BUDOWNICTWO
CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
CIVIL ENGINEERING
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ
3-B/2012
ZESZYT 20
ROK 109
ISSUE 20
YEAR 109

BARTŁOMIEJ CZADO, JAN S. PIETRAS*

ROZPOZNANIE GEOTECHNICZNE PODŁOŻA PRZEZ SONDOWANIA STATYCZNE I DYNAMICZNE – PORÓWNANIE OPORÓW PENETRACJI STOŻKA

GEOTECHNICAL SOIL TESTING BY CPT AND DYNAMIC PROBING – COMPARISON OF THE CONE PENETRATION RESISTANCES

Streszczenie

Sondowanie statyczne (CPT/CPTU) jest co raz częściej stosowane w Polsce do rozpoznania podłoża pod obiekty budowlane, gdyż pozwala na bezpośrednie wykorzystanie wyników do projektowania fundamentów, w szczególności palowych. Zastosowanie sondy statycznej staje się problematyczne, gdy w podłożu zalegają grunty grubo- i bardzo gruboziarniste – w takich sytuacjach można zastosować sondowanie dynamiczne (DPH lub DPSH). Artykuł przedstawia analizę wyników badań uzyskanych w węzłach badawczych, obejmujących sondowanie CPT, sondowanie DPH oraz otwór wiertniczy. Prezentowane są uzyskane zależności pomiędzy statycznym (qc), a dynamicznym (qd) oporem wprowadzania stożka sondy. Uzyskane korelacje porównano z wynikami podobnych prac przeprowadzonych na Węgrzech oraz na Litwie.

Słowa kluczowe: sondowanie statyczne, CPT, CPTU, sondowanie dynamiczne, DP, DPH, DPSH, pale fundamentowe

Abstract

Static cone penetration testing (CPT/CPTU) is increasingly being used in Poland to examine the subsoil. The results of this test may be used directly in foundation design, especially of pile foundations. The use of a static test becomes problematic when coarse and very coarse soils are found in the subsoil. In such cases dynamic probings (DPH or DPSH) can be performed. This paper presents an analysis of the results of field tests conducted in the test nodes, which included CPT, DPH and a borehole. Correlations between static (qc) and dynamic (qd) cone resistances are analyzed in comparison to the results of similar studies performed in Hungary and Lithuania.

Keywords: cone penetration test, CPT, CPTU, dynamic probing, DP, DPH, DPSH, pile foundations

* Mgr inż. Bartłomiej Czado, mgr inż. Jan S. Pietras, Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Sondowanie statyczne metodą CPT/CPTU jest coraz częściej stosowane w Polsce do rozpoznania podłoża pod obiekty budowlane. Wyniki tego badania można wykorzystać w bezpośredni sposób przede wszystkim do projektowania pali fundamentowych, ale także fundamentów bezpośrednich. Zastosowanie sondy statycznej staje się problematyczne, gdy w podłożu zalegają grunty gruboziarniste (pospółki, żwiry), czy też grunty złożone, w których występuje frakcja bardzo gruboziarnista (np. rumosze i zwietrzeliny gliniaste). Zdarza się, że wykonanie badania CPT do projektowanej głębokości staje się w takich warunkach niemożliwe, gdyż grozi uszkodzeniem końcówki sondy.

Możliwość uzupełnienia badań CPT wynikami sondowania dynamicznego (DP) w warstwach, gdzie przeprowadzenie badania CPT jest niemożliwe, wydaje się bardzo istotna pod względem praktycznym. Wymaga to jednak opracowania odpowiednich korelacji pomiędzy parametrami otrzymywanymi w sondowaniach statycznych (q_c) i dynamicznych (q_d, N_x). Przykłady podobnych korelacji, po raz pierwszy opublikowanych w pracy Stenzel G. i Melzer K.J., 1978 [7], można znaleźć w Części 2 normy Eurokod 7 [16] oraz normie DIN 4094 [9]. Korelacje te odzwierciedlają jednak wyłącznie doświadczenia niemieckie, podczas gdy Eurokod 7 jednoznacznie wskazuje na konieczność stosowania korelacji lokalnych.

Artykuł przedstawia analizę wyników badań przeprowadzonych w Polsce, na terenie Krakowa. Wykonano je w węzłach badawczych, obejmujących sondowanie statyczne CPTU, sondowanie dynamiczne DPH oraz otwór wiertniczy.

2. Charakterystyka terenu badań

Pod względem geomorfologicznym obszar badań położony jest na terenie tarasu rzecznego wysokiego Wisły [8]. Zlokalizowany jest w odległości około 1,0–1,5 km na południe od koryta rzeki. Podłoże terenu zbudowane jest z osadów mioceńskich trzeciorzędowych i osadów czwartorzędowych. Następstwo warstw w podłożu uwidoczniono na rys. 2. W poniższym opisie symbole gruntów wg klasyfikacji ISO [17] zapisano pismem pochylonym, natomiast symbole wg PN [14] podano w nawiasie.

Poniżej warstwy nasypu budowlanego, o miąższości 0,5–1,2 m, występują aluwialne utwory czwartorzędowe tarasu wysokiego o miąższości do ok. 13,0–14,0 m.

Utwory te do głębokości ok. 3,5–4,0 m ppt. reprezentowane są przez grunty drobnoziarniste (spoiste): iły pylaste *siCl*, pyły ilaste *clSi*, do pyłów piaszczystych *saSi* (Gz, G, П, Пр, Pg). Grunty te wydzielono jako warstwę I.

Poniżej występuje warstwa gruntów gruboziarnistych (niespoistych), wykształcona głównie jako jednofrakcyjne (wskaźnik różnoziarnistości $C_u \approx 2$) piaski średnie *MSa* (Ps), lokalnie przechodzące w kilkufrakcyjne (ze względu na domieszkę frakcji drobnych) piaski pylaste *siSa* (Pπ). Grunty te wydzielono jako warstwę II – o miąższości ok. 3,5–4,0 m.

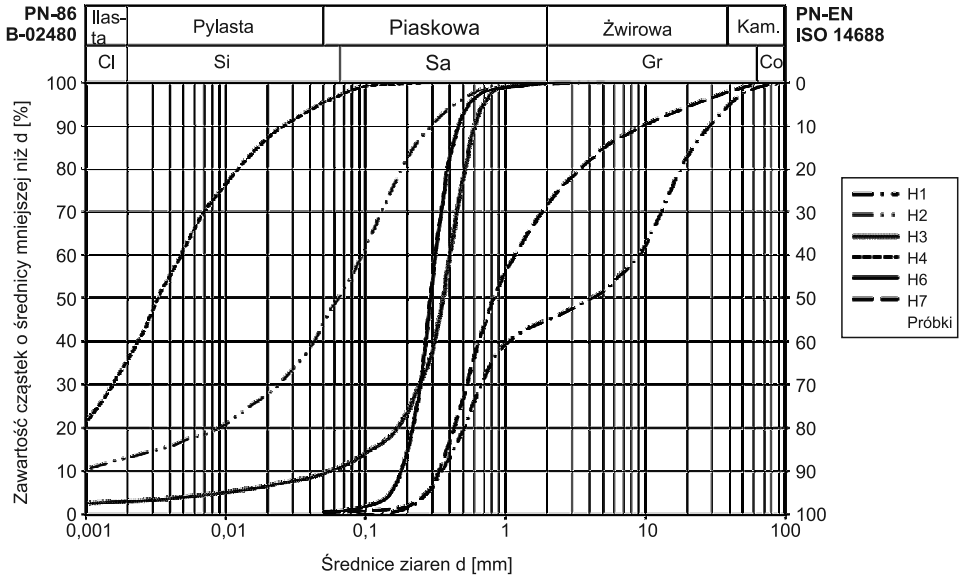
Poniżej zalegają grunty gruboziarniste, w których w sposób nieregularny występuje frakcja żwirowa, a lokalnie także kamienista: piaski ze żwirem *grSa* i kamieniami *cogrSa*, żwiry *Gr* i żwiry piaszczyste *saGr* (Ps+Ż, Ps+K, Po, Ż, Ż+K) tworzące warstwę o miąższości

ok. 8,0–9,0 m. Grunty te wydzielono jako warstwę III – występują tu grunty jedno-, kilku-, jak i wielofrakcyjne; zarówno dobrze, jak i źle uziarnione.

Osady czwartorzędowe podścielone są serią iłów mioceńskich, wydzielonych jako warstwa IV. Grunty te wykształcone są jako iły *Cl*, iły pylaste *siCl*, iły z piaskiem drobnym *fsaCl* (I, Iπ, Ip). W strefie stropowej mają one konsystencję plastyczną, wraz ze wzrostem głębokości przechodzącą przez twardoplastyczną do zwartej.

Przykładowe krzywe granulometryczne, otrzymane w badaniach laboratoryjnych wg specyfikacji technicznej ISO [13] dla prób gruntu z warstw I, II i III, przedstawiono na rys. 1.

W omawianym terenie występuje jeden czwartorzędowy poziom wodonośny związany z utworami piaszczysto-żwirowymi akumulacji rzecznej (warstwy II i III). Nawiercony i ustabilizowany poziom zwierciadła występuje w warstwie piasków średnich (II), na głębokości ok. 3,5–4,0 m ppt. Zwierciadło wody, generalnie swobodne, może być miejscami napięte przez utwory drobnoziarniste warstwy I, zalegające bezpośrednio nad utworami gruboziarnistymi warstwy wodonośnej.



Rys. 1. Przykładowe wyniki nadań granulometrycznych gruntów występujących w terenie badań: H1, H7 – warstwa III; H2,H4 – warstwa I; H3, H6 – warstwa II

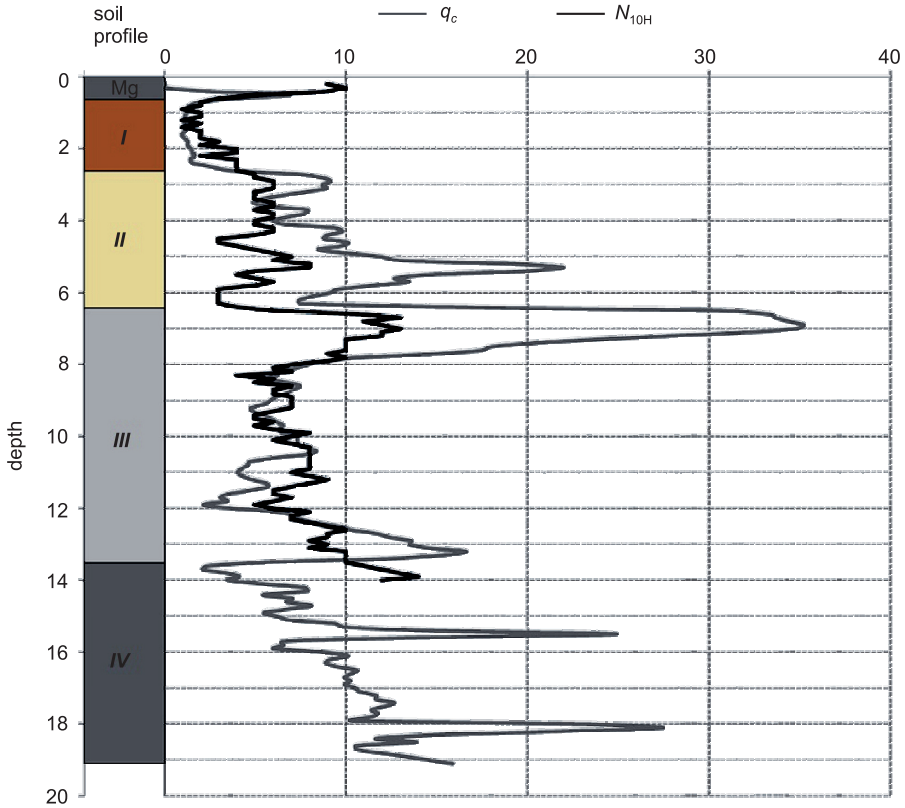
Fig. 1. Results of particle size distribution analyses of soils typical for site: H1, H7 – stratum III; H2, H4 – stratum I; H3, H6 – stratum II

3. Metodyka wykonanych badań

W pracy analizowane są wyniki badań polowych przeprowadzonych w pięciu węzłach badawczych zlokalizowanych w obrębie jednej działki o wymiarach ok. 80 × 120 m. W każdym z węzłów wykonane zostały: otwór wiertniczy, sondowanie statyczne CPTU oraz

sondowanie dynamiczne DPH. Poszczególne badania wykonano zachowując zalecane minimalne odległości względem siebie.

Wykonane przez autorów sondowania dowiązano do uprzednio nawierconych otworów geotechnicznych, które wykonane zostały systemem obrotowo-udarowym, wiertnicą mechaniczną, w rurach osłonowych o średnicy 245 mm.



Rys. 2. Przykładowe zestawienie wyników badań CPT i DPHwraz z odpowiadającym profilem gruntowym w pojedynczym węźle badawczym [2]

Fig. 2. Example of the results of CPT and DPH with coresponding soil profile in one of testing nodes

Interpretację profilu gruntowego – podział na grunty drobnoziarniste i gruboziarniste (spoiste i niespoiste) – wykonano w oparciu o profile wierceń (badania makroskopowe w terenie), laboratoryjne badania klasyfikacyjne (granulometryczne) oraz wyniki sondowania statycznego – z wykorzystaniem diagramu Robertsona [4] oraz diagramu zmodyfikowanego dla gruntów polskich wg PN [15].

Sondowania dynamiczne DPH wykonano do głębokości ok. 14.0 m ppt., tj. do stropu utworów ilastych warstwy IV. Badania przeprowadzono przy zastosowaniu mechanicznej, uniwersalnej sondy UMSD-SPT. Procedura badania i osprzęt były zgodne z wytycznymi

norm [12, 15, 16]. Interpretację wyników wykonano w oparciu o normę [12]. Uwzględniono wpływ wody gruntowej na otrzymane podczas sondowania wartości N_{10H}. Wyznaczono dynamiczny opór gruntu q_d.

Sondowania statyczne metodą CPTU wykonano do głębokości 19,0–20,0 m ppt. Wykorzystano samobieżną sondę statyczną Pagani TG 63-150, o maksymalnym nacisku 150 kN, wyposażoną w końcówkę elektryczną o standardowej powierzchni stożka 10 cm^2. Zastosowano przewodowy, elektroniczny systemem rejestracji danych. W trakcie przeprowadzonych badań zachowane zostały procedury zgodne z wytycznymi ISSMFE [19] oraz normami [11, 15, 16]. Wyniki opracowano w oparciu o wytyczne norm [11, 16] oraz pracy Lunne et. al., 1997 [4].

4. Korelacje pomiędzy oporem wprowadzania sondy statycznej i liczbą uderzeń w sondowaniu dynamicznym

Prace nad korelacjami pomiędzy wynikami sondowań statycznych i dynamicznych prowadzone w Niemczech [1] doprowadziły do stworzenia liniowych zależności pomiędzy wartością q_c a wartościami N_x dla poszczególnych typów sondowania dynamicznego. Zestawienie opracowanych współczynników zawiera tabela 1.

Próby weryfikacji tych korelacji dla warunków gruntowych z terenu Węgier opisane zostały w pracy Makler i Szendefy, 2009 [5]. Zależność pomiędzy wartościami q_c obliczonymi a zarejestrowanymi w badaniach przedstawia rys. 3.

Tabela 1

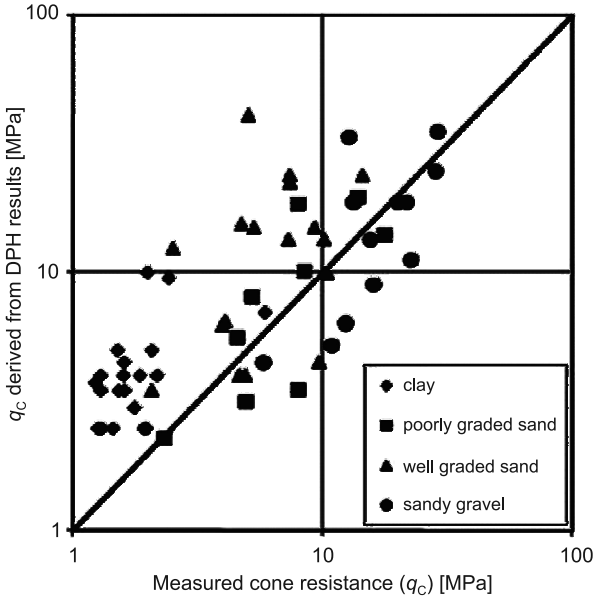
Współczynniki zależności uzyskanych dla gruntów niespoistych wg Biedermann, 1978 [1]

Rodzaj gruntu	SPT q_c/N_{30}	DPH q_c/N_{30}	DPL q_c/N_{30}
SE	0,5	0,7	0,25
SW, SI	0,7	1,0	0,35
GE, GW, GI	1,1	1,5	–
Wyjaśnienie symboli (za DIN 18196): S – piasek (*sand*) G – piasek ze żwirem (*sand and gravel*) E – źle uziarniony (*poorly graded/even-graded*), W – dobrze uziarniony (*well graded/multi-graded*) I – źle uziarniony z brakiem części frakcji (*gap-graded*)			

Podobną zależność, wyznaczoną dla wyników badań przeprowadzonych przez autorów, pokazano na rys. 4.

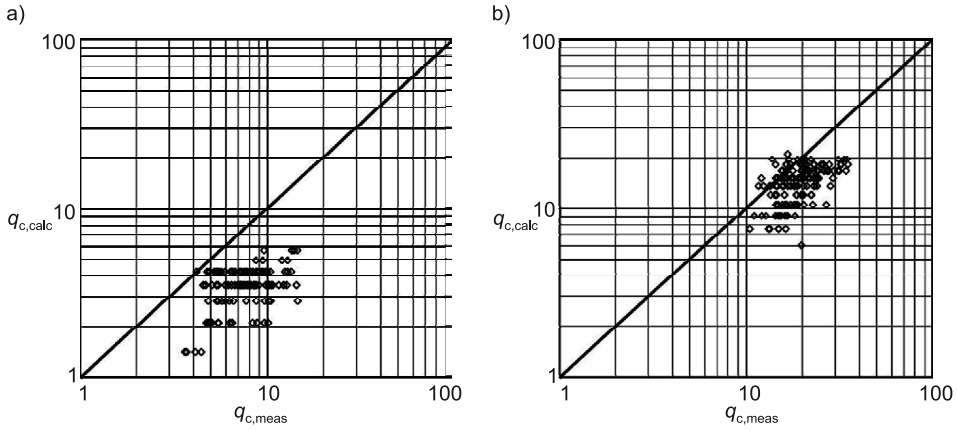
Spośród wszystkich uzyskanych wyników wyszczególniono dane uzyskane dla: piasków średnich warstwy II (rys. 4a) oraz piasków ze żwirem warstwy III (rys. 4b) – w obu przypadkach rozpatrywano jedynie grunty położone poniżej zwierciadła wody gruntowej.

Aby było możliwe bezpośrednie porównywanie wartości oporu statycznego wciskania stożka z wynikami sondowania dynamicznego, konieczne było uśrednienie wartości q_c na odcinkach odpowiadających wartościom N_{10H}, tj. co każde 10 cm.



Rys. 3. Wyniki badań uzyskane przez Makler i Szendefy [4]

Fig. 3. The results of research obtained by Makler and Szendefy [4]



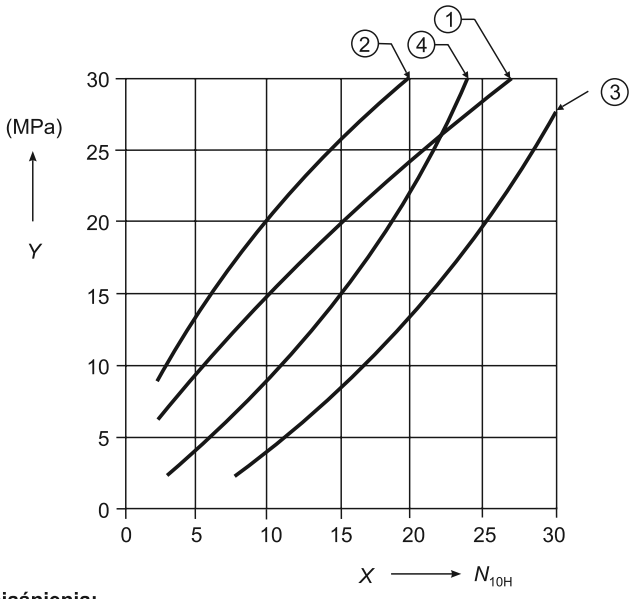
Rys. 4. Zależność pomiędzy wartościami oporów stożka zmierzonymi w terenie $q_{c,meas}$, a odpowiadającymi im wartościami obliczonymi na podsatwie badania dynamicznegoz zastosowaniem współczynników wg Biedermanna $q_{c,calc}$: dla piasków średnich (a) oraz dla piasków ze żwirem (b), [2]

Fig. 4. The correlation of the values $q_{c,meas}$ measured in field tests and values $q_{c,calc}$ calculated from results of dynamic test with use of Biedermann's ratios: for medium sands (a) and sands with gravels (b), [2]

Analiza powyższych wykresów wskazuje, że dla nawodnionych gruntów gruboziarnistych (warstwy II i III) z terenu Krakowa, zastosowanie korelacji wg Biedermanna [1] dla sondy dynamicznej ciężkiej (DPH) prowadzi do bezpiecznego oszacowania wartości oporu q_c.

W Eurokodzie 7 (Część 2, Załącznik G) [16] zapisano przykładowe korelacje pomiędzy oporem penetracji stożka sondy statycznej q_c, a wynikami sondowań dynamicznych N_{10H} (rys. 5). Należy zaznaczyć, że korelacje te, oryginalnie opracowane w roku 1978 (Stenzel i Melzer, [7]), dotyczą badań sondą statyczną ze stożkiem mechanicznym.

Przedstawiono tu cztery krzywe, opracowane dla dwóch grup gruntów: źle uziarnionych piasków oraz dobrze uziarnionych piasków ze żwirem – osobno analizowano grunty położone poniżej i powyżej zwierciadła wody gruntowej. Ze względu na fakt, że autorzy dysponują danymi jedynie dla gruntów nawodnionych, w dalszej części tej pracy analizowane są krzywe nr 2 i 4 (wg rys. 5).



Objaśnienia:

(*x*) Liczba uderzeń, (*y*) Opór wprowadzenia stożka (q_c),
1 Źle uziarnione piaski powyżej zwierciadła wody gruntowej,
2 Źle uziarnione piaski poniżej zwierciadła wody gruntowej,
3 Dobrze uziarnione piaski ze żwirem powyżej zwierciadła wody gruntowej,
4 Dobrze uziarnione piaski ze żwirem poniżej zwierciadła wody gruntowej.

Rys. 5. Przykłady korelacji pomiędzy oporem stożka sondy statycznej q_c a liczbą uderzeń w sondowaniu dynamicznym wg Eurokodu 7, [16]

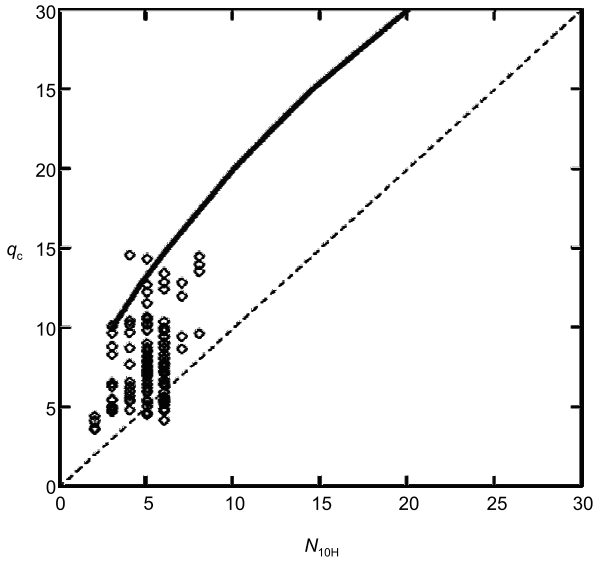
Fig. 5. Example of correlations between coue penetration resistance q_c and number of blows in dynamic probing in accordance with Eurocode 7, [16]

Ze względu na fakt, że w niektórych gruntach wartości oporu stożka otrzymane za pomocą końcówek mechanicznej i elektrycznej istotnie się różnią [15], przeliczono otrzymane w badaniach autorów wartości q_c pomierzone stożkiem elektrycznym zgodnie z poniższą formułą:

$$q_{c(m)} = \beta \cdot q_{c(e)}$$

stosując wartość współczynnika $\beta = 1{,}3$ zalecaną dla źle uziarnionych, nawodnionych piasków [15].

Podczas badań sondą dynamiczną w warstwie II uzyskano wyniki N_{10H} w zakresie od 2 do 8 uderzeń na każde 10 cm wpędu sondy. Odpowiadające tym wynikom opory stożka sondy statycznej q_c kształtowały się w zakresie 3–15 MPa. Uzyskane na tej podstawie pary punktów $q_c(N_{10H})$ na tle zależności normowej przedstawiono na rys. 6.

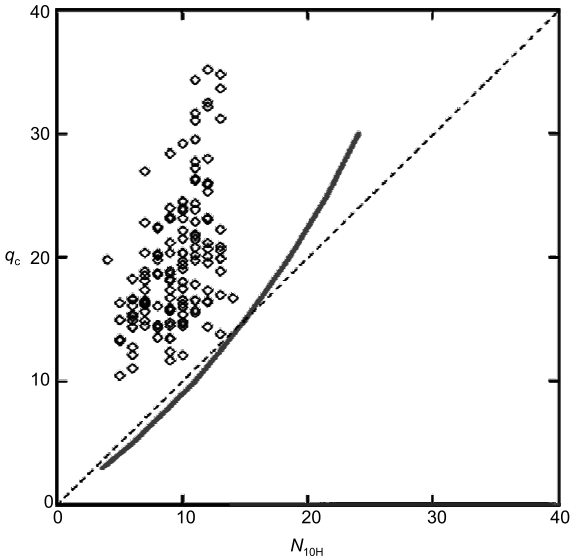


Rys. 6. Wyniki badań uzyskane dla warstwy II (piaski średnie) na tle zależności normowej (krzywa nr 2), [2]

Fig. 6. The results of measurements for stratum II (medium sands) in comparison to the standard correlation (curve no. 2), [2]

Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że korelacja przedstawiona w Eurokodzie 7 dla nawodnionych piasków (krzywa 2 wg rys. 5) może dawać zawyżone wartości q_c, a zatem należy ją stosować z uwzględnieniem odpowiednich współczynników bezpieczeństwa.

Podczas przeprowadzonych badań sondą dynamiczną w gruntach warstwy III (nawodnione mieszaniny piasków i żwirów) uzyskano wyniki N_{10H} w zakresie od 4 do 14 uderzeń. Odpowiadające im opory stożka sondy statycznej q_c kształtowały się w zakresie 10–36 MPa. Uzyskane na tej podstawie pary punktów q_c (N_{10H}) na tle zależności normowej (krzywa nr 4) przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Wyniki badań uzyskane dla warstwy III (piaski ze żwirem) na tle zależności normowej (krzywa nr 4), [2]

Fig. 7. The results of measurements for stratum (sands with gravels) in comparison to the standard correlation (curve no. 4), [2]

Analiza powyższych danych wskazuje, że korelacja normowa (krzywa 4 wg rys. 5) stanowi bezpieczne oszacowanie wartości uzyskanych w badaniach – żaden z uzyskanych punktów nie znalazł się po prawej stronie krzywej normowej. Jednocześnie można zauważyć, że zależność uzyskana w badaniach jest zależnością nieliniową, podobnie jak zależność normowa.

Należy zaznaczyć, że korelowana wartość N_{10H} rejestrowana podczas badania sondą dynamiczną nie uwzględnia wpływu ciężaru zestawu żerdzi (zależnego od głębokości badania) na rzeczywistą energię wprowadzania końcówki sondy w grunt. W dalszej części pracy autorzy podejmują zatem próbę analizy, w której wartość N_{10} zastąpiono oporem dynamicznym wprowadzania sondy q_d, który uwzględnia ten wpływ.

5. Porównanie oporów wprowadzania stożka uzyskanych w badaniach statycznych i dynamicznych

W tej części pracy autorzy podejmują próbę udoskonalenia istniejących zależności pomiędzy wynikami sondowań statycznych i dynamicznych. Analiza przeprowadzona została przy następujących założeniach:

- analizie poddano wyniki badań sondą statyczną z końcówką elektryczną,
- wpływ naprężeń efektywnych w gruncie na wynik badania jest podobny dla badania CPT i DPH, dlatego został on pominięty,

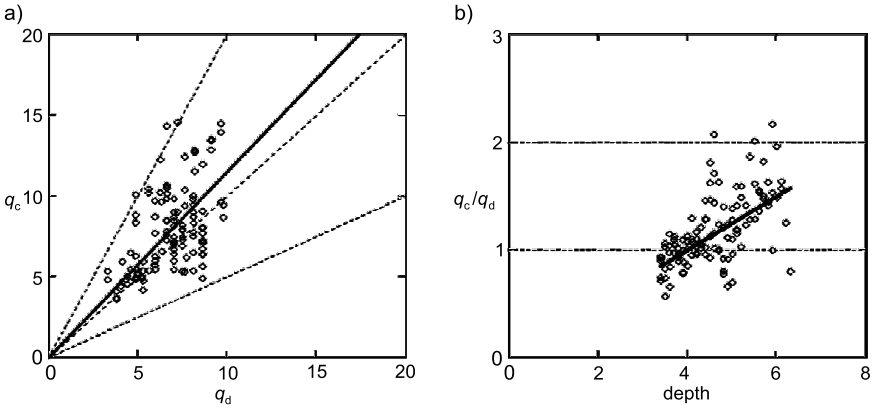
– uwzględniono wpływ wody gruntowej na zarejestrowane w badaniu DPH wartości N_{10H}, zgodnie z normą ISO [12],
– skorygowane wartości N_{10H} przeliczono na opór dynamiczny q_d, uwzględniając wpływ masy zestawu żerdzi na rzeczywistą energię wprowadzania stożka w grunt.

Stosunek pomierzonych wartości q_c do obliczonych wartości wyrażono, za przykładem pracy Gadeikis et al. [3], współczynnikiem:

$$\alpha = q_c / q_d.$$

Dało to możliwość bezpośredniego porównania wyników badań przeprowadzonych na terenie Litwy opisanych w tej pracy z badaniami autorów.

Zależność pomiędzy oporem statycznym q_c a oporem dynamicznym q_d w piaskach średnich warstwy II przedstawiono na rys. 8a. Otrzymane wartości współczynnika $\alpha = q_c/q_d$ kształtują się w zakresie 0,5–2,3. Wartość aproksymowana metodą najmniejszych kwadratów dla zależności liniowej wynosi $\alpha = 1{,}15$.



Rys. 8. Wyniki badań w warstwie II (piaski średnie): zależność pomiędzy oporem statycznym q_c i dynamicznym q_d (a) wartości współczynnika α w zależności od głębokości penetracji (b), [2]

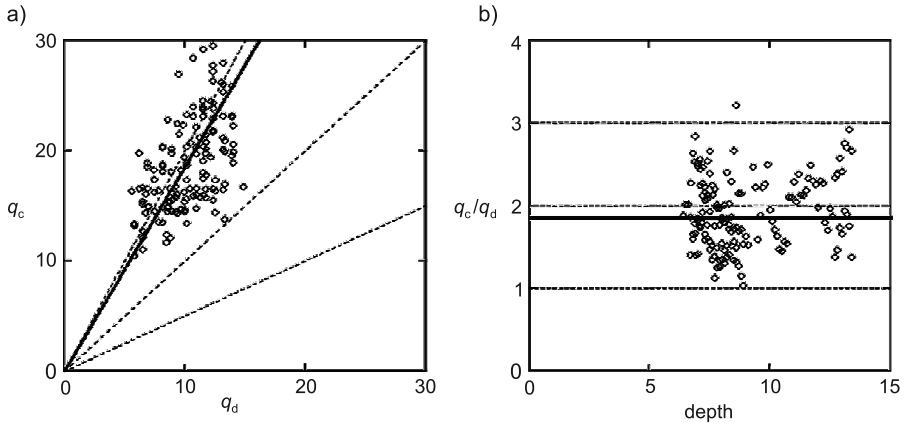
Rys. 8. Results in the stratum II (medium sands): relation between static resistance q_c and dynamic resistance q_d (a) values of α coefficient vs. depth of penetration (b), [2]

Wyniki podobnej analizy, przeprowadzonej dla badań sondą bardzo ciężką DPSH w piaskach średnich, opisane w pracy [3] dały wynik dwukrotnie wyższy: uzyskano wartość współczynnika $\alpha = 2{,}3$. Należy zaznaczyć, że w analizie regresji otrzymano współczynnik korelacji R na poziomie 0,60, co świadczy o równie dużym jak w badaniach autorów rozrzucie wyników.

Tak istotna różnica w wartościach współczynnika α może wynikać z nieuwzględnienia przez autorów pracy [3] wpływu wody gruntowej na zarejestrowane w badaniu DPSH wartości N_{20}. Fakt zastosowania sondy bardzo ciężkiej DPSH w miejsce DPH, nie powinien mieć znaczenia dla analizy wykorzystującej wartości q_d, przy których wyznaczaniu uwzględnia się typ sondy.

Wyniki pracy [3] sugerują, że współczynnik α wzrasta ze wzrostem stopnia zagęszczenia piasków – w badaniach autorów nie stwierdzono takiej zależności. Zauważono natomiast, że wartość współczynnika α wzrasta wraz z głębokością badania (rys. 8b). Ze względu na niewielką miąższość rozpatrywanej warstwy piasków, nie było jednak możliwe sformułowanie jednoznacznych wniosków w tej kwestii, zwłaszcza, że podobnej tendencji nie stwierdzono dla warstwy piasków ze żwirem (rys. 9b).

Na rys. 9a pokazano zależność pomiędzy oporem statycznym q_c, a oporem dynamicznym q_d dla warstwy nr III (piasków ze żwirem). Dla tej warstwy otrzymano wartości współczynnika α w zakresie 1,0–3,2. Wartość współczynnika dla aproksymowanej zależności liniowej wynosi w tym przypadku 1,85, a linię odpowiadającą wartości $\alpha = 1$, tj. $q_c = q_d$ można w tym przypadku traktować jako bezpieczne oszacowanie obliczanej wartości q_c.



Rys. 9. Wyniki badań w warstwie III (piaski ze żwirem): zależność pomiędzy oporem statycznym q_c i dynamicznym q_d (a) wartości współczynnika α w zależności od głębokości penetracji (b), [2]

Fig. 9. Results in the stratum III (sands with gravels): relation between static resistance q_c and dynamic resistance q_d (a) values of α coefficient vs. depth of penetration (b), [2]

6. Wnioski

Analizie poddano korelacje pomiędzy oporem stożka q_c w sondowaniu statycznym, a liczbą uderzeń N_X sondy dynamicznej zaproponowane przez Eurokod 7. Zależności te zostały zastosowane do wyników badań wykonanych przez autorów, co pozwoliło wnioskować, że w niektórych przypadkach (np. dla nawodnionych piasków) ich wykorzystanie może powodować przeszacowanie wartości q_c, zaś w innych (np. w nawodnionych pospółkach) daje bezpieczne oszacowanie. Z tych względów korelacje te należy stosować ze szczególną ostrożnością.

Wartość N_X uzyskiwana w sondowaniu dynamicznym nie uwzględnia wpływu masy zestawu żerdzi (rosnącej wraz z głębokością penetracji) na rzeczywistą energię uderzenia prze-

kazywaną do końcówki stożkowej przy pojedynczym uderzeniu. Z tego względu wymagana jest analiza wartości dynamicznego oporu stożka q_d (który uwzględnia ten wpływ) w miejsce liczby uderzeń N_X.

Rozbieżności w wartościach współczynnika α otrzymanych przez autorów w porównaniu z pracą Gadeikis et al. [3] pokazują, że wpływ wody gruntowej na rejestrowane podczas badania dynamicznego ilości uderzeń N_X jest bardzo istotny. Zależności pomiędzy współczynnikiem α a innymi analizowanymi parametrami, tj. zagęszczeniem gruntu oraz głębokością penetracji (naprężeniem od nadkładu) nie da się łatwo zdefiniować.

Sformułowanie wiarygodnych korelacji pomiędzy wartościami oporów stożka uzyskiwanymi w sondowaniu statycznym i dynamicznym jest zadaniem trudnym, wymagającym dalszych, szeroko zakrojonych badań.

Literatura

[1] Biedermann B., *Vergleichende Untersuchungen mit Sonden in Schluff*, Vorschungsberichte aus Bodenmechanik und Grundbau, 1984.

[2] Czado B., Pietras J.S., *Comparison of the cone penetration resistance obtained in static and dynamic field tests*, AGH Journal of Mining and Geoengineering, Vol. 36, No. 1, Kraków 2012, 97-105.

[3] Gadeikis S., Žaržojus G., Urbaitis D., *Comparing CPT and DPSH in Lithuanian soils*, 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach, CA, USA. Volume 2&3: Technical Papers, Session 3: Applications, Paper No. 3-22, 2010.

[4] Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J., *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*, Academic & Proffesional, London, 1997.

[5] Makler A., Szendefy J., *Estimation of CPT resistance based on DPH results*, Periodica Polytechnica, Civil Engineering, 53/2, 2009, 101-106.

[6] Smoltczyk U., ed. *Grundbau-Taschenbuch: Geotechnische Grundlagen*, Ernst&Sohn, Berlin 2001.

[7] Stenzel G., Melzer K.J., *Soil investigations by penetration testing according to DIN 4094*, Tiefbau 20, 1978, 155-160, 240-244.

[8] *Kraków – środowisko geograficzne*, praca zbiorowa, PWN, Warszawa 1972.

[9] DIN 4094:1990 Baugrund. Erkundung durch Sondierungen.

[10] DIN 4094-3:2002 Subsoil – Field investigations. Part 3: Dynamic probing.

[11] EN ISO 22476-1:2006 Geotechnical investigation and testing – Field Testing – Part 1: Electrical cone and piezocone penetration tests.

[12] EN ISO 22476-2:2005 Geotechnical investigation and testing – Field testing – Part 2: Dynamic probing.

[13] PKN-CEN ISO/TS 17892-4:2009 Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego.

[14] PN-B-02480:1986 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.

[15] PN-B-04452:2002 Geotechnika. Badania polowe.

[16] PN-EN 1997-2:2007, Eurocode 7. Geotechnical design – Part 2: Ground investigation and testing.

[17] PN-EN ISO 14688-1:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów – Część 1: Oznaczanie i opis.

[18] PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne – Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów – Część 2: Zasady klasyfikowania.
[19] *International Reference Test Procedure for Cone Penetration Test* (CPT), ISSMFE, 1999.