

Antoni KUCHLER
Politechnika Warszawska

PROPOZYCJA DOBORU MODELU ODKSZTAŁCALNEGO W CZASIE DLA PODŁOŻA O WŁAŚCIWOŚCIACH EKSPANSYWNYCH

Streszczenie. Spotykane w literaturze modele nie odpowiadają pracy podłoża podlegającego przemieszczeniom ekspansywnym. Istnieje natomiast wiele metod i wzorów do obliczania podniesienia podłoża zarówno bez obciążenia, jak i z obciążeniem, ale bez uwzględniania czasu. W pracy przedstawiono propozycję doboru modelu odkształcalnego w czasie, opartego na wykorzystaniu współczynnika przewodności hydraulicznej. Zachowanie się modelu podłoża: bez obciążenia, dla sześciu różnych gruntów i z obciążeniem od 0 – 400 kPa, co 50 kPa dla jednego gruntu, zilustrowano na rysunkach. Model wymaga dalszych obliczeń oraz weryfikacji doświadczalnej i terenowej.

THE PROPOSITION OF THE MODEL THAT MIGHT BE DEFORMED IN TIME, FOR THE SOIL OF EXPANSIVE PROPERTIES

Summary. Models encountered in the literature do not confirm to the work of soil that undergoes expansive translocations. There are, however, lots of methods and formulas to calculate the raising of the soil either with loading or without it, but without considering time. A proposal of selecting the model deformed with time, based on the use of hydraulic conductivity coefficient is presented in the paper. The behaviour of soil model: without load, for six different soils and with load 0-400 kPa every 100 kPa for one soil – see figures. The model needs further calculations and also experimental and field verifications.

1. Wstęp

Wiele jest prac poświęconych badaniom gruntów i awariom obiektów budowlanych, spowodowanych występowaniem w podłożu gruntów wykazujących zmiany deformacyjne. Są one [6] wielorako wyrażane, między innymi jako ekspansywność, podniesienie itp. Grunty te występują w stanie nienasyconym [2], który jest stanem

powszechnym obejmującym niemal całą strefę aeracji i w której to strefie posadawiane są obiekty budowlane.

Jednym z istotniejszych zagadnień w analizie pracy podłoża i obiektu budowlanego jest wybór modelu obliczeniowego pracy podłoża. Spotykane w literaturze modele nie odpowiadają pracy podłoża podlegającego przemieszczeniom ekspansywnym. Istnieje natomiast [6] wiele metod i wzorów do obliczania podniesienia podłoża zarówno bez obciążenia, jak i z obciążeniem (fundamentem), ale bez uwzględniania czasu. Analizując te wzory, w pracy [5], do opisu podłoża zastosowano prosty, dwuparametrowy model liniowo sprężysty, z parametrami charakteryzującymi właściwości gruntów ekspansywnych, stosowanymi przy wyznaczaniu podniesienia podłoża.

Wykorzystując ten model, w pracy przedstawiono propozycję doboru modelu odkształcalnego w czasie.

2. Cechy warunkujące odkształcalność gruntów ekspansywnych w czasie

Do charakterystyki gruntów ekspansywnych i ich ekspansywności, oprócz cech stosowanych dla gruntów spoistych, wykorzystywane są też cechy takie, jak:

- wskaźnik pęcznienia gruntu;
- wskaźnik skurczalności gruntu;
- ciśnienie pęcznienia gruntu;
- ciśnienie ssania gruntu;
- wskaźnik aktywności koloidalnej gruntu;
- powierzchnia właściwa gruntu;

ale żadna z nich nie warunkuje ich odkształcalności w czasie.

Zasadnicze znaczenie mają tu właściwości filtracyjne gruntów. Zdolność przepływu wody w ośrodku gruntowym w stanie pełnego nasycenia jest określana mianem przepuszczalności, a jej miarą jest współczynnik filtracji, natomiast w ośrodku gruntowym nienasyconym [6] jest określana mianem przewodności hydraulicznej i jej miarą jest współczynnik przewodności hydraulicznej.

Zgodnie z pracą [1] współczynnik przewodności hydraulicznej można zapisać następującą zależnością:

$$k_w = \frac{k}{1 + a(u_a - u_w)^n} \quad (1)$$

gdzie: k_w – współczynnik przewodności hydraulicznej w stanie nienasyconym;

k – współczynnik filtracji w stanie nasyconym;

a, n – stałe;

$u_a - u_w$ – matrycowe ciśnienie ssania;

zaś:

u_a – ciśnienie powietrza w porach;

u_w – ciśnienie wody w porach.

Współczynnik przewodności hydraulicznej gruntów w stanie nienasyconym wymaga podczas badań [6] symulacji obciążeń panujących w podłożu.

3. Propozycja doboru modelu odkształcalnego w czasie dla podłoża o właściwościach ekspansywnych

Przeglądem dorobku w zakresie obciążenia statycznego, umieszczonego na powierzchni podłoża gruntowego w ujęciu reologicznym, są monografie [27, 28].

Pierwszym reologicznym modelem gruntu był model konsolidacji podany w pracy [7]. Model ten dobrze opisuje ośrodek gruntowy, nawodniony, o nieodkształcalnym szkieletcie gruntowym. Rozwiązanie otrzymane przez autora pracy [7] ma postać:

$$z(t) = q \cdot E_h \cdot (1 - M_{zw}) = q \cdot E_h \cdot \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{1}{i^2} \cdot e^{-C_m \cdot i^2 \cdot t}\right) \quad (2)$$

gdzie:

$$E_h = \frac{a \cdot h}{1 + e_0} \quad (3)$$

$$C_m = \frac{\pi^2 \cdot k \cdot (1 + e_s)}{4 \cdot h^2 \cdot a \cdot \gamma_w} \quad (4)$$

q – obciążenie działające na podłożę gruntowe;

t – czas;

E_h – podatność podłoża gruntowego;

a – współczynnik ściśliwości gruntu;

h – miąższość konsolidowanej warstwy gruntu;

e_0 – początkowy wskaźnik porowatości;

k – współczynnik filtracji;

e_s – średni wskaźnik porowatości;

γ_w – ciężar właściwy wody.

W pracy [4] występująca w zależności (2) funkcję:

$$M_{zw}(t) = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{i=1,3,5}^{i=\infty} \frac{1}{i^2} \cdot e^{-C_{\alpha} \cdot i^2 \cdot t} \quad (5)$$

zastąpiono funkcją aproksymującą w postaci:

$$M_{zw}(t) = A \cdot e^{-B \cdot T_z} + C \cdot e^{-D \cdot T_z} \quad (6)$$

gdzie:

$$T_z = \frac{k \cdot (1 + e_s)}{h^2 \cdot a \cdot \gamma_w} \cdot t \quad (\text{czas bezwymiarowy}) \quad (7)$$

A, B, C, D – stałe aproksymacji;

pozostałe oznaczenia jak w zależności (2).

Na podstawie pracy [4] stałe aproksymacji wynoszą:

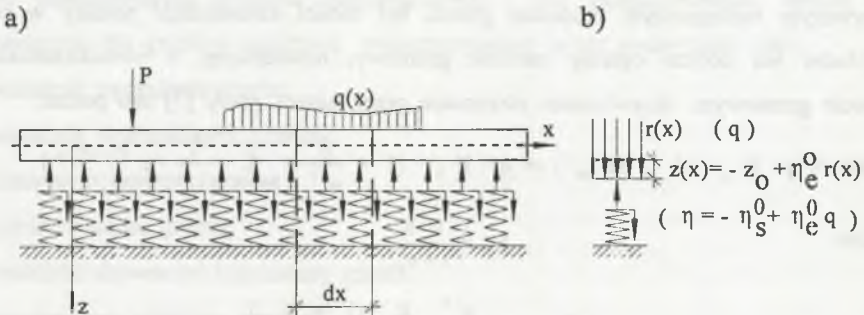
$$A = 0.185501349$$

$$B = 39.879984267$$

$$C = 0.814497366$$

$$D = 2.469627460$$

(8)



Rys.1. Model podłoża podlegającego przemieszczeniom ekspansywnym
Fig. 1. Model of the soil that undergoes expansive translocations

Na podstawie dokonanego przeglądu metod określania podniesienia podłoża o właściwościach ekspansywnych z obciążeniem (fundamentem) można uznać, że przy przyjęciu dla tego kierunku przemieszczenia znaku minus, najlepsze formalne podobieństwo do przyjętego w pracy [5] opisu modelu (rys. 1), podlegającego

przemieszczeniom ekspansywnym, dla podłoża zbudowanego z jednej warstwy o miąższości h , ma na podstawie pracy [3] następująca zależność:

$$TH = -\varepsilon_p^0 \cdot \left(1 - \frac{q}{P_c}\right) \cdot h = -\varepsilon_p^0 \cdot h + \varepsilon_p^0 \cdot h \cdot \frac{1}{P_c} \cdot q \quad (9)$$

gdzie: TH – podniesienie podłoża w cm;

ε_p^0 – wskaźnik swobodnego pęcznienia w %,

q, p – obciążenie wywierane na grunt odpowiednio w kPa i kN/m;

P_c – ciśnienie pęcznienia w kPa;

Na podstawie pracy [5] zachowanie się podłoża w czasie pod wpływem stałego obciążenia q można ogólnie opisać zależnością:

$$\eta(t) = -\eta_s^0(t) + q \cdot \eta_e^0(t) \quad (10)$$

W pierwszej propozycji można przyjąć:

$$\eta_s^0(t) = \eta_s^0 \cdot R_e(t) \quad (11)$$

$$\eta_e^0(t) = \eta_e^0 \cdot R_e(t) \quad (12)$$

gdzie:

$$\eta = TH \quad (13)$$

$$\eta_s^0 = \varepsilon_p^0 \cdot h \quad (14)$$

$$\eta_e^0 = \varepsilon_p^0 \cdot h \cdot \frac{1}{P_c} \quad (15)$$

i funkcję czasu występującą w zależnościach (11) i (12) można na podobieństwo teorii konsolidacji zapisać:

$$R_e(t) = 1 - M_{zw}(t) \quad (16)$$

gdzie:

$M_{zw}(t)$ – według (5) lub (6) z podstawieniem do zależności (4) i (7) zamiast współczynnika filtracji k , współczynnika przewodności hydraulicznej k_s określonego zależnością (1).

Ostatecznie podniesienie podłoża w czasie, pod wpływem stałego obciążenia q można ogólnie opisać zależnością:

$$\eta(t) = (-\eta_s^0 + q \cdot \eta_e^0) \cdot [1 - M_{zw}(t)] \quad (17)$$

4. Obliczenie podnoszenia podłoża w czasie i interpretacja graficzna

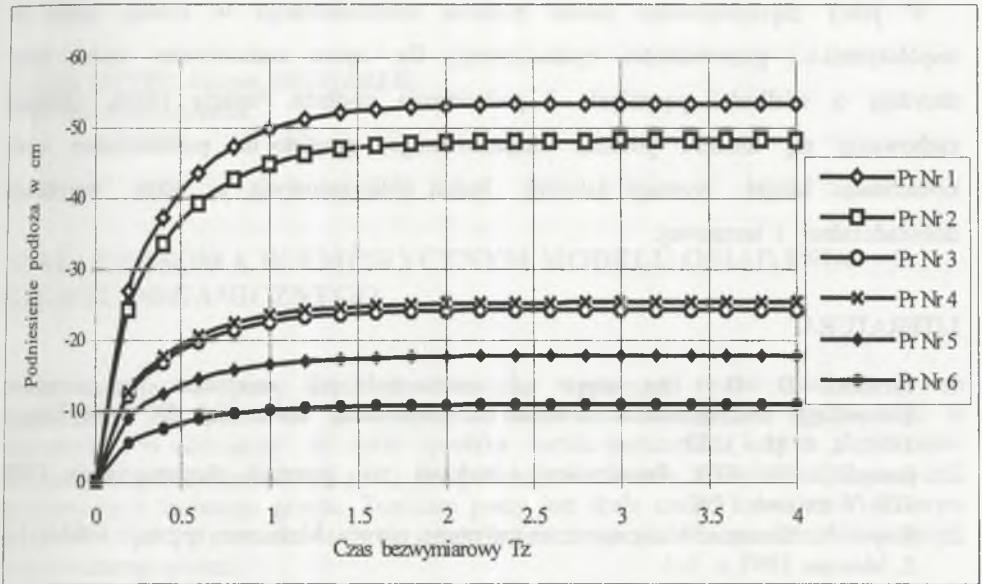
W celu ilustracji zachowania się podłoża, podlegającego przemieszczeniu ekspansywnemu w czasie, opisanego zależnością (17), przyjęto parametry podłoża ekspansywnego na podstawie pracy [3], przedstawione w tabelicy 1.

Rozpatrzono warstwę podłoża ekspansywnego o miąższości $h=6.0$ m. Zmianę czasu bezwymiarowego T_z w zależności (7) i (8), przyjęto w przedziale od 0 do 4.0.

Dla podłoża z obciążeniem $q=0$ wykonano obliczenia przy założeniu, że jest ono zbudowane z gruntów od nr 1 do nr 6. Interpretację graficzną wyników obliczeń przedstawiono na rys. 2. Dla podłoża z obciążeniem od $q=0$ do $q=400$ kPa z przyrostem co 100 kPa, wykonano obliczenia przy założeniu, że jest ono zbudowane z gruntu od nr 1. Interpretację graficzną wyników obliczeń przedstawiono na rys. 3.

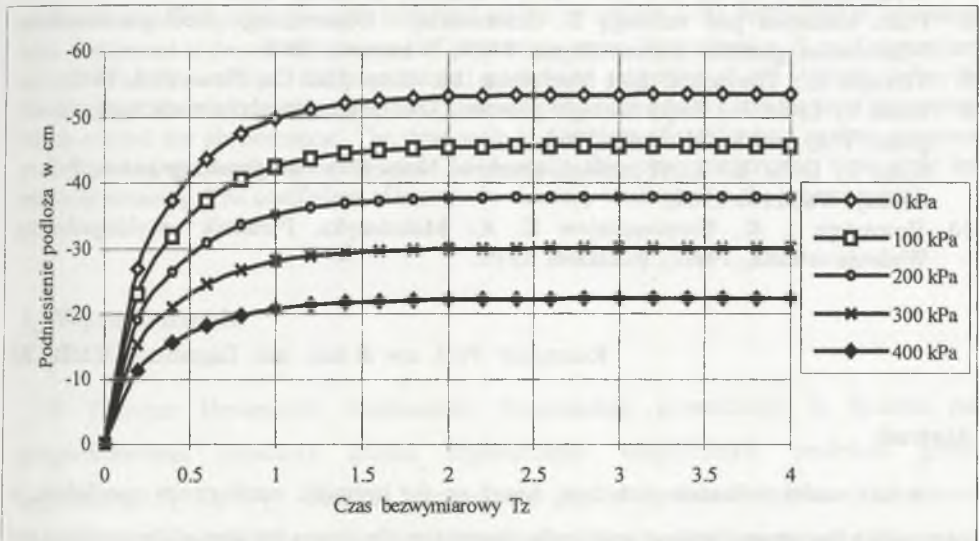
Tabelica 1

Cechy fizyczne		Parametry geotechniczne					
		nr badanego gruntu					
		1	2	3	4	5	6
w_n	%	32.50	32.25	33.08	26.8	22.3	21.4
ρ	T/m ³	2.076	2.047	2.030	1.970	1.911	2.022
ρ_d	T/m ³	1.567	1.548	1.525	1.554	1.562	1.666
w_L	%	105.0	96.0	88.1	67.5	62.0	57.0
w_p	%	48.0	46.0	51.25	45.0	32.5	26.5
I_p	%	57.0	50.0	36.85	22.5	29.5	30.5
P_c	kPa	686	466	272	282	147	245
Zawartość frakcji < 0,075 mm	%	98.5	97.0	92.2	93.3	91.0	90.5



Rys. 2. Zachowanie się podłoża zbudowanego z gruntu od nr 1 do nr 6 podlegającego przemieszczeniu ekspansywnemu w czasie z obciążeniem $q = 0$

Fig. 2. The behaviour of the soil constructed from grounds from No 1 to No 6, that undergo expansive translocations in time, including the load $q = 0$



Rys. 3. Zachowanie się podłoża zbudowanego z gruntu nr 1 podlegającego przemieszczeniu ekspansywnemu w czasie, dla obciążenia $q = 0 + 400$ kPa, co 100 kPa

Fig. 3. The behaviour of the soil constructed from ground No 1, that undergo expansive translocations with time, including the load $q = 0 + 400$ kPa, every 100 kPa

5. Zakończenie

W pracy zaproponowano model podłoża odkształcalnego w czasie, oparty na współczynniku przewodności hydraulicznej. Do opisu zastosowano cechy, które decydują o wielkości pęcznienia i podnoszenia podłoża. Funkcję czasu, opisującą zachowanie się modelu podłoża ekspansywnego, przyjęto na podobieństwo teorii konsolidacji. Model wymaga dalszych badań obliczeniowych, a także weryfikacji doświadczalnej i terenowej.

LITERATURA

1. Fredlund D. G.: The scope of unsaturated soil mechanics: an overview. Proceedings International Conference on Unsaturated Soils. Vol. III, Paryż, Francja 1996, s. 1155 – 1177.
2. Instrukcja 296 ITB: Posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych. DWP ITB, Warszawa 1990.
3. Коуса И.: Влияние влажности на набухание грунта. Механика грунтов. ОФМГ, No 5, Москва 1997, с. 1-5.
4. Kuchler A.: Zastosowanie modelu Terzagiego do zagadnień statyki fundamentów z uwzględnieniem sztywności konstrukcji budowli. Rozprawa doktorska, WAT, Warszawa 1976.
5. Kuchler A.: Belki – ławy na podłożu o właściwościach ekspansywnych. Theoretical Foundations of Civil Engineering, Polish Ukrainian Transactions, Oficyna Wydawnicza PW, vol. I s. 247 – 254, Warszawa, kwiecień 2002.
6. Praca zbiorowa pod redakcją B. Grabowskiej – Olszewskiej: Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. PWN, Warszawa 1998.
7. Terzaghi K.: Theoretical Soil Mechanics, Mc Graw Hill Co, New York 1948.
8. Kisiel I., Lysik B.: Zarys reologii gruntów. Działanie obciążenia statycznego na grunt. T. 1, Arkady, Warszawa 1966.
9. Kisiel I., Lysik B.: Zarys reologii gruntów. Nośność i stateczność gruntów, T. 2, Arkady, Warszawa 1969.
10. Bronsztejn I. K., Siemiendajew K. A.: Matematyka. Poradnik encyklopedyczny. Wydanie czwarte, PWN, Warszawa 1970.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Eugeniusz DEMBICKI

Abstract

A soil model deformed with time, based on the hydraulic conductivity coefficient, is proposed in the paper. Features used in the description decide on the size of the swelling and raising of the soil. The function of time, that describes behaviour of the expansive soil, was adopted as a resemblance of the consolidation theory. The model needs further calculations as well as experimental and field verifications.