

## 6.0. ZAŁĄCZNIKI

### Z.1.0. ZESTAWIENIE OBCIĄŻEŃ- dla stanu obecnie istniejącego

Wartość współczynnika uwzględniającego oddziaływanie długotrwałej części obciążenia zmiennego równomiernie rozłożonego  $\psi_d = 0,35$

#### Obciążenia stałe – ciężar konstrukcji dachu

- papa termozgrzewalna x2	$0,07 \times 2 \times 1,3 = 0,14 kN / m^2 (0,182)$
- styropian grub. 10cm	$0,45 \times 0,10 \times 1,2 = 0,05 kN / m^2 (0,060)$
- papa asfaltowe na lepiku	$0,08 \times 1,3 = 0,08 kN / m^2 (0,104)$
- płyty korytkowe 240x60x10cm	$\frac{1,23 kN}{1,44 m^2 \times \cos 3^\circ} \times 1,1 = 0,86 kN / m^2 (0,950)$
	$\overline{\Sigma} = 1,13 kN / m^2 (1,296)$
	$\gamma_{f, sr} = 1,147$

#### Obciążenie krótkotrwale działające na konst. dachu

- obciążenie śniegiem – II strefa śniegowa $Q_k = 0,9 kN / m^2$	$0,8 \times 0,9 = 0,72 kN / m^2 (1,08)$
	$\overline{\Sigma} = 0,72 kN / m^2 (1,08)$
	$\gamma_f = 1,50$

### Z.1.1. Obciążenie przypadające na węzeł kratownicy:

- Obciążenia stałe (A):

- platew I160	$0,179 \times 5,40 \times 1,1 = 0,98 kN (1,08)$
- warstwy dachu	$1,13 \times 5,40 \times 2,40 \times 1,147 = 14,64 kN (16,80)$
	$\overline{\Sigma} = 15,62 kN (17,88)$
	$\gamma_{f, sr} = 1,144$
- ciężar kratownicy - stałe (C)	$\frac{14,40 kN}{8} \times 1,1 = 1,80 kN (1,98)$
	$\overline{\Sigma} = 1,80 kN (1,98)$
	$\gamma_f = 1,1$

- Obciążenia krótkotrwale działające (B):

- obciążenie śniegiem	$0,72 \times 5,40 \times 2,40 \times 1,50 = 9,33 kN (14,00)$
	$\overline{\Sigma} = 9,33 kN (14,00)$
	$\gamma_f = 1,50$

**Z.1.2. Obciążenie przypadające belkę stalową zadaszenia nad częścią komunikacyjną – belka I240 (rozpiętość 5,5m)**

- Obciążenia stałe (A):

- belka I240

$$0,36 \times 1,1 = 0,36 \text{ kN} / \text{m} (0,40)$$

- warstwy dachu

$$1,13 \times 2,40 \times 1,147 = 2,72 \text{ kN} / \text{m} (3,11)$$

$$\overline{\Sigma} = 3,08 \text{ kN} (3,51)$$

$$\gamma_{f, sr} = 1,140$$

- Obciążenia krótkotrwale działające (B):

- obciążenie śniegiem

$$0,72 \times 2,40 \times 1,50 = 1,73 \text{ kN} (2,60)$$

$$\overline{\Sigma} = 1,73 \text{ kN} (2,60)$$

$$\gamma_f = 1,50$$

**Z.1.3. Obciążenie przypadające belkę stalową zadaszenia nad częścią komunikacyjną – belka I260: (rozpiętość 7,2m)**

- Obciążenia stałe (A):

- belka I260

$$0,42 \times 1,1 = 0,42 \text{ kN} / \text{m} (0,46)$$

- warstwy dachu

$$1,13 \times 2,40 \times 1,147 = 2,72 \text{ kN} / \text{m} (3,11)$$

$$\overline{\Sigma} = 3,14 \text{ kN} / \text{m} (3,57)$$

$$\gamma_{f, sr} = 1,137$$

- Obciążenia krótkotrwale działające (B):

- obciążenie śniegiem

$$0,72 \times 2,40 \times 1,50 = 1,73 \text{ kN} (2,60)$$

$$\overline{\Sigma} = 1,73 \text{ kN} (2,60)$$

$$\gamma_f = 1,50$$

**Z.1.4. Obciążenie przypadające płatew**

- Obciążenia stałe (A):

- belka I140

$$0,15 \times 1,1 = 0,15 \text{ kN} / \text{m} (0,17)$$

- warstwy dachu

$$1,13 \times 2,40 \times 1,147 = 2,72 \text{ kN} / \text{m} (3,11)$$

$$\overline{\Sigma} = 2,87 \text{ kN} / \text{m} (3,28)$$

$$\gamma_{f, sr} = 1,142$$

- Obciążenia krótkotrwale działające (B):

- obciążenie śniegiem

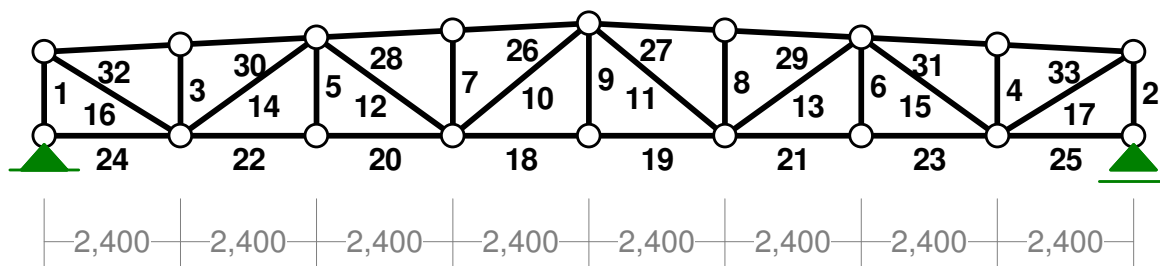
$$0,72 \times 2,40 \times 1,50 = 1,73 \text{ kN}(2,60)$$

$$\overline{\Sigma} = 1,73 \text{ kN}(2,60)$$

$$\gamma_f = 1,50$$

## Z.2.0. WYNIKI OBLICZEŃ

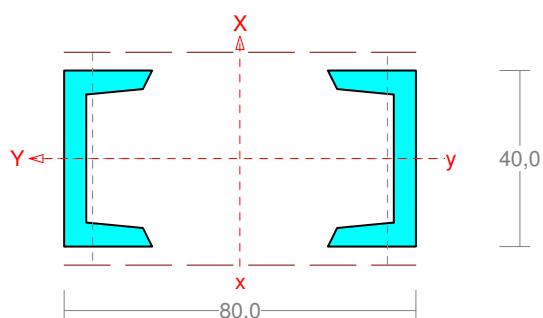
### Z.2.1. Wyniki obliczeń kratownicy stalowej – DLA WYBRANYCH ELEMENTÓW



#### Pręt nr 3 – słupek pionowy

Zadanie: kratownica stalowa

Przekrój: 2 U 40



Wymiary przekroju:

U 40 h=40,0 s=20,0 g=5,0 t=5,0 r=5,0  
ex=6,5.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

J<sub>xg</sub>=80,8 J<sub>y</sub>=14,6 A=7,00 i<sub>x</sub>=3,4 i<sub>y</sub>=1,4.

Materiał: St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.

Wytrzymałość f<sub>d</sub>=215 MPa dla g=5,0.

#### Siły przekrojowe:

x<sub>a</sub> = 0,000; x<sub>b</sub> = 1,605.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: ABC

N = -33,8 kN,

Naprężenia w skrajnych włóknach: σ<sub>t</sub> = -48,3 MPa σ<sub>c</sub> = -48,3 MPa.

#### Połączenie gałęzi:

Przyjęto, że gałęzie połączone są przewiązkami o szerokości b = 60,0 mm i grubości g = 5,0 mm w odstępach l<sub>1</sub> = 500,0 mm, wykonanymi ze stali St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.

Smukłość gałęzi:

$$\lambda_v = \lambda_1 = l_1 / i_1 = 500,0 / 5,5 = 90,91$$

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

#### Współczynniki redukcji nośności:

Współczynnik niestateczności dla ścianki przy ściskaniu wynosi φ<sub>p</sub> = 1,000. Współczynnik niestateczności gałęzi wynosi:

$$\bar{\lambda} = \lambda_1 / \lambda_p = 90,91 / 84,00 = 1,082 \Rightarrow \varphi_1 = 0,517.$$

W związku z tym współczynniki redukcji nośności wynoszą:

- dla ściskania:

$$\psi_o = 0,517$$

### Smukłość zastępcza pręta:

- dla wyboczenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi X

$$\lambda = l_{wx} / i_x = 1605,0 / 34,0 = 47,25$$

$$\lambda_m = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_v^2} \text{ m} / 2 = \sqrt{47,25^2 + 90,91^2} = 102,46$$

$$\bar{\lambda}_m = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} \sqrt{\psi_0} = \frac{102,46}{84,00} \times \sqrt{0,517} = 0,877$$

### Nośność przewiązek:

$$x_a = 0,000; \quad x_b = 1,605.$$

Przewiązki prostopadłe do osi X:

$$Q = 1,2 \quad V = 1,2 \times 0,0 = 0,0 \text{ kN}$$

$$Q \geq 0,012 A f_d = 0,012 \times 7,00 \times 215 \times 10^{-1} = 1,8 \text{ kN}$$

$$\text{Przyjęto } Q = 1,8 \text{ kN}$$

$$V_Q = \frac{Q l_1}{n(m-1)a} = \frac{1,8 \times 500,0}{2 \times (2-1) \times 67,0} = 6,7 \text{ kN} \quad M_Q = \frac{Q l_1}{m n} = \frac{1,8 \times 0,5}{2 \times 2} = 0,2 \text{ kNm}$$

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d = 0,58 \times 1,000 \times 0,9 \times 60,0 \times 5,0 \times 215 \times 10^{-3} = 33,7 \text{ kN}$$

$$M_R = W f_d = 5,0 \times 60,0^2 / 6 \times 215 \times 10^{-6} = 0,6 \text{ kNm}$$

$$V_Q = 6,7 < 33,7 = V_R \quad M_Q = 0,2 < 0,6 = M_R$$

### Nośność elementów rozciąganych:

$$x_a = 0,000; \quad x_b = 1,605.$$

$$\text{Siła osiowa:} \quad N = -33,8 \text{ kN.}$$

$$\text{Pole powierzchni przekroju:} \quad A = 7,00 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Nośność przekroju na rozciąganie:} \quad N_{Rt} = A f_d = 7,00 \times 215 \times 10^{-1} = 150,5 \text{ kN.}$$

Warunek nośności (31):

$$N = 33,8 < 150,5 = N_{Rt}$$

### Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 1,605$$
$$l_w = 1,000 \times 1,605 = 1,605 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 1,605$$
$$l_w = 1,000 \times 1,605 = 1,605 \text{ m}$$

### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 80,8}{1,605^2} 10^{-2} = 634,3 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 14,6}{1,605^2} 10^{-2} = 114,7 \text{ kN}$$

### Nośność przekroju na ściskanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 1,605$ :

$$N_{RC} = \Psi A f_d = 0,517 \times 7,0 \times 215 \times 10^{-1} = 77,8 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi X:

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_m = 0,877 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,729$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi Y:

$$\lambda_y = l_{wy} / i_y = 1605,0 / 14,4 = 111,13$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_y / \lambda_p = 111,13 / 84,00 = 1,323 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,405$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,405$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{33,8}{0,405 \times 77,8} = 1,072 > 1$$

### Nośność przekroju na ściskanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 1,605$ :

$$N_{RC} = \Psi A f_d = 0,517 \times 7,0 \times 215 \times 10^{-1} = 77,8 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi X:

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_m = 0,877 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,729$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi Y:

$$\lambda_y = l_{wy} / i_y = 1605,0 / 14,4 = 111,13$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_y / \lambda_p = 111,13 / 84,00 = 1,323 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,405$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,405$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{33,8}{0,405 \times 77,8} = 1,072 > 1$$

### Nośność przekroju na ściskanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 1,605$ :

$$N_{RC} = \Psi A f_d = 0,517 \times 7,0 \times 215 \times 10^{-1} = 77,8 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi X:

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_m = 0,877 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,729$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi Y:

$$\lambda_y = l_{wy} / i_y = 1605,0 / 14,4 = 111,13$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_y / \lambda_p = 111,13 / 84,00 = 1,323 \quad \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,405$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,405$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

#### Nośność przekroju na ściskanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 1,605$ :

$$N_{RC} = \psi A f_d = 0,517 \times 7,0 \times 215 \times 10^{-1} = 77,8 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi X:

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_m = 0,877 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,729$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi Y:

$$\lambda_y = l_{wy} / i_y = 1605,0 / 14,4 = 111,13$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_y / \lambda_p = 111,13 / 84,00 = 1,323 \quad \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,405$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,405$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{33,8}{0,405 \times 77,8} = 1,072 > 1$$

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{33,8}{0,405 \times 77,8} = 1,072 > 1$$

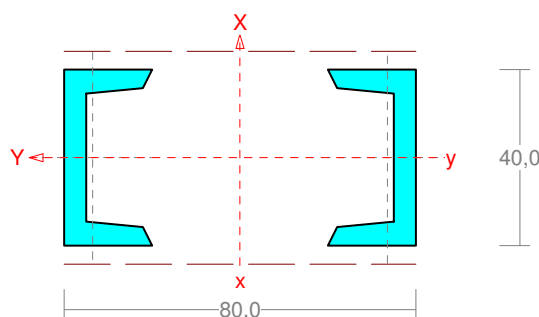
**Wniosek: nośność słupków jest niewystarczająca, wykorzystanie przekroju 107%.**

**Należy wzmocnić słupki oznaczone numerami 3 i 4.**

## Pręt nr 7 – SŁUPEK PIONOWY

Zadanie: kratownica stalowa

Przekrój: 2 U 40



Wymiary przekroju:

U 40  $h=40,0$   $s=20,0$   $g=5,0$   $t=5,0$   $r=5,0$   
 $e_x=6,5$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=80,8$   $J_{yg}=14,6$   $A=7,00$   $i_x=3,4$   $i_y=1,4$ .

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.**

Wytrzymałość  **$f_d=215$  MPa dla  $g=5,0$ .**

#### Siły przekrojowe:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 1,855$ .

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **ABC**

$$N = -33,8 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = -48,3 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -48,3 \text{ MPa}$ .

### Połączenie gałęzi:

Przyjęto, że gałęzie połączone są przewiązkami o szerokości  $b = 60,0 \text{ mm}$  i grubości  $g = 5,0 \text{ mm}$  w odstępach  $l_1 = 500,0 \text{ mm}$ , wykonanymi ze stali St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.

Smukłość gałęzi:

$$\lambda_v = \lambda_1 = l_1 / i_1 = 500,0 / 5,5 = 90,91$$

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

### Współczynniki redukcji nośności:

Współczynnik niestateczności dla ścianki przy ściskaniu wynosi  $\varphi_p = 1,000$ . Współczynnik niestateczności gałęzi wynosi:

$$\bar{\lambda} = \lambda_1 / \lambda_p = 90,91 / 84,00 = 1,082 \Rightarrow \varphi_1 = 0,517.$$

W związku z tym współczynniki redukcji nośności wynoszą:

$$\text{- dla ściskania:} \quad \psi_o = 0,517$$

### Smukłość zastępcza pręta:

- dla wyboczenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi X

$$\lambda = l_{wx} / i_x = 1855,0 / 34,0 = 54,61$$

$$\lambda_m = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_v^2} \cdot m / 2 = \sqrt{54,61^2 + 90,91^2} = 106,05$$

$$\bar{\lambda}_m = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} \sqrt{\psi_o} = \frac{106,05}{84,00} \times \sqrt{0,517} = 0,908$$

### Nośność przewiązek:

$$x_a = 0,000; \quad x_b = 1,855.$$

Przewiązki prostopadłe do osi X:

$$Q = 1,2 \quad V = 1,2 \times 0,0 = 0,0 \text{ kN}$$

$$Q \geq 0,012 A f_d = 0,012 \times 7,00 \times 215 \times 10^{-1} = 1,8 \text{ kN}$$

$$\text{Przyjęto } Q = 1,8 \text{ kN}$$

$$V_Q = \frac{Q l_1}{n(m-1)a} = \frac{1,8 \times 500,0}{2 \times (2-1) \times 67,0} = 6,7 \text{ kN} \quad M_Q = \frac{Q l_1}{m n} = \frac{1,8 \times 0,5}{2 \times 2} = 0,2 \text{ kNm}$$

$$V_R = 0,58 \varphi_{pv} A_v f_d = 0,58 \times 1,000 \times 0,9 \times 60,0 \times 5,0 \times 215 \times 10^{-3} = 33,7 \text{ kN}$$

$$M_R = W f_d = 5,0 \times 60,0^2 / 6 \times 215 \times 10^{-6} = 0,6 \text{ kNm}$$

$$V_Q = 6,7 < 33,7 = V_R \quad M_Q = 0,2 < 0,6 = M_R$$

### Nośność elementów rozciąganych:

$$x_a = 0,000; \quad x_b = 1,855.$$

$$\text{Siła osiowa:} \quad N = -33,8 \text{ kN}.$$

$$\text{Pole powierzchni przekroju:} \quad A = 7,00 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Nośność przekroju na rozciąganie:} \quad N_{Rt} = A f_d = 7,00 \times 215 \times 10^{-1} = 150,5 \text{ kN}.$$

Warunek nośności (31):

$$N = 33,8 < 150,5 = N_{Rt}$$



### Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 1,855 \\ l_w = 1,000 \times 1,855 = 1,855 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_0 = 1,855 \\ l_w = 1,000 \times 1,855 = 1,855 \text{ m}$$

### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 80,8}{1,855^2} 10^{-2} = 474,8 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 14,6}{1,855^2} 10^{-2} = 85,8 \text{ kN}$$

### Nośność przekroju na ściskanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 1,855$ :

$$N_{RC} = \Psi A f_d = 0,517 \times 7,0 \times 215 \times 10^{-1} = 77,8 \text{ kN}$$

Określenie współczynników wyboczeniowych:

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi X:

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_m = 0,908 \Rightarrow \text{Tab.11 b} \Rightarrow \varphi = 0,709$$

- dla wyboczenia prostopadłego do osi Y:

$$\lambda_y = l_{wy} / i_y = 1855,0 / 14,4 = 128,44$$

$$\bar{\lambda} = \lambda_y / \lambda_p = 128,44 / 84,00 = 1,529 \Rightarrow \text{Tab.11 c} \Rightarrow \varphi = 0,331$$

Przyjęto:  $\varphi = \varphi_{\min} = 0,331$

Warunek nośności pręta na ściskanie (39):

$$\frac{N}{\varphi N_{RC}} = \frac{33,8}{0,331 \times 77,8} = 1,312 > 1$$

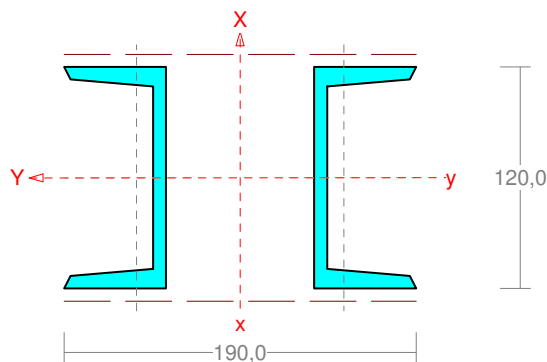
**Wniosek: nośność słupków jest niewystarczająca, wykorzystanie przekroju 131%.**

**Należy wzmocnić słupki oznaczone numerami 7 i 8.**

### Pręt nr 20 – pas dolny kratownicy

Zadanie: kratownica stalowa

Przekrój: 2 U 120



Wymiary przekroju:

U 120 h=120,0 s=55,0 g=7,0 t=9,0 r=9,0  
ex=16,0.

Charakterystyka geometryczna przekroju:

J<sub>xg</sub>=1152,6 J<sub>y</sub>=728,0 A=34,00 i<sub>x</sub>=5,8 i<sub>y</sub>=4,6.

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W**.

Wytrzymałość **f<sub>d</sub>=215 MPa** dla **g=9,0**.

### Siły przekrojowe:

x<sub>a</sub> = 0,000; x<sub>b</sub> = 2,400.

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **ABC**

**N = 305,9 kN**,

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 90,0 \text{ MPa}$   $\sigma_c = 90,0 \text{ MPa}$ .

### Połączenie gałęzi:

Przyjęto, że gałęzie połączone są przewiązkami o szerokości b = 60,0 mm i grubości g = 6,0 mm w odstępach l<sub>1</sub> = 1200,0 mm, wykonanymi ze stali St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.

Smukłość gałęzi:

$$\lambda_v = \lambda_1 = l_1 / i_1 = 1200,0 / 15,9 = 75,47$$

$$\lambda_p = 84 \sqrt{215 / f_d} = 84 \times \sqrt{215 / 215} = 84,00$$

### Współczynniki redukcji nośności:

Współczynnik niestateczności dla ścianki przy ściskaniu wynosi  $\varphi_p = 1,000$ . Współczynnik niestateczności gałęzi wynosi:

$$\bar{\lambda} = \lambda_1 / \lambda_p = 75,47 / 84,00 = 0,898 \Rightarrow \varphi_1 = 0,620.$$

W związku z tym współczynniki redukcji nośności wynoszą:

### Smukłość zastępcza pręta:

- dla wyboczenia w płaszczyźnie prostopadłej do osi X

$$\lambda = l_{wx} / i_x = 2400,0 / 58,2 = 41,22$$

$$\lambda_m = \sqrt{\lambda^2 + \lambda_v^2} = \sqrt{41,22^2 + 75,47^2} = 85,99$$

$$\bar{\lambda}_m = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} \sqrt{\psi_0} = \frac{85,99}{84,00} \times \sqrt{0,620} = 0,806$$

### Nośność elementów rozciąganych:

x<sub>a</sub> = 0,000; x<sub>b</sub> = 2,400.

Siła osiowa: **N = 305,9 kN**.

Pole powierzchni przekroju: **A = 34,00 cm<sup>2</sup>**.

Nośność przekroju na rozciąganie: **N<sub>Rt</sub> = A f<sub>d</sub> = 34,00 × 215 × 10<sup>-1</sup> = 731,0 kN**.

Warunek nośności (31):

$$N = 305,9 < 731,0 = N_{Rt}$$

### Złożony stan środnika

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 2,400$ .

Siły przekrojowe przypadające na środnik i nośności środnika:

$$\begin{array}{llll} N_w & = 52,9 & N_{Rw} & = 126,5 \quad \text{kN} \\ M_w & = 0,0 & M_{Rw} & = 1,8 \quad \text{kNm} \\ V & = 0,0 & V_R & = 209,5 \quad \text{kN} \\ P & = 0,0 & P_{Rc} & = 285,8 \quad \text{kN} \end{array}$$

Przyjęto, że zastosowane zostaną żebra w miejscu występowania siły skupionej ( $P = 0$ ).

Współczynnik niestateczności ścianki wynosi:  $\varphi_p = 1,000$ .

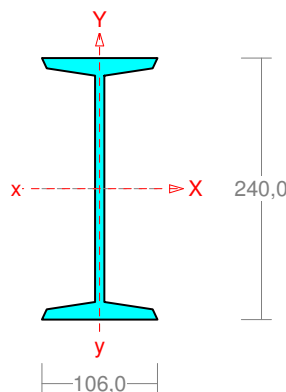
Warunek nośności środnika:

$$\begin{aligned} & \left( \frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} + \frac{P}{P_{Rc}} \right)^2 - 3 \varphi_p \left( \frac{N_w}{N_{Rw}} + \frac{M_w}{M_{Rw}} \right) \frac{P}{P_{Rc}} + \left( \frac{V}{V_R} \right)^2 = \\ & \left( \frac{52,9}{126,5} + \frac{0,0}{1,8} + \frac{0,0}{285,8} \right)^2 - 3 \times 1,000 \times \left( \frac{52,9}{126,5} + \frac{0,0}{1,8} \right) \frac{0,0}{285,8} + \left( \frac{0,0}{209,5} \right)^2 = 0,175 < 1 \end{aligned}$$

**Wniosek: nośność pasa jest wystarczająca, wykorzystanie przekroju 17,5%.**

### Z.2.2. Wyniki obliczeń belki I240 o rozpiętości osiowej 5,5m

Przekrój: I 240



Wymiary przekroju:

I 240  $h=240,0$   $g=8,7$   $s=106,0$   $t=13,1$   $r=8,7$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=4250,0$   $J_{yg}=221,0$   $A=46,10$   $i_x=9,6$   $i_y=2,2$   
 $J_w=28434,5$   $J_t=23,8$   $i_s=9,8$ .

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.**

Wytrzymałość  **$f_d=215$  MPa dla  $g=13,1$ .**

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

### Siły przekrojowe:

$x_a = 2,750$ ;  $x_b = 2,750$ .

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

$$M_x = -24,6 \text{ kNm}, \quad V_y = 0,0 \text{ kN}, \quad N = 0,0 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 69,4$  MPa  $\sigma_c = -69,4$  MPa.

### Naprężenia:

$x_a = 2,750$ ;  $x_b = 2,750$ .

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 69,4$  MPa  $\sigma_c = -69,4$  MPa.

Naprężenia:

$$\begin{array}{lll} \text{- normalne:} & \sigma = 0,0 & \Delta\sigma = 69,4 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000 \end{array}$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,0 / 1,000 + 69,4 = 69,4 < 215 \text{ MPa}$$

#### Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 5,500$$

$$l_w = 1,000 \times 5,500 = 5,500 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 5,500$$

$$l_w = 1,000 \times 5,500 = 5,500 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{o\omega} = 5,500 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 5,500 \text{ m}$ .

#### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 4250,0}{5,500^2} 10^{-2} = 2842,6 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 221,0}{5,500^2} 10^{-2} = 147,8 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{9,8^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 28434,5}{5,500^2} 10^{-2} + 80 \times 23,8 \times 10^2 \right) = 2156,7 \text{ kN}$$

#### Zwicherungie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{o\omega} = 5500 \text{ mm}$ :

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 22}{0,400} \times \sqrt{215 / 215} = 1925 < 5500 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwicherungiem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00 \text{ cm}$ . Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00 \text{ cm}$ . Przyjęto następujące wartości parametrów zwicherungia:  $A_1 = 0,000$ ,  $A_2 = 0,000$ ,  $B = 0,000$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 147,8 + \sqrt{(0,000 \times 147,8)^2 + 0,000^2 \times 0,098^2 \times 147,8 \times 2156,7} = 0,0$$

Przyjęto, że pręt jest zabezpieczony przed zwicherungiem:  $\bar{\lambda}_L = 0$ .

#### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 2,750$ ;  $x_b = 2,750$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 354,2 \times 215 \times 10^{-3} = 76,1 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,000$  wynosi  $\phi_L = 1,000$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\phi_L M_{Rx}} = \frac{24,6}{1,000 \times 76,1} = 0,323 < 1$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 5,500$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 20,9 \times 215 \times 10^{-1} = 260,4 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,6 V_R = 156,2 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 17,9 < 260,4 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 2,750$ ;  $x_b = 2,750$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 0,0 < 156,2 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 76,1 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{Rx, V}} = \frac{24,6}{76,1} = 0,323 < 1$$

### Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 7,1 \text{ mm}$$

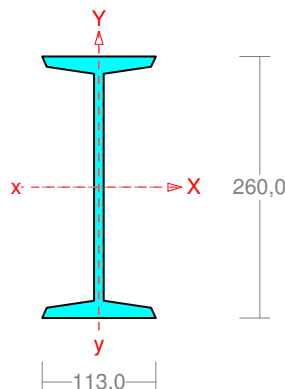
$$a_{\text{gr}} = l / 150 = 5500 / 150 = 36,7 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 7,1 < 36,7 = a_{\text{gr}}$$

***Wniosek: nośność belek stalowych jest wystarczająca, ponadto wykorzystanie nośności, zgodnie z obowiązującymi normami wynosi 32%.***

### Z.2.3. Wyniki obliczeń belki I260 o rozpiętości osiowej 7,2m

Przekrój: I 260



Wymiary przekroju:

I 260  $h=260,0$   $g=9,4$   $s=113,0$   $t=14,0$   $r=9,4$ .

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$J_{xg}=5740,0$   $J_{yg}=288,0$   $A=53,40$   $i_x=10,4$   $i_y=2,3$

$J_w=43401,0$   $J_t=31,4$   $i_s=10,6$ .

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.**

Wytrzymałość  **$f_d=215$  MPa** dla  **$g=14,0$ .**

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 1.

#### Siły przekrojowe:

$x_a = 3,600$ ;  $x_b = 3,600$ .

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **A**

$$M_x = -26,1 \text{ kNm}, \quad V_y = 0,0 \text{ kN}, \quad N = 0,0 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 59,2 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -59,2 \text{ MPa}$ .

#### Naprężenia:

$x_a = 3,600$ ;  $x_b = 3,600$ .

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 59,2 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -59,2 \text{ MPa}$ .

Naprężenia:

$$\text{- normalne: } \sigma = 0,0 \quad \Delta\sigma = 59,2 \text{ MPa} \quad \psi_{oc} = 1,000$$

Warunki nośności:

$$\sigma_{ec} = \sigma / \psi_{oc} + \Delta\sigma = 0,0 / 1,000 + 59,2 = 59,2 < 215 \text{ MPa}$$

#### Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 7,200$$
$$l_w = 1,000 \times 7,200 = 7,200 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 7,200$$
$$l_w = 1,000 \times 7,200 = 7,200 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega} = 7,200 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 7,200 \text{ m}$ .

#### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 5740,0}{7,200^2} 10^{-2} = 2240,3 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 288,0}{7,200^2} 10^{-2} = 112,4 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_{\omega}}{l_{\omega}^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{10,6^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 43401,0}{7,200^2} 10^{-2} + 80 \times 31,4 \times 10^2 \right) = 2377,3 \text{ kN}$$

### Zwichrzenie:

Dla dwuteownika walcowanego rozstaw stężeń zabezpieczających przekrój przed obrotem  $l_1 = l_{\omega} = 7200 \text{ mm}$ :

$$\frac{35 i_y}{\beta} \sqrt{215 / f_d} = \frac{35 \times 23}{0,400} \times \sqrt{215 / 215} = 2030 < 7200 = l_1$$

Pręt nie jest zabezpieczony przed zwichrzeniem.

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00 \text{ cm}$ . Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 0,00 \text{ cm}$ . Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia:  $A_1 = 0,000$ ,  $A_2 = 0,000$ ,  $B = 0,000$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,000 \times 0,00 + 0,000 \times 0,00 = 0,000$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,000 \times 112,4 + \sqrt{(0,000 \times 112,4)^2 + 0,000^2 \times 0,106^2 \times 112,4 \times 2377,3} = 0,0$$

Przyjęto, że pręt jest zabezpieczony przed zwichrzeniem:  $\bar{\lambda}_L = 0$ .

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 3,600$ ;  $x_b = 3,600$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 441,5 \times 215 \times 10^{-3} = 94,9 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,000$  wynosi  $\varphi_L = 1,000$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{26,1}{1,000 \times 94,9} = 0,275 < 1$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 0,000$ ;  $x_b = 7,200$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 24,4 \times 215 \times 10^{-1} = 304,8 \text{ kN}$$

$$V_0 = 0,6 V_R = 182,9 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 14,5 < 304,8 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 3,600$ ;  $x_b = 3,600$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 0,0 < 182,9 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 94,9 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{R_x, V}} = \frac{26,1}{94,9} = 0,275 < 1$$

### Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 10,6 \text{ mm}$$

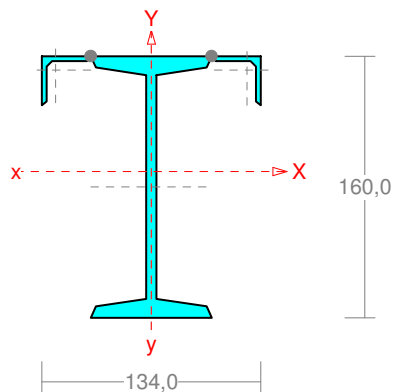
$$a_{\text{gr}} = l / 150 = 7200 / 150 = 48,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 10,6 < 48,0 = a_{\text{gr}}$$

***Wniosek: nośność belek stalowych jest wystarczająca, ponadto wykorzystanie nośności, zgodnie z obowiązującymi normami wynosi 28%.***

**Z.2.4. Wyniki obliczeń belki dla płatwi ciągłej I140 – przęsła pośrednie oraz I160 – przęsła skrajne, wszystkie elementy wzmocnione 2L30x30x3**

### Pręt nr 1 – przęsło skrajne



Wymiary przekroju:

$$h=160,0 \quad s=134,0.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg}=1092,6 \quad J_{yg}=177,0 \quad A=26,28 \quad i_x=6,4 \quad i_y=2,6$$

$$J_w=5816,4 \quad J_t=6,3 \quad y_s=4,8 \quad i_s=8,5 \quad r_x=-1,0$$

$$b_y=5,3.$$

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.**

Wytrzymałość **fd=215 MPa** dla **g=9,5.**

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy **2.**

### Siły przekrojowe:

$x_a = 5,400$ ;  $x_b = 0,000$ .

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

$$M_x = 18,8 \text{ kNm}, \quad V_y = -19,3 \text{ kN}, \quad N = 0,0 \text{ kN},$$

Naprężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 121,3 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -153,9 \text{ MPa}$ .

Długości wyboczeniowe pręta:



- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 0,300 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,763 \quad \text{dla } l_o = 5,400$$

$$l_w = 0,763 \times 5,400 = 4,120 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 2,400$$

$$l_w = 1,000 \times 2,400 = 2,400 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{o,\omega} = 5,400 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 5,400 \text{ m}$ .

**Siły krytyczne:**

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 1092,6}{4,120^2} 10^{-2} = 1302,2 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 177,0}{2,400^2} 10^{-2} = 621,8 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{8,5^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 5816,4}{5,400^2} 10^{-2} + 80 \times 6,3 \times 10^2 \right) = 763,1 \text{ kN}$$

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

$$\frac{621,8 + 763,1 - \sqrt{(621,8 + 763,1)^2 - 4 \times 621,8 \times 763,1 \times (1 - 1,000 \times 4,8^2 / 8,5^2)}}{2 \times (1 - 1,000 \times 4,8^2 / 8,5^2)} = 435,1 \text{ kN}$$

**Zwichrzenie:**

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00 \text{ cm}$ . Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 4,81 \text{ cm}$ . Przyjęto następujące wartości parametrów zwichrzenia:  $A_1 = 0,610$ ,  $A_2 = 0,530$ ,  $B = 1,140$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,610 \times 5,30 + 0,530 \times 4,81 = 5,784$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,058 \times 621,8 + \sqrt{(0,058 \times 621,8)^2 + 1,140^2 \times 0,085^2 \times 621,8 \times 763,1} = 111,4$$

Smukłość względna dla zwichrzenia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{26,3 / 111,4} = 0,558$$

**Nośność przekroju na zginanie:**

$x_a = 5,400$ ;  $x_b = 0,000$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 122,1 \times 215 \times 10^{-3} = 26,3 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,558$  wynosi  $\varphi_L = 0,955$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{Rx}} = \frac{18,8}{0,955 \times 26,3} = 0,749 < 1$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 5,400$ ;  $x_b = 0,000$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 11,7 \times 215 \times 10^{-1} = 145,9 \text{ kN}$$

$$V_o = 0,3 V_R = 43,8 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 19,3 < 145,9 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 5,400$ ;  $x_b = 0,000$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 19,3 < 43,8 = V_o$

$$M_{R,V} = M_R = 26,3 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{Rx,V}} = \frac{18,8}{26,3} = 0,716 < 1$$

### Stan graniczny użytkowania:

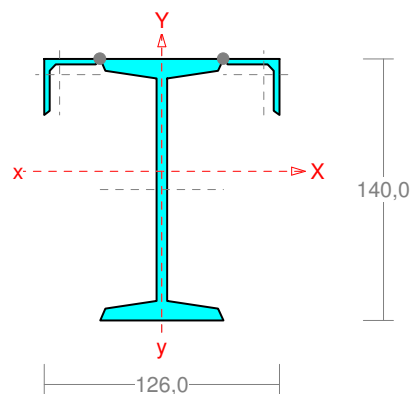
Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 11,0 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 150 = 5400 / 150 = 36,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 11,0 < 36,0 = a_{\text{gr}}$$

### Pręt nr 4 - pręśło pośrednie



Wymiary przekroju:

$$h = 140,0 \quad s = 126,0.$$

Charakterystyka geometryczna przekroju:

$$J_{xg} = 686,8 \quad J_{yg} = 141,8 \quad A = 21,78 \quad i_x = 5,6 \quad i_y = 2,6$$

$$J_w = 3071,4 \quad J_t = 4,2 \quad y_s = 4,6 \quad i_s = 7,7 \quad r_x = -1,0$$

$$b_y = 5,1.$$

Materiał: **St3SX, St3SY, St3S, St3V, St3W.**

Wytrzymałość **fd=215 MPa** dla **g=8,6.**

Przekrój spełnia warunki przekroju klasy 2.

**Siły przekrojowe:**

$x_a = 5,400$ ;  $x_b = 0,000$ .

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **AB**

$$\mathbf{M}_x = 14,5 \text{ kNm}, \quad \mathbf{V}_y = -16,1 \text{ kN}, \quad \mathbf{N} = 0,0 \text{ kN},$$

Napężenia w skrajnych włóknach:  $\sigma_t = 127,4 \text{ MPa}$   $\sigma_c = -169,1 \text{ MPa}$ .

### Długości wyboczeniowe pręta:

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu przyjęto podatności węzłów ustalone wg załącznika 1 normy:

$$\chi_1 = 0,300 \quad \chi_2 = 0,333 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 0,600 \quad \text{dla } l_o = 5,400$$

$$l_w = 0,600 \times 5,400 = 3,240 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

$$\chi_1 = 1,000 \quad \chi_2 = 1,000 \quad \text{węzły nieprzesuwne} \Rightarrow \mu = 1,000 \quad \text{dla } l_o = 2,400$$

$$l_w = 1,000 \times 2,400 = 2,400 \text{ m}$$

- dla wyboczenia skrętnego przyjęto współczynnik długości wyboczeniowej  $\mu_\omega = 1,000$ . Rozstaw stężeń zabezpieczających przed obrotem  $l_{\omega\omega} = 5,400 \text{ m}$ . Długość wyboczeniowa  $l_\omega = 5,400 \text{ m}$ .

### Siły krytyczne:

$$N_x = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 686,8}{3,240^2} 10^{-2} = 1323,7 \text{ kN}$$

$$N_y = \frac{\pi^2 EJ}{l_w^2} = \frac{3,14^2 \times 205 \times 141,8}{2,400^2} 10^{-2} = 498,0 \text{ kN}$$

$$N_z = \frac{1}{i_s^2} \left( \frac{\pi^2 EJ_\omega}{l_\omega^2} + GJ_T \right) = \frac{1}{7,7^2} \left( \frac{3,14^2 \times 205 \times 3071,4}{5,400^2} 10^{-2} + 80 \times 4,2 \times 10^2 \right) = 607,3 \text{ kN}$$

$$N_{yz} = \frac{N_y + N_z - \sqrt{(N_y + N_z)^2 - 4 N_y N_z (1 - \mu_{ys}^2 / i_s^2)}}{2(1 - \mu_{ys}^2 / i_s^2)} =$$

$$\frac{498,0 + 607,3 - \sqrt{(498,0 + 607,3)^2 - 4 \times 498,0 \times 607,3 \times (1 - 1,000 \times 4,6^2 / 7,7^2)}}{2 \times (1 - 1,000 \times 4,6^2 / 7,7^2)} = 341,6 \text{ kN}$$

### Zwicherungie:

Współrzędna punktu przyłożenia obciążenia  $a_o = 0,00 \text{ cm}$ . Różnica współrzędnych środka ścinania i punktu przyłożenia siły  $a_s = 4,59 \text{ cm}$ . Przyjęto następujące wartości parametrów zwicherungia:  $A_1 = 0,610$ ,  $A_2 = 0,530$ ,  $B = 1,140$ .

$$A_o = A_1 b_y + A_2 a_s = 0,610 \times 5,08 + 0,530 \times 4,59 = 5,532$$

$$M_{cr} = \pm A_o N_y + \sqrt{(A_o N_y)^2 + B^2 i_s^2 N_y N_z} =$$

$$0,055 \times 498,0 + \sqrt{(0,055 \times 498,0)^2 + 1,140^2 \times 0,077^2 \times 498,0 \times 607,3} = 83,1$$

Smukłość względna dla zwicherungia wynosi:

$$\bar{\lambda}_L = 1,15 \sqrt{M_R / M_{cr}} = 1,15 \times \sqrt{18,5 / 83,1} = 0,543$$

### Nośność przekroju na zginanie:

$x_a = 5,400$ ;  $x_b = 0,000$ .

- względem osi X

$$M_R = \alpha_p W f_d = 1,000 \times 86,0 \times 215 \times 10^{-3} = 18,5 \text{ kNm}$$

Współczynnik zwichrzenia dla  $\bar{\lambda}_L = 0,543$  wynosi  $\varphi_L = 0,959$

Warunek nośności (54):

$$\frac{M_x}{\varphi_L M_{R_x}} = \frac{14,5}{0,959 \times 18,5} = 0,820 < 1$$

### Nośność przekroju na ścinanie:

$x_a = 5,400$ ;  $x_b = 0,000$ .

- wzdłuż osi Y

$$V_R = 0,58 A_V f_d = 0,58 \times 9,6 \times 215 \times 10^{-1} = 119,7 \text{ kN}$$

$$V_0 = 0,3 V_R = 35,9 \text{ kN}$$

Warunek nośności dla ścinania wzdłuż osi Y:

$$V = 16,1 < 119,7 = V_R$$

### Nośność przekroju zginanego, w którym działa siła poprzeczna:

$x_a = 5,400$ ;  $x_b = 0,000$ .

- dla zginania względem osi X:  $V_y = 16,1 < 35,9 = V_0$

$$M_{R,V} = M_R = 18,5 \text{ kNm}$$

Warunek nośności (55):

$$\frac{M_x}{M_{R_x,V}} = \frac{14,5}{18,5} = 0,786 < 1$$

### Stan graniczny użytkowania:

Ugięcia względem osi Y liczone od cięciwy pręta wynoszą:

$$a_{\max} = 8,1 \text{ mm}$$

$$a_{\text{gr}} = l / 150 = 5400 / 150 = 36,0 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 8,1 < 36,0 = a_{\text{gr}}$$

***Wniosek: nośność płaty jest wystarczająca, wykorzystanie nośności, zgodnie z obowiązującymi normami wynosi 80%.***