

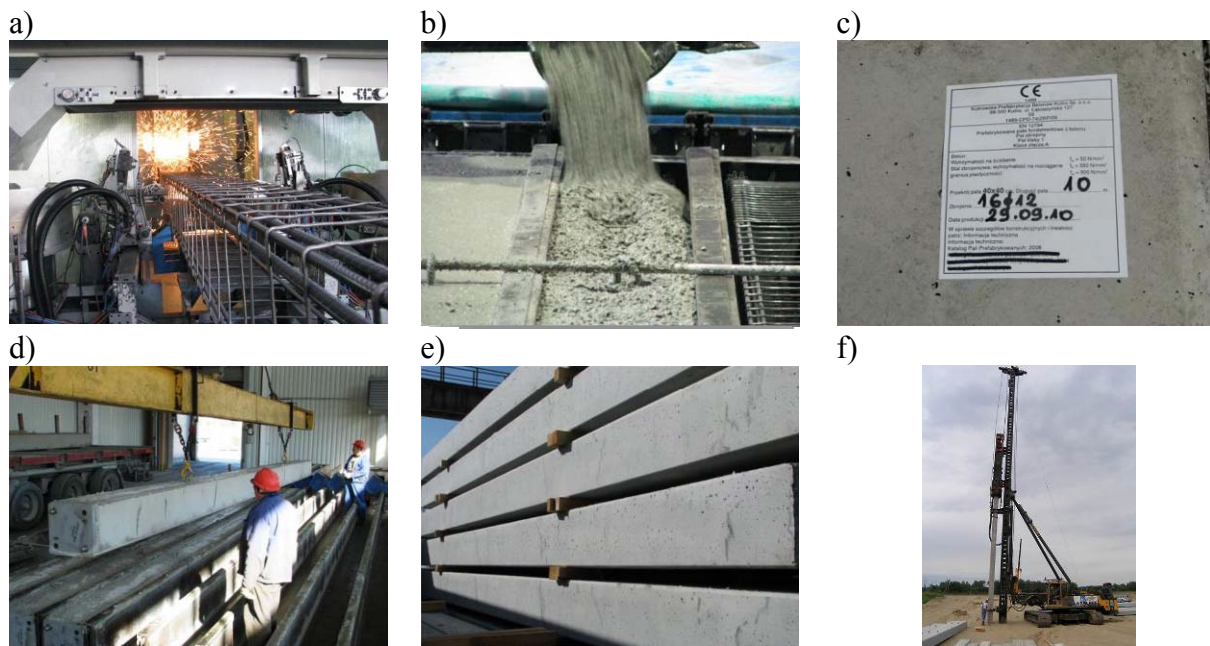
ZASTOSOWANIA ŻELBETOWYCH PREFABRYKOWANYCH PALI WBIJANYCH W BUDOWNICTWIE ENERGETYCZNYM

1. WSTĘP

W artykule przedstawiono zakres i przykłady wykorzystania żelbetowych pali prefabrykowanych w szeroko rozumianym budownictwie energetycznym. Omówiono asortyment dostępnych prefabrykatów, metody kontroli i cechy jednej z najstarszych i najlepiej znanych technologii palowych, które są szczególnie przydatne w fundamentach obiektów energetycznych.

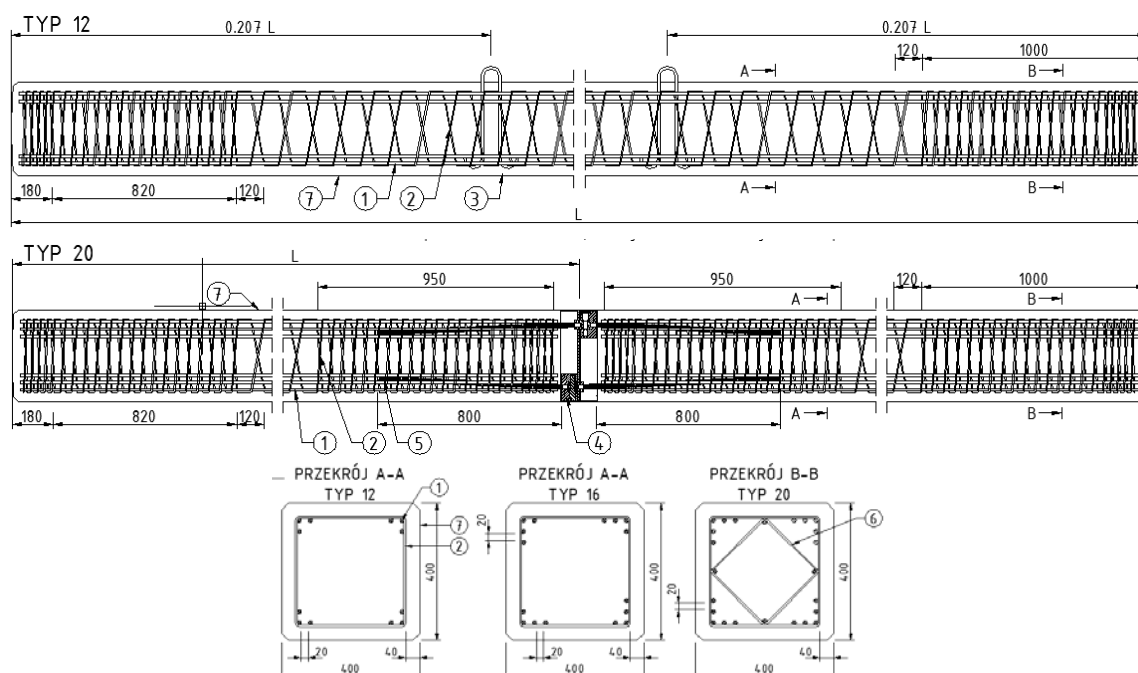
2. PREFABRYKATY PALI ŻELBETOWYCH

Produkcja prefabrykatów palowych w kontrolowanych warunkach wytwórni i według ściśle określonych procedur zapewnia im wysoką jakość i powtarzalność (rys. 1). Wdrożenie audytowanego zewnątrz, zakładowego systemu kontroli jakości pozwala na umieszczanie na prefabrykach pali znaku CE uprawniającego do stosowania w budownictwie. Znak ten gwarantuje jednocześnie najwyższą jakość i zgodność z wymaganiami Eurokodów.



Rys. 1. Technologia żelbetowych pali prefabrykowanych wbijanych: a) przygotowanie zbrojenia, b) betonowanie pala, c) znakowanie, d) transport, e) składowanie i f) wbijanie (Arch. KPB Kutno)

Przemysłowy charakter produkcji prefabrykatów pali ma również pewne ograniczenia, wynikające przede wszystkim z konieczności wielokrotnego wykorzystania form. Powoduje to konieczność typizacji rozwiązań konstrukcyjnych pali prefabrykowanych w zakresie wymiarów przekroju poprzecznego i maksymalnej długości prefabrykatów. W Polsce produkowane i wbijane na największą skalę są pale kwadratowe z tępym końcem o przekrojach od 0,20x0,20m do 0,4x0,4m ze skokiem wymiaru boku co 0,05m. Najwięcej wbija się pali o przekroju 0,4x0,4m (rys. 2) oraz 0,25x0,25m i 0,3x0,3m. Maksymalne zalecane długości transportowe pojedynczych prefabrykatów to 14(15)m. Prefabrykaty można łączyć złączami mechanicznymi – najdłuższy wbity pal prefabrykowany w Polsce miał długość całkowitą 45m (czynną 42,75m) i składał się z trzech prefabrykatów o długości 15m każdy. Wykorzystywanie typowych i powszechnie stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych prefabrykatów palowych gwarantuje dużą dostępność prefabrykatów o różnych długościach oraz niską cenę. Rozwiązania typowe wraz z możliwościami ich modyfikacji (powierzchnia zbrojenia oraz klasa i skład betonu) zawarte są w katalogach producentów prefabrykatów (patrz np. www.kpbkutno.pl). Typowe prefabrykaty palowe, aby mogły być szeroko stosowane, produkowane są w oparciu o najwyższe wymagania aktualnych norm i przepisów. I tak obecnie prefabrykaty pali wykonywane są z betonu na kruszywie łamanym o wytrzymałości C40/50 lub C50/60, nasiąkliwości < 5% i zbrojone stalą klasy ciągliwości min. „b” o wytrzymałości $f_y=500\text{MPa}$ z otuliną 0,04m (rys. 2). Takie rozwiązanie konstrukcyjne prefabrykatu umożliwia jego stosowanie w większości środowisk agresywnych bez konieczności wprowadzania modyfikacji. Zbrojenie najczęściej wytwarzane jest automatycznie (pale wciskane/wyciągane obciążone statycznie) lub wiązane ręcznie (pale wciskane/wyciągane lub wyciągane obciążone dynamicznie i zagrożone zmęczeniem).



Rys. 2. Typowe rozwiązania konstrukcyjne i zbrojenie prefabrykatów pali żelbetowych 0,4x0,4m pojedynczych i łączonych (po lewej) oraz parametry operacyjne typowego kafara (po prawej)

Tradycyjnie projektowanie geotechniczne pali prowadzone jest zgodnie z nieaktualną już normą [1]. Lepszą zgodność z wynikami badań nośności uzyskuje się stosując metody projektowania bezpośrednio oparte na wynikach sondowań (np. CPT) [3] oraz zasadach

podanych w EC 7 [2]. Praktyczne sposoby wykorzystania Eurokodu 7 w projektowaniu pali przedstawiono w artykułach autora [4] i [5].

2. MOŻLIWOŚCI TECHNOLOGII WBIJANIA

Wykorzystanie prefabrykatów i technologii wbijania otwiera przed projektantem wiele możliwości kształtowania i kontroli wykonania fundamentów, które są niedostępne w innych technologiach palowych i rodzajach fundamentów (bezpośrednich lub/i na wzmocnionym podłożu). Najważniejsze z nich to:

- wieloetapowa **kontrola jakości prefabrykatów palowych** (w czasie produkcji, transportu i wbijania pali oraz kontrola powykonawcza, np. badania ciągłości przy dużych odkształceniach);
- **kontrola jakości rozpoznania geotechnicznego** przez obserwację wpędów (analogia do sondy dynamicznej ciężkiej lub bardzo ciężkiej);
- wielopoziomowa **kontrola nośności wykonanego fundamentu** (pobieżna na podstawie wpędów z końca wbijania, dokładniejsza na podstawie wpędów pomierzonych w trakcie dobicia pala, dokładna z wykorzystaniem badań dynamicznych przy dużych odkształceniach oraz badań statycznych nośności pali);
- możliwość szybkiego przeprowadzenia **badania nośności pali** (przed palowaniem zasadniczym) i **wykorzystania ich wyników w projektowaniu** (do optymalizacji/korekty rozwiązań projektowych);
- możliwość **obciążenia pala bezpośrednio po wbiciu** (patrz przykład 1 lub/i 3);
- możliwość **pochylania pali** w granicach $\pm 30^\circ$ od pionu, (w szczególnych przypadkach $\pm 45^\circ$) pozwalające na dopasowanie osi pala do kierunku działania sił wypadkowych i uzyskania korzystnego, osiowego obciążenia pala (wciskanie lub/i wyciąganie).

Wszystkie ww. charakterystyki technologii wbijania prefabrykatów eliminują w praktyce zagrożenie awarii spowodowane ewentualnym wadliwym fundamentowaniem (rys. 3).



Rys.3. Przykład awarii słupa energetycznego w okolicy Szczecina – kwiecień 2008 (Autor: 7alaskan)

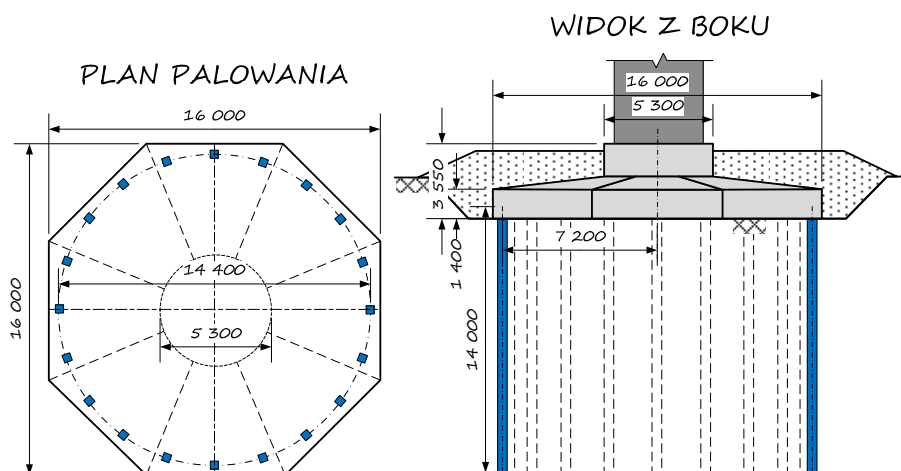
4. PRZYKŁADY ZREALIZOWANYCH FUNDAMENTÓW PALOWYCH OBIEKTÓW BUDOWNICTWA ENERGETYCZNEGO

Przykład 1. Żelbetowe pale prefabrykowane są dominującym sposobem posadowienia słupów energetycznej sieci kolejowej. Wykorzystanie gotowych prefabrykatów wbijanych wraz ze śrubami kotwiącymi słupy umożliwia szybki ich montaż bez konieczności wykonywania robót na mokro, a co za tym idzie otwiera możliwość wykonywania kompletnej modernizacji torowiska w tempie dochodzącym do 1000mb/zmianę jednego pociągu remontowego (rys. 4).



Rys. 4. Od lewej: prefabrykat fundamentu palowego, wbijanie pala oraz słup zmontowany na palu prefabrykowanym (Archiwum Aarsleff Sp. z o.o.)

Przykład 2. Żelbetowe pale prefabrykowane są jednym z podstawowych, obok posadowienia bezpośredniego, sposobów fundamentowania wież elektrowni wiatrowych (rys. 6). Typowe fundamenty tego typu konstrukcji mają kształt koła lub ośmiokąta i oparte są na promieniście rozmieszczonych w jednym rzędzie palach pionowych lub/i nieznacznie pochylonych (rys. 5). Liczba i długość pali zależy od typu i wysokości wieży, średnicy zwieńczenia (pale umożliwiają jej redukcje) i warunków gruntowych. Zwykle wbija się 24÷48 szt. pali o długości kilkunastu metrów. Niezwykle istotna w tego typu fundamentach jest możliwość kontroli jakości oraz nośności na wciskanie/wyciąganie metodami dynamicznymi przy dużych odkształceniach praktycznie każdego pala. Zbrojenie pali w tego typu fundamentach wiązane jest ręcznie i projektowane z uwzględnieniem wpływu zmęczenia.

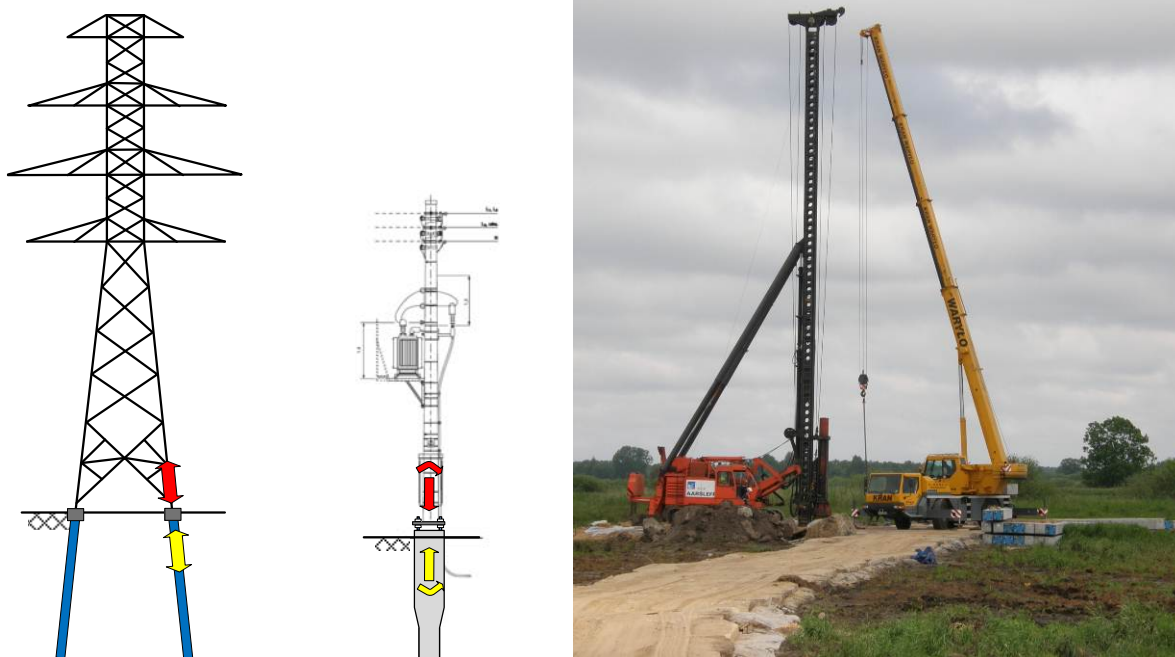


Rys. 5. Przykładowe rozwiązanie fundamentu palowego wieży elektrowni wiatrowej



Rys. 6. Przykłady farm wiatrowych posadowionych na żelbetowych palach prefabrykowanych wbijanych (od lewej): Orzechowce, Karściono i Margonin (Archiwum Aarsleff Sp. z o.o.)

Przykład 3. Kolejnym rodzajem obiektów energetycznych posadowionych na żelbetowych palach prefabrykowanych są słupy sieci energetycznej średniego i wysokiego napięcia. Jednym z bardziej znanych przykładów była odbudowa linii energetycznych zasilających Szczecin po awarii w 2008 roku (rys. 7). Słupy linii średniego napięcia po ich wyposażeniu w podstawy można posadowić w sposób analogiczny jak słupy trakcji kolejowej (na pojedynczym pału). Wraz ze wzrostem obciążeń zwiększa się niezbędna liczba pali. Przy słupach kratowych możliwe jest znaczne pochylenie pała w trakcie wbijania i praktycznie osiowe przekazywanie obciążeń na fundament pałowy. Bardzo duże i silnie obciążone słupy energetyczne wymagają posadowienia na palach za pośrednictwem zwieńczenia żelbetowego, analogicznie jak fundamenty wież elektrowni wiatrowych.



Rys. 7. Od lewej: schematy palowania dla słupów kratowych wysokiego napięcia, betonowych niskiego i średniego napięcia oraz palowanie pod słupy wysokiego napięcia w okolicach Szczecina w 2008 r.

Przykład 4. Jednym z przykładów obiektu kubaturowego budownictwa energetycznego posadowionego na palach prefabrykowanych jest blok energetyczny (rys. 8). W rozległych fundamentach tego typu obiektów, oprócz wszystkich ww. opisanych właściwości technologii, ważna jest również wysoka wydajność jaką osiąga się wbijaniem.



Rys. 8. Fundament palowy bloku energetycznego w Elblągu (od lewej): wbijanie pali, wbite pale i istniejące obiekty elektrowni w bezpośrednim sąsiedztwie terenu robót fundamentowych (Archiwum Aarsleff Sp. z o.o.)

Przykład 5. Uzupelnienie dla wcześniejszych przykładów fundamentowania szeroko rozumianych konstrukcji energetycznych są fundamenty kominów (rys. 9). Za przykład może posłużyć fundament komin WSK w Rzeszowie o wysokości 80m posadowionego w trudnych warunkach gruntowych na fundamencie o średnicy 10m opartym na 31 palach o przekroju 0,4x0,4m i średniej długości 21m. Roboty palowe realizowane były w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących, funkcjonujących w sposób ciągły urządzeń i instalacji przemysłowych.



Rys. 9. Od lewej: plan palowania, widok fundamentu palowego, widok komin WSK w Rzeszowie (Archiwum Aarsleff Sp. z o.o.)

BIBLIOGRAFIA

- [1]. PN-83/B-02482. Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.
- [2]. PN-EN 1997-1. Projektowanie geotechniczne. Zasady ogólne.
- [3]. Gwizdała K.: Fundamenty palowe. PWN. Warszawa 2010
- [4]. Sobala D.: wyznaczanie nośności geotechnicznej pali wciskanych wg EC7 i metody opisanej w PN-83/B-02482. Mosty 6/2011
- [5]. Sobala D.: Wyznaczanie nośności pali wciskanych według Eurokodu 7. IiB 12/2011

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [1]. Materiały archiwalne i strona internetowa firmy Aarsleff Sp. z o.o.
- [2]. Materiały archiwalne i strona internetowa firmy KPB Kutno.