

Fundamenty palowe.

Cz. 1. Charakterystyka i zastosowanie

tekst: **MARIA SZRUBA**



Wykonywanie pali przemieszczeniowych FRANKI NG, fot. FRANKI SK Sp. z o.o.

W czasach panowania rzymskiego cesarza Augusta jego architekt pisał: „Jeżeli zaś nie znajdzie się gruntu stałego, lecz do głębi sięgać będzie ziemia naniesiona lub bagnista, wtedy trzeba w tym miejscu ziemię wykopać i usunąć ją, a teren umocnić i osmalonymi palami olchowymi, oliwkowymi albo dębowymi i za pomocą machin jak najęściej powbijać. Wolną przestrzeń między palami należy wypełnić węglem, a następnie założyć fundament z jak najsolidniejszego muru” [1]. Dziś wiele się w tej kwestii zmieniło.

Fundamenty, stanowiące najniższą część budowli, posadowioną bezpośrednio na gruncie, są jednym z jej najistotniejszych elementów, z czego zdawano sobie sprawę już w czasach prehistorycznych – stosowanie fundamentów palowych znane było już 6000 lat p.n.e., kiedy to wykorzystywano pale jako podpory osad wznoszonych na jeziorach.

Początkowo budowano pale drewniane, czego rodzimym przykładem jest osada w Biskupinie, założona w VIII w. p.n.e. Zastosowanie w tym przypadku pali uzasadniają naturalne warunki podłoża gruntowego – występowanie torfów i mułów, a więc gruntów słabonośnych. Podobnych przykładów i dowodów potwierdzających istnienie posadowienia różnych obiektów na fundamentach palowych można znaleźć wiele w całej Europie [2].

Do XIX w. w posadowieniach głębokich dominowało drewno. Później dzięki wprowadzeniu nowych materiałów i maszyn pojawiły się zupełnie nowe możliwości rozwoju technik fundamentowania. Przyczynił się do tego znacznie Joseph Aspdin, który w 1824 r. opatentował swój wyrób – Portland cement [2]. Kamieniem milowym było wynalezienie w Anglii młota parowego pojedynczego działania. Datę jego powstania, rok 1846, uznaje się za początek współczesnej techniki palowania [3].

W 1897 r. Alfred A. Raymond opatentował system palowania, w którym pale były formowane z betonu w otworach po wbitych wcześniej stalowych cylindrach, zwiężających się ku dołowi. Pod koniec XIX w. w USA stosowano już pale stalowe z dwuteowników i o przekroju H. W 1908 r. w Belgii Edgard Frankignoul odkrył technologię palowania, znaną do dziś jako pale typu Franki, polegającą na wykorzystaniu rury stalowej.

Kolejną ważną datą w historii rozwoju technik fundamentowania jest przełom XIX i XX w., kiedy to François Hennebique jako podstawowy materiał konstrukcyjny pala wykorzystał żelbet. Hennebique, który opatentował pale prefabrykowane żelbetowe w 1896 r. we Francji, a rok później w Wielkiej Brytanii, nie był w rzeczywistości ani pierwszą, ani jedyną osobą stosującą w tym czasie podobne techniki. Analogiczny patent zgłosił i uzyskał Philip Brannon już 1871 r., jednak jego pomysł prawdopodobnie nigdy nie został wykorzystany w praktyce.

Oprócz systemem Hennebique'a ówczesnie stosowano też systemy pali prefabrykowanych pełnych Coingenta (patent francuski z 1894 r. oraz brytyjski z 1906 r.) i Considere'a (1902), a także systemy pali z drążonymi trzonami, np. Mouchela (1907) [4].



Wykonywanie żelbetowych pali prefabrykowanych, fot. Aarsleff Sp. z o.o.

Charakterystyka pali i fundamentów palowych

Pale można systematyzować według kilku kryteriów. Można je podzielić ze względu na sposób przekazywania obciążeń na grunt – wtedy wyróżnia się pale przekazujące obciążenia przez stopy, przez pobocznicę lub częściowo przez stopy i częściowo przez pobocznicę. Innym kryterium podziału jest rodzaj obciążenia pali. Wyróżnia się pale wciskane, wyciągane oraz poddane obciążeniom bocznym – siłami poziomymi i momentami, a także kombinacjami tych obciążeń. Ze względu na sposób wykonania pale dzieli się na wbijane, wciskane, wkręcane i wiercone. Pale można także podzielić według materiału, z którego zostały wykonane – pale drewniane, stalowe, betonowe i żelbetowe. Kolejnym kryterium jest kształt przekroju pali. Wyróżnia się m.in. pale o przekrojach pełnych, kołowych, trójkątnych, kwadratowych, wielobocznych, z otworami itd. Pale różnią się także ukształtowaniem dolnej części. Mogą być z ostrzem



Wykonywanie pali przemieszczeniowych FRANKI NG, fot. FRANKI SK Sp. z o.o.



Wykonywanie żelbetowych pali prefabrykowanych, fot. Aarsleff Sp. z o.o.

lub bez, rurowe zamknięte u dołu lub otwarte, bez powiększonej podstawy lub z powiększoną podstawą. Ze względu na cel zastosowania pale dzielą się na konstrukcyjne lub zagęszczające.

Również fundamenty palowe systematyzuje się, stosując różne kryteria. Ze względu na rozstaw pali w fundamencie wyróżnia się:

- fundamenty z palami rozmieszczonymi w takich odległościach, przy których nie występuje przenikanie stref odkształceń gruntu od obciążeń przekazywanych przez pojedyncze pale;
- fundamenty z grupami pali o przenikających się strefach odkształceń gruntu i w efekcie tego – o osiadaniach wynikających z odkształceń gruntu wywołanych wszystkimi palami.

Biorąc jako kryterium położenie pali względem pionu, wyróżnia się fundamenty z palami pionowymi oraz ukośnymi u układach koźlowych. Ze względu na udział konstrukcji zwieńczającej pale w przekazywaniu obciążeń fundamentu na grunt rozróżnia się fundamenty o konstrukcjach zwieńczających oraz fundamenty przekazujące obciążenia na podłoże wyłącznie przez pale. Systematyzacji można także dokonać, biorąc pod uwagę sztywność konstrukcji zwieńczającej pale. Rozróżnia się zarówno fundamenty o sztywnych konstrukcjach zwieńczających, które zapewniają jednakowe lub proporcjonalne osiadanie wszystkich pali pod obciążeniem fundamentu, jak również fundamenty o wiotkich konstrukcjach zwieńczających, w których możliwe jest osiadanie pali o różnych wartościach [3, 5].

Zastosowanie fundamentów palowych

Zasadniczo posadowienie konstrukcji inżynierskich na fundamentach głębo-

kich planuje się, gdy obciążenia są duże, a przypowierzchniowe warstwy gruntu charakteryzują się małą nośnością lub są nienośne [6].

Zastosowanie fundamentów palowych może być uzasadnione [3]:

- warunkami geotechnicznymi, które są głównym czynnikiem określającym przydatność fundamentów palowych. Nośność pali nigdy nie jest większa niż nośność podłoża, w głąb którego pale przekazują obciążenia;
- warunkami terenowymi, które często decydują o przyjęciu fundamentów palowych. Przesłanką do ich zastosowania może być niedostępność miejsca wykonywania innego rodzaju fundamentów, np. w sytuacji, kiedy trzeba posadowić obiekt na skarpie czy w wodzie, oraz możliwość ograniczenia zakresu robót ziemnych, gdy dzięki zastosowaniu pali można zmniejszyć objętość nasypów lub wykopów. Użycie pali jest także celowe w przypadku, kiedy nowy fundament ma być posadowiony w pobliżu budowli – przy właściwej technice wykonania pale najmniej naruszają stan podłoża;
- względami wykonawczymi – często stosuje się pale ze względu na dogodność wykonania. Obecnie używany sprzęt pozwala na sprawny przebieg procesu palowania znacznie szybciej niż wykonanie fundamentów innego typu;
- rodzajem i konstrukcją budowli – jest wiele szczególnych budowli, które opierają się na palach, niezależnie od tego, czy grunt cechuje znaczna nośność. Należą do nich m.in. mosty i wiadukty. Podpory tych obiektów przekazują na podłoże duże, skoncentrowane obciążenie, stąd konieczne jest ich posadowienie poniżej zwierciadła wody.

Jak wcześniej wspomniano, zastosowanie pali jest ściśle związane z przekaza-

niem dużych, skoncentrowanych obciążeń na głębsze warstwy podłoża gruntowego. Fundamenty palowe stosowane są przede wszystkim [2]:

- w sytuacji, gdy w górnych, przypowierzchniowych obszarach podłoża zalegają grunty mało nośne o dużej odkształcalności; mogą to być np. namuły, torfy, gytie, luźne nasypy, stare odpady komunalne;
- w przypadku, gdy konieczne staje się przemieszczenie dużych obciążeń skupionych w postaci sił pionowych, poziomych, momentów i (lub) ich kombinacji (np. podpory mostów, obiekty budownictwa hydrotechnicznego, morskiego i pełnomorskiego, wysokie budynki, obiekty typu wieżowego);
- kiedy z powodu określonych warunków konstrukcyjnych i (lub) eksploatacyjnych wymagane jest ograniczenie bezwzględnej wielkości osiadań lub różnicy osiadań;
- w przypadku posadowienia obiektów na terenach starych odpadów komunalnych czy przemysłowych (np. obiekty handlowe, hale produkcyjne, estakady drogowe);
- w sytuacji, kiedy pojawia się potrzeba stabilizacji skarp, zboczy, uskoków naziomu, nasypów na podłożu odkształcalnym;
- kiedy stosuje się fundamenty palowe jako obudowę głębokich wykopów, garaży podziemnych, torowisk poniżej powierzchni terenu;
- w celu wzmocnienia istniejących fundamentów, bezpośrednich i głębokich, które uległy uszkodzeniu;
- aby przenieść zwiększone obciążenia lub przekazać obciążenia na głębsze obszary podłoża.

Ponadto w całym procesie projektowania zarówno pali, jak i fundamentów palowych istnieje kilka elementów, które należy bezwzględnie wziąć pod uwagę, aby właściwie zaprojektować i wykonać fundament oraz eksploatować cały obiekt. Do tych czynników należy rozpoznanie podłoża gruntowego dla wystarczającego zakresu w planie, a zwłaszcza dla głębokości zapewniającej bezpieczne projektowanie pali o określonej długości. Kolejnym aspektem jest wybór technologii pali, a więc dobór najwłaściwszego rodzaju pala pod względem warunków gruntowych, odpowiedniego dla aktualnych założeń konstrukcyjnych. Przyjęta technologia oprócz bezpiecznego i eko-

onomicznego posadowienia musi także spełniać warunki szeroko rozumianej ekologii. W procesie projektowania pali i fundamentów palowych konieczne jest wykonanie analizy obliczeniowej, wyznaczenie sił w palach oraz sił wewnętrznych w fundamencie. Należy określić nośność i przemieszczenia fundamentu przy jednoczesnym dążeniu do wiarygodnej oceny pełnej zależności obciążenie – osiadanie. Następną istotną kwestią jest przyjęcie i określenie szczegółowych warunków wykonania fundamentu palowego, a także wykonanie badań kontrolnych nośności i jakości palowania, przeprowadzenie próbných obciążeń statycznych, dynamicznych, ciągłości i długości pali. Trzeba także pamiętać o wykonywaniu kontroli powykonawczej całości posadowienia (praca zespołu budowlana – fundament – podłoże), pomiaru osiadań, oceny przemieszczeń, współpracy z podłożem w czasie, monitoringu obiektu [2].

Fundamenty palowe nie są uniwersalne, a ich wybór powinno poprzedzać porównanie z innymi dostępnymi rozwiązaniami, aczkolwiek współczesna technika wykonywania pali sprawiła, że przestały być, jak to było na początku



Wykonywanie żelbetowych pali prefabrykowanych, fot. Aarsleff Sp. z o.o.

ich stosowania, fundamentami zalecanymi głównie w sytuacji posadowienia obiektów na gruntach słabych. Obecnie wachlarz ich zastosowania jest niezwykle szeroki [3].

Literatura

- [1] Witruwiusz: *O architekturze ksiąg dzieścięć*. Przeł. K. Kumaniecki. Warszawa 1999.
 [2] Gwidzała K.: *Fundamenty palowe. Technologia i obliczenia*. Warszawa 2010.

- [3] Jaromniak A., Kłosiński B., Grzegorzewicz K., Cielenkiewicz T.: *Pale i fundamenty palowe*. Warszawa 1976.
 [4] Sobala D.: *Prefabrykowane żelbetowe pale wbijane. Projektowanie, wykonawstwo, nadzór*. Aarsleff Sp. z o.o., 15.09.2010.
 [5] Nejman T., Sieczkowski J.: *Ustroje budowlane. Fundamenty*. Warszawa 1980.
 [6] Puła O.: *Fundamenty na palach według Eurokodu 7*. Wrocław 2012.



Rok założenia 1990



ZAKŁAD INŻYNIERYJNY
GEOREM
 Sp. z o.o.
www.georem.pl

SPECJALIZUJEMY SIĘ W WYKONAWSTWIE ROBÓT Z ZAKRESU:

- oceny geotechnicznej stanu podłoża budowlanego
- wzmacniania podłoża gruntowego za pomocą kolumn "jet grouting"
- stabilizacji skarp i osuwisk metodami iniekcyjnymi
- palowania i mikropalowania fundamentów budowli
- kotew i gwoździ gruntowych

POSIADAMY SPECJALISTYCZNY SPRZĘT INKLINOMETRYCZNY DO MONITORINGU GEOTECHNICZNEGO OSUWISK I STATECZNOŚCI SKARP.

