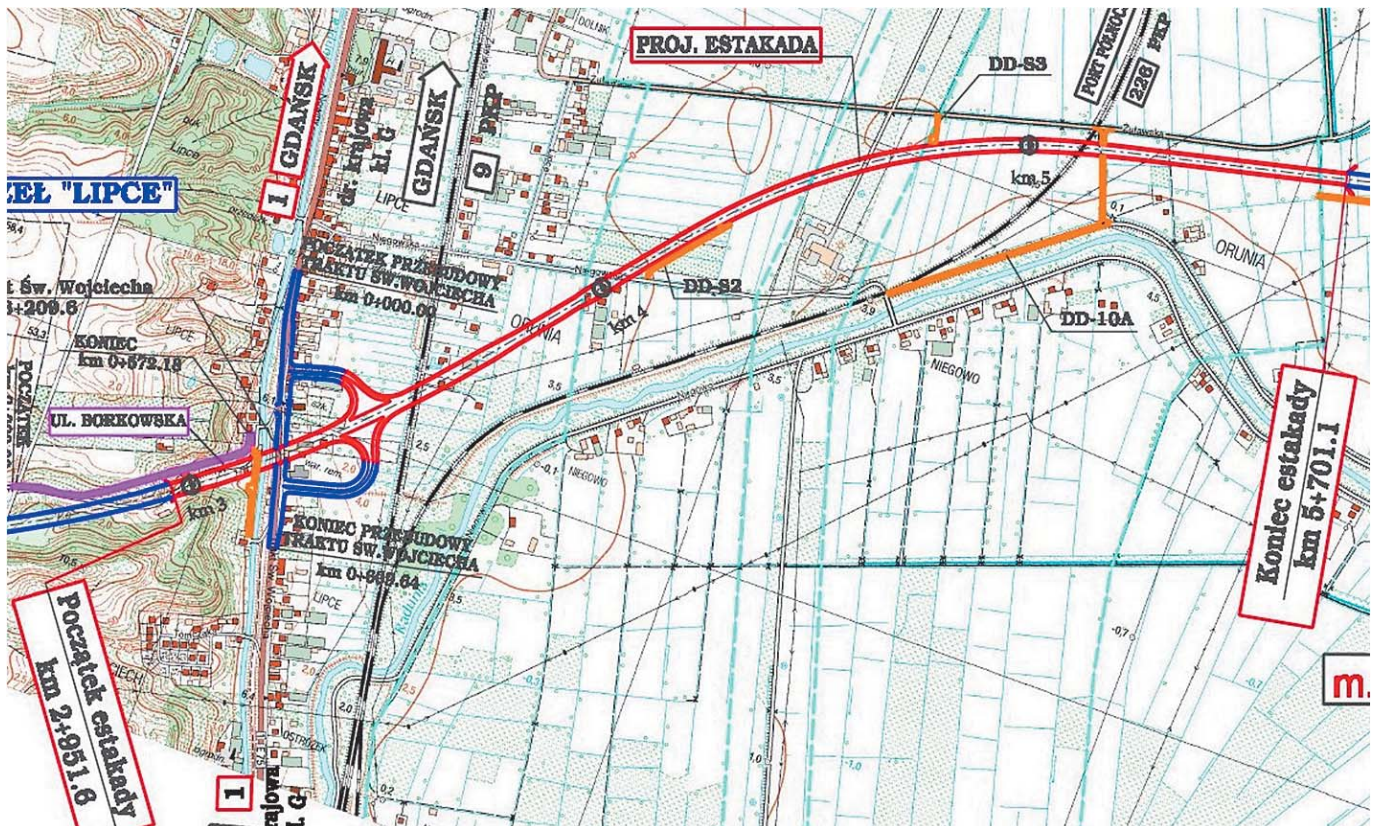


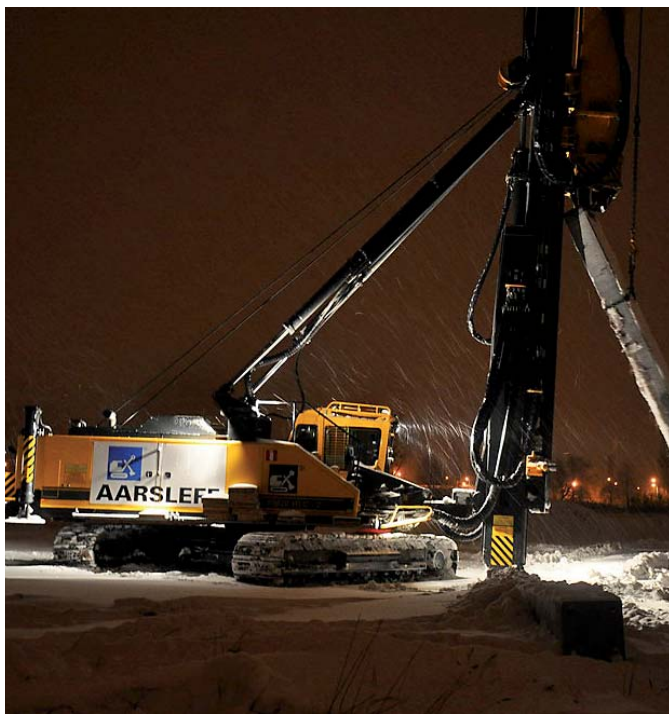
# Żelbetowe wbijane pale prefabrykowane w fundamentach najdłuższego obiektu mostowego w Polsce

mgr inż. Leszek Cichy, mgr inż. Krzysztof Narel, dr inż. Wojciech Tomaka, Aarsleff Sp. z o.o., Warszawa

Posadowienie i realizację robót palowych na budowie najdłuższego obiektu mostowego w Polsce – estakady WE-1 w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska – wykonywano w warunkach gruntowych o odmiennych parametrach niż przyjęto w projekcie posadowienia. Weryfikacja założeń projektowych okazała się słuszna i konieczna. Estakada o długości całkowitej 2778,1 m składa się z dwóch równoległych konstrukcji, opartych na 69 podporach i 136 fundamentach. Fundamenty podpór zaprojektowano i wykonano w technologii żelbetowych pali prefabrykowanych.



Ryc. 1. Estakada WE-1 w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska



Ze względu na zmienne i złożone warunki gruntowe występujące w rejonie poszczególnych podpór szczególną rolę w sprawnym przeprowadzeniu robót palowych odegrały: ciągła współpraca wykonawcy i projektanta posadowienia, prowadzone w szerokim zakresie badania statyczne i dynamiczne nośności pali oraz zapisany w kontrakcie tryb akceptacji robót palowych.

Przyjęta technologia fundamentowania obiektu oraz zrealizowana w praktyce strategia aktywnego projektowania i kontroli nośności pali zapewniła bezpieczeństwo realizowanym w trudnych warunkach gruntowych fundamentom. Szeroki zakres kontroli nośności pali pozwolił ponadto uniknąć dodatkowych robót i kosztów z nimi związanych oraz dostarczył ogromnej ilości materiałów o charakterze poznawczym, które mogą być z powodzeniem wykorzystane w projektach i realizacjach fundamentów innych obiektów zlokalizowanych na Żuławach.

## 1. Opis obiektu

Estakada WE-1 budowana jest w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska (ryc. 1). Zaprojektowana obwodnica stanowi fragment drogi krajowej nr 7 (Gdańsk – Warszawa – Chyżne), odciążą od ruchu samochodowego Gdańsk oraz utworzy po-

łączenia między autostradą A1 i drogami krajowymi nr 1, nr S6, nr S7. Południowa Obwodnica Gdańska to 17,9 km drogi ekspresowej, w tym estakada WE-1 oraz pięć dwupoziomowych węzłów: Straszyn, Lipce, Olszynka, Przejazdowo i Koszwały.

Inwestorem jest Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad oddział w Gdańsku, generalnym wykonawcą Bilfinger Berger Budownictwo SA, projektantem Transprojekt Gdański Sp. z o.o.

Projektowaną estakadę podzielono na osiem ciągłych części, w każdej po dwie niezależne konstrukcje pod każdą z dwóch jezdni obwodnicy. Długości poszczególnych estakad w osi niwelety (długości teoretyczne) wynoszą od 290 m do 435 m, a łączna długość w osiach teoretycznych 2750 m.

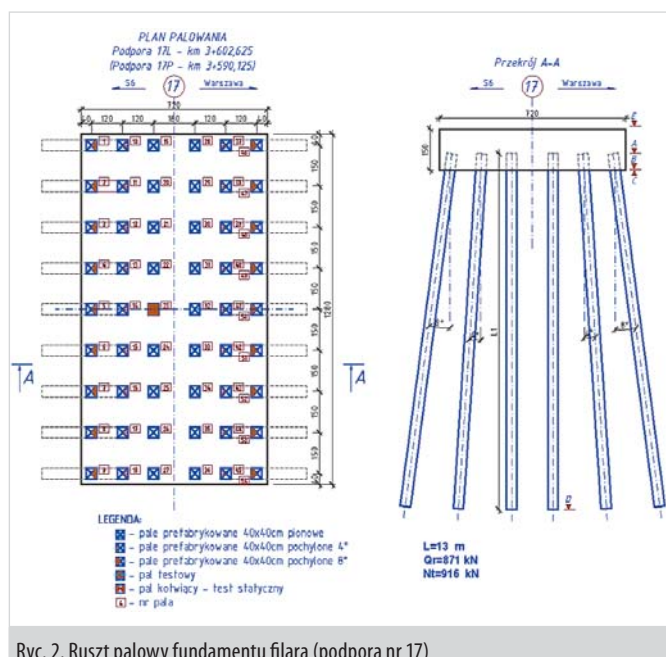
Podstawowe parametry estakady to:

- klasa obciążenia A, zgodnie z PN-85/S-10030 oraz pojazd STANAG 2021 klasy 150
- typowy przekrój poprzeczny zaprojektowano w układzie dwóch rozdzielonych konstrukcji o łącznej szerokości obiektu (jedna jezdnia) 15,04 m (15,34 m w rejonie węzła Lipce)
- rozpiętości teoretyczne przęseł od 30 do 55 m.

## 2. Projekt posadowienia podpór estakady

Konstrukcję przęseł oparto na dwóch przyczółkach i 67 filarach, rozdzielonych dla każdej nitki. Fundamenty podpór zaprojektowano jako pośrednie. Projekt pierwotny przewidywał posadowienie 27 podpór na palach prefabrykowanych oraz 42 na palach wielkośrednicowych, wykonywanych w osłonie traconych rur stalowych. Ostatecznie w zamiennym projekcie wykonawczym przewidziano posadowienie 68 podpór na palach prefabrykowanych, a tylko jednej – z powodu ochrony istniejącego Kanału Raduni – na palach wierconych.

Zaprojektowano i wykonano w fundamentach podpór pale prefabrykowane o docelowych długościach prefabrykatów w zakresie od 8,0 do 27,0 m i przekroju poprzecznym 0,4 x 0,4 m. Pale wykonano z betonu klasy C40/50 ze zbrojeniem głównym z prętów Ø 12 mm ze stali klasy AIIIIN (12, 16 lub 20 sztuk w przekroju poprzecznym). W przyczółkach (wspólnych dla obu nitek estakady) zaprojektowano 80 i 68 pali, w fundamentach podpór pośrednich, pod każdą nitką od 36 do 73 pali. Przykładowe rozmieszczenie pali w fundamencie filara pokazano na rycinie 2.



Ryc. 2. Ruszt palowy fundamentu filara (podpora nr 17)

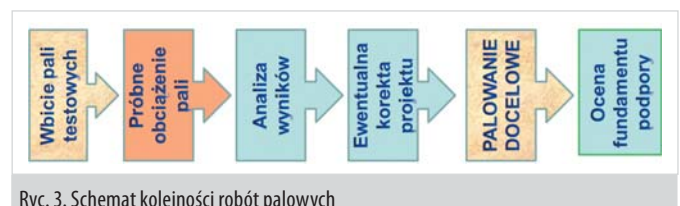
## 3. Realizacja robót palowych

### 3.1. Typowy przebieg realizacji robót palowych

W projekcie przyjęto następującą, typową dla pali prefabrykowanych kolejność robót:

- przygotowanie platform roboczych, wytyczenie osi głównych, pomocniczych i zarysów podpór
- transport pali testowych, wytyczenie lokalizacji i instalacja pali testowych
- wykonanie testów statycznych i dynamicznych
- analiza wyników oraz ewentualna weryfikacja projektu palowania
- instalacja docelowych pali prefabrykowanych w fundamentach
- rozkucie głowic pali prefabrykowanych, następnie wykonanie zwieńczeń pali.

Schemat typowej kolejności robót w czasie wykonywania fundamentu z pali prefabrykowanych pokazano na rycinie 3.



Ryc. 3. Schemat kolejności robót palowych

### 3.2. Palowanie wstępne

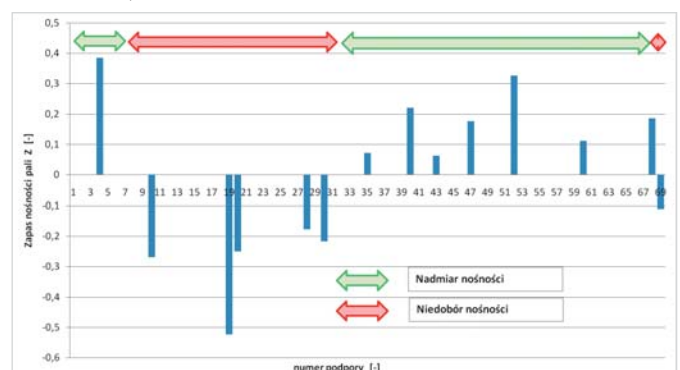
Przed przystąpieniem do robót palowych dla tak dużej inwestycji zdecydowano się na weryfikację rozpoznania podłoża geologicznego przez wykonanie 14 kontrolnych badań sondą CPT w wybranych podporach wzdłuż całej estakady WE-1. Wyniki kontrolnych badań CPT wykazały różnice rozpoznania podłoża w stosunku do warunków gruntowych przyjętych w projekcie. Według obliczeń sprawdzających, wykonanych na podstawie badań kontrolnych, prognozowano większą nośność w rejonie podpór od 1 do 7 i od 34 do 68 oraz mniejszą w rejonie podpór od 8 do 33 i dla podpory 69. Na rycinie 4 pokazano obliczone zapasy i niedobory nośności podpór określone jako:

$$Z = \frac{N_{CPT} - N_{PROJ}}{N_{PROJ}} \quad (1)$$

gdzie:

$N_{CPT}$  – nośność pali obliczona wg badań sondą CPT

$N_{PROJ}$  – nośność pali przyjęta w projekcie.



Ryc. 4. Zapas i niedobór nośności pali oszacowane na podstawie dodatkowych badań sondą CPT

W projekcie wykonawczym przyjęto, że pale wykorzystywane do testów będą wydłużone o 2,0 m względem pali docelowych w celu umożliwienia sprawnej realizacji próbnych obciążeń pali, bez wykonywania wykopów do poziomu spodu

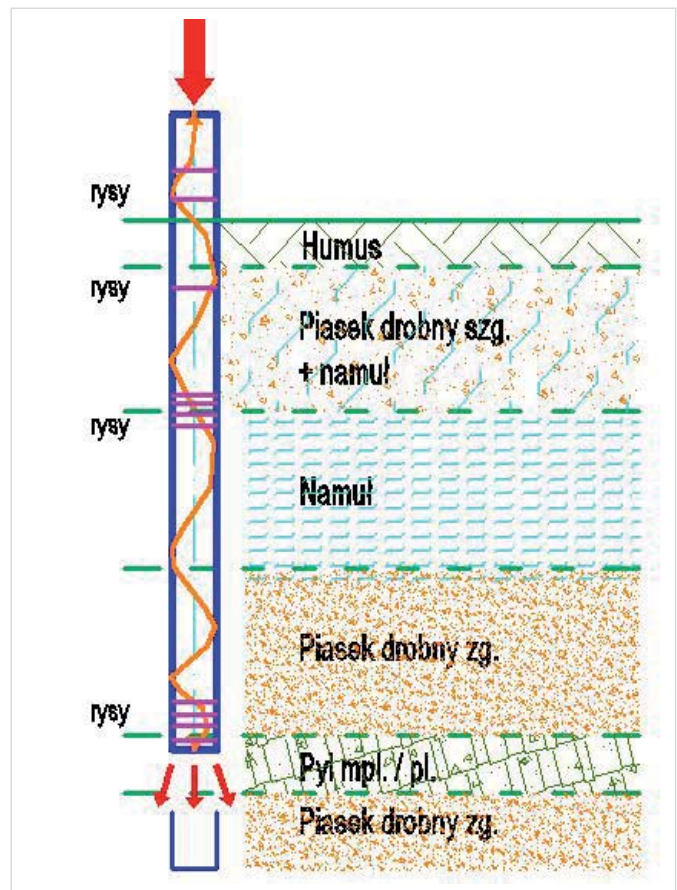
zwieńczeń fundamentów. W wyniku kontrolnych badań CPT (ryc. 4) w wybranych podporach przedłużono dodatkowo pale testowe (maksymalnie nawet o 4,0 m) oraz zdecydowano się na rozpoczęcie robót od pograżenia dodatkowych pali testowych – pali świadków. Pale te wykorzystano w rejonie podpór 16 i 17 (ryc. 5). Podczas ich pograżania zaobserwowano pojawianie się zarysowań. Przeprowadzono próbną instalację czterech sztuk testowych pali prefabrykowanych z ciągłym monitoringiem sił, naprężeń i przemieszczeń w palach. Otrzymane wyniki wskazały, że w trakcie wbijania nastąpiło lokalne przekroczenie granicy plastyczności w zbrojeniu pali. W tym rejonie przeprowadzono dodatkowe badania CPT, które wykazały występowanie pośród zagęszczonych piasków przewarstwień słabych gruntów: miękkoplastycznych warstw gruntów spoistych.



Ryc. 5. Instalacja pali prefabrykowanych

Podczas wbijania pali „szczególnie duże naprężenia rozciągające powstają w sytuacji, gdy pal osiąga słabą warstwę” [1]. Wbite pale próbne oraz występujące w nich nadmierne siły rozciągające pozwoliły na zidentyfikowanie występowania zalegających wśród zagęszczonych piasków drobnych, przewarstwień plastycznych i miękkoplastycznych gruntów pylastych (ryc. 6).

W wyniku analizy warunków gruntowych (na podstawie badań podstawowych i dodatkowych badań CPT) oraz energii pograżania pali wyznaczono charakterystyczne obszary palowania, w których palowanie uznano za *możliwe*, *trudne* lub *wątpliwe* (tab. 1).



Ryc. 6. Schemat wpływu przewarstwień słabych pyłów na wystąpienie sił rozrywających i rys w palach prefabrykowanych

Tab. 1. Zestawienie wyszczególnionych warunków palowania

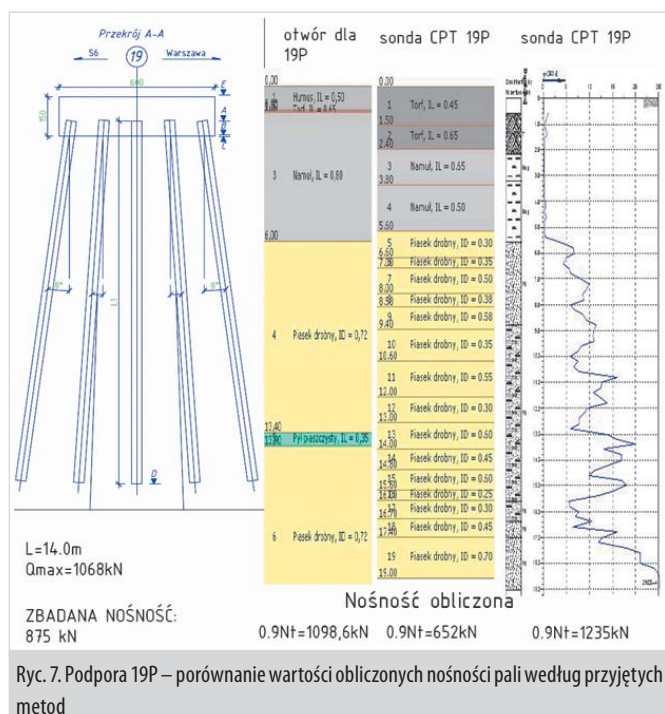
Zestawienie warunków palowania podpór estakady WE-1							
podpora	warunki palowania	podpora	warunki palowania	podpora	warunki palowania	podpora	warunki palowania
1		19		36		53	
2		20		37		54	
3		21		38		55	
4		22		39		56	
5		23		40		57	
6		24		41		58	
8		25		42		59	
9		26		43		60	
10		27		44		61	
11		28		45		62	
12		29		46		63	
13		30		47		64	
14		31		48		65	
15		32		49		66	
16		33		50		67	
17		34		51		68	
18		35		52		69	

pograżenie możliwe 
 pograżenie wątpliwe 
 pograżenie trudne 
 plastyczne przewarstwienia gruntów spoistych 
 miękkoplastyczne przewarstwienia gruntów spoistych

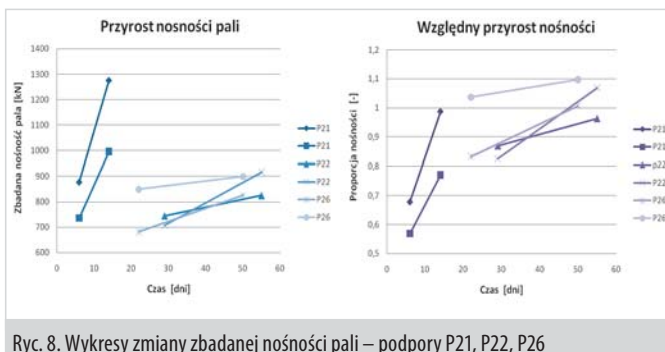
Podstawą rozróżnienia warunków palowania był stan przewarstwień gruntów spoistych. Przyjęto warunki:

- *możliwe*, dla których pod namułami zalegały wyłącznie grunty nośne (średniozagęszczone lub zagęszczone piaski)
- *wątpliwe*, dla których pod namułami zalegały grunty nośne przewarstwione plastycznymi gruntami spoistymi
- *trudne*, gdy na długości pograżanego pala, pod namułami stwierdzono grunty przewarstwione warstwami spoistymi miękkoplastycznymi lub gruntami nienośnymi.

Pracownia Projektowa Aarsleff Sp. z o.o. zaleciła kierownikowi robót palowych prowadzić palowanie zgodnie z zapisami



Ryc. 7. Podpora 19P – porównanie wartości obliczonych nośności pali według przyjętych metod



Ryc. 8. Wykresy zmiany zbadanej nośności pali – podpory P21, P22, P26

projektu w przypadku występowania warunków *możliwych*. Natomiast dla warunków *wątpliwych* przy zbliżaniu się stopy pała do gruntów spoistych zalecono zmniejszyć wysokość opuszczania młota do możliwie małej, stopniowo zwiększając ją dopiero przy wyraźnym wzroście oporów pograżania pała. Dla robót w warunkach *trudnych* zalecono zwiększyć zbrojenie pała do  $\varnothing 20$  mm oraz prowadzić palowanie z wykorzystaniem regulacji energii wbijania, analogicznie jak dla warunków *wątpliwych*. Przyjęty sposób palowania w wyodrębnionych obszarach sprawdził się w praktyce na budowie. Przeprowadzone badania kontrolne nie wykazały nieciągłości ani zarysowań pała.

### 3.3. Palowanie zasadnicze

Po wbiciu pała testowych (podpory od 16 do 26) przeprowadzono próbne obciążenia metodami statyczną i dynamiczną. Dla podpór, w których stwierdzono wystarczającą nośność pała testowych, Pracownia Projektowa Aarsleff Sp z o.o. zezwoliła na wykonanie palowania zasadniczego (kolejność robót według ryciny 4). W niektórych podporach (np. 21, 22, 26) stwierdzono niewystarczającą nośność pała, odbiegającą od obliczonych w projekcie. Zbadane nośności były mniejsze od obliczonych w projekcie (według pierwotnie zbadanych warunków geologicznych) i na podstawie dodatkowych badań CPT. Obliczenia sprawdzające przeprowadzono dwiema metodami:

- na podstawie parametrów wiodących gruntów  $I_D$  lub  $I_L$  (przy wykorzystaniu programu obliczeniowego Kalkulator Pali Aarsleff)

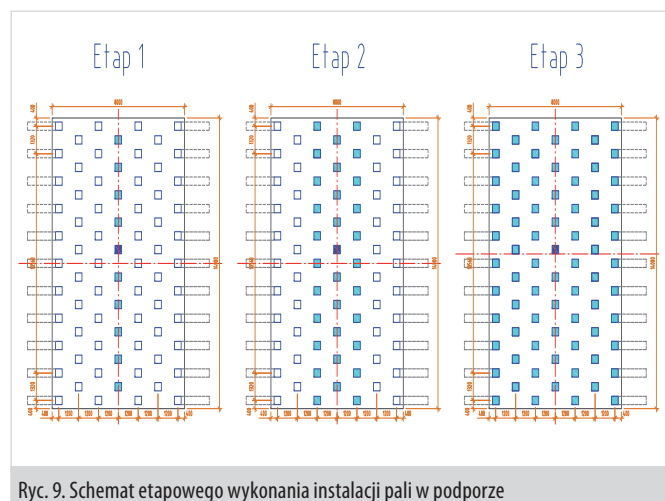
- metodą bezpośrednią na podstawie oporów głowicy stożka sondy CPT (algorytm opracowany według *Empfehlungen des Arbeitskreises Pfaehle DGG e.V. 2007*).

Obliczenia nośności pała przeprowadzone przy wykorzystaniu wymienionych metod obliczeniowych dawały w wynikach wartości wyraźnie różniące się od zbadanych nośności (ryc. 7). Podjęto decyzję o wydłużeniu pała, wykorzystując wyniki próbnych obciążeń metodą dynamiczną, w szczególności zbadane średnie opory na pobocznicę pała w strefie 2–4 m powyżej ich stopy. Zalecono ponowną instalację dodatkowych pała testowych wydłużonych o 2–5 m i powtórne przeprowadzenie testów. Podobny tok postępowania i analogiczne decyzje o wykonaniu dodatkowych pała testowych podjęto dla niektórych podpór z zakresu od 33 do 41.

Przyjęty sposób wyznaczania potrzebnej długości pała na podstawie wyników testów dynamicznych (metoda obserwacyjna) gwarantował uzyskanie wymaganej nośności pała.

W lutym 2010 r. powtórnie wykonano próbne obciążenia na palach testowych zainstalowanych w podporach 21, 22 i 26. Testy, wykonane po terminie ok. dwukrotnie dłuższym niż wymaga norma [2], wykazały nośności większe lub zbliżone do obliczonych maksymalnych obciążeń pała. Na rycinie 8 pokazano wykresy przyrostu zbadanej nośności w zależności od upływu czasu od daty instalacji pała. Przedstawiono na nim zmiany nośności pała oraz względny przyrost nośności (nośność zbadana w stosunku do nośności obliczonej w projekcie).

Uwzględniając zaobserwowane na budowie przyrosty nośności w czasie, obejmujące znacznie dłuższy okres niż przewiduje to norma [2], przyjęto jako zasadę powtarzanie badań nośności w terminie późniejszym (np. dwukrotnie dłuższym niż założono w projekcie próbnego obciążenia). Powtórnie wykonywane testy często potwierdzały wystarczającą nośność pała, większą od obliczonych maksymalnych obciążeń, co umożliwiło wydanie zgody na kontynuowanie robót palowych. Dla kilku podpór Pracownia Projektowa Aarsleff Sp z o.o. zezwoliła kierownikowi robót palowych rozpocząć prace, pomimo stwierdzenia niedoborów nośności pała testowych wynoszących ok. 20–25%. Zezwolono na etapowe (ryc. 9) wykonanie pograżania pała – najpierw w środkowych rzędach podpory (etap 1), następnie w rzędach przyskrajnych (etap 2), a ostatecznie w rzędach skrajnych (etap 3). Wykonanie palowania w kolejnym etapie było możliwe po przekazaniu z Biura Budowy do Pracowni uzyskiwanych wpędów i uzyskaniu pozytywnej oceny nośności pała wykonanych w etapie wcześniejszym. Przy etapowym wykonaniu robót palowych wykorzystano jedną z zalet pała prefabrykowanych, jaką jest dodatkowe dogęszczenie gruntów niespoistych.



Ryc. 9. Schemat etapowego wykonania instalacji pała w podporze

Bezpośrednio po pograżeniu wszystkich pali w podporze i przekazaniu do Pracowni Projektowej metryk pali, a w nich informacji o uzyskiwanych wędach, każdorazowo dokonywano oceny nośności wszystkich pali w podporze, wykorzystując tzw. formułę duńską (wzór Söerensena – Hansena).

#### 4. Podsumowanie

Na wykonanych do połowy września 2010 r. 130 sztukach fundamentów palowych w 77 z nich palowanie wykonano zgodnie z projektem wykonawczym fundamentów, dla 23 podpór zmieniono liczbę pali docelowych, w 41 podporach zmieniono długości pali docelowych (w tym dla 27 podpór pale docelowe wydłużono, a dla 14 skrócono). Z 23 podpór, dla których zmieniono liczbę pali docelowych, jedynie w sześciu liczbę pali zwiększono, natomiast w 17 podporach liczba pali uległa zmniejszeniu.

Wymagane normą [2] terminy oczekiwania między wykonaniem pala a sprawdzeniem jego nośności w warunkach budowy Południowej Obwodnicy Gdańska były zbyt krótkie. Termin, w którym zaprojektowane pale osiągały wymaganą nośność, wynosił ok. 40–60 dni, zamiast zakładanych przez normę dla piasków drobnych nawodnionych 20 dni. Wykonywane w terminach dłuższych niż przyjęte na podstawie normy dodatkowej, próbne obciążenia pali pozwoliły na optymalizację rozwiązań projektowych, pozytywną ocenę nośności wykonanych fundamentów i jednocześnie uniknięcie niekonicznych wydłużeń pali lub zwiększania ich liczby. Standardowa kolejność robót

i weryfikacja nośności pali (tj. decyzja dotycząca konieczności ewentualnego wydłużenia lub wykonania dodatkowych pali na podstawie badań przeprowadzonych w terminach normowych) byłaby nieekonomiczna i skutkowałaby zwiększeniem liczby lub długości pali.

Podjęwane przez projektanta, na bazie informacji dostarczanych przez kierownika robót palowych, decyzje dotyczące zmiany długości i (lub) liczby pali w fundamentach wykonywanych w warunkach odmiennych niż założono w projekcie pozwoliły zagwarantować nośności większe od przypadających na nie obciążenia.

Przyjęte w kontrakcie procedury sprawdzania warunków gruntowych, weryfikacji nośności pali, wykonania fundamentów oraz końcowej oceny globalnej nośności podpór dały projektantowi i wykonawcy robót pewność co do jakości i spełnienia wszystkich wymagań projektowych przez solidne i bezpieczne fundamenty z pali prefabrykowanych w najdłuższym budowanym obiekcie mostowym w Polsce – estakadzie WE-1 w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska.

#### Literatura

1. Jarominiak A., Kłosiński B., Grzegorzewicz K., Cielenie-wicz T.: *Pale i fundamenty palowe*. Warszawa 1976
2. PN-83/B-02482 *Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych*.

R E K L A M A

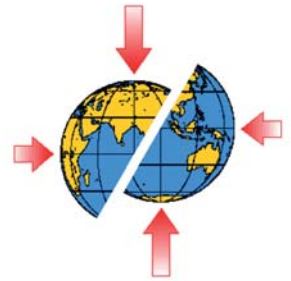


Politechnika  
Wroclawska

## Politechnika Wroclawska Instytut Geotechniki i Hydrotechniki

Akademia Górniczo-Hutnicza Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki  
KGHM CUPRUM Centrum Badawczo-Rozwojowe  
Polski Komitet Geotechniki  
Polskie Towarzystwo Mechaniki Skal

*zapraszają na*



### XXXIV ZIMOWĄ SZKOŁĘ MECHANIKI GÓROTWORU I GEOINŻYNIERII 14-18.03. 2011 Kudowa Zdrój

Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii jest ogólnokrajową konferencją naukowo-szkoleniową poświęconą aktualnym zagadnieniom mechaniki górotworu i geoinżynierii. Pierwsza ZIMOWA SZKOŁA MECHANIKI GÓROTWORU odbyła się w Karpaczu w 1974 r. z inicjatywy Prof. Zdzisława Gergowicza jako spotkanie integrujące naukę z przemysłem. Zaowocowało to trwałą tradycją corocznych spotkań specjalistów z mechaniki górotworu i geoinżynierii. Ze względu na rosnące zainteresowanie dziedziną geoinżynierii, od 2005 roku tematyka jak i nazwa szkoły została rozszerzona i obecnie nosi nazwę Zimowej Szkoły Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii.

#### Tematyka XXXIV ZSMGiG:

- zagadnienia stateczności wyrobisk górniczych i budowli geotechnicznych
- modele konstytutywne geomateriałów
- metody numeryczne w geotechnice
- teoretyczne i praktyczne aspekty konstrukcji geoinżynierskich
- procesy dynamiczne w górotworze
- badania doświadczalne i ich interpretacja
- prognozowanie i zwalczanie zagrożeń naturalnych w górnictwie i geotechnice
- nowe materiały i technologie w geoinżynierii
- zastosowania SIP/GIS w geoinżynierii

Szczegółowe informacje o XXXIV Zimowej Szkole Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii zamieszczono na stronie internetowej: [www.zsmgig.pwr.wroc.pl](http://www.zsmgig.pwr.wroc.pl)

#### Cele Zimowej Szkoły Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii

- integracja specjalistów przemysłu i środowisk naukowo-badawczych
- stworzenie możliwości uaktualnienia i pogłębienia posiadanego zasobu wiedzy
- prezentacja aktualnych problemów mechaniki górotworu i geoinżynierii

#### Sekretariat Szkoły

Instytut Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej  
Plac Grunwaldzki 9, 50-377 Wrocław  
Tel. (71) 320 41 27, Fax: (71) 328 48 14  
e-mail: [zsmgig@pwr.wroc.pl](mailto:zsmgig@pwr.wroc.pl)

Patronat medialny

Nowoczesne  
**Budownictwo**  
Inżynieryjne  
[www.nbi.com.pl](http://www.nbi.com.pl)

**budownictwo**  
inżynieryjne.pl  
To jest portal branżowy

CVS - let's create progress together!