

Horyzontalny przewiert sterowany rurą stalową

INWESTYCJA:

Budowa sieci wodociągowej w miejscowości Wojtany Górne

INWESTOR:

Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji
ul. Polna 34, 23-890 Wojtany Górne

PROJEKT:

Przeście pod nasypem kolejowym rurą stalową DZ173,1
metodą Horyzontalnego Przewiertu Sterowanego

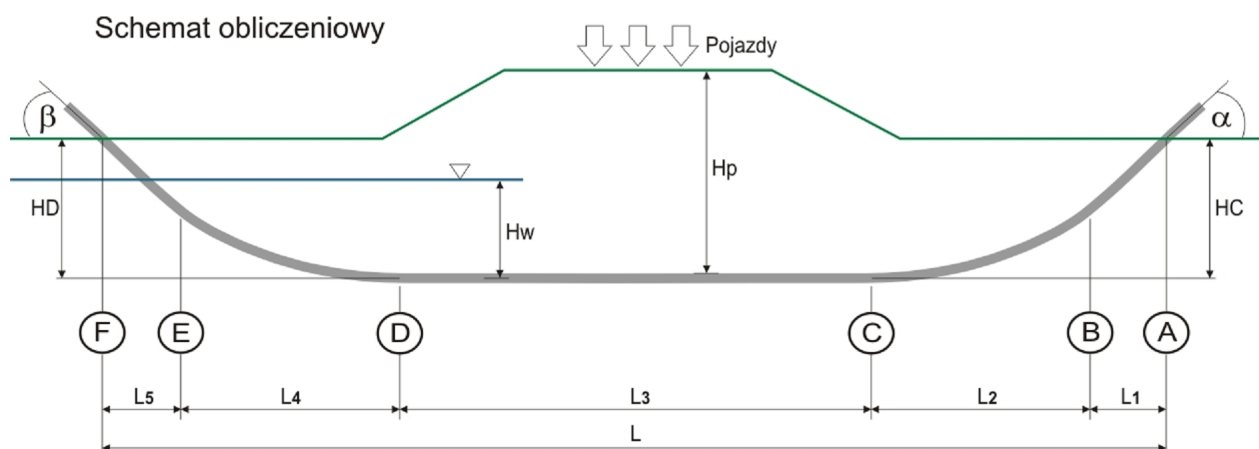
PROJEKTANT:

Biuro Projektów Sieci Sanitarnych "PENERT"
ul. Słowackiego 23/4, Leszczany Wielkie

DATA:

Leszczany Wielkie, 2019-05-27

Dane wyjściowe projektu



DANE WYJŚCIOWE - Przewiertowa rura stalowa

Średnica zewnętrzna [mm]: 173,1

Grubość ścianki [mm]: 5,6

Grubość zewnętrznej powłoki antykorozyjnej [mm]: 1,7

Granica plastyczności stali [MPa]: 290,0

Moduł sprężystości stali [MPa]: 206000,0

Współczynnik Poissona dla stali [-]: 0,300

Ciężar objętościowy stali [kN/m³]: 78,00

Współczynnik liniowej rozszerzalności termicznej stali [m/m^{°C}]: 0,000012

DANE WYJŚCIOWE - Trajektoria

Kąt wejścia rury [°] Alfa = 13,0

Kąt wyjścia rury [°] Beta = 11,0

Długość przewiertu od punktu wejścia rury A do punktu wyjścia rury F [m] L = 200,0

Długość odcinka prostoliniowego AB [m] L1 = 20,0

Długość odcinka prostoliniowego EF [m] L5 = 25,0

Zagłębienie osi rury w punkcie C [m] HC = 12,0

Zagłębienie osi rury w punkcie D [m] HD = 10,0

Przyjęto minimalny promień gięcia rury wynikający z praktyki

DANE WYJŚCIOWE - Instalacja

Ciężar objętościowy wody [kN/m³]: 9,81

Ciężar objętościowy płuczki [kN/m³]: 14,00

Balastowanie: nie

Ciecz balastująca: nie dotyczy

Jednostkowy opór płuczki [kPa]: 0,345

Ciśnienie hydrokinetyczne [kPa]: 70,00

Współczynnik tarcia rura-grunt [-]: 0,300

Współczynnik obciążenia [-]: 0,90

Współczynnik bezpieczeństwa [-]: 1,20

DANE WYJŚCIOWE - Eksploatacja

Temperatura montażu [°C]: 20

Temperatura eksploatacji [°C]: 7

Maksymalne przykrycie gruntem [m] $H_p = 11,9$
 Ciężar objętościowy gruntu [kN/m^3]: 19,00
 Wysokość słupa wody ciekłej [m] $H_{ck} = \text{nie dotyczy}$
 Wysokość słupa wody gruntowej [m] $H_w = 1,9$
 Obciążenia od pojazdów [-]: kolej
 Podciśnienie w rurze [bar]: 0,00
 Maksymalne ciśnienie robocze w rurze [bar]: 5,00

Wyniki obliczeń

WYNIKI - Trajektoria

Minimalny promień gięcia rury [m]: 207,7
 Promień gięcia rury na odcinku BC [m]: 286,8
 Promień gięcia rury na odcinku DE [m]: 278,9
 Maksymalne naprężenie zginające [kPa]: 63,92
 Dopuszczalne naprężenie zginające rury [MPa]: 217,50
 Długość odcinka krzywoliniowego BC [m] $L_2 = 64,5$
 Długość odcinka prostoliniowego CD [m] $L_3 = 37,3$
 Długość odcinka krzywoliniowego DE [m] $L_4 = 53,2$

WYNIKI - Siła instalacyjna

Siła wyporu działająca na rurę [kN/m]: 0,3424
 Ciężar rury z balastem [kN/m]: 0,2297
 Siła instalacyjna w punkcie B [kN]: 5,04
 Siła instalacyjna w punkcie C [kN]: 22,21
 Siła instalacyjna w punkcie D [kN]: 30,45
 Siła instalacyjna w punkcie E [kN]: 45,06
 Siła instalacyjna w punkcie F [kN]: 50,14
 Maksymalna siła instalacyjna [kN]: 50,14
 Dopuszczalna siła instalacyjna [kN]: 452,34

WYNIKI - Naprężenia instalacyjne

Punkt:	B	C	D	E
Naprężenie rozciągające [MPa]:	1,71	7,54	10,34	15,30
Naprężenie zginające [MPa]:	62,16	62,16	63,92	63,92
Ciśnienie różnicowe [kPa]:	134,64	238,00	238,00	166,03
Naprężenie obwodowe [MPa]:	2,08	3,68	3,68	2,57
Kryterium naprężeń łączonych [-]:				
rozciągające + zginające	0,2924	0,3147	0,3335	0,3525
rozciągające + zginające + obwodowe	0,0768	0,0926	0,1048	0,1181

Dopuszczalne naprężenie rozciągające [MPa]: 261,00
 Dopuszczalne naprężenie zginające [MPa]: 217,50
 Dopuszczalne naprężenie obwodowe [MPa]: 109,77
 Dopuszczalna maksymalna wartość dla naprężeń łączonych:
 rozciągające + zginające [-]: 1,0000
 rozciągające + zginające + obwodowe [-]: 1,0000

WYNIKI - Naprężenia eksploatacyjne

Naprężenie termiczne [MPa]: 32,14
 Suma obciążeń działających na rurę [kPa]: 229,5
 Naprężenie obwodowe od obciążeń [MPa]: 3,55
 Krytyczne naprężenie obwodowe wybożenia [MPa]: 109,77
 Naprężenie ścinające od obciążenia [MPa]: 18,20
 Naprężenie ścinające od ciśnienia wewnętrznego [MPa]: 18,60
 Dopuszczalne naprężenie ścinające [MPa]: 130,50

WNIOSKI

Maksymalna siła instalacyjna równa lub mniejsza od dopuszczalnej: TAK

Instalacyjne naprężenia rozciągające równe lub mniejsze od dopuszczalnego: TAK

Instalacyjne naprężenia zginające równe lub mniejsze od dopuszczalnego: TAK

Instalacyjne naprężenia obwodowe równe lub mniejsze od dopuszczalnego: TAK

Spełniono kryterium naprężeń instalacyjnych łączonych: TAK

Eksploatacyjne naprężenie obwodowe równe lub mniejsze od krytycznego naprężenia wyboczenia: TAK

Eksploatacyjne naprężenie ścinające równe lub mniejsze od dopuszczalnego: TAK

Metodyka obliczeń**TRAJEKTORIA**

$$H_{BC} = H_C - L_1 \cdot \tan \alpha \quad H_{DE} = H_D - L_5 \cdot \tan \beta$$

$$R_{BC} = 2 \cdot \frac{H_{BC}}{\alpha^2} \quad R_{DE} = 2 \cdot \frac{H_{DE}}{\beta^2}$$

$$L_2 = R_{BC} \cdot \sin \alpha \quad L_4 = R_{DE} \cdot \sin \beta$$

$$L_3 = L - L_1 - L_2 - L_4 - L_5$$

gdzie:

R_{BC} - promień gięcia odcinka BC [m]

R_{DE} - promień gięcia odcinka DE [m]

L - długość odcinka AF [m]

L_1 - długość odcinka AB [m]

L_2 - długość odcinka BC [m]

L_3 - długość odcinka CD [m]

L_4 - długość odcinka DE [m]

L_5 - długość odcinka EF [m]

H_C - zagłębienie punktu C od poziomu wejścia rury [m]

H_D - zagłębienie punktu D od poziomu wyjścia rury [m]

H_{BC} - wysokość odcinka krzywoliniowego BC [m]

H_{DE} - wysokość odcinka krzywoliniowego DE [m]

α - kąt wejścia rury [radian]

β - kąt wyjścia rury [radian]

SIŁA INSTALACYJNA

$$F_p = T_p + OP_p \pm W \cdot L_p \cdot \sin \theta$$

$$T_p = W \cdot L_p \cdot \cos \theta \cdot \vartheta$$

$$OP_p = \pi \cdot D \cdot L_p \cdot \mu$$

$$F_k = 2 \cdot T_k + OP_k \pm W \cdot L_k \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$OP_k = \pi \cdot D \cdot L_k \cdot \mu$$

$$T_k = N \cdot \vartheta$$

$$N = \frac{F \cdot h - W \cdot \cos \frac{\varphi}{2} \cdot Y}{X}$$

$$h = R \cdot \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$X = 3 \cdot \frac{L_k}{12} - \frac{j}{2} \cdot \tanh \frac{U}{2}$$

$$Y = 18 \cdot \left(\frac{L_k}{12}\right)^2 - j^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{\cosh \frac{U}{2}}\right)$$

$$j = \left(E \cdot \frac{I}{F}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$I = \pi \cdot (D - g)^3 \cdot \frac{g}{8}$$

$$U = \frac{L_k}{j}$$

$$MSI = \sum F_p + \sum F_k$$

gdzie:

F_p - siła instalacyjna na odcinku prostoliniowym [kN]

T_p - siła tarcia na odcinku prostoliniowym [kN]

OP_p - opór płuczki na odcinku prostoliniowym [kN]

W - ciężar rury z uwzględnieniem balastowania [kN/m]

L_p - długość odcinka prostoliniowego [m]

θ - kąt nachylenia odcinka prostoliniowego [radian]

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

μ - opór jednostkowy płuczki [kPa]

F_k - siła instalacyjna na odcinku krzywoliniowym [kN]

T_k - siła tarcia na odcinku krzywoliniowym [kN]

OP_p - opór płuczki na odcinku krzywoliniowym [kN]

L_k - długość odcinka krzywoliniowego [m]

φ - kąt odcinka krzywoliniowego [radian]

E - moduł sprężystości stali [MPa]

F - średnia wartość siły instalacyjnej na odcinku krzywoliniowym [kN]

R - promień odcinka krzywoliniowego [m]

D - średnica zewnętrzna rury [m]

g - grubość ścianki rury [m]

$\sum F_p$ - suma sił instalacyjnych na odcinkach prostoliniowych [kN]

$\sum F_k$ - suma sił instalacyjnych na odcinkach krzywoliniowych [kN]

MSI - maksymalna siła instalacyjna [kN]

DOPUSZCZALNA SIŁA INSTALACYJNA

$$DSI = \left(\frac{GPS \cdot \omega_o}{\omega_b} - \frac{E \cdot D}{2 \cdot R_n} \right) \cdot P \cdot 1000$$

NAPRĘŻENIA INSTALACYJNE

Naprężenia rozciągające

$$Nr = \frac{F_i}{P}$$

$$Nrd = 0,9 \cdot GPS$$

Naprężenia zginające

$$Nz = \frac{E \cdot D}{2 \cdot R}$$

$$\frac{D}{g} \leq \frac{10342}{GPS} \rightarrow Nz = 0,75 \cdot GPS$$

$$\frac{10342}{GPS} < \frac{D}{g} \leq \frac{20684}{GPS} \rightarrow Nz = \left(0,84 - \frac{1,74 \cdot GPS \cdot D}{E \cdot g} \right) \cdot GPS$$

$$\frac{D}{g} > \frac{20684}{GPS} \rightarrow Nz = \left(0,72 - \frac{0,58 \cdot GPS \cdot D}{E \cdot g} \right) \cdot GPS$$

Minimalny promień gięcia rury

Wynikający z praktyki:

$$R_{min} = 1200 \cdot D$$

Wynikający z dopuszczalnego naprężenia zginającego:

$$R_{min} = \frac{E \cdot D}{2 \cdot Nz}$$

Wynikający z wytycznych DCA:

$$R_{min} = C \cdot \sqrt{D \cdot g}$$

lecz nie mniej niż:

$$D < 400 \text{ mm} \rightarrow R_{min} = \frac{206 \cdot D}{GPS}$$

$$400 \text{ mm} \leq D \leq 700 \text{ mm} \rightarrow R_{min} = 1400 \cdot \sqrt{D^3}$$

$$D > 700 \text{ mm} \rightarrow R_{min} = 1250 \cdot \sqrt{D^3}$$

Naprężenia obwodowe

$$No = \frac{\Delta p_i \cdot D}{2 \cdot g}$$

$$0,88 \cdot E \cdot \left(\frac{g}{D} \right)^2 \leq 0,55 \cdot GPS \rightarrow Nod = 0,88 \cdot E \cdot \left(\frac{g}{D} \right)^2$$

$$0,55 \cdot GPS < 0,88 \cdot E \cdot \left(\frac{g}{D}\right)^2 \leq 1,6 \cdot GPS \rightarrow Nod = 0,45 \cdot GPS + 0,18 \cdot \left(0,88 \cdot E \cdot \left(\frac{g}{D}\right)^2\right)$$

$$1,6 \cdot GPS < 0,88 \cdot E \cdot \left(\frac{g}{D}\right)^2 \leq 6,2 \cdot GPS \rightarrow Nod = \frac{1,31 \cdot GPS}{1,15 + \frac{GPS}{0,88 \cdot E \cdot \left(\frac{g}{D}\right)^2}}$$

$$0,88 \cdot E \cdot \left(\frac{g}{D}\right)^2 > 6,2 \cdot GPS \rightarrow Nod = 6,2 \cdot GPS$$

$$Nod = \frac{Nod}{1,5}$$

Napężenia łączone

Rozciągające + zginające:

$$\frac{Nr}{Nrd} + \frac{Nz}{Nzd} < 1$$

Rozciągające + zginające + obwodowe:

$$A^2 + B^2 + 2 \cdot v \cdot |A| \cdot B \leq 1$$

$$A = (Nr + Nz - 0,5 \cdot No) \cdot \frac{1,25}{GPS}$$

$$B = \frac{1,5 \cdot No}{Nod}$$

NAPRĘŻENIA EKSPLOATACYJNE

Napężenia zginające

$$Nz_{max} = \frac{E \cdot D}{2 \cdot R_n}$$

Napężenia obwodowe

$$No = \frac{\Delta p_e \cdot D}{2 \cdot g}$$

Napężenia termiczne

$$Nt = E \cdot k \cdot (T_i - T_e)$$

Napężenia ścinające

$$Ns_{max} = \left| \frac{No - (Nz_{max} + Nt + No \cdot v)}{2} \right|$$

$$Nsd = 0,45 \cdot GPS$$

gdzie:

D - średnica zewnętrzna rury [m]

g - grubość ścianki rury [m]

DSI - dopuszczalna siła instalacyjna [kN]

ω_o - współczynnik obciążenia [-]

ω_b - współczynnik bezpieczeństwa [-]

E - moduł sprężystości stali [MPa]

GPS - granica plastyczności stali [MPa]

Nr - naprężenie rozciągające rury [MPa]

Nrd - dopuszczalne naprężenie rozciągające rury [MPa]

F_i - siła instalacyjna [kN]

P - pole przekroju ścianki rury [m²]

Nz - naprężenie zginające rury [MPa]

Nzd - dopuszczalne naprężenie zginające rury [MPa]

Nz_{max} - największe naprężenie zginające rury [MPa]

R - promień gięcia rury [m]

R_{min} - minimalny dopuszczalny promień gięcia rury [m]

R_n - najmniejszy promień gięcia rury [m]

C - współczynnik charakterystyczny gruntu według wytycznych DCA [-]

No - naprężenie obwodowe rury [MPa]

Nod - dopuszczalne naprężenie obwodowe rury [MPa]

Δp_i - ciśnienie różnicowe instalacyjne [kPa]

(różnica pomiędzy ciśnieniem wewnętrznym i zewnętrznym w trakcie instalacji)

Δp_e - ciśnienie różnicowe eksploatacyjne [kPa]

(różnica pomiędzy ciśnieniem wewnętrznym i ciśnieniem oraz obciążeniem zewnętrznym w trakcie eksploatacji)

ν - liczba Poissona dla stali [-]

Nt - naprężenie termiczne rury [MPa]

k - współczynnik liniowej rozszerzalności termicznej stali [m/m · °C]

T_i - temperatura instalacji [°C]

T_e - temperatura eksploatacji [°C]

Ns_{max} - największe naprężenie ścinające rury [MPa]

Nsd - dopuszczalne naprężenie ścinające rury [MPa]