



#PALE PREFABRYKOWANE

Pale prefabrykowane

prof. dr hab. inż. Kazimierz Gwizdała
dr inż. Dariusz Sobala

materiał z:
62. Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej
i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB w Krynicy -
11-16 września 2016 roku



AARSLEFF

Technologie

Pale prefabrykowane:
żelbetowe, stalowe i drewniane

Pale i kolumny FDP

Pale i kolumny wiercone CFA

Mikropale

Kotwy i gwoździe gruntowe

Kolumny DSM

Grodzice stalowe / ścianki szczelne

Berlinki

Palisady wiercone

Obiekty

Budownictwo mieszkaniowe
i kubaturowe

Elektrownie wiatrowe

Budownictwo kolejowe

Drogi i autostrady

Budownictwo przemysłowe

Budownictwo hydrotechniczne

Obiekty sportowe i rekreacyjne

Literatura

1. Ignatowski P., 2010. Prefabrykacja a tempo realizacji. [W:] Prefabrykacja w Mostownictwie Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne Wrocław, 51-58.
2. Biliszczuk J., Onyks J., 2010. Prefabrykacja w mostownictwie. [W:] Prefabrykacja w Mostownictwie. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne Wrocław, 13-36.
3. Doboszyński W., 2008. Budowa Obwodnicy miasta Wyrzysk w ciągu drogi krajowej Nr 10 Pila – Bydgoszcz. Obiekt Nr 2. Transprojekt Warszawa.
4. Sochacki J., 2011. Projekty technologiczne obiektów mostowych w ciągu obwodnicy południowej w Jeleniej Górze, Firma Gotowski.
5. Stefanowski T., 2010. Budowa ulicy Ogińskiego w Bydgoszczy wraz z obiektami inżynierskimi i dojazdami. Transprojekt Gdańsk.
6. Sochacki J., Sokolowski W., Gotowski M., Chróścielewski J., Miśkiewicz M., Pyrzowski L., Wilde K., 2015. Montaż Mostu Uniwersyteckiego w Bydgoszczy. Mosty 03, 24-28.

Prefabrication in untypical realizations of steel bridges

Marek Gotowski¹, Janusz Sochacki¹,
Włodzimierz Sokolowski¹, Justyna Sobczak-Piąstka²

¹ GOTOWSKI Communication and Industrial Architecture Sp. z o.o.

² University of Science and Technology,
Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture

Abstract: The article presents modern construction and technological solutions in the field of prefabrication bridge construction on example embodiment of Companies "Gotowski". They presented specific technical problems and their solutions using steel bridge structures in the event of abnormal conditions of realization. Innovative solutions using prefabrication have been applied both in the implementation of modern design, as well as the modernization of buildings. Thanks to this combined traditional, proven solutions with the latest trends in the field of bridge engineering.

Keywords: bridges, prefabrication, innovation, construction technology

Pale prefabrykowane

Kazimierz Gwizdala¹, Dariusz Sobala²

¹ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

² Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury,
Aarsleff sp. z o.o.

Streszczenie: W artykule przedstawiono stan współczesnej technologii pali prefabrykowanych drewnianych, stalowych, żelbetowych oraz zakres jej wykorzystywania w krajowym budownictwie kubaturowym, przemysłowym, energetycznym, komunikacyjnym i hydrotechnicznym. Omówiono stan normalizacji dotyczący pali prefabrykowanych, wybrane zagadnienia projektowania, produkcji prefabrykatów palowych, wykonawstwa i kontroli pali prefabrykowanych oraz kierunki rozwoju technologii. Opis aktualnego stanu technologii pali prefabrykowanych uzupełniono przykładami jej wykorzystania w różnego rodzaju ciekawych, ważnych lub/i unikalnych w skali kraju obiektach oddanych do użytkowania w ostatnich latach w Polsce.

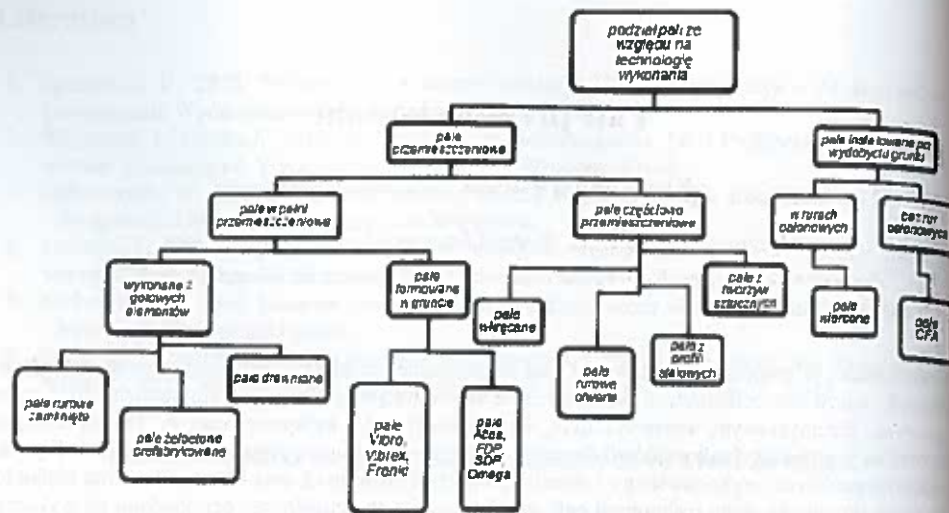
Słowa kluczowe: pale prefabrykowane, pale przemieszczeniowe, produkcja prefabrykatów palowych, palowanie, badania pali, projektowanie pali,

1. Wprowadzenie

Pale prefabrykowane należą do grupy pali przemieszczeniowych lub częściowo przemieszczeniowych pograżanych w gruncie bez wydobywania urobku metodą wbijania, wibrowania, wciskania lub/i wkręcania (rys. 1). Pograżanie pali prefabrykowanych wymaga użycia kafara lub dźwigu, młota, wibromłota, prasy hydraulicznej lub głowicy obrotowej, a czasem także wspomaganie wstępnym przewiercaniem, przebijaniem lub podplukiwaniem (najczęściej wodą pod wysokim ciśnieniem). Pod względem materiałowym pale prefabrykowane dzielimy na drewniane, stalowe, betonowe (żelbetowe lub sprężone), kompozytowe oraz z tworzyw sztucznych. Pale prefabrykowane mogą mieć przekrój pełny (np. kwadratowy, sześcioboczny, okrągły, X, Z, U, H), rurowy, skrzynkowy lub złożony z kombinacji wielu przekrojów.

Pale prefabrykowane projektowane są w zakresie technologicznym, obejmującym produkcję, składowanie, transport i pograżanie, konstrukcyjnym (STR) oraz geotechnicznym (GEO).

Przemieszczeniowy charakter pali prefabrykowanych zapewnia im relatywnie wyższą nośność geotechniczną i sztywność w porównaniu z geometrycznie podobnymi palami wierconymi (bezpzemieszczeniowych) formowanych w gruncie po wydobyciu urobku.



Rys. 1. Klasyfikacja pali

Pale prefabrykowane drewniane to najstarszy, wykorzystywany od ponad 6000 lat, rodzaj pali. Pale prefabrykowane żelazne, a później stalowe, wykorzystywane są w budownictwie od początku XIX wieku. Pale prefabrykowane żelbetowe stosowane są w budownictwie od końca XIX wieku, a pale sprężone od lat 30. XX wieku. Wykorzystanie pali z tworzyw sztucznych rozpoczęło się na niewielką skalę dopiero pod koniec XX wieku.

Do dnia dzisiejszego, pomimo intensywnego rozwoju technologii pali wierconych i przemieszczeniowych formowanych w gruncie, pale prefabrykowane są podstawową technologią posadowienia głębokiego w wielu krajach (np. pale stalowe i żelbetowe prefabrykowane w krajach skandynawskich), podczas gdy w innych (m.in. w Polsce) stanowią jedną z wielu wykorzystywanych technologii palowych. W Polsce żelbetowe pale prefabrykowane były dominującą technologią palową do końca lat 60. XX wieku. W latach 70., 80. i na początku lat 90. XX wieku, poza budownictwem morskim, portowym i fundamentami różnego rodzaju konstrukcji tymczasowych, nastąpił wyraźny regres stosowania pali prefabrykowanych na rzecz technologii wierconych. Od połowy lat 90. XX wieku obserwujemy renesans wykorzystania pali prefabrykowanych, przede wszystkim za sprawą współczesnych rozwiązań materiałowych, konstrukcyjnych, technologicznych i projektowych w zakresie pali prefabrykowanych żelbetowych oraz pali i grzdzic stalowych.

2. Współczesne wymagania normowe dotyczące pali prefabrykowanych

Współcześnie pale prefabrykowane powinny być projektowane, produkowane i pogrążane zgodnie z wymaganiami Eurokodów (tab. 1). Procesy produkcji i wykonawstwa fundamentów z wykorzystaniem pali prefabrykowanych są tak realizowane w Polsce z powodzeniem od kilkunastu lat. Jedynie projektowanie konstrukcyjne (STR) i geotechniczne (GEO) realizowane jest w praktyce dwutorowo, tj. zarówno według norm europejskich PN-EN, jak i norm z serii PN, wycofanych z katalogu Polskich Norm. Warto podkreślić, że w przypadku pali prefabrykowanych korzystne jest stosowanie jednolitych i spójnych wymagań norm europejskich, co nie wyklucza możliwości wykorzystania dotychczasowego dorobku i doświadczeń krajowych [1].

Tabela 1. Normy dotyczące pali prefabrykowanych

Pali	Produkcja/obróbka	Projektowanie			Wykonawstwo robót palowych
		konstrukcyjne (STR)	technologiczne (STR)	geotechniczne (GEO)	
Drewniany	-	PN-EN 1995-1-1			PN-EN 12699
Stalowy	PN-EN 10248-1 PN-EN 10210-1	PN-EN 1993-5			PN-EN 12699 PN-EN 12063
Betonowy (żelbetowy lub sprężony)	PN-EN 12794	PN-EN 1992-1-1	PN-EN 1992 PN-EN 12794	PN-EN 1997	PN-EN 12699

W projektowaniu geotechnicznym (GEO) pali prefabrykowanych mogą być wykorzystane praktycznie wszystkie metody projektowania pali wymienione w Eurokodzie 7:

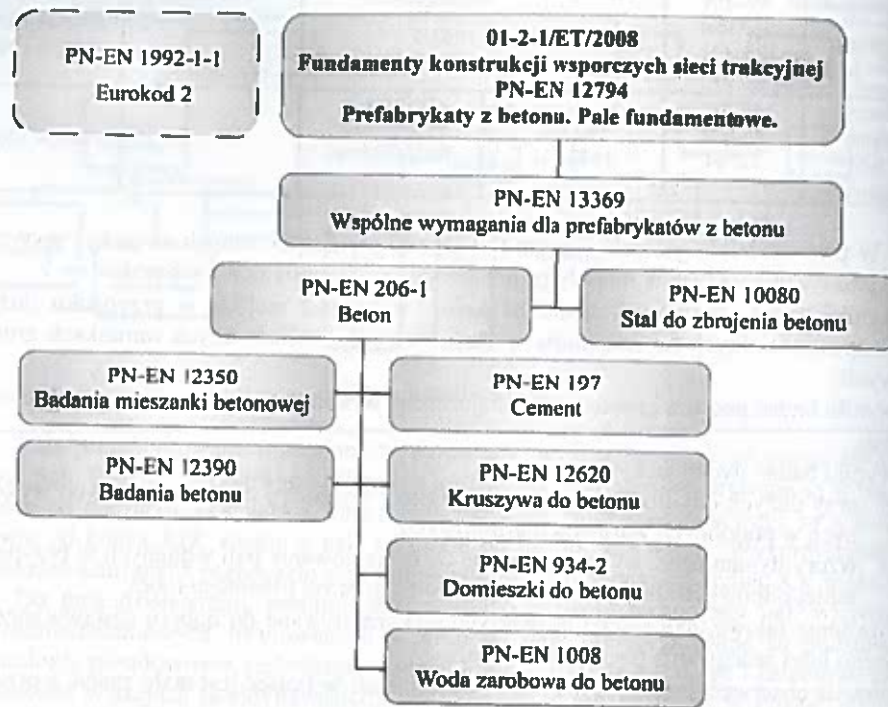
- wyniki badań statycznych nośności pali – efektywna metoda w przypadku dużych i odpowiedzialnych fundamentów w złożonych i skomplikowanych warunkach gruntowych;
- wyniki badań podłoża gruntowego – najczęściej wykorzystywana metoda projektowania pali,
- wyniki badań dynamicznych:
 - przy dużych odkształceniach, skorelowane z wynikami badań statycznych wykonanych w podobnych warunkach gruntowych,
 - wzory dynamiczne, wykorzystywane do projektowania pali wbijanych w przypadku mniej odpowiedzialnych fundamentów oraz kontroli przebiegu robót;
- równanie falowe, najczęściej w praktyce wykorzystywane do doboru zestawu sprzętowego lub/i szacowania pogrążalności pali,
- metoda obserwacyjna, która ma duży potencjał, ale w Polsce jest mało znana, a przez to rzadko wykorzystywana.

Zgodnie z zaleceniami Eurokodu 7 wymaga się, aby wyniki projektowania geotechnicznego weryfikować metodą alternatywną, np. wyniki badań statycznych potwierdzić obliczeniami.

W praktyce projektowanie geotechniczne pali najczęściej prowadzone jest na podstawie wyników badań podłoża metodą pala modelowego wg PN-83/B-02482. Uzyskiwane w ten sposób rozwiązania są bardzo bezpiecznie i z reguły mało ekonomiczne. Gwizdała i Krasiński [1] zaproponowali modyfikację metody pala modelowego, dostosowując ją do wymagań Eurokodu 7, czego efektem będzie również poprawa efektywności ekonomicznej uzyskiwanych rozwiązań. Współcześnie najlepszą zgodność obliczeń z wynikami próbnych obciążeń uzyskuje się wykorzystując w projektowaniu geotechnicznym pali prefabrykowane wyniki sondowań statycznych i empiryczne metody projektowania pali, takie jak metoda niemiecka wg zaleceń Niemieckiego Towarzystwa Geotechnicznego, francuska wg Bustamane i Ganiselli lub sprawdzone metody polskie.

3. Żelbetowe pale prefabrykowane

Projektowanie, dobór materiałów, produkcja oraz kontrola procesu produkcji prefabrykatów pali żelbetowych wykorzystywanych w budownictwie realizowana jest na podstawie wytycznych aktualnych norm i dokumentów normatywnych (rys. 2).



Rys. 2. Schemat powiązań pomiędzy normami dotyczącymi materiałów, badań i projektowania żelbetowych prefabrykatów palowych

Największy zakres stosowania mają w Polsce prefabrykaty żelbetowe o przekroju kwadratowym i wymiarach boku 250 mm, 300 mm, 350 mm i 400 mm oraz fundamenty palowe pod konstrukcje wsporcze kolejowej sieci trakcyjnej typu B1, B2, B3, B1A, B3A.

Długość produkowanych prefabrykatów zależy od:

- możliwości produkcyjnych wytwórni – długości posiadanych form, udźwigu stosowanych środków transportowych (np. suwnic) itp.,
- obowiązujących przepisów w zakresie skrajni transportowej drogowej lub/i kolejowej – w Polsce najbardziej efektywnym środkiem transportu prefabrykatów pali jest transport samochodowy, a obowiązujące przepisy powodują, że ekonomiczne jest transportowanie pojedynczych prefabrykatów o długości do 14(15) m,
- możliwości technicznych kafarów stosowanych przez wykonawców – większość kafarów umożliwia w typowych warunkach wbijanie pali o długości do 18(21) m.

Decyduje zazwyczaj warunek najostrzejszy, zatem prefabrykaty są zwykle produkowane i dostarczane na budowę w odcinkach długości do:

- 5 m – fundamenty palowe pod konstrukcje wsporcze kolejowej sieci trakcyjnej,
- 14 m – pale prefabrykowane lub ich części składowe.

Długość prefabrykatu nie stanowi jednak ograniczenia dla długości całkowitej pala, o której decydują przewidywane obciążenia, warunki gruntowe i pograżalność pali. Prefabrykaty łączy się na budowie za pomocą różnego typu złączy palowych, uzyskując pale wymaganej długości. Najdłuższe żelbetowe pale w Polsce miały długość całkowitą 45 metrów i złożone były z trzech prefabrykatów palowych o długości 15 m każdy.

Powierzchnia zbrojenia głównego produkowanych prefabrykatów zależy od wymagań:

- projektowych – związanych z obciążeniami, pracą pala w gruncie w trwałym lub przejściowym układzie konstrukcyjnym obiektu,
- technologicznych – związanych z produkcją pali, tj. z wyciąganiem prefabrykatu z formy, transportem wewnętrznym i po drogach publicznych, składowaniem w wytwórni i na budowie, podnoszeniem do kafara oraz wbijaniem.

3.1. Trwałość żelbetowych prefabrykatów pali

Przemysłowy charakter produkcji współczesnych prefabrykatów palowych wymaga stosowania wysokiej jakości materiałów i uniwersalnych rozwiązań konstrukcyjnych zapewniających produkowanym elementom szeroki zakres stosowania. Optymalny dobór materiałów do produkcji prefabrykatów palowych oraz technologię ich wytwarzania musi gwarantować spełnienie wymagań normowych w zakresie trwałości w różnych warunkach środowiska gruntowo-wodnego.

W produkcji prefabrykatów palowych stosuje się obecnie w Polsce beton klasy C40/50 lub wyższej o stosunku $w/c \leq 0,40$. Ze względu na wymagania jakościowe, do przemysłowej produkcji prefabrykatów palowych stosowane są kruszywa łamane, wysoko odporne na zamrażanie i rozmrażanie (grysy bazaltowe lub granitowe), których stopień reaktywności alkalicznej wynosi „0”. Maksymalna zawartość chlorków w betonie nie może przekraczać 0,1%. W procesie produkcji zapewniana jest też ochrona świeżo zaformowanego betonu przed wysychaniem. Rozformowanie prefabrykatów palowych może nastąpić najwcześniej po 16 godzinach i po uzyskaniu przez beton wytrzymałości co najmniej 25 MPa.

Spełnienie powyższych warunków oraz zapewnienie otuliny minimalnej 40 mm pozwala na stosowanie produkowanych prefabrykatów w warunkach odpowiadających klasom ekspozycji X0, XC1-XC4, XS1-XS3, XD1-XD3, XF1, XA1.

W przypadku klasy ekspozycji:

- XA2 lub XA3 (silna agresywność chemiczna) spowodowanej występowaniem w gruncie lub wodzie gruntowej znacznych ilości SO_4^{2-} , należy do produkcji prefabrykatów zastosować cement o wysokiej odporności na siarczany,
- XF2, XF3 lub XF4 należy zastosować domieszki napowietrzające do mieszkanki betonowej.

W przypadku szczególnych wymagań istnieje możliwość dalszej modyfikacji procesu produkcyjnego prefabrykatów pali lub uzupełnienie go o kolejne zabiegi technologiczne, zapewniające spełnienie wymagań indywidualnej dokumentacji projektowej.

3.2. Technologia produkcji prefabrykatów palowych i wyposażenie wytwórni

Profesjonalne podejście do prefabrykacji wymaga stosowania urządzeń, form i rozwiązań technicznych zapewniających produkcję w sposób masowy i powtarzalny. Konstrukcja form musi zapewniać stabilność wymiarów oraz gwarantować zachowanie

optymalnej temperatury i warunków wilgotnościowych dla dojrzewających prefabrykatów. Składy kruszyw powinny być zadaszone, a kruszywa w okresie zimowym podgrzewane.

Najważniejszym elementem wytwórni jest węzeł betoniarski (rys. 3). Poszczególne jego elementy muszą zapewniać pełną integralność oraz niezawodność systemu wytwarzania mieszanki betonowej. Aby uzyskać mieszankę betonową wysokiej jakości należy m.in.

- prowadzić ciągły monitoring wilgotności kruszyw (bezwzględnie piasku) przy użyciu sond ultradźwiękowych – umożliwia to precyzyjne dozowanie właściwej ilości wody zarobowej,
- kontrolować ustalony stosunek w/c przez zastosowanie w mieszalniku sondy mikrofalowej,
- stosować wagowe dozowanie wody,
- stosować wagi nieautomatyczne, elektroniczne z przetwornikiem siły.

3.3. Nowoczesne metody produkcji klatek zbrojeniowych

Masowa, seryjna produkcja prefabrykatów powoduje konieczność automatyzacji maksymalnej liczby elementów procesu produkcyjnego. W produkcji prefabrykatów pali najczęściej automatyzacji poddaje się najbardziej czasochłonny i generujący najwięcej wad jakościowych proces wytwarzania klatek zbrojeniowych. Dzięki temu uzyskuje się wyższą jakość, powtarzalność i dokładność wykonania, poprawę parametrów technicznych i technologicznych oraz eliminację przypadkowych błędów wykonawczych.

Konstrukcja automatu zbrojarskiego (rys. 4) powinna umożliwiać realizację wszystkich etapów technologicznych przygotowania kosza zbrojeniowego, tj. prostowanie prętów, uformowanie i przymocowanie spirali, wbudowanie w wytwarzany szkielet wymaganej w projekcie liczby prętów głównych, docięcie klatki na określony wymiar oraz założenie wkładek dystansowych (rys. 5).

Wykorzystując zaawansowany technologicznie proces produkcji klatek zbrojeniowych możliwe jest zmniejszenie nakładu robocizny, zwiększenie wydajności, poprawienie jakości wykonywanych zbrojeń przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów jego wytworzenia.



Rys. 3. Węzeł betoniarski



Rys. 4. Wykonanie zbrojenia z użyciem nowoczesnego automatu zbrojarskiego



Rys. 5. Szkielety zbrojeniowe z wkładkami dystansowymi przed włożeniem do form



Rys. 6. Betonowanie prefabrykatów z wykorzystaniem betonowej mieszanki samozagęszczającej

3.4. Proces prefabrykacji

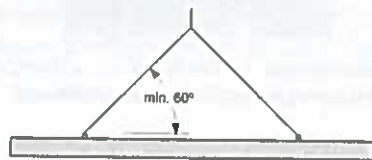
Prefabrykaty pali żelbetowych powinny być wytwarzane w wytwórniach stałych ze względu na stawiane im wysokie wymagania jakościowe. Proces produkcyjny składa się z następujących etapów:

- przygotowanie prętów i formowanie szkieletu zbrojeniowego metodą automatyczną lub ręczną, jeśli takie są wymagania projektu,
- przygotowanie form: oczyszczenie z pozostałości betonu i naniesienie środka antyadhezyjnego za pomocą urządzeń natryskowo-rozpylających w celu uzyskania cienkiej i równomiernie rozłożonej warstwy,
- montaż zbrojenia i elementów dystansowych w formach – w przypadku zbrojeń wykonywanych automatycznie wkładki dystansowe nakładane są również automatycznie,
- ewentualnie montaż złączy palowych – należy je umieścić w koszu zbrojeniowym, po czym włożyć do formy z zastosowaniem precyzyjnej blokady zapewniającej prostopadłość blachy czołowej złącza i osi pala,
- wytworzenie i transport mieszanki betonowej – mieszankę betonową (rys. 6) należy przetransportować do hali produkcyjnej w sposób uniemożliwiający rozsegregowanie składników, podać z pojemnika podwieszonego nad formą i zagęścić wibratorem buławowym pogrążalnym (nie dotyczy mieszanek samozagęszczających się),
- pielęgnacja prefabrykatów w formach przez stosowanie plandek hydroizolacyjnych zapobiegających odparowaniu wody z betonu – minimalny czas dojrzewania betonu w formach wynosi 16 godzin,
- wyciąganie (z użyciem zawiesia belkowego) prefabrykatów z form, których ścianki boczne są wcześniej rozchylane hydraulicznie,
- transport i składowanie prefabrykatów w magazynie wyrobów gotowych (przy użyciu specjalnie przystosowanych samochodowych zestawów transportowych i suwnic).

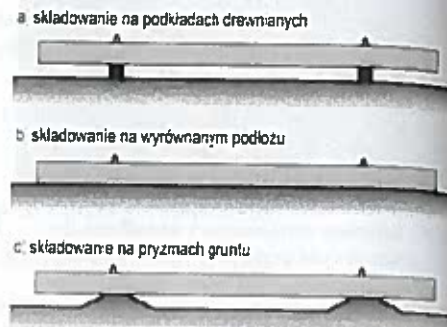
3.5. Transport i składowanie prefabrykatów pali żelbetowych

Prefabrykaty palowe żelbetowe mogą być przewożone środkami transportu dostosowanymi do długości przewożonych prefabrykatów, po ich odpowiednim zabezpieczeniu przed przesunięciem lub uszkodzeniem. Dopuszcza się układanie maksymalnie dwóch warstw pali z zastosowaniem przekładek drewnianych o wymiarach $0,1 \times 0,1$ m pomiędzy warstwami prefabrykatów. W czasie transportu należy zapewnić równomierne obciążenie naczepy i zabezpieczenie przewożonych prefabrykatów przed przesunięciem.

Podczas rozładunku prefabrykatów należy stosować odpowiednie zawiesia transportowe przystosowane do ciężarów przemieszczanych prefabrykatów. Długość zawiesia transportowego musi zapewniać uzyskanie pomiędzy osią pała a cięgnem kąta o wartości co najmniej 60° (rys. 7).



Rys. 7. Minimalny kąt pomiędzy zawiesiem a osią pała



Rys. 8. Sposoby składania żelbetowych prefabrykatów pali

Gotowe elementy składa się w stosach na dwóch podkładkach drewnianych o wymiarach $0,1 \times 0,1$ m, umieszczonych w odległości $0,23L$ od końców prefabrykatu, co zapewnia korzystny rozkład momentów zginających. Długość przekładek powinna być większa o $0,05$ m od szerokości stosu pali. Prefabrykaty palowe powinny być składowane na stabilnym, wyrównanym lub utwardzonym podłożu. Na placu budowy pale najlepiej składować w jednej warstwie na przyzmacz uformowanych z gruntu (rys. 8).

Wartością dodaną do prefabrykatów palowych produkowanych w nowoczesnym zakładzie prefabrykacji jest ich wysoka jakość. Współczesna wytwórnia powinna stosować procedury mające na celu zagwarantowanie najwyższej jakości procesu produkcji i wyrobu końcowego. Wytwórnia zajmująca się produkcją żelbetowych prefabrykatów palowych powinna działać zgodnie z systemem zarządzania jakością ISO 9001. Formalnym tego potwierdzeniem jest uzyskanie certyfikatu ISO 9001. Po wdrożeniu Systemu Zarządzania Jakością wytwórca prefabrykatów jest zobligowany do konsekwentnego realizowania przyjętych celów jakościowych.

Głównym celem działalności zakładu przemysłowego wytwarzającego prefabrykaty jest spełnienie wymagań i potrzeb klientów poprzez zapewnienie wysokiej jakości i powtarzalności wytwarzanych wyrobów, a przez to utrzymanie opinii rzetelnego i godnego zaufania partnera. Wszystkie działania mające na celu stałe podnoszenie jakości wyrobu i zaspokajanie potrzeb klientów są wprowadzane elastycznie i bez zwłoki, by klient uważał personel za przyjazny i profesjonalny.

Kompetencje kadry technicznej i wyposażenie zakładu musi umożliwiać prowadzenie kompleksowych badań dostarczanych surowców do produkcji prefabrykatów palowych pod kątem ich zgodności z wymaganiami norm i rozporządzeń. Prowadzenie systematycznej kontroli powoduje, że zamawiane są wyłącznie surowce najwyższej jakości u sprawdzonych i kwalifikowanych dostawców. Wszyscy pracownicy odpowiedzialni za proces produkcji prefabrykatów palowych powinni rozumieć i czuć odpowiedzialność za jakość wyrobu. Tę powszechną odpowiedzialność wśród załogi buduje się przez ciągle doskonalenie skuteczności systemu zarządzania jakością zgodnie z normą ISO 9001.

Zgodnie z Ustawą o wyrobach budowlanych [2], a także dla zapewnienia stabilności procesu produkcji oraz uzyskania przez wyroby wymaganych cech, każdy zakład produkujący prefabrykaty palowe musi wdrożyć system zakładowej kontroli produkcji. Jest to stała, wewnętrzna kontrola produkcji, której wszystkie elementy, wymagania i postanowienia są w sposób systematyczny dokumentowane w oparciu o spisane zasady i procedury postępowania.

Zakładowa kontrola produkcji umożliwia przeprowadzenie oceny zgodności i jest niezbędna do legalnego wprowadzenia prefabrykatów pali fundamentowych do obrotu. Atestację zgodności prefabrykatów palowych dokonuje się na podstawie procedur oceny zgodności w ramach systemu 2+ [3]. Zadaniem producenta jest wykonanie wstępnego badania typu, wdrożenie zakładowej kontroli produkcji oraz prowadzenie badań próbek pobranych w zakładzie. Zadaniem jednostki notyfikowanej jest certyfikacja procesu wytwarzania prefabrykatów palowych na podstawie wstępnej inspekcji zakładu i systemu zakładowej kontroli produkcji oraz ciągły nadzór, ocena i jego akceptacja.

Poświadczeniem, że firma spełnia wszystkie wymagania dotyczące oceny zakładowej kontroli produkcji opisane w załączniku ZA do normy [4], jest nadanie Certyfikatu Zakładowej Kontroli Produkcji.

3.6. Badania typu zgodne ze zharmonizowaną specyfikacją techniczną

Prefabrykaty pali żelbetowych, wykonane w wytwórni jako zbrojone lub sprężone z betonu zwykłego, o przekroju pełnym, prostopadłościennym lub walcowym stałym na całej długości lub zwężanym, z możliwą poszerzoną stopą, przeznaczone do obiektów inżynierskich i budowlanych i pogrążane na budowie za pomocą odpowiednich metod muszą spełniać wymagania określone w zharmonizowanej specyfikacji technicznej [4]. Dokument ten wymienia istotne właściwości, które należy poddać sprawdzeniu przed wprowadzeniem nowego typu wyrobu do obrotu celem wykazania zgodności.

Wstępne badania typu prefabrykatów pali fundamentowych klasy I obejmują:

- badanie wytrzymałości betonu na ściskanie,
- badanie wytrzymałości stali zbrojeniowej na rozciąganie wraz z określeniem granicy plastyczności,
- obliczenie nośności trzonu pała,
- rozwiązanie szczegółów konstrukcyjnych z rozmieszczeniem zbrojenia,
- określenie trwałości z uwagi na nośność,
- określenie sztywności złączy palowych.

Zgodność gotowych wyrobów w ramach badań bieżących i okresowych należy sprawdzać według normy [4] zgodnie z harmonogramem badań przedstawionym w tabeli 2.

Tabela 2. Kontrola elementów pali fundamentowych wg PN-EN 12794

Zakres	Metoda	Częstotliwość	Rejestracja
Długość całkowita	4.3	raz na miesiąc dla każdej linii produkcyjnej	zapis w formularzu
	5.2	i każdego rodzaju wyrobu	
Prostość	ocena wizualna	raz dziennie dla każdej linii produkcyjnej	zapis o wadach w formularzu
	4.3 5.2	raz na miesiąc dla każdej linii produkcyjnej	zapis o wadach w formularzu
Oznakowanie i etykietowanie	ocena wizualna	codziennie	zapis w formularzu
Inne tolerancje geometryczne	4.3 5.2	raz na miesiąc dla każdej linii produkcyjnej	zapis w formularzu

Parametry techniczne fundamentów palowych przeznaczonych pod konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej oprócz wymogów ustawy o wyrobach budowlanych z dnia 16 kwietnia 2004 roku muszą spełniać wymagania określone w dokumencie normatywnym [5] przyjętym do stosowania w PKP PLK S.A. zarządzeniem [6] i [7]. Zakres badań, jakie należy przeprowadzać w ramach zakładowej kontroli produkcji określa aprobatę techniczną [1] opracowaną przez Instytut Kolejnictwa na wniosek producenta prefabrykatów. Zgodnie z wymaganiami aprobaty badania okresowe, wymienione w tablicy 3, należy przeprowadzać w niezależnym laboratorium nie rzadziej niż w raz w roku.

Tabela 3. Badania okresowe fundamentów palowych wg AT/07-2012-0038-02

	Rodzaj badań	Metoda	Wymagania	
1	właściwości betonu	Aprobata Techniczna AT/07-2012-0038-02	nasiąkliwość	max 4%
2			mrozoodporność	min F 150
3			wodoprzepuszczalność	min W 8
4	granica plastyczności		≥ 60 MPa	
5	moduł sprężystości		≥ 3000 MPa	
6	właściwości tworzywa sztucznego – Izolatory		wydłużenie względne przy zerwaniu	≥ 35 %
7	twardość materiału		udarność	≥ 140 N/mm ²
8				≥ 150 kJ/m ²
9	izolacja konstrukcja wsporcza - fundament			$U_n = 750$ V $R_{s-r} \geq 1$ k Ω

Zadaniem producenta fundamentów palowych jest wykonywanie bieżących badań. Badania przeprowadza się dla partii liczącej maksymalnie 300 sztuk. Zakres badań obejmuje kontrolę atestów materiałowych, badanie wytrzymałości na ściskanie betonu, grubości otuliny i średnica prętów, stan powierzchni i wygląd zewnętrzny prefabrykatów oraz wymiary i tolerancje wykonania.

3.7. Znakowanie CE oraz znakiem budowlanym

Zgodnie z ustawą [2] wyrób nadaje się do stosowania przy wykonywaniu robót budowlanych, jeżeli jest oznakowany znakiem budowlanym. Oznakowanie wyrobu budowlanego jest dopuszczalne, jeżeli producent dokonał oceny zgodności i wydał na swoją wyłączną odpowiedzialność krajową deklarację zgodności z Aprobata Techniczną.

Znak CE umieszczony na etykiecie prefabrykatu pala fundamentowego informuje, że wyrób spełnia wymagania Dyrektywy 89/106/EWG. Po wykazaniu zgodności z warunkami określonymi w załączniku ZA do normy [4] i wydaniu certyfikatu zakładowej kontroli produkcji przez jednostkę notyfikowaną, zakład prefabrykacji przygotowuje i przechowuje deklarację zgodności, która upoważnia do naniesienia na prefabrykat oznakowania CE.

Przy symbolu CE podane są następujące informacje [4]:

- numer identyfikacyjny jednostki certyfikującej,
- nazwa oraz adres producenta,
- ostatnie dwie cyfry roku, w którym naniesiono oznakowanie,
- numer certyfikatu zakładowej kontroli produkcji,
- powołanie na polską normę PN-EN 12794,
- opis wyrobu: nazwa rodzajowa, materiał, wymiary i zamierzone zastosowanie,
- klasę prefabrykatu pala fundamentowego,

- klasyfikację złącza w przypadku pali segmentowych i (jeśli mają zastosowanie) odpowiednie właściwości (tj. szerokość odstępów, obliczoną nośność przy ściskaniu, rozciąganiu i zginaniu, sztywność przy zginaniu) pali segmentowych,
- informacje o innych istotnych cechach charakterystycznych wyrobu.

3.8. Wyposażenie laboratorium zakładowego

Dla zapewnienia najwyższej jakości prefabrykatów palowych laboratorium zakładowe powinno posiadać co najmniej następujący zestaw urządzeń:

- maszyny wytrzymałościowe do prób statystycznych na ściskanie, rozciąganie i zginanie (rys. 10),
- komorę do badania mrozoodporności materiałów (rys. 9),
- aparat do badania wodoszczelności próbek betonu,
- normowe sita kontrolne z automatyczną wstrząsarką do badań uziarnienia kruszywa,
- aparat VICATA do badania czasu wiązania cementu,
- mieszarkę laboratoryjną do wykonywania zaczynu cementowego,
- aparat do badania zawartości powietrza w mieszance betonowej,
- przyrząd do mierzenia otuliny zbrojenia metodą nieniszczącą,
- atestowane wagi elektroniczne,
- młotek Schmidta (najlepiej z rejestratorem pomiarów),
- specjalistyczną mieszarkę planetarną do wykonywania próbnych zarobów,
- wzorcowane przyrządy do pomiarów liniowych,
- podgrzewane wanny do pielęgnacji próbek kontrolnych.

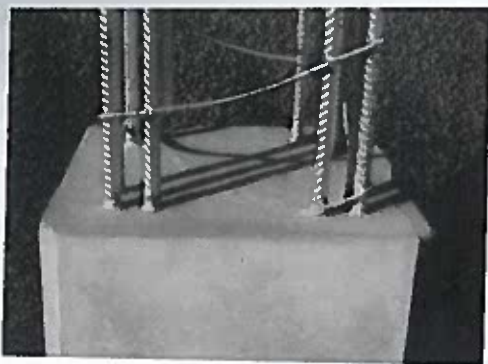
Badania, które nie mogą być wykonane za pomocą zestawu podstawowego, należy zlecać laboratorium zewnętrznym posiadającym akredytację.



Rys. 9. Laboratorium zakładowe – komora do badania mrozoodporności betonu



Rys. 10. Laboratorium zakładowe – maszyna wytrzymałościowa



Rys. 11. Przekrój typowego prefabrykatu palowego



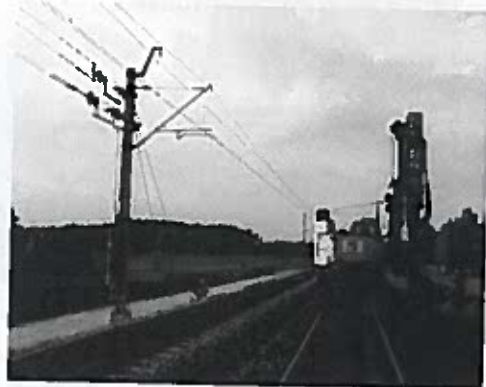
Rys. 12. Magazyn prefabrykatów pali

4. Przykłady zastosowania żelbetowych pali prefabrykowanych

W poprzednich rozdziałach przedstawiono szeroką charakterystykę żelbetowych pali prefabrykowanych. Współczesne młoty i wibromłoty oraz wprowadzenie do praktyki inżynierskiej pali łączonych stworzyło zupełnie nowe możliwości wykorzystania prefabrykatów żelbetowych w fundamentach głębokich. Aktualnie dominuje technologia wbijania pali żelbetowych młotami hydraulicznymi.

Spośród bardzo wielu możliwości poniżej przedstawiono kilka obszarów zastosowania tego rodzaju pali.

Fundamenty palowe pod słupy sieci trakcyjnej (rys. 13), ekranów akustycznych (rys. 14) i infrastruktury towarzyszącej to prawdopodobnie najmniejsze fundamenty specjalne w budownictwie kolejowym. Liczba wykonywanych fundamentów powoduje jednak, że całkowity zakres robót palowych jest znaczny.



Rys. 13. Pał prefabrykowany w trakcie wbijania kafarem torowym z nieprzebudowanego toru



Rys. 14. Wbijanie pali prefabrykowanych pod fundamenty ekranów akustycznych przy użyciu kafara torowego poruszającego się na gąsienicach (archiwum Aarsleff sp. z o.o.)

Żelbetowe pale prefabrykowane w fundamentach podpór stałych i tymczasowych obiektów mostowych tworzą obecnie najszerszy obszar zastosowań technologii pali prefabrykowanych. Pozwalają na kompleksową realizację robót palowych w różnych warunkach

gruntowych i lokalizacyjnych: na lądzie, z lądu lub tymczasowych grobli w wodzie (rys. 15), z platform pływających w wodzie lub na lądzie. Ponadto pozwalają wykonać te roboty niezwykle szybko. Skala obiektu mostowego nie ma przy tym większego znaczenia: żelbetowe pale prefabrykowane wykorzystywane są w kładkach, typowych mostach i wiaduktach oraz bardzo dużych obiektach mostowych budowanych przez Wisłę (most w Krakowie w ciągu S7, Polańcu, Toruniu oraz koło Kieżmarka w ciągu S7) i Odrę (np. mosty przez Odrę i Regalicę w Szczecinie, estakady dojazdowe do mostu Rędzińskiego). W podporach nurtowych dużych mostów wykorzystywane są bardzo często fundamenty zespolone złożone z pali prefabrykowanych i grodziec oraz zasypek piaskowych.



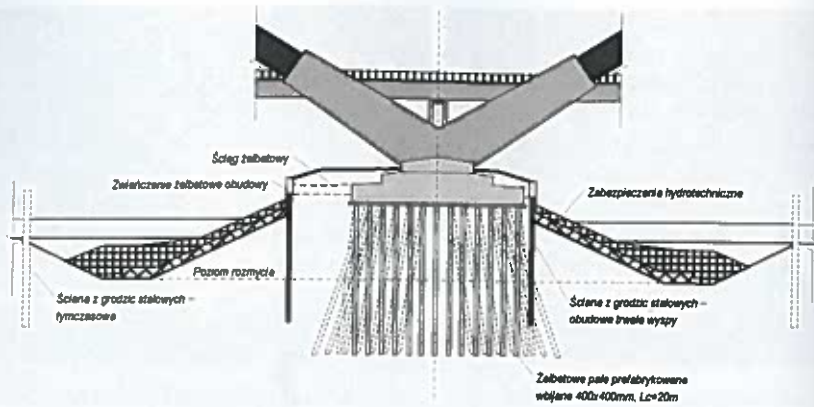
Rys. 15. Pałowanie fundamentów podpór tymczasowych w korycie Wisłoka [9] z tymczasowej grobli przy użyciu kafara z młotem hydraulicznym



Rys. 16. Podpory tymczasowe w zbiorniku Elektrociepłowni Rzeszów [9]



Rys. 17. Wykonany fundament [10]



Rys. 18. Schemat ideowy fundamentu palowego podpory środkowej [10]

Pale prefabrykowane wykorzystywane są także w głównym nurcie budownictwa do posadowienia różnego typu budynków i budowli, np. domów jednorodzinnych (rys. 19), budynków mieszkalnych wielorodzinnych (rys. 20), budynków handlowych i użyteczności publicznej, stadionów, masztów i wież elektrowni wiatrowych (rys. 21), zakładów przemysłowych (rys. 22) itp.



Rys. 19. Fundament domu jednorodzinnego w miejscowości Słone



Rys. 20. Fundament budynku mieszkalnego wielorodzinnego w Kołobrzegu



Rys. 21. Fundament elektrowni wiatrowej w Mikołajkach Pomorskich



Rys. 22. Fundament palowy Zakładu Seryjnej Produkcji Wielkogabarytowych Konstrukcji Stalowych na Ostrowie Brdowskim w Szczecinie

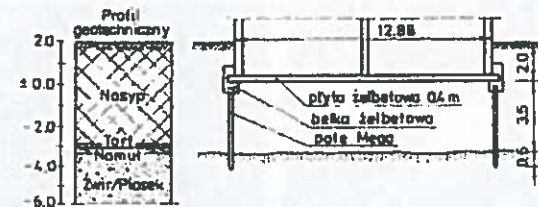
Na szczególną uwagę zasługuje wykorzystanie pali żelbetowych w budownictwie hydrotechnicznym i morskim. Przez wszystkie lata powojenne na całym wybrzeżu stosowano tego rodzaju rozwiązania np. Gdańsk, Gdynia, Szczecin. Liczne przykłady rozwiązań konstrukcyjnych dotyczą nabrzeży, pirsów, bulwarów.

Różnorodne zastosowania żelbetowych prefabrykowanych pali wbijanych przedstawiono również w monografiach Gwizdały, Kowalskiego [11] oraz Gwizdały [12]. Ponadto, bardzo wiele współczesnych przykładów zastosowania żelbetowych prefabrykowanych pali wbijanych przedstawiono w ostatnich latach w Inżynierii Morskiej i Geotechnice.

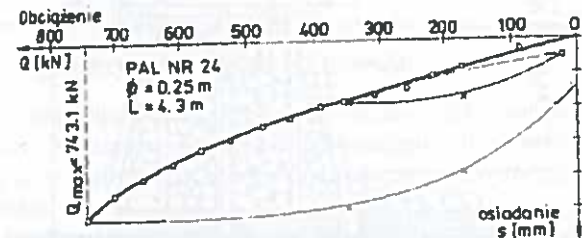
Nietypowe zastosowanie prefabrykowanych pali żelbetowych wciskanych za pomocą prasy hydraulicznej przedstawiono w pracy Gwizdały i in. [13]. Pale wciskane zastosowano do wzmocnienia fundamentu budynku w Gdańsku. Zastosowano pale wciskane typu Mega (rys. 23):

- pale łączone o odcinkach długości 1 m i 2 m, o średnicy 25 cm, w pełni przemieszczniowe,
- wciskane przy ścianie na zewnątrz budynku, po uprzednim rozkuciu płyty żelbetowej,
- pale rozmieszczono po odwodzie budynku po trzy sztuki na wprost ścian poprzecznych,
- łączenie głowic pali z płytą fundamentową i konstrukcją budynku wykonano poprzez dodatkową belkę żelbetową (rys. 23).

Poprzez kilkukrotne powtarzanie przeciążenia pala w czasie wciskania uzyskano bardzo dobrą sztywność podparcia (rys. 24) pomimo niewielkiego zgłębienia w gruncie nośnym.



Rys. 23. Wzmocnienie fundamentu budynku w Gdańsku



Rys. 24. Krzywa osiadania wzmocnionego fundamentu palami Mega

5. Pale drewniane

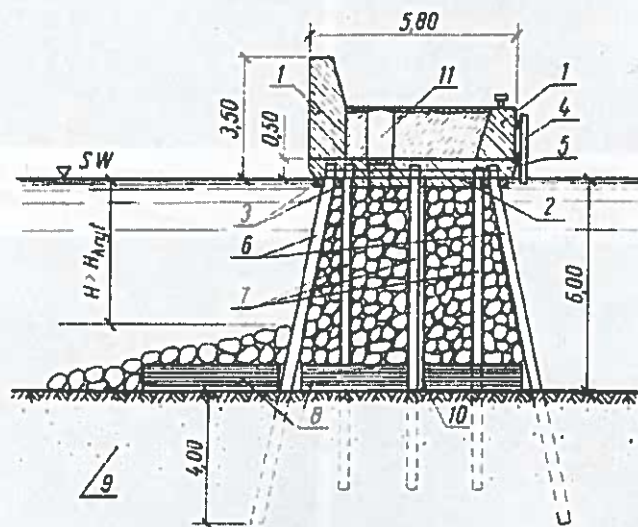
Pale drewniane są wykorzystywane do budowy pomostów trwałych i tymczasowych ostróg i falochronów, podbór tymczasowych w korytach rzek lub w innych zbiornikach wodnych oraz obiektów mieszkalnych lub/i komercyjnych zlokalizowanych nad lustrem

wody. Stosowane są od setek lat przy posadowieniu osad miast nad jeziorami, rzekami i morzem. W Polsce najbardziej znana jest osada w Biskupinie (rys. 25).



Rys. 25. Osada w Biskupinie z VIII wieku p.n.e.

Stosuje się przeważnie drewno sosnowe, świerkowe, dębowe, bukowe. Obecnie handlowe wymiany drewna wynoszą odpowiednio: średnica 15-30 cm, długość do 15 m. Rozwiązania konstrukcji na palach drewnianych uważane są za ekologiczne, bardzo estetyczne i przyjazne dla środowiska (patrz budownictwo hydrotechniczne i morskie). Przykład połączenia naturalnych materiałów (kamienia, drewna i faszyny) przedstawiono (rys. 26) na przykładzie falochronu palisadowego [14].



Rys. 26. Falochron palisadowy we Władysławowie (1936-1938) [14]: 1 – mur betonowy, 2 – żelbet, 3 – kleszcze drewniane 25 × 25 cm, 4 – odbojnica, 5 – ściągi stalowy o średnicy 35 mm, 6 – palisada z pali drewnianych o średnicy 30 cm, 7 – pale pionowe drewniane o średnicy 20+30 cm co 2 m, 8 – materace faszynowe, 9 – piasek, 10 – ścianka drewniana, 11 – studzienka do uzupełnienia kamienia

Pale drewniane chętnie stosowane są obecnie w obiektach rekreacyjnych (rys. 27). Tradycyjne pale drewniane wykorzystywane są również w budownictwie morskim (rys. 28+30). Przedstawiono zastosowanie pali do odbudowy i remontu mola w Sopocie, budowy mariny przy Molo w Sopocie i konstrukcji na brzegu morskim w Ustroniu Morskim.



Rys. 27. Pomost spacerowy, jezioro Krzywe w Olsztynie



Rys. 28. Molo w Sopocie – remont (T. Brzozowski)



Rys. 29. Budowa mariny przy molo w Sopocie – widok na pale drewniane



Rys. 30. Badanie dynamiczne pali drewnianych w Ustroniu Morskim

6. Przykłady wykorzystania pali stalowych

Pale stalowe znajdują obecnie bardzo różnorodne zastosowanie w różnych konstrukcjach inżynierskich. Najczęściej kojarzone są z robotami palowymi na wodzie. Tradycyjnie wykorzystuje się je w budownictwie morskim hydrotechnicznym, mostowym i w konstrukcjach pełnomorskich.

Klasykne konstrukcje, w których wykorzystuje się elementy stalowe, to nadbrzeża, dalby, pirsy, falochrony, odbojnice, izbice, kierownice, fundamenty i podbory stale lub tymczasowe/technologiczne mostów i pomostów komunikacyjnych lub transportowych w rzekach i zbiornikach wodnych, fundamenty turbin wiatrowych (najczęściej monopale), fundamenty obiektów mieszkalnych i komercyjnych zlokalizowanych nad lustrem wody, stawy nawigacyjne (rys. 31-50).

Obecnie należy zauważyć różnorodne „formy konstrukcyjne”, w których wykorzystano grodzice stalowe, dwuteowniki, rury w połączeniu z grodzicami stalowymi, pale skrzynkowe, pale i palisady kombinowane (rys. 35, 36, 41). W Polsce mamy wieloletnie doświadczenia w stosowaniu pali stalowych w budownictwie morskim i hydrotechnicznym.

Stosowane tu rury stalowe mogą być zamknięte lub otwarte o średnicach 100, 500, 600, 700 mm i większych. Rury o średnicach 800-2500 mm używane są głównie jako elementy urządzeń cumowniczo-odbojowych. Pale stalowe wbijane (wibrowane) mają najczęściej przekrój kołowy, średnice ~400 mm, ~500 mm, ~600 mm i więcej, długość nawet do kilkudziesięciu metrów i możliwość wykonania pali łączonych (spawanych) z odcinków (rys. 33, 34). Pale stalowe wbijane są za pomocą młotów hydraulicznych, spaliniowych, wolnospadowych lub wibrowane. Mają podstawy zamknięte („but stalowy”) lub otwarte i charakteryzują się dużą nośnością i małymi osiadaniami.

Zalety pali stalowych:

- korzystne cechy wytrzymałościowe i odkształceniowe,
- łatwość łączenia elementów, również na palcu budowy,
- pływalność pali zamkniętych – łatwy transport na wodzie,
- możliwość szczegółowej kontroli przed wbiciem,
- duże tempo wykonania, niezależne od warunków pogodowych,
- możliwość zastosowania jako podbory tymczasowe,
- mogą przenosić znaczne obciążenia pionowe i poziome,
- mogą stanowić estetyczne i funkcjonalne elementy konstrukcji,
- nie wymagają wydobywania gruntu,
- zapewniają dobrą nośność i niewielkie przemieszczenia na poziomie obciążen obliczeniowych,
- pozwalają na rozwiązania „ekologiczne”,
- możliwa jest kontrola oporów w czasie wbijania i ocena nośności,
- ciągłość i pewność wykonania nawet w gruntach o bardzo małej nośności wytrzymałość na ścinanie bez odplywu, ($c_u = s_u$),
- wystarczająca odporność na korozję.

Poniżej przedstawiono tylko przykładowe rozwiązania z tego zakresu. Omówienie tej tematyki mogłoby być tematem solidnej oddzielnej monografii. Na rysunkach scharakteryzowano podstawowe dane geometryczne prezentowanych konstrukcji.



Rys. 31. Moło Gdańsk Brzeźno



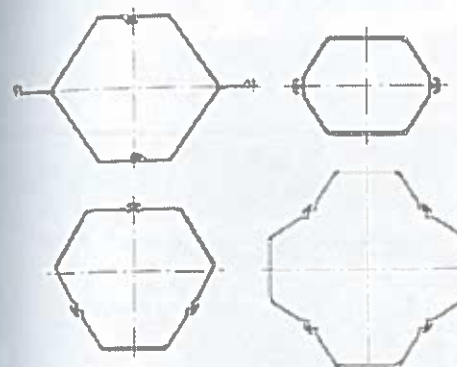
Rys. 32. Pale w Międzyzdrojach



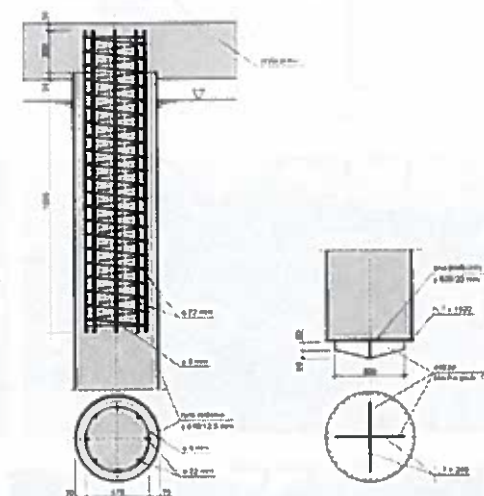
Rys. 33. Budowa mariny przy moło w Sopocie – łączenie pali stalowych



Rys. 34. Budowa mariny przy moło w Sopocie – ścianka szczelna



Rys. 35. Pale stalowe wbijane/wwibrowywane – przykładowe profile skrzynkowe



Rys. 36. Pale stalowe z dnem zamkniętym



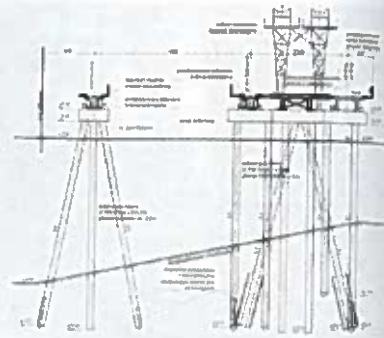
Rys. 37. Dalba cumowniczo-odbojowa (Aqua-projekt Gdańsk)



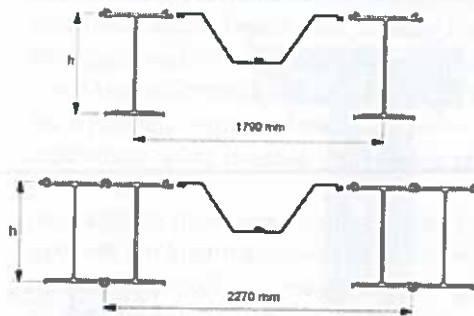
Rys. 38. Estakady rurociągów w Porcie Północnym (Aqua-projekt Gdańsk)



Rys. 39. Pirs węglowy w Porcie Północnym (Aquaprojekt Gdańsk)



Rys. 40. Pirs węglowy w Porcie Północnym – przekrój (Aquaprojekt Gdańsk)



Rys. 41. Profile stalowe wwbrowywane



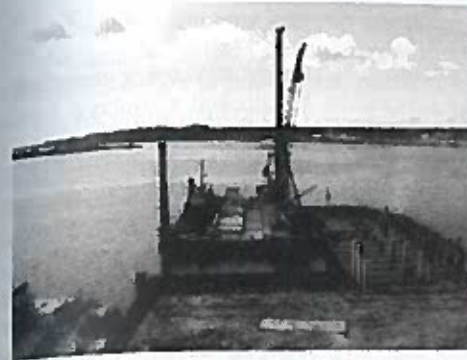
Rys. 42. Profile stalowe – terminal kontenerowy w Porcie Północnym w Gdańsku (T. Brzozowski)



Rys. 43. Profile stalowe – terminal kontenerowy T2 DCT Port Północny w Gdańsku



Rys. 44. Palisada zabezpieczająca – A2 (Transprojekt Gdański)



Rys. 45. Budowa nabrzeża w porcie w Świnoujściu – palowanie przy użyciu kafara z platformy pływającej typu jack-up



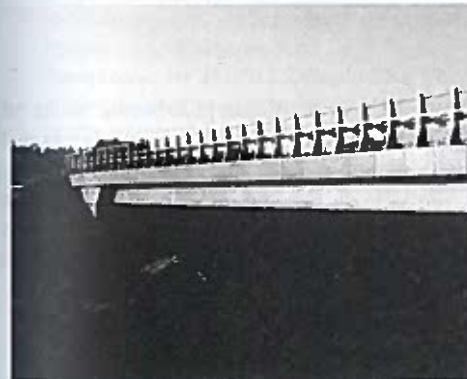
Rys. 46. Wbijanie rur stalowych pod pomost spacerowy na jeziorze Chelmskim przy użyciu kafara na platformie pływającej



Rys. 47. Wibrowanie rur i grodzie fundamentu stawy



Rys. 48. Konstrukcja fundamentu stawy nawigacyjnej



Rys. 49. Zespolony most zintegrowany posadowiony na palach stalowych palach fundamentowych typu H, Wólka Niedzwiecka, woj. Podkarpackie



Rys. 50. Miejski wiadukt zintegrowany budowany metodą „top&down” posadowiony na grodzicach stalowych, Rzeszów

7. Pale z tworzyw sztucznych

Obecnie obserwujemy dynamiczny rozwój zastosowań geosyntetyków w geotechnice. Projektowanie i wykonywanie konstrukcji oraz elementów konstrukcji z tworzyw sztucznych w fundamentowaniu głębokim jest znacznie rzadsze.

W Polsce raczej sporadycznie stosuje się grodzice i pale z tworzyw sztucznych do konstrukcji oporowych i posadowień w budownictwie wodnym, morskim i lądowym. Elementy nośne z tworzyw sztucznych mają zarówno zalety, jak i wady i należy je stosować z ograniczeniami wynikającymi z ich właściwości fizycznych i mechanicznych. W literaturze można znaleźć wiele informacji dotyczących właściwości tych materiałów i ich zakresu stosowania, np. Drążkiewicz [16] oraz Bob Lee [15].

Wymiary geometryczne pali są zróżnicowane: od mikropali do pali o średnicach 30+40 cm i długościach 12+24 m.

Konstrukcje z tworzyw sztucznych zaliczamy do rozwiązań ekologicznych, plasujących się w tym zakresie pomiędzy betonem i drewnem. Poszczególne elementy można dobierać kolorystycznie, co stwarza ciekawe możliwości dla architektów. Stosunkowo łatwa jest obróbka mechaniczna i montaż elementów.

Pale i elementy z tworzyw sztucznych mogą być wykorzystane w budownictwie wodnym, morskim, lądowym w budowie następujących konstrukcji:

- urządzenia i konstrukcje odbojowe,
- kierownice wejściowe do małych portów i śluz,
- osłony i kierownice podpór mostowych,
- różnego rodzaju urządzenia portowe dla konstrukcji cywilnych i wojskowych,
- pale i konstrukcje cumownicze w marinach dla postoju małych jednostek pływających,
- ostrogi morskie i rzeczne,
- opaski zabezpieczające brzeg morza, rzek, jezior, kanałów,
- do konstrukcji pomostów, kładek dla pieszych.

Zasady stosowania pali i grodzic z tworzyw sztucznych zostały w znacznym zakresie sformalizowane w innych krajach. W dalszym ciągu problemem pozostaje miarodajna ocena rzeczywistych właściwości materiałów z tworzyw sztucznych oraz ich wpływu na środowisko wodne i gruntowe oraz organizmy żywe, w tym na ludzi.

8. Podsumowanie

Pale prefabrykowane, które są najstarszą stosowaną technologią palowania, wciąż odgrywają we współczesnym budownictwie istotną rolę. Dzięki wykorzystaniu nowoczesnych metod projektowania, rozwiązań materiałowych i technologicznych, sprzętu oraz metod badań pali opisana w artykule technologia znajduje w fazie permanentnego rozwoju i przełamywania kolejnych barier. Przejawia się to głównie w ciągłym poszerzaniu zakresu stosowania pali prefabrykowanych i ich wykorzystaniu do posadowienia coraz większych obiektów zlokalizowanych w coraz bardziej skomplikowanych warunkach gruntowych.

Współczesna technologia pali prefabrykowanych zapewnia:

- wysoką nośność i małe osiadania wykonanych pali,
- bardzo dużą niezależność od lokalizacji fundamentu i warunków realizacji robót palowych,
- możliwość łatwej kontroli wykonanych pali pod względem nośności, osiadania i jakości,
- wysoką wydajność robót palowych,
- przemieszczeniowy charakter pogrążanych pali,

- spełnienie warunków szeroko rozumianej ekologii (m.in. ograniczenie drgań, wstrząsów, hałasu, zanieczyszczenia gruntów i wody gruntowej, wydobywania gruntów zanieczyszczonych i organicznych, możliwość odzyskiwania pali po zakończeniu użytkowania, recykling materiałowy lub środowiskowy itp.).

Wymienione wyżej, specyficzne i korzystne cechy technologii pali prefabrykowanych, są wykorzystywane i weryfikowane na co dzień w ramach wolnego rynku i ostrej konkurencji na rynku robót geotechnicznych.

Podstawowe kierunki rozwoju technologii pali prefabrykowanych bazują od lat na tych samych podstawach, tj.:

- rozwoju metod projektowania, który następuje głównie dzięki większej dostępności i rozwoju technologii badań pali i gruntów,
- rozwoju inżynierii materiałowej (m.in. pale z tworzyw sztucznych),
- rozwoju sprzętu budowlanego (m.in. większa wydajność, monitoring procesów, mniejsze oddziaływanie na środowisko),
- rozwoju świadomości społecznej i ekologicznej (m.in. ciche młoty, powrót do wykorzystania pali drewnianych).

Literatura

1. Gwizdała K., Krasieński A., 2016. Fundamenty Palowe, Obliczenia z zastosowaniem zasad EUROKODU 7 i doświadczeń krajowych, II Konferencja Naukowo-Techniczna ProGeotech 2016 „Projektowanie geotechniczne – dobór parametrów i obliczenia projektowe”, Warszawa 28-29 września 2016 r.
2. Ustawa z dnia 10 kwietnia 2004 roku o wyrobach budowlanych (Dz. U. 2004, Nr 92, poz. 881).
3. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie systemów oceny zgodności, wymagań, jakie powinny spełniać notyfikowane jednostki uczestniczące w ocenie zgodności, oraz sposobu oznaczania wyrobów budowlanych oznakowaniem CE (Dz. U. z 2004 r. Nr 195, poz. 2011).
4. PN-EN 12794 Prefabrykaty z betonu - Pale fundamentowe.
5. Dokument Normatywny 01-2-1/ET/2008, 2008. „Fundamenty konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej”. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa.
6. Zarządzenie Nr 2/2009 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 2 marca 2009 roku w sprawie przyjęcia „Dokumentu normatywnego dla elementów i osprzętu sieciowego oraz elektroenergetyki nietrakcyjnej” do stosowania na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
7. Zarządzenie Nr 25/2012 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 12 września 2012 r. w sprawie przyjęcia zarządzenia zmieniającego zarządzenie przyjmujące „Dokument normatywny dla elementów i osprzętu sieciowego oraz elektroenergetyki nietrakcyjnej” do stosowania na liniach kolejowych zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
8. Aprobata Techniczna IK AT/07-2012-0038-02, 2012. „Fundamenty palowe typu B1, B2, B3, B1A, B3A pod konstrukcje wsporcze sieci trakcyjnej wraz z osprzętem mocującym”. Instytut Kolejnictwa, Warszawa.
9. Sobala D., Tomaka W., Szaro J., Muchalski R., 2014. Żelbetowe pale prefabrykowane wbijane w fundamentach podpór stałych i tymczasowych mostu drogowego przez Wisłok w Rzeszowie. WDM.
10. Sobala D., Tomaka W., Szaro J., Sobczak S., 2014. Żelbetowe pale prefabrykowane wbijane w fundamentach mostu łukowego przez Wisłę w Toruniu. Inżynieria i Budownictwo. 6/2014.
11. Gwizdała K., Kowalski J. R., 2005. Prefabrykowane pale wbijane. Druk: Zakład Poligrafii Politechniki Gdańskiej, Gdańsk.
12. Gwizdała K., 2011. Fundamenty palowe. Technologie i obliczenia. Tom 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

13. Gwizdała K., Tejchman A., Żurowski A., 1992. Krajowe Doświadczenia Wzmacniania Podłoża, Stabilizacja Osiadań Budynku Mieszkalnego za pomocą Pali Wcisnanych. Gdańsk, 25-26 września 1992 r.
14. Hueckel S., 1974. Budowle Morskie. Tom II. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk.
15. Lee B. Lee Composites, Inc. P.O. BOX 11286 Spring, Texas 77391-1286. www.leecomposites.com.
16. Drażkiewicz J., 2010. Budowle hydrotechniczne z zastosowaniem konstrukcji nośnych z tworzywa sztucznego. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 6/2010.
17. Gwizdała K., 2013. Fundamenty palowe. Badania i zastosowania. Tom 2. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
18. Materiały archiwalne firmy Aarsleff Sp. z o.o.
19. Morskie Budowle Hydrotechniczne, Z1- Z45, Wydanie IV, 2006. Gdańsk.
20. PN-83/B-02482 Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.
21. PN-EN 12699. Wykonawstwo specjalistycznych robót geotechnicznych. Pale przemieszczeniowe.
22. PN-EN 13369 Wspólne wymagania dla prefabrykatów z betonu.
23. PN-EN 1536:2001. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Pale wiercone.
24. PN-EN 1997-1:2004, Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne- Część 1: Zasady ogólne.
25. PN-EN 1997-2. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2. Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
26. Seminarium „Wyposażenie morskich budowli hydrotechnicznych w urządzenia zwiększające bezpieczeństwo dobijania i cumowania statków”. Gdynia, 21 kwietnia 2016 r.
27. Sobala D., 2011. Pale prefabrykowane w fundamentach mostów. Inżynieria i Budownictwo nr 7-8/2011.
28. SST Platformy robocze dla ciężkiego sprzętu budowlanego w ramach realizacji robót geotechnicznych, <http://www.pzwfs.com.pl/specyfikacje.html>.

Precast Piles

Kazimierz Gwizdała¹, Dariusz Sobala²

¹Gdańsk University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering

²Rzeszów University of Technology, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Aarsleff sp. z o.o.

Abstract: The paper presents the current situation of the precast timber, steel and reinforced concrete pile technology and scope of its application in Poland's commercial, industrial, power engineering, transport infrastructure and hydrotechnical construction. The paper discusses the status quo of standardization concerning precast piles, selected solutions of precast pile design, production, installation and quality control as well as the possible directions of future development. The description of the present situation of the precast pile technology is complemented with examples of its applications in various interesting, important and/or unique engineering structures commissioned in Poland in the recent years.

Keywords: precast piles, displacement piles, precast pile production, piling work, pile tests, pile design

Błędy w projektowaniu, wykonawstwie, eksploatacji i diagnostyce dachowych dźwigarów kablobetonowych – doświadczenia polskie

Jacek Hulimka, Jan Kubica

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

Streszczenie: Kablobetonowe dźwigary sprężone stosowane były w Polsce masowo w latach 1954-1974. Liczbę wbudowanych w obiekty halowe dźwigarów oszacować można na kilkadziesiąt tysięcy, z czego większość użytkowana jest do dzisiaj. Pomimo generalnie dobrych założeń projektowych, wykonawczych i eksploatacyjnych, część dźwigarów została wykonana lub zmontowana w sposób wadliwy; często też warunki ich eksploatacji znacznie odbiegały od założonych. Pomimo ścisłych zaleceń diagnostycznych, również przy ocenie stanu technicznego dźwigarów często dochodzi do błędów lub przekłamań. W pracy opisano najczęściej stosowane w Polsce typy dźwigarów, a następnie odniesiono się do typowych błędów projektowych, wykonawczych, eksploatacyjnych i diagnostycznych. Autorzy korzystali z własnych doświadczeń uzyskanych podczas ekspertyz ponad 200 różnego typu i przeznaczenia obiektów halowych, a także z wybranej literatury tematu.

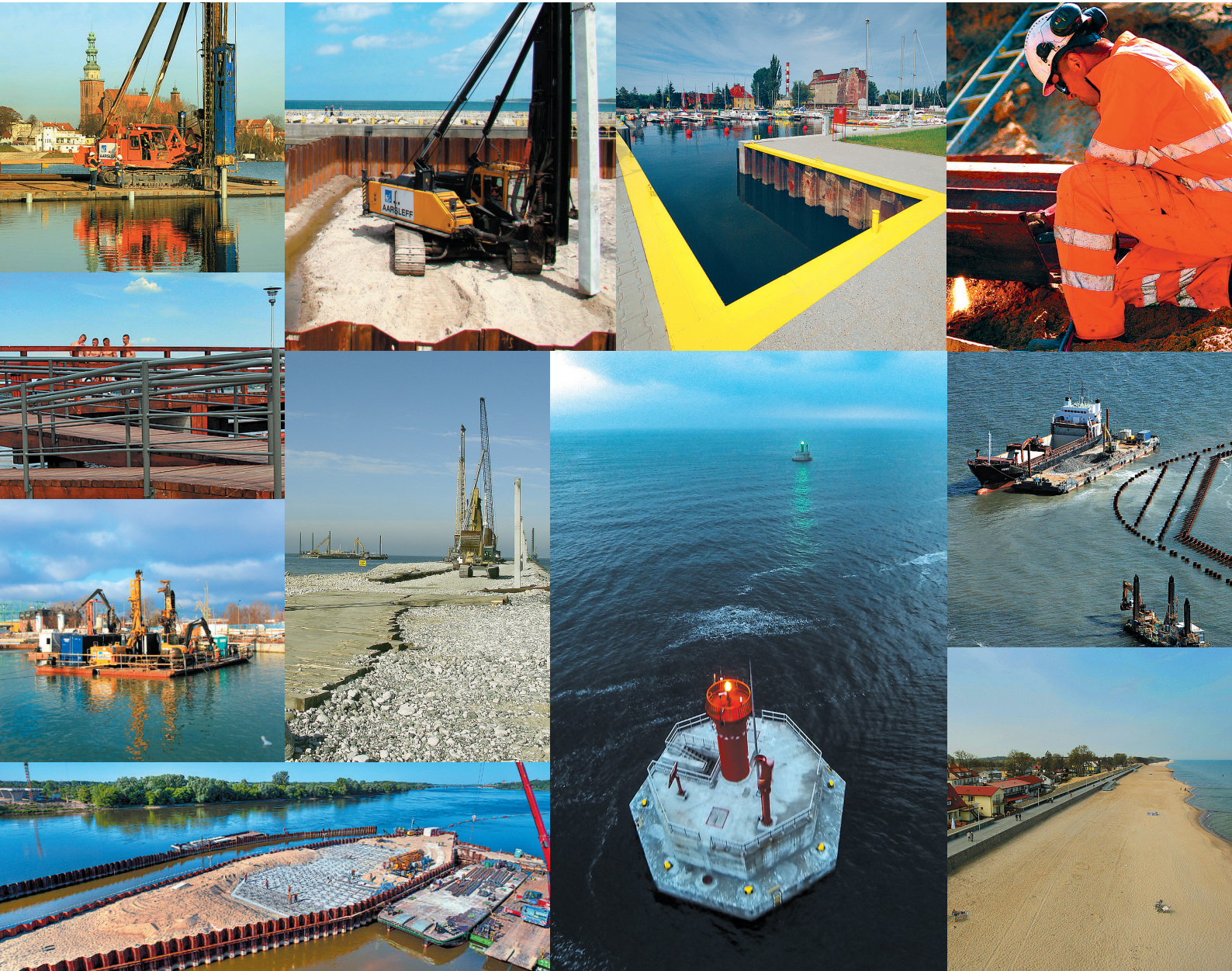
Słowa kluczowe: dźwigar kablobetonowy, stan techniczny, błędy, diagnostyka

1. Rys historyczny

Historia stosowania w Polsce lekkich kablobetonowych dźwigarów sprężonych sięga połowy lat 50. dwudziestego wieku. Przez niemal dwadzieścia kolejnych lat były one masowo stosowane, głównie w obiektach przemysłowych i magazynowych. Trudno obecnie ocenić liczbę obiektów z dachami na dźwigarach kablobetonowych, ale na pewno jest to kilka tysięcy hal, a zatem kilkadziesiąt tysięcy dźwigarów [1].

Wśród stosowanych elementów najpowszechniejszą grupę stanowiły dźwigary typu KBO i KBOS – te pierwsze wykonywane w całości, a drugie składane z segmentów. Dźwigary typu KBO produkowane były o długości 15 m i 18 m, a dźwigary typu KBOS o długościach 18 m, 21 m i 24 m. W obydwu przypadkach były to dźwigary w postaci parabolicznego łuku żelbetowego ze sprężonym, prostoliniowym ściągiem, podwieszonym na prostoliniowych wieszakach (pojedynczych w dźwigarach KBO i podwójnych na końcach segmentów dźwigarów KBOS). W tej grupie rozpiętości produkowany był też złożony z dwóch segmentów dźwigar KB-18S. Wymienione tutaj dźwigary (poza KBO-15) ujęte były w systemie konstrukcyjno-montażowym P70 [2].

Zgodnie z [3] wymienione wyżej dźwigary traktowano jako stypizowane, a dodatkowo wyróżniano dźwigary specjalne KBS o konstrukcji kratowej. Najczęściej stosowano elementy o rozpiętości 30 m (KBS-30 "Odra" i KBS-30 "Krzyszowice"), a rzadziej o rozpiętości 36 m (KBS-36-"Strzybnica") i 42 m (KBS-42-"Hangar", głównie dla potrzeb lotnictwa wojskowego) – wszystkie z lukowym, żelbetowym pasem górnym, prostoliniowym sprężonym pasem dolnym i żelbetowymi krzyżulcami. W tej grupie wyróżnić można jeszcze bardzo nietypowe, jednostkowo stosowane dźwigary: "Żerań-18", "Torwar/9+12" (z częścią wspornikową), "Blachownia-22,6" (z łamanym pasem dolnym), "Łódź-23", "Szczecin-26" i "Łódź-27" (z prostoliniowym pasem górnym i lukowym pasem dolnym).



Aarsleff → budownictwo mieszkaniowe, kubaturowe, przemysłowe, hydrotechniczne, kolejowe, elektrownie wiatrowe, drogi i autostrady, obiekty sportowe i rekreacyjne. na zdjęciach budowa moła w Chełmży, budowa Marina Royale w Darłowie, marina w Elblągu, fragment moła w Nleporęciu, budowa falochronu w Śwnoujściu, Bałtyk — stawy nawigacyjne, budowa falochronu w Śwnoujściu, budowa Muzeum II Wojny Światowej w Gdańsku, budowa wyspy na Wiśle pod podporę mostu w Toruniu, nabrzeże w Sarbinowie.



Aarsleff →
budownictwo mieszkaniowe,
kubaturowe, przemysłowe,
hydrotechniczne, kolejowe,
elektrownie wiatrowe,
drogi i autostrady, obiekty
sportowe i rekreacyjne.

na zdjęciach
budowa fundamentu palowego pod zakład produkcyjny Gryfia w Szczecinie, budowa kanalizacji
w ciągu ul. Dźwigowej w Warszawie, posadowienie dzwonnicy w Białymstoku, roboty klejowe,
budowa stadionu narodowego w Warszawie, budowa oczyszczalni ścieków we Wrocławiu, prace
fundamentowe — farma wiatrowa, marina w Elblągu, na budowie budynku wielorodzinnego, budowa
terminala Kraków-Balice, estakady i most w Kwidzynie, budynek dworca Wrocław Główny — podczas
jego modernizacji wykonaliśmy ponad 7000 m² stalowych ścian szczelnych jako zabezpieczenie
wykopów niezbędnych do przeprowadzenia przebudowy obiektu (FOT. EMIL123. WIKIMEDIA)