

Ocena stopnia zagęszczenia gruntu sondą dynamiczną DPH i sondą statyczną CPTU

Irena Bagińska



dr inż. Irena Bagińska

Politechnika Wrocławska,
Katedra Geotechniki, Hydrotechniki,
Budownictwa Podziemnego i Wodnego

irena.baginska@pwr.edu.pl

Stopień zagęszczenia gruntów gruboziarnistych jest podstawowym parametrem określającym *in situ* podczas każdej inwestycji budowlanej. Oceny jego wartości można dokonać kilkoma technikami sondowań dynamicznych oraz sondowaniami statycznymi. W przypadku sondowań dynamicznych pomiar i interpretacja jest skokowa co 10 lub 20 cm, natomiast w przypadku sondowań statycznych stożkiem elektrycznym pomiar i interpretacja jest niemal ciągła co 2 cm. W pracy porównano wyniki interpretacyjne stopnia zagęszczenia ustalone techniką sondowania dynamicznego DPH oraz sondowania statycznego CPTU.

Zgodnie z PN [5],[10] wyróżnić można 4 rodzaje sondowań dynamicznych (DPL, DPM, DPH, DPSH). Dobór rodzaju sondowania dynamicznego odbywa się zgodnie z rodzajem badanego gruntu. Im grunt zawiera więcej grubszych frakcji tym cięższy młot dobierany jest do wykonania badania. W pracy zastosowano sondowania DPH rejestrujące N'_{10DPH} na każde 10 cm wpędu sondy pogrążanej przez swobodne uderzenia 50 kg młota z wysokości 50 cm w kolumnę żerdzi zakończoną znormalizowaną końcówką stożkową [5],[10].

Sondowania statyczne CPTU wykonano samojedzną sondą typu GEOTECH 220-04 rejestrując z głębokością w czasie rzeczywistym opory stożka q_c , opory tarcia f_s i ciśnienie porowe u_2 zgodnie z zaleceniami [9] (rys. 2). Zwykle podczas sondowań statycznych w gruntach gruboziarnistych powstają bardzo duże opory wpędu q_c , które mogą spowodować uszkodzenie sondy pomiarowej. Ryzyko uszkodzenia piezostożka jest bardzo duże i dlatego warto poszukiwać możliwości zamiennego wykonywania tych badań, nie tylko w przypadku oceny stanu zagęszczenia. Temat ten podjęto już w pracy [1] porównując statyczne opory penetracji stożka q_c (CPTU) z dynamicznymi oporami penetracji q_d (DPH) oraz jednostkowym oporem penetracji r_d (DPH). Aktualnie skupiono się na określeniu stopnia zagęszczenia korzystając jednocześnie z obu technik pomiarowych na podstawie DPH (I_{DPH}) oraz na podstawie CPTU (I_{CPTU}). Rzadko bowiem dla wyznaczenia tej

cechy używane są obie techniki zakładając równoważność obu interpretacji. Analiza porównawcza ma za zadanie sprawdzenie tej tezy.

Charakterystyka obszaru badań oraz gruntu poddanego rozpoznaniu

Pod względem morfologicznym teren badań stanowi fragment Niziny Środkowopolskiej w południowo-zachodnim skraj Wzgórz Dalkowskich stanowiących Wzgórze Polkowickie. Najpłycej występujące utwory reprezentowane są przez osady piaszczysto-żwirowe zaliczane do utworów zlodowacenia południowo-, środkowo- i północno-polskiego.

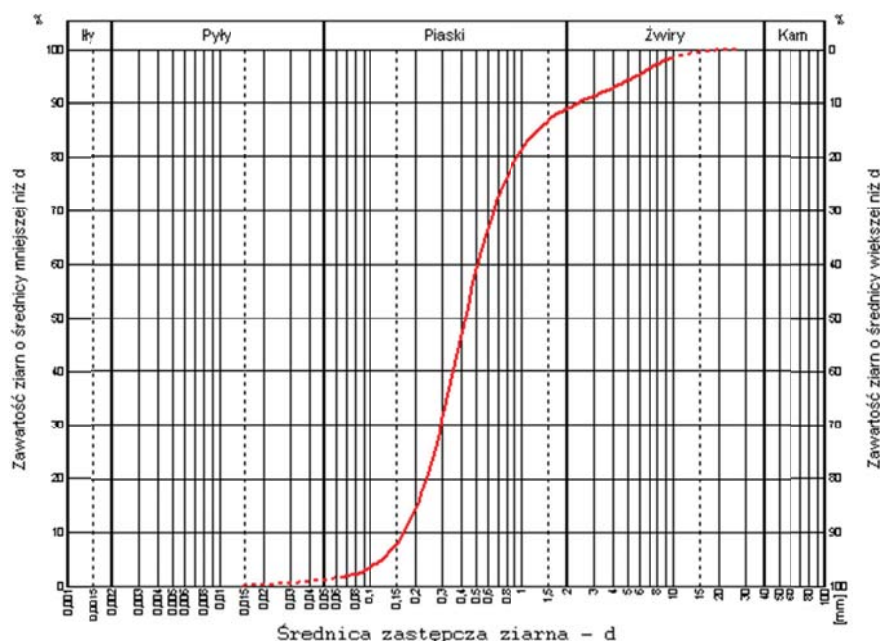
Na obszarze poddanym badaniom wykonano do głębokości 15 m p.p.t. wiercenia w osi każdego z dziesięciu sondowań DPH oraz sondowanie CPTU w rozstawach punktów badawczych większych niż minimalne dopuszczalne odległości ustalone w normach branżowych wynikające z wzajemnych niekorzystnych oddziaływań [7],[9],[10]. Do analizy wybrano cztery sondowania DPH najbliższe punktu badawczego CPTU. Maksymalna odległość punktów badawczych DPH względem CPTU wynosiła około 10 m.

W sąsiedztwie terenu badań znajdował się bardzo duży obiekt posadowiony bezpośrednio na głębokości 3,5 m p.p.t. Na podstawie materiałów archiwalnych ustalono, że posadowienie wykonywane było w wykopie szerokoprzestrzennym, a po pracach funda-

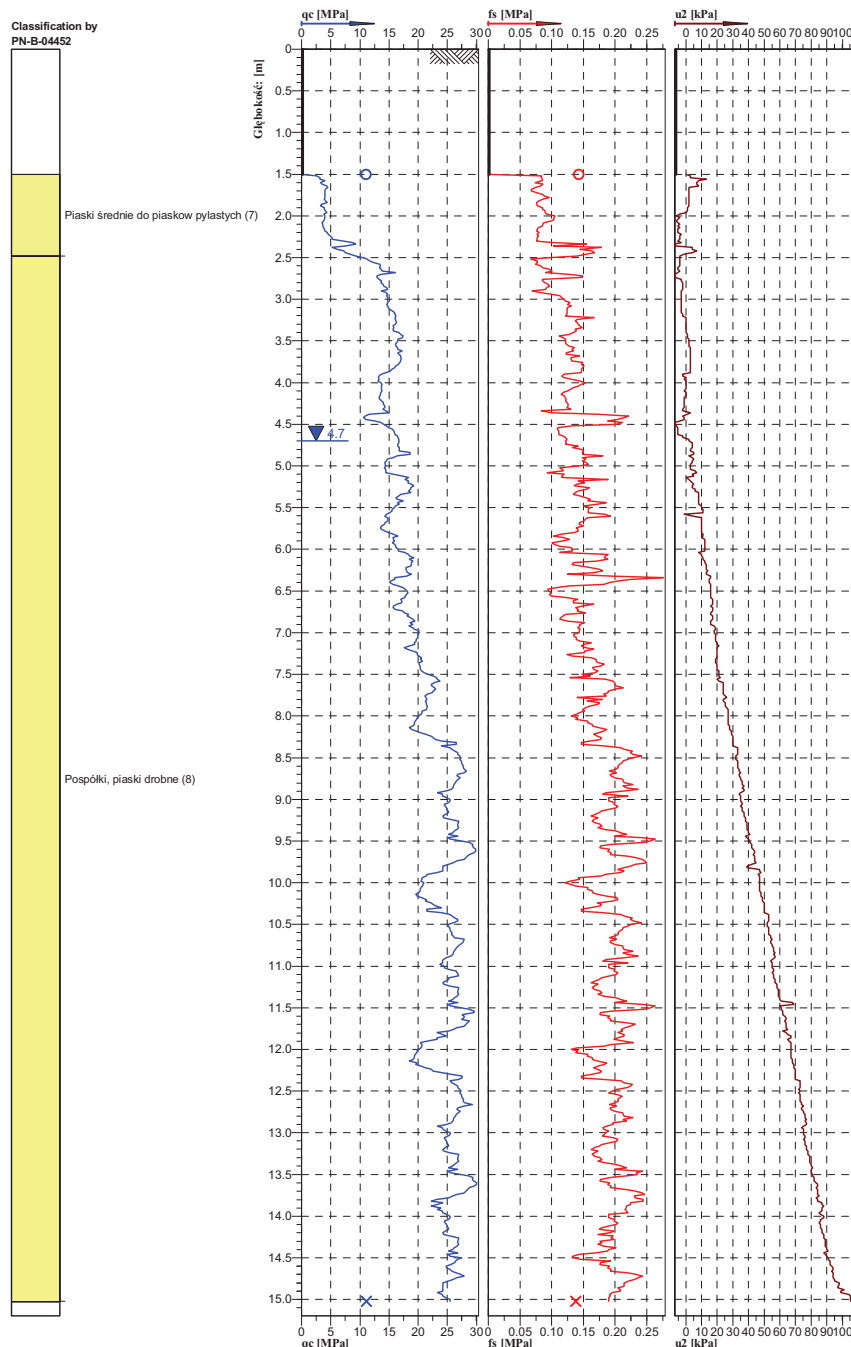
mentowych wykop zasypano gruntem rodzimym. Potwierdziły to wiercenia i badania granulometryczne oraz zarejestrowane opory wpędu z sondowań statycznych i dynamicznych. Na głębokości 4,7 m p.p.t. ustalono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej, co uwzględniono w interpretacji zarówno badań CPTU jak i DPH.

Ocenie granulometrycznej poddano 3 próby powyżej poziomu posadowienia obiektu i 7 prób pobranych poniżej poziomu posadowienia. Badanie przeprowadzono metodą sitową zgodnie z normą [4]. Wykazano występowanie w podłożu pospółki (grSa) oraz na mniejszych głębokościach piasku średniego (MSa). Dla gruntu zasypowego średnia wartość wskaźnika różnoziarnistości C_u wynosiła 3,29, natomiast dla rodzimego 3,27. Wskaźnik krzywizny uziarnienia C_c wynosił odpowiednio dla gruntu zasypowego 1,11 i dla gruntu rodzimego 1,15. Na podstawie uzyskanych wyników grunt sklasyfikowano jako jednofrakcyjny, czyli słabo uziarniony (SP wg [10]). Przykładowy wykres składu granulometrycznego przedstawiono na rys. 1.

Ocenę rodzaju gruntu z pomiaru granulometrycznego porównano z oceną rodzaju gruntu na podstawie sondowania CPTU korzystając z dwóch nomogramów klasyfikacyjnych Robertsona 2010 [11] oraz Młynarka i innych [3] zwanej klasyfikacją normową [5]. Ostatecznie przyjęto profil geologiczny bliższy rozpoznaniu z wierceń otrzymany z klasyfikacji Młynarka i innych [3]. Ocena rodzaju



1. Przykładowy wykres składu granulometrycznego badanego gruntu



2. Profil geologiczny wraz z wielkościami pomiarowymi CPTU

gruntu wykazała występowanie pospółek (grSa) do piasków drobnych (FSa). Rozpoznanie przedstawiono na profilu wraz z wielkościami pomiarowymi badania CPTU (rys. 2).

Pomiary z czterech sondowań DPH (rys. 3a) zostały uśrednione i otrzymano przebieg $N'_{10DPHsr}$ z głębokością bez uwzględnienia zwiększonej liczby uderzeń poniżej zwierciadła wody gruntowej (rys. 3b).

Ocena stanu zagęszczenia na podstawie badań DPH

Do momentu zatwierdzenia normy europejskiej dla geotechniki, zwanej Eurokodem 7 [7], wytyczne metodologii wykonania i interpreta-

cji sondowań dynamicznych (DPL, DPM, DPH, DPSH) zawierała norma PN-B-04452:2002 [5]. Ocenę stopnia zagęszczenia I_D gruntów gruboziarnistych o wskaźniku różnoziarnistości $Cu > 3$ na podstawie liczby uderzeń N_{10} dla sondowań dynamicznych DPH określano z korelacji (1).

$$I_D = 0,441 \cdot \log N_{10DPH} + 0,271 \quad (1)$$

gdzie: N_{10DPH} to liczba swobodnych uderzeń młota na każde 0,10 m wpędu końcówki sondy DPH po uwzględnieniu zwiększonej liczby bić w obrębie występowania zwierciadła wody gruntowej [5].

Zgodnie z zaleceniami PN zwiększenie liczby bić o 50% należało uwzględnić w przedziale 1m powyżej i od 2m do 3m poniżej zwierciadła wody, gdy stan gruntu w tym obszarze był średnio zagęszczony.

W części 2 Eurokodu 7 w załączniku D znajdują się korelacje służące do ustalenia stopnia zagęszczenia osobno dla gruntów źle uziarnionych o $Cu \leq 3$ oraz dla gruntów dobrze uziarnionych - $Cu \geq 6$. Norma nie podaje z jakich korelacji korzystać, jeśli poddany badaniu jest grunt posiadający wskaźnik jednorodności (różnoziarnistości) Cu z przedziału od 3 do 6.

Ostatecznie w omawianym przypadku do ceny stopnia zagęszczenia wykorzystano (zgodnie z [7]) powyżej zwierciadła wody gruntowej korelację daną równaniem (2), a poniżej korelację daną równaniem (3) dla $Cu \leq 3$.

$$I_D = 0,435 \cdot \log N_{10DPH} + 0,10 \quad (2)$$

$$I_D = 0,380 \cdot \log N_{10DPH} + 0,23 \quad (3)$$

gdzie: N_{10DPH} to liczba swobodnych uderzeń młota na każde 0,10 m wpędu końcówki sondy DPH po uwzględnieniu zwiększonej liczby uderzeń poniżej występowania zwierciadła wody gruntowej zgodnie z zależnością (4) [7].

$$N_{10DPH} = a_1 N'_{10DPH} + a_2 \quad (4)$$

W powyższej zależności N'_{10DPH} to wartość pomiarowa przed uwzględnieniem wpływu wody gruntowej, a wartości a_1 i a_2 to przyjęte odpowiednio wielkości 1,3 oraz 2,0 dla słabo uziarnionych gruntów guboziarnistych o $Cu \leq 3$.

Na rys. 4 zaprezentowano zmienność stopnia zagęszczenia względem wartości N_{10DPH} dla wszystkich trzech korelacji prezentowanych w pracy (równania (1), (2), (3)). Wykresy uzyskane z korelacji Eurokodu 7 (równania (2), (3)), zarówno dla sytuacji powyżej, jak i poniżej zwierciadła wody gruntowej są bardzo zbliżone względem siebie. Korelacja z wycofanej normy PN podaje znacznie wyższe wartości stopnia zagęszczenia przy tej samej liczbie N_{10DPH} niż korelacje z Eurokodu 7.

Bazując na wynikach przedstawionych na rys. 4 w tabeli 1 zestawiono dla poszczególnych stanów zagęszczenia gruntów gruboziarnistych przedziały zmienności I_D i odpowiadające im przedziały N_{10DPH} dla wszystkich cytowanych korelacji. Widoczne jest, że stosując korelację z normy PN wystarczy dla uzyskania stanu zagęszczonego wykonać w badanym gruncie ponad dwukrotnie mniejszą liczbę uderzeń N_{10DPH} niż w przypadku zastosowania korelacji z Eurokodu 7. Różnice są bardzo znaczące i sprawiają, że powyżej zwierciadła wody gruntowej nowe wytyczne Eurokodu 7 są bardzo rygorystyczne, a określany w ten sposób stopień zagęszczenia będzie znacznie niższy od określanego dotychczas stopnia wg normy PN [5].

Mając na uwadze powyższe spostrzeżenia przeprowadzono równoległe dwie oceny stanu zagęszczenia dla analizowanego przebiegu $N'_{10DPHsr}$ (rys. 3b). Raz dla rozwiązania zgodnego z PN, a raz dla rozwiązania zgodnego z Eurokodem 7, przy czym w obu rozwiązaniach stosowano konsekwentnie różne techniki uwzględnienia wpływu wody gruntowej zgodne z przytoczonymi powyżej zaleceniami normowymi [5],[7].

Zgodnie z rys. 5b na całym przebiegu głębokości ID wyznaczone zgodnie z PN (1) dostarczyła stopnie zagęszczenia były większe niż ID wyznaczone zgodnie z Eurokodem 7 (2), (3). Największe różnice występują powyżej głębokości 6,7 m p.p.t., gdzie dodatkowo uwzględniono zgodnie z PN wzrost wartości $N_{10DPHsr}$ ze względu na zwierciadło wody gruntowej. Poniżej tej głębokości rozwiązania są porównywalne i nieznacznie wzrastają wraz z głębokością od wartości średniej $ID=0,65$ do wartości średniej $ID=0,77$ i w tej strefie jednoznacznie można określić, iż grunt gruboziarnisty jest w stanie zagęszczonym.

Ocena stanu zagęszczenia na podstawie badań CPTU

Do oceny stanu zagęszczenia na podstawie pomiaru sondą statyczną CPTU posłużono się korelacjami wg Borowczyka [12] oraz Lancellotta [2].

Metoda Borowczyka przytoczona jest w PN [5] i opisana jest wzorem:

$$I_D = 0,709 \cdot \log q_c - 0,165 \quad (5)$$

gdzie: q_c - opór na stożku [MPa].

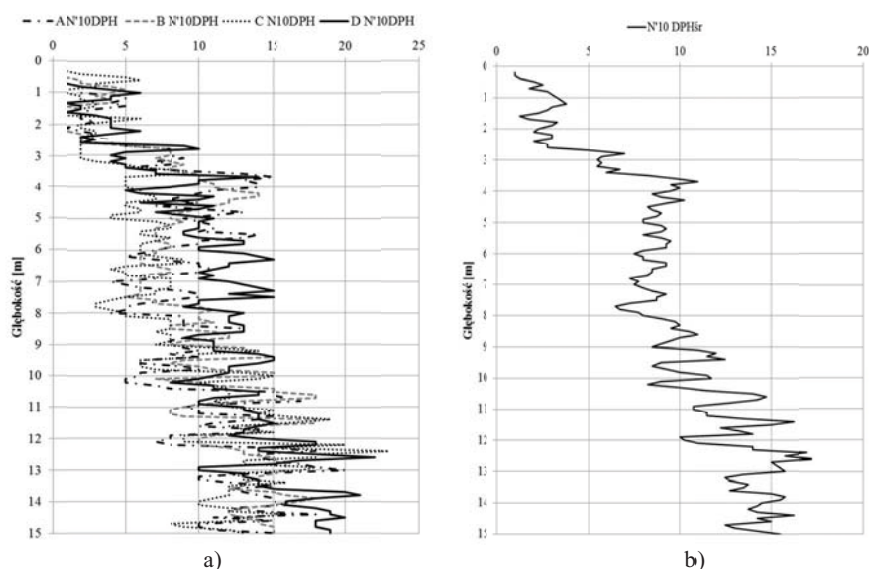
Metoda przeznaczona jest do oceny stanu zagęszczenia piasków drobno-, średnio- i gruboziarnistych o wskaźniku różnoziarnistości $C_u > 3$. W trakcie obliczeń I_D uwzględniono różnice wskazań oporów stożka q_c na poziomie 1,3 pomiędzy końcówką elektryczną, a mechaniczną, dla której ustalona została korelacja (5) [5].

Stopień zagęszczenia wg zależności Lancellotta [2] opisany jest następującą zależnością:

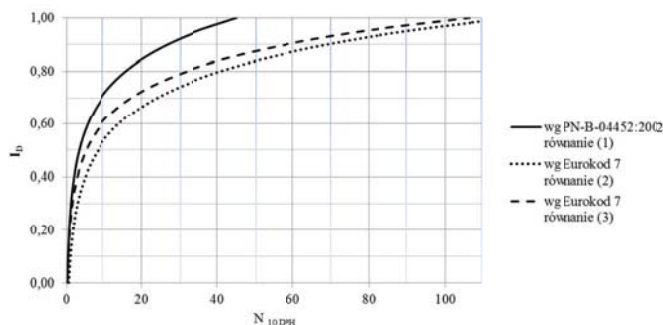
$$I_D \cong -98 + 66 \cdot \log \left(\frac{q_c}{\sqrt{\sigma'_{v0}}} \right) [\%] \quad (6)$$

gdzie: q_c - opór na stożku [MPa], σ'_{v0} - składowa pionowa naprężenia efektywnego [MPa], dla którego ciężar objętościowy gruntu wyznaczony został zgodnie z klasyfikacją Robertsona SBT [2].

Zgodnie z rys. 6b na całym przebiegu głębokości obie korelacje (5) i (6) dostarczają zbliżonych wyników. Do głębokości 8 m p.p.t. większe wartości I_D określono korelacją Lancellotta, a poniżej korelacją Borowczyka. Największe różnice występują do głębokości około 4,5 m. Poniżej tej głębokości wy-



3. a) Przebieg rejestracji N_{10DPH} dla czterech pomiarów DPH; b) Średnia wartość pomiarów bez uwzględnienia wpływu wody gruntowej $N'_{10DPHsr}$



4. Przebieg zmienności stopnia zagęszczenia względem N_{10DPH}

Tab. 1. Zestawienie stanów zagęszczenia z odpowiadającymi im przedziałami N_{10DPH}

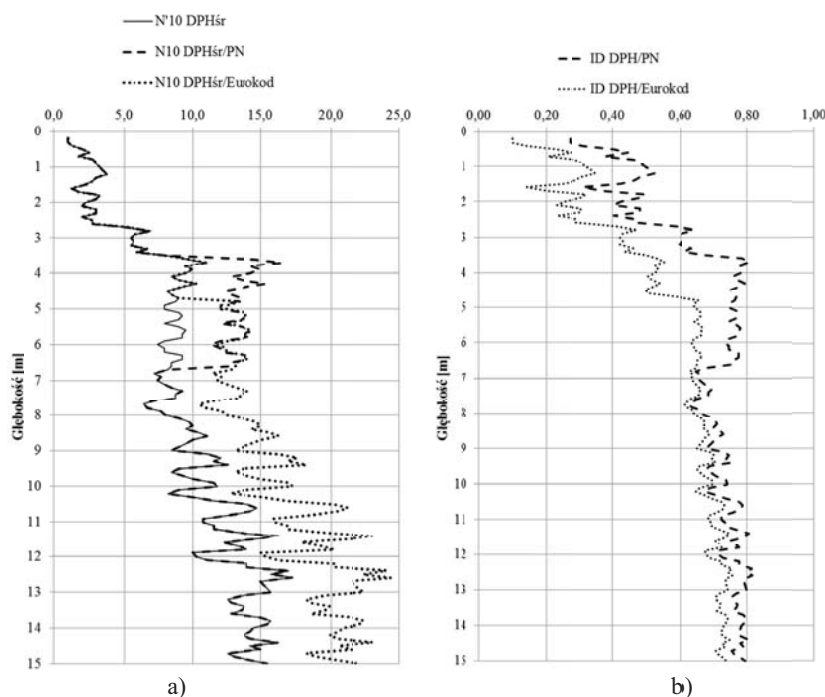
I_D	Stan zagęszczenia wg PN/EN ISO	N_{10DPH} wg Eurokod 7 równanie (2)	N_{10DPH} wg Eurokod 7 równanie (3)	N_{10DPH} wg PN-B-04452:2002 równanie (1)
$0 \div 0,15$	bardzo luźny	$0 \div 1,3$	$0 \div 0,6$	$0 \div 0,5$
$0,15 \div 0,35$	luźny	$1,3 \div 3,8$	$0,6 \div 2,1$	$0,5 \div 1,5$
$0,35 \div 0,65$	średnio zagęszczony	$3,8 \div 18,4$	$2,1 \div 12,7$	$1,5 \div 7,2$
$0,65 \div 0,85$	zagęszczony	$18,4 \div 53,0$	$12,7 \div 42,8$	$7,2 \div 20,6$
$0,85 \div 1,00$	bardzo zagęszczony	$53,0 \div 117,2$	$42,8 \div 106,2$	$20,6 \div 45,0$

ki zwiększają się rozwiązania wzrastają wraz z głębokością od wartości średniej $I_D=0,76$ do wartości średniej $I_D=0,88$ na głębokości 15 m p.p.t. W strefie tej jednoznacznie można określić, iż grunt gruboziarnisty jest w stanie zagęszczonym zgodnie z PN/EN ISO [8].

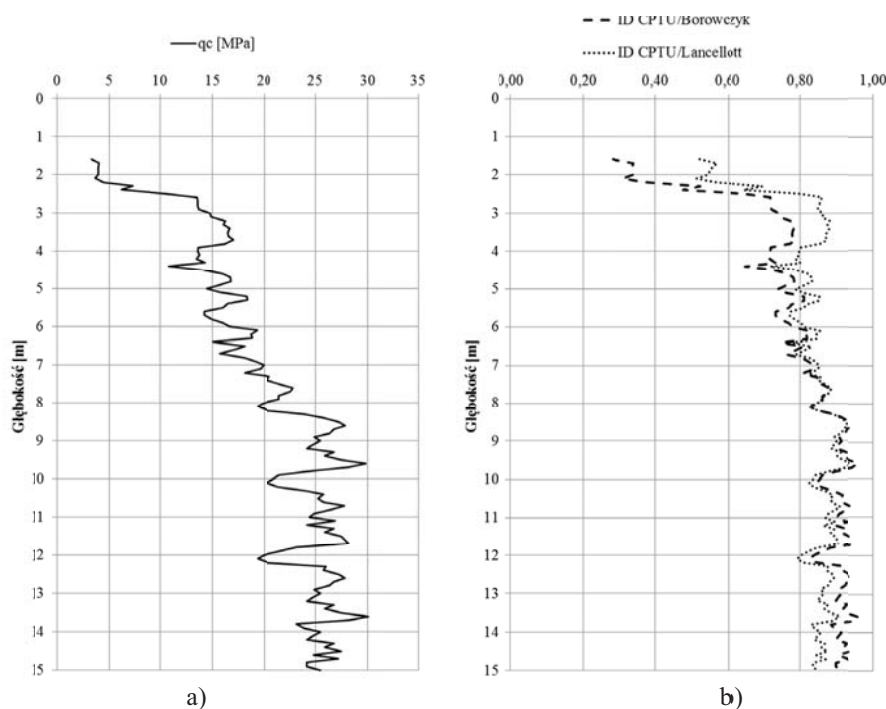
Bazując na rozwiązaniu przedstawionym na rys. 6 wykonano wykres 7 przedstawiający graficznie zmienność stopnia zagęszczenia I_D względem oporu stożka q_c . Szarymi punktami zaznaczone są wielkości otrzymane dla omawianego przykładu zgodnie z (6). Drobny wykropkowaniem zaprezentowano linię trendu ustalającą korelację pomiędzy I_D i q_c (7) uzyskaną wtórnie z rozwiązania Lancellotta przy współczynniku determinacji R^2 równym 0,881.

$$I_D = 0,164 \cdot \ln q_c + 0,354 \quad (7)$$

Korelacje Borowczyka (5) i Lancellotta (7) wykorzystują pomiary oporu penetracji stożka q_c . Nie uwzględniają wpływu na mierzoną wielkość q_c ciśnienia porowego wody rejestrowanego podczas badania w postaci wartości u_z . W sposób pośredni w równaniu (7) jest jednak uwzględniony wpływ na rejestrowaną wielkość q_c naprężeń pierwotnych efektywnych (σ'_{v0}), przy których ustaleniu uwzględnione zostało hydrostatyczne ciśnienie wody gruntowej. Dodatkowo, chcąc uchwycić wpływ wody na wyznaczaną wartość I_D , zachodzi możliwość użycia we wzorach (5) i (7) w miejsce wartości q_c wartości skorygowanego oporu penetracji $q_t = q_c + (1-a) \cdot u_z$,



5. a) Przebieg z głębokością średniej wartości pomiarów N_{10DPHr} z uwzględnieniem wpływu wody gruntowej; b) Przebieg zmienności z głębokością stopnia zagęszczenia I_D wg badania DPH



6. a) Przebieg z głębokością wartości q_c ; b) Przebieg zmienności z głębokością stopnia zagęszczenia I_D wg badania CPTU

gdzie a to parametr uzależniony od budowy piezostózka. Uwzględnienie tej zmiany spowoduje wzrost klasycznie określanych wartości I_D dla metody Borowczyka o 0,023%, natomiast dla metody Lancellotta o 0,002%.

Wnioski i analiza porównawcza oceny stopnia zagęszczenia

Do oceny stanu zagęszczenia gruntu wykorzystano zarówno sondowania dynamiczne DPH jak i sondowania statyczne CPTU. Za-

stosowano korelacje interpretacyjne zgodne z Eurokodem 7 [7] i PN [5] dla badania DPH oraz zgodne z PN [5] i korelacją Lancellotta [2] dla CPTU. Na rys. 8 zaprezentowano zmienne z głębokością średnie wartości I_D otrzymane osobno różnymi technikami dla badań DPH i CPTU. W całym przekroju głębokości stopień zagęszczenia uzyskany za pomocą badania CPTU jest większy od stopnia zagęszczenia z badania DPH.

Do głębokości około 3,5 m p.p.t. w strefie gruntu zasypowego stopień zagęszczenia

szybko wzrasta z głębokością. Poniżej głębokości posadowienia wartość I_D nadal rośnie, lecz już łagodniej. W tym obszarze do głębokości 15 m p.p.t. średnia wartość I_{DPH} wynosi 0,71 wraz z odchyleniem standardowym 0,04, natomiast I_{DCPTU} wynosi 0,86, a odchylenie standardowe 0,05. Grunt gruboziarnisty w postaci pospółek można ostatecznie zakwalifikować do gruntów w stanie zagęszczonym, a lokalnie na pograniczu stanu zagęszczonego i bardzo zagęszczonego.

Rozbudowana analiza stanu zagęszczenia z sondowań dynamicznych DPH oraz statycznych CPTU pozwoliła określić korelację pomiędzy stopniami zagęszczenia uzyskanymi z obu technik pomiaru *in situ* (rys. 9). Najlepsze wpisanie w wyniki uzyskała funkcja potęgowa (8) przy współczynniku determinacji R^2 wynoszącym 0,73.

$$I_{DDPH} = 0,82 \cdot (I_{DCPTU})^{1,12} \quad (8)$$

Chcąc uchwycić korelację pomiędzy I_{DDPH} i I_{DCPTU} określono również współczynnik korelacji liniowej Pearsona, który w tym przypadku wyniósł 0,82, a funkcja regresji liniowej uzyskała postać:

$$I_{DDPH} = -0,03 + 0,84 \cdot I_{DCPTU} \quad (9)$$

Wynik ten pozwala wnioskować, że stopnie zagęszczenia otrzymane różnymi technikami są w zadowalającym stopniu ze sobą skorelowane, czyli mają podobny charakter wzrostu wraz z oporami zagłębiania stożków pomiarowych. Dodatkowo dla rozpatrywanego przypadku ustalono, iż wartości stopnia zagęszczenia wyznaczone z badania statycznego CPTU są średnio o 20% większe od stopnia zagęszczenia otrzymanego z badania DPH.

Różnice interpretacyjne wartości stopnia zagęszczenia I_D wyznaczonego na podstawie sondowania dynamicznego oraz statycznego wykazali również Ura i Tarnawski [13]. W ich przypadku stopień zagęszczenia ustalony z sondowań statycznych CPT był większy od stopnia zagęszczenia z badania dynamicznego DPH powyżej wartości I_D równej około 0,6. Poniżej tej wartości większe wartości I_D określone zostały na podstawie sondowania dynamicznego. Rozwiązanie to różni się od otrzymanych wyników, gdzie dla całego zakresu wartości stopnia zagęszczenia $I_{DCPTU} > I_{DDPH}$ (rys. 9). Należy jednak zwrócić uwagę, że różne wnioski mogą wynikać z zastosowania różnych technik pomiarowych sondowania dynamicznego ciężkiego DPH i bardzo ciężkiego DPH. Podobnie w stosunku do sondowań statycznych CPT oraz sondowania z zastosowaniem piezostózka CPTU. Różnice pomiarowe konsekwentnie musiały bowiem wpłynąć na uzyskanie zróżnicowanych wniosków interpretacyjnych.

Stosowanie różnych technik pomiarowych determinuje zastosowanie konkretnych zależności interpretacyjnych. Rzadko dla rozpoznania

nia konkretnej cechy gruntu stosowanych jest kilka technik pomiarowych. Rodzi to bezkrytyczną akceptację wyniku interpretacyjnego wykonanego z użyciem konkretnej techniki pomiarowej. W pracy wykazano jak bardzo mogą się od siebie różnić wartości stopnia zagęszczenia ustalone na podstawie pomiaru sondą dynamiczną DPH oraz statyczną CPTU. Dlatego wskazane jest, aby dla uniknięcia błędów interpretacyjnych, stosować różne techniki pomiarowe jednocześnie. Czyli dla uściślenia wartości stopnia zagęszczenia powinno się zastosować bądź dwa sondowania dynamiczne o różnej masie młota, bądź sondowania statyczne i dynamiczne. Reguła ta powinna obowiązywać również przy wyznaczaniu innych cech gruntu określanych pośrednio na podstawie badań geotechnicznych.

Rzetelne wyniki pomiarowe i interpretacyjne nie powinny podlegać ingerencji poprzez ich zawyżanie lub zaniżanie. W ten sposób zgodnie z zaleceniem Eurokodu 7 otrzymane wyprowadzone parametry geotechniczne mogą posłużyć pozyskaniu wartości charakterystycznych, jako **ostrożne oszacowanie wartości decydującej o wystąpieniu stanu granicznego** [6]. Projektant, otrzymując dokumentację geotechniczną, sam dokonuje wyboru charakterystycznych wartości parametrów geotechnicznych. Czasami są to wartości minimalne, a czasami maksymalne. Podczas wyboru najniekorzystniejszych wartości powinien kierować się głównie bezpieczeństwem obiektu budowanego i dołożyć wszelkich starań rzetelnej oceny sytuacji geotechnicznej. ◀

Materiały źródłowe

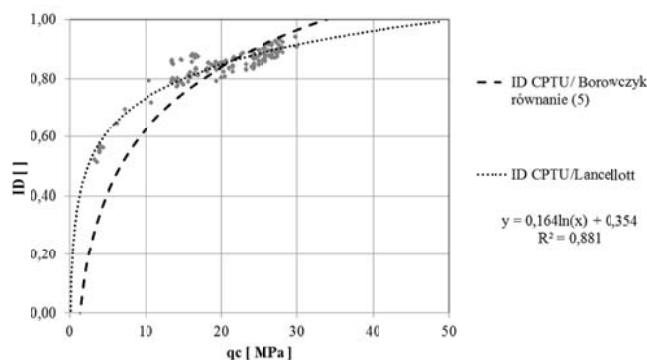
- [1] Bagińska I.: Analiza rozpoznania geotechnicznego gruntu sondą statyczną CPTU i sondą dynamiczną DPH, Inżynieria Morska i Geotechnika – Zgłoszony do druku w 2014.
- [2] Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M.: Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, 1997.
- [3] Młynarek Z., Tschuschke W., Wierzbicki J.: Klasyfikacja gruntów podłoża budowlanego metodą statycznego sondowania. XI Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania. Geotechnika w budownictwie i transporcie. 25-27 czerwca 1997.
- [4] PKN_CEN ISO/TS 17892-4:2009 Badania geotechniczne - Badania laboratoryjne gruntów - Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego
- [5] PN-B-04452:2002. Geotechnika-Badania polowe.
- [6] PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne - Część 1: Zasady ogólne
- [7] PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7 Projektowanie geotechniczne - Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego
- [8] PN EN ISO 14688-2:2006. Badania geo-

- [9] PN-EN ISO 22476-1:2013-03 Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 1: Badania sondą statyczną ze stożkiem elektrycznym oraz piezo-elektrycznym
- [10] PN-EN ISO 22476-2:2005 Rozpoznanie i badania geotechniczne -- Badania polowe -- Część 2: Sondowanie dynamiczne
- [11] Robertson P. K.: Soil behaviour type from

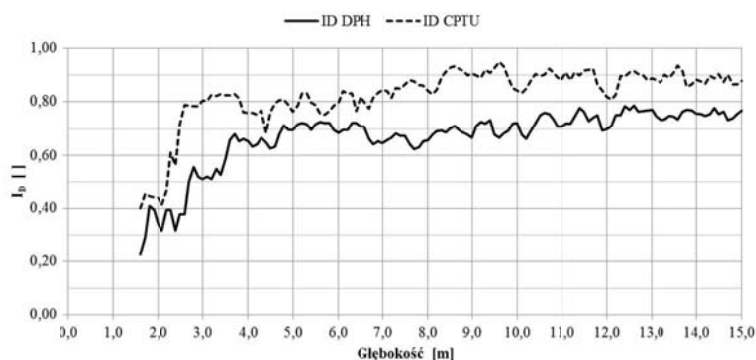
the CPT: an update. 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, USA, 9-11 may 2010.

- [12] Sikora Z.: Sondowanie statyczne metody i zastosowanie w geoinżynierii, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.

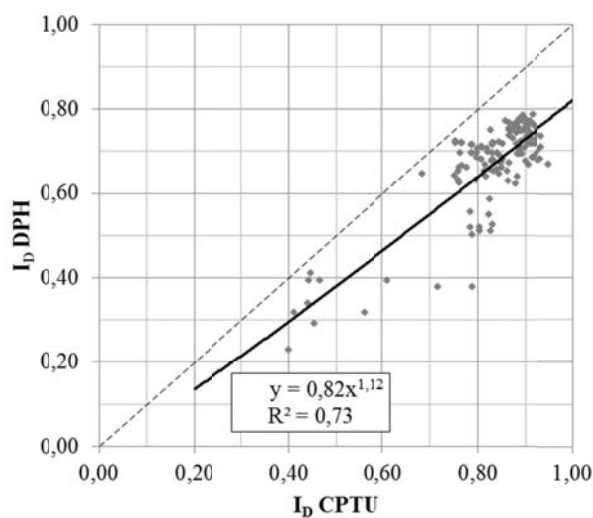
- [13] Ura M. Tarnawski M.: Porównanie wyników sondowań statycznych CPT i dynamicznych DPSH w gruntach niespoistych, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 1/2012.



7. Przebieg zmienności stopnia zagęszczenia I_b względem q_c



8. Przebieg z głębokością wartości stopnia zagęszczenia ustalonego z badań DPH i CPTU



9. Korelacja pomiędzy stopniem zagęszczenia ustalonym z badań DPH i CPTU

techniczne - Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów-Część 2: Zasady klasyfikowania.

- [9] PN-EN ISO 22476-1:2013-03 Rozpoznanie i badania geotechniczne. Badania polowe. Część 1: Badania sondą statyczną ze stożkiem elektrycznym oraz piezo-elektrycznym
- [10] PN-EN ISO 22476-2:2005 Rozpoznanie i badania geotechniczne -- Badania polowe -- Część 2: Sondowanie dynamiczne
- [11] Robertson P. K.: Soil behaviour type from

the CPT: an update. 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, USA, 9-11 may 2010.

- [12] Sikora Z.: Sondowanie statyczne metody i zastosowanie w geoinżynierii, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.

- [13] Ura M. Tarnawski M.: Porównanie wyników sondowań statycznych CPT i dynamicznych DPSH w gruntach niespoistych, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 1/2012.