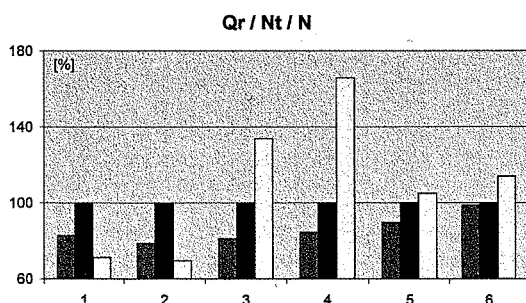


Badania dynamiczne nośności pali prefabrykowanych

Zasady projektowania i realizacji fundamentów palowych w Polsce są ujęte w normie PN-83/B-02482 [6]. Nieodłącznym elementem projektowania i realizacji tego rodzaju fundamentów są badania nośności pali, które wykonuje się metodami statycznymi i dynamicznymi. Należy podkreślić, że wykonywanie badań nośności wymaga również normy innych krajów, Eurokod 7 i wdrażane obecnie specjalistyczne przepisy krajowe [7]. O wadze problemów związanych z badaniami pali świadczą publikacje [1, 2 i 3]. Opisane w niniejszym artykule doświadczenia nawiązują do realizacji i badań fundamentów na palach wbijanych, opisanych częściowo w [4].

Grunty, na których są posadawiane obiekty budowlane, mają zazwyczaj zróżnicowane właściwości. Wynika to zarówno z historii geologicznej, jak i dodatkowej modyfikacji parametrów podłoża w procesie wbijania pali. Pale pograżone w grunty spoiste lub niespoiste, charakteryzowane parametrami o zbliżonych wartościach, wykazują często różne nośności. Nie są również odosobnione przypadki, gdy nośności pali zmieniają się w obrębie jednego fundamentu. Obserwowana powszechnie zmienność uzyskiwanych nośności gruntów o podobnych właściwościach mechanicznych sprawia, że projekt fundamentu palowego nie może być ograniczony tylko do obliczeń nośności.

Już pobieżne porównanie podanych na rysunku obciążeń obliczeniowych Q_r , nośności obliczonych N_i i nośności pomierzonych w próbnym obciążeniu N , uzyskanych w badaniach 6 pali świadczy o małej dokładności wyników obliczeń. Prowadzone przez firmę Aarsleff porównania dotyczące większej liczby pali potwierdzają te rozbieżności.



Porównanie (kolejno) obciążenia obliczeniowego Q_r , nośności obliczeniowej N_i i nośności N z badań sześciu pali

Próbne obciążenia statyczne pali prefabrykowanych

Metody statyczne badań nośności pali sprowadzają się do pomiaru osiadań pala w funkcji obciążenia. Obciążenie jest wywierane siłownikiem hydraulicznym rozpartym pomiędzy palem a konstrukcją oporową, kotwioną do pali, często dodatkowo balastowaną. Badania statyczne są zazwyczaj dość trudne technicznie i kosztowne. Dlatego liczba pali poddawanych badaniom statycznym jest ograniczana do minimum wymagane według norm.

Metody dynamiczne pomiarów nośności pali

Metody dynamiczne sprowadzają się do pomiaru przyspieszenia i odkształcenia w głowicy pala w trakcie jego dynamicz-

nego pograżania. Badania takie są szczególnie wygodne w przypadku pali wbijanych. Do wymuszenia obciążenia jest wykorzystywany katar, którym pale są wbijane. Nie jest zatem konieczny transport dodatkowego ciężkiego sprzętu. Można badać dowolnie zlokalizowany pal. Badanie pali pochylonych także nie powoduje trudności. Również koszty są znacznie mniejsze niż badań statycznych.

Termin badania nośności pala

Norma PN-83/B-02482 (p. 7.4.1) przewiduje możliwość wykonania badań nośności w trakcie robót palowych, jednak często jest rygorystycznie przestrzegane wymaganie ich wykonania przed rozpoczęciem robót palowych. Postępowanie takie nie zawsze jest właściwe, gdyż dogęszczanie gruntu w wyniku wbijania pali może wpłynąć na znaczne zwiększenie ich nośności. W efekcie liczba pali w fundamencie może okazać się zbyt duża. W przypadku pali przemieszczeniowych istnieje ryzyko, że części pali nie uda się pogрузić na projektowaną rzędną, co budzi zazwyczaj wątpliwości nadzoru.

Na rygor utrzymania kolejności robót nakłada się wymagania wykonania badań we właściwym czasie, licząc od dnia pograżenia pala w gruncie. Nośność pala zmienia się w czasie. Po ustaniu relaksacji gruntu, nośność ta zwiększa się w efekcie zmniejszania ciśnienia porowego wody w gruncie i rekonsolidacji gruntu wokół poboczniczy pala. Procesy te postępują z różną prędkością w przypadku gruntów spoistych i niespoistych. Dlatego w normach dotyczących pali jest określany czas, po jakim należy przeprowadzać badania nośności. Dotyczy to zarówno badań statycznych, jak i dynamicznych. Terminy określone w normie PN-83/B-02482 (p. 7.4.2) podano w tabl. 1.

Tablica 1
Terminy sprawdzania nośności, dni

Rodzaj pali	Rodzaj gruntu		
	niespoisty	nawodnione piaski drobne, pyłaste i gliniaste oraz pyły i gliny piaszczyste	spoisty
Wbijane	7	20	30
Wykonywanie w gruncie	30	30	30

Utrzymanie rygorów „właściwej” kolejności robót i terminu realizacji próbnego obciążenia, nawet w przypadku gruntów niespoistych, stanowi niejednokrotnie istotne utrudnienie w realizacji zawartego kontraktu. Dlatego tam, gdzie specyfikacja techniczna nie wprowadza „sztywnych” reguł, korzystając z zalet testów dynamicznych i zjawiska zwiększenia nośności pali po ich pograżeniu w gruncie, są podejmowane działania, które umożliwiają przyspieszenie realizacji robót palowych.

Dobór właściwego terminu testu nośności pala

W pracy [5] zaproponowano wzór empiryczny opisujący zmianę nośności pala w czasie, mający postać

$$\frac{R}{R_0} - 1 = A \log \left(\frac{t}{t_0} \right), \quad (1)$$

gdzie:

R – nośność pala po czasie t ,

R_0 – nośność pala w chwili t_0 ,

A – stała empiryczna według tabl. 2.

Oczywiście nie można założyć, że zwiększanie nośności we wszystkich rodzajach gruntów niespoistych i spoistych będzie miało identyczny przebieg. Jednak istotna jest informacja, że jest to proces, który można przewidywać i właściwie kontrolować, powtarzając badanie nośności.

Tablica 2
Wartości stałej empirycznej A do wzoru (1)

Stała	Jednostka	Wartość w przypadku gruntów	
		spoistych	niespoistych
t_0	dni	1,0	0,5
A		0,6	0,2

W trakcie wbijania pala jest sporządzana jego metryka, w której zapisuje się wartość energii użytej do pogrążania pala na kolejnych odcinkach zagłębienia. Korzystając z tych informacji, formuły dynamicznej oraz wiedzy o warunkach gruntowych, można obliczać przybliżone wartości nośności granicznej pala już po zakończeniu jego pogrążania. Zwykle takie przybliżone obliczenia pozwalają przyjąć właściwą w danych warunkach gruntowych kolejność prowadzenia robót palowych. Jeżeli jest spodziewane dogęszczanie się gruntu, należy wykonać część fundamentu palowego i na tej podstawie ocenić zachodzące w gruncie zmiany. W sytuacji, gdy obliczenia przybliżone nie dają jednoznacznego wyniku, wykonuje się badania dynamiczne. Zgromadzone dane są wystarczające do:

- oszacowania terminu, po jakim należy powtórzyć badanie nośności,
- prognozowania nośności pala w czasie, w którym będzie zwiększało się jego obciążenie w wyniku kontynuowania robót budowlanych,
- dokonania niezbędnej korekty projektu fundamentu palowego (jeśli to będzie konieczne).

W przypadku gruntów spoistych wystarczy nawet kilka dni, aby ocenić nośność, jaką pal osiągnie w podanym w polskiej normie terminie 30 dni.

Praktyczne wykorzystanie prognozowania nośności pali

• W centrum handlowym zlokalizowanym w miejscu zasypanego zbiornika wodnego zaprojektowano posadowienie słupów hali na palach o przekroju poprzecznym 30×30 cm i długości $11,0 \div 13,0$ m.

Obciążenia od pali przejmowały warstwy gruntu znajdujące się poniżej nasypów i namulców, a więc piaski i żwiry z domieszką pyłów oraz pyły. Nasyp niekontrolowany wypełniający zbiornik, w wyniku przewidywanego osiadania, miał stanowić dodatkowe obciążenie na pobocznicę pala. W celu ułatwienia kontroli pomierzonych nośności pali przyjęto globalny współczynnik bezpieczeństwa równy 2,5, który uwzględniał dociążenie pala wynikające z osiadania nasypu.

Badaniom nośności poddano pale pogrążone w grunt od 4 do 6 dni przed badaniem. Pomiar powtórzono w 55. dniu, licząc od momentu wykonania pali. Pomierzone metodą dynamiczną nośności wykazały dobrą zgodność z obliczeniami na podstawie wzoru (1). Podjęto więc próbę wykorzystania tak szacowanych nośności pali do porównań z dokładnymi pomiarami nośności. Nośności pali obliczone na podstawie wpędów i pomierzone metodą dynamiczną zestawiono w tabl. 3.

Wobec niejednorodnej budowy geologicznej podłoża, zwiększenia nośności pali wykazują pewne różnice. W przypadku pali o numerach 4, 5, 6, 7, 13, 14, 15 osiągnięto około 20-procentowe zwiększenie nośności w okresie od około 5. do

Tablica 3
Wyniki pomiarów nośności pali (etap pierwszy)

Nr pala	Data wbicia pala	Data testu dynamicznego	Czas od wbicia pala do testu		Długość pala	Obciążenie obliczeniowe	Nośność obliczeniowa pala	Wpędy z pogrążania ostatnich 20 cm pala	Nośność pala wg wzoru Sorensena i Hansena	Nośność graniczna wg CAPWAP
			t	L						
			dni	m	kN	kN	t/m/liczba uderzeń	kN	kN	
1	4.08.06	10.08.06	6	12,0	518	575	5/0,5/8	733	629	
		28.09.06	55					733	695	
2	4.08.06	10.08.06	6	12,0	518	575	5/0,5/7	663	804	
		28.09.06	55					663	868	
3	4.08.06	10.08.06	6	12,0	518	575	5/0,4/5	415	789	
		28.09.06	55					415	815	
4	4.08.06	10.08.06	6	12,0	518	575	5/0,5/6	589	693	
		28.09.06	55					589	889	
5	4.08.06	10.08.06	6	12,0	518	575	5/0,5/6	589	817	
		28.09.06	55					589	973	
6	29.07.06	10.08.06	12	12,0	518	575	5/0,6/3	535	650	
		28.09.06	61					535	795	
7	5.08.06	10.08.06	5	12,0	518	575	5/0,4/7	544	682	
		28.09.06	46					544	805	
8	6.08.06	10.08.06	4	12,0	518	575	5/0,4/9	658	612	
		28.09.06	53					658	830	
9	5.08.06	10.08.06	5	11,0	461	512	5/0,3/11	601	631	
		28.09.06	54					601	645	
10	5.08.06	10.08.06	5	11,0	461	512	5/0,4/13	862	813	
		28.09.06	54					862	917	
11	5.08.06	10.08.06	5	11,0	461	512	5/0,5/10	870	607	
		28.09.06	54					870	687	
12	5.08.06	11.08.06	6	11,0	461	512	5/0,4/9	666	654	
		28.09.06	54					666	669	
13	5.08.06	10.08.06	5	13,0	594	660	5/0,4/7	540	555	
		28.09.06	54					540	664	
14	5.08.06	10.08.06	5	13,0	594	660	5/0,4/7	540	670	
		28.09.06	54					540	799	
15	5.08.06	10.08.06	5	13,0	594	660	5/0,4/7	540	690	
		28.09.06	54					540	863	

55. dnia, licząc od momentu pogrążenia pali. Średnio w odniesieniu do wszystkich pali to zwiększenie oceniono na 16%. Według wzoru (1), przy stałej $A = 0,2$, dotyczącej gruntów niespoistych, to zwiększenie wynosi 17%.

W pierwszej fazie realizacji kontraktu zbyt optymistycznie oparto się na wynikach obliczeń projektu dotyczącego robót palowych i założono zbyt duże zwiększenie nośności pogrążanych (wbijanych) pali. W efekcie konieczna była korekta projektu posadowienia po zrealizowaniu części kontraktu. W zrealizowanych już stopach pod słupami hali zwiększono liczbę pali, a w pozostałych pale wydłużono do $14,0 \div 15,0$ m. Podstawy pali były miejscami pogrążone w warstwie pyłów o miąższości do około 3,0 m.

Obserwowane, duże rozbieżności nośności potwierdziły obliczenia przybliżone, wykonane na podstawie danych z metryk pali. W przypadku pali o skorygowanych długościach (z podstawami w pyłach) obliczono zwiększenie nośności pali po 13 dniach i już po tym czasie wykonano pomiary dynamiczne. Obliczone średnie zwiększenie nośności pali nr 16 do 26, przy stałej $A = 0,6$, wyniosło 67%, a pomierzone w przypadku tych samych pali było równe 68%.

• **Posadowienie budynku mieszkalnego** w Olsztynie zostało zaprojektowane na palach o przekroju poprzecznym 30×30 cm i długości 7,0÷15,0 m. Krótsze pale przechodziły przez nienośne warstwy nasypów, glin plastycznych, luźnych piasków i były pograżone w warstwie piasków, a dłuższe sięgały glin piaszczystych z dodatkiem żwiru. Obliczone w sposób przybliżony nośności pali nr 5 i 24 (na podstawie energii młota i odpowiadającemu jej przemieszczeniu) wykazały bardzo dużą rozbieżność nośności pali pograżonych w glinach i w piaskach. Pal nr 24 był pograżony w piasku, a pal nr 5 około 2,0 m w glinie. Robót palowych nie zatrzymano, ale dwa dni po wbiciu pali (23.08.2007 r.) wykonano badania dynamiczne. Uzyskane wyniki, zamieszczone w tabl. 4, rozwiały wątpliwości, chociaż pale 5 i 24, przy współczynniku bezpieczeństwa równym 1,6, ciągle wykazywały niewielki niedostatek nośności, dochodzący do 8%. Badania powtórzone 3.09.2007 r., 13 dni po pograżeniu pali. Stwierdzono zwiększenie nośności badanych pali do wartości większej lub równej obciążeniu obliczeniowemu. To zwiększenie nośności było nieco inne niż pierwotnie zakładano, ale proces tego zwiększania został potwierdzony.

Tablica 4
Wyniki pomiarów nośności pali (etap drugi)

Nr pala	Data wbicia pala	Data testu dynamicznego	Czas od wbicia pala do testu	Długość pala	Wpędy z pograżania ostatnich 2 cm pala	Nośność pala wg wzoru Sorensena i Hansena	Nośność graniczna wg CAPWAP
			t				
			dni	m	t/m/liczba uderzeń	kN	kN
16	07.08.06	23.10.06	77	14,0	5/0,5/8	717	1291
17	10.10.06	23.10.06	13	13,0	6/0,4/9	761	1459
18	10.10.06	23.10.06	13	13,0	5/0,4/12	795	1189
19	10.10.06	23.10.06	13	14,0	6/0,4/14	1002	1083
20	06.10.06	23.10.06	17	14,0	6/0,4/6	558	1106
21	10.10.06	23.10.06	13	14,0	6/0,4/7	628	838
22	18.10.06	23.10.06	5	15,0	6/0,2/7	337	697
23	06.10.06	23.10.06	17	15,0	6/0,2/8	374	786
24	09.08.06	24.10.06	45	11,0	5/0,2/7	293	569
25	11.10.06	24.10.06	13	12,0	5/0,5/8	733	1006
26	10.10.06	24.10.06	14	13,0	6/0,4/13	972	1369

Uwzględnienie zjawisk zachodzących w gruncie i bieżąca kontrola nośności pali (tabl. 5) pozwoliły na szybką realizację robót palowych.

Wnioski

1. Nośności pali obliczane według normy PN-83/B-02482 są mało precyzyjne.
2. Kolejność prowadzenia robót palowych najlepiej ustalać, biorąc pod uwagę lokalne warunki gruntowe.

Tablica 5
Wyniki pomiarów nośności pali

Nr pala	Data wbicia pala	Data badania dynamicznego	Czas od wbicia pala do testu	Długość pala	Obciążenie obliczeniowe	Wpędy z pograżania ostatnich 20 cm pala	Nośność pala wg wzoru Sorensena i Hansena	Nośność graniczna wg CAPWAP
			t					
			dni	m	kN	t/m/liczba uderzeń	kN	kN
5	21.08.07			8,0	437	5/0,1/9	196	
		23.08.07	2					607
		3.09.07	13					676
24	21.08.07			7,0	374	5/0,3/10	591	
		23.08.07	2					557
		3.09.07	13					724

3. Trudno jest określić czas, po którym należy wykonać badanie nośności pala. Nawet w piaskach nośność ta pomiędzy 9. a 155. dniem po wykonaniu pala może zwiększyć się około 15%.

4. Umiejętne korzystanie z badań nośności pali pozwala poprawnie planować roboty palowe i skracać czas realizacji fundamentu palowego.

5. Każdy pal, którego nośność budzi wątpliwości, którego stopa nie osiągnęła projektowanej rzędnej lub którego nośność obliczona na podstawie danych z metryki i odpowiednich zależności empirycznych jest zbyt mała, można poddać kontrolnemu badaniu dynamicznemu i na podstawie uzyskanych wyników podjąć właściwe działanie.

6. Metody dynamiczne pozwalają na bieżącą kontrolę nośności pali. Stanowi to podstawę do formułowania takich wymagań kontraktu, które umożliwią efektywne skrócenie czasu realizacji robót palowych, z jednoczesnym zachowaniem bezpieczeństwa posadowienia.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Gwizdała K.: Kontrola nośności i jakości pali fundamentowych. „Geoinżynieria i Tunelowanie”, nr 1/2004.
- [2] Gwizdała K.: Projektowanie pali fundamentowych. XX ogólnopolska konferencja „Warsztat pracy projektanta konstrukcji”. Wisła – Ustroń, 1-4 marca 2005 r.
- [3] Rippel R.: Próbne obciążenia i badania głębokich fundamentów. „Geoinżynieria i Tunelowanie”, nr 2/2004.
- [4] Rybak J., Sobala D., Tkaczyński G.: A case study of piling project and testing in Poland. W: The application of stress-wave theory to piles: science, technology and practice. Proceedings of the 8th international conference. Lisbon, Portugal, 8-10 September 2008. Ed. by Jaime Alberto dos Santos. Amsterdam: IOS Press, cop. 2008.
- [5] Skov R., Denver H.: Time-dependence of bearing capacity of piles. In B. Fellenius (ed). Proc. Third Inter. Conf. on the Application of Stress-Wave Theory to Piles, Ottawa, 25-27 May 1988. Vancouver: BiTech Publisher.
- [6] PN-83/B-02482 Fundamenty budowli – Nośność pali i fundamentów palowych.
- [7] PN-EN 12699 Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Pale przemieszczeniowe.

I międzynarodowa konferencja i warsztaty architektoniczno-konstrukcyjnego kształtowania formy „InStructA'09”

Konferencja i warsztaty odbędą się 23-24 kwietnia 2009 r. na Wydziale Architektury Politechniki Wrocławskiej. Organizatorem jest Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej przy wsparciu merytorycznym Polskiego Oddziału International Association for Shell and Spatial Structures (IASS). Honorowy patronat objął rektor Politechniki Wrocławskiej, prof. Tadeusz Więckowski. Przewodniczącym konferencji jest prof. Jan B. Obrębski z Politechniki Warszawskiej.

Komitet Organizacyjny Konferencji reprezentują: dr inż. Romuald Tarczewski i dr inż. Waldemar Bober.

Konferencja będzie poświęcona relacjom pomiędzy architekto-

nicznymi i konstrukcyjnymi metodami kształtowania formy obiektów. Konferencja, która w zamiarze organizatorów będzie się odbywać corocznie, jest próbą stworzenia międzynarodowego forum wymiany poglądów w tej dziedzinie.

Adres do korespondencji:

Sekretariat Konferencji InStructA'09,
Wydział Architektury Politechniki Wrocławskiej
Ul. B. Prusa 53/55, 51-317 Wrocław
e-mail: konstrukcje.arch@pwr.wroc.pl
http://instructa09.arch.pwr.wroc.pl