

OCENA PARAMETRÓW ODKSZTAŁCENIOWYCH GYTII NA PODSTAWIE BADAŃ TERENOWYCH I LABORATORYJNYCH

Marek Bajda, Edyta E. Malinowska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W artykule podjęta została tematyka słabonośnych gruntów organicznych, gytii, zlokalizowanych głównie w dolinach jezior i rzek oraz stanowiących podłoże budowlane w aglomeracjach miejskich. Grunty te ze względu na dużą ściśliwość, małą wytrzymałość na ścinanie oraz trudną do oceny przepuszczalność w porównaniu z gruntami mineralnymi stwarzają problemy podczas projektowania posadowień konstrukcji inżynierskich. Zachowanie się gytii pod obciążeniem jest trudne do przewidzenia z uwagi na dużą nieliniowość charakterystyk odkształceniowych i zmienność parametrów wytrzymałościowych. Dlatego niezwykle istotna jest właściwa ocena parametrów odkształceniowych gruntów organicznych oraz ich weryfikacja z wynikami badań *in situ*. W pracy przedstawiono wyniki uzyskane z badań laboratoryjnych próbek typu A gytii oraz wyniki uzyskane z sondowań dylatometrem Marchettiego. Moduły ściśliwości uzyskane z badań laboratoryjnych zostały zweryfikowane wynikami badań terenowych. Ocena parametrów odkształceniowych gytii pozwoli na prognozę odkształceń i zapewnienie bezpiecznej, bezawaryjnej pracy projektowanej konstrukcji inżynierskiej.

Słowa kluczowe: grunty organiczne, moduł ściśliwości, SDMT, edometr

WSTĘP

Grunty organiczne charakteryzują się dużym zróżnicowaniem właściwości w zależności od rodzaju i zawartości poszczególnych składników części mineralnych i organicznych. Grunty te ze względu na dużą ściśliwość, małą wytrzymałość na ścinanie oraz trudną do oceny przepuszczalność w porównaniu z gruntami mineralnymi stwarzają dodatkowe problemy podczas projektowania posadowień konstrukcji inżynierskich. Zachowanie się

Adres do korespondencji – Corresponding author: Marek Bajda, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Geoinżynierii, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: marek_bajda@sggw.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

tych gruntów pod obciążeniem jest trudne do przewidzenia z uwagi na dużą nieliniowość charakterystyk odkształceniowych i zmienność parametrów wytrzymałościowych.

Właściwości geotechniczne gruntów organicznych są nadal w niedostatecznym stopniu rozpoznane. Najlepiej rozpoznane są właściwości średnio rozłożonych i rozłożonych torfów, natomiast istnieje mało informacji na temat parametrów geotechnicznych gytii i namulów.

Gytie zaliczane są do węglanowych osadów organicznych, które dość powszechnie występują w północnej Polsce, na Pojezierzu Środkowym i na Mazurach. Z każdym rokiem wzrasta zainteresowanie problematyką gruntów organicznych ze względu na ich przydatność w różnych dziedzinach gospodarki. Istniejące gytowiska oraz torfowiska dzięki różnym technikom wzmocnienia gruntów słabonośnych mogą być wykorzystywane pod budowę obiektów inżynierskich. Najczęściej dotyczy to lokalizowania nasypów komunikacyjnych lub obwałowań przeciwpowodziowych. Niemniej jednak coraz częściej organiczne grunty słabonośne „odkrywane są” jako przewarstwienia w centrach aglomeracji miejskich, co może stanowić duże utrudnienie dla posadawianej konstrukcji lub do niej przyległych. Powszechnie kiedyś stosowana technika całkowitej wymiany gruntu na nośny materiał gruntowy powinna być zastępowana innymi rozwiązaniami, niejednokrotnie korzystniejszymi ekonomicznie. Podjęcie racjonalnej decyzji co do sposobu posadowienia obiektu inżynierskiego, szczególnie w centrum miasta, wymaga znajomości parametrów odkształceniowych i filtracyjnych w celu prognozy odkształceń konsolidacyjnych pod obciążeniem. W praktyce inżynierskiej coraz częściej wykorzystywane są różne techniki wzmocnienia podłoża organicznego. Ostatnio przeprowadzone badania na gruntach organicznych potwierdzają, że znaczący wpływ na wartość parametrów odkształceniowych ma metoda etapowej budowy nasypów, a nie na przykład metoda przeciążeniowa lub długoterminowa konsolidacja z zastosowaniem lub bez drenów pionowych [Hsi i in. 2015].

Brak praktycznej informacji dotyczącej zachowania się słabonośnego podłoża organicznego niejednokrotnie zniechęca inwestorów do zastosowania innych rozwiązań technicznych. Dlatego niezwykle istotne jest pełne i dokładne rozpoznanie terenu oraz analiza parametrów geotechnicznych gruntów znajdujących się w obrębie budowli inżynierskiej, szczególnie w centrum aglomeracji miejskiej.

W artykule podjęto tematykę analizy parametrów odkształceniowych gytii występującej w rynnicy żoliborskiej, uzyskanych z badań laboratoryjnych zweryfikowanych wynikami badań terenowych. Przedstawiono wyniki uzyskane z badań laboratoryjnych próbek typu A gytii oraz wyniki uzyskane z sondowań dylatometrem Marchettiego. Wyniki badań laboratoryjnych, tj. krzywa konsolidacji, współczynnik konsolidacji pionowej i moduły ściśliwości, zostaną zweryfikowane wynikami badań terenowych.

CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU

Teren objęty badaniami położony jest w obrębie zdenurowanej wysoczyzny polodowcowej, wzniesionej około 36 m nad poziom „0” Wisły. Pod względem geologicznym teren badań znajduje się w obrębie jednostki tektonicznej zwanej niecką warszawską.

Formują ją osady górnej kredy, wykształcone jako margle i ropy margliste, których strop występuje na głębokości około 250 m p.p.t.

Nieckę kredową wypełniają osady oligoceńskie i plioceńskie. Utwory plioceńskie nadbudowuje kompleks osadów czwartorzędowych. W rejonie badań utwory czwartorzędowe dzielą się na preglacjalne, plejstoceniowe i najmłodsze (zastoiskowo-rzeczne) holoceniowe.

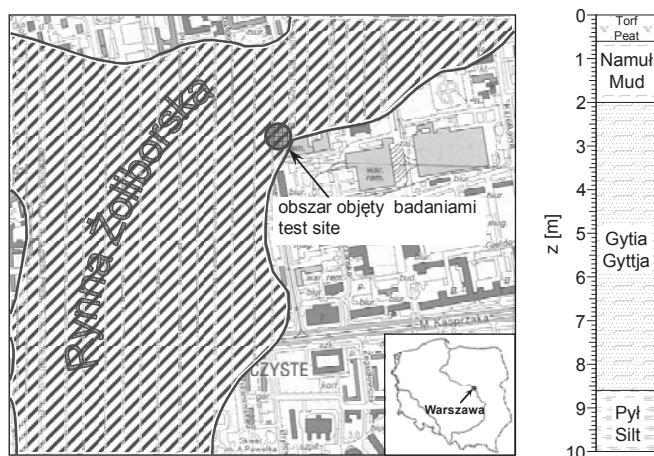
Do specyficznych gruntów zalegających w analizowanym rejonie należą grunty organiczne występujące w tzw. rynnie żoliborskiej. O właściwości tych gruntów decyduje przede wszystkim geneza ich powstania, o czym świadczą charakterystyki wytrzymałościowo-odkształceniowe zależne również od wilgotności naturalnej gruntów danej warstwy.

Utwory organiczne wypełniające rynnę żoliborską w miejscu objętym badaniami to głównie gytie oraz torfy i namuły. Strop tych gruntów układa się na głębokości od około 6,0 do 8,5 m p.p.t. Miąższość warstwy gruntów organicznych w analizowanym podłożu zawiera się w przedziale od 2 do 17,5 m. Podstawowe parametry fizyczne analizowanej gytii, uzyskane z badań laboratoryjnych pobranych próbek gruntu, przedstawiono w tabeli 1. W artykule przedstawiono wyniki wybranych badań i sondowań geotechnicznych wykonanych w rejonie objętym badaniami. Lokalizację terenu badań przedstawiono na rysunku 1.

Tabela 1. Właściwości fizyczne gytii na analizowanym terenie

Table 1. Index properties of gytija at the test site

Właściwości fizyczne – Physical properties	Skierniewicka-Wolska
Wilgotność – Water content [%]	98
Gęstość właściwa – Density of soil particles [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$]	2,25
Gęstość objętościowa – Bulk density [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$]	1,38
Gęstość objętościowa szkieletu – Dry density [$\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$]	0,7
Zawartość substancji organicznej – Organic matter content [%]	20
Początkowy wskaźnik porowatości – Initial void ratio [–]	2,22
Porowatość – Porosity [–]	0,7



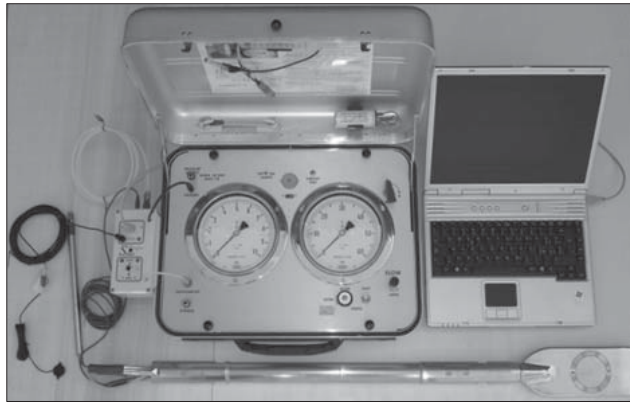
Rys. 1. Lokalizacja terenu badań i schemat budowy geologicznej podłoża

Fig. 1. Location and typical cross-section of the test site

METODYKA BADAŃ TERENOWYCH I LABORATORYJNYCH

Badania terenowe na analizowanym terenie przeprowadzono dylatometrem sejsmicznym SDMT. Dylatometr sejsmiczny SDMT jest połączeniem standardowego dylatometru zaprezentowanego przez Marchettiego [1980] oraz modułu sejsmicznego [Marchetti i in. 2008a, Amoroso i in. 2012]. Moduł ten składa się z dwóch geofonów w rozstawie 0,5 m, zainstalowanych w żerdzi umieszczonej za łopatką dylatometru (rys. 2). Pomiar prędkości fali poprzecznej polegał na pomiarze czasu, w jakim generowana na powierzchni terenu fala docierała od górnego do dolnego geofonu. Znajdując Δt z analizy dwóch kształtów fal ścinających oraz odległości (L) między dwoma geofonami, określono prędkość fali poprzecznej za pomocą równania:

$$V_s = \frac{L}{\Delta t} \quad (1)$$



Rys. 2. Wyposażenie dylatometru sejsmicznego [Marchetti i in. 2008b]

Fig. 2. Seismic dilatometer equipment [Marchetti et al. 2008b]

Dylatometr sejsmiczny w swojej obecnej wersji zyskał już spore grono zwolenników i istnieje obszerna literatura omawiająca zastosowanie badań SDMT do interpretacji wyników sondowań dylatometrycznych, określania rodzaju gruntu i oceny parametrów geotechnicznych oraz projektowania konstrukcji geotechnicznych [Bihs i in. 2010, Carroll i in. 2012, Cavallaro i in. 2006, 2015, Drevininkas i in. 2012, Młynarek i in. 2012a, b, Vargas i Coto 2012, Galas 2013].

Badania DMT przeprowadzono według standardowej procedury, tj. wykonując co 0,20 m odczyty A i B . Wartości odczytów A i B skorygowano ze względu na wpływ oporu bezwładności membrany (ΔA , ΔB), przez co uzyskano wartości ciśnienia p_0 i p_1 obliczone według wzorów:

$$p_0 = 1,05(A - Z_M - \Delta A) - 0,05(B - Z_M - \Delta B) \quad (2)$$

$$p_1 = B - Z_M - \Delta B \quad (3)$$

gdzie: ΔA , ΔB – poprawki do odczytów A i B,
 Z_M – początkowy odczyt.

Ciśnienia p_0 i p_1 z obliczoną wartością efektywnego naprężenia pionowego (σ'_{vo}) i wartością ciśnienia wody w porach (u_0) oszacowanego w warunkach *in situ* posłużyły do wyznaczenia następujących wskaźników dylatometru [Marchetti 1980]:

– wskaźnika materiałowego (I_D)

$$I_D = \frac{p_1 - p_0}{p_0 - u_0} \quad (4)$$

– wskaźnika składowej poziomej naprężenia (K_D)

$$K_D = \frac{p_0 - u_0}{\sigma'_{vo}} \quad (5)$$

– modułu dylatometrycznego (E_D)

$$E_D = 34,7(p_1 - p_0) \quad (6)$$

Moduł dylatometryczny (E_D) charakteryzuje zależność między naprężeniem działającym na membranę a jej wymuszonym przemieszczeniem i odzwierciedla sztywność gruntu. W gruntach słabo przepuszczalnych pomierzona dylatometrem sztywność gruntu odpowiada warunkom bez odpływu, a w piaskach otrzymaną miarę sztywności należy odnieść do warunków pełnego odpływu. Parametrem geotechnicznym opisującym sztywność gruntu, a jednocześnie najlepiej korelującym z modułem dylatometrycznym (E_D) jest moduł ściśliwości (M), który określa się z zależności:

$$M = R_M \cdot E_D \quad (7)$$

$$I_D < 0,6 \quad R_M = 0,14 + 2,36 \log K_D \quad (8)$$

$$I_D < 3 \quad R_M = 0,5 + 2 \log K_D \quad (9)$$

$$0,6 < I_D < 3 \quad R_M = R_{M,0} + (2,5 - R_{M,0}) \log K_D \quad (10)$$

gdzie: $R_M = 0,14 + 0,36[I_D - 0,6]/2,4$, jeżeli $R_M < 0,85$, to należy przyjąć, że $R_M = 0,85$.

Badanie sejsmicznym dylatometrem pozwala uzyskać moduł odkształcenia postaciowego G_0 (G_{\max}), który zgodnie z teorią sprężystości można określić ze wzoru wykorzystującego prędkość fali poprzecznej (V_S):

$$G_0 = \rho \cdot V_S^2 \quad (11)$$

gdzie: ρ – gęstość objętościowa gruntu,

V_S – prędkość fali poprzecznej.

Badania laboratoryjne zostały wykonane na próbkach gruntu organicznego, gytii, typ A. Wykonano serię badań ściśliwości na próbkach gruntu o początkowej wysokości 20 mm, średnicy 50 mm i wilgotności 98%. Badania odkształcalności gruntu przeprowadzono w ACONS, tj. automatycznym systemie konsolidacji, przedstawionym na ry-

sunku 3. Metodyka badań laboratoryjnych jest odzwierciedleniem badań w standardowych edometrach. Niemniej jednak system ACONS posiada wiele zalet (skrócenie czasu wykonywanych badań dzięki pneumatycznemu, automatycznemu zadawaniu obciążeń i odciążeniu; automatyczny dobór warunków zadawania i zdejmowania obciążeń; ciągła rejestracja i możliwość zmiany warunków badania).



Rys. 3. Stanowisko do edometrycznych badań laboratoryjnych ACONS: 1 – system rejestracji z programem ClispStudio, 2 – miniscanner, 3 – trzy niezależnie pracujące automatyczne edometry

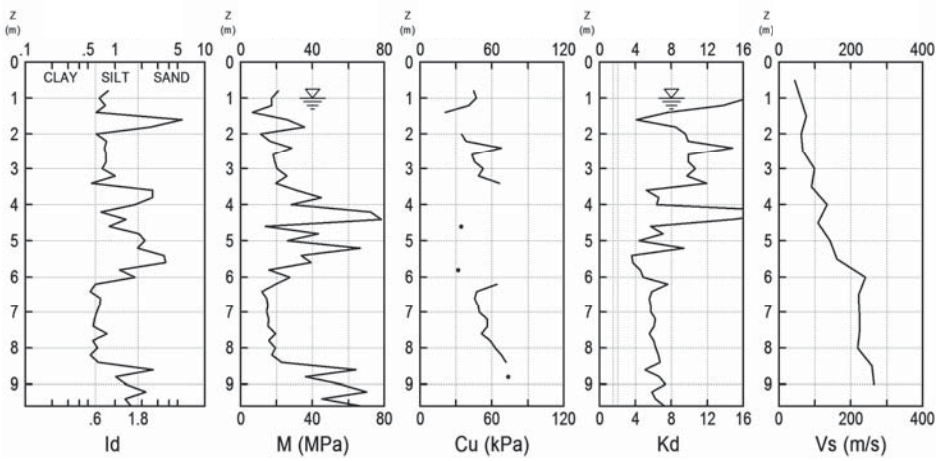
Fig . 3. Automatic Consolidation System: 1 – registration system with ClispStudio Programm, 2 – miniscanner, 3 – three independent working ACONS

WYNIKI BADAŃ TERENOWYCH I LABORATORYJNYCH

W zależności od stopnia skomplikowania i ważności rozpatrywanego zadania geotechnicznego rozpoznanie warunków geotechnicznych opiera się zazwyczaj na analizie wyników wierceń badawczych uzupełnionych wynikami badań laboratoryjnych parametrów fizykomechanicznych i badań geotechnicznych *in situ*. Trudności związane z pobraniem reprezentatywnych próbek o nienaruszonej strukturze do badań laboratoryjnych w połączeniu z dynamicznym rozwojem nowoczesnych technik badawczych i urządzeń pomiarowych do badań terenowych powodują zwrócenie większej uwagi na możliwość wykorzystania tych badań (głównie sondowań CPT i DMT) do oceny parametrów słabego podłoża. Zaletą badań *in situ* jest fakt, że są one prowadzone w rzeczywistych warunkach gruntowych (stanu i naprężenia) oraz pozwalają na stosunkowo szybkie uzyskanie poszukiwanych parametrów.

Wyniki badań SDMT przedstawiono na rysunku 4 w formie wykresów wskaźnika materiałowego (I_D), modułu ścisłości (M), wytrzymałości na ścinanie bez odplywu (C_u), wskaźnika składowej poziomej naprężenia (K_D) oraz prędkości fali poprzecznej (V_S) w profilu głębokości.

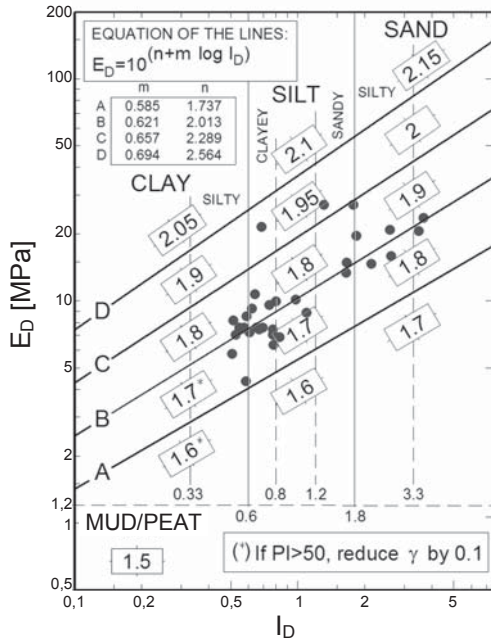
W celu identyfikacji rodzaju gruntu na podstawie sondowań SDMT wyniki dla warstwy gytyi, która występuje na głębokości od 2 do 8,6 m (z przewarstwieniami pylasto-



Rys. 4. Wyniki badań SDMT

Fig. 4. Profile of data from SDMT test

-piaszczystymi na głębokości od 4 do 6 m), przedstawiono na nomogramie klasyfikacyjnym [Marchetti i Crapps 1981] (rys. 5). W przypadku badanych gruntów uzyskane wyniki nie potwierdzają wyników oceny makroskopowej oraz wyników badań laboratoryjnych analizowanej gytii, które na nomogramie znajdują się w strefie gruntów mineralnych.



Rys. 5. Nomogram klasyfikacyjny [Marchetti i Crapps 1981]

Fig. 5. Classification chart [Marchetti and Crapps 1981]

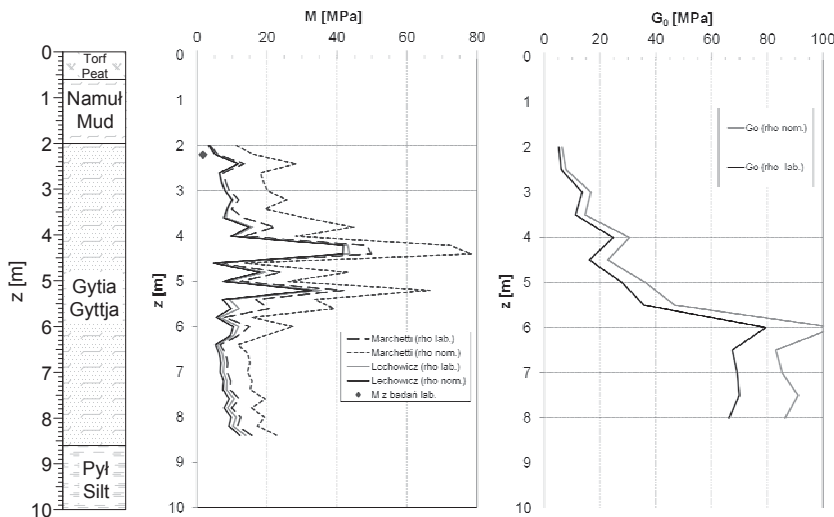
Wykorzystując wartości uzyskane z sondowania SDMT, oszacowano parametry odkształceniowe, takie jak moduł ściśliwości (M) i moduł odkształcenia postaciowego (G_0).

Moduł ściśliwości określono na podstawie klasycznego wzoru Marchettiego (7) oraz modyfikacji wzoru na R_M dla gytii [Lechowicz 1996] w postaci:

$$R_M = 0,12 + 2,1 \cdot \log K_D \quad (12)$$

Początkowy moduł ścinania (G_0) można określić na podstawie badań sejsmicznych, mierząc prędkość fali poprzecznej, a następnie korzystając z równania (11).

W obu przypadkach obliczenia przeprowadzono dla gęstości (ρ) gytii określonej na podstawie nomogramu (zawyżonej) oraz uzyskanej z badań laboratoryjnych. Określone na podstawie powyższych wzorów wartości modułu ściśliwości M i G_0 w profilu głębokości przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Wartości modułu odkształcenia i ścinania otrzymane z badań

Fig. 6. Values of oedometric and shear modulus obtained from test

Badania laboratoryjne pozwalają na modelowanie zachowania się obciążanego podłoża konstrukcji inżynierskiej w warunkach, które niejednokrotnie są trudne do prognozowania w terenie. Wyniki badań laboratoryjnych potwierdzają, że właściwości inżynierskie gruntów organicznych wykazują dużą zmienność zależną od rodzaju i ilości części organicznych. Wpływ zawartości części organicznych w porównaniu z właściwościami gruntów mineralnych wyraża się większą przepuszczalnością i wzrastającą tendencją do pelzania, co jest niedopuszczalne ze względów inżynierskich. Już w latach 80. XX wieku Dhowian i Edil [1980], opisując zachowanie się torfów, zwrócili uwagę, że kształt krzywej konsolidacji jest inny niż w gruntach mineralnych. Zależność prędkości krzywej

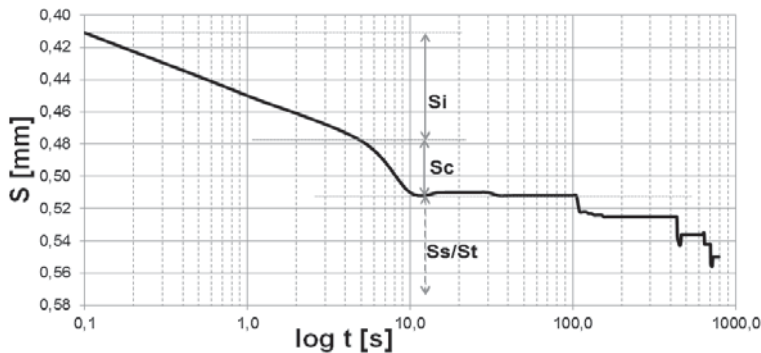
ściśliwości w czasie nie jest stała, tylko rośnie po przekroczeniu „czasu krytycznego”, osiągając tzw. konsolidację trzeciorzędową.

Zarówno wtórną, jak i trzeciorzędową konsolidację charakteryzuje tzw. *constant rate* (stała szybkość odkształcenia), która zależy od zmiany współczynnika porowatości [Dhovan i Edil 1980]. Określenie odrębnej/innej krzywej konsolidacji dla gruntów organicznych wykazujących trzeciorzędową konsolidację jest podstawą do zmian w analizie wyników badań tych gruntów. Ostatnie prace naukowe również potwierdzają występowanie tzw. pełzania gruntu organicznego, którego początek na krzywej konsolidacji jest trudny do określenia [Karabatakis i Hatzigogos 2002, Fatahi i in. 2013, Yin i in. 2013, Hsi i in. 2015]. Ponadto wieloletnia analiza zachowania się gruntów organicznych pod obciążeniem wskazuje na nieliniowe zależności pomiędzy odkształceniem a naprężeniem oraz w opisie charakterystyk przepływu [Malinowska i Szymański 2009, Malinowska i in. 2011].

W celu analizy właściwości odkształceniowych gytii z podłoża wykonano edometryczne badania laboratoryjne, na podstawie których otrzymano następujące parametry: moduł ściśliwości, odkształcenie jednostkowe, naprężenie prekonsolidacji. Przykładowe wyniki charakterystyk osiadania gruntu w czasie, w zależności od zadanego obciążenia, przedstawiono na rysunkach 7 i 8.

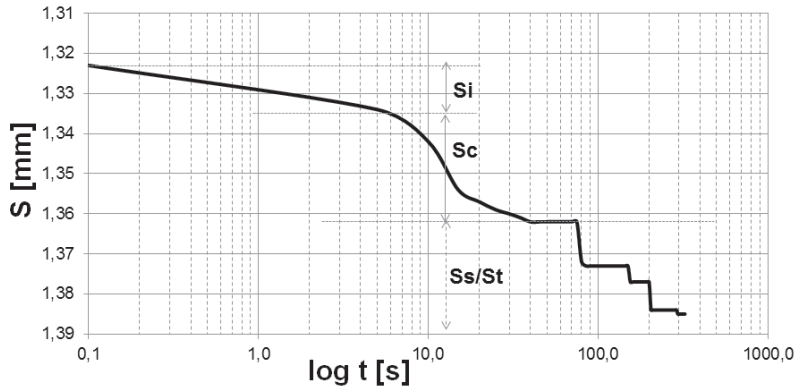
Badania laboratoryjne pozwoliły na wykonanie analizy odkształcenia słabonośnego podłoża gruntowego z wydzieleniem rekonsolidacji, odciążenia i ponownej konsolidacji gruntu (rys. 9). Możliwe też było wyznaczenie naprężenia prekonsolidacji (rys. 10).

Wyniki badań laboratoryjnych modułu ściśliwości zestawione zostały w tabeli 2. Potwierdzają one wnioski przedstawione w pracy Pietrzykowskiego [2011], tzn. wyniki badań modułu ściśliwości z terenu są zawyżone w stosunku do wyników badań otrzymanych z laboratorium.



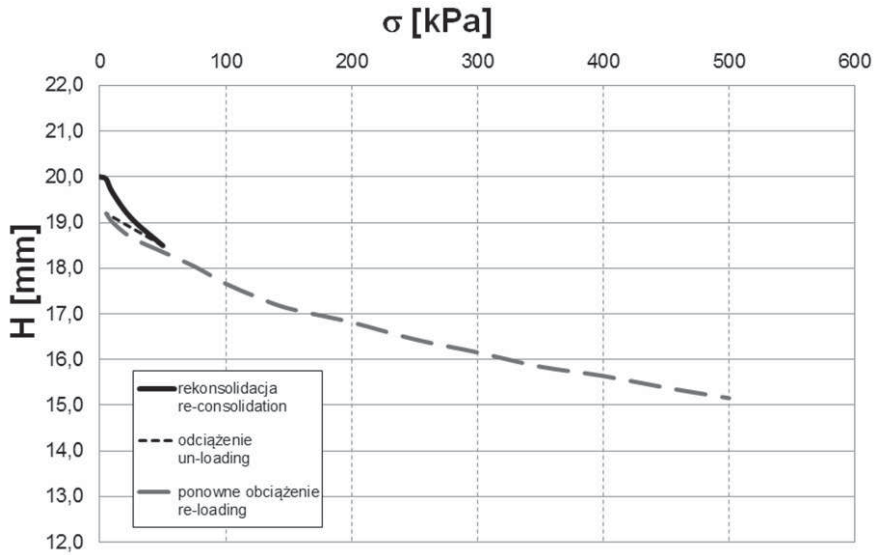
Rys. 7. Osiadanie w czasie dla obciążenia 15 kPa z zaznaczeniem etapów odkształcenia gruntu: S_i – osiadanie natychmiastowe, S_c – osiadanie konsolidacyjne, S_s/St – osiadanie wtórne oraz trzeciorzędowe

Fig. 7. Settlement in log time for 15 kPa loading: S_i – immediate settlement, S_c – consolidation settlement, S_s/St – secondary and tertiary settlement



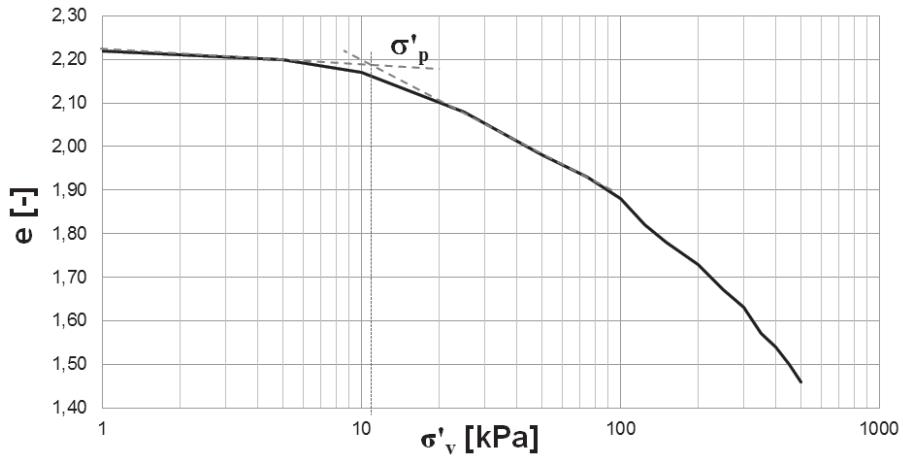
Rys. 8. Osiadanie w czasie dla obciążenia 50 kPa z zaznaczeniem etapów odkształcenia gruntu: S_i – osiadanie natychmiastowe, S_c – osiadanie konsolidacyjne, $S_{s/St}$ – osiadanie wtórne oraz trzeciorzędowe

Fig. 8. Settlement in log time for 50 kPa loading: S_i – immediate settlement, S_c – consolidation settlement, $S_{s/St}$ – secondary and tertiary settlement



Rys. 9. Osiadanie gruntu w zależności od naprężenia

Fig. 9. Stress-settlement characteristic



Rys. 10. Zależność wskaźnika porowatości od naprężenia

Fig. 10. Void ratio vs. stress

Tabela 2. Wartości modułu ścisłości określone z badań laboratoryjnych

Table 2. Oedometric modulus obtained from laboratory tests

Zakres naprężeń Stress σ [kPa]	Moduł ścisłości pierwotnej Primary oedometric modulus M_o [kPa]	Moduł ścisłości wtórnej Secondary oedometric modulus M [kPa]
0–5	2000	
5–10	340	
10–25	530	
25–50	838	
50–5		1064
5–10	518	
10–25	898	
25–50	1567	
50–75	1592	
75–100	1319	
100–125	1695	
125–150	2033	
150–200	3279	
200–250	2688	
250–300	3497	
300–350	3195	
350–400	4950	
400–450	3861	
450–500	4386	

PODSUMOWANIE

Gytie eemskie występujące w rynnie żoliborskiej w Warszawie wykazują różną od innych organicznych gytii z terenów północnej Polski charakterystykę. Charakteryzują się one bardziej „skupioną/mocną” teksturą, zupełnie odbiegającą od słabonośnych gruntów organicznych. Niemniej jednak parametry odkształceniowe analizowanego podłoża gruntowego nie wskazują, że są to grunty spoiste „mocne”, jak również znacząco odbiegają od wyników badań gruntów organicznych, jakim jest na przykład torf.

Badania laboratoryjne potwierdziły stosunkowo dużą odkształcalność gytii z rynny żoliborskiej, jednakże mniejszą od innych gruntów organicznych uznanych za słabonośne. Ponadto krzywe konsolidacji wykazały silną tendencję tych gruntów do procesu pelzania, co potwierdza wcześniejsze wieloletnie obserwacje i badania prowadzone na gruntach organicznych w Katedrze Geoinżynierii SGGW w Warszawie.

Dodatkowo wartość naprężenia prekonsolidacji jest bardzo zbliżona do wartości naprężenia prekonsolidacji dla gruntów organicznych, czyli znacząco mała w stosunku do gruntów mineralnych. Wartość modułu ścisłości określona z badań laboratoryjnych jest zbliżona do wartości modułów określonych ze wzoru (12) dla wartości gęstości z badań laboratoryjnych i terenowych oraz ze wzoru (7) uwzględniającego gęstość objętościową z badań laboratoryjnych, tj. $\rho = 1,38 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$. Jednakże moduł ścisłości określony z badań terenowych z zastosowaniem wzoru (7), który uwzględnia gęstość objętościową z nomogramu, tj. $\rho \cong 1,7 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$, jest dwa razy większy niż średnia wartość modułu ścisłości z badań laboratoryjnych ($M_0 = 2,6 \text{ MPa}$).

Pomiar prędkości fali poprzecznej, a w konsekwencji rozkład w profilu głębokości modułu ścinania (G_0) pozwolił na wydzielenie w warstwie gytii eemskich dwóch stref sztywności na głębokościach od 2 do 4 m i na głębokości od 6 do 8 m. W pierwszej strefie wartość modułu ścisłości zawiera się w przedziale 5–25 MPa, w drugiej moduł zawiera się w przedziale 66–79 MPa. Świadczy to o różnym stopniu skonsolidowania warstwy gytii.

PIŚMIENNICTWO

- Amoroso, S., Monaco, P., Marchetti S. (2012). Use of the Seismic Dilatometer (SDMT) to estimate in situ G - γ decay curves in various soil types. *Incontro Annuale dei Ricercatori di Geotecnica*, IARG, Padova, 2–4 luglio.
- Bihs, A., Long, M., Marchetti, D., Ward, D. (2010). Interpretation of CPTU and SDMT in organic Irish soil. *2nd International Symposium on Cone Penetration Testing*. Huntington Beach, 2, 257–264.
- Carroll, R., Long, M., Ward, D. (2012). Use of CPTU and SDMT to characterize silty soil. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization, I*, Porto de Galinhas, Brazil, 214–249.
- Cavallaro, A., Grasso, S., Maugeri, M. (2006). Clay soil characterization by the New Seismic Dilatometer Marchetti Test (SDMT). *2nd International Conference on the Flat Dilatometer*. Washington, 261–268.
- Cavallaro, A., Capilleri, P., Maugeri, M. (2015). Soil Characterization of Catania Harbour by the Seismic Dilatometer Marchetti Test (SDMT). *3rd International Conference on the Flat Dilatometer*. Rome, 14–16 June (dokument elektroniczny).

- Dhowan, A.W., Edil, T.B. (1980). Consolidation behavior of peats. *Geotechnical Testing Journal*, 9, 105–114.
- Drevininkas, A., Creer, G., Nkemitag, M. (2012). Comparison of estimated settlements from CPTU and SDMT in organic soils. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization, II. Porto de Galinhas, Brazil, 1839–1846*.
- Fatahi, B., Le, T.M., Le, M., Khabbaz, H. (2013). Soil creep effects on ground lateral deformation and pore water pressure under embankments. *Geomechanics and Geoengineering*, 06, 8(2), 107–124.
- Galas, P. (2013). Wyznaczanie wytrzymałości na ścinanie gruntów spoistych na podstawie badań dylatometrycznych SDMT. Praca doktorska. SGGW, Warszawa.
- Hsi, J., Gunasekara, Ch., Nguyen, V. (2015). Chapter 25. Characteristics of Soft Peats, Organic Soils, and Clays, Colombo Katunayake Expressway in Sri Lanka. *Ground Improvement Case Histories Embankments with Special Reference to Consolidation and Other Physical Methods*, 705–750.
- Karabatakis, D.A., Hatzigogos, T.N. (2002). Analysis of creep behavior using interface elements. *Computers and Geotechnic*, 29, 257–277.
- Lechowicz, Z. (1996). Współczesne kierunki badań gruntów organicznych. Wykład wprowadzający na seminarium „Współczesne problemy geoinżynierii w rejonie szczecińskim”. Szczecin.
- Malinowska, E., Szymański, A. (2009). Analiza zmian gradientu hydraulicznego w charakterystykach przepływu słabonośnego podłoża. *Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 4 (46), 35–47.
- Malinowska, E.E., Szymanski, A., Sas, W. (2011). Estimation of flow characteristics in peat. *ASTM Inter. Geotechnical Testing Journal*, 34, 3, 250–254.
- Marchetti, S. (1980). In Situ Tests by Flat Dilatometer. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 106, GT3, Proc. Paper 15290, 299–321.
- Marchetti, S., Craps, D.K. (1981). Flat Dilatometer Manual. Internal Report of G.P.E. Inc.
- Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G., Marchetti, D. (2008a). In Situ Tests by Seismic Dilatometer (SDMT). *ASCE Geot. Special Publication GSP 170 honoring Dr. J.H. Schmertmann*. New Orleans, March, 9–12.
- Marchetti, D., Marchetti, S., Monaco, P. (2008b). Short Course on Seismic Flat Dilatometer (SDMT): SDMT: Equipment and Test Execution. *The 3rd International Conference on Site Characterization*. Taipei, April, 1–4.
- Młynarek, Z., Gogolik, S., Gryczmański, M., Ulniarz, R. (2012a). Settlement analysis of a cylindrical tank based on CPTU and SDMT results. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization, II. Porto de Galinhas, Brazil, 1585–1590*.
- Młynarek, Z., Wierzbicki, J., Stefaniak, K. (2012b). Deformation characteristics of overconsolidated subsoil from CPTU and SDMT tests. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization, II. Porto de Galinhas, Brazil, 1189–1593*.
- Pietrzykowski, P. (2011). Eemskie gytie i kreda jeziorna z Warszawy jako przykład „mocnych” gruntów organicznych. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 446, 385–396.
- Vargas, L.A., Coto, M. (2012). Experiences in the use of DMT – SDMT in Costa Rica, Central America. *Geotechnical and Geophysical Site Characterization, I. Porto de Galinhas, Brazil, 375–382*.
- Yin, D., Li Y., Wu H., Duan, X.M. (2013). Fractional description of mechanical property evolution of soft soils during creep. *Water Science and Engineering*, 6(4), 446–455.

DETERMINATION DEFORMATION PARAMETERS OF GYTTJA ON THE BASIS OF IN SITU AND LABORATORY TESTS

Abstract. In this paper deformation parameters of organic soil gyttja, were taken into the consideration. The organic soils are usually located in the river valleys and as a subsoil under engineering constructions, e.g. in the city. Gyttja's, because of their large compressibility, small shear strength and difficult to evaluate permeability create a problem during calculating and modeling the foundation of the engineering construction. The stress-strain relationship in gyttja is hard to predict, because of the non-linear deformation parameters and variability of strength parameters. Therefore, it is very important to properly determine deformation parameters of organic soils on the basis of in situ and laboratory tests. In this paper, the laboratory test results, obtained on soil samples type A, and in situ dilatometer Marchetti test are presented. Oedometric modulus obtained from laboratory tests is verified with the in situ results. Determination of deformation parameters of gyttja, based on in situ and laboratory tests, lets to predict stress-strain characteristics for safety and failure-free work of the designed engineering construction.

Key words: soft soils, oedometric modulus, SDMT, oedometer

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 26.07.2016

Cytowanie: Bajda, M., Malinowska, E.E. (2016). Ocena parametrów odkształceniowych gytii na podstawie badań terenowych i laboratoryjnych. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (3), 17–30.