

Marek POZZI, Tadeusz MZYK
Politechnika Śląska, Gliwice

DOKUMENTOWANIE GEOTECHNICZNE W OPARCIU O SONDOWANIE CPTU

Streszczenie. Właściwa ocena parametrów podłoża gruntowego jest jednym z podstawowych zadań na etapie projektowania obiektów inżynierskich. Wprowadzane normy europejskie wymagają odmiennego podejścia do projektowania, powodując jednocześnie zwiększone wymagania co do wyników uzyskiwanych w badaniach polowych. W wyniku rozwoju technologii inżynierskich obserwuje się obecnie istotne zmiany w metodyce badania podłoża gruntowego. Nowoczesne metody badawcze zapewniają zwiększenie precyzji przy równoczesnym zmniejszeniu czasu i kosztu badań. Jedną z priorytetowych metod badania podłoża w praktyce geologiczno-inżynierskiej jest metoda sondowania statycznego CPT, w szczególności sondowania statycznego z bezpośrednim pomiarem ciśnienia wody w porach gruntu CPTU. W wyniku prowadzonych badań CPTU, stosując odpowiednie klasyfikacje i wzory korelacyjne, uzyskuje się precyzyjne wydzielenie warstw i dobre oszacowania stanów gruntów oraz ich parametrów mechanicznych.

GEOTECHNICAL DOCUMENTATION BASED ON CPTU TEST

Summary. The proper evaluation of parameters of land subsoil is on stage one of basic tasks the projecting the engineers objects. Introduced European standards require different approach to projecting, causing simultaneously enlarged requirements what to got in field investigations results. At present essential changes in result of development of engineer technologies were observed in methodology of investigation of land subsoil. The modern investigative methods assure the enlargement the precision and the simultaneous decrease the time and the cost of investigations. One of preference methods of investigation of sbasis in practice the method of geological - engineer probing is the static CPT in peculiarity cone penetration test with pore pressure measurement CPTU. It in result of led investigations the CPTU, applying the suitable classifications and the correlational examples, the secretion the layers was got was precise and the good estimation of states of soils as well as their mechanical parameters.

1. Wprowadzenie

Wymagania dotyczące zakresu badań polowych oraz laboratoryjnych w zakresie dokumentowania geotechnicznego w polskich warunkach regulowane były przez dwie normy: PN-86/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu oraz PN-74/B-04452 Grunty budowlane. Badania polowe. W dotychczasowej praktyce geologiczno-inżynierskiej w projektowaniu posadowień obiektów budowlanych w Polsce preferowało się ustalanie parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego poprzez przeprowadzenie sondowania dynamicznego w terenie i ustalenie stopnia zagęszczenia I_D lub stopnia plastyczności I_L badanego gruntu [2, 3, 15, 16]. Parametry I_L lub I_D traktowane są jako parametry wiodące, na podstawie których odczytuje się z wykresów zawartych w normie PN-81/B-03020 parametry Φ_u i c_u podłoża gruntowego lub z zależności korelacyjnych między stopniem zagęszczenia lub stopniem plastyczności a parametrem fizycznym lub wytrzymałościowym są obliczane inne wymagane parametry geotechniczne [15, 17, 18, 19, 22].

Aksesja Polski do Unii Europejskiej w 2004 roku sprawiła, że firmy działające w branży budowlanej z różnych krajów europejskich mogą prowadzić swoją działalność w ramach krajów członkowskich, w tym w Polsce. Warunki gruntowe w poszczególnych rejonach Europy są różne, odmienna jest również specyfika badań podłoża gruntowego oraz wymagany zakres tych badań w każdym z krajów europejskich. Ujednoczenie rynków w ramach wspólnoty wymaga również ujednoczenia pewnych standardów projektowania obiektów budowlanych oraz dokumentowania warunków gruntowo-wodnych. W związku z tym zaistniała konieczność wprowadzenia jednakowych standardów europejskich [19, 20, 23].

Ogólnoeuropejskie wytyczne dotyczące zakresu badań wymaganych dla obiektów budowlanych opracowywane są już od ponad 30 lat i zostały podane w EUROCODE 7 (Eurocode 7: *Geological design* – w szczególności ENV 1997-3:1999, tj. Eurocode 7 *Part 3 Design assisted by field testing*) [3, 4, 5]. W Polsce, w roku 2002 wprowadzono zmodyfikowaną normę PN-B-04452:2002 (zastępującą PN-74/B-04452 oraz częściowo PN-86/B-04481), wprowadzając zmiany, mające na celu dostosowanie polskiej praktyki badań polowych do zasad podanych w ENV 1997-3:1999 [9, 10, 11, 12, 13, 14, 24, 25]. Norma ta w zasadniczej części określa procedury badawcze, podstawowe wymagania dotyczące sprzętu oraz sposoby interpretacji wyników badań [12].

2. Zmiany wymogów projektowania geotechnicznego wynikające z Eurokodu 7

Zespół norm wchodzących w zakres dziesięciu Eurokodów (dodatkowy Eurokod 0 Basis of design) oprócz zaleceń dotyczących obliczeń konstrukcyjnych, zawiera zalecenia z zakresu geologii inżynierskiej [14, 23, 24].

Do podstawowych norm geotechnicznych, opracowanych w ramach Eurokodu 7, należą [23, 24]:

- a) ENV 1997 część 1 - Projektowanie geotechniczne. Zalecenia ogólne. (Geotechnical design. General rules) z 1994 r.,
- b) ENV 1997 część 2 - Projektowanie geotechniczne za pomocą badań laboratoryjnych. (Geotechnical design assisted by laboratory testing) z 1999 r.,
- c) ENV 1997 część 3 - Projektowanie geotechniczne za pomocą badań polowych (Geotechnical design by field testing) z 1999 r.

Istotną zmianą, w stosunku do dotychczasowego sposobu projektowania obiektów budowlanych, wprowadzaną przez normy europejskie jest zasada obliczeń posadowienia konstrukcji budowlanych w naprężeniach efektywnych, czyli na podstawie efektywnych wartości kąta tarcia wewnętrznego Φ' i spójności c' gruntu [23, 24]. Zgodnie z wymogami eurokodów ważne jest, żeby dokumentacja geotechniczna zawierała przynajmniej wyniki badań *in situ* metodą sondowania [14].

Sprawdzenie zachowania się konstrukcji budowlanej we wszystkich fazach wznoszenia i eksploatacji nie jest możliwe bez zbudowania modelu obliczeniowego jedną z metod numerycznych. Metody te stawiają bardzo ostre wymagania co do sposobu przeprowadzania badań gruntu. Wprowadzenie normami zasady naprężeń efektywnych wymaga zmiany sposobu przeprowadzania badań polowych i laboratoryjnych parametrów podłoża gruntowego [23, 24]. Określone w badaniach polowych lub laboratoryjnych warunki gruntowe, takie jak zakres naprężeń, stopień skonsolidowania i nasycenia badanego gruntu, przewidywany zakres zmian ciśnienia wody w porach gruntu, pozwalają zaprojektować sposób przekazywania obciążenia z konstrukcji na podłoże (statyczne, dynamiczne lub cykliczne) czy technologię wykonywania fundamentu konstrukcji [3, 5, 8, 14, 15, 18, 19, 21, 25].

Największym wyzwaniem dla polskich konstruktorów będzie obligatoryjne wprowadzenie obliczeń konstrukcyjnych opartych na zasadach prawdopodobieństwa (lub niezawodności) konstrukcji budowlanych [8, 19, 21, 23, 24, 25]. Polski Komitet Normalizacyjny opublikował w 2006 roku do Polskich Norm normę PN-ISO 2394 (*Ogólne*

zasady niezawodności konstrukcji budowlanych), która wprowadza nowe podejście konstruktora budowlanego do problemu bezpieczeństwa obiektów budowlanych, wymagając zapewnienia odpowiedniego poziomu ich niezawodności [13]. W tym świetle, zasadniczy wpływ na ocenę niezawodności projektowanych konstrukcji ma zakres badań polowych i laboratoryjnych gruntów podłoża oraz obliczenie i przewidywanie zmian odkształceń podłoża i obiektu w czasie [14, 16, 21, 22].

Pierwszym etapem projektowania obiektu budowlanego jest określenie parametrów geotechnicznych podłoża, które warunkują sposób posadowienia budowli [14, 22]. Warunki gruntowe determinują również wymagany zakres badań polowych i laboratoryjnych [15]. Badania programowane są zwykle w siatce obejmującej cały obszar, przyjmując jednak dwa lub trzy kolejne stopnie dokładności rozpoznania podłoża [14, 15, 22]. W pierwszej kolejności wykonuje się ogólne rozpoznanie warunków gruntowych w siatce pierwszego stopnia, o rozstawie najczęściej kilkudziesięciu metrów. Siatka taka powinna się składać z najtańszych do przeprowadzenia badań, jak wiercenia penetracyjne, sondowanie dynamiczne i losowo rozmieszczone badania bardziej kosztowne, ale bardziej wiarygodne, np. sondowania CPTU. Następnie projektuje się, zależną od wyników wcześniejszych badań, rozbudowaną siatkę drugiego stopnia, zakładając wykonanie w niektórych węzłach pierwszej siatki bardziej czasochłonnych i kosztownych testów *in situ* i pobranie próbek do analiz laboratoryjnych. Ostatecznie, w tych rejonach, gdzie są poważne wątpliwości co do prawdziwości uzyskanego obrazu podłoża lub też niezbędne jest dokładniejsze jego rozpoznanie, projektuje się siatkę trzeciego stopnia [14].

W przypadku kosztownych inwestycji Eurokody wymagają zaprojektowania systemu monitoringu konstrukcji i podłoża, który obejmuje wykonanie testów terenowych. Przewidują także działania awaryjne w przypadku obserwowanej złej współpracy budowli z podłożem (np. uzupełniające badania CPTU warunków gruntowych w newralgicznych rejonach obiektu) [14].

Badania podłoża stanowią istotny element w fazie projektowania wszystkich konstrukcji inżynierskich. Budowle liniowe, do których zaliczają się drogi oraz tunele, stawiają przed badaniami geotechnicznymi szczególnie i nieco odmienne wymagania [8, 13]. Obiekty towarzyszące budownictwu drogowemu, takie jak wiadukty i mosty, zbliżone są programem badań geotechnicznych do obiektów kubaturowych. W programie badań geotechnicznych zasadnicze znaczenie mają [13, 14, 15]:

- ocena uwarstwienia podłoża,
- sprawdzenie zmienności warunków gruntowych i wodnych,

- ocena różnicowania wytrzymałościowego warstw,
- określenie stopnia przekonsolidowania i anizotropii osadów.

Elementem, różnicującym zadania geotechniczne, jest strefa współpracy tych obiektów z podłożem, która wynika zarówno z geometrii obiektu, jak i wielkości obciążeń przekazywanych na podłoże [14, 15, 16, 22].

3. Wykorzystanie sondowania CPTU w projektowaniu geotechnicznym

W ramach obecnie prowadzonych badań podłoża gruntowego wykonywane są wiercenia z pobieraniem próbek gruntu, które są czasami dodatkowo uzupełniane sondowaniami sondą dynamiczną (DPH, DPL, SPT). Badania gruntu najczęściej wykonywane są bez opracowanego dokładnego programu, obejmującego zakres koniecznych badań *in situ* i badań laboratoryjnych, rodzaj badań, liczbę, usytuowanie i głębokość wierceń oraz sondowań [19, 21, 22]. Wyniki tak prowadzonych prac są niemiernodajne, często przypadkowe i nie charakteryzują się powtarzalnością [2, 3, 4, 19, 20, 21]. Często w dokumentacjach geotechnicznych niewłaściwie usytuowane są miejsca badań, które nie uwzględniają rodzaju konstrukcji oraz rozkładu obciążeń do głębokości wystarczającej dla właściwej oceny osiadań i nośności fundamentów [2]. Efektem badań podłoża powinno być uzyskanie nie tylko dokładnego przekroju geotechnicznego, ale przede wszystkim miarodajnych – obliczeniowych wartości parametrów poszczególnych warstw gruntu [5, 6, 7]. Niewłaściwa ocena stopnia zagęszczenia gruntów niespoistych lub stopnia plastyczności gruntów spoistych prowadzi do poważnych błędów projektowych, gdyż te właśnie parametry mają decydujący wpływ na wyznaczenie właściwych wartości efektywnych gruntu [21]. Najbardziej miarodajnym badaniem, dla uzyskania efektywnych wartości parametrów, jest wykonanie sondowań statycznych (CPTU) lub badań presjometrycznych czy dylatometrycznych [5, 6, 7].

Potrzeba racjonalnego i ekonomicznie uzasadnionego sposobu określenia stratygrafii podłoża gruntowego z jednoczesnym określeniem własności gruntu w warunkach naturalnych spowodowała rozwój szeregu metod badania gruntu *in situ*. Obecnie obserwuje się istotne zmiany w metodyce badania podłoża gruntowego, które zmierzają ku zwiększeniu precyzji i równoczesnym zmniejszeniu czasu i kosztu badań [2]. W zachodnioeuropejskiej praktyce geologiczno-inżynierskiej standardem stały się już sondowania statyczne, w szczególności sondowania statyczne z bezpośrednim pomiarem ciśnienia wody w porach gruntu (badania CPTU - *cone penetration test with pore pressure measurement*) [8]. W wyniku prowadzonych

badań CPTU, stosując odpowiednie klasyfikacje i wzory korelacyjne, uzyskuje się precyzyjne wydzielenie warstw i dobre oszacowanie stanów gruntów oraz ich parametrów mechanicznych [5, 6, 7].

Wprowadzenie do praktyki budowlanej badań CPTU ułatwia nie tylko wyprowadzenie parametrów obliczeniowych gruntu, ale w równie istotnym stopniu ułatwia ustalenie prawidłowego zasięgu warstw geotechnicznych złożonych z gruntów o podobnych właściwościach wytrzymałościowych, co sprawdza się szczególnie w przypadku gruntów spoistych i organicznych [1, 2, 5, 6, 7, 8]. W procesie projektowania geotechnicznego podstawowe znaczenie ma zasięg warstw geotechnicznych, a znacznie mniej istotne znaczenie ma ściśle wydzielenie warstw geologicznych, uwzględniając ich zmienność litologiczną. Zasadniczą przewagą metody CPTU nad pozostałymi metodami badawczymi jest unikanie wydzielenia dużej ilości warstw geologicznych, niewielkiej często miąższości i o podobnych właściwościach wytrzymałościowych [8]. Wieloletnie badania naukowe, ciągły rozwój technologii i sprzętu w krajach Europy Zachodniej, Skandynawii, Ameryki Północnej, jak również i w Polsce zwiększyły możliwości określania warunków gruntowych na podstawie parametrów mierzonych podczas penetracji sondy w grunt [2].

4. Procedura badawcza w sondowaniu CPTU

Badanie metodą sondowania statycznego CPTU polega na wciskaniu w podłoże gruntowe sondy ze stałą prędkością 2 cm/s. Sonda w postaci stalowego pręta o kołowym przekroju poprzecznym, średnicy ok. 3,56 cm, wyposażona w elektroniczne układy miernicze, zakończona jest stożkiem o kącie rozwarcia równym 60 stopni. W trakcie wprowadzania sondy w podłoże gruntowe, tj. w trakcie penetracji, mierzone są następujące parametry [12, 19]:

- siła oporu penetracji względem powierzchni końcówki stożka q_c , której wartość rośnie wraz ze wzrostem [5, 6]:
 - grubości uziarnienia gruntu,
 - składowej poziomej naprężenia *in situ*,
 - zagęszczenia gruntu,
 - stopnia prekonsolidacji gruntu;
- siła tarcia względem powierzchni bocznej końcówki znajdującej się bezpośrednio za stożkiem f_s , która maleje wraz ze [5, 6]:

- wzrostem średnicy zastępczej cząstek gruntu,
- zwiększaniem się stopnia zagęszczenia gruntu,
- wzrostem wskaźnika wrażliwości gruntu,
oraz wzrasta wraz ze stopniem prekonsolidacji gruntów spoistych;
- ciśnienie porowe generowane w trakcie penetracji u_2 , które [5, 6]:
 - rośnie w miarę zmniejszania średnic ziaren gruntu,
 - wzrasta wraz ze wzrostem wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu oraz ze wzrostem wskaźnika wrażliwości gruntu,
 - maleje ze wzrostem współczynnika prekonsolidacji OCR.

Wartości parametrów sondowania oraz ich wzajemne relacje pozwalają na określenie rodzaju gruntu oraz jego podstawowych parametrów fizycznych i cech wytrzymałościowych. Pomiar dokonywany jest metodą elektroniczną, poprzez ciągły pomiar napięcia na czujnikach umieszczonych w sondzie w trakcie penetracji i przekazywany z końcówki sondy do specjalnego odbiornika, co pozwala na bezpośrednie, tj. w czasie rzeczywistym, wykreślenie trzech ciągłych krzywych przedstawiających mierzone wartości w zależności od głębokości penetracji [5]. Sondowanie statyczne z pomiarem ciśnienia wody w porach CPTU pozwala uściślić dane dotyczące rodzaju i stanu gruntów oraz uzupełnić je o efektywne parametry wytrzymałościowe, określić stan naprężenia w gruncie z uwzględnieniem historii obciążenia i wskaźnika prekonsolidacji gruntu OCR (ang. *overconsolidation ratio*) współczynniki konsolidacji i filtracji [6]. Obecnie sondowanie takie przy zastosowaniu specjalnych czujników znajduje coraz szersze zastosowanie w inżynierii i ochronie środowiska do wykrywania i monitorowania zanieczyszczeń w ośrodku gruntowym. Na podstawie wieloletnich doświadczeń stwierdzono, że badanie sondą statyczną CPT, a zwłaszcza CPTU, jest bardzo dobrą metodą badania podłoża gruntowego w Polsce [2, 6, 8, 19, 20].

Sondowanie statyczne CPTU w oparciu o wieloletnie doświadczenia i zależności korelacyjne pomiędzy mierzonymi wartościami i parametrami geotechnicznymi pozwala oszacować [1]:

- ciężar objętościowy gruntu γ (w warunkach *in situ!*),
- współczynnik prekonsolidacji OCR (w gruntach spoistych),
- współczynnik konsolidacji c (w gruntach spoistych),
- wytrzymałość gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu s_u (podobnie jak w aparacie trójosiowym),
- współczynnik parcia spoczynkowego K_o ,

- stopień plastyczności w gruntach spoistych I_L , oraz stopień zagęszczenia w gruntach niespoistych I_D ,
- moduł ściśliwości wtórnej M ,
- moduł odkształcenia sprężystego w warunkach bez odpływu E_u (moduł Younga),
- kąt tarcia wewnętrznego ϕ ,
- współczynnik filtracji k .

Wyznaczone w ten sposób wartości parametrów wytrzymałościowych gruntu są parametrami efektywnymi, przez co możliwe są do wykorzystania w obliczeniach projektowych. Parametry te są wyznaczone w warunkach *in situ*, przez co uwzględniają aktualny stan gruntu oraz wszelkie czynniki wpływające na określane parametry [14].

Podstawowym obszarem zastosowań sondowań statycznych jest określenie litologii podłoża gruntowego wraz z oszacowaniem parametrów geotechnicznych podłoża gruntowego w sposób ciągły. W gruntach słabych i średnich metoda CPTU jest sprawdzona, wiarygodna i bardzo efektywna do określania litologii podłoża gruntowego. W gruntach piaszczystych stosuje się z reguły sondowanie CPT bez pomiaru ciśnienia porowego, przy czym w sytuacji kiedy poziom wody gruntowej występuje na znacznej głębokości, ciśnienie hydrostatyczne może wpływać na wyniki pomiarów, wskazane jest sondowanie CPTU [19, 25].

Klasyczna metoda badań gruntu polegająca na skomplikowanym, czasochłonnym, a przede wszystkim pracochłonnym pobieraniu próbek gruntu o nienaruszonej strukturze i późniejszym laboratoryjnym wyznaczaniu określonych parametrów geotechnicznych tego gruntu, daje jedynie wyniki w określonych punktach, tj. w miejscu pobrania próbek [2]. W wielu przypadkach jest ona jednak nieodzowna ze względu na konieczność wykonania uzupełniających badań lub potwierdzenia wyników uzyskanych innymi metodami [16]. Na podstawie sondowań statycznych, dających ciągły obraz zmienności parametrów gruntowych, łatwo i szybko można zlokalizować tereny i warstwy podłoża gruntowego, gdzie powinny być wykonane uzupełniające, czasochłonne badania laboratoryjne. Na podstawie badań CPTU można również dokonać wyboru odpowiednich metod badawczych, najważniejszych do rozwiązania dla określonego zagadnienia geotechnicznego [6].

5. Wnioski

W metodyce badania podłoża gruntowego obecnie zmierza się ku zwiększeniu precyzji przy równoczesnym zmniejszeniu czasu i kosztu badań. Zmiany w przepisach i normach dotyczących projektowania geotechnicznego sprawiają, że istnieje potrzeba racjonalnego, szybkiego i ekonomicznie uzasadnionego sposobu określenia ciągłej litologii podłoża gruntowego z jednoczesnym określeniem efektywnych parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw.

Jednym z najbardziej miarodajnych badań polowych, dla uzyskania efektywnych wartości parametrów, jest wykonanie sondowań statycznych (CPTU) lub badań presjometycznych czy dylatometrycznych.

Sondowanie statyczne z pomiarem ciśnienia wody w porach CPTU pozwala:

- uściślić dane dotyczące rodzaju i stanu gruntów, tj. stopień plastyczności w gruntach spoiowych I_L , oraz stopień zagęszczenia w gruntach niespoistych I_D , ciężar objętościowy gruntu γ ; współczynnik filtracji k ;

oraz określić:

- efektywne parametry wytrzymałościowe, takie jak: wytrzymałość gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu s_u , moduły: ścisłości wtórnej M i odkształcenia sprężystego w warunkach bez odpływu E_u (moduł Younga) oraz kąt tarcia wewnętrznego ϕ ,
- określić stan naprężenia w gruncie z uwzględnieniem historii obciążenia, poprzez współczynniki prekonsolidacji OCR i konsolidacji c ;
- współczynnik filtracji.

Obecnie sondowanie CPTU przy zastosowaniu specjalnych czujników znajduje coraz szersze zastosowanie w inżynierii budowlanej oraz w ochronie środowiska do wykrywania i monitorowania zanieczyszczeń w ośrodku gruntowym.

LITERATURA

1. Geosoft Sp. z o.o.: „CPTpro. Instrukcja obsługi.” Wer. 5.42, 2006.
2. Gryczmański M.: Współczesne kierunki rozwoju geotechniki w Polsce. Inżynieria i Budownictwo, nr 8/94, Warszawa 1994.
3. Kłosiński B.: Przegląd norm europejskich dotyczących projektowania konstrukcji geotechnicznych, Geoinżynieria i Tunelowanie s. 18 - 27, 02/2005.

4. Kolonko A.: Klasyfikacja i przegląd bezwykopowych metod budowy rurociągów podziemnych. Część I, nr 1, część II, nr 3. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, Kraków 2000.
5. Lunne T., Robertson P.K., Powell J.: Cone penetration testing in geotechnical practice, E&FN Spon, London 1997.
6. Młynarek Z., Tschuschke W., Wierzbicki J.: Wykorzystanie metody sondowania statycznego i badania dylatometrycznego do oceny parametrów geotechnicznych odpadów kopalnianych, Seminarium nt. Nowoczesne metody badań gruntów, 29 maja 2003 Warszawa.
7. Młynarek Z., Tschuschke W., Wierzbicki J., Wołyński W.: Wykorzystanie statystycznej analizy danych do wydzielenia geotechnicznych warstw podłoża budowlanego. Geoinżynieria i Tunelowanie, s. 14 - 17, 02/2005.
8. Młynarek Z., Wierzbicki J.: Nowoczesne metody rozpoznawania podłoża dla potrzeb budowy mostów i tuneli. Geoinżynieria i Tunelowanie, s. 46 - 55, 02/2005.
9. PN-74/B-04452 Grunty budowlane. Badania polowe.
10. PN-86/B-04481 Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
11. PN-B-02429:1998 Geotechnika - Dokumentowanie geotechniczne.
12. PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe.
13. PN-ISO 2394 Ogólne zasady niezawodności konstrukcji budowlanych, Polski Komitet Normalizacyjny, kwiecień 2000.
14. Projekt EN 1997-1 Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne. Część 1, 2 i 3. Materiały konferencji w Mrągowie, Instytut Techniki Budowlanej, październik 2000.
15. Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (DzU Nr 126, poz. 839).
16. Rybak Cz., Rybak J.: Wybrane zagadnienia projektowania konstrukcji oporowych, Geoinżynieria i Tunelowanie, s. 40 - 45, 02/2005.
17. Sawicki A., Świdziński W.: Moduły geotechniczne, moduły sprężystości i charakterystyki zagęszczania gruntów niespoistych. Inżynieria i Budownictwo, nr 12, Warszawa 1997.
18. Serbeńska A.: Geotechnika w drogownictwie, Polskie Drogi Nr 8/2001.
19. Sikora Z.: Sondowanie statyczne, WNT, Warszawa 2006.
20. Stryczek S., Gonet A., Wiśniowski R.: Kierunki rozwoju metod geoinżynierskich. Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 22/1, s. 311 - 323, 2005.
21. Tejchman J.: Błędy występujące w projektowaniu i wykonawstwie pali, cz. I i II, materiały seminarium nt. Zagadnienia posadowień na fundamentach palowych, Gdańsk 25 czerwca 2004.
22. Wiłun Z.: Zarys geotechniki. WKiŁ, 2000.
23. Wysokiński L.: Dostosowanie polskich norm w geotechnice do systemu norm europejskich. Konf. ITB Harmonizacja polskich norm geotechnicznych z systemem norm europejskich, Mrągowo, listopad 2000, s. 41-66.
24. Wysokiński L.: Problemy dotyczące wprowadzenia w Polsce norm europejskich w zakresie geotechniki. Inżynieria i Budownictwo nr 11/2002, s. 625-630.
25. Wysokiński L.: Podstawy projektowania geotechnicznego - klasyfikacja gruntów, wydzielenie warstw, ustalanie parametrów geotechnicznych z uwzględnieniem nowych norm europejskich. XX Ogólnopolska Konferencja nt. Warsztat pracy projektanta konstrukcji, Wisła-Ustroń, 1-4 marca 2005, tom I, s. 35-70.