

# Fundamenty palowe

## Cz. 2. Współczesne metody wykonywania pali

tekst: **MARIA SZRUBA**

Fundamenty palowe są od wielu lat stosowane w różnych rodzajach budownictwa. To obecnie jedna z najpopularniejszych metod posadowienia głębokiego na słabych gruntach. Na rynku istnieje wiele rodzajów pali, różniących się od siebie nie tylko geometrią, ale również technologią wykonania. W niniejszym artykule dokonano przeglądu współcześnie wykorzystywanych, opartych na najnowszych zdobyczach wiedzy technicznej, metod wykonywania pali. Artykuł jest kontynuacją tematu podjętego w poprzednim numerze „Nowoczesnego Budownictwa Inżynierskiego” [nr 4 (55) lipiec – sierpień 2014, s. 26–29], gdzie omówiono charakterystykę i zastosowanie pali i fundamentów palowych.

Wykonywanie pali CFA w rusze ostono-  
wej, fot. Aarsleff Sp. z o.o.



Czynnikiem niezbędnym do właściwego zaprojektowania pali i fundamentów palowych oraz późniejszej prawidłowej eksploatacji całego obiektu jest rozpoznanie podłoża gruntowego pod kątem wystarczającego zakresu w planie, a zwłaszcza głębokości gwarantującej bezpieczne wykonanie pali o określonej długości. Bardzo istotny jest dobór technologii oraz najodpowiedniejszego rodzaju pala przy uwzględnieniu warunków gruntowych w kontekście aktualnych założeń konstrukcyjnych. Przyjęta technologia powinna spełniać warunki szeroko rozumianej ekologii, uwzględniając równocześnie bezpieczne i ekonomiczne posadowienie. Ważnymi aspektami są: wykonanie analizy obliczeniowej, wyznaczenie sił w palach, sił wewnętrznych w fundamencie oraz określenie nośności i przemieszczeń fundamentu zmierzających do wiarygodnej oceny pełnej zależności obciążenie – osiadanie. Aby prawidłowo zaprojektować i wykonać fundament, należy przyjąć i określić szczegółowe warunki wykonania fundamentu palowego, a także wykonać badania kontrolne nośności i jakości palowania, przeprowadzić próbną obciążenia statyczne, dynamiczne, jakości i dłu-



Wykonywanie pali CFA w porcie lotniczym Kraków Airport w Balicach, fot. Aarsleff Sp. z o.o.

gości pali. W całym procesie należy także uwzględnić kontrolę powykonawczą całości posadowienia, pracę zespołu budowlanego – fundament – podłoże, pomiary osiadań, ocenę przemieszczeń, współpracę z podłożem w czasie oraz monitoring obiektu [1].

### Podział fundamentów palowych

Zgodnie z obowiązującymi normami, pale dzieli się na wiercone (PN-EN 1536:2001) oraz przemieszczeniowe (PN-EN 12699:2002). Podstawowy podział pali uwzględnia [1]:

- pale gotowe, wcześniej przygotowane (np. drewniane, żelbetowe, stalowe, żeliwne, z tworzyw sztucznych), które wprowadzane są w podłoże za pomocą różnych technik (wbijania, wwbrowywanie, wciskania, wkręcania, kombinacji technik podstawowych);
- pale wykonywane w gruncie, zwykle żelbetowe lub betonowe, wykonane jako wiercone, wbijane z rurą wyciąganą, wkręcane bez stosowania rury osłonowej, wykonane w technologii iniekcji strumieniowej (*jet grouting*).

# AARSLEFF



## Roboty palowe i wzmacnianie gruntu

- Żelbetowe pale prefabrykowane wbijane
- Fundamenty palowe pod słupy sieci trakcyjnej
- Pale stalowe i drewniane
- Pale formowane w gruncie
- Mikropale iniekcyjne
- Kolumny cementowe i cementowo-gruntowe
- Jet-grouting

## Prace pomiarowe i projektowe

- Badania nośności i ciągłości pali
- Pomiary wibracji i pomiary inklinometryczne
- Prace projektowe realizowane we własnej pracowni projektowej
- Doradztwo poprzez sieć biur regionalnych
- Serwis projektowy - [www.aarsleff.com.pl](http://www.aarsleff.com.pl)

## Zabezpieczenia wykopów i konstrukcje oporowe

- Stalowe ścianki szczelne - wciskane, wibrowane i wbijane
- Ścianki berlińskie
- Palisady
- Iniekcyjne kotwy gruntowe
- Roboty ziemne i odwodnieniowe

## Roboty hydrotechniczne

- Konstrukcje hydrotechniczne na wodach morskich i śródlądowych
- Przesłony przeciwyfiltracyjne



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

WARSZAWA KATOWICE GDAŃSK SZCZECIN RZESZÓW POZNAŃ



Pale stalowe rurowe wibrowane, fot. Aarsleff Sp. z o.o.

### Pale wbijane

Prefabrykowane żelbetowe pale wbijane, których stosowanie miało swój renesans w latach 70. XX w., są obecnie znów szeroko używane z racji nowych możliwości technologicznych i sprzętowych, wykorzystujących ich liczne zalety. Pale prefabrykowane zawdzięczają swoje szerokie zastosowanie zakresowi przekrojów poprzecznych oraz zróżnicowanej długości.

Wykonywanie prefabrykowanych żelbetowych pali wbijanych przebiega zwykle według schematu [2]: wbicie pala w grunt młotem wolnospadowym, spalinowym lub hydraulicznym, pograżenie elementów pala na pożądaną głębokość, podstawienie pala pod kafar, łączenie elementów pala w przypadku pali łączonych, rozkucie głowicy, odsłonięcie zbrojenia w celu połączenia z konstrukcją

oczepru – zależnie od przyjętego schematu statycznego.

W budownictwie hydrotechnicznym, morskim i mostowym najczęściej stosuje się pale stalowe, wykonane z zamkniętych lub otwartych rur stalowych, które wbija się młotami, jak w przypadku prefabrykowanych żelbetowych pali wbijanych, lub wprowadza się przez wibrowanie. Rury stalowe mają średnicę powyżej 400 mm. Pali rurowych o średnicach 800–2500 mm, pograżanych jako pionowe, używa się zwykle jako podpory mostowe w nurcie rzeki lub elementy urządzeń cumowniczo-odbojowych [2].

Palami w pełni przemieszczeniowymi, wykonanymi w gruncie (bez wydobywania na powierzchnię) są pale Vibro-Fundex i Vibrex. Najczęściej stosuje się średnice trzonu 457 mm i 508 mm, średnice

„gubione” podstawy stalowej 500–700 mm, długość do 25 m, nachylenie do 5:1. W przypadku pali Vibro-Fundex do wbicia stalowej rury z uszczelnioną podstawą używa się młota spalinowego lub hydraulicznego. Kolejno suche wnętrze rury, po wprowadzeniu zbrojenia, wypełnia się betonem. Zagęszczenie betonu i dobre zespolenie trzonu pala z podłożem uzyskuje się dzięki wyciągnięciu rury wibratorem [2].

W technologii pali Vibrex po wbiciu rury na pożądaną głębokość i wypełnieniu betonem (przy jednoczesnym wibrowaniu) podciąga się ją na wysokość 1,5–3 m. Po uzupełnieniu wypełnienia rury betonem ponownie wbija się rurę do poprzedniej głębokości, co skutkuje poszerzeniem podstawy i dogęszczeniem podłoża. Proces dobijania można powtarzać kilkakrotnie, na coraz mniejszą głębokość, dzięki czemu możliwe jest formowanie poszerzonego trzonu pala na określonej długości [2]. Niewątpliwą zaletą pali Vibro-Fundex i Vibrex jest duża nośność przy małym osiadaniu [3].

Pale przemieszczeniowe bez drgań i wibracji, w których rura jest wkręcana i wciskana, określa się nazwą Fundex.

Jednymi z najstarszych pali przeznaczonych do fundamentowania głębokiego są pale typu Franki. Ta opracowana w 1908 r. przez Edgarda Frankignoula technologia, z ledwie małymi zmianami jest z powodzeniem stosowana do dziś. Etapy wykonywania pali Franki w ujęciu klasycznym przedstawiają się następująco (podstawowe parametry – średnica rury stalowej 500–600 mm, praktyczna długość 12–20 m) [3]: wbijanie rury stalowej z korkiem z suchego betonu za pomocą młota wolnospadowego, zablokowanie rury stalowej i wybicie korka z podstawy pala, wprowadzenie zbrojenia do wnętrza rury, sukcesywne podciąganie rury wyciągarką, cykliczne uzupełnianie betonu, formowanie pobocznic, uformowanie pala aż do powierzchni terenu.

### Pale wykonywane bez rur osłonowych

Wykonanie pali CFA (*Continuous Flight Auger*, w publikacjach krajowych nazywane także FSC – Formowany Świdrem Ciągłym) polega na wwiercaniu w grunt ciągłego świdra ślimakowego na głębokość odpowiadającą pełnej długości pala. Istotą tej metody jest specjalna konstruk-

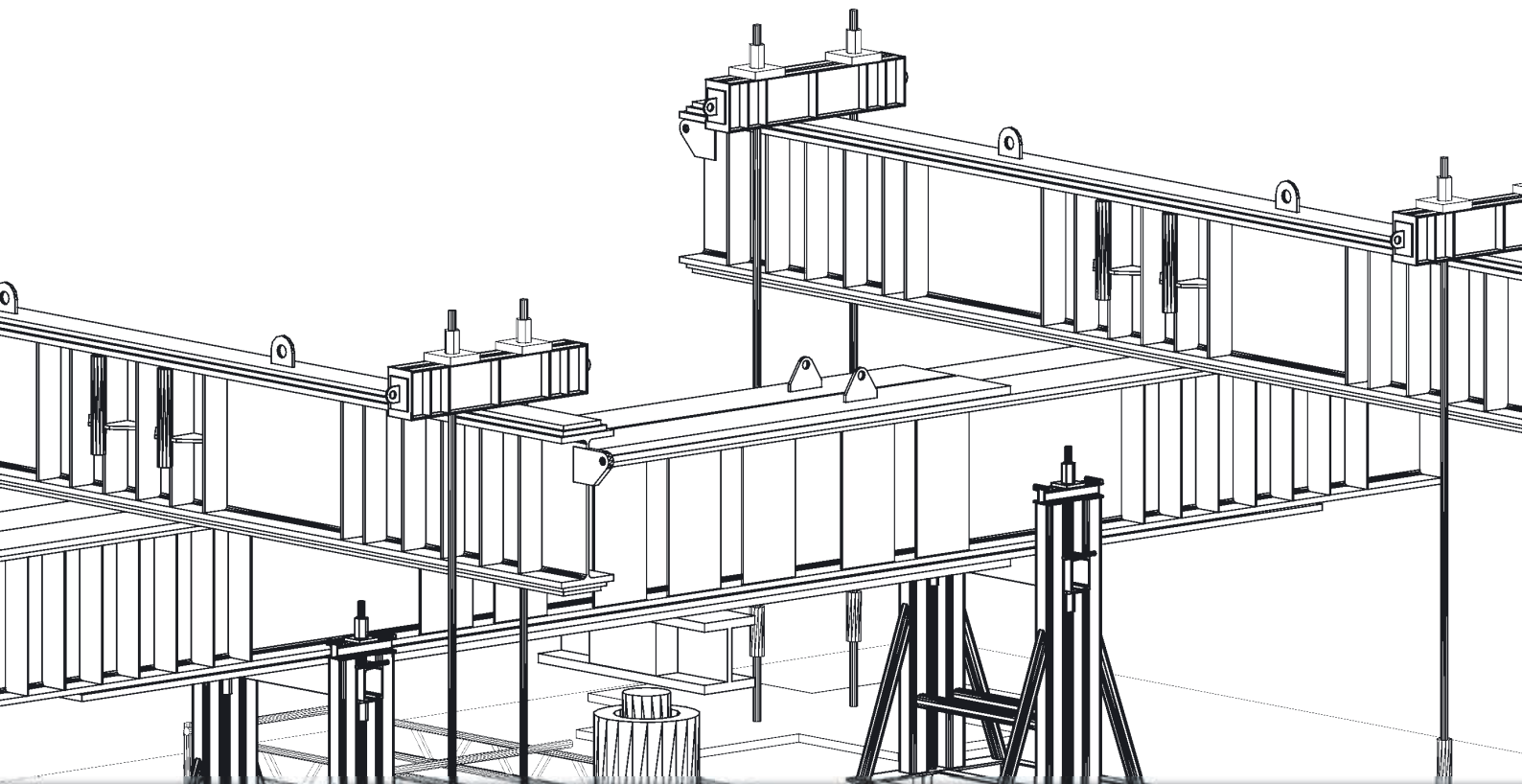


Wykonywanie pali w Ustroniu Morskim, fot. Aarsleff Sp. z o.o.



10<sup>LAT</sup>  
DOSWIADCZENIA

PILETEST



## TRUDNE REALIZACJE TO NASZA SPECJALNOŚĆ!

KOMPLEKSOWE PROGRAMY BADAŃ FUNDAMENTÓW GŁĘBOKICH

PRÓBNE OBCIĄŻENIA STATYCZNE Z ZASTOSOWANIEM INSTRUMENTÓW:

- EKSTENSOMETRÓW
- TENSOMETRÓW

PRÓBNE OBCIĄŻENIA DYNAMICZNE PALI WBIJANYCH I WIERCONYCH

BADANIA CIĄGŁOŚCI PALI METODAMI:

- PILE INTEGRITY TESTING
- CROSS-HOLE SONIC LOGGING

DORADZTWO TECHNICZNE W ZAKRESIE FUNDAMENTOWANIA SPECJALNEGO

NIEZALEŻNI  
SPECJALIŚCI



PILETEST SP. Z O.O.

UL. WARSZAWSKA 153/123, 43-300 BIELSKO-BIAŁA

TEL. +48 33 822 22 88, FAX +48 33 822 22 46

WWW.PILETEST.PL



Palisada z kolumn DSM, fot. Aarsleff Sp. z o.o.

cja świdra i technologia wykonania. Świder, wkręcając się w grunt, rozpycha go na boki, a częściowo wynosi na powierzchnię terenu. W centralnej części świdra mieści się przewód rdzeniowy, który umożliwia nieprzerwane tłoczenie betonu w czasie podciągania świdra. Specjalnie dobrana mieszanka betonowa powinna ściśle wypełniać przestrzeń pod świdrem. Bezpośrednio po betonowaniu wprowadzane jest zbrojenie. Technologia charakteryzuje się bardzo dużą wydajnością wykonawstwa (do 30 min/pal) [2].

Technologii CFA odpowiadają pale Starsol, w których zastosowano podwójną rurę rdzeniową, umożliwiającą utrzymywanie dolnej części rury zanurzonej na ok. 1 m w betonie. Po osiągnięciu pożądanej głębokości w początkowym etapie betonowania podciągany jest tylko świder ślimakowy. Końcówka głównego przewodu rdzeniowego, by przeciwdziałać rozluźnieniu gruntu, jest dociskana do gruntu pod podstawą pala, co pozwala eliminować niebezpieczeństwo obwałów, zmniejsza naruszenie

struktury gruntu oraz ogranicza jego odprężenie pod podstawą pala. Typowe wymiary pali to średnica 0,4–1 m, długość do 20 m. Wariantem CFA z większą średnicą świdra są pale PCS Lambda. Stosunek średnicy rury rdzeniowej świdra do średnicy pala wynosi ok. 0,60–0,80. Pale tego rodzaju eliminują bądź znacznie ograniczają przemieszczanie gruntu ku górze podczas wkręcania świdra [2].

Połączeniem pali CFA i tradycyjnych pali wierconych są pale CFP (*Cased Flight Auger Piles*). Wiertnica jest wyposażona w dwie niezależnie obracające się głowice, z których jedna obraca świder, a druga rurę osłonową, przy czym kierunki obrotu świdra ślimakowego i rury osłonowej są przeciwne. Metoda wykonania oparta jest na jednoczesnym wkręcaniu rury osłonowej i ciągłego świdra

ślimakowego. Ścinanie gruntu ułatwiają zęby tnące w dolnej części rury osłonowej. W przypadku, gdy formuje się pal o długości większej niż całkowita długość rury osłonowej, zostaje ona zatrzymana, a świder osiąga projektowaną głębokość, pracując samodzielnie. Betonowanie przebiega jak w palach CFA [2].

W wyniku połączenia klasycznej technologii pali CFA z metodą wykonania pali z rozszerzoną komorą nad podstawą pala (*Expander Body*) powstały pale Soilex. Dla pala wykonanego technologią CFA zbrojenie razem ze złożoną komorą zagłębia się w świeżą mieszankę betonową. W następnej kolejności przewodem iniekcyjnym tłoczy się mieszankę betonową o ciśnieniu 0,5–3,0 MPa, co powoduje rozszerzenie komory. W porównaniu z CFA pale Soilex mają zwiększoną nośność [2].

Przez połączenie tradycyjnej technologii CFA z zabiegami iniekcyjnymi charakterystycznymi dla mikropali i kotew gruntowych powstały mikropale CFA [4], które znajdują zastosowanie jako element nośny nowo projektowanych budowli,

do wzmocnienia fundamentów już istniejących i zabytkowych obiektów, a także zabezpieczenia i obudowy wykopów. Metoda wykonania mikropali z wykorzystaniem technologii CFA oparta jest na wywierceniu świdrem ślimakowym otworu o średnicy 300 mm, wypełnieniu go zaczynem cementowym lub zaprawą, wprowadzeniu zbrojenia z przymocowanymi rurkami iniekcyjnymi z zaworami zwrotnymi i formowaniu buławy. Buławę nośną mikropala formuje się za pomocą iniekcji wysokociśnieniowej po związaniu zaczynu osłonowego, a więc po ok. 24 godzinach [2].

Palami w pełni przemieszczeniowymi, a jednocześnie zawierającymi liczne elementy fundamentowania ekologicznego są pale Omega – przyjazne dla środowiska naturalnego i człowieka [2]. Specjalna konstrukcja świdra powoduje pełne przemieszczenie gruntu na boki z dogęszczeniem podłoża w czasie wkręcania i podnoszenia świdra. W wykonawstwie wykorzystywane są maszyny o dużej sile nacisku na świder i dużym momencie obrotowym. Dla pali CG Omega charakterystyczne jest dodatkowe, wtórne pograżenie świdra w świeżym betonie, umożliwiające poszerzenie podstawy pala oraz pobocznicę na wybranej długości [1].

Pale Atlas, o dość dużej nośności w gruncie, to pale wkręcane w grunt z wciskaniem, betonowane na sucho, z pełnym przemieszczaniem gruntu w podstawie i na pobocznicę [2]. Ruch obrotowy żerdzi jest dopasowany do ruchu pionowego w taki sposób, aby głowica formowała w gruncie pobocznicę pala kształtem przypominającego gwint.

Metoda wykonania pali przemieszczeniowych z dogęszczeniem gruntu na pobocznicę pojawiła się w latach 90. XX w. Wykonanie pali SDP Bauer BG (*Bauer Soil Displacement Piles*), FDP (*Full Displacement Piles*), SDP (*Soil Displacement Piles*) polega na wkręceniu w grunt stalowej tuby ze specjalną głowicą powodującą rozepchanie gruntu na boki w trakcie wiercenia. Dzięki przemieszczeniu gruntu w poziomie na boki oraz pionowo i ukośnie następuje dogęszczenie podłoża w bezpośrednim sąsiedztwie pala, zwiększenie składowej poziomej parcia, ale także wytwarzanie ciśnienia wody w porach gruntu [2].

Do grupy pali wkręcanych z iniekcją na pobocznicę i pod podstawą należą pale

Tubex, które można wykonywać na terenie otwartym, jak również w bezpośrednim sąsiedztwie istniejących obiektów i fundamentów. Po ustawieniu w stole wiertniczym rury osłonowej (pionowo lub ukośnie) pogrąża się ją z gubioną stalową podstawą. Odpowiednio wyprofilowaną podstawę drążącą pogrąża się w podłożu z zastosowaniem wspomagającego zaczynu cementowego. Rurę stalową można przedłużać przez przyspawanie kolejnych odcinków. Rura iniekcyjna osadzona jest wewnątrz stalowej rury osłonowej, po wstawieniu do niej zbrojenia całość jest betonowana [2].

### Pale wiercone wielkośrednicowe

Od lat 70. XX w. stosowane są w Polsce pale wielkośrednicowe. Najczęściej spotykana długość pali wielkośrednicowych wierconych to 10–40 m. Zależnie od warunków gruntowych i możliwości technicznych stosuje się różne rozwiązania technologiczne: pale wiercone bez rury osłonowej, pale wiercone w zawieszinie bentonitowej lub polimerowej, pale wiercone w rurze osłonowej w wibrowywanej, pale wiercone w rurze osłonowej [2].

### Pale wiercone z iniekcją pod podstawą i na pobocznicy

Niezależnie od stosowanych technologii wykonaniu wierconych pali wielkośrednicowych zawsze towarzyszy pewne odprężenie podłoża, zmiany stanu naprężeń poziomych i pionowych, a w efekcie rozluźnienie gruntu. Jedną z metod zmniejszenia osiadań i zwiększenia nośności jest iniekcja pod i wokół pala. Najszybszą pełną mobilizację oporu podstawy można uzyskać przez wstępne naprężenie gruntu bezpośrednio pod podstawą, po wykonaniu pala. Z tego rozwiązania korzysta się już od dość dawna, ciągle jednak trwają poszukiwania nowych rozwiązań, zmierzających do uproszczeń wykonawczych z wykorzystaniem nowych materiałów i technologii. W Polsce stosuje się trzy rodzaje iniekcji pod podstawą pali wierconych: metoda sztywnej komory iniekcyjnej, metoda iniekcji bezpośredniej (bezkomorowa), metoda elastycznej komory z geotkaniny [2].

Zastosowane technologie i rodzaj gruntu w dużym stopniu warunkują zmiany stanu naprężenia i oporów wzdłuż pobocznicy.

Metoda iniekcji na pobocznicy pali ma na celu przede wszystkim wywołanie zwiększonej składowej naprężenia poziomego, pełnego wykorzystania oporów tarcia grunt – grunt bezpośrednio obok pobocznicy, łącznie ze zmianą kształtu przekroju poprzecznego pala, oraz maksymalnego zwiększenia tarcia pal – grunt [2].

### Literatura

- [1] Gwizdała K.: *Projektowanie fundamentów na palach*. Materiały konferencyjne XX Ogólnopolskiej Konferencji Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła–Ustroń, 1–4 marca 2005.
- [2] Gwizdała K.: *Fundamenty palowe. Technologie i obliczenia*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [3] Tejchman A., Gwizdała K., Krasiński A., Brzozowski T.: *Analiza nośności pali Vibrex*. Materiały konferencyjne XI Krajowej Konferencji Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Gdańsk, 25–27 czerwca 1997, t. 1.
- [4] Szymankiewicz C., Gawor B., Kłosiński B.: *Mikropale formowane rurowym świdrem ślimakowym*. „Inżynieria i Budownictwo” 1994, nr 8.

NOWY  
ADRES

20 LAT DOŚWIADCZENIA NA RYNKU FUNDAMENTÓW SPECJALNYCH

**Stump-HYDROBUDOWA Sp. z o.o.**



Stump-Hydrobudowa Sp. z o.o.  
Ul. Okunin 31, 05-100 Nowy Dwór Mazowiecki  
Tel: + 48 22 55 96 000  
Fax: + 48 22 55 96 005  
E-mail: [biuro@stump-hydrobudowa.pl](mailto:biuro@stump-hydrobudowa.pl)  
Oddział Południe  
Ul. Bociana 6, 31-231 Kraków  
Tel: + 48 12 616 41 91  
E-mail: [krakow@stump-hydrobudowa.pl](mailto:krakow@stump-hydrobudowa.pl)



Ścianki  
berlińskie  
i palisady

Stałe  
i tymczasowe  
kotwy gruntowe

Mikropale  
iniekcyjne  
i mikropale  
samowierzące  
np. TITAN

Zabezpieczenie  
osuwisk

Pale  
wielkośrednicowe  
i przemieszczeniowe

Kompleksowe zabezpieczenia  
wykopów, osuwisk,  
fundamentowanie specjalne  
i roboty inżynieryjne:

Ściany  
szczelinowe  
i ścianki  
szczelne

**Stump**   
[www.stump-hydrobudowa.pl](http://www.stump-hydrobudowa.pl)

Konstrukcje  
zespólone  
i kombinowane

Kolumny DSM

Pale HLV

Próbne  
obciążenia pali,  
kotew i kolumn

Projekty  
i doradztwo  
techniczne