

Piotr RYCHLEWSKI, Bolesław KŁOSIŃSKI  
Instytut Badawczy Dróg i Mostów

## ANALIZA BADAŃ NOŚNOŚCI I OSIADANIA PALI WIERCONYCH CFA

**Streszczenie.** Referat przedstawia wstępne analizy projektu badawczego, którego celem jest zebranie i ocena wyników badań nośności pali CFA wykonywanych w Polsce. Zebrano dotychczas wyniki blisko 80 badań od kilku wykonawców pali. Pale o średnicach od 400 mm do 1000 mm były posadowione w różnych gruntach, na wielu obiektach. Analizowane wyniki są reprezentatywne dla obecnej praktyki palowania. Ocena wyników pozwoliła uzyskać parametry charakteryzujące stosowane wymiary oraz nośności i osiadania pali. Uzyskane dane pozwolą przewidywać sztywność osiową pali w zakresie obciążeń użytkowych.

## ANALYSIS OF BEARING CAPACITY AND SETTLEMENT OF CFA PILES

**Summary.** The paper presents results of a research project aimed on collecting and evaluating results of loading tests of CFA piles constructed in Poland. For the analysis about 80 test results have been collected from several pile contractors. The tested piles of 400 mm to 1000 mm in diameter were embedded in various soils on many sites throughout Poland. The analysed results are representative for the actual piling practice. The evaluation of results enabled to derive typical data describing dimensions, bearing capacity and settlement of piles. The data obtained are useful for prediction of a pile axial stiffness in the range of working loads.

### 1. Wstęp

Technologia pali CFA - wierconych i formowanych ciągłym świdrem ślimakowym - jest nowoczesną, wydajną metodą fundamentowania, stosowaną na świecie od wielu lat. W Polsce od 1994 r. wykonuje się tą techniką pale o średnicach od 400 do 1000 mm [1, 4]. Przeprowadzono już wiele badań nośności pali CFA i zebrano doświadczenia wykonawcze. Wskazują one, że nośności pali CFA są większe niż typowych pali wierconych, lecz publikacje na ten temat są nieliczne np. [3, 5].

Referat przedstawia wstępne analizy statystyczne wyników badań w ramach projektu badawczego, którego celem jest zebranie i ocena wyników badań nośności pali CFA wykonywanych w Polsce. Przedstawione wstępne wnioski nie odnoszą się bezpośrednio do warunków gruntowych, w jakich były posadawiane pale. Zebrano dotychczas wyniki 79 badań od kilku wykonawców pali. Pale były posadawione w różnych gruntach, na wielu obiektach. W miarę gromadzenia dalszych danych opracowanie zostanie uszczegółowione, z uwzględnieniem warunków gruntowych i parametrów wykonania pali.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr 5 T07E 055 22 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych w latach 2002-2004.

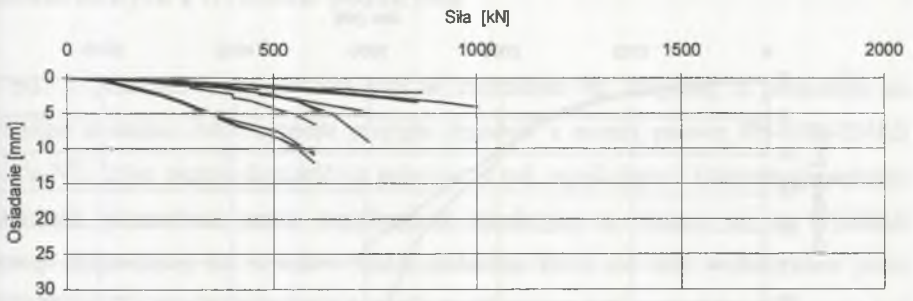
## 2. Baza danych z wyników badań pali

W wyniku działań IBDiM oraz współpracy krajowych firm wykonawczych zgromadzono dotychczas 79 wyników próbnych obciążeń pali CFA. Wyniki te są reprezentatywne dla krajowych warunków wykonawstwa pali CFA, lecz z drugiej strony dostępne dane nie zawsze są pełne, zwłaszcza te dotyczące podłoża gruntowego. Również wiele obciążeń zakończono na siłach dalekich od nośności granicznej (przy osiadaniu nawet poniżej 5 mm), co ogranicza ich przydatność interpretacyjną.

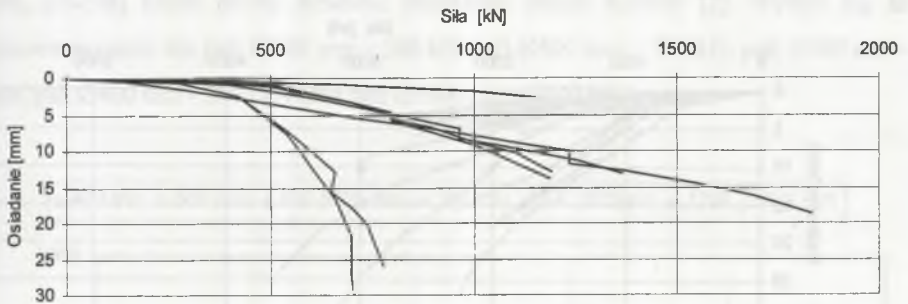
W analizie uwzględniono:

- 11 pali średnicy 400 mm, długości od 5,0 do 12,5 m, obciążanych do siły 600 ÷ 1004 kN,
- 7 pali średnicy 500 mm, długości od 6,5 do 13,0 m, obciążanych do siły 730 ÷ 1835 kN,
- 33 pale średnicy 600 (620) mm, długości od 6,0 do 15,0 m, obciążanych do siły 636 ÷ 1634 kN,
- 2 pale średnicy 700 mm, długości 17,0 i 18,3 m, obciążane siłą 3100 i 3400 kN,
- 17 pali średnicy 800 (820) mm, długości od 8,0 do 18,3 m, obciążanych do siły 1720 ÷ 3600 kN,
- 9 pali średnicy 1000 (1020) mm, długości od 14,0 do 17,0 m, obciążanych do siły 3200 ÷ 5940 kN.

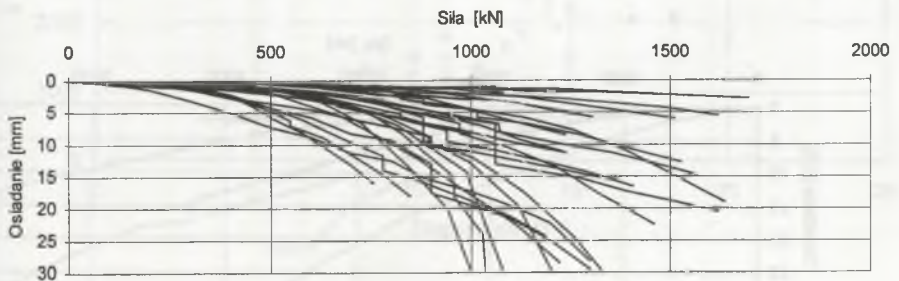
Na rysunkach 1 - 6 zestawiono krzywe osiadania pali poszczególnych średnic.



Rys. 1. Zależność obciążenie–osiadanie dla pali o średnicy 400 mm  
 Fig. 1. Load-settlement curves for 400 mm diameter piles

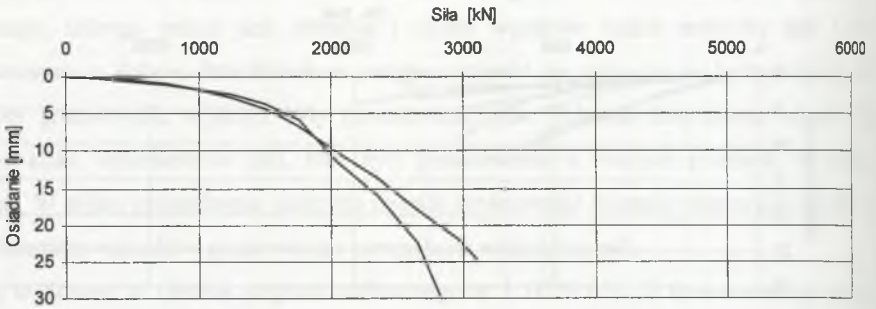


Rys. 2. Zależność obciążenie–osiadanie dla pali o średnicy 500 mm  
 Fig. 2. Load settlement curves for 500 mm diameter piles

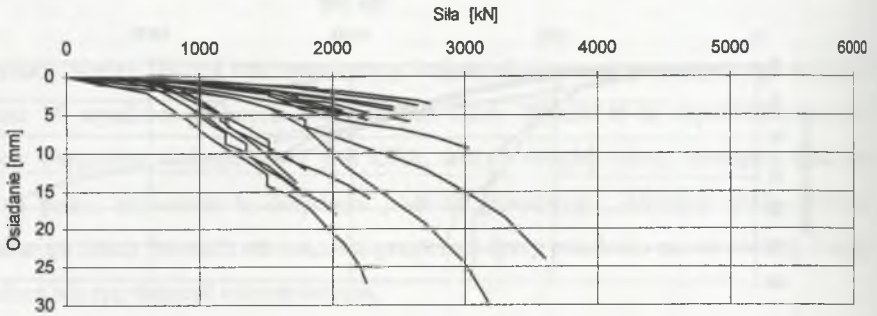


Rys. 3. Zależność obciążenie–osiadanie dla pali o średnicy 600 (620) mm  
 Fig. 3. Load settlement curves for 600 (620) mm diameter piles

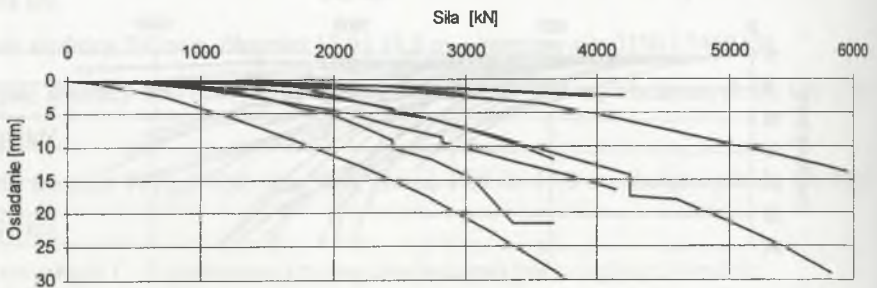




Rys. 4. Zależność obciążenie–osiadanie dla pali o średnicy 700 mm  
 Fig. 4. Load settlement curves for 700 mm diameter piles



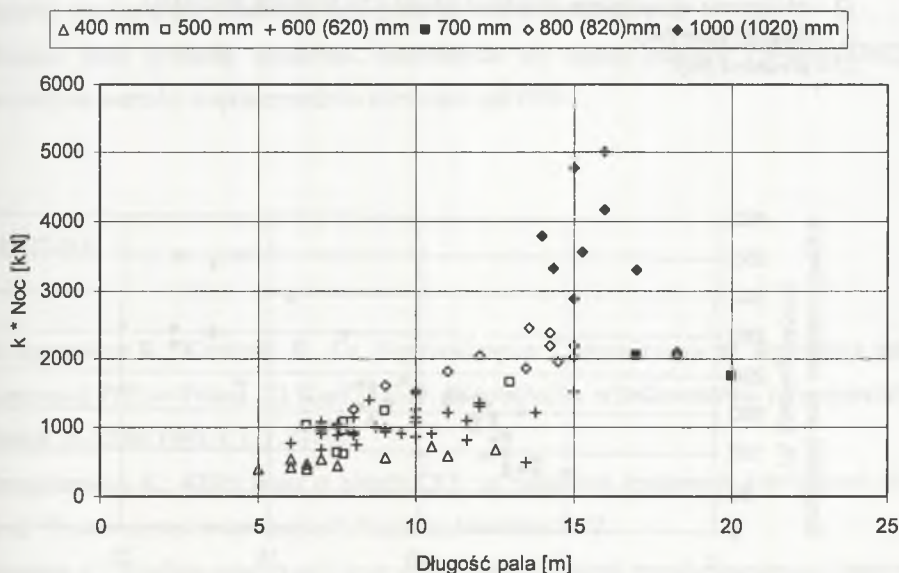
Rys. 5. Zależność obciążenie–osiadanie dla pali o średnicy 800 mm  
 Fig. 5. Load settlement curves for 800 mm diameter piles



Rys. 6. Zależność obciążenie–osiadanie dla pali o średnicy 1000 (1020) mm  
 Fig. 6. Load settlement curves for 1000 (1020) mm diameter piles

### 3. Analiza danych z wyników badań pali

Na rys. 7 przedstawiono nośności pali w zależności od długości, z podziałem na poszczególne średnice. Jako nośność przyjęto (zgodnie z normą palową PN-83/B-02482) obciążenie  $N^0_c$ , które można dopuścić na pojedynczy pal, wynikające z interpretacji wykresu pomocniczego, pomnożone przez współczynnik korekcyjny  $k$ . Oparto się na wynikach interpretacji załączonych do wyników badań nośności, które nie były wykonywane przez autorów referatu. To proste zestawienie pozwala projektantom zorientować się, jakie mogą być typowe nośności pali CFA. Znane są autorom referatu przypadki nadmiernie optymistycznie obliczanej nośności tych pali, nie mającej potwierdzenia w doświadczeniach. W związku z brakiem uregulowań dotyczących projektowania, celowe wydaje się postawienie pewnej granicy obciążeń, powyżej której należy stosować zaostrzone zasady kontroli [2]. Wydaje się, że powinna ona wynosić dla pali  $\varnothing 400$  mm - 500 kN, pali  $\varnothing 500$  mm - 800 kN, pali  $\varnothing 600$  mm - 1200 kN, pali  $\varnothing 800$  mm - 2400 kN oraz pali  $\varnothing 1000$  mm - 3000 kN.



Rys. 7. Nośność pala w zależności od jego długości, interpretowana z wyników badań  
Fig. 7. Pile bearing capacity versus length from loading tests

#### 4. Ocena sztywności osiowej pali

Sztywność osiową pali definiuje się jako stosunek obciążenia do osiadania głowicy. Parametr ten służy do oszacowania spodziewanego osiadania pala, a także do dokładniejszych analiz ustrojów palowych i interakcji z gruntem. Wartości sztywności wyznaczono przy osiadanii głowicy pala równemu 1% jego średnicy, co dość dobrze odpowiada zakresowi obciążeń użytkowych pali. Wyniki zestawione na rys. 8 wykazują dość regularny rozkład wartości sztywności. Na podstawie ich można zaproponować przybliżone zależności (1) i (2):

$$K = 17(\pm 7) \times L \quad (1)$$

gdzie:

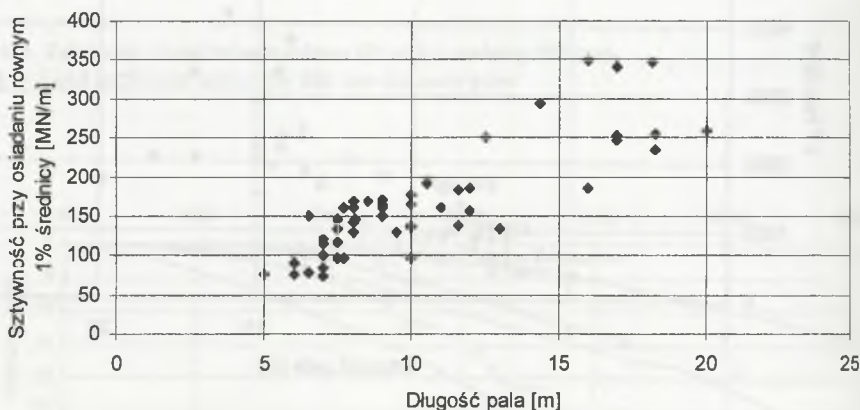
$K$  – sztywność pala przy osiadanii równym 1% średnicy [MN/m],  
 $L$  – długość pala [m].

Po przekształceniu wzoru (1) otrzymuje się zależność:

$$Q = 170(\pm 70) \times L \times D \quad (2)$$

gdzie:

$Q$  – obciążenie wywołujące osiadanie równe 1% średnicy pala [kN],  
 $L$  – długość pala [m],  
 $D$  – średnica [m].



Rys. 8. Sztywność osiowa przy osiadanii równym 1% średnicy pala w zależności od długości  
 Fig. 8. Axial stiffness versus pile length

## 5. Wnioski

1. Pale CFA są już powszechnie stosowane w kraju, zwłaszcza na terenach zabudowanych, dzięki brakowi wibracji, wstrząsów i niewielkiemu hałasowi. Mają one nośności większe od typowych pali wierconych.
2. We współpracy z wykonawcami pali CFA Instytut Badawczy Dróg i Mostów zgromadził zbiór wyników badań nośności. Dane to pozwalają szacować nośności i sztywności osiowe pali.
3. Nośności obliczeniowe pali  $\varnothing 400$  mm są rzędu 400 - 650 kN, pali  $\varnothing 500$  mm - od 700 kN do 1,2 MN, pali  $\varnothing 600$  mm - od 600 kN do 1,2 MN, pali  $\varnothing 800$  mm - od 1,2 do 3 MN oraz pali  $\varnothing 1000$  mm - od 2 do ponad 4 MN. Jednakże przy obciążeniach w górnej części tych przedziałów należy stosować zastrzone zasady kontroli i odbioru.
4. Sztywności osiowe pali przy osiadaniu odpowiadającym 1% średnicy można szacować ze wzoru:  $K = L \times 17(\pm 7) \text{ MN/m}^2$  [MN/m].
5. Nawet tak uproszczone analizy mogą być użyteczne dla projektantów, aby uniknąć grubych pomyłek wynikających z nadmiernego optymizmu co do nośności pali.
6. Zbierane dane pozwolą opracować uzupełnienie do normy palowej PN-83/B-02482, zawierające wartości współczynników dotyczące pali CFA.

## LITERATURA

1. Grzegorzewicz K., Kłosiński B., Cz. Szymankiewicz: Doświadczenia ze stosowania pali wierconych FSC w Polsce. XI Konf.M.G.iF. "Geotechnika w budownictwie i transporcie". Gdańsk 25-27.06.1997, t. 1, s. 31-36.
2. Grzegorzewicz K.: Kilka uwag o palach CFA na podstawie krajowych doświadczeń. III Konf. "Budownictwo w energetyce", Szczecin, kwiecień 2002.
3. Gwizdała K.: Analiza osiadań pali przy wykorzystaniu funkcji transformacyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej nr 41, Gdańsk 1996, 192 s.
4. Kłosiński B., P. Rychlewski: Naprawy i wzmocnienia fundamentów palowych. XVI Konf. "Warsztat pracy projektanta konstrukcji", Ustroń 21-24.02.2001, t. 1, s. 189-212.



5. Żmudziński Z., Motak E.: Analiza porównawcza nowych rodzajów pali fundamentowych. I Konf. "Współpraca budowli z podłożem gruntowym", Białystok-Wigry, czerwiec 1998, s. 413-422.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Bohdan ZADROGA

### **Abstract**

The paper presents results of a research project aimed at collecting and evaluating results of loading tests of CFA piles constructed in Poland. About 80 test results have been collected from several pile contractors. The tested piles were 500, 600, 700, 800 and 1000 mm in diameter, they were embedded in various soils on many sites throughout Poland. The analysed results are representative for the current piling practice in Poland. The evaluation of results enabled to derive typical parameters of CFA piles. The analysed data include pile lengths and diameters, bearing capacity and settlement of piles. The pile axial stiffness in the working load range was assessed. The parameters derived are useful for prediction of a pile behaviour and pile-ground interaction.