

Badania nośności pali wierconych metodą dynamiczną

Dr inż. Tadeusz Brzozowski

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Geotechniki i Geologii Stosowanej

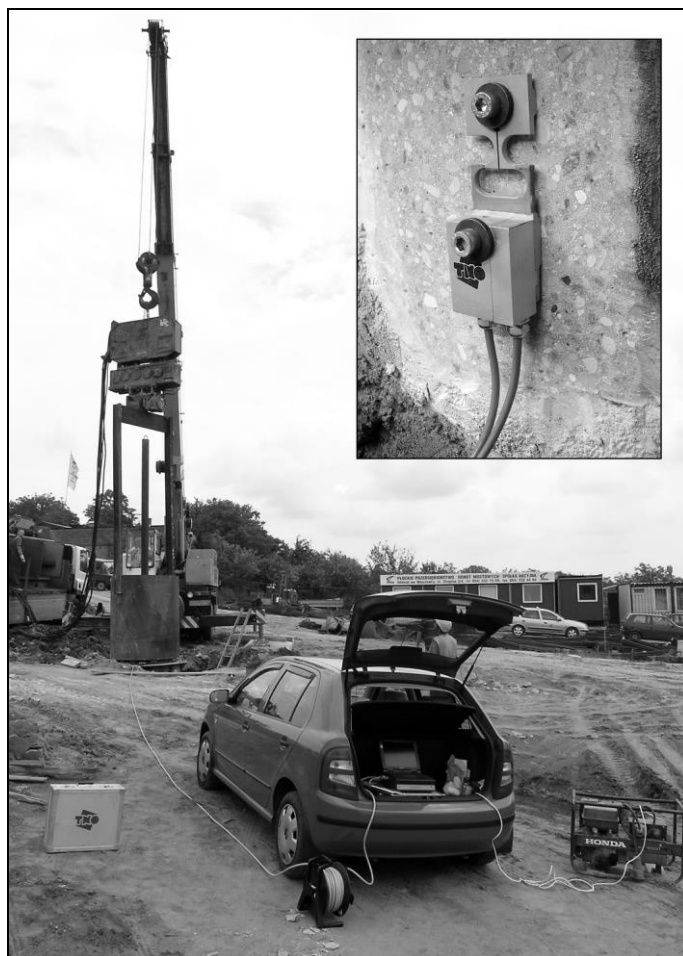
Metoda wysoko-odkształceniowych badań dynamicznych stosowana jest na świecie najczęściej dla pali wbijanych. Można ją również wykorzystać dla pali wykonywanych w gruncie. Stosuje się ją zarówno w badaniach pali konstrukcji lądowych, hydrotechnicznych jak i morskich. Metoda stosowana jest w Polsce praktycznie od 2001 r. (nie licząc pierwszych dwóch badań wykonanych w Gdyni w 1999 r.).

W niniejszym artykule przedstawiono analizę wykonanych w kraju badań dynamicznych nośności pali wierconych w świetle próbných obciążeń statycznych. Badania przeprowadził w latach 2001-2006 zespół naukowy Katedry Geotechniki Politechniki Gdańskiej kierowany przez prof. Andrzeja Tejchmana a następnie prof. Kazimierza Gwizdałę.

Ponieważ w badaniach dynamicznych nie ma potrzeby montowania jakichkolwiek urządzeń kotwiących lub balastowych można przeprowadzić w ciągu jednego dnia nawet kilka badań nośności. W większości norm i wytycznych na świecie (np. [7], [8], [11]) zaleca się wykonać jako korelacyjne przynajmniej jedno próbne obciążenie statyczne dla kilku przeprowadzonych prób dynamicznych.

Badanie dynamiczne polega uderzeniu w głowicę pala młotem kafara lub innym ciężarem prowadzonym w prowadnicach i wywołaniu fali naprężeń. Za pomocą czujników zamontowanych poniżej specjalnie przygotowanej głowicy pala, mierzy się przyspieszenie i odkształcenie. Przenośny komputer we współpracy ze wzmacniaczem i przetwornikiem sygnałów rejestruje dane (rys. 1). Na podstawie charakterystyki podłoża i pala przygotowuje się model analityczny układu pal – grunt, który umożliwia (na podstawie wielkości zarejestrowanych w czasie uderzenia) określenie zależności obciążenie – osiadanie oraz ekwiwalentnej do statycznej nośności pala.

Niniejszy artykuł jest kontynuacją serii publikacji na temat badań dynamicznych ([1], [2], [3], [4], [5], [6]), z których dwie ukazały się na łamach Inżynierii Morskiej i Geotechniki. Z powyższego powodu pominięto szczegółowe omówienie metody, skupiając się na przedstawieniu szeregu spostrzeżeń oraz analizie badań wykonanych dla pali wierconych w porównaniu do badań statycznych.



Rys. 1. Stanowisko do badania dynamicznego pala wierconego ϕ 1500 mm. Bijak o ciężarze 92 kN wyczepiany przez wibromłot zawieszony na dźwigu. W prawym górnym rogu fotografii przedstawiono czujnik przymocowany do pala.

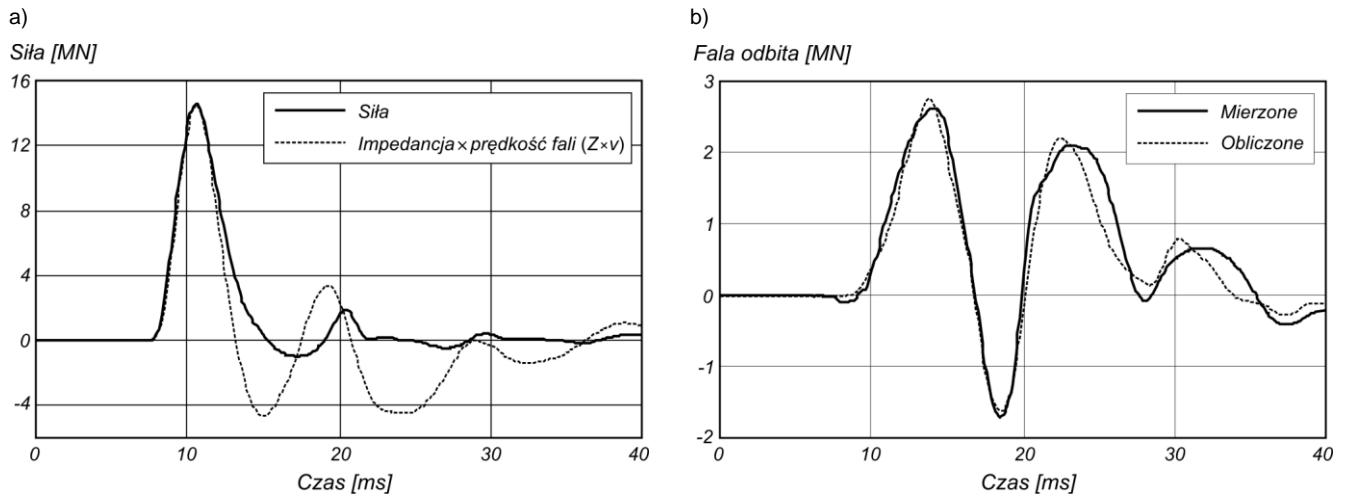
INTERPRETACJA BADAŃ

Interpretację wyników badań dynamicznych wykonuje się za pomocą programów komputerowych opracowanych przy założeniu kilku różnych modeli układu pala-grunt. Wszystkie analizy nośności wykonane zostały metodą pośrednią TNODLT (patrz np. [2] i [4]).

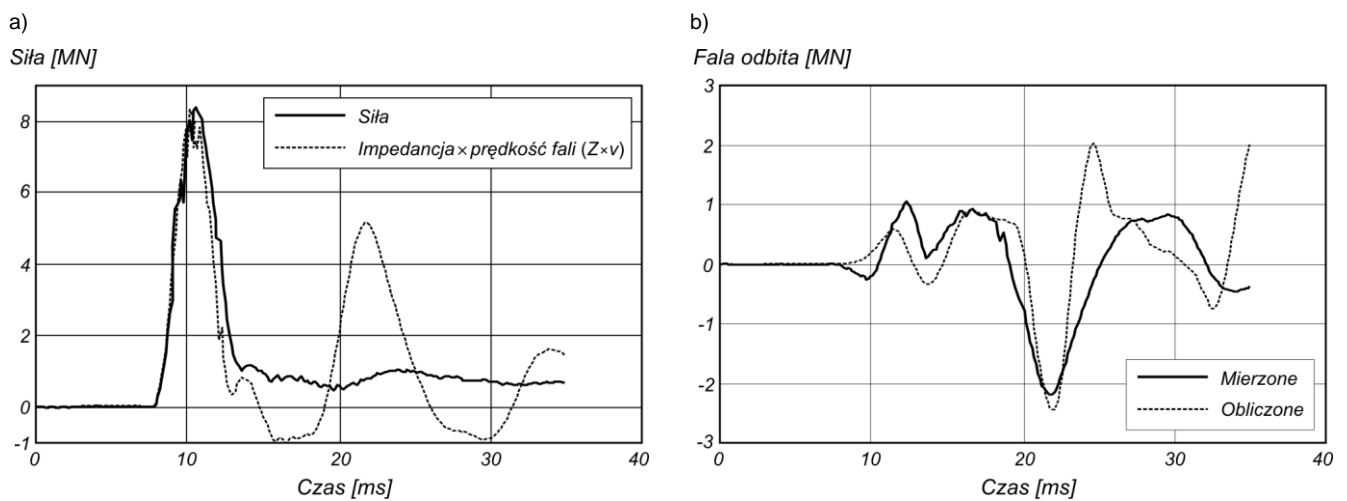
Interpretacja badań dynamicznych jest szczególnie trudna gdy pomierzone sygnały są zakłócone (zniekształcone). W przypadku badań pali wierconych dużych średnic podstawowymi przyczynami takich zakłóceń są:

- źle wykonana głowica lub styk pala z głowicą,
- niejednorodność struktury betonu w trzonie i/lub głowicy pala,
- niewłaściwy poziom zamocowania czujników,
- nieosiowe uderzenie ciężaru w głowicę.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono wyniki interpretacji niezakłóconego (rys. 2) i zakłóconego sygnału (rys. 3). O jakości i jednocześnie wiarygodności wyników interpretacji świadczy dokładność dopasowania sygnałów pomierzonych i obliczonych przedstawionych na przykład za pomocą wykresu fali powracającej (odbitej od podstawy pała) w funkcji czasu.

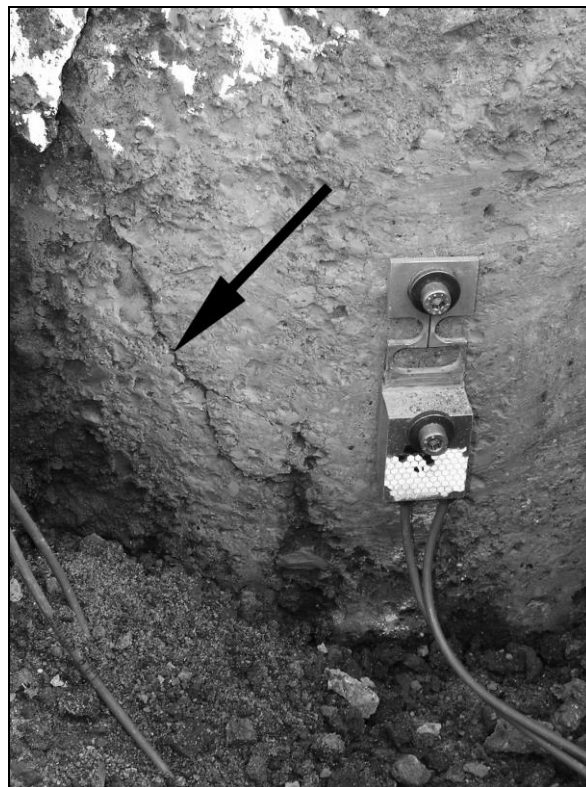


Rys. 2. Interpretacja niezakłóconego sygnału dla pała wierconego ϕ 1000 mm, $L = 15,4$ m:
 a) wykres siły i prędkości (pomnożonej przez impedancję) w funkcji czasu,
 b) wykres fali odbitej (*upward wave*) w funkcji czasu.



Rys. 3. Interpretacja zakłóconego sygnału dla pała wierconego ϕ 1200 mm, $L = 22,0$ m:
 a) wykres siły i prędkości (pomnożonej przez impedancję) w funkcji czasu,
 b) wykres fali odbitej (*upward wave*) w funkcji czasu.

Doświadczenia zdobyte w czasie dotychczas wykonanych badań pozwalają stwierdzić, że główną przyczyną zniekształceń mierzonych sygnałów są pęknięcia powstające w głowicy lub bezpośrednio pod głowicą (rys. 4 i 5). O ile nieosiowe uderzenie oraz niepoprawne zamocowanie czujników można podczas badania wyeliminować, to w przypadku pęknięć sytuacja jest znacznie trudniejsza. Zamocowanie czujników w innych punktach jedynie wydłuża czas badania i w większości przypadków nie przynosi żadnego efektu ponieważ większość powstających pęknięć można zauważyć dopiero po dokładnym skuciu powierzchni pała.



Rys. 4. Pęknięcie w rejonie zamocowania czujnika Rys. 5. Pęknięcie powierzchniowe obok czujnika

Bezpośrednią przyczyną pęknięć jest uderzenie bijaka w głowicę pala. Jednak do wywołania pęknięcia trzonu pala wielkośrednicowego, wykonanego obecnie z betonu minimum B25, potrzebne byłoby bardzo nieosiowe uderzenie!

Jedną z ważnych przyczyn może być „słabszy” beton w górnej części pala spowodowany na przykład wymiesaniem zwiercin gruntu z mieszanką betonową. W przypadku betonowania metodą „kontraktor” zanieczyszczenia pochodzą mogą nawet z okolic podstawy pala. Jest to efekt nie zachowania reżimu technologicznego w postaci krótkiego nadbetonowywania trzonów pali lub też braku usuwania zwiercin gruntu z powierzchni mieszanki betonowej.

Już w trakcie przygotowania powierzchni i wiercenia otworów pod czujniki można z łatwością stwierdzić z jakiej jakości betonem mamy do czynienia. Obserwacje dotyczące jakości betonu pozwoliły na skorygowanie porównania badań statycznych i dynamicznych, które przedstawiono poniżej.

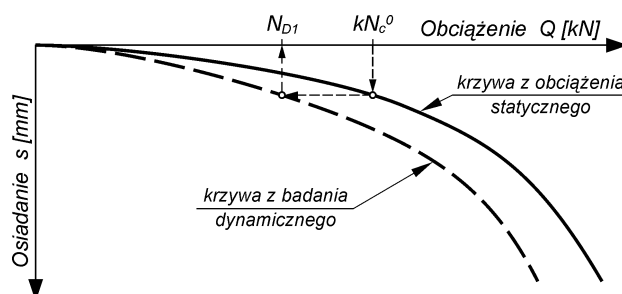
PORÓWNANIE BADAŃ DYNAMICZNYCH I STATYCZNYCH

Do porównania wyników badań dynamicznych z obciążeniami statycznymi wybrano wyniki 36 badań dynamicznych, dla których w bezpośrednim sąsiedztwie wykonano



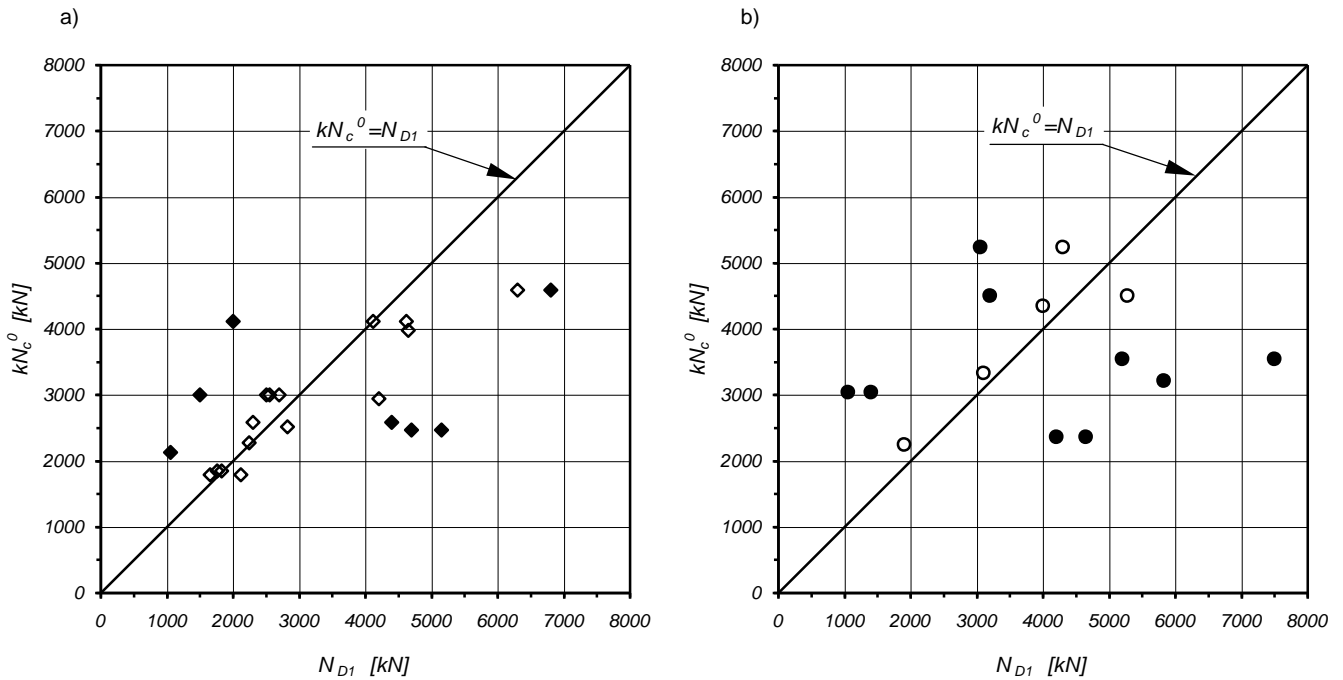
korelacyjne badania statyczne. Pale badano na kilkunastu obiektach budowlanych w kraju (mostach i wiaduktach), z których część została opisana w poprzednich publikacjach na ten temat ([1], [2], [3], [4], [5]). Z ogólnej liczby 36 pali 32 pale były palami wierconymi o średnicach 800, 1000, 1200 i 1500 mm wykonanymi w rurach obsadowych, 2 pale CFA o średnicy 800 mm i 2 pale CFA o średnicy 1000 mm. W gruntach niespoistych zakończono 22 pale a w gruntach spoistych 14 pali.

Analizę krzywych obciążenie-osiadanie, w odniesieniu do nośności otrzymanej na podstawie badań dynamicznych wykonano zakładając, że wartość nośności z krzywej Q-s otrzymanej na podstawie badania dynamicznego N_{D1} odpowiada osiadanemu dla nośności z próbnego obciążenia statycznego (kN_c^0), zinterpretowanego wg PN-83/B-02482 [10] (patrz rys. 6).



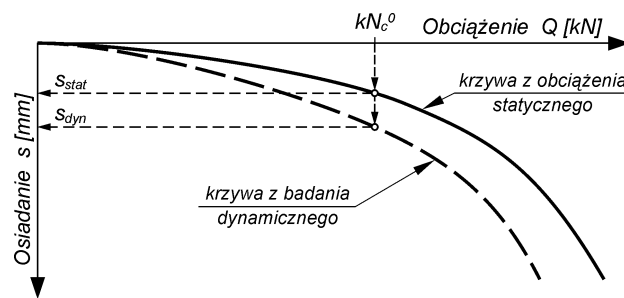
Rys. 6. Sposób określania wartości N_{D1}

Dla tak przyjętego założenia otrzymano dla wszystkich analizowanych pali zależność przedstawioną na rysunku 7. Pale zakończone w gruntach niespoistych i spoistych zestawiono osobno. Na wykresach punkty zaczernione odpowiadają badaniom, w których zaobserwowano problemy z jakością betonu pod głowicą. Po odrzuceniu wymienionych punktów otrzymano bardzo dobrą korelację liniową (również dla pali zakończonych w gruntach spoistych).

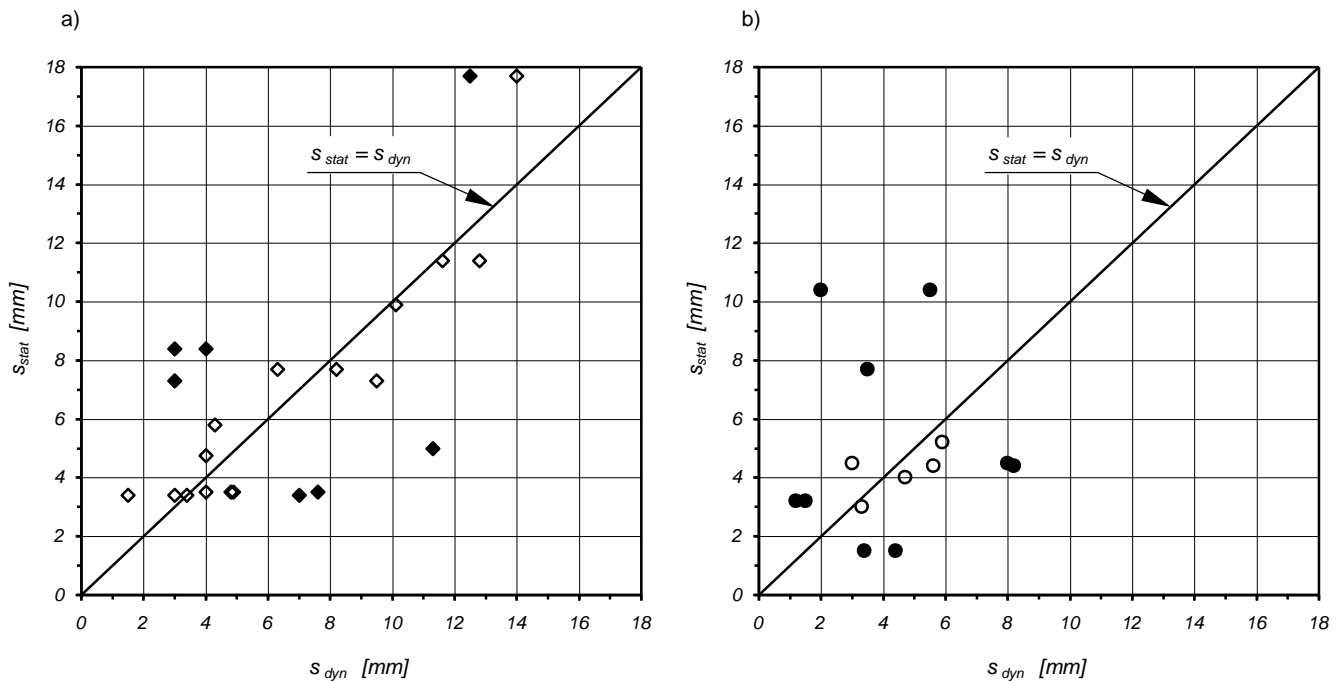


Rys. 7. Porównanie wyników obciążeń statycznych i badań dynamicznych (nośności):
 a) pale zakończone w gruntach niespoistych, b) pale zakończone w gruntach spoistych.

Na rysunku 9 przedstawiono analizę krzywych obciążenie-osiadanie w odniesieniu do osiadania pali. Porównano osiadania z krzywych obciążenie-osiadanie odpowiadające nośności z próbnego obciążenia statycznego (kN_c^0), zinterpretowanego wg PN-83/B-02482 [10] (patrz rys. 8). Pale zakończone w gruntach niespoistych i spoistych zestawiono osobno. Podobnie jak na rys. 7 punkty zaczerpnięte odpowiadają badaniom, w których wystąpiły problemy z jakością betonu.



Rys. 8. Sposób określania wartości s_{stat} i s_{dyn}



Rys. 9. Porównanie wyników obciążeń statycznych i badań dynamicznych (osiadania):
 a) pale zakończone w gruntach niespoistych, b) pale zakończone w gruntach spoistych.

PODSUMOWANIE

Podstawową zaletą metod dynamicznych badania nośności pali jest wyeliminowanie urządzeń kotwiących oraz krótki czas potrzebny do przeprowadzenia badania. Metodę dynamiczną docenić można szczególnie w przypadku, gdy warunki techniczne lub terenowe utrudniają lub wręcz uniemożliwiają przeprowadzenie próbnego obciążenia statycznego.

Jak już wspomniano, wysoko-odkształceniowe badania dynamiczne należy kalibrować za pomocą próbnego obciążenia statycznego, traktowanego jako badanie odniesienia, dla danego obszaru posadowienia.

Porównanie krzywych obciążenie-osiadanie otrzymanych z badań dynamicznych z krzywymi z próbnymi obciążeniami statycznymi wykazuje bardzo dobrą korelację liniową w zakresie obciążeń bliskich nośności kN_c^0 pod warunkiem odrzucenia badań, których wyniki zostały zakłócone.

Niewystarczająca jak dotychczas liczba badań powoduje, że nie można rozpatrywać korelacji w ujęciu ilościowym, jednak prowadzone badania dynamiczne pozwalają przypuszczać, że otrzymanie takich korelacji będzie możliwe w ciągu najbliższych lat. Prowadzone od kilku lat prace badawcze mają na celu opracowanie polskich zaleceń i standardów do nowej normy palowej.



LITERATURA

- [1]. Brzozowski T., Blockus M.: Badania dynamiczne pali. Seminarium „Zagadnienia posadowień na fundamentach palowych”. Gdańsk, 25 czerwca 2004. s. 111-124.
- [2]. Brzozowski T., Blockus M.: Warunki prawidłowego wykonania badań dynamicznych. Inżynieria Morska i Geotechnika 6/2004. s. 300-307.
- [3]. Gwizdała K.: Kontrola nośności pali i jakości robót palowych. W: Materiały Seminarium Fundamenty Palowe i Specjalne. Warszawa, 2 marca 2004 r. s. 37-62.
- [4]. Tejchman A., Gwizdała K., Brzozowski T., Blockus M., Słabek A.: Dynamiczne badania nośności pali wierconych. 13 Krajowa Konf. MGIF. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, 2003, Budownictwo z. 97, s.279-294.
- [5]. Tejchman A., Gwizdała K., Brzozowski T., Blockus M.: Określanie nośności pali wierconych na podstawie badań dynamicznych. Inżynieria i Budownictwo, Nr 12/2002.
- [6]. Tejchman A., 2000: Badania dynamiczne pali. Inżynieria Morska i Geotechnika. 6/2000. s. 325–330.
- [7]. ASTM, (November 2000): D 4945: Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles.
- [8]. EN 1997-1: 2004, Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Zasady ogólne.
- [9]. PN-EN 1536: 2000. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Pale wiercone.
- [10]. PN-83/B-02482. Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.
- [11]. Recommendations for static and Dynamic Pile Tests. German Society for Geotechniques. Germany, June 1998.

BRZozowski T.: Wysoko-odkształceniowe badania dynamiczne nośności pali wierconych.

Analiza badań dynamicznych (DLT) pali wierconych. Zależność między wynikami próbnymi obciążeń statycznych (SLT) oraz wynikami badań dynamicznych przeprowadzonych na kilkunastu obiektach mostowych w Polsce.

BRZozowski T.: High Strain Dynamic Load Testing of Bored Piles.

Analysis of High Strain Dynamic Load Testing of bored piles. Relation between results of static load (SLT) and dynamic tests (DLT) executed on several bridge structures in Poland.

