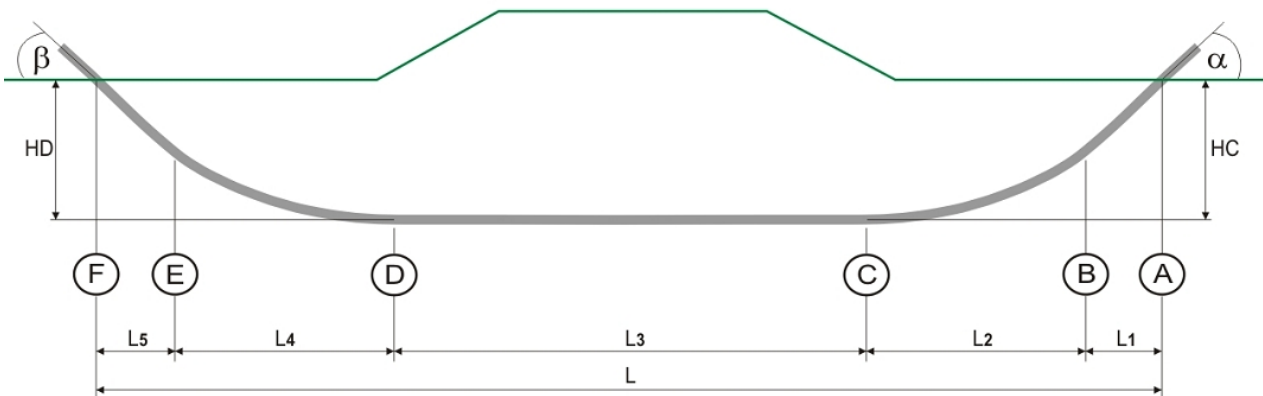


## Sprawdzenie kryterium siły instalacyjnej

SCHEMAT OBLICZENIOWY



## DANE WYJĄCIOWE

Metoda obliczeniowa siły instalacyjnej: PRCI

Rura PE100 SDR 11 DN315 ciarka dwuwarstwowa

Rodzaj płaszczka dla typu 3: nie dotyczy

Grubość płaszczka dla typu 3 [mm]: nie dotyczy

Moduł E Younga PE 12h [MPa]: 434

Wytrzymałość na rozciąganie PE [MPa]: 24,0

Ciężar objętościowy PE [kN/m<sup>3</sup>]: 9,41

Współczynnik bezpieczeństwa dla rozciągania [-]: 2,50

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

Kąt wejścia rury [°] Alfa = 15,0 Kąt wyjścia rury [°] Beta = 13,5

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

Długość odcinka prostoliniowego AB [m] L1 = 12,0

Długość odcinka prostoliniowego EF [m] L5 = 12,0

Zagłębienie punktu C od poziomu wejścia rury [m] HC = 5,5

Zagłębienie punktu D od poziomu wyjścia rury [m] HD = 6,0

średnica otworu wiertniczego [mm]: 473

Ciężar objętościowy wody [kN/m<sup>3</sup>]: 9,81

Ciężar objętościowy płuczki [kN/m<sup>3</sup>]: 14,71

Balastowanie: TAK Ciecz balastująca: płuczka

Ciśnienie hydrokinetyczne [kPa]: 70,0

Współczynnik tarcia przy przeciągnięciu rury w otworze wiertniczym [-]: 0,500

## WYNIKI

Promień odcinka BC [m]: 66,7

Promień odcinka DE [m]: 112,4

Długość odcinka krzywoliniowego BC [m] L2 = 17,3

Długość odcinka prostoliniowego CD [m] L3 = 132,5

Długość odcinka krzywoliniowego DE [m] L4 = 26,2

Siła tarcia od ciśnienia hydrokinetycznego [kN]: 3,42  
 Maksymalne naprężenie zginające [kPa]: 1025,33  
 Dopuszczalna siła instalacyjna [kN]: 208,43  
 Maksymalna siła instalacyjna [kN]: 48,79

#### WNIOSKI

Dopuszczalna siła instalacyjna równa lub większa od maksymalnej: TAK  
 Spełniono kryterium siły instalacyjnej: TAK

### METODYKA OBLICZEŃ

#### Trajektoria:

$$\begin{aligned}
 H_{BC} &= H_C - L_1 \cdot \tan \alpha & H_{DE} &= H_D - L_5 \cdot \tan \beta \\
 R_{BC} &= 2 \cdot \frac{H_{BC}}{\alpha^2} & R_{DE} &= 2 \cdot \frac{H_{DE}}{\beta^2} \\
 L_2 &= R_{BC} \cdot \sin \alpha & L_4 &= R_{DE} \cdot \sin \beta \\
 L_3 &= L - L_1 - L_2 - L_4 - L_5
 \end{aligned}$$

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 poziomego wejścia rury [m]  
 $H_D$  - zagłębienie punktu D od poziomego wyjścia rury [m]  
 $H_{BC}$  - wysokość odcinka krzywoliniowego BC [m]  
 $H_{DE}$  - wysokość odcinka krzywoliniowego DE [m]  
 $\alpha$  - kąt wejścia rury [radian]  
 $\beta$  - kąt wyjścia rury [radian]

#### Dopuszczalna siła instalacyjna:

$$\begin{aligned}
 N_r &= f_r \cdot f_t \cdot f_c \cdot T_y \\
 N_z &= E_{12h} \cdot \frac{D_n}{2 \cdot R_m} \\
 DSI &= 1000 \cdot (N_r - N_z) \cdot \pi \cdot D_n^2 \cdot \left( \frac{1}{SDR} - \frac{1}{SDR^2} \right)
 \end{aligned}$$

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]

$N_z$  - maksymalne naprężenie zginające w rurze [MPa]

$E_{12h}$  - moduł E Younga PE 12h [MPa]

$D_n$  - średnica zewnętrzna rury [m]

$R_m$  - najmniejszy promień gięcia rury [m]

DSI - dopuszczalna siła instalacyjna [kN]

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

### Występująca siła instalacyjna:

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

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

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

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

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

$$T_k = N \cdot \vartheta$$

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

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

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

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

$$j = \left(E_{12h} \cdot \frac{I}{F}\right)^{\frac{1}{2}}$$

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

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

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

gdzie:

$F_p$  - siła instalacyjna na odcinku prostoliniowym [kN]

$T_p$  - siła tarcia na odcinku prostoliniowym [kN]

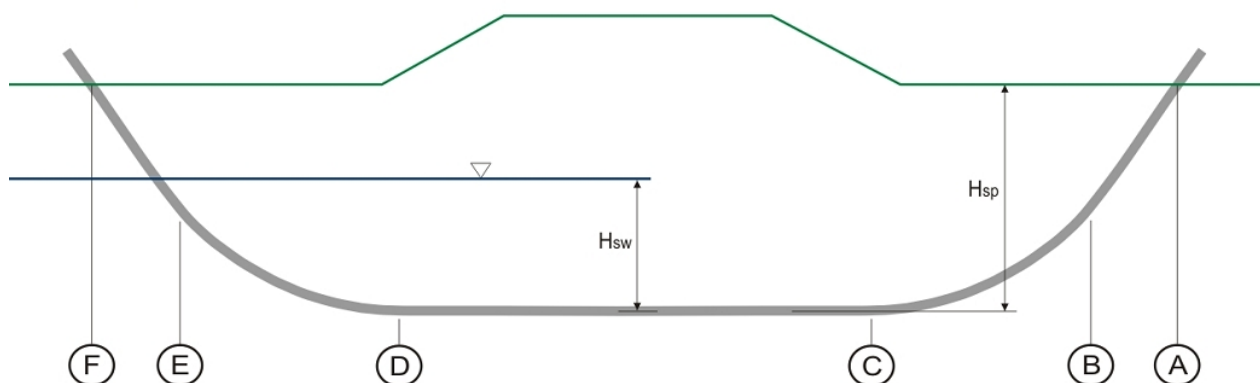
$OP_p$  - opór płuczki na odcinku prostoliniowym [kN]

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

- 
- $L_p$  - długość odcinka prostoliniowego [m]  
 $\theta$  - kąt nachylenia odcinka prostoliniowego [radian]  
 $\vartheta$  - współczynnik tarcia przy przeciąganiu rury w otworze wiertniczym [-]  
 $\mu$  - 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]  
 $\varphi$  - kąt odcinka krzywoliniowego [radian]  
 $F$  - średnia wartość siły instalacyjnej na odcinku krzywoliniowym [kN]  
 $R$  - promień odcinka krzywoliniowego [m]  
 $g$  - grubość ścianki rury [m]  
 $\sum F_p$  - suma sił instalacyjnych na odcinkach prostoliniowych  
 $\sum F_k$  - suma sił instalacyjnych na odcinkach krzywoliniowych  
 $MSI$  - maksymalna siła instalacyjna [kN]

## Sprawdzenie kryterium wyboczenia instalacyjnego

SCHEMAT OBLICZENIOWY



### DANE WYJ CIOWE

Rura PE100 SDR 11 DN315 cianka dwuwarstwowa  
 Rodzaj płaszczu dla typu 3: nie dotyczy  
 Grubość płaszczu dla typu 3 [mm]: nie dotyczy  
 Moduł E Younga PE 12h [MPa]: 434  
 $\rho_{w}$  ciar obj to ciowy wody [kN/m<sup>3</sup>]: 9,81  
 $\rho_{p}$  ciar obj to ciowy płuczki [kN/m<sup>3</sup>]: 14,71  
 $p_{h}$  nienie hydrokinetyczne [kPa]: 70,0  
 Wysokość słupa płuczki [m]  $H_{sp}$  = 6,00  
 Wysokość słupa wody gruntowej [m]  $H_{sw}$  = 2,40  
 Balastowanie: TAK  
 Ciecz balastuj ca: płuczka  
 Minimalny współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]: 2,00

### WYNIKI

$p_{st}$  nienie statyczne płuczki [kPa]: 88,26  
 $p_{st}$  nienie statyczne wody gruntowej [kPa]: 23,54  
 $p_{st}$  nienie statyczne cieczy balastujcej [kPa]: 88,26  
 Maksymalne  $p_{h}$  nienie różnicowe [kPa]: 70,00  
 Ugięcie rury od  $p_{h}$  nienia różnicowego [%]: 1,93  
 Współczynnik ugięcia zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-]: 0,94  
 Współczynnik rozciągania zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-]: 0,96  
 Krytyczne  $p_{h}$  nienie wyboczenia rury [kPa]: 979,46  
 Obliczony współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]: 13,99

### WNIOSKI

Współczynnik bezpieczeństwa równy lub większy od minimalnego: TAK  
 Spełniono kryterium wyboczenia instalacyjnego: TAK

**METODYKA OBLICZEŃ****Ciśnienie różnicowe:**

$$P_r = P_{Smax} + P_H - H_{sp} \cdot \rho_{cb}$$

$$P_{Smax} = H_{sp} \cdot \rho_p \quad \text{lub} \quad P_{Smax} = H_{sw} \cdot \rho_w$$

gdzie:

 $P_r$  - maksymalne ciśnienie różnicowe [kPa] $P_{Smax}$  - maksymalne ciśnienie statyczne od płuczki lub wody gruntowej [kPa] $P_H$  - ciśnienie hydrokinetyczne [kPa] $H_{sp}$  - wysokość słupa płuczki [m],  $H_{sw}$  - wysokość słupa wody gruntowej [m] $\rho_{cb}$  - ciężar objętościowy cieczy balastującej [kN/m<sup>3</sup>] $\rho_p$  - ciężar objętościowy płuczki [kN/m<sup>3</sup>],  $\rho_w$  - ciężar objętościowy wody [kN/m<sup>3</sup>]**Krytyczne ciśnienie wyboczenia:**

$$S_E = \frac{1000 \cdot E_{12h}}{12 \cdot (1 - Poi^2) \cdot (SDR - 1)^3}$$

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

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

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

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

$$P_{KWI} = 24 \cdot S_E \cdot f_R \cdot f_u$$

gdzie:

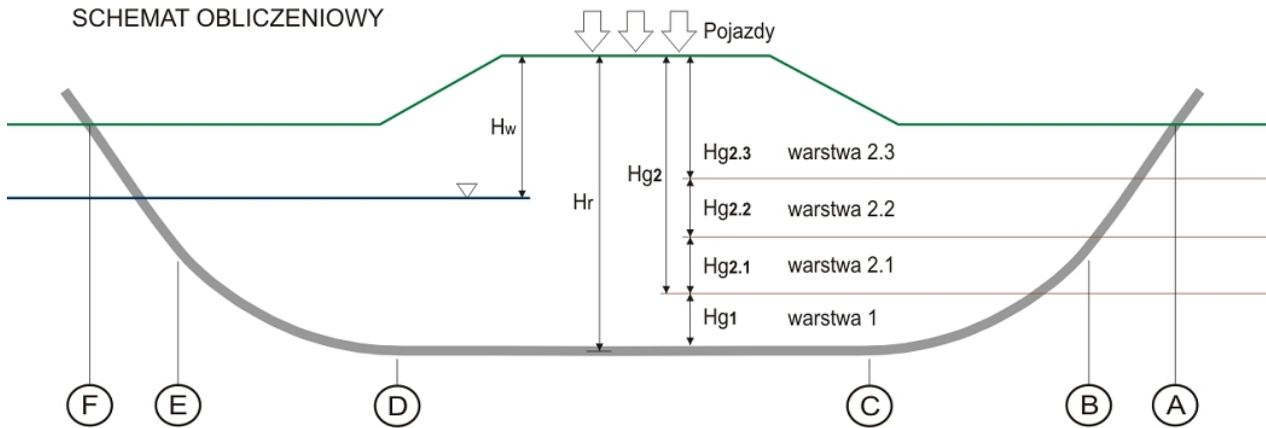
 $S_E$  - sztywność obwodowa rury [kPa] $E_{12h}$  - moduł E Younga PE 12h [MPa] $SDR$  - stosunek średnicy zewnętrznej rury do jej grubości ścianki [-] $Def$  - ugięcie rury od ciśnienia różnicowego [-] $f_u$  - współczynnik ugięcia zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-] $f_{sr}$  - współczynnik 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 WYJĄCIOWE

Rura PE100 SDR 11 DN315 ciarka dwuwarstwowa

Rodzaj płaszcza dla typu 3: nie dotyczy

Grubość płaszcza dla typu 3 [mm]: nie dotyczy

Szywność obwodowa krótkoterminowa rury [kPa]: 83,3

Szywność obwodowa długoterminowa rury [kPa]: 20,8

Ciężar objętościowy wody [kN/m<sup>3</sup>]: 9,81

Maksymalne zagięcie osi rury [m]  $H_r = 7,50$

Zagięcie zwierciadła wody gruntowej [m]  $H_w = 3,30$

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

średnica otworu wiertniczego [mm]: 473

Warstwy gruntu nad rurą

warstwa 1 wysokość [m]  $H_{g1} = 1,46$  rodzaj gruntu: gliny nieskonsolidowane miękkoplastyczne

warstwa 2.1 wysokość [m]  $H_{g2.1} = 0,00$  rodzaj gruntu: ropy półzwarte

warstwa 2.2 wysokość [m]  $H_{g2.2} = 0,00$  rodzaj gruntu: piaski drobne i pylaste redniozagięte

warstwa 2.3 wysokość [m]  $H_{g2.3} = 0,00$  rodzaj gruntu: wiry i pospółki zagięte

Redukcja obciążenia gruntem wynikająca ze zjawiska przesklepienia: NIE

Rodzaj obciążenia od pojazdów: kolej

Rodzaj pracy rurociągu: bezciężniowy

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

### WYNIKI PARAMETRY KRÓTKOTERMINOWE

Obciążenie od ciężaru gruntu [kPa]: 101,71 przy współczynniku redukcji obciążenia [-]: 1,00

Obciążenie od słupa wody [kPa]: 41,19

Obciążenie od pojazdów [kPa]: 14,34

Obciążenie sumaryczne [kPa]: 157,24

Ugięcie rury [%]: 2,36

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

Krytyczne obciążenie wyboczenia rury [kPa]: 1857,68

Obliczony współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]: 11,81

**WYNIKI PARAMETRY DŁUGOTERMINOWE**

Obciążenie od ciążaru gruntu [kPa]: 101,71 przy współczynniku redukcji obciążenia [-]: 1,00  
 Obciążenie od słupa wody [kPa]: 41,19  
 Obciążenie od pojazdów [kPa]: 0,00  
 Obciążenie sumaryczne [kPa]: 142,90  
 Ugięcie rury [%]: 8,58  
 Współczynnik ugięcia zmniejszający odporność rury na wyboczenie [-]: 0,74  
 Krytyczne obciążenie wyboczenia rury [kPa]: 371,19  
 Obliczony współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]: 2,60

**WNIOSKI PARAMETRY KRÓTKOTERMINOWE**

Współczynnik bezpieczeństwa równy lub większy od minimalnego: TAK  
 Spełniono kryterium wyboczenia eksploatacyjnego: TAK

**WNIOSKI PARAMETRY DŁUGOTERMINOWE**

Współczynnik bezpieczeństwa równy lub większy od minimalnego: TAK  
 Spełniono kryterium wyboczenia eksploatacyjnego: TAK

**METODYKA OBLICZEŃ****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]

$\gamma_{gs}$  - ciężar objętościowy suchej warstwy gruntu [kN/m<sup>3</sup>]

$\gamma_{gm}$  - ciężar objętościowy nawodnionej warstwy gruntu (uwzględnia siłę wyporu) [kN/m<sup>3</sup>]

$K$  - współczynnik naporu gruntu [-]

$\theta$  - 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]

$\rho_w$  - ciężar objętościowy wody [kN/m<sup>3</sup>]

$Q_{sum}$  - obciążenie sumaryczne [kPa]

$Q_{poj}$  - obciążenie od pojazdów [kPa]

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

**Krytyczne obciążenie wyboczenia:**

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

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

$$Q_{KWE} = 24 \cdot S_E \cdot f_u$$

gdzie:

$Def$  - ugięcie rury od obciążenia sumarycznego [-]

$S_E$  - krótkoterminowa lub długoterminowa sztywność obwodowa rury [kPa]

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

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

**Współczynnik bezpieczeństwa:**

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

gdzie:

$W_B$  - współczynnik bezpieczeństwa wyboczenia rury [-]

## Krytyczne ciśnienie płuczki

W poniższej tabeli, dla poszczególnych punktów przewiertu, obliczono maksymalne (krytyczne) ciśnienie płuczki, powyżej którego może wystąpić zjawisko szczelinowania gruntu i utraty cyrkulacji w otworze wiertniczym.

Symbole użyte w tabeli:

L - odległość punktu obliczeniowego od punktu wejścia przewiertu

H - wysokość warstwy gruntu nad otworem wiertniczym mierzona od osi otworu

Hw - zagłębienie poziomu wody gruntowej mierzone od powierzchni gruntu

Do - średnica otworu wiertniczego

Qo - ciężar objętościowy gruntu

- k - tarcia wewnętrzna gruntu

c - kohezja gruntu

G - moduł odkształcenia gruntu

v - współczynnik Poissona gruntu

Skróty dotyczące rodzajów gruntu:

L - luźny, Z - redniozagięty, Z - zagięty

PZ - półzwarty, P - plastyczny, TP - twaroplastyczny, MP - miękki plastyczny

Punkt oblicz.	L [m]	H [m]	Hw [m]	Do [mm]	Rodzaj gruntu	Qo [kN/m <sup>3</sup> ]	φ [°]	c [kPa]	G [MPa]	v [-]	Parcie gruntu [kPa]	Prom. strefy plast. [m]	Max. ciśnienie płuczki [kPa]
1	6,3	1,5	2	473	wiry i pospółki Z	19,0	41,0	0,0	206,0	0,20	161	0,84	85,4
2	17,2	4,0	2	473	piaski dr. i pyl. Z	17,5	30,0	0,0	48,0	0,30	38,4	2,51	304,7
3	23,3	5,0	2	473	iłty PZ	18,5	13,0	60,7	22,0	0,37	57,8	2,38	598,4
4	35	6,0	2	473	gliny nieskonsol. MP	19,0	7,0	14,8	7,0	0,29	73,4	2,88	275,8
5	100	7,5	6	473	gliny nieskonsol. MP	19,0	7,0	14,8	7,0	0,29	119,7	3,63	359,5
6	175	7,0	3	473	gliny nieskonsol. MP	19,0	7,0	14,8	7,0	0,29	91,2	3,38	312,4
7	183,4	5,2	2	473	iłty PZ	18,5	13,0	60,7	22,0	0,37	59,6	2,48	610,9
8	183,4	4,3	2,3	473	piaski dr. i pyl. Z	17,5	30,0	0,0	48,0	0,30	42,3	2,71	347,6
9	194,1	1,7	2,1	473	wiry i pospółki Z	19,0	41,0	0,0	206,0	0,20	18,7	0,98	109,4

**METODYKA OBLICZEŃ**

$$p'_{max} = (p'_f + c \cdot \cot \phi) \cdot \left\{ \left( \frac{R_0}{R_{p,max}} \right)^2 + Q \right\}^{\frac{-\sin \phi}{1 + \sin \phi}} - c \cdot \cot \phi$$

$$Q = \frac{\sigma'_0 \cdot \sin \phi + c \cdot \cos \phi}{G}$$

$$p'_f = \sigma'_0 \cdot (1 + \sin \phi) + c \cdot \cos \phi$$

$$p'_{limit} = 0,9 \cdot \left\{ (p'_f + c \cdot \cot \phi) \cdot Q^{\frac{-\sin \phi}{1 + \sin \phi}} - c \cdot \cot \phi \right\}$$

$$\text{jeżeli } p'_{limit} < p'_{max} \Rightarrow p_{max} = p'_{limit} + u$$

$$\text{jeżeli } p'_{limit} > p'_{max} \Rightarrow p_{max} = p'_{max} + u$$

gdzie:

$p_{max}$  - maksymalne (krytyczne) ciśnienie płuczki [kPa]

$p'_{max}$  - maksymalne efektywne ciśnienie płuczki [kPa]

$p'_{limit}$  - graniczne efektywne ciśnienie płuczki [kPa]

$u$  - parcie wody gruntowej [kPa]

$\sigma'_0$  - parcie gruntu na otwór wiertniczy (średnia arytmetyczna parcia pionowego i poziomego) [kPa]

$\phi$  - kąt tarcia wewnętrznego gruntu [°]

$c$  - kohezja gruntu [kN/m<sup>2</sup>]

$R_0$  - promień otworu wiertniczego [m]

$R_{p,max}$  - maksymalny promień strefy plastycznej [m]

$G$  - moduł odkształcenia gruntu [kPa]