

Ekologia czy ekonomia?

Aspekt decydujący o zastosowaniu pali przemieszczeniowych do posadowienia obiektów mostowych

tekst: prof. dr hab. inż. KAZIMIERZ GWIZDAŁA, dr inż. PAWEŁ WIĘCŁAWSKI, Politechnika Gdańska

Wykonanie fundamentu w każdym przypadku stanowi ingerencję w środowisko i naturalne podłoże gruntowe. W okresie, kiedy istotną uwagę zwracamy na szeroko rozumianą ekologię, należy dążyć do zastosowania technologii, która będzie przyjazna dla otoczenia i w minimalnym stopniu oddziaływała na środowisko naturalne.

1. Wstęp

Szczególne znaczenie mają rozwiązania dla fundamentów głębokich. Stosowanie fundamentów głębokich najczęściej związane jest z występowaniem nawodnionych gruntów słabonośnych o dużej odkształcalności. Wydobywanie, przemieszczanie i składowanie gruntów tego rodzaju stwarza duże trudności z technicznego, ekologicznego i ekonomicznego punktu widzenia.

Technologie ekologiczne powinny uwzględniać m.in.:

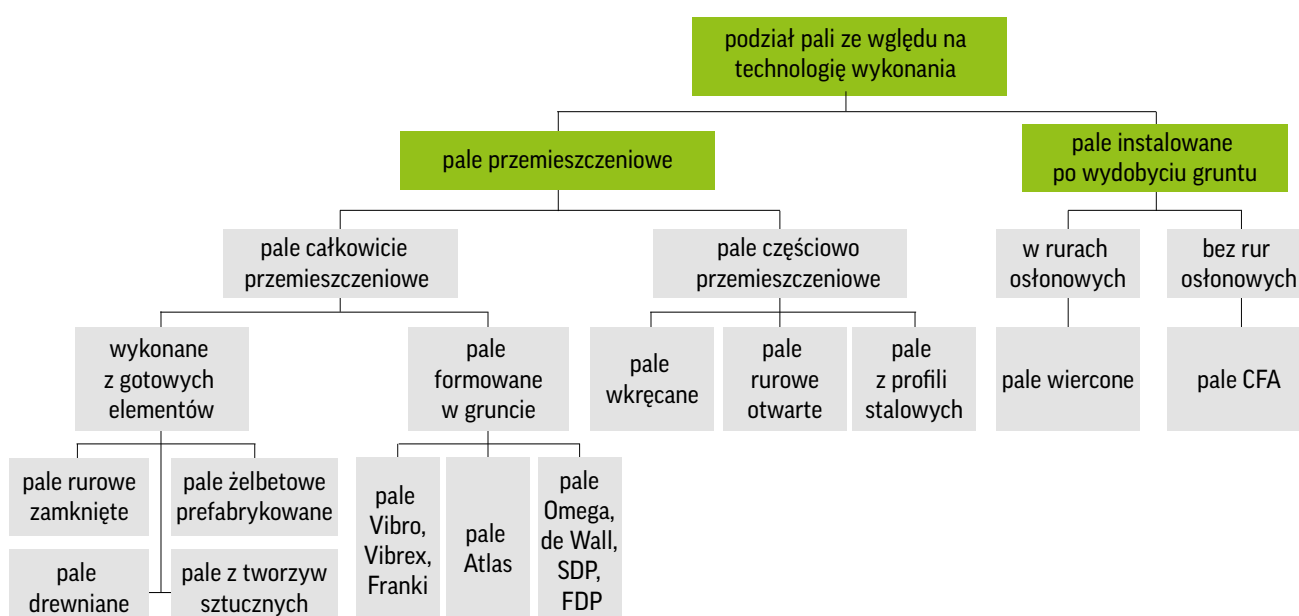
- przemieszczanie gruntu na boki w czasie realizacji,
- niewydobywanie gruntu na powierzchnię, dotyczy to głównie nawodnionych gruntów organicznych, gruntów nasypowych, antropogenicznych, gruntów zanieczyszczonych,
- znaczące ograniczenie transportu gruntów słabonośnych i nawodnionych,
- technologie pali pozbawione drgań, wstrząsów, wibracji, hałasu,
- właściwy dobór rozwiązań technicznych powinien zapewnić duże tempo robót.

- należy stosować rozwiązania efektywne, zapewniające poprawę warunków gruntowych, zwiększenie nośności oraz redukcję osiadań z zapewnieniem bezpieczeństwa i ekonomii rozwiązania,
- realizację fundamentów w zakresie metody obserwacyjnej, spełniającej kryteria ekonomiczne dla inwestora oraz w skali całej gospodarki [3].

Klasyczny podział fundamentów palowych obejmuje:

- pale gotowe, prefabrykowane, przygotowane wcześniej, wprowadzane w podłoże za pomocą różnych technik, np. pale drewniane, żelbetowe, stalowe, z tworzyw sztucznych,
- pale wykonywane w gruncie, np. wiercone, wbijane z rurą wyciąganą, wkręcane bez stosowania rury osłonowej.

Posadowienie obiektów mostowych i dróg realizowane jest bardzo często w skomplikowanych warunkach geotechnicznych. Trasy autostrad, dróg ekspresowych i obwodnic miast prowadzi się przez obszary, gdzie występują grunty uwarstwione



Ryc. 1. Podział pali ze względu na technologię wykonania

o bardzo zróżnicowanej wytrzymałości i odkształcalności. Projektowanie obiektów inżynierskich i dróg w takich warunkach wymaga zastosowania specjalistycznych technologii i nowoczesnych metod obliczeniowych. W artykule przedstawiono rozwiązania posadowienia obiektów mostowych na palach przemieszczeniowych, które w znacznym stopniu spełniają kryteria ekonomicznej gospodarki, ale również wykazują minimalną ingerencję w środowisko. Należy także wskazać, że są dobrą alternatywą dla pali wierconych, stosowanych powszechnie do posadowienia mostów, wiaduktów i estakad w latach 90. XX w. w Polsce.

2. Pali wiercone wielkośrednicowe jako posadowienie obiektów mostowych

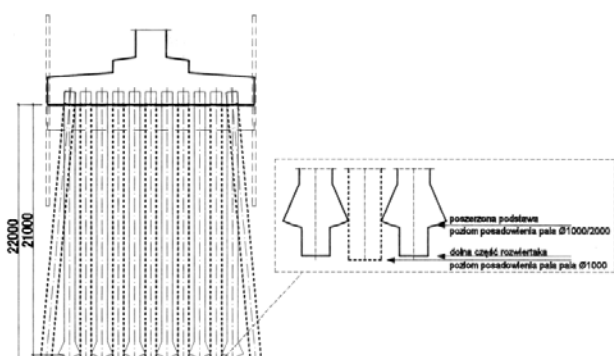
Pali wiercone wielkośrednicowe wykonuje się o średnicach od 1 m do 1,8 m i długości od 10 m do 40 m. W zależności od warunków gruntowych wykonuje się:

- pali wiercone bez rury osłonowej,
- pali wiercone w zawieszinie bentonitowej,
- pali wiercone w rurze osłonowej.

W Polsce wykonano wiele obiektów mostowych, gdzie posadowienie na palach wielkośrednicowych zastosowano prawidłowo, a rozwiązania konstrukcyjne fundamentów zapewniają bezpieczeństwo obiektu i umiarkowane przemieszczenia.

Podstawy pali mogą być walcowe lub poszerzone. Rozwiercanie podstaw w większości przypadków pogarsza warunki współpracy z podłożem, powoduje odprężenie gruntu w obrębie podstawy oraz wysklepienia w strefie poszerzonej [8].

Pali formowane w ten sposób powodują rozluźnienie gruntu, zmiany stanu gruntu w wyniku napływu wody gruntowej i powstawania ciśnienia sphywowego. Zjawiska te wpływają bezpośrednio na nośność i osiadania fundamentu. Przykładem inwestycji, w której wykorzystano rozwiercanie podstaw, jest most w ciągu drogi S2 – Południowa Obwodnica Warszawy [1]. Próbné obciążenia statyczne wykazały, że nośność zaprojektowanych pali jest niewystarczająca. W celu zapewnienia bezpiecznej pracy podpory konieczne było zwiększenie liczby pali z 48 do 99. Dodatkowe 51 pali miały średnice 1000 mm i długość 21 m, wykonano je bez rozwiercania podstaw.



Ryc. 2. Przekrój przez fundament palowy [1]

Badania terenowe wykazały, że mobilizacja oporu pobocznic i podstawy pali wierconych wielkośrednicowych występuje przy różnych wielkościach osiadań. Mobilizacja oporu podstawy pala pojedynczego osiągnięta jest przy osiadańach rzędu 10%, a pobocznic – 3% średnicy. Przy bardzo dużych średnicach wartości te nie zapewniają właściwej pracy konstruk-

cji w zakresie roboczych obciążeń pali. Dotyczy to szczególnie fundamentów o dużych powierzchniach i wieloprzęsłowych obiektów mostowych.

Jedną z metod redukcji osiadań i zwiększenia nośności jest wykonanie iniekcji pod i wokół pala. Szczególne znaczenie ma szybka mobilizacja oporu podstawy. W tym celu generuje się naprężenia w gruncie bezpośrednio pod podstawą po wykonaniu pala.

W Polsce można wyróżnić trzy rodzaje iniekcji pod podstawą pali wierconych:

- metoda sztywnej komory iniekcyjnej [10],
- metoda iniekcji bezpośredniej, bezkomorowa, opracowana przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów [11],
- metoda elastycznej komory z geotkaniny, opracowana w Katedrze Geotechniki Politechniki Gdańskiej [2, 6, 8, 12].

Sztywną komorę iniekcyjną zastosowano m.in. pod silnie obciążone obiekty przemysłowe i mostowe [10].

Metoda iniekcji bezpośredniej IBDiM stosowana jest głównie do posadowień obiektów typu mostowego [11].

W metodzie opracowanej w Katedrze Geotechniki Politechniki Gdańskiej zastosowano iniekcję cementową z wykorzystaniem elastycznej komory z geotkaniny półprzepuszczalnej i modyfikowanego zaczynu cementowego. Metoda była stosowana do posadowień obiektów mostowych dla pali posadowionych w gruntach niespoistych i spoistych.

Głównymi parametrami w procesie wzmacniania podstawy pali są: ciśnienie iniekcji, przemieszczenie głowicy pala, objętość iniektu i czas iniekcji. Proces wykonywania iniekcji powinien być monitorowany w sposób ciągły, aby umożliwić weryfikację nośności podstawy i pobocznic pala, technologii wykonania oraz ewentualnych błędów procesu [2, 6, 8, 12].

Zastosowanie iniekcji umożliwiło realizację dużych obiektów mostowych. Zapewnia bezpieczną współpracę fundamentu z podłożem oraz właściwą eksploatację obiektów. Takie rozwiązanie zastosowano m.in. do budowy mostu przez Kanał Bydgoski. Obiekt wykonano w gruntach uwarstwionych, w łach pęczniących. Został zaprojektowany jako trójprzęsłowy na palach o średnicy 1200 mm. Długość pali pod przyczółkami wynosiła od 13 m do 15 m. Pod podporami pośrednimi do 18 m. Sprawne wykonanie pali oraz iniekcja w specjalnie dobrane komory iniekcyjne z geosyntetyków zapewniła bardzo dobre charakterystyki przenoszenia obciążeń. Kolejnym przykładem jest most Jana Pawła II przez Martwą Wisłę w ciągu trasy Sucharskiego w Gdańsku. Fundamenty wszystkich podpór zaprojektowano jako masywne bloki żelbetowe, posadowione na palach wierconych o średnicy 1800 mm i 1500 mm o długości od 26 m do 30 m. Pod podstawami pali, posadowionych w piaskach, zaprojektowano komory iniekcyjne do



Ryc. 3: a) most Jana Pawła II przez Martwą Wisłę w Gdańsku, fot. T. Brzozowski, b) most przez Kanał Bydgoski, fot. K. Gwidzdała

przyspieszania mobilizacji oporów gruntu pod podstawami i zmniejszania osiadań. Ze względu na specyficzną konstrukcję mostu część podpór wraz z palami pracuje na siły wyciągające.

Podobnych realizacji jest bardzo dużo. Uzasadnieniem słuszności zastosowania pali wierconych wielkośrednicowych jest konieczność przeniesienia znacznych obciążeń od konstrukcji. Prawidłowa technologia wykonania pali, ale przede wszystkim iniekcji pod podstawami, jest skomplikowana, wymaga doświadczenia i precyzji, aby fundament mógł pracować zgodnie z oczekiwaniami.

3. Prefabrykowane, żelbetowe pale wbijane

Obecnie coraz częściej stosuje się pale przemieszczeniowe (zob. ryc. 1). Prefabrykowane, żelbetowe pale wbijane są znane i stosowane w różnych rodzajach budownictwa w Polsce od wielu lat. O ich wykorzystaniu decydują następujące zalety:

- szybkość wykonania, od 200 do 350 m pali dziennie za pomocą jednej palownicy,
- znaczna długość pali, przy zastosowaniu pali łączonych do 45 m,
- łatwość dostosowania aktualnej długości do lokalnych warunków gruntowych,
- możliwość bieżącej kontroli przez pomiar wępu i weryfikację zagłębienia w podłożu,
- możliwość bieżącej kontroli za pomocą wzorów dynamicznych i badań dynamicznych.

Szerokie zastosowanie pali prefabrykowanych możliwe jest dzięki szerokiemu zakresowi przekrojów poprzecznych, odpowiednio od 20 x 20 cm do 45 x 45 cm co 5 cm oraz zróżnicowanej długości [6, 8].

3.1. Most przez Wisłę w ciągu drogi ekspresowej S7

W projekcie wykonawczym posadowienie wszystkich podpór przewidziano na palach wierconych, wielkośrednicowych, w rurach osłonowych o średnicy 1200 mm i długości od 19 m do 23 m. Pod podstawami pali przewidziano wykonanie iniekcji cementowej w komorze według patentu Katedry Geotechniki Politechniki Gdańskiej. W rozwiązaniu zamiennym, przedstawionym w projektach technologicznych, przewidziano posadowienie podpór lądowych oraz nurtowych mostu na palach żelbetowych, prefabrykowanych, wbijanych o przekroju 400 x 400 mm.

Proces instalowania tego rodzaju pali w gruncie jest sprawniejszy i umożliwiający kontrolę wykonania każdego pala. Na podstawie pomiarów wępu i badań dynamicznych PDA można korygować



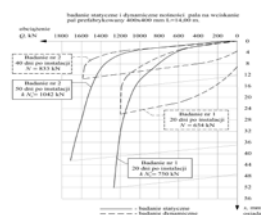
Ryc. 4. Most przez Wisłę w ciągu drogi S7, fot. K. Gwizdała

długości pali i na bieżąco optymalizować projekt posadowienia. Podczas wykonywania pali wbijanych następuje poprawa parametrów gruntowych przez dogęszczenie i zwiększenie początkowego stanu naprężenia w gruncie, dzięki czemu pale mają lepszą charakterystykę obciążenia – osiadanie Q-s i większą nośność niż np. pale wiercone o takich samych parametrach geometrycznych.

Żelbetowe pale prefabrykowane wbijane należą do technologii przemieszczeniowych i są coraz częściej z powodzeniem stosowane w posadowieniu obiektów mostowych, również dużych mostów przez rzeki. Pale przemieszczeniowe, w tym pale wbijane, mogą jednak stwarzać trudności w trakcie wykonywania. Trudności te mogą polegać na nieosiągnięciu wymaganych głębokości wprowadzenia pali w warstwy nośne i pojawiają się w zagęszczonych gruntach niespoistych lub w zwartych gruntach spoistych oraz przy jednocześnie małych rozstawach pali. Do pokonywania tego rodzaju trudności niezbędne jest duże doświadczenie wykonawcy oraz wysokiej jakości sprzęt i prefabrykaty palowe. Wymienione trudności są szczególnie niekorzystne w przypadku posadowień mostów, gdzie wymagane jest odpowiednie zagłębienie pali w warstwach gruntów nośnych ze względu na znaczne siły poziome przekazywane na fundamenty palowe oraz niebezpieczeństwo rozmycia dna rzeki przez nurt wody.

3.2. Estakada w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska

Posadowienie zrealizowano na palach prefabrykowanych o wymiarach przekroju poprzecznego 400 x 400 mm i długościach całkowitych prefabrykatów od 7 m do 27 m w zależności od umiejscowienia podpory i warunków gruntowych. W sumie wykonano 6772 sztuki pali o łącznej długości 130 712 m. Na podstawie analizy wyników próbnych obciążeń statycznych i dynamicznych pali testowych stwierdzono, że ponad 90% podpór przenosi obciążenia projektowe bez zastrzeżeń. Wartości współczynnika stanowiącego stosunek wartości nośności z uwzględnieniem tarcia negatywnego do wartości obciążenia projektowanego wynoszą od 1,01 do 2,92. W nielicznych przypadkach zaobserwowano niewielki deficyt nośności pali. Jednak zastosowanie metody obserwacyjnej umożliwiło modyfikację planów palowania.



Ryc. 5. Estakada WE-1 w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska i wyniki próbnych obciążeń pala [5]

Wprowadzenie zmian do projektu w postaci wydłużenia pali konstrukcyjnych oraz (lub) zaprojektowanie dodatkowych pali w środkowych rzędach posadowienia podpór zapewniło bezpieczną pracę pali w przenoszeniu obciążeń. W wielu przypadkach zaobserwowano wzrost nośności pali z upływem czasu w stosunku do nośności początkowej. Przyrosty nośności w czasie weryfikowano próbnymi obciążeniami statycznymi i badaniami dynamicznymi. Średni przyrost nośności pali w czasie rzeczywistym wynosi ok. 60% średnio po 45 dniach. Dla całego obiektu wahał się od 20% do 85%, a przerwy między badaniami nośności pali wynosiły od 7 do 85 dni [5, 7].

4. Pale Vibro i Franki

Pale Vibro, Vibro-Fundex, Vibrex należą do pali w pełni przemieszczeniowych wykonywanych w gruncie, bez wydobywania gruntu na powierzchnię. Najczęściej stosowane średnice trzonu to 457 mm oraz 508 mm, średnica traconej podstawy stalowej jest większa i wynosi od 500 mm do 700 mm. Powiększona średnica buta stalowego powoduje, że otrzymujemy od razu pal o poszerzonej podstawie. Wyciągnięcie rury wibratorem powoduje zagęszczenie betonu oraz dobre zespolenie trzonu pala z podłożem. Pale Vibro-Fundex charakteryzują się bardzo korzystną charakterystyką, tzn. dużą nośnością przy małych osiadaniach. Zastosowanie młotów hydraulicznych znacznie zredukowało drgania przekazywane przez podłoże na konstrukcję. Pale tego rodzaju wykonywano np. w Gdańsku zamiennie za pale wielkośrednicowe z iniekcją pod podstawę w gęsto zabudowanym terenie, w odległości kilku metrów od krawędzi nabrzeża oraz istniejących obiektów [6, 8, 13].

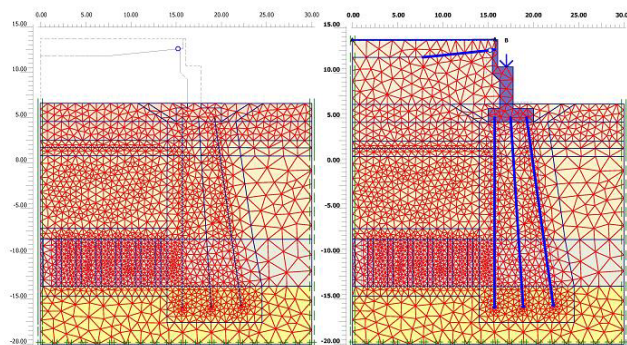
Pale wykonywane w technologii Franki należą do jednych z najstarszych technik fundamentowania głębokiego. Technologia stosowana jest z dużym powodzeniem również dzisiaj. Średnica rury stalowej wynosi najczęściej od 500 mm do 600 mm, długość od 12 m do 20 m. Wbijanie rury stalowej, wewnątrz z korkiem z suchego betonu, wykonuje się za pomocą ubijaka wolnospadowego. Wybijanie korka ubijakiem powoduje formowanie powiększonej podstawy, a sukcesywne podnoszenie rury stalowej za pomocą wyciągarki z jednoczesnym uzupełnianiem betonu – formowanie pobocznic dobrze zespolonej z otaczającym gruntem [8].

Istnieje możliwość stosowania technologii zmodyfikowanych, w których dodatkowo wykonuje się dogęszczenie, powiększenie podstawy, wzmocnienie żwirem, wykorzystuje się młot hydrauliczny zamiast ubijaka [8].

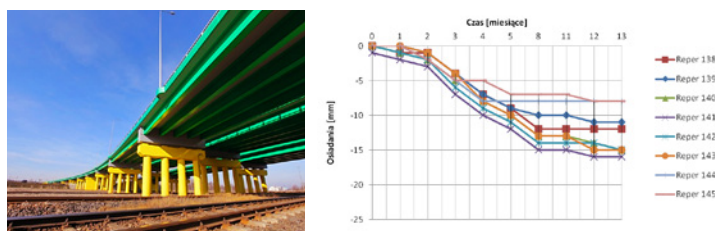
4.1. Wiadukt WD-7 w ciągu trasy Sucharskiego w Gdańsku

Wiadukt WD-7 wykonano w ciągu umożliwiającym bezkolizyjny transport do terminala kontenerowego Z-5 i Portu Północnego w Gdańsku. Całkowita długość wiaduktu wynosi 192,5 m. Pierwotny projekt zakładał wykonanie posadowienia w technologii pali wielkośrednicowych wierconych o średnicy 1500 mm i długości do 28 m. Ostatecznie fundamenty wykonano jako pale Vibro-Fundex o średnicy trzonu 508 mm. W celu zapewnienia wymaganej nośności liczba pali została zwiększona do 78, lecz zastosowano długości od 16 m do 18,5 m. Dodatkowo wzmocniono warstwy gruntów słabo-nośnych, stosując wgłębne kolumny betonowe [9]. Przyjęcie nowego rozwiązania umożliwiło redukcję osiadań na skutek obciążenia przyczółków po wcześniejszym wykonaniu nasypów najazdowych. Przeciążenie wywołało tarcie negatywne, redukując jego wpływ na późniejsze osiadania fundamentu. Wielkość osiadań w najbardziej obciążonym obszarze została zredukowana o ponad 30%.

Na podstawie analiz stwierdzono, że prognozowane osiadania nasypu w fazie użytkowej są niskie i są związane również z osiadaniami samego przyczółka. Próbné obciążenia statyczne i dynamiczne potwierdziły bardzo dobrą nośność pali Vibro-Fundex. Rzeczywiste pomiary osiadań za pomocą metod geodezyjnych wykazały prawidłową pracę całego przyczółka (zob. ryc. 8).



Ryc. 7. Model zastosowany w obliczeniach wpływu osiadania nasypu dojazdowego na przyczółek wiaduktu. Układ początkowy po wykonaniu kolumn wgłębnych i nasypu do rzędnej 6,6 m n.p.m. oraz układ ostateczny po wykonaniu i obciążeniu nawierzchni drogowej i przyczółka [9]



Ryc. 8. Wiadukt WD-7 i WD-8 na trasie Sucharskiego w Gdańsku oraz wykres osiadań podpory P10 w czasie, fot. K. Gwizdała

4.2. Most autostradowy przez Wisłę w Grudziądzu

Całkowita długość obiektu wynosi 1955 m i składa się z dwóch podpór nurtowych oraz 35 podpór lądowych na terenach zalewowych Wisły. Estakada północna składa się z 21 przęsła. Przęsła skrajne mają rozpiętość 38,4 m, a 19 przęsła pośrednich – 48 m. Estakada południowa składa się z 12 przęsła. Posadowienie podpór estakad stanowią fundamenty na palach Vibro lub Franki. Możliwość wykonania tych rodzajów pali oraz ich nośności zostały ocenione na podstawie pilotażowych prób wbijania pali i próbných obciążeń statycznych. Posadowienie podpór mostu głównego zaprojektowano na palach wierconych o średnicy 1500 mm. Pod każdym z tych fundamentów wykonano po 36 pali o długości ok. 25 m.

Pale Vibro wykonano przy użyciu rury osłonowej o średnicy 508 mm, średnicy podstawy stalowej 560 mm, i długości 25,4 m. Ze względu na wystarczająco duże opory wbijania pale Vibro wykonano bez wtórnego dobijania rury osłonowej. Średni czas wykonania jednego pala wynosił ok. 1,5–2 godzin.

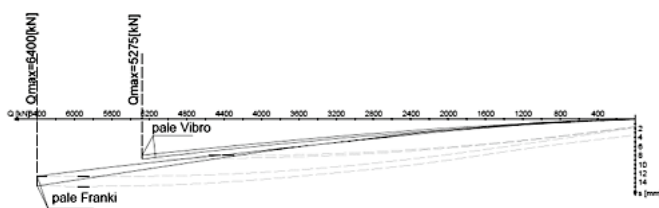


Ryc. 9. Budowa mostu przez Wisłę w ciągu autostrady A1 w Grudziądzu, fot. K. Gwizdała

Pale Franki wykonano przy użyciu rury osłonowej o średnicy 560 mm. Przed wbijaniem rury w miejscu lokalizacji pala wykonano podwiercenie za pomocą świdra ciągłego do głębokości 15–18 m. Następnie wbito rurę z korkiem z suchego betonu z użyciem klasycznego ubijaka wolnospadowego. Pale wykonano o długości 23 m i 23,5 m. Średni czas wykonania jednego pala wyniósł ok. 3 godzin.

Po analizie wyników próbnych obciążeń pali stwierdzono, że zarówno pale Vibro, jak i pale Franki wykazały bardzo dobrą pracę w podłożu gruntowym. Otrzymano bardzo wysokie nośności pali.

Większa nośność pali Franki wynika z kryterium interpretacji. Ogólnie lepsze parametry współpracy z podłożem gruntowym wykazały pale Vibro – mniejsze osiadania przy jednakowych wartościach obciążeń. Małe wartości osiadań trwałych wskazują dodatkowo, że w prawie całym zakresie próbnych obciążeń współpraca pali z podłożem gruntowym znajdowała się w fazie sprężystej.



Ryc. 10. Krzywe osiadania pali Vibro i Franki mostu przez Wisłę w ciągu autostrady A1 w Grudziądzu

5. Podsumowanie

Współczesne technologie wykonania pali umożliwiają racjonalne i ekonomiczne wykorzystanie warunków podłoża gruntowego. Od strony technicznej i ekonomicznej posadowienie na palach przemieszczeniowych jest korzystniejsze [3, 4, 5, 7]. Wpływają na to następujące aspekty:

- doświadczenia projektowe i wykonawcze wykazują, że możliwe jest zastosowanie tej technologii palowania dla obiektów mostowych, czego przykładem jest najdłuższa estakada w Polsce w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska, estakady dojazdowe mostu przez Wisłę w Grudziądzu w ciągu autostrady A1 oraz wiele innych;
- zastosowanie tej technologii pozwala na większą kontrolę procesu wykonywania robót palowych niż w przypadku pali wierconych;
- w strefach gruntów luźnych i średnio zagęszczonych wbijanie pali poprawia warunki zagęszczenia, co przekłada się na korzystniejsze charakterystyki obciążenie – osiadanie;
- w zagęszczonych piaskach technologie te mogą stwarzać problemy z osiągnięciem żądanej głębokości posadowienia w miarę dogęszczania się podłoża w obrysie fundamentu, należy wówczas zastosować właściwą kolejność i odpowiednią technikę wbijania pali;
- bezpośrednio po wbiciu pali można przystąpić do kolejnych robót, bez oczekiwania na wiązanie betonu, co ogólnie przyspiesza roboty fundamentowe;
- technologia pali przemieszczeniowych nie wymaga wydobywania, składowania lub wywozu gruntu z urobku, co jest uciążliwe w przypadku pali wierconych i gruntów słabonośnych (szczególnie w terenach zabudowanych);
- duże tempo wykonywania pali przemieszczeniowych jest czynnikiem skracającym czas realizacji projektu;

- metodę obserwacyjną zastosowano w ostatnich latach przy budowie estakad i wiaduktów. Zaobserwowano w wielu przypadkach wzrost nośności pali z upływem czasu (również w gruntach piaszczystych) w stosunku do nośności początkowej, co stanowiło podstawę do projektowania fundamentów na żelbetowych, prefabrykowanych palach wbijanych w sposób optymalny.

Literatura

- [1] Barcz S., Lisowski T.: *Doświadczenia z zastosowania pali wierconych z poszerzoną podstawą na budowie mostu drogowego przez Wisłę w ciągu drogi ekspresowej S-2*. Materiały seminarium IBDiM i PZWFS. Warszawa, 7 marca 2019, s. 37–46.
- [2] Gwizdała K., Pinkowski A.: *Wpływ iniekcji pod podstawą na osiadanie pali wierconych w piaskach*. „Inżynieria i Budownictwo” 2007, nr 7–8, s. 379–381.
- [3] Gwizdała K.: *Ekologiczne aspekty projektowania fundamentów palowych. Problemy naukowo-badawcze budownictwa*. T. 1. *Problemy budownictwa na terenach ekologicznie cennych*. Red. M. Broniewicz, J.A. Prusiel. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej. Białystok 2007.
- [4] Gwizdała K., Krasiński A.: *Zastosowanie przemieszczeniowych pali wkręcanych w podłożu uwarstwionym na przykładzie realizacji obiektu w warunkach gruntowych delty Wisły*. „Inżynieria i Budownictwo” 2009, nr 3, s. 133–136.
- [5] Gwizdała K., Więclawski P.: *Influence of time on the bearing capacity of precast piles*. „Studia Geotechnica et Mechanica” 2013, Vol. 35, nr 4, s. 65–74.
- [6] Gwizdała K., Więclawski P.: *Polish experience in the assessment of pile bearing capacity and settlement of the pile foundation*. Materiały konferencji *Baltic Piling Days*, Estonia, Tallin, 3–5 września 2012.
- [7] Gwizdała K., Więclawski P.: *Racjonalne projektowanie podpór wiaduktów drogowych*. „Mosty” 2013, nr 1, s. 20–22.
- [8] Gwizdała K.: *Fundamenty palowe. Technologie i obliczenia*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2011.
- [9] Gwizdała K., Cudny M.: *Opinia geotechniczna dotycząca wzmocnienia podłoża kolumnami wgłębnymi (MMC) pod nasypami najazdów na przyczółki wiaduktów WD7 i WD8 w osi nr 10, Trasa Sucharskiego, zadanie II, odcinek węzeł Wosia Budzysza – węzeł Ku Ujściu*. Gdańsk 2011.
- [10] Jarominiak A.: *Zwiększanie nośności pali wielkośrednicowych i słupów szczelinowych*. „Inżynieria i Budownictwo” 2004, nr 6, s. 290–299.
- [11] Szymankiewicz C.: *Iniekcyjne naprężanie podstaw pali wierconych i baret*. Materiały seminarium *Fundamenty palowe i specjalne*. Warszawa 2004.
- [12] Tejchman A., Gwizdała K.: *Badanie nośności pali wielkośrednicowych pod pylonem mostu podwieszonoego przez Martwą Wisłę w Gdańsku*. „Inżynieria i Budownictwo” 2000, nr 12, s. 662–664.
- [13] Więclawski P.: *Metodyka szacowania osiadań pali Vibro na podstawie wyników badań statycznych CPT*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2016.

Artykuł w formie referatu został wygłoszony podczas XV Wrocławskich Dni Mostowych, które odbyły się 28–29 listopada 2019 r. we Wrocławiu.



Doświadczyc postępu.



Liebherr maszyny do głębokiego fundamentowania

- Szeroka oferta i długi okres eksploatacji ze względu na solidną budowę osprzętu
- Niska emisja i wysoka efektywność dzięki inteligentnym systemom napędowym
- Komfort obsługi dzięki innowacyjnej koncepcji sterowania
- Dopasowane narzędzia robocze zapewniają doskonałą wydajność
- Zoptymalizowana konstrukcja dzięki wszechstronnej konsultacji
- Odpowiednia pompa gąsienicowa do betonu z cyfrowym łączem do komunikacji z wiertnicą

Liebherr-Polska Sp. z o. o.
ul. Hansa Liebherra 8
41-710 Ruda Śląska
Tel.: +48 32 342 69 50
E-mail: info.lpl@liebherr.com
www.facebook.com/LiebherrConstruction
www.liebherr.pl

LIEBHERR