

Załącznik obliczeniowy nr 4.1 – obliczenia ścianki basenu
– wariant czystego wspornika zamocowanego w dnie basenu

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 $h=20$ cm, przyjęte zbrojenie $\varnothing 12$ St0S co 20 cm, otulenie $c=3$ cm.

Cechy przekroju:

zadanie ścianka basenu_20_swobodna, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,00$ m, $x_b=1,00$ m

Wymiary przekroju [cm]:

$$h=20,0, \quad b=100,0,$$

Cechy materiałowe dla sytuacji stałej lub przejściowej

BETON: B20

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

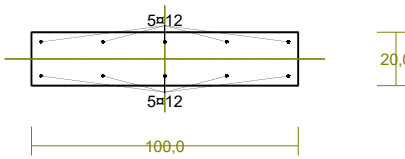
Cechy geometryczne przekroju betonowego:

$$A_c = 2000 \text{ cm}^2, \quad J_{cx} = 0 \text{ cm}^4, \quad J_{cy} = 1666667 \text{ cm}^4$$

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:

$$A_{s1} + A_{s2} = 11,31 \text{ cm}^2, \quad \rho = 100 (A_{s1} + A_{s2}) / A_c = 100 \times 11,31 / 2000 = 0,57 \%,$$

$$J_{sx} = 463 \text{ cm}^4, \quad J_{sy} = 12175 \text{ cm}^4,$$

Siły przekrojowe:

zadanie: ścianka basenu_20_swobodna, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,00$ m, $x_b=1,00$ m

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

$$\text{Momenty zginające:} \quad M_x = 1,83 \text{ kNm}, \quad M_y = 0,00 \text{ kNm},$$

$$\text{Siły poprzeczne:} \quad V_y = 5,50 \text{ kN}, \quad V_x = 0,00 \text{ kN},$$

$$\text{Siła osiowa:} \quad N = -5,28 \text{ kN} = N_{Sd},$$

Uwzględnienie smukłości pręta:

- w płaszczyźnie ustroju:

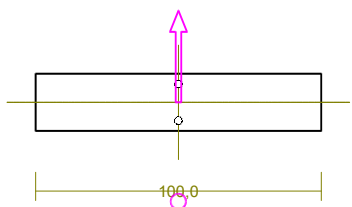
$$e_{ey} = M_x / N = (1,83) / (-5,28) = -0,347 \text{ m},$$

$$M_{Sdx} = \eta_x (e_{ay} + e_{ey}) N = 1,021 \times (-0,020 - 0,347) \times (-5,28) = 1,98 \text{ kNm},$$

Zbrojenie wymagane:

(zadanie ścianka basenu_20_swobodna, pręt nr 1, przekrój: $x_a=1,00$ m, $x_b=1,00$ m)

Załącznik obliczeniowy nr 4.1 – obliczenia ścianki basenu
– wariant czystego wspornika zamocowanego w dnie basenu



Wielkości obliczeniowe:

$$N_{Sd}=0,00 \text{ kN},$$

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

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

Dodatkowe zbrojenie rozciągane nie jest obliczeniowo wymagane.

Dodatkowe zbrojenie ściskane nie jest obliczeniowo wymagane.

Wielkości geometryczne [cm]:

$$h=20,0, d=16,4, x=5,0 (\xi=0,307),$$

$$a_1=3,6, a_2=3,6, a_c=1,7, z_c=14,7, A_{cc}=503 \text{ cm}^2,$$

$$\varepsilon_c=-0,36 \text{ ‰}, \varepsilon_{s2}=-0,10 \text{ ‰}, \varepsilon_{s1}=0,82 \text{ ‰},$$

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$$F_c=-91,60, F_{s1}=92,68, F_{s2}=-11,64,$$

$$M_c=7,60, M_{s1}=5,93, M_{s2}=0,75,$$

Warunki równowagi wewnętrznej:

$$F_c+F_{s1}+F_{s2}=-91,60+(92,68)+(-11,64)=-10,56 \text{ kN} (N_{Sd}=0,00 \text{ kN})$$

$$M_c+M_{s1}+M_{s2}=7,60+(5,93)+(0,75)=14,28 \text{ kNm} (M_{Sd}=0,00 \text{ kNm})$$

Długości wyboczeniowe pręta:

zadanie ścianka basenu_20_swobodna, 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 przesuwym

$$\text{ze wzoru (C.1)} \quad l_0 = \beta l_{col}, \quad l_{col}=2,000 \text{ m},$$

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

$$\Rightarrow \beta = 2 + 1/(3k) = 2 + 1/(3 \times \infty) \Rightarrow l_0 = 2,000 \times 2,000 = 4,000 \text{ m}$$

- 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 nieprzesuwym:

$$\text{ze wzoru (C.1)} \quad l_0 = \beta l_{col}, \quad l_{col}=2,000 \text{ m},$$

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

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

$$l_0 = 1,000 \times 2,000 = 2,000 \text{ m}$$

Uwzględnienie wpływu smukłości pręta:

zadanie ścianka basenu_20_swobodna, pręt nr 1

- w płaszczyźnie ustroju:

mimośród niezamierzony: ($l_{col}=2,000 \text{ m}, h=0,200 \text{ m}, n=1$)

$$e_a = \max \left\langle \frac{l_{col}}{600} \left(1 + \frac{1}{n} \right), \frac{h}{30}, 0,01 \right\rangle = \max \langle 0,007, 0,007, 0,010 \rangle = 0,010 \text{ m}, \text{ przyjęto: } e_a = 0,020 \text{ m},$$

$$\text{mimośród statyczny: } M_{\max} = \max M_{Sd} = 13,78 \text{ kNm}, \quad N_{Sd} = -10,56 \text{ kN} \Rightarrow e_e = |M_{\max}/N| = |13,78/(-10,56)| = 1,305 \text{ m},$$

$$\text{mimośród początkowy: } e_0 = e_a + e_e = 0,020 + 1,305 = 1,325 \text{ m},$$

Załącznik obliczeniowy nr 4.1 – obliczenia ścianki basenu
 – wariant czystego wspornika zamocowanego w dnie basenu

obliczenie siły krytycznej:

- długość wybozczeniowa: $l_0=4,000$ m (obliczona wg PN),

- moduł sprężystości betonu: $E_{cm}=29,0 \cdot 10^6$ kPa,

- momenty bezwładności: $I_c=0,0000 \cdot 10^{-4}$ m⁴,

$I_s=0,0463 \cdot 10^{-4}$ m⁴ (dla zbrojenia rzeczywistego)

- $e_o/h=\max\langle(e_a+e_e)/h, 0,05, 0,5-0,01(l_0/h+f_{cd})\rangle = \max\langle 6,625, 0,05, 0,193\rangle = 6,625$,

- $k_{lt}=1+0,5(N_{Sd,lt}/N_{Sd}) \phi(t,t_0) = 1 + 0,5 \times 1,000 \times 2,00 = 2,000$,

$$N_{crit} = \frac{9}{l_0^2} \left[\frac{E_{cm} I_c}{2k_{lt}} \left(\frac{0,11}{0,1 + \frac{e_o}{h}} + 0,1 \right) + E_s I_s \right] =$$

$$\frac{9}{4,000^2} \left[\frac{0,000 \cdot 10^{290} \times 0,000 \cdot 10^0}{2 \times 2,000} \left(\frac{0,11}{0,1 + 6,625} + 0,1 \right) + 0,0 \cdot 10^{200} \times 0,000 \cdot 10^0 \right] = 521,15 \text{ kN}$$

współczynnik zwiększający mimośród początkowy:

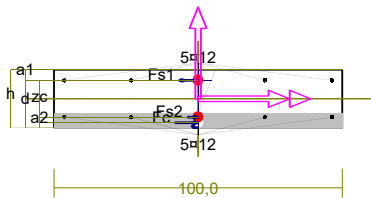
$$\eta = \frac{1}{1 - N_{Sd} / N_{crit}} = \frac{1}{1 - (10,56 / 521,15)} = 1,021$$

- w płaszczyźnie prostopadłej do ustroju:

uwzględnienie wpływu smukłości zaniechano

Nośność przekroju prostopadłego:

zadanie ścianka basenu_20_swobodna, pręt nr 1, przekrój: $x_a=0,00$ m, $x_b=2,00$ m



Wielkości obliczeniowe:

$N_{Sd}=-10,56$ kN,

$M_{Sd}=\sqrt{(M_{Sdx}^2 + M_{Sdy}^2)} = \sqrt{(14,28^2 + 0,00^2)} = 14,28$ kNm

$f_{cd}=10,7$ MPa, $f_{yd}=190$ MPa = f_{td} .

Zbrojenie rozciągane: $A_{s1}=5,65$ cm²,

Zbrojenie ściskane: $A_{s2}=5,65$ cm²,

$A_s=A_{s1}+A_{s2}=11,31$ cm², $\rho=100 \times A_s/A_c=$

$100 \times 11,31/2000=0,57$ %

Wielkości geometryczne [cm]:

$h=20,0$, $d=16,4$, $x=5,0$ ($\xi=0,307$),

$a_1=3,6$, $a_2=3,6$, $a_c=1,7$, $z_c=14,7$, $A_{cc}=503$ cm²,

$\varepsilon_c=-0,36$ ‰, $\varepsilon_{s2}=-0,10$ ‰, $\varepsilon_{s1}=0,82$ ‰,

Wielkości statyczne [kN, kNm]:

$F_c=-91,60$, $F_{s1} = 92,68$, $F_{s2} = -11,64$,

$M_c= 7,60$, $M_{s1} = 5,93$, $M_{s2} = 0,75$,

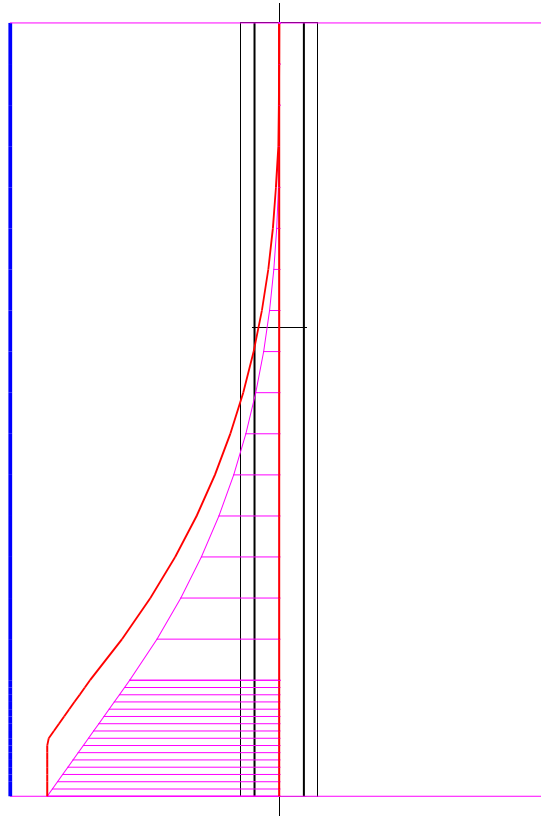
Warunek stanu granicznego nośności:

$N_{Rd} = |-14,57| \text{ kN} > N_{Sd} = F_c + F_{s1} + F_{s2} = |-91,60 + (92,68) + (-11,64)| = |-10,56| \text{ kN}$

Nośność zbrojenia podłużnego

zadanie ścianka basenu_20_swobodna, pręt nr 1.

Załącznik obliczeniowy nr 4.1 – obliczenia ścianki basenu
– wariant czystego wspornika zamocowanego w dnie basenu



Sprawdzenie siły przenoszonej przez zbrojenie rozciągane dla $x = 0,131$ m:

$$\Delta F_{td} = 0,5 |V_{Sd}| (\cot\theta - V_{Rd32} / V_{Rd3} \cot\alpha) = 0,5 \times 15,90 \times (2,000) = 15,90 \text{ kN}$$

Sumaryczna siła w zbrojeniu rozciągany:

$$F_{td} = F_{td,m} + \Delta F_{td} = 78,24 + 15,90 = 94,13 \text{ kN};$$

$$F_{td} \leq F_{td,max} = 92,68 \text{ kN}$$

Przyjęto $F_{td} = 92,68 \text{ kN}$

$$F_{td} = 92,68 < 107,44 = 5,65 \times 190 \times 10^{-1} = A_s f_{yd}$$

Zarysowanie

zadanie ścianka basenu_20_swobodna, pręt nr 1,

Położenie przekroju: $x = 0,000 \text{ m}$

Siły przekrojowe od obc. długotrwałych: $M_{Sd} = -12,52 \text{ kNm}$

$$N_{Sd} = -9,60 \text{ kNe} = 132,5 \text{ cm}$$

$$V_{Sd} = 14,45 \text{ kN}$$

Wymiary przekroju:

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

Załącznik obliczeniowy nr 4.1 – obliczenia ścianki basenu
– wariant czystego wspornika zamocowanego w dnie basenu

$$d = h - a_1 = 20,0 - 3,6 = 16,4 \text{ cm}$$

$$A_c = 2000 \text{ cm}^2$$

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

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:

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

$$N_{cr} = \frac{f_{ctm}}{e / W_c - 1 / A_c} = \frac{1,9}{132,5 / 0,00 - 1 / 2000,00} \times 10^{-1} = 0,00 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 9,60 > 0,00 = N_{cr}$$

Przekrój zarysowany.

Szerokość rozwarcia rysy prostopadłej do osi pręta:

Przyjęto $k_2 = 0,5$.

$$\rho_r = A_s / A_{ct,eff} = 5,65 / 504 = 0,01123$$

$$s_{rm} = 50 + 0,25 k_1 k_2 \phi / \rho_r = 50 + 0,25 \times 1,6 \times 0,5 \times 12 / 0,01123 = 263,76$$

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

$$= 149,1 / 200000 \times [1 - 0,5 \times 0,5 \times (0,00 / 9,60)^2] = 0,00075$$

$$w_k = \beta s_{rm} \varepsilon_{sm} = 1,7 \times 263,76 \times 0,00075 = 0,33 \text{ mm}$$

$$w_k = 0,33 > 0,3 = w_{lim}$$

Szerokość rozwarcia rysy ukośnej:

Rysy ukośne nie występują.

Ugięcia

zadanie ścianka basenu_20_swobodna, 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 4.1 – obliczenia ścianki basenu
– wariant czystego wspornika zamocowanego w dnie basenu

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

Całkowity moment zginający $M_{Sd} = -12,52 \text{ kN}$ powoduje zarysowanie przekroju.

Sztywność dla krótkotrwałego działania wszystkich obciążeń:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -12,52 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 10,0 \text{ cm}$ $I_I = 3195 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 3,2 \text{ cm}$ $I_{II} = 7893 \text{ cm}^4$

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

$$= \frac{29000 \times 7893}{1 - 0,5 \times 0,5 \times (0,00 / 12,52)^2 \times (1 - 7893 / 3195)} \times 10^{-5} = 2289 \text{ kNm}_2$$

Sztywność dla krótkotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -12,52 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 10,0 \text{ cm}$ $I_I = 3195 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 3,2 \text{ cm}$ $I_{II} = 7893 \text{ cm}^4$

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

$$= \frac{29000 \times 7893}{1 - 0,5 \times 0,5 \times (0,00 / 12,52)^2 \times (1 - 7893 / 3195)} \times 10^{-5} = 2289 \text{ kNm}_2$$

Sztywność dla długotrwałego działania obciążeń długotrwałych:

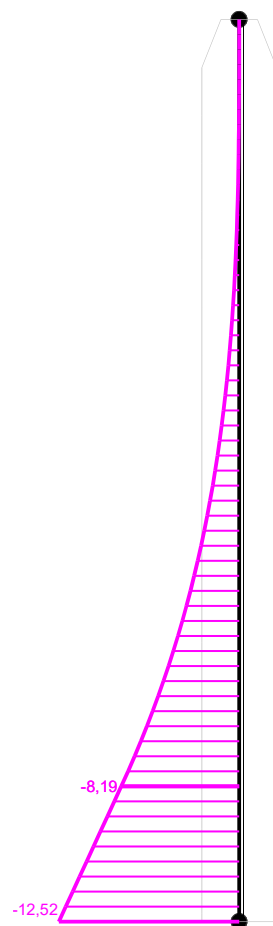
Sztywność na zginanie wyznaczona dla momentu $M_{Sd} = -12,52 \text{ kNm}$.

Wielkości geometryczne przekroju: $x_I = 10,0 \text{ cm}$ $I_I = 9584 \text{ cm}^4$
 $x_{II} = 4,9 \text{ cm}$ $I_{II} = 19592 \text{ cm}^4$

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

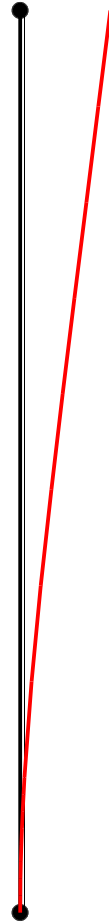
$$= \frac{9667 \times 19592}{1 - 0,5 \times 0,5 \times (0,00 / 12,52)^2 \times (1 - 19592 / 9584)} \times 10^{-5} = 1894 \text{ kNm}_2$$

Załącznik obliczeniowy nr 4.1 – obliczenia ścianki basenu
– wariant czystego wspornika zamocowanego w dnie basenu



Wykres sztywności i momentów dla obciążeń długotrwałych.

Załącznik obliczeniowy nr 4.1 – obliczenia ścianki basenu
– wariant czystego wspornika zamocowanego w dnie basenu



Ugięcia.

Ugięcie w punkcie o współrzędnej $x = 2,000$ m, wyznaczone poprzez całkowanie funkcji krzywizny osi pręta ($1/\rho$) z uwzględnieniem zmiany sztywności wzdłuż osi elementu, wynosi:

$$a = a_{0,k+d} - a_{0,d} + a_{\infty,d} = 4,6 - 4,6 + 5,6 = 5,6 \text{ mm}$$

$$a = 5,6 < 10,0 = a_{\text{lim}}$$