

# Badania nośności pali wykonanych pod posadowienie obiektów inżynierskich Pomorskiej Kolei Metropolitalnej

tekst: mgr inż. TOMASZ RYBARCZYK, dr inż. TADEUSZ BRZOZOWSKI, Keller Polska Sp. z o.o.

Budowa 12 z blisko 40 obiektów inżynierskich Pomorskiej Kolei Metropolitalnej *Etap I – rewitalizacja Kolei Kokoszkowskiej*, których generalnym wykonawcą był Budimex SA, wymagała zastosowania posadowienia głębokiego lub wzmocnienia podłoża. Szeroki wachlarz oferowanych przez firmę Keller Polska Sp. z o.o. technologii pozwolił zoptymalizować czas oraz koszty wykonania fundamentów budowanego odcinka, łączącego Gdańsk z Lotniskiem w Rębiechowie i linią kolejową Gdynia – Kościerzyna.

Pod fundamentami obiektów inżynierskich Pomorskiej Kolei Metropolitalnej firma Keller Polska Sp. z o.o. w okresie od czerwca do października 2013 r. wykonała pod sześć obiektów łącznie 906 sztuk pali CFA o średnicy 800 mm i łącznej długości 15 200 m.b. Dwa kolejne obiekty posadowiono na żelbetowych, wbijanych palach prefabrykowanych o wymiarach 40 x 40 cm i łącznej długości 384 m.b. Pod trzema obiektami wykonano wzmocnienie za pomocą kolumn DSM o średnicy 1000 mm (ok. 3800 m.b.), a jeden obiekt posadowiono na ścianach szczelinowych (powierzchnia ok. 2100 m<sup>2</sup>).

## Zastosowane technologie palowe

Pale wiercone CFA (*Continuous Flight Auger*) oferowane przez firmę Keller Polska Sp. z o.o. wykonywane są świdrem ciągłym, bez orurowania. Wiercenie i betonowanie odbywa się w dwóch oddzielnych fazach, które następują bezpośrednio po sobie. W czasie wiercenia i betonowania dochodzi do częściowego rozparcia na boki gruntu zalegającego w podłożu, co korzystnie wpływa na nośność pali. W czasie wiercenia wewnątrz rury wypełnia się betonem i utrzymuje lekkie nadciśnienie betonu dla zapobieżenia penetracji gruntu i wody do wnętrza świdra. Po osiągnięciu projektowanej głębokości następuje faza stopniowego podciągania świdra i betonowania trzonu pała pod ciśnieniem. Betonowanie pod ciśnieniem zapewnia uzyskanie dobrego kontaktu pała z gruntem na pobocznicy. Po zakończeniu betonowania do trzonu wprowadza się zbrojenie o długości i przekroju dostosowanym do wymagań projektowych.

Do grupy pali przemieszczeniowych, które wykonuje Keller Polska Sp. z o.o., należą również wbijane pale prefabrykowane. Najczęściej wykorzystywane są przekroje żelbetowe o wymiarach 40 x 40 cm i długościach dochodzących do 15 m. Prefabrykowane pale wbijane wykorzystywane są bardzo często do posadowienia fundamentów wiaduktów. Pale te charakteryzują się wysokimi nośnościami i niewielkim osiadaniem. W trakcie wbijania pali oprócz szacowania nośności na podstawie wpędów możliwe jest również wykonywanie dynamicznych badań nośności.

## Estakada kolejowa

Na szczególną uwagę zasługuje realizacja posadowienia największego z obiektów Pomorskiej Kolei Metropolitalnej – estakady WK36. Jest to 25-prześłowa estakada kolejowa o całkowitej długości 950 m. Pod każdym z fundamentów estakady zaprojektowano od 15 do 28 sztuk pali CFA o średnicy 800 mm i długościach między 15 a 19 m. Łącznie pod obiektem WK36 wykonano 531 sztuk pali CFA 800 mm o długości 9200 m.b.



Ryc. 1. Wykonywanie pali CFA Ø 800 mm pod fundamenty obiektu WK36 Pomorskiej Kolei Metropolitalnej

## Pilotażowe badania polowe

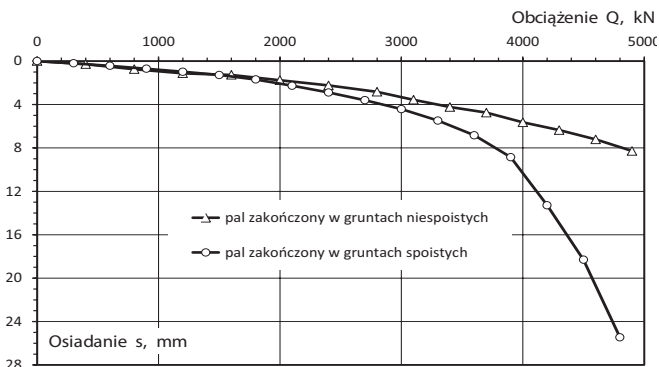
W celu weryfikacji zrealizowanych wcześniej badań geotechnicznych wykonano dodatkowo ponad 1400 m.b. uzupełniających sondowań statycznych sondą CPT oraz dwa stanowiska testowe do statycznych badań nośności pali. Pilotażowe badania statyczne przeprowadzono w pobliżu projektowanych fundamentów jednego z obiektów. Dzięki wykonaniu dodatkowych sondowań statycznych oraz dwóm próbnym obciążeniom specjalnie oprzyrządowanych pali, wykonanych w różnych



Ryc. 2. Pilotażowe próbné obciążenie statyczne

warunkach gruntowych, otrzymano dane pozwalające zweryfikować założenia i zoptymalizować rozwiązanie projektowe.

Na rycinie 3 przedstawiono wyniki pilotażowych próbnych obciążeń statycznych pali CFA o średnicy 800 mm i długości  $L = 18$  m. Podstawa jednego z pali zakończona została w gruntach niespoistych,



Ryc. 3. Wyniki pilotażowych badań nośności pali

a drugiego w spoistych. Próbné obciążenia wykonano nowoczesną metodą z zastosowaniem czujników ekstensometrycznych. Na podstawie takich badań można otrzymać rozdział krzywej obciążenie – osiadanie na krzywe oporów pobocznicy i podstawy, jak również uzyskać jednostkowe opory pali w poszczególnych gruntach.

Dzięki dużym zasobom sprzętowym firmy Keller Polska Sp. z o.o. (w pewnej chwili pracowały na budowie równocześnie cztery palownice, w tym część w systemie 24-godzinny) wszystkie prace związane ze wzmocnieniem podłoża zostały wykonane terminowo i z należytą starannością.

### Kontrola jakości wykonanych prac

W ramach kontroli powykonawczej pali oraz ścian szczelinowych przeprowadzono 21 próbnych obciążeń statycznych oraz dwa badania



Ryc. 4. Jedna z maszyn wykorzystywanych do wykonywania pali CFA 800 mm

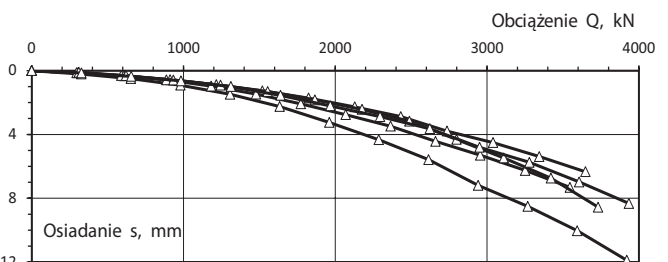
dynamyczne, w tym 19 badań nośności na palach CFA. Wykonano również jedno poziome obciążenie baret w ramach badań nośności ścian szczelinowych. Dodatkowo wykonano ponad 200 badań ciągłości pali CFA metodami PIT (*Pile Integrity Test*) oraz SIT (*Sonic Integrity Testing*). W wyniku analizy wyników powyższych badań nie stwierdzono żadnych przewężeń ani uszkodzeń trzonów pali.

Rycina 5 przedstawia badanie statyczne pala konstrukcyjnego na jednej z podpór estakady WK36. Dookoła stanowiska widoczne są skute głowice sąsiednich pali, a w tle terminal Lotniska im. Lecha Wałęsy w Rębiechowie.

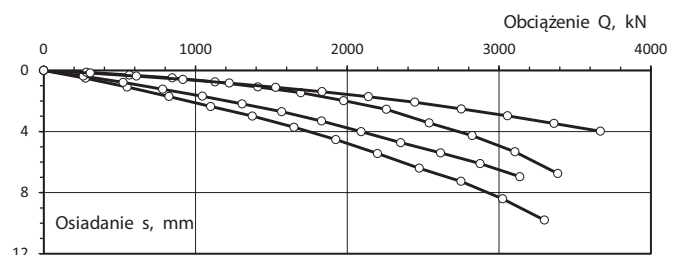


Ryc. 5. Stanowisko do badania statycznego pala konstrukcyjnego

Na rycinach 6 i 7 przedstawiono wyniki badań nośności konstrukcyjnych pali CFA o średnicy 800 mm i długości od 15,5 do 18,5 m. Wykresy krzywych obciążenie – osiadanie przedstawiono osobno dla pali, których podstawy zakończono w gruntach niespoistych, oraz osobno dla pali z podstawami w gruntach spoistych.



Ryc. 6. Wyniki badań SLT dla obiektu WK36, podstawy w gruntach niespoistych



Ryc. 7. Wyniki badań SLT dla obiektu WK36, podstawy w gruntach spoistych

### Podsumowanie

W związku z rosnącymi wymaganiami dotyczącymi jakości oraz terminowości prac poniesione nakłady na dodatkowe badania, przeprowadzane przed rozpoczęciem prac, pozwalają na optymalizację kosztów oraz czasu wykonania robót, a także na uniknięcie błędów w czasie realizacji.

Próbné obciążenia statyczne wykonane przed rozpoczęciem realizacji inwestycji pozwoliły zoptymalizować rozwiązanie projektowe przy zachowaniu wystarczającego marginesu bezpieczeństwa.

Należy pamiętać, że bardzo ważnym aspektem każdej budowy jest bezpieczeństwo i higiena pracy. Firma Keller Polska Sp. z o.o. kładzie wysoki nacisk na przestrzeganie przepisów BHP, dzięki czemu unikamy ryzyka przestojów związanych z wypadkami podczas pracy, a pracownicy mogą bezpiecznie wrócić do swoich domów.



# Geotechnika na światowym poziomie

Oferujemy pełną paletę  
technik geotechnicznych

- Geodreny i ubijanie dynamiczne (DC, DR)
  - Zagęszczanie wgłębne metodą wibroflotacji i wibrowymiany
  - Kolumny żwirowe (KSS), betonowo-żwirowe (FSS, CMM), betonowe (BRS, SDC, VDC)
- Iniekcja klasyczna, niskociśnieniowa
- Iniekcja strumieniowa Soilcrete® (jet grouting), rozpierająca Compaction Grouting i rozrywająca Soilfrac®
  - Wgłębne mieszanie gruntu na sucho (DSM\_dry) i na mokro (DSM\_wet)
- Przesłony przeciwniecki pionowe i poziome (uszczelnianie wałów przeciwpowodziowych, grobli, zbiorników, zapór, wykopów budowlanych)
  - Gwoździowanie skarp i zboczy, gwoździe i mikropale systemowe typu MESI, TITAN, GONAR, SAS i DYWIDAG
- Zabezpieczanie ścian wykopów budowlanych i skarp, kotwami gruntowymi trwałymi i tymczasowymi
  - Pale prefabrykowane, pale wiercone CFA i orurowane, pale przemieszczeniowe (SDP, VDP)
  - Ściany szczelinowe i barety