

Stanisław Wilk\*, Marek Galas\*, Marek Mijał\*

## ODDZIAŁYWANIE OSUWISK NA GAZOCIĄGI\*\*

### 1. WPROWADZENIE

Obliczenia wytrzymałościowe gazociągów posadowionych w gruncie uzależnione są od właściwości gruntów, z którymi będą one współpracować w trakcie eksploatacji. Właściwości gruntów określa się na podstawie wyników badań inżynierskich wykonanych wzdłuż trasy gazociągu.

Podstawowymi parametrami geotechnicznymi gruntów, określającymi stan naprężeniowo-odkształceniowy gazociągów posadowionych w gruncie są:

- kąt tarcia wewnętrznego  $\phi_u$ ,
- spójność  $c_u$ ,
- moduł pierwotnego odkształcenia gruntu  $E_o$ ,
- ciężar objętościowy  $\gamma$ ,
- ciężar właściwy gruntu  $\gamma_s$ ,
- wskaźnik porowatości  $e$ .

Wartość charakterystyczną parametru geotechnicznego gruntu  $x^k$  oblicza się ze wzoru

$$x^k = \frac{1}{N} \sum x_i \quad (1)$$

gdzie:

- $x_i$  – wynik oznaczenia danej cechy,
- $N$  – liczba oznaczeń.

Za wartości charakterystyczne spójności i kąta tarcia wewnętrznego przyjmuje się współczynniki liniowej funkcji oporu gruntu na ścinanie  $\tau$  od normalnego naprężenia  $\sigma$

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi_u + c_u \quad (2)$$

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Pracę wykonano w ramach badań własnych statutowych, umowa nr 11.11.190.01

gdzie:

- $\tau$  – opór próbki gruntu na ścinanie [MPa],
- $\sigma$  – normalne naprężenia wywołane obciążeniem próbki gruntem [MPa].

Charakterystyczne wartości i oblicza się ze wzorów:

$$c_u^k = \frac{1}{a} \left( \sum \tau \cdot \sum \sigma^2 - \sum \sigma - \sum \tau \cdot \sigma \right) \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \phi_u^k = \frac{1}{a} \left( N \cdot \sum \tau \cdot \sigma - \sum \tau \cdot \sum \sigma \right) \quad (4)$$

gdzie:

- $\tau, \sigma$  – naprężenia w poszczególnych badaniach,
- $N$  – liczba oznaczeń,

$$a = N \cdot \sum \sigma^2 - \left( \sum \sigma \right)^2 \quad (5)$$

Liczba składników w każdym symbolu sumowania  $\Sigma$  równa jest liczbie przeprowadzonych oznaczeń danej cechy  $N$ . Wszelkie obliczenia gazociągów podziemnych, mające na celu sprawdzenie stanu granicznej nośności wykonuje się, uwzględniając obliczeniowe wartości parametrów geotechnicznych gruntu, które wyznacza się według wzoru

$$x_d = \gamma_m \cdot x^k \quad (6)$$

gdzie:

- $\gamma_m$  – współczynnik materiałowy,
- $x^k$  – wartość parametru geotechnicznego.

Współczynnik materiałowy  $\gamma_m$  ustala się w zależności od zmienności charakterystycznych wartości parametrów, liczby oznaczeń tych parametrów i od poziomu ufności  $\alpha$ , który można przyjmować w zależności od współczynnika pracy  $m$ :

- 0,95 dla  $m \leq 0,6$ ,
- 0,90 dla  $0,6 < m \leq 0,75$ ,
- 0,85 dla  $m > 0,75$ .

Współczynnik materiałowy  $\gamma_m$  przy określaniu wartości spójności właściwej  $c_u$ , kąta tarcia wewnętrznego  $\phi_u$  i ciężaru objętościowego gruntu  $\gamma$  wylicza się według wzoru

$$\gamma_m = 1 \pm \rho \quad (7)$$

gdzie  $\rho$  – wskaźnik dokładności oszacowania wartości średniej parametru gruntu.

We wzorze (7) przed wielkością  $\rho$  przyjmuje się znak, który zapewnia większe bezpieczeństwo obliczanego gazociągu, tj. wartość przyjmowanego współczynnika  $\rho$  powiększa zapas wytrzymałości i stateczności gazociągu.

## 2. OBLICZENIE JEDNOSTKOWEJ SIŁY $F$ NAPORU GRUNTU OSUWISKOWEGO NA GAZOCIĄG

Założenia do obliczeń:

- $\alpha$  – kąt nachylenia stoku osuwiska [°],
- $c$  – spójność gruntu [kPa],
- $f$  – kąt tarcia wewnętrznego [°],
- $\gamma$  – ciężar objętościowy gruntu,
- $b = 1$  m – szerokość bloku osuwiska,
- $L = 1$  m – długość osuwiska,
- $h = 1$  m – miąższość bloku osuwiskowego,
- $V = b \times L \times h$  – objętość jednostkowa bloku osuwiska,
- $\gamma_w = 9,81 \times$  ciężar właściwy wody,
- $Q = V \times \gamma$  – jednostkowy ciężar bloku osuwiska,
- $S = Q \times \sin \alpha$  – ciężar gruntu zsuwającego się po zboczu osuwiskowym.

Obliczenia dla gruntu niezawodnionego:

- $\sigma = \cos \alpha \times \gamma \times L$  – naprężenia efektywne w gruncie,
- $\tau = \sigma \times \tan \phi + c$  – wytrzymałość graniczna gruntu,
- $F = S - \tau$  – wartość naporu gruntu osuwiskowego.

Obliczenia dla gruntu całkowicie zawodnionego:

- $\gamma - \gamma_w$  – ciężar gruntu w wodzie;
- $\sigma_w = \cos \alpha \times [\gamma \times h - h \times (\gamma - \gamma_w) - \gamma_w \times \sin \alpha \times L]$  – naprężenia efektywne w gruncie całkowicie nawodnionym;
- $\tau_w = \sigma_w \times \tan \phi + c$  – wytrzymałość graniczna gruntu nawodnionego;
- $F_w = S - \tau_w$  – wartość naporu całkowicie nawodnionego gruntu osuwiskowego.

Wyniki obliczeń zestawiono w tabelach 1–5.

**Tabela 1**

Zestawienie wyników jednostkowej siły naporu gruntu osuwiskowego dla  $\gamma = 22,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  i  $\alpha = 10^\circ$

$\gamma$ [ $\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ ]	$\alpha$ [°]	Grunt niezawodniony						Grunt całkowicie zawodniony					
		$F$ [kN]						$F_w$ [kN]					
		$c$ $\phi$	1	7	13	19	25	$c$ $\phi$	1	7	13	19	25
22,5	10	1	2,5	1,0	-0,6	-22,2	-3,9	1	2,8	2,2	1,6	1,1	0,5
		5	-3,5	-5,0	-6,6	-8,2	-9,9	5	-3,2	-3,8	-4,4	-4,9	-5,5
		9	-9,5	-11,0	-12,6	-14,2	-15,9	9	-9,2	-9,8	-10,4	-10,9	-11,5
		13	-15,5	-17,0	-18,6	-20,2	-21,9	13	-15,2	-15,8	-16,4	-16,9	-17,5
		17	-21,5	-23,0	-24,6	-26,2	-27,9	17	-21,2	-21,8	-22,4	-22,9	-23,5

**Tabela 2**

Zestawienie wyników jednostkowej siły naporu gruntu osuwiskowego dla  $\gamma = 22,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  i  $\alpha = 20^\circ$

$\gamma$ [ $\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ ]	$\alpha$ [ $^\circ$ ]	Grunt niezawodniony					Grunt całkowicie zawodniony						
		$F$ [kN]					$F_w$ [kN]						
		$\phi$ \ c	1	7	13	19	25	$\phi$ \ c	1	7	13	19	25
22,5	20	1	6,3	4,9	3,4	1,8	0,2	1	6,6	6,2	5,7	5,3	4,8
		5	0,3	-1,2	-2,7	-4,1	-5,8	5	0,6	0,2	0,3	-0,7	-1,2
		9	-5,7	-7,2	-8,7	-10,2	-11,8	9	-5,4	-5,8	-6,3	-6,7	-7,2
		13	-11,7	-13,2	-14,7	-16,2	-17,8	13	-11,4	-11,8	-12,3	-12,7	-13,2
		17	-17,7	-19,2	-20,7	-22,2	-23,8	17	-17,4	-17,8	-18,7	-18,7	-19,2

**Tabela 3**

Zestawienie wyników jednostkowej siły naporu gruntu osuwiskowego dla  $\gamma = 22,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  i  $\alpha = 30^\circ$

$\gamma$ [ $\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ ]	$\alpha$ [ $^\circ$ ]	Grunt niezawodniony					Grunt całkowicie zawodniony						
		$F$ [kN]					$F_w$ [kN]						
		$\phi$ \ c	1	7	13	19	25	$\phi$ \ c	1	7	13	19	25
22,5	30	1	9,9	8,6	7,2	5,6	4,3	1	10,2	9,9	9,6	9,3	9,0
		5	3,9	2,6	1,2	0,3	-1,7	5	4,2	3,9	3,6	3,3	3,0
		9	-2,1	-3,5	-4,8	-6,3	-7,7	9	-1,8	-2,1	-2,4	-2,7	-3,1
		13	-8,1	-9,5	-10,8	-12,3	-13,7	13	-7,8	-8,1	-8,4	-8,7	-9,1
		17	-14,1	-15,5	-16,8	-18,3	-19,7	17	-13,8	-14,1	-14,4	-14,7	-15,1

**Tabela 4**

Zestawienie wyników jednostkowej siły naporu gruntu osuwiskowego dla  $\gamma = 22,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  i  $\alpha = 40^\circ$

$\gamma$ [ $\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ ]	$\alpha$ [ $^\circ$ ]	Grunt niezawodniony					Grunt całkowicie zawodniony						
		$F$ [kN]					$F_w$ [kN]						
		$\phi$ \ c	1	7	13	19	25	$\phi$ \ c	1	7	13	19	25
22,5	40	1	13,2	12,0	10,7	9,5	8,2	1	13,4	13,2	13,0	12,8	12,6
		5	7,2	6,0	4,7	3,5	2,2	5	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6
		9	1,2	-0,1	-1,3	-2,5	-3,8	9	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6
		13	-4,8	-6,1	-7,3	-8,5	-9,8	13	-4,6	-4,8	-5,0	-5,2	-5,4
		17	-10,8	-12,1	-13,3	-14,5	-15,8	17	-10,6	-10,8	-11,0	-11,2	-11,4

**Tabela 5**

Zestawienie wyników jednostkowej siły naporu gruntu osuwiskowego dla  $\gamma = 22,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$  i  $\alpha = 50^\circ$

$\gamma$ [ $\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ ]	$\alpha$ [ $^\circ$ ]	Grunt niezawodniony					Grunt całkowicie zawodniony						
		$F$ [kN]					$F_w$ [kN]						
		$\phi$ \diagdown c	1	7	13	19	25	$\phi$ \diagdown c	1	7	13	19	25
22,5	50	1	16,0	15,0	14,0	12,9	11,8	1	16,2	16,1	16,0	15,9	15,8
		5	10,0	9,0	8,0	6,9	5,8	5	10,2	10,1	10,0	9,9	9,8
		9	4,0	3,0	2,0	0,9	-0,2	9	4,2	4,1	4,0	3,9	3,8
		13	-2,0	-3,0	-4,0	-5,1	-6,2	13	-1,8	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2
		17	-8,0	-9,0	-10,0	-11,1	-12,2	17	-7,8	-7,9	-8,0	-8,1	-8,2

### 3. WNIOSKI

1. W gruntach niezawodnionych wartość siły naporu gruntu osuwiskowego dla gruntów o tej samej spójności rośnie wraz ze wzrostem kąta nachylenia zbocza.
2. W gruntach zawodnionych wartość siły naporu gruntu osuwiskowego dla gruntów o tej samej spójności rośnie wraz ze wzrostem kąta nachylenia zbocza.
3. W gruntach niezawodnionych wartość siły naporu gruntu osuwiskowego dla tego samego kąta nachylenia zbocza maleje wraz ze wzrostem spójności gruntu.
4. W gruntach zawodnionych wartość siły naporu gruntu osuwiskowego dla tego samego kąta nachylenia zbocza maleje wraz ze wzrostem spójności gruntu.

### LITERATURA

- [1] Bober L., Thiel K., Zabuski L.: *Osuwiska we fliszu Karpat polskich. Geologia – modelowanie – obliczenia stateczności*. Gdańsk, Wydawnictwo IBW PAN 1999
- [2] Gryczmański M.: *Wprowadzenie do opisu sprężysto-plastycznych modeli gruntów*. Warszawa, IPPT PAN 1995
- [3] PN-81/B-03020: *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*
- [4] Pisarczyk S.: *Mechanika gruntów*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza PW 1999
- [5] Thiel K.: *Mechanika skał w inżynierii skał*. Warszawa, PWN 1980
- [6] Thiel K.: *Właściwości fizyko-mechaniczne i modele masywów skalnych polskich Karpat fliszowych*. Gdańsk, Instytut Budownictwa Wodnego 1995