

Dariusz SOBALA¹
Wojciech TOMAKA²
Politechnika Rzeszowska, AARSLEFF Sp. z o.o.
AARSLEFF Sp. z o.o.

NOŚNOŚĆ ŻELBETOWYCH PALI PREFABRYKOWANYCH NA PODSTAWIE BADAŃ W WARUNKACH GRUNTOWYCH PODKARPACIA

STRESZCZENIE

W referacie przedstawiono wyniki 184 badań statycznych i dynamicznych nośności żelbetowych pali prefabrykowanych wbijanych wykonanych na Podkarpaciu w latach 2009-2011. Uzyskane w trakcie badań nośności porównano z obliczonymi w projektach fundamentów palowych. Porównanie wykazało znaczące zapasy rzeczywistych nośności pali w stosunku do obliczonych. Sformułowano wnioski dotyczące kierunków dalszych badań i analiz mających na celu modyfikację stosowanych procedur projektowania geotechnicznego żelbetowych pali prefabrykowanych.

Słowa kluczowe: pal prefabrykowany, nośność pala, badania nośności pali

1 WPROWADZENIE

Autostrada A4 to obecnie priorytetowa inwestycja drogowa realizowana na Podkarpaciu. W latach 2009÷2011 rozpoczęto realizację lub zrealizowano w tym regionie wiele innych inwestycji drogowych i przemysłowych. Obecnie obiekty budowane są często w trudnych warunkach gruntowych wymagających posadowienia na palach. Prawidłowe zaprojektowanie ekonomicznych i uzasadnionych technicznie rozwiązań fundamentów palowych wymaga wykonania wysokiej jakości badań geotechnicznych i zastosowania wiarygodnych metod projektowania, których źródłem często są współczesne normy. Równie ważna jest weryfikacja przyjętych w projektach rozwiązań poprzez wykonywanie próbnych obciążeń pali, których wyniki pozwalają określić rzeczywistą nośność i stanowią bogate źródło danych do weryfikacji normowych modeli obliczeniowych. Duża liczba realizowanych inwestycji generuje znaczną liczbę wyników badań, które prawidłowo wykorzystane prowadzą do optymalizacji stosowanych rozwiązań fundamentów palowych, a w pewnej perspektywie czasowej do ograniczenia kosztów fundamentowania w skali regionu lub kraju.

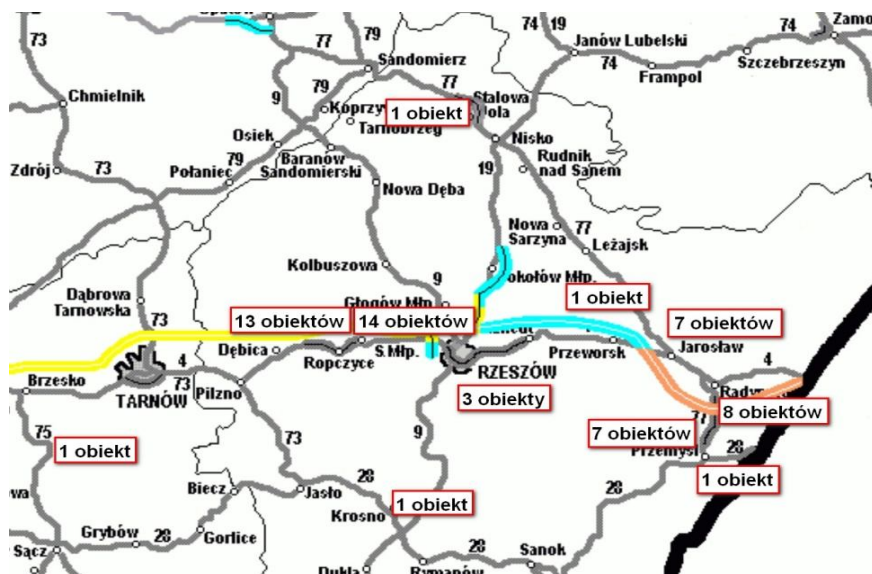
¹ d.sobala@prz.edu.pl

² wto@aarsleff.com.pl

Niezwykle istotne w kontekście tych dalekosiężnych celów jest stworzenie właściwych mechanizmów pozwalających na gromadzenie, systematyzowanie i upowszechnianie wyników zebranych doświadczeń. W referacie podsumowano wyniki dużej liczby badań nośności pali prefabrykowanych wykonanych w warunkach gruntowych Podkarpacia i sformułowano wnioski dotyczące możliwych kierunków modyfikacji stosowanych powszechnie procedur projektowania.

2 LOKALIZACJA BADAŃ

Źródło wykorzystanych w referacie danych stanowią wyniki próbnych obciążeń żelbetowych pali prefabrykowanych wbijanych w fundamentach podkarpackich (Rys. 1) obiektów mostowych budowanych w ciągu: autostrady A4 na odcinkach Dębica Pustynia – Węzeł Rzeszów Zachód oraz Radymno-Korczowa, obwodnicy Jarosławia (droga krajowa nr 4) oraz drogi S19 na odcinku Stobierna - Rzeszów, a także pojedynczych obiektów mostowych w Budach Łańcuckich k/Przeworska, Jamnicy k/Stalowej Woli, Rzeszowie, Przemyśle, obiektów przemysłowych w Rzeszowie i Krośnie oraz wież siłowni wiatrowych w Orzechowcach k/Przemyśla. Łącznie w ww. fundamentach wbito 11 146 szt. pali z czego 251 szt. poddano próbnym obciążeniom. Próbnymi obciążeniami zrealizowano metodą statyczną (56 badań) i metodą dynamiczną przy wysokich odkształceniach (195 badań). Wykorzystane w analizie wyniki badań dynamicznych przy wysokich odkształceniach zostały, zgodnie z wymaganiami PN-EN 1997-1, skalibrowane z wynikami badań przeprowadzonych metodą statyczną. W przypadku około połowy fundamentów obiektów mostowych wykonywano zarówno testy statyczne jak i dynamiczne (2÷5 testów), w pozostałych fundamentach wykonywano badanie pala metodą statyczną lub dynamiczną.



Rys. 1. Lokalizacja budowanych obiektów posadowionych na palach prefabrykowanych

Wykorzystane w analizie obliczone projektowe nośności badanych pali zostały wyznaczone w projektach posadowienia zgodnie z normą[1]. W przypadku braku w projektach stosowanych obliczeń zostały one przeprowadzone zgodnie z wytycznymi ww. normy przez autorów referatu.

W przypadku dysponowania większą liczbą wyników badań nośności pali do porównania nośności obliczonej i zbadanej wykorzystano dla każdego z analizowanych fundamentów miarodajny, niższy wynik uzyskany z badań. Ostatecznie podstawą porównania nośności obliczonej i zbadanej były wyniki 124 próbnych obciążeń wykonanych na palach

wbitych w różnych warunkach gruntowych. W tabelicy 1 przedstawiono podział liczby badań ze względu na rodzaj gruntu zalegający w rejonie stopy pala (B), a więc w strefie decydującej z reguły o jego nośności.

Tablica 1. Liczba pali o stopach (B) i pobocznicach (S) zagłębionych w poszczególne rodzaje gruntu wykorzystanych odpowiednio w analizie porównawczej nośności (B) i oporów na poboczniczy (S)

Stan gruntu	Rodzaj gruntu spoistego						Razem	
	Ił lub ił pylasty		Gлина pylasta		Gлина piaszczysta		B	S
	B	S	B	S	B	S	B	S
półzwarte	26	31	-	-	1	4	27	35
twardoplastyczne	41	61	5	21	9	13	55	95
plastyczne	-	-	4	4	-	-	4	4
Razem	67	92	9	25	10	17	86	134

Zagęszczenie gruntu	Rodzaj gruntu sypkiego								Razem	
	Piasek pylasty		Piasek drobny		Piasek średni		Żwir/pospółka		B	S
	B	S	B	S	B	S	B	S	B	S
zagęszczony	2	2	-	-	-	-	-	-	2	2
średnio zagęszczony	9	13	16	18	6	11	5	6	36	48
Razem	11	15	16	18	6	11	5	6	38	50

Do porównania oporów gruntu wzdłuż poboczniczy pali wykorzystano wyniki 184 badań dynamicznych opracowanych metodą CAPWAP. W porównaniu oporów wykorzystano opory wyznaczone dla końcowego odcinka pala o długości $1 \div 2$ m mierzonych od spodu pala. Analizowane odcinki pali znajdowały się zarówno w gruntach spoistych, jak i sypkich, w różnym stanie i o różnym zagęszczeniu. Zestawienie liczby wykorzystanych badań pali w zależności od warunków gruntowych wzdłuż analizowanego odcinka poboczniczy (S) zestawiono w tabelicy 1.

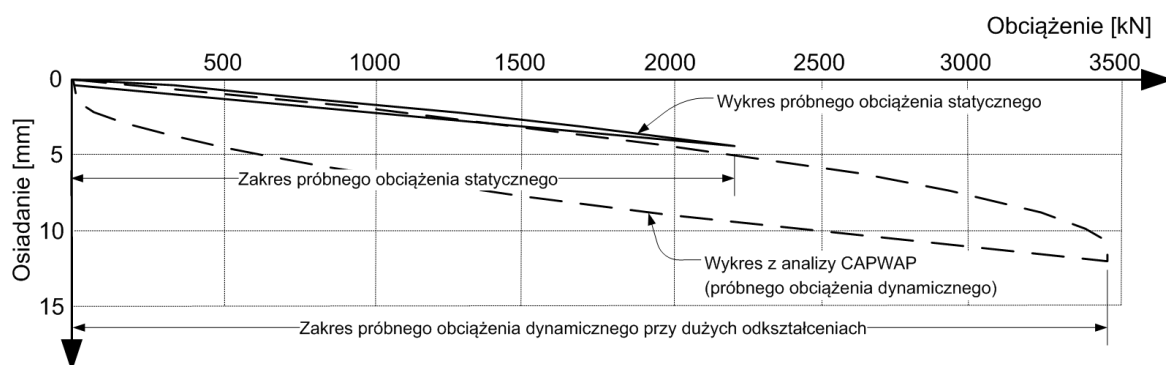
Badane pale to prefabrykowane pale żelbetowe wbite w 106 fundamentach 48 obiektów budowlanych. Prefabrykaty pali wykonane były z betonu klasy C40/50 i zbrojone stalą miękką klasy „b” lub „c” o granicy plastyczności $f_{yk}=500\text{MPa}$ (A-IIIIN). Typowe zbrojenie badanych pali zostało wykonane w automacie zbrojarskim i składało się z 12 szt. prętów o średnicy 12mm. W 17 spośród 48 obiektów zastosowano zbrojenie większe, maksymalnie 8 szt. prętów o średnicy 20mm. Całkowite długości wbitych prefabrykatów badanych pali mieściły się w przedziale od 8.0 do 18.0 m.

3 RODZAJE PRZEPROWADZONYCH BADAŃ NOŚNOŚCI PALI

Próbne obciążenie statyczne wykonywano metodą belki odwróconej wykorzystując układ oporowy złożony z belki głównej i dwóch belek poprzecznych o długościach odpowiednio 7m i 2x5m. Obciążenie pala uzyskiwane było przez rozparcie siłownika hydraulicznego pomiędzy głowicą badanego pala a belką główną układu oporowego, kotwionego za pośrednictwem belek poprzecznych do wbitego (w odległości min. 2m od badanego pala) układu pali kotwiących. Procedura zrealizowanych próbnych obciążeń statycznych była zgodna z opisaną w [1]. Wyniki próbnych obciążeń statycznych pali stanowią podstawę kalibracji wykorzystanych wyników badań dynamicznych i oceny stosowanych metod projektowania.

Procedura badań statycznych jest kosztowna i długotrwała. W zależności od warunków lokalnych przygotowanie, przeprowadzenie i demontaż stanowiska do badań pali prefabrykowanych zajmuje minimum dwie zmiany robocze (w praktyce 1-2 dni). Wynikiem

badania statycznego jest nośność graniczna pala oraz charakterystyka obciążenie-osiadanie określona na podstawie pomiarów wykonanych w poziomie głowicy. Na podstawie wyników pomiarów określa się nośność charakterystyczną, nośność obliczeniową pala oraz spodziewane osiadania pala pod obciążeniem użytkowym. Stosowana w Polsce procedura analizy wyników próbnych obciążeń [1] prowadzi bezpośrednio do wyznaczenia nośności obliczeniowej pala. Istotne problemy wstępują wtedy, gdy wynik próbnego obciążenia nie umożliwi wprost określenia nośności granicznej pala, a jedynie podaje informację, że jest ona wystarczająca w stosunku do wymagań projektu. Dzieje się tak bardzo często w przypadku żelbetowych pali prefabrykowanych wbijanych, których nośności projektowe obliczone zgodnie z [1] są bardzo konserwatywne i z reguły znacznie zaniżone w stosunku do uzyskiwanych w czasie badań. Normowe ograniczenie maksymalnej projektowanej siły próbnego obciążenia do $Q_{max}=1.5N_t$ prowadzi w takiej sytuacji do uzyskania prostoliniowego odcinka zależności obciążenie-osiadanie, a badanie dotyczy wyłącznie zakresu sprężystej pracy pala. Z doświadczenia autorów wynika, że właściwe dla pali prefabrykowanych byłoby prowadzenie próbnych obciążeń do wartości co najmniej $Q_{max}=2.0N_t$, jednak jest to procedura droższa i trudna do realizacji w praktyce na masową skalę.



Rys. 2. Zestawienie wyników próbnego obciążenia statycznego i dynamicznego żelbetowych pali prefabrykowanych zlokalizowanych w tym samym fundamencie

W przypadku pokazanym na wykresie (Rys. 2) do określenia nośności granicznej pala na podstawie wyników próbnego obciążenia statycznego (ciągła linia), a w konsekwencji oszacowania rzeczywistej nośności obliczeniowej pala w gruncie, można stosować liczne metody interpolacji, których wiarygodność jest dyskusyjna. Korzystniejsze i dużo bardziej praktyczne jest w takiej sytuacji wykorzystanie kalibrowanych badań dynamicznych (linia przerywana). Z reguły pozwalają one na wystarczająco dokładne wyznaczenie nośności granicznej pala i są szczególnie przydatne w badaniu pali o dużych nośnościach. Najczęściej stosowaną metodą badań dynamicznych nośności w przypadku pali prefabrykowanych jest metoda badania przy dużych odkształceniach. Jest to spowodowane dostępnością kosztownych środków wymaganych do przeprowadzenia tego typu badania na placu budowy, tj. kafara z młotem. Badania dynamiczne przy dużych odkształceniach są szeroko wykorzystywane do określania nośności pali wbijanych od wielu dziesięcioleci i w tym czasie metody analizy ich wyników zostały bardzo dobrze skorelowane z wynikami równoległe prowadzonych badań statycznych. Niemniej jednak, dla wiarygodnego wykorzystania tego typu badań w praktyce pozostawiono w normie [6] wymaganie korelowania uzyskanych wyników z wynikami badań statycznych wykonanych na palach tego samego rodzaju w podobnych warunkach gruntowych. Wymagania tego nie należy mylić z koniecznością wykonania badania statycznego i dynamicznego na tym samym palu. Wyniki tego typu badań są bardzo interesujące i jednocześnie trudne do interpretacji ze względu na naruszenie struktury gruntu wokół badanego pala osiagającego nośność graniczną. Z praktycznego

i technicznego punktu widzenia celu jakim mają służyć wyniki badań nośności pali kalibrację można przeprowadzić na dwóch różnych palach wbitych w ramach tego samego fundamentu, a w przypadku dysponowania szeroką bazą wyników badań statycznych dla danego rodzaju pali można ją wykorzystać do kalibracji wyników badań dynamicznych nośności pali w skali regionu lub kraju.

Próbne obciążenia realizowane metodą dynamiczną przy dużych odkształceniach nie wymagają montażu dodatkowych konstrukcji i wykorzystywania balastu. Siła obciążająca generowana jest uderzeniem spadającego młota, w identyczny sposób w jaki ma to miejsce w trakcie wbijania pala. Potrzebna wysokość spadu młota (dostarczona energia) jest określana na podstawie metryki wbitego pala. Odpowiednio skalibrowane wyniki badań dynamicznych nośności pali uważa się za równorzędne z wynikami badań statycznych [3].

W omawianej analizie wykorzystano wyniki próbnych obciążeń dynamicznych przy dużych odkształceniach kalibrowanych badaniami statycznymi i opracowanych metodami CASE i CAPWAP. W metodach tych wykorzystuje się zjawisko rozchodzenia się i tłumienia fali naprężeń w palu, która powstaje podczas jego wbijania (uderzenia). Pomiar reakcji dynamicznej pala rejestrowany był przy użyciu układu pomiarowego złożonego z dwóch tensometrów oraz dwóch czujników przyspieszeń mocowanych na przeciwległych powierzchniach bocznych badanego pala w celu wyeliminowania błędu związanego z ewentualnym niecentrycznym uderzeniem młota w głowicę pala. Sygnał był przesyłany do rejestratora i następnie poddawany obróbce.

Realizacja próbnego obciążenia metodą dynamiczną jest znacznie tańsza i szybsza w porównaniu do metody statycznej. Nie dotyczą jej ograniczenia związane z pochyleniem badanego pala, układem pali kotwiących lub balastowaniem stanowiska do badań. Badania dynamiczne doskonale nadają się również do sprawdzania nośności wytypowanych pali docelowych, których nośność szacowana na podstawie historii wbijania może budzić wątpliwości.

Procedura badania dynamicznego i ogólna metoda analizy zarejestrowanego sygnału zostały znormalizowane w [7]. Norma ta została przywołana w p. 7.5.3. normy [6], a tym samym stała się elementem katalogu norm wykorzystywanych w Polsce.

W praktyce analizę wyników wykonuje się przy wykorzystaniu specjalistycznego oprogramowania pozwalającego na szybkie określenie całkowitych oporów (nośności) pala w oparciu o metodę CASE (Case Institute of Technology) i stosunkowo prosty model pala w gruncie lub/i nieco bardziej pracochłonne wyodrębnienie nośności podstawy i oporów na pobocznicy badanego pala w oparciu o metodę pośrednią CAPWAP (Case Pile Wave Analysis Program) i bardziej rozbudowany model matematyczny pracy pala w gruncie.

4 PROJEKTOWANE NOŚNOŚCI PALI

Pionową nośność projektową pala na wciskanie N_t wyznaczono zgodnie z [1] wg wzoru:

$$N_t = N_p + N_s = S_p q^{(r)} A_p + \sum S_{si} t_i^{(r)} A_{si} \quad (1)$$

w którym $q^{(r)}$ jest jednostkowym obliczeniowym oporem gruntu pod podstawą pala, $t_i^{(r)}$ jest jednostkowym obliczeniowym oporem gruntu wzdłuż pobocznicy pala, a S_p i S_s są współczynnikami technologicznymi. W związku z tym, że tradycyjnie przyjmowane w projektowaniu opory jednostkowe pod podstawą i na pobocznicy są wspólne dla wszystkich rodzajów pali i zależne od rodzaju gruntu, przedmiotem prowadzonej analizy będą opory przemnożone przez odpowiednie współczynniki technologiczne. Zgodnie z [1] dla żelbetowych prefabrykowanych pali wbijanych współczynniki technologiczne przyjmuje się dla odcinków pala w gruntach spoistych twardoplastycznych równe $S_p = 1,0$ i $S_s = 0,9$,

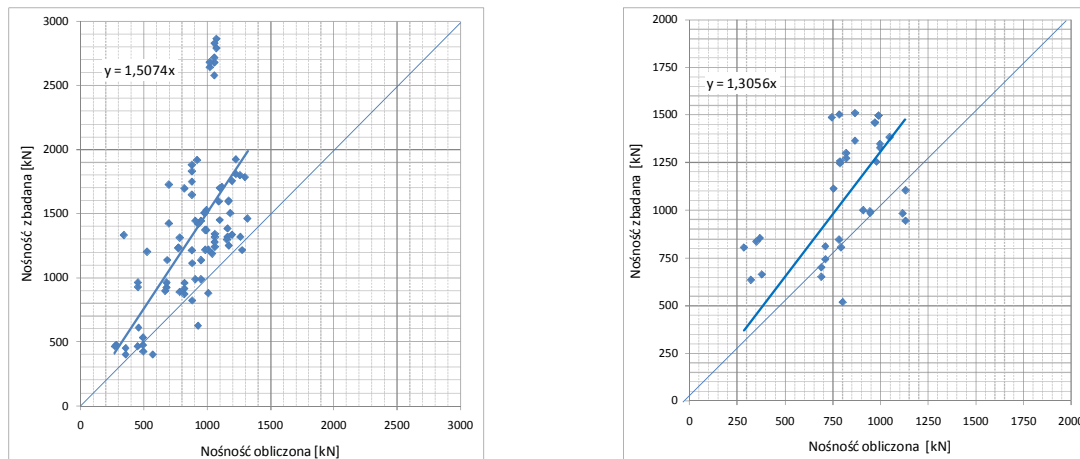
w gruntach spoiстых półzwartych równe $S_p = 1,0$ i $S_s = 1,0$ oraz w gruntach niespoistych średnio zagęszczonych równe $S_p = 1,1$ i $S_s = 1,1$.

Podstawowa trudność w wykorzystaniu normy [1] we wszelkiego rodzaju porównaniach i analizach jest wykorzystanie w niej wartości oporów obliczeniowych, podczas gdy w literaturze i w badaniach analizowane są z reguły opory graniczne. Mimo tej niedogodności norma [1] z powodzeniem jest stosowana jest w Polsce od blisko 30 lat.

5 PORÓWNANIE WYNIKÓW OBLICZEŃ I PRÓBNYCH OBCIĄŻEŃ

O wartości obliczonej nośności pała decydują przyjęte opory jednostkowe odpowiednich warstw gruntów pod podstawą i na pobocznicy oraz zagłębienie pała w warstwę gruntów nośnych. W przypadku posadowienia obiektu na palach wbitych przez warstwy gruntów słabych do warstw nośnych o nośności w zasadniczym stopniu decydują parametry gruntów zalegających w rejonie stopy pała. W przypadku pali zawieszonych w gruntach słabych parametry nośności uzyskiwane w tej strefie również są z reguły reprezentatywne dla całkowitej nośności pała. Z tego powodu i dla ograniczenia liczby przetwarzanych danych, analizie poddano końcowe, dolne odcinki badanych pali.

Porównano wyniki wykonanych próbnymi obciążen statycznych i dynamicznych z nośnościami obliczonymi w projektach palowania. Każdorazowo dla poszczególnych fundamentów przyjmowano minimalną zbadaną nośność pała w badaniu statycznym i/lub jednym lub kilku badaniach dynamicznych. Ponadto, uwzględniając fakt, że decydujący wpływ na zbadaną nośność pała ma stan i parametry gruntu występującego w strefie stopy pała, porównano wyznaczone na podstawie pomiarów dynamicznych opory wzdłuż pobocznicy pała z jednostkowymi oporami obliczeniowymi podanymi w [1]. Porównania dokonano dla średnich zmierzonych oporów na odcinkach 1,5÷2,0m powyżej stopy zagłębionego pała.



Rys. 3. Porównanie obliczonych i zbadanych nośności pali posadowionych w gruntach spoiстых (po lewej) i niespoistych (po prawej)

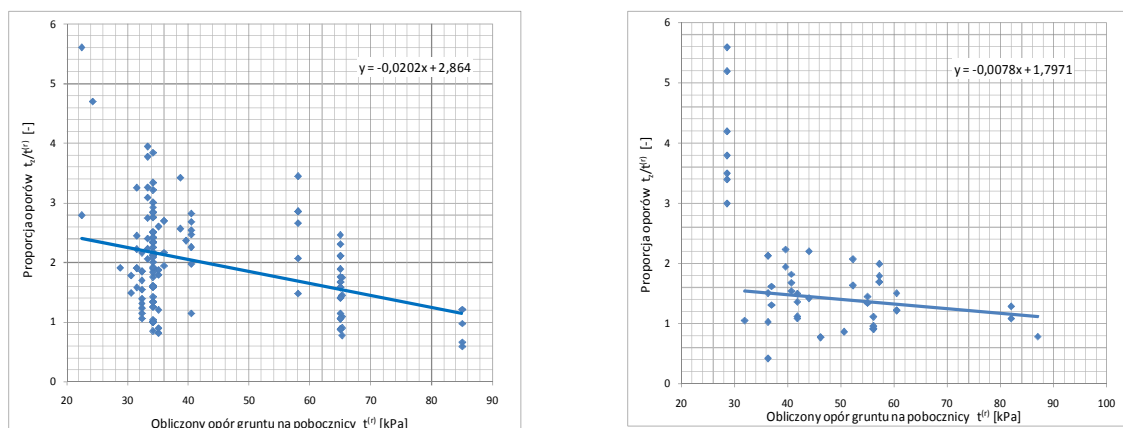
Analiza próbnymi obciążen metodą CAPWAP dostarcza informację o granicznych oporach wzdłuż pobocznicy pała t_{gr} . Opór obliczeniowy wzdłuż pobocznicy przyjęto jako $t_z = t_{gr} / \gamma$. Przyjęto $\gamma \approx 1,75$ obliczone jako $\gamma = \xi \gamma_{st}$, gdzie $\xi = 1,6$ jest współczynnikiem bezpieczeństwa dla średniego wyniku próbnego obciążenia dynamicznego [6], a $\gamma_{st} = 1,1$ jest współczynnikiem częściowych oporów wzdłuż pobocznicy pała.

Wartości zmierzonych oporów t_{gr} porównano z pomnożoną przez właściwy współczynnik technologiczny S_s wartością obliczeniową oporów wzdłuż pobocznicy pała $t^{(o)} = \gamma_m t$, gdzie $\gamma_m = 0,9$ jest współczynnikiem materiałowym gruntu, a t jest jednostkowym oporem gruntu wzdłuż pobocznicy pała wg [1][1].

Odcinki badanych pali bezpośrednio powyżej ich stóp zlokalizowane były w warstwach gruntów niespoistych średnio zagęszczonych (48 spośród 50 zbadanych pali) lub spoistych w stanie twardoplastycznym (95 spośród 134 pali) i półzwartym (35 spośród 134 pali)

Porównanie obliczonych w projektach palowania i zbadanych w terenie nośności pali przedstawiono na wykresach dla pali w gruntach spoistych i niespoistych (Rys. 3).

Ponieważ w większości projektów palowania lub próbnych obciążeń pali nie podano jednostkowych oporów wzdłuż pobocznic, potrzebne wartości obliczono na potrzeby prowadzonego porównania. Należy podkreślić, że dla gruntów znajdujących się w stanie określonym w dokumentacjach geotechnicznych jako półzwarte o $I_L=0$ lub twardoplastyczne przewarstwione półzwartymi o $I_L=0$ z reguły projektanci przyjmują parametry gruntów spoistych jak dla $I_L=0$ i $w=w_p$ (wilgotność równa granicy plastyczności). Uwzględniając wyniki przeprowadzonych badań i wyznaczone zapasy nośności pali na potrzeby porównania obliczonych i zmierzonych oporów na pobocznicę przyjęto dla gruntów spoistych w stanie półzwartym projektowe opory jednostkowe wzdłuż pobocznic jako wartości pośrednie pomiędzy podanymi w [1] dla $I_L<0$ i $w=0$ (grunt zwarty, wilgotność $w=0\%$) oraz $I_L=0$ i $w=w_p$. Zatem przyjęto obliczeniową wartość z nadmiarem w stosunku do powszechnej praktyki projektowej, co przy porównaniu z oporami zmierzonymi jest po stronie bezpiecznej. Porównanie jednostkowych obliczonych oporów gruntu wzdłuż pobocznic pąla do obliczeniowych wartości zbadanych przedstawiono na wykresach dla gruntów spoistych oraz niespoistych (Rys. 4).



Rys. 4. Porównanie jednostkowych obliczonych i zbadanych oporów gruntu wzdłuż pobocznic pąla posadowionego w gruntach spoistych (po lewej) i niespoistych (po prawej)

6 PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Z przeprowadzonej analizy wyników 124 badań nośności wbijanych żelbetowych pali prefabrykowanych wykonanych na terenie Podkarpacia wynika, że zbadane nośności obliczeniowe pali są z reguły znacznie większe niż obliczone w projektach posadowienia zgodnie z [1]. Średnia zbadana nośność obliczeniowa w bitym pąlu jest większa od obliczonej o 50% w gruntach spoistych i 30% w gruntach niespoistych, a wartości obliczeniowe oporów gruntu wzdłuż pobocznic pąli prefabrykowanych wbijanych wyznaczone metodą CAPWAP w stosunku wartości podanych w normie [1] są średnio większe o 50% dla gruntów spoistych w stanie półzwartym ($I_L<0$) lub twardoplastycznym ($I_L=0$), 100% dla gruntów spoistych w stanie twardoplastycznym ($I_L\geq 0.1$) i 50% dla gruntów niespoistych o stopniu zagęszczenia w zakresie $I_D=0.4\div 0.6$.

W przedstawionej analizie nie uwzględniono niezwykle istotnego czynnika, jakim jest jakość badań geotechnicznych wykonywanych na potrzeby projektów i realizacji inwestycji. Czynniki ten potraktowano jako zewnętrzny i obiektywny, próbując jego wpływ

wyeliminować prowadząc analizę porównawczą na maksymalnie dużej liczbie dostępnych danych. Z doświadczenia autorów wynika, że jakość dokumentacji geotechnicznych wzrasta, lecz wciąż pozostawia wiele do życzenia.

Powyższe wnioski nie stanowią wprost podstawy do modyfikacji stosowanych powszechnie w oparciu o [1] wartości współczynników technologicznych dla pali prefabrykowanych. Mogą jednak stanowić wiarygodną, bo opartą na wynikach wielu próbnych obciążeń pali rzeczywistych, informację ukierunkowującą dalsze badania i analizy mające na celu optymalizację stosowanych metod projektowania.

Przedstawione w referacie wyniki porównania nośności obliczonych i zbadanych potwierdzają zasadność przeprowadzania badań nośności pali i stosowania metody obserwacyjnej w projektowaniu fundamentów palowych promowanej w normie [6]. Wyniki próbnych obciążeń pali wykonanych przed palowaniem zasadniczym i traktowanych jako narzędzie pracy projektanta prowadzą do istotnych oszczędności i efektywnego wykorzystania pali.

Na szczególną uwagę zasługują duże nośności obliczeniowe pali wbijanych w grunty spoiste, co może przyczynić się do obalenia nieuzasadnionego przekonania wielu projektantów o nieprzydatności tej technologii palowania w tego typu warunkach gruntowych.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują firmie Aarsleff sp. z o.o. za udostępnienie wyników próbnych obciążeń stanowiących podstawę niniejszego referatu.

PIŚMIENNICTWO

- [1] PN-83/B-02482. Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych.
- [2] PN-EN 12699. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Pale przemieszczeniowe. Czerwiec 2003.
- [3] Gwizdała K., Brzozowski T.: Badania dynamiczne nośności pali. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne. Styczeń – luty 2009.
- [4] Cichy L., Rybak J., Tkaczyński G.: Badania nośności pali prefabrykowanych. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne. Styczeń – luty 2009.
- [5] Cichy L., Tkaczyński G., Rybak J.: Badania dynamiczne nośności pali prefabrykowanych, Inżynieria i Budownictwo 3/2009
- [6] PN-EN 1997-1. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1. Zasady ogólne.
- [7] ASTM D 4945. Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Piles.

BEARING CAPACITY OF RC DRIVEN PILES BASED ON THE RESULTS OF TEST PERFORMED IN THE SOIL CONDITIONS OF PODKARPACIE, POLAND

Summary

The paper provides an overview of 184 static and dynamic load tests performed on driven precast reinforced concrete piles in Podkarpacie, Poland, in the years 2009-2011. The obtained bearing capacities were then compared with those calculated under pile foundation projects. The analysis shows significant real-load bearing capacity reserves as compared with design parameters. Consequently, new directions for further research and analyses are proposed, which are aimed at modifying the standard geotechnical design procedures currently applied for precast reinforced concrete piles.