

INTERPRETACJA BADAŃ POLOWYCH A EUROKOD 7

Tomasz Godlewski

Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa

Streszczenie. Przydatność badań *in situ* wynika z poprawnej interpretacji otrzymywanych wyników. Interpretacje takie otrzymuje się z zależności korelacyjnych wypracowanych dla podobnych warunków, popartych badaniami laboratoryjnymi i doświadczeniem regionalnym. W Polsce od 2002 roku istnieje norma PN-B-04452 Geotechnika. Badania polowe, która w założeniach powstała jako tzw. norma zharmonizowana z EC 7, gdzie w załącznikach podano wiele korelacji dla warunków polskich uzyskanych z wieloletnich doświadczeń i wyników, w których wkład miały liczne ośrodki naukowo-badawcze. W referacie przedstawiono porównanie stosowanych w praktyce i podanych w normie PN-EN 1997-2 metod interpretacji wyników uzyskanych ze znanych i stosowanych metod polowych (sondowania dynamiczne – DP, sondowanie statyczne – CPTU, badanie dylatometrem płaskim – DMT). Artykuł zawiera ciekawe przykłady korelacji własnych wynikających z działalności naukowej (Projekt badawczy Nr 4 T07E 047 30 [2008]) i praktyki geotechnicznej wyznaczania parametrów do projektowania.

Słowa kluczowe: badania polowe, Eurokod 7, zależności korelacyjne, interpretacja

WSTĘP

Głównym celem normy PN-EN 1997-2 jest zapewnienie odpowiedniej jakości wykonywania badań i ich interpretacji do określenia miarodajnych do projektowania wartości wyprowadzonych parametrów geotechnicznych. Parametry wyprowadzone stanowią następnie podstawę do ustalenia wartości charakterystycznych właściwości podłoża zgodnie z zasadami i regułami podanymi w normie PN-EN 1997-1. Norma wyraźnie podkreśla, że wyprowadzone wartości parametrów geotechnicznych mogą być uzyskiwane na podstawie teorii, korelacji lub doświadczenia, bazując na wynikach badań polowych i laboratoryjnych.

Rozpoznanie podłoża na każdym z etapów powinno być oparte na badaniach polowych lub ich kombinacjach z innymi metodami w celu uzyskania „wiarygodnego parametru geotechnicznego” [Młynarek 2013]. Odpowiednia kombinacja i dobór badań dla

Adres do korespondencji – Corresponding author: Tomasz Godlewski, Instytut Techniki Budowlanej, Zakład Geotechniki i Fundamentowania, ul. Ksawerów 21, 02-656 Warszawa, e-mail: t.godlewski@itb.pl

różnych warunków pozwala uzyskać pełną charakterystykę podłoża gruntowego. Różnorodność metod jest obecnie coraz większa i nadal rozwijana. Poprawne ustalenie parametrów wymaga posługiwania się wykalibrowanymi do warunków lokalnych metodami oraz sprawdzoną w praktyce interpretacją.

BADANIA POŁOWE WEDŁUG EUROKODU 7

Norma PN-EN 1997-2 zawiera wybrane badania polowe i laboratoryjne uznane za powszechnie stosowane w krajach europejskich (tab. A1 normy PN-EN 1997-2). Kryterium wyboru, poza powszechnością stosowania, było również znaczenie przydatności poszczególnych metod w praktyce geotechnicznej oraz możliwość wykonywania tych badań w usługowych laboratoriach geotechnicznych. Badaniom polowym poświęcony jest rozdział 4 oraz 8, spośród 24 załączników informacyjnych. Każdy załącznik przedstawia przykłady korelacji i zależności, służących interpretacji wyników badań (wzory, tabele i wykresy), oraz przykłady zastosowań wyników danej metody do obliczeń projektowych.

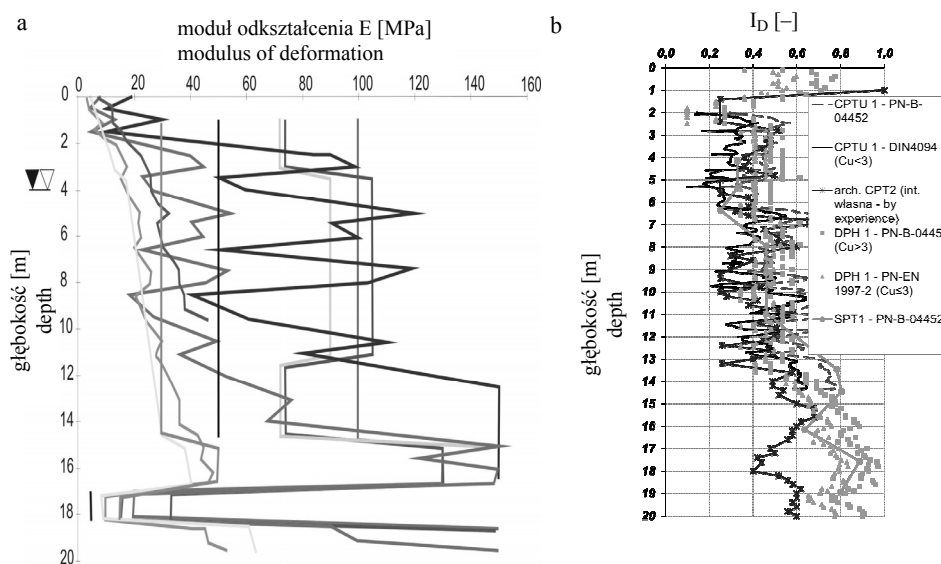
Postanowienia zawarte w normie PN-EN 1997-2 stosuje się głównie dla dokumentacji o 2. kategorii geotechnicznej. Wymagania dotyczące stopnia rozpoznania podłoża dla dokumentacji 1. kategorii są najczęściej ograniczone (bazuje się na doświadczeniach lokalnych), natomiast w przypadku kategorii 3. zakres i liczba wymaganych badań musi być co najmniej taka sama jak dla kategorii 2. W zależności od warunków w szczególnych przypadkach może być konieczne wykonanie dodatkowego rozpoznania lub użycia bardziej zaawansowanych metod badawczych (np. geofizyka). Wybór rodzaju metod badań i sprzętu przy planowaniu programu badań podłoża powinien mieć na celu osiągnięcie najlepszego technicznego i ekonomicznego rozwiązania zakładanego zadania. Poza tym sprzęt i procedury do badań powinny odpowiadać wymaganiom zawartym w specyfikacjach technicznych EN ISO.

Stosując załączniki informacyjne (nieobligatoryjne) od D do K, należy się upewnić, czy warunki w podłożu badanego terenu (rodzaj gruntu, współczynnik jednorodności, wskaźnik konsystencji itd.) są zgodne z warunkami brzegowymi dla danych korelacji. W tym celu należy wykorzystywać lokalne doświadczenia, które potwierdzą poprawność zastosowanych zależności lub pozwolą na ich weryfikację [Wysokiński i in. 2011].

PORÓWNANIE INTERPRETACJI DLA WYBRANYCH METOD BADAŃ POŁOWYCH

Stosowane w praktyce korelacje między wynikami sondowania a informacjami o warunkach geotechnicznych posadowienia budowli wymagają regionalnych ustaleń lub adaptacji do warunków lokalnych. Praktyczne zastosowanie rozwiązań teoretycznych napotyka jeszcze na trudności, ponieważ zarówno na wyniki sondowań, jak i na zachowanie podłoża współpracującego z budowlą wpływa wiele różnych czynników, których pomiar nie jest jeszcze możliwy lub dostatecznie wiarygodny [Wysokiński 2006]. Nowe typy sond statycznie wciskanych z piezostóżkiem (CPTU) oraz dylatometr płaski typu

Marchetti (DMT) nie mają jeszcze dość dobrych (regionalnych) polskich korelacji do interpretacji wyników lub są one w zbyt małym stopniu zweryfikowane. Dane z literatury (w tym podane w załącznikach EC7), uzyskane za granicą na innych gruntach, często nie są zadowalające w warunkach polskich i niekiedy prowadzą do błędnych wniosków – przykłady na rysunku 1.



Rys. 1. Przykłady rozbieżności i niejednoznaczności wyników w zależności od przyjętego sposobu interpretacji (objaśnienia w tekście)

Fig.1. Examples of the divergence and ambiguities of results about the dependence on the adopted way of interpretation (explanation in the text)

Wykres na rysunku 1a dotyczy przykładu, gdzie wartości modułu wyinterpretowano na podstawie różnych metod (sondowania dynamiczne – DP, metoda B, oraz sondowania statyczne – CPT) i korelacji (DIN, EC7, PN, własne) dla tych samych wyników uzyskanych z jednego punktu badawczego w aluwkach rzecznych. Rysunek w sposób poglądowy i zbiorczy przedstawia wyniki interpretacji przekazywane projektantom na różnych etapach procesu inwestycyjnego dla tego samego obiektu (z tego samego miejsca). Interpretacji dokonały różne osoby reprezentujące różny poziom wiedzy i doświadczenia, opierając się bezkrytycznie na wzorach podanych w normach i publikacjach. Rozrzut wielkości osiadań ustalonych z wyinterpretowanych modułów dla projektowanego obiektu wyniósł od 4 do 11 cm!

Inny przykład, pokazany na rysunku 1b, przedstawia wartość stopnia zagęszczenia (I_D) dla piasków rzecznych, dla jednego punktu badawczego (badania pod podpórę obiektu mostowego), ustalony z różnych metod badań (DP, CPT, SPT) z wykorzystaniem różnych dostępnych korelacji, przez różnych autorów. Rozrzut możliwych wartości I_D jest znaczny, w skrajnych przypadkach nawet 3,5-krotny.

Jak widać, przedstawiona ocena stanu i późniejszego zachowania podłoża, wyrażona poprzez wartości wyinterpretowane z badań, w dużym stopniu zależą od przyjętej metody interpretacyjnej. W obu przypadkach rozstrzygające okazały się wyniki uzyskane z badań próbnego obciążenia. Dla sytuacji z przykładu pokazanego na rysunku 1a była to wielkoskalowa próba obciążenia podłoża jako symulacja późniejszej pracy obiektu, więcej na ten temat można znaleźć w publikacji Godlewskiego [2011]. Dla sytuacji pokazanej na rysunku 1b rozstrzygnięcie co do stanu podłoża dały wyniki próbnego obciążenia pała.

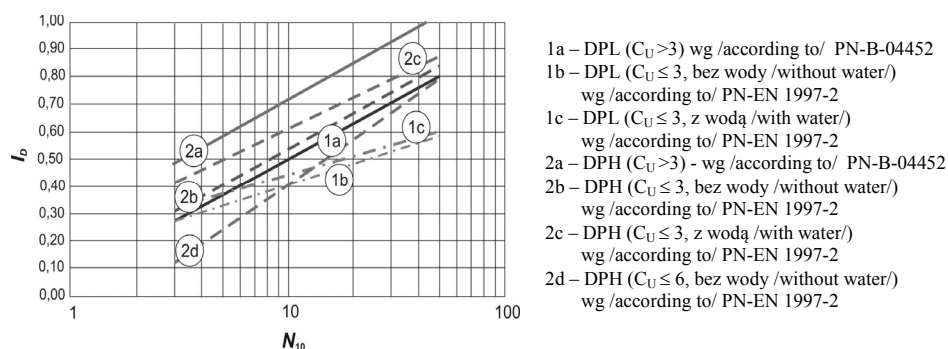
W dalszej części artykułu skonfrontowano metody interpretacji wyników dla wybranych rodzajów badań z dotychczasową praktyką i doświadczeniami regionalnymi (głównie prace ITB) oraz konsekwencje bezkrytycznego podejścia do „gotowców” podawanych w załącznikach informacyjnych EC7. Znaczna część pokazanych i opisanych porównań korelacji została zaczerpnięta z Projektowania geotechnicznego wg Eurokodu 7 [Wysokiński i in. 2011] lub pochodzi z prac związanych z Projektem badawczym Nr 4 T07E 047 30 [2008], w części prezentowanych na XV KKMGiIG w Bydgoszczy [Wysokiński i in. 2009]. Doświadczenia i obserwacje własne związane z przyjmowanymi niekiedy w dokumentacjach sposobami interpretacji badań polowych skłoniły autora do ponownego przytoczenia niektórych zagadnień z tym związanych, w tym autorskich korelacji opracowanych w ITB, mających potwierdzenie w praktyce geotechnicznej.

Badanie sondą dynamiczną (DP)

Celem sondowania dynamicznego jest wyznaczenie oporu gruntu na dynamiczne zagłębianie stożka. Opis i zasady prowadzenia tych badań podano w normie i publikacjach [Frankowski 1997, Godlewski 2009]. Opór zagłębiania jest zdefiniowany jako liczba uderzeń wymagana do uzyskania określonego wępudy sondy (np. N_{10}). Wyniki badania powinny być wykorzystane do wyznaczenia profilu gruntu łącznie z wynikami z wierceń i wykopów lub jako względne porównanie z wynikami innych badań *in situ*. Wyniki sondowań dynamicznych mogą być wykorzystane do wyznaczenia własności wytrzymałościowych i odkształceniowych, głównie gruntu gruboziarnistego. Dodatkowo metoda ta służy do oceny jakościowej podłoża, na przykład wykrycia osłabień czy pustek powstałych na skutek wymycia lub występowania stropu warstw bardzo zagęszczonych, pozwalających ustalić długość pali przenoszących obciążenie podstawą. W programie badań, oprócz wymagań podanych w normie PN-EN 1997-2, należy ustalić rodzaj wymaganego badania DP, zgodnie z EN ISO 22476-2, gdzie zamieszczono pięć dostępnych procedur obejmujących szeroki zakres energii, wynikający z masy młotka przekazywanej przez jedno uderzenie [Godlewski 2009].

W praktyce do oceny stopnia zagęszczenia wykorzystywane są najczęściej sondy DPL – ze względu na łatwość użycia, oraz sonda DPSH – ze względu na swój duży zasięg i możliwość badania gruntów zagęszczonych. Dotychczasowa interpretacja badań dynamicznych, oparta na normie PN-B-04452:2002, zawiera zależności uzyskane z polskich doświadczeń z lat 1974–2000. W miarę zdobywania doświadczeń i stosowania udoskonalonych (zautomatyzowanych) sond zmieniły się sposoby interpretacji wyników. Znalazło to wyraz w nowych normach, w tym w PN-EN 1997-2.

Dotychczasowe zależności ustalania stanu I_D w sondowaniach dynamicznych odnosiły się do gruntów o współczynniku jednorodności $C_U > 3$. Zależności podane w Eurokodzie 7 stanowią uzupełnienie dotychczasowej interpretacji, gdyż biorą pod uwagę grunty piaszczyste „źle uziarnione” ($C_U \leq 3$ – rys. 2). Z tego względu wszystkie podane zależności powinny być włączone do załącznika krajowego.



Rys. 2. Porównanie interpretacji wyników sondowań dynamicznych dla sond DPL i DPH według dotychczasowej normy PN-B-04452 i załącznika z PN-EN 1997-2

Fig. 2. Comparison of interpretation of result for dynamic tests DPL and DPH according to existing polish standard PN-B-04452 with correlation from annex of PN-EN 1997-2

Dla warunków polskich istnieją badania dotyczące możliwości porównywania wyników uzyskiwanych z poszczególnych sond dynamicznych, szczególnie dobrze skalibrowane (duża liczba oznaczeń) są zależności podane w pracy Frankowskiego [1997].

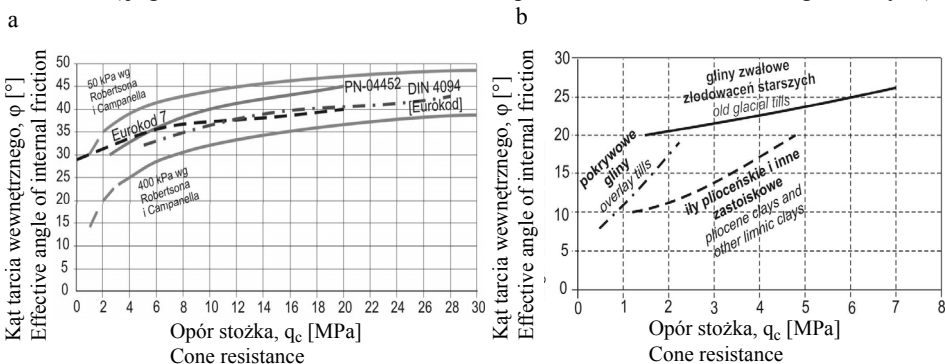
Sondowania statyczne CPT(U) i DMT

Wyniki badania CPT/CPTU mają zastosowanie głównie do wyznaczania parametrów geotechnicznych w warunkach *in situ* oraz są coraz częściej używane do bezpośredniego stosowania w metodach obliczeniowych, na przykład projektowania fundamentów palowych. Wykorzystywanie tych badań do wyznaczenia profilu gruntowego powinno mieć raczej charakter pomocniczy, z uwagi na niekiedy duże rozbieżności w ustalaniu rodzaju gruntu (niskiej klasy stożki pomiarowe, niewłaściwa technika pomiarowa czy dobór odpowiedniego nomogramu klasyfikacyjnego). Trudności te dotyczą tzw. gruntów przejściowych [Młynarek 2013], czyli wszelkiego typu kombinacji frakcji podstawowych piaszczystych i ilastych (Sa i Cl) oraz gruntów wrażliwych – pylastych (Si). W interpretacji przebiegu warstw pojawia się też często problem techniczny wyznaczania przebiegu granic warstw z uwagi na wielokrotnie większą rozdzielczość sond CPT (zwłaszcza stożków niemechanicznych) w stosunku do opisu przelotowego z wierceń.

Dylatometr natomiast jest rodzajem sondy o płaskim ostrzu, umożliwiającej rozpoznanie i pomiar parametrów gruntu bezpośrednio w podłożu. Celem badania dylatometrem płaskim jest wyznaczenie właściwości wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntu *in situ* przez odkształcenie cienkiej, kolistej, stalowej membrany zamontowanej

w płaszczyźnie jednej strony stalowej sondy w kształcie łopatki wprowadzonej pionowo do gruntu [Marchetti 1980, Godlewski 2011].

Norma PN EN 1997-2 i informacje w załączniku D podają kilka zależności służących do wyznaczania poszczególnych parametrów. Przykład zależności interpretacyjnej przedstawiony w normie PN-EN 1997-2 to określanie kąta tarcia wewnętrznego gruntu (φ') na podstawie oporu zagłębienia stożka (q_c), z wykorzystaniem doświadczeń lokalnych i z uwzględnieniem pionowego naprężenia efektywnego, ściśliwości i stopnia prekonsolidowania gruntu. Te zależności w formie zestawienia z dotychczasowymi dostępnymi korelacjami przedstawia wykres (rys. 3a). Na tle zależności podanych przez Robertsona i Campanella [za Sikorą 2006], które uwzględniają wpływ naprężeń pionowych (σ'_{vo}), można przyjąć, że korelacje podane zarówno według dotychczasowej normy PN-B-04452, jak i te zawarte w Eurokodzie dotyczą zakresu naprężeń pionowych w przedziale około 100–250 kPa (tj. głębokość ok. 5–15 m, zależnie od położenia zwierciadła wód gruntowych).

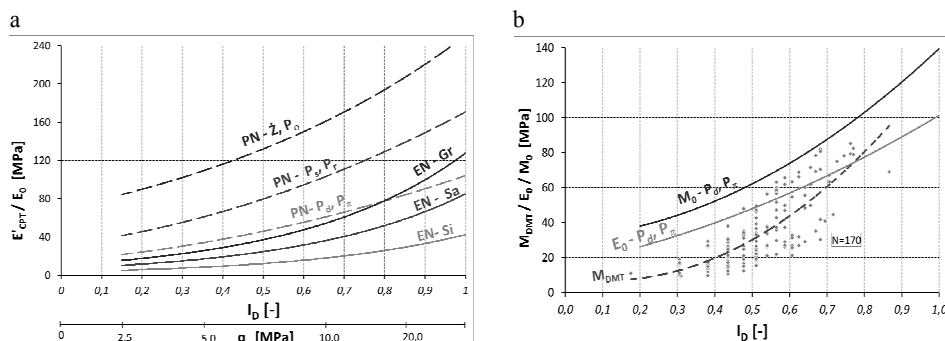


Rys. 3. Zależność do wyznaczania kąta tarcia wewnętrznego na podstawie oporu zagłębienia stożka: a – grunty niespoiste [za Godlewskim 2009], b – grunty spoiste – doświadczenia polskie [PN-04452]

Fig. 3. Correlation for appointment the angle of internal friction on base of cone resistance: a – uncohesive soil [acc. to Godlewski 2009], b – cohesive soil – Polish experience [PN-04452]

Norma PN-EN 1997-2 nie podaje natomiast stosownych korelacji dla gruntów spoistych (drobnoziarnistych). Wykorzystując dotychczasowe doświadczenia dla typowych gruntów spoistych, można za tabelą w normie PN-B-04452 podać zależności przedstawione na rysunku 3b.

Stosując teorię sprężystości, moduł sprężystości Younga w warunkach z odplywem (E') – długotrwały, można wyznaczyć z oporu zagłębienia stożka (q_c) na podstawie doświadczenia regionalnego. Przykład z załącznika (rys. 4a) podaje sposób oszacowania przybliżonych wartości E' z q_c dla piasków kwarcowych i skaleniowych (nie wapiennych), gdzie E' jest przybliżeniem modułu siecznego, zależnego od naprężenia i czasu. Wartości podane dla modułu E' odnoszą się do osiadania po 10 latach (zał. D. PN-EN 1997-2). Na tle korelacji z normy PN-B-03020 wartości wyznaczone z EC7 są wyraźnie mniejsze – można je traktować jako wynik ostrożnego oszacowania [za Wysokińskim i in. 2011]. W przekonsolidowanych gruntach gruboziarnistych moduły te mogą być znacznie większe.



Rys. 4. Zależność do wyznaczenia modułu odkształcenia na podstawie sondowań statycznych CPTU i DMT na tle zależności z normy PN-03020 (opis w tekście)

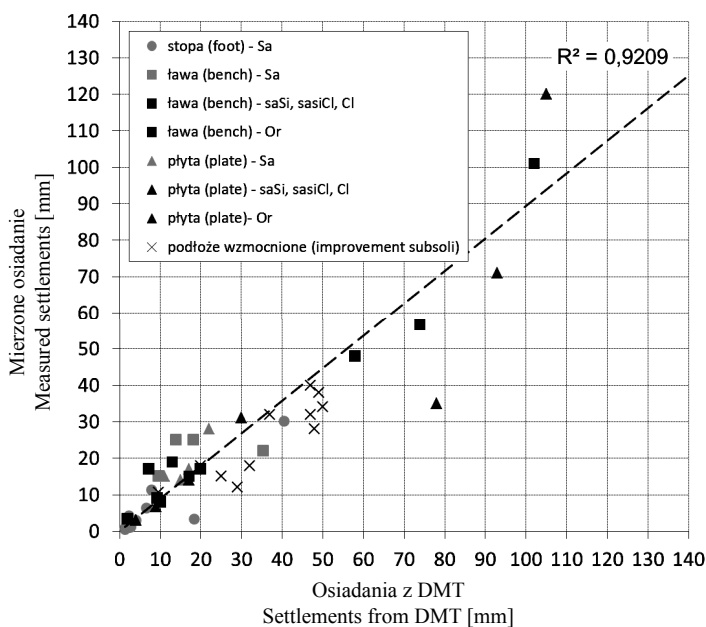
Fig. 4. Relation for setting the modulus of deformation based on static sounding CPTU and DMT, relating to the relation from the PN-03020 standard (explanation in the text)

Na rysunku 4b poszukiwano korelacji pomiędzy modulem dylatometrycznym, w zależności od stanu (I_D) dla gruntów gruboziarnistych, aluwialnych (piaski rzeczne), a dotychczasowymi krzywymi z PN-81/B-03020. O ile widoczny rozrzut punktów może być efektem nieuwzględnienia stanu i historii naprężeń wpływających istotnie na pomiary DMT, to należy zauważyć wyraźnie mniejsze wartości w stosunku do dotychczas stosowanych zależności. Zmniejszone w stosunku do utworów wodnolodowcowych wartości modułów mierzone w piaskach rzecznych mają też potwierdzenie w obserwacjach osiadań na obiektach.

Norma europejska podaje też, że wytrzymałość drobnoziarnistego gruntu (c_u) na ściskanie bez odpływu może być wyznaczona na podstawie badania CPT, jednak brak jest podanych wartości przykładowych. EC 7 podaje jedynie, że współczynniki N_{kt} należy oszacować na podstawie lokalnego doświadczenia lub wiarygodnych korelacji. Wartości N_k lub N_{kt} uzyskane na podstawie doświadczeń krajowych podaje w załącznikach norma PN-B-04452:2002 (tab. 2). Podany tam przedział zmienności wartości N_k dla typowych gruntów polodowcowych (gliny) wynosi 12–25, a dla gruntów zastoiskowych (iły, gliny pylaste) – 6–15. Jest to zbliżone z doświadczeniami światowymi Powella i Lunne'a [2005], którzy podają, że w przypadku znikomej informacji o rodzaju gruntów można wartość N_{kt} szacować z przedziału 15–20. Dla normalnie skonsolidowanych i lekko prekonsolidowanych iłów wartości N_{kt} można zmniejszyć do 10, a w przypadku sztywnych (zwartych) spękanych iłów zwiększyć nawet do 30. Dla miękkoplastycznych glin i plastycznych iłów rekomendowane są wartości 7–10. Jedyna rozbieżność to wartości dla iłów trzeciorzędowych, gdzie doświadczenia krajowe wskazują na dużo mniejsze wartości (8–14). Badania własne (sondą krzyżakową oraz CPTU) wykonane w dniu wykopu stacji metra (iły mio-plioceńskie) potwierdzają zalecenia światowe – uzyskano wartości $N_{kt} > 25$. Widać zatem, że w skomplikowanych projektach, gdzie można zakładać dużą liczbę danych o wysokiej jakości, wartości N_{kt} powinny być ustalone/kalibrowane na podstawie pomiarów bezpośrednich (np. z sondy krzyżakowej).

Ocena stanu gruntu jest powszechnie wykonywana na podstawie sondowań CPTU. Podane w normie PN-EN zależności odnoszą się do spoistości i historii obciążeń grun-

tów, bez wydzielenia ich typów lito-genetycznych. Dotychczas, znając typ gruntu (w normie PN-81/B-03020 wydzieleno 4 typy gruntów spoistych, zależnie od genezy, i 3 typy gruntów sypkich, zależnie od wielkości ziaren) oraz wartość parametru wiodącego I_L lub I_D , można było z tabel lub wykresów określić parametry geotechniczne gruntów (φ' , c_u , M , E). Wykresy te uzyskano z doświadczenia, a więc z wyników pomiarów osiadań oraz badań trójosiowych i bezpośredniego ścinania. Praktycznie tę samą zasadę, lecz nieco mniej formalnie określoną, zawiera PN-EN 1997-1. Są tam „parametry wyprowadzone”, rozumiane jako wyniki korelacji cech gruntu. W przypadku określania na podstawie q_c wartości I_C lub I_D , jako cechy wyprowadzonej, następny krok w poszukiwaniu parametrów to znalezienie korelacji z normy lub innego wykresu parametru M_o lub E_o , a także poszukiwanie φ' i c_u . Obecnie prowadzone są intensywne badania przez wiele ośrodków i badaczy [Lunne i in. 1997, Mayne 2004, Monaco i in. 2006, Bałachowski i in. 2008, Godlewski 2011] nad metodami interpretacji wyników z CPTU i DMT w celu wykorzystania ich do bezpośredniego wyznaczenia parametrów geotechnicznych (np. φ' , c_u , E). Doświadczenia światowe [Marchetti 1980, Monaco i in. 2006] wskazują na dużą przydatność metody DMT do wyznaczania modułów odkształcenia podłoża. Metoda jest poprawna, o ile jest wykalibrowana i zwalidowana (innymi metodami). Najlepszą metodą jest odniesienie osiadań pomierzonych na obiektach do wartości osiadań obliczonych na podstawie wyników z DMT – przykład takiego porównania przedstawia rysunek 5. Dla zebranych blisko 30 obiektów na wykresie wyróżniono ich sposób posadowienia (stopy, ławy, płyta) oraz rodzaj gruntów w poziomie posadowienia (grunty piaszczyste: Sa, spo-



Rys. 5. Krzywa kalibracyjna metody DMT dla warunków polskich (dane własne) [Godlewski 2011]

Fig. 5. Calibration curve for DMT methods for Polish ground condition (own data) [Godlewski 2011]

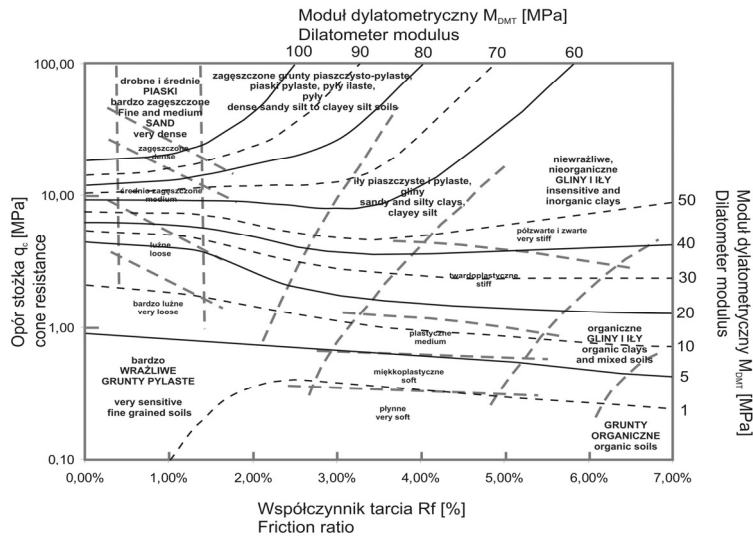
iste: Sasi, sasiCl, Cl, i organiczne: Or). Zbiór obiektów stanowią typowe budynki mieszkalne i przemysłowe, nieprzekraczające 11 kondygnacji, wyjątek to 2 obiekty drogowe (przyczółek i nasyp). Opisany zbiór obiektów wykazuje nadzwyczaj wysoką korelację $y = 0,92x$. W ocenie wartości prognozowanych osiadań dylatometr dla typowych obiektów jest narzędziem dobrze wykalibrowanym. W przypadkach posadowień na gruntach spoistych plastycznych i organicznych, gdzie jakość wierceń i pobieranych prób nie jest wysoka, jedynie sondowania *in situ* pozwalają na uzyskanie wiarygodnych parametrów do obliczeń projektowych.

Do obliczeń osiadań fundamentów bezpośrednich mogą być również wykorzystane korelacje pomiędzy modułem edometrycznym $M (E_{oed})$ a oporem stożka (q_c). Norma w tym celu podaje następującą zależność $E_{oed} = \alpha \cdot q_c$ gdzie: α – współczynnik korelacji zależny od lokalnego doświadczenia. W tablicy 4 normy PN-EN podano przykładowe wartości α dla różnych rodzajów gruntów jako funkcję oporu zagłębienia stożka. Obejmuje to głównie grunty plastyczne (iły), wrażliwe (pyły) i organiczne (torfy), gdzie podane wartości α są w przedziale 0,4–8, co odnosząc do podanych wartości q_c , oznacza grunty ściśliwe i bardzo ściśliwe (moduły > 5 MPa). W kolejnych pracach nad załącznikiem krajowym normy PN-EN sprawy te powinny zostać podjęte i wyjaśnione na podstawie dotychczasowego doświadczenia. Propozycją może tu być nomogram uzyskany w trakcie realizacji projektu badawczego w ITB Nr 4T07E 047 30 [2008], gdzie na podstawie wyników uzyskanych z węzłów wykonano wiele analiz mających na celu skorelowanie wartości mierzonych dla sondy CPTU i DMT. Analizy oparto na doświadczeniach przedstawionych przez Mayne'a [2004] – więcej w publikacji Wysokińskiego i innych [2009].

Przyjęcie modułu dylatometrycznego, jako wartości odniesienia (pomiar bezpośredni parametru), pozwala kalibrować wyniki sondowań CPT/CPTU (q_c i R_f) na wartości modułów. Na podstawie przeprowadzonych zestawień na tle wykresu klasyfikacyjnego Schmertmanna i innych [1986] nałożony został wyinterpolowany przebieg modułu odkształcenia uzyskany z badań DMT (rys. 6). Odczytane wartości modułów dotyczą przedziału naprężeń wykonanych badań *in situ* – 10–25 m p.p.t. (typowy zakres dla obiektów 2. kategorii). Analizując wyniki podane w tablicy 3 załącznika D normy PN-EN w stosunku do wartości na nomogramie, należy stwierdzić, że wartości podane w tablicy są bardzo ostrożne.

PODSUMOWANIE

Zaletą badań polowych jest z pewnością otrzymanie szybkiej i obiektywnej (ujednolicanie procedur wykonywania) informacji na temat warunków podłoża uzyskanych w warunkach rzeczywistych (*in situ*). Jednak przydatność tych badań w praktyce geotechnicznej wynika głównie z poprawnej interpretacji otrzymywanych wyników. Nie należy jednak zapominać, co podkreślają badacze [za Młynarkiem 2013], że wpływ na wartość „wiarygodnego parametru geotechnicznego gruntu” ma kilka czynników, między innymi: jakość zastosowanego do testu sprzętu, poziom edukacji i staranności wykonania testu przez operatora, losowość mierzonych parametrów podczas badania, jakość próbek do badań kalibracyjnych w laboratorium. Na końcu tego procesu poznawczego jest dobór



Rys. 6. Nomogram do ustalania modułów na podstawie sondowań statycznych – projekt badawczy Nr T07E 047 30 [2008]

Fig. 6. The nomogram of constrained modulus determination on the Basic of static sounding – research-developmental project No T07E 047 30 [2008]

odpowiedniej metody interpretacji. O ile większość wymienionych czynników w bilansie niepewności uzyskiwanych wyników można łatwo ograniczyć (przestrzeganie procedur, standaryzacja metod i sprzętu, szkolenia), to poprawna interpretacja wymaga ustalenia zależności korelacyjnej, wypracowanej dla podobnych warunków, popartej badaniami laboratoryjnymi i doświadczeniem regionalnym. W innym przypadku (brak zależności wypracowanych) wyniki z badań polowych należy traktować wyłącznie jakościowo.

Przedstawiona w normie PN-EN tematyka dotycząca metody szacowania parametrów i obliczeń geotechnicznych na podstawie badań polowych jest obszerna, lecz wymagać będzie jeszcze skalibrowania na warunki polskie (współczynniki „gruntowe”, np. α – przy oznaczaniu modułu E' na podstawie q_c z badań CPTU). Stosując załączniki podane w normie PN-EN 1997-2 (nieobligatoryjne), należy się upewnić, czy warunki w podłożu badanego terenu są tożsame z warunkami brzegowymi przyjętymi dla danej korelacji. W tym celu należy wykorzystywać doświadczenia lokalne jako podstawę do weryfikacji czy potwierdzenia poprawności stosowanych zależności. Poprawna interpretacja uzyskiwanych wyników wymaga wypracowania własnych „kluczy interpretacyjnych” dla poszczególnych metod. Należy zauważyć, że funkcjonująca od ponad 10 lat norma PN-B-04452 w załącznikach podaje wiele korelacji dla warunków polskich uzyskanych z doświadczeń i wyników, w których wkład miały liczne ośrodki naukowo-badawcze, m.in. ośrodek poznański (prof. Młynarek), PIG czy ITB. Doświadczenia te oraz nowe zależności uzyskiwane w projektach badawczych (np. Projekt Badawczy Nr T07E 047 30 zrealizowany w ITB) mogą zostać włączone do załącznika krajowego jako źródło doświadczeń lokalnych.

PIŚMIENNICTWO

- Balachowski L., Kozak P., Kurek N., 2008. Intercorrelation between CPTU-DMT test for sands on the Baltic coast. Proc. of 11th Baltic Sea Geotech. Conf., Gdańsk, 1, 359–366.
- Frankowski Z., 1997. Interpretacja wyników badań sondą ciężką sd-50 w gruntach niespoistych, temat: 6.20.8503.00.0 (mat. niepublikowany), Warszawa.
- Godlewski T., 2009. Wykonywanie i interpretacja badań polowych wg PN-EN 1997-2. XXIV Ogólnopolskie WPPK, 1, 67–108.
- Godlewski T., 2011. Praktyczne zastosowanie badań dylatometrycznych. IV Ogólnopolskie Sympozjum „Współczesne problemy geologii inżynierskiej w Polsce”, Gdańsk. Biuletyn PIG 446, 277–288.
- Lunne T., Robertson P.K., Powell J.M., 1997. Cone penetration testing in geotechnical practice. Blackie Academic & Profesional, New York.
- Marchetti S., 1980. In Situ Tests by Flat Dilatometer. Journal of the Geotech. Eng. Division, ASCE 106, GT3, Proc. Paper 15290, 299–321.
- Mayne P.W., 2004. CPT-DMT interrelationships in Piedmont residuum. Geotechnical & Geophysical Site Characterization (Proc. ISC'2, Porto-Portugal) 1, 345–350.
- Młynarek Z., 2013. Metody i ograniczenia w wyznaczaniu parametrów geotechnicznych gruntów w badaniach in situ. XXVIII Ogólnopolskie WPPK, 1, 399–440.
- Monaco P., Totani G., Calabrese M., 2006. DMT – predicted vs observed settlements: a review of the available experience. Proc. from the 2nd Int. Flat Dilatometer Conf., Washington D.C., 275–280.
- PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe.
- PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady ogólne.
- PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- Powell J.M., Lunne T., 2005. Use of CPTU data in clay (fine grained soil). Proc. of 2nd International Workshop on Interpretation of in situ tests and sample disturbance of clay. Studia Geotechnica et Mechanica 3, 15–29.
- Projekt badawczy Nr 4 T07E 047 30, 2008 Zależności regionalne parametrów geotechnicznych na podstawie sondowań, badań laboratoryjnych i pomiarów osiadań. Zrealizowany z funduszy KBN w Ministerstwie Edukacji i Nauki, ITB, Warszawa.
- Schmertmann J.H. et al., 1986. CPT/DMT Quality Control of Ground Modification at a Power Plant. Proc. In situ '86 ASCE Spec. Conf. Virginia Tech, Blacksburg, VA, 985–1001.
- Sikora Z., 2006. Sondowanie statyczne – metody i zastosowanie w geoinżynierii. WNT, Warszawa.
- Wysokiński L., 2006. Próba oceny rzetelności i dokładności projektowania geotechnicznego. IX Konferencja Nauk.-Techn. „Problemy rzeczoznawstwa budowlanego”, Cedzyna k/Kielc, ITB, Warszawa, 169–180.
- Wysokiński L., Godlewski T., Wszędyrówny-Nast M., 2009. Zależności regionalne parametrów geotechnicznych na podstawie sondowań CPTU i DMT. XV KKMGiG. Wydaw. Uczelniane UTP, Bydgoszcz, 235–242.
- Wysokiński L., Kotlicki W., Godlewski T., 2011. Projektowanie geotechniczne wg Eurokodu 7. Poradnik. Wydaw. ITB, Warszawa.

INTERPRETATION OF *IN SITU* TESTS VS EUROKOD 7

Abstract. Usefulness of *in situ* tests due from the correct interpretation of received results. Such interpretations are obtained from the correlation, developed for similar conditions, supported by laboratory tests and regional experience. In Poland since 2002 a standard PN-B-04452 “Geotechnics-Field tests” exist. This document in assumptions was established as the harmonized standard from EC 7, where in annexes a lot of correlations for Polish conditions can be found. They derived from long-standing experience and results, where many research centre’s had a participation in examinations. Applicable comparison will be presented in the paper applied in practice and given in the PN-EN 1997-2 standard methods of interpretation of results get from known and applied field methods (DP, CPT, or DMT). Differences and dilemmas, faced by the Geotechnical Designer at the stage of appointing parameters for the design, will be discussed, supported by interesting practical examples.

Key words: field tests, correlation, EC7

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 22.07.2013