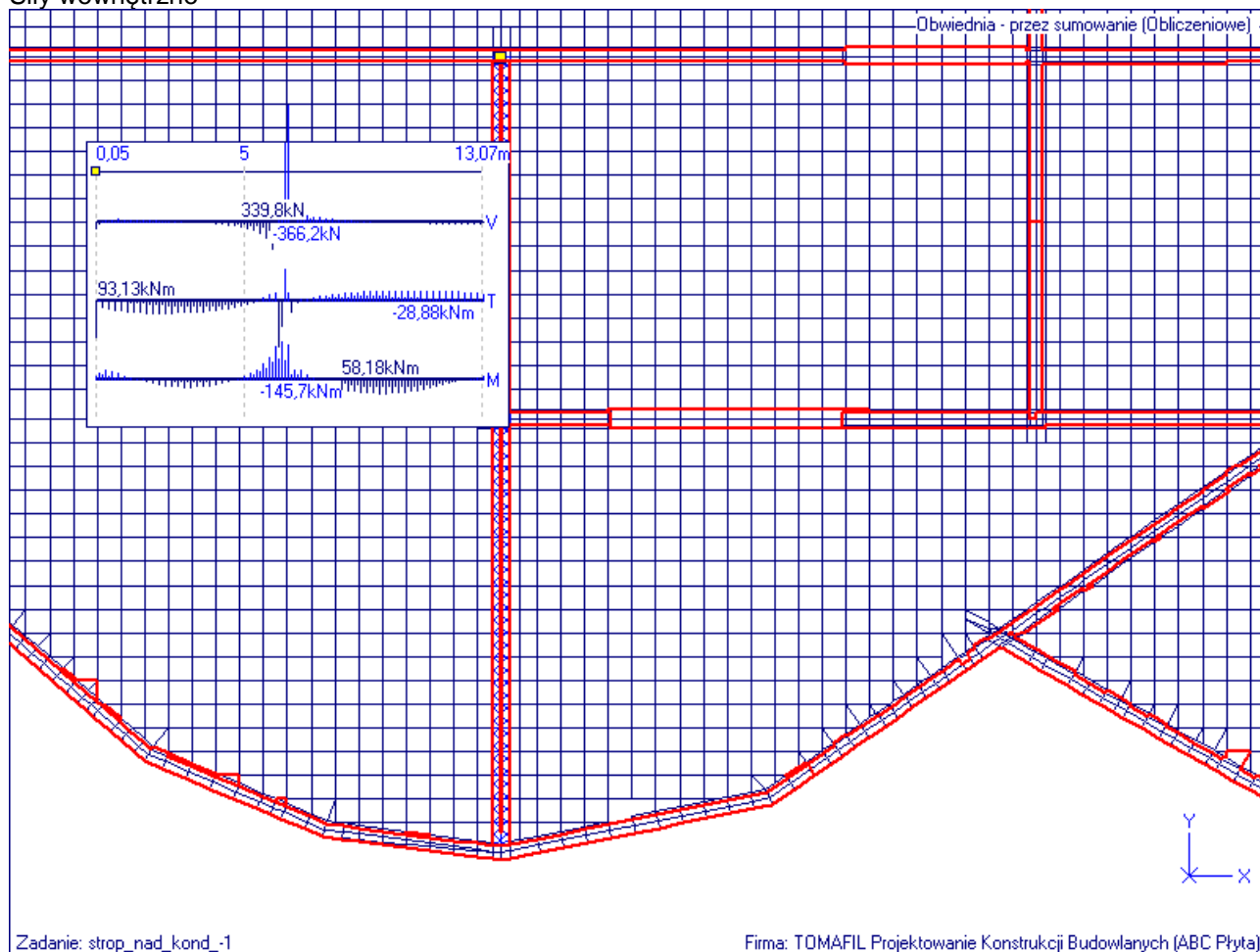


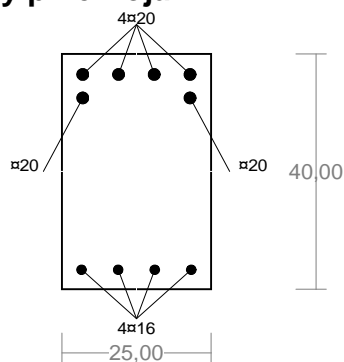
OBLICZENIA STATYCZNE DLA BELKI poz. 2.3

Siły wewnętrzne



Wyniki wymiarowania

Cechy przekroju:



Wymiary przekroju [cm]:

$$h=40,0, \quad b=25,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: B37

$$f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 30,0 / 1,50 = 20,0 \text{ MPa}$$

Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 1000 \text{ cm}^2, \quad J_{cx} = 133333 \text{ cm}^4, \quad J_{cy} = 52083 \text{ cm}^4$$

STAL: A-IIIN (RB 500 W)

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s = 1,15, \quad f_{yd} = 420 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim} = 0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 420 / 200000) = 0,625,$$

Zbrojenie główne:

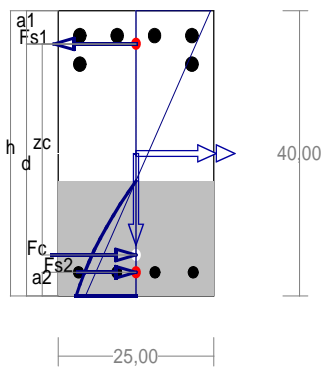
$$A_{s1}+A_{s2}=26,89 \text{ cm}^2, \rho=100(A_{s1}+A_{s2})/A_c=100 \times 26,89/1000=2,69 \%,$$

$$J_{sx}=6646 \text{ cm}^4, J_{sy}=1453 \text{ cm}^4,$$

Zbrojenie wymagane:

Obliczenia wykonano:

- z uwzględnieniem wkładek zbrojenia rzeczywistego ($A_{s1}=18,85 \text{ cm}^2$, $A_{s2}=8,04 \text{ cm}^2$),



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{sd}=0,0 \text{ kN},$$

$$M_{sd}=\sqrt{(M_{sdx}^2 + M_{sdy}^2)} = \sqrt{(150,0^2+0,0^2)}=150,0 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=20,0 \text{ MPa}, f_{yd}=420 \text{ MPa}=f_{td},$$

Dodatkowe zbrojenie rozciągane nie jest obliczeniowo wymagane.

Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=40,0, d=35,4, x=15,6 (\xi=0,441),$$

$$a_1=4,6, a_2=3,3, a_c=5,7, z_c=29,6, A_{cc}=403 \text{ cm}^2,$$

$$\epsilon_c=-1,11 \text{ ‰}, \epsilon_{s2}=-0,88 \text{ ‰}, \epsilon_{s1}=1,40 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c=-353,0, F_{s1}=494,9, F_{s2}=-141,9,$$

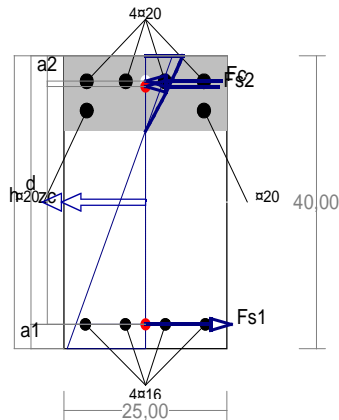
$$M_c=50,3, M_{s1}=76,0, M_{s2}=23,7,$$

Warunki równowagi wewnętrznej:

$$F_c+F_{s1}+F_{s2}=-353,0+(494,9)+(-141,9)=0,0 \text{ kN} (N_{sd}=0,0 \text{ kN})$$

$$M_c+M_{s1}+M_{s2}=50,3+(76,0)+(23,7)=150,0 \text{ kNm} (M_{sd}=150,0 \text{ kNm})$$

Nośność przekroju prostokątnego:



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Sd}=0,0 \text{ kN},$$

$$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2+M_{Sdy}^2)}=\sqrt{(-75,4^2+0,0^2)}=75,4 \text{ kNm}$$

$$f_{cd}=20,0 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=420 \text{ MPa} = f_{td},$$

$$\text{Zbrojenie rozciągane: } A_{s1}=8,04 \text{ cm}^2,$$

$$\text{Zbrojenie ściskane: } A_{s2}=18,85 \text{ cm}^2,$$

$$A_s=A_{s1}+A_{s2}=26,89 \text{ cm}^2, \quad \rho=100 \times A_s/A_c=100 \times 26,89/1000=2,69 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=40,0, \quad d=36,7, \quad x=10,3 \quad (\xi=0,280),$$

$$a_1=3,3, \quad a_2=4,2, \quad a_c=3,4, \quad z_c=33,3, \quad A_{cc}=238 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-0,55 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s2}=-0,36 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s1}=1,43 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c=-118,8, \quad F_{s1}=229,2, \quad F_{s2}=-110,4,$$

$$M_c=19,7, \quad M_{s1}=38,3, \quad M_{s2}=17,5,$$

Warunek stanu granicznego nośności:

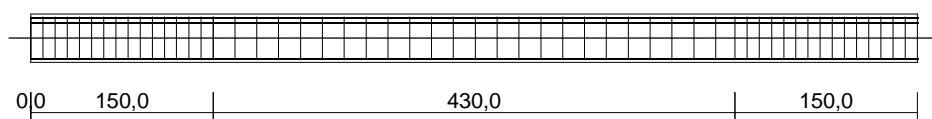
$$M_{Rd}=117,0 \text{ kNm} > M_{Sd}=M_c+M_{s1}+M_{s2}=19,7+(38,3)+(17,5)=75,4 \text{ kNm}$$

Zbrojenie poprzeczne (strzemiona)

Na całej długości pręta przyjęto strzemiona o średnicy $\phi=8 \text{ mm}$ ze stali A-IIIIN, dla której $f_{ywd}=420 \text{ MPa}$.

Minimalny stopień zbrojenia na ścinanie:

$$\rho_{w,\min}=0,08 \sqrt{f_{ck}}/f_{yk}=0,08 \times \sqrt{30}/500=0,00088$$



Rozstaw strzemion:

Strefa nr 1

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 0,0$ cm

Maksymalny rozstaw strzemion:

$$s_{\max} = 0,75 d = 0,75 \times 400 = 300 \quad s_{\max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{\max} = 300$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **18,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (18,0 \times 25,0 \times 1,000) = 0,00223$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00223} > \mathbf{0,00088} = \rho_w \text{ min}$$

Strefa nr 2

Początek i koniec strefy: $x_a = 0,0$ $x_b = 150,0$ cm

Maksymalny rozstaw strzemion:

$$s_{\max} = 0,75 d = 0,75 \times 352 = 264 \quad s_{\max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{\max} = 264$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{\max} = 15 \phi = 15 \times 16,0 = 240,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (10,0 \times 25,0 \times 1,000) = 0,00402$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00402} > \mathbf{0,00088} = \rho_w \text{ min}$$

Strefa nr 3

Początek i koniec strefy: $x_a = 150,0$ $x_b = 580,0$ cm

Maksymalny rozstaw strzemion:

$$s_{\max} = 0,75 d = 0,75 \times 367 = 275 \quad s_{\max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{\max} = 275$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{\max} = 15 \phi = 15 \times 20,0 = 300,0$ mm.

Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **18,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (18,0 \times 25,0 \times 1,000) = 0,00223$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00223} > \mathbf{0,00088} = \rho_w \text{ min}$$

Strefa nr 4

Początek i koniec strefy: $x_a = 580,0$ $x_b = 730,0$ cm

Maksymalny rozstaw strzemion:

$$s_{\max} = 0,75 d = 0,75 \times 352 = 264 \quad s_{\max} \leq 400 \text{ mm}$$

przyjęto $s_{\max} = 264$ mm.

Ze względu na pręty ściskane $s_{\max} = 15 \phi = 15 \times 16,0 = 240,0$ mm.

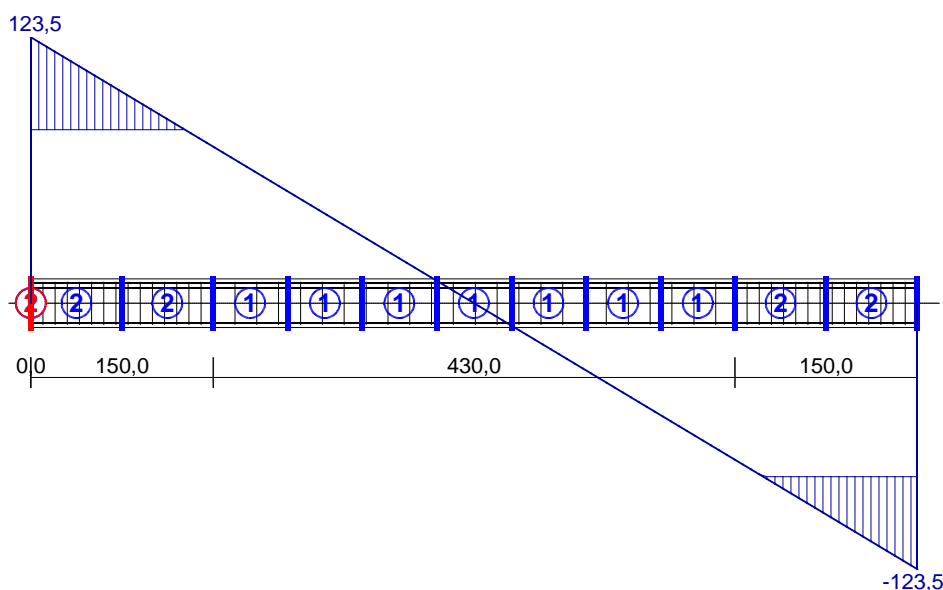
Przyjęto strzemiona 2-cięte, prostopadłe do osi pręta o rozstawie **10,0** cm, dla których stopień zbrojenia na ścinanie wynosi:

$$\rho_w = A_{sw} / (s b_w \sin \alpha) = 1,01 / (10,0 \times 25,0 \times 1,000) = 0,00402$$

$$\rho_w = \mathbf{0,00402} > \mathbf{0,00088} = \rho_w \text{ min}$$

Ścinanie

Przyjęto podparcie i obciążenie bezpośrednie.



Odcinek nr 1

Początek i koniec odcinka: $x_a = 0,0$ $x_b = 0,0$ cm

Siły przekrojowe: $N_{Sd} = 0,0$;

$$V_{Sd \max} = 123,5 \text{ kN}$$

Siła poprzeczna w odległości d od podpory wynosi: $V_{Sd} = 123,5 \text{ kN}$

Rodzaj odcinka:

$$\rho_L = \frac{A_{sL}}{b_w d} = \frac{18,85}{25,0 \times 40,0} = 0,01885; \quad \rho_L \leq 0,01$$

Przyjęto $\rho_L = 0,01000$.

$$\sigma_{cp} = N_{Sd} / A_C = 0,0 / 1168,08 \times 10 = 0,0 \text{ MPa} \quad \sigma_{cp} \leq 0,2 f_{cd}$$

Przyjęto $\sigma_{cp} = 0,0 \text{ MPa}$.

$$\begin{aligned} V_{Rd1} &= [0,35 k f_{ctd} (1,2 + 40 \rho_L) + 0,15 \sigma_{cp}] b_w d = \\ &= [0,35 \times 1,23 \times 1,30 \times (1,2 + 40 \times 0,01000) + 0,15 \times 0,0] \times 25,0 \times 40,0 \times 10^{-1} = 89,5 \text{ kN} \\ V_{Sd} &= 123,5 > 89,5 = V_{Rd1} \end{aligned}$$

Nośność odcinka II-go rodzaju:

Przyjęto kąt $\theta = 31,0^\circ$

$$v = 0,6 (1 - f_{ck} / 250) = 0,6 \times (1 - 30 / 250) = 0,528$$

$$\Delta V_{Rd} = \frac{A_{sw2} f_{ywd2}}{s_2} z \cos \alpha \times 10^{-1} = 0 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{Rd} \leq v f_{cd} b_w z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} \frac{\cot \alpha}{2 \cot \theta + \cot \alpha} \times 10^{-1} = 0 \text{ kN}$$

Przyjęto $\Delta V_{Rd} = 0,0 \text{ kN}$.

$$V_{Rd2} = v f_{cd} b_w z \frac{\cot\theta}{1 + \cot^2\theta} + \Delta V_{Rd} =$$

$$= 0,528 \times 20,0 \times 25,0 \times 31,7 \frac{1,664}{1 + 1,664^2} \times 10^{-1} + 0,0 = 368,9 \text{ kN}$$

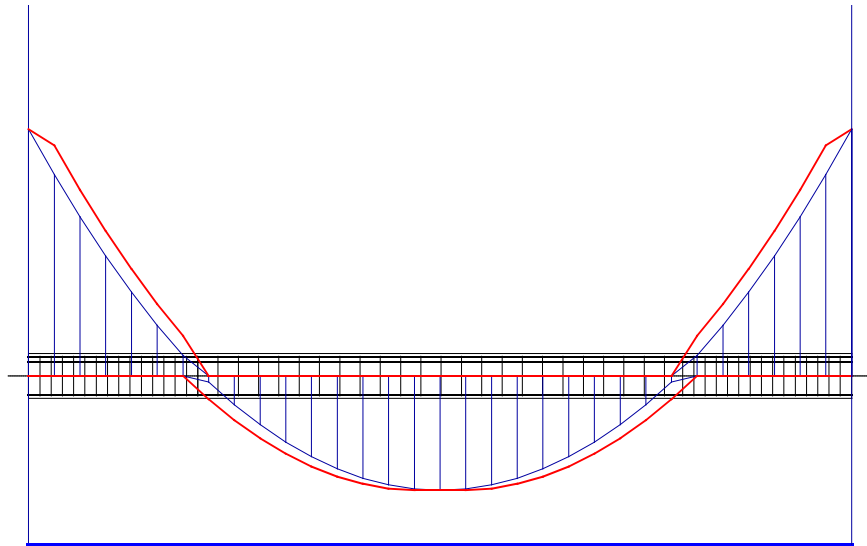
$$V_{Sd} = 123,5 < 368,9 = V_{Rd2}$$

$$V_{Rd3} = V_{Rd31} + V_{Rd32} = \frac{A_{sw1} f_{ywd1}}{s_1} z \cot\theta + \frac{A_{sw2} f_{ywd2}}{s_2} z (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha =$$

$$= \frac{1,01 \times 420}{18,0} 31,7 \times 1,664 \times 10^{-1} = 123,5 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 123,5 < 123,5 = V_{Rd3}$$

Nośność zbrojenia podłużnego



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 3,422 \text{ m}$:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Sd}| (\cot\theta - V_{Rd32} / V_{Rd3} \cot\alpha) = 0,5 \times 7,7 \times (1,000) = 3,9 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągany:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 226,5 + 3,9 = 230,4 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 229,2 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 229,2 \text{ kN}$

$$F_{td} = 229,2 < 337,8 = 8,04 \times 420 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Ugięcia

Ugięcia wyznaczono dla charakterystycznych obciążeń długotrwałych.

Współczynniki pełzania dla obciążeń długotrwałych przyjęto równy $\phi(t, t_0) = 2,00$.

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_0)} = \frac{32000}{1 + 2,00} = 10667 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 2,9 \times 6667 \times 10^{-3} = 19,3 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Sd} = -115,4 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

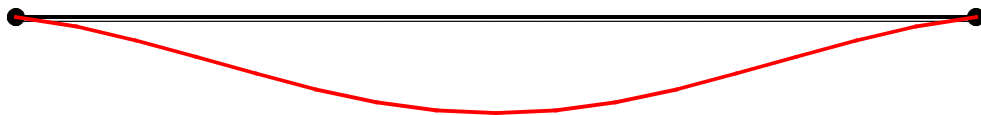
Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -115,4 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 21,9 \text{ cm}$ $I_I = 252574 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 17,8 \text{ cm}$ $I_{II} = 186554 \text{ cm}^4$

$$B = \frac{E_{c,eff} I_{II}}{1 - \beta_1 \beta_2 (M_{cr} / M_{Sd})^2 (1 - I_{II} / I_I)} =$$
$$= \frac{10667 \times 186554}{1 - 1,0 \times 0,5 \times (19,3 / 115,4)^2 \times (1 - 186554 / 252574)} \times 10^{-5} = 19972 \text{ kNm}^2$$

Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 3,650 \text{ m}$, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{\infty, d} = 15,5 \text{ mm}$$

$$a = 15,5 < 36,5 = a_{lim}$$