

Horizontalny przewiert sterowany rur PE

INWESTYCJA: Budowa sieci wodociągowej w miejscowości Ostrona

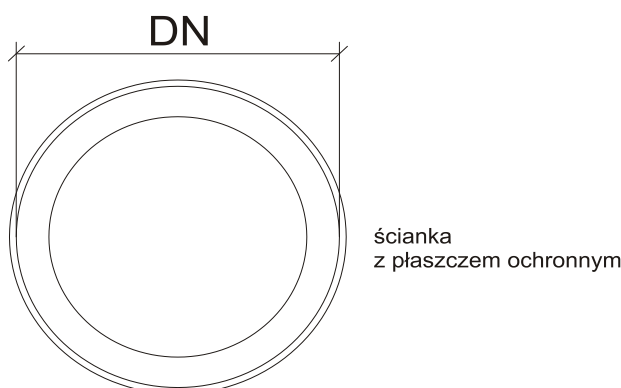
INWESTOR: Zakład Wodociągów i Kanalizacji
ul. Polna 34
24-514 Ostrona

PROJEKT: Przejście rurociągiem PE DN200 pod rzeką Krotawką

PROJEKTANT: Biuro Projektów "PRO-TRANS"
ul. Wielkowiejska 142
24-978 Wielopole

DATA: Wielopole, 2017-06-28

Obliczenie dopuszczalnej rozciągającej siły osiowej



DANE WYJĄCIOWE

Rura PE100 RC SDR 11 DN450 ścianka z płaszczem ochronnym

Rodzaj płaszcza ochronnego: Polipropylen (PP)

Grubość płaszcza ochronnego [mm]: 2,5

Wytrzymałość na rozciąganie PE [MPa]: 24,00

Gęstość PE [kg/m³]: 960,00

Gęstość PP [kg/m³]: 910,00

Współczynnik bezpieczeństwa dla rozciągania [-]: 0,40

Czas rozciągania: do 12 godzin

Współczynnik czasu zmniejszający wytrzymałość na rozciąganie [-]: 0,95

Temperatura rury [st. C]: do 23

Współczynnik temperatury zmniejszający wytrzymałość na rozciąganie [-]: 1,00

WYNIKI

Obliczeniowy ciężar rury [kN/m]: 0,52642

Bezpieczne naprężenie rozciągające dla PE [MPa]: 9,12

Dopuszczalna rozciągająca siła osiowa dla rury [kN]: 479,25

METODYKA OBLICZEŃ

Bezpieczne naprężenie rozciągające:

$$N_r = f_r \cdot f_t \cdot f_c \cdot T_y$$

gdzie:

N_r - bezpieczne naprężenie rozciągające dla PE [MPa]

f_r - współczynnik bezpieczeństwa dla rozciągania [-]

f_t - współczynnik temperatury zmniejszający wytrzymałość na rozciąganie [-]

f_c - współczynnik czasu zmniejszający wytrzymałość na rozciąganie [-]

T_y - wytrzymałość na rozciąganie PE [MPa]

Dopuszczalna rozciągająca siła osiowa:

$$DSO = 1000 \cdot N_r \cdot \pi \cdot D_n^2 \cdot \left(\frac{1}{SDR} - \frac{1}{SDR^2} \right)$$

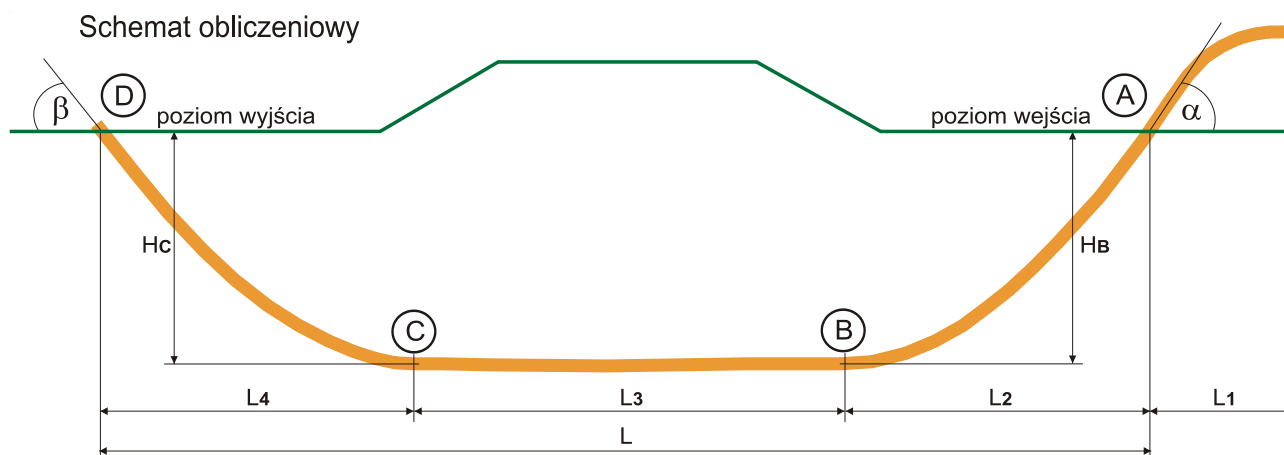
gdzie:

DSO - dopuszczalna rozciągająca siła osiowa dla rury [kN]

D_n - średnica nominalna rury [m]

SDR - stosunek średnicy zewnętrznej rury do jej grubości ścianki [-]

Sprawdzenie kryterium siły instalacyjnej



DANE WYJĄCIOWE

Rura PE100 RC SDR 11 DN450 - ciarka z płaszczem ochronnym

Rodzaj płaszczka dla typu 3: Polipropylen (PP)

Grubość płaszczka dla typu 3 [mm]: 2,5

Moduł E Younga PE 12h [MPa]: 434,00

Dopuszczalna rozciągająca siła osiowa dla rury [kN]: 479,25

Kąt wejścia rury [°] Alfa = 13,5 Kąt wyjścia rury [°] Beta = 12,0

Długość przewiertu od punktu wejścia rury A do punktu wyjścia rury D [m] L = 245,00

Długość dodatkowa rury [m] L1 = 30,00

Zagłębienie osi rury w punkcie B [m] HB = 4,6

Zagłębienie osi rury w punkcie C [m] HC = 6,50

średnica otworu wiertniczego [mm]: 682,0

Gęstość wody [kg/m³]: 1000,00 Gęstość płuczki [kg/m³]: 1500,00

Balastowanie: tak Ciecz balastująca: woda

Ciśnienie hydrokinetyczne [kPa]: 70,00

Współczynnik tarcia przy przemieszczaniu rury po powierzchni terenu [-]: 0,50

Współczynnik tarcia przy przemieszczaniu rury w otworze wiertniczym [-]: 0,60

WYNIKI

Dopuszczalny minimalny promień gięcia rury [m]: 18,00

Promień gięcia rury na wejściu [m]: 165,70

Promień gięcia rury na wyjściu [m]: 296,40

Maksymalne naprężenie zginające [kPa]: 589,26

Dopuszczalna siła instalacyjna [kN]: 448,29

Długość przewiertu od punktu A do punktu B [m] L2 = 38,70

Długość przewiertu od punktu B do punktu C [m] L3 = 144,70

Długość przewiertu od punktu C do punktu D [m] L4 = 61,60

Siła instalacyjna w punkcie A [kN]: 81,43

Siła instalacyjna w punkcie B [kN]: 106,89

Siła instalacyjna w punkcie C [kN]: 128,78

Siła instalacyjna w punkcie D [kN]: 150,55

Siła tarcia od ciśnienia hydrokinetycznego [kN]: 7,09

Maksymalna siła instalacyjna [kN]: 157,64

WNIOSKI

Maksymalna siła instalacyjna mniejsza od dopuszczalnej.

Spełniono kryterium siły instalacyjnej.

METODYKA OBLICZE

Trajektoria przewiertu:

$$R_{we} = 2 \cdot \frac{H_B}{\alpha^2} \quad R_{wy} = 2 \cdot \frac{H_C}{\beta^2}$$

$$L_2 = R_{we} \cdot \sin \alpha \quad L_4 = R_{wy} \cdot \sin \beta$$

$$L_3 = L - L_2 - L_4$$

gdzie:

R_{we} - promień gięcia rury na wejściu [m]

R_{wy} - promień gięcia rury na wyjściu [m]

L - długość przewiertu od punktu wejścia rury A do punktu wyjścia rury D [m]

L_2 - długość przewiertu od punktu A do punktu B [m]

L_3 - długość przewiertu od punktu B do punktu C [m]

L_4 - długość przewiertu od punktu C do punktu D [m]

H_B - zagłębienie osi rury w punkcie B [m]

H_C - zagłębienie osi rury w punkcie C [m]

α - kąt wejścia rury [radian]

β - kąt wyjścia rury [radian]

Dopuszczalna siła instalacyjna:

$$N_z = E_{12h} \cdot \frac{D_n}{2 \cdot R_m}$$

$$DSI = 1000 \cdot (N_r - N_z) \cdot \pi \cdot D_n^2 \cdot \left(\frac{1}{SDR} - \frac{1}{SDR^2} \right)$$

gdzie:

N_z - maksymalne naprężenie zginające w rurze [MPa]

E_{12h} - moduł E Younga PE 12h [MPa]

D_n - średnica nominalna rury [m]

R_m - najmniejszy promień gięcia rury [m]

DSI - dopuszczalna siła instalacyjna [kN]

N_r - bezpieczne naprężenie rozciągające dla PE [MPa]

SDR - stosunek średnicy zewnętrznej rury do jej grubości ścianki [-]

Występująca siła instalacyjna:

$$F_A = e^{v_a \cdot \alpha} \cdot v_a \cdot w_a \cdot (L_1 + L_2 + L_3 + L_4)$$

$$F_B = e^{v_b \cdot \alpha} \cdot (F_A + v_b \cdot w_b \cdot L_2 + w_b \cdot H_B - v_a \cdot w_a \cdot L_2 \cdot e^{v_a \cdot \alpha})$$

$$F_C = F_B + v_b \cdot w_b \cdot L_3 - e^{v_b \cdot \alpha} \cdot v_a \cdot w_a \cdot L_3 \cdot e^{v_a \cdot \alpha}$$

$$F_D = e^{v_b \cdot \beta} \cdot (F_C + v_b \cdot w_b \cdot L_4 - w_b \cdot H_C - e^{v_b \cdot \alpha} \cdot v_a \cdot w_a \cdot L_4 \cdot e^{v_a \cdot \alpha})$$

$$F_H = P_H \cdot \frac{\pi}{8} \cdot (D_{ow}^2 - D_n^2)$$

$$MSI = F_{maxABCD} + F_H$$

gdzie:

F_A F_B F_C F_D - siła instalacyjna odpowiednio w punkcie A, B, C, D [kN]

L_1 - długość dodatkowa rury [m]

F_H - siła tarcia hydrokinetycznego [kN]

P_H - ciśnienie hydrokinetyczne [kPa]

$F_{maxABCD}$ - największa siła instalacyjna występująca w punktach A, B, C, D [kPa]

MSI - maksymalna siła instalacyjna [kN]

v_a - współczynnik tarcia przy przeciąganiu rury po powierzchni terenu [-]

v_b - współczynnik tarcia przy przeciąganiu rury w otworze wiertniczym [-]

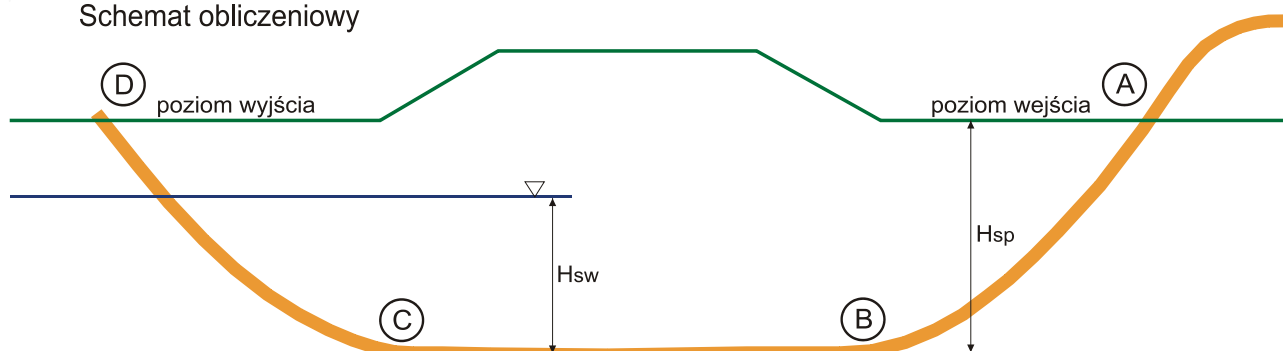
w_a - ciężar jednostkowy rury [kN/m]

w_b - jednostkowa siła wyporu działająca na rurę [kN/m]

D_{ow} - średnica otworu wiertniczego [m]

Sprawdzenie kryterium wyboczenia instalacyjnego

Schemat obliczeniowy



DANE WYJ CIOWE

Rura PE100 RC SDR 11 DN450 cianka z płaszczem ochronnym
 Rodzaj płaszczu dla typu 3: Polipropylen (PP)
 Grubość płaszczu dla typu 3 [mm]: 2,5
 Moduł E Younga PE 12h [MPa]: 434,00
 Gęstość wody [kg/m³]: 1000,00
 Gęstość płuczki [kg/m³]: 1500,00
 Ciśnienie hydrokinetyczne [kPa]: 70,00
 Wysokość słupa wody gruntowej [m] H_{sw} = 3,50
 Wysokość słupa płuczki [m] H_{sp} = 6,50
 Balastowanie: tak
 Ciecz balastująca: woda
 Minimalny współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]: 2,00

WYNIKI

Ciśnienie statyczne wody gruntowej [kPa]: 34,32
 Ciśnienie statyczne płuczki [kPa]: 95,61
 Ciśnienie statyczne cieczy balastującej [kPa]: 63,74
 Maksymalne ciśnienie różnicowe [kPa]: 101,87
 Ugięcie rury od ciśnienia różnicowego [%]: 3,52
 Współczynnik ugięcia zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-]: 0,894
 Współczynnik rozciągania zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-]: 0,929
 Krytyczne ciśnienie wyboczenia rury [kPa]: 904,49
 Obliczony współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]: 8,88

WNIOSKI

Współczynnik bezpieczeństwa większy od minimalnego.
 Spełniono kryterium wyboczenia instalacyjnego.

METODYKA OBLICZEŃ

Ciśnienie różnicowe:

$$P_r = P_{ms} + P_H - 0,00981 \cdot H_{sp} \cdot \rho_{cb}$$

$$P_{sw} = 0,00981 \cdot H_{sw} \cdot \rho_w$$

$$P_{sp} = 0,00981 \cdot H_{sp} \cdot \rho_p$$

gdzie:

P_r - maksymalne ciśnienie różnicowe [kPa]

P_{ms} - maksymalne ciśnienie statyczne [kPa]

P_H - ciśnienie hydrokinetyczne [kPa]

P_{sw} - ciśnienie statyczne wody gruntowej [-]

P_{sp} - ciśnienie statyczne płuczki [-]

H_{sw} - wysokość słupa wody gruntowej [m]

H_{sp} - wysokość słupa płuczki [m]

ρ_{cb} - gęstość cieczy balastującej [kg/m³]

ρ_w - gęstość wody [kg/m³]

ρ_p - gęstość płuczki [kg/m³]

Krytyczne ciśnienie wyboczenia:

$$S_E = \frac{1000 \cdot E_{12h}}{12 \cdot (SDR - 1)^3}$$

$$Def = \frac{1,25 \cdot P_r}{S_E}$$

$$f_u = 1 - \frac{3 \cdot Def}{100}$$

$$f_{sr} = \frac{0,75 \cdot MSI}{2 \cdot DSI}$$

$$f_R = \sqrt{5,57 - (f_{sr} + 1,09)^2} - 1,09$$

$$P_{KWI} = 24 \cdot S_E \cdot f_R \cdot \frac{f_u}{1 - Poi^2}$$

gdzie:

S_E - sztywność obwodowa rury [kPa]

E_{12h} - moduł E Younga PE 12h [MPa]

SDR - stosunek średnicy zewnętrznej rury do jej grubości ścianki [-]

Def - ugięcie rury od ciśnienia różnicowego [-]

f_u - współczynnik ugięcia zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-]

f_{sr} - współczynnik stresu rozciągania [-]

f_R - współczynnik rozciągania zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-]

MSI - maksymalna siła instalacyjna [kN]

DSI - dopuszczalna siła instalacyjna [kN]

P_{KWI} - krytyczne ciśnienie wyboczenia instalacyjnego rury [kPa]

Poi - liczba Poissona dla PE równa 0,45 [-]

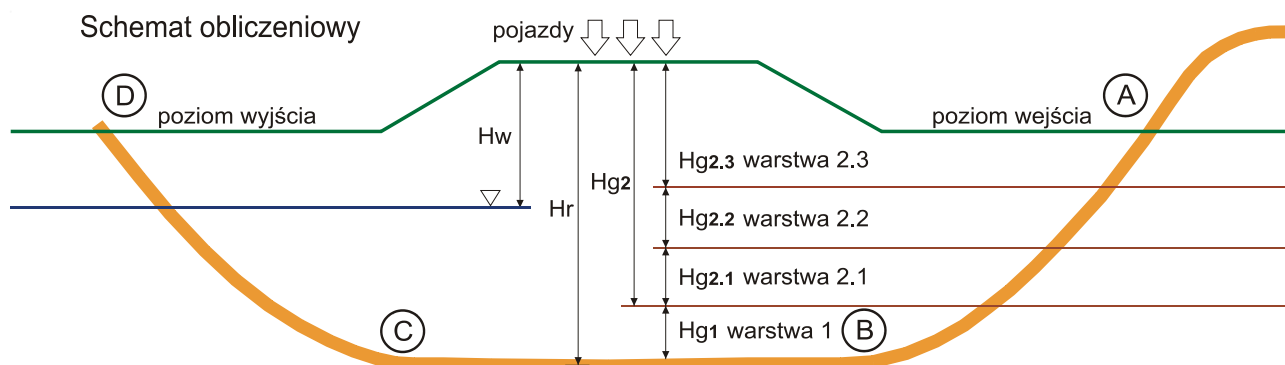
Współczynnik bezpieczeństwa:

$$W_B = \frac{P_{KWI}}{P_r}$$

gdzie:

W_B - współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]

Sprawdzenie kryterium wyboczenia eksploatacyjnego



DANE WYJ CIOWE

Rura PE100 RC SDR 11 DN450 cianka z płaszczem ochronnym

Rodzaj płaszcza dla typu 3: Polipropylen (PP)

Grubość płaszcza dla typu 3 [mm]: 2,5

Moduł E Younga PE krótkoterminowy [MPa]: 1100,00

Moduł E Younga PE długoterminowy [MPa]: 200,00

Gęstość wody [kg/m³]: 1000,00

Maksymalne zagięcie osi rury [m] $H_r = 8,00$

Zagięcie zwierciadła wody gruntowej [m] $H_w = 4,50$

Wysokość słupa wody w przeszkodzie wodnej [m] $H_z =$ nie dotyczy

Warstwy gruntu nad rurą

warstwa 1 wysokość [m] $H_{g1} = 1,50$ rodzaj gruntu: gliny

warstwa 2.1 wysokość [m] $H_{g2.1} = 2,20$ rodzaj gruntu: gliny piaszczyste

warstwa 2.2 wysokość [m] $H_{g2.2} = 1,40$ rodzaj gruntu: gliny

warstwa 2.3 wysokość [m] $H_{g2.3} = 2,67$ rodzaj gruntu: piaski drobne i pylaste

Redukcja obciążenia gruntem: tak

Rodzaj obciążenia od pojazdów: kolej

Rodzaj pracy rurociągu: ciśnieńowy

Podciśnienie eksploatacyjne [bar]: 0,80

Minimalny współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]: 2,00

WYNIKI

Obciążenie od ciężaru gruntu [kPa]: 54,27 przy współczynniku redukcji obciążenia [-]: 0,46

Obciążenie od słupa wody [kPa]: 34,32

Obciążenie od pojazdów [kPa]: 12,99

Obciążenie od podciśnienia eksploatacyjnego [kPa]: 80,00

Obciążenie sumaryczne [kPa]: 181,58

Ugięcie rury [%]: 2,48

Współczynnik ugięcia zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-]: 0,93

Krytyczne obciążenie wyboczenia rury [kPa]: 2553,70

Obliczony współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]: 14,06

WNIOSKI

Współczynnik bezpieczeństwa większy od minimalnego.

Spełniono kryterium wyboczenia eksploatacyjnego.

METODYKA OBLICZE

Obciążenia:

$$Q_g = f_{Qg} \cdot (H_{gs} \cdot \gamma_{gs} + H_{gm} \cdot \gamma_{gm})$$

$$K = \tan^2 \left(45 - \frac{\theta}{2} \right)$$

$$f_{Qg} = \frac{1 - e^{-2 \cdot K \cdot (H_g / D_{ow}) \cdot \tan(\theta/2)}}{2 \cdot K \cdot \frac{H_g}{D_{ow}} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$

$$Q_w = 0,00981 \cdot H_{sw} \cdot \rho_w$$

$$Q_{sum} = Q_g + Q_w + Q_{poj} + Q_{pc}$$

gdzie:

Q_g - obciążenie od warstwy gruntu [kPa]

f_{Qg} - współczynnik redukujący obciążenie od gruntu [-]

H_{gs} - wysokość suchej warstwy gruntu [m]

H_{gm} - wysokość nawodnionej warstwy gruntu [m]

γ_{gs} - ciężar objętościowy suchej warstwy gruntu [kN/m³]

γ_{gm} - ciężar objętościowy nawodnionej warstwy gruntu (uwzględnia siłę wyporu) [kN/m³]

K - współczynnik naporu gruntu [-]

θ - kąt tarcia wewnętrznego gruntu [°]

H_g - wysokość napierającego gruntu [m]

D_{ow} - średnica otworu wiertniczego [m]

Q_w - obciążenie od słupa wody [kPa]

H_{sw} - wysokość słupa wody [m]

ρ_w - gęstość wody [kg/m³]

Q_{sum} - obciążenie sumaryczne [kPa]

Q_{poj} - obciążenie od pojazdów [kPa]

Q_{pc} - obciążenie od podciśnienia eksploatacyjnego [kPa]

Krytyczne obciążenie wyboczenia:

$$S_E = \frac{1000 \cdot E}{12 \cdot (SDR - 1)^3}$$

$$Def = \frac{1,25 \cdot Q_{sum}}{S_E}$$

$$f_u = 1 - \frac{3 \cdot Def}{100}$$

$$Q_{KWE} = 24 \cdot S_E \cdot \frac{f_u}{1 - Poi^2}$$

gdzie:

S_E - sztywność obwodowa rury [kPa]

E - moduł Younga PE krótkoterminowy lub długoterminowy [MPa]

SDR - stosunek średnicy zewnętrznej rury do jej grubości ścianki [-]

Def - ugięcie rury od obciążenia sumarycznego [-]

f_u - współczynnik ugięcia zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-]

Q_{KWE} - krytyczne obciążenie wyboczenia eksploatacyjnego rury [kPa]

Poi - liczba Poissona dla PE równa 0,45 [-]

Współczynnik bezpieczeństwa:

$$W_B = \frac{Q_{KWE}}{Q_{sum}}$$

gdzie:

W_B - współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]