

Stanisław Wilk*, Marek Galas*, Marek Mijal*

**SIŁY ODDZIAŁUJĄCE NA GAZOCIĄGI
POSADOWIONE W NIESTABILNYCH GRUNTACH
NIESPOISTYCH****

Powierzchniowe ruchy mas gruntu po zboczach lub skarpach nazywamy osuwiskami. Powstają one w wyniku działania siły ciężkości, gdy zostaje naruszona równowaga pomiędzy naprężeniami ścinającymi i oporem gruntu na ścinanie. Utratę stateczności zbocza powodują powstające nowe siły lub zmniejszenie się sił oporu gruntu na ścinanie.

Najczęstszymi przyczynami utraty stabilności gruntu tworzącego zbocze są:

- podmycie zbocza wodą;
- wypełnienie wodą szczelin lub spękań gruntu ponad zboczem;
- zgodność upadu warstw gruntu z kierunkiem nachylenia zbocza;
- zgodność nachylenia zbocza z kierunkiem upadu warstw gruntu;
- zmniejszeniem się wyporu i ciśnienia spływowego wody w masie gruntowej zbocza wskutek nagłego obniżenia poziomu wody powierzchniowej;
- zmniejszenie sił oporu na ścinanie spowodowane naporem wody od dołu na górne warstwy mało przepuszczalnego gruntu;
- nasiąknięcie gruntu na skutek opadów deszczu lub tajania śniegu, co powoduje pęcznienie gruntu, a tym samym zmniejszenie wytrzymałości gruntu na ścinanie;
- sufozja, tzn. wynoszenie z masy gruntu drobniejszych ziaren lub cząstek przez infiltrującą wodę powodujące powstawanie kawern, a następnie ruchy mas gruntowych;
- przemarzanie i odmarzanie gruntu powodujące zmianę jego struktury i wytrzymałości na ścinanie,

Największe zagrożenie osuwiskami następuje, gdy kilka z wyżej wymienionych czynników występuje równocześnie.

Odształcenia gruntu wokół eksploatowanego gazociągu narastają stopniowo, osiągając wartości graniczne po upływie dłuższego czasu, który zależy od właściwości fizycznych gruntu wokół gazociągu, stopnia nawodnienia stoku oraz kąta nachylenia stoku.

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Pracę wykonano w ramach badań statutowych nr 11.11.190.01

W czasie eksploatacji gazociągu w niestabilnych gruntach niespoistych, w pierwszym okresie grunt przemieszcza się wokół gazociągu tylko wskutek jego ściśliwości. Przemieszczenie gruntu wokół gazociągu jest wprost proporcjonalne do przyrostu obciążenia gruntu (liniowa zależność odkształcenia od obciążenia).

W miarę upływu czasu wzrasta obciążenie gruntu oraz następuje dalszy przyrost przemieszczeń gruntu. Następuje zapoczątkowanie wypierania gruntu spod gazociągu – obserwuje się częściowy wzrost obszarów ścicia (stanu granicznego) gruntu wokół gazociągu – głównie wskutek nawodnienia gruntu.

Dalsze przemieszczanie gruntu (pełzanie) zachodzi bez zwiększania obciążeń gruntu przy jednoczesnym stałym wypieraniu gruntu spod gazociągu i opływie gruntu po jego obwodzie. Następuje przekroczenie obciążeń granicznych gruntu i dalsze pełzanie gruntu wraz z gazociągiem.

Podczas ścinania gruntu w strefie poślizgu występuje tarcie posuwiste i potoczyste, opór zazębienia i opór struktury gruntu oraz opór wywołany wzajemnym przyciąganiem cząstek gruntowych (spójność). Opór tarcia posuwistego (tarcia zewnętrzne) występuje na powierzchni ziaren i cząstek, natomiast opór tarcia potoczystego wynika z obrotu ziaren w stosunku do ziaren sąsiednich. Opór zazębienia się poszczególnych ziaren wynika z ich chropowatości, falistości i nierówności kształtów. Opór struktury jest związany z niszczeniem struktury naturalnej gruntu. Łączne opory tarcia posuwistego, potoczystego, opór strukturalny i zazębienia nazywa się oporem tarcia wewnętrznego. Opór tarcia wewnętrznego zależy od naprężenia normalnego do powierzchni poślizgu i kąta tarcia wewnętrznego .

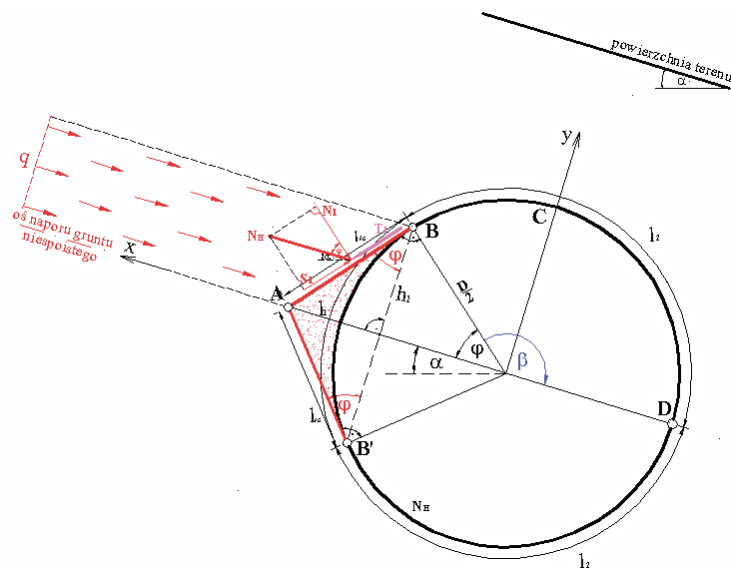
Wartość kąta tarcia wewnętrznego zależy od:

- składu mineralnego gruntu,
- wielkości ziaren i ich kształtu,
- stopnia zagęszczenia gruntu,
- stopnia nasycenia wodą.
- rodzaju powierzchni ziaren (zaokrąglone czy ostrokrawędziste).

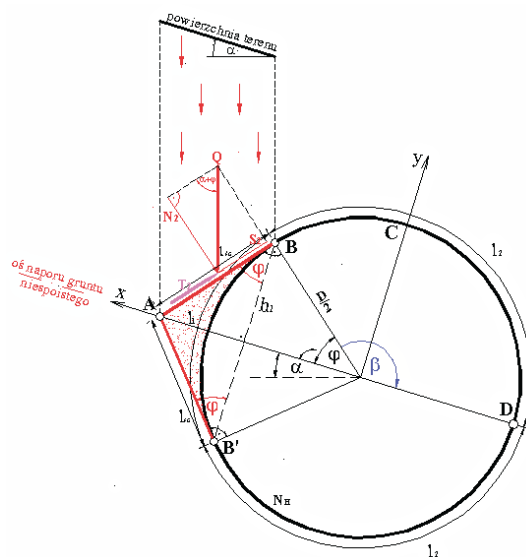
Im grubsze są ziarena, tym szersza strefa jest ogarnięta tarcem wewnętrznym ziaren. Im bardziej ostre są krawędzie i chropowate powierzchnie ziaren, tym większy jest opór tarcia przy ich wzajemnym przesuwie i obrocie oraz wynikający z ich wzajemnego zaklinowania się. Im bardziej grunt jest zagęszczony, tym mniej swobody mają poszczególne ziarna przy obrocie i tym większy jest opór przy ścinaniu. W gruncie spoistym im więcej jest cząstek ilastych, tym mniejsze jest tarcie wewnętrzne, gdyż cząstki te, tworząc dookoła grubszych ziaren otoczkę, ułatwiają ich poślizg. Tarcie zmniejsza się w miarę zawilgocenia gruntu, woda działa jak smar zmniejszający współczynnik tarcia wewnętrznego. Duży wpływ, szczególnie w gruntach spoistych, na wartość kąta tarcia wewnętrznego wywiera także wartość wstępnego obciążenia i szybkość narastania obciążeń.

Spójność czyli kohezja, jest to opór gruntu stawiany siłom zewnętrznym, a wywołany wzajemnym przyciąganiem cząstek składowych gruntu (siłami molekularnymi przyciągania). Spójność ta jest spowodowana ścisłym, wzajemnym przyleganiem ziaren i cząstek gruntu, częściowym ich zlepianiem przez cząstki koloidalne oraz napięciem błonek wody, które je otaczają. W miarę wzrostu średnicy ziaren spójność maleje i całkowicie zanika w gruntach niespoistych (np. żwirach i piaskach). Spójność w gruntach spoistych maleje ze wzrostem wilgotności, kiedy woda wciskając się między cząsteczki gruntu, niszczy wiąza-

nia wody błonkowej i zwiększa odległość między nimi, co powoduje zmniejszenie sił molekularnego przyciągania. Również przy wysychaniu gruntu maleje spójność, ponieważ wyparowuje woda błonkowa. W gruntach spoiwych siły spójności przeciwdziałają naprężeniom ścinającym. Schematy rozkładu sił powodujących płygnięcie gruntu niespoistego wokół gazociągu przedstawiono na rysunkach 1 i 2.



Rys. 1. Rozkład sił pływnięcia gruntu niespoistego wokół gazociągu N_1 , N_H , T_1



Rys. 2. Oddziaływanie gruntu nad gazociągami w gruntach niespoistych

Graniczne naprężenia ścinające σ_{gr} dla gruntu sypkiego możemy obliczyć z zależności:

$$\sigma_{gr} = \tau_{gr} \cdot \frac{kN}{m^2} \quad (1)$$

$$\frac{N_1 - N_2}{F_{sc}} = \frac{kN}{m^2} \quad (2)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{N_1}{N_H} \quad (3)$$

$$N_1 = N_H \cdot \cos(\alpha) \quad [kN] \quad (4)$$

$$Q = V \quad [kN] \quad (5)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{N_2}{Q} \quad (6)$$

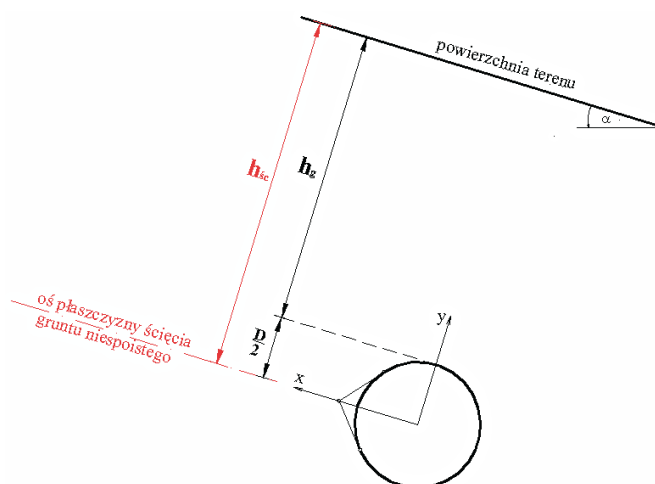
gdzie $\sin(\alpha) = \cos[90^\circ - (\alpha)]$.

$$N_2 = Q \cdot \sin(\alpha) \quad [kN] \quad (7)$$

$$V = F_{sc} \cdot h_{sc} \quad (8)$$

$$h_{sc} = h_g \cdot \frac{D}{2} \quad (9)$$

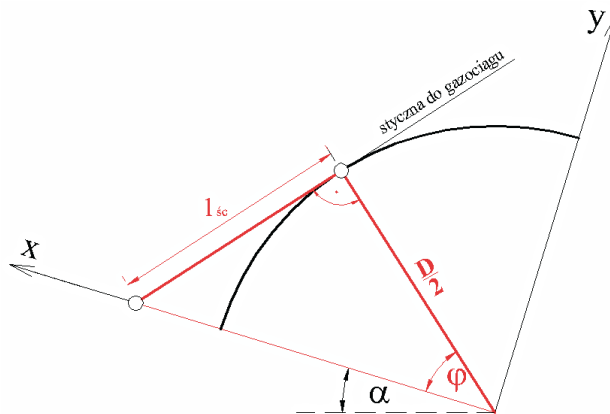
$$F_{sc} = l_{sc} \cdot L \quad (10)$$



Rys. 3. Schemat przekroju poprzecznego posadowienia gazociągu

$$F_{\acute{s}c} = \frac{1}{2}DL\text{tg} \quad (11)$$

Z rysunku 4 wyznaczyć można $\text{tg} \alpha$.



Rys. 4. Schemat do wyznaczenia długości ściętego klina $l_{\acute{s}c} \text{tg} \frac{l_{\acute{s}c}}{D} \frac{D}{2}$

$$V = F_{\acute{s}c} h_{\acute{s}c} \quad (12)$$

$$V = \frac{1}{2}DL\text{tg} \alpha \cdot h_g \cdot \frac{D}{2} \quad [\text{m}^3] \quad (13)$$

$$Q = V$$

$$Q = \frac{1}{2}DL\text{tg} \alpha \cdot h_g \cdot \frac{D}{2}$$

$$Q = \frac{1}{4} DL(2h_g + D)\text{tg} \alpha \quad (14)$$

$$N_2 = Q \sin(\alpha)$$

$$N_2 = \frac{1}{4} DL(2h_g + D)\text{tg} \alpha \cdot \sin(\alpha) \quad [\text{kN}] \quad (15)$$

$$\frac{N_1}{F_{\acute{s}c}} = \frac{N_2}{F_{\acute{s}c}}$$

$$\frac{N_H \cos \left(\frac{1}{4} DL(2h_g - D) \operatorname{tg} \sin(\quad) \right)}{\frac{1}{2} DL \operatorname{tg}},$$

$$\frac{4N_H \cos \left(DL(2h_g - D) \operatorname{tg} \sin(\quad) \right)}{2DL \operatorname{tg}} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (16)$$

$$\frac{4N_H \cos \left(DL(2h_g - D) \operatorname{tg} \sin(\quad) \right)}{2DL \operatorname{tg}} \operatorname{tg}$$

$$\frac{4N_H \cos \left(DL(2h_g - D) \operatorname{tg} \sin(\quad) \right)}{2DL} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (17)$$

Obliczenie siły tarcia całkowitego T_c opływu gruntu niestatecznego wokół gazociągu

$$T_c = T_{A-B} + T_{B-D} \quad [\text{kN}] \quad (18)$$

Oliczenie siły tarcia wewnętrznego T_{A-B} pomiędzy dwiema powierzchniami tego samego gruntu ściętego na odcinku l_{A-B}

$$T_{A-B} = T_1 - T_2 \quad (19)$$

$$T_1 = \acute{s}c N_1,$$

dla gruntu niespoistego $\acute{s}c = \operatorname{tg} \delta$.

$$T_1 = N_1 \operatorname{tg} \delta,$$

$$N_1 = N_H \cos \alpha,$$

$$T_1 = N_H \cos \alpha \operatorname{tg} \delta \quad [\text{kN}] \quad (20)$$

$$T_2 = \acute{s}c N_2 \quad (21)$$

$$T_2 = N_2 \operatorname{tg} \delta \quad (22)$$

$$N_2 = \frac{1}{4} DL(2h_g - D) \operatorname{tg} \sin(\quad)$$

$$T_2 = \frac{1}{4} DL(2h_g - D) \operatorname{tg} \sin(\quad) \operatorname{tg} \delta \quad (23)$$

$$T_2 = \frac{1}{4} DL(2h_g - D) \operatorname{tg}^2 \delta \sin(\quad) \quad [\text{kN}] \quad (24)$$

$$T_{A-B} = T_1 - T_2,$$

$$T_{A-B} = N_H \cos \alpha \operatorname{tg} \left(-\frac{1}{4} DL(2h_g - D) \operatorname{tg}^2 \alpha \right) \sin(\alpha),$$

$$T_{A-B} = \operatorname{tg} \left(N_H \cos \alpha - \frac{1}{4} DL(2h_g - D) \operatorname{tg} \alpha \right) \sin(\alpha) \quad [\text{kN}] \quad (25)$$

Obliczenie siły tarcia wewnętrznego T_{B-D} między izolacją gazociągu a ściętym gruntem niestatecznym na odcinku l_2 (rys. 5, 6)

$$T_{B-D} = T_1 - T_2 \quad (26)$$

$$l_2 = l_{B-C} - l_{C-D} \quad [\text{m}],$$

$$T_1 = g\text{-gr} N_1 \quad (27)$$

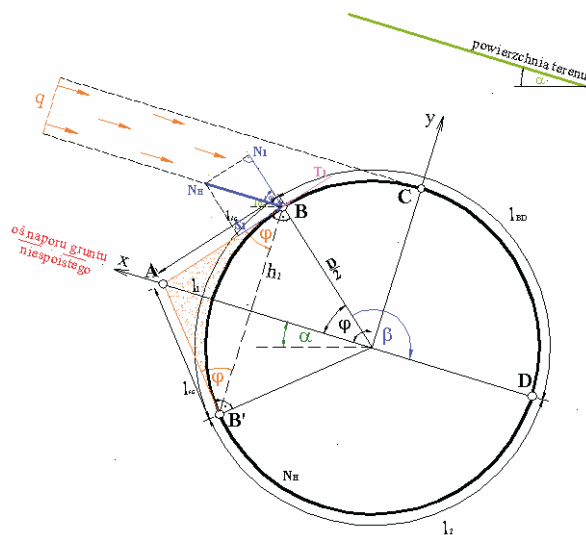
$$N_1 = N_H \cos \alpha \quad (28)$$

$$T_1 = N_H \cos \alpha \operatorname{tg} \alpha \quad [\text{kN}] \quad (29)$$

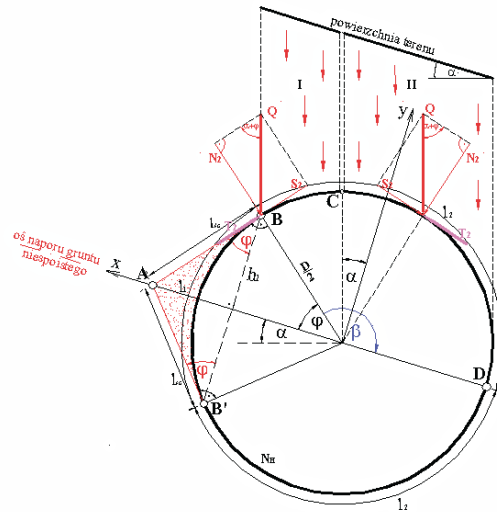
$$T_2 = -T_{B-C} = T_{C-D} \quad (30)$$

$$T_{B-C} = g\text{-gr} N_{2B-C} \quad (31)$$

$$N_{2B-C} = Q_{B-C} \sin(\alpha) \quad [\text{kN}] \quad (32)$$



Rys. 5. Schemat do obliczenia siły tarcia wewnętrznego między izolacją gazociągu a ściętym gruntem niestatecznym na odcinku l_{B-C}



Rys. 6. Schemat do obliczenia siły tarcia wewnętrznej między izolacją gazociągu a ściętym gruntem niestatecznym na odcinku l_{B-D}

$$Q_{B-C} = V_{B-C} \quad (33)$$

$$V_{B-C} = F_{sc} h_{sc} \quad (34)$$

$$F_{sc} = l_{B-C} L \quad (35)$$

$$dl_{2_{B-C}} = \frac{2 \frac{D}{2}}{360} d^2,$$

$$dl_{2_{B-C}} = \frac{2 \frac{D}{2}}{360} |^2,$$

$$l_{2_{B-C}} = \frac{2 \frac{D}{2}}{360} (2 - 1),$$

$$l_{2_{B-C}} = D \frac{(2 - 1)}{360} \text{ [m]} \quad (36)$$

$$F_{l_{2_{B-C}}} = l_{2_{B-C}} L,$$

$$F_{l_{2_{B-C}}} = D \frac{(2 - 1)}{360} L \text{ [m}^2\text{]} \quad (37)$$

dla α_1 i $\alpha_2 = 90^\circ$ - .

$$B-C = 90^\circ - \alpha,$$

$$N_{2B-C} = Q_{B-C} \sin(\alpha),$$

$$N_{2B-C} = V_{B-C} \sin(\alpha),$$

$$N_{2B-C} = F_{l_{B-C}} h_{sc} \sin(\alpha),$$

$$N_{2B-C} = D \frac{(2-1)}{360} L h_{sc} \sin(\alpha) \quad (38)$$

$$h_{sc} = h_g \frac{D}{2},$$

$$N_{2B-C} = D \frac{(2-1)}{360} L h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha),$$

$$N_{2B-C} = D \frac{(90 - \alpha)}{360} L h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \text{ [kN]} \quad (39)$$

$$T_{2B-C} = g-gr N_{2B-C},$$

$$T_{2B-C} = g-gr D \frac{(90 - \alpha)}{360} L h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \text{ [kN]} \quad (40)$$

$$N_{2C-D} = Q_{C-D} \sin(\alpha) \text{ [kN]} \quad (41)$$

$$Q_{C-D} = V_{C-D} \quad (42)$$

$$V_{C-D} = F_{sc_{C-D}} h_{sc} \quad (43)$$

$$F_{sc_{C-D}} = l_{C-D} L \quad (44)$$

$$dl_{2C-D} = \frac{2}{360} \frac{D}{2} d^2,$$

$$dl_{2C-D} = \frac{2}{360} \frac{D}{2} \left| \frac{d}{2} \right|^2,$$

$$l_{2C-D} = \frac{2}{360} \frac{D}{2} (3-2),$$

$$l_{2C-D} = D \frac{(3 - 2)}{360} \quad [\text{m}] \quad (45)$$

$$F_{l_{2C-D}} = l_{2D-D} L, \\ F_{l_{2C-D}} = D \frac{(3 - 2)}{360} L \quad [\text{m}^2] \quad (46)$$

dla $\alpha = 90^\circ - \alpha_3 = 180^\circ$.

$$90^\circ - \alpha_{C-D} = 180^\circ, \\ N_{2C-D} = Q_{C-D} \sin(\alpha), \\ N_{2C-D} = V_{C-D} \sin(\alpha), \\ N_{2C-D} = F_{l_{C-D}} h_{sc} \sin(\alpha), \\ N_{2C-D} = D \frac{(3 - 2)}{360} L h_{sc} \sin(\alpha) \quad (47)$$

$$h_{sc} = h_g \frac{D}{2}, \\ N_{2C-D} = D \frac{(3 - 2)}{360} L h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha), \\ N_{2C-D} = D \frac{(180 - 90 - \alpha)}{360} L h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha), \\ N_{2C-D} = D \frac{(90 - \alpha)}{360} L h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \quad [\text{kN}] \quad (48)$$

$$T_{2C-D} = g_{gr} N_{2C-D}, \\ T_{2C-D} = g_{gr} D \frac{(90 - \alpha)}{360} L h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \quad [\text{kN}] \quad (49)$$

$$T_2 = -T_{2B-C} = T_{2C-D}, \\ T_2 = g_{gr} D \frac{(90 - \alpha)}{360} L h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \\ g_{gr} D \frac{(90 - \alpha)}{360} L h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \quad [\text{kN}]$$

$$T_2 = g_{gr} DL h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \left(\frac{(90 - \alpha)}{360} - \frac{(90 - \alpha)}{360} \right),$$

$$T_2 = g_{gr} DL h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \frac{1}{360} \quad [\text{kN}] \quad (50)$$

$$T_{B-D} = T_1 - T_2,$$

$$T_{B-D} = N_H \cos \alpha_{gr} - g_{gr} DL h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \frac{1}{360},$$

$$T_{B-D} = g_{gr} N_H \cos \alpha - DL h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \frac{1}{360} \quad (51)$$

$$T_c = T_{A-B} - T_{B-D},$$

$$T_c = \text{tg} \alpha_{gr} N_H \cos \alpha - \frac{1}{4} DL(2h_g - D) \text{tg} \alpha \sin(\alpha) \quad [\text{kN}] \quad (52)$$

$$g_{gr} N_H \cos \alpha - DL h_g \frac{D}{2} \sin(\alpha) \frac{1}{360}$$

WNIOSKI

- Odształcenia gruntu wokół eksploatowanego gazociągu narastają stopniowo, osiągając wartości graniczne po upływie dłuższego czasu, który zależy od właściwości fizycznych gruntu wokół gazociągu, stopnia nawodnienia stoku, oraz kąta nachylenia stoku.
- W czasie eksploatacji gazociągu w niestabilnych gruntach niespoistych, w pierwszym okresie grunt przemieszcza się wokół gazociągu tylko wskutek jego ściśliwości. Przemieszczenie gruntu wokół gazociągu jest wprost proporcjonalne do przyrostu obciążenia gruntu (liniowa zależność odształcenia od obciążenia).
- W miarę upływu czasu i w miarę wzrastania obciążenia gruntu (głównie wskutek nawodnienia gruntu) następuje dalszy przyrost przemieszczeń gruntu oraz zapoczątkowanie wypierania gruntu spod gazociągu – występuje częściowy wzrost obszarów ścięcia (stanu granicznego) gruntu wokół gazociągu.
- Dalsze przemieszczanie gruntu (pełzanie) zachodzi bez zwiększania obciążeń gruntu przy jednoczesnym stałym wypieraniu gruntu spod gazociągu i opływie po jego obwodzie. Następuje przekroczenie obciążeń granicznych gruntu i pełzanie gruntu wraz z gazociągami.

LITERATURA

- [1] Galas M., Mijał M.: *Stabilizacja gazociągów posadowionych w niestabilnych gruntach*. Kraków, AGH 2003 (praca doktorska)
- [2] Galas M., Wilk S.: *Wykonanie zabezpieczenia częściowo odkrytego gazociągu DN 500 mm Czechówka – Skawina na czynnym osuwisku w miejscowości Świątniki Górne, gm. Świątniki Górne, pow. krakowski, woj. małopolskie metodą ciągien kotwiących*. PGNiG S.A. w Warszawie ROP Tarnów, 2000 – Projekt Wykonawczy (materiały niepublikowane)
- [3] Glazer Z.: *Mechanika gruntów*. Warszawa, Wydawnictwo Geologiczne 1985
- [4] Glazer Z., Malinowski J.: *Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa*. Warszawa, PWN 1991
- [5] Pisarczyk S.: *Gruntoznawstwo inżynierskie*. Warszawa, PWN 2001
- [6] Pisarczyk S.: *Mechanika gruntów*. Warszawa, Oficyna Wydawnicza PW 1999
- [7] Sokołowski K., Trąmpczyński W.: *Wstęp do mechaniki gruntów*. Kielce, Skrypt nr 358, WPS, 2000
- [8] Stryczek S., Gonet A.: *Geoinżynieria*. Kraków, PAN 2000
- [9] Wilk S., Galas M.: *Metody określania warunku stateczności gruntów tworzących zbocza i ich potencjalnego oddziaływania na posadowione w nich gazociągi magistralne*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 19/2, 2002
- [10] Wilk S., Galas M.: *Właściwości mechaniczne gruntów osuwiskowych i ich potencjalne oddziaływanie na posadowione w tych gruntach gazociągi magistralne*. Rocznik AGH Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 19/1, 2002
- [11] Wilk S., Łuczyński S., Galas M.: *Technologia stabilizacji magistralnych gazoprowadów w połuzszych gruntach*. Kazachskij Nacjonalnyj Uniwersytet imieni Al-Farabi, Trudy Merzdunarodnoi Konferenciji „Sowremiennyje Problemy Mechaniki”, Alma – Ata wrzesień 2001
- [12] Wiłun Z.: *Zarys geotechniki*. Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2000