

Małgorzata WDOWSKA¹
Marzena LENDO-SIWICKA²
Kazimierz GARBULEWSKI³
Krzysztof MICHALCZUK⁴

WPŁYW METODY BADANIA NA WYZNACZONE CIŚNIENIE PĘCZNIEŃ NA PRZYKŁADZIE IŁÓW KRAKOWIECKICH

Projektowanie obiektów budowlanych posadowionych w iłach stanowi trudne zadanie inżynierskie ze względu na możliwość zwiększenia (pęcznienie) lub zmniejszenia (skurcz) ich objętości [8] pod wpływem zmian wilgotności naturalnej, dlatego też obiekty posadowione na iłach często ulegają awariom. Nietypowy charakter zachowania się iłów wynika przede wszystkim z obecności minerałów hydrofitowych (m.in. montmorylonit, beidelit i inne). Na etapie projektowania i wymiarowania budowli posadowionej w iłach podstawowym parametrem jaki należy wziąć pod uwagę jest ciśnienie pęcznienia, które wyznacza się w badaniach laboratoryjnych stosując metody różniące się warunkami badań prezentowanymi w dalszej części artykułu. Jak wykazały dotychczasowe analizy, wybór metody określania ciśnienia pęcznienia ma kluczowe znaczenie w określaniu wiarygodnych wartości tego parametru. W artykule zaprezentowano wyniki badań ciśnienia pęcznienia mioceńskich iłów krakowieckich występujących w zapadlisku przedkarpackim przy zastosowaniu trzech najczęściej stosowanych metod badawczych. Na podstawie prezentowanych w artykule wyników badań stwierdzono, że ciśnienie pęcznienia badanych iłów zmieniają się w szerokim zakresie wartości (od 11,6 kPa do 270 kPa) zależnie od wskaźnika plastyczności IP i metody badań.

Słowa kluczowe: grunty ekspansywne, iły krakowieckie, potencjał pęcznienia, metody badań

1. Wstęp

W projektowaniu geotechnicznym budowli posadowionej w iłach, które zaliczane są do gruntów potencjalnie ekspansywnych, należy uwzględnić dodatkowe oddziaływanie występujące podczas pęcznienia i zaprojektować odpo-

¹ Autor do korespondencji/ corresponding author: Małgorzata Wdowska, Katedra Geoinżynierii SGGW, ul. Nowoursynowska 159, bud. 33, pok. 33, 02-787 Warszawa, tel. 22 5935204, malgorzata_wdowska@sggw.pl

² Marzena Lendo-Siwicka, Katedra Geoinżynierii SGGW

³ Kazimierz Garbulewski, Katedra Geoinżynierii SGGW

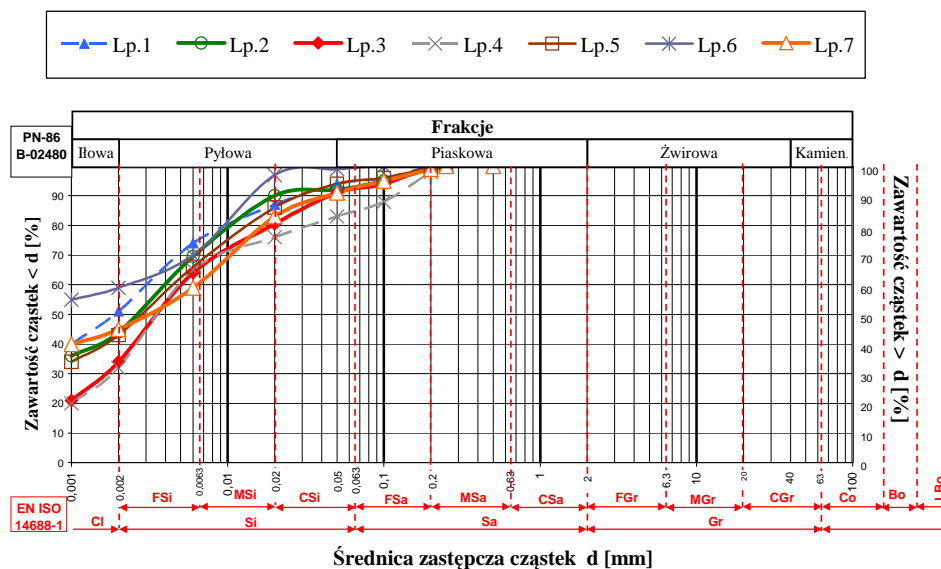
⁴ Krzysztof Michalczuk, Katedra Geoinżynierii SGGW

wiednie zabezpieczenia, co stanowi zazwyczaj trudne zadanie inżynierskie. Do oddziaływań, które niezbędne jest w wymiarowaniu budowli i projekcie zabezpieczeń zalicza się ciśnienie pęcznienia łąw. Do wyznaczania tego oddziaływania stosuje się badania laboratoryjne, w których wyróżnia się następujące metody: metoda stałej objętości gruntu, metoda serii próbek, metoda badania próbki po swobodnym spęcznieniu [3], [4], [5]. W zasadzie, tylko warunki badań metodą stałej objętości gruntu są w pełni zgodne z definicją ciśnienia pęcznienia. Pozostałe metody, wprowadzone do praktyki w celu uproszczenia badań i przyspieszenia określania ciśnienia pęcznienia, są umowne i mogą powodować duże różnice w wyznaczonej na podstawie badań laboratoryjnych wartości ciśnienia pęcznienia.

2. Właściwości badanych gruntów

Badania ciśnienia pęcznienia przeprowadzono na próbkach gruntu pobranych z rejonu Krakowa i Raciborza. Zestawienie wybranych właściwości fizycznych badanych próbek zestawiono w tabeli 1 a krzywe uziarnienia badanych gruntów przedstawiono na rys. 1. Badane grunty naniesiono także na kartę Casagrandego (rys. 2).

Badane grunty to łąy o wysokiej plastyczności w stanie twaroplastycznym i półzwardym na pograniczu stanu zwartego, charakteryzujące się zawartością frakcji łąwowej od 32% do 60%. Należy również zauważyć, że badane grunty (w szczególności nr 6 i 7) wykazują bardzo wysokie wartości aktywności koloidalnej A i granicy płynności w_L .



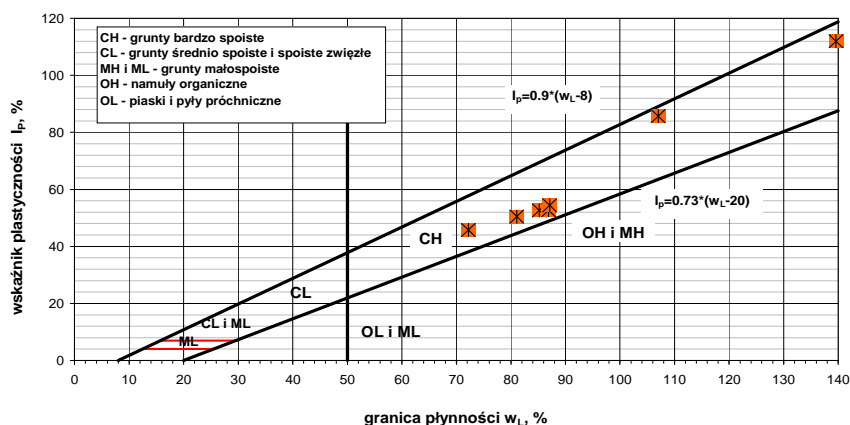
Rys. 1. Krzywe uziarnienia badanych łąw

Fig. 1. Grain size distributions of tested clay

Tabela 1. Wyniki badań właściwości fizycznych

Table 1. Physical properties of tested soils

Lp.	głębokość próby [m]	Zawartość frakcji wg PN-EN ISO 14688 (%)				rodzaj gruntu	w_n [%]	e [-]	Właściwości plastyczne					ρ [t/m ³]	ρ_d [t/m ³]	A [-]
		Gr	Sa	Si	Cl				w_p [%]	w_L [%]	I_p [%]	I_L [-]	I_C [-]			
1	6,0-6,6	-	5	44	51	Cl	33,9	0,95	32,6	85,2	52,6	0,02	0,98	1,86	1,39	1,1
2	18,0-18,6	-	7	49	44	Cl	33,8	1,01	34,2	86,9	52,7	-0,01	1,01	1,85	1,38	1,2
3	4,5-5,1	-	6	60	34	siCl	34,2	0,89	30,6	81,08	50,5	0,07	0,93	1,87	1,39	1,5
4	7,0-7,6	-	16	52	32	siCl	31,2	0,92	26,4	72,2	45,8	0,11	0,89	1,81	1,38	1,4
5	6,0-6,6	-	5	52	43	Cl	33,8	0,96	33,6	88,1	54,5	0,00	1,00	1,88	1,41	1,3
6	13,5-14,0	-	1	40	59	Cl	21,5	0,79	27,7	139,6	112,0	-0,06	1,06	1,9	1,56	1,9
7	17,7-18,2	-	7	48	45	Cl	17,8	0,73	21,6	107,3	85,7	-0,04	1,04	1,88	1,60	1,9



Rys. 2. Plastyczne właściwości badanych ilów

Fig. 2. Plastic behavior of tested clays

Z nomogramów do oceny ekspansywności gruntów Van der Merwego [10] i Seeda in. [9], przedstawionych w [7] wynika jednoznacznie, że część z badanych gruntów leży poza zakresem najczęściej występujących w podłożu materiałów. Z tego względu wartości zakresów wskaźnika plastyczności i granicy płynności na wspomnianych nomogramach należało ekstrapolować tak aby pokazać miejsce badanego materiału na tle najczęściej stosowanych klasyfikacji. Wstępne oszacowanie podatności badanych gruntów na pęcznienie wskazuje, że badany materiał jest bardzo podatny na pęcznienie, a stosując terminologię niektórych klasyfikacji nawet ekstremalnie wysoką ekspansywność. Należy jednakże

podkreślić, że wspomniane nomogramy stanowią jedynie przesłankę dla wykonania badań laboratoryjnych na próbkach o nienaruszonej strukturze.

3. Metodyka badań

Ciśnienie pęcznienia badanych gruntów zostało wyznaczone w standardowych edometrach następującymi metodami– metodą stałej objętości, metodą stopniowego obciążania oraz metodą serii próbek i w konsolidometrze metodą stałej objętości. Badania zostały przeprowadzone na próbkach gruntu o nienaruszonej strukturze (NNS). Badane próbki gruntu miały wymiary: średnica 50 mm, wysokość 20 mm.

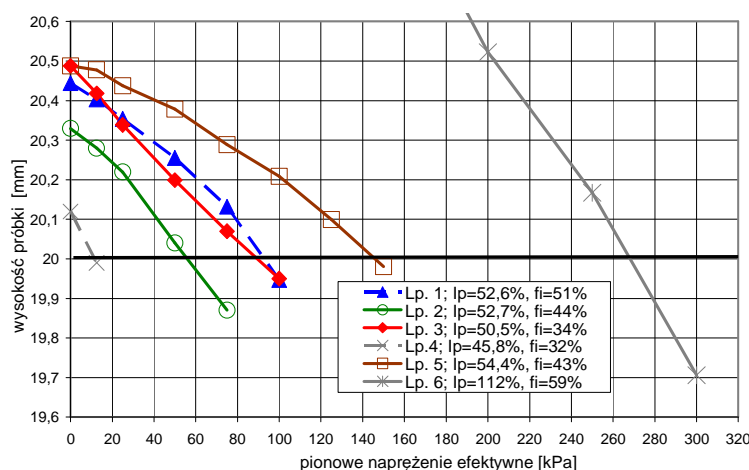
Wykonano 5 badań edometrycznych służących wyznaczeniu ciśnienia pęcznienia metodą **stopniowego obciążania spęczniałej próbki** zgodnie z normą ASTM 4546 [1]. Powyższa metoda została zaproponowana przez Holtza i Gibbsa w 1956r. [6], polega na obciążaniu maksymalnie spęczniałej próbki i doprowadzeniu jej do wysokości odpowiadającej stanowi początkowemu (przed spęcnieniem). Wartość ciśnienia pęcznienia odczytano z wykresu zależności wysokości (lub odkształcenia) próbki od pionowego naprężenia efektywnego, w miejscu przecięcia się krzywej z początkową wartością wysokości badanej próbki gruntu (rys. 3).

Wykonano 4 serie (po 4 próbki w serii) badań edometrycznych służących wyznaczeniu ciśnienia pęcznienia metodą **serii próbek**; zgodnie z normą PN-88/B-04481 [2]. Próbki obciążono różnymi wartościami naprężenia pionowego w każdej serii badawczej. Po zadaniu obciążenia doprowadzono do próbek wodę i obserwowano zmianę wysokości próbek. Po ustabilizowaniu się zmian wysokości próbki pomiary zakończono. Na podstawie zmian wysokości próbek w jednej serii badawczej określono wartość ciśnienia pęcznienia. Wyniki badań ciśnienia pęcznienia metodą serii próbek przedstawiono na rysunku 4.

Ciśnienia pęcznienia wyznaczone metodą **stałej objętości** mierzono podczas nasączania gruntu wodą w warunkach uniemożliwiających odkształcenie (pęcznienie) próbki gruntu, co zgodne jest z definicją ciśnienia pęcznienia. Badania wykonywano dla pojedynczych próbek gruntu w standardowych edometrach oraz na stanowisku pomiarowym, które składało się z edometru i mechanizmu napędowego aparatu trójosiowego ściskania. Po umieszczeniu próbki gruntu w edometrze, jego tłok blokowano ramą aparatu trójosiowego ściskania. Po między tłokiem i ramą znajdował się tensometryczny przetwornik siły. W czasie nasączania próbki kontrolowano przetwornikiem przemieszczeń stałe położenie tłoka edometru, a tym samym stałą objętość próbki gruntu. Powstające w czasie nasączania ciśnienie pęcznienia mierzono przetwornikiem siły do czasu uzyskania maksymalnych wartości ciśnienia. Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunku 5. Badanie próbki prowadzono zgodnie z normą PN-88/B-04481 [2].

4. Wyniki badań i ich analiza

Wyniki badań iłów o różnym stopniu plastyczności badanych metodą swobodnego pęcznienia przedstawiono na rysunku 3 natomiast na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych metodą serii próbek. Ciśnienia pęcznienia wyznaczone na podstawie badania metodą swobodnego pęcznienia wynoszą od około 11 kPa do 270 kPa, natomiast z badań metodą serii próbek od 80 kPa do 120 kPa. Próbki oznaczone numerami od 1 do 4 charakteryzują się wskaźnikiem plastyczności od 45 do 50 % badane metodą swobodnego pęcznienia wykazują ciśnienia pęcznienia mniejsze niż 100 kPa, natomiast w próbce nr 6, której wskaźnik plastyczności wynosi 112% ciśnienie pęcznienia wynosi 270 kPa.

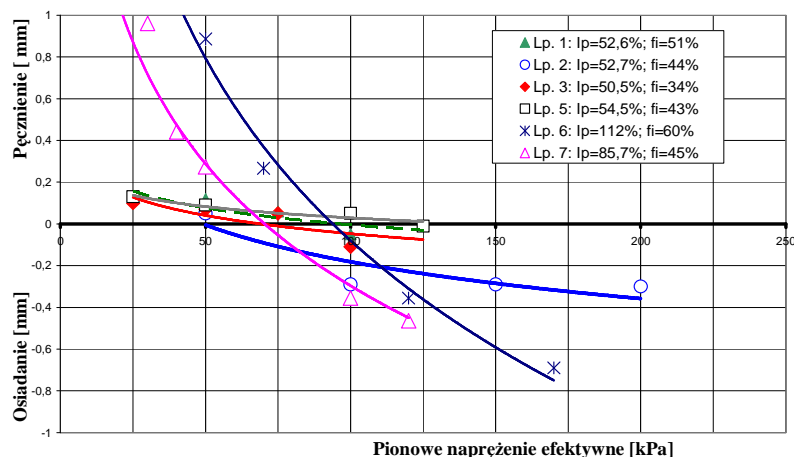


Rys. 3. Wysokość próbki podczas badania pęcznienia metodą swobodnego pęcznienia

Fig. 3. Height of the sample during the swelling test by free swelling method

Z uwagi na całkowicie odmienny wynik badania próbki nr 6, a mianowicie bardzo duże przyrosty wysokości próbki przy małych wartościach naprężenia efektywnego, wyniki zaprezentowano tylko dla większych wartości naprężeń.

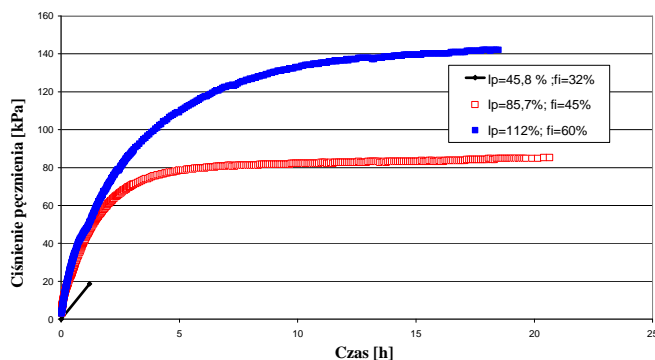
Z wyników badań przedstawionych na rysunku 4 wyraźnie widać, że grunty o wyższych wartościach wskaźnika plastyczności wykazują bardzo duże wartości pęcznienia przy małych wartościach naprężenia efektywnego.



Rys. 4. Wyniki badań ciśnienia pęcznienia metodą serii próbek

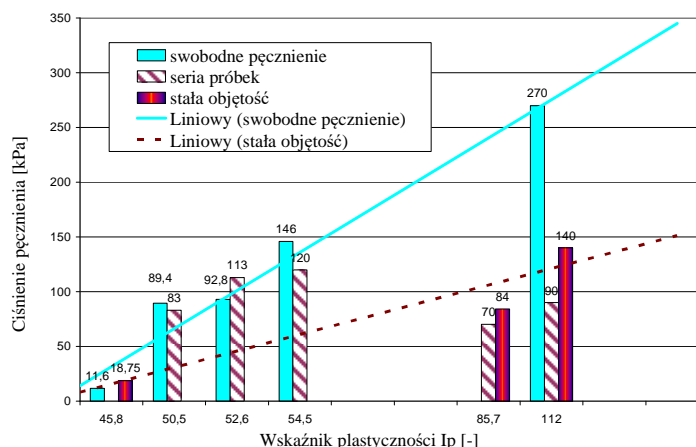
Fig. 4. Results of swelling pressure during the swelling test by the series of samples

Na rysunku 5 przedstawiono wyniki badań ciśnienia pęcznienia metodą stałej objętości próbki. Próbki o wyższych wskaźnikach plastyczności badano mierząc przetwornikiem siły powstające w czasie ciśnienia pęcznienia do czasu uzyskania maksymalnych wartości ciśnienia. Natomiast próbkę o najniższym wskaźniku plastyczności badano w standardowym edometrze zwiększając napężenie efektywne, tak aby uniemożliwić próbce spęcznienie. Z prezentowanych wyników wyraźnie widać (rys.6), że wraz ze wzrostem wskaźnika plastyczności wartość ciśnienia pęcznienia wyznaczanego metodą stałej objętości i metodą swobodnego pęcznienia wzrasta.



Rys. 5. Wyniki badań ciśnienia pęcznienia metodą stałej objętości

Fig. 5. Results of swelling pressure during the test using a constant volume swelling



Rys. 6. Zależność pomiędzy ciśnieniem pęcznienia a metodą badania ciśnienia pęcznienia

Fig. 6. The relationship between the pressure of the swelling and the swelling pressure test method

5. Podsumowanie i wnioski

Ekspansywność gruntów ilastych jest częstą przyczyną uszkodzeń konstrukcji inżynierskich w wyniku nadmiernych odkształceń podłoża i przemieszczeń budowli. Brak informacji o zakresie odkształceń iłów utrudnia proces projektowania oraz powoduje wysokie wymagania jakości wykonawstwa robót budowlanych. Znajomość wartości ciśnienia pęcznienia iłów w zależności od sytuacji środowiskowej kiedy to pęcznienie może wystąpić jest niezwykle istotna również dla użytkownika. Przy projektowaniu płyty fundamentowej na podłożu ilastym, w którym może nastąpić spęcznienie gruntu należy uwzględnić ciśnienie pęcznienia wyznaczone z metody stałej objętości próbki, gdyż takie będą warunki gruntowe w jakich to ciśnienie będzie powstawało. Natomiast w przypadku gdy w podłożu planowanego wykopu znajdują się gruntu ilaste i możliwa jest zmiana stanu nasycenia tych gruntów badania ciśnienia pęcznienia należy prowadzić metodą swobodnego pęcznienia. Na podstawie przeprowadzonych badań największe wartości ciśnienia pęcznienia uzyskano stosując metodę swobodnego pęcznienia natomiast najmniejsze wartości otrzymano z metody stałej objętości, która może być uznawana jako referencyjna.

Literatura

- [1] ASTM D 4546-90. Standard tests methods for one-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils.
- [2] PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
- [3] Chen F.N. Foundations on expansive soils. American Elsevier Science Publ., 1988, New York.

- [4] Garbulewski K.: Ocena pęcznienia gruntów. IX krajowa konferencja mechaniki gruntów i fundamentowania. 1990, s. 181-188.
- [5] Grabowska-Olszewska B.: Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. 1998, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- [6] Holtz W.G., Gibbs H.J.: Engineering properties of expansive clays. ASCE Transactions Paper No 2814, 1956, Vol. 121.
- [7] Lendo-Siwicka M. Niedźwiedzka K. Wdowska M.: Ocena ekspansywności wybranych ilów neogeńskich rejonu Raciborza. Wybrane zagadnienia konstrukcji i materiałów budowlanych oraz geotechniki. WU UTP w Bydgoszczy, 2015, s. 279-287.
- [8] Niedzielski A., Kumor M.K.: Geotechniczne problemy posadowień na gruntach ekspansywnych w Polsce. Inżynieria Morska i Geotechnika, Nr 3, 1990, s.180–190.
- [9] Seed H.B., Woodward R.J., Lundgren R.: Prediction of swelling potential for compacted clays. J. of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE 88 Tom. 3, 1962, s. 53–87.
- [10] Van Der Merwe D.H.: The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils. Trans. South Africa Inst. Civ. Engrs. Nr 6, 1964, s. 103–107.

INFLUENCE OF LABORATORY PROCEDURE OF SWELLING PRESSURE DETERMINATION ON EXAMPLE OF HIGH PLASTICITY CLAYS FROM REGION OF CRACAW

S u m m a r y

In the geotechnical design of structures in expansive clays the additional actions occurring during volume changes, especially during swelling, should be taken into account for design appropriate safeguards which is usually difficult task for engineers. The most important action that must be taken into account in the design of structures in clays and directly applicable in dimensioning structures is swelling pressure, which is determined in the laboratory using methods with different test conditions. The previous tests results show that the choice of method for determining the swelling pressure is a key problem in determining reliable values of swelling pressure. This paper presents the results of laboratory tests carried out to determine the swelling pressure of Miocene clays occurring in Carpathian Fore-Deep using the following three methods: free swelling in accordance with ASTM 4546, a series of sampling as well as methods of constant volume in accordance with PN-88 / B- 0448. The clay samples tested are characterized by clay fraction in the range of 32 to 60%, values of liquid limit in the range of $72.2 \div 139.6\%$ and the plastic index I_p from 45.8% to 112 %. Clays tested are of high colloidal activity soils expressed by the ratio of plasticity index to the content of clay fraction (A ratio acc. to Skempton) in the range of $1.1 \div 1.9$, which justifies their classification to clays with high potential swelling. Based on the research presented in the paper it was found that the swelling pressures of clays are in the broad range of from 11.6 kPa to 270 kPa, depending on the plasticity index I_p and test method. The highest swelling pressure values obtained using the method of free clay swelling, the smallest from the method of the zero volumetric strain.

Keywords: expansive soils, clays, potential swelling, test methods

Przesłano do redakcji: 07.06.2016 r.

Przyjęto do druku: 30.06.2016 r.

DOI: 10.7862/rb.2016.67