

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 ϕ_u ,
- spójność c_u ,
- moduł pierwotnego odkształcenia gruntu E_o ,
- ciężar objętościowy γ ,
- ciężar właściwy gruntu γ_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 τ od normalnego naprężenia σ

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

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

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

gdzie:

- τ – opór próbki gruntu na ścinanie [MPa],
- σ – normalne naprężenia wywołane obciążeniem próbki gruntem [MPa].

Charakterystyczne wartości i oblicza się ze wzorów:

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

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

gdzie:

- τ, σ – 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 Σ 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:

- γ_m – współczynnik materiałowy,
- x^k – wartość parametru geotechnicznego.

Współczynnik materiałowy γ_m ustala się w zależności od zmienności charakterystycznych wartości parametrów, liczby oznaczeń tych parametrów i od poziomu ufności α , 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 γ_m przy określaniu wartości spójności właściwej c_u , kąta tarcia wewnętrznego ϕ_u i ciężaru objętościowego gruntu γ wylicza się według wzoru

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

gdzie ρ – wskaźnik dokładności oszacowania wartości średniej parametru gruntu.

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

2. OBLICZENIE JEDNOSTKOWEJ SIŁY F NAPORU GRUNTU OSUWISKOWEGO NA GAZOCIĄG

Założenia do obliczeń:

- α – kąt nachylenia stoku osuwiska [°],
- c – spójność gruntu [kPa],
- f – kąt tarcia wewnętrznego [°],
- γ – 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 $\alpha = 10^\circ$

| γ [$\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$] | α [°] | Grunt niezawodniony | | | | | | Grunt całkowicie zawodniony | | | | | |
|--|-----------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | F [kN] | | | | | | F_w [kN] | | | | | |
| | | c ϕ | 1 | 7 | 13 | 19 | 25 | c ϕ | 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 $\alpha = 20^\circ$

| γ [$\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$] | α [$^\circ$] | Grunt niezawodniony | | | | | Grunt całkowicie zawodniony | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | F [kN] | | | | | F_w [kN] | | | | | | |
| | | ϕ \ c | 1 | 7 | 13 | 19 | 25 | ϕ \ 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 $\alpha = 30^\circ$

| γ [$\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$] | α [$^\circ$] | Grunt niezawodniony | | | | | Grunt całkowicie zawodniony | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | F [kN] | | | | | F_w [kN] | | | | | | |
| | | ϕ \ c | 1 | 7 | 13 | 19 | 25 | ϕ \ 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 $\alpha = 40^\circ$

| γ [$\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$] | α [$^\circ$] | Grunt niezawodniony | | | | | Grunt całkowicie zawodniony | | | | | | |
|--|--------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | F [kN] | | | | | F_w [kN] | | | | | | |
| | | ϕ \ c | 1 | 7 | 13 | 19 | 25 | ϕ \ 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 $\alpha = 50^\circ$

| γ [$\frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$] | α [$^\circ$] | Grunt niezawodniony | | | | | Grunt całkowicie zawodniony | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------------|------|------|-------|-------|-----------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|
| | | F [kN] | | | | | F_w [kN] | | | | | | |
| | | ϕ \diagdown c | 1 | 7 | 13 | 19 | 25 | ϕ \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