

## OBLICZENIA ZBROJENIA ŚCIAN W ZBIORNIKU - BLOKU BIOLOGICZNEGO

### STAL ZBROJENIOWA - PARAMETRY:

Przyjęto klasę stali **A-IIIIN** gatunku B500SP.

- Parametry:

- wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie:

$$f_{tk} := 550 \text{ MPa}$$

- charakterystyczna granica plastyczności:

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa}$$

- obliczeniowa granica plastyczności:

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1.15} = 434.782609 \text{ MPa}$$

- moduł sprężystości dla stali zwykłej:

$$E_s := 200 \text{ GPa}$$

graniczna wysokość strefy ściskanej  
betonu:

$$\xi_{efflim} := 0.8 \cdot \frac{0.0035}{0.0035 + \frac{f_{yd}}{E_s}} = 0.493$$

### BETON - PARAMETRY:

Przyjęto beton klasy **C35/45 (B45)**.

- Parametry:

- wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie:

$$f_{ck} := 35 \text{ MPa}$$

- wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie:

$$f_{ctk} := 2.2 \text{ MPa}$$

- wytrzymałość obliczeniowa na ściskanie:

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1.40} = 25 \text{ MPa}$$

- wytrzymałość obliczeniowa na rozciąganie:

$$f_{ctd} := \frac{f_{ctk}}{1.40} = 1.571 \text{ MPa}$$

- wytrzymałość średnia betonu na ściskanie:

$$f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 43 \text{ MPa}$$

- wytrzymałość średnia betonu na rozciąganie:

$$f_{ctm} := 3.2 \text{ MPa}$$

- moduł sprężystości betonu:

$$E_{cm} := 34 \text{ GPa}$$

### OBLICZENIA ZBROJENIA DLA PASMA GÓRNEGO - 0,00 do 2,65m - ŚCIANY ŚRODKOWE

- Maksymalna siła równoleżnikowa:

$$\underline{\underline{R}} := 329.02 \text{ kN}$$

- Maksymalna siła południkowa:

$$\underline{\underline{N}} := 35.11 \text{ kN}$$

- Maksymalny moment zginający, południkowy:

$$M_p := 19.17 \text{ kNm}$$

- Maksymalny moment zginający, równoleżnikowy:

$$M_r := 96.23 \text{ kNm}$$

### KLASA EKSPOZYCJI

Przyjęto klasę ekspozycji **XA3** - Środowisko: Silna agresja chemiczna

Klasa konstrukcji S4 -  $c_{min}=50 \text{ mm}$

- Otulina:

$$c_{\min} := 50\text{mm} \quad \Delta c := 10\text{mm} \quad c_{\text{nom}} := c_{\min} + \Delta c = 60\text{mm}$$

- wstępnie przyjęte średnice prętów:

$$\text{- zbrojenie radialne:} \quad \phi_r := 20\text{mm}$$

$$\text{- zbrojenie południkowe:} \quad \phi_p := 16\text{mm}$$

- grubość ściany:  $h := 30\text{cm}$

- szerokość pasma wymiarującego:  $b := 100\text{cm}$

- Wysokość użyteczna przekroju ściany dla zbrojenia południkowego:

$$d_p := h - c_{\text{nom}} - \phi_r - \frac{\phi_p}{2} = 212\text{mm}$$

- Wysokość użyteczna przekroju ściany dla zbrojenia radialnego (równoleżnikowego):

$$d_r := h - c_{\text{nom}} - \frac{\phi_r}{2} = 230\text{mm}$$

### ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE Z UWAGI NA NOŚNOŚĆ - ROZCIĄGANIE:

$$a_1 := c_{\text{nom}} + \frac{\phi_r}{2} = 70\text{mm} \quad a_2 := a_1 = 70\text{mm}$$

$$A_{s1.R} := \frac{R \cdot (0.5 \cdot h - a_2)}{(h - a_1 - a_2) \cdot f_{yd}} = 3.784 \cdot \text{cm}^2$$

### ZBROJENIE MINIMALNE W ELEMENTACH ROZCIĄGANYCH:

$$A_{s1.\min1} := 0.002 \cdot h \cdot b = 6 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s.\min2} := 0.004 \cdot d_r \cdot b = 9.2 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1.\min2} := \frac{A_{s.\min2}}{2} = 4.6 \cdot \text{cm}^2$$

### ZBROJENIE Z UWAGI NA ZARYSOWANIE

- przyjęto 1 klasę szczelności: *Przecieki ogranicza się do pewnej niewielkiej ilości. Powierzchniowe przemakanie lub miejsca zawilgocenia są dopuszczalne. Szerokość dowolnej rysy należy ograniczyć do wartości  $w_k$ .*

- Wysokość parcia hydrostatycznego (przyjęto wysokość zbiornika):

$$h_d := 5.10\text{m} \quad \frac{h_d}{h} = 17$$

ostatecznie przyjęto:  $w_k := 0,10\text{mm}$  - ograniczenie rys do tej wartości powinno prowadzić do samouszczelnienia

Siła rysująca:

$$N_{cr} := b \cdot h \cdot f_{ctm} = 960 \cdot \text{kN} \quad > \quad R = 329.02 \cdot \text{kN} \quad - \text{przekrój niezarysowany}$$

### ZBROJENIE Z UWAGI NA OGRANICZENIE ODKSZTAŁCEŃ SKURCZOWYCH I TERMICZNYCH:

$$f_{ct,eff} := 0.5 \cdot f_{ctm} = 1.6 \cdot \text{MPa}$$

Siła rozciągająca powstająca na skutek skurczu:

$$a_1 = 70 \cdot \text{mm} \quad N_{ed} := b \cdot h \cdot f_{ct,eff} = 480 \cdot \text{kN}$$

$$w := \frac{1.45 \cdot 0.25}{2.9 \cdot 10 \cdot 0.045} = 0.278 \quad \phi_{ss} := \frac{10 \text{mm}}{w} = 36 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{s,lim} := 160 \text{MPa} \quad A_{s,min3} := \frac{N_{ed}}{\sigma_{s,lim}} = 30 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1,min3} := \frac{A_{s,min3}}{2} = 15 \cdot \text{cm}^2 \quad \rightarrow \quad \phi 16 \text{ co } 12 \text{cm} \quad \rightarrow \quad 16,76 \text{cm}^2$$

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE:

$$A_{s1,min} := \max(A_{s1,R}, A_{s1,min1}, A_{s1,min2}, A_{s1,min3}) = 15 \cdot \text{cm}^2$$

Przyjęto zbrojenie  $\phi 16$  co  $12 \text{cm}$  po obu stronach zbiornika

### ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$N = 35.11 \cdot \text{kN} \quad M_p = 19.17 \cdot \text{kNm}$$

$$d_p = 212 \cdot \text{mm}$$

$$a_1 := h - d_p = 88 \cdot \text{mm} \quad e_M := \frac{M_p}{N} = 545.998 \cdot \text{mm}$$

$$e_{s1} := \frac{h}{2} - a_1 + e_M = 60.8 \cdot \text{cm} \quad > \quad d_p = 21.2 \cdot \text{cm} \quad \text{przekrój ściskany z dużym mimośrodem}$$

$$e_{s2} := e_{s1} - (d_p - a_2) = 465.998 \cdot \text{mm}$$

Założono pełne wykorzystanie strefy ściskanej.

$$x_{eff,lim} := \xi_{eff,lim} \cdot d_n = 104.619 \cdot \text{mm}$$

$$A_{s2} := \frac{N \cdot e_{s1} - f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff,lim} \cdot (d_p - 0.5 x_{eff,lim})}{f_{yd} \cdot (d_p - a_2)} = -64.193 \cdot \text{cm}^2 < 0$$

Określam rzeczywistą wys. strefy ściskanej (przy  $A_{s2}=0$ )

$$N \cdot e_{s1} - f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} \cdot (d_p - 0.5 \cdot x_{eff}) = 0$$

$$x_{eff} := 5.08 \text{ mm}$$

$$A_{s1} := \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} + f_{yd} \cdot 0 - N}{f_{yd}} = 2.113 \cdot \text{cm}^2 \quad \rightarrow$$

$$\text{A) } A_{s1.min.1} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_p = 3.53 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{B) } A_{s1.min.2} := 0.0013 \cdot b \cdot d_p = 2.76 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{C) } A_{ct} := 0.5 \cdot b \cdot h \quad k_c := 0.4 \quad k := 0.8 \quad \sigma_{s.lim} := 160 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,eff} := f_{ctm}$$

$$A_{s1.min.3} := k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_{s.lim}} = 9.6 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{D) } A_{s1.min.4} := 0.5(0.002 \cdot b \cdot h) = 3 \cdot \text{cm}^2$$

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$A_{s1.min} := \max(A_{s1}, A_{s1.min.1}, A_{s1.min.2}, A_{s1.min.3}) = 9.6 \cdot \text{cm}^2$$

$\rightarrow \phi 16 \text{ co } 15 \text{ cm} \rightarrow 13.40 \text{ cm}^2$

OBLICZENIA ZBROJENIA DLA PASMA DOLNEGO - 2,60m do 5,30m

- Maksymalna siła równoleżnikowa:  $R := 6541.17 \text{ kN}$
- Maksymalna siła południkowa:  $N := 159.07 \text{ kN}$
- Maksymalny moment zginający, południkowy:  $M_{pl} := 64.77 \text{ kNm}$
- Maksymalny moment zginający, równoleżnikowy:  $M_{pr} := 325.15 \text{ kNm}$

ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE Z UWAGI NA NOŚNOŚĆ - ROZCIĄGANIE:

$$a_1 := c_{nom} + \frac{\phi_r}{2} = 70 \cdot \text{mm} \quad a_2 := a_1 = 70 \cdot \text{mm}$$

$$A_{s1.R} := \frac{R \cdot (0.5 \cdot h - a_2)}{(h - a_1 - a_2) \cdot f_{yd}} = 51.75 \cdot \text{cm}^2$$

## ZBROJENIE MINIMALNE W ELEMENTACH ROZCIĄGANYCH:

$$A_{s1.min1} := 0.002 \cdot h \cdot b = 6 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1.min2} := 0.004 \cdot d_f \cdot b = 9.2 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1.min3} := \frac{A_{s.min2}}{2} = 4.6 \cdot \text{cm}^2$$

## ZBROJENIE Z UWAGI NA ZARYSOWANIE

- przyjęto 1 klasę szczelności: *Przecieki ogranicza się do pewnej niewielkiej ilości. Powierzchniowe przemakanie lub miejsca zawilgocenia są dopuszczalne. Szerokość dowolnej rysy należy ograniczyć do wartości  $w_k$ .*

- Wysokość parcia hydrostatycznego (przyjęto wysokość zbiornika):

$$h_d := 3.51 \text{ m}$$

$$\frac{h_d}{h} = 11.7$$

ostatecznie przyjęto:

$$w_{kw} := 0,10 \text{ mm}$$

- ograniczenie rys do tej wartości powinno prowadzić do samouszczelnienia

Siła rysująca:

$$N_{ed} := b \cdot h \cdot f_{ctm} = 960 \cdot \text{kN} > R = 4.5 \times 10^3 \cdot \text{kN} \quad \text{- przekrój zarysowany}$$

## ZBROJENIE Z UWAGI NA OGRANICZENIE ODKSZTAŁCEŃ SKURCZOWYCH I TERMICZNYCH:

$$f_{ct,eff} := 0.5 \cdot f_{ctm} = 1.6 \cdot \text{MPa}$$

Siła rozciągająca posuwająca na skutek skurczu:

$$a_1 = 70 \cdot \text{mm}$$

$$N_{ed} := b \cdot h \cdot f_{ct,eff} = 480 \cdot \text{kN}$$

$$w := \frac{1.45 \cdot 0.25}{2.9 \cdot 10 \cdot 0.045} = 0.278$$

$$\phi_{ss} := \frac{10 \text{ mm}}{w} = 36 \cdot \text{mm}$$

$$\sigma_{s,lim} := 160 \text{ MPa}$$

$$A_{s,min3} := \frac{N_{ed}}{\sigma_{s,lim}} = 30 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1,min3} := \frac{A_{s,min3}}{2} = 15 \cdot \text{cm}^2$$

$$\rightarrow \phi 25 \text{ co } 8 \text{ cm} \rightarrow 61.36 \text{ cm}^2$$

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE:

$$A_{s1,min} := \max(A_{s1,R}, A_{s1,min1}, A_{s1,min2}, A_{s1,min3}) = 51.75 \cdot \text{cm}^2$$

Przyjęto zbrojenie fi 25 co 8cm po obu stronach zbiornika

### ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$N = 159.07 \cdot \text{kN}$$

$$M_p = 64.77 \cdot \text{kNm}$$

$$d_p = 212 \cdot \text{mm}$$

$$a_1 := h - d_p = 88 \cdot \text{mm}$$

$$e_M := \frac{M_p}{N} = 407.179 \cdot \text{mm}$$

$$e_{s1} := \frac{h}{2} - a_1 + e_M = 46.918 \cdot \text{cm} > d_p = 21.2 \cdot \text{cm} \quad \text{przekrój ściskany z dużym mimośrodem}$$

$$e_{s2} := e_{s1} - (d_p - a_2) = 327.179 \cdot \text{mm}$$

Założono pełne wykorzystanie strefy ściskanej.

$$x_{\text{eff.lim}} := \xi_{\text{eff.lim}} \cdot d_n = 104.619 \cdot \text{mm}$$

$$A_{s2} := \frac{N \cdot e_{s1} - f_{cd} \cdot b \cdot x_{\text{eff.lim}} \cdot (d_p - 0.5 \cdot x_{\text{eff.lim}})}{f_{yd} \cdot (d_p - a_2)} = -55.562 \cdot \text{cm}^2 < 0$$

Określam rzeczywistą wys. strefy ściskanej (przy  $A_{s2}=0$ )

$$N \cdot e_{s1} - f_{cd} \cdot b \cdot x_{\text{eff}} \cdot (d_p - 0.5 \cdot x_{\text{eff}}) = 0$$

$$x_{\text{eff}} := 5.08 \text{ mm}$$

$$A_{s1} := \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_{\text{eff}} + f_{yd} \cdot 0 - N}{f_{yd}} = -0.738 \cdot \text{cm}^2 \rightarrow$$

$$\text{A)} \quad A_{s1.\text{min}.1} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_p = 3.53 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{B)} \quad A_{s1.\text{min}.2} := 0.0013 \cdot b \cdot d_p = 2.76 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{C)} \quad A_{ct} := 0.5 \cdot b \cdot h \quad k_c := 0.4 \quad k_s := 0.8 \quad \sigma_{s.\text{lim}} := 160 \text{ MPa}$$

$$f_{ct.\text{eff}} := f_{ctm}$$

$$A_{s1.\text{min}.3} := k_c \cdot k_s \cdot f_{ct.\text{eff}} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_{s.\text{lim}}} = 9.6 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{D)} \quad A_{s1.\text{min}.4} := 0.5(0.002 \cdot b \cdot h) = 3 \cdot \text{cm}^2$$

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$A_{s1.\text{min}} := \max(A_{s1}, A_{s1.\text{min}.1}, A_{s1.\text{min}.2}, A_{s1.\text{min}.3}) = 9.6 \cdot \text{cm}^2$$

$$f_l 16 \text{ co } 15 \text{ cm} \rightarrow 13.40 \text{ cm}^2$$