

Załącznik obliczeniowy nr 4.2 – obliczenia ścianki basenu
– wariant ściany zamocowanej w dnie basenu, dodatkowo podpartej górną

Wyniki wymiarowania elementu żelbetowego wg PN-B-03264:2002

RM_Zelb v. 6.15 licencja nr 22911

Uwzględniono hydrostatyczne parcie wody w najgłębszej części basenu (1,70 m), przyjęta gr. ścianki $h=15$ cm, przyjęte zbrojenie $\varnothing 12$ St0S co 20 cm, otulenie $c=3$ cm.

Cechy przekroju:

zadanie ścianka basenu_15_podparta, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,15$ m, $x_b=0,85$ m

Wymiary przekroju [cm]:

$$h=15,0, \quad b=100,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: B20

$$f_{ck} = 16,0 \text{ MPa}, \quad f_{cd} = \alpha \cdot f_{ck} / \gamma_c = 1,00 \times 16,0 / 1,50 = 10,7 \text{ MPa}$$

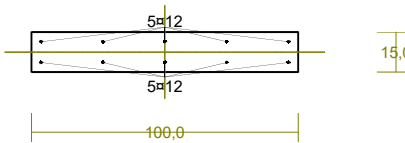
Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 1500 \text{ cm}^2, \quad J_{cx} = 0 \text{ cm}^4, \quad J_{cy} = 1250000 \text{ cm}^4$$

STAL: A-0 (St0S-b)

$$f_{yk} = 220 \text{ MPa}, \quad \gamma_s = 1,15, \quad f_{yd} = 190 \text{ MPa}$$

$$\xi_{lim} = 0,0035 / (0,0035 + f_{yd} / E_s) = 0,0035 / (0,0035 + 190 / 200000) = 0,$$



787,

Zbrojenie główne:

$$A_{s1} + A_{s2} = 11,31 \text{ cm}^2, \quad \rho = 100 (A_{s1} + A_{s2}) / A_c = 100 \times 11,31 / 1500 = 0,75 \%,$$

$$J_{sx} = 172 \text{ cm}^4, \quad J_{sy} = 12175 \text{ cm}^4,$$

Siły przekrojowe:

zadanie: ścianka basenu_15_podparta, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,15$ m, $x_b=0,85$ m

Obciążenia działające w płaszczyźnie układu: **CW A**

$$\text{Momenty zginające:} \quad M_x = -2,56 \text{ kNm}, \quad M_y = 0,00 \text{ kNm},$$

$$\text{Siły poprzeczne:} \quad V_y = -0,36 \text{ kN}, \quad V_x = 0,00 \text{ kN},$$

$$\text{Siła osiowa:} \quad N = -3,37 \text{ kN} = N_{sd},$$

Uwzględnienie smukłości pręta:

- w płaszczyźnie ustroju:

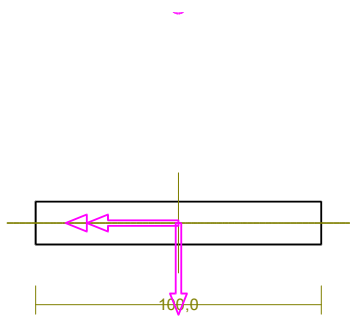
$$e_{ey} = M_x / N = (-2,56) / (-3,37) = 0,760 \text{ m},$$

$$M_{Sdx} = \eta_x (e_{ay} + e_{ey}) N = 1,001 \times (0,020 + 0,760) \times (-3,37) = -2,63 \text{ kNm},$$

Zbrojenie wymagane:

(zadanie ścianka basenu_15_podparta, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,15$ m, $x_b=0,85$ m)

Załącznik obliczeniowy nr 4.2 – obliczenia ścianki basenu
– wariant ściany zamocowanej w dnie basenu, dodatkowo podpartej górą



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Sd} = -3,37 \text{ kN},$$

$$M_{Sd} = \sqrt{(M_{Sdx}^2 + M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(-2,63^2 + 0,00^2)} = 2,63 \text{ kNm}$$

$$f_{cd} = 10,7 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = 190 \text{ MPa} = f_{td},$$

Dodatkowe zbrojenie mniej ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.

Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h = 0,0, \quad d = 0,0, \quad x = 0,0 \quad (\xi = 0,365),$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

Warunki równowagi wewnętrznej:

$$= 0,00 \text{ kN} \quad (N_{Sd} = -3,37 \text{ kN})$$

$$= 0,00 \text{ kNm} \quad (M_{Sd} = 2,63 \text{ kNm})$$

Długości wyboczeniowe pręta:

zadanie ścianka basenu_15_podparta, pręt nr 1

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie układu:

podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik β obliczono jak dla pręta jednostronnie zamocowanego w układzie nieprzesuwnym

$$\text{ze wzoru (C.1)} \quad l_o = \beta l_{col}, \quad l_{col} = 2,000 \text{ m},$$

$$\text{podatności węzłów: } \kappa_a = 0,000 \Rightarrow k_A = (1/\kappa_a - 1) = \infty, \quad \kappa_b = 1,000 \Rightarrow k_B = (1/\kappa_b - 1) = 0,000,$$

$$\beta = 0,7 + 1/(3k + 3) = 0,7 + 1/(3 \times \infty + 3) \Rightarrow l_o = 0,700 \times 2,000 = 1,400 \text{ m}$$

- przy wyboczeniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny układu:

podatności węzłów ustalone według załącznika C normy, współczynnik β obliczono jak dla pręta dwustronnie zamocowanego w układzie nieprzesuwnym:

$$\text{ze wzoru (C.1)} \quad l_o = \beta l_{col}, \quad l_{col} = 2,000 \text{ m},$$

$$\text{podatności węzłów: } \kappa_a = 1,000 \Rightarrow k_A = (1/\kappa_a - 1) = 1,000, \quad \kappa_b = 1,000 \Rightarrow k_B = (1/\kappa_b - 1) = 1,000,$$

$$\beta = 0,5 + 0,25/(k_A + 1) + 0,25/(k_B + 1) = 0,5 + 0,25/(1,000 + 1) + 0,25/(1,000 + 1) = 1,000 \Rightarrow$$

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

Uwzględnienie wpływu smukłości pręta:

zadanie ścianka basenu_15_podparta, pręt nr 1

- w płaszczyźnie ustroju:

$$\text{mimośród niezamierzony: } (l_{col} = 2,000 \text{ m}, h = 0,150 \text{ m}) \quad e_a = \max \left\langle \frac{l_{col}}{600}, \frac{h}{30}, 0,01 \right\rangle = \max \langle 0,003, 0,005,$$

$$0,010 \rangle = 0,010 \text{ m}, \text{ przyjęto: } e_a = 0,020 \text{ m},$$

$$\text{mimośród statyczny: } M_{max} = M_{3Sd} = 2,57 \text{ kNm}, \quad N_{Sd} = -0,79 \text{ kN} \Rightarrow e_e = |M_{max}/N| = |2,57/(-0,79)| = 3,247 \text{ m},$$

$$\text{mimośród początkowy: } e_o = e_a + e_e = 0,020 + 3,247 = 3,267 \text{ m},$$

obliczenie siły krytycznej:

- długość wyboczeniowa: $l_o = 1,400 \text{ m}$ (obliczona wg PN),

Załącznik obliczeniowy nr 4.2 – obliczenia ścianki basenu
 – wariant ściany zamocowanej w dnie basenu, dodatkowo podpartej górą

- moduł sprężystości betonu: $E_{cm}=29,0 \cdot 10^6$ kPa,
- momenty bezwładności: $I_c=0,0000 \cdot 10^{-4}$ m⁴,
 $I_s=0,0172 \cdot 10^{-4}$ m⁴ (dla zbrojenia rzeczywistego)
- $e_o/h = \max\langle (e_a + e_e)/h, 0,05, 0,5 - 0,01(l_o/h + f_{cd}) \rangle = \max\langle 21,780, 0,05, 0,300 \rangle = 21,780$,
- $k_{lt} = 1 + 0,5(N_{Sd,lt}/N_{Sd}) \phi(t, t_o) = 1 + 0,5 \times 1,000 \times 2,00 = 2,000$,

$$N_{crit} = \frac{9}{l_o^2} \left[\frac{E_{cm} I_c}{2k_{lt}} \left(\frac{0,11}{0,1 + \frac{e_o}{h}} + 0,1 \right) + E_s I_s \right] =$$

$$\frac{9}{1,400^2} \left[\frac{0,000 \cdot 10^{290} \times 0,000 \cdot 10^0}{2 \times 2,000} \left(\frac{0,11}{0,1 + 21,780} + 0,1 \right) + 0,0 \cdot 10^{200} \times 0,000 \cdot 10^0 \right] = 1579,79 \text{ kN}$$

współczynnik zwiększający mimośród początkowy:

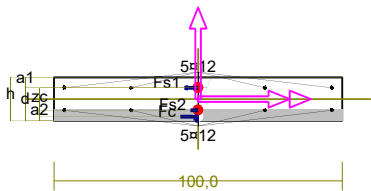
$$\eta = \frac{1}{1 - N_{Sd} / N_{crit}} = \frac{1}{1 - (0,79 / 1579,79)} = 1,001$$

- w płaszczyźnie prostopadłej do ustroju:

uwzględnienie wpływu smukłości zaniechano

Nośność przekroju prostopadłego:

zadanie ścianka basenu_15_podparta, pręt nr 1, przekrój: $x_a=0,00$ m, $x_b=2,00$ m



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Sd} = -7,92 \text{ kN},$$

$$M_{Sd} = \sqrt{(M_{Sdx}^2 + M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(5,26^2 + 0,00^2)} = 5,26 \text{ kNm}$$

$$f_{cd} = 10,7 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = 190 \text{ MPa} = f_{td},$$

$$\text{Zbrojenie rozciągane: } A_{s1} = 5,65 \text{ cm}^2,$$

$$\text{Zbrojenie ściskane: } A_{s2} = 5,65 \text{ cm}^2,$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} = 11,31 \text{ cm}^2, \quad \rho = 100 \times A_s / A_c =$$

$$100 \times 11,31 / 1500 = 0,75 \%$$

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h = 15,0, \quad d = 11,4, \quad x = 4,2 \quad (\xi = 0,365),$$

$$a_1 = 3,6, \quad a_2 = 3,6, \quad a_c = 1,4, \quad z_c = 10,0, \quad A_{cc} = 416 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c = -0,25 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s2} = -0,03 \text{ ‰}, \quad \varepsilon_{s1} = 0,43 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c = -52,77, \quad F_{s1} = 48,62, \quad F_{s2} = -3,77,$$

$$M_c = 3,22, \quad M_{s1} = 1,90, \quad M_{s2} = 0,15,$$

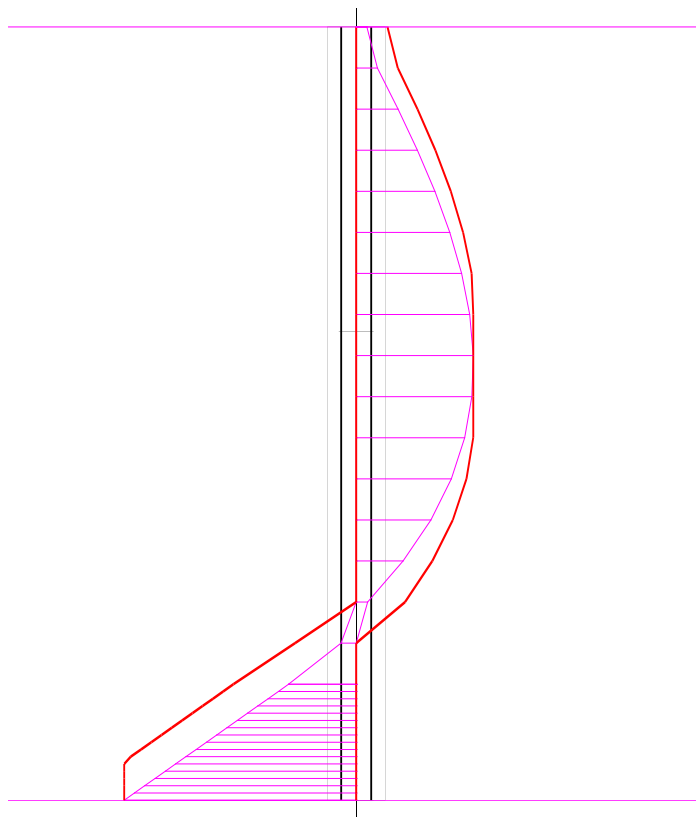
Warunek stanu granicznego nośności:

$$N_{Rd} = |-22,71| \text{ kN} > N_{Sd} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = |-52,77 + (48,62) + (-3,77)| = |-7,92| \text{ kN}$$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie ścianka basenu_15_podparta, pręt nr 1.

Załącznik obliczeniowy nr 4.2 – obliczenia ścianki basenu
– wariant ściany zamocowanej w dnie basenu, dodatkowo podpartej górną



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 0,000$ m:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Sd}| (\cot\theta - V_{Rd32} / V_{Rd3} \cot\alpha) = 0,5 \times 11,56 \times (2,000) = 11,56 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągającym:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 48,62 + 11,56 = 60,18 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 48,62 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 48,62 \text{ kN}$

$$F_{td} = 48,62 < 107,44 = 5,65 \times 190 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Zarysowanie

zadanie ścianka basenu_15_podparta, pręt nr 1,

Położenie przekroju: $x = 0,000$ m

Siły przekrojowe od obc. długotrwałych: $M_{Sd} = -4,64 \text{ kNm}$

$$N_{Sd} = -7,20 \text{ kNe} = 66,4 \text{ cm}$$

$$V_{Sd} = 10,51 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

$$b_w = 100,0 \text{ cm}$$

Załącznik obliczeniowy nr 4.2 – obliczenia ścianki basenu
– wariant ściany zamocowanej w dnie basenu, dodatkowo podpartej górną

$$d = h - a_1 = 15,0 - 3,6 = 11,4 \text{ cm}$$

$$A_c = 1500 \text{ cm}^2$$

$$W_c = 0 \text{ cm}^3$$

Minimalne zbrojenie:

Wymagane pole zbrojenia rozciąganego dla zginania, przy naprężeniach wywołanych przyczynami zewnętrznymi, wynosi:

$$A_s = k_c k_{f_{ct,eff}} A_{ct} / \sigma_{s,lim} =$$

$$= 0,4 \times 1,0 \times 1,9 \times \text{NAN} / 220 = \text{NAN} \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = 5,65 < \text{NAN} = A_s$$

Zarysowanie:

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,9 \times 0 \times 10^{-3} = 0,00 \text{ kNm}$$

$$N_{cr} = \frac{f_{ctm}}{e / W_c - 1 / A_c} = \frac{1,9}{66,4 / 0,00 - 1 / 1500,00} \times 10^{-1} = 0,00 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 7,20 > 0,00 = N_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

$$\rho_r = A_s / A_{ct,eff} = 5,65 / 366 = 0,01546$$

$$s_{rm} = 50 + 0,25 k_1 k_2 \phi / \rho_r = 50 + 0,25 \times 1,6 \times 0,5 \times 12 / 0,01546 = 205,20$$

$$\varepsilon_{sm} = \sigma_s / E_s [1 - \beta_1 \beta_2 (\sigma_{sr} / \sigma_s)^2] =$$

$$= 78,5 / 200000 \times [1 - 0,5 \times 0,5 \times (0,00 / 7,20)^2] = 0,00039$$

$$w_k = \beta s_{rm} \varepsilon_{sm} = 1,7 \times 205,20 \times 0,00039 = 0,14 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,14 < 0,3 = w_{lim}$$

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

Rysy ukośne nie występują.

Ugięcia

zadanie ścianka basenu_15_podparta, pręt nr 1

Ugięcia wyznaczono dla charakterystycznych obciążeń długotrwałych i krótkotrwałych.

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

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \phi(t, t_0)} = \frac{29000}{1 + 2,00} = 9667 \text{ MPa}$$

Moment rysujący:

Załącznik obliczeniowy nr 4.2 – obliczenia ścianki basenu
– wariant ściany zamocowanej w dnie basenu, dodatkowo podpartej górą

$$M_{cr} = f_{ctm} W_c = 1,9 \times 0 \times 10^{-3} = 0,00 \text{ kNm}$$

Całkowity moment zginający $M_{Sd} = -4,64 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla krótkotrwałego działania wszystkich obciążeń:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -4,64 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju:

$$x_I = 7,5 \text{ cm} \quad I_I = 1186 \text{ cm}^4$$

$$x_{II} = 2,7 \text{ cm} \quad I_{II} = 3639 \text{ cm}^4$$

$$B = \frac{E_{cm} I_{II}}{1 - \beta_1 \beta_2 (M_{cr} / M_{Sd})^2 (1 - I_{II} / I_I)} =$$

$$= \frac{29000 \times 3639}{1 - 0,5 \times 0,5 \times (0,00 / 4,64)^2 \times (1 - 3639 / 1186)} \times 10^{-5} = 1055 \text{ kNm}_2$$

Sztywność dla krótkotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -4,64 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju:

$$x_I = 7,5 \text{ cm} \quad I_I = 1186 \text{ cm}^4$$

$$x_{II} = 2,7 \text{ cm} \quad I_{II} = 3639 \text{ cm}^4$$

$$B = \frac{E_{cm} I_{II}}{1 - \beta_1 \beta_2 (M_{cr} / M_{Sd})^2 (1 - I_{II} / I_I)} =$$

$$= \frac{29000 \times 3639}{1 - 0,5 \times 0,5 \times (0,00 / 4,64)^2 \times (1 - 3639 / 1186)} \times 10^{-5} = 1055 \text{ kNm}_2$$

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -4,64 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju:

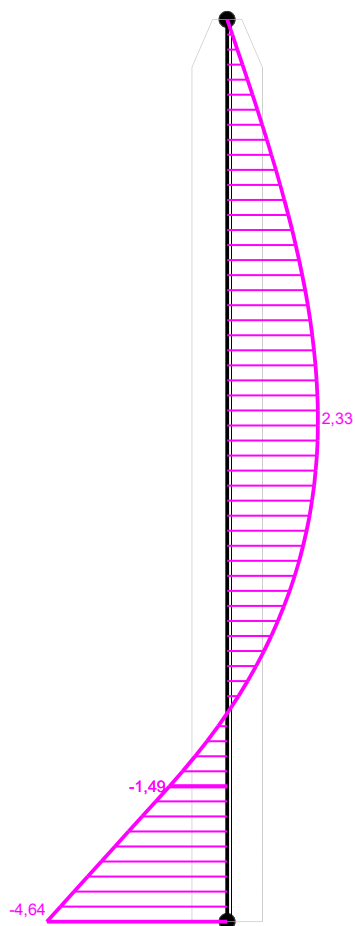
$$x_I = 7,5 \text{ cm} \quad I_I = 3559 \text{ cm}^4$$

$$x_{II} = 4,0 \text{ cm} \quad I_{II} = 8558 \text{ cm}^4$$

$$B = \frac{E_{c,eff} I_{II}}{1 - \beta_1 \beta_2 (M_{cr} / M_{Sd})^2 (1 - I_{II} / I_I)} =$$

$$= \frac{9667 \times 8558}{1 - 0,5 \times 0,5 \times (0,00 / 4,64)^2 \times (1 - 8558 / 3559)} \times 10^{-5} = 827 \text{ kNm}_2$$

Załącznik obliczeniowy nr 4.2 – obliczenia ścianki basenu
– wariant ściany zamocowanej w dnie basenu, dodatkowo podpartej górną



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.

Załącznik obliczeniowy nr 4.2 – obliczenia ścianki basenu
– wariant ściany zamocowanej w dnie basenu, dodatkowo podpartej górną



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 1,150$ m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{0,k+d} - a_{0,d} + a_{\infty,d} = 0,7 - 0,7 + 0,9 = 0,9 \text{ mm}$$

$$a = \mathbf{0,9} < \mathbf{10,0} = a_{\text{lim}}$$