ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: BUDOWNICTWO z. 97 Nr kol. 1573

Adam NIEDZIELSKI, Sławomir GOGOLIK
Akademia Rolnicza w Poznaniu

OCENA PRZYDATNOŚCI WZORU LANGMUIRA DO PROGNOZY CIŚNIENIA PĘCZNIENIA IŁÓW POZNAŃSKICH I WARWOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń ciśnienia pęcznienia iłów poznańskich i warwowych na podstawie powierzchni właściwej tych gruntów, przy różnych gęstościach objętościowych szkieletu gruntowego. Wyniki obliczeń porównano z rezultatami badań laboratoryjnych ciśnienia pęcznienia iłów.

VERIFICATION OF USEFULNESS OF LANGMUIR'S EQUATION USEFULNESS FOR PREDICTION OF SWELLING PRESSURE OF PLIOCENE AND VARVED CLAYS

Summary. The paper presents the results of calculations of swelling pressure of pliocene and varved clays. The calculations were based on specific surface and different dry densities of these soils. The results of calculations were compared with the results of laboratory investigations on swelling pressure of clays.

1. Wstęp

Ciśnienie pęcznienia należy, jak wiadomo, do najważniejszych parametrów geotechnicznych służących projektantowi w rozwiązywaniu posadowień budowli na gruntach bardzo spoistych. Od prognoz ciśnienia pęcznienia zależą również wszelkie działania zmierzające do zabezpieczenia podłoża ekspansywnego przed zmianami wilgotności.

Ciśnienie pęcznienia wyznacza się powszechnie metodami laboratoryjnymi na próbkach gruntu o nienaruszonej strukturze i naturalnej wilgotności. Najszersze zastosowanie znalazła metoda pośrednia z użyciem edometru (PN-88/B-04481), a także metoda stałej objętości pozwalająca na bezpośredni pomiar ciśnienia pęcznienia (Niedzielski [4], Grabowska-

Olszewska i in. [3]). Do wstępnego oszacowania ekspansywności gruntu wykorzystuje się różne zależności empiryczne i klasyfikacje oparte na cechach wskaźnikowych gruntów spoistych [3,4].

Niezmiernie rzadko w praktyce inżynierskiej sięga się po wzór Langmunira, pozwalający wyznaczyć ciśnienie pęcznienia, jako wynik odpychania się podwójnych warstw elektrycznych. Postać tego wzoru za Stępkowską [5] Grabowską-Olszewską [2] i Sridharanem i in. [7] jest następująca:

$$p = 2nkT(\cosh u - 1) \tag{1}$$

lub

$$p = nkT(e^{u} + e^{-u} - 2) \tag{2}$$

gdzie: p – ciśnienie pęcznienia,

n – stężenie jonów z dala od powierzchni cząstki,

k – stała Boltzmana równa 1,381 x 10^{-23} JK^{-1},

T – temperatura w skali Kelvina,

u – bezwymiarowy parametr określający minimalną wartość potencjału, pośrodku między równoległymi cząstkami.

Wzór ten stwarza możliwość prognozowania ciśnienia pęcznienia gruntów spoistych o znanej powierzchni właściwej i zróżnicowanej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, a także w warunkach zmieniających się czynników zewnętrznych.

Celem pracy było porównanie wyników obliczeń wzorem (4) z rezultatami badań laboratoryjnych ciśnienia pęcznienia iłów poznańskich i warwowych oraz glin morenowych.

2. Założenia do obliczeń

Obliczenia ciśnienia pęcznienia przeprowadzono wykorzystując uproszczoną postać wzoru (1):

$$p = n \cdot k \cdot T \cdot e^{u} \tag{3}$$

Takie uproszczenie nie ma istotnego wpływu na wynik obliczeń przy niskich koncentracjach roztworu porowego i dużych wartościach u (u > 3) – Sridharan, Jayadeva [7].

Z rozważań Sridharoana i Jayadevy [7] i obliczeń własnych wynika, że po uwzględnieniu wszystkich założeń i uproszczeń, można otrzymać wzór pozwalający

wyznaczyć ciśnienie pęcznienia na podstawie znanej odległości między cząstkami. Jego postać jest następująca:

$$\log d = f + 1{,}0526 - 0{,}5263 \log p \tag{4}$$

gdzie: f – stała będąca funkcją właściwości cieczy

$$f = -2{,}7296 + 0{,}0263 \log n + 0{,}5263 \log[T(\varepsilon \cdot T)^{0{,}95}] - \log \nu, \tag{5}$$

p – ciśnienie pęcznienia w kPa,

d – połowa odległości między równoległymi cząstkami iłowymi wyrażona w nm

$$d = \frac{e}{\rho_s \cdot S} \tag{6}$$

gdzie: e – wskaźnik porowatości gruntu,

ρ_s – gęstość właściwa gruntu w g/cm^3,

S – całkowita powierzchnia właściwa gruntu w cm^2/g,

d – połowa odległości między cząstkami w cm.

W obliczeniach założono, że stężenie roztworu porowego wynosi 10^{-4} mola, temperatura T = 293 K, stała dielektryczna wody ε = 80,36 i wartościowość kationu ν = 1. Po uwzględnieniu tych danych we wzorze (5) stała f przejmuje wartość 0,65. W przypadku kationu wymiennego dwuwartościowego (ν = 2) i tych samych wartości n, T i ε, stała f wynosi 0,35.

3. Materiał badawczy

Do badań pobrano próbki iłów poznańskich z dwóch różnych poziomów głębokiego odsłonięcia w Witaszycach, a także próbki iłu z podłoża budowlanego we Wronkach i próbki iłu poznańskiego wykorzystanego do budowy rdzenia zapory ziemnej w Jeżewie niedaleko Borku Wielkopolskiego. Próbki iłu warwowego pochodziły z Kotowa pod Poznaniem, a gliny piaszczyste ze Środy Wlkp.

Szczegóły dotyczące składu granulometrycznego, granic konsystencji oraz stanu wymienionych wyżej gruntów zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1

Skład granulometryczny oraz właściwości fizyczne badanych gruntów

Nr gruntu	Miejsce pobrania	Zawartość frakcji			Rodzaj gruntu	Cechy fizyczne				
		f_p	$f\pi$	f_i		W_n %	W_L %	W_p %	I_p	I_L
1	Witaszyce	3,5	11,5	85,0	I					
2	Witaszyce	7,0	27,0	66,0	I	27,5	89,5	23,5	66,0	0,06
3	Wronki	9,0	26,0	65,0	I	29,1	81,2	23,5	57,7	0,10
4	Jeżewo	16,0	28,5	55,0	I	22,9	69,8	18,6	51,2	0,09
5	Kotowo	30,5	48,0	20,5	Gz	21,6	40,8	18,8	22,0	0,23
6	Kotowo	1,0	56,0	43,0	Iπ	28,9	56,2	22,5	23,7	0,27
7	Kotowo	62,0	23,0	15,0	Gp	12,5	19,3	11,2	8,1	0,17

Wszystkie badane iły poznańskie zawierają ponad 50% frakcji ilastej, a w skrajnym wypadku zawartość ta dochodzi do 85%. Osady warwowe w świetle wyników analizy składu granulometrycznego zaliczają się do iłów pylastych i glin zwięzłych na pograniczu glin pylastych zwięzłych. Powierzchnię badanych gruntów, zarówno zewnętrzną $\bar{S}$, jak i całkowitą S wyznaczono testem sorpcyjnym (Stępkowska, [6]). Zgodnie z metodyką opracowaną przez Stępkowską, badanie przeprowadzono na próbkach sproszkowanych o masie około 3 g. Liczba powtórzeń zmieniała się od 4 do 16. Jak się należało spodziewać, powierzchnia właściwa omawianych gruntów była bardzo zróżnicowana i mieściła się w zakresie od 37,83 m^2/g do 317 m^2/g (tabl. 2).

Tablica 2

Wyniki testu sorpcyjnego

Nr gruntu	S m^2/g	S m^2/g	M %	σ -	c_v %
1	52,99	317,95	35,95	7,76	2,44
2	43,01	258,06	23,03	1,25	0,48
3	39,70	238,17	21,16	3,30	1,39
4	30,68	184,05	16,16	0,53	0,29
5	16,91	101,45	8,75	1,60	1,58
6	20,48	122,87	13,31	6,87	5,59
7	6,31	37,83	3,22	0,25	0,66

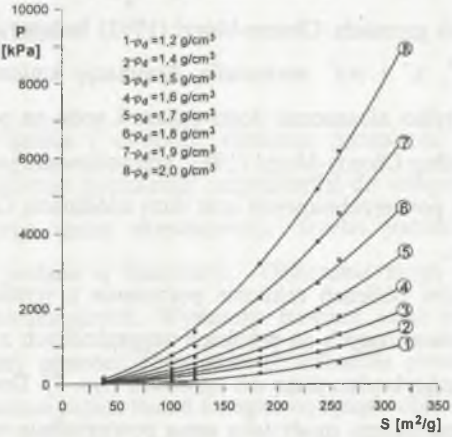
Największą powierzchnią właściwą odznaczały się iły poznańskie (nr 1 do 4). Wartości odchylenia standardowego σ i współczynniki zmienności c_v świadczą o bardzo dużej powtarzalności wyników oznaczeń powierzchni właściwej.

4. Wyniki obliczeń ciśnienia pęcznienia

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń ciśnienia pęcznienia wzorem (4) otrzymano rodzinę krzywych obrazujących zależność pomiędzy ciśnieniem pęcznienia a powierzchnią właściwą gruntu. Każda krzywa odpowiada innej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od 1,2 g/cm^3 do 2,0 g/cm^2. Przyjęty zakres gęstości szkieletu gruntowego notowany jest najczęściej w warunkach naturalnych. Z bogatych danych opublikowanych na ten temat wynika, że najczęściej gęstość objętościowa szkieletu gruntowego iłów poznańskich kształtuje się w granicach od 1,5 g/cm^3 do 1,9 g/cm^3 (m.in. Choma-Moryl 1992, Kumor 1992).

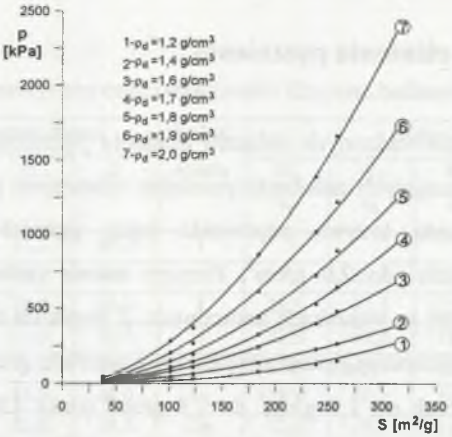
Jedna rodzina krzywych obliczona została z uwzględnieniem jednowartościowego kationu wymiennego (rys. 1), a druga – dwuwartościowego kationu (rys. 2).

Analizując otrzymane wyniki zauważyć można, że ciśnienia pęcznienia iłów z jednowartościowym kationem na pozycjach wymiennych są blisko czterokrotnie większe od ciśnień pęcznienia tych samych gruntów zawierających kationy dwuwartościowe.



Rys.1. Zależność między ciśnieniem pęcznienia a powierzchnią właściwą przy różnych gęstościach objętościowych szkieletu gruntowego wartościowości kationu wymiennego (ν=1)

Fig.1. Relationships between swelling pressure and specific surface of soil, at different dry densities and cation valence ν=1

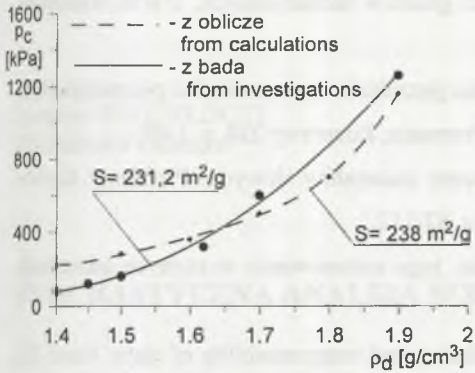


Rys.2. Zależność między ciśnieniem pęcznienia a powierzchnią właściwą przy różnych gęstościach objętościowych szkieletu gruntowego wartościowości kationu wymiennego (ν=2)

Fig.2. Relationships between swelling pressure and specific surface of soil, at different dry densities and cation valence ν=2

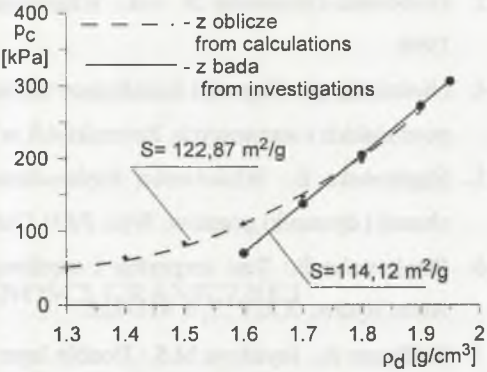
Z praktycznego punktu widzenia ważniejsze znaczenie mają wyniki uzyskane przy założeniu obecności kationów dwuwartościowych, gdyż kationy te mają zdecydowaną przewagę w naturalnych gruntach. Choma-Moryl (1992) badając cztery podstawowe kationy wymienne Ca^{++}, Mg^{++}, k^{+} i Na^{+} stwierdziła dominację kationu wapnia, a w następnej kolejności magnezu i tylko nieznaczne ilości potasu i sodu na pozycjach wymienionych w iłach poznańskich. Według Chomy-Moryl (1992) spowodowane jest to dużą ilością wapnia w wodach podziemnych i powierzchniowych oraz dużą zdolnością Ca^{++} do wchodzenia w skład kompleksu sorpcyjnego.

Porównanie wyników obliczeń ciśnienia pęcznienia z wynikami uzyskanymi z badań laboratoryjnych przeprowadzonych na próbkach zagęszczonych z materiału przesuszonego i sproszkowanego wykazało bardzo dużą ich zgodność (rys. 3). Dodać w tym miejscu należy, że obie próbki iłu poznańskiego miały taka samą powierzchnię właściwą, o czym świadczą wartości zamieszczone na rys. 3 i wynoszące 231,2 oraz 238,2 m^2/g. Z wynikami zamieszczonymi na rys. 3 zgadzają się również dane przytoczone w monografii Chena [1]). Brak jest jednak szczegółów co do powierzchni właściwej gruntu, którego ciśnienie pęcznienia zostało zbadane. Bardzo podobnie kształtuje się porównanie wartości obliczeniowych i wyznaczonych laboratoryjnie dla iłu warwowego z Kotowa (rys. 4). Powierzchnia właściwa tego utworu mieściła się od 114,1 do 122,9 m^2/g. Z przedstawionego wykresu wynika, że wartości ciśnienia pęcznienia obliczone i zmierzone były niemal identyczne w zakresie gęstości objętościowych szkieletu gruntowego od 1,7 do 1,95 g/cm^3.



Rys.3. Zależność ciśnienia pęcznienia od gęstości objętościowej szkieletu gruntowego iłu poznańskiego z Witaszyc

Fig.3. Relationship between swelling pressure and dry density of plicene clay from Witaszyce



Rys.4. Zależność ciśnienia pęcznienia od gęstości objętościowej szkieletu gruntowego iłu warwowego z Kotowa

Fig.4. Relationship between swelling pressure and dry density of vorved clay from Kotowo

5. Podsumowanie wyników

Porównanie wyników badań i obliczeń ciśnienia pęcznienia może zachęcać do korzystania ze wzoru na ciśnienie pęcznienia, przynajmniej do wstępnego oszacowania tego parametru charakteryzującego grunt ekspansywny. Trzeba jednak zawsze pamiętać o założeniach, jakie zostały podane w literaturze. Obliczenia mogą stanowić uzupełnienie czasochłonnych badań laboratoryjnych. Wystarczy bowiem znać powierzchnię właściwą gruntu i zakres zmienności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, by szacować ciśnienie pęcznienia. Nie można jednak badań zastąpić wyłącznie obliczeniami.

LITERATURA

1. Chen F.H.: Foundations on Expansive Soils, Dev in Geot. Eng. Elsevier, Amsterdam 1988.
2. Grabowska-Olszewska B. red.: Metody badań gruntów spoistych. Wyd. Geol., Warszawa 1980.

3. Grabowska-Olszewska B. red.: Właściwości gruntów nienasyconych, PWN, Warszawa 1998.
4. Niedzielski A.: Czynniki kształtujące ciśnienie pęcznienia oraz swobodne pęcznienie iłów poznańskich i warwowych. Roczniki AR w Poznaniu, Rozprawy 238, s. 1-99.
5. Stępkowska E.: Właściwości fizyko-chemiczne minerałów iłowych. Problemy fizyko-chemii i dynamiki gruntów. Wyd. PAN-Oss. s. 87-112.
6. Stępkowska E.: Test sorpcyjny i możliwości jego zastosowania w różnych badaniach. Arch. Hydrot. XXIV, 3, s. 411-420.
7. Sridharan A., Jayadeva M.S.: Double layer theory and compressibility of clays. Geot. 32, N°2, XXXII, p. 135-144.
8. Sridharan A., Rao A.S., Sivapullaiah P.V.: Swelling pressure of clays. Geot. Testing J.G.T.J.D.J. 9,1 March, p. 24-33.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ryszard IZBICKI

Abstract

The paper presents the results of calculations of swelling pressure of Poznań and varved clays and loams using a simplified Langimuir's equation (4). The calculations were carried out with the following assumptions: dielectric constant of pore fluid ε=80.36, temperature T=293^{0}K and molar concentration of ions in pore fluid equal to 10^{-4} mol. Half of the distance between parallel clay platelets was determined from the formula (6) using the results of studies of specific surface of the sampled soils and assuming various dry densities of soil skeleton. The specific surface was determined from the sorption test (Stępkowska 1977).

Comparison of the results of calculations of the swelling pressure with the laboratory test results of the Poznań clay of the same specific surfaces revealed their good agreement (Fig.3). Similar results were obtained for swelling pressure of the varved clay (Fig. 4). These observations encourage initial determination of swelling pressure basing on specific surface and dry density of clay and loam.