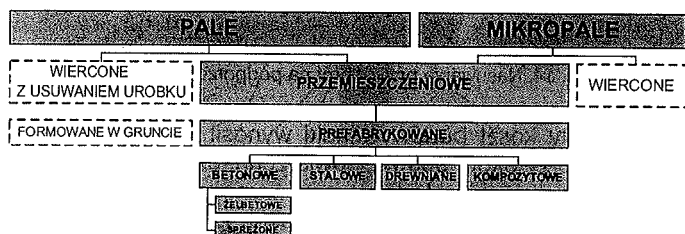


Pale prefabrykowane w fundamentach mostów

Jako **pal prefabrykowany** określa się wcześniej przygotowany lub wyprodukowany i przywieziony na budowę element, który został wbity, zawibrowany lub wciśnięty w grunt bez usuwania urobku.

W zależności od średnicy lub maksymalnego wymiaru boku D pale prefabrykowane stanowią podgrupę pali przemieszczeniowych ($D > 150$ mm) lub mikropali ($D \leq 150$ mm) (rys. 1). Pale prefabrykowane dzielą się pod względem materiałowym na pale drewniane, betonowe i stalowe oraz pale kompozytowe, złożone z więcej niż jednego z wymienionych materiałów¹⁾. Możliwe są szczególne podziały pod względem rozwiązań konstrukcyjnych (np. pale betonowe dzielą się na żelbetowe i sprężone), ze względu na kształt trzonu pala (np. pale stalowe rurowe lub H) lub/i zakres wywołanych pograżaniem przemieszczeń gruntu (duże, średnie lub małe).



Rys. 1. Uproszczony podział pali

Prefabrykaty palowe bywają również stosowane jako zbrojenie kolumn zmodyfikowanego gruntu typu jet-grouting lub DSM.

Pale prefabrykowane są stosowane od ponad 6000 lat. Współcześnie w różnych krajach ich udział w robotach palowych wynosi od 15 do 95% i silnie zależy od lokalnej tradycji. Również w Polsce udział ten ponownie zwiększa się, zwłaszcza od połowy lat dziewięćdziesiątych XX wieku.

Normy dotyczące technologii pali prefabrykowanych

Normowe warunki produkcji, projektowania i wykonania pali i elementów pali prefabrykowanych są obecnie ujęte w następujących normach:

a) projektowanie:

– geotechniczne wszystkich rodzajów pali prefabrykowanych według EC7 [6];

– konstrukcyjne – pale drewniane według EC5 [5], pale betonowe żelbetowe i sprężone według EC2 [1], pale stalowe według EC3 [2], a szczególnie według [3], pale kompozytowe według EC4 [4];

b) wykonawstwo – pale według [11] i ewentualnie według [13], a mikropale według [12],

c) produkcja prefabrykatów betonowych według [7] i [8], a stalowych według [9] i [10].

Uwzględnia się też liczne normy towarzyszące, przede wszystkim materiałowe, dotyczące produkcji mieszanki betonowej, zbrojenia i stali konstrukcyjnej. Ponadto podstawowe europejskie normy należy rozpatrywać kompleksowo, uwzględniając zarówno wymagania ogólne, jak i te z części poświęconych pro-

jektowaniu mostów. Razem tworzy to ogromny zbiór dokumentów zawierający wiele rozproszonych wymagań i jednocześnie zawierający wiele informacji.

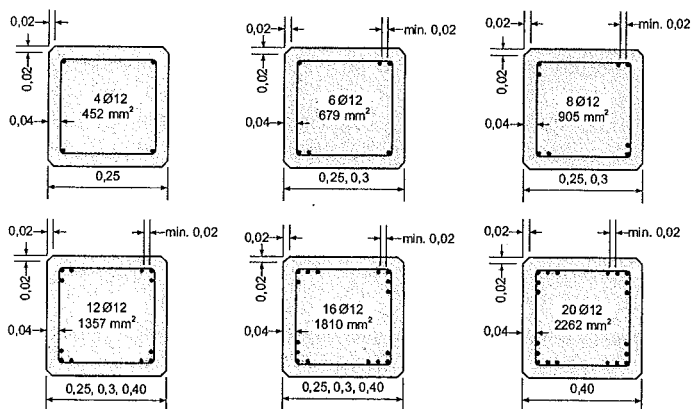
Rozwiązania konstrukcyjne pali prefabrykowanych

W artykule przedstawiono przykładowe rozwiązania konstrukcyjne pali prefabrykowanych, ilustrujące znacznie szerszą gamę możliwych rozwiązań konstrukcyjnych.

Pale drewniane mają średnicę od 0,25 do 0,45 m i długość do 14 m. Charakteryzują się one małym ciężarem, stosunkowo niską ceną i dużą nośnością zewnętrzną ze względu na zbieżność trzonu pala. Pale te mogą być stosowane jako elementy posadowienia konstrukcji tymczasowych (np. rusztowań), a w szczególnych przypadkach, po poprawnym zaprojektowaniu, dobraniu odpowiedniego gatunku drewna (np. dębowego) i impregnacji, także w fundamentach konstrukcji trwałych. W praktyce pozyskanie odpowiedniej ilości materiału na pale drewniane jest w Polsce dość utrudnione.

Pale betonowe są produkowane jako **żelbetowe** lub **sprężone**, pełne bądź drążone, o przekroju w kształcie trójkąta, kwadratu, sześcioboku, ośmioboku lub koła. Wymiary średnicy lub boku przekrojów prefabrykatów pełnych zmieniają się zwykle od 0,15 do 0,45 (0,50) m (co 0,05 m), a przekrojów drążonych (rurowych) od 0,25 m do 0,5 m (co 0,05 m) i od 0,6 m do 1,2 m (co 0,1 m). Możliwe jest wytwarzanie i transportowanie betonowych prefabrykatów palowych o długości do 36 m, jednak bardziej opłacalne jest dostosowanie długości prefabrykatów do skrajni transportowej wykorzystywanego środka transportu i stosowanie różnego rodzaju złączy palowych. W Polsce najbardziej popularne są pale żelbetowe kwadratowe pełne o przekrojach $0,25 \times 0,25$, $0,30 \times 0,30$ i $0,40 \times 0,40$ m oraz długości od 6 do 14 m, zmieniających się co 1 m, które w razie potrzeby mogą być łączone złączami mechanicznymi w pale o długości do 45 m. Przekroje prefabrykatów żelbetowych stosowanych w Polsce pokazano na rys. 2.

Do robót w warunkach ograniczonej skrajni, najczęściej do wzmacniania istniejących fundamentów, są wykorzystywane wiskane segmentowe żelbetowe mikropale, składane w trakcie wbudowywania z wielu krótkich, łączonych ze sobą odcinków. Analogiczne rozwiązania mikropali można zrealizować przy użyciu prefabrykatów stalowych.



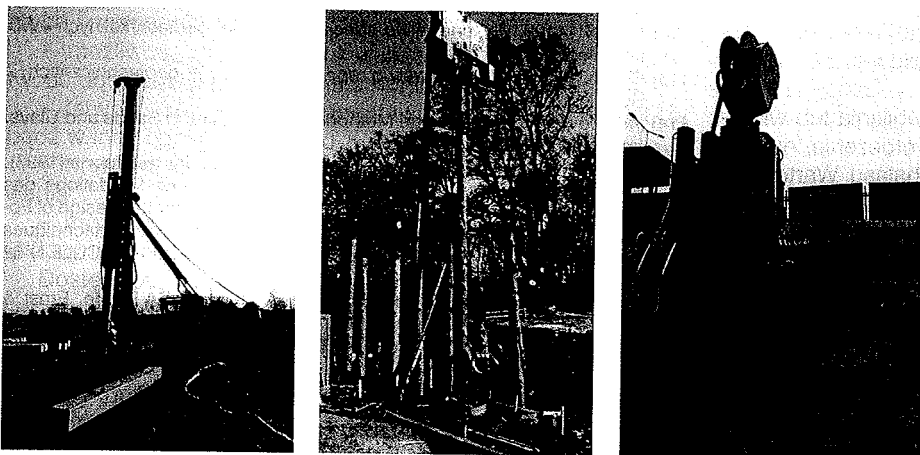
Rys. 2. Przekroje i zbrojenie żelbetowych prefabrykatów palowych

¹⁾ W ostatnich latach rozpoczęto na małą skalę stosowanie pali prefabrykowanych z tworzyw sztucznych. W artykule tę tematykę pominięto.

Pale stalowe są stosowane w postaci rur z dnem otwartym lub zamkniętym, kształtowników typu H, X lub grodziec stalowych typu U bądź Z. Mogą one być wykorzystane jako monopale, pale kombinowane lub ściany palowe złożone z jednego lub wielu rodzajów prefabrykatów oraz stanowić element grup palowych. Długości prefabrykatów wynikają z przyjętej technologii pograżania i skrajni transportowych, rzadziej z nośności przekroju poprzecznego prefabrykatów.

Technologie pograżania pali prefabrykowanych

Obecnie pale prefabrykowane są pograżane w gruncie przez **wbijanie**, **wibrowanie** lub **wciskanie** (rys. 3). Metodę pograżania dobiera się do rodzaju pala, warunków gruntowych i wrażliwości sąsiedztwa terenu robót. **Wbijanie** jest realizowane przy użyciu różnego rodzaju młotów wolnospadowych, powietrznych, parowych, spalinowych lub hydraulicznych. **Wibrowanie** wykonuje się za pomocą młotów wiracyjnych pracujących w zakresie niskich (5÷10 Hz), średnich (10÷30 Hz) lub wysokich (30÷40 Hz) częstotliwości. Dostępne są również wibratory soniczne (rezonansowe) pracujące w zakresie częstotliwości 90÷120 Hz oraz urządzenia wibrująco-wbijające.



Rys. 3. Podstawowe metody pograżania pali prefabrykowanych; po lewej wbijanie prefabrykatów żelbetowych kafarem z młotem hydraulicznym, w środku wibrowanie pali drewnianych i po prawej wciskanie hydrauliczne grodziec stalowych

Wciskanie jest realizowane przy użyciu różnego rodzaju wciskarek hydraulicznych. Z każdą z wyżej wymienionych metod pograżania pali jest związana skrajnie technologiczna stosowanego sprzętu i urządzeń oraz strefa bezpośredniego lub pośredniego oddziaływania robót na otoczenie.

Podstawowe metody pograżania pali można wspomagać przez przebijanie, podwiercanie lub podplukiwanie. Metodę wspomaganego dobiera się w zależności od warunków gruntowych.

Projektowanie geotechniczne pali prefabrykowanych

Zgodnie z normą [6] projektowanie geotechniczne pali i fundamentów palowych można prowadzić na podstawie wyników **badania statycznych nośności pali**, na podstawie **badania gruntów** (najczęściej sondań CPT), na podstawie **wyników badań dynamicznych** lub **wzorów dynamicznych**. Kolejność wymienienia metod jest związana z ich coraz mniejszą dokładnością i koniecznością stosowania współczynników bezpieczeństwa o coraz większych wartościach. Warto podkreślić, że w przypadku wszystkich stosowanych metod pograżania pali prefabrykowanych (oprócz wibrowania) jest możliwe oszacowanie bezpośrednie lub korelacyjne nośności wykonanych pali. Porównanie dotyczy zatem najbardziej interesującego projektanta parametru, uwzględniającego wszystkie etapy technologiczne i ewentualne popełnione błędy. W przypadku pali wierconych ocenia się jedynie zgodność przyjętego w projekcie

i stwierdzonego w trakcie wiercenia profilu geotechnicznego, a zatem ocena uwzględnia tylko jeden z wielu czynników wpływających na nośność pala.

Zaleca się, aby podstawowe metody projektowania wymienione w normie [6] uzupełniać analitycznym wyznaczeniem nośności pali opartym na parametrach wytrzymałościowych gruntów.

Obecnie rozwija się metody projektowania geotechnicznego pali umożliwiające wyznaczenie nośności lub/i osiadań pali na podstawie wyników sondań sondą statyczną CPT. Dają one stosunkowo dobre wyniki, zbliżone z wynikami badań pali realizowanymi w terenie. Najbardziej znane tego rodzaju metody to metoda francuska [15], niemiecka [16] oraz brytyjska [14]. Bardzo przydatne w praktycznych zastosowaniach są publikacje podające metody projektowania geotechnicznego pali [17] dostosowane do wymagań normy [6], która podaje jedynie zasady i reguły projektowania dotyczące zapewnienia wymaganego bezpieczeństwa fundamentów palowych.

Ważną zaletą pali prefabrykowanych jest swoboda kształtowania fundamentów palowych przez wykorzystanie pochylania pali (nawet do 45°) i tworzenie skomplikowanych układów kołowych, umożliwiających przenoszenie na grunt znacznych sił poziomych.

Istotnym elementem projektowania geotechnicznego i technologicznego omawianych pali jest oszacowanie ich pograżalności przy użyciu wybranej metody zagębiania w gruncie oraz ewentualny dobór właściwej metody wspomaganiania.

Prefabrykaty w fundamentowaniu obiektów mostowych

Obiekty budownictwa komunikacyjnego wymagają posadowienia na palach wszędzie tam, gdzie:

- mała nośność gruntów lub/i warunki gruntowo-wodne nie pozwalają na wykonanie fundamentów bezpośrednich;
- układ obciążeń, lokalizacja fundamentu i skrajnie technologiczne wyklu-

czają posadowienie bezpośrednie;

- jest niezbędne ograniczenie osiadań (lub generalnie przemieszczeń) fundamentów ze względu na rodzaj konstrukcji górnej.

Typowymi obiektami budownictwa komunikacyjnego wymagającymi stosowania palowania są:

- słupy sieci trakcyjnej kolejowej, ekrany akustyczne, bramownice i wielkopowierzchniowe znaki drogowe i informacyjne;
- płytkie tunele lub półtunele narażone na działanie wyporu;
- pylony, filary i przyczółki obiektów mostowych (szczególnie podpory mostów okresowo zagrożone możliwością podmycia);
- nasypy drogowe w rejonie występowania warstw gruntów słabych (torfy, gytie, namuty) o dużych i bardzo dużych miąższościach.

Wszystkie wymienione obiekty mogą być i są posadawiane na palach prefabrykowanych. Za skrajne przykłady mogą posłużyć: posadowienie na palu/palach prefabrykowanych słupka ekranu akustycznego, podpór najdłuższego obiektu mostowego w Polsce budowanego w ciągu południowej obwodnicy Gdańska i wielkiego mostu Rion Antirion przez cieśninę morską w sejsmicznym rejonie Grecji.

Badania pali prefabrykowanych

Obecnie wykorzystuje się wiele metod badań nośności i jakości pali prefabrykowanych. Nadal podstawowymi są badania

nośności wykonywane metodą statyczną. Uzyskuje się na ich podstawie informacje o nośności pala na wciskanie lub wyciąganie i przebiegu krzywej obciążenie – przemieszczenie głowicy pala. Metoda statyczna w odniesieniu do pali prefabrykowanych coraz częściej przejmie rolę metody kalibracyjnej dla innych szybszych, tańszych i łatwiejszych w stosowaniu metod.

W przypadku pali wbijanych powszechnie stosuje się badania nośności metodą dynamiczną pod wysokimi naprężeniami. Wynika to zazwyczaj, w przypadku pali wbijanych, z dysponowania na budowie kafarem z młotem generującym odpowiednią energię uderzenia w trakcie badania. Współczesne metody analizy wyników badań dynamicznych, takie jak CASE lub CAPWAP, są dobrze skorelowane z wynikami badań statycznych. Bardziej zaawansowane metody, wykorzystujące dopasowanie sygnału (np. CAPWAP), umożliwiają uzyskanie interesujących wyników (rozdział oporów między stopę i pobocznicę, określenie nośności na wciskanie i wyciąganie w jednym badaniu, rozkład oporów na pobocznicę, przybliżoną krzywą obciążenie-osiadanie), co można wykorzystać w ewentualnej optymalizacji fundamentu.

Niejąko ubocznym efektem badań dynamicznych pod wysokimi naprężeniami jest ocena jakościowa pograżonego w gruncie pala. Inne metody badań jakościowych, np. nisko naprężeniowe PIT, należy uważnie dobierać i interpretować z uwzględnieniem rodzaju badanego pala.

Palowaniu realizowanemu w technologii wbijania lub wibrowania towarzyszą badania wpływu robót na otoczenie, najczęściej w zakresie pomiarów drgań i pomiarów hałasu. Warto podkreślić, że dobór technologii pograżania pali z uwagi na oddziaływanie na otoczenie powinien być oparty na wynikach badań i prób oraz wcześniej zdobytych doświadczeniach. W przypadku świadomie realizowanego wbijania lub wibrowania istnieją ogromne możliwości sterowania parametrami technologii, takimi jak dobór sprzętu, wysokość podrzutu młota, częstotliwość uderzeń lub wibracji itp. i bezpiecznej realizacji robót palowych.

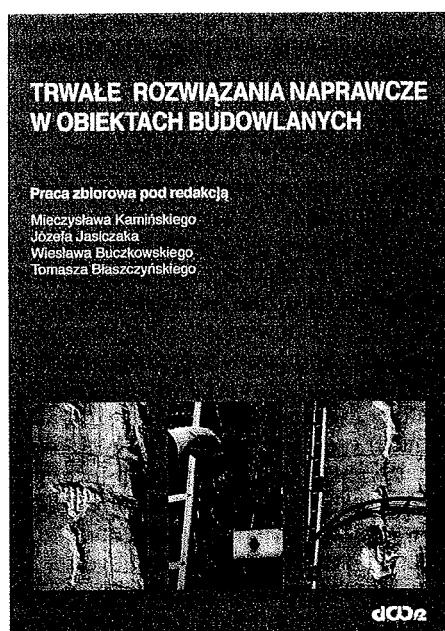
Podsumowanie

Szeroka gama rozwiązań konstrukcyjnych pali prefabrykowanych, dostępne metody projektowania, technologie pograżania w gruncie i badań pali umożliwiają w praktyce posadowienie dowolnego obiektu mostowego w każdych warunkach gruntowych i w dowolnej lokalizacji. O przydatności poprawnych rozwiązań konkretnych fundamentów powinien za każdym razem decydować rachunek ekonomiczny.

PIŚMIENNICTWO

- [1] PN-EN 1992. Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu.
- [2] PN-EN 1993. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych.
- [3] PN-EN 1993-5. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 5: Palowanie i ścianki szczelne.
- [4] PN-EN 1994. Eurokod 4. Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych.
- [5] PN-EN 1995. Eurokod 5: Projektowanie konstrukcji drewnianych.
- [6] PN-EN 1997. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne.
- [7] PN-EN 13369. Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu.
- [8] PN-EN 12794. Prefabrykaty z betonu – Pale fundamentowe.
- [9] PN-EN 10025. Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych.
- [10] PN-EN 10248. Grodźce walcowane na gorąco ze stali niestopowych.
- [11] PN-EN 12699. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Pale przemieszczeniowe.
- [12] PN-EN 14199. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Mikropale.
- [13] PN-EN 12063. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Ścianki szczelne.
- [14] *Jardine R.* i inni. ICP Design Method for Driven Piles in Sands and Clays. Imperial College. Thomas Telford. London 2005.
- [15] MELT – Ministère de l'Équipement, du logement et des transports (1993). Règles Techniques de Conception et de Calcul des Fondations des Ouvrages de Génie Civil (in French: Technical Rules for the Design of Foundations of Civil Engineering Structures). Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux, FASCICULE N°62 - Titre V, Textes Officiels N° 93-3 T.O.
- [16] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hrsg.). EA-Pfähle. Ernst & Sohn, 2007.
- [17] *Gwizdała K.*: Fundamenty palowe. Technologie i obliczenia. PWN. Warszawa 2010.

RECENZJE • RECENZJE • RECENZJE • RECENZJE • RECENZJE • RECENZJE • RECENZJE • RECENZJE • RECENZJE • RECENZJE • RECENZJE



Trwałe rozwiązania naprawcze w obiektach budowlanych. Praca zbiorowa pod redakcją *Mieczysława Kamińskiego, Józefa Jasiczaka, Wiesława Buczkowskiego, Tomasza Błaszczyskiego.* Dolnośląskie Wy-

dawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2010, stron 369.

Trwałość konstrukcji i elementów budowlanych jest ważnym problemem, uwzględnianym zarówno w projektowaniu, jak i utrzymaniu obiektów budowlanych. Problematyka ta w odniesieniu do konstrukcji z betonu jest obecnie ujęta w składającej się z dziewięciu części normie PN-EN 1504 pt. „Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji z betonu. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności”. W omawianej pracy są przedstawione m.in. zagadnienia związane z tą tematyką.

Książka jest trzecią pozycją dotyczącą trwałości napraw obiektów budowlanych. Wcześniej zostały wydane prace: „Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych” (2007 r.), „Współczesne metody naprawcze w obiektach budowlanych” (2009 r.).

W książce ujęto wiadomości dotyczące najnowszych krajowych i wybranych zagranicznych osiągnięć w dziedzinie trwałych rozwiązań naprawczych zastosowanych w obiektach budowlanych, przygotowane przez liczne grono autorów specjalizujących się w omawianej problematyce. Zamieszczono też przykłady niewłaściwych rozwiązań.

Treść książki podzielono na dwa główne działy. W pierwszym z nich ujęto podstawy naukowe problematyki (6 rozdziałów), a w drugim przedstawiono zastosowania praktyczne, z podziałem na budownictwo ogólne, budownictwo wodne i budownictwo żelbetowe (17 rozdziałów).

Opracowania zamieszczone w pracy zawierają wiele interesujących przykładów rozwiązań, które mogą być swego rodzaju wzorcami do wykorzystania w praktycznej działalności w zakresie problematyki trwałości obiektów budowlanych. Trzeba podkreślić również staranne opracowanie poszczególnych tematów.

Praca jest kierowana do środowisk naukowych i projektantów, producentów materiałów stosowanych w naprawach obiektów budowlanych oraz wykonawców robót, a także do studentów kierunków związanych z budownictwem. Jest wartościową pozycją literatury związanej z zagadnieniami trwałości obiektów budowlanych.

Stefan Pyrak

★ ★ ★

Wydawca: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne: 53-204 Wrocław, ul. Ojca Bęczyzmy 20b, tel./fax 71 363 26 85; 601 312 869; e-mail: biuro@dwe.wroc.pl