ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1985

Seria: BUDOWNICTWO z. 61 Nr kol. 842

Leszek LITWINOWICZ

Politechnika Lubelska

ZMIANA WYTRZYMAŁOŚCI GRUNTÓW POD WPŁYWEM ROZLUŹNIENIA WYWOŁANEGO EKSPLOATACJĄ GÓRNICZĄ

Streszczenie. W pracy przedstawiono sposób prognozowania zmian wytrzymałości gruntu, zachodzących pod wpływem rozluźnienia występującego na brzegu niecki górniczej.

1. WSTĘP

W zagadnieniach szkód górniczych przedmiotem analizy jest ocena zachowania się różnych obiektów inżynierskich w zasięgu niecki górniczej, w ścisłym powiązaniu z przewidywanymi parametrami deformacji powierzchni. Danych niezbędnych dla oceny stanu zagrożenia dostarczają prognozy górnicze, bazujące na odpowiednich rozwiązaniach mechaniki górotworu i osiągnięciach innych nauk górniczych.

Reakcje obiektów zabudowy powierzchni na deformacje terenu, wywołane podziemną eksploatacją górniczą, mają różny charakter. Budowle posiadające określoną sztywność (konstrukcje żelbetowe, stalowe itp.), w związku z modyfikacją warunków podparcia w płaszczyznach kontaktu konstrukcji z podłożem gruntowym reagują zmianą stanu naprężenia poszczególnych elementów i dodatkowymi deformacjami. Budowle ziemne (nasypy hydrotechniczne, komunikacyjne itp.), które są podatne na odkształcenia podłoża, w związku ze znikomą wytrzymałością gruntu na rozciąganie reagują zniszczeniem struktur uzyskanych w wyniku zagęszczania gruntu przy wznoszeniu budowli. W obu przypadkach o pracy budowli poddanej wpływom podziemnej eksploatacji górniczej decyduje wytrzymałość gruntu.

Wiadomo, że deformacje podłoża, związane z podziemną eksploatacją górniczą, w określony sposób wpływają również na zmianę wytrzymałości gruntu [1], [2]. Jedną z przyczyn, że fakt ten jest dotychczas pomijany w analizach zaistniałych szkód górniczych oraz przy projektowaniu budowli narażonych na te szkody, jest brak metody pozwalającej na prognozowanie zmian wytrzymałości gruntu na terenach górniczych. W pracy przedstawiono rozwiązanie tego zagadnienia przy wykorzystaniu zasad strukturalnej mechaniki zniszczenia gruntów.

2. ZMIANA WYTRZYMAŁOŚCI GRUNTU NA TERENACH GÓRNICZYCH W ŚWIETLE BADAŃ TERENOWYCH

Przykładem badań wytrzymałości gruntu na terenach górniczych w naturalnych warunkach działania eksploatacji górniczej są badania zrealizowane na kilku poligonach w Zagłębiu Donieckim [1]. Wnioski wynikające z tych badań mają istotne znaczenie dla rozpatrywanego problemu. Badania wykonywano na terenie występowania deluwialnych glin pylastych pochodzenia lessowego, tworzących warstwę jednorodnego, mało wilgotnego gruntu o znacznej miąższości. W pierwszym wariancie badania polegały na pobieraniu próbek gruntu w okresie występowania ekstremalnych wpływów eksploatacji górniczej na powierzchni oraz po ich wygaśnięciu, z otworów o głębokości 10 m, rozmieszczonych prostopadle do frontu robót górniczych. Eksploatowany był poziomy pokład węgla o grubości 1,6 m zalegający na głębokości 250 m. Próbki gruntu, pobierane z otworów na różnych głębokościach, poddawano dokładnym badaniom laboratoryjnym. Punktem odniesienia dla oceny wpływu eksploatacji było szczegółowe rozpoznanie pierwotnych własności gruntu. Uogólnione wyniki tych badań ilustruje tabl. 1.

Tablica 1

Wyniki badań deluwialnych glin pylastych przy eksploatacji pokładów zalegających płasko wg DONPROMSTROJNIIPROJEKT-u

Badany parametr	W czasie eksploatacji			Po eksploatacji		
	strefa			strefa		
	rozluźnienia	neutralna	zagęszczenia	rozluźnienia	neutralna	zagęszczenia
Spójność	-32	-23	-25	-25	+4,5	-30,2
Kąt tarcia wewnętrznego	+7	+2	+10	+4	-6	+12
Współczynnik strukturalnej wytrzymałości	-14	-10	-8,6	-12	+1	-12
Wskaźnik porowatości	+8	+6	+8	+3	-3	+6
Wilgotność	+0,6	+0,9	+1,1	+0,2	+0,2	+1,2
"+" przyrost wartości parametru w %, "-" spadek wartości parametru w %						

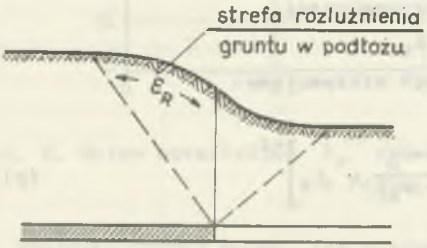
W drugim przypadku badania gruntu powiązano z eksploatacją pokładów pochylonych. Próbki o nienaruszonej strukturze pobierano z odkrywek na głębokości 2,8 m przed eksploatacją i po jej przejściu. Eksploatacja obejmowała kilka pokładów o sumarycznej miąższości 5,5 m, występujących na głę-

bokościach od 121 m do 330 m, w upadzie od 58° do 75°. Uśrednione wyniki tych badań podano w tabl. 2.

Tablica 2

Wyniki badań deluwialnych glin pylastych przy eksploatacji pokładów zalegających stromo wg DONPROMSTROJNIIPROJEKT-u

Badany parametr	Uśrednione wyniki	
	Przed eksploatacją	Po eksploatacji
Spójność 10^4 N/m^2	7,7	4,2
Kąt tarcia wewnętrznego	26°	30°
Wskaźnik porowatości	0,665	0,678
Wilgotność %	19,3	20,5



Rys. 1. Profil niecki górniczej

Z danych zamieszczonych w tabl. 1 i 2 wynika, że wpływ eksploatacji górniczej, objawiający się na powierzchni występowaniem poziomych odkształceń rozluźniających ε_R=3÷10 mm/m (rys. 1), w zauważalny sposób zmienia pierwotną wytrzymałość gruntu.

Należy dodać, że badania in situ gruntów nasypowych były wykonywane w Głównym Instytucie Górnictwa. Realizowano je na obwałowaniach osadników znajdujących się pod wpływem eksploatacji górniczej.

3. PROPONOWANY SPOSÓB PROGNOZOWANIA ZMIAN WYTRZYMAŁOŚCI GRUNTU NA TERENACH GÓRNICZYCH

Wpływ odkształceń ε_R na wytrzymałość gruntu jest uwarunkowany przebiegiem progresji zniszczeń zachodzących w systemie więzi strukturalnych szkieletu mineralnego przy braku efektów wzmocnienia, analogicznych do obserwowanych na przykład w procesie pełzania gruntu. Dla odpowiednio dużych odkształceń $\varepsilon_R = \varepsilon_{kr}$ wytrzymałość gruntu poddanego rozluźnieniu w warunkach stałego obciążenia i nie zmieniającej się wilgotności może osiągnąć wartość trwałego oporu ścinania [3].

Podstawowym zadaniem przy rozwiązywaniu rozpatrywanego zagadnienia jest ustalenie funkcyjnej zależności pomiędzy wielkością oporu ścinania, rozumianego jako wytrzymałość gruntu τ_R oraz wielkością poziomych odkształceń ε_R. W celu znalezienia tej zależności, postępując zgodnie z przyję-

tą metodą, rozpatrzymy energię ΔE potrzebną do zniszczenia więzi strukturalnych gruntu zakładając, że zniszczenie to ma charakter kruchy. Słuszność tego założenia została szeroko omówiona w pracy [4].

Na podstawie przyjętych ustaleń można napisać:

$$\frac{\Delta E}{k\Theta} = \frac{\Delta \omega_R}{1 - \omega_R} = R(\tau_R - \tau_{kr})(\tau_o - \tau_R)^{-1} \Delta \varepsilon_R \tag{1}$$

gdzie:

- k - stała Boltzmana,
- Θ - temperatura bezwzględna,
- ω_R - stopień osłabienia strukturalnego, oznaczający procentową zawartość porów i mikrospękań dla określonej wielkości wymuszonych odkształceń $\Delta\varepsilon_R$,
- τ_o - wytrzymałość gruntu na ścinanie w stanie wyjściowym ($\varepsilon_R = 0$),
- τ_R - wytrzymałość gruntu dla $\varepsilon_R \neq 0$,
- R - empiryczny współczynnik proporcjonalności,
- τ_{kr} - wytrzymałość gruntu dla $\varepsilon_R = \varepsilon_{kr}$.

Z równania (1) po odpowiednich działaniach otrzymujemy:

$$\tau_R = \tau_o - (\tau_o - \tau_{kr})\, \varepsilon_R \left[\frac{1}{R} \ln \frac{1 - \omega_o}{1 - \omega_{kr}} + \varepsilon_R\right]^{-1} \tag{2}$$

gdzie:

- ω_o - stopień osłabienia strukturalnego dla $\varepsilon_R = 0$,
- ω_{kr} - stopień osłabienia strukturalnego dla $\varepsilon_R = \varepsilon_{kr}$.

Równanie (2) daje podstawę do wyznaczenia wielkości zmian spójności gruntu $\Delta C_R = C_o - C_R$ odpowiadającej określonej wielkości odkształceń ε_R:

$$\Delta C_R = \left[C_o - C_{kr} + \sigma(\mathrm{tg}\Phi_o - \mathrm{tg}\Phi_{kr})\right] \varepsilon_R (\alpha_R + \varepsilon_R)^{-1} - \sigma(\mathrm{tg}\Phi_o - \mathrm{tg}\Phi_R) \tag{3}$$

gdzie:

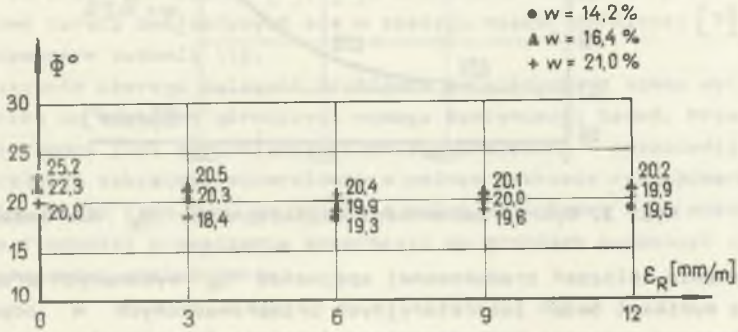
- C_o - spójność wyjściowa gruntu (dla $\varepsilon_R = 0$),
- C_R - spójność gruntu dla $\varepsilon_R \neq 0$,
- C_{kr} - spójność gruntu dla $\varepsilon_R = \varepsilon_{kr}$,
- σ - obciążenie pionowe działające na grunt przy rozluźnieniu.

Współczynnik α_R występujący w równaniu (3) oznacza:

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \ln \frac{1 - \omega_o}{1 - \omega_{kr}}.$$

W zagadnieniach praktycznych dopuszczalne jest przyjęcie założenia upraszczającego $\Phi_o = \Phi_R = \Phi_{kr} = \text{const}$. Wynika to z badań laboratoryjnych, których przykładem mogą być badania lessu wykonane przez autora metodą wstępnego rozluźnienia (rys. 2). Po wykorzystaniu tego założenia wzór na wielkość zredukowanej spójności C_R przyjmuje postać:

$$C_R = C_o - \left[C_o - C_{kr}\right](\alpha_R + \varepsilon_R)^{-1}\varepsilon_R \tag{4}$$



Rys. 2. Wpływ odkształceń ε_R na wielkość kąta tarcia wewnętrznego lessu o różnej wilgotności

Spójność gruntu można, jak wiadomo, traktować jako sumę wytrzymałości więzi strukturalnych typu kruchego, typu C_c oraz wytrzymałości więzi wodnokoloidalnych Σ_w. W odniesieniu do rozpatrywanego przypadku mamy:

$$C_R = C_c + \Sigma_w \tag{5}$$

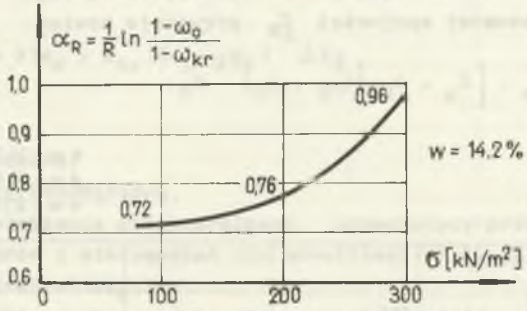
Założenie to jest wykorzystywane w praktyce również w normatywach dotyczących budownictwa na terenach górniczych [8]. W rozpatrywanym przypadku zastosujemy je do obliczenia zredukowanej spójności gruntu w warunkach działania intensywnego rozluźnienia, tj. gdy dla $\varepsilon_R = \varepsilon_{kr}$ można przyjąć $C_{kr} = \Sigma_w$. Po uwzględnieniu we wzorze (4) zależności (5) otrzymujemy:

$$C_R = C_o - C_c\left[\alpha_R + \varepsilon_R\right]^{-1}\varepsilon_R \tag{6}$$

Wytrzymałość więzi kruchych C_c, występującą we wzorze (6), wyznacza się znanymi w mechanice sposobami.

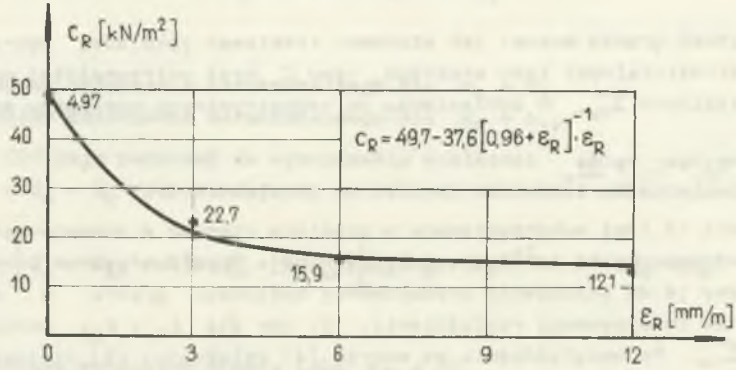
We wzorach (3), (4) i (6) występuje parametr α_R. Jest to parametr, którego sens fizyczny wynika z potwierdzonego empirycznie założenia $\omega_{kr} = \text{const}$. Bliższe szczegóły na ten temat oraz opis sposobu wyznaczania tego parametru można znaleźć w pracach [4] i [5]. Na rys. 3 przedstawiony

jest wykres zmienności α_R dla lessu o naruszonej strukturze i wilgotności w = 14,2% przy różnych wielkościach obciążenia pionowego działającego na grunt podczas rozluźnienia.



Rys. 3. Wykres zmienności współczynnika α_R dla lessu

Porównanie obliczeń zredukowanej spójności C_R wykonanych proponowaną metodą z wynikami badań laboratoryjnych przeprowadzonych w odpowiednio zmodyfikowanym aparacie bezpośredniego ścinania (wg pomysłu opracowanego w Głównym Instytucie Górnictwa) przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Porównanie wyników obliczenia C_R z wynikami badań lessu w = 14,2%, σ = 300 kN/m²

Wykres przedstawiony linią ciągłą ilustruje wyniki obliczeń uzyskane za pomocą wzoru (4), wyniki badań laboratoryjnych zaznaczono na rysunku punktami.

3. WNIOSKI

Zadowalająca zgodność wyników badan z obliczeniami świadczy o tym, że przedstawiona interpretacja wpływu rozluźniających odkształceń ε_R na wytrzymałość gruntu jest poprawna.

Podane rozwiązania mogą mieć zastosowanie w różnych zagadnieniach geotechniki terenów górniczych, np. przy ocenie stateczności budowli ziemnych na terenach górniczych [4], [6], obliczaniu wielkości parcia gruntu na obudowę tuneli znajdujących się w zasięgu niecki górniczej [7], nosności fundamentów budowli itp.

Rozwiązanie szeregu dalszych problemów związanych z oceną wytrzymałości gruntów na terenach górniczych wymaga kontynuacji badań. Przede wszystkim niezbędne jest wyjaśnienie przebiegu procesów niszczenia więzi strukturalnych szkieletu mineralnego w pełnym zakresie realizowanego rozluźnienia. Badań tego typu na poziomie mikro dotychczas nie wykonywano z uwagi na trudności prowadzenia obserwacji na próbkach poddanych nieprzerwanemu procesowi rozluźnienia.

LITERATURA

[1] Bronsztejn B.E.: Izmienienije fizik -miechaniczeskich swojstw gruntow pri ich podrabotkie. Stroitielstwo ›orużenij nad gornymi wyrabotkami 6, 1967.

[2] Ledwoń J.A.: Budownictwo na terenach górniczych. Arkady 1983.

[3] Litwinowicz L.: Ocena parametrów geotechnicznych przy obliczaniu nasypów na terenach górniczych. Mat. II Sesji Nauk. Inst. Inż Ląd. Pol. Częstochowskiej, 1981.

[4] Litwinowicz L.: Wpływ rozluźnienia nasypów znajdujących się w zasięgu oddziaływania podziemnej eksploatacji górniczej na ich stateczność. Prace Inst. Inż. Bud. i Sanit. Pol. Lubelskiej. Seria A (Monografie Nr 7, 1982.

[5] Litwinowicz L.: The influence of horizontal expansion on soil strength in mining areas. 3-rd International Conf. on Movements and Structures UWIST, Cardiff, 1984.

[6] Litwinowicz L.: The influence of ground surface deformations caused by underground mining on the state of stress in embankments. 2 nd International Conf. on Ground Movements and Structures, UWIST, Cardiff, 1980.

[7] Litwinowicz L., Kłosek K.: Effect of mining subsidence on near surface underground structures. Developments in Geotechnical Engineering. Vol. 32, 1982.

[8] Metodiczeskije rekomendacji po projektirowaniju zdanij i sooruzenij. Kijew 1976.

ИЗМЕНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ
НА ПОДРАБАТЫВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Р е з ю м е

В статье представлен метод прогнозирования сопротивления грунтов в зависимости от их разрыхления, вызваного горной подработкой.

THE INFLUENCE OF UNDERGROUND MINING EXPLOITATION
ON SOIL STRENGTH

S u m m a r y

In the paper a method of soil strength analysis in mining areas under soil loosing is presented.