

1. Dane projektowe

- Moment zginający $M_{Ed} = 280 \text{ kNm}$
- Współczynniki materiałowe [tabl. NA.2 EC2]
 - $\gamma_s = 1,15$
 - $\gamma_c = 1,4$
- Klasa stali A-II
 - gatunek stali: 20G2Y-b [tab. 3 PN-B]
 - charakterystyczna granica plastyczności $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$ [tab. 3 PN-B]
 - obliczeniowa granica plastyczności $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{355 \text{ MPa}}{1,15} = 310 \text{ MPa}$ [3.2.7. EC2]
- Przyjęte średnice prętów:
 - Pręty główne: 14 mm
 - Strzemiona: 8 mm
- klasa ekspozycji: XC1
- graniczna wartość efektywnej wysokości strefy ściskanej: $\xi_{eff,lim} = 0,55$ [tab. 9 PN-B]
- klasa betonu: C25/30 [tab. E1N EC2]
 - charakterystyczna wytrzymałość na ściskanie: $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
 - obliczeniowa wytrzymałość na ściskanie: $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25 \text{ MPa}}{1,4} = 17,9 \text{ MPa}$ [(3.15) EC2]
 - średnia wytrzymałość na ściskanie $f_{ctm} = 2,6 \text{ MPa}$
- Wymiary przekroju: $h_f = 0,06 \text{ m}$, $h = 0,51 \text{ m}$, $b_w = 0,25 \text{ m}$, przyjęto: $b_{eff} = 0,45 \text{ m}$
- maksymalny wymiar kruszywa $d_g = 16 \text{ mm}$

2. Obliczenie otuliny

- Obliczenie nominalnego otulenia c_{nom}

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} \quad [(4.1) \text{ EC2}]$$

- Obliczenie minimalnego otulenia

$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} + \Delta c_{dur,st} + \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \} \quad [(4.2) \text{ EC2}]$$

$$c_{min,b} = 14 \text{ mm} \quad [\text{tab. 4.2 EC2}]$$

Przyjęto klasę konstrukcji S4 dla projektowanego okresu użytkowania 50 lat [tab. 4.3N EC2]

$$c_{min,dur} = 15 \text{ mm} \quad [\text{tab. 4.4N EC2}]$$

Przyjęto:

$$\Delta c_{dur,y} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0 \text{ mm} \quad [4.4.1.2 \text{ EC2}]$$

$$c_{min} = \max \{ 14 \text{ mm}; 15 \text{ mm} + 0 \text{ mm} + 0 \text{ mm} + 0 \text{ mm}; 10 \text{ mm} \} = 15 \text{ mm}$$

- Przyjęto odchyłkę otulenia $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$ [4.4.1.3 EC2]

- $c_{nom} = 15 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 25 \text{ mm}$

3. Minimalna odległość pomiędzy prętami

$$s_{l,min} = \left\{ \begin{array}{l} \phi \cdot k_1 \\ d_g + k_2 \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 14 \text{ mm} \cdot 1 \\ 16 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 21 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = 21 \text{ mm} \quad [8.2, \text{ EC2}]$$

4. Wymiarowanie przekroju

- Odległość osi ciężkości zbrojenia rozciąganego do najbliższej krawędzi przekroju. Przyjęto 1 rząd zbrojenia

$$a_1 = c_{nom} + \phi_s + 0,5\phi = 0,025\text{ m} + 0,008\text{ m} + 0,5 \cdot 0,014\text{ m} = 0,04\text{ m}$$

- Wysokość użyteczna przekroju

$$d = h - a_1 = 0,51\text{ m} - 0,04\text{ m} = 0,47\text{ m}$$

- Sprawdzenie teowości przekroju

$$M_s = f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot h_f \cdot (d - 0,5 h_f) = 17,9 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,45\text{ m} \cdot 0,06\text{ m} (0,47\text{ m} - 0,5 \cdot 0,06\text{ m}) = 213 \text{ kNm} < 280 \text{ kNm} = M_{Ed}$$

Przekrój jest rzeczywiście teowy

- Wyznaczenie momentu przenieszonego przez środek

$$M_{s2} = f_{cd} \cdot (b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot (d - 0,5 h_f) = 17,9 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,45\text{ m} - 0,25\text{ m}) \cdot 0,06\text{ m} (0,47\text{ m} - 0,5 \cdot 0,06\text{ m}) = 94,5 \text{ kNm}$$

$$M_{s1} = 280 \text{ kNm} - 94,5 \text{ kNm} = 186 \text{ kNm}$$

- Bezwymiarowy współczynnik momentu zginającego

$$S_{c,eff} = \frac{M_{s1}}{f_{cd} \cdot b_w \cdot d^2} = \frac{186 \text{ kNm}}{17900 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,25\text{ m} \cdot (0,47\text{ m})^2} = 0,188$$

- Względna efektywna wysokość strefy ściskanej betonu

$$\xi_{eff} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot S_{c,eff}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,188} = 0,210 < 0,55 = \xi_{eff,lim}$$

- Wysokość strefy ściskanej betonu

$$x_{eff} = \xi_{eff} \cdot d = 0,210 \cdot 0,47\text{ m} = 0,0987\text{ m}$$

- Wymagane pole przekroju zbrojenia rozciąganego ze względu na zginanie

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \cdot (b_{eff} - b_w) h_f + f_{cd} \cdot b_w \cdot x_{eff}}{f_{yd}} = \frac{17,9 \text{ MPa} (0,45\text{ m} - 0,25\text{ m}) 0,06\text{ m} + 17,9 \text{ MPa} \cdot 0,25\text{ m} \cdot 0,0987\text{ m}}{310 \text{ MPa}} = 0,00212 \text{ m}^2 = 21,2 \text{ cm}^2$$

- Minimalne pole powierzchni zbrojenia

$$A_{s1,min} = \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \\ 0,0013 b_t d \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \frac{2,6 \text{ MPa}}{355 \text{ MPa}} 0,25\text{ m} \cdot 0,47\text{ m} = 0,00022 \text{ m}^2 \\ 0,0013 \cdot 0,25\text{ m} \cdot 0,47\text{ m} = 0,00015 \text{ m}^2 \end{array} \right\} = 2,2 \text{ cm}^2$$

- Całkowite wymagane pole powierzchni zbrojenia

$$A_{s1, req} = \max \left\{ \begin{array}{l} A_{s1} = 21,2 \text{ cm}^2 \\ A_{s1, min} = 2,2 \text{ cm}^2 \end{array} \right\} = 21,2 \text{ cm}^2 \quad [9.2.1.1 \text{ EC2}]$$

- Pole przekroju jednego pręta $\phi 14$

$$A_{\phi 14} = 1,54 \text{ cm}^2$$

- liczba prętów $\phi 14$

$$n = \frac{A_{s1, req}}{A_{\phi 14}} = \frac{21,2 \text{ cm}^2}{1,54 \text{ cm}^2} = 13,7 \quad , \text{ przyjęto } 14 \text{ prętów}$$

- Rzeczywiste pole powierzchni zbrojenia

$$A_{s1, prov} = 7 A_{\phi 14} = 14 \cdot 1,54 \text{ cm}^2 = 21,6 \text{ cm}^2$$

- Maksymalne pole powierzchni zbrojenia

$$A_{s, max} = 0,04 A_c \approx 0,04 b_w h = 0,04 \cdot 25 \text{ cm} \cdot 51 \text{ cm} = 51 \text{ cm}^2 > A_{s1, prov} \quad [9.2.1.1 \text{ EC2}]$$

- Odległość w świetle pomiędzy prętami:

$$s_l = \frac{b - 2c_{nom} - 2\phi_s - n\phi}{n-1} = \frac{0,25 \text{ m} - 2 \cdot 0,025 \text{ m} - 2 \cdot 0,008 \text{ m} - 14 \cdot 0,014 \text{ m}}{14-1} = -0,0009 \text{ m} < 0,021 \text{ m} = s_{l, min}$$

Przyjęto 3 pręty $\phi 32$ $A_s = 24,13 \text{ cm}^2$:

$$s_l = \frac{b - 2c_{nom} - 2\phi_s - n\phi}{n-1} = \frac{0,25 \text{ m} - 2 \cdot 0,025 \text{ m} - 2 \cdot 0,008 \text{ m} - 3 \cdot 0,032 \text{ m}}{3-1} = 0,044 \text{ m} > 0,032 \text{ m} = s_{l, min}$$

- Nowa odległość osi ciężkości zbrojenia rozciąganego do najbliższej krawędzi przekroju.

$$a_1 = c_{nom} + \phi_s + 0,5\phi = 0,025 \text{ m} + 0,008 \text{ m} + 0,5 \cdot 0,032 \text{ m} = 0,049 \text{ m}$$

- Wysokość użyteczna przekroju

$$d = h - a_1 = 0,51 \text{ m} - 0,049 \text{ m} = 0,461 \text{ m}$$

5. Sprawdzenie nośności przekroju

- Rzeczywista wysokość strefy ściskanej

$$x_{eff, lim} = \xi_{eff, "lim"} \cdot d = 0,55 \cdot 0,463 \text{ m} = 0,255 \text{ m}$$

$$x_{eff} = \frac{f_{yd} A_{s1, prov} - f_{cd} \cdot (b_{eff} - b_w) \cdot h_f}{f_{cd} b_w} = \frac{310 \text{ MPa} \cdot 24,1 \text{ cm}^2 - 17,9 \text{ MPa} \cdot (45 \text{ cm} - 25 \text{ cm}) \cdot 6 \text{ cm}}{17,9 \text{ MPa} \cdot 25 \text{ cm}} =$$

$$= 11,9 \text{ cm} = 0,119 \text{ m} < 0,255 \text{ m} = x_{eff, lim}$$

- Graniczna nośność przekroju

$$M_{Rd} = f_{cd} \cdot (b_{eff} - b_w) \cdot h_f (d - 0,5 h_f) + f_{cd} b_w x_{eff} (d - 0,5 x_{eff}) =$$

$$= 17900 \text{ kN} / \text{m}^2 (0,45 \text{ m} - 0,25 \text{ m}) 0,06 \text{ m} \cdot (0,461 \text{ m} - 0,5 \cdot 0,06 \text{ m}) +$$

$$+17900 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,25 \text{ m} \cdot 0,119 \text{ m} \cdot (0,461 \text{ m} - 0,5 \cdot 0,122 \text{ m}) = 92,6 \text{ kNm} + 213 \text{ kNm} = \\ = 306 \text{ kNm} > 280 \text{ kNm} = M_{Ed}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{280 \text{ kNm}}{306 \text{ kNm}} = 0,92$$

Nośność przekroju jest wykorzystana w 90%