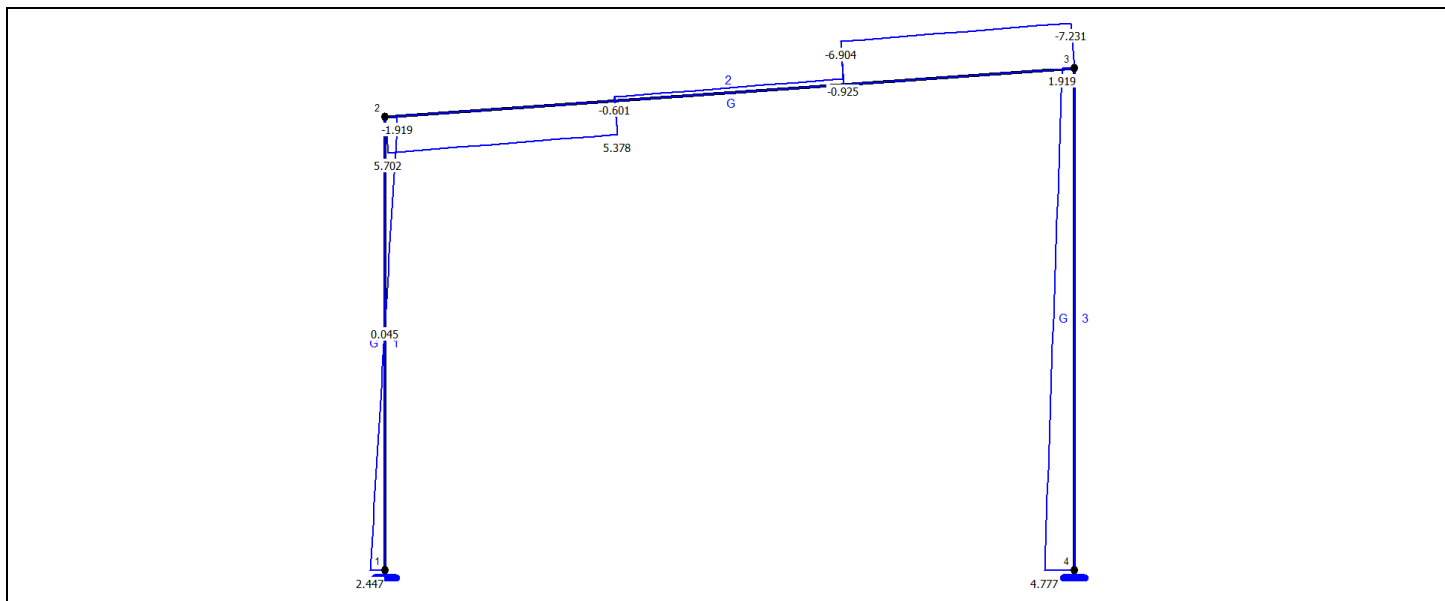
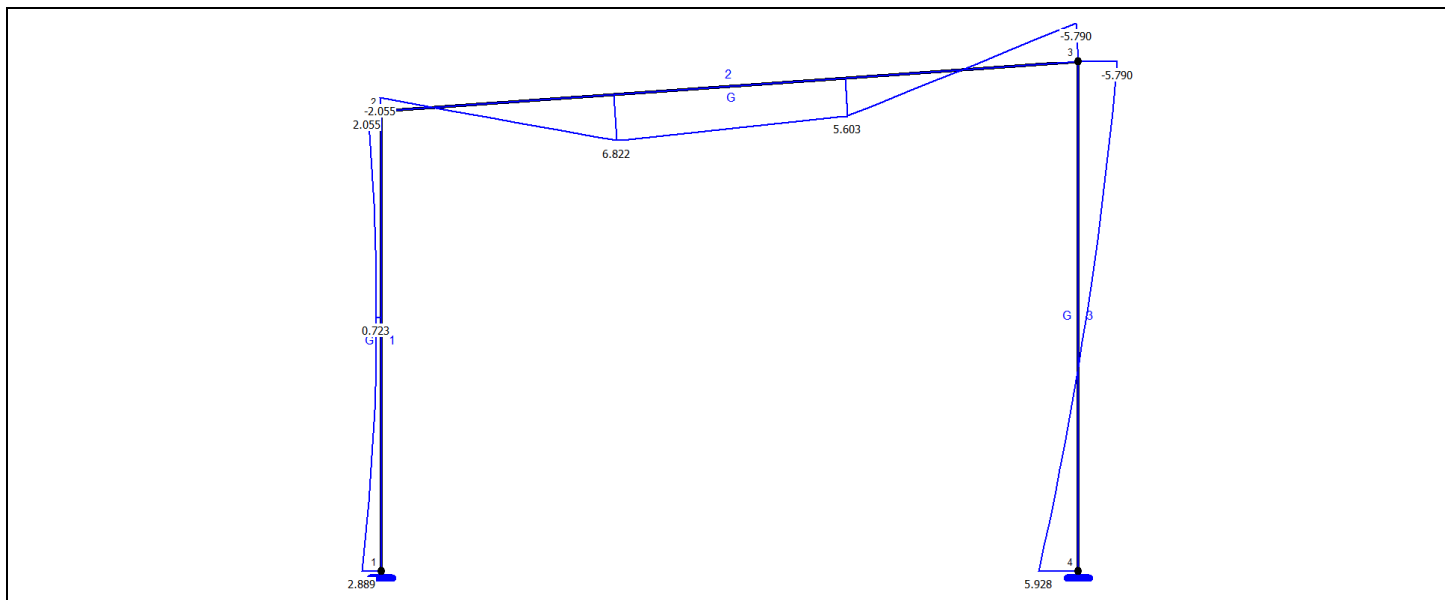
Nazwa	A [cm ²]	Jx [cm ⁴]	H [mm]	Wxg [cm ³]	Wxd [cm ³]
RKz 120x120x5	22.14	477.69	120.00	-----	-----

Materiał - S 235

Nazwa	E [kPa]	ro [kg/m ³]	alfa T [m/K]
S 235	210000000.00	7850.00	0.00001200

WYKRESY SIŁ PRZEKROJOWYCH-NORMALNE [kN]

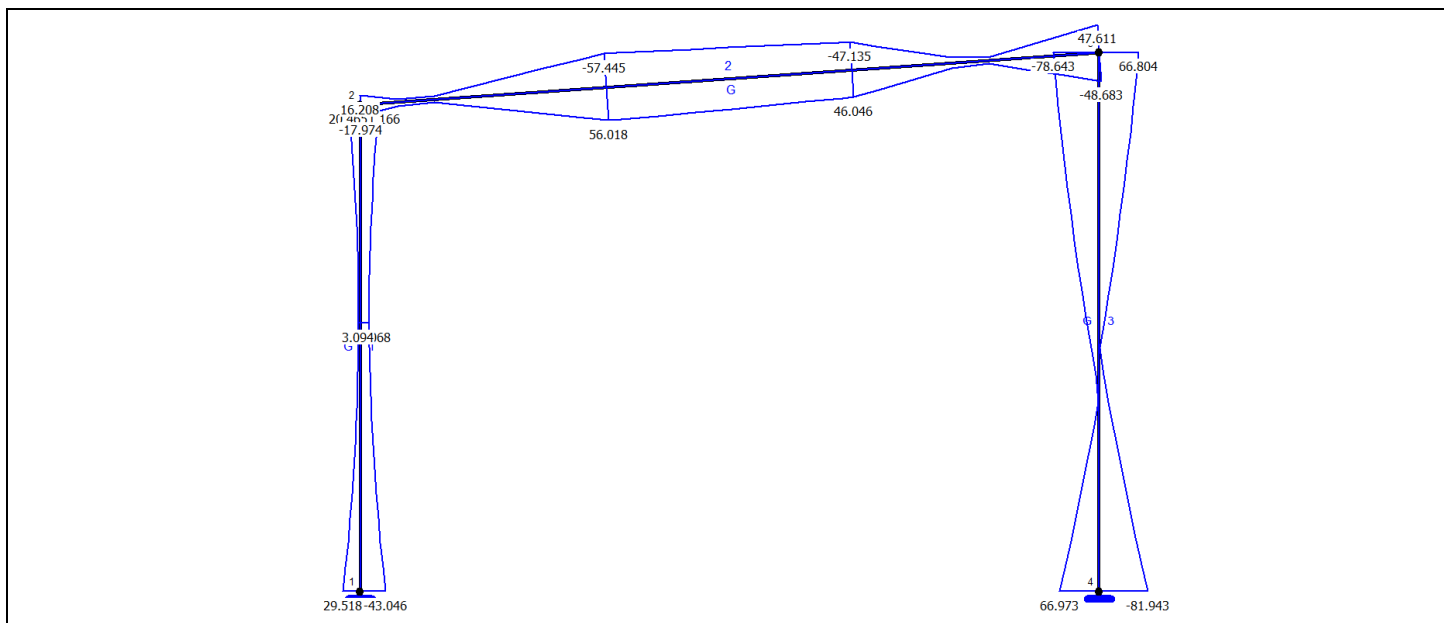


WYKRESY SIŁ PRZEKROJOWYCH-TNĄCE [kN]**WYKRESY SIŁ PRZEKROJOWYCH-MOMENTY ZGINAJĄCE [kNm]****WARTOŚCI SIŁ PRZEKROJOWYCH**

Zestawienie tabelaryczne wartości sił przekrojowych w charakterystycznych punktach

Pręt	x/L	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
1	0.000	-11.847	-1.919	2.055
	1.000	-14.977	2.447	2.889
	0.500	-13.412	0.264	0.747
2	0.000	-2.328	5.702	-2.055
	0.333	-2.305	5.378	6.822
	0.333	-1.881	-0.601	6.822
	0.665	-1.859	-0.925	5.603
	0.665	-1.435	-6.904	5.603
	1.000	-1.412	-7.231	-5.790
3	0.000	-13.107	1.919	-5.790
	1.000	-16.574	4.777	5.928

NAPREŻENIA NORMALNE



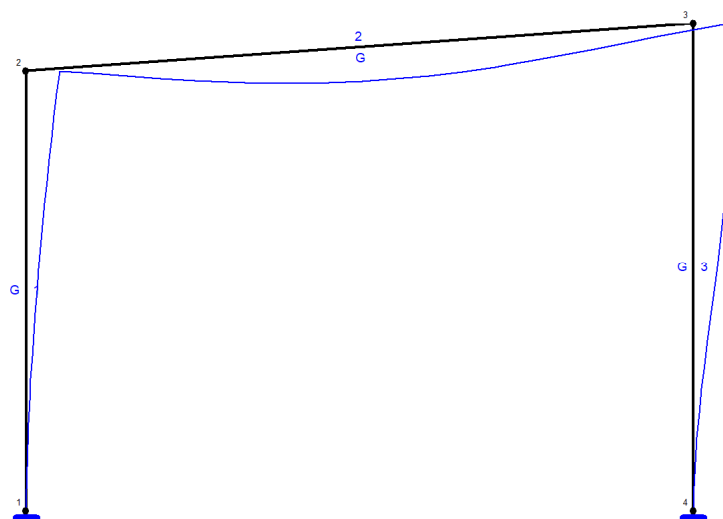
Zestawienie tabelaryczne wartości sił przekrojowych w charakterystycznych punktach

Pręt	x/L	nXg [MPa]	nXd [MPa]
1	0.000	-31.166	20.465
	1.000	-43.046	29.518
	0.500	-15.445	3.330
2	0.000	16.208	-17.974
	0.333	-57.604	55.855
	0.333	-57.445	56.018
	0.665	-47.298	45.888
	0.665	-47.135	46.046
	1.000	47.611	-48.683
3	0.000	66.804	-78.643
	1.000	-81.943	66.973

Tabela reakcji podporowych układu

Numer	Węzeł	Rx [kN]	Ry [kN]	R [kN]	M [kNm]
0	4	-4.78	16.57	17.25	-5.93
1	1	-2.45	14.98	15.18	-2.89

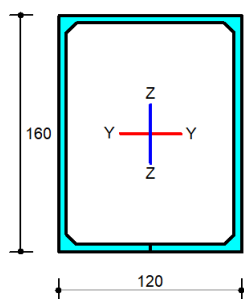
DEFORMACJE UKŁADU



Premieszczenia punktów charakterystycznych poszczególnych prętów w lokalnych układach współrzędnych

Pręt	x/L	u [cm]	v [cm]	Fi [st]
1	0.000	0.009	-0.727	0.239
	1.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.725	0.060	0.239
	0.333	0.724	0.668	0.128
	0.665	0.724	0.618	-0.155
	1.000	0.723	0.062	-0.153
	1.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.011	-0.726	-0.153
	1.000	0.000	0.000	0.000

RYGIEL - PRĘT NR 2 [PN-EN 1993-1-1]



Wyniki dla elementu

Całkowite wyężenie elementu: 87%

Rozciąganie: 0 %
 Ściskanie: 2 %
 Zginanie: 42 %
 Zginanie z siłą podłużną: 24 %
 Zginanie ze ściskaniem: 43 %
 Ścinanie: 8 %
 Środek pod obciążeniem skupionym: 0 %
 Smukłość: 0 %
 Ugięcia: 87 %

Wyniki szczegółowe

Rozciąganie (0.4 %)

Przekrój: $x/L=0.333$, $L=1.60m$; Kombinacja: $\max N (+0,+1,-2,+7,+K9,+10,-11,)$

Pole przekroju: $A_{brutto} = 26.36 \text{ cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (6.2.3):

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26.36 \cdot 23.5}{1.00} = 619.4 \text{ kN} > 2.2 \text{ kN} = N$$

Długość wyboczeniowa

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

– w pł. układu: $\eta_1 = 0.398$ $\eta_2 = 0.423$ $\eta_y = 0.000 \rightarrow \mu_y = 0.641$ oraz $l_{0,y} = 4.8m$

– w pł. układu: $\eta_1 = 1.000$ $\eta_2 = 1.000$ $\eta_y = 0.000 \rightarrow \mu_z = 1.000$ oraz $l_{0,z} = 4.8m$

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 1.000$ oraz $l_{0,\omega} = 4.8m$

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

Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 962.0 \text{ cm}^4}{(0.641 \cdot 4.8m)^2} = 2095.5 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 617.8 \text{ cm}^4}{(1.000 \cdot 4.8m)^2} = 553.0 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{7.7^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 8.0 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 4.8m)^2} + 80769.2 \text{ MPa} \cdot 1176.8 \text{ cm}^4 \right] = 158567.3 \text{ kN}$$

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

$$R = (553.0 + 158567.3)^2 - 4 \cdot 553.0 \cdot 158567.3 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 7.742^2) = 24968513462.6 \text{ kN}$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(553.0 + 158567.3) - \sqrt{24968513462.6}}{2(1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 7.742^2)} = 553.0 \text{ kN}$$

Moment krytyczny

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

Wsp. długości wyboczeniowej: $\mu_{z,Mcrr} = 1.00$, $\mu_{\omega,Mcrr} = 1.00$ (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: $z_a = 8.0 \text{ cm}$

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

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

$$N_{cr,z} = \pi^2 E I_z / (\mu_{z,Mcrr} L)^2 = \pi^2 \cdot 210000.0 \cdot 617.8 / (1.00 \cdot 481.2)^2 = 553.0 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = C_1 N_{cr,z} \left\{ \left[\left(\frac{\mu_{z,Mcrr}}{\mu_{\omega,Mcrr}} \right)^2 \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{G J_T}{N_{cr,z}} + V \right]^{0.5} - V \right\}$$

$$V = C_2 (z_a - z_s) - C_3 z_j = 0.46(8.0 - 0.0) - 0.53 \cdot 0.0 = 3.67$$

$$M_{cr} = 1e - 2 \cdot 1.13 \cdot 553.0 \left\{ \left[\left(\frac{1.00}{1.00} \right)^2 \frac{0.0}{617.8} + \frac{8076.9 \cdot 1176.8}{553.0} + 3.67 \right]^{0.5} - 3.67 \right\} = 798.02 \text{ kNm}$$

Ściskanie (1.6 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: $\min N (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,-10,+11,)$

Pole przekroju (klasa 1): $A = A_{brutto} = 26.4 \text{ cm}^2$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{26.4 \cdot 23.5}{1.0} = 619.4 \text{ kN}$

Współczynniki wyboczeniowe (Tablica 11):

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,y}} = 619.4 / 2095.5 = 0.544 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \chi_y(\bar{\lambda}_y) = 0.910 \text{ (giętne x-x)}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{N_{c,Rd} / N_{cr,z}} = 619.4 / 553.0 = 1.058 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \chi_z(\bar{\lambda}_z) = 0.625 \text{ (giętne y-y)}$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{N_{Ed}/N_{cr,x}} = 619.4/158567.3 = 0.062 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_x(\bar{\lambda}_x) = 1.000 \text{ (skrętnie)}$$

$$\bar{\lambda}_{ex} = \sqrt{N_{Ed}/N_{cr,ex}} = 619.4/553.0 = 1.058 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \chi_{ex}(\bar{\lambda}_{ex}) = 0.625 \text{ (giętno-skrętnie)}$$

Przyjęto do obliczeń: $\chi = \min(\chi_i) = 0.625$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_f}{\gamma_{M1}} = \frac{0.625 \cdot 26.4 \cdot 23.5}{1.0} = 387.0 \text{ kN} > 6.1 \text{ kN} = N_{Ed}$$

Ścinanie (7.9 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=4.81\text{m}$; Kombinacja: $\min Ty (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,-10,-11,)$

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,z} = 15.0 \text{ cm}^2$

Warunek stateczności: $h_{w,z}/t_z = 30.0 < 60.0 = 72 \varepsilon/\eta$

Warunek nośności plastycznej:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M2}} = \frac{15.0 \cdot 23.5}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 203.5 \text{ kN} > 16.0 \text{ kN} = V_{Ed,z}$$

Ścinanie po kierunku osi głównej Y-Y

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,y} = 11.0 \text{ cm}^2$

Warunek stateczności: $h_{w,y}/t_y = 22.0 < 60.0 = 72 \varepsilon/\eta$

Warunek nośności plastycznej:

$$V_{pl,Rd,y} = \frac{A_{v,y} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M2}} = \frac{11.0 \cdot 23.5}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 149.2 \text{ kN} > 0.0 \text{ kN} = V_{Ed,y}$$

Zginanie (42.3 %)

Przekrój: $x/L=0.333$, $L=1.60\text{m}$; Kombinacja: $\max Mx (+0,+1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,+10,-11,)$

Zginanie względem osi głównej Y-Y

Wsp. zwichrzenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[\sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[\sqrt{\frac{156.4 \cdot 23.5 \cdot 10^{-2}}{799.02}}, 3.0 \right] = 0.215 \rightarrow \chi_{LT}(\lambda_{LT}, \alpha_{LT}) = 0.989$$

$$\alpha_{LT} = 0.760$$

Nośność obliczeniowa z uwzględnieniem zwichrzenia (klasa 1):

$$M_{b,Rd,y} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 0.989 \frac{156.4 \cdot 23.5}{1.0} 10^{-2} = 36.3 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}} = \frac{15.4}{36.3} = 0.42 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 1):

$$M_{c,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{126.7 \cdot 23.5}{1.0} 10^{-2} = 29.8 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{0.0}{29.8} = 0.00 < 1.0$$

Zginanie z siłą podłużną (23.5 %)

Przekrój: $x/L=0.333$, $L=1.60\text{m}$; Kombinacja: $\max Mx (+0,+1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,+10,-11,)$

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Y-Y z siłą podłużną

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 4.4/619.4 = 0.007$$

$$a_y = \min \left[\left(\frac{A - 2A_{bt,y}}{A} \right), 0.5 \right] = \min \left[\left(\frac{26.4 - 2 \cdot 5.5}{26.4} \right), 0.5 \right] = 0.500$$

$$M_{N,y,Rd} = \min \left[M_{pl,y,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0.5a_y)}, M_{pl,y,Rd} \right] = \min \left[36.7 \frac{(1-0.007)}{(1-0.5 \cdot 0.500)}, 36.7 \right] = 36.7 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Z-Z z siłą podłużną

$$a_z = \min \left[\left(\frac{A - 2A_{bt,z}}{A} \right), 0.5 \right] = \min \left[\left(\frac{26.4 - 2 \cdot 7.5}{26.4} \right), 0.5 \right] = 0.431$$

$$M_{N,z,Rd} = \min \left[M_{pl,z,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0.5a_z)}, M_{pl,z,Rd} \right] = \min \left[29.8 \frac{(1-0.007)}{(1-0.5 \cdot 0.431)}, 29.8 \right] = 29.8 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (klasa 1 i 2) z uwzględnieniem ew. wpływu siły poprzecznej:

$$\alpha = \min \left[1.66 / (1 - 1.13 n^2), 6.0 \right] = 1.7, \beta = \min \left[1.66 / (1 - 1.13 n^2), 6.0 \right] = 1.7$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Ed}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Ed}} \right]^\beta = \left[\frac{15.4}{120.3} \right]^{1.7} + \left[\frac{0.0}{29.3} \right]^{1.7} = 0.24 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (43.5 %)

Przekrój: $x/L=0.333$, $L=1.60m$; Kombinacja: $\max M_x (+0,+1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,+10,-11,)$

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 1, Załącznik A):

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

$$C_{my,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot 2.100e+08 \cdot 9.620e-06 \cdot |1.609e-02|}{4.82^2 \cdot |15.4|} - 1 \right) \frac{5.4}{2095.5} = 1.000$$

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

$$C_{mz,0} = 0.79 + 0.21 \cdot 0.000 + 0.36 (0.000 - 0.33) \frac{5.4}{552.0} = 0.789$$

$$C_1 = \sqrt{k_z} = \sqrt{0.900} = 1.235$$

$$\bar{\lambda}_0 = 0.225 > 0.221 = 0.2 \sqrt{1.235^4 \sqrt{\left(1 - \frac{5.4}{552.0}\right) \left(1 - \frac{5.4}{552.0}\right)}} = 0.2 \sqrt{C_1^4 \sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)}}$$

$$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed} \cdot A}{N_{Ed} \cdot W_{el,y}} = \frac{15.4 \cdot 26.4}{5.4 \cdot 120.3} = 62.081$$

$$a_{LT} = \max \left(1 - \frac{l_T}{l_y}, 0 \right) = \max \left(1 - \frac{1176.8}{982.0}, 0 \right) = 0.000$$

$$C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}} = 1.000 \frac{\sqrt{62.081} \cdot 0.000}{1 + \sqrt{62.081} \cdot 0.000} = 1.000$$

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

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

$$C_{mLT} = \max \left[1.000^2 \frac{0.000}{\sqrt{\left(1 - \frac{5.4}{552.0}\right) \left(1 - \frac{5.4}{2095.5}\right)}}, 1.0 \right] = 1.000$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{5.4}{2095.5}}{1 - \frac{0.910 \cdot 5.4}{2095.5}} = 1.000$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{5.4}{552.0}}{1 - \frac{0.910 \cdot 5.4}{552.0}} = 0.996$$

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_y, \lambda_z) = 1.058$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} \gamma_{M1}} = \frac{5.4}{619.4/1.0} = 0.009$$

$$w_y = \max \left[\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}, 1.5 \right] = \max \left[\frac{156.4}{120.3}, 1.5 \right] = 1.300$$

$$w_z = \max \left[\frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}}, 1.5 \right] = \max \left[\frac{126.7}{102.0}, 1.5 \right] = 1.231$$

$$a_{LT} = \max \left(1 - \frac{l_T}{l_y}, 0 \right) = \max \left(1 - \frac{1176.8}{982.0}, 0 \right) = 0.000$$

$$b_{LT} = 0.5 a_{LT} \bar{\lambda}_0^2 \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{pl,y,Ed}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Ed}} = 0.5 \cdot 0.000 \cdot 0.225^2 \frac{15.4}{0.999 \cdot 126.7} \frac{0.000}{29.3} = 0.000$$

$$C_{yy} = \max \left\{ 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{\max} - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{\max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right], \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}} \right\}$$

$$C_{yy} = 1 + (1.300 - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.300} 1.000^2 \cdot 1.058 - \frac{1.6}{1.300} 1.000^2 \cdot 1.058^2 \right) 0.009 - 0.000 \right]$$

$$C_{yy} = \max \left\{ C_{yy}, \frac{120.3}{156.4} \right\} = 0.998$$

$$c_{LT} = 10 a_{LT} \frac{\lambda_2^2}{5 + \lambda_2^2} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$$

$$c_{LT} = \frac{10 \cdot 0.000 \cdot 0.225^2}{5 + 1.058^4} \frac{15.4}{1.000 \cdot 0.999 \cdot 26.7} = 0.000$$

$$C_{yz} = \max \left\{ 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \lambda_{max}^2}{w_z^2} \right) n_{pl} - c_{LT} \right], 0.6 \sqrt{\frac{W_{z,Ed}}{W_{y,Ed}}} \sqrt{\frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}}} \right\}$$

$$C_{yz} = \max \left\{ 1 + (1.231 - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{0.789^2 \cdot 1.058^2}{1.231^2} \right) 0.009 - 0.000 \right], 0.6 \sqrt{\frac{1.231 \cdot 103.0}{1.300 \cdot 126.7}} \right\} = 0.997$$

$$d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\lambda_2^2}{0.1 + \lambda_2^2} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}$$

$$d_{LT} = \frac{2 \cdot 0.000 \cdot 0.225^2}{0.1 + 1.058^4} \frac{15.4}{1.000 \cdot 0.999 \cdot 26.7} \frac{0.000}{0.789 \cdot 29.9} = 0.000$$

$$C_{zy} = \max \left\{ 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \lambda_{max}^2}{w_y^2} \right) n_{pl} - d_{LT} \right], 0.6 \sqrt{\frac{W_{y,Ed}}{W_{z,Ed}}} \sqrt{\frac{W_{pl,y}}{W_{pl,z}}} \right\}$$

$$C_{zy} = \max \left\{ 1 + (1.300 - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{1.000^2 \cdot 1.058^2}{1.300^2} \right) 0.009 - 0.000 \right], 0.6 \sqrt{\frac{1.300 \cdot 120.3}{1.231 \cdot 156.4}} \right\} = 0.994$$

$$e_{LT} = 1.7 a_{LT} \frac{\lambda_2^2}{0.1 + \lambda_2^2} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} = \frac{1.7 \cdot 0.000 \cdot 0.225^2}{0.1 + 1.058^4} \frac{15.4}{1.000 \cdot 0.999 \cdot 26.7} = 0.000$$

$$C_{zz} = \max \left\{ 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} C_{mz}^2 \lambda_{max}^2 - \frac{1.6}{w_z} C_{mz}^2 \lambda_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right], \frac{W_{z,Ed}}{W_{pl,z}} \right\}$$

$$C_{zz} = 1 + (1.231 - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.231} 0.789^2 \cdot 1.058 - \frac{1.6}{1.231} 0.789^2 \cdot 1.058^2 \right) 0.009 - 0.000 \right]$$

$$C_{zz} = \max \left\{ C_{zz}, \frac{103.0}{126.7} \right\} = 1.000$$

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{c_{yy}} = 1.000 \cdot 1.000 \frac{1.000}{1 - \frac{5.4}{2093.5}} \frac{1}{0.999} = 1.004$$

$$k_{yz} = C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{c_{yz}} 0.6 \sqrt{\frac{W_z}{W_y}} = 0.789 \frac{1.000}{1 - \frac{5.4}{2093.5}} \frac{1}{0.997} 0.6 \sqrt{\frac{1.231}{1.300}} = 0.466$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{c_{zy}} 0.6 \sqrt{\frac{W_y}{W_z}} = 1.000 \cdot 1.000 \frac{0.996}{1 - \frac{5.4}{2093.5}} \frac{1}{0.994} 0.6 \sqrt{\frac{1.300}{1.231}} = 0.620$$

$$k_{zz} = C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{c_{zz}} = 0.789 \frac{0.996}{1 - \frac{5.4}{2093.5}} \frac{1}{1.000} = 0.793$$

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

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{y1} N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.43 < 1.0$$

$$\frac{5.4}{0.615 \cdot 192.4} + 1.004 \frac{15.4 + 0.0}{0.999 \cdot 26.7} + 0.466 \frac{0.000 + 0.000}{29.9} = 0.43 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{z1} N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.28 < 1.0$$

$$\frac{5.4}{0.615 \cdot 192.4} + 0.620 \frac{15.4 + 0.0}{0.999 \cdot 26.7} + 0.793 \frac{0.000 + 0.000}{29.9} = 0.28 < 1.0$$

Ugięcia (86.7 %)

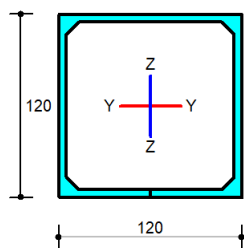
Przekrój: x/L=0.500, L=2.41m; Kombinacja: ext U (0,1,2,3,K4,K8,K9,10,11,)

Przesunięcie w płaszczyźnie układu: $u_z = 11.9 \text{ mm} < 13.7 \text{ mm} = u_{z,lim}$

Przesunięcie prostopadłe do pł. układu: $u_y = 0.0 \text{ mm} < 13.7 \text{ mm} = u_{y,lim}$

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

SŁUP - PRĘT NR 3 [PN-EN 1993-1-1]



Wyniki dla elementu

Całkowite wyężenie elementu: 74%

Rozciąganie: 2 %
 Ściskanie: 8 %
 Zginanie: 45 %
 Zginanie z siłą podłużną: 27 %
 Zginanie ze ściskaniem: 51 %
 Ścinanie: 5 %
 Środek pod obciążeniem skupionym: 5 %
 Smukłość: 0 %
 Ugięcia: 74 %

Wyniki szczegółowe

Rozciąganie (1.7 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00m$; Kombinacja: $\max Mx (+0,+1,-2,+7,+10,+11,)$

Pole przekroju: $A_{brutto} = 22.14 \text{ cm}^2$

Nośność elementu rozciąganego (6.2.3):

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{22.14 \cdot 23.5}{1.00} = 520.3 \text{ kN} > 8.9 \text{ kN} = N$$

Długość wyboczeniowa

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

– w pł. układu: $\eta_1 = 0.254$ $\eta_2 = 0.000$ $\eta_v = 0.000 \rightarrow \mu_y = 0.531$ oraz $l_{0,y} = 3.5 \text{ m}$

– w pł. układu: $\eta_1 = 1.000$ $\eta_2 = 1.000$ $\eta_v = 0.000 \rightarrow \mu_z = 1.000$ oraz $l_{0,z} = 3.5 \text{ m}$

Wyboczenie skrętne: $\mu_\omega = 1.000$ oraz $l_{0,\omega} = 3.5 \text{ m}$

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

Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 477.7 \text{ cm}^4}{(0.531 \cdot 3.5 \text{ m})^2} = 2867.5 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 477.7 \text{ cm}^4}{(1.000 \cdot 3.5 \text{ m})^2} = 808.2 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{6.6^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 210000.0 \text{ MPa} \cdot 80.0 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 3.5 \text{ m})^2} + 80769.2 \text{ MPa} \cdot 760.4 \text{ cm}^4 \right] = 142346.1 \text{ kN}$$

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

$$R = (808.2 + 142346.1)^2 - 4 \cdot 808.2 \cdot 142346.1 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 6.569^2) = 20032979691.3 \text{ kN}$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(808.2 + 142346.1) - \sqrt{20032979691.3}}{2(1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 6.569^2)} = 808.2 \text{ kN}$$

Moment krytyczny

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

Wsp. długości wybocheniowej: $\mu_{z, \text{Mcr}} = 1.00$, $\mu_{\omega, \text{Mcr}} = 1.00$ (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: $z_a = 6.0 \text{ cm}$

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

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

$$N_{\text{cr},z} = \pi^2 E I_z / (\mu_{z, \text{Mcr}} L)^2 = \pi^2 21000.0 \cdot 477.7 / (1.00 \cdot 350.0)^2 = 808.2 \text{ kN}$$

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

$$V = C_2 (z_a - z_s) - C_3 z_j = 0.46(6.0 - 0.0) - 0.53 \cdot 0.0 = 2.75$$

$$M_{\text{cr}} = 1e - 2 \cdot 1.13 \cdot 808.2 \left\{ \left[\left(\frac{1.00}{1.00} \right)^2 \frac{0.0}{477.7} + \frac{8076.8 \cdot 760.4}{808.2} + 2.75 \right]^{0.5} - 2.75 \right\} = 772.76 \text{ kNm}$$

Ściskanie (8.5 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=3.50 \text{ m}$; Kombinacja: $\min N (-0, -1, +2, +3, +K4, +K8, +K9, -10, +11,)$

Pole przekroju (klasa 1): $A = A_{\text{brutto}} = 22.1 \text{ cm}^2$

Nośność obliczeniowa przekroju: $N_{\text{c}, \text{Rd}} = \frac{A f_y}{\gamma_{\text{M0}}} = \frac{22.1 \cdot 23.5}{1.0} = 520.3 \text{ kN}$

Współczynniki wybocheniowe (Tablica 11):

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{N_{\text{c}, \text{Rd}} / N_{\text{cr},y}} = 520.3 / 2867.5 = 0.426 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \chi_y(\bar{\lambda}_y) = 0.946 \text{ (giętnie x-x)}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{N_{\text{c}, \text{Rd}} / N_{\text{cr},z}} = 520.3 / 808.2 = 0.802 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \chi_z(\bar{\lambda}_z) = 0.794 \text{ (giętnie y-y)}$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{N_{\text{c}, \text{Rd}} / N_{\text{cr},x}} = 520.3 / 142346.1 = 0.060 \rightarrow \text{krzywa 'c'} \rightarrow \chi_x(\bar{\lambda}_x) = 1.000 \text{ (skrętne)}$$

$$\bar{\lambda}_{zx} = \sqrt{N_{\text{c}, \text{Rd}} / N_{\text{cr},zx}} = 520.3 / 808.2 = 0.802 \rightarrow \text{krzywa 'a'} \rightarrow \chi_{zx}(\bar{\lambda}_{zx}) = 0.794 \text{ (giętno-skrętne)}$$

Przyjęto do obliczeń: $\chi = \min(\chi_i) = 0.794$

Warunek nośności (stateczności) elementu ściskanego:

$$N_{\text{b}, \text{Rd}} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{\text{M1}}} = \frac{0.794 \cdot 22.1 \cdot 23.5}{1.0} = 413.3 \text{ kN} > 35.0 \text{ kN} = N_{\text{Ed}}$$

Ścinanie (4.9 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=3.50 \text{ m}$; Kombinacja: $\max M_x (+0, +1, +2, +K3, +K4, +K8, +9, +10, +11,)$

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,z} = 11.0 \text{ cm}^2$

Warunek stateczności: $h_{w,z} / t_z = 22.0 < 60.0 = 72 \varepsilon / \eta$

Warunek nośności plastycznej:

$$V_{\text{pl}, \text{Rd}, z} = \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{\text{M0}}} = \frac{11.0 \cdot 23.5}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 149.2 \text{ kN} > 7.3 \text{ kN} = V_{\text{Ed}, z}$$

Zginanie (45.2 %)

Przekrój: $x/L=0.000$, $L=0.00 \text{ m}$; Kombinacja: $\min N (-0, -1, +2, +3, +K4, +K8, +K9, -10, -11,)$

Zginanie względem osi głównej Y-Y

Wsp. zwiczenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[\sqrt{\frac{W_{\text{pl},y} f_y}{M_{\text{cr}}}}, 3.0 \right] = \min \left[\sqrt{\frac{106.2 \cdot 23.5 \cdot 1e-2}{772.76}}, 3.0 \right] = 0.180 \rightarrow \chi_{LT}(\lambda_{LT}, \alpha_{LT}) = 1.000$$

$$\alpha_{LT} = 0.760$$

Nośność obliczeniowa z uwzględnieniem zwiczenia (klasa 1):

$$M_{\text{b}, \text{Rd}, y} = \chi_{LT} \frac{W_{\text{pl},y} f_y}{\gamma_{\text{M1}}} = 1.000 \frac{106.2 \cdot 23.5}{1.0} 1e - 2 = 24.9 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{\text{Ed}, y}}{M_{\text{b}, \text{Rd}, y}} = \frac{11.3}{24.9} = 0.45 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

Nośność obliczeniowa przekroju (klasa 1):

$$M_{cr,Rd,z} = M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{106,2 \cdot 235}{1,0} 10^{-2} = 24,9 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{N_{Ed,z}}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{0,0}{24,9} = 0,00 < 1,0$$

Zginanie z siłą podłużną (26.6 %)

Przekrój: $x/L=0,000$, $L=0,00\text{m}$; Kombinacja: $\min N (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,-10,-11,)$

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Y-Y z siłą podłużną

$$n = N_{Ed}/N_{pl,Rd} = 30,5/520,3 = 0,059$$

$$a_y = \min[(A - 2A_{bt,y})/A, 0,5] = \min[(22,1 - 2 \cdot 5,5)/22,1, 0,5] = 0,500$$

$$M_{N,y,Rd} = \min \left[M_{pl,y,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0,5a_y)}, M_{pl,y,Rd} \right] = \min \left[24,9 \frac{(1-0,059)}{(1-0,5 \cdot 0,500)}, 24,9 \right] = 24,9 \text{ kNm}$$

Zredukowana nośność plastyczna przy zginaniu względem Z-Z z siłą podłużną

$$a_z = \min[(A - 2A_{bt,z})/A, 0,5] = \min[(22,1 - 2 \cdot 5,5)/22,1, 0,5] = 0,500$$

$$M_{N,z,Rd} = \min \left[M_{pl,z,Rd} \frac{(1-n)}{(1-0,5a_z)}, M_{pl,z,Rd} \right] = \min \left[24,9 \frac{(1-0,059)}{(1-0,5 \cdot 0,500)}, 24,9 \right] = 24,9 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (klasa 1 i 2) z uwzględnieniem ew. wpływu siły poprzecznej:

$$\alpha = \min \left[1,66 / (1 - 1,13 n^2), 6,0 \right] = 1,7, \beta = \min \left[1,66 / (1 - 1,13 n^2), 6,0 \right] = 1,7$$

$$\left[\frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right]^\alpha + \left[\frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right]^\beta = \left[\frac{11,2}{24,9} \right]^{1,7} + \left[\frac{0,0}{24,9} \right]^{1,7} = 0,27 < 1,0$$

Zginanie ze ściskaniem (51.2 %)

Przekrój: $x/L=0,000$, $L=0,00\text{m}$; Kombinacja: $\min N (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,-10,-11,)$

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 1, Załącznik A):

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

$$C_{my,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot 2,100 \text{e} + 0,8 \cdot 4,777 \text{e} - 0,6 \cdot [4,579 \text{e} - 0,8]}{3,5^2 \cdot |11,2|} - 1 \right) \frac{34,0}{2867,3} = 0,992$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \psi_z + 0,36 (\psi_z - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}$$

$$C_{mz,0} = 0,79 + 0,21 \cdot 0,000 + 0,36 (0,000 - 0,33) \frac{34,0}{808,2} = 0,785$$

$$C_1 = \sqrt{k_z} = \sqrt{0,900} = 1,235$$

$$\chi_0 = 0,188 < 0,218 = 0,2 \sqrt{1,235^4 \left(1 - \frac{34,0}{808,2} \right) \left(1 - \frac{34,0}{808,2} \right)} = 0,2 \sqrt{C_1^4 \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,x}} \right)}$$

$$C_{my} = C_{my,0} = 0,992$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 0,785$$

$$C_{mLT} = 1,0$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{34,0}{2867,3}}{1 - \frac{0,992 \cdot 34,0}{2867,3}} = 0,999$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{34,0}{808,2}}{1 - \frac{0,991 \cdot 34,0}{808,2}} = 0,991$$

$$\lambda_{\max} = \max(\lambda_y, \lambda_z) = 0,802$$

$$n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk}/\gamma_{M1}} = \frac{34,0}{520,3/1,0} = 0,065$$

$$w_y = \max \left[\frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}}, 1,5 \right] = \max \left[\frac{106,2}{79,6}, 1,5 \right] = 1,333$$

$$w_z = \max \left[\frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}}, 1,5 \right] = \max \left[\frac{106,2}{79,6}, 1,5 \right] = 1,333$$

$$a_{LT} = \max \left(1 - \frac{I_T}{I_y}, 0 \right) = \max \left(1 - \frac{760,4}{477,7}, 0 \right) = 0,000$$

$$b_{LT} = 0.5 a_{LT} \frac{\lambda_0^2}{\lambda_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} = 0.5 \cdot 0.000 \cdot 0.188^2 \frac{11.3}{1.000 \cdot 24.9} \frac{0.000}{24.9} = 0.000$$

$$C_{yy} = \max \left\{ 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{max} - \frac{1.6}{w_y} C_{my}^2 \lambda_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right], \frac{W_{pl,y}}{W_{pl,y}} \right\}$$

$$C_{yy} = 1 + (1.333 - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.333} 0.992^2 \cdot 0.802 - \frac{1.6}{1.333} 0.992^2 \cdot 0.802^2 \right) 0.065 - 0.000 \right]$$

$$C_{yy} = \max \left\{ C_{yy}, \frac{79.6}{106.2} \right\} = 1.006$$

$$c_{LT} = 10 a_{LT} \frac{\lambda_0^2}{5 + \lambda_0^2} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \lambda_{LT} M_{pl,y,Rd}}$$

$$c_{LT} = \frac{10 \cdot 0.000 \cdot 0.188^2}{5 + 0.802^2} \frac{11.3}{0.992 \cdot 1.000 \cdot 24.9} = 0.000$$

$$C_{yz} = \max \left\{ 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \lambda_{max}^2}{w_z^2} \right) n_{pl} - c_{LT} \right], 0.6 \sqrt{\frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}}} \frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}} \right\}$$

$$C_{yz} = \max \left\{ 1 + (1.333 - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{0.785^2 \cdot 0.802^2}{1.333^2} \right) 0.065 - 0.000 \right], 0.6 \sqrt{\frac{1.333}{1.333}} \frac{79.6}{106.2} \right\} = 1.015$$

$$d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\lambda_0^2}{0.1 + \lambda_0^2} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \lambda_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}$$

$$d_{LT} = \frac{2 \cdot 0.000 \cdot 0.188^2}{0.1 + 0.802^2} \frac{11.3}{0.992 \cdot 1.000 \cdot 24.9} \frac{0.000}{0.785 \cdot 24.9} = 0.000$$

$$C_{zy} = \max \left\{ 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \lambda_{max}^2}{w_y^2} \right) n_{pl} - d_{LT} \right], 0.6 \sqrt{\frac{W_{pl,y}}{W_{pl,z}}} \frac{W_{pl,y}}{W_{pl,z}} \right\}$$

$$C_{zy} = \max \left\{ 1 + (1.333 - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{0.992^2 \cdot 0.802^2}{1.333^2} \right) 0.065 - 0.000 \right], 0.6 \sqrt{\frac{1.333}{1.333}} \frac{79.6}{106.2} \right\} = 0.998$$

$$e_{LT} = 1.7 a_{LT} \frac{\lambda_0^2}{0.1 + \lambda_0^2} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \lambda_{LT} M_{pl,y,Rd}} = \frac{1.7 \cdot 0.000 \cdot 0.188^2}{0.1 + 0.802^2} \frac{11.3}{0.992 \cdot 1.000 \cdot 24.9} = 0.000$$

$$C_{zz} = \max \left\{ 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{w_z} C_{mz}^2 \lambda_{max} - \frac{1.6}{w_z} C_{mz}^2 \lambda_{max}^2 \right) n_{pl} - e_{LT} \right], \frac{W_{pl,z}}{W_{pl,z}} \right\}$$

$$C_{zz} = 1 + (1.333 - 1) \left[\left(2 - \frac{1.6}{1.333} 0.785^2 \cdot 0.802 - \frac{1.6}{1.333} 0.785^2 \cdot 0.802^2 \right) 0.065 - 0.000 \right]$$

$$C_{zz} = \max \left\{ C_{zz}, \frac{79.6}{106.2} \right\} = 1.020$$

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}} = 0.992 \cdot 1.000 \frac{0.999}{1 - \frac{24.9}{2867.5}} \frac{1}{1.006} = 0.997$$

$$k_{yz} = C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0.6 \sqrt{\frac{W_{pl,z}}{W_{pl,y}}} = 0.785 \frac{0.999}{1 - \frac{24.9}{2867.5}} \frac{1}{1.015} 0.6 \sqrt{\frac{1.333}{1.333}} = 0.484$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0.6 \sqrt{\frac{W_{pl,y}}{W_{pl,z}}} = 0.992 \cdot 1.000 \frac{0.991}{1 - \frac{24.9}{2867.5}} \frac{1}{0.998} 0.6 \sqrt{\frac{1.333}{1.333}} = 0.598$$

$$k_{zz} = C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{zz}} = 0.785 \frac{0.991}{1 - \frac{24.9}{2867.5}} \frac{1}{1.020} = 0.796$$

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

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\gamma_{M1} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} M_{z,Rk}} = 0.51 < 1.0$$

$$\frac{24.0}{0.994 \cdot 2202} + 0.997 \frac{11.3 + 0.0}{1.000 \cdot 24.9} + 0.484 \frac{0.000 + 0.000}{24.9} = 0.51 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1} N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\gamma_{M1} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\gamma_{M1} M_{z,Rk}} = 0.34 < 1.0$$

$$\frac{24.0}{0.994 \cdot 2202} + 0.598 \frac{11.3 + 0.0}{1.000 \cdot 24.9} + 0.796 \frac{0.000 + 0.000}{24.9} = 0.34 < 1.0$$

Środek pod obciążeniem skupionym (4.5 %)

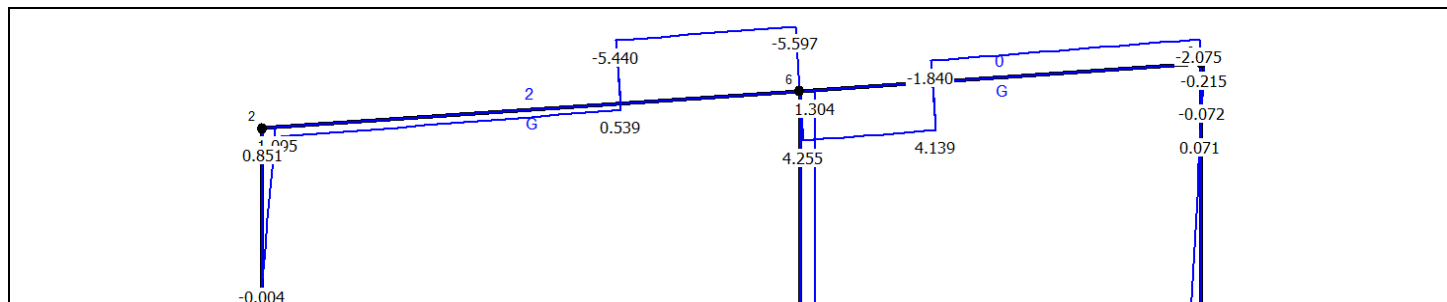
Przekrój: $x/L=1.000$, $L=3.50m$; Kombinacja: $\max M_x (+0,+1,+2,+K3,+K4,+K8,+9,+10,+11,)$

Dane dla najbardziej wytężonego środka [mm]: $t_w = 5.0$, $h_w = 110.0$, $t_f = 5.0$, $b_f = 75.0$

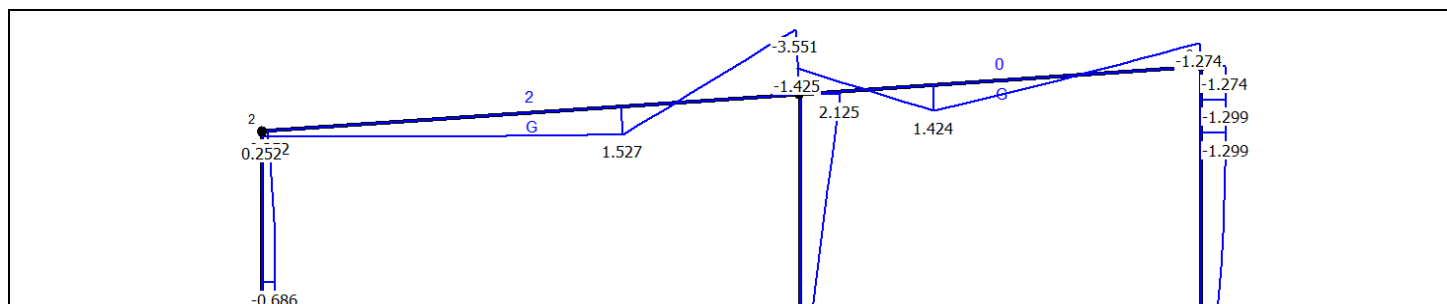
Parametr niestateczności:

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \left(\frac{110.0}{500.0} \right)^2 = 6.097$$

WYKRESY SIŁ PRZEKROJOWYCH-TNĄCE [kN]



WYKRESY SIŁ PRZEKROJOWYCH-MOMENTY ZGINAJĄCE [kNm]

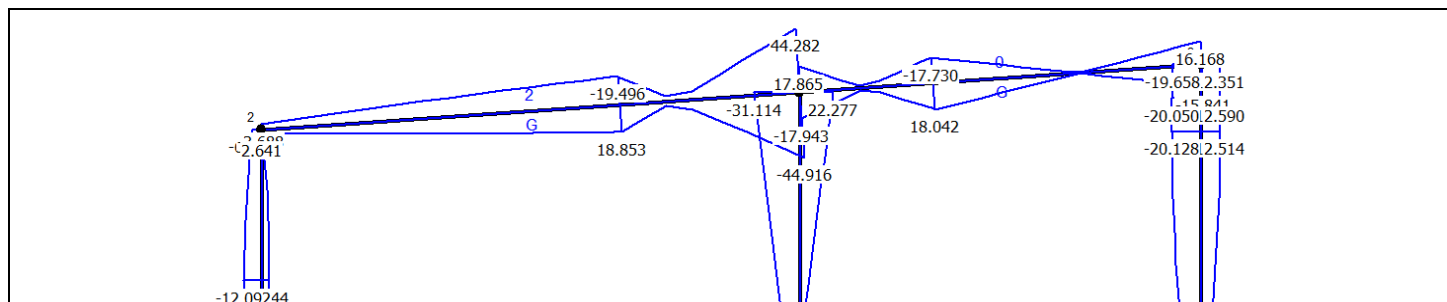


WARTOŚCI SIŁ PRZEKROJOWYCH

Zestawienie tabelaryczne wartości sił przekrojowych w charakterystycznych punktach

Pręt	x/L	N [kN]	T [kN]	M [kNm]
2	0.000	-1.158	0.851	0.252
	0.666	-1.136	0.539	1.527
	0.666	-0.713	-5.440	1.527
	1.000	-0.702	-5.597	-3.551

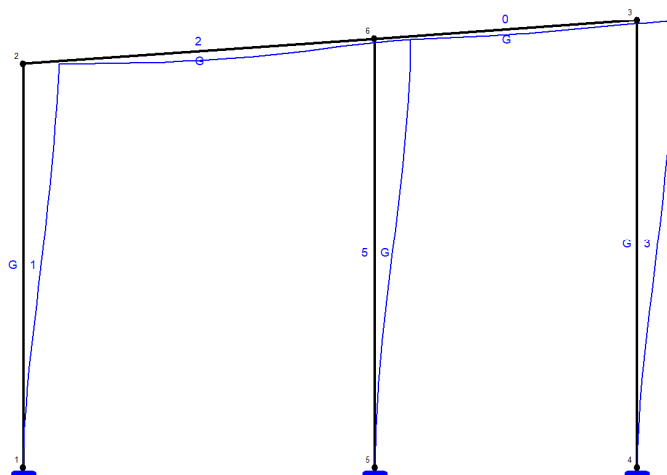
NAPREŻENIA NORMALNE



Zestawienie tabelaryczne wartości sił przekrojowych w charakterystycznych punktach

Pręt	x/L	nXg [MPa]	nXd [MPa]
2	0.000	-3.688	2.641
	0.666	-19.689	18.663
	0.666	-19.496	18.853
	1.000	44.282	-44.916

DEFORMACJE UKŁADU



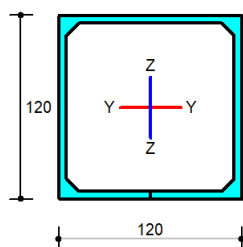
Przekrój - RKz 120x120x5

Nazwa	A [cm ²]	Jx [cm ⁴]	H [mm]	Wxg [cm ³]	Wxd [cm ³]
RKz 120x120x5	22.14	477.69	120.00	-----	-----

Materiał - S 235

Nazwa	E [kPa]	ro [kg/m ³]	alfa T [m/K]
S 235	210000000.00	7850.00	0.00001200

RYGIEL RAMY ZE SŁUPEM POŚREDNIM - PRĘT NR 2 [PN-EN 1993-1-1]



Wyniki dla elementu

Całkowite wyężenie elementu: 37%

Rozciąganie: 0 %
 Ściskanie: 1 %
 Zginanie: 37 %
 Zginanie z siłą podłużną: 37 %
 Zginanie ze ściskaniem: 37 %
 Ścinanie: 8 %
 Środek pod obciążeniem skupionym: 8 %
 Smukłość: 0 %
 Ugięcia: 20 %

Wyniki szczegółowe

Długość wyboczeniowa

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

– w pł. układu: $\eta_1 = 0.365$ $\eta_2 = 0.587$ $\eta_V = 0.000 \rightarrow \mu_y = 0.674$ oraz $l_{0,y} = 2.8m$

– w pł. układu: $\eta_1 = 1.000$ $\eta_2 = 1.000$ $\eta_V = 0.000 \rightarrow \mu_z = 1.000$ oraz $l_{0,z} = 2.8m$

Wyboczenie skrętne: $\mu_{\omega} = 1.000$ oraz $l_{0,\omega} = 2.8m$

Uwaga! Przy obliczaniu współczynnika długości wyboczeniowej założono, że elementy belkowe dochodzące do słupa

pracując w zakresie sprężystym oraz są nieznacznie obciążone osiowo.

Siły krytyczne

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 E I_y}{(\mu_y l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \text{ MPa} \cdot 477.7 \text{ cm}^4}{(0.874 \cdot 2.8 \text{ m})^2} = 2874.3 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 E I_z}{(\mu_z l)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \text{ MPa} \cdot 477.7 \text{ cm}^4}{(1.000 \cdot 2.8 \text{ m})^2} = 1304.8 \text{ kN}$$

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

$$N_{cr,T} = \frac{1}{6.8^2} \left[\frac{\pi^2 \cdot 210000 \text{ MPa} \cdot 0.0 \text{ cm}^6}{(1.000 \cdot 2.8 \text{ m})^2} + 80769.2 \text{ MPa} \cdot 760.4 \text{ cm}^4 \right] = 142346.1 \text{ kN}$$

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

$$R = (1304.8 + 142346.1)^2 - 4 \cdot 1304.8 \cdot 142346.1 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 6.569^2) = 19892664203.8 \text{ kN}$$

$$N_{TF,yz} = \frac{(1304.8 + 142346.1) - \sqrt{19892664203.8}}{2 (1 - 1.000 \cdot 0.0^2 / 6.569^2)} = 1304.8 \text{ kN}$$

Moment krytyczny

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

Wsp. długości wyboczeniowej: $\mu_z, M_{cr} = 1.00$, $\mu_{\omega}, M_{cr} = 1.00$ (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: $z_a = 6.0 \text{ cm}$

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

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

$$N_{cr,z} = \pi^2 E I_z / (\mu_z M_{cr} L)^2 = \pi^2 \cdot 210000 \cdot 477.7 / (1.00 \cdot 275.5)^2 = 1304.8 \text{ kN}$$

$$M_{cr} = C_1 N_{cr,z} \left\{ \left[\left(\frac{\mu_z M_{cr}}{\mu_{\omega}, M_{cr}} \right)^2 \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{G I_T}{N_{cr,z}} + V \right]^{0.5} - V \right\}$$

$$V = C_2 (z_a - z_s) - C_3 z_j = 0.46 (6.0 - 0.0) - 0.53 \cdot 0.0 = 2.75$$

$$M_{cr} = 1e - 2 \cdot 1.13 \cdot 1304.8 \left\{ \left[\left(\frac{1.00}{1.00} \right)^2 \frac{0.0}{477.7} + \frac{80769.260.4}{1304.8} + 2.75 \right]^{0.5} - 2.75 \right\} = 973.51 \text{ kNm}$$

Ścinanie (8.3 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=2.75 \text{ m}$; Kombinacja: $\min T_y (-0, -1, +2, +3, +K4, +K8, +K9, -10, -11,)$

Ścinanie po kierunku osi głównej Z-Z

Przekrój czynny przy ścinaniu: $A_{v,z} = 11.0 \text{ cm}^2$

Warunek stateczności: $h_{w,z} / t_z = 22.0 < 60.0 = 72 \varepsilon / \eta$

Warunek nośności plastycznej:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{11.0 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1.0} = 149.2 \text{ kN} > 12.4 \text{ kN} = V_{Ed,z}$$

Zginanie (36.5 %)

Przekrój: $x/L=1.000$, $L=2.75 \text{ m}$; Kombinacja: $\min T_y (-0, -1, +2, +3, +K4, +K8, +K9, -10, -11,)$

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.

Ścianka górna:

$$\kappa = b_0 / L_e = 57.5 / 2754.6 = 0.021 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1 / (1 + 6.4 \kappa^2) = 1 / (1.003) = 0.997$$

$$A_{eff} = \max(A_{c,eff} \beta^{\kappa}, A_{c,eff} \beta) = \max(575 \cdot 0.997^{0.021}, 575 \cdot 0.997) = 575 \text{ mm}^2$$

Ścianka dolna:

$$\kappa = b_0 / L_e = 57.5 / 2754.6 = 0.021 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1 / (1 + 6.4 \kappa^2) = 1 / (1.003) = 0.997$$

$$A_{eff} = \max(A_{c,eff} \beta^{\kappa}, A_{c,eff} \beta) = \max(575 \cdot 0.997^{0.021}, 575 \cdot 0.997) = 575 \text{ mm}^2$$

Wsp. zwiczenia:

$$\lambda_{LT} = \min \left[\sqrt{\frac{W_{eff,y} f_y}{M_{cr}}}, 3.0 \right] = \min \left[\sqrt{\frac{84.5 \cdot 23.5 \cdot 10^{-2}}{973.51}}, 3.0 \right] = 0.143 \rightarrow \chi_{LT}(\alpha_{LT}, \alpha_{LT}) = 1.000$$

$$\alpha_{LT} = 0.760$$

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

$$M_{b,Rd,y} = \chi_{LT} \frac{W_{eff,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 1.000 \frac{84.5 \cdot 23.5}{1.0} 10^{-2} = 19.9 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,y}}{M_{b,Rd,y}} = \frac{7.3}{19.9} = 0.37 < 1.0$$

Zginanie względem osi głównej Z-Z

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.

Ścianka lewa:

$$\kappa = b_0 / L_e = 57.5 / 2754.6 = 0.021 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1 / (1 + 6.4 \kappa^2) = 1 / (1.003) = 0.997$$

$$A_{eff} = \max(A_{c,eff} \beta^K, A_{c,eff} \beta) = \max(575 \cdot 0.997^{0.021}, 575 \cdot 0.997) = 575 \text{ mm}^2$$

Ścianka prawa:

$$\kappa = b_0 / L_e = 57.5 / 2754.6 = 0.021 \rightarrow \beta = \beta_1 = 1 / (1 + 6.4 \kappa^2) = 1 / (1.003) = 0.997$$

$$A_{eff} = \max(A_{c,eff} \beta^K, A_{c,eff} \beta) = \max(575 \cdot 0.997^{0.021}, 575 \cdot 0.997) = 575 \text{ mm}^2$$

Nośność obliczeniowa przekroju (przekrój efektywny - efekt szerokiego pasa):

$$M_{c,Rd,z} = M_{eff,Rd,z} = \frac{W_{eff,z} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{84.5 \cdot 23.5}{1.0} 10^{-2} = 19.9 \text{ kNm}$$

Warunek nośności:

$$\frac{M_{Ed,z}}{M_{c,Rd,z}} = \frac{0.0}{19.9} = 0.00 < 1.0$$

Zginanie z siłą podłużną (36.6 %)

Przekrój: x/L=1.000, L=2.75m; Kombinacja: min Ty (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,-10,-11,)

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

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

$$\sigma_{x,Ed,eff} = -\frac{0.5}{23.0} - \frac{7.3 \cdot 10^2 + 0.5 \cdot 0.000}{507.2} 6.0 - \frac{0.0 \cdot 10^2 + 0.5 \cdot 0.000}{507.2} 6.0 = -8.6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{x,Ed,eff} = |-86.0| < \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

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

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

$$\frac{-0.5}{23.0 \cdot 23.5 / 1.0} + \frac{7.3 + -0.5 \cdot 0.000}{84.5 \cdot 10^2 - 6 \cdot 23.5 \cdot 10^4 / 1.0} + \frac{0.0 + -0.5 \cdot 0.000}{84.5 \cdot 10^2 - 6 \cdot 23.5 \cdot 10^4 / 1.0} = 0.366 < 1.0$$

Zginanie ze ściskaniem (36.6 %)

Przekrój: x/L=1.000, L=2.75m; Kombinacja: min Ty (-0,-1,+2,+3,+K4,+K8,+K9,-10,-11,)

Wyznaczenie współczynników interakcji (metoda 1, Załącznik A):

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

$$C_{my,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 \cdot 2.100 \cdot 10^8 + 0.0 \cdot 4.777 \cdot 10^8 - 0.6 \cdot |1.971 \cdot 10^3|}{2.6^2 \cdot |7.3|} - 1 \right) \frac{1.6}{2874.3} = 1.000$$

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

$$C_{mz,0} = 0.79 + 0.21 \cdot 0.000 + 0.36 (0.000 - 0.33) \frac{1.6}{1204.3} = 0.790$$

$$C_1 = \sqrt{k_z} = \sqrt{0.900} = 1.235$$

$$\bar{\lambda}_0 = 0.149 < 0.222 = 0.2 \sqrt{1.235^4 \left(1 - \frac{1.6}{1204.3} \right) \left(1 - \frac{1.6}{1204.3} \right)} = 0.2 \sqrt{C_1^4 \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right) \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}} \right)}$$

$$C_{my} = C_{my,0} = 1.000$$

$$C_{mz} = C_{mz,0} = 0.790$$

$$C_{mLT} = 1.0$$

$$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = \frac{1 - \frac{1.6}{2374.3}}{1 - \frac{0.948 \cdot 1.6}{2374.3}} = 1.000$$

$$\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = \frac{1 - \frac{1.6}{1304.3}}{1 - \frac{0.948 \cdot 1.6}{1304.3}} = 1.000$$

$$k_{yy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1.000 \cdot 1.000 \frac{1.000}{1 - \frac{1.6}{2374.3}} = 1.000$$

$$k_{yz} = C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0.790 \frac{1.000}{1 - \frac{1.6}{1304.3}} = 0.791$$

$$k_{zy} = C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} = 1.000 \cdot 1.000 \frac{1.000}{1 - \frac{1.6}{2374.3}} = 1.000$$

$$k_{zz} = C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} = 0.790 \frac{1.000}{1 - \frac{1.6}{1304.3}} = 0.791$$

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

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.37 < 1.0$$

$$\frac{1.6}{0.948 \cdot 2303} + 1.000 \frac{7.3 + 0.0}{1.000 \cdot 177} + 0.791 \frac{0.000 + 0.000}{177} = 0.37 < 1.0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} = 0.37 < 1.0$$

$$\frac{1.6}{0.948 \cdot 2303} + 1.000 \frac{7.3 + 0.0}{1.000 \cdot 177} + 0.791 \frac{0.000 + 0.000}{177} = 0.37 < 1.0$$

Środek pod obciążeniem skupionym (8.3 %)

Przekrój: x/L=0.000, L=0.00m; Kombinacja: min N (-0,-1,+2,+K3,+4,+K8,-10,+11,)

Dane dla najbardziej wyężonego środka [mm]: $t_w = 5.0$, $h_w = 110.0$, $t_f = 5.0$, $b_f = 75.0$

Parametr niestateczności:

$$k_F = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \left(\frac{110.0}{500.0} \right)^2 = 6.097$$

Efektywna szerokość strefy obciążenia:

$$l_y = \min[S_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}), a] = \min[20.0 + 2 \cdot 5.0(1 + \sqrt{15.0 + 0.0}), 500.0] = 68.7 \text{ mm}$$

Efektywny wymiar środka przy obciążeniu skupionym:

$$\lambda_F = \sqrt{\frac{l_y t_w f_{yw}}{0.9 k_F E t_{fw}^3 / h_w}} = \sqrt{\frac{68.7 \cdot 5.0 \cdot 235.0}{0.9 \cdot 6.097 \cdot 210000 \cdot 0.50^3 / 110.0}} = 0.248$$

$$\chi_F = \min \left[\frac{0.5}{\lambda_F}, 1.0 \right] = \min \left[\frac{0.5}{0.248}, 1.0 \right] = 1.000$$

$$L_{eff} = \chi_F l_y = 1.000 \cdot 68.7 = 68.7 \text{ mm}$$

Nośność obliczeniowa środka:

$$F_{Rd} = \frac{f_{yw} L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{235.0 \cdot 68.7 \cdot 5.0}{1.0} 1e-3 = 80.8 \text{ kN} > 6.7 \text{ kN} = F_{Ed}$$

Ugięcia (20.4 %)

Przekrój: x/L=0.500, L=1.38m; Kombinacja: ext U (0,1,2,3,K4,K8,K9,10,11,)

Przemieszczenie w płaszczyźnie układu: $u_z = 1.6 \text{ mm} < 7.9 \text{ mm} = u_{z,lim}$

Przemieszczenie prostopadłe do pł. układu: $u_y = 0.0 \text{ mm} < 7.9 \text{ mm} = u_{y,lim}$

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

WĘZŁ NR 6 - POŁĄCZENIA RUROWE WG PN-EN 1993

OBLICZENIA DLA NAJBARDZIEJ NIEKORZYSTNEGO WĘZŁA UKŁADU- POŁĄCZENIE: RYGIEL-SŁUP POŚREDNI

Dane projektowe elementów

Mimośród konstrukcyjny połączenia e: 0mm

Skratowanie: RKz 120x120x5

H: 120.0 mm	B: 120.0 mm	t: 5.0 mm	A: 22.1 cm ²	I _x : 477.7 cm ⁴
I _y : 477.7 cm ⁴	Stal: S 235	f _y : 235 MPa	f _u : 360 MPa	

Skratowanie: RKz 120x120x5

H: 120.0 mm	B: 120.0 mm	t: 5.0 mm	A: 22.1 cm ²	I _x : 477.7 cm ⁴
I _y : 477.7 cm ⁴	Stal: S 235	f _y : 235 MPa	f _u : 360 MPa	

Pas: RKz 120x120x5

H: 120.0 mm	B: 120.0 mm	t: 5.0 mm	A: 22.1 cm ²	I _x : 477.7 cm ⁴
I _y : 477.7 cm ⁴	Stal: S 235	f _y : 235 MPa	f _u : 360 MPa	

Obliczenia połączenia**Najbardziej niekorzystna kombinacja obciążeń**

Grupy obciążeń: -0, -1, +2, +3, +K4, +K8, +K9, -10, -11

Siły w prętach

Skratowanie: RKz 120x120x5

N: -0.86 kN V: 11.67 kN M: 4.95 kNm

Skratowanie: RKz 120x120x5

N: -0.54 kN V: -12.44 kN M: -7.25 kNm

Pas: RKz 120x120x5

N: -24.08 kN V: 1.36 kN M: 2.30 kNm

Przedstawione powyżej siły odczytano w węźle.

Warunki konstrukcyjne

Warunek mimośrodowość węzła

$$-0.55 \leq e_{ex}/d_0 \leq 0.25, \quad e_{ex}/d_0 = 0/120.0 = 0$$

$$-0.55 \leq 0 \leq 0.25$$

Pas, RKz 120x120x5

$$0.5 \leq h_0/b_0 \leq 2.0, \quad h_0/b_0 = 120.0/120.0 = 1.00$$

$$0.5 \leq 1.00 \leq 2.0$$

Pas, RKz 120x120x5

$$b_0/t_0 \leq 35., \quad b_0/t_0 = 120.0/5.0 = 24.0$$

$$24.0 \leq 35.$$

Pas, RKz 120x120x5

$$h_0/t_0 \leq 35., \quad h_0/t_0 = 120.0/5.0 = 24.0$$

$$24.0 \leq 35.$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$b_1/b_0 \geq 0.25, \quad b_1/b_0 = 120.0/120.0 = 1.00$$

$$b_1/b_0 \geq 0.1 + 0.01 b_0/t_0, \quad 0.1 + 0.01 b_0/t_0 = 0.1 + 0.01 \cdot 120.0/5.0 = 0.34$$

$$1.00 \geq 0.25$$

$$1.00 \geq 0.25$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$b_1/t_1 \leq 35., \quad b_1/t_1 = 120.0/5.0 = 24.00$$

$$24.00 \leq 35.$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$h_1/t_1 \leq 35., \quad h_1/t_1 = 120.0/5.0 = 24.00$$

$$24.00 \leq 35.$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$0.5 \leq h_1/b_1 \leq 2.0, \quad h_1/b_1 = 120.0/120.0 = 1.00$$

$$0.5 \leq 1.00 \leq 2.0$$

Pręty skratowania: 1, RKz 120x120x5, 1, RKz 120x120x5

$$b_1/b_j \geq 0.75, \quad b_1/b_j = 120.0/120.0 = 1.00$$

$$1.00 \geq 0.75$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$b_1/b_0 \geq 0.25, \quad b_1/b_0 = 120.0/120.0 = 1.00$$

$$b_1/b_0 \geq 0.1 + 0.01 b_0/t_0, \quad 0.1 + 0.01 b_0/t_0 = 0.1 + 0.01 \cdot 120.0/5.0 = 0.34$$

$$1.00 \geq 0.25$$

$$1.00 \geq 0.25$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$b_1/t_1 \leq 35., \quad b_1/t_1 = 120.0/5.0 = 24.00$$

$$24.00 \leq 35.$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$h_1/t_1 \leq 35., \quad h_1/t_1 = 120.0/5.0 = 24.00$$

$$24.00 \leq 35.$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$0.5 \leq h_1/b_1 \leq 2.0, \quad h_1/b_1 = 120.0/120.0 = 1.00$$

$$0.5 \leq 1.00 \leq 2.0$$

Pręty skratowania: 1, RKz 120x120x5, 1, RKz 120x120x5

$$b_1/b_j \geq 0.75, \quad b_1/b_j = 120.0/120.0 = 1.00$$

$$1.00 \geq 0.75$$

Dodatkowe warunki początkowe dotyczące skratowanie z rur kwadratowych

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$b_0/t_0 \geq 10, \quad b_0/t_0 = 120.0/5.0 = 24.00$$

$$24.00 \geq 10$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$b_1/b_0 \leq 0.85, \quad b_1/b_0 = 120.0/120.0 = 1.00$$

$$1.00 > 0.85$$

Pręt skratowania 1, RKz 120x120x5

$$b_1/b_0 \leq 0.85, \quad b_1/b_0 = 120.0/120.0 = 1.00$$

$$1.00 > 0.85$$

Mimośród połączenia

$$-0.55b_0 \leq e \leq 0.25b_0, \quad e/b_0 = 0/120.0 = 0$$

$$-0.55 \leq 0 \leq 0.25$$

Oddziaływanie momentów zginających może zostać pominięte.

Naprężenia w pasie

Naprężenia w pasie na zewnątrz węzła

$$\sigma_{0,Ed} = \frac{N_{0,Ed}}{A_0} \pm \frac{M_{0,Ed}}{W_{pl,0}} = (-24.08)/22.14 - 230.43/79.61 = -3.98 \text{ kN/cm}^2 = -39.8 \text{ MPa}$$

Maksymalne naprężenia ściskające (minimalne rozciągające)

$$\sigma_{0,Ed} = \min(-39.82;) = -39.8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,Ed} = \min(-39.82;) = -39.8 \text{ MPa}$$

Parametry do obliczeń nośności

Parametry do obliczeń nośności

$$\beta = b_1/b_0 = 120.0/120.0 = 1.000$$

Stosunek naprężeń (16.9 %)

$$n = -(\sigma_{0,Ed}/f_{y0})/\gamma_{Ms} = -(-39.8/235.0)/1.00 = 0.169 > 0$$

$$k_n = \min\left(1.3 - \frac{0.4n}{\beta}, 1.0\right) = \min\left(1.3 - \frac{0.4 \cdot 0.169}{1.000}, 1.0\right) = 1.000$$

Wyboczenie boków pasa - siła osiowa (0.5 %)

$$\bar{\lambda} = 3.46 \frac{(h_0/t_0 - 2)\sqrt{1/\sin\theta_1}}{\pi\sqrt{E/f_{y0}}} = 3.46 \frac{(120.0/5.0 - 2)\sqrt{1/\sin 86.0}}{\pi\sqrt{210000.0/0.235}} = 0.812$$

$$\Phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 0.5[1 + 0.49(0.812 - 0.2) + 0.812^2] = 0.979$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} =$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0.979 + \sqrt{0.979^2 - 0.812^2}} = 0.655$$

$$f_b = 0.8\chi f_{y0} \sin\theta_1 = 0.8 \cdot 0.655 \cdot 0.235 \sin(86.0) = 122.8 \text{ MPa}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_b t_0}{\sin\theta_1} \left(\frac{2h_1}{\sin\theta_1} + 10t_0 \right) / \gamma_{Ms}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{122.8 \cdot 5.0}{\sin(86.0)} \left(\frac{2 \cdot 120.0}{\sin(86.0)} + 10 \cdot 5.0 \right) / 1.00 = 178.89 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{0.86}{178.89} = 0 \leq 1.0$$

Zgniecenie boków pasa - moment zginający w płaszczyźnie (73.4 %)

$$0.85 \leq \beta = 1.000 \leq 1.0$$

$$M_{ip,1,Rd} = 0.5 \cdot 0.8 f_{y0} t_0 (h_1 + 5t_0)^2 / \gamma_{Ms}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 1.000 \cdot 0.8 \cdot 0.235 \cdot 5.0^2 \cdot 120.0 \left(\frac{1}{2 \cdot 1.000} + \frac{2}{\sqrt{1-1.000}} + \frac{1.000}{1-1.000} \right) / 1.00 = 9882 \text{ kNmm} = 9.88 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ip,1,Ed}}{M_{ip,1,Rd}} = \frac{7.25}{9.88} = 0.73 \leq 1.0$$

Zgniecenie boków pasa - moment zginający z płaszczyzny (0.0 %)

$$0.85 \leq \beta = 1.000 \leq 1.0$$

$$M_{op,1,Rd} = 0.8 \cdot f_{y0} t_0 (b_0 - t_0) (h_1 + 5t_0) / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 0.8 \cdot 0.235 \cdot 5.0 \cdot (120.0 - 5.0) (120.0 + 5 \cdot 5.0) / 1.00 = 15674 \text{ kNmm} = 15.67 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{op,1,Ed}}{M_{op,1,Rd}} = \frac{0}{15.67} = 0 \leq 1.0$$

Zniszczenie pręta skratowania - siła osiowa (0.2 %)

$$b_{eff} = \min \left(\frac{10}{b_0/t_0} \frac{f_{y2} t_0}{f_{y1} t_1} b_i; b_i \right) = \min \left(\frac{10}{120.0/5.0} \frac{0.235 \cdot 5.0}{235.0 \cdot 5.0} 120.0; 120.0 \right) = 50.0 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = f_{y1} t_1 (2h_1 - 4t_1 + 2b_{eff}) / \gamma_{M5}$$

$$N_{1,Rd} = 235.0 \cdot 5.0 (2 \cdot 120.0 - 4 \cdot 5.0 + 2 \cdot 50.0) / 1.00 = 376.00 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{1,Ed}}{N_{1,Rd}} = \frac{0.86}{376.00} = 0 \leq 1.0$$

Zniszczenie pręta skratowania - moment zginający w płaszczyźnie (52.3 %)

$$0.85 \leq \beta = 1.000 \leq 1.0$$

$$M_{ip,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - (1 - b_{eff,1}/b_1) b_1 (h_1 - t_1) t_1) / \gamma_{M5}$$

$$M_{ip,1,Rd} = 235.0 (99.25 - (1 - 50.0/120.0) 120.0 (120.0 - 5.0) 5.0) / 1.00 = 13865 \text{ kNmm} = 13.87 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{ip,1,Ed}}{M_{ip,1,Rd}} = \frac{7.25}{13.87} = 0.52 \leq 1.0$$

Zniszczenie pręta skratowania - moment zginający z płaszczyzny (0.0 %)

$$0.85 \leq \beta = 1.000 \leq 1.0$$

$$M_{op,1,Rd} = f_{y1} (W_{pl,1} - 0.5(1 - b_{eff,1}/b_1)^2 b_1^2 t_1) / \gamma_{M5}$$

$$M_{op,1,Rd} = 235.0 (99.25 - 0.5(1 - 50.0/120.0)^2 120.0^2 5.0) / 1.00 = 20445 \text{ kNmm} = 20.45 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{op,1,Ed}}{M_{op,1,Rd}} = \frac{0}{20.45} = 0 \leq 1.0$$

Interakcja sił (73.9 %)

$$\frac{|N_{1,Ed}|}{N_{1,Rd}^{min}} + \frac{|M_{ip,1,Ed}|}{M_{ip,1,Rd}^{min}} + \frac{|M_{op,1,Ed}|}{M_{op,1,Rd}^{min}} \leq 1.0$$

$$\frac{|0.86|}{178.89} + \frac{|7.25|}{9.88} + \frac{|0|}{11.18} = 0.74 \leq 1.0$$