

Zbigniew LECHOWICZ, Simon RABARIJOELY, Piotr SZCZYPIŃSKI

Katedra Geoinżynierii SGGW
Department of Geotechnical Engineering WAU

Wykorzystanie badań dylatometrycznych do określenia rodzaju i stanu gruntów organicznych

The use of dilatometer test to determine the type and state of organic soils

Słowa kluczowe: grunty organiczne, nomogramy klasyfikacyjne, badania dylatometryczne
Key words: organic soils, chart for estimating soil type, dilatometer test

Wprowadzenie

W Polsce często zachodzi konieczność posadowienia budowli na gruntach organicznych, które charakteryzują się niewielką początkową wytrzymałością na ścinanie oraz dużą odkształcalnością (Borys 1993). Bezpieczne i ekonomiczne zaprojektowanie budowli na gruntach organicznych wymaga dokładnego rozpoznania rodzaju i właściwości tych gruntów (Lechowicz 1996, Hartlen i Wolski 1996).

W celu ograniczenia konieczności stosowania różnego rodzaju sprzętu poszukuje się sposobów badań terenowych, umożliwiających interpretację otrzymanych wyników w szerokim zakresie (Jamiolkowski i in. 1991, Młynarek 1997). Jednym z badań terenowych spełniającym to wymaganie jest

stosowany coraz częściej w kraju dylatometr Marchettiego (Marchetti 1980). Największą zaletą badań dylatometru jest szybki i mało skomplikowany pomiar, na podstawie którego możliwe jest określenie profilów wielu parametrów gruntowych. Interpretacja parametrów gruntowych opiera się na wykorzystaniu zależności empirycznych wiążących wyniki pomiarów z wartościami parametrów gruntowych.

W artykule przedstawiono sposób wykorzystania badań dylatometrycznych w określeniu rodzaju i stanu gruntów organicznych na przykładzie badań laboratoryjnych i terenowych przeprowadzonych na obiektach doświadczalnych Antoniny, Koszyce i Nielisz.

Metodyka badań dylatometrycznych

Badanie dylatometryczne polega na pomiarach ciśnienia gazu działającego na membranę na wybranych głęboko-

ściach podczas pograżania łopatką dylatometru w podłoże gruntowe. Najczęściej wykonuje się dwa odczyty, tj. A i B. Odczyt A odpowiada wartości ciśnienia gazu otrzymanej w początkowej fazie ruchu membrany (przesunięcie środka membrany o 0,05 mm), prowadzącej do kontaktu z otaczającym gruntem. Drugi odczyt (B) wskazuje wartość ciśnienia gazu uzyskaną przy dodatkowym wychyleniu środka membrany w kierunku gruntu o 1,05 mm (łącznie 1,1 mm). Ostatnio coraz częściej po wykonaniu odczytów A i B przeprowadzany jest trzeci odczyt (C), odpowiadający ciśnieniu gazu po powrocie membrany do jej początkowej pozycji osiąganej przy odczycie parametrów, co pokazano na rysunku 1b (Lutenegger i Kabir 1988, Totani i in. 1998). Szczegółowo metodyka badania dylatometrem została przedstawiona między innymi w opracowaniach: Marchettiego i Crappa (1981), Schmertmanna (1986), Briaud i Miran (1992) oraz Marchettiego (1999).

Wartości odczytów A, B i C podlegają skorygowaniu ze względu na wpływ oporu bezwładności membrany, co pozwala na wyznaczenie odpowiadających im ciśnień p_0 , p_1 i p_2 (rys. 1). Ciśnienia p_0 , p_1 i p_2 razem z obliczoną wartością składowej pionowej efektywnego naprężenia (σ'_{vo}) i wartością ciśnienia wody w porach (u_o) oszacowanego w warunkach *in situ* służą do wyznaczenia następujących wskaźników dylatometru (Marchetti 1980, Lutenegger i Kabir 1988):

- wskaźnik materiałowy (I_D)

$$I_D = f(A, B, u_o) = \frac{p_1 - p_0}{p_0 - u_o} \quad (1)$$

- wskaźnik naprężenia bocznego (K_D)

$$K_D = f(A, u_o, \sigma'_{vo}, B) = \frac{p_0 - u_o}{\sigma'_{vo}} \quad (2)$$

- moduł dylatometryczny (E_D)

$$E_D = f(A, B) = 34,7(p_1 - p_0) \quad (3)$$

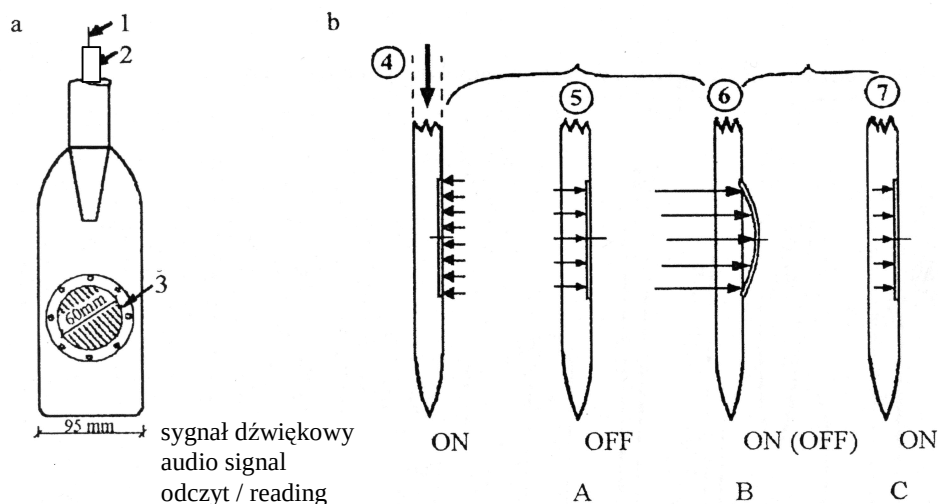
- wskaźnik ciśnienia wody w porach (U_D)

$$U_D = f(A, C, u_o, B) = \frac{p_2 - u_o}{p_0 - u_o} \quad (4)$$

Określenie rodzaju gruntu na podstawie badań dylatometrycznych

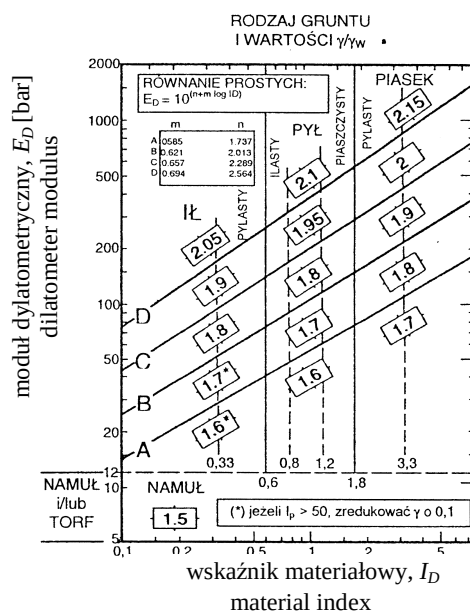
Do określenia rodzaju gruntu na podstawie wyników badań dylatometrycznych wykorzystywany jest nomogram (rys. 2) opracowany przez Marchettiego i Crappa (1981). Interpretację wyników badań przeprowadza się na podstawie zależności wskaźnika materiałowego (I_D) od modułu dylatometrycznego (E_D) w skali log-log. W przypadku gruntów mineralnych, oprócz podziału gruntów na rodzaje, możliwe jest określenie ich stanu. Ponadto wydzielonym przedziałom przypisano wartości ciężaru objętościowego gruntu podzielonego przez ciężar objętościowy wody.

Larsson (1989) na podstawie analizy wyników badań dylatometrycznych przeprowadzonych dla prekonsolidowanych gruntów spoistych i organicznych zaproponował wprowadzenie korekty wartości wskaźnika materiałowego (I_D), uwzględniającej wpływ prekonsolidacji



RYSUNEK 1. Dylatometr Marchettiego: a – łopatka dylatometru, b – fazy badania; 1 – przewód elektryczny, 2 – przewód pneumatyczny, 3 – elastyczna membrana, 4 – pogrążanie, 5 – pomiar p_0 , 6 – pomiar p_1 , 7 – pomiar p_2

FIGURE 1. Marchetti dilatometer: a – flat blade, b – test stages; 1 – electric wire, 2 – pneumatic tubing, 3 – steel membrane, 4 – pushing, 5 – pressure p_0 , 6 – pressure p_1 , 7 – pressure p_2



RYSUNEK 2. Nomogram klasyfikacyjny umożliwiający określenia rodzaju gruntu oraz ciężar objętościowy podzielony przez ciężar objętościowy wody (Marchetti i Crapps 1981)

FIGURE 2. Chart for estimating soil type and unit weight normalized to water (Marchetti and Crapps 1981)

na zmianę jego wartości. Skorygowane wartości wskaźnika materiałowego ($I_{D(kor)}$) zgodnie z zaleceniami Larssona (1989) można wyznaczyć z następujących zależności (rys. 3):

- dla głębokości $< 2,0$ m
przy $K_D > 2,5$

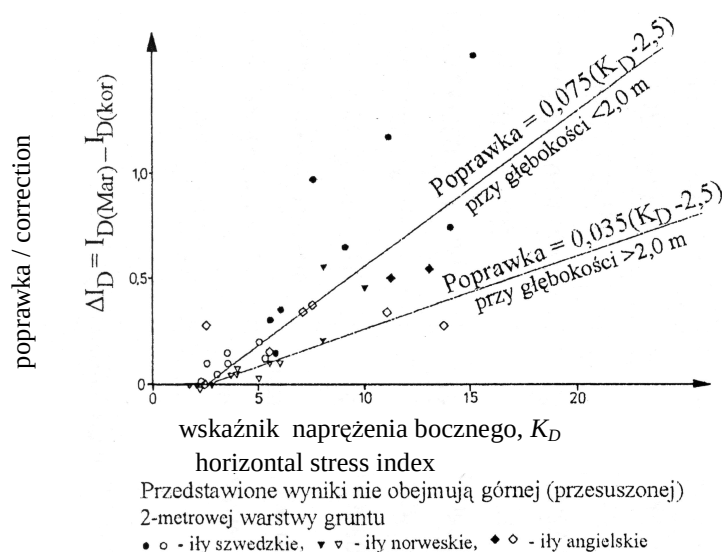
$$I_{D(kor)} = I_D - 0,075(K_D - 2,5) \quad (5)$$

- dla głębokości $\geq 2,0$ m
przy $K_D > 2,5$

$$I_{D(kor)} = I_D - 0,035(K_D - 2,5) \quad (6)$$

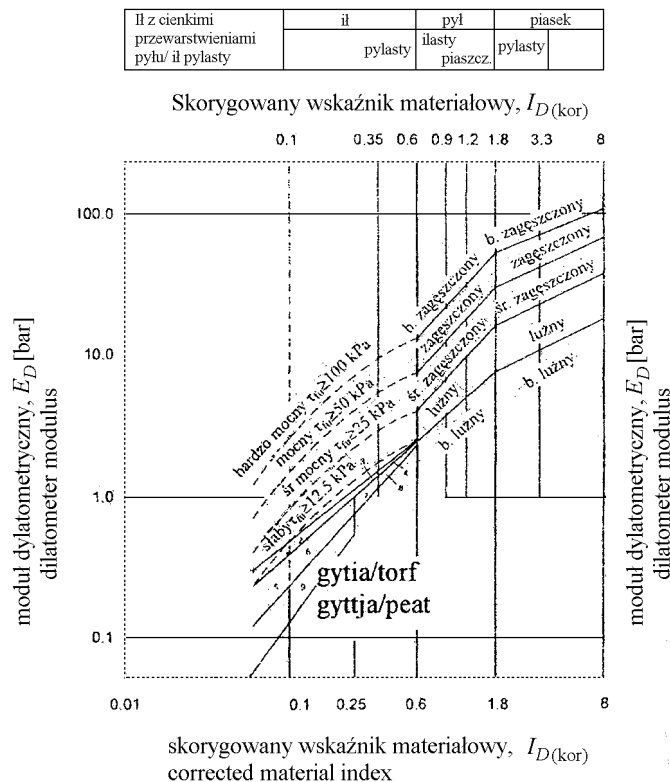
jeżeli $K_D < 2,5$ i/lub $I_D \leq 0,1$, to $I_{D(kor)} = I_D$.

Nomogram klasyfikacyjny zaproponowany przez Larssona (1989) oparty na skorygowanej wartości wskaźnika materiałowego ($I_{D(kor)}$) i module dylatometrycznym (E_D) umożliwiające określenie rodzaju gruntu i jego ciężaru objętościowego przedstawiono na rysunku 4. Dla gruntów charakteryzujących się skorygowanym wskaźnikiem materiałowym $I_{D(kor)} \leq 0,6$ wydzielono stany (tab. 1) na podstawie wytrzymałości na ścinanie bez odpływu (τ_{tu}), wykorzystując podział zaproponowany przez Leroueil i innych (1989).



RYSUNEK 3. Różnica między wskaźnikami materiałowymi $I_{D(Mar)}$ i $I_{D(kor)}$ przy różnej zawartości frakcji ilowej w zależności od wskaźnika naprężenia bocznego (K_D) (Larsson 1989)

FIGURE 3. Difference between materials index $I_{D(Mar)}$ and $I_{D(kor)}$ for different clay content depending on the horizontal stress index (K_D) (Larsson 1989)



Strefa / Zone	Rodzaj gruntu / Soil type
1	ił z cienkimi przewarstwieniami pyłu / (ił organiczny) clay with silt interbedding / (organic clay)
2	ił / (ił organiczny) / clay / (organic clay)
3	ił / (gytia/torf) – clay / (gyttja/peat)
4	ił pylasty / (gytia/torf) – silty clay / (gyttja/peat)
5	ił organiczny (ił z cienkimi przewarstwieniami pyłu / ił pylasty) organic clay (clay with silt interbedding / silty clay)

RYSUNEK 4. Nomogram klasyfikacyjny dla gruntów spoistych i organicznych (Larsson 1989)
FIGURE 4. Chart for estimating mineral and organic soils (Larsson 1989)

TABELA 1. Podział gruntu na stany na podstawie wytrzymałości na ścinanie (Leroueil i in. 1989)
TABLE 1. Soil states based on undrained shear strength (Leroueil et al. 1989)

Podział na stany / Description of soil state	Wytrzymałość na ścinanie / Shear strength, τ_u [kPa]
Bardzo słabe / Very soft	< 12,5
Słabe / Soft	12,5–25
Średnio mocne / Firm	25–50
Mocne / Stiff	50–100
Bardzo mocne / Very stiff	100–200
Twarde / Hard	> 200

Charakterystyka gruntów organicznych

Przedstawione w artykule wyniki badań dotyczą gruntów organicznych występujących na obiektach doświadczalnych Antoniny i Koszyce, zlokalizowanych w dolinie rzeki Noteć w województwie wielkopolskim, oraz na obiekcie Nielisz, zlokalizowanym w dolinie rzeki Wieprz w województwie lubelskim, gdzie Katedra Geoinżynierii SGGW przeprowadziła kompleksowe badania terenowe i laboratoryjne (Wolski i in. 1988, 1989, Lechowicz 1992, Lechowicz i Rabarijoely 1996).

Podłoże organiczne na obiekcie Antoniny, o miąższości około 8 m, składa się z amorficznego torfu o zróżnicowanym zamuleniu oraz gytii węglanowej o zmiennej zawartości części organicznych i węglanu wapnia (tab. 2). Grunty organiczne są prekonsolidowa-

ne, o współczynniku prekonsolidacji OCR wynoszącym dla torfu 3–5, a dla gytii 1,5–2,5.

W ramach współpracy Katedry Geoinżynierii SGGW ze Szwedzkim Instytutem Geotechnicznym na obiekcie tym zostały wykonane dwa nasypy doświadczalne zbudowane w trzech etapach, przy czym jeden z nasypów w czwartym etapie został podwyższony do utraty stateczności (Wolski i in. 1988, 1989, Lechowicz 1992).

Podłoże organiczne na obiekcie Koszyce składa się z amorficznego torfu oraz gytii węglanowej o zróżnicowanej zawartości części organicznych i węglanu wapnia (tab. 2). Miąższość gruntów organicznych zmienia się od 6 do 30 m. Grunty organiczne są prekonsolidowane, o współczynniku prekonsolidacji OCR wynoszącym dla torfu 4–5, a dla gytii 1,5–3,0. Na podłożu organicznym posadowiono zaporę czołową

TABELA 2. Właściwości fizyczne gruntów organicznych w Antoninach, Koszycach i Nieliszu
TABLE 2. Index properties of organic soils at the Antoniny, Koszyce and Nielisz test sites

Obiekt / Site	Rodzaj gruntu Type of soil	Zawartość części organicznych Organic content I_{om} [%]	Zawartość CaCO_3 Content CaCO_3 [%]	Wilgotność Water content w_n [%]	Granica płynności Liquid limit w_L [%]	Gęstość Density	
						objętościowa unit ρ [t/m^3]	właściwa specific ρ_s [t/m^3]
Antoniny	torf amorficzny peat amorphous	65–75	10–15	310–340	305–450	1,05–1,10	1,45–1,50
	gytia węglowa gyttja calcareous	5–20	65–90	105–140	80–110	1,25–1,40	2,2–2,30
Koszyce	torf amorficzny peat amorphous	70–85	5–15	400–550	450	1,05–1,1	1,45–1,50
	gytia węglowa gyttja calcareous	10–20	65–80	120–160	80–110	1,20–1,35	2,1–2,25
	gytia węglowa gyttja calcareous	15–20	65–75	180–220	100–110	1,25–1,30	2,2
Nielisz	namuł organiczny organic mud	20–30	–	120–150	130–150	1,25–1,30	2,25–2,3
	namuł organiczny organic mud	10–20	–	105–120	110–130	1,30–1,45	2,30–2,40

zbiornika wodnego Koszyce na materiale faszynowym wzmocnionym stalowym rusztem.

Grunty organiczne występujące w słabonośnym podłożu na obiekcie Nielisz to namuły organiczne o zróżnicowanej zawartości części organicznej (tab. 2). Miąższość słabonośnego podłoża wynosi od 3 do 5 m. Grunty te są lekko prekonsolidowane, o współczynniku prekonsolidacji $OCR = 2-3$. Na słabonośnym podłożu posadowiono zapórę czołową zbiornika wodnego Nielisz wykonaną w dwóch etapach z nasypem przeciążeniowym.

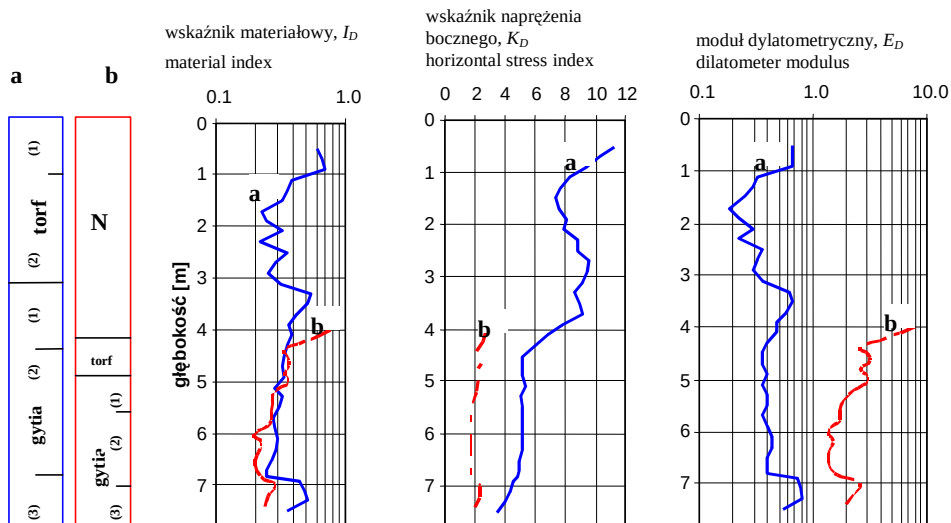
Wyniki badań dylatometrycznych

Badania dylatometryczne na analizowanych obiektach doświadczalnych zostały wykonane w kilku przekrojach

pomiarowych. Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono przykładowe wyniki badań dylatometrycznych uzyskane dla nieobciążonego oraz obciążonego podłoża na obiektach Antoniny i Nielisz w postaci profili pomierzonych wartości dla dylatometrycznych wskaźników: wskaźnika materiałowego (I_D), wskaźnika naprężenia bocznego (K_D), modułu dylatometrycznego (E_D) oraz wskaźnika ciśnienia wody w porach (U_D).

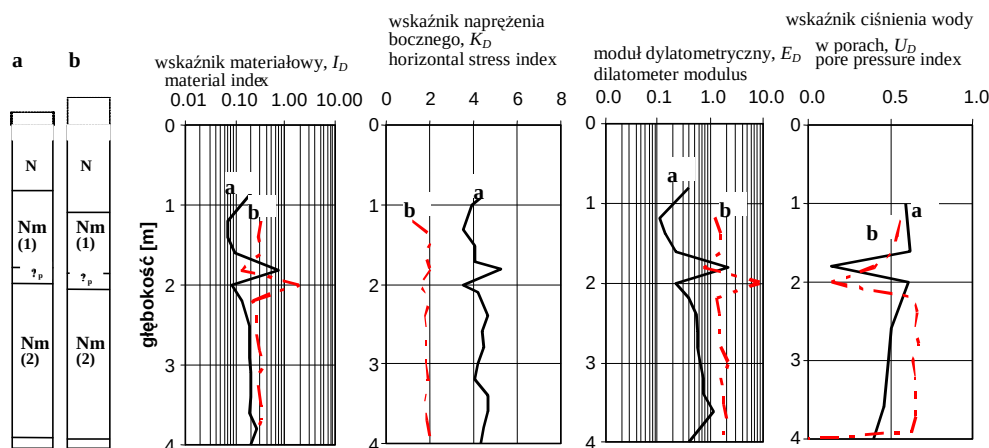
Weryfikacja korekty wskaźnika materiałowego I_D proponowanej przez Larssona

Weryfikacja propozycji Larssona (1989), dotyczącej korekty wskaźnika materiałowego (I_D) uwzględniającej wpływ prekonsolidacji na zmianę jego wartości, została przeprowadzona na



RYSUNEK 5. Profile wskaźników dylatometrycznych I_D , K_D i E_D uzyskane dla podłoża organicznego w Antoninach: a – podłoże nieobciążone, b – podłoże obciążone

FIGURE 5. Index parameters I_D , K_D and E_D profiles from dilatometer test at the Antoniny site: a – natural subsoil, b – under loading



RYSUNEK 6. Profile wskaźników dylatometrycznych I_D , K_D , E_D i U_D uzyskane dla podłoża organicznego w Nieliszu: a – podłoże nieobciążone, b – podłoże obciążone

FIGURE 6. Index parameters I_D , K_D , E_D and U_D profiles from dilatometer test at the Nielisz site: a – natural subsoil, b – under loading

podstawie badań wykonanych na obiektach doświadczalnych w Antoninach, Koszycach i Nieliszu.

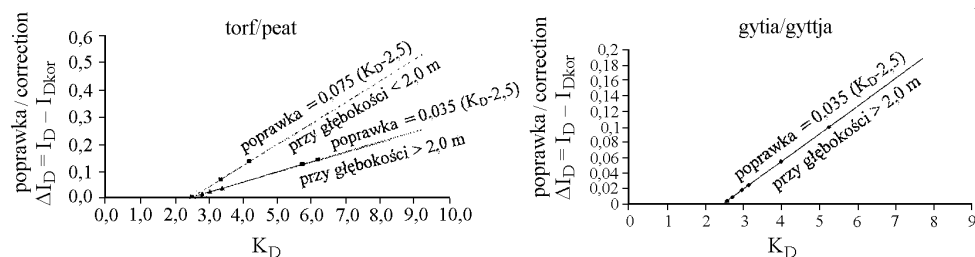
Wyniki analizy wskazują, że poprawka dla wskaźnika materiałowego (I_D) przeprowadzona dla Antonin jest taka sama, jak poprawka zaproponowana przez Larssona (rys. 7).

W przypadku Koszyc i Nielisza korekta wskaźnika materiałowego (I_D) różni się nieznacznie od poprawki wprowadzonej przez Larssona (rys. 8 i 9). Zatem zależności (5) i (6) zaproponowane przez Larssona mogą być stosowane dla badanych gruntów organicznych.

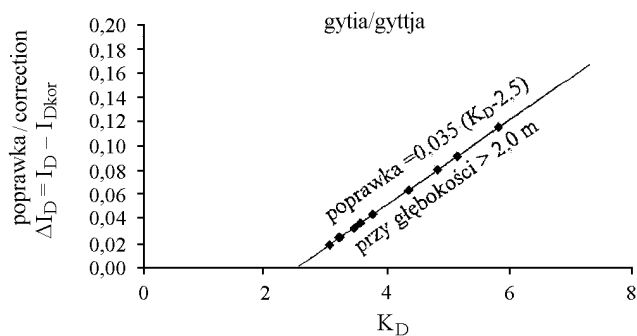
Modyfikacja nomogramu Larssona

W nomogramie opracowanym przez Larssona, w części dotyczącej gruntów spoistych i organicznych, wydzielono

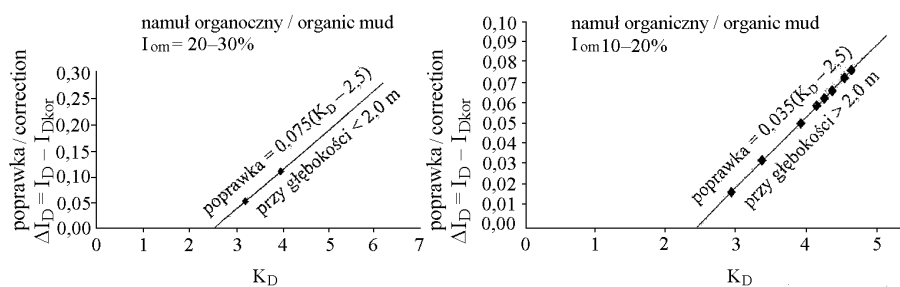
kilka stref, które odpowiadają różnym rodzajom gruntów (rys. 4). Analiza wyników badań przeprowadzona dla wybranych rodzajów gruntów organicznych wskazuje, że dla celów inżynierskich należy ograniczyć liczbę obszarów wydzielonych ze względu na rodzaj gruntu przy jednoczesnym skoncentrowaniu się na określeniu stref charakteryzujących się różnym stanem (Szczypiński 2000). Propozycję modyfikacji nomogramu Larssona, obejmującą wydzielanie dwóch obszarów: ił/namuł i torf/gytia oraz stref o różnym stanie określonych na podstawie wytrzymałości na ścinanie bez odplywu (τ_u) przedstawiono na rysunku 10.



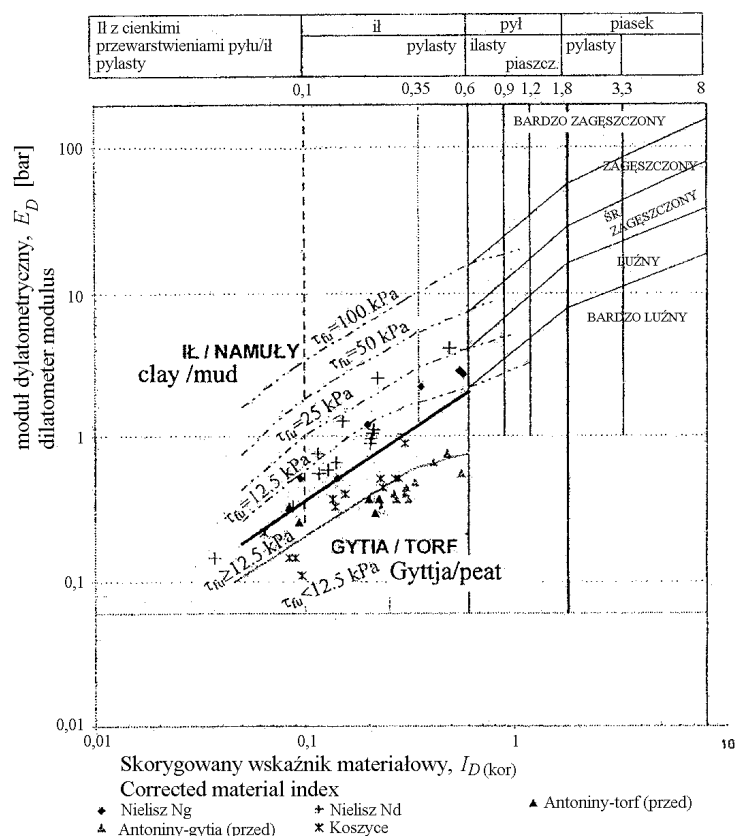
RYSUNEK 7. Porównanie poprawki ΔI_D wyznaczonej według propozycji Larssona (1989) z określoną na podstawie badań przeprowadzonych na obiekcie Antoniny
 FIGURE 7. Comparison between correction ΔI_D evaluated based on Larsson's method (Larsson 1989) and determined from field tests performed at the Antoniny site



RYSUNEK 8. Porównanie poprawki ΔI_D wyznaczonej według propozycji Larssona (1989) z określoną na podstawie badań przeprowadzonych na obiekcie Koszyce
 FIGURE 8. Comparison between correction ΔI_D evaluated based on Larsson's method (Larsson 1989) and determined from field tests performed at the Koszyce site



RYSUNEK 9. Porównanie poprawki ΔI_D wyznaczonej według propozycji Larssona (1989) z określoną na podstawie badań przeprowadzonych na obiekcie Nielisz
 FIGURE 9. Comparison between correction ΔI_D evaluated based on Larsson's method (Larsson 1989) and determined from field tests performed at the Nielisz site



RYSUNEK 10. Zmodyfikowany nomogram klasyfikacyjny Larssona dla nieobciążonych gruntów spoistych i organicznych

FIGURE 10. Modified Larsson's chart for estimating type and state of mineral and organic soils

Podsumowanie

Analiza wyników badań, przeprowadzonych dla torfów, gytii i namułów na obiektach doświadczalnych w Antoninach, Koszycach oraz Nieliszu, wskazuje, że zaproponowana przez Larssona poprawka wskaźnika materiałowego (I_D) ze względu na prekonsolidację może być stosowana dla tych gruntów (rys. 7, 8 i 9).

Zaproponowana w artykule modyfikacja nomogramu Larssona umożliwia określenie rodzaju i stanu gruntów organicznych.

Literatura

- BORYS M. 1993: Niskie nasypy z miejscowych gruntów organicznych dla potrzeb budownictwa wodno-melioracyjnego. Rozprawy habilitacyjne. Wydawnictwo IMUZ.
- BRIAUD J., MIRAN J. 1992: The flat dilatometer test, TX, 77843-3136 USA for The Federal Highway Administration.
- HARTLEN J., WOLSKI W. 1996: Embankments on organic soils. Amsterdam, Elsevier.
- JAMIOLKOWSKI M., LEROUEIL S., LO PRESTI D.C.F. 1991: Design parameters from theory to practice. Theme lecture. Proc. Int. Conf. on Geotech. Eng. for Coastal Develop., Yokohama.

- LARSSON R. 1989: Dilatometr Försök för bedömning av jordlagerföljd och egenskaper I jord. Swedish Geotechnical Institute, Linköping, Information No 10.
- LECHOWICZ Z. 1992: Ocena wzmocnienia gruntów organicznych obciążonych nasypem. Rozprawy Naukowe i Monografie, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- LECHOWICZ Z. 1996: Współczesne kierunki badań gruntów organicznych. Wykład wprowadzający na seminarium „Współczesne problemy geoinżynierii w rejonie szczyńskim”, Szczecin.
- LECHOWICZ Z., RABARIJOELY S. 1996: Wykorzystanie badań in situ w ocenie wzmocnienia słabonośnego podłoża zapory budowanej etapowo. Mat. na VII Konf. Techn. Kon. Zap., Ryto.
- LEROUEL S., MAGNAN J. TAVENAS F. 1989: Embankments on soft clays. ELLIS HORWOOD.
- LUTENEGGER A.J., KABIR M.G. 1988: Dilatometer C-reading to help determine stratigraphy. Proc. Int. Sym. on Penetration Testing ISOPT-1, Orlando.
- MARCHETTI S. 1980: In Situ Tests by Flat Dilatometer. *J. Geotech. Eng. Div.*, ASCE 106, GT3: 299–321.
- MARCHETTI S. 1999: On the calibration of the DMT membrane. L'Aquila Univ., Unpublished report.
- MARCHETTI S., CRAPPS D.K. 1981: Flat dilatometer manual. Internal report of GPE.
- MŁYNAREK Z. 1997: Badania laboratoryjne oraz badania podłoża in situ. Referat generalny. Mat. na XI Kraj. Konf. Mech. Grunt. i Fund., Gdańsk.
- SCHMERTMANN J.H. 1986: Suggested method for performing the flat dilatometer test. *ASTM Geotechnical Testing Journal* 9, 2: 93–101.
- SZCZYPIŃSKI P. 2000: Wykorzystanie badań dylatometrycznych do określania rodzaju gruntów organicznych. Praca magisterska. Katedra Geoinżynierii SGGW, Warszawa.
- TOTANI G., CALABRESE M., MARCHETTI S., MONACO P. 1998: Use of in situ flat dilatometer (DMT) for ground characterization in the stability analysis of slopes. Proc. 14th Int. Conf. on Soil Mech. and Foun. Eng., Hamburg.
- WOLSKI W., SZYMAŃSKI A., MIRECKI J., LECHOWICZ Z., LARSSON R., HARTLEN J., GARBULEWSKI K., BERGDAHL U. 1988: Two stage-construction embankments on organic soils. Swedish Geotechnical Institute, Linköping, Report 32.
- WOLSKI W., SZYMAŃSKI A., LECHOWICZ Z., LARSSON R., HARTLEN J., BERGDAHL U. 1989: Full-scale failure test on stage-constructed test fill on organic soil. Swedish Geotechnical Institute, Linköping, Report 36.

Summary

The use of dilatometer test to determine the type and state of organic soils.

This paper presents the use of dilatometer test to determine the type and state of organic soils. The results of dilatometer tests performed in organic subsoils, composed of peat, gyttja layers as well as organic mud, located at the Antoniny, Koszyce and Nielisz sites are shown. The analysis of test results indicates that the correction for material index (I_D) proposed by Larsson can be used for tested organic soils. Based on proposed modification of Larsson's chart the type and state of organic soils can be determined.

Authors' address:

Zbigniew Lechowicz, Simon Rabarijoely,
Piotr Szczypiński
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Geoinżynierii
02-776 Warszawa, ul. Nowoursynowska 159
Poland