

Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2016), 25 (3), 347–355  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2016), 25 (3)  
Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2016), 25 (3), 347–355  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2016), 25 (3)  
[http://iks\\_pn.sggw.pl](http://iks_pn.sggw.pl)

**Piotr PAPROCKI, Wojciech TYMIŃSKI, Tomasz KIEŁCZEWSKI**

Geoteko Projekty i Konsultacje Geotechniczne Sp. z o.o.  
Geoteko Geotechnical Consultants Ltd.

## **Analiza parametrów geotechnicznych gruntów słabonośnych na przykładzie dokumentowania warunków budowy podłoża gruntowego dla inwestycji liniowej**

### **Analysis of geotechnical parameters of soft soils – example of soil investigation data for a linear investment**

**Słowa kluczowe:** grunty organiczne, dokumentowanie badań geotechnicznych, dobór parametrów, badania laboratoryjne, badania terenowe

**Key words:** organic soils, results of geotechnical investigation, selection of parameters, laboratory tests, field tests

## **Wprowadzenie**

Podstawą do prawidłowego zaprojektowania i realizacji drogowych budowli ziemnych jest właściwe rozpoznanie warunków budowy podłoża gruntowo-wodnego. Szczególne znaczenie należy przypisać prawidłowemu opisaniu (rozpoznanie) gruntów słabonośnych (słabych) występujących w podłożu pasa drogowego i obiektów infrastruktury towarzyszącej. Kluczowe znaczenie dla bezpiecznego, a zarazem ekonomicznego zaprojektowania drogowej inwestycji

liniowej mają informacje dotyczące obszaru i głębokości występowania gruntów słabonośnych, ich rodzaju (charakterystyki) oraz wartości prawidłowo określonych parametrów odkształceniowych i wytrzymałościowych.

Występowanie w podłożu gruntowym gruntów organicznych, które są zaliczane do słabych podłoży budowli ziemnych, to znaczy ich wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu jest mniejsza niż 50 kPa, a moduł odkształcenia jest mniejszy niż 5 MPa (GDDP, 2002), w każdym przypadku skutkuje określeniem co najmniej złożonych warunków gruntowych zgodnie z treścią rozporządzenia o ustalaniu geotechnicznych warunków posadowienia (Dz.U. z 2012, poz. 463).

Na etapie rozpoznania warunków geotechnicznych obowiązujące prawodawstwo (Dz.U. z 2012, poz. 463), normy

(PN-EN 1997-2:2009) i najnowsze wytyczne branżowe (Zarządzenie..., 2015) wymagają określenia wyprowadzonych wartości parametrów gruntowych bezpośrednio na podstawie wykonanych badań terenowych i laboratoryjnych.

### **Charakterystyka inwestycji i zakres badań**

W artykule przedstawiono analizę wyników badań gruntów organicznych występujących w podłożu projektowanej drogi ekspresowej S5 na odcinku o długości około 54 km Białe Błota – granica województwa wielkopolskiego i kujawsko-pomorskiego. Badania terenowe i laboratoryjne stanowiące podstawę przeprowadzonej analizy wykonano w 2014 roku na potrzeby opracowania dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i dokumentacji badań podłoża gruntowego dla odcinka drogi ekspresowej S5 Nowe Marzy – Świecie – Bydgoszcz – Cotoń na zlecenie GDDKiA Oddział w Bydgoszczy przez Geoteko Projekty i Konsultacje Geotechniczne Sp. z o.o.

Zadanie inwestycyjne, dla którego zrealizowano przedmiotowe badania geotechniczne, to budowa drogi ekspresowej S5 na odcinku Białe Błota granica województw wielkopolskiego i kujawsko-pomorskiego (część 4, 5 i 6 ww. zadania inwestycyjnego).

W ramach prac terenowych w podłożu analizowanego odcinka drogi ekspresowej S5 na etapie sporządzania dokumentacji wyników łącznie wykonano (Geoteko, 2014–2015): 2289 otworów badawczych o głębokości od 3 do 30 m, 573 sondowania CPT na głębokościach od 3 do 26 m, 6 sondowań CPTU na głą-

bokościach od 8 do 23 m, 6 badań dylatometrem Marchettiego (DMT) na głębokościach od 10 do 15 m, 6 badań sondą krzyżakową (FVT) na głębokościach od 4 do 13 m.

Laboratoryjne badania właściwości fizycznych (wilgotność, uziarnienie, zawartość części organicznych, gęstość, granice konsystencji) wykonano dla 796 próbek gruntu. W celu określenia wytrzymałości i odkształcalności gruntów zalegających w podłożu obiektów drogowych i mostowych wykonano łącznie 101 testów w aparacie trójosiowym i 27 badań edometrycznych (Geoteko, 2014–2015a, b).

W celu ustalenia wartości parametrów mechanicznych gruntów organicznych, w sześciu lokalizacjach, tak zwanych węzłach badawczych, wykonano wiercenia badawcze z poborem próbek, sondowania sondą statyczną (CPTU), badania dylatometrem Marchettiego (DMT) oraz badania sondą krzyżakową (FVT) (Geoteko, 2014–2015a, b).

### **Charakterystyka gruntów organicznych w podłożu gruntowym na analizowanym odcinku**

#### **Klasyfikacja badanych gruntów**

Na podstawie przeprowadzonych badań i kartowania geologiczno-inżynierskiego, w trasie projektowanej drogi ekspresowej zinventaryzowano 28 odcinków (o długości co najmniej kilkadziesiąt metrów), w podłożu których stwierdzono występowanie gruntów organicznych. Miąższość warstw słabonośnych gruntów organicznych wynosi od 0,3 do 19,5 m. Wśród gruntów organicz-

nych występujących na rozpatrywanym odcinku projektowanej drogi S5 wyróżniono: torfy, namuły i gytie.

Torfy charakteryzują się wilgotnością w granicach 250–820% i zawartością części organicznych w granicach 60–95%. Średnia wartość gęstości objętościowej wynosi  $1 \text{ g/cm}^3$ . Pod względem stopnia rozkładu badane torfy należy zaliczyć do torfów pseudowłóknistych (wg PN-EN ISO 14688-1:2006). Stopień rozkładu według skali von Posta:  $H_4 - H_6$ .

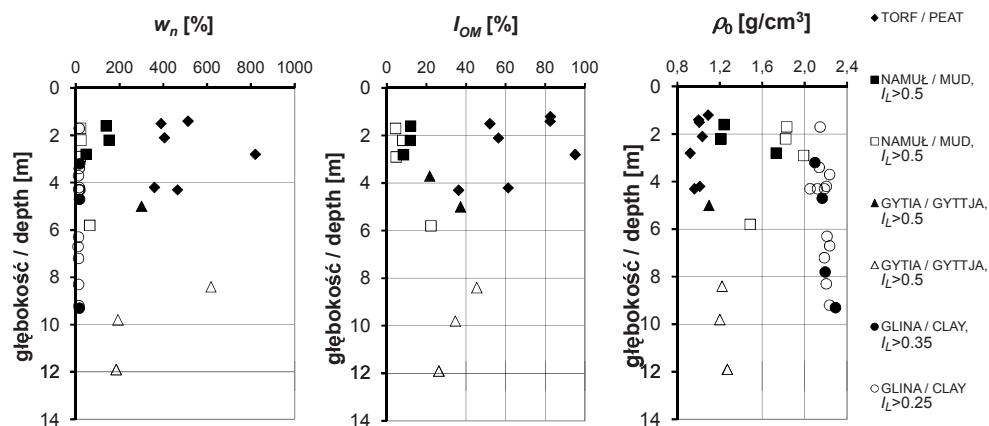
Gytie składają się z części organicznych, węglanu wapnia oraz części mineralnych bezwęglanowych (Myślińska, 2001). Występujące w badanym podłożu gytie wykazują zawartość części organicznych w granicach 22–45%, co pozwala klasyfikować je jako gytie mineralne (na pograniczu mineralno-organicznych), a ze względu na zawartość węglanu wapnia (do 40%  $\text{CaCO}_3$ ) jako gytie niskowęglanowe. W przyjętej charakterystyce geotechnicznej warstwę gytii podzielono pod względem stanu na gytie miękkoplastyczne o  $I_L > 0,5$  i gytie plastyczne o  $I_L < 0,5$ . Wilgotność naturalna gytii miękkoplastycznych wynosiła 210–620%, gytii plastycznych 190–220%, a gęstość objętościowa wyniosła odpowiednio  $1,10$  i  $1,23 \text{ g/cm}^3$ .

Namuły to grunty powstałe na skutek osadzania się w środowisku wodnym substancji mineralnych i organicznych o zawartości części organicznych w zakresie 2–30%. Badane namuły to głównie namuły gliniaste (wg PN-86-B-02480:1986), dla których przy określaniu stanu gruntu stosuje się kryteria odpowiadające gruntom spoistym. W przyjętej charakterystyce warstwę namułów podzielono pod względem

stanu na namuły miękkoplastyczne o  $I_L > 0,5$  oraz namuły plastyczne i twar doplastyczne o  $I_L < 0,5$ . Zawartość części organicznych w badanych namułach zawierała się w granicach 4–12%, wilgotność naturalna namułów miękkoplastycznych wynosiła 60–150%, namułów plastycznych zaś 15–60%, a gęstość objętościowa wyniosła odpowiednio  $1,22$  i  $1,77 \text{ g/cm}^3$ .

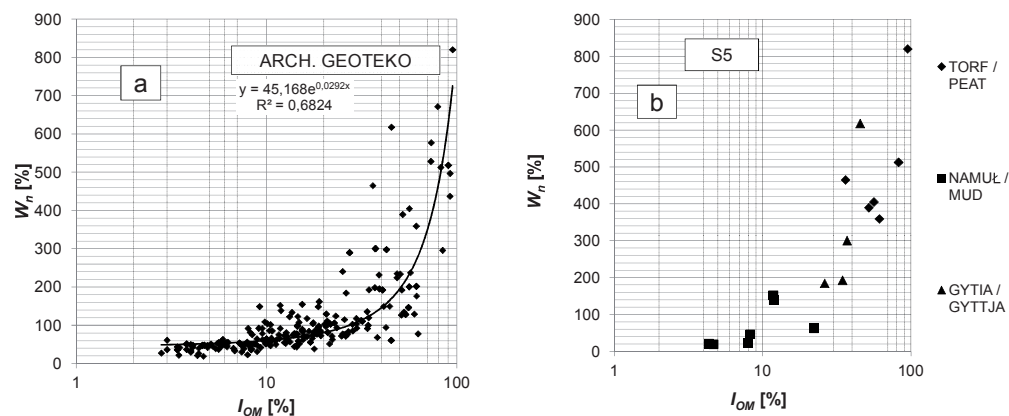
### **Cechy fizyczne badanych gruntów organicznych**

Grunty organiczne charakteryzują się złożoną, niejednorodną budową – szkielet gruntowy zbudowany jest z części organicznych i mineralnych. Występowanie zarówno części organicznych, jak i mineralnych oznacza, że szkielet gruntów organicznych zbudowany jest z dwóch znacznie różniących się od siebie materiałów, co ma wpływ na właściwości mechaniczne i filtracyjne (anizotropia ośrodka, zdolność do absorbowania wody). Głównymi cechami opisującymi właściwości fizyczne gruntów organicznych są gęstość objętościowa i wilgotność naturalna oraz zawartość części organicznych. Na podstawie wyników badań laboratoryjnych określono zmienność tych cech w zależności od głębokości zalegania gruntów (rys. 1). Dla porównania na rysunku 1 naniesiono również wartości otrzymane dla gruntów mineralnych (glin). Analiza otrzymanych wyników badań cech fizycznych wyraźnie wskazuje na wpływ zawartości części organicznych zarówno na wilgotność naturalną, jak i gęstość objętościową gruntu (rys. 2 i 3). Otrzymane wartości porównano z wynikami archiwalnymi Geoteko.



RYSUNEK 1. Zmienność wybranych cech fizycznych badanych gruntów organicznych i mineralnych (tylko próbki o nienaruszonej strukturze)

FIGURE 1. Selected index properties of organic and mineral soils (only undisturbed samples)



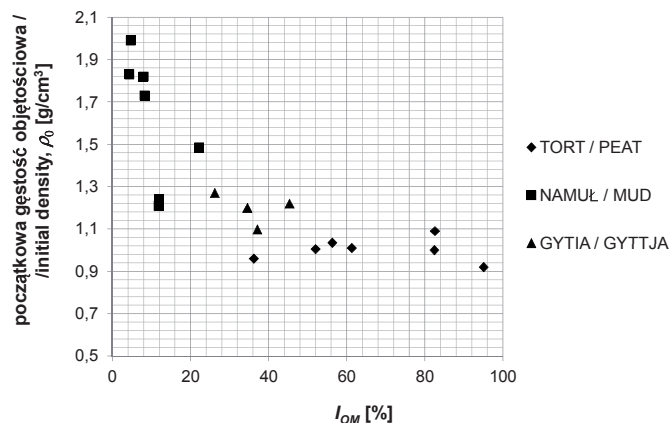
RYSUNEK 2. Wpływ zawartości części organicznych na wilgotność naturalną gruntów: (a) badania archiwalne Geoteko; (b) dla przedmiotowego odcinka drogi ekspresowej S5

FIGURE 2. Influence of organic matter content on natural water content: (a) archival tests by Geoteko; (b) for the analyzed section of S5 expressway

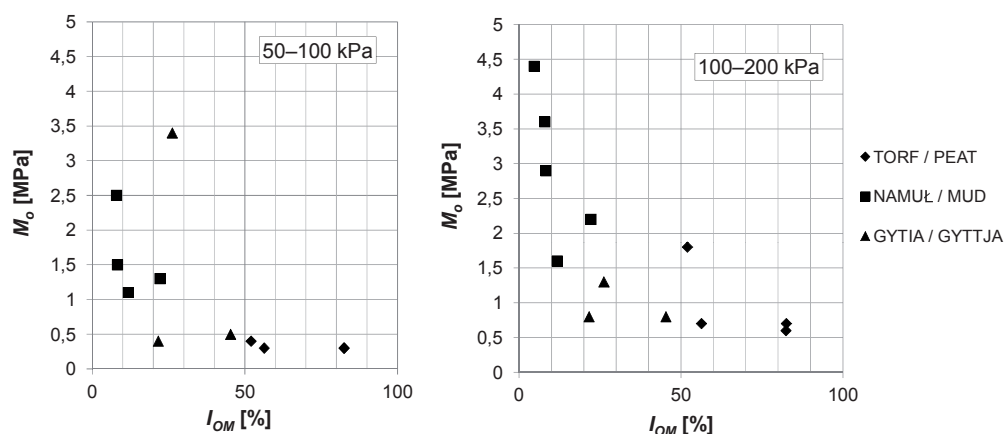
### Parametry odkształceniowe badanych gruntów organicznych

Z punktu widzenia bezpieczeństwa projektowanych drogowych budowli ziemnych, w przypadku gruntów organicznych bardzo istotny jest drugi stan graniczny, ponieważ jego osiągnięcie następuje wcześniej niż zniszczenie

wskutek przekroczenia pierwszego stanu granicznego. Na rysunku 4 przedstawiono wartości pierwotnych modułów ścisłości uzyskanych na podstawie badań edometrycznych, dla zmiany naprężeń pionowych z 50 do 100 kPa i ze 100 do 200 kPa. Zestawiając uzyskane wyniki badań odkształcalności gruntów



RYSUNEK 3. Wpływ zawartości części organicznych na gęstość objętościową gruntów  
 FIGURE 3. Influence of organic matter content on bulk density



RYSUNEK 4. Moduły ścisłości uzyskane na podstawie badań edometrycznych  
 FIGURE 4. Oedometer moduli

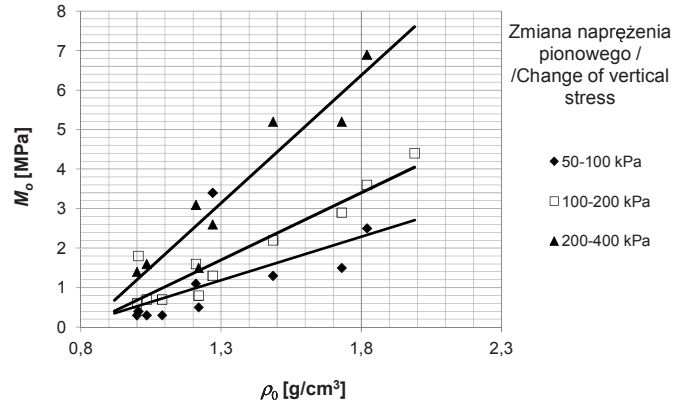
organicznych z wynikami badań ich właściwości fizycznych, można potwierdzić fakt ścisłej zależności między tymi cechami. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono zależności wartości modułu ścisłości (dla różnych naprężeń pionowych) od wybranych cech fizycznych.

Wyznaczone moduły wskazują, że badane grunty są bardzo ścisłe, a wartości odkształceń pionowych przy na-

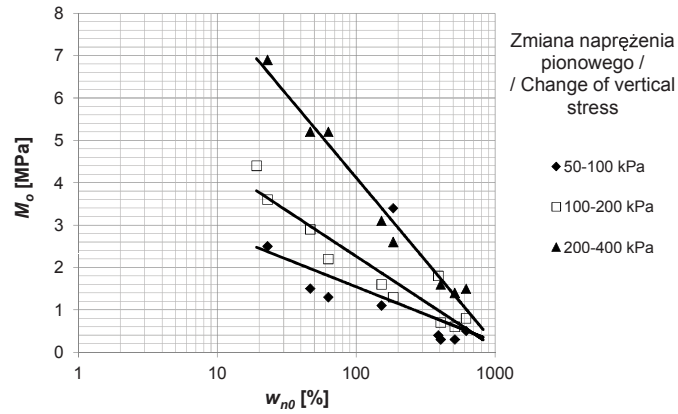
prężeniu 100 kPa sięgają kilkudziesięciu procent (torfy) – rysunek 7.

### Parametry wytrzymałościowe badanych gruntów organicznych

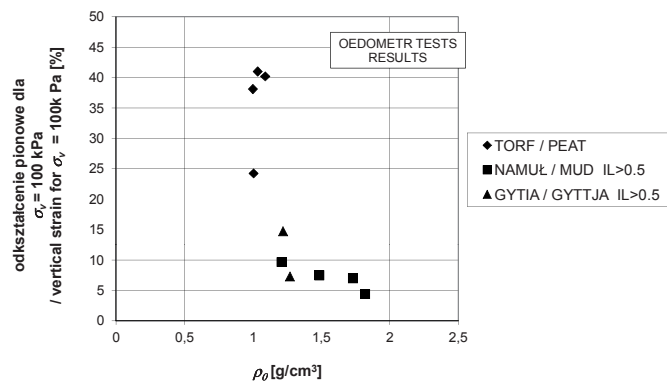
W celu określenia wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu badanych gruntów wykonano sondowania FVT i CPTU oraz badania laboratoryjne. W laboratorium wykonano badania



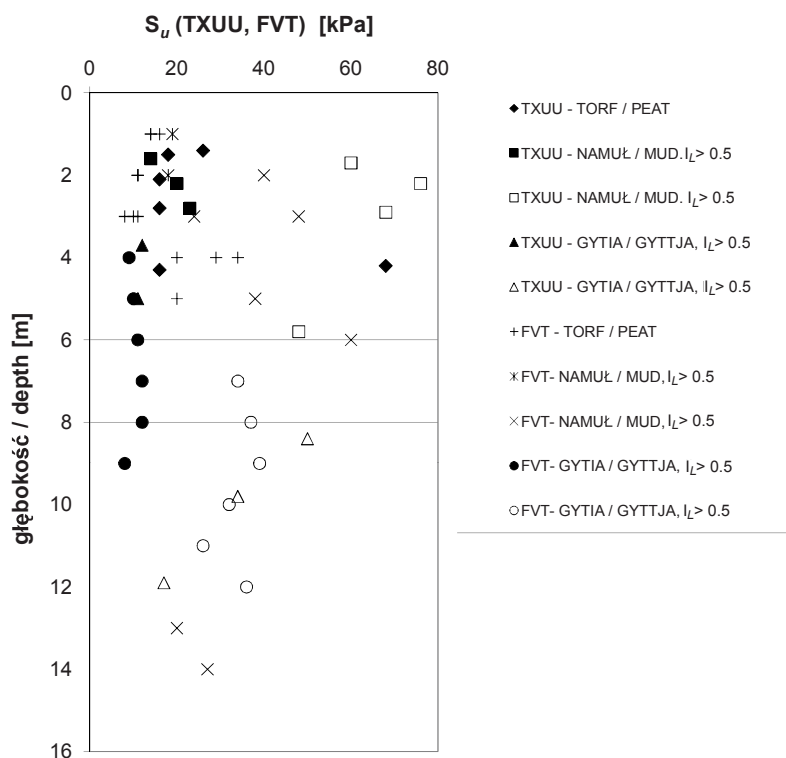
RYSUNEK 5. Wpływ gęstości objętościowej gruntu na wartości modułów  $M_o$   
 FIGURE 5. Influence of bulk density of soils on  $M_o$  oedometer moduli



RYSUNEK 6. Wpływ wilgotności naturalnej gruntu na wartości modułów  $M_o$   
 FIGURE 6. Influence of natural water content of soils on  $M_o$  oedometer moduli



RYSUNEK 7. Wartości odkształceń pionowych z badań edometrycznych w zależności od gęstości gruntów  
 FIGURE 7. Vertical strains from oedometer tests vs. bulk density of soils



RYSUNEK 8. Wartości wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu ( $S_u$ ) otrzymane z badań trójosiowych (TXUU) oraz testów FVT  
 FIGURE 8. Undrained shear strength from ( $S_u$ ) TXUU triaxial tests and FVT tests

trójosiowe bez konsolidacji i bez odpływu (TXUU). Na rysunku 8 przedstawiono wartości wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu otrzymane z badań trójosiowych oraz testów FVT dla gruntów organicznych.

Na podstawie otrzymanych wyników widać wyraźny wpływ stanu gruntu (wilgotności naturalnej) na wartości wytrzymałości. Przy określaniu wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu dla gruntów organicznych badania sondą obrotową (FVT) uznano jako badania referencyjne, wykonane bezpośrednio w terenie, tj. w naturalnych faktycznych warunkach naprężenia, nienarażone na wpływ naruszenia struktury gruntu. Naj-

lepszą zgodność wyników uzyskanych z badań trójosiowych i sondowań uzyskano dla namułów i gytii.

## Podsumowanie

1. Ustalenie (dobór) wartości parametrów gruntowych na etapie dokumentowania warunków geotechnicznych (parametrów wyprowadzonych) jest jednym z podstawowych zadań, z punktu widzenia dalszego procesu projektowania. Szczególnego znaczenia nabiera to w przypadku gruntów o małych wartościach parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych, takich jak opisy-



wane w artykule grunty organiczne, dla których wartości parametrów geotechnicznych mogą determinować proces projektowania już na etapie koncepcji.

2. Wobec najnowszych wymagań w zakresie określania wielkości parametrów w sposób bezpośredni (np. zarządzenie 58 GDDKiA) należy zwrócić uwagę na konieczność poszukiwania lokalnych korelacji parametrów, w celu zapewnienia możliwości właściwego rozpoznania warunków geotechnicznych na podstawie wykonanych dla danego projektu badań.

3. Na podstawie zawartości części organicznych ( $I_{OM}$ ) charakteryzujących grunty organiczne (torfy, gytie, namuły) można oceniać zakres zmienności pozostałych cech fizycznych, jak również parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych. Ocena taka jest możliwa po opracowaniu lokalnych (np. w ramach jednego projektu dotyczącego inwestycji liniowej) korelacji opisujących zależność cech fizycznych, i mechanicznych gruntów organicznych od zawartości części organicznych. Takie podejście umożliwi na przykład zróżnicowanie warunków posadowienia poszczególnych obiektów na etapie wykonawstwa prac (projekty wykonawcze, projekty zamienne) na podstawie prostego oznaczenia rodzaju gruntu i zawartości części organicznych.

4. Badane grunty charakteryzowały się dużą ściśliwością. Najmniejsze wartości modułów ściśliwości uzyskano z badań edometrycznych dla torfów ( $M_o = 0,6$  MPa,  $M = 1,4$  MPa).

5. Wytrzymałość na ścinanie badanych gruntów wynosiła od 10 (torfy, plastyczne gytie) do 76 kPa (twardoplastyczne namuły). Poszukując korelacji

badan terenowych (sondowania FVT) i trójosiowych, stwierdzono, że najlepszą zgodność wyników uzyskano dla namułów i gytii.

## Podziękowania

Autorzy dziękują Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Bydgoszczy za zgodę na wykorzystanie wyników badań do opracowania niniejszej publikacji.

## Literatura

- Gołębiewska, A. (2006). *Klasyfikacja gruntów organicznych. Geotechnika w hydrotechnice i budownictwie lądowym*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW.
- Geoteko Projekty i Konsultacje Geotechniczne Sp. z o.o. [Geoteko a] (2014-2015a). *Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla określenia warunków geologiczno-inżynierskich w podłożu drogi ekspresowej S5 Nowe Marzy – Świecie – Bydgoszcz – Cotoń, Część 4, Sekcja 4 i 6A, Część 5 Sekcja 5, Część 6 Sekcja 6B pow. bydgoski, nakielski i żniński, woj. kujawsko-pomorskie*. Warszawa: Geoteko Sp. z o.o.
- Geoteko Projekty i Konsultacje Geotechniczne Sp. z o.o. [Geoteko b] (2014-2015b). *Dokumentacja badań podłoża gruntowego dla zadania pn. „Budowa drogi ekspresowej S5 Nowe Marzy – Świecie – Bydgoszcz – Cotoń, Część 4, Sekcja 4 i 6A, Część 5 Sekcja 5, Część 6 Sekcja 6B pow. bydgoski, nakielski i żniński, woj. kujawsko-pomorskie”*. Warszawa: Geoteko Sp. z o.o.
- Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych [GDDP] (2002). *Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym*. Warszawa: Instytut Badawczy Dróg i Mostów.
- Myślińska, E. (2001). *Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. „w sprawie ustalania geotech-



nicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz.U. z 2012, poz. 463).  
PN-EN 1997-2:2009. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.  
PN-EN ISO 14688-1:2006. Badania Geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów Część 1: Oznaczanie i opis.  
PN-86-B-02480:1986. Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów Zarządzenie nr 58 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 23.11.2015 r.

## Streszczenie

**Analiza parametrów geotechnicznych gruntów słabonośnych na przykładzie dokumentowania warunków budowy podłoża gruntowego dla inwestycji liniowej.** Kluczowe znaczenie dla bezpiecznego, a zarazem ekonomicznego zaprojektowania drogowej inwestycji liniowej mają informacje dotyczące obszaru i głębokości występowania gruntów słabonośnych, ich rodzaju (charakterystyki) oraz wartości prawidłowo określonych parametrów odkształceniowych i wytrzymałościowych. W artykule przedstawiono analizy przeprowadzone w celu wyznaczenia wyprowadzonych wartości parametrów geotechnicznych słabonośnych gruntów organicznych, tj. torfów gytii i namulów, oraz korelacje ich cech fizycznych i mechanicznych występujących w podłożu projektowanej drogi ekspresowej S5 na odcinku Białe Błota – granica województw wielkopolskiego i kujawsko-pomorskiego. W analizie wykorzystano wartości parametrów geotechnicznych uzyskanych na podstawie badań terenowych (wiercenia, sondowania CPTU, sondowania sondą krzyżakową, badania dylatometrem Marchettiego) oraz badań laboratoryjnych (badania w aparacie trójosiowym, testy edometryczne). W odniesieniu do badanych gruntów organicznych należy stwierdzić, że zawartość części organicznych ma istotny wpływ na inne cechy fizyczne gruntów, takie jak: wilgotność naturalna, gęstość objętościowa, oraz na para-

metry wytrzymałościowo-odkształceniowe i może być używana (obok rodzaju gruntu) jako cecha charakteryzująca występujące w podłożu warstwy gruntów organicznych

## Summary

**Analysis of geotechnical parameters of soft soils – example of soil investigation data for a linear investment.** The information related to the area and depth of occurrence of soft soils, their type (characteristics) and correctly defined strain and strength parameters is essential for safe and in the same time economic design of a road linear investment. The paper presents evaluation of derived values of geotechnical parameters of soft organic soils as well as the correlations of their index and mechanical properties. Organic soils, i.e. peats, gyttja and muds, were encountered in the subsoil of the planned S5 express road from the location of Białe Błota to the border of Wielkopolska and Kujawsko-Pomorskie voivodeships. The evaluation of derived values of geotechnical soil parameters was based on the results of field tests (boreholes, CPTU tests, vane tests, DMT tests) and laboratory tests (triaxial tests, oedometer tests). With reference to the tested organic soils it was concluded that organic matter content is of essential impact on index properties like: natural water content, bulk density, and on strain–strength parameters. It may be applied (in addition to the type of soil) as a specific feature that indicates the presence of organic soil.

### Authors' address:

Piotr Paprocki, Wojciech Tymiński,  
Tomasz Kielczewski  
GEOTEKO Projekty i Konsultacje  
Geotechniczne Sp. z o.o.  
02-739 Warszawa, ul. Wałbrzyska 14/16,  
Poland  
e-mail: piotr.paprocki@geoteko.com.pl