



Ryc. 1. Widok świdra FDP

## Zastosowanie pali FDP w budownictwie mostowym

■ mgr inż. Roman Rogowski, mgr inż. Piotr Franczak, P.I. IMB-Podbeskidzie



Po akcesji Polski do Unii Europejskiej na rozbudowę i modernizację sieci drogowej w Polsce uzyskaliśmy niezbędne fundusze, których brak był główną bolączką poprzednich dekad. Spowodowało to dynamiczny rozwój budownictwa infrastrukturalnego w kraju, pociągając za sobą konieczność wykorzystania pod inwestycje nowych obszarów, na których niejednokrotnie występują trudne warunki geologiczno-inżynierskie.

Ponieważ przy wyznaczaniu tras dróg i autostrad uwzględnia się różne kryteria lokalizacyjne, coraz częściej kwestia obecności korzystnych warunków geologicznych schodzi na dalszy plan, co w konsekwencji prowadzi do zwiększonych kosztów posadowienia, związanych z realizacją obiektów inżynierskich. Podobna sytuacja panuje również w budownictwie komercyjnym, które stara się wykorzystać tereny o atrakcyjnej lokalizacji, niewykorzystywane dotąd ze względu na potencjalnie wysokie koszty posadowienia, wynikające z niekorzystnej geologii terenu.

### 1. Wprowadzenie

Trudne warunki gruntowe w większości sytuacji prowadzą do rezygnacji z posadowienia bezpośredniego obiektów inżynierskich na rzecz posadowienia pośredniego z wykorzystaniem rozmaitych technik palowania. W celu skrócenia czasu realizacji robót palowych, a w konsekwencji kosztów posadowienia, pod koniec XX w. nastąpił rozwój technik palowania przy pomocy specjalnych świdrów, np. cieszących się dużą popularnością pali

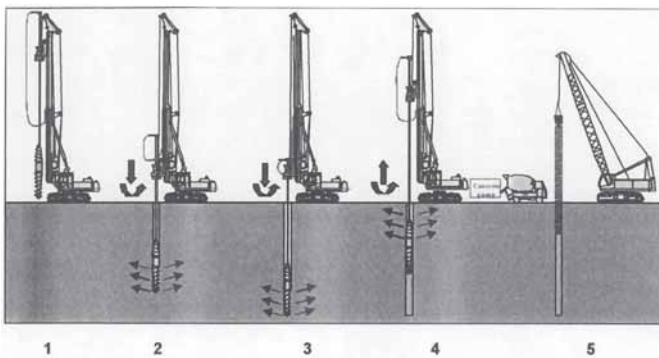


CFA (*Continuous Flight Auger Piles*). W latach 90. wykryła się na dobre idea pali wkręcanych z dogęszczeniem gruntu na pobocznicy, zwanych FDP (*Full Displacement Piles* – pale z pełnym przemieszczeniem gruntu na pobocznicy) lub SDP (*Soil Displacement Piles* – pale z przemieszczeniem gruntu na pobocznicy). Doprowadziło to do powstania kilku różnych rozwiązań pali w technologii FDP, posiadających jednak wspólne cechy, takie jak np. sposób wykształcenia podstawy i pobocznicy pala czy jego pracę w ośrodku gruntowym. Dogęszczenie gruntu wzdłuż pobocznicy i podstawy pala prowadzi do poprawy jego parametrów, zwiększając tym samym nośność pala, odmiennie niż w tradycyjnych metodach palowania (z wyjątkiem pali wbijanych), w których wykonanie pala nie ma znaczącego wpływu na poprawę parametrów otaczającego pal ośrodka gruntowego. Dlatego też zastosowanie pali wkręcanych ma szczególne znaczenie w gruntach bardzo słabych, takich jak gliny, iły i pyły w stanie plastycznym i miękkoplastycznym oraz piaski drobne i pylaste w stanie luźnym.

Napotykać na tego rodzaju grunty o znacznej miąższości oraz biorąc pod uwagę charakter obiektów mostowych i towarzyszące im znaczne obciążenia, projektanci niejednokrotnie są zmuszeni do projektowania pali „stojących”, utwierdzonych w gruntach o lepszych parametrach, zalegających na znacznych głębokościach, pomijając w zasadzie nośność warstw słabych, leżących powyżej. Zastosowanie pali przemieszczeniowych FDP pomaga lepiej wykorzystać warstwy słabe, prowadząc do bardziej ekonomicznego posadowienia obiektu.

## 2. Opis technologii FDP

Technologia pali FDP stosunkowo powoli ulega rozpowszechnieniu na rynku polskim, chociaż wykonanie pala FDP w znacznym stopniu przypomina wykonanie bardzo popularnych pali CFA. Różnica polega na specjalnym, obłym kształcie świdra wierzącego (ryc. 1). Poniżej przedstawiono schematycznie procedurę wykonania pala FDP. Przed przystąpieniem do prac należy wykonać utwardzoną platformę roboczą, z poziomu której wykonywane będą pale.



Ryc. 2. Poszczególne etapy wykonania pala FDP

Krok 1: Najechanie maszyny i ustawienie wiertła w osi wykonywanego otworu.

Krok 2: Rozpoczęcie wiercenia. Świdra wykonuje ruch obrotowy i jest jednocześnie wciskany w grunt.

Krok 3: Osiągnięcie projektowanej głębokości.

Krok 4: Zabetonowanie pala. Podczas wyciągania świdra beton jest podawany pod ciśnieniem przez jego rdzeń.

Krok 5: Ułożenie zbrojenia w świeżym betonie.

Następujące parametry wiercenia podczas wykonywania kolejnych kroków (ryc. 2) są rejestrowane przez komputer wiertniczy FDP:

- czas wiercenia i betonowania pala
- moment obrotowy świdra
- prędkość pogrążania świdra jego zagłębienie oraz liczba obrotów na minutę
- ciśnienie oraz ilość podawanego betonu.

Powyższy monitoring umożliwia stałą kontrolę jakości pala FDP oraz zgodności warunków gruntowych z założonymi w projekcie palowania.

Pale FDP z uwagi na spore opory wiercenia mają najczęściej średnicę 0,4 m i 0,6 m. Maksymalna długość pala zależy od możliwości głowicy obrotowej wiertnicy i długości żerdzi. Na polskim rynku wykonuje się pale FDP do głębokości 24 m. Wymogi dotyczące zbrojenia oraz betonu określa norma PN-EN 1536 *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Pale wiercone*.

Przemieszczenie gruntu uzyskuje się poprzez specjalny kształt świdra wierzącego (ryc. 1), posiadającego zmienny skok dolnych łopatek, obły kształt w centralnej części, jak również przeciwny kierunek łopatek w górnej części. Dodatkowo zagęszczenie gruntu uzyskuje się poprzez beton, który podawany jest pod ciśnieniem przez rdzeń świdra. Przemieszczenie ziemi z otworu w jego sąsiedztwo zapewnia wysokie zagęszczenie gruntu w obrębie wykonywanego pala. Konsekwencją tego jest zwiększenie o ok. 50% siły przenoszonej przez pal (w stosunku do nominalnej średnicy). Bezwibracyjny proces wiercenia i formowania pala pozwala na prowadzenie prac w bliskim sąsiedztwie innych budowli, a brak wydobywanego urobku znacznie ogranicza zanieczyszczenie placu budowy i oszczędności na robotach związanych z jego usunięciem.

Ograniczeniem pali wykonywanych w technologii FDP jest niemożność ich stosowania w gruntach z natury niezagęszczalnych lub trudnozagęszczalnych, czyli spoistych twardoplastycznych półzwardych i zwartych oraz niespoistych średniozagęszczonych i zagęszczonych, z wyjątkiem sytuacji, w których wyżej wymienione grunty są przewarstwione gruntami zagęszczalnymi. W takim przypadku urobek z warstw mocniejszych jest transportowany i „wciskany” do warstw słabszych (zagęszczalnych), powodując ich wzmocnienie.

## 3. Przykłady zastosowania pali FDP w budownictwie mostowym

Posadowienie fundamentu na palach FDP zastosowano m.in. dla przedsięwzięcia *Przebudowa wiaduktu w km 444 + 110.90 wraz z budową drogi dojazdowej i murów oporowych w rejonie obiektów w miejscowości Słomiróg w ramach kontraktu Wzmocnienie nawierzchni do 115 kN/ós na drodze krajowej nr 4 Kraków– Tarnów odcinek I: Kraków – Targowisko km 443 + 900 – 444 + 250*. Pierwotnie zaprojektowano posadowienie obiektu na 68 palach CFA  $\varnothing$  600 mm o długości 9 m.

W związku z niekorzystnymi warunkami geologicznymi (ryc. 3) w celu podniesienia nośności i ograniczenia osiadań – przy niezwiększaniu kosztów – zaproponowano zamianę pali CFA na pale FDP o tej samej średnicy  $\varnothing$  600 mm. Prace przeprowadzone były przy użyciu wiertnicy BG 24 H firmy Bauer. W trakcie wiercenia dało się zauważyć sukcesywne zagęszczanie się gruntu w rejonie palowania, o którym świadczyło średnie zużycie betonu na metr bieżący pala, które dla pierwszych pali wynosiło ok. 0,44 m<sup>3</sup>/m.b., osiągając dla ostatnich 0,29 m<sup>3</sup>. Minimalna wymagana obliczeniowa nośność pala wynosiła 521 kN. Z uwagi na brak norm krajowych dotyczących obliczenia nośności pali przemieszczeniowych, w projekcie posadowienia pale FDP policzono zgodnie z normą PN-83/B-02482, przyjmując

współczynniki technologiczne jak dla pali prefabrykowanych, wbijanych, określając ich nośność  $N_t = 927$  kN. Próbné obciążenie pala przeprowadzono zgodnie z PN-83/B-02482 na siłę  $Q_r = 521$  kN, dla której osiadanie wyniosło 1,7 mm. Następnie pal odciążono, odnotowując trwałe osiadanie równe 0,8 mm, po czym badanie kontynuowano, obciążając stopniowo pal do siły  $Q_{max} = 1029$  kN (197% $Q_r$ ), odnotowując osiadanie równe 6,0 mm, a po odciążeniu zarejestrowano trwałe osiadanie równe 3,1 mm. Ze względów naukowych zdecydowano się kontynuować badanie w celu wyznaczenia nośności granicznej, obciążając stopniowo pala aż do osiągnięcia siły 1862 kN = 357% $Q_r$  (osiadanie 31,5 mm, trwałe 20,9 mm) – maksymalnej w kontekście wytrzymałości konstrukcji do próbnego obciążenia i, co jest warte podkreślenia, nie osiągnięto jeszcze nośności granicznej pala. Późniejsza analiza wyników pozwoliła obliczeniowo określić nośność graniczną na ok. 2200 kN, dla której można przyjąć nośność obliczeniową równą  $0,5 \cdot 2200$  kN = 1100 kN. Powyższy wynik pokazuje, iż projektowanie pali FDP zgodnie z PN-83/B-02482 i przyjęciem współczynników technologicznych jak dla pali prefabrykowanych, wbijanych, jest bezpieczne w kontekście nośności pali i całego fundamentu.

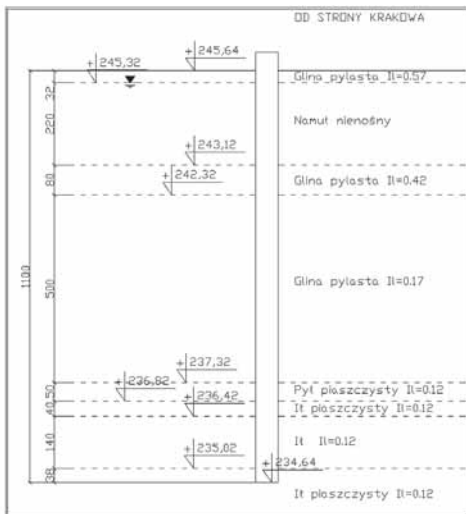
Dodatkowo analiza krzywej obciążenie – osiadanie prowadzi do kolejnego pozytywnego wniosku, iż pełna mobilizacja pobocznic następuje już przy bardzo niewielkich osiadań (ryc. 4), co ma ogromne znaczenie dla przyszłej eksploatacji obiektu.

Na uwagę zasługuje również realizacja posadowienia podpór na palach FDP wiaduktu kolejowego nad ul. Mikołowską w Rybniku Paruszowcu. Ze względu na spore obciążenia, skomplikowane

warunki geologiczne (ryc. 7) i niewielką powierzchnię podpór w planie, zaprojektowano pierwotnie pod każdym przyczółkiem sześć pali  $\varnothing 1200$  mm, o długości 9 m z poszerzoną podstawą średnicy 2500 mm. Jednakże wymiary umocnionego wykopu znacznie utrudniałyby wykonanie pali wielkich średnic z wykorzystaniem wciskarki. Uwzględniając wszystkie powyższe uwarunkowania, należało zastosować pale o sporej nośności, których wykonanie byłoby możliwe w warunkach ograniczonego wykopu. Dlatego też zdecydowano się na posadowienie obydwu fundamentów na 23 palach FDP  $\varnothing 600$  mm, o długości 10 m, zakończone w warstwie glin w stanie twardoplastycznym.



Ryc. 5. Głowice pali FDP



Ryc. 3. Profil geologiczny

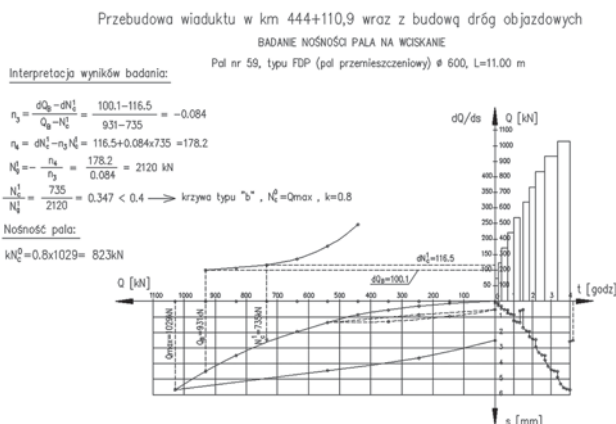


Ryc. 6. Wiadukt w Rybniku Paruszowcu

Wymagana minimalna nośność pojedynczego pala wynosiła 893 kN. Biorąc pod uwagę nasze dotychczasowe doświadczenia, nośność pojedynczego pala FDP obliczono jak dla pali prefabrykowanych, wbijanych, zgodnie z PN-83/B-02482. Próbné obciążenie statyczne pali przeprowadzono na siły  $Q_r = 893$  kN i  $Q_{max} = 1372$  kN. Otrzymano następujące rezultaty: dla siły  $Q_r$  pomierzone osiadanie wyniosło 1,3 mm, trwałe po odciążeniu pala 0,7 mm, dla siły  $Q_{max}$  zanotowano 4,6 mm osiadań, a po odciążeniu pala trwałe osiadanie wyniosło 3,1 mm. Z uwagi na powyższy zakres obciążeń oznaczono nośność pala na 980 kN. Jednakże analizując krzywą obciążenie – osiadanie (ryc. 8) oraz minimalne wartości osiadań, można z całą pewnością stwierdzić, iż rzeczywista nośność pala jest znacznie większa.

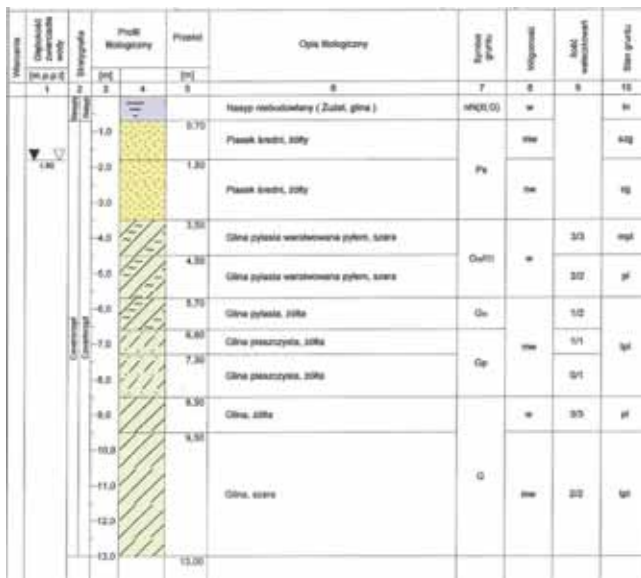
## 4. Podsumowanie

Na koniec należy podkreślić, że z ekonomicznego punktu widzenia pale FDP prezentują się również pozytywnie dzięki dużej wydajności (średnio ok. 20 m.b./h) oraz braku wynoszonego urobku. Pomimo wielu korzyści płynących z zastosowania pali FDP, nie są one dostatecznie rozpowszechnione wśród projek-



Ryc. 4. Krzywa osiadania pala próbnie obciążanego – wiadukt w Słomirogu



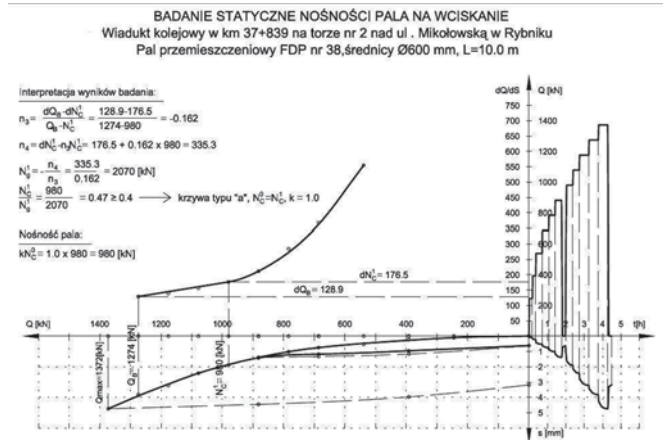


Ryc. 7. Profil geologiczny dla podpór wiaduktu kolejowego w Rybniku

tantów obiektów mostowych. Wynika to nie tylko z faktu, iż jest to technologia stosunkowo nowa, ale również z braku norm krajowych dotyczących obliczania nośności pali przemieszczeniowych, których oczywiste zalety, jak choćby zwiększona nośność oraz doskonała charakterystyka obciążenie – osiadanie, są jednym z podstawowych kryteriów charakteryzujących dobrze zaprojektowany i wykonany fundament palowy.

**Literatura**

1. PN-83/B-02482 *Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.*



Ryc. 8. Krzywa osiadania pala próbnie obciążanego – wiadukt w Rybniku

2. Gwizdała K.: *Opinia geotechniczna dotycząca nowych technologii pali, pale typu Omega i SDP.*
3. Gwizdała K.: *Ocena nośności pali przemieszczeniowych FDP Ø 600 wykonanych pod przyczółki wiaduktu kolejowego na podstawie próbnych obciążeń statycznych pali.*
4. Gwizdała K.: *Ocena nośności pali przemieszczeniowych FDP Ø 600 wykonanych pod przyczółki mostu drogowego w/c DK nr 4 na podstawie próbnych obciążeń statycznych pali.*
5. Projekt wykonawczy *Budowa wiaduktu kolejowego w km 37 + 839 na torze nr 2 linii nr 140 Katowice Ligota-Nędza nad ulicą Mikołowską w Rybniku Paruszowcu.*
6. Projekt wykonawczy *Przebudowa wiaduktu w km 444 + 110,90 wraz z budową dróg dojazdowych i murów oporowych w rejonie obiektów.*



**PRZEDSIĘBIORSTWO INŻYNIERYJNE**  
**IMB-PODBESKIDZIE Sp. z o.o.**  
ul. Górny Bór 31a, 43-430 Skoczów  
tel./fax. (033) 853 25 65  
e-mail: [biuro@imbpodbeskidzie.pl](mailto:biuro@imbpodbeskidzie.pl)

Zrealizowaliśmy projekty współfinansowane przez UE.