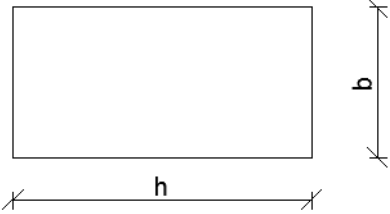
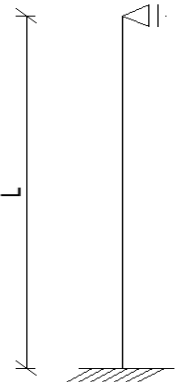
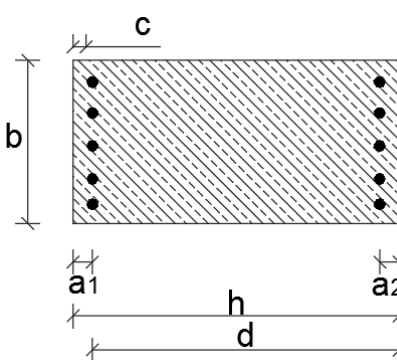


Przykład 4. Projektowanie słupa

Obliczenia	Odniesienie w normie												
1	2												
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>szerokość $b = 40$ cm wysokość $h = 60$ cm długość $L = 8,70$ m</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <p style="text-align: center;">Siły wewnętrzne</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Przypadek</th> <th>Moment zginający</th> <th>Siła osiowa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>M_{max}</td> <td>230,28 kNm</td> <td>460,49 kN</td> </tr> <tr> <td>M_{min}</td> <td>- 222,68 kNm</td> <td>367,57 kN</td> </tr> <tr> <td>N_{max}</td> <td>146,95 kNm</td> <td>534,93 kN</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Dobór materiałów</p> <p>Beton: Klasa ekspozycji: XC1 → Beton C25/30 $\gamma_c = 1,5$ $f_{ck} = 25$ MPa $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16,67$ MPa $f_{ctm} = 2,6$ MPa $f_{ctk} = 1,8$ MPa $f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{\gamma_c} = \frac{1,8}{1,5} = 1,2$ MPa $E_{cm} = 31,0$ GPa</p>	Przypadek	Moment zginający	Siła osiowa	M_{max}	230,28 kNm	460,49 kN	M_{min}	- 222,68 kNm	367,57 kN	N_{max}	146,95 kNm	534,93 kN	<p style="text-align: center;">EC 1992-1-1 tab. 4.1 tab. E.1.N</p> <p style="text-align: center;">EC 1992-1-1 tab. 3.1</p>
Przypadek	Moment zginający	Siła osiowa											
M_{max}	230,28 kNm	460,49 kN											
M_{min}	- 222,68 kNm	367,57 kN											
N_{max}	146,95 kNm	534,93 kN											

Obliczenia	Odniesienie w normie
1	2
<p>Stal:</p> <p>Stal klasy C: B500SP</p> <p>$\gamma_s = 1,15$</p> <p>$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$</p> $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$ <p>$E_s = 200,0 \text{ GPa}$</p> <p>$\epsilon_{cu} = 0,0035$</p> $\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{210000} = 0,0021$ $\xi_{\text{eff,lim}} = \lambda \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_{yd}} = 0,8 \cdot \frac{0,0035}{0,0035 + 0,0021} = 0,500$ <p style="text-align: center;">Otulenie zbrojenia</p> <p>Wstępnie ustalono średnicę zbrojenia głównego ϕ równą 16 mm, natomiast otulenie zbrojenia ustalono:</p> $c_{\min} = \max \left\{ c_{\min.\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},\text{st}} - \Delta c_{\text{dur},\text{add}} \right\}$ $c_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{\min.\text{b}} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\}$ $c_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 16 \text{ mm} \\ 15 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 16 \text{ mm}$ <p>$c_{\text{nom}} = c_{\min} + c_{\text{dev}} = 16 + 10 = 26 \text{ mm}$</p> <p>Otulenie zbrojenia przyjęto $c = 3,0 \text{ cm}$</p> <p>Wstępnie ustalono średnicę strzemion ϕ równą 8 mm, natomiast otulenie zbrojenia ustalono:</p> $c_{\min} = \max \left\{ c_{\min.\text{dur}} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - \Delta c_{\text{dur},\text{st}} - \Delta c_{\text{dur},\text{add}} \right\}$ $c_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} c_{\min.\text{b}} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\}$ $c_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 8 \text{ mm} \\ 15 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 15 \text{ mm}$ <p>$c_{\text{nom}} = c_{\min} + c_{\text{dev}} = 15 + 10 = 25 \text{ mm}$</p> <p>Otulenie zbrojenia przyjęto $c = 2,5 \text{ cm}$</p> <p>Ostatecznie otulenie zbrojenia przyjęto $c = 3,5 \text{ cm}$</p>	<p>EC 1992-1-1 tab. C.1 tab. C.2N</p> <p>EC 1992-1-1 4.4.1</p>

Obliczenia	Odniesienie w normie
1	2
<p style="text-align: center;">Rozstaw prętów</p> <p>Rozstaw prętów:</p> $a_{min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 20 \text{ mm} \\ \emptyset \\ d_g + 5 \text{ mm} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 20 \text{ mm} \\ 16 \text{ mm} \\ 8 + 5 \text{ mm} \end{array} \right\} = 20 \text{ mm}$ <p>Przyjęto $a = 2,0 \text{ cm}$</p> <p style="text-align: center;">Geometria przekroju</p>  <p> $a_s = a_1 = a_2 = c + \frac{1}{2} \phi_{pl} = 3,5 + \frac{1}{2} \cdot 1,6 = 4,3 \text{ cm} = 0,043 \text{ m}$ $d = b - a = 0,60 - 0,043 = 0,557 \text{ m}$ </p> <p style="text-align: center;">Zbrojenie minimalne</p> $A_{s,min} = 0,10 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 0,10 \cdot \frac{460,49}{420} = 0,000109 \text{ m}^2 = 1,09 \text{ cm}^2$ $A_{s,min} = 0,02 \cdot A_c = 0,002 \cdot 0,40 \cdot 0,60 = 0,00048 \text{ m}^2 = 4,80 \text{ cm}^2$ <p>Przyjęto $A_{s,min} = 4,80 \text{ cm}^2$</p> <p style="text-align: center;">Zbrojenie maksymalne</p> $A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 0,40 \cdot 0,60 = 0,0096 \text{ m}^2 = 96,00 \text{ cm}^2$ <p>Przyjęto $A_{s,max} = 60,00 \text{ cm}^2$</p> <p style="text-align: center;">Zbrojenie założone</p> <p>Przyjęto zbrojenie całkowite $9 \phi 16$ o $A_s = 18,09 \text{ cm}^2$</p> <p>Sprawdzenie minimalnego i maksymalnego zbrojenia:</p> $A_{s,min} = 4,80 \text{ cm}^2 < A_s = 18,09 \text{ cm}^2 < A_{s,max} = 96,00 \text{ cm}^2$	<p>EC 1992-1-1 6.10.1.2</p> <p>EC 1992-1-1 9.5.2</p> <p>EC 1992-1-1 9.5.2</p>

Obliczenia	Odniesienie w normie
1	2
<p style="text-align: center;">Imperfekcje geometryczne</p> <p>Dodatkowy mimośród:</p> <p>Współczynnik redukcyjny długości lub wysokości:</p> $\alpha_h = \sqrt{\frac{2}{l}} = \sqrt{\frac{2}{8,7}} = 0,48$ <p>$0,67 < \alpha_h = 0,48 < 1,0$, przyjęto $\alpha_h = 0,67$</p> <p>Współczynnik redukcyjny ze względu na liczbę elementów:</p> <p>$m = 1 \rightarrow$ brak elementów podpierających</p> $\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + \frac{1}{m})} = \sqrt{0,5(1 + \frac{1}{1})} = 1,00$ <p>Kąt pochylenia:</p> $\theta_0 = \frac{1}{200}$ $\theta_i = \theta_0 \alpha_h \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,67 \cdot 1,00 = 0,003$ <p>Długość efektywna elementu:</p> <p>$\mu = 1,2 \rightarrow$ hala parterowe ze słupami zamocowanymi w stopie i przegubowo połączonymi z dźwigarem</p> $l_o = \mu \cdot l = 1,2 \cdot 8,70 = 10,44 \text{ m}$ <p>Mimośród:</p> $e_o = 0,5 \theta_i \cdot l_o = 0,5 \cdot 0,003 \cdot 10,44 = 0,016 \text{ m}$ <p>Dodatkowy moment:</p> $\Delta M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_o = 534,93 \cdot 0,16 = 8,56 \text{ kNm}$ <p>Dodatkowa siła:</p> $H_i = \theta_i \cdot N_{Ed} = 0,03 \cdot 534,93 = 16,05 \text{ kNm}$ $\Delta M_{Ed} = 0,125 H_i \cdot l = 0,125 \cdot 16,05 \cdot 8,70 = 17,45 \text{ kNm}$ <p>Przyjęto $\Delta M_{Ed} = 17,45 \text{ kNm}$</p>	<p>EC 1992-1-1 5.2</p>

Obliczenia

**Odniesienie
w normie**

1

2

Przypadek	Moment zginający	ΔM_{Ed}	Moment zginający z uwzględnienie imperfekcji	Siła osiowa
M_{max}	230,28 kNm	17,45 kNm	247,73 kNm	460,49 kN
M_{min}	- 222,68 kNm		- 240,13 kNm	367,57 kN
N_{max}	146,95 kNm		164,40 kNm	534,93 kN

Pełzanie

EC 1992-1-1
5.8.4

Wiek betonu:

$$t_0 = 28 \text{ dni}$$

Warunki środowiskowe:

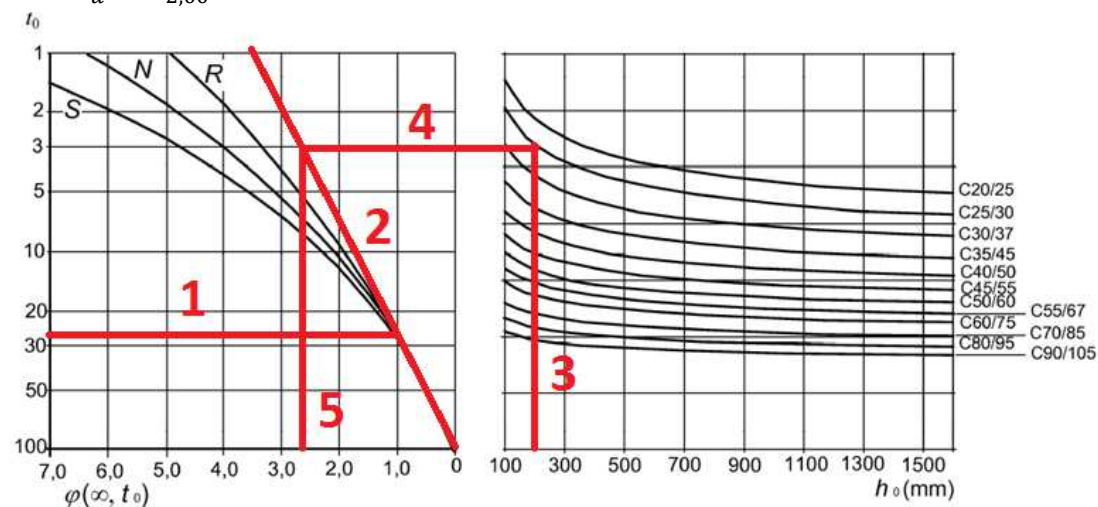
środowisko wewnętrzne RH = 50%

Obwód części wystawionej na wysychanie:

$$u = 4 \cdot b = 2 \cdot 0,40 + 2 \cdot 0,60 = 2,00 \text{ m}$$

Miarodajny wymiar przekroju:

$$h_0 = \frac{2 A_c}{u} = \frac{2 \cdot 0,15}{2,00} = 0,150 \text{ m} = 150 \text{ mm}$$



$$\varphi(\infty, t_0) = 2,7$$

EC 1992-1-1
rys. 3.1

Obliczenia	Odniesienie w normie
1	2
$M_{0\,Eqp} = 12,75 \text{ kNm}$ $M_{0\,Ed} = 230,28 \text{ kNm}$ $\varphi_{ef} = \varphi_{(\infty, t_0)} \frac{M_{0\,Eqp}}{M_{0\,Ed}} = 2,7 \frac{12,35}{230,28} = 0,15$ <p style="text-align: center;">Smukłość rzeczywista</p> <p>Moment bezwładności:</p> $I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,40 \cdot 0,60^3}{12} = 0,0072 \text{ m}^4$ <p>Pole przekroju:</p> $A_c = b \cdot h = 0,40 \cdot 0,60 = 0,24 \text{ m}^2$ <p>Promień bezwładności przekroju:</p> $i = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = \sqrt{\frac{0,0072}{0,24}} = 0,173 \text{ m}$ <p>Smukłość elementu:</p> $\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{10,44}{0,173} = 60,35$ <p style="text-align: center;">Smukłość graniczna</p> <p>Podejście uproszczone:</p> $A = 0,7$ $B = 1,1$ $C = 0,7$ <p>Względna siła normalna:</p> $n = \frac{N_{Ed}}{f_{cd} \cdot A_c} = \frac{534,93}{16,67 \cdot 1000 \cdot 0,24} = 0,13$ <p>Smukłość graniczna:</p> $\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,13}} = 29,86$	<p style="text-align: center;">EC 1992-1-1 5.8.3.2</p> <p style="text-align: center;">EC 1992-1-1 5.8.3.1</p>

Obliczenia	Odniesienie w normie
1	2
<p>Podjęcie dokładne:</p> <p>Efektywny współczynnik pełzania:</p> $\varphi_{ef} = 0,15$ <p>Intensywność zbrojenia</p> $\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{0,001809 \cdot 420}{0,24 \cdot 16,67} = 0,19$ <p>$r_m = 1,0 \rightarrow$ elementy nieusztynione</p> $A = \frac{1}{1+0,2\varphi_{ef}} = \frac{1}{1+0,2 \cdot 0,15} = 0,77$ $B = \sqrt{1 + 2\omega} = \sqrt{1 + 2 \cdot 0,19} = 1,17$ $C = 1,7 - r_m = 1,7 - 1,00 = 0,70$ $\lambda_{lim} = \frac{20 ABC}{\sqrt{n}} = \frac{20 \cdot 0,77 \cdot 1,17 \cdot 0,70}{\sqrt{0,13}} = 34,94$ <p>Przyjęto $\lambda_{lim} = 29,86$</p> <p style="text-align: center;">Kryterium smukłości</p> <p>Sprawdzenie warunku:</p> $\lambda_{lim} = 29,86 < \lambda = 60,35$ <p>Należy uwzględnić efekty II rzędu</p>	<p>EC 1992-1-1 5.8.3.1</p>