



#PALE PREFABRYKOWANE  
#BUDOWNICTWO KOMUNIKACYJNE

## Pale prefabrykowane w budownictwie komunikacyjnym

dr inż. Dariusz Sobala

materiał z:  
miesięcznika Materiały Budowlane 11/2016



**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

dr inż. Dariusz Sobala<sup>1)</sup>

# Pale prefabrykowane w budownictwie komunikacyjnym

## *Prefabricated piles in transport infrastructure*

DOI: 10.15199/33.2016.11.06

**Streszczenie.** W artykule dokonano przeglądu aktualnego zakresu wykorzystania pali prefabrykowanych w polskim budownictwie komunikacyjnym. Omówiono współczesne zastosowania pali drewnianych, stalowych i żelbetowych w szeroko rozumianych obiektach mostowych. Najszerszy zakres stosowania mają obecnie żelbetowe pale prefabrykowane pogrążane metodą wbijania przy użyciu młotów hydraulicznych. Są one wykorzystywane w obiektach komunikacyjnych niezależnie od ich skali: od ekranów akustycznych, słupów sieci trakcyjnej masztów po największe obiekty mostowe przez Wisłę i Odrę zbudowane w ostatnich latach w Polsce. Zwiększeniu zakresu stosowania pali prefabrykowanych towarzyszy intensywny rozwój metod badań pali związany bezpośrednio z implementacją Eurokodów, w tym Eurokodu 7.

**Słowa kluczowe:** pale prefabrykowane, pogrążanie pali, badania pali.

**Abstract.** The paper presents an overview of the current applications of the precast pile technology in Poland's transport infrastructure. The contemporary methods of applications of timber, steel and reinforced concrete piles in bridge structures are discussed. It appears that currently the widest scope of applications have precast reinforced concrete piles driven with pile drivers with hydraulic hammers. They are driven for smaller engineering structures, such as acoustic screens and masts of traction power network as well as the largest bridges over the Vistula and Oder erected in Poland over the recent years. The growth in the precast pile technology applications is accompanied by extensive development of efficient design methods and pile capacity monitoring, directly related to the implementation of Eurocodes, in particular Eurocode 7.

**Keywords:** prefabricated piles, pile driving, pile capacity monitoring.

Współczesne pale prefabrykowane należą do grupy pali przemieszczeniowych (rysunek 1) pogrążanych w gruncie bez wydobywania urobku metodą wbijania, wibrowania, wciskania lub/i wkręcania [7]. Pogrążanie pali 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) [4]. Ze względu na rodzaj materiału pale prefabrykowane dzielimy na drewniane, stalowe, betonowe (żelbetowe lub sprężone) oraz kompozytowe. Mogą one mieć przekrój pełny (np. kwadratowy, sześcioboczny, okrągły, X, Z, U, H), rurowy, skrzynkowy lub stanowić kombinację wielu przekrojów.

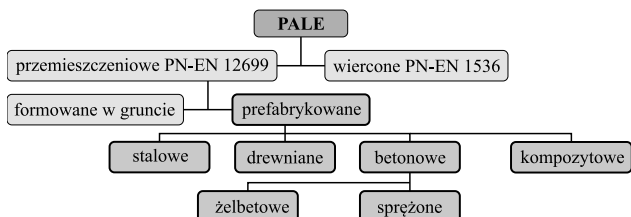
Przemieszczeniowy charakter pali prefabrykowanych zapewnia im relatywnie większy opór jednostkowy wzdłuż pobocznic i pod stopą (nośność geotechniczną) oraz większą sztywność w porównaniu z geometrycznie podobnymi palami wierconymi (bezpierśczeniowymi, wykonywanymi z usuwaniem urobku). W zależności od rozwiązania konstrukcyjnego wyróżnia się pale wywołujące duże (np. pale drewniane, żelbetowe pełne, rurowe z dnem zamkniętym) lub małe (dwuteowniki typu H, X, grodzice, rury z dnem otwartym, przekroje złożone) przemieszczenia gruntu.

Współcześnie pale prefabrykowane powinny być projektowane, produkowane i pogrążane zgodnie z wymaganiami Eurokodów (tabela). Jedynie projektowanie konstrukcyjne (STR) i geotechniczne (GEO) realizowane jest w praktyce dwutorowo, tj. wg PN-EN oraz PN, wycofanych z katalogu Polskich Norm. Warto podkreślić, że w przypadku pali prefabrykowanych korzystne jest stosowanie jednolitych, spójnych i jednocześnie racjonalnych wymagań norm europejskich, co nie wyklucza możliwości wykorzystania dotychczasowego dorobku i doświadczeń krajowych.

### Normy dotyczące pali prefabrykowanych

*Precast pile standards*

Rodzaj pala	Produkcja/obróbka	Projektowanie			Wykonawstwo robót palowych
		konstrukcyjne (STR)	technologiczne (STR)	geotechniczne (GEO)	
Drewniany	–	PN-EN 1995-1-1		PN-EN 1997	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 12699



Rys. 1. Uproszczona klasyfikacja pali

Fig. 1. Simplified classification of piles

<sup>1)</sup> Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury; d.sobala@prz.edu.pl

### Pale drewniane

Cechy prefabrykatów drewnianych, takie jak mały ciężar, relatywnie duża wytrzymałość drewna, łatwość obróbki, naturalna zbieżność i niewielka cena powodują, że są one wykorzystywane m.in. do fundamentowania pomostów trwałych i tymczasowych, podpór tymczasowych w korytach rzek lub w innych zbiornikach wodnych, a także do budowy ostróg. Ze względu na największe spośród wszystkich pali walory ekologiczne, po odpowiednim doborze gatunku drewna, jego zabezpieczeniu lub/i ukształtowaniu fundamentów (pale trwałe bez zabezpieczenia powinny być w całości

zlokalizowane pod poziomem wody gruntowej), możliwe jest ich wykorzystanie w obiektach trwałych. Podstawową metodą pograżania pali drewnianych jest wbijanie za pomocą kafarów z młotami wolnospadowymi, hydraulicznymi lub spalinowymi o małej i średniej energii wbijania, a niekiedy wibratorów.

## Pale stalowe

Prefabrykowane pale stalowe wykorzystywane w mostownictwie to grodzice, pale typu H (w tym specjalne kształtowniki pałowe powszechne w Stanach Zjednoczonych AP), rury oraz kształtowniki typu X (kraje skandynawskie). Z pojedynczych profili stalowych (np. grodzic) możliwe jest kształtowanie prefabrykatów o przekrojach złożonych, np. skrzynkowych lub kombinowanych. Pale rurowe, grodzice i pale skrzynkowe z grodzic są wykorzystywane do posadowienia obiektów tymczasowych i technologicznych. Współcześnie najczęściej są kojarzone z robotami palowymi w wodzie. Umożliwiają odzyskanie materiału po przewidywanym okresie użytkowania, co ma niebagatelne znaczenie ekologiczne, ponieważ współcześnie produkowana stal wytwarzana jest głównie ze złomu, a ponadto elementy używane, które zachowują wymaganą tolerancję, mogą być i są wykorzystywane na równi z nowymi elementami (recykling materiałowy/konstrukcyjny).

Grodzice stalowe, w postaci palisad, znajdują coraz szersze zastosowanie do posadowienia tymczasowych i trwałych obiektów mostowych. Buduje się z nich wspornikowe lub kotwione przyczółki tymczasowe lub trwałe. Szczególne zalety ten rodzaj posadowienie wykazuje w trwałych obiektach zintegrowanych (rysunek 2) budowanych w ciągu istniejących szlaków komunikacyjnych metodą „top&down”, gdzie wymagana jest duża podatność na wymuszone przemieszczenia termiczne przy jednoczesnym zachowaniu cech tymczasowej i trwałej konstrukcji oporowej i fundamentu głębokiego (pałowego) [8].

W konstrukcjach zintegrowanych najbardziej efektywne jest wykorzystanie wbijanych kształtowników typu H lub rozwiązań na grodzicach. Kształtowniki mogą stanowić podparcie korpusów przyczółków żelbetowych (zwykle o małej wysokości konstrukcyjnej) lub zostać „zatopione” w konstrukcji z gruntu zbrojonego. Stosunkowo duży koszt jednostkowy stali w fundamentach rekompensowany jest ograniczonymi wymiarami fundamentu, niewielką liczbą pali, mniejszym zużyciem materiałów w podporach oraz oszczędnościami podczas budowy (mniej etapów).

Wciąż niedoceniane w krajowym mostownictwie są fundamenty obiektów mostowych wykorzystujące monopale, czyli pojedyncze pale rurowe o dużej i bardzo dużej średnicy. Są to rozwiązania integrujące fundament i filar, szczególnie nurtowy lub wykonywany przy ograniczonym dostępie do terenu. Na świecie stosuje się w mostownictwie monopale o średnicy kilku metrów, a w jednym z mor-

skich mostów chińskich wykorzystano prefabrykat stalowy o średnicy 34 m. Monopale można stosować bez obaw, ponieważ:

- wykorzystanie metod dynamicznych pozwala na oszacowanie ich nośności bez konieczności ponoszenia dużych kosztów;
- w PN-EN 1993-5 podano metody zapewnienia trwałości elementów stalowych w gruncie przez stosowanie odpowiednich powłok lub, co jest zdecydowanie łatwiejsze, wiarygodne oszacowanie ubytków korozyjnych i zastosowanie nadatków materiałowych.

Do pograżania monopali wykorzystuje się duże młoty hydrauliczne, spalinowe (najczęściej montowane na monopalu) lub wibratory.

## Żelbetowe pale prefabrykowane

Są one najczęściej stosowane w fundamentach podpór stałych i tymczasowych obiektów mostowych. Pozwalają na szybką kompleksową realizację robót palowych w różnych warunkach gruntowych i lokalizacyjnych. Skala obiektu mostowego nie ma przy tym większego znaczenia. Żelbetowe pale prefabrykowane są w kładkach, typowych mostach i wiaduktach oraz bardzo dużych obiektach mostowych np. budowanych przez Wisłę (most w Krakowie w ciągu S7, Połańcu, Toruniu oraz w Kieźmarku w ciągu S7) i Odrę (mosty przez Odrę i Regalicę w Szczecinie, estakady dojazdowe do mostu Rędzińskiego). W przypadku dużych mostów stosowane są bardzo często fundamenty zespolone złożone z pali prefabrykowanych, grodzic i zasypek piaskowych.

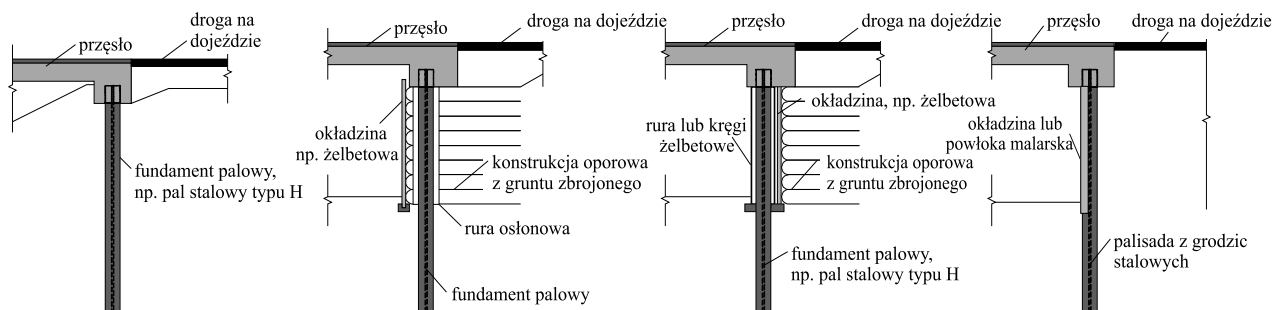
Większość fundamentów obiektów mostowych wykonywanych z użyciem prefabrykatów realizowana jest na wbijanych żelbetowych palach prefabrykowanych o przekroju 400 × 400 mm (fotografia 1).

Interesujące jest wykorzystanie żelbetowych pali prefabrykowanych w fundamentach podpór tymczasowych wykonywanych w ko-



Fot. 1. Fundament pałowy mostu autostradowego przez San w ciągu A4 [1]

Photo 1. Piled foundation of A4 Motorway bridge over the San river [1]



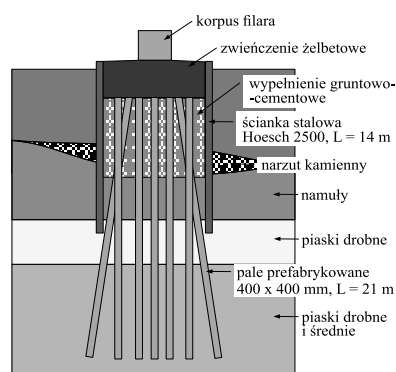
Rys. 2. Schematy przyczółków zintegrowanych na palach prefabrykowanych stalowych

Fig. 2. Drawings of integral abutments on steel precast piles

rytach rzek i zbiorników wodnych. Przykładem są rozwiązania fundamentów podpór tymczasowych dużego mostu drogowego o konstrukcji podwieszanej przez Wisłok i zbiornik wody technologicznej elektrociepłowni w Rzeszowie [6]. Podpory stałe mostu (przyczółki, filary i pylon) zostały również posadowione na żelbetowych palach prefabrykowanych. Fundamenty podpór tymczasowych stanowiły efektywną ekonomicznie kontynuację palowania pod podpory stałe, zrealizowaną w zdecydowanie trudniejszych warunkach: podpory stałe zlokalizowano na lądzie, a podpory tymczasowe w zdecydowanej większości w wodzie. Decyzja o wykorzystaniu żelbetowych pali prefabrykowanych w fundamentach mostu i konstrukcji tymczasowej w opisanych warunkach gruntowych podyktowana była:

- dużą wydajnością robót palowych;
- możliwością efektywnego przenoszenia obciążeń na grunt zarówno podczas wciskania, jak i wyciągania;
- pozytywnymi doświadczeniami wynikającymi z wykorzystania technologii w warunkach gruntowych Podkarpacia (autostrada A4, droga ekspresowa S19, farmy wiatrowe);
- możliwością łatwej, bieżącej kontroli prowadzonych robót palowych;
- możliwością kompleksowego rozwiązania różnych problemów posadowienia, w tym wynikających z lokalizacji w wodzie.

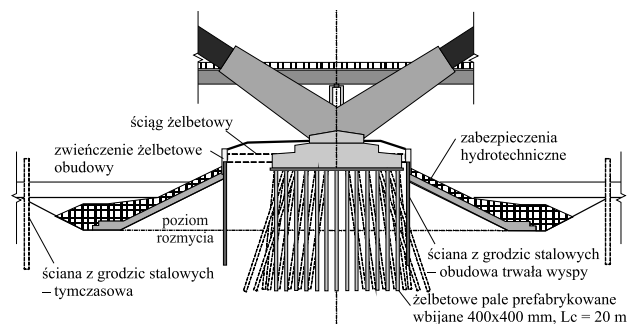
W praktyce coraz częściej stosuje się **fundamenty zespolone**. W przypadku mostów przez Odrę i Regalicę w Szczecinie (rysunek 3, fotografia 2) składały się one z prostych i pochylonych żelbetowych pali prefabrykowanych wbitych w dno rzeki, obudowy z grodzie stalowych, podwodnego wypełnienia obudowy mieszaniną piasku i cementu oraz zwieńczenia żelbetowego, w którym zakotwiono jednocześnie grodzie i pale bez konieczności ich rozkucia. Podpora zlokalizowana przy torze wodnym musi zapewnić odpowiednią odporność na uderzenia jednostek pływających, co uzyskano przez wykonanie masywnego fundamentu zespolonego.



Rys. 3. Schemat podpory mostu [2]  
Fig. 3. Drawing of bridge support [2]

Łuki mostu drogowego przez Wisłę w Toruniu łączą brzegi Wisły z wykorzystaniem naturalnej łachy piasku przekształconej w sztuczną wyspę, na której wykonano zespolony fundament podpory pośredniej (rysunek 4). Na brzegach rzeki zlokalizowano zespolone fundamenty palowo-ściankowe przenoszące jednocześnie duże obciążenia pionowe i jeszcze większe siły poziome. Efektywne wykorzystanie pali prefabrykowanych w fundamentach bardzo dużego mostu łukowego bez ściągu jest niewątpliwym osiągnięciem technicznym w skali światowej.

Do najbardziej spektakularnych przykładów zastosowania pali prefabrykowanych w budownictwie komunikacyjnym należy **posadowienie nasypów komunikacyjnych zlokalizowanych**



Rys. 4. Schemat ideowy fundamentu palowego podpory środkowej [5]  
Fig. 4. Schematic drawing of piled foundation of the middle support [5]

**na głębokich torfowiskach.** Ze względu na niewielką wytrzymałość gruntów organicznych, środowisko agresywne oraz brak możliwości wykorzystania technologii pali formowanych w gruncie, do posadowienia nasypów wykorzystywane są najczęściej żelbetowe pale prefabrykowane o przekroju 0,3×0,3 m lub 0,4×0,4 m. Jednym z ostatnio zrealizowanych projektów jest posadowienie odcinka drogi ekspresowej S5 koło Gniezna długości 311 m i szerokości do 55 m na torfowisku o głębokości do 17 m, w którym wykorzystano blisko 120 km pali o przekroju 0,3 × 0,3 m.

## Badania pali prefabrykowanych

Wymagania dotyczące badań pali, w tym pali prefabrykowanych, zostały opisane w PN-EN 1997-1 p. 7.5 [3]. Określono w niej również sytuacje, w których obciążenia próbne muszą być wykonywane, takie jak: stosowanie nowych rodzajów pali, nietypowe warunki gruntowe lub obciążenia, w przypadku których nie ma porównywalnych doświadczeń. Norma określa także sytuacje, w których mogą być wykonywane obciążenia próbne, a mianowicie:

- ocena przydatności metody wykonania;
- określenie zachowania reprezentatywnego pala i otaczającego go gruntu pod obciążeniem w zakresie osiadania i obciążenia granicznego;
- ocena całego fundamentu palowego.

Obciążenia próbne są wykorzystywane również do weryfikacji wyników palowania w przypadku stwierdzenia istotnych, odbiegających od dotychczasowych doświadczeń, nieprawidłowości podczas robót palowych. W takiej sytuacji, przed decyzją o przeprowadzeniu próbnego obciążenia statycznego, wymagane jest m.in. wykonanie uzupełniających badań podłoża i analiz ukierunkowanych na identyfikację przyczyn problemu, a obciążenie próbne traktowane jest jako ostateczność.

W PN-EN 1997-1 [3] wymieniono dwie metody badań nośności pali: statyczną i dynamiczną. W kontekście metody statycznej wymieniono dwa rodzaje pali przeznaczonych do badań: próbne i konstrukcyjne. Pale próbne bada się na potrzeby projektowania przed palowaniem zasadniczym. Celem badania statycznego pala próbnego jest określenie jego rzeczywistego obciążenia granicznego. Liczba pali próbnych zależy od warunków gruntowych i ich zmienności w obszarze palowania, kategorii geotechnicznej, dotychczasowych doświadczeń oraz całkowitej liczby pali i liczby rodzajów pali w fundamencie.

W przypadku pali prefabrykowanych podstawowe są badania dynamiczne, czyli:

- analiza wpydów z wykorzystaniem wzorów dynamicznych nieuwzględniających lub uwzględniających skrócenie sprężyste trzonu pala lub/i



Fot. 2. Fundament zespolony [1]  
Photo 2. Foundation block [1]



AARSLEFF

LIDER TECHNOLOGII PALI PREFABRYKOWANYCH

■ badania przy dużym odkształceniu gruntu wokół pala towarzyszącym jego przemieszczeniom wywołanym uderzeniem młota/bijaka, analizowane najczęściej metodami CASE lub/i CAPWAP.

Stosowanie analizy wstępów możliwe jest w zasadzie wyłącznie w przypadku gruntów sypkich z wykorzystaniem wzorów sprawdzonych w warunkach lokalnych – w Polsce jest to wzór dynamiczny z PN-83/B-02384. Z kolei wykorzystanie badań dynamicznych przy dużych przemieszczeniach uwarunkowane jest korelacją z wynikiem badania statycznego przeprowadzonego na analogicznym palu w podobnych warunkach gruntowych.

W analizie wyników obciążeń próbnych wykorzystuje się współczynniki korelacyjne, których wartości, charakteryzujące dokładność poszczególnych metod badań, zostały podane w PN-EN 1997-1.

## Podsumowanie

Podczas wykonania fundamentów z użyciem pali prefabrykowanych nie odnotowano istotnych problemów wynikających z przyjętej technologii. Pale prefabrykowane mogą być stosowane praktycznie w każdych warunkach gruntowych z wyjątkiem twardych skał, gruntów sypkich silnie zagęszczonych lub gruntów spoiwistych o bardzo dużej wytrzymałości.

Najlepszą efektywność techniczną i ekonomiczną pale prefabrykowane uzyskują w przypadku palowania:

- w wodzie;
- w gruntach silnie agresywnych lub skażonych chemicznie;
- w gruntach sypkich w stanie od luźnego do średnio zagęszczonego/zagęszczonego;
- przez grube warstwy gruntów słabonośnych o bardzo niskich parametrach wytrzymałościowych (torfy, gytie, namuły), w których prawidłowe wykonanie pali formowanych w gruncie jest w praktyce bardzo trudne lub wręcz niemożliwe;
- w warunkach napiętego zwierciadła wody gruntowej;
- w podporach mostowych wymagających znacznej podatności poziomej (przyczółki zintegrowane);
- wzmocnień istniejących lub wadliwie wykonanych fundamentów palowych;
- w obiektach mostowych budowanych metodą „top&down”.

Pale prefabrykowane to sprawdzona, wydajna, mało skomplikowana, efektywna ekonomicznie, odporna na błędy wykonawstwa oraz łatwa do nadzorowania i kontroli technologia palowania. Charakteryzują się relatywnie dużą nośnością i sztywnością.

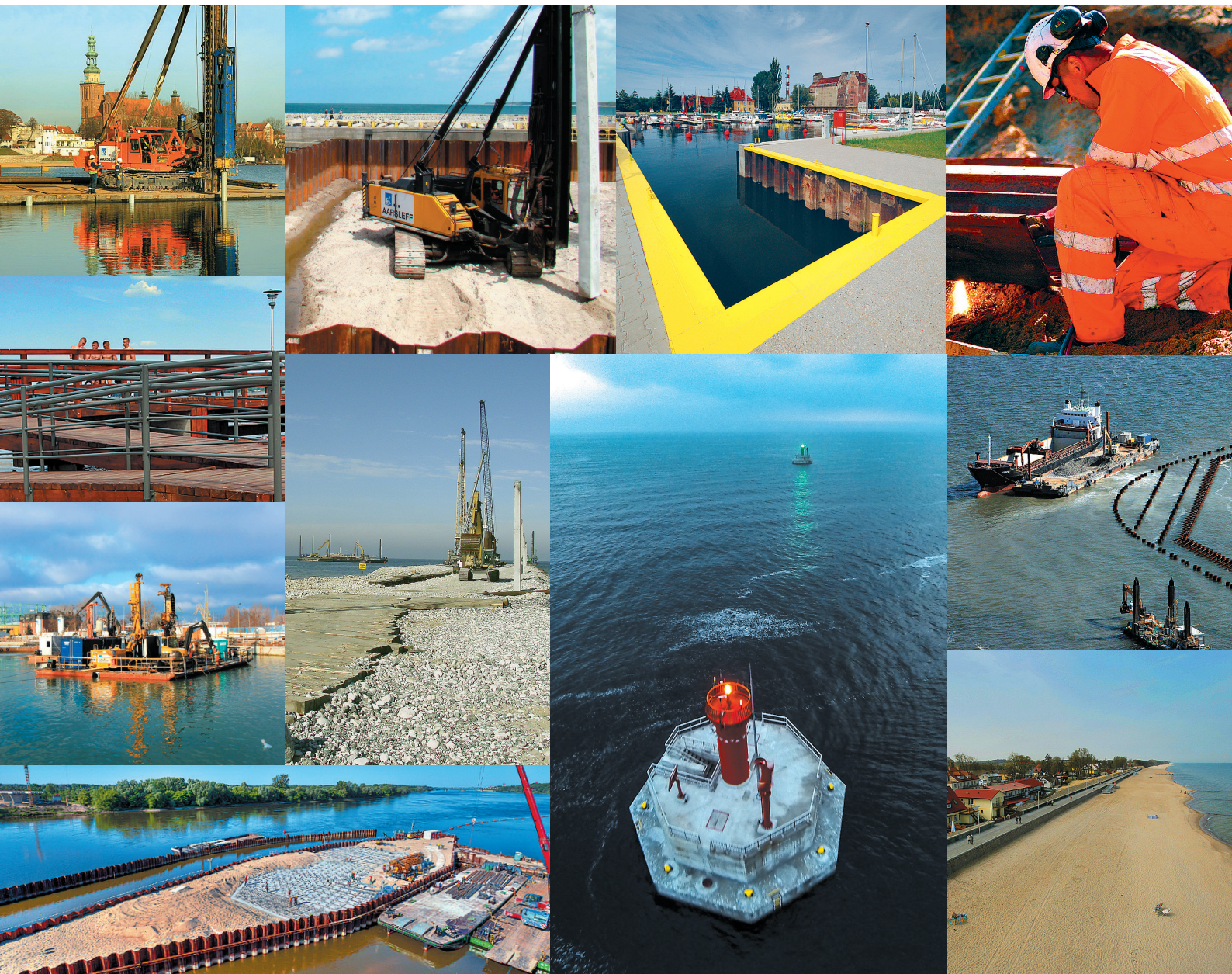
## Literatura

- [1] Materiały archiwalne firmy Aarsleff sp. z o.o.
- [2] Pilarski Tomasz, Dariusz Sobala, Wojciech Tomaka. 2007. „Nietypowe rozwiązania fundamentów na palach prefabrykowanych. Wzmacnianie podłoża gruntowego i fundamentów budowli”. *Seminarium IBDiM i PZWFS*. Warszawa.
- [3] PN-EN 1997-1 Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
- [4] PN-EN 12699 Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Pale przemieszczeniowe.
- [5] Sobala Dariusz, Wojciech Tomaka, Jacek Szaro, Sebastian Sobczak. 2014. „Żelbetowe pale prefabrykowane wbijane w fundamentach mostu łukowego przez Wisłę w Toruniu”. *Inżynieria i Budownictwo* (6).
- [6] Sobala Dariusz, Wojciech Tomaka, Jacek Szaro, Radosław Muchalski. 2014. *Żelbetowe pale prefabrykowane wbijane w fundamentach podpór stałych i tymczasowych mostu drogowego przez Wisłok w Rzeszowie*. WDM.
- [7] Sobala Dariusz. 2011. „Pale prefabrykowane w fundamentach mostów”. *Inżynieria i Budownictwo* (7 – 8).
- [8] Sobala Dariusz, Wojciech Tomaka, Piotr Maksim. 2010. „Projekt i wykonanie podpór zintegrowanego wiaduktu drogowego z wykorzystaniem grodzie stalowych”: 89 – 98. *Seminarium „Konstrukcje stalowe w geotechnice”*. Warszawa.  
*Przyjęto do druku: 06.10.2016 r.*



Technologie dla: budownictwa mieszkaniowego i kubaturowego, elektrowni wiatrowych, budownictwa kolejowego, budowy dróg i autostrad, budownictwa przemysłowego, budownictwa hydrotechnicznego, budowy obiektów sportowych i rekreacyjnych.

[www.aarsleff.com.pl](http://www.aarsleff.com.pl)



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 m<sup>2</sup> stalowych ścian szczelnych jako zabezpieczenie  
wykopów niezbędnych do przeprowadzenia przebudowy obiektu (FOT. EMIL123. WIKIMEDIA)