

## Nowe technologie wykonawstwa pali

*prof. dr hab. inż. Andrzej Tejchman, dr inż. Tadeusz Brzozowski  
Politechnika Gdańska*

Rozwój technologii wykonawstwa pali fundamentowych związany jest wieloma czynnikami kształtującymi proces budowy. Coraz trudniejsze warunki terenowe i gruntowe w których pale są wykonywane zmuszają do poszukiwania rozwiązań konstrukcji bardziej uniwersalnych lub wręcz odwrotnie – maszyn wyspecjalizowanych do pracy w określonych warunkach. Dużą rolę odgrywają również inne czynniki. Na przykład jak szybko można zacząć wykonywać pale od momentu przekazania placu budowy, ile czasu zajmuje wykonanie jednego pala, itd. Aby sprostać konkurencji (szczególnie zachodniej) polskie firmy budowlane wprowadzają szereg nowych metod wykonywania pali.

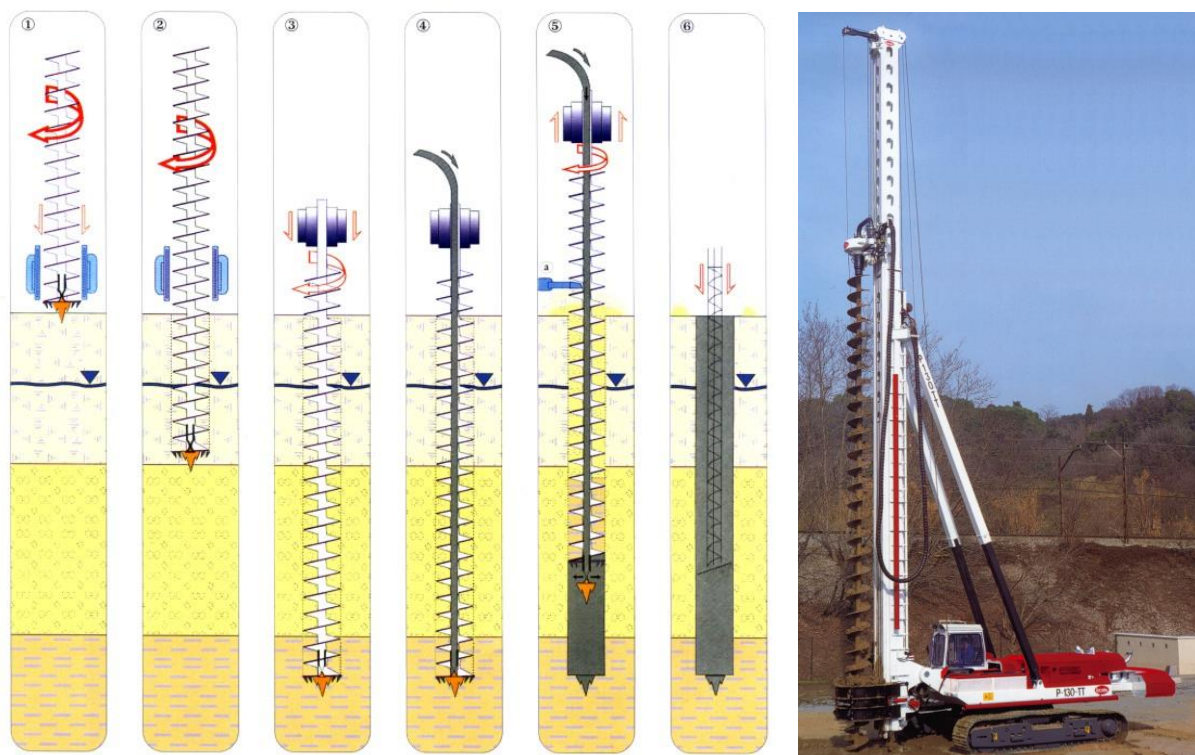
Z nowszych technologii wykonawstwa pali, stosowanych w Polsce, należy wymienić:

- pale CFA (formowane świdrem ciągłym),
- jet-grouting (wysokociśnieniowe pale strumieniowe),
- pale Vibrex (ulepszone pale Vibro),
- pale wkręcane Vibro-Fundex,
- pale Tubex,
- pale wiercone z zastosowaniem iniekcji pod podstawami.

Warto dodać, że w przypadku trudnych warunków gruntowych w uzasadnionych przypadkach dla wzmocnienia słabego podłoża stosuje się coraz częściej różnego rodzaju kolumny (żwirowe, żwirowo-cementowe, wapienne) lub ostatnio metodę głębokiego mieszania gruntu DSM (Deep soil mixing).

**Pale CFA** należą do pali bardzo popularnych, stosowanych dla przeniesienia obciążeń, rzędu  $800 \div 1500$  kN. Charakteryzują się bardzo szybkim wykonawstwem (jeden pał w ciągu  $30 \div 60$  min), brakiem wstrząsów (a więc mogą być stosowane w terenie zabudowanym) oraz niską ceną. Ich wadą jest konieczność wywiezienia z budowy wydobywanego gruntu podczas wiercenia otworu. Ten ostatni mankament został wyeliminowany w palach typu Atlas [3], a przede wszystkim w palach Omega [1], niestety w Polsce do tej pory nie wykonywanych.

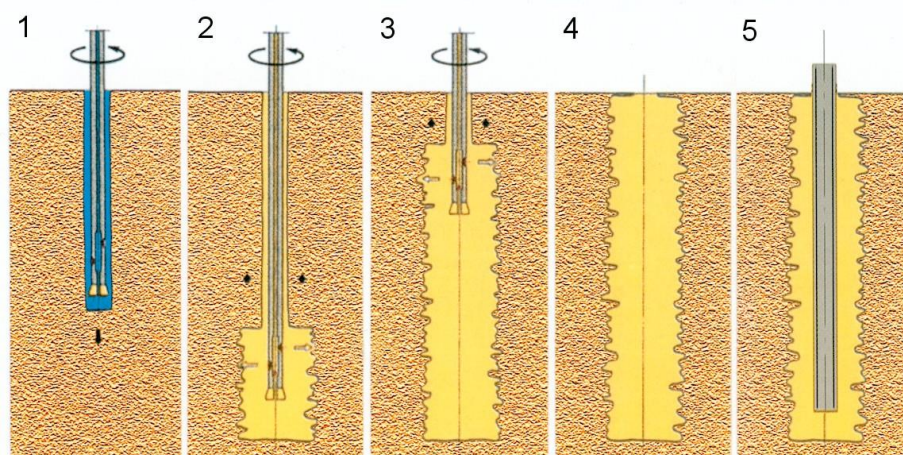
Przeważnie stosuje się średnice pali od 400 do 800 mm (czasami 1000 mm i więcej) o długościach od 10 do 15 m. Zdarza się, że projektuje się większe długości pali, ale wówczas mogą wystąpić trudności z wprowadzeniem zbrojenia po zabetonowaniu trzonu pala. Warto zwrócić uwagę, że w praktyce występuje tendencja stosowania krótkich pali CFA (np.  $6 \div 8$  m długości) co jednak jest poważnym błędem, wynikającym z ich technologii i sposobu pracy w gruncie. Ponadto pali tych nie należy stosować w przypadku występowania słabych, ściśliwych warstw gruntu (np. grunty organiczne, nawodnione drobne piaski).



Rys. 1. Fazy wykonawstwa pali CFA:

1. Ustawienie w osi, regulacja. 2. Wiercenie. 3. Doprowadzenie świda do warstwy nośnej. 4. Tłoczenie mieszanki betonowej do rury rdzeniowej świda. 5. Betonowanie z powolnym wykręcaniem świda (zgodnie z kierunkiem wkręcania), czyszczenie świda, stała kontrola betonowania. 6. Wprowadzenie zbrojenia (najczęściej wwirowanie).

**Pale Jet-grouting** stosuje się w szczególnych przypadkach. Bardzo przydatne są do wzmacniania istniejących już fundamentów (bezpośrednich lub na palach) różnych budowli. Przenoszą obciążenia rzędu 1000 ÷ 1500 kN. Nie powodują wstrząsów, ale są stosunkowo drogie i stąd rzadziej stosowane. Ich zaletą jest możliwość wykonawstwa sektorowego (np. ćwiartki, połówki). Stosuje się końcówki żerdzi z jedną, dwiema (najczęściej) lub trzema dyszami. Przeważnie wykonuje się pale jet-grouting o średnicy od 400 do 600 mm i długości 12 ÷ 18 m.

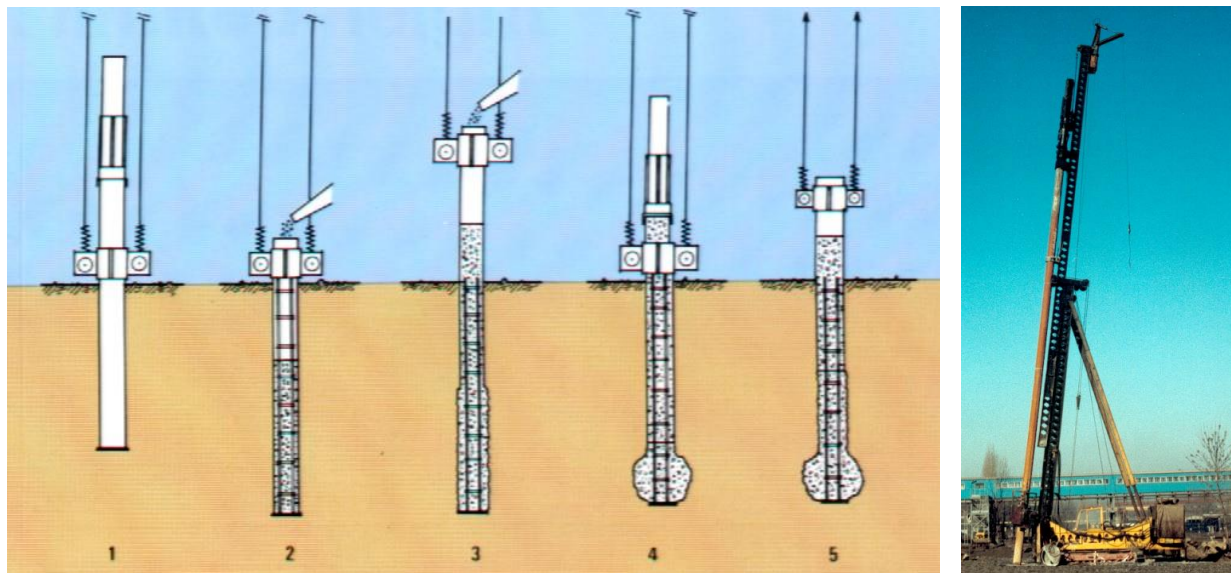


Rys. 2. Wykonawstwo pali Jet-grouting:

1. Wwiercenie dyszy iniekcyjnej w podłoże. 2. Rozpoczęcie procesu iniekcji.
3. Zakończenie iniekcji. 4. Gotowa kolumna jet-grouting. 5. Możliwe wprowadzenie zbrojenia natychmiast po zakończeniu iniekcji



**Pale Vibrex**, należące do grupy pali wbijanych, są ulepszonymi palami Vibro (Vibro-Fundex) do niedawna bardzo popularnymi, jednak nie zawsze słusznie zastępowanymi przez pale CFA. W czasie wykonawstwa wywołują wprawdzie wstrząsy, ale zapewniają bardzo dobrą, pewną pracę w gruncie. W wyniku zastosowania specjalnej technologii zwiększającej średnicę podstawy pala, osiągają przynajmniej 20% zwiększenie nośności w stosunku do znanych pali Vibro, przenosząc obciążenia rzędu 1500 ÷ 2500 kN. Stosowane średnice rury obsadowej to 457 oraz 508 mm, buta około 550 ÷ 600 mm, długości 15 ÷ 25 m.

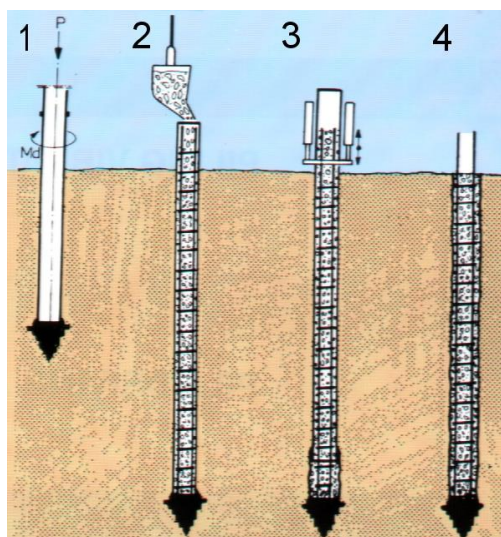


Rys. 3. Technologia wykonawstwa pali Vibrex:

1. Ustawienie w osi, regulacja, rozpoczęcie wbijania rury zakończonej stalowym butem.
2. Wprowadzenie zbrojenia, wypełnienie rury betonem.
3. Wibracyjne podciągnięcie rury na 2 ÷ 3 m (tak aby koniec rury pozostał w gruncie nośnym), wypełnienie betonem wystającej ponad teren części rury.
4. Przykrycie rury szczelnym kołpakiem, ponowne wbicie na żądaną głębokość (dodatkowa objętość betonu tworzy poszerzony trzon i podstawę pala) – etap 3 i 4 można powtórzyć 2 do 3 razy
5. Wibracyjne wyciąganie rury.

**Pale wkręcane Vibro-Fundex** są nową technologią palowania, mało znaną w Polsce, ale już możliwą do stosowania w kraju z uwagi na zakupienie maszyny przez jedną z firm. Technologię tę opracowano w celu wyeliminowania wstrząsów podczas wbijania rury obsadowej, co umożliwia stosowanie tych pali w terenie zabudowanym. Stosowana jest rura obsadowa o średnicy 500 mm ze specjalnym butem ułatwiającym wkręcenie rury. Długości pali dochodzą do 14 ÷ 20 m, osiągnięte nośności 1000 ÷ 2000 kN.





Rys. 4. Etapy wykonawstwa pali wkręcanych Vibro-Fundex:

1. Ustawienie w osi, regulacja, rozpoczęcie wkręcania rury zakończonej specjalnym butem. 2. Wprowadzenie zbrojenia, wypełnienie rury betonem. 3. Wyciągnięcie rury. 4. Wykonany pal.

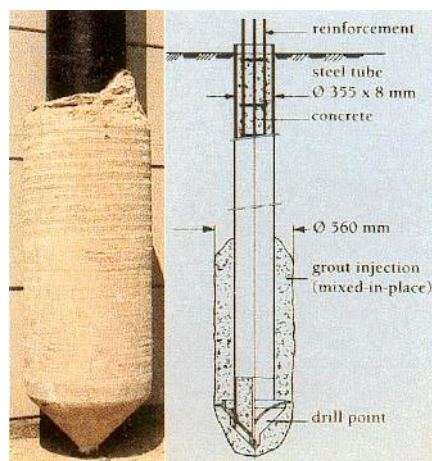
**Pale Tubex** wykonywane są głównie pod istniejącymi fundamentami, wykazującymi niewystarczającą nośność. Obecnie stosowane maszyny umożliwiają ich wykonawstwo nawet w zamkniętych pomieszczeniach, np. z poziomu piwnic. Technologia wykonywania tych podobnie jak wkręcanych pali Vibro-Fundex polega na wwierceniu (wkręceniu) rury pala w podłoże. W przypadku pali Tubex rury (łączone najczęściej z odcinków) pozostawiane są jednak w gruncie.



Rys. 5. Maszyna do wykonywania pali Tubex

W celu zwiększenia nośności pali Tubex stosuje się dodatkowo iniekcję cementową (pod podstawą, i na pobocznicę pala) wprowadzając iniekt przez specjalne dysze umieszczone w stożkowej końcówce rury. Iniektowanie odbywa się w trakcie procesu wwiercania pala. Efekt takiej iniekcji pokazano na rys. 6. Stosuje się pale Tubex o średnicy 300 ÷ 500 mm i długości 6 ÷ 16 m. Osiągane nośności są dość znaczne – szczególnie w przypadku zastosowania iniekcji – rzędu 2500 ÷ 3500 kN.



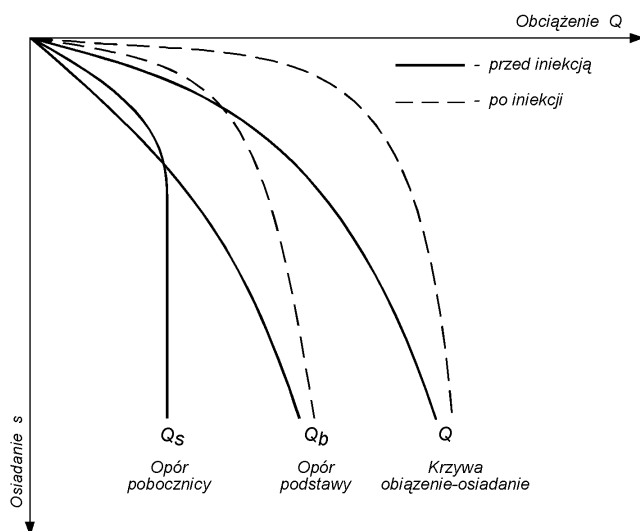


Rys. 6. Odkopany pal Tubex z iniekcją

**Pale wiercone wielkośrednicowe** ( $\phi$  800 ÷ 1800 mm) są znaną i od lat stosowaną technologią, dobrze opanowaną w kraju przez liczne firmy wykonawcze. Osiągają bardzo duże nośności rzędu 5000 ÷ 8000 kN, a nawet więcej. Dla zapewnienia dobrej pracy w gruncie konieczne jest poprawne obliczenie ich nośności, a przede wszystkim prawidłowe wykonawstwo, tak aby nie dopuścić między innymi do rozluźnienia gruntu w podstawie pala i zapewnić właściwe kontrolowanie ciśnienia wody.

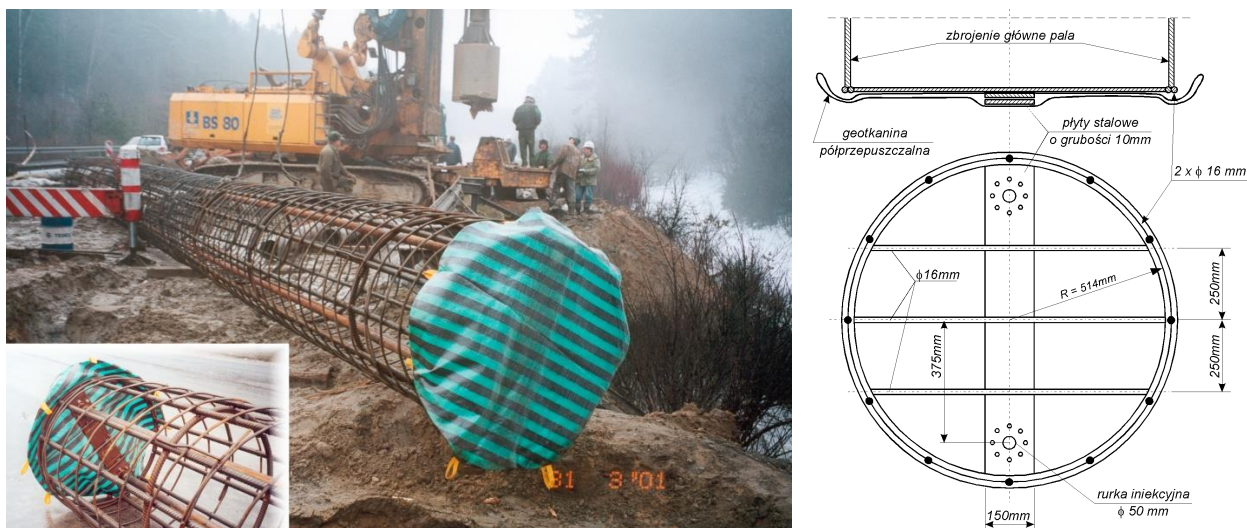
Dużym błędem w projektowaniu tych pali jest przyjmowanie zbyt małej ich długości. Aby zapewnić właściwą mobilizację oporu podstawy (co następuje dopiero przy osiadaniach rzędu 10 ÷ 15% średnicy pala) konieczne jest spełnienie warunku, aby zagłębienie względne tego typu pali (tzn. stosunek długości do średnicy) było większe od 10-ciu w gruntach niespoistych i od większe od 12-tu w gruntach spoistych. Ta sama zasada obowiązuje również dla pali wierconych typu CFA.

Nową technologią w odniesieniu do pali wierconych jest **stosowanie iniekcji pod podstawy**. Prowadzi to do wyeliminowania zjawiska rozluźnienia i odprężenia gruntu podczas wiercenia otworu oraz powoduje wyraźne zwiększenie ogólnej nośności pali (średnio o 20 ÷ 30%) i co bardzo istotne, znaczną redukcję osiadania pali (nawet o 50%). Efekt iniekcji obrazuje rys. 7. Na wykresie wyraźnie widać znacznie szybszą mobilizację oporu gruntu pod podstawą pala. Pale wielkośrednicowe z iniekcją podstawy wykonywane są pod obiekty przekazujące duże obciążenia na podłoże, takie jak mosty, wysokie budynki, itp. Tak wykonane pale mogą osiągać nośności rzędu 10 000 ÷ 15 000 kN.



Rys. 7. Efekt iniekcji pod podstawą pala wielkośrednicowego.

Jedną z metod iniekcji: tzw. metodę iniekcji komorowej (zastosowaną już w praktyce na wielu obiektach) opracowano w Katedrze Geotechniki Politechniki Gdańskiej. Komora w postaci złożonego worka o kształcie kołowym przymocowana jest do dolnego końca kosza zbrojeniowego (rys. 8). Po wywiercieniu otworu pala worek ze zbrojeniem osadza się na dnie otworu wiertniczego. Po minimalnym okresie 7 dni po zabetonowaniu trzonu pala wykonuje się w komorę iniekcję z zastosowaniem zaczynu cementowego pod ciśnieniem  $2,0 \div 4,0$  MPa, powodującą wstępne naprężenie gruntu. Iniekt wprowadza się przez dwie rurki przymocowane do zbrojenia pala oraz dyszę iniekcyjną, składającą się z dwóch płyt, umieszczonych wewnątrz worka przed jego zszyciem.



Rys. 8. Konstrukcja komory iniekcyjnej.

Przedstawiając nowsze technologie wykonawstwa pali w Polsce, warto wspomnieć o przeżywających renesans żelbetowych palach prefabrykowanych. Bardzo popularne w latach 50-tych i 60-tych, znów są coraz częściej stosowane przy posadawianiu różnych obiektów, nawet mostowych. Spowodowane jest to zastosowaniem fabrycznej produkcji pali i szybkiego ich transportu, wprowadzeniem pali odcinkowych (łączonych za pomocą specjalnych zamków) oraz bardzo wydajnym sprzętem do ich wbijania lub pograżania za pomocą silnych wibratorów o małej amplitudzie drgań. Należy podkreślić, że pale prefabrykowane (zwykle o przekrojach  $300 \times 300$ ,  $350 \times 350$  i  $400 \times 400$  mm) charakteryzują się bardzo dobrą pracą w gruncie.

Obliczanie nośności pali odbywa się na podstawie ciągle jeszcze obowiązującej normy z roku 1983 PN-83/B-02482 „Nośność pali i fundamentów palowych”. Nie ulega jednak wątpliwości, że normę tę należy uznać za przestarzałą i wymagającą jak najszybszej zmiany [6].

Konieczność zmiany normy wynika przede wszystkim z:

- rozwoju nowych technologii,
- rozwoju badań i rozwiązań w zakresie obliczeń nośności i osiadań pali,
- konieczności dostosowania się do zasad i wymogów Eurocode 7,
- poprawy niektórych propozycji zawartych w normie.

Proponowane zmiany w normie powinny się odnosić do:

- obliczania nośności na podstawie wzoru statycznego,

- obliczania nośności pali w grupie,
- określania nośności pali na podstawie sondowań,
- określania nośności pali na podstawie badań dynamicznych,
- obliczania osiadań pali pojedynczych i w grupie,
- obliczania nośności pali na obciążenia poziome,
- interpretacji wyników próbnych obciążeń statycznych,
- kontroli wykonawstwa pali.

Zagadnienia te szczegółowo omówiono między innymi w artykule [6].

Warto podkreślić, że posiadanie nawet dobrej normy, nie zawsze prowadzi do miarodajnego określenia nośności pali czy też obliczenia ich osiadań. Spotykane błędy w projektowaniu pali spowodowane są:

- złym lub niewystarczającym rozpoznaniem podłoża gruntowego,
- niewłaściwie przyjętymi parametrami gruntowymi,
- nieznaną pracą danego rodzaju pala w gruncie,
- błędną interpretacją metody obliczeń,
- niedoświadczeniem projektanta wykonującego obliczenia,
- brakiem analizy współpracy konstrukcji z palami.

Również wpływ na obniżenie nośności pali lub zwiększenie osiadań mogą powodować błędy popełnione podczas wykonawstwa, np.:

- nieznaną pracą danego rodzaju pala w gruncie,
- niewłaściwe zastosowanie określonego typu pali w danych warunkach gruntowych,
- złe wykonanie podstaw pali,
- złe wykonanie trzonów pali,
- rozluźnienie gruntu wokół pali i pod podstawą pali.

Zapewnienie bezpiecznego posadowienia budowli na palach wymaga zatem spełnienia trzech podstawowych warunków:

- bardzo dobrego i właściwego rozpoznania podłoża gruntowego w miejscu projektowanego obiektu, z jednoczesnym trafnym określeniem parametrów gruntowych niezbędnych do obliczeń,
- przyjęcia właściwych pali dla danych warunków gruntowych, występujących obciążeń i rodzaju konstrukcji oraz wykonanie przemyślanych (nie mechanicznych) obliczeń nośności i osiadań pali fundamentów palowych,
- poprawnego wykonawstwa pali i solidnego przy tym nadzoru.

Jak wynika z powyższego rozwój nowych technologii pali poparty być musi nie tylko opanowaniem sposobu wykonawstwa ale również szeroką wiedzą na temat możliwości zastosowań konkretnej technologii w określonych warunkach, szczególnie jeśli planuje się zastosowanie maszyn bardzo wyspecjalizowanych.

#### Literatura

1. Tejchman A., Gwizdała K.: „Pale Omega”, Wyd. wewnętrzne Katedry Geotechniki PG, grudzień 1994 oraz „Pale CFA” Wyd. j.w., listopad 1997.



2. Tejchman A., Gwizdała K., Krasiński A., Brzozowski T.: „Analiza nośności pali Vibrex”, Mat. XI Krajowej Konf. MGiF, Gdańsk, czerwiec 1997.
3. Tejchman A., Gwizdała K., Brzozowski T.: „Pale Atlas w Polsce”, Inżynieria i Budownictwo, Nr 11, 1998.
4. Tejchman A., Gwizdała K.: „Pale CFA, Atlas i Jet-grouting w Polsce” (w jęz. ang.), Mat. Symp. Niemiecko-Polskiego, Uniwersytet Kaiserslautern, czerwiec 1999.
5. Tejchman A., Gwizdała K.: „Zwiększanie nośności pali wierconych” Mat. XLVII Konferencji Naukowej KILiW PAN. Problemy n-b budownictwa, Krynica, wrzesień 2001.
6. Tejchman A.: „O nowej normie palowej”, Inżynieria Morska i Geotechnika, Nr 3-4, 2003.
7. Tejchman A., Gwizdała K., Dyka I., Świniański J., Krasiński A.: „Nośność i osiadanie fundamentów palowych”, Monografia, Wyd. PG, kwiecień 2001.

Uwaga: w artykule wykorzystano firmowe prospekty omawianych pali.