

Maria WYSTRYCHOWSKA

WPLYW CZASU NA REDUKCJĘ PARCIA GRUNTU
NA ŚCIANY BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH

Streszczenie. W publikacji podjęto próbę oceny wartości parcia gruntu na ściany podziemnych budowli z uwzględnieniem zjawisk reologicznych powstających w gruncie. Oparto się na jednym z podanych w literaturze sposobów wyznaczania dodatkowego naporu wywołanego wpływami eksploatacji górniczej na ściany budowli zagłębionych. Przeprowadzono analizę możliwości zastosowania dwóch modeli reologicznych do przedmiotowego zjawiska: modelu Maxwella i modelu Zenera. Wprowadzono sposób obliczeń oparty na metodzie kolejnych przybliżeń i na rachunku różnicowym.

1. Wstęp

Budowle hydrotechniczne typu pompowni, obiektów oczyszczalni, zbiorników itp. są często znacznie zagłębione poniżej poziomu terenu. W przypadku lokalizacji tych budowli na terenach wpływów eksploatacji górniczej w większości przypadków decydującym czynnikiem w ich odporności na wpływy górnicze jest wytrzymałość na poziome spełzanie gruntu. Spełzanie to daje zwiększenie parcia gruntu na ściany obiektu w stosunku do wartości parcia czynnego.

W dotychczasowych metodach obliczania wartości zwiększonego parcia traktowano je jako parcie bierne lub też wychodzono z modelu ćwierćprzeźreni gruntowej odznaczającej się cechą podłoża Winklerowskiego [6].

Przy stosowanych sposobach obliczeń traktowano wpływ spełzania gruntu jako działanie doraźne z pominięciem czynnika czasu. Spostrzeżenia praktyczne jednak sugerują, że wspomniane sposoby oceny wartości parcia gruntu na ściany w warunkach górniczego spełzania terenu dają wartości zawyżone.

W obecnej publikacji, podjęto próbę oceny wartości parcia gruntu na ściany podziemnych części budowli z uwzględnieniem zjawisk reologicznych powstających w gruncie [5].

Przy stosowaniu w toku niniejszej analizy kilku podstawowych modeli gruntowych [2], [3], [4] wprowadzono sposób obliczeń oparty na metodzie kolejnych przybliżeń i na rachunku różnicowym, omijając w ten sposób trudności matematyczne związane z wyprowadzeniem odpowiednich układów równań różniczkowych i ich rozwiązaniem.

W niniejszej pracy posłużono się kolejno dwoma modelami lepko-sprężystymi gruntu, a mianowicie modelem Maxwella i Zenera. Dla każdego z tych przypadków rozpatrzono dwa podstawowe typy zadań. W pierwszym z nich, o znaczeniu czysto teoretycznym, zakłada się wyraźne wystąpienie określonej wartości spełzania oraz ekstremalnej wartości parcia gruntu. Z upływem czasu parcie to ulega spadkowi. Rozpatrywany przypadek eprowadza się zatem do czystego zjawiska relaksacji gruntu. W drugim typie zadania, bardziej zbliżonym do rzeczywistego obrazu zjawisk zachodzących w gruncie napieraającym na ściany budowli, uwzględnia się narastanie spełzania terenu w czasie. Biorąc przy tym pod uwagę przebiegający jednocześnie proces lepko-sprężystych odkształceń gruntu, uzyskuje się poszukiwany przebieg zmian ciśnień gruntu na ścianę.

2. Doraźne parcie gruntu przy jego spełzaniu na ściany budowli

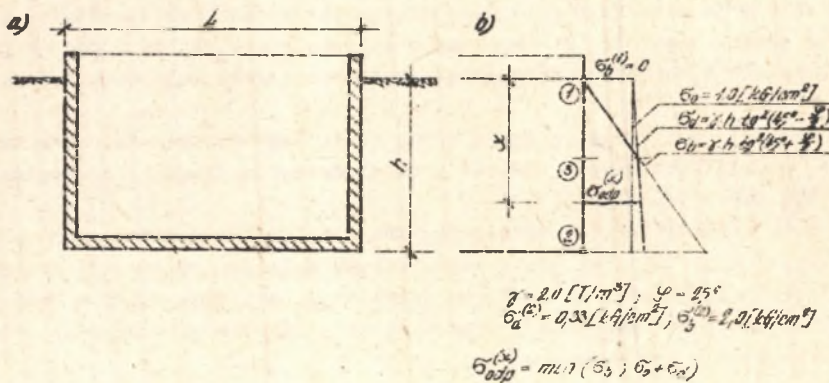
Przy wyznaczeniu wartości poziomego parcia gruntu na ściany oporcowa, przyjęto często stosowany sposób obliczeń polegający na uwzględnieniu Winklerowskiej ówierćpłaszczyzny gruntowej [6]. W przypadku budowli o długości L i wysokości h , na część podziemnej ściany działa, przy wartości spełzania gruntu ε [mm/m], naprężenie poziome

$$\sigma_0 = \frac{E \Delta_0}{0,75 h} \quad (1)$$

gdzie dodatkowo wprowadzono

$$\Delta_0 \approx \varepsilon(0,75 h + 0,25 L), \quad (2)$$

dla przypadku, gdy $3h \leq B$ (B - szerokość budowli).



Rys. 1

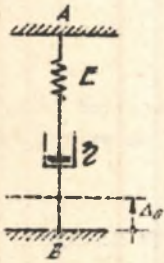
Przykładowo biorąc, dla $E_g = 220 \text{ kg/cm}^2$; $\varepsilon = 0,0016$; $L = 20 \text{ m}$; $h = 4,0 \text{ m}$: naprężenie początkowe obliczone wg wzoru (1) wynosi $\sigma_0 = 1,0 \text{ kg/cm}^2$.

Wyznaczanie rzeczywistego rozkładu gruntu na ścianę pionową, przy spełnianiu terenu, przebiega wg zasady wyboru wartości mniejszych spośród wartości oporu jednostkowego obliczonego metodą Coulomba oraz oporu wyznaczonego z warunku poziomego odkształcenia gruntowej półprzestrzeni sprężystej, tzn. wartości σ_0 ze wzoru (1) związanego o wartość parcia czynnego. Sposób wyznaczenia parcia poziomego dla przyjętych przykładowo cech mechanicznych gruntu przedstawia rys. 1b.

3. Analiza podstawowych modeli przyjętych do oceny parcia gruntu

3.1. Model Maxwella, przypadek relaksacji naprężeń w gruncie

W modelu Maxwella (rys. 2), przy przemieszczeniu początkowym jednej z podpór, np. podpory B o wartość Δ_0 , proponuje się następujący wzór różnicowy na określenie naprężenia w dowolnym czasie od chwili zaistnienia Δ_0



Rys. 2

$$\sigma_{T_1} = \frac{E}{T} \left(\Delta_0 - \sum_{k=1}^1 \frac{1}{T} \sigma_{k-1} \cdot \Delta T \cdot 1 \right), \quad (3)$$

przy czym:

Δ_0 - wyznacza się ze wzoru (2) [cm],

$T = 0,75 h$ [cm],

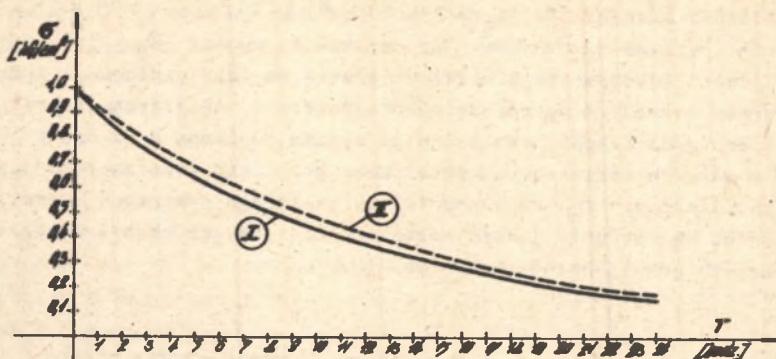
η - lepkość gruntu w $[\text{kg/cm}^2]$,

ΔT - wprowadzony do rachunku przedział czasu [s],

σ_{k-1} - wartość naprężenia odpowiadająca okresowi czasu zmienionemu o ΔT $[\text{kg/cm}^2]$.

Jak wynika z budowy wzoru (3) posiada on charakter rekurencyjny. Dla przyjętych uprzednio (w pkt.2) wartości liczbowych dotyczących wymiarów ustroju oraz wpływów górniczych ($\varepsilon = 0,0016$), przy wprowadzeniu dodatkowych wielkości $\eta = 1,08 \cdot 10^7 \text{ kg/cm}^2$ (twardoplastyczny ił pylasty) [1], pełnego czasu badania relaksacji $T = 1$ doba i obliczeniowych przedziałów czasowych $\Delta T = 1$ godz., zastosowano do obliczenia spadku naprężeń początkowych wzór (3). W tym obliczeniu, jak również w dalszych przykładach obliczeniowych ilustrujących przebieg spadku naprężeń, przyjęto jako wartość wyjściową obciążenia poziomego $\sigma_0 = 1,0 \text{ kg/cm}^2$, tzn. z pominięciem małej stosunkowo dodatkowej wartości czynnego parcia gruntu.

Równocześnie przykładowa analiza wpływu reologicznej deformacji gruntu odnosi się do głębiej położonego odcinka ściany (poniżej punktu 3 na rysunku 1b).



Rys. 3

Wykres zależności naprężeń od czasu przedstawia linia ciągła na rys.3. Na tym samym rysunku naniesiono linią przerywaną spadek naprężeń obliczony na podstawie dokładnego wzoru wynikającego z modelu Maxwella [7] o postaci:

$$\sigma_T = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{\Delta T \cdot E}{\eta}} \quad (4)$$

Należy zauważyć, że zaistniałe różnice między dwoma wykresami będą się zmniejszać w miarę zagęszczania przedziału czasowego ΔT we wzorze rekurencyjnym.

3.2. Model Maxwella, przypadek wolnego narastania odkształceń gruntu

Na ściany obiektu zagłębionego w gruncie oddziałują dodatkowe parcie poziome wywołane wpływami eksploatacji górniczej, będące wynikiem wolno przebiegającego procesu spełzania gruntu. W przeciętnych warunkach okres czasu, w którym dochodzi w terenie do ekstremalnej wartości spełzania (ϵ_{max}), w zależności oczywiście od postępu eksploatowanej ściany, wynosi od 1 do 2 miesięcy. Można by więc przyjmować za okres pełnej relaksacji gruntu czas $T_0 = 40$ dni.

Chcąc w tym przypadku korzystać ze wzorów różnicowych o charakterze rekurencyjnym, wolno narastający proces spełzania terenu zastępuje się umownymi, skokowo przebiegającymi deformacjami w przedziałach czasowych ΔT . W obecnym przypadku wartość naprężeń w dowolnym czasie T_k z uwzględnieniem skokowo przyjętego dodatku naprężeń wyrazi się wzorem

$$\sigma^{(k)} = \sigma_{k-1} + \frac{\sigma_0}{n} \quad (5)$$

gdzie:

$$n = \frac{T_0}{\Delta T}$$

Aktualny stan odkształcenia rozpatrywanej warstwy gruntu wynosi

$$\Delta^{(k)} = \frac{\sigma^{(k)} \cdot 1}{E}, \quad (6)$$

zaś odkształcenie reologiczne po czasie ΔT określa wzór

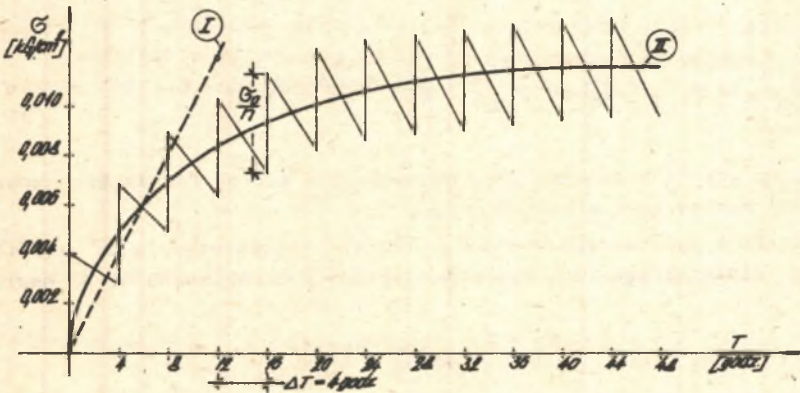
$$\Delta_{T,k} = \frac{1}{q} \sigma^{(k)} \cdot \Delta T \cdot 1 \quad (7)$$

Stan naprężeń w czasie $T_k = T_{k-1} + \Delta T$ wyraża się wzorem

$$\sigma_k = \frac{E}{1} (\Delta^{(k)} - \Delta_{T,k}). \quad (8)$$

Przyjmując wartości liczbowe jak w pkt. 3.1 przeprowadzono obliczenie w oparciu o wzory (5); (6); (7); (8).

Wyniki obliczeń przedstawia wykres na rysunku 4.



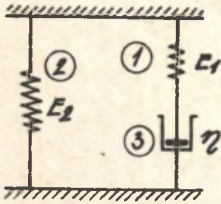
Rys. 4

W miarę zagęszczania przedziałów czasowych wykres "skokowy" zbliża się do linii ciągłej II określającej rzeczywisty przebieg zmian naprężeń w czasie podczas narastania spełnienia terenu. Linia przerywana (I) oznacza teoretyczny wzrost naprężeń odniesiony do idealnie sprężystego modelu gruntowego.

3.3. Model Zenera, przypadek relaksacji naprężeń w gruncie

Model Zenera (rys. 5) składa się z elementu sprężysto-lepkiego (η , E_1) oraz połączonego z nim równolegle elementu sprężystego (E_2).

Założenia pracy tego modelu są następujące:



Rys. 5

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_1,$$

$$\sigma_2 = E_2 \cdot \varepsilon_2,$$

$$\sigma_3 = \eta \frac{d\varepsilon_3}{dt},$$

$$\Delta_1 + \Delta_3 = \Delta_2.$$

Warunek ostatni prowadzi do równania różniczkowego postaci

$$d\varepsilon_2 = d\varepsilon_1 + \frac{\sigma_3}{\eta} dt,$$

zaś po przekształceniach i uporządkowaniu ze względu na σ

$$\sigma_1 + \frac{\eta}{E_1} \frac{d\sigma_1}{dt} = \left(1 + \frac{E_2}{E_1}\right) \eta \frac{d\varepsilon_1}{dt} + E_2 \cdot \varepsilon_1. \quad (9)$$

Stosując zasadę konsekwentnego wprowadzenia równań różnicowych zrezygnowano z korzystania z równania (9).

Wychodząc z tych samych założeń, które obowiązywały przy tworzeniu równania różniczkowego (9), dla równoległego modelu Zenera można napisać

$$\sigma_T = \sigma_{T(1,3)} + \sigma_{T(2)},$$

gdzie:

$\sigma_{T(1,3)}$ - wyznacza się z modelu Maxwella na podstawie wzoru (3),

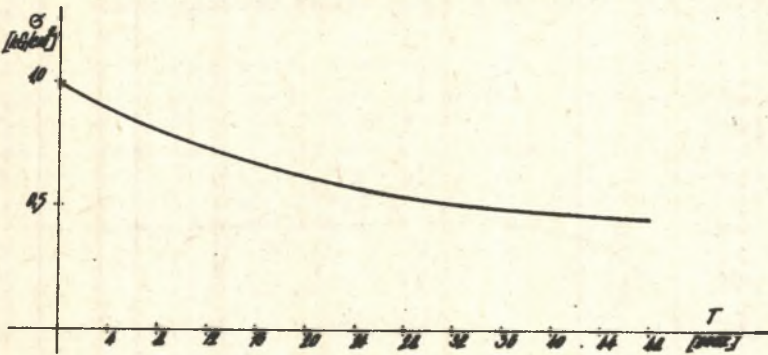
zaś

$$\sigma_{T(2)} = \frac{E_2 \cdot \Delta_0}{1}$$

Stąd

$$\sigma_{T_i} = \frac{(E_1 + E_2) \cdot \Delta_0}{1} - \frac{E_1}{1} \sum_{k=1}^i \frac{1}{\eta} \sigma_{k-1} \cdot \Delta T \cdot 1, \quad (10)$$

Na podstawie równania (10) oraz przyjmując dodatkowe wartości $E_1 = 140 \text{ kg/cm}^2$ i $E_2 = 80 \text{ kg/cm}^2$ przeprowadzono obliczenia, których wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 6). Wykres ten przedstawia spadek naprężeń w czasie przy wystąpieniu doraźnego naprężenia σ .



Rys. 6

3.4. Model Zenera, przypadek wolnego narastania odkształceń gruntu

Podobnie jak w przypadku modelu Maxwella wolne narastanie górniczego spełzania powierzchni terenu zastępuje się skokowymi przyrostami odkształceń. Wartość naprężeń w dowolnym czasie T_k wyraża się również za pomocą wzoru (6)

$$\sigma(k) = \sigma_{k-1} + \frac{\sigma_0}{q}$$

Aktualny stan odkształcenia rozpatrywanej warstwy gruntu wynosi

$$\Delta(k) = \frac{\sigma(k)}{E_1 + E_2} \cdot 1, \tag{11}$$

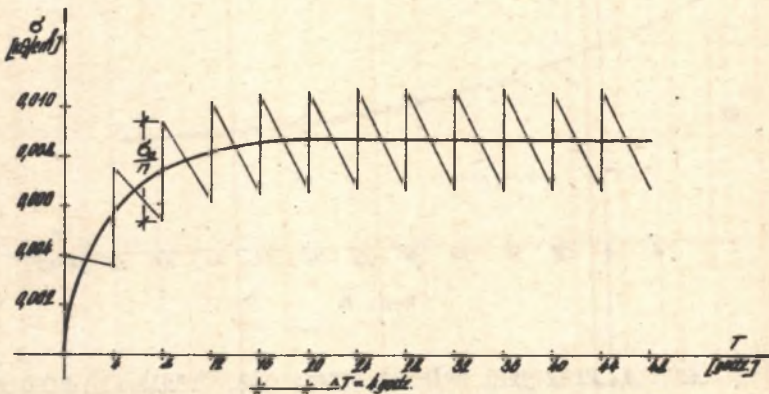
zależ odkształcenie reologiczne po czasie ΔT wynosi

$$\Delta_{T,k} = \frac{1}{q} \frac{\sigma(k)}{1 + \frac{E_2}{E_1}} \Delta T \cdot 1.$$

Natomiast po czasie $T_k = T_{k-1} + \Delta T$ stan naprężeń wyrazi się wzorem

$$\sigma_k = \frac{E_1}{1} (\Delta(k) - \Delta_{T,k}) + \frac{E_2}{1} \cdot \Delta(k) \tag{12}$$

W oparciu o wzór (12) i wprowadzając dodatkowe wielkości jak w przypadku obliczeń przykładowych zawartych w pkt. 3.2, wykonano wykres zmian naprężeń w czasie (rys. 7). Z wykresu wynika, że naprężenia poziome w gruncie przekazywane na ścianę nie osiągają nigdy wartości, którą obliczyliby się w oparciu o model Winklera z pominięciem czynnika czasu.



Rys. 7

4. Wnioski i uwagi końcowe

W przytoczonych rozważaniach dotyczących sposobu obliczania parcia gruntu na ściany budowli podczas jego spełzania wywołanego wpływami eksploatacji górniczej posłużono się modelami reologicznymi gruntu, stosując wzory różnicowe typu rekurencyjnego.

Zbieżność wyniku takiego sposobu obliczeń z wynikami uzyskiwanymi na podstawie sposobów ścisłych opartych na równaniu różniczkowym zademonstrowano w pierwszym typie zadania (wykres rys. 3). Porównań takich nie dało się przeprowadzić w zadaniach następnych, gdyż rozwiązań ścisłych dotyczących rozpatrywanego zagadnienia dotąd w literaturze brak.

Przeprowadzona analiza ma na celu przede wszystkim wskazać na metodykę postępowania z możliwością zastosowania metod przybliżonych. Poszczególne parametry gruntowe przyjmowano w obliczeniach przykładowo. Dla praktycznego stosowania, trzeba posługiwać się rzeczywistymi wartościami. Przede wszystkim chodzi tu o znajomość E_1 , E_2 , η dla różnego rodzaju gruntów. Informacje na ten temat w dotychczasowej literaturze są bardzo skąpe i będą zapewne stanowić przedmiot dalszych badań w zakresie reologii gruntów.

LITERATURA

- [1] Inozemcow A.: Soprotiwlenije uprugó-wjazkich materialów. Leningrad 1966.
- [2] Jeske T., Przedecki T., Rossiński B.: Mechanika gruntów. PWN, Warszawa 1966.
- [3] Kisiel I.: Zastosowanie modelu reologicznego M/V w mechanice gruntów. Warszawa 1967.
- [4] Kisiel I.: Reologia w budownictwie. Arkady, Warszawa 1967.
- [5] Kisiel I., Łysik B.: Zarys reologii gruntów. Działanie obciążenia statycznego na grunt. Arkady, Warszawa 1966.
- [6] Król W.: Zabezpieczenie budowli przed uszkodzami górnictwymi. Budownictwo betonowe T. XII. Arkady, Warszawa 1970.
- [7] Sprawocznik "Proczność, ustoiczliwość, kolebanija" - Izdatielstwo Maszinoostrojenije. Moskwa 1968.

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ НА РЕДУКЦИЮ НАПОРА ГРУНТА
НА СТЕНЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Р е з ю м е

В статье сделана попытка оценки величины напора грунта на стены подземных сооружений с учётом реологических явлений возникающих в грунте. Оценка сделана на основе одного из приведённых в литературе способов определения добавочного напора вызванного влиянием горной выработки на стены углублённых сооружений. Проведен анализ возможности применения к исследуемому явлению двух реологических моделей: модели Максвелла и модели Зенера. Введен расчётный метод основан на методе последовательных приближений и на исключении конечных разностей.

THE INFLUENCE OF TIME ON THE EARTH PRESSURE REDUCTION
ON THE HYDROTECHNICAL STRUCTURE WALLS

S u m m a r y

In this publication an attempt has been made to estimate the value of earth pressure on the underground structure walls taking into consideration the rheological effects, which are formed in the ground.

It has been based on the method, given in literature, to determine the additional thrust generated by the influence of mine exploitation on the sinking structure walls.

The analysis of the possibility to apply the two rheological models has been carried out for the objective effect: Maxwell model and Zener model.

The calculation procedure based on the successive approximation method and on the differential calculus has been introduced.