

ZAŁĄCZNIK 2

OBIEKT 27

OBLICZENIA ZBROJENIA ŚCIAN W ZBIORNIKU 27

STAL ZBROJENIOWA - PARAMETRY:

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

- Parametry:

- wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie: $f_{tk} := 575 \text{ MPa}$
- charakterystyczna granica plastyczności: $f_{yk} := 500 \text{ MPa}$
- obliczeniowa granica plastyczności: $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1.15} = 434.782609 \cdot \text{MPa}$
- 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: $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1.40} = 25 \cdot \text{MPa}$
- wytrzymałość obliczeniowa na rozciąganie: $f_{ctd} := \frac{f_{ctk}}{1.40} = 1.571 \cdot \text{MPa}$
- wytrzymałość średnia betonu na ściskanie: $f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 43 \cdot \text{MPa}$
- 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 2,40m

- Maksymalna siła równoleżnikowa: $\underline{R} := 145.58 \text{ kN}$
- Maksymalna siła południkowa: $\underline{N} := 28.07 \text{ kN}$
- Maksymalny moment zginający, południkowy: $M_p := 0.82 \text{ kNm}$
- Maksymalny moment zginający, równoleżnikowy: $M_T := 4.12 \text{ kNm}$

KLASA EKSPOZYCJI

Przyjęto klasę ekspozycji **XA3** - Środowisko: Silna agresja chemiczna
Klasa konstrukcji S4 - $c_{min}=50 \text{ mm}$

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

- wstępnie przyjęte średnice prętów:

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

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

- grubość ściany: $h := 40\text{cm}$

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

- Wysokość użyteczna przekroju ściany dla zbrojenia południkowego:

$$d_p := h - c_{\text{nom}} - \phi_r - \frac{\phi_p}{2} = 312 \cdot \text{mm}$$

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

$$d_r := h - c_{\text{nom}} - \frac{\phi_r}{2} = 330 \cdot \text{mm}$$

ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE Z UWAGI NA NOŚNOŚĆ - ROZCIĄGANIE:

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

$$A_{s1.R} := \frac{R \cdot (0.5 \cdot h - a_2)}{(h - a_1 - a_2) \cdot f_{yd}} = 1.674 \cdot \text{cm}^2$$

ZBROJENIE MINIMALNE W ELEMENTACH ROZCIĄGANYCH:

$$A_{s1.\text{min}1} := 0.002 \cdot h \cdot b = 8 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s.\text{min}2} := 0.004 \cdot d_r \cdot b = 13.2 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1.\text{min}2} := \frac{A_{s.\text{min}2}}{2} = 6.6 \cdot \text{cm}^2$$

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):

$$h_d := 6.9\text{m} \quad \frac{h_d}{h} = 17.25$$

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

Siła rysująca:

$$N_{cr} := b \cdot h \cdot f_{ctm} = 1.28 \times 10^3 \cdot \text{kN} > R = 145.58 \cdot \text{kN} \quad - \text{przekrój niezarysowany}$$

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:

$$a_1 = 70 \cdot \text{mm} \quad N_{ed} := b \cdot h \cdot f_{ct,eff} = 640 \cdot \text{kN}$$

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

$$\sigma_{s,lim} := 160 \text{MPa} \quad A_{s,min3} := \frac{N_{ed}}{\sigma_{s,lim}} = 40 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1,min3} := \frac{A_{s,min3}}{2} = 20 \cdot \text{cm}^2$$

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE:

$$A_{s1,min} := \max(A_{s1,R}, A_{s1,min1}, A_{s1,min2}, A_{s1,min3}) = 20 \cdot \text{cm}^2$$

$$\rightarrow \phi 16 \text{ co } 10 \text{cm} \rightarrow 20.11 \text{cm}^2$$

Przyjęto zbrojenie $\phi 16$ co 10cm po obu stronach zbiornika

ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$N = 28.07 \cdot \text{kN} \quad M_p = 0.82 \cdot \text{kNm}$$

$$d_p = 312 \cdot \text{mm}$$

$$a_w := h - d_p = 88 \cdot \text{mm} \quad e_M := \frac{M_p}{N} = 29.213 \cdot \text{mm}$$

$$e_{s1} := \frac{h}{2} - a_1 + e_M = 14.121 \cdot \text{cm} < d_p = 31.2 \cdot \text{cm}$$

$$e_{s2} := e_{s1} - (d_p - a_2) = -100.787 \cdot \text{mm}$$

Założono pełne wykorzystanie strefy ściskanej.

$$x_{eff,lim} := \xi_{efflim} \cdot d_p = 153.968 \cdot \text{mm}$$

$$A_{s2} := \frac{N \cdot e_{s1} - f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff,lim} \cdot (d_p - 0.5 x_{eff,lim})}{f_{yd} \cdot (d_p - a_2)} = -85.6 \cdot \text{cm}^2 < 0$$

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

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

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

$$A_{s1} := \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} + f_{yd} \cdot 0 - N}{f_{yd}} = 2.275 \cdot \text{cm}^2 \quad \rightarrow$$

$$\text{A) } A_{s1.min.1} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_p = 5.19 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{B) } A_{s1.min.2} := 0.0013 \cdot b \cdot d_p = 4.06 \cdot \text{cm}^2$$

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

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

$$A_{s1.min.3} := k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_{s.lim}} = 12.8 \cdot \text{cm}^2$$

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

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$A_{s1.min} := \max(A_{s1}, A_{s1.min.1}, A_{s1.min.2}, A_{s1.min.3}) = 12.8 \cdot \text{cm}^2$$

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

OBLICZENIA ZBROJENIA DLA PASMA DOLNEGO - 2,40 do 4,50m

- Maksymalna siła równoleżnikowa: $R := 372.98 \text{ kN}$
- Maksymalna siła południkowa: $N := 57.77 \text{ kN}$
- Maksymalny moment zginający, południkowy: $M_{xx} := 7.20 \text{ kNm}$
- Maksymalny moment zginający, równoleżnikowy: $M_{yy} := 36.07 \text{ kNm}$

ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE Z UWAGI NA NOŚNOŚĆ - ROZCIĄGANIE:

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

$$A_{s1.R} := \frac{R \cdot (0.5 \cdot h - a_2)}{(h - a_1 - a_2) \cdot f_{yd}} = 4.289 \cdot \text{cm}^2$$

ZBROJENIE MINIMALNE W ELEMENTACH ROZCIĄGANYCH:

$$A_{s1.min1} := 0.002 \cdot h \cdot b = 8 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s.min2} := 0.004 \cdot d_f \cdot b = 13.2 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1.min2} := \frac{A_{s.min2}}{2} = 6.6 \cdot \text{cm}^2$$

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):

$$h_d := 6.90 \text{m}$$

$$\frac{h_d}{h} = 17.25$$

ostatecznie przyjęto:

$$w_k := 0,10 \text{mm}$$

- ograniczenie rys do tej wartości powinno prowadzić do samouszczelnienia

Siła rysująca:

$$N_{act} := b \cdot h \cdot f_{ctm} = 1.28 \times 10^3 \cdot \text{kN} > R = 372.98 \cdot \text{kN}$$

- 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 poswajająca na skutek skurczu:

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

$$N_{ed} := b \cdot h \cdot f_{ct,eff} = 640 \cdot \text{kN}$$

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

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

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

$$A_{s.min2} := \frac{N_{ed}}{\sigma_{s,lim}} = 40 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1.min3} := \frac{A_{s.min3}}{2} = 20 \cdot \text{cm}^2$$

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE:

$$A_{s1.min} := \max(A_{s1.R}, A_{s1.min1}, A_{s1.min2}, A_{s1.min3}) = 20 \cdot \text{cm}^2$$

$$\rightarrow \phi 16 \text{ co } 10 \text{cm} \rightarrow 20.11 \text{cm}^2$$

Przyjęto zbrojenie fi 16 co 10cm po obu stronach zbiornika

ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$N = 57.77 \cdot \text{kN}$$

$$M_p = 7.2 \cdot \text{kNm}$$

$$d_p = 312 \cdot \text{mm}$$

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

$$e_M := \frac{M_p}{N} = 124.632 \cdot \text{mm}$$

$$e_{s1} := \frac{h}{2} - a_1 + e_M = 23.663 \cdot \text{cm} < d_p = 31.2 \cdot \text{cm}$$

$$e_{s2} := e_{s1} - (d_p - a_2) = -5.368 \cdot \text{mm}$$

Założono pełne wykorzystanie strefy ściskanej.

$$x_{eff,lim} := \xi_{eff,lim} \cdot d_p = 153.968 \cdot \text{mm}$$

$$A_{s2} := \frac{N \cdot e_{s1} - f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff,lim} \cdot (d_p - 0.5 x_{eff,lim})}{f_{yd} \cdot (d_p - a_2)} = -84.677 \cdot \text{cm}^2 < 0$$

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

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

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

$$A_{s1} := \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} + f_{yd} \cdot 0 - N}{f_{yd}} = 1.592 \cdot \text{cm}^2 \rightarrow$$

$$\text{A) } A_{s1,min,1} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_p = 5.19 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{B) } A_{s1,min,2} := 0.0013 \cdot b \cdot d_p = 4.06 \cdot \text{cm}^2$$

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

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

$$A_{s1,min,3} := k_c \cdot k_s \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_{s,lim}} = 12.8 \cdot \text{cm}^2$$

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

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$A_{s1,min} := \max(A_{s1}, A_{s1,min,1}, A_{s1,min,2}, A_{s1,min,3}) = 12.8 \cdot \text{cm}^2$$

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

OBLICZENIA ZBROJENIA DLA PASMA GÓRNEGO - 4,50 do 6,90m

- Maksymalna siła równoleżnikowa: $R := 2751.11 \text{ kN}$
- Maksymalna siła południkowa: $N := 85.77 \text{ kN}$
- Maksymalny moment zginający, południkowy: $M_{pl} := 23.26 \text{ kNm}$
- Maksymalny moment zginający, równoleżnikowy: $M_{rl} := 116.22 \text{ kNm}$

ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE Z UWAGI NA NOŚNOŚĆ - ROZCIĄGANIE:

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

$$A_{s1R} := \frac{R \cdot (0.5 \cdot h - a_2)}{(h - a_1 - a_2) \cdot f_{yd}} = 31.28 \cdot \text{cm}^2$$

ZBROJENIE MINIMALNE W ELEMENTACH ROZCIĄGANYCH:

$$A_{s1min1} := 0.002 \cdot h \cdot b = 8 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1min2} := 0.004 \cdot d_f \cdot b = 13.2 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1min2} := \frac{A_{smin2}}{2} = 6.6 \cdot \text{cm}^2$$

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):

$$h_d := 6.90 \text{ m} \quad \frac{h_d}{h} = 17.25$$

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

Siła rysująca:

$$N_{cr} := b \cdot h \cdot f_{ctm} = 1.28 \times 10^3 \cdot \text{kN} < R = 2.72 \times 10^3 \cdot \text{kN}$$

- przekrój zarysowany, ale rysy nie przekroczą wartości granicznej 0.1mm

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:

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

$$N_{ed} := b \cdot h \cdot f_{ct,eff} = 640 \cdot \text{kN}$$

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

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

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

$$A_{s,min3} := \frac{N_{ed}}{\sigma_{s,lim}} = 40 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s1,min3} := \frac{A_{s,min3}}{2} = 20 \cdot \text{cm}^2$$

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE RÓWNOLEŻNIKOWE:

$$A_{s1,min} := \max(A_{s1,R}, A_{s1,min1}, A_{s1,min2}, A_{s1,min3}) = 31.28 \cdot \text{cm}^2$$

$$\rightarrow \phi 20 \text{ co } 10 \text{cm} \rightarrow 31.40 \text{cm}^2$$

Przyjęto zbrojenie $\phi 20$ co 10cm po obu stronach zbiornika

ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$N = 85.77 \cdot \text{kN}$$

$$M_p = 23.26 \cdot \text{kNm}$$

$$d_p = 312 \cdot \text{mm}$$

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

$$e_M := \frac{M_p}{N} = 271.19 \cdot \text{mm}$$

$$e_{s1} := \frac{h}{2} - a_1 + e_M = 38.319 \cdot \text{cm} > d_p = 31.2 \cdot \text{cm} \quad \text{przekrój ściskany z dużym mimośrodem}$$

$$e_{s2} := e_{s1} - (d_p - a_2) = 141.19 \cdot \text{mm}$$

Założono pełne wykorzystanie strefy ściskanej.

$$x_{eff,lim} := \xi_{eff,lim} \cdot d_n = 153.968 \cdot \text{mm}$$

$$A_{s2} := \frac{N \cdot e_{s1} - f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff,lim} \cdot (d_p - 0.5 x_{eff,lim})}{f_{yd} \cdot (d_p - a_2)} = -82.853 \cdot \text{cm}^2 < 0$$

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

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

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

$$A_{s1} := \frac{f_{cd} \cdot b \cdot x_{eff} + f_{yd} \cdot 0 - N}{f_{yd}} = 0.948 \cdot \text{cm}^2 \quad \rightarrow$$

$$\text{A)} \quad A_{s1.min.1} := 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d_p = 5.19 \cdot \text{cm}^2$$

$$\text{B)} \quad A_{s1.min.2} := 0.0013 \cdot b \cdot d_p = 4.06 \cdot \text{cm}^2$$

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

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

$$A_{s1.min.3} := k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_{s.lim}} = 12.8 \cdot \text{cm}^2$$

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

OSTATECZNIE PRZYJĘTO ZBROJENIE POŁUDNIKOWE:

$$A_{s1.min} := \max(A_{s1}, A_{s1.min.1}, A_{s1.min.2}, A_{s1.min.3}) = 12.8 \cdot \text{cm}^2$$

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