

Roboty palowe

a zmniejszanie ryzyka błędnego rozpoznania podłoża

Wojciech Tomaka
Aarsleff Sp. z o.o.
Lesław Bichajto
Politechnika Rzeszowska

W artykule, na przykładzie mostu drogowego w ciągu drogi krajowej nr 9 w miejscowości Modrzejowice, przedstawiono problemy wykonania fundamentu palowego małego obiektu mostowego, dla którego nie przewidziano wykonania badań nośności pali, a warunki gruntowe okazały się zdecydowanie gorsze, niż wykazane w dokumentacji geotechnicznej. Omówiono przyczyny powstania problemów oraz sposób ich rozwiązania.

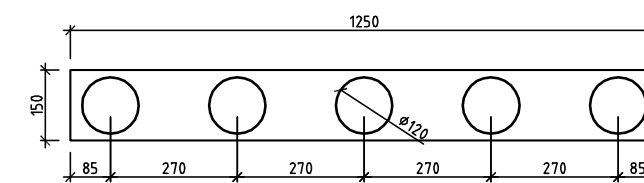
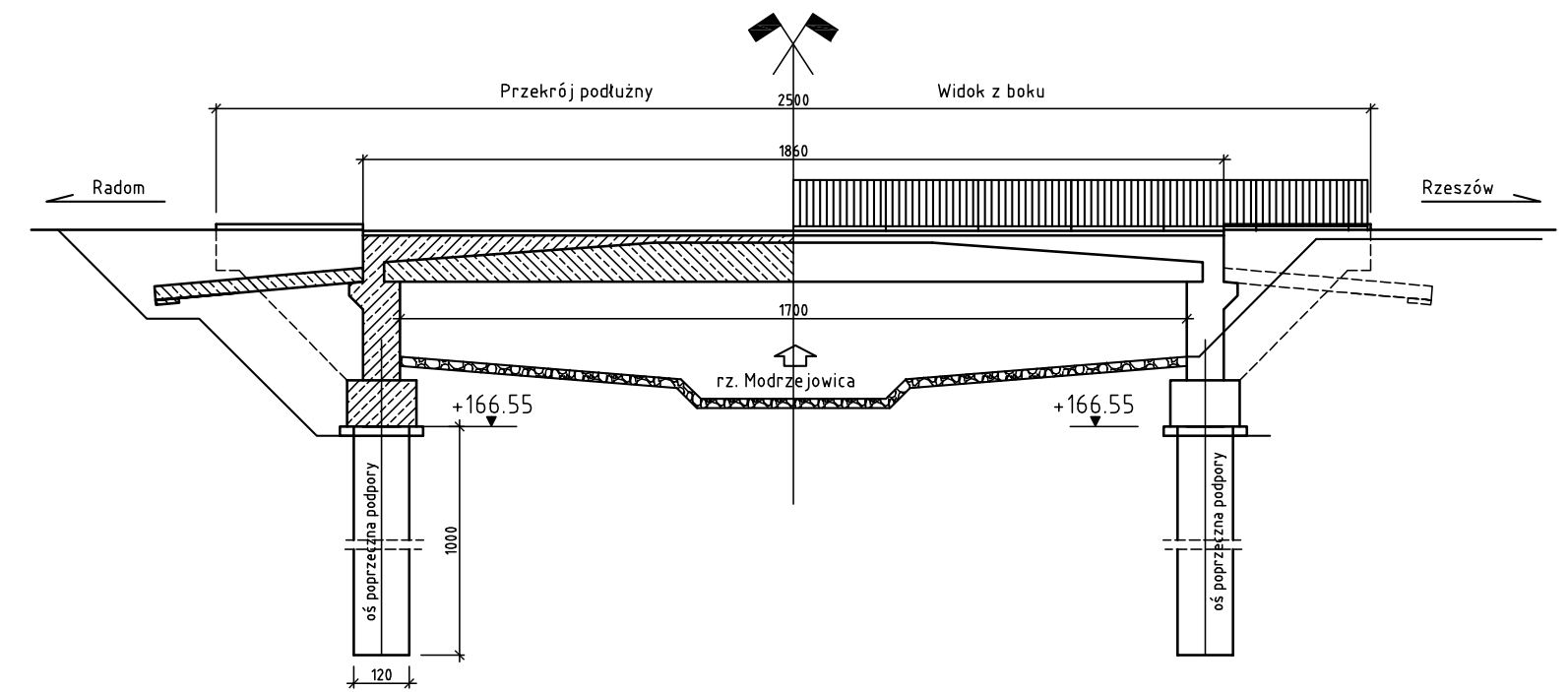


Fot. 1. Widok zbudowanego mostu

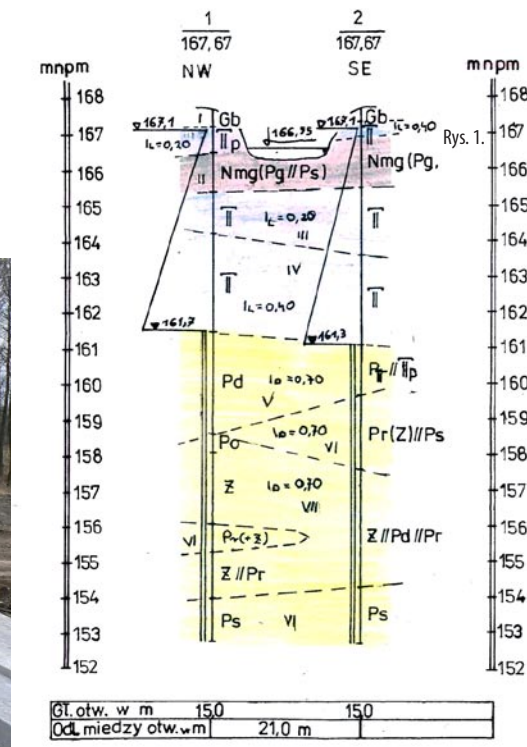
Polska norma palowa (PN-83-02482 *Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych*) nie wymaga wykonywania próbnych obciążeń pali w przypadku, gdy w obiekcie jest ich mniej niż 25 sztuk. Ograniczenie konieczności przeprowadzania próbnych obciążeń statycznych pali przy małej ich liczbie w fundamencie obiektu ma uzasadnienie w dużych problemach technicznych oraz wysokich kosztach ich realizacji. W przypadku małych obiektów mostowych posadowionych pośrednio brak konieczności przeprowadzania próbnych obciążeń pali w powiązaniu z mało wiarygodnymi badaniami warunków gruntowych posadowienia obiektu oraz częstym, schematycznym doбором technologii palowania może prowadzić do zagrożenia bezpieczeństwa obiektu lub dużych problemów utrzymaniowych.

Opis mostu i warunków posadowienia

W ciągu modernizowanej drogi krajowej zaprojektowano jednoprzęsłowy obiekt z przesłem z prefabrykowanych belek „Kujan”. W projekcie przyjęto długość mostu 18,60 m, długość całkowitą (ze skrzydłami) 25,00 m i szerokość całkowitą obiektu 12,40 m. Projekt pierwotny przewidywał posadowienie każdego z przyczółków na pięciu palach wierconych o średnicy 120 cm i długości 10,0 m (rys. 1). Przyjęcie posadowienia na palach było podyktowane warunkami geotechnicznymi w miejscach posadowienia podpór. Zgodnie z dokumentacją geotechniczną do rzędnej 161,3-161,7 m przyjęto zaleganie gruntów słabych: namulów i pyłów plastycznych. Podstawą do wydzielenia



Fot. 2.



Rys. 2.

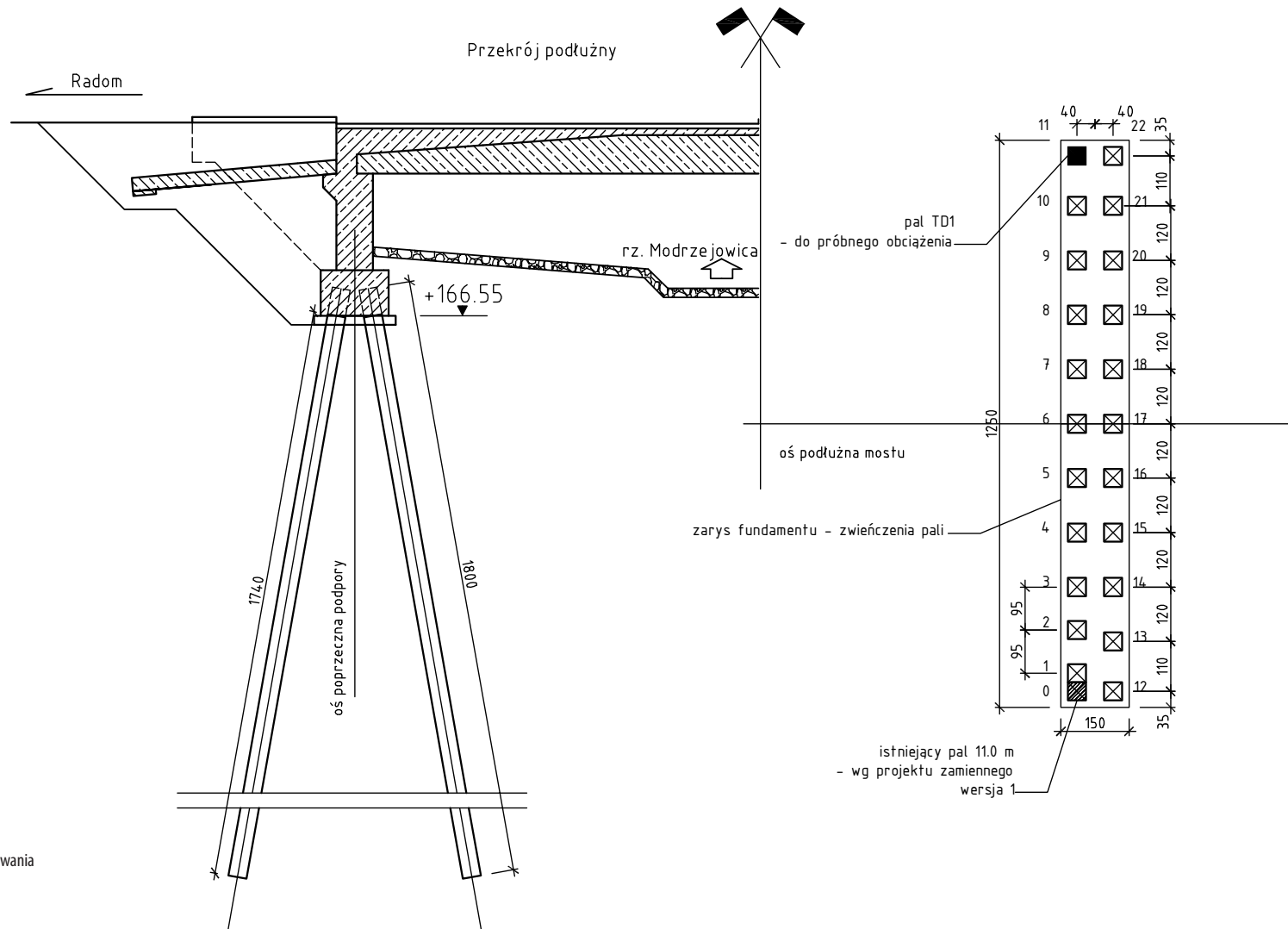
Rys. 1. Widok ogólny mostu
Rys. 2. Przekrój geotechniczny przyjęty do pierwotnego projektu
Fot. 2. Wbijanie pali docelowych

warstw geotechnicznych, określenia ich parametrów i sporządzenia przekroju (rys. 2) były dwa otwory badawcze do głębokości 15 m i jedno sondowanie sondą lekką dynamiczną SLD-10. Rzędną spodu ocepów zwierczających pale wielkośrednicowe przyjęto na poziomie 165,55 m n.p.m., spód pali zaprojektowano na poziomie 155,50 m w zagęszczonych żwirach przewarstwionych piaskami. Wykonawca mostu, ze względów ekonomicznych oraz technicznych (napięte zwierciadło wody gruntowej o $\Delta H = 6$ m), wystąpił do inwestora z wnioskiem o zmianę rodzaju pali z wierconych na wbijane prefabrykowane. Kierował się także wykorzystaniem niektórych zalet pali wbijanych: – skróceniem czasu wykonania fundamentu palowego na budowie,

– łatwością wykonania próbnych obciążeń (których nie przewidywano dla pali wierconych), – możliwością kontynuacji robót budowlanych bezpośrednio po wbiciu pali, – możliwością oceny nośności każdego wbitego pala. Zastosowanie pali prefabrykowanych znacznie skracало czas wykonania fundamentów, a tym samym okres realizacji całego zadania. Wykonawca uzyskał akceptację inwestora na zastosowanie pali prefabrykowanych.

Fundamenty na palach prefabrykowanych

Zaprojektowano zamienne posadowienie każdej podpory mostu na 22 wbijanych palach prefabrykowanych ▶



Rys. 3. Plan palowania podpory P1

► o przekroju poprzecznym 40 cm x 40 cm i długościach prefabrykatów 10 m i 11 m. Przyjęto pale wykonane z betonu klasy C40/50, zbrojone prętami ze stali klasy AIIIIN. Przewidziano maksymalne obciążenie pali prefabrykowanych $Q_d = 1190$ kN i obliczono nośność pali $0,9 \times N_t = 1260$ kN.

W projekcie założono typową dla fundamentów wykonywanych z wbijanych pali prefabrykowanych kolejność robót. Przewidziano:

- przygotowanie platformy roboczej;
- transport, wytyczenie i wbicie pali testowych;
- przygotowanie i przeprowadzenie próbnych obciążeń;
- po interpretacji wyników próbnych obciążeń i ewentualnej weryfikacji rozwiązań projektowych wbicie docelowych pali prefabrykowanych;
- rozkucie głowic pali i kontynuację robót budowlanych związanych z wykonaniem podpór obiektu.

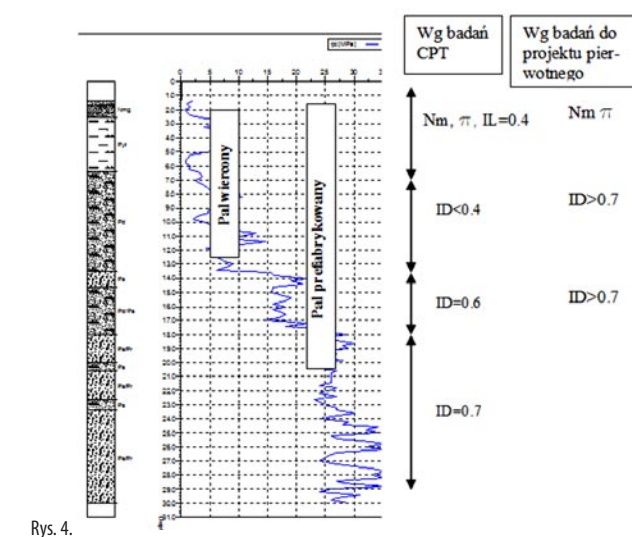
Po dostarczeniu pali prefabrykowanych na budowę wbito dla każdej podpory po jednym palu do próbnego obciążenia metodą dynamiczną. Już podczas wbijania pali testowych uzyskiwane wpędy dostarczyły niepokojących informacji – analiza uzyskanych wpędów świadczyła o zbyt małej nośności wbitych pali próbnych. Wykonane metodą dynamiczną próbne obciążenia potwierdziły niedostateczną nośność wbitych pali. Zbadane nośności pali testowych wynosiły zaledwie 410 kN i 573 kN (w stosunku do oczekiwanej 1260 kN). Tak znaczna różnica zbadanej nośności w stosunku

do obliczonej jest rzadkim przypadkiem przy założeniu poprawnego zbadania warunków gruntowych. Najczęściej zbadana podczas testów nośność pala jest większa od obliczonej. Zaistniała sytuacja sugerowała, że w czasie badań geotechnicznych nieprawidłowo oceniono warunki posadowienia obiektu, a pale prefabrykowane jako „sondy gruntowe” wykazały odmienne warunki posadowienia, niż zakładano na podstawie wcześniejszych badań.

W przypadku realizacji fundamentu palowego mostu wykorzystano (często niestety niedocenianą) zaletę pali wbijanych, która uchroniła wykonawcę i inwestora przed problemami na budowie oraz przed istotnymi stratami finansowymi. Niewielu docenia fakt, że każdy wbijany pal jest równocześnie „sondą gruntową”, a na podstawie uzyskiwanych wpędów można ocenić nośność każdego wykonanego pala, a nie jedynie pala poddanego próbnemu obciążeniu.

Przed docelowym palowaniem wykonawca robót palowych (AARSLEFF Sp. z o.o.) wykonał dodatkowe badania geotechniczne. Wykonano dwa sondowania CPT. Sondowania CPT wykazały (rys. 4), że piaski średniozagęszczone ($I_p = 0,60$) zalegają około 15-17 m poniżej platformy roboczej, czyli około 11÷13 m poniżej zwieńczenia pali (a nie, jak przyjmowano wcześniej, 4,0÷4,5 m poniżej oczepów).

Wyniki sondowań potwierdziły uzyskaną na podstawie wbijania pali informację – nośne grunty zalegały znacz-



Rys. 4.

nie głębiej, niż wynikało to z pierwotnej dokumentacji geotechnicznej. Ostatecznie zweryfikowano rozwiązanie projektowe i posadowiono fundamenty na 22 palach prefabrykowanych o długościach 18 i 19 m (rys. 3) i obliczonej nośności $0,9 \times N = 1200$ kN.

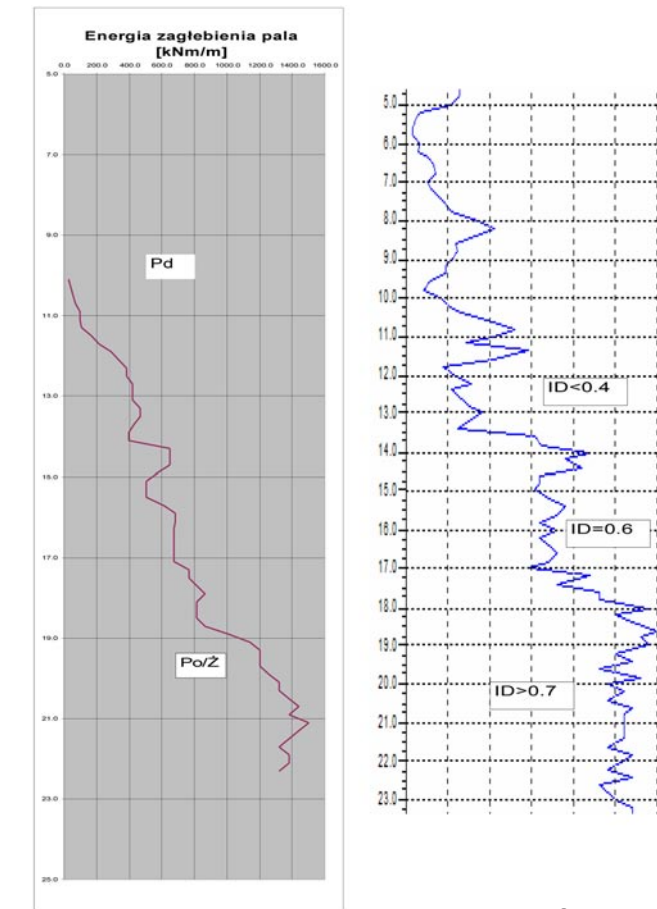
Uzyskiwane wpędy świadczyły o znacznie większej nośności wydłużonych pali. Wykresy energii koniecznej do zagłębienia pali testowych o długościach 18 m i 19 m odzwierciedlały wykresy oporów stożków sond CPT (rys. 5). Porównanie tych wykresów pozwala stwierdzić, że pale prefabrykowane spełniły funkcję „superciężkiej” sondy.

Ponownie dokonano kontroli nośności przedłużonych pali przez wykonanie kolejnych dwóch próbnych obciążeń metodą dynamiczną. Przeprowadzone testy potwierdziły obliczoną nośność pali dłuższych. Następnie wbito wszystkie prefabrykowane pale żelbetowe o dostosowanej do warunków gruntowych długości (fot. 2).

W obliczeniach fundamentu skonstruowanego z wydłużonych pali pominięto nośność i „pracę”, wbitych wcześniej do testów, dwóch pali prefabrykowanych o długościach prefabrykatów 10 i 11 m.

Podsumowanie

Typowa dla wbijanych pali prefabrykowanych, przyjęta w projekcie zamiennym i wykonana na budowie kolejność robót palowych (w szczególności wstępna ocena



Rys. 5.

Rys. 4. Wyniki sondowania CPT
Rys. 5. Wykres energii zagłębienia pala i oporów stożka sondy CPT

wpędów i wykonanie próbnych obciążeń przed palowaniem docelowym), pozwoliła odpowiednio wcześniej stwierdzić różnicę w warunkach gruntowych rzeczywistych i przyjętych w projekcie na podstawie pierwotnej dokumentacji geotechnicznej. Dobór właściwej technologii palowania umożliwił weryfikację przyjętego rozwiązania projektowego (zastosowanie odpowiednio dłuższych pali) przed wykonaniem palowania docelowego i zbudowaniem obiektu (fot. 1) Ostatecznie obiekt posadowiono na solidnym fundamencie o wymaganej nośności.

Trudno jednoznacznie ocenić, jakie byłyby skutki zastosowania pierwotnie projektowanych pali wierconych, wykonanych bez próbnych obciążeń, co przy małej ilości dopuszcza norma PN-83/B-02482. Dużo zależałoby od wiedzy i doświadczenia wykonawcy robót palowych. Prawdopodobne jest, że w przypadku opisanego obiektu wykonanie pali wierconych wiązałoby się z koniecznością wydłużenia czasu realizacji robót i wymagałoby dodatkowego wzmocnienia wykonanego już fundamentu palowego ze stopami pali wielkośrednicowych w piaskach luźnych. Gdyby wady posadowienia obiektu uwidoczniły się dopiero w czasie eksploatacji, koszty wzmocnienia byłyby jeszcze większe.

Niedoceniana zaleta prefabrykowanych pali wbijanych – wbijany pal = „sonda gruntowa” – uchroniła w odpowiednim czasie wykonawcę i inwestora obiektu przed takimi konsekwencjami. □