



Geoinżynieria w budownictwie, Sandomierz 2013



Dariusz Sobala, dr inż.

MAŁE I WIELKIE FUNDAMENTY NA ŻELBETOWYCH PALACH PREFABRYKOWANYCH WBIJANYCH

Prezentacja dotyczy efektywnego wykorzystania prefabrykatów w fundamentowaniu skrajnie różnych konstrukcji: małych i bardzo dużych, wręcz wielkich.



Tematyka prezentacji

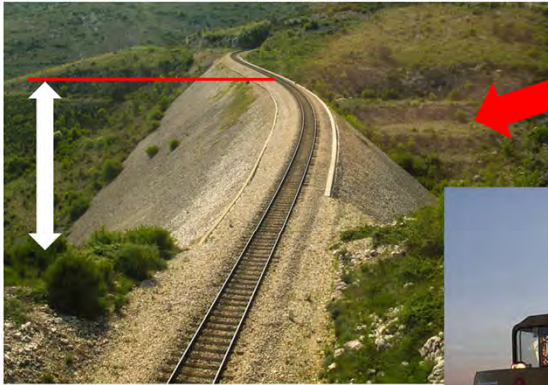
- Nowe prefabrykаты kolejowe
<http://www.kpbkutno.pl/>
- Jaką nośność mają pale w Łomży?
- Pale prefabrykowane w fundamentach elektrowni wiatrowych
- Pale prefabrykowane w fundamentach mostu przez Wisłę w Toruniu
- Pale prefabrykowane + Eurokod 7 = duży fundament palowy na wyspie Gryfia w Szczecinie



2

Poszczególne poruszane w niej tematy widzicie Państwo w tej chwili na ekranie.

Prefabrykaty palowe dla kolei



Źródło:
<http://orbiterchspacenevs.blogspot.com>

Dlaczego prefabrykaty?



Źródło: <http://www.national-geographic.pl>

Ze względu na warunki realizacji robót:

- **ograniczony dostęp do terenu;**
- **pod ruchem;**
- **wysokie tempo(?) / wydajność;**
- **potokowy charakter.**

Większość elementów wbudowywanych w trakcie modernizacji linii kolejowych to **prefabrykaty!**

Źródło: <http://www.rzeszow4u.pl>

3

Środowisko kolejowe jest naturalnym środowiskiem dla wykorzystania prefabrykatów, ze względu na:

- ograniczony dostęp do terenu (wysokie wąskie nasypy, brak dróg dojazdowych, duże odległości)
- wykonywanie robót pod ruchem i poniekąd z tego względu
- konieczność szybkiej realizacji robót.
- w niektórych zastosowaniach ważny jest także potokowy charakter robót, gdy poszczególne roboty następują bezpośrednio po sobie możliwe jest wysokie tempo kompletnej modernizacji linii nawet do 1km/dzień

Poza tym musimy sobie zdawać sprawę, że większość elementów wbudowywanych na kolei to prefabrykaty: podkłady, szyny, prefabrykaty peronowe, słupy itd.)

Prefabrykaty palowe dla kolei

Rozwiązania powszechnie stosowane



4

Prefabrykowane fundamenty palowe to jedne z najmniejszych pali prefabrykowanych stosowanych w budownictwie. Jednak liczba pojedynczych fundamentów jest bardzo duża. Firma Aarsleff wdrażała tę technologię na polskich liniach kolejowych w latach 90-tych i odniosła spektakularny sukces: rozwiązanie to stało się rozwiązaniem standardowym, powszechnie stosowanym, w zasadzie jedynym poza sytuacjami zupełnie wyjątkowymi jak prowadzenie linii kolejowej bezpośrednio na podłożu skalnym. System składa się z pali ze śrubami kotwiącymi pod słupy i bramki oraz pali kotwiących odciągi trakcji elektrycznej. Wykorzystanie kafarów torowych znakomicie ułatwia realizację robót przy zamknięciu jednego toru. Dysponowanie kafarami wielofunkcyjnymi pozwala na jeszcze większą swobodę. Wymagania środowiskowe + kafary wielofunkcyjne pozwalają oprócz trakcji posadzić na tych samych palach także ekrany. W celu uelastycznienia rozwiązania w Kutnowskiej Prefabrykacji Betonu opracowano nowe rozwiązania pali dedykowane pod ekrany i chyba nie tylko pod ekrany.

Prefabrykaty palowe dla kolei

Nowy prefabrykat ekranowy



Oto właśnie te pale z otworami na osadzenie słupków. Rozwiązania w otworze okrągłym oparte na typowych prefabrykaty pali kolejowych i inżynierskich pozytywnie przeszły próby polowe wbijania. W trakcie badań jest prefabrykat w powiększonym otworze prostokątnym.

Nowy prefabrykat palowy

Próby i badania polowe

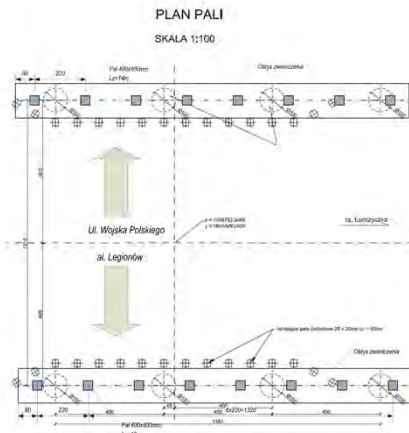


Na zdjęciach wspomniane próby wbijania oraz badania kompletnego układu słupki + pal prefabrykowany.

Jaką nośność mają pale w Łomży?

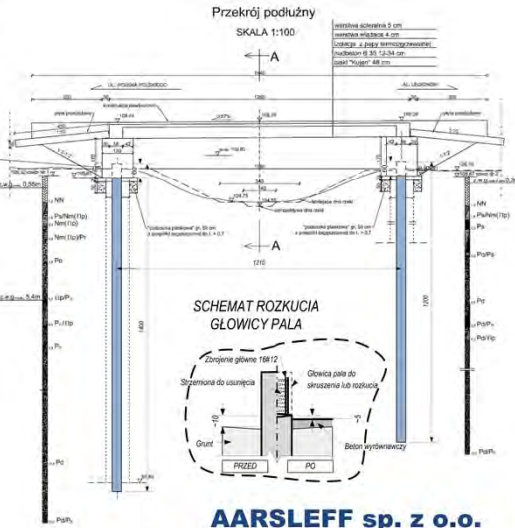
PROJEKT TECHNOLOGICZNY PALOWANIA ①

Przebudowa mostu przez rzekę Łomżyczka w ciągu
ul. Poznańskiej w Łomży wraz z dojazdami.



PALE PREFABRYKOWANE ŻELBETOWE:
Wymiary przekroju poprzecznego: 400x400mm
Betón C40/50
Zbrojenie 16B12 ze stali $f_y=500\text{MPa}$
Długość całkowita pali:
• Podpora 1 – 14m (od strony ul. Wąska Polskiego), 8 szt., 0.9N=1100kN
• Podpora 2 – 12m (od strony ul. Legionów), 8szt., 0.9N=1230kN
Długość zakotwienia w zwielczeniu 0,6m
Długość rozkucia pala 0,55m
Próbne obciążenia: 2 próbne obciążenia dynamiczne przy dużych odskokach
Pozostałe ustalenia (osię główne, rzydne spodu zwielczenia) wg projektu wykonawczego.

Rzeszów, 22.07.2013



AARSLEFF sp. z o.o.

To jest zagadka dla Państwa!

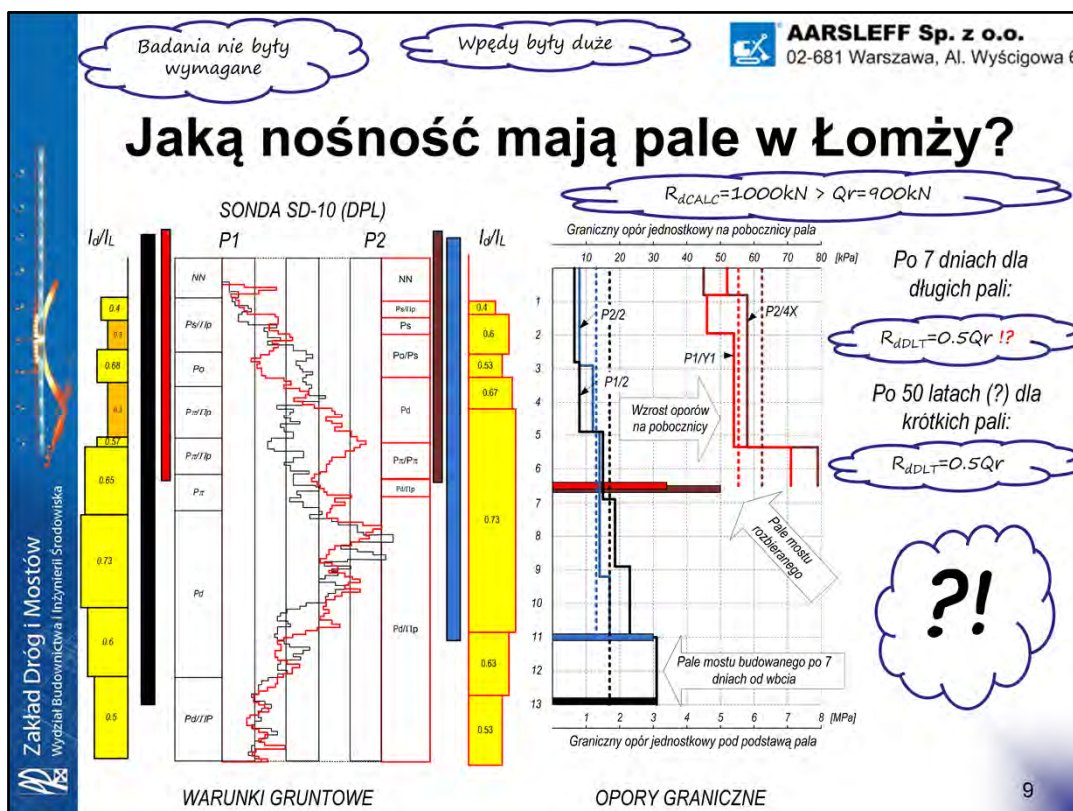
Niewielki most drogowy zaprojektowany na palach wierconych o długości 13m i średnicy 1m. Ze względu na krótki termin realizacji i posadowienie poprzedniego mostu na palach prefabrykowanych Wykonawca zwrócił się do nas o przeprojektowanie fundamentu na wykonane z pali prefabrykowanych. Pali prefabrykowanych 400x400mm było dwa razy więcej i miały średnio taką samą długość jak pale wiercone 12m i 14m.



Palowanie w Łomży



Palowanie trwało jeden dzień. Do przejazdu kafara na drugą stronę rzeki wykorzystano istniejący most, który rozebrano dopiero po zakończeniu robót palowych. Wszystko poszło rewelacyjnie, poza jednym pale – pomimo, że były zaprojektowane na ok. 1000kN, po prostu wpały, wbijało się je nadspodziewanie łatwo co wzbudziło pewne wątpliwości dotyczące ich nośności.



Warunki gruntowe były określone na podstawie wierceń i sondowań – czyli w całkiem przyzwoitym zakresie. Były w miarę jednorodne (patrz sondy), a zróżnicowanie pozwoliło tylko nieznacznie zróżnicować długość pali w obydwu fundamentach (jak na to teraz patrzę to raczej niepotrzebnie). Liczba pali pozwalała na zrezygnowanie z badań (16szt. pali). Dzienniki wbijania dały niepokojącą informację – wpędy były duże. Prefabrykaty pozwoliły na wykonanie badania dynamicznego nośności po jednym dniu (wynik na poziomie 50% oczekiwań) oraz po 7 dniach ze względu na oczekiwany przyrost nośności (w piaskach niewielki, ale w piaskach z domieszką pyłu możliwy duży). Drugie badanie wykazało nieznaczny przyrost nośności, ale nie była to zmiana istotna. Jak wspomniałem wcześniej stary most stał na nietypowych prefabrykatkach żelbetonowych prostokątnych. Niejako przy okazji wykonano badania także na starych palach w celu sprawdzenia czy można byłoby je np. wykorzystać do zredukowania braków nośności nowych pali. W badaniach pali istniejących uzyskano dość zaskakujące wyniki. Pale były prawie dwukrotnie krótsze od pali nowych, miały zdecydowanie mniejszy przekrój i praktycznie taką samą nośność graniczną. Po dokładniejszej analizie okazało się, że nośność ta wynika z blisko pięciokrotnie większych oporów na pobocznicę „starych” pali. Warto podkreślić, że stare i nowe pale były zlokalizowane praktycznie na styk, a więc ewentualny niekorzystny wpływ wbijania powinien również oddziaływać na stare pale. Oporu na pobocznicę starych pali były pięciokrotnie większe niż w palach nowych. Jakie decyzje w stosunku do fundamentu zapadły? Jaka jest nośność pali w Łomży? Jakie wnioski płyną z tego niewątpliwie ciekawego przypadku Co zdecydował projektant?

Most w Łomży



Tak most wyglądał dosłownie kilka dni temu Jeden ze znakomitych inżynierów (obecnych na tej sali) zasugerował kolejny przejaw łomżingu, ale ja wciąż mam wątpliwości, czy w ten sposób można to tłumaczyć. Jaka jest Państwa opinia i diagnoza dotycząca pali w moście w Łomży?

Pale (?) w fundamentach elektrowni wiatrowych

Źródło: <http://www.whaleoil.co.nz>

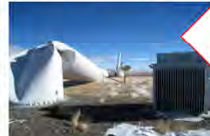
- Trwałość – 20 lat
- Podział kosztów

Raport 2012 "Energetyka wiatrowa w Polsce". TPA Horwath, BSIP, Invest in Poland

Element	Podział kosztów	Koszt średni na 1MW	Koszt na turbinę 4MW
[-]	[-]	[mln PLN]	[mln PLN]
Turbina	64%	4.22	16.90
Fundamenty	5%	0.33	1.32
Infrastruktura	19%	1.25	5.02
Projekt	6%	0.40	1.58
Przyłączenie do sieci	1%	0.07	0.26
Inne	5%	0.33	1.32
RAZEM	100%	6.60	26.40



Problem geotechniczny



Problem konstrukcyjny

- Koszty fundamentowania

Rozwiązanie fundamentu	Podział kosztów	Udział kosztów	Wartość [mln PLN]
Fundament bezpośredni D=20m	100%	5%	1.32
Zwieńczenie pali D=16m	64%	3.2%	0.84
Pale	32%	1.6%	0.42
Razem fundament na palach	96%	4.8%	1.27

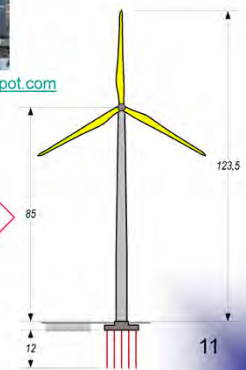
Źródło: <http://freewco.blogspot.com>

- Dlaczego pale prefabrykowane?

- szybkie
- tanie
- bezpieczne

Skąd ta wartość!?
Najwięcej zarabia
pośrednik!!!

Cały problem



Tutaj mamy do czynienia ze sprawą nieco poważniejszą. Z różnych względów pale prefabrykowane są bardzo dobrym sposobem na wież elektrowni wiatrowych. Wiem, że dr Rybak będzie mówił generalnie o posadowieniach wiatraków jutro, ale chciałbym korzystając z okazji podkreślić jeden aspekt fundamentowania wiatraków podkreślić, tj. zakres kontroli tego rodzaju fundamentów. Posadowienia bezpośrednie powodują zwykle duże wymiary podstaw (obecnie ok. 19-21m z tendencją zwyżkową). O bezpieczeństwie takich fundamentów często decyduje autor badań podłoża, a nie projektant. Nad fundamentami, coraz częściej nazywanymi pośrednimi (kolumny itp.) mamy wciąż dość słabą kontrolę. O bezpieczeństwie fundamentów często decyduje lepszy lub gorszy program (warto pamiętać, żeby przed uruchomieniem MES nie wyłączyć zdrowego rozsądku). Fundamenty palowe (głębokie) są bardzo bezpiecznym rozwiązaniem (zupełnie inny jest mechanizm zniszczenia posadowienia), a dodatkowo nie są droższe. Jako podwykonawcy często uczestniczymy w konkursach tak naprawdę na to kto bardziej zaryzykuje, np. ograniczając liczbę badań. To skłoniło mnie do przeprowadzenia analizy na tzw. ogólnie dostępnych danych, a na slajdzie zamieściłem jej wyniki.

Wg raportu z 2012 roku „Energetyka wiatrowa w Polsce” koszt fundamentu stanowił 5% wartości przeciętnego wiatraka. Fundament lub zwieńczenie na palach wyszacowano zatem na wartość ok. 1,32mln PLN. Analizując typowe objętości fundamentu bezpośredniego i zamiennego zwieńczenia na palach okazuje się, że fundamenty palowe są „nie droższe” niż bezpośrednie. Pale to w proporcji do inwestycji 1.6% jej wartości. Badania pali to już jej promile. Jeśli spojrzymy na wartości bezwzględne szybko okaże się, że najwięcej Zarabia pośrednicy > 50% wartości fundamentu palowego to czysty zysk pośrednika, który potrafi ograniczać swoje koszty ze szkodą dla bezpieczeństwa. Brak

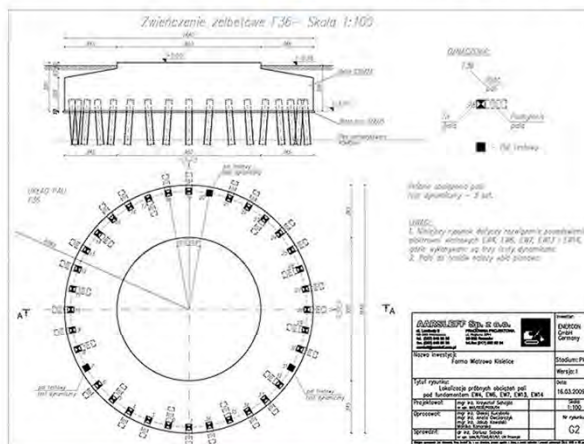
nam standardów w zakresie badań pali w wiatrakach.



Pale prefabrykowane w fundamentach elektrowni wiatrowych

CHARAKTERYSTYKA TECHNICZNA:

- typowe średnice/wymiary zwieńczenia to 15-16m;
- typowy kształt to koło lub ośmiokąt
- typowa liczba pali dla dużej turbiny to 36 szt. +/- 4szt.;
- przeciętna długość pali to 12m;
- próbne obciążenia statyczne i dynamiczne na wciskanie/wyciąganie lub cykliczne;
- nośność obliczeniowa na wciskanie do 1600kN;
- nośność obliczeniowa na wyciąganie do ok. 500kN;
- brak oczekiwania na związanie betonu trzonu pala – „ready to use”;
- typowe palowanie – 2 dni



Typowe zwieńczenia na palach mają o 4-5 metrów mniejsze średnice niż fundamenty bezpośrednie. Mają analogiczne kształty: koła lub ośmiokąta. Składają się z ok. 36+/-4 pali prefabrykowanych 400x400mm o przeciętnej długości 12m. Palowanie trwa jeden raczej dwa dni. Uzyskiwane nośności to 1600kN na wciskanie 400-500kN na wyciąganie. Pale bezpośrednio po wbiciu nadają się do wykorzystania.



Fundamenty bezpośrednie elektrowni wiatrowych /nieuwzględnione ryzyko - przykład/

Bezpośrednio po wykonaniu wykopu



Wczesną jesienią



Jakiś czas po wykonaniu wykopu ...



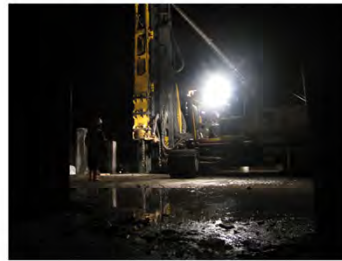
po wylaniu korka (?) ...

13

A to przykład, ekstremalny, podejmowania ryzyka fundowania bezpośredniego:

- Pierwsze zdjęcie pokazuje dno wykopu (ok. 3.5m ppt.) w gruntach spoistych z napiętym zwierciadłem wody na głębokości ok. 6 m ppt. stabilizującym się ok. 1m powyżej terenu (!).
- Kolejne zdjęcie – ten sam wykop po jakimś czasie
- Kolejne zdjęcie pokazuje stan po ok. dwóch miesiącach walki – wylano dwuwarstwowy korek betonowy, wykonano filtr, a wodę zrzucano do rowu obok;
- Tak naprawdę nikt nie był w stanie określić trwałych parametrów podłoża.

Pale prefabrykowane w fundamentach bezpośrednich (?) elektrowni wiatrowych



Wczesną zimą, a właściwie na dwa dni przed Bożym Narodzeniem



Efekt końcowy był taki, że zaproponowaliśmy wykonanie fundamentu palowego. Projektant przemnożył go przez 2 w zakresie liczby pali (nie chciał zmieniać zwieńczenia) i ok. 1.5 razy w zakresie długości (co widać na zdjęciu w postaci niedobitych pali). A inwestor za to grzecznie zapłacił zmuszając nas do pracy bezpośrednio przed Bożym Narodzeniem. Robota została wykonana w dwa dni po czterech miesiącach straconych na przepychanki w zakresie co najmniej dwukrotnie większym niż potrzebny. Przyczyną było:

- niedoszacowanie ryzyka na etapie projektowania;
- brak rozumienia (umiejętności projektowania) pracy pali w fundamentach wiatraków;
- Obrona przed odpowiedzialnością i wykorzystywanie pozycji projektanta budowlanego, który każdą zmianę może uznać za istotną i storpedować inwestycję (a pamiętamy, że mówimy tu o ok. 0.8-1% wartości obiektu – czyli obracamy się w zakresie błędu obliczeń).

Czy warto? Moim zdaniem nie warto. Fundamenty bezpośrednie w wiatrakach warto projektować tylko tam, gdzie wykonanie pali naraża na poważnych problemów.



Pale prefabrykowane w fundamentach mostu przez Wisłę w Toruniu

Fundamenty palowe mostu głównego w liczbach

Fundament palowy podpory	Podpora 13/14 (od strony Torunia)	Podpora 15 (środkowa)	Podpora 16/17 (od strony Łodzi)
Wymiary obrysu fundamentu:	34.8m x 48.2m	20.4m x 52.4m	34.8m x 47.7m
Liczba pali:	538szt.	395szt.	538szt.
Przekrój pali:	40x40	40x40	40x40
Długość pali docelowych:	12m (10m+2m) 13m (11m+2m)	20m i 21m	12m (10m+2m) 13m (11m+2m)
Nachylenia pali (zakres):	1:1 + 3:1	1:1 + 3:1	1:1 + 3:1
Łączna długość wbitych pali:	6686mb	8068mb	6682mb
Beton pali	C40/50		
Zbrojenie pali	12#12mm lub 12#12mm+8#16mm	12#12mm lub 12#12mm+8#16mm	12#12mm lub 12#12mm+8#16mm
Q _{calc} [kN]	1015	1100(C) / 590(T)	1037
R _{d,calc} [kN]	1390	1240(C) / 605(T)	1340
Liczba przeprowadzonych próbnych obciążeń			
SLT	(C) 6	(C) 4 + (T) 1 = 5	(C) 6
DLT (A)	21	14	20
DLT (B)	70	60	74
Wyniki próbnych obciążeń - R _p w [kN]			
SLT	1700+2129	2067-2207(C)/667(T)	1770+2605
DLT (A)	1496+2717	1528+2776(C) 756+1244(T)	1187+2495
DLT(B)	1801+3407	1570+2637(C) 612+1454(T)	1620+2538

Legenda: SLT – badania statyczne nośności pali, DLT – badania dynamiczne nośności pali przy dużych przemieszczeniach, (A) – przed palowaniem zasadniczym, (B) – po palowaniu zasadniczym, (C) – wciskanie, (T) – wyciąganie, Q_{calc} – obciążenie pala, R_{d,calc} – nośność obliczona, R_d – nośność zbadana



Zakład Drog i Mostów
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

A teraz naprawdę duża budowla – most przez Wisłę w Toruniu. Duża nawet w skali europejskiej. Nawet w odniesieniu do mostu głównego liczby są duże, a musimy pamiętać, że most to zaledwie fragment inwestycji. W zakresie fundamentowania mamy do czynienia z samymi ciekawymi rozwiązaniami.

Przyczółki o powierzchni 17 arów każdy w których siła pozioma znacznie przekracza składową pionową a podstawowy układ pali składał się z ponad 500 koźłów palowych, ale nie w parach tylko rzędach. Pali jest pięćset, ale są bardzo krótkie. Ich nośności osiowe wahają się od 1200-3400kN (!) na wciskanie.

Podpora środkowa to zupełnie inne zagadnienie, przede wszystkim technologiczne. Blisko 400 pali o długości ok. 20m wbitych na środku Wisły wykazało nośności na wciskanie od 1500 do 2800kN, a na wyciąganie od 612 do 1450kN (!). Ale żeby je wbić najpierw trzeba było stworzyć sobie do tego warunki.



Pale prefabrykowane w fundamentach mostu przez Wisłę w Toruniu



*Roboty kafarowe
z platformy
pływającej*



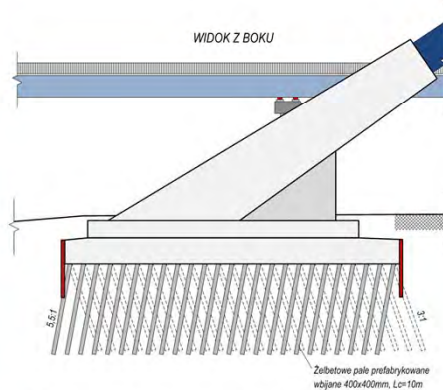
Budowa wyspy



Budowa zabezpieczenia wyspy

Trzeba było wykorzystać platformę pływającą do zbudowania platformy trwałej, czyli wyspy na środku koryta Wisły w obudowie z grodzic stalowych. Wyspa o powierzchni kilkunastu arów została stworzona z piasku wydobytego z dna Wisły w trakcie jej budowy. Wyspa stanowiła element samej podpory, jej zabezpieczenie, a sama w trakcie wykonania wymagała również ochrony. Wisła potrafiła w ciągu kilku godzin zmienić poziom dna w sąsiedztwie wyspy o kilka metrów.

Pale prefabrykowane w fundamentach mostu przez Wisłę w Toruniu



Fundament palowy podpory skrajnej łuku - przekrój

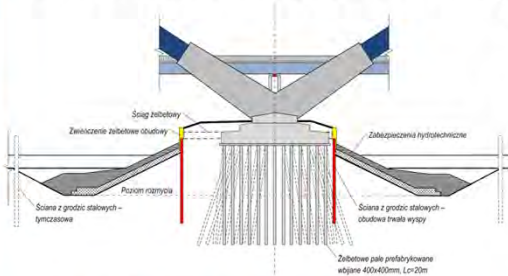


Podpory skrajne zlokalizowane na łądzie to skomplikowane, ale płytkie grabie wbite w podłoże, których zadaniem jest niedopuszczenie do przemieszczeń poziomy konstrukcji łuku pozbawionego ściągu. Praktycznie wszystkie pale są pochylone tworząc układy kozłowe międzyrzędowo.



Pale prefabrykowane w fundamentach mostu przez Wisłę w Toruniu

Patrz także: www.youtube.com



Wykonanie fundamentu palowego podpory środkowej łuków

18

Podpora środkowa zapalowana po zbudowaniu wyspy to skomplikowany układ pali prostych i pochylonych tworzących z obudową stalową zwieńczoną ocepem żelbetowym i stężoną ściągami żelbetowymi jeden wielki super element podporowy, w którym pale są jedynie elementem składowym. Wykorzystanie prefabrykatów uniezależniło w praktyce przebieg robót od zmiennych poziomów wody w Wiśle i warunków żeglugi technologicznej, które były bardzo zmienne. Parząc na te fundamenty należy zawsze utrzymywać odniesienie do wielkości podpieranej konstrukcji i charakteru obciążeń.

AARSLEFF Sp. z o.o.
02-681 Warszawa, Al. Wyścigowa 6

Most w Toruniu

Skala problemu i problem skali

19

Fundamenty które same w sobie wydają się duże, rozległe w skali konstrukcji którą podpierają są dosyć małe. Nie znam drugiej takiej realizacji w której na tak krótkich palach posadowiono by skutecznie tak dużą konstrukcję przy tak dużych siłach poziomych. Szacunek należy się Krzysztofowi Wąchalskiemu i świętej pamięci Markowi Sudakowi z Pont-Projektu za koncepcję, jej obronę i konsekwentną realizację. Tak właśnie tworzy się postęp w inżynierii lądowej i w myśleniu o fundamentowaniu dużych konstrukcji.

Most w Toruniu ciąg dalszy wszyscy znają z telewizji



Reszta, tę bardziej medialną Państwo na pewno znacie. Liczne telewizje relacjonowały nietypowy montaż łuków. Teraz obiekt jest już w fazie wykończeniowej.

Pale prefabrykowane + Eurokod 7 to się już dzieje i to działa !!!



Gryfia,
Szczecin



Badania
nośności pali



Budowa mostu pontonowego na wyspę



Produkt finalny?

21

I na koniec bardzo krótka informacja o palach prefabrykowanych w kontekście Eurokodów, a szczególnie Eurokodu 7. To się dzieje. Projektujemy obecnie bardzo duży fundament pod zakład produkcji bardzo ciężkich elementów morskich wież wiatrowych na wyspie Gryfia w Szczecinie. Cały projekt, projekt fundamentowania, projekt próbnych obciążeń opracowywane są zgodnie z zasadami i wymaganiami Eurokodów, w tym Eurokodu 7 w zakresie posadowienia.

Mogę w związku z tym Państwa zapewnić, że:

- nie ma przeszkód w projektowaniu fundamentów wg Eurokodu 7;
- platforma Eurokodów ułatwia znakomicie pracę w międzynarodowych zespołach;
- prawidłowo wykorzystana daje w mojej opinii i wbrew powszechnym w kraju opiniom, wymierne korzyści ekonomiczne;
- nie pozwala zaniedbywać poszczególnych stanów granicznych (GEO/STR) (ULS/SLS).

Z jednym zastrzeżeniem: nic nie jest takie jak było i przed nami jeszcze długa droga do opisanie wszystkich zasad i procedur postępowania w praktycznych przypadkach z jakimi spotykamy się w realnym życiu. Jeśli Eurokody wydają się Państwu skomplikowane, to zapewniam, że rzeczywistość może okazać się jeszcze bardziej skomplikowana.

Projektując ten fundament natrafiamy co krok na nierozwiązane problemy, jednak praktyczne stosowanie Eurokodów to intelektualna frajda.



AARSLEFF Sp. z o.o.
02-681 Warszawa, Al. Wyścigowa 6

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

Dariusz Sobala, dr inż.
Politechnika Rzeszowska, Zakład Dróg i Mostów
Pracownia Projektowa Aarsleff Sp. z o.o.
tel. 509 60 35 61,
e-mail: dso@arsleff.com.pl

Zakład Dróg i Mostów
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

22

Dziękuję za uwagę.
Chętnie odpowiem na Państwa pytania.