

Marek Barański, Emilia Wójcik

Ocena zdolności do zmian deformacyjnych iłów mio-pliocenńskich z poligonu badawczego STEGNY w Warszawie

Estimation of ability to deformation changes of mio-pliocene clay from experimentation site STEGNY in Warsaw

Streszczenie: Zmiany deformacyjne zachodzą w gruntach spoistych w efekcie współdziałania fazy stałej gruntu z fazą ciekłą. W artykule przedstawiona jest kompleksowa, geologiczno-inżynierska ocena zdolności do zmian objętościowych przeconsolidowanych iłów mio-pliocenńskich z poligonu badawczego STEGNY w Warszawie. Do oceny wykorzystano: skład granulometryczny i mineralny, podstawowe właściwości fizyczne oraz parametry gruntowe, takie jak: powierzchnia właściwa, pojemność sorpcyjna, pęcznienie swobodne, ciśnienie pęcznienia, ciśnienie ssania oraz charakterystyki w postaci krzywych retencji iłów.

Słowa kluczowe: właściwości geologiczno-inżynierskie, iły mio-pliocenńskie, pęcznienie, ciśnienie ssania

Abstract: Deformation changes occur in cohesive soils as a result of co-operation of their solid and liquid phases. The paper presents comprehensive, geological engineering evaluation of ability to volume changes overconsolidated mio-pliocene clay from site experimentation site STEGNY in Warsaw. For the evaluation of these changes grading and mineral composition, basic physical properties and soil parameters such as: specific surface, MBC, free swelling, swell pressure, suction pressure and soil-water characteristic curves were used.

Key words: geological engineering properties, mio-pliocene clay, swell, suction pressure

Marek Barański, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Zakład Geologii Inżynierskiej, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa, e-mail: Marek.Baranski@uw.edu.pl

Emilia Wójcik, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Zakład Geologii Inżynierskiej, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa, e-mail: wojcike@uw.edu.pl

Wprowadzenie

Zmiany deformacyjne wyrażane jako: pęcznienie, skurcz, osiadanie zapadowe, ekspansywność, podniesienie itp. mogą być przyczyną niekorzystnego wpływu podłoża gruntowego na obiekty budowlane. Właściwa ocena potencjalnej podatności gruntów spoistych na zmiany deformacyjne jest więc konieczna i niezbędna z przyczyn praktycznych.

Iły mio-plioceńskie na terenie Warszawy stanowią i będą coraz częściej stanowić podłoże obiektów budowlanych. Związane jest to z projektowaniem i realizacją znacznie większych niż do niedawna budowli. Wymienione grunty występują w Warszawie na głębokości w granicach od 2 m do 100 m p.p.t., a miąższość ich zmienia się od 50 m, dochodząc do 100–150 m. Grunty te ze względu na swoje właściwości ekspansywne i złożoną historię geologiczną wymagają przeprowadzenia równoległe badań laboratoryjnych i polowych.

Do oceny zmian deformacyjnych iłów mio-plioceńskich wykorzystano: skład granulometryczny i mineralny, podstawowe właściwości fizyczne oraz parametry gruntowe, takie jak: powierzchnia właściwa, pojemność sorpcyjna, pęcznienie swobodne, ciśnienie pęcznienia, ciśnienie ssania oraz charakterystyki w postaci krzywych retencji iłów. Prezentowane w artykule wyniki otrzymano dzięki badaniom prowadzonym dla potrzeb projektu badawczego KBN (Barański i in., 2004).

Poligon badawczy STEGNY

W celu kompleksowego rozpoznania właściwości gruntów oraz testowania różnorodnej aparatury badawczej ośrodki akademickie zakładają poligony badawcze. Modelowe poligony badawcze powstały np. w USA – National Geotechnical Experimentation Sites (VanMarcke, Fenton, 2003). W Polsce poligony badawcze nie występują powszechnie.

W Warszawie taki poligon istnieje na terenie dzielnicy Mokotów. Jest zlokalizowany na obszarze osiedla mieszkaniowego Stegny. Morfologicznie rejon poligonu położony jest w dolinie Wisły, na tarasie nadzalewowym. Przedmiotem badań geologiczno-inżynierskich są iły mio-plioceńskie formacji poznańskiej.

W wyniku realizacji 2 projektów badawczych KBN przez Zakład Geologii Inżynierskiej UW powstał poligon badawczy STEGNY (Kaczyński i in., 2000, Barański i in., 2004). Istnienie poligonu stwarza okazję do kontynuowania i rozwijania badań polowych i laboratoryjnych dotyczących iłów neogenu.

Warunki wodno-gruntowe rejonu poligonu STEGNY rozpoznano wierceniami do głębokości 36 m p.p.t., zaś za pomocą sondowań CPTU do głębokości 46 m p.p.t. Kompleks gruntów formacji poznańskiej występuje pod warstwą piasków aluwialnych, na głębokości około 4 m p.p.t. (Kaczyński i in., 2000).

Od sierpnia 2006 r. realizowany jest projekt badawczy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Ocena anizotropii struktury i naprężeń efektywnych w iłach mio-plioceńskich z poligonu badawczego STEGNY w Warszawie”.

Właściwości geologiczno-inżynierskie

W niniejszym punkcie przedstawiono tylko podstawowe właściwości geologiczno-inżynierskie omawianych ilów. Zainteresowany czytelnik znajdzie bardzo obszerną analizę właściwości fizycznych w opracowaniach Zakładu Geologii Inżynierskiej UW (Kaczyński i in., 2000, Barański i in., 2004).

Parametry gruntowe zestawiono w tabeli 1. Badania wykonano na próbkach ilów pobranych z głębokości w przedziale od 4,5 m do 36 m p.p.t. Tabela zawiera parametry statystyczne, takie jak: minimum, maksimum, średnia, odchylenia standardowe, współczynniki zmienności i liczba badań. Jak widać, istnieje spora zmienność takich parametrów, jak stopień plastyczności I_L (41%) oraz wskaźnik plastyczności I_p (96%). Współczynniki zmienności pozostałych parametrów nie przekraczają 23%.

W badanych próbkach gruntu il stanowi – 53%, zaś il pylasty – 32%, glina pylasta zwięzła – 13%, glina pylasta – 2%. W składzie mineralnym ilów pleceńskich ze Stegien przeważa beidelit nad illitem i kaolinitem: $B^{11-82\%} > I^{0-53\%} > K^{3-38\%}$.

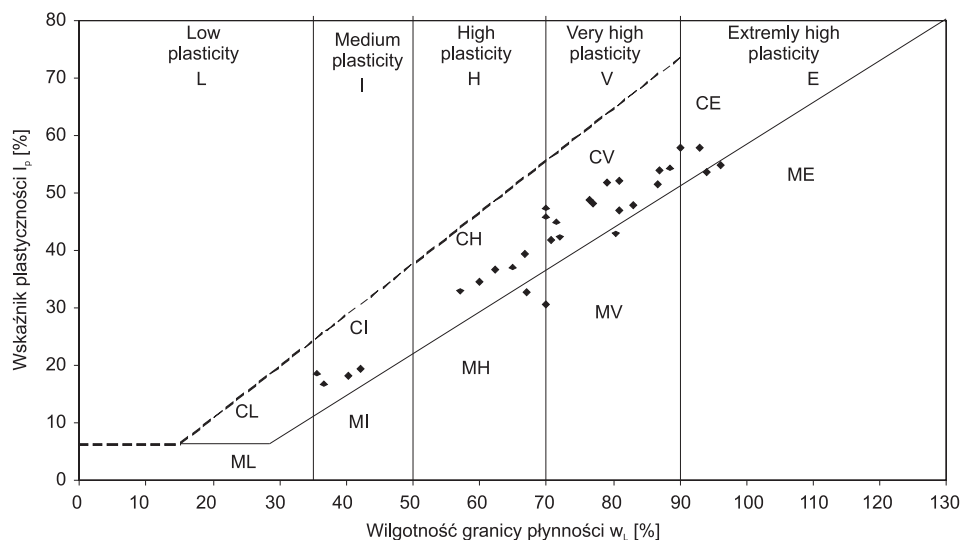
Tabela 1. Podstawowe parametry fizyczne ilów mio-pleceńskich ze Stegnie
Table 1. Basic properties mio-plecene clay from Stegny

Parametr	Właściwości:										
	r_s Mg/m ³	r Mg/m ³	r_d Mg/m ³	e –	w %	w_p %	w_L %	I_p %	I_L –	S_r –	A –
Min	2,68	1,85	1,36	0,453	16,67	16,8	35,5	16,9	–0,27	0,94	0,52
Max	2,73	2,17	1,86	0,993	36,52	41,0	96,0	58,0	0,24	1,07	1,04
X	2,70	2,04	1,64	0,674	24,69	29,5	71,6	41,7	–0,11	0,99	0,80
s	0,02	0,07	0,12	0,127	4,92	6,2	16,7	11,5	0,10	0,04	0,13
n %	1	4	7	19	20	21	23	41	96	4	16
N	30	120	120	120	300	38	38	38	38	120	38

Ocena zmian deformacyjnych gruntów

Ze względu na zawartość minerałów ilastych (średnio 60%), zawartość frakcji ilowej (średnio 50%) i dominację beidelitu (średnio 29%), ily mio-pleceńskie ze Stegien powinny wykazywać zdolności do zmian deformacyjnych. Zmiany takie zachodzą w gruntach spoistych w efekcie współdziałania fazy stałej gruntu (szkieletu mineralnego) z fazą ciekłą (wodą) i wywołują takie zjawiska, jak pęcznienie oraz ssanie.

Do oceny potencjalnych zdolności do zmian objętościowych gruntów spoistych można wykorzystać również metody pośrednie. Z analizy nomogramu Casagrande'a wynika, że około 50% zbadanych próbek ilów wykazuje bardzo wysoką i ekstremalnie wysoką plastyczność (ryc. 1), w związku z tym dla tych próbek ilów należy się spodziewać bardzo wysokiego i ekstremalnie wysokiego pęcznienia.



Ryc. 1. Nomogram Casagrande'a do oceny zdolności ekspansywnych z wartościami uzyskanymi dla ilów mio-plioceńskich ze Stegien

Fig. 1. Plasticity chart for evaluation expansive ability with values for mio-pliocene clay from Stegny

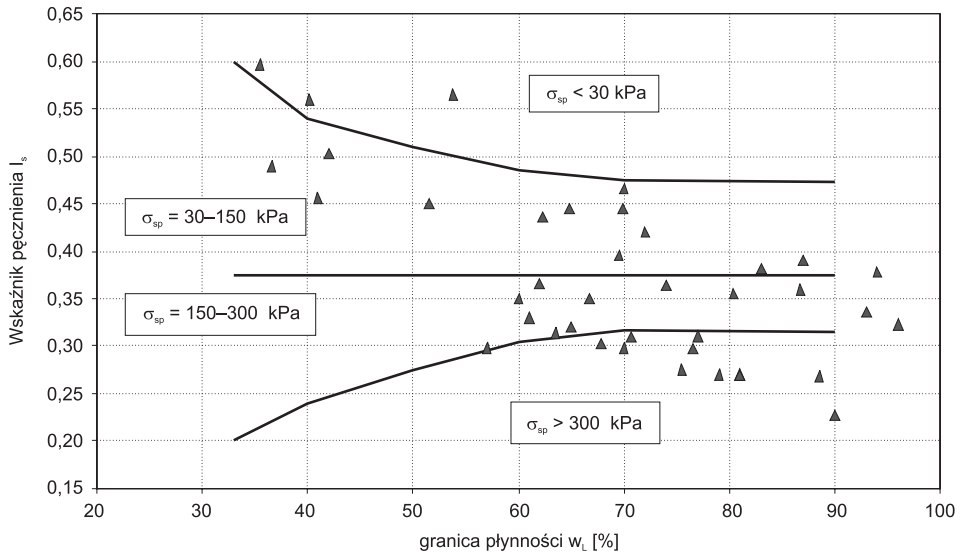
Analiza zależności między wskaźnikiem pęcznienia $I_s = w/w_L$ a wilgotnością granicy płynności w_L zaproponowanej przez Vijayvergię i Ghazzal'ego (1973) wykazała, że dla próbek ilów plioceńskich ze Stegien spodziewać się należy zróżnicowanego ciśnienia pęcznienia. Dla ponad 50% próbek szacunkowe wartości ciśnienia pęcznienia powinny wynosić ponad 150 kPa (ryc. 2).

Ciśnienie pęcznienia wyznaczono metodą bezpośrednią, wykorzystując metodę stałej objętości próbki. Testy przeprowadzono w automatycznym aparacie do badania ciśnienia pęcznienia h-200A produkcji norweskiej firmy GEONOR AS. Otrzymane wartości omawianego parametru zestawione w tabeli 2 są generalnie zgodne z prognozą.

Szybką ocenę charakterystyki zdolności gruntów spoistych do pęcznienia umożliwia badanie pęcznienia swobodnego FS_{HG} , opracowane przez Holtza i Gibbsa (1956). Zdolność do zmian objętościowych pod wpływem wody wykazują grunty spoiste o wysokich wartościach: powierzchni właściwej S_v , frakcji ilowej f_i oraz o dużych wartościach pojemności sorpcyjnej MBC. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że zdolności ekspansywne mają przede wszystkim ropy do głębokości 20 m p.p.t. (Barański i in., 2004). Poniżej tej wartości wzrasta zawartość frakcji piaskowej w profilu pionowym badanych ilów.

W gruntach spoistych istnieje związek pomiędzy pęcznieniem a ssaniem gruntu. Wartości ciśnień pęcznienia i ssania zależą między innymi od wilgotności gruntu. Wraz z jej wzrostem wartości te maleją i odwrotnie.

Do określenia zależności między wilgotnością a ciśnieniem ssania wybrano ropy mio-plioceńskie z różnych głębokości z wymienionego poligonu. Badania wykona-



Ryc. 2. Nomogram opracowany przez Vijayvergię i Ghazzaly'ego (1973) do oceny wartości ciśnienia pęcznienia

Fig. 2. Vijayvergiya and Ghazzaly chart for evaluation values of swell pressure

no przy użyciu talerzy ciśnieniowych firmy Soilmoisture Equipment Corporation. Metoda umożliwia pomiar ciśnienia ssania do pF 4,2, czyli do 1600 kPa.

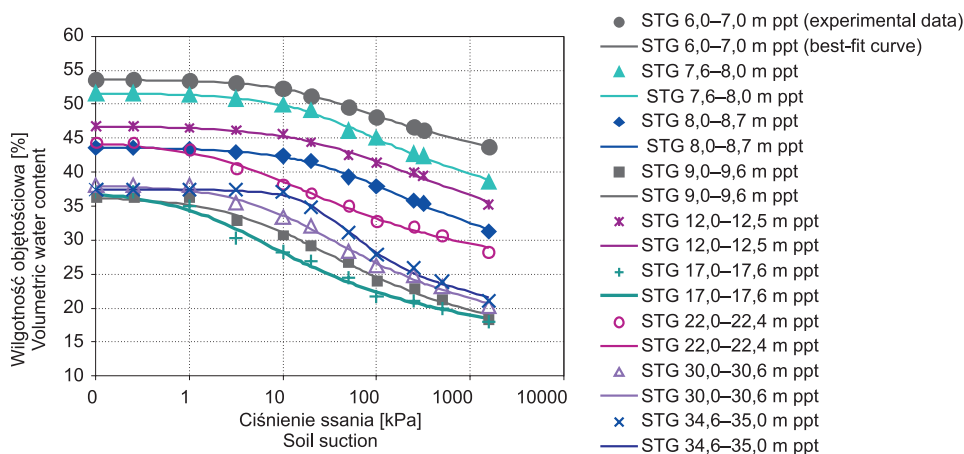
Krzywe zostały wyznaczone na podstawie 11 oznaczeń w zakresie od 0,1 do 1600 kPa (od pF 0 do 4,2). Każde oznaczenie wykonano na co najmniej 3 (maks. 8) identycznych próbkach gruntu, a podane wyniki są ich średnią arytmetyczną. Na rycinie 3 przedstawiono krzywe SWCC dla badanych próbek ilów.

Do interpretacji krzywych charakteryzujących układ grunt-woda zaproponowano szereg równań empirycznych. W niniejszej pracy skorzystano z równania trójparametrowego Fredlunda i Xinga (1994). Wykorzystując metodę aproksymacji średniokwadratowej funkcji charakteryzującej układ grunt-woda, w wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano wystarczającą zgodność krzywej teoretycznej ze zbiorem punktów eksperymentalnych (wilgotność, ciśnienie ssania) (Wójcik, 2003).

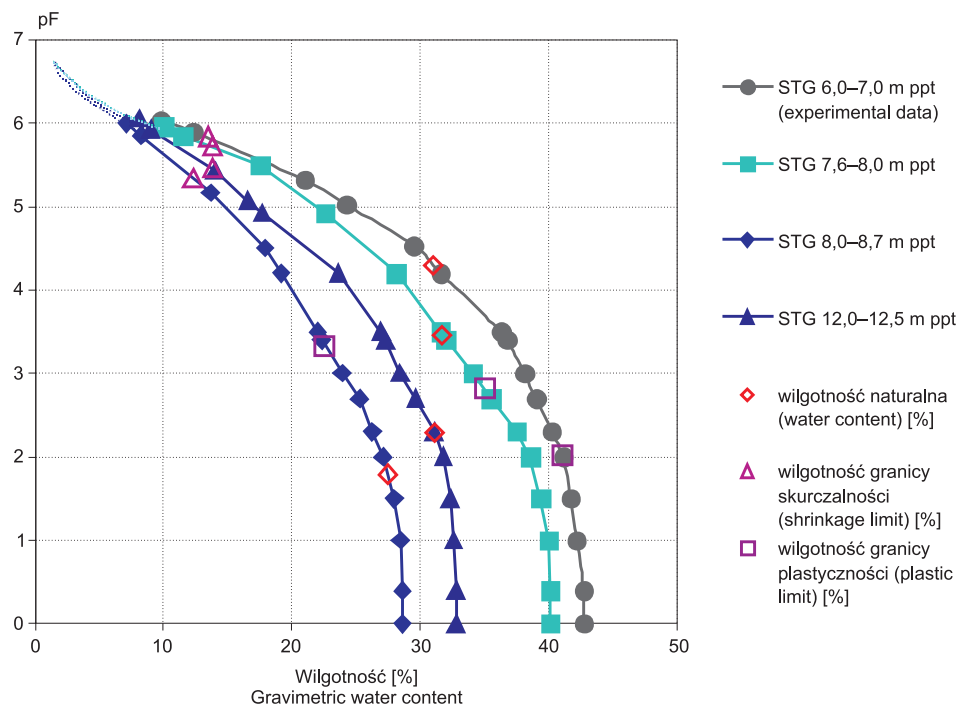
Tabela 2. Zestawienie wartości ciśnienia pęcznienia ilów ze Stegien

Table 2. Values of swell pressure of clay from Stegny

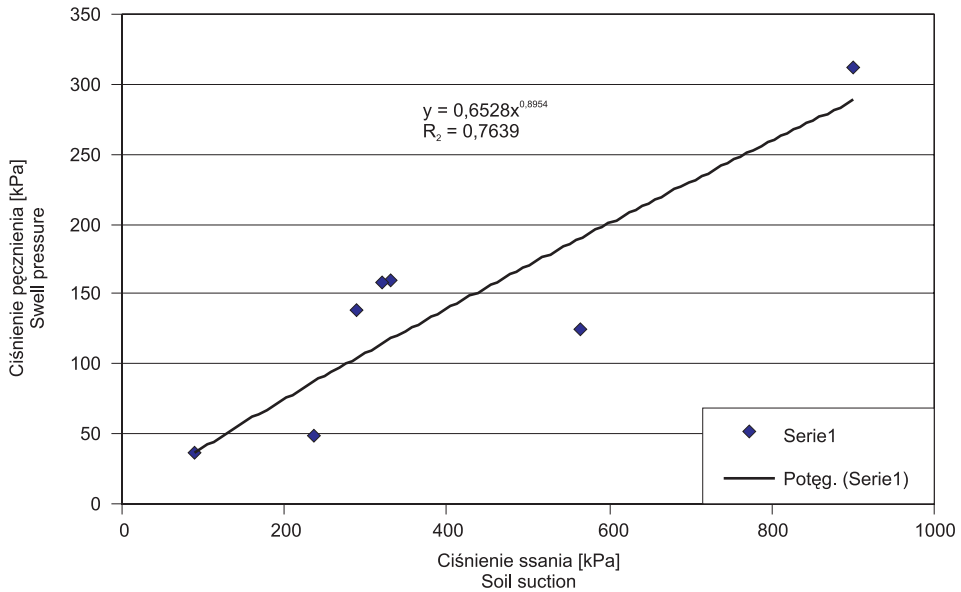
Parametr	Powierzchnia właściwa S_t (m^2/g)	Pojemność sorpcyjna MBC	Ciśnienie pęcznienia s_{sp} (kPa)	Pęcznienie swobodne FS _{HG} (%)
Min	85	4,03	36	50
Max	389	18,57	323	172
x	228	10,88	201	96
s	82	3,91	103	31
n %	36	36	51	32
n	34	34	12	39



Ryc. 3. Krzywa charakteryzująca układ grunt–woda dla ilów mio-pliocenijskich ze Stegien
 *symbolem oznaczone dane eksperymentalne, linią – aproksymacja
 Fig. 3. Soil-water characteristic curve for mio-pliocene clay from Stegny



Ryc. 4. Wykresy wilgotności w funkcji ciśnienia ssania z uwzględnieniem granic konsystencji
 Fig. 4. Soil-water characteristic curve considering limits of consistence



Ryc. 5. Zależność między ciśnieniem pęcznienia a ciśnieniem ssania dla ilów mio-pleceńskich

Fig. 5. Relationship between swell pressure and suction pressure for mio-pleceny clay

Z analizy otrzymanych krzywych SWCC wynika, że dla przedziału ciśnienia ssania 1–4,2 pF zmiany wilgotności objętościowej badanych gruntów wynoszą od 18 do 48%.

Określone w badaniach zależności pomiędzy ciśnieniem ssania i wilgotnością wykazały, że wraz ze wzrostem ciśnienia ssania maleje wilgotność. W przypadku badanych ilów mio-pleceńskich stwierdza się wprost proporcjonalną zależność między procentową zawartością frakcji ilowej i wilgotnością objętościową stanu pełnego nasycenia.

Wartość ciśnienia ssania zmienia się od zera do wartości bardzo dużych, niekiedy do ponad 100 MPa. Na rycinie 4 przedstawiono zależność wilgotności w procentach masy od ciśnienia ssania dla całego zakresu skali ciśnień ssących dla wybranych próbek. Powyżej wartości ciśnienia pF 4,2, czyli 1600 kPa, pomiarów dokonano metodami psychrometrycznymi oraz metodą bibuły filtracyjnej. Na wybrane krzywe retencji naniesiono wartości wilgotności naturalnej, a także granic konsystencji: skurczalności i plastyczności.

Dla ilów mio-pleceńskich wilgotność granicy skurczalności osiąga wartości ciśnienie ssania powyżej 10 000 kPa. Przy wilgotności równej granicy plastyczności wartości ciśnienia ssania ilów mio-pleceńskich mieszczą się między 10 a 300 kPa. Podobnego rzędu wyniki uzyskali Williams i Pidgeon (1983). Dla gruntów południowoafrykańskich przy wilgotności równej granicy skurczalności ciśnienie ssania osiąga wartość nawet powyżej 100 000 kPa (pF > 6) w strefie przypowierzchniowej, na głębokości 6 m p.p.t. ssanie równa się 4,8 pF, na głębokości 15 m – 3,8 pF. Przy wilgotności równej granicy plastyczności wartość ciśnienia ssania jeszcze jest powyżej 100 kPa.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono ocenę zdolności do zmian objętościowych przekonsolidowanych ilów mio-plioceńskich z poligonu badawczego STEGNY w Warszawie. Zdolność do zmian deformacyjnych oceniono na podstawie krzywych charakteryzujących układ grunt-woda (tzw. krzywa SWCC). Względne zmiany wilgotności dla przedziału ciśnienia ssania od 1 do 4,2 pF wynoszą od 18% do 49%. Na podstawie szeregu badań laboratoryjnych stwierdzono, że potencjalna ekspansywność jest wysoka lub bardzo wysoka dla większości badanych próbek ilów. Oszacowane wartości ciśnienia pęcznienia były zgodne z wartościami otrzymanymi z badań laboratoryjnych.

Do badań wykorzystano próbki gruntu pobrane w otworach cienkościennymi próbnikami typu Shelby. Wilgotność naturalna ilów jest zbliżona do wilgotności granicy plastyczności. Należy zdawać sobie sprawę, że procesy pobierania próbek gruntu w terenie oraz ich przygotowanie do badań laboratoryjnych wpływają na otrzymywane wartości ciśnień ssania i pęcznienia (Chandler i in., 1992). Podczas tych procesów następuje zmiana stanu naprężenie-odkształcenie oraz struktury próbek gruntu, zmiany te są więc nieuniknione. Otrzymane wartości wymienionych parametrów z badań laboratoryjnych są więc w pewnym stopniu zawyżone. Próba ilościowej oceny wpływu sposobu pobierania próbek gruntu i zmian ich struktury będzie przedmiotem badań w obecnie realizowanym projekcie badawczym.

Literatura

- Barański M., Kaczyński R., Borowczyk M., Krauzlis K., Trzciniński J., Wójcik E., Granacki W., Szczepański T., Zawrzykraj P., 2004. Ocena zachowania się ilów plioceńskich ze Stegien w warunkach naprężeń efektywnych. Sprawozdanie z projektu badawczego KBN Nr 5T12B 041 22. Archiwum Wydziału Geologii.
- Chandler R.J., Harwood A.H., Skinner P.J., 1992. Sample disturbance in London Clay. *Geotechnique*, vol. 42, 577–585.
- Fredlund D.G., Xing A., 1994. Equations for the soil-water characteristic curve. *Canadian Geotechnical Journal* 31: 521–532.
- Kaczyński R., Grabowska-Olszewska B., Borowczyk M., Ruszczynska-Szenajch H., Krauzlis K., Trzciniński J., Barański M., Gawriuczenkow I., Wójcik E., 2000. Litogeneza, mikrostruktury i geologiczno-inżynierskie właściwości ilów plioceńskich rejonu Warszawy. Projekt KBN Nr 9T12B 005 16. Arch. ZPG.
- Williams A.A.B., Pidgeont J.T., 1983. Evapo-transpiration and heaving clays in South Africa. *Geotechnique* 33: 141–150.
- Vijayvergiya V.N., Ghazzaly O.I., 1973. Prediction of swelling potential for natural clays. Proc. of the 3rd Int. Conf. on Expansive Clay Soils, Vol. 1. Jerusalem Academic Press, Jerusalem.
- Wójcik E., 2003. Wpływ ciśnienia ssania na przepuszczalność wybranych gruntów spójnych. Archiwum Wydziału Geologii. Rozprawa doktorska.
- VanMarcke E., Fenton G., 2003. Probabilistic site characterisation at the National Geotechnical Experimentation Sites. GSP ASCE 121.