

## **Badania nośności pali wierconych metodą dynamiczną**

Dr inż. Tadeusz Brzozowski

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

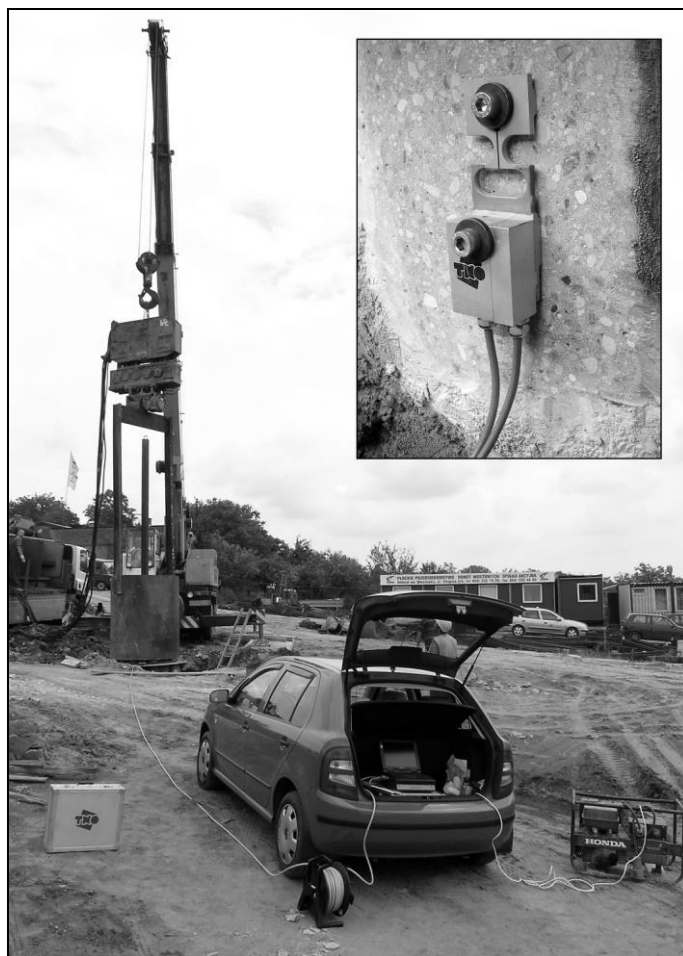
Metoda wysoko-odkształceniowych badań dynamicznych stosowana jest na świecie najczęściej dla pali wbijanych. Można ją również wykorzystać dla pali wykonywanych w gruncie. Stosuje się ją zarówno w badaniach pali konstrukcji lądowych, hydrotechnicznych jak i morskich. Metoda stosowana jest w Polsce praktycznie 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  $\phi$  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

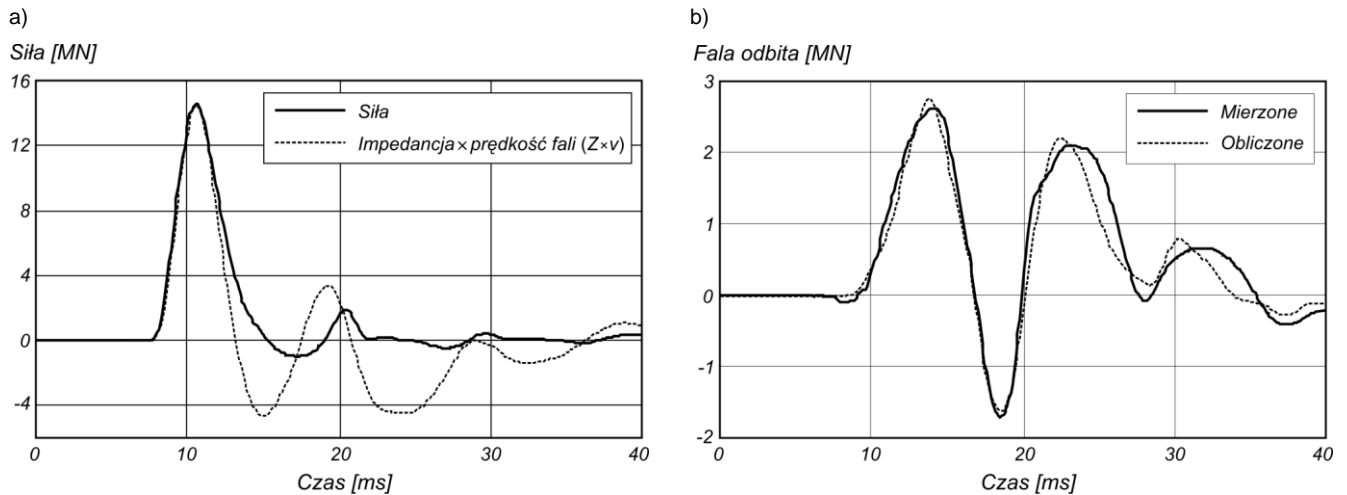
Interpretację wyników badań dynamicznych wykonuje się za pomocą programów komputerowych opracowanych przy założeniu kilku różnych modeli układu pala-grunt. Wszystkie analizy nośności wykonane zostały metodą pośrednią TNODLT (patrz np. [2] i [4]).

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

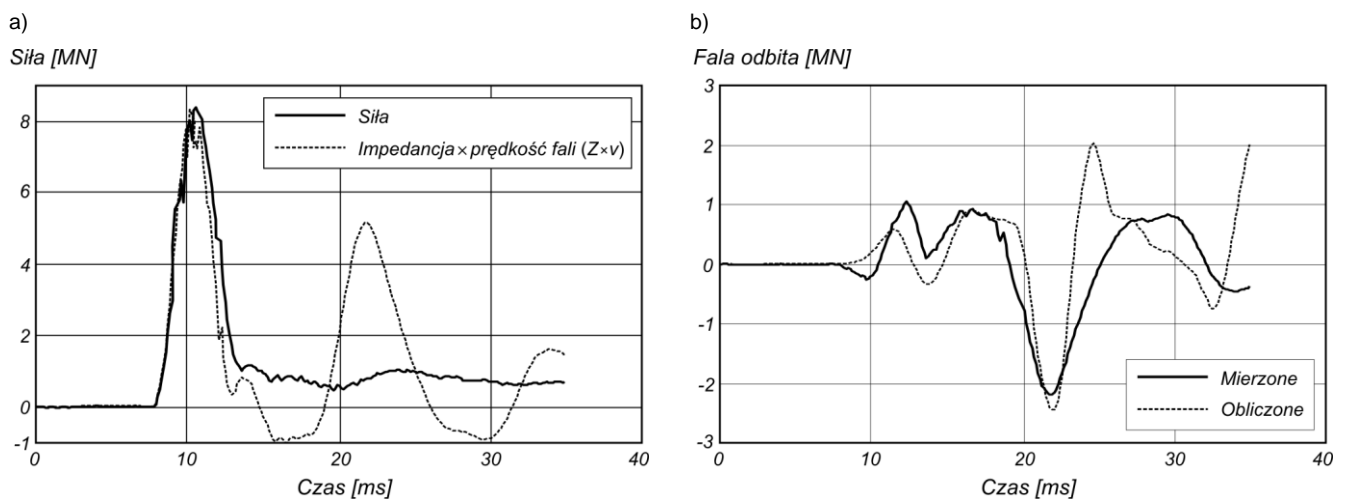
- źle wykonana głowica lub styk pala z głowicą,
- niejednorodność struktury betonu w trzonie i/lub głowicy pala,
- niewłaściwy poziom zamocowania czujników,
- nieosiowe uderzenie ciężaru w głowicę.



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.

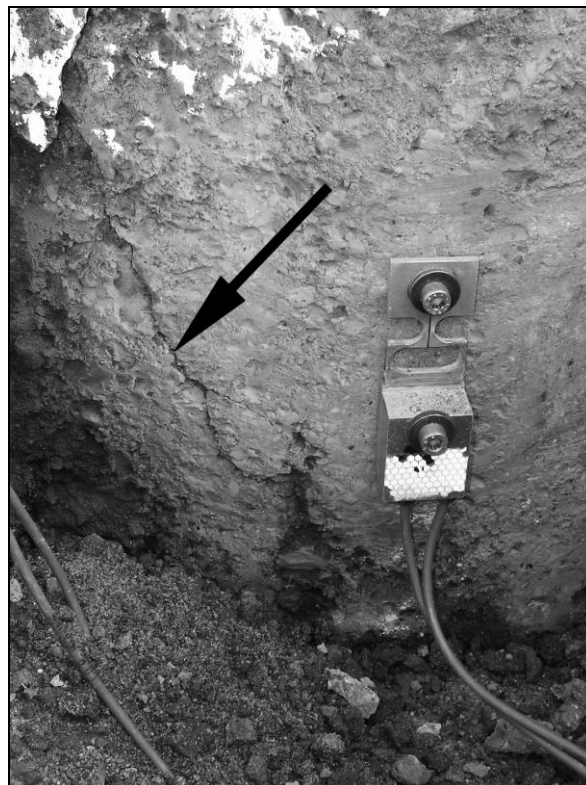


Rys. 2. Interpretacja niezakłóconego sygnału dla pała wierconego  $\phi$  1000 mm,  $L = 15,4$  m:  
 a) wykres siły i prędkości (pomnożonej przez impedancję) w funkcji czasu,  
 b) wykres fali odbitej (*upward wave*) w funkcji czasu.



Rys. 3. Interpretacja zakłóconego sygnału dla pała wierconego  $\phi$  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.

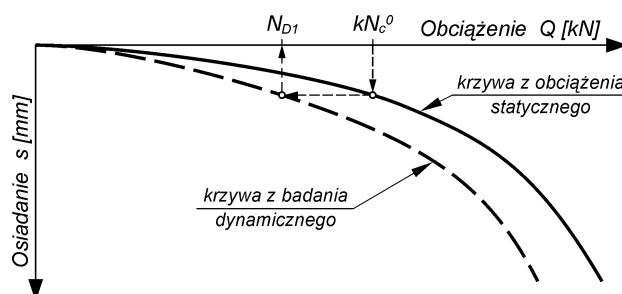
#### **PORÓWNANIE BADAŃ DYNAMICZNYCH I STATYCZNYCH**

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



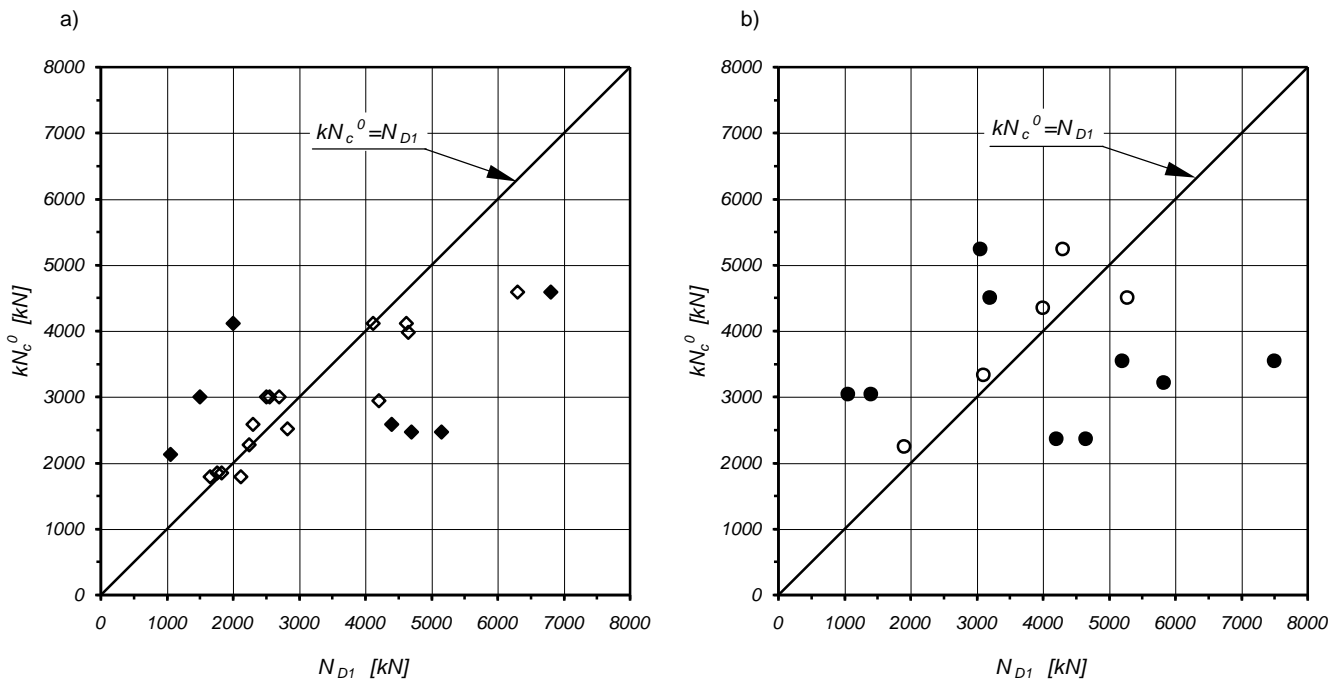
korelacyjne badania statyczne. Pale badano na kilkunastu obiektach budowlanych w kraju (mostach i wiaduktach), z których część została opisana w poprzednich publikacjach na ten temat ([1], [2], [3], [4], [5]). Z ogólnej liczby 36 pali 32 pale były palami wierconymi o średnicach 800, 1000, 1200 i 1500 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).



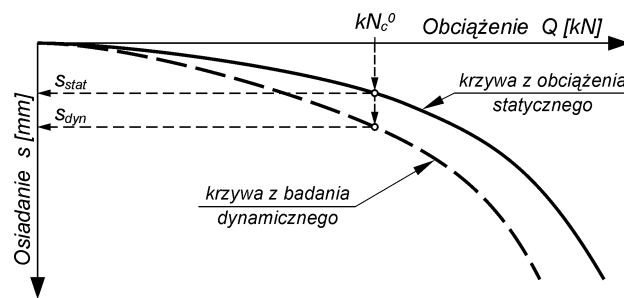
Rys. 6. Sposób określania wartości  $N_{D1}$

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).



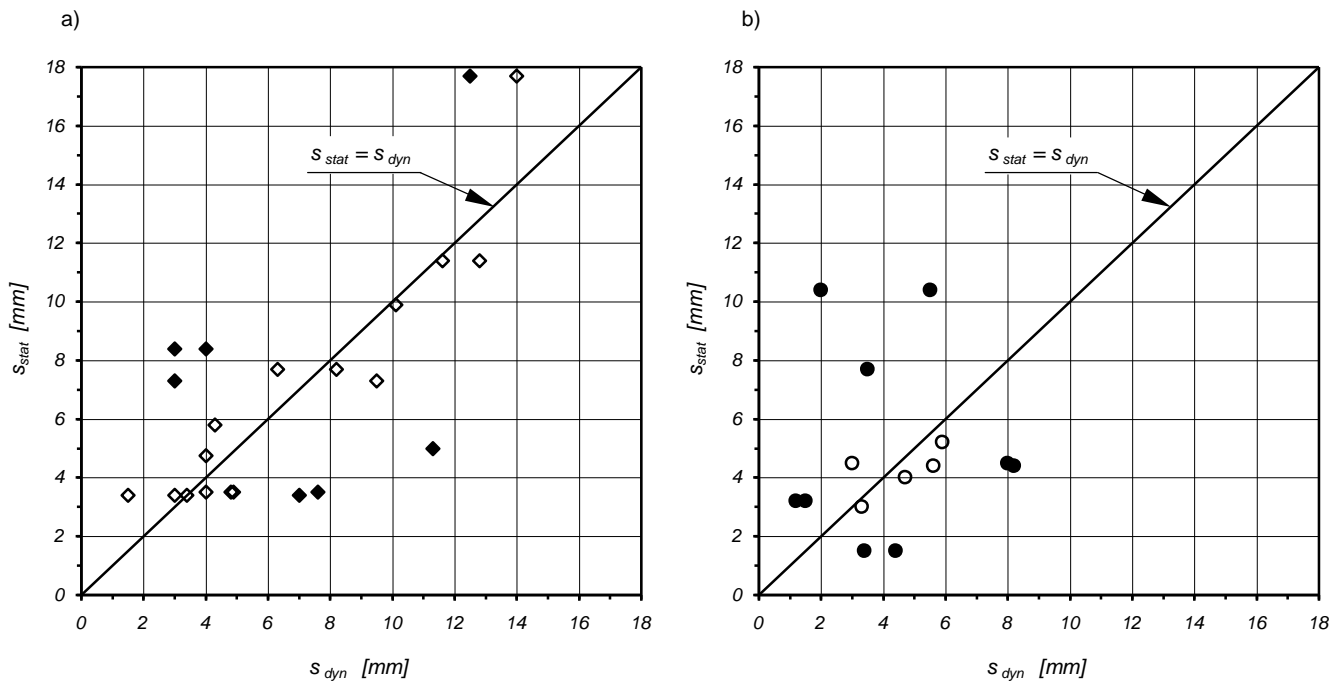
Rys. 7. Porównanie wyników obciążeń statycznych i badań dynamicznych (nośności):  
 a) pale zakończone w gruntach niespoistych, b) pale zakończone w gruntach spoistych.

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.

