

Zbiornik Nielisz – badania wzmocnienia słabonośnego podłoża

Abstract

Nielisz reservoir – testing of soft subsoil strengthening. Paper presents results of dilatometer tests performed during staged construction of main dam embankment of Nielisz reservoir. A comparison between undrained shear strength evaluated from dilatometer tests based on formulae currently used in cohesive soils and corrected shear strength from field vane tests indicates significant differences in obtained values. From an analysis of test results the values of empirical factors used in these formulae for organic mud were determined.

Key words: organic mud, dilatometer test, field vane test, staged construction

Wprowadzenie

Do zaprojektowania etapowej budowy nasypu posadowionego na słabonośnym podłożu konieczne jest wykonanie badań pozwalających na właściwe rozpoznanie początkowych warunków geotechnicznych oraz badań umożliwiających prognozę przebiegu konsolidacyjnego wzmocnienia podłoża. W tym przypadku rozpoznanie początkowych warunków geotechnicznych, oprócz określenia rodzaju i stanu poszczególnych warstw gruntu oraz warunków wodnych, obejmuje również wyznaczenie stanu i historii naprężenia oraz początkowej wy-

trzymałości na ścinanie. W zależności od stopnia skomplikowania i ważności zadania geotechnicznego opiera się ono w różnym stopniu na analizie wyników badań terenowych oraz badań laboratoryjnych wykonanych na pobranych z podłoża próbkach gruntu. Z kolei parametry lub charakterystyki niezbędne do prognozy konsolidacji najczęściej uzyskuje się za pomocą badań laboratoryjnych. Ponadto charakterystyczne dla podłoży słabonośnych duże zróżnicowanie warunków gruntowych często zmusza do przeprowadzenia w okresie budowy i eksploatacji badań kontrolnych umożliwiających ocenę rzeczywistego efektu wzmocnienia.

Z punktu widzenia praktyki inżynierskiej, w celu ograniczenia konieczności wykorzystywania różnego rodzaju sprzętu, poszukuje się sposobów badania umożliwiających interpretację otrzymanych wyników w szerokim zakresie. Jednym z nich jest badanie terenowe spełniające to wymaganie, w którym stosuje się (coraz częściej w praktyce krajowej) dylatometr Marchettiego [Marchetti 1980]. Główną zaletą badania dylatometrycznego jest szybki i mało skomplikowany pomiar, na podstawie którego określa się rozkład w

* Katedra Geotechniki SGGW, ul. Nowoursynowska 166, 02-787 Warszawa.

profilu pionowym wielu parametrów gruntowych. Interpretacja parametrów gruntowych opiera się jednak na wykorzystaniu zależności empirycznych wiążących wyniki pomiarów z wartością parametrów gruntowych. Występujące w tych zależnościach współczynniki zostały określone dla wybranych rodzajów gruntu na podstawie skalowania w komorze kalibracyjnej lub porównania z wynikami innych badań terenowych i/lub laboratoryjnych. W przypadku braku wartości współczynników dla badanych gruntów możliwe jest ich zweryfikowanie poprzez przeprowadzenie uzupełniających badań laboratoryjnych i/lub terenowych. W artykule, na przykładzie zapory czołowej zbiornika Nielisz, przedstawiono analizę wyników badań dylatometrycznych wykonanych podczas etapowej budowy nasypu z przeciążeniem. Badania dylatometryczne słabonośnego podłoża przeprowadzono w ramach rozpoznania początkowych warunków geotechnicznych oraz ich zmiany podczas konsolidacyjnego wzmocnienia.

Prezentowane w artykule wyniki uzyskane zostały w ramach projektu badawczego KBN Nr 7 7202 91 02 zrealizowanego w Katedrze Geotechniki SGGW w Warszawie oraz ekspertyz wykonanych przez Geoteko – Projekty i Konsultacje Geotechniczne Sp. z o.o.

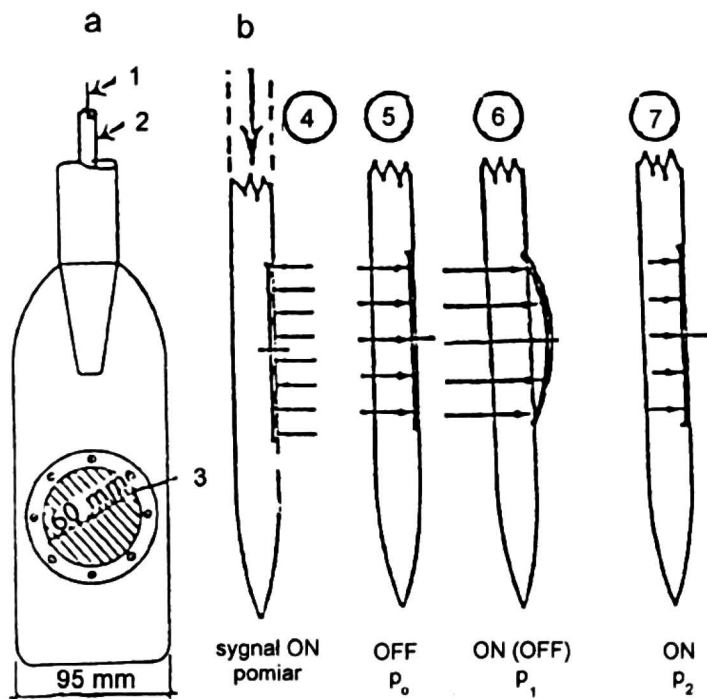
Opis dylatometu i metody badań

Dylatometr Marchettiego składa się z płaskiej, stalowej łopatkki, która jest wyposażona w elastyczną, kołową membranę odkształcaną za pomocą ciśnienia gazu oraz jednostki kontrolno-pomiarowej (rys. 1). Łopatkka jest połączona z jedno-

stką za pomocą przewodu pneumatycznego, którym przekazywane jest ciśnienie gazu na membranę. Wewnątrz tego przewodu znajduje się sygnałowy przewód elektryczny, umożliwiający precyzyjną identyfikację momentu dokonania pomiaru.

Badanie dylatometrem polega na pogrążaniu łopatkki dylatometu w podłoże gruntowe ze stałą prędkością. W celu dokonania pomiarów penetrację sondy zatrzymuje się co 0,2 m. Najczęściej wykonuje się dwa pomiary p_0 i p_1 . Pomiar p_0 odpowiada skorygowanej wartości ciśnienia gazu otrzymanej w początkowej fazie ruchu membrany prowadzącej do kontaktu z otaczającym gruntem. Drugi pomiar p_1 wskazuje skorygowaną wartość ciśnienia gazu uzyskaną przy dodatkowym wychyleniu środka membrany w kierunku gruntu prawie o 1 mm [Marchetti 1980]. Ostatnio coraz częściej po wykonaniu pomiarów p_0 i p_1 przeprowadzany jest trzeci pomiar p_2 odpowiadający skorygowanej wartości ciśnienia gazu po powrocie membrany do jej pozycji osiągniętej w pomiarze p_0 [Lutenegger 1988]. Ciśnienia p_0 , p_1 i p_2 razem z obliczoną wartością pionowej składowej efektywnego naprężenia σ'_{v0} i wartością ciśnienia wody w porach u_0 oszacowanego w warunkach *in situ* służą do wyznaczenia dylatometrycznych wskaźników gruntu podanych na rysunku 1.

Do określenia rodzaju gruntu na podstawie wyników badań dylatometrycznych wykorzystywany jest opracowany przez Marchettiego (1980) nomogram klasyfikacyjny. Analiza dotychczasowych badań [Lacasse i Lunne 1988, Lechowicz 1996] wskazuje, że w celu wykorzystania nomogramu Marchettiego do interpretacji wyników badań dylatome-



Rys. 1. Dylatometr Marchettiego: a - budowa łopatki dylatometru: 1 - przewód elektryczny, 2 - przewód pneumatyczny, 3 - elastyczna membrana; b - fazy badania: 4 - pogrążanie, 5 - pomiar p_0 , 6 - pomiar p_1 , 7 - pomiar p_2 ; c - dylatometryczne wskaźniki gruntu

trycznych bardzo słabych gruntów organicznych konieczne jest wydłużenie skali w obu kierunkach do wartości modułu dylatometrycznego E_D równej 0,1 MPa oraz do wskaźnika materiałowego I_D wynoszącego 0,01 (rys. 2). Na nomogramie tym grunty sklasyfikowane są jako grunty organiczne, w przypadku gdy wskaźnik materiałowy $I_D < 0,6$ i moduł dylatometryczny $E_D < 1,2$ MPa.

Zależność empiryczna umożliwiająca określenie wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu τ_{fu} na podstawie badań dylatometrycznych podana przez Marchettiego (1980) dla spoiстых gruntów mineralnych o wskaźniku materiałowym I_D mniejszym od 0,6 (gliny, ility) ma następującą postać:

$$\tau_{fu} = \sigma'_v \cdot 0,22 (0,5 \cdot K_D)^{1,25} \quad (5)$$

gdzie: σ'_v - pionowa składowa efektywnego naprężenia.

c

- wskaźnik materiałowy I_D :

$$I_D = \frac{p_1 - p_0}{p_0 - u_0} [-] \quad (1)$$

- wskaźnik poziomej składowej naprężenia K_D :

$$K_D = \frac{p_0 - u_0}{\sigma'_{v0}} [-] \quad (2)$$

- moduł dylatometryczny E_D :

$$E_D = 34,7 (p_1 - p_0) [\text{MPa}] \quad (3)$$

- wskaźnik ciśnienia wody w porach U_D :

$$U_D = \frac{p_2 - u_0}{p_0 - u_0} [-] \quad (4)$$

Analiza przeprowadzona przez Roque i in. (1988) wskazuje, że wytrzymałość na ścinanie bez odpływu τ_{fu} można z badań dylatometrycznych wyznaczyć na podstawie następującej zależności:

$$\tau_{fu} = \frac{p_1 - \sigma_h}{N_c} \quad (6)$$

gdzie:

N_c - współczynnik empiryczny (dla gruntów spoiстых 5-9),

σ_h - pozioma składowa całkowitego naprężenia obliczana ze wzoru:

$$\sigma_h = K_o \cdot \sigma'_v + u_o \quad (7)$$

gdzie:

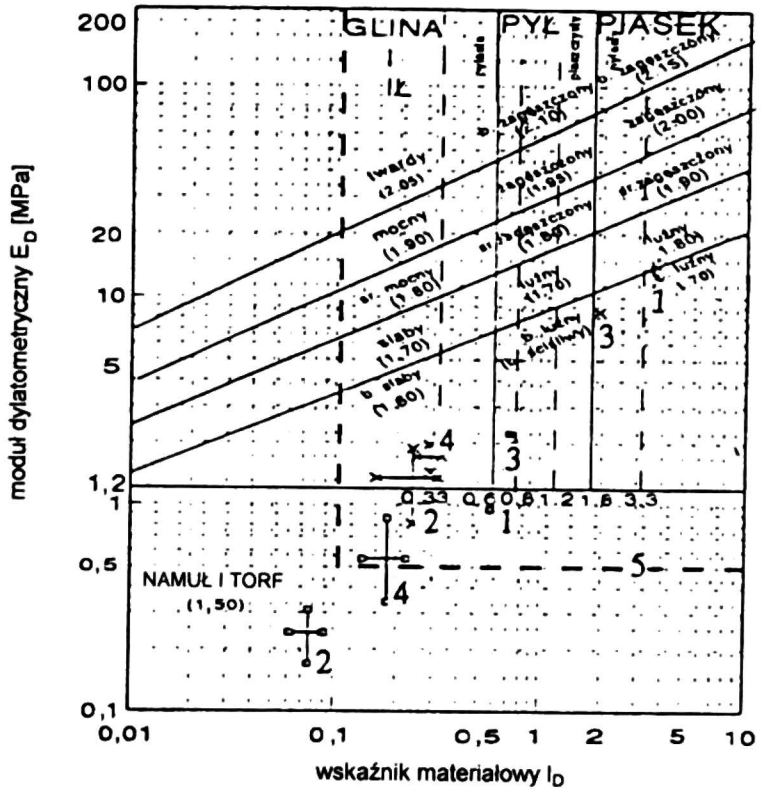
K_o - współczynnik parcia gruntu w spoczynku,

u_o - początkowe ciśnienie wody w porach.



odchylenie standardowe
- przed obciążeniem
odchylenie standardowe

- 5,5 miesiąca od rozpoczęcia
1 etapu



Rys. 2. Zmodyfikowany nomogram klasyfikacyjny Marchettiego; grunty z podłoża zapory czołowej zbiornika Nielisz: 1 – pył piaszczysty, 2 – namuł organiczny, 3 – pył, 4 – namuł organiczny, 5 – dolne ograniczenie nomogramu Marchettiego

Charakterystyka obiektu badań

Budowa zapory czołowej zbiornika wodnego Nielisz polega na nadbudowie części korpusu zapory nad istniejący nasyp grobli [Ładniak 1996, Sierant i Tchórz 1996]. Trudne warunki geotechniczne wywołane obecnością w podłożu gruntów słabonośnych spowodowały konieczność przeprowadzenia wzmocnienia jej podłoża. W projekcie technicznym przyjęto etapową budowę zapory wykorzystującą konsolidacyjne wzmocnienie podłoża. W trakcie realizacji projektu zdecydowano skrócić czas wykonania zapory z 6 do 3 lat. Spowodowało to zmianę wstępnie przyjętej koncepcji z 3-etapowej budowy zapory na przyjętą do realizacji 2-etapową budowę z przeciążeniem

[Bortkiewicz i Szmagaj 1996, Lechowicz i in. 1996].

Podłoże zapory czołowej tworzy kompleks utworów czwartorzędowych o zróżnicowanej miąższości i litologii, zalegający na wyerodowanej powierzchni margli i opoki kredowej. Utwory holocenu występujące na tarasach w dnie doliny są utworami limnicznymi wykształconymi w postaci pyłów, pyłów piaszczystych i piasków pylastych oraz namułów i namułów organicznych. Ogólna miąższość utworów holocenów wynosi od 3 do 5 m. W rejonie tarasów pod tymi utworami lokalnie zalegają plejstoceńskie utwory zastoiskowe (pyły, pyły piaszczyste i gliny pylaste) o miąższości do 3 m. W pozostałej części pod utworami holocenowymi występują plejstoceńskie utwory rzeczne w postaci piasków drobnych i pylastych

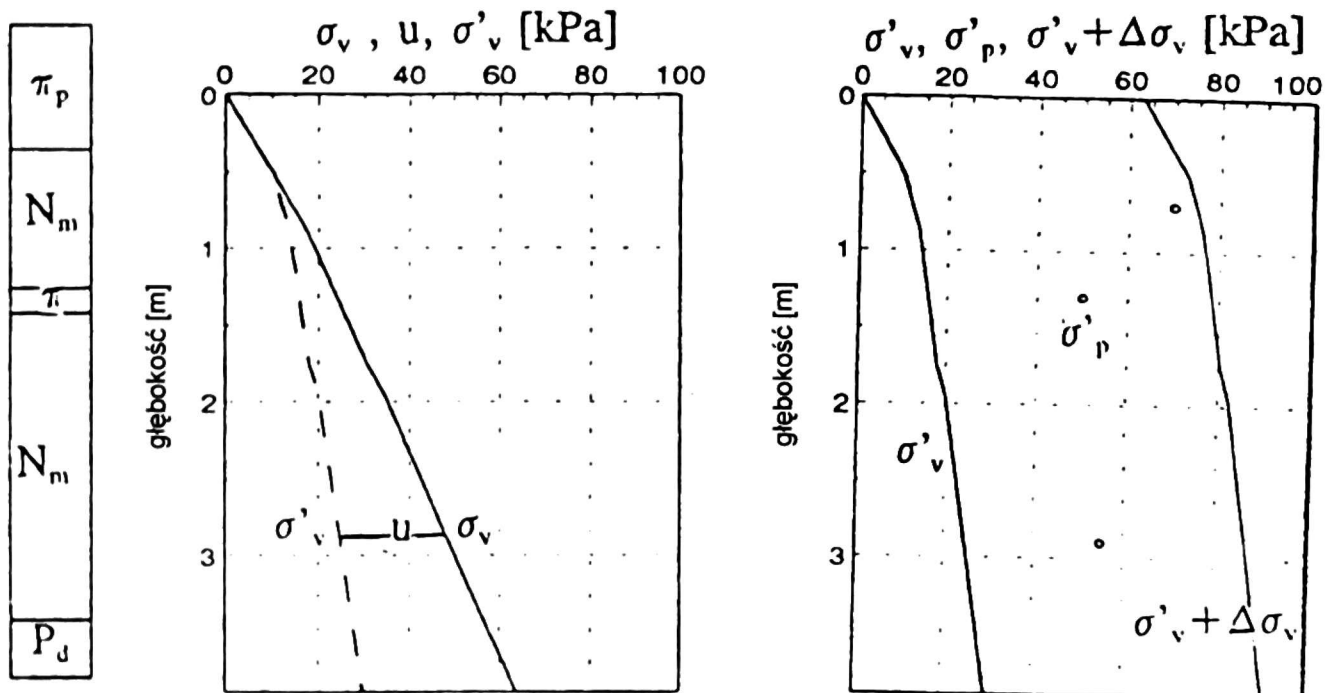
o miąższości do 2 m. Poniżej zalegają plejstoceńskie utwory wodnolodowcowe wykształcone w postaci piasków średnich ze żwirem, pospółek i żwirów.

Warstwy słabonośne podłoża tworzą holocenijskie namuły i namuły organiczne, lokalnie torfy oraz pyły i pyły piaszczyste występujące w stanie miękkoplastycznym. Przykładowe własności fizyczne uzyskane dla słabonośnego podłoża w przekroju hm 4+50 przedstawiono w tabeli. Wskazują one, że w analizowanym przekroju górną warstwę stanowi pył piaszczysty zalegający na namule organicznym, podzielony na dwie warstwy cienką warstwą pyłu. Najsłabszą warstwą jest namuł organiczny o zawartości części organicznych $I_{om} = 18-22\%$, który charakteryzuje się wilgotnością naturalną $w_n = 105-130\%$, przy gęstości objętościowej gruntu $\rho = 1,25-1,35 \text{ t/m}^3$.

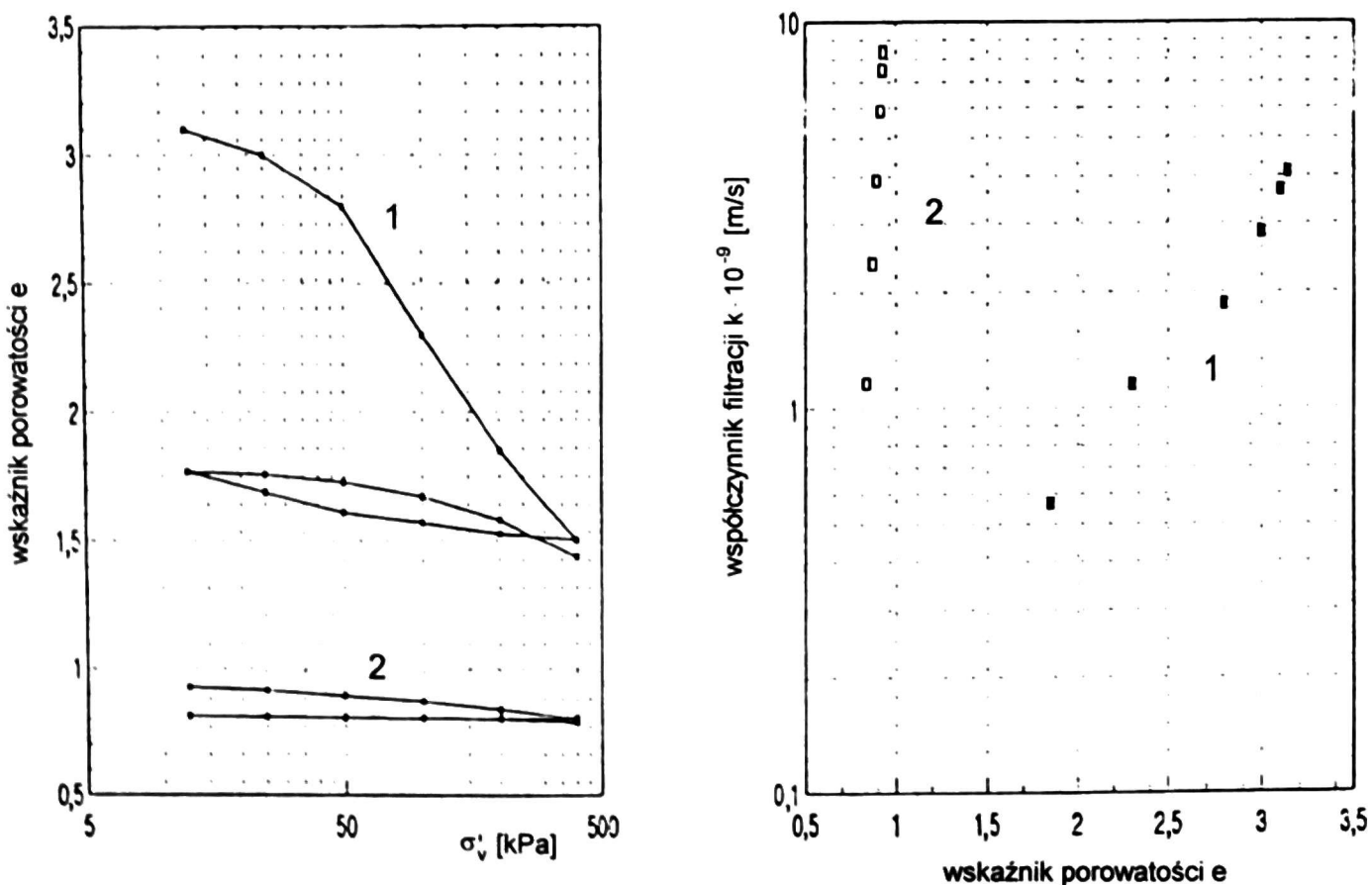
Początkowy stan naprężenia i ciśnienie wody w porach określony w profilu pod projektowanym nasypem przeciążeniowym pokazano na rysunku 3. Porównanie naprężenia prekonsolidacji σ'_p określonego z badań edometrycznych z pionową składową naprężenia efektywnego σ'_v wskazuje, że występujące grunty są prekonsolidowane, a współczynnik prekonsolidacji $OCR = 2-3$. Przyrost pionowej składowej naprężenia, wywołany nasypem przeciążeniowym, w znacznej części podłoża powoduje przekroczenie początkowej wartości naprężenia prekonsolidacji. Charakterystyki konsolidacyjne gruntów słabonośnych, podane w postaci nieliniowych zależności wskaźnika porowatości e od pionowej składowej naprężenia efektywnego σ'_v oraz współczynnika filtracji k_v od wskaźnika porowatości e , pokazano na rysunku 4.

Tabela. Właściwości fizyczne słabonośnych warstw podłoża zapory czołowej zbiornika Nielisz

Rodzaj gruntu	Wilgotność naturalna	Granice konsystencji		Gęstość gruntu		Zawartość części organicznych	Zawartość frakcji [%]		
		w_p [%]	w_L [%]	ρ [t/m^3]	ρ_s [t/m^3]		I_{om} [%]	piaskowej	pyłowej
Pył piaszczysty π_p	30-35	18-20	30-32	1,80-1,85	2,62-2,65	2-3	35-40	57-63	2-3
Namuł organiczny N_m	110-130	45-55	130-150	1,25-1,30	2,25-2,30	20-22	15-20	77-83	2-3
Pył π	35-38	20-22	40-42	1,80-1,85	2,62-2,65	2-3	25-27	70-73	2-3
Namuł organiczny N_m	105-120	40-45	110-130	1,30-1,35	2,25-2,30	18-20	20-25	72-78	2-3



Rys. 3. Stan naprężenia i ciśnienia wody w porach: σ_v – pionowa składowa naprężenia całkowitego, u – ciśnienie wody w porach, σ'_v – pionowa składowa naprężenia efektywnego, $\Delta\sigma_v$ – przyrost naprężenia wywołany obciążeniem nasypu, σ'_p – naprężenie prekonsolidacji



Rys. 4. Charakterystyki konsolidacyjne gruntów słabonośnych: 1 – namuł organiczny, 2 – pył

Wykorzystanie badań dylatometrycznych w ocenie wzmocnienia słabonośnego podłoża

Biorąc pod uwagę potrzebę usprawnienia wykonywania kontrolnych badań terenowych podczas etapowej budowy zapory, zamiast do tej pory wykorzystywanej polowej sondy krzyżakowej wymagającej wykonanie podwiertów przez nasyp, jako podstawowy sposób badań zastosowano dylatometr Marchettiego. Za takim wyborem przemawiały również możliwości szerszego zakresu interpretacji wyników badań dylatometrycznych.

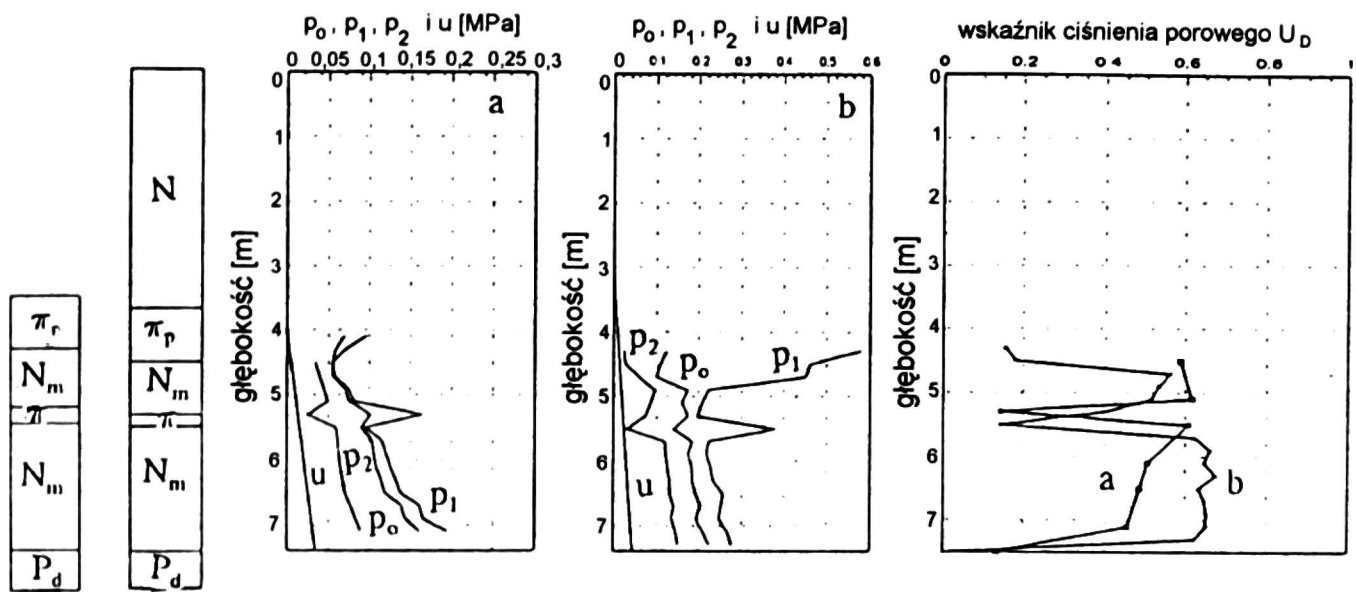
Badania dylatometryczne na obiekcie Nielisz zostały wykonane w dwóch seriach. Pierwszą serię przeprowadzono w 1994 roku w ramach badań geotechnicznych, których celem była weryfikacja parametrów geotechnicznych zamieszczonych w dokumentacji geologiczno-inżynierskiej [Geoproblem 1992] oraz określenie możliwości realizacji budowy zapory w okresie 3 lat. Badania dylatometryczne zostały wykonane w kilku przekrojach. W każdym przekroju zlokalizowano dwa profile badawcze poza istniejącym nasypem (w strefie nieobciążonej) oraz jeden pod jego koroną. Głównym celem interpretacji wyników badań dylatometrycznych było określenie "stanu zerowego" przed rozpoczęciem konsolidacyjnego wzmocnienia słabonośnego podłoża wywołanego 2-etapową budową z przeciążeniem. Uzyskane wyniki wykorzystano przy weryfikacji miąższości poszczególnych warstw gruntu, do określenia ich rodzaju i stanu oraz początkowej wytrzymałości na ścinanie. Oprócz badań

dylatometrycznych wykonano również badania sondą statyczną CPT oraz badania polową sondą krzyżakową [Geoteko 1992, 1994].

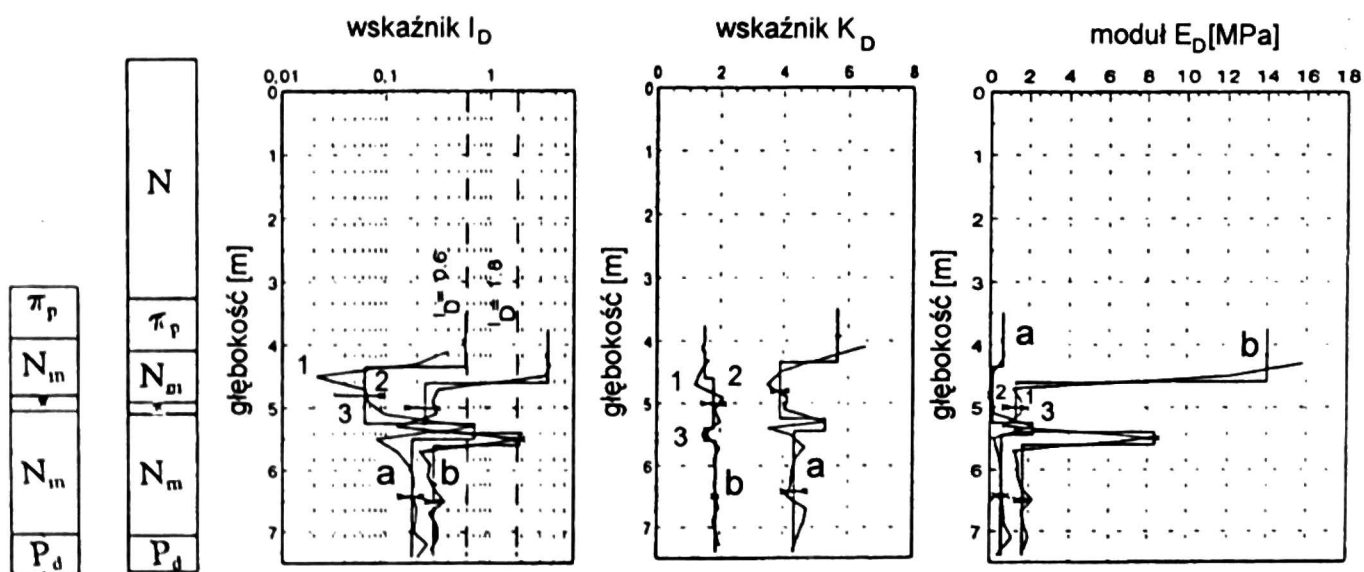
Drugą serię badań dylatometrycznych służącą ocenie rzeczywistego efektu wzmocnienia wykonano pod koniec I etapu w kwietniu 1995 r. [Geoteko 1995]. W artykule przedstawiono wybrane z obu serii wyniki badań dylatometrycznych uzyskane w profilu badawczym w hm 4+50 u podstawy skarpy od strony WG w sąsiedztwie lokalizacji reperów [Lechowicz i in. 1996] (rys. 4).

Wyniki badań dylatometrycznych uzyskane przed obciążeniem i 5,5 miesiąca od rozpoczęcia w tym rejonie budowy przedstawiono w postaci profili skorygowanych wartości ciśnienia p_0 , p_1 i p_2 oraz wskaźnika ciśnienia wody w porach U_D (rys. 5). Profile pomierzonych wartości oraz wartości średnich wraz z odchyleniem standardowym dylatometrycznych wskaźników gruntu: wskaźnika materiałowego I_D , wskaźnika poziomej składowej naprężenia K_D i modułu dylatometrycznego E_D przedstawiono na rysunku 6. Wartości średnie wraz z odchyleniem standardowym wskaźników I_D i E_D dla wydzielonych w podłożu warstw przedstawione na nomogramie Marchettiego pokazano na rysunku 2.

Porównując wartości dylatometrycznych wskaźników gruntu uzyskane przed obciążeniem z wartościami otrzymanymi pod koniec I etapu – widoczne są istotne zmiany wywołane procesem konsolidacji. W wyniku konsolidacji słabonośnego podłoża moduł dylatometryczny E_D uległ 2-, 3-krotnemu zwiększeniu. W przypadku wskaźnika materiałowego I_D i



Rys. 5. Wyniki badań dylatometrycznych słabonośnego podłoża: a – przed obciążeniem, b – 5,5 miesiąca od rozpoczęcia I etapu



Rys. 6. Profile wskaźników I_D , K_D i E_D uzyskanych z badań dylatometrycznych słabonośnego podłoża: a – przed obciążeniem, b – 5,5 miesiąca od rozpoczęcia I etapu; 1 – wartości pomierzone, 2 – wartości średnie, 3 – wartości średnie \pm odchylenie standardowe

wskaźnika poziomej składowej naprężenia K_D obserwuje się ich zmniejszenie. Na podstawie danych zamieszczonych na nomogramie Marchettiego można stwierdzić, że punkty charakteryzujące wydzielone warstwy w nieobciążonym podłożu w porównaniu z podłożem obciążonym nasypem I etapu są przesunięte bliżej granicy gruntów organicznych z gruntami

spójnymi charakteryzującymi się większą wytrzymałością na ścinanie. Warstwy gruntów słabych wykazujące początkowo bardzo małą wartość modułu dylatometrycznego E_D w wyniku konsolidacji uległy wzmocnieniu.

Wstępne oszacowanie wytrzymałości na ścinanie na podstawie zależności podanej przez Marchettiego wykazało bar-

dzo małe jej wartości. Zgodnie z dotychczasowymi doświadczeniami uzyskanymi na obiektach doświadczalnych Katedry Geotechniki SGGW w interpretacji wyników badań dylatometrycznych służących wyznaczeniu wytrzymałości na ścinanie gruntów słabych zastosowano zmodyfikowaną wersję zależności Marchettiego w postaci:

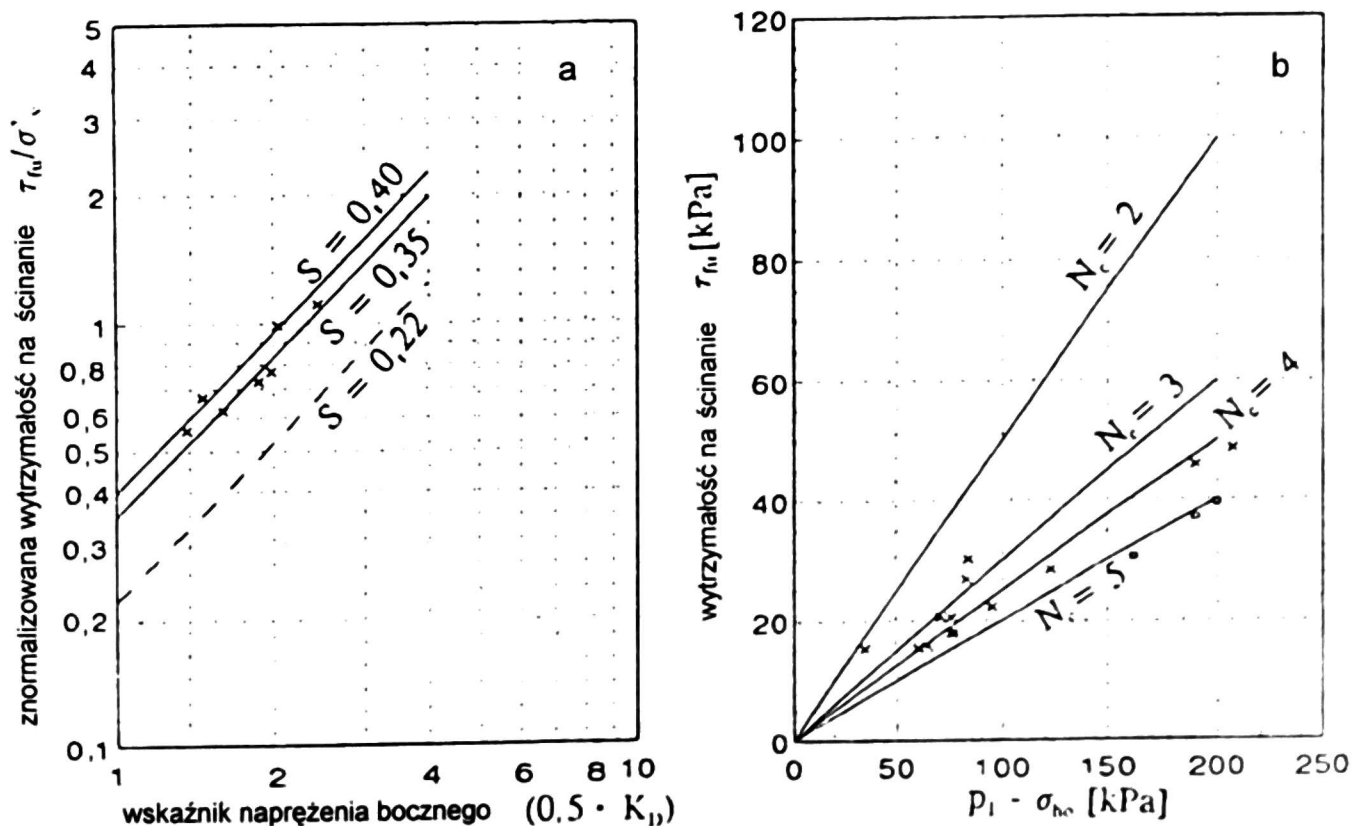
$$\tau_{fu} = \sigma'_v \cdot S (0,5 \cdot K_D)^{1,25} \quad (8)$$

gdzie: $S = (\tau_{fu}/\sigma'_v)_{nc}$ – znormalizowana wytrzymałość na ścinanie dla gruntu normalnie skonsolidowanego.

W celu wyznaczenia wartości współczynników do zmodyfikowanej zależności Marchettiego (8) oraz do zależności

Roque i in. (6) dokonano porównania wyników badań dylatometrycznych ze skorygowaną wytrzymałością na ścinanie uzyskaną z badań polową sondą krzyżakową (rys. 7). W skorygowaniu pomierzonych wartości dla namułu organicznego zastosowano współczynnik poprawkowy $\mu = 0,6$ – określony zgodnie z metodyką podaną przez Larssona i in. (1994). Wyniki analizy wskazują, że dla badanego namułu organicznego współczynnik S do zależności (8) wynosi 0,35–0,40, natomiast współczynnik N_c do zależności (6) wynosi dla gruntów prekonsolidowanych 3–4, a dla normalnie skonsolidowanych – 5.

Do porównania zależności stosowanych w interpretacji wyników badań dylatometrycznych wykorzystano: zależ-



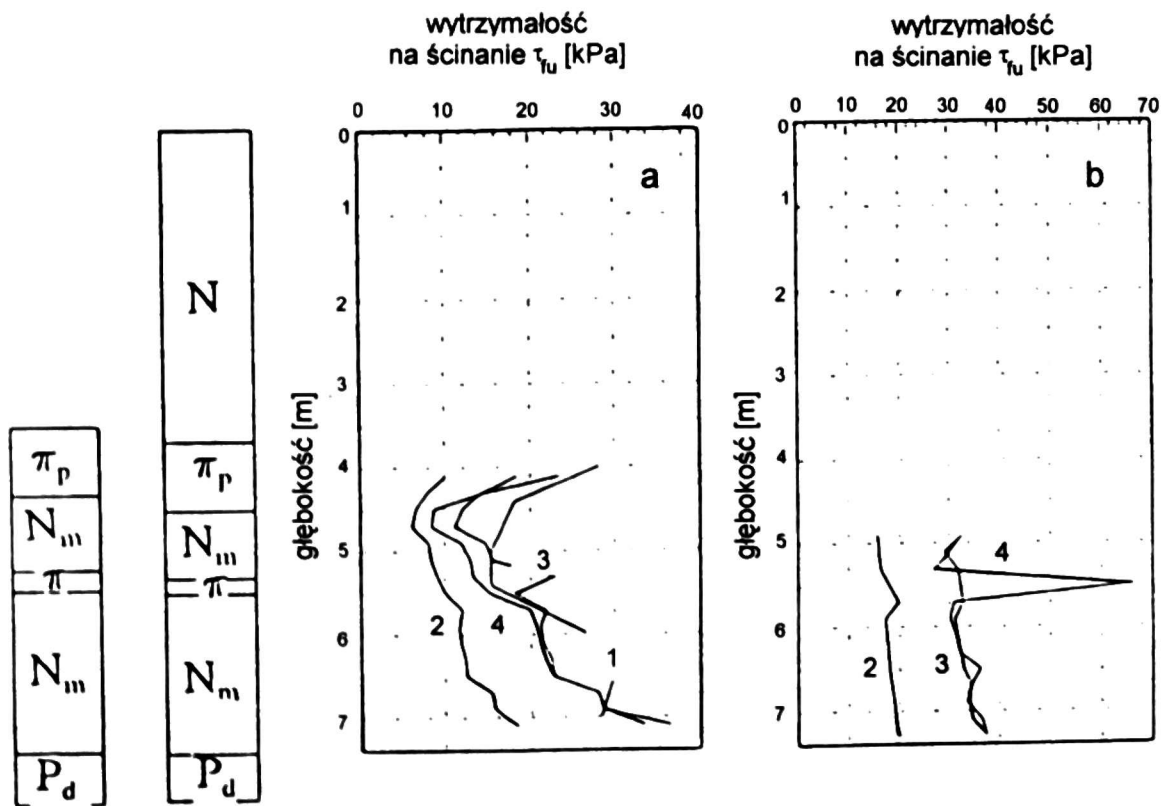
Rys. 7. Porównanie wytrzymałości na ścinanie bez odplywu τ_{fu} określonej z zależności wykorzystywanych w interpretacji badań dylatometrycznych ze skorygowaną wytrzymałością na ścinanie uzyskaną z badań polową sondą krzyżakową: a – zależność Marchettiego (5) i jej zmodyfikowana postać (8) przy współczynniku S wynoszącym 0,35 i 0,40; b – zależność Roque i in. (6) przy współczynniku N_c wynoszącym 2, 3, 4 i 5

ność Marchettiego (5), zmodyfikowaną postać tej zależności (8) – przy przyjęciu dla wydzielonych warstw namułu organicznego wartości współczynnika $S = 0,40$ oraz zależność podaną przez Roque i in. (6) – przy przyjęciu wartości współczynnika N_c dla gruntów prekonsolidowanych równej 3, a dla normalnie konsolidowanych – 5. Wartości wytrzymałości na ścinanie uzyskane z badań dylatometrycznych (w profilu badawczym w hm 4+50) przed obciążeniem i 5,5 miesiąca od rozpoczęcia w tym rejonie budowy przedstawiono na rysunku 8.

Porównanie wytrzymałości na ścinanie bez odpływu τ_{fu} , określonej z zależności Marchettiego ze skorygowaną wytrzymałością na ścinanie uzyskaną z badań polową sondą krzyżakową, potwier-

dza zastrzeżenia co do możliwości stosowania tej zależności dla namułów organicznych. Wartości otrzymane z zależności Marchettiego są znacznie mniejsze od uzyskanych z badań polową sondą krzyżakową. Lepszą zgodność wyników otrzymano w przypadku zmodyfikowanej zależności Marchettiego i zależności Roque i in., przyjmując wyżej podane wartości współczynników.

Należy podkreślić, że zależności (5) i (8) poprawnie opisują zmianę wytrzymałości na ścinanie bez odpływu dla gruntów prekonsolidowanych, aż do osiągnięcia wartości współczynnika prekonsolidacji $OCR = 1$. W celu wykorzystania tych zależności również w zakresie normalnej konsolidacji konieczne jest wprowadzenie dodatkowego warunku ograni-



Rys. 8. Profile wytrzymałości na ścinanie bez odpływu τ_{fu} słabonośnego podłoża: a – przed obciążeniem, b – 5,5 miesiąca od rozpoczęcia I etapu; 1 – skorygowane wartości otrzymane z badań polową sondą krzyżakową; wartości uzyskane z badań dylatometrycznych: 2 – zależność Marchettiego, 3 – zmodyfikowana zależność Marchettiego przy $S = 0,40$, 4 – zależność Roque i in. przy $N_c = 3$ dla gruntów prekonsolidowanych i $N_c = 5$ dla gruntów normalnie konsolidowanych

czającego, który zapewni, iż wartość współczynnika prekonsolidacji OCR nie będzie mniejsza od jedności. Jednakże w tej sytuacji określona na ich podstawie wytrzymałość na ścinanie nie zależy od wyników badań dylatometrycznych, ale od przyjętej do obliczeń pionowej składowej efektywnego naprężenia σ'_v . Zatem zmianę wytrzymałości na ścinanie bez odpływu w całym zakresie zmiany naprężenia efektywnego, a szczególnie w zakresie normalnej konsolidacji, lepiej opisuje zależność podana przez Roque i in., w której jest ona nadal funkcją skorygowanej wartości ciśnienia p_1 . Należy zwrócić uwagę, że wykorzystanie tej zależności umożliwia poprawne określenie wytrzymałości na ścinanie pod warunkiem wyznaczenia właściwej wartości współczynnika N_c , jego wartość zależy od rodzaju gruntu i stanu naprężenia.

Prezentowane w pracy wyniki badań nieobciążonego podłoża wskazują, że średnie wartości wytrzymałości na ścinanie dla najsłabszych warstw podłoża mieszczą się w przedziale 10–15 kPa w przypadku górnej warstwy namułu organicznego, natomiast w dolnej warstwie 15–25 kPa. Otrzymane wyniki wykazują, że dzięki konsolidacyjnemu wzmocnieniu wytrzymałość na ścinanie tych warstw przekroczyła 30 kPa.

Podsumowanie

Badania dylatometryczne przeprowadzone w warunkach etapowej budowy zapory czołowej zbiornika Nielisz wykazały dużą przydatność dylatometru Marchettiego w badaniu i ocenie przebiegu konsolidacyjnego wzmocnienia słabo- i średnio- i mocno- konsolidowanego podłoża. Porównanie wyników

badania terenowych pozwoliło na przystosowanie zależności opracowanych dla gruntów spoistych do określenia wytrzymałości na ścinanie bez odpływu τ_{fu} namułu organicznego. Wyniki analizy wskazują, że w przypadku prekonsolidowanych namułów organicznych można wykorzystać zmodyfikowaną zależność Marchettiego (8) ze współczynnikiem S równym 0,35–0,40 lub zależność Roque i in. (6) ze współczynnikiem N_c równym 3–4. Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu normalnie konsolidowanych namułów organicznych lepiej opisuje zależność podana przez Roque i in. (6) ze współczynnikiem N_c równym 5.

Literatura

- BORTKIEWICZ A., SZMAGAJ J. 1996: *Zbiornik Nielisz - charakterystyka konstrukcyjna obiektów zapory czołowej*. Konferencja Naukowa "Problemy kształtowania środowiska obszarów wiejskich". Warszawa.
- GEOPROBLEM 1992: *Dokumentacja geologiczno-inżynierska do PT budowy zapory ziemnej stopnia Nielisz w Nieliszu*. Etap II. Zamość.
- GEOTEKO 1992: *Opracowanie technologii etapowego wykonania zapory Nielisz z wykorzystaniem konsolidacyjnego wzmocnienia podłoża*. Wesola k. Warszawy.
- GEOTEKO 1994: *Badania geotechniczne w celu określenia warunków umożliwiających przyspieszenie realizacji zapory czołowej zbiornika wodnego Nielisz*. Wesola k. Warszawy.
- GEOTEKO 1995: *Okresowe badania geotechniczne przed rozpoczęciem realizacji II etapu budowy zapory czołowej zbiornika wodnego Nielisz*. Wesola k. Warszawy.
- LACASSE S., LUNNE T. 1988: *Calibration of dilatometer corrections*. Proc. Int. Sym. on Penetration Testing ISOPT-1, Orlando, 1: 539–548.
- LARSSON R., BERGDAHL U., ERIKSSON L. 1984: *Evaluation of shear strength in cohesive soils with special reference to Swedish practice and experience*. Swedish Geotechnical Institute, Linköping, Information 3, 1–32.

- LECHOWICZ Z. 1996: *Undrained shear strength of organic soils from dilatometer test*. Ann. Warsaw Agricult. Univ., Land Reclam. (in print).
- LECHOWICZ Z., MIRECKI J., WOLSKI W. 1996: *Zbiornik Nielisz – etapowa budowa zapory*. Konferencja Naukowa "Problemy kształtowania środowiska obszarów wiejskich". Warszawa.
- LUTENEGGER A. J. 1988: *Current status of the Marchetti dilatometer test*. Proc. Int. Sym. on Penetration Testing ISOPT-1. Orlando, 1: 137–155.
- ŁADNIAK H. 1996: *Zbiornik Nielisz – charakterystyka ogólna inwestycji*. Konferencja Naukowa "Problemy kształtowania środowiska obszarów wiejskich". Warszawa.
- MARCHETTI S., 1980: *In Situ Tests by Flat Dilatometer*. J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 106, GT3: 299–321.
- ROQUE R., JANBU N., SENNESET K. 1988: *Basic interpretation procedures of flat dilatometer tests*. Proc. Int. Sym. on Penetration Testing ISOPT-1. Orlando, 1: 577–587.
- SIERANT M., TCHÓRZ T. 1996: *Zbiornik Nielisz – problemy realizacji inwestycji*. Konferencja Naukowa "Problemy kształtowania środowiska obszarów wiejskich". Warszawa.