



F I R M A  
**"ABS - OCHRONA ŚRODOWISKA"**  
SPÓŁKA Z O.O.



NAJLEPSZA  
PRZESTRZEŃ  
PUBLICZNA

LAUREAT KONKURSU NA NAJLEPSZĄ PRZESTRZEŃ PUBLICZNĄ  
WOJEWÓDZTWA ŚLĄSKIEGO 2008 ORAZ 2012

## OBLICZENIA STATYCZNE

dot: **Oceny stanu technicznego tunelu rzeki Szarlejka wraz z rozwiązaniem zabezpieczenia konstrukcji i kosztorysem szczegółowym oraz specyfikacją wykonania i odbioru robót**

przedmiot obliczeń:

TUNEL RZEKI SZARLEJKA

Inwestor:

**Prezydent Miasta Piekary Śląskie, ul. Bytomska 84, 41-940 Piekary Śląskie**

FUNKCJA	tytuł Imię NAZWISKO	Nr uprawnień	data	Podpis
opracował	mgr inż. Paweł ELIASZ	-----	Lipiec 2015	
projektant	mgr inż. Grzegorz DURCZYŃSKI	5217/13 drogowa	Lipiec 2015	
sprawdził	inż. Andrzej JEKSA	75/81 konstrukcyjno - budowlana	Lipiec 2015	

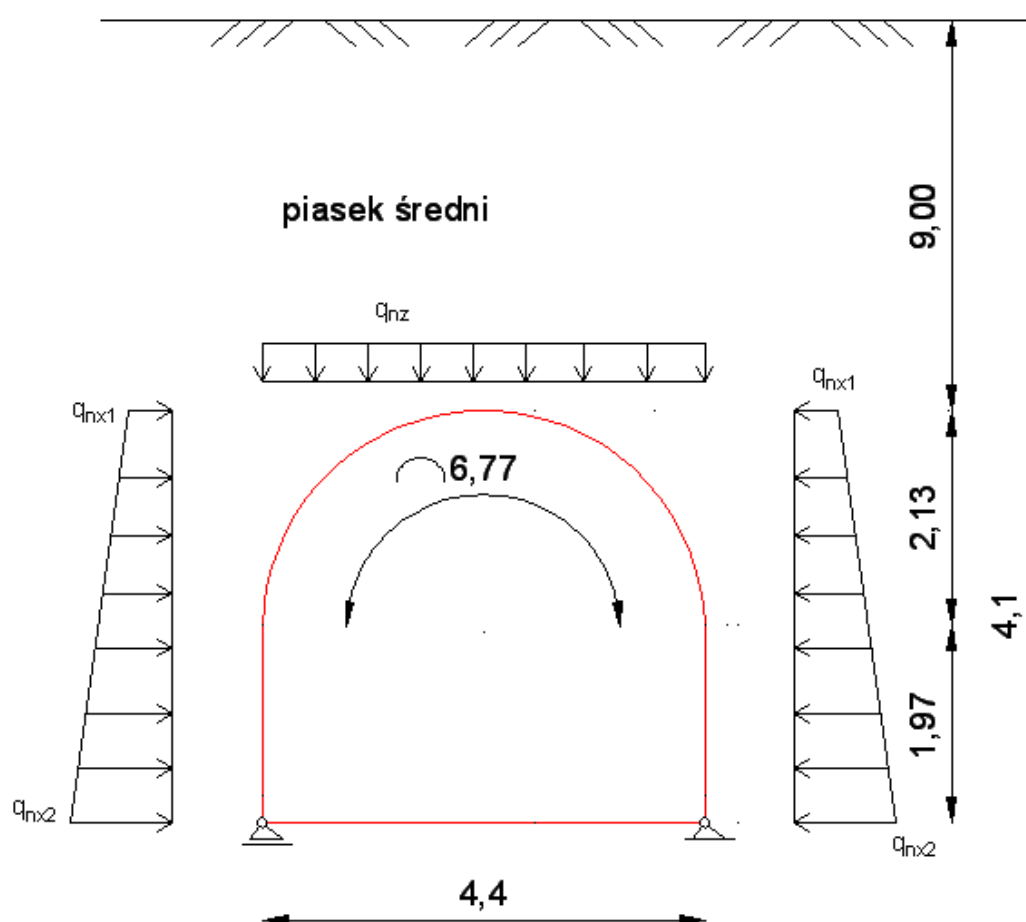
## 1 Zawartość

### 2 Spis treści

1.	Schematy obciążeń .....	3
2.	Przypadek I.....	5
2.1	Obciążenia .....	5
2.2	Siły wewnętrzne .....	5
2.3	Sprawdzenie nośności tunelu.....	7
3.	Przypadek II .....	20
3.1	Obciążenia.....	20
3.2	Siły wewnętrzne .....	20
3.3	Sprawdzenie nośności tunelu .....	22
4.	Analiza wyników.....	35

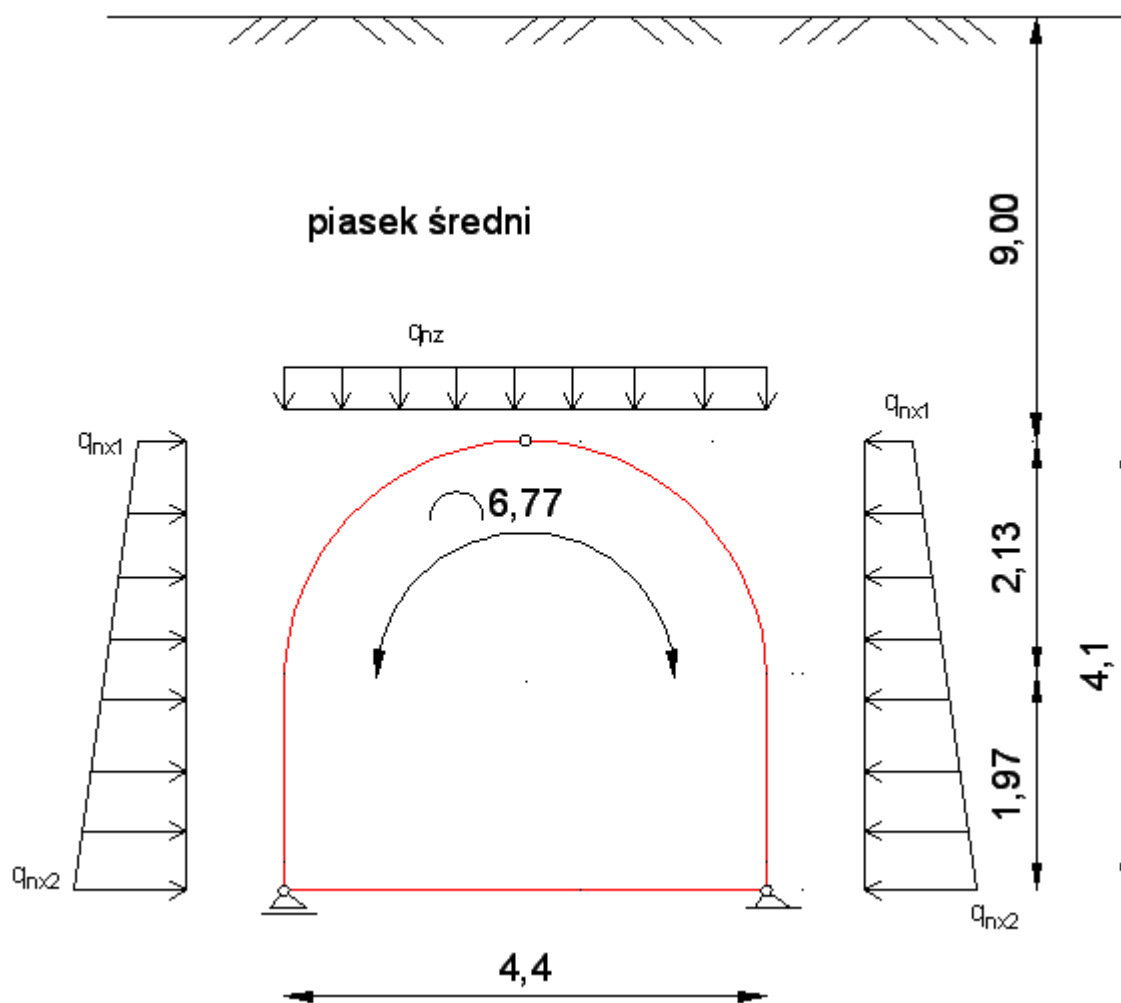
## 1. Schematy obciążeń

Tunel zostanie sprawdzony w części nr 1 w miejscu występowania maksymalnego nadkładu gruntu równego 9,0m. Do obliczeń przyjęto grunt jako piasek średni. Przekroje poprzeczne sklepienia żelbetowego oraz ścianek - 40x100cm (1mb długości tunelu) natomiast płyty poziomej 15x100cm. Klasa betonu C16/20 oraz zastosowane zbrojenie w postaci siatek  $\phi 10$  o rozstawie oczek 10x10cm oraz 25x25cm. Gatunek stali zbrojeniowej to 34GS.



RYS.1- SCHEMAT OBCIĄŻEŃ – przypadek I

Ponadto zostanie dodatkowo sprawdzony przypadek szczególny na wypadek utworzenia się przegubu w środkowym przekroju sklepienia obudowy



RYS.2- SCHEMAT OBCIĄŻEŃ – Przypadek II

## 2. Przypadek I

### 2.1 Obciążenia

$$h = 9,0\text{m}$$

$$s_w = 4,4\text{m}$$

$$w_w = 4,1\text{m}$$

$$\varphi = 30^\circ$$

$$\gamma_0 = 20,5\text{kN/m}^3 \text{ (przyjęto jak dla piasku średniego zagęszczonego mokrego)}$$

$$q_{nz} = \gamma_0 \cdot h = 20,5 \cdot 9,0 = 184,5 \text{ kN/m}^2$$

Obliczenia prowadzimy dla 1mb długości ściany zatem:

$$184,5 \cdot 1\text{mb} = 184,5 \text{ kN/m}$$

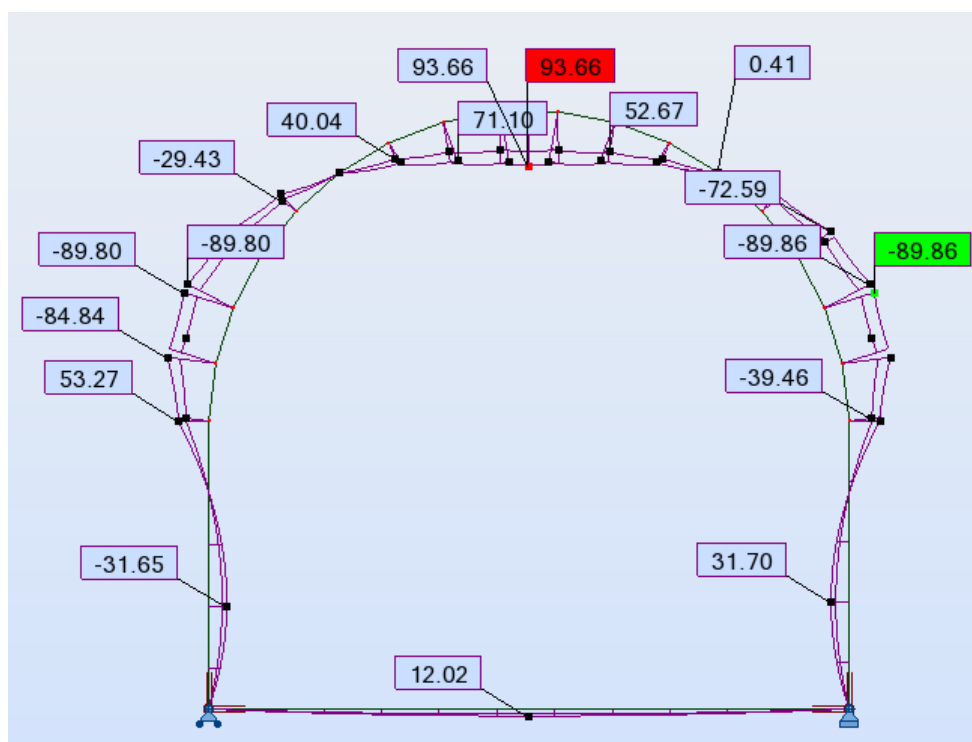
$$\lambda = \tan^2(45^\circ - \varphi/2) = 0,333$$

$$q_{nx1} = q_{nz} \cdot \lambda = 184,5 \cdot 0,333 = 61,4 \text{ kN/m}$$

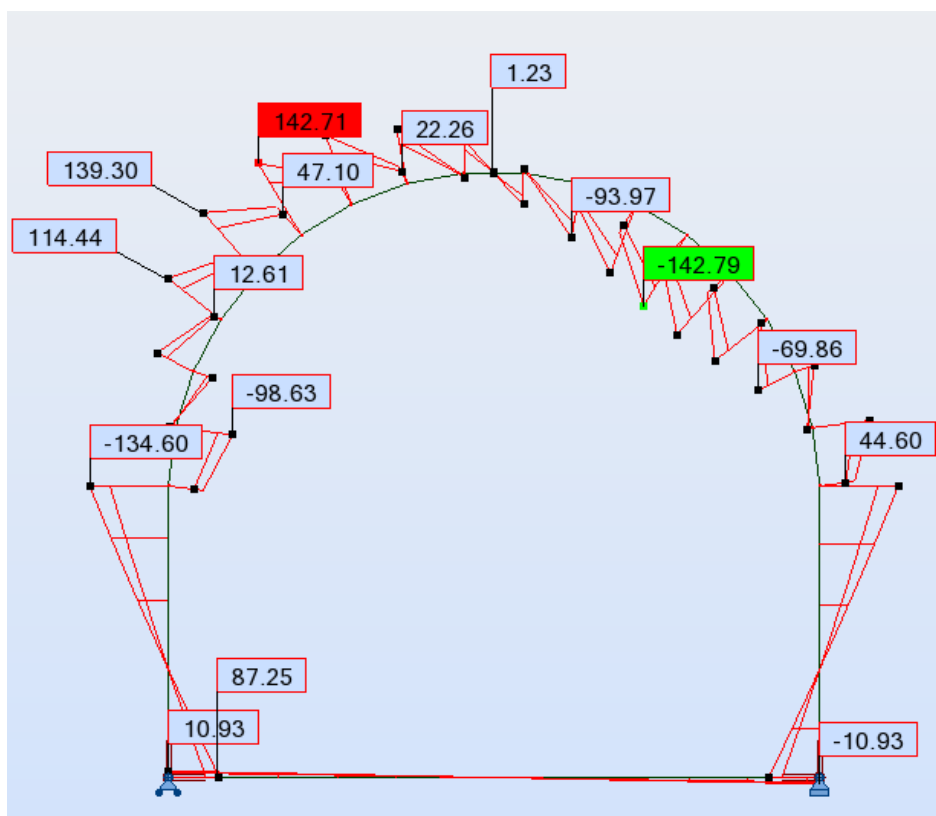
$$q_{nx2} = (q_{nz} + \gamma_0 \cdot w_w) \cdot \lambda = (184,5 + 20,5 \cdot 4,1) \cdot 0,333 = 89,4 \text{ kN/m}$$

### 2.2 Siły wewnętrzne

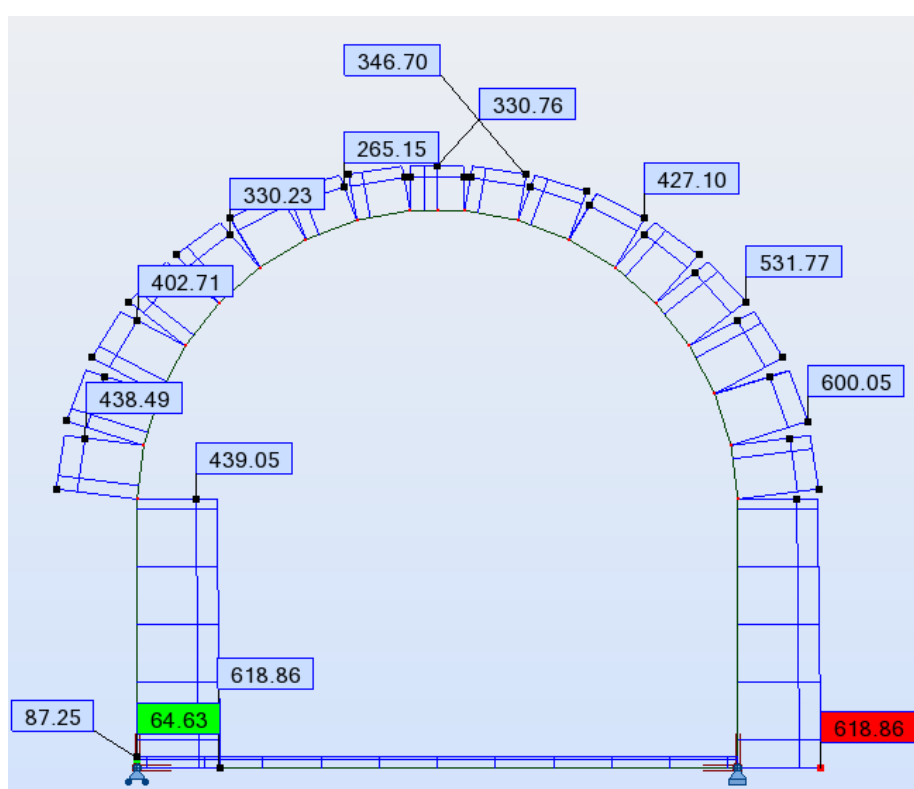
(po uwzględnieniu współczynników obciążeń po stronie obciążeń)



RYS.3- OBWIEDNIA MOMENTÓW ZGINAJĄCYCH



**rys.4- OBWIEDNIA SIŁ TNĄCYCH**



**rys.5- OBWIEDNIA SIŁ OSIOWYCH (ściskających)**

## 2.3 Sprawdzenie nośności tunelu

- W ŚRODKOWYM PRZEKROJU SKLEPIENIA OBUDOWY

WYMIAROWANIE ŁUKU W PŁASZCZYŹNIE UKŁADU -  $M_{\max}, N_{\text{odp}}$

$$\begin{aligned} M_{0Ed} &:= 93.66 \text{ kN}\cdot\text{m} & h &:= 0.4 \text{ m} & a_1 &:= 0.055 \text{ m} \\ N_{Ed} &:= 330.76 \text{ kN} & b &:= 1 \text{ m} & a_2 &:= 0.055 \text{ m} \\ l_{\text{col}} &:= 6.77 \text{ m} \\ l_o &:= 0.4 \cdot l_{\text{col}} = 2.708 \text{ m} & d &:= h - a_1 \\ E_{\text{cm}} &:= 29000 \text{ MPa} & d &:= 0.345 \text{ m} \\ E_s &:= 205000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Współczynnik powiększenia momentu

$$I_c := \frac{b \cdot (h^3)}{12} \quad I_c = \frac{1 \text{ m} \cdot (0.4 \text{ m})^3}{12} \quad I_c = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$N_B := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I_c}{l_o^2} = 2.082 \times 10^5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := \frac{M_{0Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_B}\right)} = 93.809 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Mimośród początkowy  $e_o$

$$e_e := \frac{|M_{Ed}|}{|N_{Ed}|} = 0.284 \text{ m}$$

$$e_a := \max\left(\frac{l_{\text{col}}}{600}, \frac{h}{30}, 0.01 \text{ m}\right) \quad e_a = \max\left(\frac{6.77 \text{ m}}{600}, \frac{0.4 \text{ m}}{30}, 0.01 \text{ m}\right)$$

$$e_a = 0.013 \text{ m} \quad e_o := e_e + e_a$$

$$e_o = 0.297 \text{ m}$$

Obliczenie mimośrodu  $e_{\text{tot}}$  uwzględniającego wpływ wyboczenia i obc. długotrwałego

$$A_c := b \cdot h \quad A_c = 1 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m} \quad A_c = 0.4 \text{ m}^2$$

$$I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$i := \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = 0.115 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{l_o}{i} = 23.452$$

$$I_s := 2 \cdot 0.005 \cdot b \cdot h \cdot (0.5 \cdot h - a_1)^2 = 8.41 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$c := \frac{e_o}{h} = 0.742$$

$$k_{lt} := 1 + 0.5 \cdot 0.7 \cdot 2 \quad k_{lt} = 1.7$$

$$N_{crit} := \frac{9}{l_o^2} \left[ \frac{E_{cm} \cdot I_c}{2 \cdot k_{lt}} \cdot \left( \frac{0.11}{0.1 + c} + 0.1 \right) + E_s \cdot I_s \right] = 3.403 \times 10^7 \text{ N}$$

$$N_{crit} = 3.403 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$\eta := \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{crit}}} = 1.01$$

Mimośród  $e_{tot}$

$$e_{tot} := e_o \cdot \eta = 0.3 \text{ m}$$



## WYMIAROWANIE ZBROJENIA

Zakładamy duży mimośród:

$$\begin{aligned} f_{cd} &:= 11.43 \text{ MPa} & a_1 &:= 0.055 \text{ m} & h &:= 0.4 \text{ m} & \phi &:= 10 \text{ mm} \\ f_{yd} &:= 356.5 \text{ MPa} & a_2 &:= 0.055 \text{ m} & b &:= 1 \text{ m} & d &:= 0.345 \text{ m} & \epsilon_{cu} &:= 0.0035 & \epsilon_s &:= \frac{f_{yd}}{E_s} \end{aligned}$$

$$\xi_{lim} := \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_s} = 0.668 \qquad \epsilon_s = \frac{356.5 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6}{205000 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6} = 1.739 \times 10^{-3}$$

$$x_{lim} := \xi_{lim} \cdot d = 0.23 \text{ m}$$

$$e_{s1} := e_{tot} + 0.5 \cdot h - a_1 = 0.445 \text{ m}$$

$$e_{s2} := e_{tot} - 0.5 \cdot h + a_2 = 0.155 \text{ m}$$

$$A_{s2} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - 0.8 f_{cd} \cdot b \cdot x_{lim} (d - 0.4 \cdot x_{lim})}{f_{yd} (d - a_2)} \qquad A_{s2} = -3.73 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_2 := 5$

$$A_{s2rz} := n_2 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \qquad A_{s2rz} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \qquad A_{s2rz} = 3.927 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{2rz} := a_2$$

$$a_{2rz} = 0.055 \text{ m}$$

$$\xi_c := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - f_{yd} \cdot A_{s2rz} (d - a_{2rz})}{0.8 f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.098$$

$$\xi := 1.25 - \sqrt{1.563 - 2.5 \cdot \xi_c} = 0.102$$

$$\xi = 0.102 < \xi_{lim} = 0.668$$

$$x := \xi \cdot d = 0.035 \text{ m}$$

$$2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \text{ m} \qquad x = 0.035 \text{ m} < x_{lim} = 0.23 \text{ m}$$

$$x = 0.035 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$A_{s1} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s2}}{f_{yd} \cdot (d - a_{2rz})} = 4.955 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = 4.955 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_1 := 11$

$$A_{s1rz} := n_1 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad A_{s1rz} = 11 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \quad A_{s1rz} = 8.639 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{1rz} := a_1 = 0.055 \text{ m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$0.04 \cdot h \cdot b = 0.04 \cdot 0.4 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2 < 0.04 \cdot h \cdot b = 0.016 \text{ m}^2$$

Sprawdzenie warunku zbrojenia i SGN

$$\frac{A_{s2rz} + A_{s1rz}}{b \cdot h} = 3.142 \times 10^{-3}$$

$$x_1 := \frac{N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{s1rz} - f_{yd} \cdot A_{s2rz}}{0.8 \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$x_1 = 0.055 \text{ m} \quad 2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \cdot \text{m} \quad x_1 = 0.055 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$M_{Rd2} := f_{yd} \cdot A_{s1rz} \cdot (d - a_2)$$

$$M_{Rd2} = 89.318 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad N_{Ed} \cdot e_{s2} = 51.223 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} \cdot e_{s2} = 51.223 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} < M_{Rd2} = 89.318 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

występujące zbrojenie spełnia warunki nośności:

$$n_1 = 11 \quad n_2 = 5 \quad \phi = 0.01 \text{ m}$$

- W MIEJSCU POŁĄCZENIA ZE ŚCIANĄ ŻELBETOWĄ

#### WYMIAROWANIE ŁUKU W PŁASZCZYŹNIE UKŁADU - $M_{\text{Edp}}, N_{\text{max}}$

$$M_{0\text{Ed}} := 53.27 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad h := 0.4 \text{ m} \quad a_1 := 0.055 \text{ m}$$

$$N_{\text{Ed}} := 604.82 \text{ kN} \quad b := 1 \text{ m} \quad a_2 := 0.055 \text{ m}$$

$$l_{\text{col}} := 6.77 \text{ m}$$

$$l_o := 0.4 \cdot l_{\text{col}} = 2.708 \text{ m} \quad d := h - a_1$$

$$E_{\text{cm}} := 29000 \text{ MPa} \quad d = 0.345 \text{ m}$$

$$E_s := 205000 \text{ MPa}$$

Współczynnik powiększenia momentu

$$I_c := \frac{b \cdot (h^3)}{12} \quad I_c = \frac{m \cdot (0.4 \text{ m})^3}{12} \quad I_c = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$N_B := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I_c}{l_o^2} = 2.082 \times 10^5 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed}} := \frac{M_{0\text{Ed}}}{\left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_B}\right)} = 53.425 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{Ed}} = 53.425 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Mimośród początkowy  $e_o$

$$e_e := \frac{|M_{\text{Ed}}|}{|N_{\text{Ed}}|} = 0.088 \text{ m}$$

$$e_a := \max\left(\frac{l_{\text{col}}}{600}, \frac{h}{30}, 0.01 \text{ m}\right) \quad e_a = \max\left(\frac{6.77 \text{ m}}{600}, \frac{0.4 \text{ m}}{30}, 0.01 \text{ m}\right)$$

$$e_a = 0.013 \text{ m} \quad e_o := e_e + e_a$$

$$e_o = 0.102 \text{ m}$$

Obliczenie mimośrodu  $e_{\text{tot}}$  uwzględniającego wpływ wybożenia i obc. długotrwałego

$$A_c := b \cdot h \quad A_c = m \cdot 0.4 \text{ m} \quad A_c = 0.4 \text{ m}^2$$

$$I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$i := \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = 0.115 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{l_o}{i} = 23.452$$

$$I_s := 2 \cdot 0.005 \cdot b \cdot h \cdot (0.5 \cdot h - a_1)^2 = 8.41 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$c := \frac{e_o}{h} = 0.254$$

$$k_{lt} := 1 + 0.5 \cdot 0.7 \cdot 2 \quad k_{lt} = 1.7$$

$$N_{crit} := \frac{9}{l_o^2} \left[ \frac{E_{cm} \cdot I_c}{2 \cdot k_{lt}} \cdot \left( \frac{0.11}{0.1 + c} + 0.1 \right) + E_s \cdot I_s \right]$$

$$N_{crit} = 4.408 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$\eta := \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{crit}}} = 1.014$$

$$\text{Mimośród} \quad e_{tot}$$

$$e_{tot} := e_o \cdot \eta = 0.103 \text{ m}$$

# WYMIAROWANIE ZBROJENIA

Zakładamy duży mimośród:

$$\begin{aligned} f_{cd} &:= 11.43 \text{ MPa} & a_1 &= 0.055 \text{ m} & h &= 0.4 \text{ m} & \phi &:= 10 \text{ mm} \\ f_{yd} &:= 356.5 \text{ MPa} & a_2 &= 0.055 \text{ m} & b &= 1 \text{ m} & d &= 0.345 \text{ m} & \epsilon_{cu} &:= 0.0035 & \epsilon_s &:= \frac{f_{yd}}{E_s} \end{aligned}$$

$$\xi_{lim} := \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_s} = 0.668 \qquad \epsilon_s = \frac{356.5 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6}{205000 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6} = 1.739 \times 10^{-3}$$

$$x_{lim} := \xi_{lim} \cdot d \qquad x_{lim} = 0.66806331471135938 \cdot (0.4 \text{ m} - 0.055 \text{ m})$$

$$x_{lim} = 0.23 \text{ m}$$

$$e_{s1} := e_{tot} + 0.5 \cdot h - a_1 = 0.248 \text{ m}$$

$$e_{s2} := e_{tot} - 0.5 \cdot h + a_2 = -0.042 \text{ m}$$

$$A_{s2} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - 0.8 f_{cd} \cdot b \cdot x_{lim} \cdot (d - 0.4 \cdot x_{lim})}{f_{yd} \cdot (d - a_2)} \qquad A_{s2} = -3.702 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{występujące zbrojenie} \qquad n_2 := 5$$

$$A_{s2rz} := n_2 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \qquad A_{s2rz} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \qquad A_{s2rz} = 3.927 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{2rz} := a_2$$

$$a_{2rz} = 0.055 \text{ m}$$

$$s_c := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - f_{yd} \cdot A_{s2rz} \cdot (d - a_{2rz})}{0.8 f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.101$$

$$\xi := 1.25 - \sqrt{1.563 - 2.5 \cdot s_c}$$

$$\xi = 0.105$$

$$\xi = 0.105 < \xi_{lim} = 0.668$$

$$x := \xi \cdot d = 0.036 \text{ m}$$

$$2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \text{ m} \qquad x = 0.036 \text{ m} < x_{lim} = 0.23 \text{ m}$$

$$x = 0.036 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$A_{s1} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s2}}{f_{yd} \cdot (d - a_{2rz})}$$

$$A_{s1} = -2.452 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = -2.452 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_1 := 11$

$$A_{s1rz} := n_1 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad A_{s1rz} = 11 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \quad A_{s1rz} = 8.639 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{1rz} := a_1 = 0.055 \text{ m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$0.04 \cdot h \cdot b = 0.04 \cdot 0.4 \text{ m} \cdot \text{m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2 < 0.04 \cdot h \cdot b = 0.016 \text{ m}^2$$

Sprawdzenie warunku zbrojenia i SGN

$$\frac{(A_{s2rz} + A_{s1rz})}{b \cdot h} = 3.142 \times 10^{-3}$$

$$x_1 := \frac{N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{s1rz} - f_{yd} \cdot A_{s2rz}}{0.8 \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$x_1 = 0.085 \text{ m} \quad 2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \text{ m} \quad x_1 = 0.085 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$M_{Rd2} := f_{yd} \cdot A_{s1rz} \cdot (d - a_2)$$

$$M_{Rd2} = 89.318 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad N_{Ed} \cdot e_{s2} = 604.82 \cdot 1000 \cdot \text{N} \cdot -0.0419199284631368 \text{ m}$$

$$N_{Ed} \cdot e_{s2} = -25.354 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{Rd2} = 89.318 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

występujące zbrojenie spełnia warunki nośności

$$n_1 = 11 \quad n_2 = 5 \quad \phi = 0.01 \text{ m}$$

## - ŚCIANY ŻELBETOWEJ

### WYMIAROWANIE ŚCIANY W PŁASZCZYŹNIE UKŁADU - $M_{\max}$ , $N_{\text{odp}}$

$$M_{0Ed} := 53.27 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad h := 0.4 \text{ m} \quad a_1 := 0.055 \text{ m}$$

$$N_{Ed} := 592.72 \text{ kN} \quad b := 1 \text{ m} \quad a_2 := 0.055 \text{ m}$$

$$l_{\text{col}} := 1.97 \text{ m}$$

$$l_o := 0.7 \cdot l_{\text{col}} = 1.379 \text{ m} \quad d := h - a_1$$

$$E_{\text{cm}} := 29000 \text{ MPa} \quad d = 0.345 \text{ m}$$

$$E_s := 205000 \text{ MPa}$$

Współczynnik powiększenia momentu

$$I_c := \frac{b \cdot (h^3)}{12} \quad I_c = \frac{1 \text{ m} \cdot (0.4 \text{ m})^3}{12} \quad I_c = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$N_B := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I_c}{l_o^2} = 8.027 \times 10^5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := \frac{M_{0Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_B}\right)} = 53.309 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Mimośród początkowy  $e_o$

$$e_e := \frac{|M_{Ed}|}{|N_{Ed}|} = 0.09 \text{ m}$$

$$e_a := \max\left(\frac{l_{\text{col}}}{600}, \frac{h}{30}, 0.01 \text{ m}\right) \quad e_a = \max\left(\frac{1.97 \text{ m}}{600}, \frac{0.4 \text{ m}}{30}, 0.01 \text{ m}\right)$$

$$e_a = 0.013 \text{ m} \quad e_o := e_e + e_a$$

$$e_o = 0.103 \text{ m}$$

Obliczenie mimośrodu  $e_{\text{tot}}$  uwzględniającego wpływ wyboczenia i obc. długotrwałego

$$A_c := b \cdot h \quad A_c = 1 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m} \quad A_c = 0.4 \text{ m}^2$$

$$I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$i := \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = 0.115 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{l_o}{i} = 11.942$$

$$I_s := 2 \cdot 0.005 \cdot b \cdot h \cdot (0.5 \cdot h - a_1)^2 = 8.41 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$c := \frac{e_o}{h} = 0.258$$

$$k_{lt} := 1 + 0.5 \cdot 0.7 \cdot 2 \quad k_{lt} = 1.7$$

$$N_{crit} := \frac{9}{l_o^2} \left[ \frac{E_{cm} \cdot I_c}{2 \cdot k_{lt}} \cdot \left( \frac{0.11}{0.1 + c} + 0.1 \right) + E_s \cdot I_s \right] = 1.692 \times 10^8 \text{ N}$$

$$N_{crit} = 1.692 \times 10^5 \cdot \text{kN}$$

$$\eta := \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{crit}}} = 1.004$$

Mimořád  $e_{tot}$

$$e_{tot} := e_o \cdot \eta = 0.104 \text{ m}$$



## WYMIAROWANIE ZBROJENIA

Zakładamy duży mimośród:

$$\begin{aligned} f_{cd} &:= 11.43 \text{ MPa} & a_1 &= 0.055 \text{ m} & h &= 0.4 \text{ m} & \phi &:= 10 \text{ mm} \\ f_{yd} &:= 356.5 \text{ MPa} & a_2 &= 0.055 \text{ m} & b &= 1 \text{ m} & d &= 0.345 \text{ m} & \epsilon_{cu} &:= 0.0035 & \epsilon_s &:= \frac{f_{yd}}{E_s} \end{aligned}$$

$$\xi_{lim} := \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_s} = 0.668 \qquad \epsilon_s = \frac{356.5 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6}{205000 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6} = 1.739 \times 10^{-3}$$

$$x_{lim} := \xi_{lim} \cdot d = 0.23 \text{ m}$$

$$e_{s1} := e_{tot} + 0.5 \cdot h - a_1 = 0.249 \text{ m}$$

$$e_{s2} := e_{tot} - 0.5 \cdot h + a_2 = -0.041 \text{ m}$$

$$A_{s2} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - 0.8 f_{cd} \cdot b \cdot x_{lim} (d - 0.4 \cdot x_{lim})}{f_{yd} (d - a_2)} \qquad A_{s2} = -3.728 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_2 := 5$

$$A_{s2rz} := n_2 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \qquad A_{s2rz} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \qquad A_{s2rz} = 3.927 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{2rz} := a_2$$

$$a_{2rz} = 0.055 \text{ m}$$

$$s_c := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - f_{yd} \cdot A_{s2rz} (d - a_{2rz})}{0.8 f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.098$$

$$\xi := 1.25 - \sqrt{1.563 - 2.5 \cdot s_c} = 0.102$$

$$\xi = 0.102 < \xi_{lim} = 0.668$$

$$x := \xi \cdot d = 0.035 \text{ m}$$

$$2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \text{ m} \qquad x = 0.035 \text{ m} < x_{lim} = 0.23 \text{ m}$$

$$x = 0.035 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$A_{s1} := \frac{N_{Ed} e_{s2}}{f_{yd} (d - a_{2rz})} = -2.371 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = -2.371 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_1 := 11$

$$A_{s1rz} := n_1 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad A_{s1rz} = 11 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \quad A_{s1rz} = 8.639 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{1rz} := a_1 = 0.055 \text{ m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$0.04 \cdot h \cdot b = 0.04 \cdot 0.4 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2 < 0.04 \cdot h \cdot b = 0.016 \text{ m}^2$$

Sprawdzenie warunku zbrojenia i SGN

$$\frac{A_{s2rz} + A_{s1rz}}{b \cdot h} = 1$$

$$x_1 := \frac{N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{s1rz} - f_{yd} \cdot A_{s2rz}}{0.8 \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$x_1 = 0.083 \text{ m} \quad 2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \cdot \text{m} \quad x_1 = 0.083 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$M_{Rd2} := f_{yd} \cdot A_{s1rz} \cdot (d - a_2)$$

$$M_{Rd2} = 89.318 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad N_{Ed} e_{s2} = -24.517 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} e_{s2} = -24.517 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} < M_{Rd2} = 89.318 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

występujące zbrojenie spełnia warunki nośności:

$$n_1 = 11 \quad n_2 = 5 \quad \phi = 0.01 \text{ m}$$

- OGÓLNE SPRAWDZENIE WARUNKU NA ŚCINANIE DLA  $V_{edmax}$

	Zbrojenie ścinanie						
fck [MPa]	16	fyk [kPa]	410000	yc	1,4		
fcd [MPa]	11,42857143	fyd [kPa]	356521,7	k [m]	1,778499		
b [m]	1	b [mm]	1000				
h [m]	0,4			ro l	0,002617	<	0,02
d [m]	0,33	d [mm]	330				
a1 [m]	0,07			Ned [MN]	0,42711		
Ved [kN]	142,71						
v	0,5616						
Asl [m2]	0,0008635						
sigma cp [MPa]	1,067775	<	2,285714				
Vrdc [N]	173894,7713	Vrdc [kN]	173,8948				
v1	0,6	dla	(fck do 60)				
alfa cw	1						
z [m]	0,297						
ctg teta	1						
tg teta	1						
		Ved<Vrdc		Warunek spełniony			

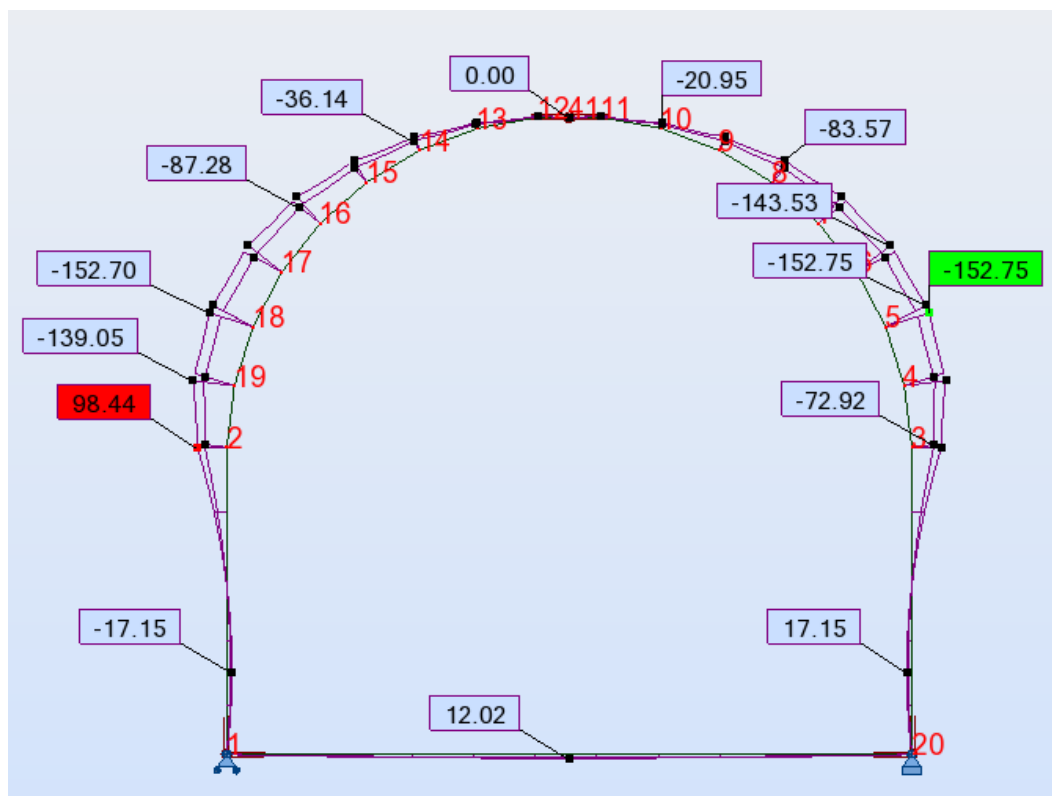
Zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane

### 3. Przypadek II

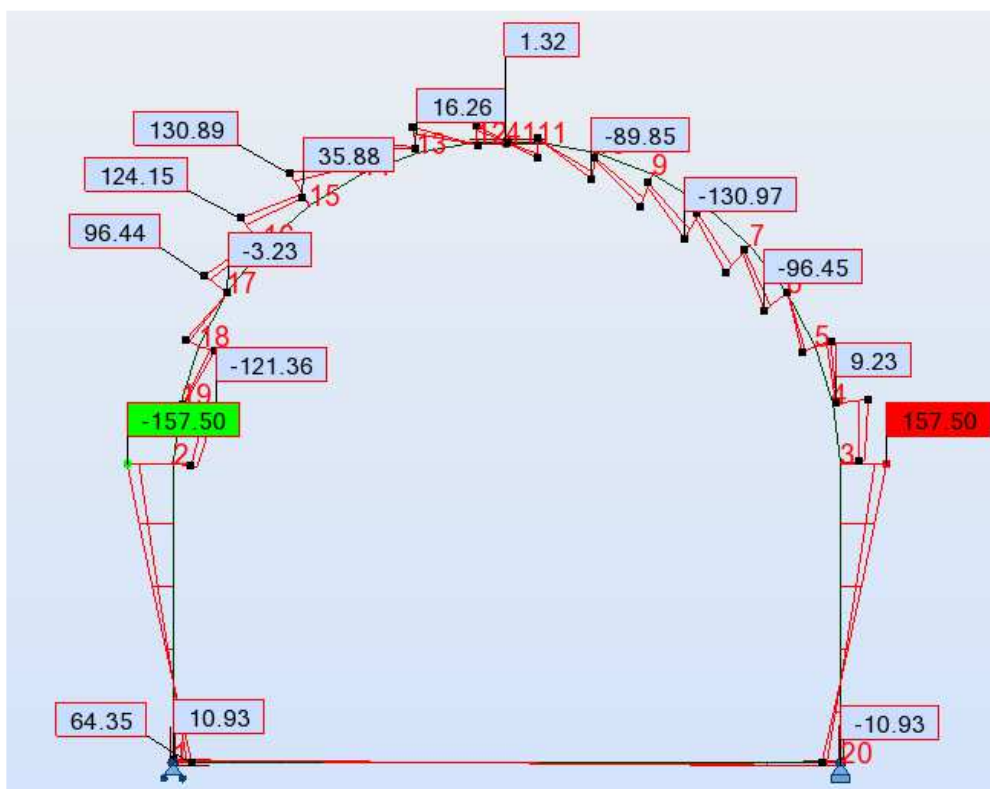
#### 3.1 Obciążenia

Identyczne jak dla przypadku I

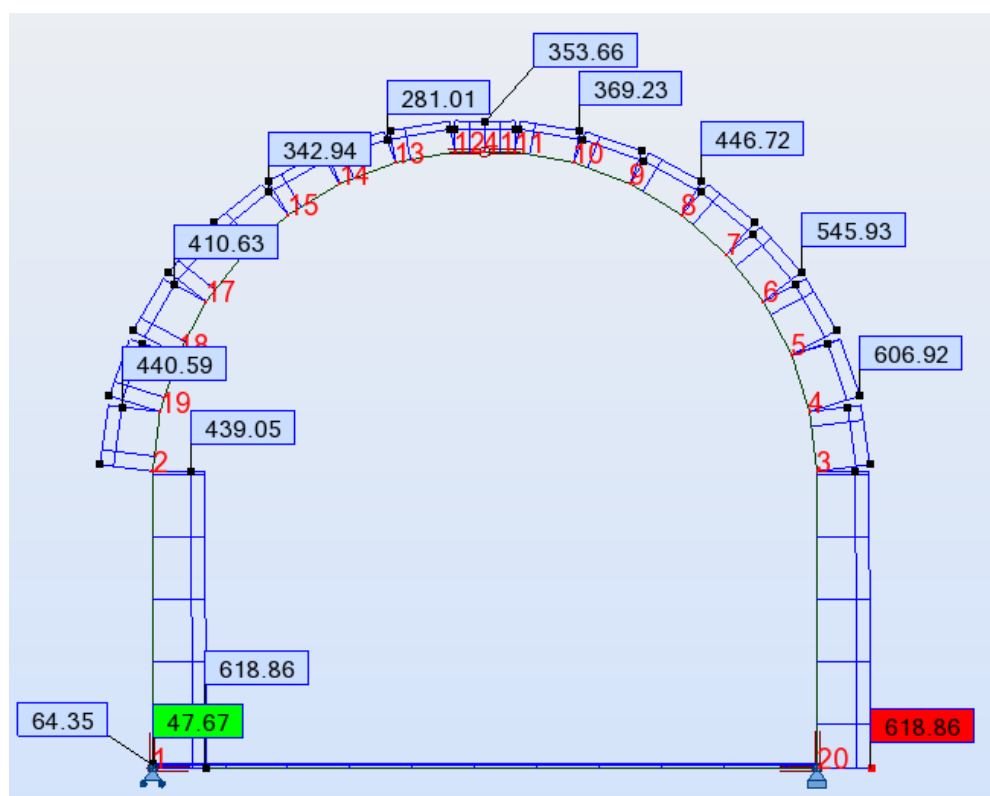
#### 3.2 Siły wewnętrzne



RYS.6- OBWIEDNIA MOMENTÓW ZGINAJĄCYCH



**rys.7- OBWIEDNIA SIŁ TNĄCYCH**



**rys.8- OBWIEDNIA SIŁ OSIOWYCH (ściskających)**

### 3.3 Sprawdzenie nośności tunelu

- W MIEJSCU POŁĄCZENIA ZE ŚCIANĄ ŻELBETOWĄ

WYMIAROWANIE ŁUKU W PŁASZCZYŹNIE UKŁADU -  $M_{\max}, N_{\text{odp}}$

$$M_{0Ed} := 152.75 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad h := 0.4 \text{ m} \quad a_1 := 0.055 \text{ m}$$

$$N_{Ed} := 584.09 \text{ kN} \quad b := 1 \text{ m} \quad a_2 := 0.055 \text{ m}$$

$$l_{\text{col}} := 6.77 \text{ m}$$

$$l_o := 0.4 \cdot l_{\text{col}} = 2.708 \text{ m} \quad d := h - a_1$$

$$E_{\text{cm}} := 29000 \text{ MPa} \quad d = 0.345 \text{ m}$$

$$E_s := 205000 \text{ MPa}$$

Współczynnik powiększenia momentu

$$I_c := \frac{b \cdot (h^3)}{12} \quad I_c = \frac{1 \text{ m} \cdot (0.4 \text{ m})^3}{12} \quad I_c = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$N_B := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I_c}{l_o^2} = 2.082 \times 10^5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := \frac{M_{0Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_B}\right)} = 153.18 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Mimośród początkowy  $e_o$

$$e_e := \frac{|M_{Ed}|}{|N_{Ed}|} = 0.262 \text{ m}$$

$$e_a := \max\left(\frac{l_{\text{col}}}{600}, \frac{h}{30}, 0.01 \text{ m}\right) \quad e_a = \max\left(\frac{6.77 \text{ m}}{600}, \frac{0.4 \text{ m}}{30}, 0.01 \text{ m}\right)$$

$$e_a = 0.013 \text{ m} \quad e_o := e_e + e_a$$

$$e_o = 0.276 \text{ m}$$

Obliczenie mimośrodu  $e_{\text{tot}}$  uwzględniającego wpływ wyboczenia i obc. długotrwałego

$$A_c := b \cdot h \quad A_c = 1 \text{ m} \cdot 0.4 \text{ m} \quad A_c = 0.4 \text{ m}^2$$

$$I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$i := \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = 0.115 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{l_o}{i} = 23.452$$

$$I_s := 2 \cdot 0.005 \cdot b \cdot h \cdot (0.5 \cdot h - a_1)^2 = 8.41 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$c := \frac{e_o}{h} = 0.689$$

$$k_{lt} := 1 + 0.5 \cdot 0.7 \cdot 2 \quad k_{lt} = 1.7$$

$$N_{crit} := \frac{9}{l_o^2} \left[ \frac{E_{cm} \cdot I_c}{2 \cdot k_{lt}} \cdot \left( \frac{0.11}{0.1 + c} + 0.1 \right) + E_s \cdot I_s \right] = 3.453 \times 10^7 \text{ N}$$

$$N_{crit} = 3.453 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$\eta := \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{crit}}} = 1.017$$

$$\text{Mimosóród} \quad e_{tot}$$

$$e_{tot} := e_o \cdot \eta = 0.28 \text{ m}$$

## WYMIAROWANIE ZBROJENIA

Zakładamy duży mimośród:

$$\begin{aligned} f_{cd} &:= 11.43 \text{ MPa} & a_1 &= 0.055 \text{ m} & h &= 0.4 \text{ m} & \phi &:= 10 \text{ mm} \\ f_{yd} &:= 356.5 \text{ MPa} & a_2 &= 0.055 \text{ m} & b &= 1 \text{ m} & d &= 0.345 \text{ m} & \epsilon_{cu} &:= 0.0035 & \epsilon_s &:= \frac{f_{yd}}{E_s} \end{aligned}$$

$$\xi_{lim} := \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_s} = 0.668$$

$$\epsilon_s = \frac{356.5 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6}{205000 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6} = 1.739 \times 10^{-3}$$

$$x_{lim} := \xi_{lim} \cdot d = 0.23 \text{ m}$$

$$e_{s1} := e_{tot} + 0.5 \cdot h - a_1 = 0.425 \text{ m}$$

$$e_{s2} := e_{tot} - 0.5 \cdot h + a_2 = 0.135 \text{ m}$$

$$A_{s2} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - 0.8 f_{cd} \cdot b \cdot x_{lim} \cdot (d - 0.4 \cdot x_{lim})}{f_{yd} \cdot (d - a_2)} \quad A_{s2} = -2.751 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_2 := 5$

$$A_{s2rz} := n_2 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad A_{s2rz} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \quad A_{s2rz} = 3.927 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{2rz} := a_2$$

$$a_{2rz} = 0.055 \text{ m}$$

$$s_c := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - f_{yd} \cdot A_{s2rz} \cdot (d - a_{2rz})}{0.8 f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.191$$

$$\xi := 1.25 - \sqrt{1.563 - 2.5 \cdot s_c} = 0.208$$

$$\xi = 0.208 < \xi_{lim} = 0.668$$

$$x := \xi \cdot d = 0.072 \text{ m}$$

$$2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \text{ m} \quad x = 0.072 \text{ m} < x_{lim} = 0.23 \text{ m}$$

$$x = 0.072 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$



$$A_{s1} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s2}}{f_{yd} \cdot (d - a_{2rz})} = 7.646 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = 7.646 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_1 := 11$

$$A_{s1rz} := n_1 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad A_{s1rz} = 11 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \quad A_{s1rz} = 8.639 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{1rz} := a_1 = 0.055 \text{ m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$0.04 \cdot h \cdot b = 0.04 \cdot 0.4 \text{ m} \cdot \text{m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2 < 0.04 \cdot h \cdot b = 0.016 \text{ m}^2$$

Sprawdzenie warunku zbrojenia i SGN

$$\frac{A_{s2rz} + A_{s1rz}}{b \cdot h} = 3.142 \times 10^{-3}$$

$$x_1 := \frac{N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{s1rz} - f_{yd} \cdot A_{s2rz}}{0.8 \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$x_1 = 0.082 \text{ m} \quad 2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \text{ m} \quad x_1 = 0.082 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$M_{Rd2} := f_{yd} \cdot A_{s1rz} \cdot (d - a_2)$$

$$M_{Rd2} = 89.318 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad N_{Ed} \cdot e_{s2} = 79.045 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} \cdot e_{s2} = 79.045 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{Rd2} = 89.318 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

występujące zbrojenie spełnia warunki nośności:

$$n_1 = 11 \quad n_2 = 5 \quad \phi = 0.01 \text{ m}$$

- W MIEJSCU POŁĄCZENIA ZE ŚCIANĄ ŻELBETOWĄ

#### WYMIAROWANIE ŁUKU W PŁASZCZYŹNIE UKŁADU - $M_{\text{Edp}}, N_{\text{max}}$

$$M_{0\text{Ed}} := 98.44 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad h := 0.4 \text{ m} \quad a_1 := 0.055 \text{ m}$$

$$N_{\text{Ed}} := 607.66 \text{ kN} \quad b := 1 \text{ m} \quad a_2 := 0.055 \text{ m}$$

$$l_{\text{col}} := 6.77 \text{ m}$$

$$l_o := 0.4 \cdot l_{\text{col}} = 2.708 \text{ m} \quad d := h - a_1$$

$$E_{\text{cm}} := 29000 \text{ MPa} \quad d = 0.345 \text{ m}$$

$$E_s := 205000 \text{ MPa}$$

Współczynnik powiększenia momentu

$$I_c := \frac{b \cdot (h^3)}{12} \quad I_c = \frac{m \cdot (0.4 \text{ m})^3}{12} \quad I_c = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$N_B := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I_c}{l_o^2} = 2.082 \times 10^5 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed}} := \frac{M_{0\text{Ed}}}{\left(1 - \frac{N_{\text{Ed}}}{N_B}\right)} = 98.728 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{\text{Ed}} = 98.728 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Mimośród początkowy  $e_o$

$$e_e := \frac{|M_{\text{Ed}}|}{|N_{\text{Ed}}|} = 0.162 \text{ m}$$

$$e_a := \max\left(\frac{l_{\text{col}}}{600}, \frac{h}{30}, 0.01 \text{ m}\right) \quad e_a = \max\left(\frac{6.77 \text{ m}}{600}, \frac{0.4 \text{ m}}{30}, 0.01 \text{ m}\right)$$

$$e_a = 0.013 \text{ m} \quad e_o := e_e + e_a$$

$$e_o = 0.176 \text{ m}$$

Obliczenie mimośrodu  $e_{\text{tot}}$  uwzględniającego wpływ wybożenia i obc. długotrwałego

$$A_c := b \cdot h \quad A_c = m \cdot 0.4 \text{ m} \quad A_c = 0.4 \text{ m}^2$$

$$I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$i := \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = 0.115 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{l_o}{i} = 23.452$$

$$I_g := 2 \cdot 0.005 \cdot b \cdot h \cdot (0.5 \cdot h - a_1)^2 = 8.41 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$c := \frac{e_o}{h} = 0.44$$

$$k_{lt} := 1 + 0.5 \cdot 0.7 \cdot 2 \quad k_{lt} = 1.7$$

$$N_{crit} := \frac{9}{l_o^2} \left[ \frac{E_{cm} \cdot I_c}{2 \cdot k_{lt}} \cdot \left( \frac{0.11}{0.1 + c} + 0.1 \right) + E_s \cdot I_s \right]$$

$$N_{crit} = 3.812 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$\eta := \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{crit}}} = 1.016$$

Mimośród  $e_{tot}$

$$e_{tot} := e_o \cdot \eta = 0.179 \text{ m}$$

# WYMIAROWANIE ZBROJENIA

Zakładamy duży mimośród:

$$\begin{aligned} f_{cd} &:= 11.43 \text{ MPa} & a_1 &= 0.055 \text{ m} & h &= 0.4 \text{ m} & \phi &:= 10 \text{ mm} \\ f_{yd} &:= 356.5 \text{ MPa} & a_2 &= 0.055 \text{ m} & b &= 1 \text{ m} & d &= 0.345 \text{ m} & \epsilon_{cu} &:= 0.0035 & \epsilon_s &:= \frac{f_{yd}}{E_s} \end{aligned}$$

$$\xi_{lim} := \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_s} = 0.668 \qquad \epsilon_s = \frac{356.5 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6}{205000 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6} = 1.739 \times 10^{-3}$$

$$x_{lim} := \xi_{lim} \cdot d \quad x_{lim} = 0.66806331471135938 \cdot (0.4 \text{ m} - 0.055 \text{ m})$$

$$x_{lim} = 0.23 \text{ m}$$

$$e_{s1} := e_{tot} + 0.5 \cdot h - a_1 = 0.324 \text{ m}$$

$$e_{s2} := e_{tot} - 0.5 \cdot h + a_2 = 0.034 \text{ m}$$

$$A_{s2} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - 0.8 f_{cd} \cdot b \cdot x_{lim} (d - 0.4 \cdot x_{lim})}{f_{yd} (d - a_2)} \quad A_{s2} = -3.251 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{występujące zbrojenie} \quad n_2 := 5$$

$$A_{s2rz} := n_2 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad A_{s2rz} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \text{ mm})^2}{4} \quad A_{s2rz} = 3.927 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{2rz} := a_2$$

$$a_{2rz} = 0.055 \text{ m}$$

$$s_c := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - f_{yd} \cdot A_{s2rz} (d - a_{2rz})}{0.8 f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.143$$

$$\xi := 1.25 - \sqrt{1.563 - 2.5 \cdot s_c}$$

$$\xi = 0.153$$

$$\xi = 0.153 < \xi_{lim} = 0.668$$

$$x := \xi \cdot d = 0.053 \text{ m}$$

$$2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \text{ m} \quad x = 0.053 \text{ m} < x_{lim} = 0.23 \text{ m}$$

$$x = 0.053 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$A_{s1} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s2}}{f_{yd} \cdot (d - a_{2rz})}$$

$$A_{s1} = 1.978 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = 1.978 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_1 := 11$

$$A_{s1rz} := n_1 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad A_{s1rz} = 11 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \quad A_{s1rz} = 8.639 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{1rz} := a_1 = 0.055 \text{ m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$0.04 \cdot h \cdot b = 0.04 \cdot 0.4 \text{ m} \cdot \text{m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2 < 0.04 \cdot h \cdot b = 0.016 \text{ m}^2$$

Sprawdzenie warunku zbrojenia i SGN

$$\frac{(A_{s2rz} + A_{s1rz})}{b \cdot h} = 3.142 \times 10^{-3}$$

$$x_1 := \frac{N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{s1rz} - f_{yd} \cdot A_{s2rz}}{0.8 \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$x_1 = 0.085 \text{ m} \quad 2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \text{ m} \quad x_1 = 0.085 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$M_{Rd2} := f_{yd} \cdot A_{s1rz} \cdot (d - a_2)$$

$$M_{Rd2} = 89.318 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad N_{Ed} \cdot e_{s2} = 607.66 \cdot 1000 \cdot \text{N} \cdot 0.0336536140366644 \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} \cdot e_{s2} = 20.45 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{Rd2} = 89.318 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

występujące zbrojenie spełnia warunki nośności

$$n_1 = 11 \quad n_2 = 5 \quad \phi = 0.01 \text{ m}$$

## - ŚCIANY ŻELBETOWEJ

### WYMIAROWANIE ŚCIANY W PŁASZCZYŹNIE UKŁADU - $M_{\max}$ , $N_{\text{odp}}$

$$\begin{aligned} M_{0Ed} &:= 98.44 \text{ kN}\cdot\text{m} & h &:= 0.4 \text{ m} & a_1 &:= 0.055 \text{ m} \\ N_{Ed} &:= 592.72 \text{ kN} & b &:= 1 \text{ m} & a_2 &:= 0.055 \text{ m} \\ l_{\text{col}} &:= 1.97 \text{ m} \\ l_o &:= 0.7 \cdot l_{\text{col}} = 1.379 \text{ m} & d &:= h - a_1 \\ E_{\text{cm}} &:= 29000 \text{ MPa} & d &:= 0.345 \text{ m} \\ E_s &:= 205000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Współczynnik powiększenia momentu

$$I_c := \frac{b \cdot (h^3)}{12} \quad I_c = \frac{1 \cdot (0.4 \text{ m})^3}{12} \quad I_c = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$N_B := \frac{\pi^2 \cdot E_{\text{cm}} \cdot I_c}{l_o^2} = 8.027 \times 10^5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} := \frac{M_{0Ed}}{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_B}\right)} = 98.513 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Mimośród początkowy  $e_o$

$$e_e := \frac{|M_{Ed}|}{|N_{Ed}|} = 0.166 \text{ m}$$

$$e_a := \max\left(\frac{l_{\text{col}}}{600}, \frac{h}{30}, 0.01 \text{ m}\right) \quad e_a = \max\left(\frac{1.97 \text{ m}}{600}, \frac{0.4 \text{ m}}{30}, 0.01 \text{ m}\right)$$

$$e_a = 0.013 \text{ m} \quad e_o := e_e + e_a$$

$$e_o = 0.18 \text{ m}$$

Obliczenie mimośrodu  $e_{\text{tot}}$  uwzględniającego wpływ wyboczenia i obc. długotrwałego

$$A_c := b \cdot h \quad A_c = 1 \cdot 0.4 \text{ m}^2 \quad A_c = 0.4 \text{ m}^2$$

$$I_c := \frac{b \cdot h^3}{12} = 5.333 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$i := \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} = 0.115 \text{ m}$$

$$\lambda := \frac{l_o}{i} = 11.942$$

$$I_y := 2 \cdot 0.005 \cdot b \cdot h \cdot (0.5 \cdot h - a_1)^2 = 8.41 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$c := \frac{e_o}{h} = 0.449$$

$$k_{lt} := 1 + 0.5 \cdot 0.7 \cdot 2 \quad k_{lt} = 1.7$$

$$N_{crit} := \frac{9}{l_o^2} \left[ \frac{E_{cm} \cdot I_c}{2 \cdot k_{lt}} \cdot \left( \frac{0.11}{0.1 + c} + 0.1 \right) + E_s \cdot I_y \right] = 1.463 \times 10^8 \text{ N}$$

$$N_{crit} = 1.463 \times 10^5 \cdot \text{kN}$$

$$\eta := \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{crit}}} = 1.004$$

$$\text{Mimośród} \quad e_{tot}$$

$$e_{tot} := e_o \cdot \eta = 0.18 \text{ m}$$

# WYMIAROWANIE ZBROJENIA

Zakładamy duży mimośród:

$$\begin{aligned} f_{cd} &:= 11.43 \text{ MPa} & a_1 &= 0.055 \text{ m} & h &= 0.4 \text{ m} & \phi &:= 10 \text{ mm} \\ f_{yd} &:= 356.5 \text{ MPa} & a_2 &= 0.055 \text{ m} & b &= 1 \text{ m} & d &= 0.345 \text{ m} & \epsilon_{cu} &:= 0.0035 & \epsilon_s &:= \frac{f_{yd}}{E_s} \end{aligned}$$

$$\xi_{lim} := \frac{\epsilon_{cu}}{\epsilon_{cu} + \epsilon_s} = 0.668 \qquad \epsilon_s = \frac{356.5 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6}{205000 \cdot \text{Pa} \cdot 10^6} = 1.739 \times 10^{-3}$$

$$x_{lim} := \xi_{lim} \cdot d = 0.23 \text{ m}$$

$$e_{s1} := e_{tot} + 0.5 \cdot h - a_1 = 0.325 \text{ m}$$

$$e_{s2} := e_{tot} - 0.5 \cdot h + a_2 = 0.035 \text{ m}$$

$$A_{s2} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - 0.8 f_{cd} \cdot b \cdot x_{lim} \cdot (d - 0.4 x_{lim})}{f_{yd} \cdot (d - a_2)} \qquad A_{s2} = -3.289 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_2 := 5$

$$A_{s2rz} := n_2 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \qquad A_{s2rz} = 5 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \qquad A_{s2rz} = 3.927 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{2rz} := a_2$$

$$a_{2rz} = 0.055 \text{ m}$$

$$s_c := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s1} - f_{yd} \cdot A_{s2rz} \cdot (d - a_{2rz})}{0.8 f_{cd} \cdot b \cdot d^2} = 0.14$$

$$\xi := 1.25 - \sqrt{1.563 - 2.5 \cdot s_c} = 0.148$$

$$\xi = 0.148 < \xi_{lim} = 0.668$$

$$x := \xi \cdot d = 0.051 \text{ m}$$

$$2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \text{ m} \qquad x = 0.051 \text{ m} < x_{lim} = 0.23 \text{ m}$$

$$x = 0.051 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$



$$A_{s1} := \frac{N_{Ed} \cdot e_{s2}}{f_{yd} \cdot (d - a_{2rz})} = 2.022 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = 2.022 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

występujące zbrojenie  $n_1 := 11$

$$A_{s1rz} := n_1 \cdot \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \quad A_{s1rz} = 11 \cdot \frac{\pi \cdot (10 \cdot \text{mm})^2}{4} \quad A_{s1rz} = 8.639 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$a_{1rz} := a_1 = 0.055 \text{ m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$0.04 \cdot h \cdot b = 0.04 \cdot 0.4 \text{ m} \cdot \text{m}$$

$$A_{s2rz} + A_{s1rz} = 1.257 \times 10^{-3} \text{ m}^2 < 0.04 \cdot h \cdot b = 0.016 \text{ m}^2$$

Sprawdzenie warunku zbrojenia i SGN

$$\frac{A_{s2rz} + A_{s1rz}}{b \cdot h} = 3.142 \times 10^{-3}$$

$$x_1 := \frac{N_{Ed} + f_{yd} \cdot A_{s1rz} - f_{yd} \cdot A_{s2rz}}{0.8 \cdot f_{cd} \cdot b}$$

$$x_1 = 0.083 \text{ m} \quad 2.5 \cdot a_{2rz} = 2.5 \cdot 0.055 \cdot \text{m} \quad x_1 = 0.083 \text{ m} < 2.5 \cdot a_{2rz} = 0.138 \text{ m}$$

$$M_{Rd2} := f_{yd} \cdot A_{s1rz} \cdot (d - a_2)$$

$$M_{Rd2} = 89.318 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad N_{Ed} \cdot e_{s2} = 20.904 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{Ed} \cdot e_{s2} = 20.904 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} < M_{Rd2} = 89.318 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

występujące zbrojenie spełnia warunki nośności:

$$n_1 = 11 \quad n_2 = 5 \quad \phi = 0.01 \text{ m}$$

- OGÓLNE SPRAWDZENIE WARUNKU NA ŚCINANIE DLA  $V_{edmax}$

	Zbrojenie ścinanie					
fck [MPa]	16	fyk [kPa]	410000	yc	1,4	
fcd [MPa]	11,42857143	fyd [kPa]	356521,7	k [m]	1,778499	
b [m]	1	b [mm]	1000			
h [m]	0,4			ro l	0,002617	<
d [m]	0,33	d [mm]	330			
a1 [m]	0,07			Ned [MN]	0,59272	
Ved [kN]	157,5					
v	0,5616					
Asl [m2]	0,0008635					
sigma cp [MPa]	1,4818	<	2,285714			
Vrdc [N]	194389,0088	Vrdc [kN]	194,389			
v1	0,6	dla	(fck do 60)			
alfa cw	1					
z [m]	0,297					
ctg teta	1					
tg teta	1					
		Ved<Vrdc		Warunek spełniony		

Zbrojenie na ścinanie nie jest wymagane

#### 4. Analiza wyników

Po przeanalizowaniu powyższych wyników można dokonać stwierdzenia, że istniejąca konstrukcja żelbetowa tunelu spełnia warunki w stanie granicznym nośności. Taka sytuacja będzie miała miejsce również w sytuacji, kiedy rysa w środkowym przekroju sklepienia obudowy poszerzy się na tyle, że utworzy się przegub. Wówczas także będą spełnione warunki w stanie granicznym nośności, choć ze zwiększonym poziomem wyężenia konstrukcji. Mimo to koniecznym jest zadbanie o należyte wypełnienie rysy przy użyciu metody zaproponowanej w ekspertyzie nie tyle ze względów konstrukcyjnych, co użytkowości, aby zamknąć rysę i zabezpieczyć w ten sposób zbrojenie elementu żelbetowego przed możliwą korozją w przyszłości. Należy również zwrócić uwagę na fakt, iż w rzeczywistości wyężenie konstrukcji będzie znacznie mniejsze, ponieważ w obliczeniach statycznych pominięto fakt istnienia obudowy górniczej ŁP8/V25, rozpór w kierunku podłużnym, a także stalowych kotew mocujących ścianę do istniejących skał, które z pewnością poprawiają prace konstrukcji oraz jej stateczność. Przyczyna powstania rysy podłużnej powstałej w środkowym przekroju sklepienia jest nieznana, choć konstrukcja obudowy górniczej oraz przebieg rysy może sugerować, iż powstała ona nie na skutek przeciążenia konstrukcji, a jedynie w skutek występowania rozpór w kierunku podłużnym, również na wysokości przekroju środkowego sklepienia. Generuje to linowe obciążenie, które jest przyłożone na stosunkowo niedużej powierzchni powodując rysę.

KONIEC OBLICZEŃ

OPRACOWAŁ: