

# Ocena nośności pali CFA z podstawą poszerzoną metodą iniekcji strumieniowej na budowie drogi ekspresowej S6



mgr inż.  
**CZESŁAW SZYMAKIEWICZ**  
Instytut Badawczy Dróg i Mostów  
ORCID: 0000-0003-2698-0599



prof. dr hab. inż.  
**LESZEK RAFALSKI**  
Instytut Badawczy Dróg i Mostów  
ORCID: 0000-0002-6355-2596



mgr inż.  
**PAWEŁ GŁOWACKI**  
Instytut Badawczy Dróg i Mostów  
ORCID: 0000-0003-0305-8948



mgr inż.  
**ANDRZEJ JACHACY**  
Instytut Badawczy Dróg i Mostów  
ORCID: 0000-0003-1029-5167

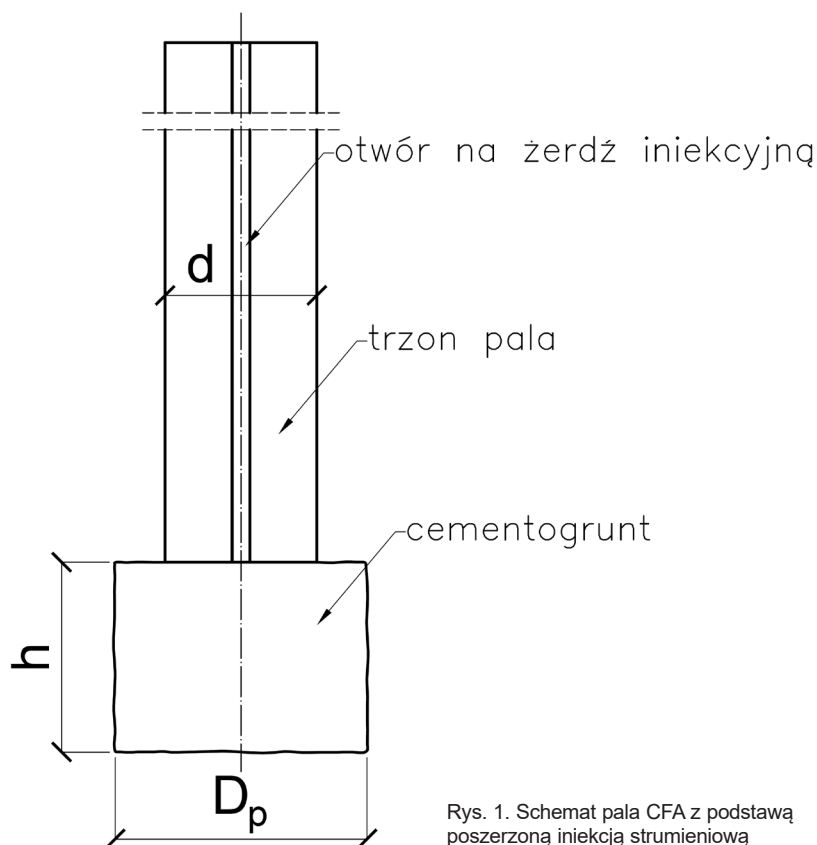


inż.  
**PIOTR SOBKOWICZ**  
Instytut Badawczy Dróg i Mostów  
ORCID: 0000-0003-1049-6997

W artykule przedstawiono wyniki badań pali CFA z podstawą poszerzoną metodą iniekcji strumieniowej, wykonanych podczas budowy obiektów mostowych drogi ekspresowej S6 na odcinku Kiełpino – Kołobrzeg.

## Wstęp

Tradycyjna technologia pala CFA (Continuous Flight Auger Piles) polega na wwierceniu w grunt ciągłego świdra ślimakowego na głębokość odpowiadającą długości pala w jednym cyklu, bez wyjmowania narzędzia. Urobek wypełnia przestrzeń między zwojami świdra, a jego część zostaje rozepchnięta w otaczający grunt, chroniąc otwór przed zasypaniem. Po osiągnięciu wymaganej głębokości świder podciąga się z równoczesnym wtłaczaniem przez rurę rdzeniową świdra mieszanki betonowej, a następnie po wypełnieniu otworu w mieszankę pogrąża się zbrojenie. Po jej związaniu tworzy się pal CFA [1]. Modyfikacja tej technologii polega na wzmocnieniu podłoża gruntowego pod stopą pala metodą iniekcji strumieniowej i utworzenie szerszej od trzonu pala kolumny cementogruntu przez dynamicznie działający strumień zaczynu cementowego. Po uformowaniu trzonu pala umieszcza się w świeżej mieszance betonowej zaślepioną od dołu rurę iniekcijną, która ma średnicę większą od średnicy końcówki do iniekcji strumieniowej. Po kilku dniach, gdy beton pala osiągnie wystarczającą wytrzymałość, wprowadza się w rurę żerdź z końcówką iniekcijną i wykonuje się iniekcję strumieniową pod podstawą



Rys. 1. Schemat pala CFA z podstawą poszerzoną iniekcją strumieniową



Rys. 2. Widok odkopanego trzonu pala z podstawą poszerzoną iniekcją strumieniową

trzonu pala [2], [3], [4]. W wyniku iniekcji strumieniowej uzyskuje się pal CFA z poszerzoną podstawą, którego schemat ilustruje rys. 1., a rys. 2. przedstawia widok odkopanego pala z kolumną cementogruntu. Nośność pali CFA oblicza się według zasad podanych w [5] i [6], natomiast do obliczania nośności pali CFA z poszerzoną podstawą przyjęto wytyczne projektowania pali opracowane w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów, uwzględniające specyfikę tych pali. Metoda obliczania nośności pionowej pala CFA z podstawą poszerzoną iniekcją strumieniową polega na zsumowaniu nośności wynikającej z oporu boczniczy pala betonowego, oporu podstawy kolumny z cementogruntu i oporu po-

boczniczy tej kolumny. Poszerzona podstawa wpływa na zmianę współpracy pala z podłożem, co powoduje konieczność określenia innych współczynników technologicznych niż w przypadku tradycyjnych pali CFA. Projektując pale CFA z poszerzoną podstawą, należy dążyć do usytuowania kolumny cementogruntu w jednej warstwie gruntu. Takie rozwiązanie ułatwia określenie warunków technologicznych iniekcji strumieniowej.

Podczas budowy 4 obiektów mostowych drogi ekspresowej S6 na odcinku Kiełpino – Kołobrzeg wykonano 226 pali CFA z podstawą poszerzoną metodą iniekcji strumieniowej, które charakteryzowały się średnicami  $d/D_p = 600/1000, 600/1300, 700/1000,$

$700/1100, 700/1300, 700/1400, 800/1100$  i  $800/1200$  mm. Podstawy pali znajdowały się w średnio zagęszczonych piaskach, glinach piaszczystych oraz glinach pylastych.

Wykonano próbne obciążenia 15 pali i na podstawie tych badań oceniono nośność obliczeniową pali, którą porównano z obciążeniem obliczeniowym według projektu. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie wyników przeprowadzonych badań.

## Wyniki badań i ich ocena

Na rys. 3. przedstawiono przykładowy wykres próbnego obciążenia pala CFA z podstawą poszerzoną metodą iniekcji strumieniowej.

Obciążenie obliczeniowe według projektu, wyniki próbnego obciążenia oraz wskaźnik nośności obliczeniowej na podstawie badania 15 pali (określony jako iloraz tej nośności do obciążenia obliczeniowego według projektu) zestawiono w tab. 1.

Średnia wartość wskaźnika nośności obliczeniowej pali na podstawie przeprowadzonych badań wyniosła 1,08 (średniego obciążenia obliczeniowego według projektu (przy odchyleniu standardowym 0,25)).

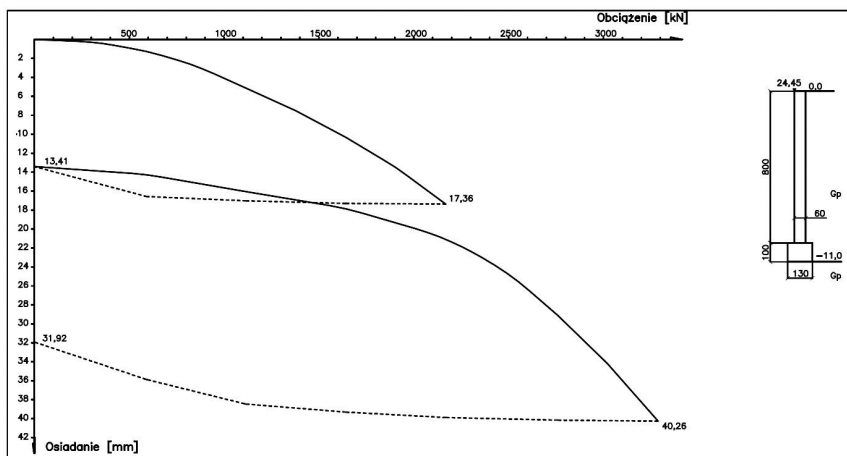
Z przeprowadzonych badań wynikało, że trzy pale wykonane pod podporę A w obiekcie MS-74 charakteryzowały się mniejszą nośnością obliczeniową na podstawie badania w porównaniu do obciążenia obliczeniowego według projektu (tab. 1.). Na przykład pal MS74 A2 miał nośność obliczeniową na podstawie badania wynoszącą 1590 kN, a obciążenie obliczeniowe według projektu wynosiło 2344 kN. Pale te były usytuowane w lewej części podpory. W celu ustalenia przyczyny niewystarczającej nośności obliczeniowej tych pali wykonano dodatkowe son-

Tab. 1. Obciążenie obliczeniowe według projektu, wyniki badań nośności obliczeniowej oraz wskaźniki nośności pali CFA z podstawą poszerzoną iniekcją strumieniową wykonanych na budowie obiektów mostowych drogi S6 na odcinku Kiełpino – Kołobrzeg

Numer pala	Charakterystyka pala	Obciążenie obliczeniowe według projektu kN	Nośność obliczeniowa na podstawie badania kN	Wskaźnik nośności obliczeniowej na podstawie badania
MS61 A18	Ø 700/1400 l=11,0 m *)	2433	2484	1,02
MS61 C56	Ø 700/1400 l=11,0 m	2253	3059	1,36
MS61 B28	Ø 600/1300 l=9,0 m	2160	3060	1,42
MS62 A18	Ø 600/1000 l=9,0 m	2176	2719	1,25
MS62 B33	Ø 600/1000 l=9,0 m	2093	2386	1,14
MS62 C57	Ø 700/1400 l=11,0 m	2176	2959	1,36
MS66 B28	Ø 600/1000 l=8,0 m	2100	2115	1,01
MS66 A18	Ø 700/1000 l=8,0 m	2287	2331	1,02
MS66 C57	Ø 700/1000 l=8,0 m	1934	2625	1,36
MS74 A2	Ø 700/1300 l=10,0 m	2344	1590	0,68
MS74 B30	Ø 800/1200 l=11,0 m	2455	2812	1,15
MS74 C42	Ø 800/1100 l=11,0 m	2376	2386	1,00
MS74 A11	Ø 700/1300 l=10,0 m	2344	1595	0,68
MS74 A9	Ø 700/1100 l=10,0 m	2344	1590	0,68
MS74 A24	Ø 700/1300 l=10,0 m	2344	2386	1,02
MS74 A2**)	Ø 700/1300 l=10,0 m	2344	3209	1,37

\*) np. Ø 700/1400 – oznacza projektowaną średnicę pala betonowego i poszerzonej podstawy pala, l – oznacza projektowaną długość pala

\*\*) powtórne badanie pala wzmocnionego dodatkowymi kolumnami



Rys. 3. Wykres próbego obciążenia pala CFA z podstawą poszerzoną metodą iniekcji strumieniowej – obiekt MS-61 pal nr B2

dowania sondą CPT. Stwierdzono, że grunty w tym miejscu charakteryzowały się słabszymi parametrami niż to wynikało z wcześniejszych badań. Dotyczyło to zarówno gruntów spoistych, jak i sypkich. Ponadto strop nieco mocniejszych glin był niżej niż zakładano. Przykładowo wzdłuż poboczniczy pala na głębokości od 3,6 m do 5,9 m w dokumentacji projektowej występują piaski drobne, dla których opór stożka qc sondy cpt wynosi 7 MPa. Natomiast sondowanie dodatkowe wykazało na tej głębokości piaski drobne i średnie, dla których opór stożka qc sondy cpt wynosi od 2,2 – 3,8 MPa, przy czym występują przewarstwienia namulów o znacznie obniżonych parametrach qc = 1,6 MPa. Zgodnie z dokumentacją projektową w podstawie pala występują piaski drobne qc = 10 MPa, a według badania dodatkowego qc = 8 MPa.

W związku z tym we wszystkich palach lewej części podpory A wykonano pod podstawami pali metodą iniekcji strumieniowej dodatkowe kolumny z cementogruntu o projektowanej średnicy 1100 mm i długości 2500 mm. Kolumny usytuowano z dwóch stron istniejących pali poprzez wiercenie wzdłuż poboczniczy oraz przez cementogrunt pod podstawą pala. Kolumny wzdłuż poboczniczy i pod podstawą cementogruntu połączono 3 prętami żebrowanymi o średnicy 20 mm.

Rozwiązanie okazało się skuteczne. Z ponownie wykonanego próbnego obciążenia wzmocnionego pala MS74 A2 wynikało, że nośność obliczeniowa tego pala na podstawie badania zwiększyła się ponad dwa razy, wyniosła 3209 kN i była 1,37 raza większa od obciążenia obliczeniowego według projektu (tab. 1.).

### Podsumowanie

Podczas budowy 4 obiektów mostowych drogi ekspresowej S6 na odcinku Kielpino – Kołobrzeg wykonano 226 pali CFA z podstawą poszerzoną metodą iniekcji strumieniowej oraz przeprowadzono próbnego obciążenia 15 pali. Stwierdzono, że w przypadku poprawnego rozpoznania podłoża metodą sondowania uzyskane nośności pali były większe niż projektowane. W trzech przypadkach grunty w podłożu były słabsze niż wynikało z sondowań i z tego powodu nośności pali były mniejsze niż projektowane. W wyniku zastosowania rozwiązania polegającego na wykonaniu pod każdym z tych pali dodatkowych dwóch kolumn z cementogruntu uzyskano zwiększenie nośności pali do wartości większych od projektowanych.

### Literatura:

- [1] Gwizdała K., Fundamenty palowe. Technologie i obliczenia. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [2] Szymankiewicz C., Poszerzanie podstaw pali metodą iniekcji strumieniowej, „Inżynieria i Budownictwo” nr 3/2013.
- [3] Słowikowski D., Bartoszek Z., Szymankiewicz C., Pale z iniekcjinie poszerzoną podstawą, „Geoinżynieria”, maj–sierpień 2017.
- [4] Patent nr 226652 pt. Sposób zwiększania nośności fundamentów głębokich oraz urządzenie do zwiększania nośności fundamentów głębokich. Uprawniony Instytut Badawczy Dróg i Mostów oraz Polbud-Pomorze Sp. z o.o.
- [5] PN-83/B-02482 Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych. PKN, Warszawa 1983.
- [6] PN-EN 1997-1 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne, PKN, Warszawa 2008.

DOI: 10.5604/01.3001.0015.4182

### PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Szymankiewicz Czesław, Rafalski Leszek, Głowacki Paweł, Jachacy Andrzej, Sobkowitz Piotr, 2021, Ocena nośności pali CFA z podstawą poszerzoną metodą iniekcji strumieniowej na budowie drogi ekspresowej S6, „Builder” 11 (292). DOI: 10.5604/01.3001.0015.4182

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań pali CFA z podstawą poszerzoną metodą iniekcji strumieniowej, wykonanych podczas budowy obiektów mostowych drogi ekspresowej S6 na odcinku Kielpino – Kołobrzeg. Wykonano badania 15 pali i na podstawie tych badań oceniono nośność obliczeniową oraz graniczną pali, które porównano z obciążeniem obliczeniowym według projektu. Z przeprowadzonych badań wynikało, że średnia wartość wskaźnika nośności obliczeniowej pali na podstawie przeprowadzonych badań wyniosła 1,08. Trzy pale usytuowane w lewej części podpory A w obiekcie MS-74 charakteryzowały się mniejszą nośnością obliczeniową na podstawie badania w porównaniu do obciążenia obliczeniowego według projektu. Na podstawie badań sondą CPT stwierdzono, że grunty w tym miejscu charakteryzowały się słabszymi parametrami geotechnicznymi niż wynikało z wcześniejszych badań. Z tego powodu we wszystkich palach lewej części tej podpory wykonano pod podstawami pali metodą iniekcji strumieniowej dodatkowe kolumny z cementogruntu, co spowodowało istotne zwiększenie nośności tych pali.

**Słowa kluczowe:** pal CFA, nośność, iniekcja strumieniowa, poszerzona podstawa

**Abstract:** ASSESSMENT OF THE LOAD-BEARING CAPACITY OF CFA PILES WITH THE BASE EXTENDED BY THE JET GROUTING METHOD ON THE CONSTRUCTION OF THE S6 EXPRESSWAY. The paper presents the test results of CFA piles with extended base using a jet grouting method, executed during construction of bridge objects on the expressway S6, section Kielpino – Kołobrzeg. There were 15 piles tested and calculated and ultimate load capacities were evaluated and compared with design load capacity of these piles. The test results confirmed that the average value of design bearing capacity ratio based on the test results was equal to 1.08. The tree piles located on the left side of the support A at the object MS-74 had lower calculated load capacity determined on the basis of the test in comparison with its design load capacity. It was confirmed on the basis of the CPT tests that soils in this place had lower geotechnical parameters in comparison with the previous tests. Because of this additional soil-cement columns were constructed in all piles located on the left side of this support which caused significant increase of load capacity of these piles.

**Keywords:** CFA pile, load capacity, jet grouting, widened base