

4.5. Obliczenie nośności, długości zakotwień i zakładów

Nośność przekroju w funkcji ilości prętów

$$x_{eff} = \frac{A_{s1} f_{yd}}{f_{cd} b}$$

$$M_{Rd} = A_{s1} f_{yd} (d - 0,5 x_{eff})$$

Zbrojenie	liczba prętów	A_{s1} [cm ²]	x_{eff} [m]	M_{Rd} [kNm]
2φ20	2	6,28	0,0093	122
3φ20	3	9,42	0,0140	182

Zbrojenie	liczba prętów	A_{s1} [cm ²]	x_{eff} [m]	M_{Rd} [kNm]
2φ12	2	2,26	0,0034	44
4φ12	4	4,52	0,0067	88
6φ12	6	6,79	0,0101	132
6φ12+1φ20	7	9,93	0,0147	192

Graniczne naprężenia przyczepności:

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} [(8.2) EC2]$$

Dobre warunki przyczepności

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,29 MPa = 2,90 MPa$$

Słabe warunki przyczepności

$$f_{bd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,29 MPa = 2,03 MPa$$

Zakotwienie zbrojenia dolnego na podporach skrajnych:

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{435 \cdot 54}{182} = 129 MPa$$

Podstawowa długość zakotwienia:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varphi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{12 \cdot 129}{4 \cdot 2,90} = 222 mm [(8.3) EC2]$$

$$0,3 l_{b,rqd} = 0 = 16,2 mm$$

$$l_{b,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 10\phi \\ 100 mm \end{array} \right\} = \max \{ 10 \cdot 20 = 200 mm \} = 200 mm [(8.6) EC2]$$

Zakotwienie zbrojenia górnego na podporach skrajnych:

$$\sigma_{sd} = 0,15 \frac{f_{yd} \cdot A_{s1,req}}{A_{prov}} = 0,15 \frac{435 \cdot 6,74}{2,26} = 195 MPa$$

Podstawowa długość zakotwienia:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varphi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{12 \cdot 195}{4 \cdot 2,03} = 288 mm$$

Zakotwienie zbrojenia górnego przy podporze pośredniej:

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{435 \cdot 88}{132} = 290 MPa$$

Podstawowa długość zakotwienia:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varphi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{12 \cdot 290}{4 \cdot 2,03} = 428mm$$

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{435 \cdot 44}{88} = 218MPa$$

Podstawowa długość zakotwienia:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varphi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{12 \cdot 218}{4 \cdot 2,03} = 322mm$$

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{435 \cdot 160}{192} = 363MPa$$

Podstawowa długość zakotwienia:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varphi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{20 \cdot 363}{4 \cdot 2,03} = 894mm$$

Zakłady zbrojenia górnego

$$\sigma_{sd} = \frac{f_{yd} \cdot M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{435 \cdot 19}{44} = 188MPa$$

Podstawowa długość zakotwienia:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varphi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} = \frac{12 \cdot 188}{4 \cdot 2,03} = 278mm$$

Długość zakładu:

$$l_0 = \alpha_6 l_{bd} = 1,5 \cdot 278 = 417mm$$

4.6. Obliczenie ugięcia żebra

Kombinacja quasi-stała obciążeń:

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i} = 9,90 + 0,8 \cdot 18,2 = 24,5 kN/m[(6.16b) EC0]$$



Moment maksymalny w przęśle od kombinacji quasi-stałej: $M_{Eqp} = 76,9kNm$

a) obliczenia wstępne

Obwód , przez który przekrój może wysychać:

$$u = b_{eff} + 2(h - h_f) = 164 + 2(50 - 10) = 244cm$$

Pole przekroju poprzecznego:

$$A_c = 164 \cdot 10 + 25 \cdot 40 = 2640cm^2$$

Obwód kontrolny

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 2640}{244} = 21,6 \text{ cm} = 216 \text{ mm} \text{ [(B.4) EC2]}$$

Przyjęto $RH = 50\%$ oraz $t_0 = 30 \text{ dni}$

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot h_0^{1/3}} = 1 + \frac{1 - \frac{50}{100}}{0,1 \cdot 216^{1/3}} = 1,86 \text{ [(B.3a) EC2]}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = \frac{16,8}{\sqrt{33}} = 2,92 \text{ [(B.4) EC2]}$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = \frac{1}{0,1 + 30^{0,2}} = 0,482 \text{ [(B.5) EC2]}$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(t_0) \cdot \beta(f_{cm}) = 1,86 \cdot 2,92 \cdot 0,482 = 2,62 \text{ [(B.2) EC2]}$$

$$\beta_H = 1,5 [1 + (0,012 RH)^{18}] h_0 + 250 = 1,5 [1 + (0,012 \cdot 50)^{18}] \cdot 198 + 250 = 547 \text{ [(B.8a) EC2]}$$

$$\beta_c(\infty, t_0) = \left[\frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0} \right]^{0,3} = \left[\frac{18250 - 30}{547 + 18250 - 30} \right]^{0,3} = 0,991 \text{ [(B.7) EC2]}$$

$$\varphi(t_0, \infty) = \varphi_0 \beta_c(\infty, t_0) = 2,62 \cdot 0,991 = 2,60 \text{ [(B.1) EC2]}$$

(bądź za pomocą rys. 3.1 EC2]

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(t_0, \infty)} = \frac{31}{1 + 2,60} = 8,61 \text{ GPa} \text{ [(7.20) EC2]}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200}{8,61} = 23,2 \text{ [(7.21) przypis) EC2]}$$

b) faza I – przekrój niezarysowany

$$A_{cs} = A_c + \alpha_e A_s = 2640 + 23,2 \cdot 9,42 = 2640 + 217 = 2857 \text{ cm}^2$$

Moment statyczny obliczony względem górnej krawędzi

$$S_{cs} = 164 \cdot 10 \cdot 5 + 25 \cdot 40 \cdot 30 + 217 \cdot 45,2 = 48000 \text{ cm}^3$$

środek ciężkości przekroj (zasięg strefy ściskanej) x_I

$$x_I = \frac{S_{cs}}{A_{cs}} = \frac{48000}{2857} = 16,8 \text{ cm}$$

Moment bezwładności przekroju niezarysowanego

$$I_I = \frac{1,64 \cdot 0,1^3}{12} + 1,64 \cdot 0,1 \cdot (0,168 - 0,05)^2 + \frac{0,25 \cdot 0,40^3}{12} + 0,25 \cdot 0,40 \cdot (0,30 - 0,168)^2 + 216 \cdot 10^{-4} \cdot (0,452 - 0,18)^2 = (0,137 + 2,28 + 1,33 + 1,74 + 1,60) 10^{-3} \text{ m}^4 = 7,09 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$W_{cs} = \frac{I_I}{h - x_I} = \frac{7,09 \cdot 10^{-3}}{0,50 - 0,168} = 2,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$M_{cr} = W_{cs} f_{ctm} = 2,14 \cdot 10^{-2} \cdot 2,6 \cdot 10^3 = 55,6 \text{ kNm} < M_{Eqp} = 76,9 \text{ kNm}$$

Belka będzie zarysowana.

Ugięcie belki w fazie pierwszej:

$$\alpha_I = \frac{M_{Eqp} \cdot l_{eff}^2}{12 E_{c,eff} \cdot I_I} = \frac{76,9 \cdot 5,9^2}{12 \cdot 8,61 \cdot 10^6 \cdot 7,09 \cdot 10^{-3}} = 3,65 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

c) faza II – przekrój zarysowany

$$0,5 b_{eff} \cdot h_f^2 = 0,5 \cdot 1,64 \cdot 0,1^2 = 8,20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (d - h_f) = 23,2 \cdot 10^{-4} \cdot (0,452 - 0,1) = 7,64 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$0,5 b_{eff} \cdot h_f^2 > \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (d - h_f) \rightarrow \text{Po zarysowaniu przekrój będzie pozornie teowy}$$

Moment statyczny względem środka ciężkości x_{II} jest równy zeru

$$b_{eff} \cdot 0,5 \cdot x_{II}^2 - \alpha_e \cdot A_{s1} \cdot (d - x_{II}) = 0$$

$$0,82 \cdot x_{II}^2 + 0,0217 x_{II} - 0,00981 = 0$$

$$\text{http://www.wolframalpha.com} \rightarrow x_{II} = 0,0969 \text{ m}$$

$$I_{II} = \frac{b_{eff} x_{II}^3}{3} + \alpha_e A_{s1} (d - x_{II})^2 =$$

$$= \frac{1,64 \cdot 0,1^3}{3} + 217 \cdot 10^{-4} \cdot (0,452 - 0,0969)^2 =$$

$$= (0,546 + 2,74) 10^{-3} m^4 = 3,29 \cdot 10^{-3} m^4$$

Udział zbrojenia sięga teraz 83%

$$\alpha_{II} = \frac{\alpha_I \cdot I_I}{I_{II}} = \frac{3,65 \cdot 10^{-3} \cdot 2,14 \cdot 10^{-2}}{3,29 \cdot 10^{-3}} = 23,7 \cdot 10^{-3} m$$

d) ugięcie belki obliczone z uwzględnieniem współpracy betonu pomiędzy rysami

$$\zeta = 1 - 0,5 \left(\frac{M_{cr}}{M_{Eqp}} \right)^2 = 1 - 0,5 \cdot \left(\frac{55,6}{76,9} \right)^2 = 0,739 [(7,19) EC2]$$

$$\alpha = \alpha_{II} \cdot \zeta + \alpha_1 (1 - \zeta) = 23,7 \cdot 10^{-3} \cdot 0,739 + 3,65 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - 0,739) = 18,5 \cdot 10^{-3} m [(7,18) EC2]$$

$$\alpha_{lim} = \frac{l_{eff}}{250} = \frac{5,9}{250} = 23,6 \cdot 10^{-3} m > 18,5 \cdot 10^{-3} m [7.4.1(4) EC2]$$

Dopuszczalne ugięcie nie będzie przekroczone.

4.5.2. Sprawdzenie szerokości rozwarcia rysy

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi}{\rho_{eff}} [(7.11) EC2]$$

$$A_{c,eff} = b_w \cdot \min \left\{ \frac{2,5(h-d)}{(55-x_1)/3} \right\} = 25 \cdot \min \left\{ \frac{2,5(50-45,2)}{(50-16,8)/3} = 12 \right\} = 278 cm^2 [7.3.2(3) EC2]$$

$$\rho_{eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{9,42}{278} = 0,0339 [(7.10) EC2]$$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{eff}} = 3,4 \cdot 38 + \frac{0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot 20}{0,0339} = 129 + 100 = 229 mm [(7.11) EC2]$$

$$\sigma_s = \frac{\alpha_e M_{Eqp}}{I_{II}} (d - x_{II}) = \frac{23,2 \cdot 76,9}{3,29 \cdot 10^{-3}} \cdot (0,452 - 0,0969) = 193 MPa$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{eff}} (1 + \alpha_e \rho_{eff})}{E_s} = \frac{193 - \frac{0,4 \cdot 2,6}{0,0339} (1 + 2 \cdot 2 \cdot 0,0339)}{200 \cdot 10^3} = 0,691 \cdot 10^{-3} [(7.9) EC2]$$

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 229 \cdot 0,691 \cdot 10^{-3} = 0,158 mm < w_{max} = 0,4 mm [(7.8) EC2], [tabl. 7.1N EC2]$$

Dopuszczalna szerokość rysy nie zostanie przekroczone.